工人技术等级标准自学丛书

无损探伤工必读

天津市机械工业管理局主编

机械工业出版社

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

TG115.28
37

工人技术等级标准自学丛书

无损探伤工必读

天津市机械工业管理局主编

机械工业出版社

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

本书是根据原机械工业部1985年颁发的《工人技术等级标准》进行编写的，内容紧扣"标准"。书中对"标准"中的应知、应会和工作实例三部分作了较全面、系统的阐述，便于读者能通过自学较熟练地掌握应知、应会的知识和基本的操作技能。

本书可供初、中级探伤工及具有初中以上文化水平的探伤人员自学之用；也可供科研、厂矿企业的有关技术人员及大、中专院校的师生参考；同时可作为厂矿企业进行技工培训和考核的参考教材。

本书由王海民编写，刘奎中主审、苑广泽参审。

无损探伤工必读

天津市机械工业管理局主编

*

责任编辑：俞逢英　版式设计：罗文莉

责任印制：王国光　责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 9 7/8·字数 215千字

1990年12月北京第一版·1990年12月北京第一次印刷

印数　0,001— 2,400·定价：6.25元

*

ISBN 7-111-01874-5/TG·472

常州三合声源超声波科技有限公司

www.shsytanshang.com

编 委 会 名 单

主任委员：王志平

副主任委员：董无岸　陈遐龄　王玉杰
赵国田　杨国林　范广才（常务）

委　　员：杨溥泉　陈　余　温玉芬　戴振英
曹桂秋　郗淑贤　解延年　孟昭义

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

前　言

1981年，天津市第一机械工业局受第一机械工业部委托，根据1978年部颁《工人技术等级标准（通用部分）》主编了《工人技术等级标准自学丛书》（每个工种单独成册，共35册）。该丛书出版后，深受广大读者欢迎，赢得普遍赞誉。

1985年机械工业部对原部颁《工人技术等级标准（通用部分）》进行了修订并重新颁布（下称“新标准”）。新标准在工人技术等级、工种划分及应知、应会的内容上都作了较大的改动，原丛书已不适应新标准的要求了。鉴于以上情况，天津市机械工业管理局（原天津市第一机械工业局）对该丛书按“新标准”要求，重新组织编写，包括“新标准”中的全部工种，每个工种一本，共计39本。其中30本由机械工业出版社出版，9本由天津科学技术出版社出版。

新编写的丛书是按“新标准”应知、应会、操作实例的要求，采用逐条解答的体例编写的。除检查工种只有中级一个等级外，其他工种均包括初、中两个等级。全套书采用了各项国家新标准和法定计量单位。该丛书可供机械工人自学之用，也可做为企业对技术工人进行培训和考核的参考用书。

由于此套丛书涉及的知识面广，我们又缺乏经验，有错误与不足之处，恳切希望各界读者批评指正。

天津市机械工业管理局

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

目　　录

前言
初级工 …… 1

应　　知

1　常用无损探伤仪的种类和用途 ……1
2　自用探伤仪的电路框图、探伤原理、主要性能、灵敏度、使用范围、操作规程和维护保养简单知识 ……7
3　常用辅助设备的种类、名称、规格、型号、使用规则及保养方法 ……17
4　常用工具、用具(或材料)的种类、名称、规格和用途 ……22
5　常见金属材料的种类、名称、规格和牌号 ……35
6　药液配方的名称、性能、主要成分、配制及使用注意事项 ……42
7　机械制图基本知识 ……45
8　有关计算：划线、探伤比例、射线探伤灵敏度计算 ……48
9　按技术标准、工艺卡、技术条件、操作规程掌握下列方法的操作过程 ……50
10　焊接种类、方法及识别常识(区别手工电弧焊、电渣焊、氩弧焊等) ……54
11　电工基本知识 ……57
12　有关锅炉、压力容器知识 ……62
13　射线对人体的危害及防护知识 ……67
14　安全技术规程 ……70

应　　会

1　正确使用和维护保养自用无损探伤仪（X射线、γ射线、超声波、渗透等探伤仪) ……73

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

2 正确使用有关工具、用具和辅助设备及维护保养。
一般工具、用具的修理和自制 ……75
3 常用药液的配制(显影液、定影液、磁悬液)及识别 ……77
4 看懂零件图 ……83
5 正确执行探伤工艺规程 ……95
6 独立地进行无损探伤中的辅助工作和生产准备工作 ……98
7 独立地按规程标准、有关技术文件调整仪器和
正确进行射线、磁粉、渗透检验操作。准确做
好原始记录 ……104
8 从底片上衡量工作质量(曝光过度、曝光不足、雾光、
灵敏度低于要求、标记不全、贴片对位不正确等)。
并能识别典型缺陷种类 ……112
9 对简单工件如钢板、平面锻件进行超声波探伤,
判别波形,作出判断 ……114
10 室外工作时,射线探伤的安全防护计算 ……123
11 电工基本操作(仪器电源接线、调换熔丝、
安全用电等) ……128
12 正确执行有关安全防护规则 ……132
13 做到岗位责任制和文明生产的各项要求 ……135

工 作 实 例

1 筒体纵缝、环缝X射线或γ射线探伤的操作过程 ……137
2 排除射线、超声、磁粉探伤仪电源不通的故障及
超声探头、磁极触头电接触不良等故障 ……139
3 正确操作超声波探伤仪探测大直径钢管、轴类锻件等 ……140
4 正确操作磁粉探伤仪探测焊缝、螺栓、轴等工件。
正确使用灵敏度试片 ……145
5 正确配制各种探伤用药液、显影液、定影液、
磁悬液等 ……151
中级工 ……157

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

应　　知

1　X射线探伤仪和γ射线探伤仪的一般结构原理 ……157
2　探伤仪常见简单故障分析 ……160
3　超声探伤中用的各种探头的基本结构 ……170
4　了解常用仪器(射线、超声、磁粉、荧光探伤仪) 的
主要技术性能 ……180
5　金属工艺学(热处理、铸造、压力加工等)
初步知识 ……183
6　探伤中自用用具(或材料)和药液的作用和原理 ……190
7　探伤中自用用具(或材料)和药液的质量鉴别方法 ……192
8　超声波探伤的物理基础、探伤方法,缺陷定位、
定量的计算 ……198
9　磁化电流规范计算 ……212
10　掌握射线探伤的评片标准 ……219
11　射线探伤原理及影响灵敏度的原因,提高灵敏度的
措施 ……221
12　各种产品(焊件、锻件、钢板、钢管、铸件等)
常见缺陷种类及产生原因 ……229
13　射线探伤中各参数之间相互关系的理论分析和
电压、电流、曝光时间、焦距、焦点大小、工
件厚度差等对底片质量的影响 ……233
14　电工一般基础知识 ……235
15　受压容器的基本知识(类别、等级、采用何种
探伤方法、抽查比例、工艺要求等) ……241
16　生产技术管理知识 ……244

应　　会

1　正确使用射线剂量仪进行剂量计算 ……248
2　根据评片标准正确地评片，作出结论，出具报告 ……250
3　根据产品的几何形状、厚度、技术要求，正确选择

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

探伤规范和有关技术条件 ……253
4 超声检测较复杂的工件并能正确地对缺陷进行定位、
定量、判别波形 ……256
5 分析射线底片报废原因并提出改进措施 ……261
6 超声检测常见工件，结合工件制造工艺对缺陷进行
分析并做出结论 ……263

工 作 实 例

1 能独立地对整台容器探伤 ……272
2 超声探伤仪与探头的组合性能测试，
并鉴定其性能优劣 ……299
参考文献 ……305

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

初 级 工

应 知

1 常用无损探伤仪的种类和用途

金属材料在生产和加工过程中往往产生各种缺陷，影响材料和制品的质量。非金属材料和各种复合材料，在加工过程中也常会出现气泡、分层、材质不均、粘合不良等缺陷。因此，在生产中必须采取各种手段及时地发现这些缺陷，以便改进工艺，确保产品质量。对重要产品还要求能及时发现使用中产生的缺陷，以避免发生严重的设备损坏和人身事故。采用无损探伤方法，不破坏材料和零件，所以在检验工作中具有重要的作用。

检查构件和材料中缺陷的无损探伤方法十分广泛，声、光、电、热等多种物理效应均可应用。目前，最常用的无损探伤设备有射线探伤机、超声波探伤仪、磁粉探伤机、渗透探伤装置和涡流探伤仪五种。

一、超声波探伤仪

把高频声波（通常为 1～5 MHz）即超声波脉冲从探头射入被检物，如果其内部有缺陷，则一部分入射的超声波在缺陷处被反射，利用探头能接受信号的性能，可以不必破坏被检物而检查出缺陷存在的部位及其大小。

利用普通声波从外面不损坏地检测物体内部情况的方法早就被人们采用了。如用小锤敲敲铸件，检验内部有无孔洞等。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

由于声响检测方法是依靠人的听觉来作分析和判断的，因此要求操作人员能很熟练地判断声响，但也难于作出定量的表示形式。与上述方法相比，超声波探伤却能容易地作出定量的表示形式。

人耳可听得见的声波的频率（即每秒多少次）范围，大致是20Hz至20kHz。频率比20kHz更高的声波叫超声波。

用于探伤的超声波，频率为400kHz（0.4MHz）～25MHz，其中用得最多的是1～5MHz的超声波。

蝙蝠、秋虫和海豚等能听见人耳听不到的高频声音，而且能用超声波来传递信息。尤其是蝙蝠，它能发射超声波脉冲，并能接收和识别从电线等障碍物或昆虫等反射回来的波，因此它不会碰撞障碍物，又能捕食昆虫。

雷达探测空中的飞机是利用了电波脉冲的反射，超声波探伤大多采用的是脉冲反射法。它与蝙蝠一样，用的是一种较简单的形式，声纳和鱼群探测器探测海洋里的船只和鱼类，也是利用超声波脉冲的反射。

这些仪器都是利用回波原理。不管电波或是声波，其反射波都叫回波。

在金属探伤中之所以使用高的频率，是因为：

1．指向性好，能形成窄的波束；

2．波长短，小的缺陷也能够很好地反射；

3．分辨率高，多个缺陷能分辨清楚。

超声波探伤可检查金属材料、部分非金属材料的表面和内部缺陷。如检查锻件中的白点、裂纹、夹渣、分层；非金属材料中的气泡、分层和粘合层中的粘合不良；焊缝中裂纹，未焊透、夹渣、气孔以及管棒和锻件中与表面成一定角度的缺陷。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

二、射线探伤机

射线或者电离射线就是指X射线、β射线、γ射线、电离射线和中子射线等，它们的种类很多。其中易于穿透物质的有X射线，γ射线以及中子射线三种。X射线与γ射线的区别只是发生的方法不同，它们都是波长很短的电磁波，两者的本质是相同的。中子和质子是构成原子核的粒子，质子带正电荷，电子带负电荷，而中子则是呈中性的。发生核反应时，中子飞出核外，这种中子流叫做中子射线。

这三种射线都是易于穿透物质的，但是在穿透物体的过程中受到吸收和散射，因此其穿透物体后的强度就小于穿透前的强度。衰减的程度由物体的厚度、物体的材料品种以及射线的种类而定。当厚度相同的板材存在气孔时，有气孔的部分不吸收射线，容易透过。相反，如果混进容易吸收射线的异物时，这些地方射线就难于透过。因此，将强度均匀的射线照射所检测的物体，使透过的射线在照相胶片上感光，把胶片显影后就可得到与材料内部结构和缺陷相对应的黑度不同的图像，即射线底片。通过对这种底片的观察来检查缺陷的性质、大小、分布状况等。这种检测就叫做射线照相法探伤。这种将透过物体的射线直接在胶片上感光的方法也叫直接照相法。此外，还有透视法和间接照相法。要识别微小缺陷，用直接照相法效果最为理想。

射线探伤法可检查金属材料和非金属材料的内部缺陷；如铸件和焊缝中的气孔、夹渣、未焊透等体积性缺陷。

三、磁粉探伤机

钢铁等铁磁性材料能被磁场磁化，在这些材料中产生的磁力线比非磁性材料要多几十倍到几千倍以上。磁化后磁棒的磁力线如图1.1-1所示。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

出入磁棒两端的磁力线，使两个端部的附近产生强烈的磁场，并且两端分别成为N极和S极。因此，把铁粉磁性粉末（叫做磁粉）撒在棒上时，由于磁场的作用，磁粉就被吸引到磁极附近并附在磁极上。

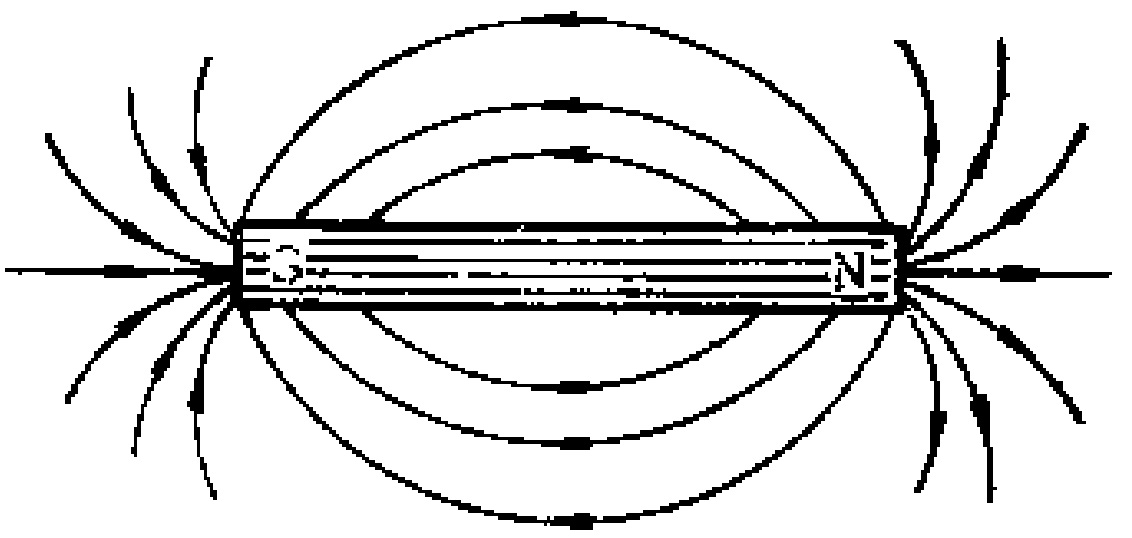


图1.1-1　磁棒的磁力线

现在来研究一个有裂纹（缺陷）的材料（强磁性材料），其裂纹方向与磁化方向成直角，如图1.1-2所示。

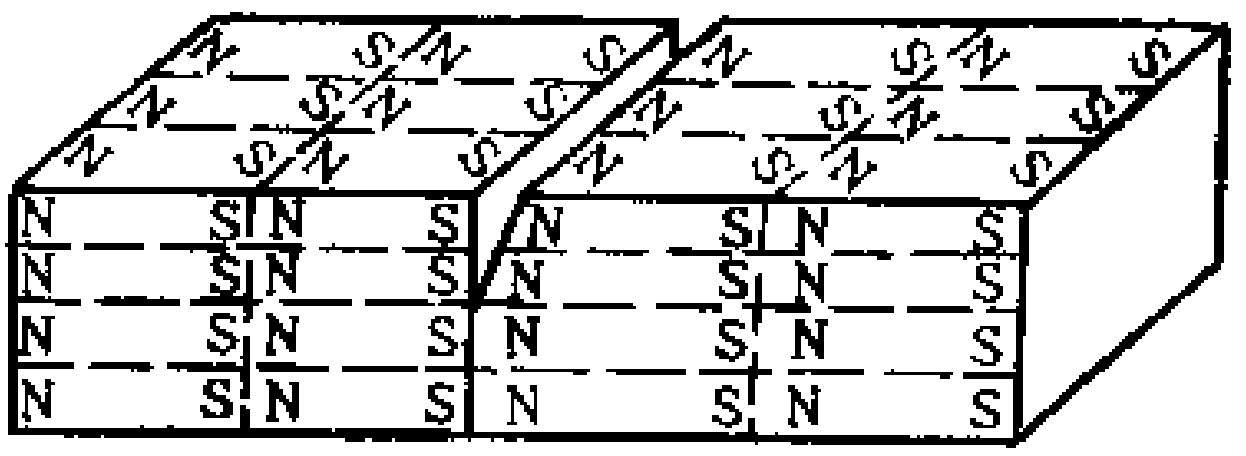


图1.1-2　磁棒的磁极

磁化后的材料可以认为是许多小磁铁的集合体，除了裂纹和棒两端之外，连续部分的这些小磁铁的N、S磁极是互相抵消的，所以不呈现磁极。另一方面，在材料的裂纹等处，磁性是不连续的。由于材料相对地被分开，故呈现磁极，所以磁粉就能附着在缺陷部位。

图1.1-3表示在磁化试件的裂纹部位的磁力线分布。在裂纹部分附近，磁力线绕过空间出现在外面，这种磁力线叫做缺陷漏磁；另外在缺陷附近所产生的磁场叫做缺陷的漏磁场（局部磁场）。

缺陷漏磁场的强度是同缺陷漏磁的磁通密度成正比的，其强度和分布取决于缺陷的尺寸、取向、位置及试件的磁化强度等。漏磁场强度越大，缺陷部位就越容易吸附磁粉。内部缺陷的漏磁场比表面开口缺陷的漏磁场要弱。另外若在与裂

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com



a)　　b)

图1.1-3　缺陷漏磁

a）表面缺陷　b）内部缺陷

纹平行的方向进行磁化时，因为在缺陷部位不发生磁极，所以就看不出有磁粉吸附着。

如上所述，把钢铁等强磁性材料磁化后，利用缺陷部位所发生的磁极能吸附磁粉的探伤方法叫做磁粉探伤。另外，在探伤中观察到的缺陷部位吸附着的磁粉叫做缺陷的磁粉痕迹。

磁粉探伤可检查铁磁性材料表面和近表面缺陷。如原材料、机械零件表面上的裂纹、折叠、夹杂物、发纹等。

四、渗透探伤装置

渗透探伤是利用黄绿色的荧光渗透液或者红色的着色渗透液，来显示放大了的缺陷图像的迹痕，从而能够用肉眼检查出试件表面上的开口缺陷。

根据不同色调的渗透液和不同的清洗方式，渗透探伤法可以分为几类。首先，按照不同的色调，大致可分为荧光渗透探伤法和着色渗透探伤法两种。

荧光渗透探伤法，是采用含荧光材料的渗透液的探伤方法。它用波长为3600A°±300A°㊀的紫外线进行照射，使缺陷显示迹痕发出黄绿色的荧光。本方法的观察必须在暗室中采用紫外线灯（不可见光）来进行。

着色渗透探伤法是采用含红色染料的渗透液的探伤方

㊀ 1Å = 10^{-10}m，下同。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

法。它在自然光下或白光下可以观察出红色的缺陷显示迹痕。只要在明亮的地方，都可以进行着色探伤。与荧光渗透探伤相比，着色渗透探伤不大受探伤场所、电源和探伤装置等条件的限制。

另外，上述两种探伤方法中，根据清洗渗透液形式的不同，着色渗透探伤又分为水洗型、后乳化型和溶剂去除型三种。

水洗型和后乳化型渗透探伤方法所用的渗透液都是用水清洗的。水洗型渗透液可以直接用水清洗干净，而后乳化型渗透液因渗透液本身用水是洗不掉的，要把乳化剂加到试件表面的渗透液上，再用水洗净。溶剂去除型渗透探伤法所用的渗透液是用有机溶剂进行清洗去除的。

渗透探伤可检查金属和非金属材料表面的开口缺陷。如表面裂纹、折叠、疏松、气孔等。

五、涡流探伤仪

涡流检测就是在导电的试件（导体）内发生涡流电（简称涡流），通过测量涡流的变化量来进行试件的探伤、材质的检验和形状尺寸的测试等。

如图 1.1-4 所示，将线圈与导电的试件相靠近，把线圈接在交流电源上，通过交流电，在导电试件中就会感应产生交流电。这是由于线圈通过交流电时，能产生随时间而变化的磁力线，这些磁力线穿过导电试件，使它感应产生交流电。

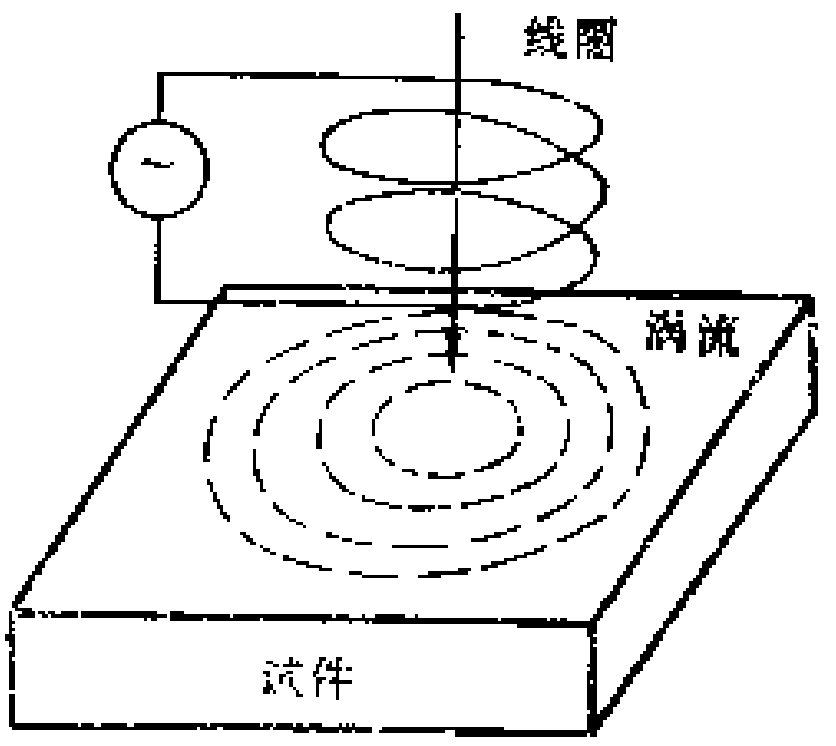


图 1.1-4　涡流的产生

如上所述，使用交流磁场

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

时，穿过导体的磁力线随时间而变化，在导体内部应产生感应电动势，从而有交流电流过，这种现象就叫做电磁感应。把所产生的这种交流电叫做涡流或者感生电流。涡流的分布及其大小，是由线圈的形状和尺寸、交流电频率、导体的电导率、磁导率、导体与线圈的距离、以及导体表面裂纹等缺陷的存在所决定的。

因此，根据所检测到的导体(试件)中的涡流，就可以取得关于试件材质的情况，如有无缺陷及其形状尺寸的变化等。

涡流是交流电，所以在导体的表面较多。随着涡流向导体内部的深入，电流按指数函数而减少，这种现象称为集肤效应。因此，从试件上取得的信息以表面上的为最多，而对内部检测来说，则缺陷愈深，检测愈难。

涡流探伤可以检查金属材料表面及近表面的缺陷，如管、棒、线等型材的裂纹、折叠、夹杂物、凹痕等。

2　自用探伤仪的电路框图、探伤原理、主要性能、灵敏度、使用范框、操作规程和维护保养简单知识

一、超声波探伤仪

1. 电路框图　各个厂家生产的A型脉冲反射式超声波探伤仪虽然型号不同，但其原理和基本线路组成相似，探伤

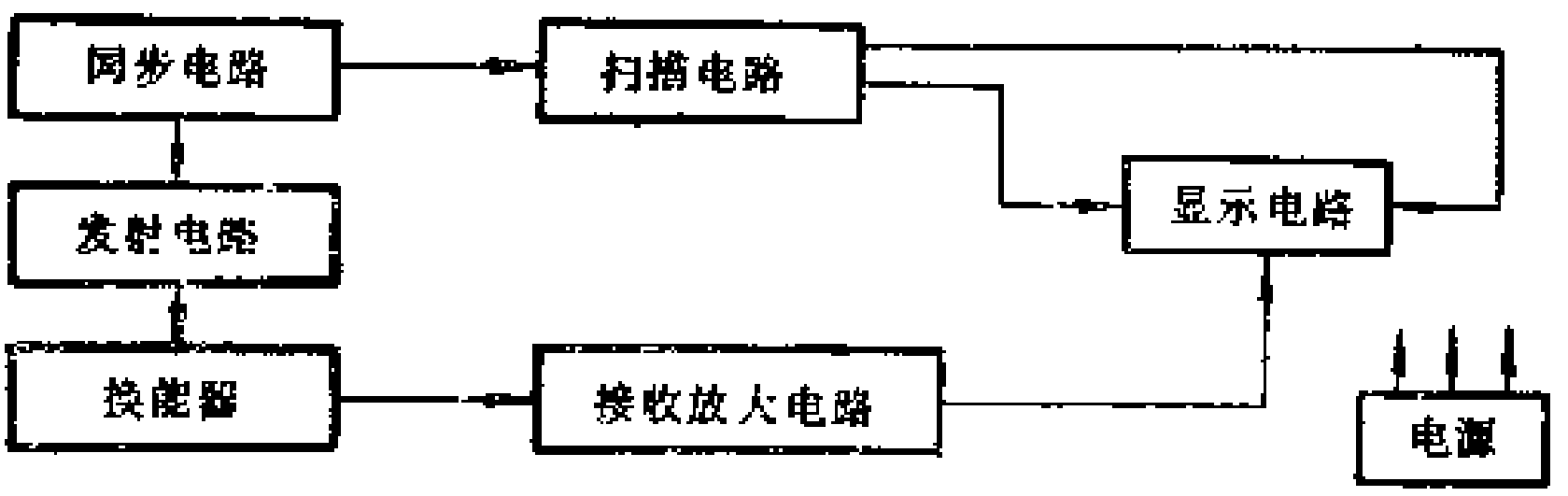


图1.1-5　超声波探伤仪电路框图

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

仪的基本线路组成的框图，如图1.1-5所示。

2. 探伤原理　振动在介质中传播的过程，称为波。波有电磁波（电波和光波）和声波（机械波）。声波能在气体、液体、固体中传播。根据频率不同，声波又可分为次声波、声波和超声波。

超声波具有好的方向性和强的穿透能力，在介质中传播时，有反射、折射、衰减等特性。由于声波在介质中的振动方向与波在介质中的传播方向不同，声波的波形可分为纵波、横波、表面波及兰姆波。

在无损检验中，用具有压电效应的压电式换能器，将超声波的机械振动（脉冲或连续波）通过耦合介质（油、水等）导入材料中，测定超声波从缺陷和界面反射波的时间差（反射法）或透过材料的能量差（穿透法）。从示波器的波型显示上便可判断其内部有无缺陷。

3. 主要性能　超声波探伤仪性能指标的好坏决定着超声波探伤的优劣，现就其主要性能叙述如下：

（1）分辨力　是指超声波探伤系统在时间轴上分开两个相邻缺陷回波的能力，通常用这两个相邻缺陷之间的距离表示（或用分贝值表示）。

（2）水平线性　仪器的水平线性又称时基线性，指的是仪器时基显示值与探测声波之间的正比例程度，也即电子束水平扫描电压与时间成正比例关系的程度。

仪器水平线性的好坏直接影响到缺陷定位的精度。

（3）垂直线性　探伤仪荧光屏上反射波高度与接收信号成正比关系的程度。

（4）动态范围　在仪器增益不变时，示波屏能分辨的最大回波与最小回波之间的dB差值。以 回波从示波屏的垂直

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

极限的80%衰减到消失时（一般为1 mm）仪器所加入的衰减dB数表示。

4. 使用范围　超声波探伤作为无损检测的一种重要手段，在工业上已获得广泛的应用。目前，仪器的品种、探头种类、探伤方法、自动化水平等各个方面都在不断地进行革新和发展中。

在超声波探伤中，由于使用的波形、发射和接收的方法、信号的显示方式、探头与工件的耦合特点、工件形状和缺陷类型、实现探伤的手段等都不相等，所以其使用范围大致有以下几个方面。

纵波探伤可用于大型和一般锻件粗加工之后的预检，以及热处理和精加工后的检查；大型设备在定期检修时，在不拆卸和少拆卸的情况下，它可对关键零部件进行探伤，以便发现疲劳裂纹和其它缺陷；它可以较高的灵敏度探测钢坯中的冶金缺陷，部分代替酸洗法宏观检验；用来观察底波的衰减程度及缺陷波的存在与否，还可判别大型铸钢件质量。

对裂纹等片状缺陷采用横波探伤灵敏度高，操作方便，机动性大，成本低。横波探伤还适用于检查板厚6 mm以上的对接焊缝，尺寸较大的管焊接头角焊缝和T形焊缝内的未熔合等危险性缺陷；它也可用来检查直径6 mm以上的管材和棒材的表面和内部裂纹、折叠、夹渣等。

5. 操作规程　一切工件和材料在进行超声波探伤时，均应有技术规程，以使探伤工作顺利进行和得出正确的探伤结论。

（1）被探工件表面粗糙度应达到Ra⊖的最大允许值为6.3μm，在难以利用机加工方法达到此要求时，至少应除

⊖ Ra为新国家标准GB—1031—83中规定的轮廓平均算术偏差值。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

掉工件表面上的氧化皮、锈蚀斑痕等不利于进行探伤的障碍物。为此，可用砂轮和砂纸等打磨，以便能达到Ra的最大允许值为25μm。

（2）探伤人员在探伤之前必须了解被探工件的材质、结构外形和施工工艺等，以确定探伤工艺和供判伤时之参考；做好探伤前的准备工作，如仪器、电缆、探头、试块、耦合剂以及记录用具和量具等的准备。

（3）确定探伤规范，包括波形、工作频率的选择；探头移动方式、速度、压力、仪器起始灵敏度以及声程的确定等。这是关系到能否发现缺陷，保证探伤质量的重要问题，它必须根据需要和实际情况来确定。

6. 仪器的维护保养　超声波探伤仪与所有电子设备一样，需要妥善保管与维护，在仪器的维护中应注意以下几点：

（1）仪器应放在通风干燥的地方，以免受潮。

（2）应注意仪器的清洁，用后需套上防尘罩，以免灰尘进入仪器。

（3）不要经常振动仪器。

（4）荧光屏不应在阳光下曝晒，以免使发光物质加速老化。

（5）经常使用的仪器应定期检修。

（6）仪器的配套设备及附件应妥善保管。

二、射线探伤机

1. 射线检验的基本原理　工业中应用的射线，是指一些波长极短的（Å的数量级）电磁波辐射和高能微粒子（如电子、质子、中子）流。

利用射线对物体具有穿透能力及物体对透过的射线有使

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

其衰减的特殊性来进行物体内部质量的检验。当物体内部有缺陷（气孔、疏松、夹杂）时，该处的密度和厚度有所改变，这样射线透过物体各部分的剂量就不一样，在感光胶片上便留下缺陷的影响，如图1.1-6所示。也可用荧光屏或工业闭路电视直接观察。

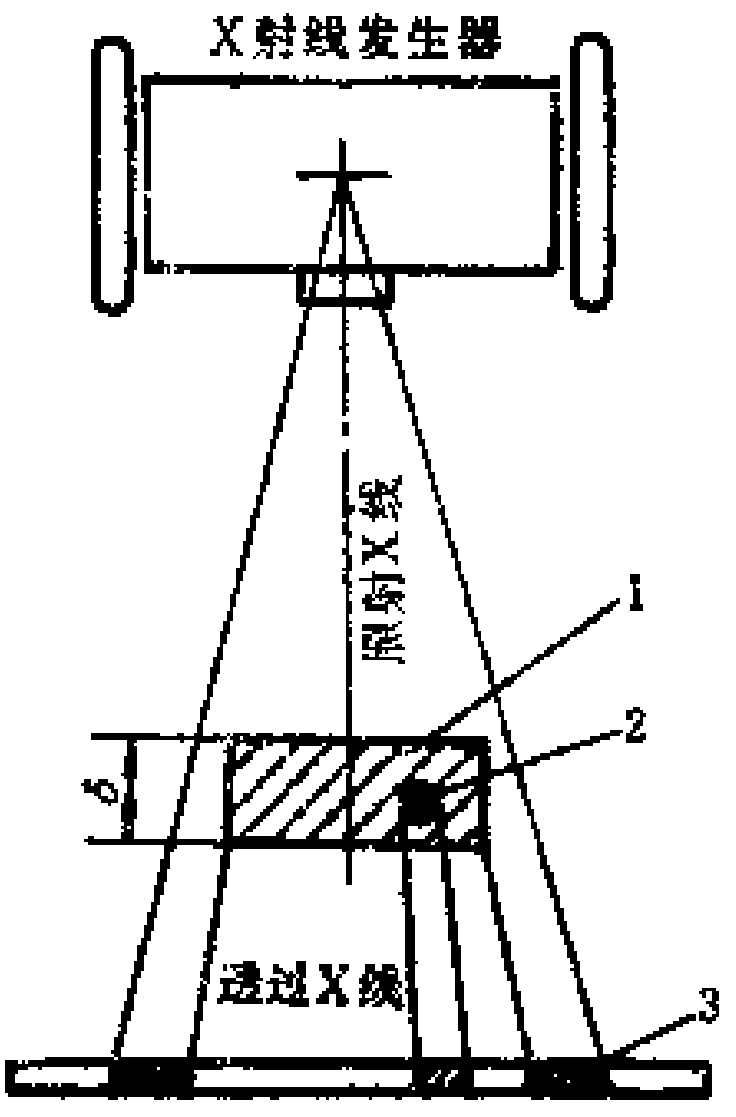


图1.1-6　X光射线照相法原理
1—被照物体　2—内部缺陷
3—X光感光胶片

2. X射线探伤机的电路框图　工业用的X射线探伤机的型号、规格繁多，但就目前广泛使用的X射线探伤机而言，其主要线路及基本部件都是大同小异的，而它的基本结构，主要由X射线发生器和控制箱两部分组成。

X射线发生器一般由X射线管、高压变压器、灯丝变压器、搅拌电动机和温度继电器等部件组成。在携带式X光机中，这些部件均装在一个密封的铁壳内，没有外露的高压部分，不用高压电缆，部件少，便于携带。

X射线机电路框图，如图1.1-7所示。

3. 主要性能　所有X射线探伤机都有自己的应用范围，我们应根据自己的透照对象、灵敏度的要求、工作场地等因素来选择适用的X射线探伤机。一般选择X射线探伤机都要考虑其穿透力、可搬动性、X射线管焦点的大小、管电流的大小和X射线束的形状等。

（1）X射线探伤机的穿透力　X射线探伤是利用射线

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

透过被检物质来发现其中是否有缺陷。所以，首先关心的是X射线能否透过我们欲检验的材料或焊缝。X射线的穿透能力取决于X射线粒子的能量或波长。一般X射线管的管电压越高发射的X射线波长越短，能量越大，透过物质能力越强。故选择较高额定管电压X射线探伤机可以得到高的穿透能力。

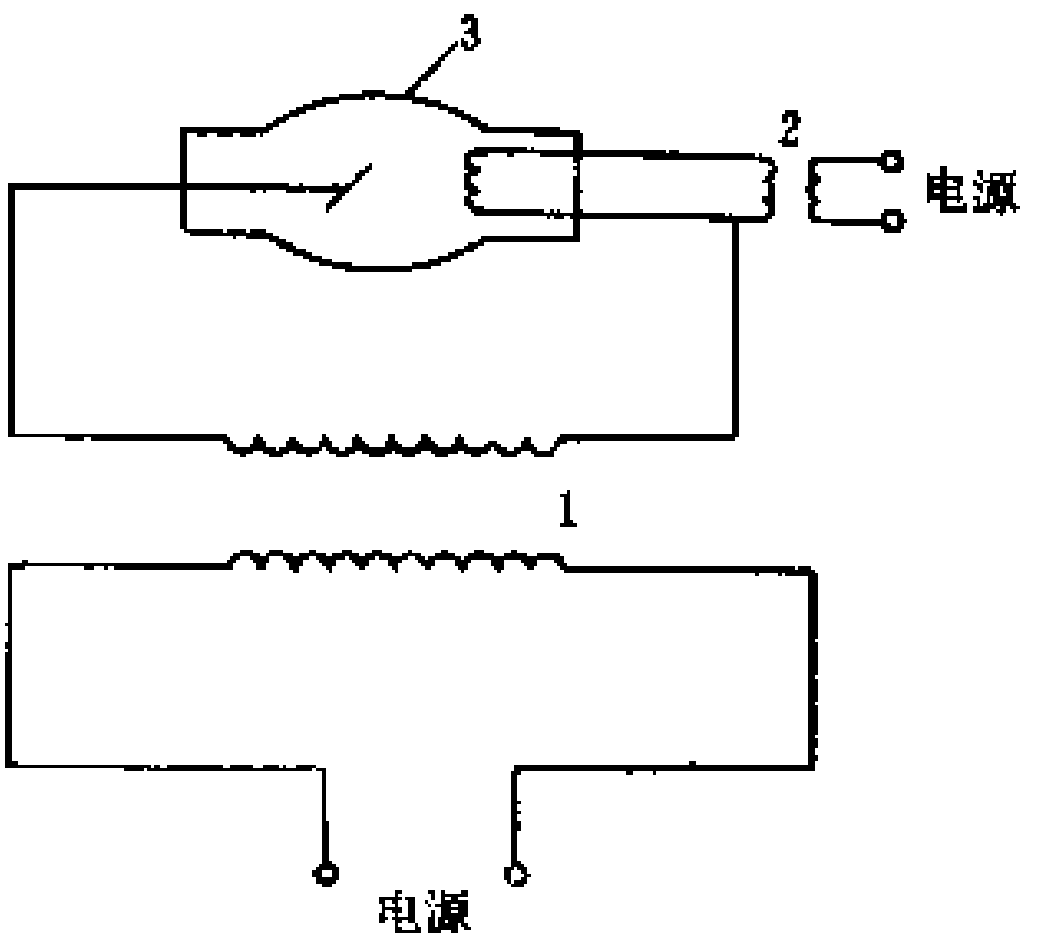


图1.1-7　X射线探伤机电路框图

1—高压变压器　2—灯丝变压器　3—X射线管

另外，X射线穿过不同物质时，物质对射线的吸收能力也不同，一般说被透照的物质原子序数越大，密度越大，对射线吸收能力越大。所以射线穿过轻金属或非金属较容易，穿过重金属较困难。如果被检对象为重金属就应选择较高额定管电压的X射线探伤机，如果被检对象为轻金属，则可选择较低额定管电压的X射线探伤机。

再者，射线的透过能力还与被检材料的厚度有关。射线在被检物质中经过的路径越长被吸收的越多，所以透照较厚的材料，就应选择较高额定管电压的X射线机；反之，透照较薄材料时就可选择较低额定管电压的X射线机。

（2）X射线探伤机的可搬性　X射线机按其可搬性分为携带式和移动式两大类。携带式轻便，易于搬动，适于流动性检验。对于大型压力容器、锅炉等设备的现场探伤，应选择携带式X射线机。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

移动式X射线机较重组件多。一般只能在实验室或固定场所使用。被检工件需送到固定的射线探伤室透照。移动式X射线机的管电压,管电流可以大于携带式X射线探伤机,其线路结构和安全性也较好。所以，制造厂、试验室等非流动性检验以选择移动式X射线探伤机为好。

（3）X射线管焦点的大小　焦点大小是衡量X射线机透照灵敏度的一项重要指标。因为X射线管的焦点的大小直接影响透照清晰度和发现缺陷的能力。焦点越小，缺陷成象越清晰，透照灵敏度越高。所以，为了保证射线透照质量，应尽量选择小焦点X射线机。特别是对于质量要求高的被检工件，必须采用小焦点，甚至微焦点X射线机。但是小焦点X射线机一般管电流(毫安值)都较小，这是因为小焦点的形成是由于高速电子集中撞击到阳极靶面的一小点上，热量集中。如电流过大，冷却不充分，阳极靶会被烧坏，这也是尽管焦点小对透照灵敏度有利，但由于容易烧坏而难以做得更小的道理。为了避免阳极靶烧坏，就需要减少单位时间内打在阳极靶上的电子数，从而使管电流减少。小焦点X射线机虽然可以拍出较高质量的照片，但由于电流小，透照时间势必长，对于一般要求的射线照相用普通焦点X射线探伤机已能满足要求了。

（4）X射线束的形状　一般X射线束约成40°的圆锥角放出，也有周向360°放射的全景拍照X射线机。前者适用于一般小范围拍照;后者对于筒体圆周焊缝的探伤特别适宜，一次就可以透照整条环焊缝，提高了效率。

以上介绍的穿透力、可搬性、焦点大小、射线束形状等均为射线机的主要性能。其它如工作可靠性、操作方便、经久耐用等性能也应予以考虑。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

4. 灵敏度　射线照相灵敏度是射线探伤中极为重要的性能。射线照相的目的是检验工件或焊缝中是否存在缺陷。射线照相采用的方法得当，照相灵敏度高，就能发现较小的缺陷；采用的方法不当，照相的灵敏度低，只能发现较大缺陷，因而搞清射线照相的灵敏度十分必要。

射线照相灵敏度，是指在射线透照的底片上，所能发现的工件中沿射线穿透方向上的最小缺陷尺寸而言（如图1.1-8中所示的 t）。即为绝对灵敏度。

我们知道，采用射线照相时，不同厚度的工件所能发现缺陷的最小尺寸也不同，较薄的工件容易发现细小缺陷，较厚的工件只能发现尺寸稍大一些的缺陷。所以，采用绝对灵敏度往往不能反映不同厚度工件的透照质量。如将能够发现的最小缺陷的尺寸用占被透照工件厚度的百分比来表示，此即为相对灵敏度或百分比灵敏度。目前国内外所说的射线照相灵敏度通常都是指相对灵敏度。

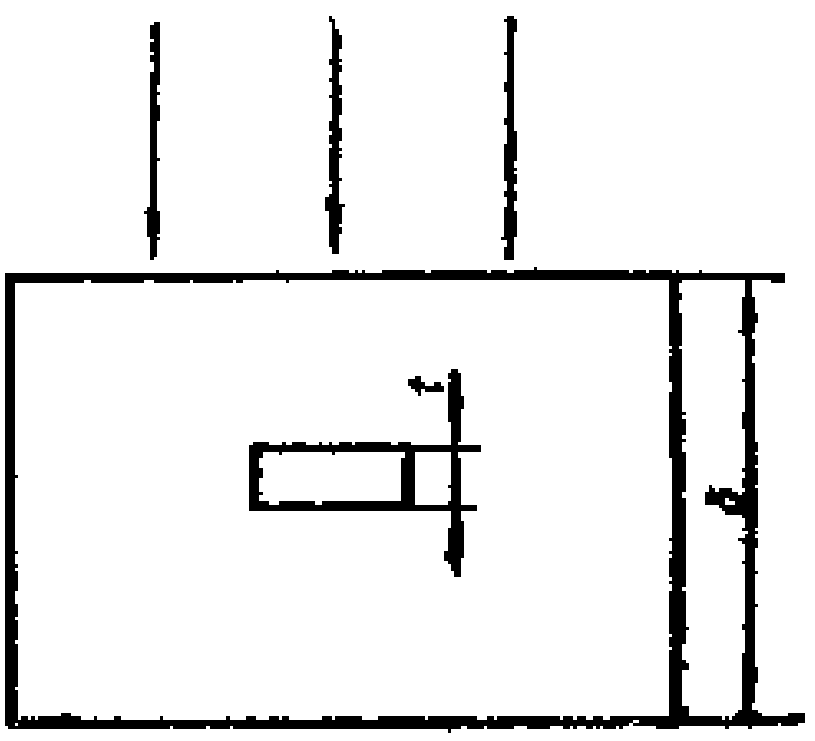


图1.1-8　灵敏度计算示意图

从图 1.1-8 可以看出，δ 表示透照方向上的工件厚度（mm），t 表示在透照方向上缺陷厚度，从相对灵敏度的定义可知，灵敏度 K 为：

$$K = t / \delta \times 100\% \qquad (1.1\text{-}1)$$

公式（1.1-1）说明了射线透照灵敏度的含义，但在射线照相中，被透照工件中所能发现的最小缺陷尺寸是无法知道的，一般是采用带有人为缺陷尺寸的透度计（如槽式透度计，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

孔形透度计）或金属丝透度计来确定透照灵敏度的。

5. 使用范围　射线照相法是适用于检查零件内部缺陷的无损检测方法。它在船体、管道和其它结构的焊缝和铸件等方面应用得非常广泛。

对厚的被检物来说，可以使用硬X射线和γ射线，薄的被检物则使用软X射线。这些射线能穿透钢铁的最大厚度约450mm，铜的为350mm，铝的为120mm。

对于如气孔、夹渣和铸造孔洞等缺陷，在X射线透射方向有较明显的厚度差别的，即使很小的缺陷也较易检查出来。相反，例如裂纹那样虽然有一定的面积而厚度很薄的缺陷，只有与裂纹方向平行的X射线照射时，才能够查出。而同裂纹面几乎垂直的射线照射时，就很难查出。这是因为在照射方向上几乎没有厚度差别的缘故。因而有时要改变方向来进行照射。

观察射线底片时，能够直观地知道缺陷的纤维形状、大小和分布等。并能估计缺陷的种类。只用一张底片是无法知道缺陷厚度以及离表面的位置的。但如果使用不同方向的两张底片，便能获得厚度方向上的缺陷情况了。

6. 操作规程　在了解前面所述的射线探伤基本原理以后，为使相互矛盾的因素协调平衡，摄得拍片质量良好的射线照相，射线探伤必须按照一定的规程进行操作。

（1）零件在经X射线检验之前，必须先经表面质量检验合格。

（2）需经X射线检验的零件应编制“X射线检验图表”（或称X射线技术卡）。该图表应包括以下内容：

1）零件名称、图号、材料牌号、类别。

2）X射线源至胶片间的距离。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3）标出零件透照部位的厚度，以便按曝光曲线选取X射线管的管电压、管电流与曝光时间等参数。

4）增感屏类型与厚度。

5）胶片类型。

6）质量验收标准。

（3）在所选择的最小焦距下，应使几何不清晰度U_g（图1.1-9）小于0.2mm。

（4）在X射线照相前，受检零件应作适当编号，以便区分不同零件及其不同部位。

（5）对散射线进行防护，在胶片袋背后放置一定厚度的铅板，可以防止背面来的散射线达到胶片，并能提高底片的透照质量。

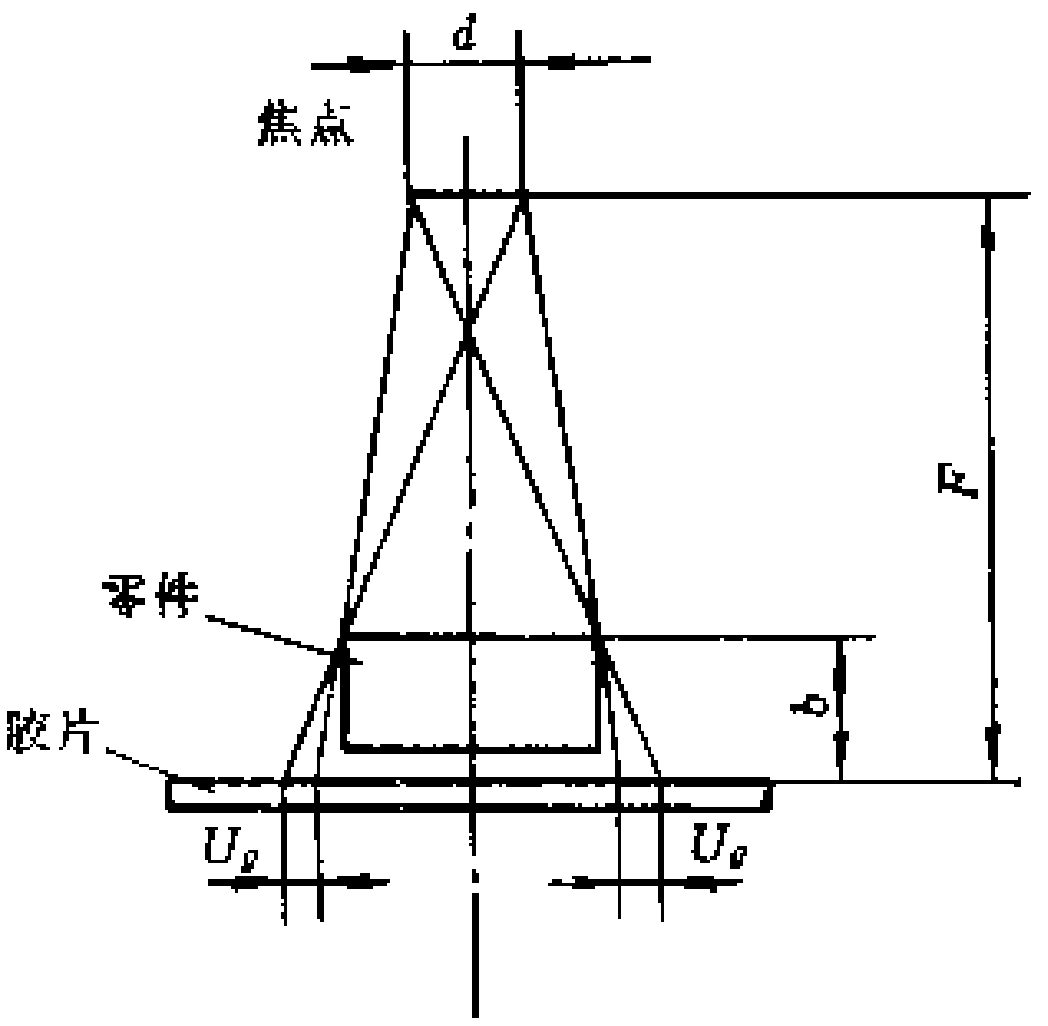


图1.1-9 几何不清晰度

（6）射线照相时按照要求，选择一定形式的象质计。象质计放在近射线源的工件表面接近胶片的一端，且应将最细的金属丝或最浅的凹槽朝向胶片的端部。

（7）看片灯的光线须均匀漫射，观察底片时须用遮板挡住多余的光线，看片室内光线应暗淡，但不宜完全黑暗。

（8）底片应保存在干燥通风的房间内，须按产品类别分别装入底片袋内，以备查阅。

7. 维护保养的简单知识

（1）X射线探伤机久隔数月后使用时，必须按说明书

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

要求，进行高压训练，减少管内少量的残存气体，使X射线管的稳定性增加。

（2）从有机玻璃窗口检查X射线发生器内有无气泡，若有气泡，应找出原因，排除漏气故障，然后将气泡排除。检查时需将X射线发生器水平放置，轮流抬高两头，使气泡聚集在有机玻璃窗口。

（3）X射线机应放置在干燥通风的场所，防止电器部件受潮。

（4）搬运X射线机时，必须注意避免激烈振动。长途搬运时，X射线机必须直放，而且需采取防振装置，以免损坏X射线管。

（5）一般情况下，使用X射线机时，应接冷却水。如水源有困难，可用压缩空气代替水。且使出气口对准X射线发生器的最热部分，以继续吹气冷却。

（6）X射线发生器内应充满变压器油，发现泄漏，必须及时处理并补充变压器油，然后排除进入的气体。

X射线发生器内的绝缘油，一般是用25号变压器油，这种油在进行2.5mm的标准间隙测试时，耐压50kV以上，在X射线发生器内不低于40kV。若发现变压器油的绝缘性能降低时（即升高电压时可能产生的啪啪放电响声），此时应进行真空换油。

3 常用辅助设备的种类、名称、规格、型号、使用规则及保养方法

在无损探伤工作中，除了专用的探伤仪器以外，还经常要使用一些辅助设备。如用于测量钢板厚度、射线剂量强度以及裂纹深度所使用的超声波测厚仪、γ微伦计、裂纹测深仪等。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

一、超声波测厚仪

数字式超声波测厚仪，是一种以数字显示的袖珍式通用性无损检测仪器。使用本仪器可以从单面无损的测定被测件厚度。主要用于测量钢。其它凡是超声波可以通过而衰减不大的材料，也可以用本仪器测厚。尤其是象油气管道、锅炉管道、各种钢管、各种高压容器壁厚的测量，以及其它无法同时能对材料两面进行测量的场合，使用本仪器测厚更为适宜。另外本仪器对被测件的表面粗糙度要求不高。对于表面有薄的漆皮、一般锈蚀不需要打磨光滑，便能测出厚度。对于一般钢材来说，其测量范围可在 1.5～99mm 之间。

1. 使用规则

（1）本仪器可使用外接直流稳压电源或电池。

（2）在进行测量时，要使用甘油、机油或水玻璃作耦合剂，同时应在试块上对仪器读数进行校准。

（3）测量管道焊缝时，要细心地摆动探头，使它与管壁正交，以求得到稳定的读数。

2. 维护保养

（1）若机内有电池，且仪器较长时间不用时，应将电池取出，以免电池流出电解液而腐蚀周围部件。

（2）测厚探头使用时，要有足够的耦合剂，直接按下或提起，不要滑动摩擦，以便延长使用寿命。

（3）探头端面应保持平滑，避免划伤，否则将影响探测精度。

（4）插头和连线接触处易断，使用时应经常注意检查。

二、裂纹测深仪

LS-3 型裂纹测深仪是，为测量钢材零件表面已发现的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

裂纹深度而制造的。这种仪器只适用于测量零件表面已发现的小于 30mm 深的裂纹，当用肉眼或探伤仪器发现钢材零件表面有裂纹时，可使用本仪器测量裂纹的深度，作为该零件是否可以继续使用，应该修理或必须报废的一个依据。以保证安全和节约原材料、工时。这种测深仪器适用于各种碳素钢及合金钢材料制造的零件。

被测零件的几何形状复杂，裂纹两旁不能容纳测量探头时，不能使用 LS-3 型裂纹测深仪器，且对有色金属材料此仪器亦不能使用。

1. 使用规则

（1）仪器接通电源时，应进行预热。

（2）在测量之前，应将探头的四根探针垂直地紧压于试块上，在有裂纹或无裂纹的地方需反复对仪器进行调整。

（3）用砂布或砂轮机等工具，认真打磨被测工件表面，并彻底地清除锈痕。

（4）在测量裂纹时，应再次在工件表面上对仪器进行调整。

（5）若测量精度要求较高时，或被测工件材质的电导率与本调整试块相差较大时，可用与被测工件相同的材料做一标准试块，用此试块作为基准，调整仪器进行测量。

2. 使用保养及注意事项

（1）本仪器探头的探针采用钨钴硬质合金烧结制成的，使用时应垂直平稳，不要将探针强行折弯，以免造成折断。

（2）由于探头的接收信号很微小，易受干扰，故探头内部的引线不要随便乱动，以保证探头的灵敏度。在使用时不应使探头受到剧烈振动。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（3）探头应经常保持清洁，长期不使用时，要涂上防锈油，以免生锈影响使用。

三、剩磁检查仪

剩磁检查仪主要用于检查工件在退磁后残余磁场的大小，以代替用大头针检查工件剩磁的测量方法。同时亦可对垂直于工件的磁场强度作相对测量。

1. 使用规则

（1）使用前应先检查仪表指针是否指零，量程开关应在“断”的位置上，然后将电源插头插入仪器的电源插座上，将其锁紧，接通电源。

（2）将探头插头一端，插入仪器的探头插座上，并转动固定环将其固定在插座上。

（3）为提高测量精度，仪器在使用前，应进行校正。

（4）检查结束时，将测量开关转至“断”的位置，电源开关拨至“关”的位置。

2. 保养注意事项

（1）检查时应使被测工件和探头逐渐接近，以防仪表指针突然超出满示值后冲击受损。一般情况下，量程开关应先放到较大位置。

（2）在使用时，应轻拿轻放探头，防止受冲击或剧烈振动，以免探针的磁性能发生变化，降低探头灵敏度，使仪表指示值失准。

四、γ剂量报警仪

1. 个人γ剂量报警仪　PD-726型直读式个人γ剂量报警仪，主要用于从事放射性工作人员的个人外照剂量监测。特别适用于放射性的事故处理、工艺维修和剂量率波动变化大的场合中，个人X、γ剂量监督和测量。在使用过程中能

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

够随时读出个人所受的累积剂量值，同时还可以按预先选定的剂量阈值进行声响报警。

2. 使用规则及其保养　为安全可靠，仪器在每次使用之前，必须进行检查。电池电压不得低于 8 V。接通电源后仪器应显示数字或全零；应用手按着检验开关快速计数，同时还根据报警选择在不同档时应有不同频率的声响。此时最好再使检查放射源检验一次。然后按动一下置零开关，显示全零，便可进行使用。

在一次使用场合，仪器应罩以透明的塑料套，以防沾污难以清洗。这种报警仪在不使用时，应放在干燥通风的地方，并从机内取出电池。

五、特斯拉计

CT3 特斯拉计是利用霍尔效应原理，采用晶体管放大电路和磁电系指示仪表构成多量程特斯拉计，能快速测量交直流磁通密度，亦可供磁性测量工作人员作为检测磁性材料之用。

1. 使用规则　先将下首旋钮指示“关”的位置，用旋凿调节仪表中心的机械零调器，使指针准指仪表零线，再将变送器插头旋入变送器插座中。

（1）粗校—将下首旋钮指示“粗校”的位置，接上电源 4min 后，调节校准旋钮，使指针指校准线。

（2）零位调节—由二支旋钮组成，一是调相位，其次是调幅度。先将上首旋钮指示到 25mT 处，下首旋钮指示“测量”处，可先调节任一个零调旋钮使指针指示最小值，再调节另一个旋调钮调到更小值，并反复逐一调节，同时把上首旋钮逐步减小到“5”mT ⟶ “1”mT，使调节指针指在 1mT 处与黑色零位线（0）中间，愈接近零愈好，一般

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

能碰到边缘亦可（对测量大于 50mT 磁场时，调零要求可放宽些）。

（3）校准—零调后，将上首旋钮指示“校准”处，下首旋钮仍指示“测量”处，再将变送器插到“校准磁场”孔底，轻微旋动变送器，使指针指示最大值，再从“校准磁场”孔中抽出变送器旋转 180° 后，再插入孔底轻微旋动变送器，再取最大指示值，然后调节“校准”旋钮，使二次读数的平均值在校准线上（例：当第一次最大读数为标准线不到 2 格，第二次最大读数为不到 1 格。则此时应使变送器位置不动，调节校准旋钮使指针指示在超过校准线半格处，就能达到要求了）。

（4）测量—把上首旋钮指示到大于或等于欲测磁场范围的量程。下首旋钮指示“测量”档，当发现仪表指示不到零位范围内时应重复“调零”步骤。

2. 仪器的维护

（1）仪器使用完毕，随即将保护套套上。

（2）仪器不宜放在有腐蚀性或潮湿处贮存。

（3）仪器不宜放在具有强磁场处存放，至少距离 1m 以上。

（4）在搬运中应将仪器下首旋钮指示“短路”处。

4 常用工具、用具（或材料）的种类、名称、规格和用途

在无损探伤的工作中，由于所使用的设备不同，需用的工具、材料也就各异，且种类繁多。为方便探伤工作者，现就常用的工具、材料之用途加以说明。

一、超声波探伤试块

在超声波探伤中，都是借助各种参考试块来校验探伤仪

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

器和探头的某些性能。在调整探伤灵敏度和对某些缺陷进行定量，也是利用参考试块作为基准进行确定和比较。

另外，在探伤中，为了对同一工件的同一缺陷有统一认识，以便制造厂和用户之间对工件质量的优劣有同样的评价，也需要以众所公认的某种试块做为仲裁。因此，试块已成为超声波探伤中一个不可缺少的组成部分。

1. 试块的用途

（1）校验超声波探伤仪的性能指标；如灵敏度、分辨率、时基线性、垂直线性等。

（2）检测探头的某些物理性能；声束指向性、斜探头的入射点、折射角等。

（3）制作距离振幅曲线，绘制 DGS 标尺面板；即用于测定回波高度随探头距离而变化的关系。

2. 试块的种类、名称、规格　在超声波探伤中，常用的试块一般有如下两种：

（1）用于纵波探伤用 CS-1 型试块，其结构形状如图 1.1-10 所示，其尺寸如表 1.1-1 所列。

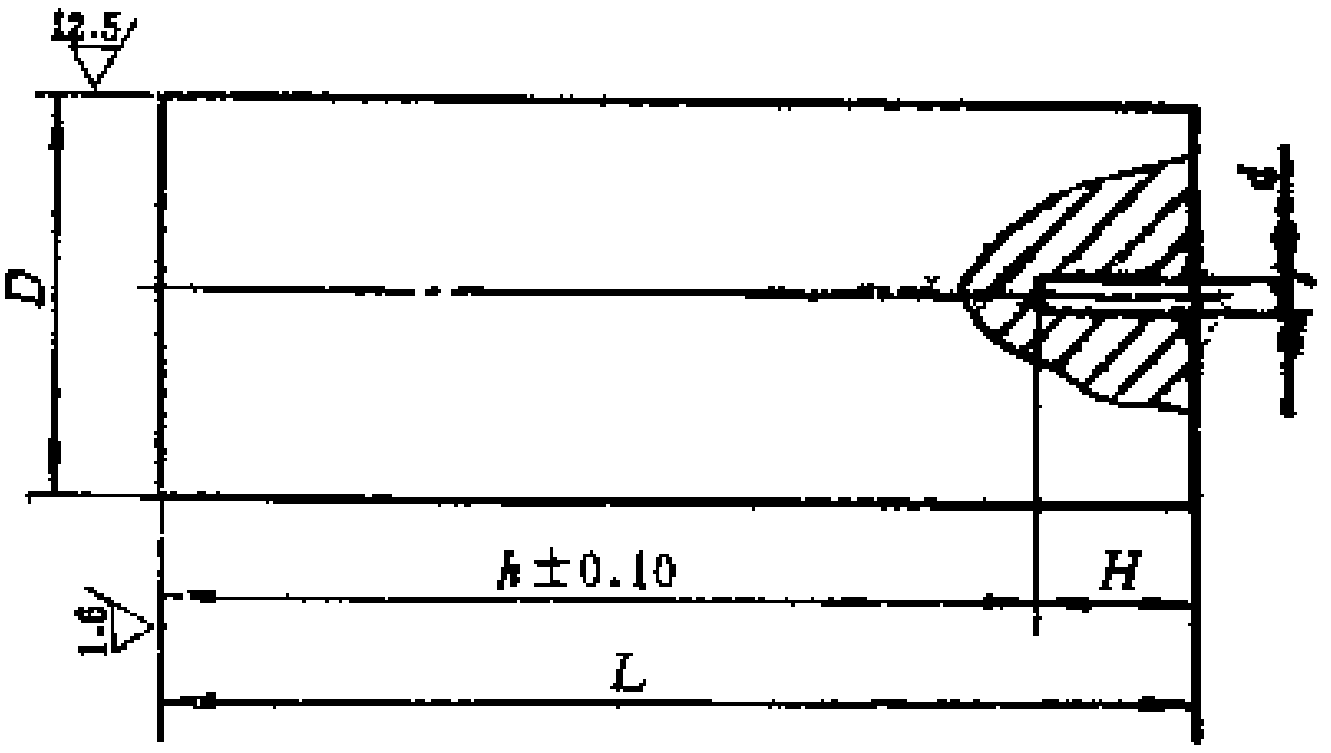


图1.1-10　CS-1型试块结构形状

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）用于横波探伤用的有CSK-Ⅰ、CSK-Ⅱ、CSK-Ⅲ型试块，其结构形状如图1.1-11、图1.1-12、图1.1-13所示。

表1.1-1　CS-1型试块尺寸表　　（mm）

序　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
全长（*L*）	75	100	125	175	225	75	100	125	175	225	75	100	125	175	225
直径（*D*）	40	45	50	60	70	40	45	50	60	70	40	45	50	60	70
平底孔距探测面距离（*h*）	50	75	100	150	200	50	75	100	150	200	50	75	100	150	200
孔深（*H*）	25					25					25				
孔径（*d*）	2					3					4				

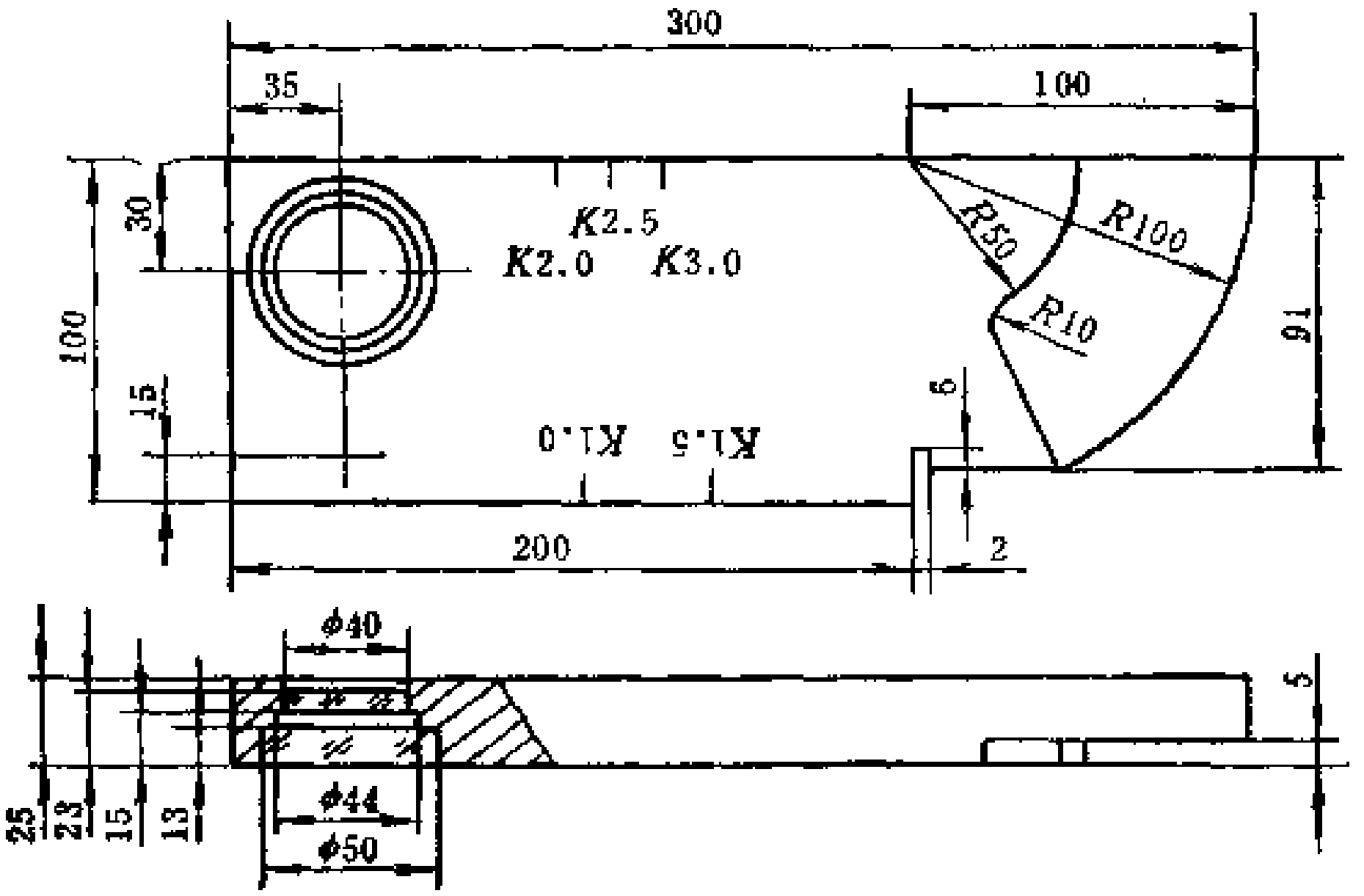


图1.1-11　CSK-Ⅰ型试块

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

其余 ▽

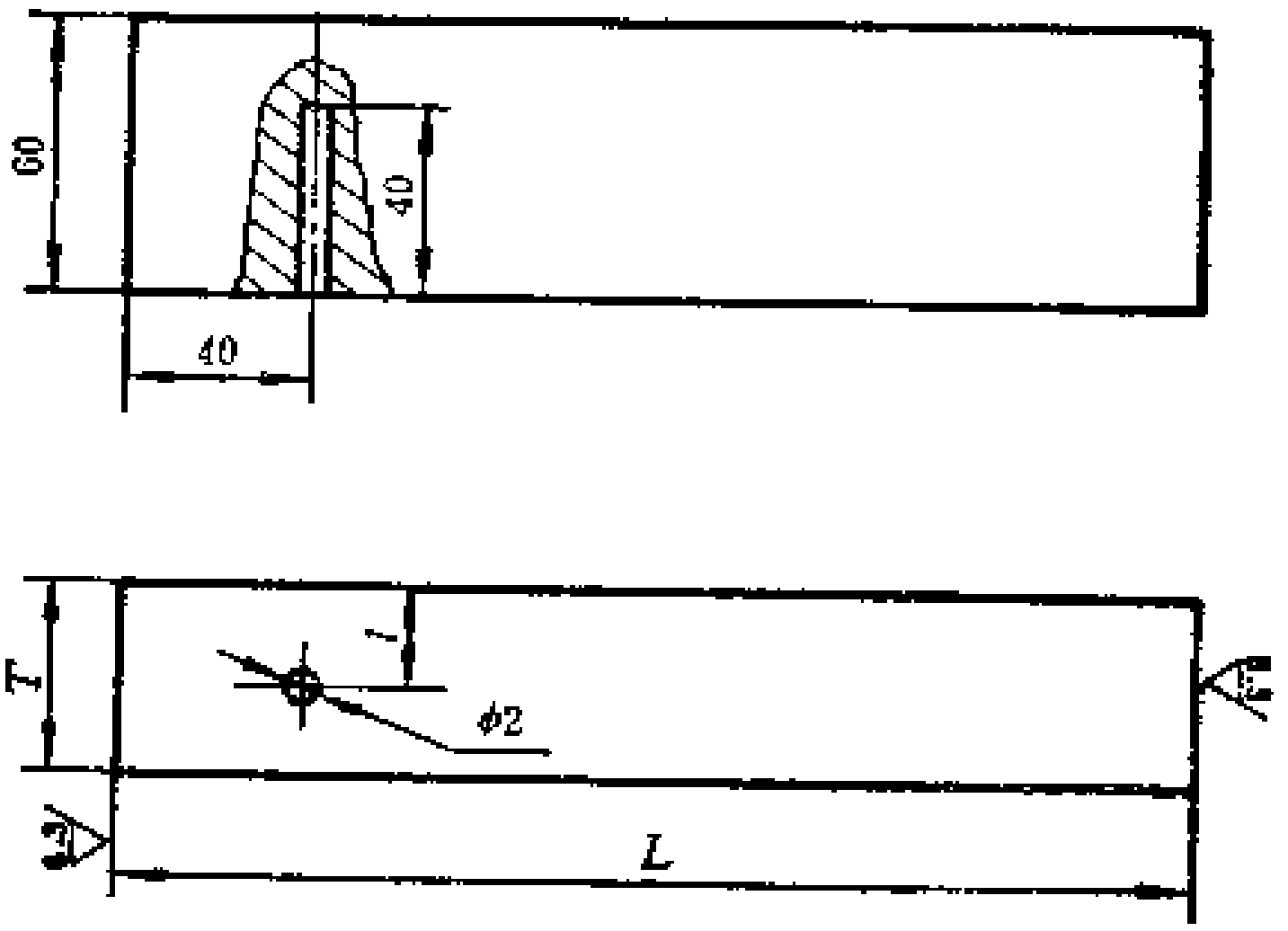


图1.1-12 CSK—Ⅰ试块

全部 ▽

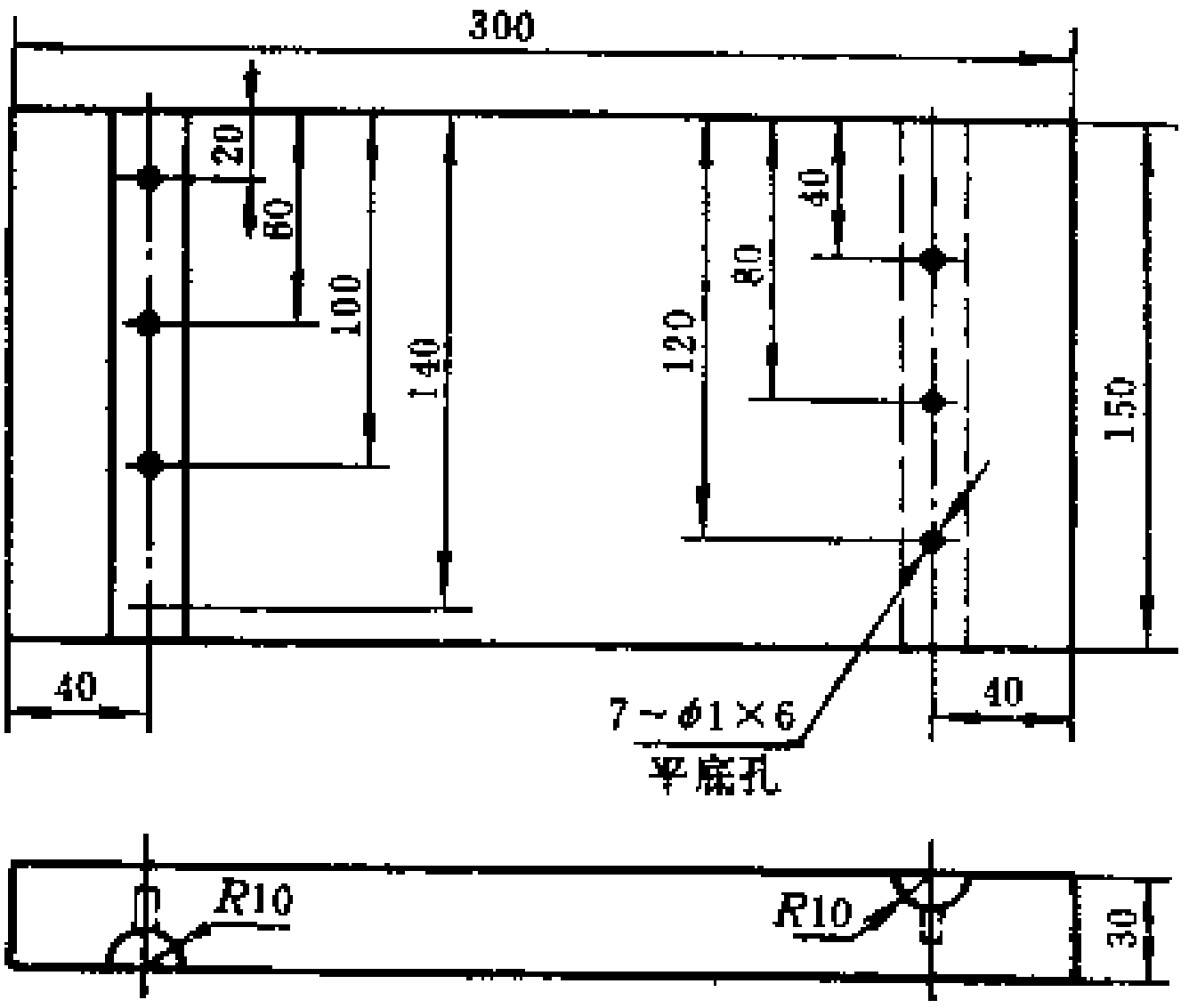


图1.1-13 CSK—Ⅱ型试块

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

二、磁粉

1. 磁粉的分类　磁粉探伤中所使用的磁粉，按其使用方法基本上可分成干磁粉和湿磁粉两大类。

（1）干磁粉　干磁粉是干磁粉探伤时所使用的磁粉，它是依靠空气的浮力撒布在工件表面上，被漏磁场吸引显示缺陷痕迹。

干磁粉的颗粒度一般比较大，其平均直径在10～60μm之间。这是因为干磁粉在使用时若颗粒度过小易飞扬而不能均匀地撒布在工件表面之故，所以干磁粉的颗粒度略大一些。

（2）湿磁粉　湿磁粉都用液体（水或油）作为悬浮剂配成磁悬液后使用。为了减少磁粉在磁悬液中的沉淀，湿磁粉的颗粒度要求小一些。其平均直径一般在1～10μm之间。

（3）常用的磁粉　在干、湿两种磁粉中，若以磁粉的颜色分类有黑磁粉、红磁粉、白磁粉和荧光磁粉等。

黑磁粉是一种黑色的Fe_3O_4粉末，它的密度约在2.5g/cm^3左右，磁粉的磁性称量大于8g。黑磁粉在浅色工件表面上能形成清晰的黑色磁痕，是一种在磁粉探伤中应用最广泛的磁粉。

红磁粉是一种颜色为铁红色的γ-Fe_2O_3型晶体粉末，它的磁性称量可达10g左右。

白磁粉是由黑磁粉（Fe_3O_4）与白色的粉末状颜料进行物理合成而制成的一种表面成灰白色的磁粉，它的磁性称量大于7g，较红、黑磁粉略差一些。白磁粉比较适合黑色（深色）表面工件的磁粉探伤。具有反差大，显示效果好的优点。

为提高磁粉探伤质量和效率，改善工作人员劳动条件，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

近年来开始将磁粉探伤技术和荧光技术相结合，研制了许多性能优良的荧光磁粉，同时发展了荧光磁粉探伤技术。

荧光磁粉是荧光物质，磁粉和明胶按一定的比例配制成均匀的胶体混合物，然后用机械方法复合而制成。荧光磁粉必须具有荧光强度大、粒度细、磁粉称量高的技术性能。

湿、干用普通磁粉，荧光磁粉的型号，规格分别如表1.1-2、表1.1-3、表1.1-4所列。

表1.1-2 干用普通磁粉

型号	名称	粒度（目）	磁性（g）	备注
HK-1s	黑磁粉	80～100	>15	用于干粉磁粉探伤
HK-1₄	黑磁粉	120	>15	
HK-1₅	黑磁粉	150	>14	
HK-2s	红磁粉	80～100	>15	用于干粉磁粉探伤
HK-2₄	红磁粉	120	>15	
HK-2₅	红磁粉	150	>14	
HK-3₂	白磁粉	80～100	>15	用于干粉磁粉探伤
HK-3₃	白磁粉	120	>15	
HK-3₄	白磁粉	150	>15	

表1.1-3 湿用普通磁粉

型号	名称	粒度（目）	磁性（g）	备注
HK-1₁	黑磁粉	200	>9	水、油两用
HK-1₂	黑磁粉	300	>8	
HK-2₁	红磁粉	200	>8	水、油两用
HK-2₂	红磁粉	300	>7	
HK-3₁	白磁粉	300	>1	水、油两用

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表1.1-4　荧光磁粉

型　　号	粒　度（目）	磁　性（S）	备　　注
HK-A1	250	＞4	只用于水
HK A2	300	＞4	只用于水
HK-B1	300	＞7	只用于水
HK-B2	400	＞7	只用于水
YC-2	300	＞6	水，油两用
YC-2	400	＞6	水，油两用

2. 磁粉的用途　磁粉的作用在于能够被缺陷部分的微弱漏磁场所吸附，从而将所发现的缺陷轮廓能清晰地显示出来，达到鉴别产品质量好坏之目的。

三、透度计

在射线探伤时，必须采用已知尺寸的人工缺陷图像质量指示器，来确定射线照相的灵敏度。在射线探伤时所使用的透度计有如下两个目的：

1. 获得射线照相灵敏度概念　在已知射线探伤工艺条件下，底片上显示出人工缺陷，以获得射线照相灵敏度概念。

2. 监视射线照相质量　射线探伤中所使用的透度计主要有线状透度计、槽式透度计和板式透度计，使用较广泛的是前两种。

按GB3323—82标准的第2.7条规定，在焊缝射线探伤中使用的线状（钢丝）透度计的外形及规格，分别示于图1.1-14和表1.1-5。

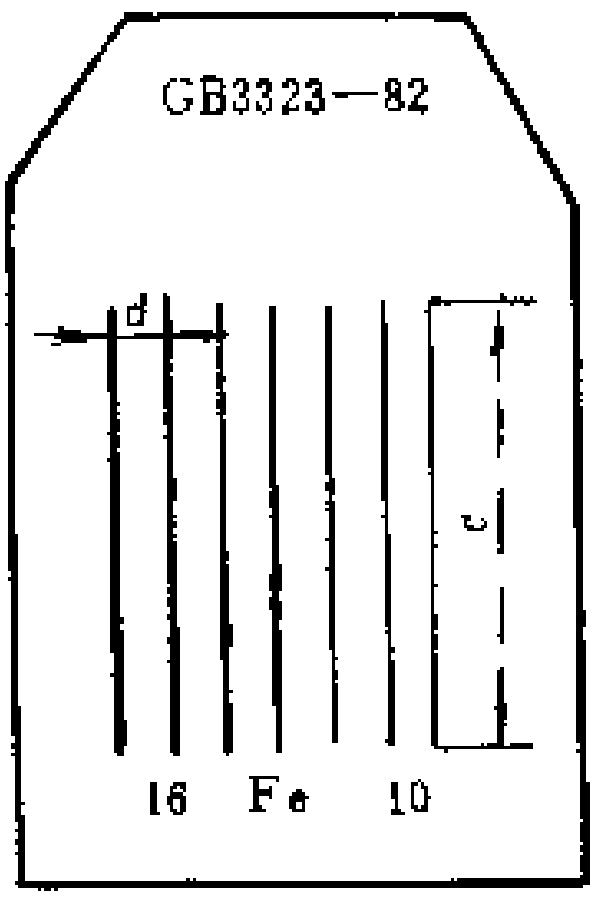


图1.1-14　钢丝透度计

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表1.1-5　钢丝透度计规格

型号	标志	使用范围（穿透厚度）(mm) 甲级	使用范围（穿透厚度）(mm) 乙级	金属丝编号及直径								e (mm)	d (mm)
Ⅰ	GB3323—82 6Fe17	40～160	35～110	编号	1	2	3	4	5	6	7	25或30	3～5
				金属丝直径 (mm)	3.2	2.5	2.0	1.6	1.25	1.0	0.8		
Ⅱ	GB3323—82 6Fe212	20～50	15～35	编号	6	7	8	9	10	11	12	25或50	5
				金属丝直径 (mm)	1.0	0.8	0.63	0.5	0.4	0.32	0.25		
Ⅲ	GB3323—82 10Fe316	<20	<15	编号	10	11	12	13	14	15	16	50	5
				金属丝直径 (mm)	0.4	0.32	0.25	0.2	0.16	0.125	0.1		
金属丝直径 (mm)		范围	0.10～0.125		0.16～0.5		0.63～1.60		2～3.20				
		公差	±0.005		±0.01		±0.02		±0.03				

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

一般的槽式透度计分为两种规格，其外形见图 1.1-15、规格如表 1.1-6 所示。

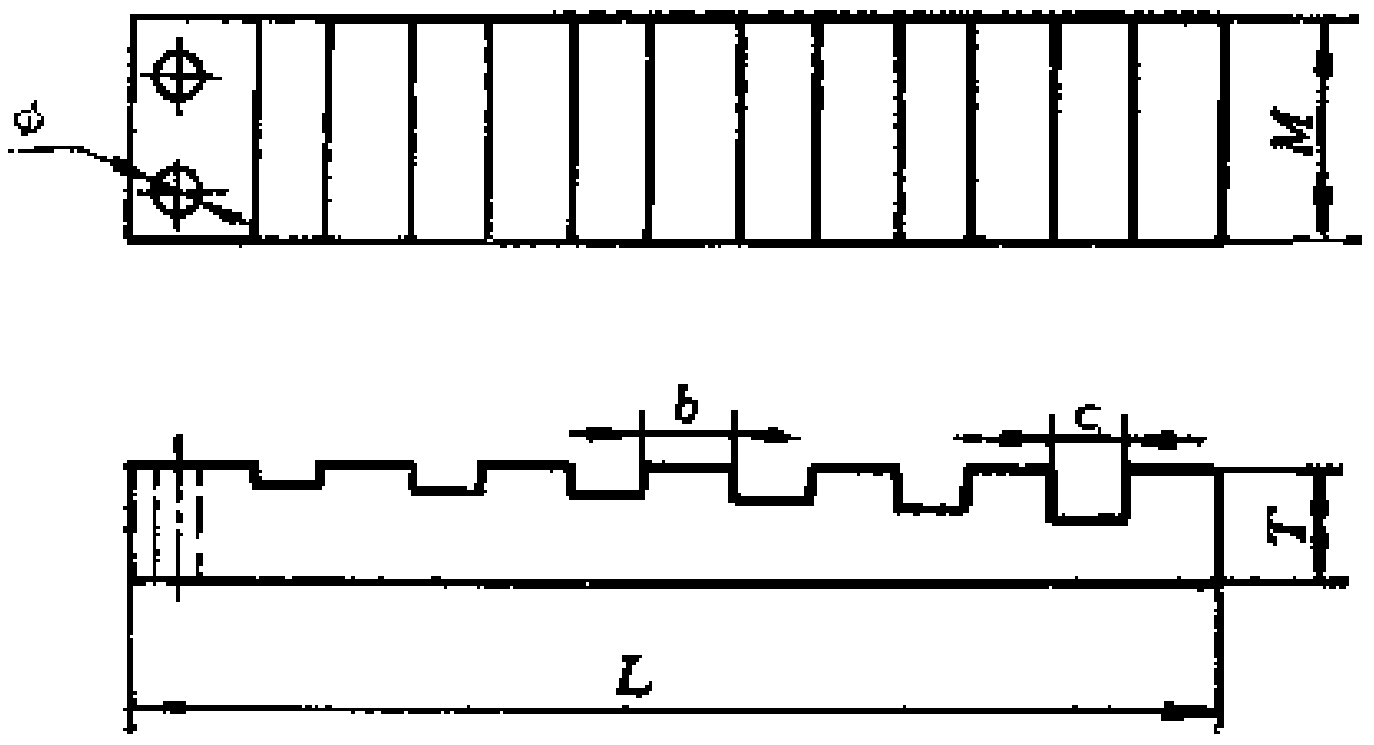


图1.1-15　槽式透度计

表1.1-6　槽式透度计规格

编号	槽数	凹槽深度（mm）	L	T	M	b	c
1	5	0.1　0.2　0.3　0.4　0.5	26	2	10		1.5
2	8	0.2　0.4　0.6　0.8　1.0　1.2　1.5　1.8	52	35	15		2

四、渗透探伤剂

液体渗透探伤剂按探伤的方法不同，通常由渗透液、乳化剂、清洗液和显像液组成。探伤液中若对有害元素的含量无特殊要求时，一般氯离子和硫离子浓度均不大于 1%。

1. 渗透液　渗透液分成荧光和着色渗透液两大类，按清洗方法的不同又可分成水洗型、后乳化型和溶剂清洗型三种。各种渗透液基本上由颜料、溶剂和表面活性剂组成。

各种配方的渗透液其性能尚有一定的差别，在使用之前应作下列几方面内容的检查。

（1）利用对比试块检查渗透液的渗透性能。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）外观检查渗透液的色泽，有否沉淀物，渗透后的清洗性能。

当渗透液均匀地涂布在带有缺陷的工件表面时，这种渗透液因毛细管作用，对缺陷边壁逐渐浸润而渗入缺陷内部。这就是渗透液最基本的作用。

2. 乳化剂　使用后乳化荧光、着色渗透液进行探伤时，在渗透处理结束后先进行乳化处理，然后用水清洗。乳化处理的目的在于使工件表面多余的渗透液产生乳化反应，使它容易被水清洗干净。

乳化剂主要有表面活性剂和适当的溶剂组成。乳化剂的粘度不宜过大，应容易地和渗透液发生乳化作用被水清洗干净。

3. 清洗液　使用溶剂清洗性荧光、着色渗透液探伤时，在渗透处理结束后，采用与渗透液配套的清洗液进行清洗。清洗液主要是由一些化学试剂配制而成的液体，其基本性能是对渗透液具有一定的溶解度，并在对工件清洗时易在工件表面铺展，驱除渗透液的残液。并且还应具有较高的挥发性，对材料无腐蚀，保存时性能稳定，无毒或低毒。

4. 显像液　液体渗透探伤中所使用的显像液，按其使用方法可以分成湿式，速干式和干式显像液三大类。显像液的主要成分有显像剂（白色粉末）、表面活性剂、溶剂、防锈剂等。干式显像液直接采用合适的白色粉末配制。

显像液性能的好坏，将直接影响在工件表面所形成的缺陷显示痕迹形状以及清晰度，还影响到对缺陷的辨认和评价。一般地说来显像液应具备颗粒细小、松软、色白、不易沉淀、保存时性能稳定、且易从工件表面被清除的性能。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

五、X射线胶片

为适应各种不同射线照相的需要，各胶片厂生产了各种不同性能的胶片。我们进行射线照相时，为了提高底片灵敏度，在选择胶片时，应考虑以下几个方面：

（1）胶片的对度；

（2）胶片的粒度；

（3）胶片的灰雾度；

（4）药膜（乳剂层）是否均匀；

（5）是否有假缺陷。

为了得到好的透照质量和高的底片灵敏度，应选用高对度、细粒度、低灰雾度胶片，胶片质量应稳定。在国外经常把两张胶片合起来拍片，这样可排除因胶片本身的毛病而误认为是被检件缺陷的可能。如果这两张胶片的感光速度不同、宽容度大、对检查厚度相差较大的零件更为有利。

国内外常用的胶片按溴化银的粒度大体可分为如下四类：

第一类　超微粒胶片，照相速度最慢。

比利时三角牌D2型；

英国依尔福B型。

采用这一类胶片时只用铅增感屏，不用荧光增感屏。

第二类　微粒胶片，照相速度慢。

比利时三角牌D4型；

英国依尔福C型；

国产天津工业V型。

这类胶片只用金属增感屏，不用荧光增感屏。

第三类　细颗粒胶片，照相速度较快。

比利时三角牌D7型；

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

英国依尔福F型；

国产天津工业Ⅱ型。

这一类胶片一般用金属增感屏，在满足灵敏度要求情况下，也可以采用荧光增感屏。

第四类　粗颗粒胶片，照相速度快。

比利时三角牌D10型；

英国依尔福G型；

国产天津工业Ⅱ型。

第一类、第二类胶片用于特殊要求的射线照相，特别是第一类胶片，只有对特别重要部件，要求很高灵敏度时才采用。第三类胶片用于一般要求的射线照相。我国天津感光胶片厂生产的天津工业——Ⅲ型胶片，是我国射线照相中采用最多的一种。第四类胶片适用于感光速度快的。

六、增感屏

为在射线探伤时缩短曝光时间，通常在X射线胶片的两面夹以增感屏。增感屏在使用时应与X射线胶片相互贴紧，否则会使射线照相清晰度和反差严重下降。常用的增感屏可以分成荧光增感屏和铅箔增感屏。

1．荧光增感屏　最常用的荧光增感屏是，采用荧光物质钨酸钙（$CaWO_4$）的粉末制作的钨酸钙荧光增感屏，这种物质在射线的照射下能够产生波长范围在3750～4800Å㊀的蓝色荧光，对胶片增加感光。

由于荧光增感屏对胶片增加感光的机理是，使用由射线触发的波长较长的蓝色荧光，且当射线照射停止以后，增感屏上的残余荧光继续对胶片进行感光。为此，采用荧光增感屏增感所拍摄的射线照片，其反差和清晰度都较差，所以目

㊀ 1Å = 10^{-10}m，下同

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

前在国际上一般不推荐使用，仅仅在特殊的场合下才允许与增感性胶片配合使用。

2. 铅箔增感屏　铅箔增感屏是目前在射线探伤技术中广泛采用的一种增感屏。

射线照射物质以后，射线光子即与物质相互作用，从而在物质中产生自由电子及特征射线。同样道理射线照射铅箔增感屏以后，在铅中产生自由电子以及特征射线，并对胶片增加感光，这就是铅箔增感屏的增感原理。

在射线探伤中使用铅箔增感屏的主要作用是：

（1）对X射线胶片增加感光；

（2）吸收射达胶片的散（软）射线。

铅箔增感屏在使用时，应根据射线的值对前屏（覆盖胶片靠近射线源一面的增感屏）和后屏（覆盖在胶片背面的增感屏）的厚度进行适当的选择，见表1.1-7。

表1.1-7　铅箔增感屏的选择

射线种类	射线的质	增感屏材料	前屏厚度（mm）	后屏厚度（mm）
X射线	kV≤120	铅	0.025～0.125	最小0.1
X射线	120<kV≤250	铅	0.05～0.15	最小0.1
X射线	250<kV≤420	铅	0.05～0.15	最小0.1
γ射线	$192I_r$	铅	0.5～2.0	最小0.15
γ射线	60_{Co}	钢或铜	0.5～2.0	0.25～1.0

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

由于铅对射线能量的吸收较为显著，在射线能量较低的场合下不宜采用，铅箔增感屏广泛地被用于X光机的管电压大于120 kV 的X射线探伤以及γ射线探伤中。

铅箔增感屏的最大优点是，由于这种增感屏是利用自由电子及铅的特征射线对胶片增加感光，而自由电子的尺寸是极微小的，特征射线与探伤所使用的X射线及γ射线在本质上无什么大的区别，所以所拍摄的射线照相清晰度和反差都比荧光增感屏所拍摄的要好，并且梯度也有所提高。

3. 增感屏使用时的注意事项　增感屏表面若沾有污物、灰尘和表面损伤，则会在照片上产生伪像。荧光增感屏中使用明胶作为钨酸钙的粘合剂，所以怕受热受潮。为此增感屏在使用中应注意如下几点：

（1）保持增感屏表面的清洁，防止沾有污物。若有污物粘在增感屏表面，应用药棉醮乙醇后仔细擦洗。

（2）增感屏不得硬性折叠，防止屏面断裂。

（3）荧光增感屏在使用时应注意防止受潮受热。

（4）在装拆X射线胶片时勿用手触摸屏表面，防止屏表面上留有指纹。

（5）增感屏必须与X射线胶片贴紧后方可进行感光，提高射线照相图像质量。

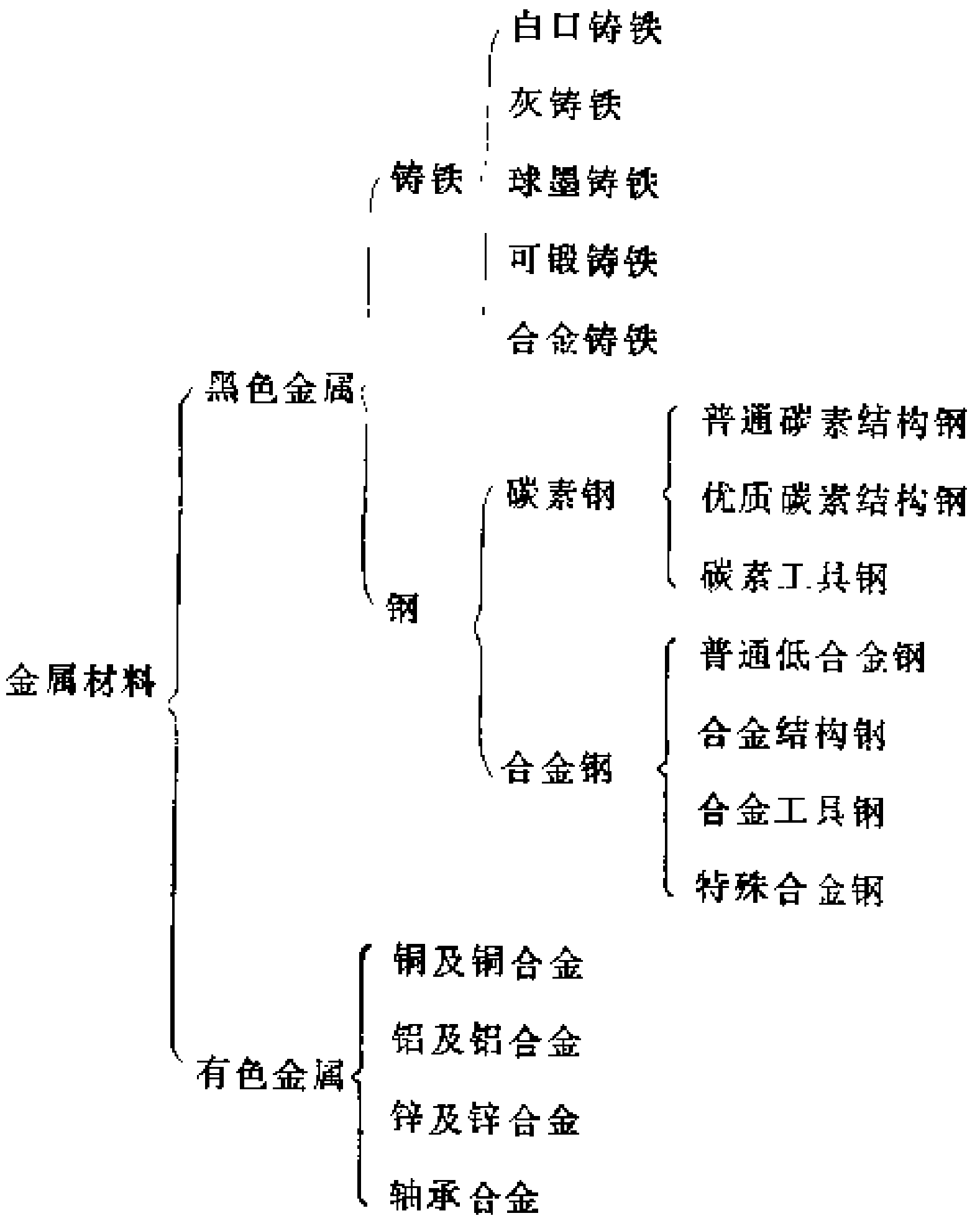
（6）增感屏表面不得有任何机械损伤，如发现屏面有机械损伤应及时更新。

5　常见金属材料的种类、名称、规格和牌号

金属材料种类很多，分类方法也各有不同，常用的金属

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

材料分类如下：



一、铸铁

铸铁是含碳量大于 2.06%的铁碳合金。工业上常用的铸铁一般含碳量在 2.2～3.8%。

铸铁具有良好的铸造性、耐磨性、减震性和切削加工性，具生产设备简单，价格便宜。

铸铁的种类，根据其中碳存在的形态不同可分为白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、合金铸铁。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

我国灰铸铁的牌号、性能见表1.1-8。

表1.1-8　灰铸铁的牌号、性能

代　　号	抗拉强度（MPa）	硬　度(HBS)
	不小于	
HT100	100	143～229
HT150	150	163～229
HT200	200	170～241
HT250	250	170～241
HT300	300	187～255
HT350	350	197～269
HT400	400	207～269

灰铸铁牌号用汉语拼音灰铁两字的第一个字母HT表示。后面还有两组数字，第一组表示最低的抗拉强度，第二组数字表示最低的抗弯强度，两组数字之间加“-”道连接起来。

球墨铸铁是在铸铁的铁水中，加入球化剂，使铸铁中石墨成球状，经过球化处理所得到的铸铁叫球墨铸铁。

我国球墨铸铁的牌号、性能见表1.1-9。

表1.1-9　球能铸铁的牌号、性能

代　　号	抗拉强度（MPa）	延伸率(%)
	不小于	不小于
QT450-0	450	—
QT500-1.5	500	1.5
QT600-2	600	2
QT450-5	450	5
QT400-10	400	10

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

球墨铸铁牌号用汉语拼音球铁两字的第一个母字 QT 表示。其后两组数字，第一组表示最低抗拉强度，第二组表示最低延伸率。

二、钢

钢是生铁（或生铁与废钢）炼成的。钢中除含有铁和碳外，还含有硅、锰、磷、硫等杂质。

1. 钢的牌号　钢的品种繁多，如何能简明地表达每种钢的主要特点，这就需要制定一个统一的牌号表示方法。目前使用的国家标准，(GB221—79)中有关钢铁牌号表示方法，有如下规定：

（1）所含元素用化学符号或汉字表示，常用化学元素命名表 见表 1.1-10。

表1.1-10　常用化学元素命名表

元素中文名称	铬	镍	硅	锰	铝	磷	钨	钼	钒	钛	铜	铁	硼	钴	氮	碳
国际化学符号	Cr	Ni	Si	Mn	Al	P	W	Mo	V	Ti	Cu	Fe	B	Co	N	C

（2）所含碳量及其合金元素含量均用数字表示，含碳量写在牌号的最前面，合金元素写在元素符号的后面。

（3）所含元素含量表示法

结构钢　含碳量以0.01%为单位，合金元素以 1%为单位。当合金元素含量少于 1.5%时，不以数字标出。

工具钢　含碳量以 0.1 %为单位，合金钢中含碳量大于1%时，不予标出。

（4）在牌号最末一个字母“A”或“高”字，表示高

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

级优质钢。

为熟悉钢的编号原则，在这里举例说明如下：

45钢　表示优质碳素结构钢，平均含碳量0.45%。

20 Cr 钢　表示合金结构钢，平均含碳量0.2%，含铬量不大于1.5%。

9SiCr　表示合金工具钢，平均含碳量0.9%，含硅、铬量分别不大于1.5%。

2. 碳素钢

（1）普通碳素结构钢　普通碳素结构钢又具体分为甲类钢、乙类钢和特殊钢三种：

甲类钢　这类钢只保证机械性能，不保证化学成分的钢。一般多制成型钢。代号用A表示，并注有阿拉伯数字，数字越大，表示材料的强度越高而塑性越低。如机械制造中常用的A3就是甲类钢。

乙类钢　这类钢是只保证化学成分，而不保证机械性能的钢。在使用前，一般需要经过热处理。代号用B表示。

特殊钢　这类钢既保证机械性能，又保证化学成分的钢。这类钢的质量较好。代号用C表示。

（2）优质碳素结构钢　优质碳素结构钢既保证钢的机械性能，又保证化学成分，同时钢中的硫、磷含较低，多用作重要的机械零件。

08、10、15钢强度虽低，但塑性较好，焊接性也好，并有良好的冲压弯曲性能。可用来轧成薄钢板、制造成容器、冲压件等。

15、20、25是低碳钢，经过渗碳淬火或氰化后，可制作承受冲压耐磨的小型零件，如轴、齿轮等。

30、40、45、50是中碳钢，热处理后有较好的综合机械

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

性能。其中以 45 钢应用最广。

60、65、70是高碳钢。这类钢经过淬火和回火后有高的弹性。

（3）碳素工具钢　在使用这类钢作切削加工应先经过退火（轧成出厂时已进行退火），以便于切削加工。制成工具后，经过淬火和低温回火，以保证使用性能。

碳素工具钢的牌号从T7 至T13，随着含碳量的增加，耐磨性逐渐升高，而韧性则逐渐降低，所以 T7 用作高韧性的工具；要求有高的硬度和耐磨性，而对韧性要求不高的工具，如锉刀及小型简单量具等用 T12 制造。

3. 合金钢　在碳素钢的基础上加入其它合金元素，如铬、镍、钨、钼、钒、铝、钛、硼等，便成为合金钢。

加入合金元素的目的是使材料得到某些特定的性能，增加硬度、耐磨、提高塑性和韧性及其不锈、耐酸等性能，还能增加淬透性和减小淬火时产生裂纹的现象。

（1）普通低合金钢　普通低合金钢只是在钢中加入少量的合金元素(总量<3%)。其机械性能较碳素钢高，焊接性、耐磨性、耐腐蚀性比碳素钢好，但经济指标与碳素钢相近。如 16Mn、15MV 钢等，用于制造压力容器、起重设备等。

（2）合金结构钢　合金结构钢是在钢中加入一定量的合金元素，从而提高了这种材料的耐磨性、淬透性、保证在较大截面上获得较高的机械性能。常用合金结构钢的牌号和用途见表 1.1-11。

（3）合金工具钢　合金工具钢按用途不同分刃具、模具和量具用钢三类，这种钢具有较高的硬度和耐磨性、足够的韧性、热处理变形小。常用合金工具钢的牌号和用途见表 1.1-12。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表1.1-11　常用合金结构钢的牌号和用途

牌　　号	应　　用　　举　　例
20Cr	齿轮、小轴、活塞销
20CrMnTi	汽车拖拉机上各种变速齿轮，传动件
20MnVB	可代替20CrNi钢作齿轮及其它渗碳零件
$20Cr_2Ni_4A$	内燃机车主动齿轮
40Cr	轴类、齿轮、连杆、螺栓
40MnVB	代40Cr钢作机床主轴，油泵，齿轮等
38CrMoAl	高精度镗杆、主轴、齿轮
GCr15	壁厚～20mm中小型套圈，ϕ＜50mm的钢球

表1.1-12　常用合金工具钢的牌号和用途

牌　　号	应　　用　　举　　例
9SiCr	板牙、丝锥、铰刀、钻头
9Mn2V	铰刀、板牙、各种变形小的量规
CrMo	各种量规与量块
Cr12MoV	在冷态下受塑性变形的模具
5CrMnMo	热锻模、热压模

三、有色金属

机械工业中常用的有色金属材料，主要是铜及其合金，铝及合金两种。

1. 铜及其合金　纯铜叫紫铜，其机械性能较差，一般用作导电材料，机械制造中多用其合金。铜和锌的合金叫黄铜。铜和锡、铅、铝等其它元素的合金称为青铜。

（1）黄铜　黄铜又可分为简单黄铜和特殊黄铜两种。

黄铜的牌号表示方法如68黄铜其代号为H68，其中H代

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表黄铜，后面阿拉伯数字68代表平均含铜量为68%的普通黄铜。

（2）青铜　青铜的种类有锡青铜、铝青铜、铅青铜、硅青铜、锰青铜等。

青铜用汉语拼音字母“Q”加第一个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示。例如：QSn6.5-0.1表示含锡量为6～7%、含磷量为0.1～0.25%的锡青铜，QA110-3-1.5表示含铝量为8.5～10%、含铁量为2～4%、含锰量为1～2%的铝青铜。

2. 铝及其铝合金　铝合金按制造方法不同，可分为铸造的和可压延的变形的两大类。可压延变形的铝合金又可分为热处理可强化的和不可强化的两类。

铸造铝合金的牌号表示方法如104号铸造铝其代号ZL104，其中ZL表示铸铝，其后第一位数字为合金分组号，第二，第三位数字为顺序号。

6　药液配方的名称、性能、主要成分、配制及使用注意事项

X射线胶片经过射线感光后，必须经过显影、停影、定影、水洗和干燥暗室处理步骤后，才能成为供在日光下观察的射线照相。

一、显影液

显影是一个比较复杂的化学反应过程，它的基本要点是利用显影液中的还原剂（显影剂）把X射线胶片中经过射线感光后的溴化银所形成的潜影还原成可见图像。

1. 显影液的组成　显影液主要由还原剂（显影剂）、保护剂、促进剂和抑制剂四大部分组成。

（1）还原剂（显影剂）　其主要成分作用是把已感光

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的溴化银还原成金属银。经常使用的药品有米吐尔、几奴尼（对苯二酚）和菲尼酮等。

（2）保护剂　显影液中的还原剂在碱性溶液中极易与空气中的氧结合而产生氧化物，所以在显影液中需加入一定的药品来阻止这种氧化反应，这些药品被称为保护剂。保护剂在显影液中的作用除了上述功用以外，还起清除在显影过程中所产生的银离子的氧化物，保持显影液的显影特性。常用的药品有亚硫酸钠。

（3）促进剂　绝大多数显影液配方的还原剂，只有在碱性溶液中才能与溴化银起显影作用，为此常用一些碱性物质来调节显影液的氢离子浓度，控制其离子度。这些物质就是促进剂，常用的药品有碳酸钠、硼砂、氢氧化钠、氢氧化钾和碳酸钾等。

（4）抑制剂　在许多显影配方中，常用溴化钾来减少显影液对溴化银的溶解度。由于溴离子吸附在溴化银表面，防止产生灰雾，使显影出来的图象具有较高的反差。在高反差的显影配方中溴化钾的用量一般都较多。

2. 典型的显影液配方　X射线胶片显影配方很多，比较典型的Agfa-30改进型配方如下：

水（50℃）	600mL
无水亚硫酸钠	60 g
几奴尼	9 g
无水碳酸钠	40 g
菲尼酮	0.23 g
溴化钾	3.5 g
加水至	1000mL

在配制上述配方时应注意如下几点：

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（1）配制时水温不宜过高，否则会使还原剂加速氧化，降低溶液的显影性能。

（2）必须按配方顺序添加各种药品，不得颠倒。

（3）加入一种药品以后应充分搅拌，待全部溶解后再加入后一种药品。

（4）暂时不用的药液配制好后，应及时注入棕色的玻璃瓶（满瓶）内，密封好后避光保存。

二、停影液

利用弱酸溶液使显影结束后的胶片立即停止显影的过程称为停影。停影可以防止射线照相显影过度，中和残留在射线照片上的碱性物质，延长定影液的使用寿命。

停影液可以使用废旧的酸性定影液，也可以按下列配方配制专门的停影液。

水	750mL
醋酸（28%）	48mL
加水至	1000mL

三、定影液

定影液主要是溶去未感光的溴化银微粒，使X射线胶片失去感光性能。即使以后再受到任何射线或光线的照射，也不会再产生感光，使照相上的图像固定下来。

1. 定影液的组成　酸性坚膜定影液一般由溴化银溶剂，中和剂、保护剂和坚膜剂组成。

（1）溴化银溶剂　在定影液中的作用是把X射线胶片中未感光的溴化银溶去，使射线照片上的图像固定下来。常用的药品有硫代硫酸钠（大苏打、海波）。

（2）中和剂　其主要作用是与乳剂层中的碱性物质起中和反应，使显影液中的还原剂失去显影作用。另外的作用

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

是调节溶液的 pH 值，使矾类物质稳定的发挥作用，防止矾类物质分解污染。常用的药品有醋酸、硼酸等。

（3）保护剂　主要作用是防止定影液被氧化失效及发生浑浊。常用药品有亚硫酸钠等。

（4）坚膜剂　主要作用是对X射线胶片乳剂层进行坚膜，防止脱落。常用的药品有明矾、铬矾和钾矾等。

2. 典型的定影液配方　定影液配方甚多，最常用的配方是F-5酸性坚膜定影液，其配制如下：

水（50℃）	600mL
硫代硫酸钠	240mL
亚硫酸钠	15g
冰醋酸（98%）	14mL
硼酸	7.5g
钾矾	15g
加水至	1000mL

在配制上述配方时应注意如下几个问题：

（1）必须按配方顺序加药品，次序不得颠倒。

（2）加入一种药品以后，必须充分搅拌待其全部溶解后方可加入后一种药品。

（3）加入矾类物质时水温不得高于30℃。

（4）暂时不使用的药液应及时注入玻璃瓶（满瓶）内密封保存。

7　机械制图基本知识

在设计零部件时，为表达被设计的零部件的真实形状和尺寸，就要画成图样，这就是机械图。如果所画图样是一个单件的形状和尺寸时称为零件图；如果所画图样是机器的一组合件的形状和尺寸时称为部件图。我们以零件图为例，来

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

讲述机械制图的基本知识。

如图 1.1-16所示，零件是一个拨叉套，它的机械图如图1.1-17所示。从图上可以看出它应包括下列四个内容：一组图形(包括视图，剖视图等)——把零件各部分的形状表达清楚；尺寸数据——把零件各部分的大小和位置确定下来；技术要求——说明零件在制造和检验时应达到的一些要求。例如表面粗造度、尺寸偏差、形状及位置偏差，材料及热处理性能要求等。用符号注写在图样中；标题栏——说明零件的名称、材料、数量及零件号码等。

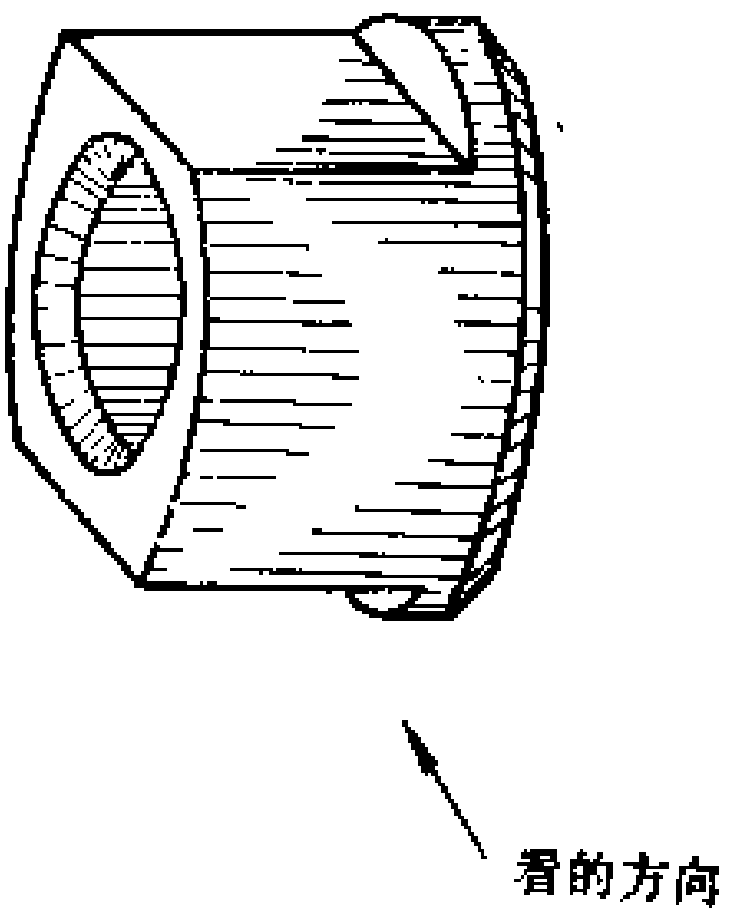
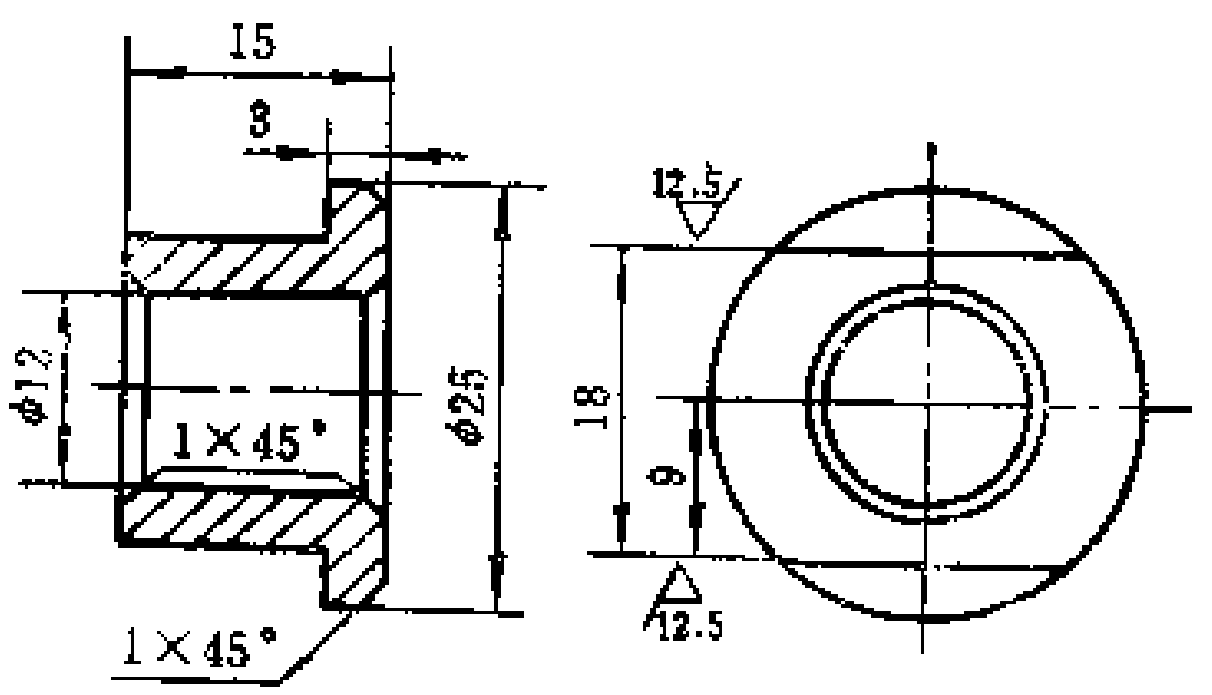


图1.1-16　拨叉套的立体图



技　术　要　求

热处理硬度HRC27～33

拨叉套		比例	2:1	图号	
		重量			
设计		材料	40Cr		
制图					
审核					

图1.1-17　拨叉套的机械图

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

一、选择主视图和其它视图

根据零件的用途、形状特点、加工方法等选取主视图和其它视图。视图的选择方法是：

1. 对零件进行结构分析和形体分析，分清主次部分。

2. 选择主视图　主视图最重要的视图，它要尽可能地符合零件的加工位置或工作位置，但又必须清楚地显示出零件的形状特征。同时还应考虑尽可能地用少量视图、剖视，就能完整地表现出零件的全部形状和尺寸。

3. 先考虑主要部分，确定一些基本视图，把主要部分表示出来；同时也表示一些次要部分。

4. 考虑余下的次要部分。增加一些辅助视图，或把原来的基本视图作些修改。

5. 进行检查分析，作适当的调整，修改。检查其表达是否完全；每一部分的视图是否完整；它们的形状、相对位置和连接关系是否能完全地确定；表达是否清楚等。主次关系的处理是否恰当；是否使于看图。

上述各步骤不要截然分开，而应相互关联统筹考虑。

二、按正确的投影关系画出各视图

视图的选择合适、妥当后可开始画图，在图纸上，按实际物体尺寸缩小或放大一定比例，按正确的投影关系画出各视图。缩小到原来大小的一半，比例为 1:2，缩小到原来的三分之一比例为 1:3。如此类推。常用比例有 1:2；1:3；1:5；1:10；1:20；1:50等。如画出的图的尺寸为原件的两倍，比例为 2:1，如此可选 3:1；5:1 等。

在各视图和剖视图都已画完，并正确无误后，应按规定标注尺寸。标注尺寸时，不管图纸是放大还是缩小，一律要用阿拉伯数字按原件尺寸注明，所注数字均为毫米数，但不

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

标明单位。标注尺寸应从视图中所代表的尺寸部位拉出尺寸标注线，并平行于所标尺寸画出两面带“⟶”符号的尺寸线。如果尺寸代表圆的直径，数字前应加符号“ϕ”，尺寸代表半径或以不同圆弧接成线段均用R代表半径。标注尺寸尽可能地标在最清楚反映尺寸的视图上，尺寸不要标注重复，也不可遗漏，同时尺寸标注亦还可封闭。

在尺寸要求有偏差的部位应注明其公差值，在表面粗糙度有要求的部位也应注上相应的符号。在不需加工面上注符号“$\sqrt{}$”表示，或将加工部位注上加工粗糙度外，还在图纸右上角的空白处，注明其余全部“$\sqrt{}$”的符号。

如果零件有特殊要求，应在图纸空白处注明。例如热处理、焊接等要求，某些机械性能指标等均应写明。

三、绘出标题栏

所有视图和剖视图绘完后，应经全面检查无误，后再绘出标题栏，说明零件名称、材料、数量、零件符号等。

8　有关计算：划线、探伤比例、射线探伤灵敏度计算

一、探伤比例的确定及划线

压力容器经长期服役后，由于温度和压力频繁交变，而造成疲劳缺陷、或者产生介质的腐蚀裂纹等，这些隐患如若不及早发现和清除，轻者设备损坏停产，重者造成灾难性事故。所以，对于压力容器要进行必要的检查。

如贮存液化石油气的球罐或卧式罐，在开罐检查时，容器焊缝的内外表面应进行100%的磁粉探伤或着色探伤；除此以外，还应进一步抽查焊缝总长的20%，作超声波或X射线探伤。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

新制造的压力容器或者锅炉，应按照有关工艺规程所确定的比例检查。

照相区域的划线是指工件在进行射线探伤之前，应在工件上事先划分照相段落，这一步骤称为划线。

在划线之前工作人员须首先确定划线长度，然后在工件上进行划线，一般来讲划线长度不得大于315mm。在工件上划线时必须在工件内外表面都应标出照相区域的中心，内外中心的误差不得超过10mm。相邻的两段，在射线照相时，必须保证有10%的覆盖区域。

二、小径管焊缝透照角度和灵敏度之计算

1. 小径管椭圆透照一次成像的技术要点

（1）小径薄壁管焊缝一般要求管壁尺寸不得超过20%。

（2）一次成像的检出范围要求不得低于总断面积的90%。

（3）椭圆透照一次成像底片黑度，要求在检出范围内，最小不小于1.4，并要求在同一底片上两极限黑度差不大于2.0。

（4）底片灵敏度在要求的检出范围内，应按照类别进行计算，不得小于最低值。

2. 透照角度的计

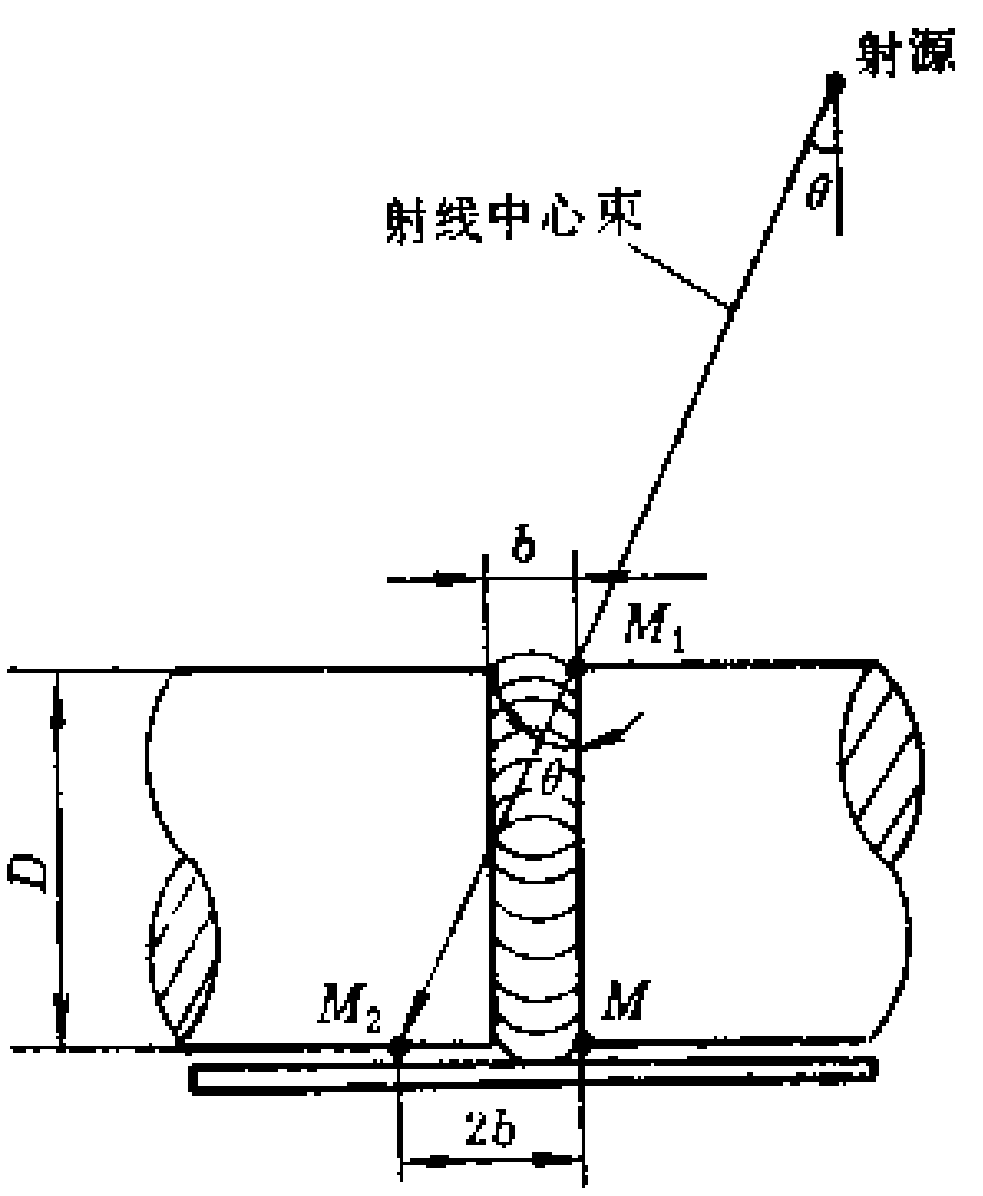


图1.1-18 小径管透照角度选择示意图

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

算　对1个$\phi 38\times 5$mm低合金钢管的对接焊缝进行透照，其焊缝加强面宽度一般约为8mm。由图1.1-18可知。

在图1.1-18中，若以D表示管子外径，b表示焊缝加强面宽度，根据透照规程要求，焊缝加强面宽度，根据透照规程要求，焊缝在底片上的椭圆沿短轴方向的影象范围为3倍焊缝加强面宽度，即M_1点在底片上的投影为M_2点，且$\overline{MM_2}=2b$。因此透照角度θ可按下式求得

$$\theta=\mathrm{tg}^{-1}\frac{2b}{D}$$

$$=\mathrm{tg}^{-1}\frac{2\times 8}{38}=22.83=22^{\circ}50'$$

3．透照灵敏度的计算　小径管椭圆透照时，根据规程要求，这类管子焊缝X射线透照底片的灵敏度应不大于1.5%。

射线穿透方向的金属总厚度为管子两层壁厚与焊缝加强面的高度之和，即$10+2=12$mm。因此，最小可见金属丝直径为$12\times 0.0015=0.18$mm。

选用DJ60—79规定的Ⅲ型金属丝透度计。

9　按技术标准、工艺卡、技术条件、操作规程掌握下列方法的操作过程

一切工件在进行无损探伤时，均应有必要的技术规程，以使探伤工作顺利进行和得出正确的探伤结论。

对于无损探伤人员来说，应严格遵守和按照一定的规程进行探伤，用以保证探伤结果的正确性。否则既使有些工件进行了无损探伤，其结果由于没有必要的技术规程，即探测规范选择不当、必要的准备工作做得不充分等，而有可能造

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

成有缺陷未被发现，无缺陷反而被说成是有缺陷等错误判断，从而失去了无损探伤的应有作用。现就几种常用的无损探伤方法的操作过程简述如下：

一、射线探伤操作过程

1. 视工件透照厚度之大小，选择适合的射线源即γ射线或X射线以及相应的底片类型和增感方式。

2. 工件表面须经检验合格后才能进行射线照相，其表面不规则程度应不防碍底片上缺陷的辨认。

3. 底片上必须有工件编号，底片编号，定位记号及透度计影象等标志。这些标志应离焊缝边缘至少5mm，并应与工件上的标志相符。

4. 透度计应放在射线源一侧有效照相范围一端的焊缝上，金属丝垂直于焊缝，细线在外侧。

5. 采用光栅、铅罩等措施尽量减少不必要的射线照射区域。

6. 根据设备、胶片和增感屏等条件选用相应的曝光曲线，决定曝光规范。

7. 胶片曝光之后必须进行严格的暗室处理。

8. 底片应在干燥后进行观察。观察时应在较暗的地方使用漫射亮度足够的观片灯。

9. 根据标准对缺陷性质和数量进行评片，并写出检验报告。

二、超声波探伤操作过程

为了合理地应用超声波对工件探伤和保证被探工件之内部质量，以使超声波发挥应有的作用，就必须有正确的工艺程序，作为探伤时的指南。这对每个探伤人员来说尤为重要，同时又必须严格遵守，因为这是保证探伤灵敏度，探伤

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

质量和探伤走向正规化的重要环节。超声波探伤的具体操作过程如下：

1. 探伤人员在探伤前必须了解被探工件材料，结构外形和施工工艺等，以确定探伤工艺和供判伤时之参考。

2. 做好探伤前的准备工作，选择适用的仪器、探头、试块以及耦合剂等。

3. 探伤工件表面不应有氧化皮、锈蚀、斑痕等不利于探伤进行的障碍物。为此，可利用砂轮或砂纸等进行打磨，使其表面达到一定的要求。

4. 根据需要和实际情况确定探测规范，发现一定大小的缺陷，保证探伤质量。

（1）在超声波探伤时，为发现各个方向的缺陷，首先要对波型进行选择，即选择纵波直探头，横波斜探头以及表面波探头等。

（2）按照被探工件之几何外形，决定探测方法。如反射法、穿透法、水浸法。

（3）根据工件的加工工艺，结构特点考虑到可能产生缺陷的部位及其延伸方向，确定探测面（声投影方向）。

（4）为了兼顾探伤灵敏度的高低和穿透力大小之间的矛盾，我们需要选择一定大小的探测频率。

（5）为使应发现之缺陷不被遗漏和便于识别有无缺陷，确定缺陷的位置，工件探伤前必须找出和确定其长度或厚度之声程以及仪器的起始灵敏度。

（6）根据探出缺陷的大小和性质写出检验报告。

三、磁粉探伤操作过程

磁粉探伤是检查铁磁性材料及其制件表面和近表面缺陷的一种重要方法。要想达到预期的效果就必须按照严格的操

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

作程序进行工作。

1. 零件在检查之前应进行必要的准备，表面不允许有润滑脂、锈蚀、油漆及其它防碍检查进行的物质。

2. 根据零件的形状、尺寸和热处理状态、选择适用的检验方法和磁化方法。

3. 用磁粉探伤灵敏度试片，磁场指示器或测磁仪器，确定检验部件表面磁场之大小。

4. 部件在磁化过程中或之后，其表面应施加磁悬液或干磁粉。

5. 根据所使用的探伤介质的种类，可分别在“黑光”和白光下观察部件表件的磁粉痕迹。按照需要可采用不同方法将缺陷痕迹标记下来。

6. 参照部件热处理工艺和缺陷痕迹的形状，对缺陷的性质进行判断。

四、渗透探伤的操作过程

渗透探伤之前，应预先根据被检物表面上可能出现的缺陷种类及大小、试件的用途、表面粗糙度、数量和缺陷尺寸以及探伤剂的性质，选择适当的探伤方法及操作细则。

1. 被检物表面施加探伤剂之前，必须彻底清除防碍渗透剂渗入缺陷的油脂、涂料、铁锈、氧化皮及污物等附着物。

2. 渗透处理可根据被检物的数量、尺寸、形状以及渗透剂的种类选用浸渍、喷洒和涂刷等方法将探伤部位表面全部润湿。并保持一定的时间。

3. 采用清洗处理将附着在被检物表面的残余渗透剂除去。在处理过程中，既要防止处理不足而造成对缺陷显示迹痕识别的困难。同时也要防止处理过度使渗入缺陷中的渗透剂也被洗去。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

4. 用干式显象法时，被检物表面应经干燥处理。用湿式显像剂时，被检物表面经过清洗处理后可直接浸入湿式显像剂中，也可选用喷洒和涂刷的方法，迅速排除残余的药液。

5. 在白光或“黑光”下观察缺陷显示的迹痕。并按照有关标准对缺陷迹痕的等级进行分类。

10 焊接种类、方法及识别常识（区别手工电弧焊、电渣焊、氩弧焊等）

根据不同的工艺特点，金属焊接可分压力焊接和熔化焊接两大类，每一类又包括多种焊接方法。

一、简要介绍几种焊接方法的特点

1. 手工电弧焊　手工电弧焊（简称手弧焊）是生产中最常用的焊接方法。它的优点是使用灵活，方便，设备也最简单，适用焊接短小焊缝及空间各种位置的焊缝。它的缺点是生产效率低，劳动强度大。

2. 埋弧焊　埋弧焊又称焊剂层下的电弧焊，它可分为自动和半自动埋弧焊两种。自动电弧焊和手工电弧焊的区别，前者主要表现在焊接过程中引燃电弧和电极金属(丝)即焊丝的送进、与沿焊接方向的移动全部都是用机械自动进行的。它比手工电弧焊有如下优点：生产效率高、焊缝质量好、节省焊接材料和电能、焊件变形小、改善了劳动条件。

3. 气体保护焊　气体保护焊也称气电焊，这种焊接方法是用保护气体将空气和熔化金属机械地隔离开，使熔化金属免受空气的氧化和氮化。常用的保护气体有氩气、氢气、氮气、二氧化碳气。氩气是惰性气体，它不与熔化金属起化学作用，也不渗入金属之内，保护效果最好。因为氩气成本较高，它主要用于焊接化学活泼性非常强的金属及其合金，如铝、镁、钛等。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

气电焊的特点是，明弧焊接可见性好，便于工人观察焊缝成形，热量集中，比埋弧焊溶池小，很适宜全位置焊缝的焊接。

4. 电渣焊　它是利用电流通过熔渣产生的电阻热来熔化金属进行焊接的。电渣焊工艺简单，工件不需加工坡口，对部件装配质量要求不十分严格，而且一次可焊成材料较厚的大构件。构件厚度越大，它的生产效率就越高。它的缺点是热影响宽度较大，金属晶粒组织容易长大，对重要构件焊后要进行热处理。

5. 钎焊　它是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将母材和钎料加热到高于钎料的熔点，而低于母材熔点的温度，利用液态钎料湿润母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现联接焊件的方法。加热钎料的方法可以用电加热，气体火焰加热，也可以用各种炉子加热。它主要用于焊接尺寸较小和较薄的零件，目前在航空、火箭、空间技术中已得到广泛应用。它的优点是工艺方法简单，生产效率高，适用于大量生产。

6. 电阻焊　这种焊接方法是通过电极施加压力，并利用电流通过焊件产生的电阻热来加热焊件进行焊接。电阻焊最常用的有对焊、点焊、滚焊三种方法。对焊是将焊件加热到塑性状态或表面熔化状态然后施加压力；点焊、滚焊是将焊件加热到局部熔化状态同时加压。对焊主要用于钢筋对接等；点焊主要用于焊接板料及钢筋网的搭接等，滚焊则主要用于3mm以下钢板的搭接致密性焊缝，如汽车油箱等。

7. 摩擦焊　这种焊接方法的特点是靠摩擦产生的热量，将焊件加热到塑性状态，然后加压，使零件焊成一体。且利用摩擦的作用消除了焊件端面上的氧化膜。它与电阻对焊，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

加压气焊很相似，但与加压气焊相比生产效率更高。特别是适合于焊接有色金属及其合金等导热性好且易氧化的金属。摩擦焊不需要大容量的电源。

二。几种焊接方法的区别

手工电弧焊的电弧是在两电极间气体介质中，连续的长时间的强烈地放电而形成的。电弧焊接就是借助于高温的电弧，使焊条、焊口边缘熔化，将两个分离的物体借助于原子的结合，联接成一个整体的过程。而电渣焊是一种以电流通过溶渣所产生的热能作为热源的焊接方法。两者在冶金反应方面的主要不同有以下几点：

1. 溶态的金属与气相的作用　当电渣焊时，熔池被很厚的一层熔渣所覆盖，可靠地隔绝了空气的侵入，因此溶态金属与气相的相互作用几乎不存在，这样电渣焊焊缝金属含氮量比埋弧自动焊时还要低，从而提高了焊接质量。

2. 热源的温度　电渣焊时，热源不是电弧而是电流通过熔渣所产生的电阻热。虽然，在焊丝末端到金属熔池的一部分熔渣的温度比较高，但比电弧的温度要低得多。

3. 熔渣成分　电渣焊时，随着焊接时间的增长，溶渣成分将不断地变化。其中主要变化是熔渣中 FeO 的增加，这样一来就会增加熔渣的氧化性，并使冶金反应减弱，以致使焊缝化学成分不均匀。

4. 熔池存在时间长，电渣焊缝已过热　电渣焊时，熔池容积大，存在的时间较长。这一方面有利于气体的逸出，使焊缝不易有气孔。但另一方面焊缝易于过热，使其结晶组织晶粒长大。

5. 焊丝的熔化量大　电渣焊时，焊缝的熔化量很大，而基本金属的熔化量很小（10%～20%）。这就可以说明由

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

基本金属带入焊缝金属的杂质较少，而焊丝与熔渣的冶金反应将起主要作用。焊缝的化学成分主要决定于焊丝金属成分。

氩弧焊是较先进的焊接方法之一，特别适用于有色金属的焊接。氩弧焊的电弧在焊接及电极末端引弧，在氩气流中燃烧，电极可以用不熔化极（钨电极），也可用熔化极（铝电极）进行焊接。电弧在氩气中燃烧极为稳定。氩气是单原子气体，在电弧周围形成惰性气体层，机械地将金属熔池同空气隔开。它不与金属起化学作用，焊缝金属的化学元素烧损量极小。它在高温下不分解，没有吸热反应。在氩气中燃烧的电弧热量损失小，电弧温度变化小。氩气的传热系数小，电弧热量集中，热影响区小，对减少焊接变形非常有利。

焊丝选择的基本原则是化学成分与基本金属相近，必须严格选用，不能随便代用。

用氩弧焊焊接铝及其铝合金时，不用焊药，因此对焊件及填充焊丝的表面清洁要特别严格。

11 电工基本知识

一、有关电工学的基本概念

1. 电路　一个最简单的电路，是由电源、开关、负载并由导线连接起来的。图 1.1-19就是最简单的电路图。

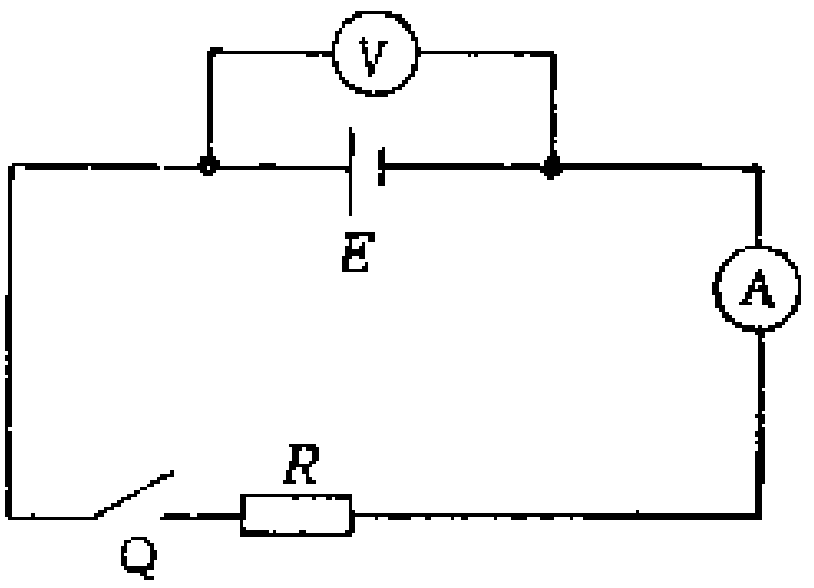


图1.1-19　最简单的电路图

在直流电源电路中，电流从正极出发，经过导线、负载和闭合开关，再回到电源的负极，构成回路，这种电路叫完全电

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

路。如果电源是交流电，电流的方向就不断地改变，一瞬间从这方向流向另一方，下一瞬间又从反方向流过。一般工业用电，是每秒钟电流方向改变50次的交流电。这种电流每秒钟方向变化的次数称电流的频率。它的单位叫赫兹（符号为Hz），每秒方向改变一次叫1 Hz。

2. 电流　在电路中的电流是电子有规律地移动所形成的。只有接上电源，电子才会在电路中有规律地运动，形成电流。衡量电流的大小是用每秒钟内通过导线横截面积的电量来表示的。其单位用库仑（C）表示。计算电流的单位叫安培（简称安，符号为A）。如果每秒钟内通过导体横截面积的电量是1库仑，那么这电流的大小就是1安培（1A）。1安培的千分之一为毫安（mA）。

3. 电压　电流是电子的流动，这种流动是由电能引起的。电能既是能量，就有大小不同高低之分，电能的高低可称为电位。不同能量的电具有不同的电位。电位的高低只取决于物体带电的正负和带电的多少。电位的高低是以规定大地的电位为零来比较的。所带正电越多，电位越高。所带负电越多，电位越低。只有导体两端有电位高低差别时，电流才能产生。这种导体两端电位之差叫电位差，也称为电压。电压的单位叫伏特（简称伏，符号为V）。

4. 电阻　电子在导线中流动，会碰到来自原子核本身对电子的吸引力，也会碰撞到其它电子，它们就形成了电子流动过程中的阻力。这种导线本身（或负荷）对电流的阻碍形成了电阻。电阻的单位称欧姆（简称欧，符号为Ω）。

二、有关电工学的基本定律

1. 欧姆定律　在电路中电源电压，导线中的电阻和导线中流过的电流，是相互关联的。实验证明，它们三者之间

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的关系是，在电源电压一定的条件下，导线中通过的电流与电阻阻值的大小成反比；如果固定电阻值，改变加在导线上的电压，则导线中通过的电流与所加的电压成正比。这就是著名的欧姆定律。这个关系写成数学式即是

$$I = \frac{U}{R}$$

式中　I——导体中的电流（A）；

U——导体两端所加的电压（V）；

R——导体的电阻（Ω）。

由上述关系式指出，如在两个物理量已知的情况下，可求得第三个物理量。这个公式是电工学中最基本也是很重要的公式之一。

2. 焦耳—楞次定律　焦耳—楞次定律是反映电流热效应的规律，是电热转换的基本定律。

电流通过导体时，由于电子运动，不断地碰撞组成导体晶格点阵的离子，也会碰撞其它电子，电流受到这种阻力（电阻）作用就会损失一定的电能。这种电能的损耗就转换成热能，使导体温度升高，这种现象叫做电流的热效应。

实验证明，电流通过导体所产生的热量与电流的平方、导体的电阻值以及通电的时间成正比。这个关系式就是焦耳—楞次定律。用数学式表示就是

$$Q = KI^2Rt$$

式中　Q——电流 I 流过电阻为 R 的导体时，在 t 时间内所产生的热量；

K——热功当量，就是1焦耳（J）的电能在导体中产生的热量。由实验测得 $K = 0.24\text{kcal}$㊀ / J

㊀ 1kcal = 4186.8 J

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

所以 $$Q = 0.24I^2Rt$$

式中 I——电流（A）；

R——电阻（Ω）；

t——时间（s）。

3. 电流的功和功率

焦耳—楞次定律表达了电能转换成热能的关系，由于K只是热的功当量，因此在t秒钟内，消耗在电阻R上的电能就是电流在电阻R上所做的功W。

$$W = I^2Rt \qquad (J)$$

而 $$IR = U$$

则 $$W = VIt$$

即 $$1J = 1V \times 1A \times 1s$$

电功率就是电流在单位时间内所作的功，称为功率，用符号P表示，其单位为瓦特（简称瓦，其符号W）。电流在1秒钟内作1焦耳的功叫1瓦特（W）。

$$P = UI$$

$$1W = 1V \times 1A = \frac{1J}{1s}$$

比较大的功率单位用千瓦或马力表示：

$$1kW = 1000W$$

$$1马力 = 736W = 0.736kW$$

如将电能用功率形式表示出来，则

$$电能 = Pt = UIt \quad (kW \cdot h)$$

式中 P——功率（kW）；

t——时间（h）；

I——电流（A）。

通常“1千瓦小时”俗称为1度电。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

4. 电磁感应　众所周知，有电流流过导体，其周围会产生一定大小和方向的磁场。相反，导体在磁场中的运动也会在导体中产生电流。利用磁场获得电流的现象叫做电磁感应现象。所获得的电流叫感应电流，形成感应电流的电动势叫感应电动势。

由实验可知：

（1）当闭合回路的一部分导线，在磁场中作切割磁力线的运动时，回路里产生感应电流。

（2）当穿过闭合回路里的磁通量（即磁力线的条数）在变化（增或减）时，回路里就有感应电流产生。

上述两种说法本质上是一致的。

感应电流的方向可用右手法则来确定：伸出右手，把手掌摊平，使拇指和其余四指垂直并在同一个平面上，把伸开的右手放入磁场中，使掌心对着磁力线的来向，如果拇指指向切割运动的方向，四指所指就是感应电流的方向。从普遍意义上讲，感应电流的方向可以由楞次定律表示出来。楞次定律的内容是，感应电流的磁场总是在阻碍原来的磁场发生变化。

在有电流通过一段导体时，这段导体的两端必须有电位差；在有电流通过一个闭合电路时，这个闭合电路里必须具有电动势，感应电流之所以能形成，就是由于回路里有了感应电动势。

感应电动势的大小，可由法拉第定律表示：当穿过闭合回路的磁通量发生变化时，回路里感应电动势的大小跟穿过闭合回路的磁通量的变化率成正比。将它写成数学式为

$$e = 10^{-8} \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

式中$\Delta \phi / \Delta t$为磁通量的变化率。在变化均匀的情况下，磁通

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

量变化率等于单位时间里增加或减少的磁通量（磁通量的变化率不是磁通量变化）。如果在磁场中运动的线圈不是单匝，而是多匝线圈 n，那么感应电动势则为

$$\varepsilon = 10^{-8}\eta\frac{\Delta\phi}{\Delta t}(\mathrm{V})$$

无损探伤中的磁粉探伤、涡流探伤就是利用了电磁感应这一基本原理。

12 有关锅炉、压力容器知识

一、锅炉的重要性和用途

锅炉是把燃料中的化学能，通过燃烧转化为热能，经过对流和辐射等传热方式将热能传给水，使它转变成蒸汽的动力设备。

蒸汽可直接利用：导入暖气设备中，可供住宅、学校、办公室及工厂等取暖；导入原动机（蒸汽机或汽轮机）使热能转变为机械能，可使机车、船舶等行驶，或带动发电机使机械能转变成电能。蒸汽除了作为交通运输及轻重工业所需的动力外，还可直接用于各类工业。锅炉还具有一般机械设备所没有的特点，这些特点是：

1. 在高温、高压下能连续长期地运行；

2. 对材料和制造工艺具有特殊的要求；

3. 由于运行不当或制造质量差等原因，会引起爆炸。其危害性较大。

锅炉的用途是十分广泛的。它是火力发电厂的“心脏”；化工、纺织、炼油、橡胶、轻工业中的关键设备；在日常生活中的食品加工、医疗消毒、生活取暖等都离不开它，与国民经济关系相当密切。据不完全统计，全国约有 20 多万台锅炉，几乎遍及城乡各地，各行各业。不仅如此，锅炉还不能

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

同其它设备一样随时可以停炉检修。而是要求连续运行；因为它的突然停炉会影响到一大片，不仅是一条生产线、一个工厂，甚至影响到医院开刀病人的生命，钢厂炼钢炉的报废，一个地区的生产和生活，严重的还影响整个电网的供电。

锅炉是一种密闭容器，长期处于受热、受压、腐蚀、变化载荷及各种应力状态下运行。如果因运行操作不当使锅炉内的压力继续升高，大于受压元件所能承受的极限时，会发生爆炸。另外，锅炉各受热面内外广泛接触烟、火、灰、水、汽等物质，使受压元件受到一定程度的腐蚀，所以它的工作条件比一般的机械设备恶劣，更容易被损坏。基于锅炉设备的上述特点，保证锅炉设备的设计制造质量及安全运行是至关重要的。

二、压力容器的用途

压力容器的用途极为广泛，它在民用及军事工业等部门、科学研究的许多领域中，都起着重要的作用。压力容器在石油、化学工业中应用最为普遍，约占压力容器总数的50%以上。

石油、化学工业与人民生活、工业、农业及国防有着密切的联系，在国民经济中占有极重要的地位。在石油、化工中，许多化学反应过程都需要在有压力的条件下才能进行或者采用增高压力的方法来加快化学反应的速度，这些化学反应必需在压力容器内进行。

压力容器在炼油、化工装置中可以作为一个独立部件（如高压泵的稳压器、液氨贮槽等），也可以作为其它设备的外壳，为各种化工单元操作（如化学反应、热交换、吸收、蒸馏、分离等）提供承压空间，此时压力容器不能作为一台设备独立存在，在其内部必须装有某些工艺装置（俗称内件）

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

方能构成一台完整的设备，诸如石油、化学工业中普遍应用的各类反应器、换热器、塔器和分离器等等；在化肥工业中有氨合成塔、尿素合成塔、废热回收器、CO_2吸收塔及氨分离器等；在石油精炼装置中有加氢脱硫反应器、加氢裂化反应器和各种分离塔、吸收塔及换热器等；在合成甲醇、乙醇工业中所用的各种大型压力容器；在乙烯装置中所用的各种低温压力容器；在聚乙烯装置中所用的各种超高压容器等等。

随着航天、海洋的开发，军工等科学技术的飞速发展，又为压力容器的应用开拓了新的更加广泛的领域。航天和军事上所用的各类飞机的多种专用试验装置也属压力容器。如日本在1965年研制出一套超音速风洞气罐，其内径为1380mm，长1750mm，操作压力为20MPa采用多层包扎式容器。在海洋开发领域，各类深海探测器及军事上所用的潜艇，都是典型的外压容器。在海洋研究中，为了模拟深海情况，需要不同规格的深海试验用的压力容器。如美国在1968年研制了一台操作压力为70.5MPa的深海试验压力容器，其内径为3400mm，壁厚为308mm，容器总重量达750t，该试验容器从耐压上模拟7000m深海状态。

压力不仅能促进化学反应的速度，还能改变一些物质的物理性能，一些物质在很高液压（往往达1000MPa以上）挤压下，分子的距离缩小，密度增大，甚至产生分子与原子的变形，从而使物质的物理性能产生根本的变化。如不导电的无金属光泽的磷，经1200MPa液压挤压后，就变成能导电的有金属光泽的黑磷，一些金属在超高静液压下，其屈服强度、导电、导热性能都有大幅度提高。木材经超高压挤压处理，也会具有金属一样的强度和硬度。总之，超高压技术不仅在粉末冶金上获得了应用，而且在其它方面也得到应用。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

它可以把某些性能低劣、廉价的物质转变为性能优良的昂贵的物质，大家都知道的人造金刚石、人造宝石等都是采用超高压技术合成的。

核能是当前世界上正在大力发展的新能源，目前已有20多个国家和地区建成各种类型的核电站300多座。在一些国家里核电已占总发电量的25%以上。还有些国家，如法国和意大利已有或准备有全国核能计划（即今后只造核电站）。预计到2000年，核电可达全世界总发电量的45%左右。

核能容器的出现，标志着压力容器的设计、制造技术达到了一个新的更高水平。核能容器不仅是承受高温高压的超厚壁容器（如压水堆容器，其工作压力一般为14～16MPa，个别高达20MPa，工作温度250～330°C。某些容器的部分壁厚达400～500mm）而且容器本身还要承受堆芯核裂变时产生的强烈中子流和γ射线的辐射，导致材料冲击韧性和延性的显著下降，使容器发生脆性破坏的可能性增加。为了防止容器内放射性物质泄漏而污染环境，对密封结构的安全可靠性也提出了苛刻的要求。因此，核能容器比一般压力容器无论在设计、选材、制造、检查及运行维护等各个方面，均提出了一系列更高要求。

影响压力容器安全使用的因素是多方面的。它涉及到应力分析强度计算、材料研究、制造工艺、无损检测以及破坏机理等各个技术领域。

三、压力容器分类

目前世界各国使用的压力容器的种类很多，型式也是多种多样的。为了便于对同类型容器研究和计算，常将容器按不同的方法进行分类。

压力容器分类的方法很多，常见的有按压力、制造方

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

法、外形、材料、安装和操作要求等进行分类。

按所受压力的高低（或真空度），容器分为常压容器和压力容器两大类。在压力容器中，按所受压力的不同，又分为低压容器、中压容器、高压容器和超高压容器（国外技术规范都没有按压力将压力容器划分等级的）。

压力容器按压力分类有它的片面性，给人们造成错觉，认为高压容器和超高压容器要比低压容器和中压容器重要，因此，在制作、检查、使用等各方面均比较重视，因为它一旦发生破坏事故所造成的危害性极大。但从另一角度看，容器破坏所造成的危害性，不只取决于压力的高低，还要看容积的大小、介质的性质、温度高低以及所用材料的性能等，所以容器破坏的危险性还和器壁中应力水平的高低有关，国内外压力容器设计规范中，不论压力高低（只控制容器的内外径比值），容器的计算公式、安全系数选取、所用材料基本一样，因此，高、中、低压容器壁中的设计应力水平是相同或近似的。所以由应力而引起容器的破坏的危险性，对不同操作压力的容器是相同的。

按照承压方式的不同，压力容器可分为焊接、铆接、铸造及锻造容器等。目前大量采用焊接式和锻焊式容器。整体锻造容器由于受锻造设备能力的限制，不可能锻造太大的压力容器。铆接和铸造容器已被逐渐淘汰。

按照容器的外形，可分为球形、圆筒形（又称圆柱形）、椭圆形、圆锥形和组合形容器。

根据制造容器的材料来分，有钢制容器、有色金属制容器和非金属制容器。

此外，还可按照容器的安装和操作要求分为立式容器和卧式容器。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

13　射线对人体的危害及防护知识

一、射线对人体的危害

射线对人体的危害主要是直接或间接地在它所通过的路径上引起电离，致使人体组织的细胞(尤其是血液的白细胞)被损伤，严重时会造成细胞死亡过多而产生病变。但在一定的剂量范围内，由于人体组织的细胞有一种特殊的修复机能，受到损伤的细胞可以很快地得到复原而不会出现任何病态性变化。在宇宙中，射线对人体的照射主要有宇宙本底照射、职业照射、医疗照射和核武器试验照射四个方面。据1977年联合国原子辐射效应科学委员会所公布的有关研究资料表明：

1. 人体接受大剂量的射线照射达一定的程度是要致死的，若全身一次受到400rem㊀的照射，只有50%的存活率。若全身一次受到1000rem的照射，死亡率可达100%。

2. 若人体一次接受不到100rem的中等剂量的全身照射，不存在死亡的近期效应，但存在辐射的远期效应，白血病、癌症的发病率相对的有所提高。另外，还可带来脱发、白内障和暂时不育等远期效应。

3. 若人体受到小剂量（不到1 rem）的全身照射，那么人体组织可以依靠特有的再生机能使受损伤的组织得到修复，就像正常的新陈代谢一样，受损伤的细胞被新的细胞代替，从而不会造成近期或远期的不良现象。

4. 辐射的遗传效应至今还没有发现任何反常的现象，即使在日本的广岛和长崎的10万名原子弹辐射的受害者中，幸存下来的人在以后所生育的儿童与正常的儿童相比，也没有什么异样之处。总的来讲，由于射线照射引起的遗传性病

㊀ 1rem = 10mSv，下同

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

变。比其上一代中锈发恶性肿瘤的机率要小得多。因此，只要切实做好射线的安全防护工作，那么对下一代的身体健康基本上是没有什么影响的。

自1895年伦琴发现X射线以来，经长期的医学观察证明，当人体每天受到0.05rem的射线剂量照射时，人体的组织不会产生任何不可复原的永久性病变。只有在长期受到过量的射线剂量照射时，才会使人体组织产生病态性的损伤，尤其全身一次照射剂量达到400rem以上时，将会产生严重的损伤。

二、射线的防护

工业射线探伤中所使用的射线源都是封闭性的。所以在射线探伤时，工作人员所受到的照射是外照射，因而射线的防护主要是对外照射的防护。

射线的外照射防护比内照射防护容易，只要设法知道射线是否存在以及射线的照射剂量，总是可以寻找适当的技术措施予以防护，以减小射线对人体的照射剂量。

在现代工业射线探伤中，人类虽对射线的认识不断加深，射线探伤技术也不断地得到发展，但对于射线防护技术，综观当前国内外发展趋势，基本上还是采用时间防护、距离防护以及屏蔽防护三大技术。

1．时间防护　时间防护技术有下列两个要素：

（1）尽可能地缩短人体与射线接触的时间，使人体所受到的累计剂量减少。若按标准规定每个射线工作人员只能接受16mrem的射线剂量，而工作现场的剂量超过标准的4倍，那么工作人员只能在现场工作2h，而其余3/4的时间应离开现场，使每天所受到的剂量不超过标准所规定的最大允许值。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）短期内的累计剂量若超过标准规定，那末必须在后一段时间内减少或避免射线的照射。这种情况往往在使用大剂量的射线源时发生，此时，若工作一周已达到标准规定的月剂量，则在后三周中应避免射线的照射，使月剂量仍旧符合标准的规定。

时间防护既然是以人体与射线接触的时间来控制照射的剂量，所以对射线的强度可以不受限制。但为了避免过度的集中照射，以及由于剂量太高的场合对剂量的测试和监督存在一定的困难，为此除了特殊的应急情况准予进入超过最大允许剂量1000倍的场合外，其余规定了无论任何人员非经有关主管领导部门批准和未经周密的计划布置都不准进入。在特殊应急情况下，必须经过事先十分周密的计划布置，挑选健康状况良好的射线工作人员进入现场，一次可接受10rem的全身照射，但按GBJ8—74规定，在以后所接受的照射剂量应适当地减少，使受照射前五年和后五年的总累计剂量低于50rem，并在后五年内不得再接受同样的应急照射。

2. 距离防护　距离防护技术主要是利用射线强度与离开射线源的距离之平方成反比的规律，而达到减少人体所受到的射线照射剂量。

按平方反比规律，我们可以采用机械手或长柄夹具远离射线源进行操作，这种方法对于操作毫居里级⊖射线源是一种简单易行和极为有效的防护方法。

在这种场合下，按射线源强度，离开射线源的距离以及有关标准规定的剂量大小，就可以计算出符合安全防护标准的安全距离（即在这一距离以外区域内的剂量符合标准的规定），从而作出标记，达到防护的目的。

⊖　1mci＝32MBq，下同。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3. 屏蔽防护　时间防护和距离防护是不需要特殊的辅助器材及防护设施的射线防护技术，在现代射线防护技术中常被用来进行自我防护。但在使用高强度射线源进行射线探伤时，采用时间防护则允许人们工作的时间相应缩短，而使用距离防护则需要较大的安全距离，这给提高劳动生产率及有效地利用工作场地带来不利。另外，人体长期接触较高剂量的射线照射时，单一采用时间防护和距离防护还是不够的，为了保证工作人员的安全，在人体和射线源之间需隔上一层屏蔽物，这就是屏蔽防护技术。

从理论上来讲，任何材料都能吸收和阻挡射线，但不同的材料吸收和阻挡射线的能力是不同的。一般来讲，原子序数高、密度大的材料吸收和阻挡的能力，较原子序数低、密度小的物质为大，所以在射线防护时，按这一规律以及综合考虑材料来源及经济方面的因素，大多采用铅、重晶石水泥混凝土和砖等材料建造屏蔽物。通常建造永久性的屏蔽物都采用重晶石水泥混凝土，而活动性较大的则采用铅作为屏蔽材料。

14　安全技术规程

一、磁粉探伤的安全规定

磁粉探伤虽没有射线探伤的辐射伤害以及高电压那样明显的危害，但在实际操作时应注意如下几点，

1. 采用荧光磁粉探伤时，应避免紫外线直接照射人体的眼睛以及皮肤，必要时应佩戴紫外线防护眼镜。

2. 使用有机溶剂（汽油、乙醇、煤油）进行清洗或配制磁悬液时，应注意通风及防火。

3. 不能把手表及精密仪表靠近强磁场。

4. 防止探伤设备及电缆线漏电，避免触电事故。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

二、液体渗透探伤安全注意事项

液体渗透探伤所使用的探伤液，大多用含有可燃、易燃的油类和有机化学试剂配制，对人体的健康有一定的影响，所以在使用时必须注意防火和卫生保护。

1. 防火　液体渗透探伤时，若使用易燃性的渗透液在开放性的容器内进行操作时，必须注意以下几点：

（1）探伤现场必须远离火种。

（2）探伤现场应设置适当的灭火器材。

（3）在现场不宜贮存大量的探伤液，并应采取相应措施，设立防火警告标牌。

（4）探伤完毕，探伤设备必须加盖密封，防止探伤液挥发导致现场可燃性气体浓度过高。

（5）存放探伤液的容器必须避免阳光直接照射。

（6）渗透探伤专用的喷罐存放处，必须远离火种及温度高于50℃的热源。

（7）如因温度过低，喷罐的喷雾性能下降，可在30℃的温水中略为加温，不得直接用明火烘烤。

2. 卫生保护　尽管目前国内外液体渗透探伤所使用的渗透探伤液向低毒、无毒的方向发展，但有毒和无毒是相对而言的，一般来讲化学试剂对正常人的健康或多或少总存在一定的危害性，若过多地吸入化学试剂蒸气，以及其他成分，对人体的健康总是有害的。另外在荧光渗透探伤时，使用紫外线对缺陷显示痕迹进行观察时，如人体皮肤过多地接受紫外线的照射剂量，也会产生一定的危害性，易产生局部皮肤病变。为此，在液体渗透探伤时，应做到如下几点：

（1）若在通风条件不良的情况下（如在压力容器内）进行渗透探伤时，应加装通风排气装置，降低空气中探伤液

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

挥发的蒸气浓度，且操作时间不宜过长。

（2）如采用喷雾装置在工件表面施加探伤液时，探伤人员应站在上风处，而不宜在下风处，以使喷出的雾状物不向人体飘洒。

（3）操作人员不得在现场边操作边饮食或吸烟，应远离现场并将手洗净。

（4）在荧光渗透探伤时，紫外线灯应随用随闭，不应在现场常开。

（5）人体皮肤应尽量不直接曝露在紫外线的照射范围内，以减少皮肤与紫外线接触的时间。

（6）眼睛不可直接观察点亮的紫外线灯管，必要时应佩戴防紫外线辐射的防护眼镜。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

应　　会

1　正确使用和维护保养自用无损探伤仪（X射线、γ射线、超声波、渗透等探伤仪）

一、射线探伤机的使用和维护保养

将强度均匀的射线照射被检的物品，使透过的射线在照相胶片上感光，将胶片显影后就可得到与材料内部结构和缺陷相对应的黑度不同的图象，即射线底片，通过这种底片的观察来检查缺陷的种类、大小、分布状况等。但是要想达到理想的效果，就需注意正确地使用和维护好射线探伤机。

1. X射线机的使用

（1）将射线柜镜头对准被检工件，注意中心指示器与工件被检部分的方向一致，固定射线柜即可拍片。

（2）对中心与对焦距可借用射线柜窗口的中心指示器所附拉杆，软片暗盒必须紧贴被检部位的背面。

（3）开启水龙头，对射线柜进行冷却。

（4）对不同材料、不同工件在射线照相时，应根据事先做好的曝光曲线，选择合适的管电压、管电流和曝光时间。

（5）将电源开关沿顺时针方向逐步转至某一位置，使电压表指示的电源电压接近 220 V。此时电源接通，绿灯亮，将射线管灯丝预热 5 min。

（6）按动高压按钮，高压接触器合闸，红灯及信号灯发亮，高压电源开启接通，电压表指示选定的高电压数值，毫安表指示阴极电流数值。经过预定的照射时间，高压接触

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

器自动断开，底片曝光结束。

（7）拍片后软片必须经过显影、定影、冲洗、凉干后可在观片灯上观察被检查零件的缺陷。

2. X射线机的维护

（1）进线电源最好接有安培表，正常使用时电流不超过各种机器最大容量的允许的电流值。

（2）射线柜切忌受强烈振动。长途移动时，射线柜必须直放，而且须加避振装置。

（3）在照相时，射线柜应用水或压缩空气进行冷却。

（4）在任何情况下，射线柜内均不应有气泡，特别在补油或换管子后，一定要经过排气方能工作。

（5）变压器油耐压降低时，则在管电压上升时可能产生放电，此时可听到拍拍的电击声，为此应对变压器油作一次耐压试验，如需换油，必须采用真空注油。当严重缺油时，亦会有电击声，应及时补油。

二、磁粉探伤机的使用和维护保养

为适应各种工件的探伤，发展了种类繁多的磁粉探伤机。通常探伤机可分为固定式、移动式和便携式三种类型。固定式磁粉探伤机一般由磁化电源、工件夹持装置、指示装置、磁悬液喷洒装置、观察照明装置以及退磁装置等组成。在检验操作时，应注意正确使用磁粉探伤机。

1. 磁粉探伤机的使用

（1）将总电源开关接通。

（2）按零件充磁电流要求，调整好所需的励磁电压（即调主变压器的一次电压）。

（3）将零件夹于两探头之间。

（4）按动脚踏开关，瞬时通电使零件充磁。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（5）根据不同的检验方法（连续法检验或剩磁法检验），在零件上浇注磁悬液。

（6）在一定强度的光线下，观察磁粉痕迹，并进行记录。

2. 磁粉探伤机的维护

（1）探头接触面的铅衬板，在使用时容易损坏或熔化，视其情况进行更换。

（2）探头导轨应经常保持清洁，以免锈蚀。

（3）夹紧机构的线间，在脚踏时用力不宜过猛，以免折断钢丝。

（4）磁悬液应定期更换，否则会因其混有杂质而在探伤时产生假现象，造成错觉。

（5）对于探伤机的各个活动部位，应定期检查电气性能（绝缘电阻、耐压）。

（6）探伤机工作完毕时，应将电压降到零，断开电源，去除台面上的油污等，并盖好机罩。

2　正确使用有关工具、用具和辅助设备及维护保养。

一般工具、用具的修理和自制

在无损探伤过程中，各种探伤设备的正确使用已为广大探伤工作者所重视。但有关工具、用具和辅助设备的使用是否正确与否也是至关重要的，不可忽视。

一、灵敏度试片的使用和保养

漏磁场的强度取决于磁化磁场的强度，为了使漏磁场具有足够的吸附磁粉的能力，必须正确地选择磁化规范。确定磁化规范的方法有多种，近年来国内外一般用灵敏度试片来选择最佳的磁化规范。

为叙述方便，我们以A型试片为例来介绍灵敏度试片的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

使用方法。

1. 粘贴方法　先洗净试片表面的防锈油，用胶带纸(或手指）将试片开槽的一面紧贴于清洁的被检查工作表面，但胶带纸（或手指）不得盖住试片的槽部。用于连续法磁化时，先将试片贴于工件上，在磁化工件的同时，往试片上喷洒磁悬液。

2. 注意事项　试片与工件粘合距离对试片的磁痕显示有着一定的影响，欲使试片与工件间无间隙地贴合是办不到的。试验表明，连续法探伤时，周向磁化，间隙在0.5mm以内，对试片的磁痕显示影响不大，纵向磁化，间隙还可以稍大一些。

使用过程中，不得将试片反复弯折或撕拉，以防槽底变形开裂，影响显示效果。试片使用后，应清洗油封。

二、紫外线灯的使用和保养

紫外线灯由高压水银石英灯及3650Å的紫外线滤光片组成，它可以产生符合荧光探伤要求的紫外线。

高压水银石英灯内充填高压氖气，当灯泡两电极点燃以后就会产生电离放电，使氖气发光。当小电流通过灯管时产生“静电放电”，而当大电流通过时则产生“辉光放电”，继续增大电流时则产生“弧光放电”，从而灯泡发射出紫外线，经滤光片过滤以后获得波长为3650Å的紫外线。

为防止灯泡的损坏需在紫外线灯的接线电路中增加带有铁心的扼流圈来保护灯管，使灯管在一定的电流下能正常地工作。

在荧光探伤时，紫外灯的性能指标需经测试达到如下指标时才能使用。

1. 紫外线强度在照射到工件表面以后，不得小于1000

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

$\mu W/cm^2$。

2. 紫外线的波长范围为3600±300 Å。

紫外灯在使用时还应注意如下两点：

1. 灯泡点燃15min，待其稳定后才能进行荧光探伤。

2. 灯泡熄灭后，若要再开启，需待灯泡冷却15min后，方可再启用。

三、底片袋的自制

在射线探伤时，X光胶片和一起使用的增感屏，须放置在暗袋中。一是为了不使胶片露光，二是防止增感屏破损，延长使用寿命。

X光胶片袋一般采用黑色的塑料布或人造革制作。按照胶片尺寸大小，对塑料布或人造革进行裁剪，然后用高频热合机或粘接剂进行粘合，并逐个进行检查，确认不露光时，才能投入使用。

暗袋在使用过程中，应保持内外表面的清洁，不要与显影液或定影液接触。更不能使用表面带毛刺的物品对其进行挤压。如发现暗袋有破损或露光时应停止使用。

3 常用药液的配制（显影液、定影液、磁悬液）**及识别**

一、显影液的配制及识别

在配制显影液时应注意水温合适并清洁；往水中加药品的顺序不能颠倒；待前一种药品完全溶解后才能加下一种。

在配制显影液时，配制顺序是很重要的，如果先将对苯二酚溶于水中，溶液因空气的氧化作用而会逐渐变黄，若这时再在此溶液中加入碱（碳酸钠等）则溶液立即被氧化成棕黄色。如果胶片在这样的显影液中显影，乳化剂就会染成棕黄色，有时还会产生很大雾翳，同时显影液的效力要大为降

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

低。前面已经提到，显影液中的保护剂能防止显影液被空气氧化，因此，应在放对苯二酚之前，首先溶解保护剂（一般为亚硫酸钠）。但米吐尔对氧化不敏感，要在亚硫酸钠(保护剂）之前溶于水，如果在亚硫酸钠之后溶解米吐尔，就会产生白色沉淀，特别是在亚硫酸钠浓度很高的时候。

米吐尔在温度50℃以下的水溶液里不易氧化，所以首先溶解米吐尔，然后接着溶解亚硫酸钠是完全可以的。如果配方中有亚硫酸氢钠时，可与亚硫酸钠一同加入。

配制显影液的顺序为：首先放入米吐尔，其次放入亚硫酸钠（亚硫酸氢钠），再放入对苯二酚。

至于加速剂（碱）可按两种方法加入：

（1）当所用的碱为强碱时（如苛性钠），可将碱分开单独溶解，然后把碱溶液徐徐加入显影剂和亚硫酸钠的溶液中。在加入之前，一定使碱液冷却，加入时要不断地搅拌，如果为强的碱液，即使已有亚硫酸钠的存在，也不能避免在显影剂溶液中产生有害的物质。此外，在溶解苛性钠时，应将碱逐渐地加入冷水中，且不断地搅拌，因为苛性碱溶于水时会产生大量的热量。

（2）如果所用的碱不是苛性碱，可直接把固体碱逐渐地加入显影剂及亚硫酸钠溶液中，并不断地搅拌，直到完全溶解为止。

最后是抑制剂。抑制剂虽可在任何时间加入，但在习惯上总是把它留在最后加入的。

总结以上各点，我们可以得出配制显影液时，加入药品溶解的先后次序的规律，即

1）米吐尔（显影剂）；

2）亚硫酸钠（保护剂）；

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3）对苯二酚（显影剂）；

4）碱（碳酸钠等。加速剂）；

5）溴化钾（抑制剂）。

一般地说，配制显影液按配方中药品排列的顺序依次加入是最安全的。

此外，还有几点也需加以注意：

1）水温　一般水温为50℃左右，除非是配方上规定要用更高的温度。因为水温过高可能引起药品分解，而过低则药品难溶化。

2）容器　配制显影液的容器可用搪瓷、玻璃、不锈钢、硬橡皮、塑料等容器，不能用锡、铜或锌铁皮等容器，因为这些东西都会引起雾翳（一般称为化学雾翳）。

3）顺序　在配制显影液时，一定要在容器中先加入水，然后按药品顺序逐一加入溶液中，切不可先将药品放入容器中而后倒入水，那样将会使药品结成难溶的块状物。

4）溶解　在配制显影液时，切不可性急，一定要等前一种药品完全溶解后，才能加入后一种，否则药品将难以溶解。

显影液使用一个时期后，会逐渐变黄以至不能使用。显影液除了不断地与胶片的乳剂中的溴化银反应而消耗以外，还与空气作用也会逐渐被氧化而变质。因此在使用和贮存时，一定要加盖尽量使显影液与空气的接触面减小。

其次，显影液中若沾染了停止液、定影液时，也会使其变质，故在使用时需特别注意。

显影液使用一定程度后，因药品消耗，会氧化而老化。当然在一定程度内的老化显影液，还可以用增加显影时间来补偿显影液的作用，但明显老化的应停止使用，一般显影液

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

都会给出其使用能力。在实际探伤中，以显影的能力下降（如曝光条件正常时，显影黑度不够了）和其变色来判断是否需更换。在使用显影槽时，也可以采用不断地加入新鲜显影液的方法，只要显影能力不明显降低，就可以继续使用，而显影能力显著下降的溶液必须予以更换，否则将影响底片的灵敏度。

二、定影液的配制和鉴别

在正常情况下，显影作用只是把乳剂中溴化银感光的一部分还原成金属银，余下的未被显影的溴化银就要设法除去。在定影过程中，将余下的溴化银需被溶解掉。而在另一方面，影像的金属银则不被损坏。一般定影液用硫来代硫酸钠进行溶解溴化银的。

在酸性定影液中，除定影剂以硫代硫酸钠外，还含有保护剂（亚硫酸钠），坚膜剂（明矾）；以及醋酸。

定影液配制时，药品的放入也按照一定的顺序。

我们已经知道，定影剂硫代硫酸钠在酸性溶液中会被分解，而亚硫酸氢钠或亚硫酸钠能阻止这种分解的进行。由此可见，在配制定影液时也有一定的规程。一般是先溶解定影剂，再溶解保护剂。如保护剂是亚硫酸氢钠，则需待定影剂溶解冷却后才能加入，并要不断地搅拌。其次是加醋酸或硼酸，醋酸应徐徐加入，并要不断地搅拌。硼酸可先用少量热水溶解，这样可溶解得快些。最后加入明矾。

药品的配制顺序，按配方所给的次序和方法来进行是最保险的。

定影液在使用过程中硫代硫酸钠的浓度会逐渐降低，其它化合物则会逐渐增多，定影速度也会越来越慢。在通常情况下，每1000mL的定影液可定影 10×20in （508mm） 的X

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

射线胶片20张左右。在定影过程中，如发现定影液有浑浊，沉淀现象，说明药液已陈旧，需要更换新鲜的药液。如继续使用，胶片乳剂层中只能形成不溶于水的硫代硫酸银钠，达不到良好的定影效果。因此在定影操作过程中必须注意药液的陈旧程度，随时添加补充液或更换新液。鉴别定影液效能的简易方法列表于1.2-1中。

表1.2-1　鉴别定影液效能之简易方法

观察及试验方法	新鲜定影液	陈旧不宜使用者
起　　泡	泡小易破	泡大不易破
溶液透明度	清　　晰	浑　　浊
溶液的色泽	无　　色	乳　白　色
碘试验①	不 沉 淀	有乳白色沉淀
曝光试验②	不 变 色	周围变黑
定影试验③	透明较快	透明较慢

① 以4%的碘钾溶液一份滴入十份定影液中；

② 把定影液滴在白色纸上在阳光下照；

③ 用一小块未感光过的X射线胶片浸在定影液中。

三、磁悬液的配制

在湿粉法探伤中，将磁粉悬浮于载液中（煤油或者水等作为分散媒剂）形成磁悬液。在探伤中还应对磁悬液的粘度、浓度、配方都有一定的要求。

磁悬液粘度的作用，在于能够悬浮磁粉和有较好的渗透性能，即表面张力使磁粉容易在工件表面自由活动，能被缺陷处的弱小磁场吸附。此外，还要求磁悬液具有无色，无臭味，闪点高，防腐蚀，防凝固、防沉淀等性能。一般用轻质变压器油或煤油及水溶液等可作为磁悬载液。水质磁悬液粘度较低，使用时须注意搅拌，保持磁悬液浓度均匀性。现将

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

室温（20℃）时，测量磁悬液粘度值列表于1.2-2中。

表1.2-2　磁悬液粘度值

油液名称	变压器油	变＋煤（1:1）	变＋20*机油（1:1）	煤油	水＋0#－0（0.5%）	水＋0#－20（0.5%）
运动粘度(cP)①	16.9	7.5	11.4	3.7	1.6	1.6

① 1cP = 10 ^{3}Pa·s，余同。

磁悬液应保持一定的磁粉浓度，即在磁悬液中应有一定的磁粉含量。其浓度应保证有足够的磁粉流经缺陷部位，同时又保证清晰的衬底，便于观察。浓度过低则流经缺陷部位的磁粉量过小，缺陷显示不明显；浓度过高则工件衬底过浓，干扰缺陷显示。在磁悬液配方中，磁粉浓度都有一定的比例，一般在粘度低的磁悬液中配10～15g/L，粘度高的磁悬液中配15～35g/L。其浓度也可根据工件粗糙度的不同而略有不同，粗糙度好的工件，浓度可略高一些，反之，可略低一些。

在磁粉探伤中，对磁悬液的配方和性能有一定的要求，其浓度、粘度的大小与探伤灵敏度有关。在磁悬液中加入适量的表面活性物质，如乳化剂等用来减少磁悬液的表面张力，将磁悬液施加到工件表面上后，能迅速地覆盖整个检验区。另外，在磁悬液中还应加入防锈剂（特别是以水为载液的磁悬液），防止工件探伤后有水迹面锈蚀。磁悬液中加入一些消泡剂防止起泡，以免影响磁粉顺利的附着在工件表面上。荧光磁悬液的配方见表1.2-3。

采用非荧光磁粉时，磁悬液的媒质（载液）可用变压器油和煤油各50%配成的混合油，每升混合油加入15～30 g 的磁粉。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表1.2-3　荧光磁悬配方

配　方　一		配　方　二	
成　分	成分比例	成　分	成分比例
水	1000mL	水	1000mL
乳化剂	10g	Ox～10	0.5%（容积比）
二乙醇胺	5g	亚硝酸钠	5g
亚硝酸钠	5g	荧光磁粉	0.5～2g
荧光磁粉	1～2g	消泡剂	1g
消泡剂	1g		

一般常用的以水为载液的磁悬液配方如下：

水	1000mL
Ox-10	0.5%（容积比）
亚硝酸钠	5 g
磁粉	10～15 g
消泡剂	1 ～ 2 g

4　看懂零件图

一、零件图的组成

图1.2-1为轴承座的立体图。其零件图见图1.2-2。从图上可以看出，它包括下列四个内容：

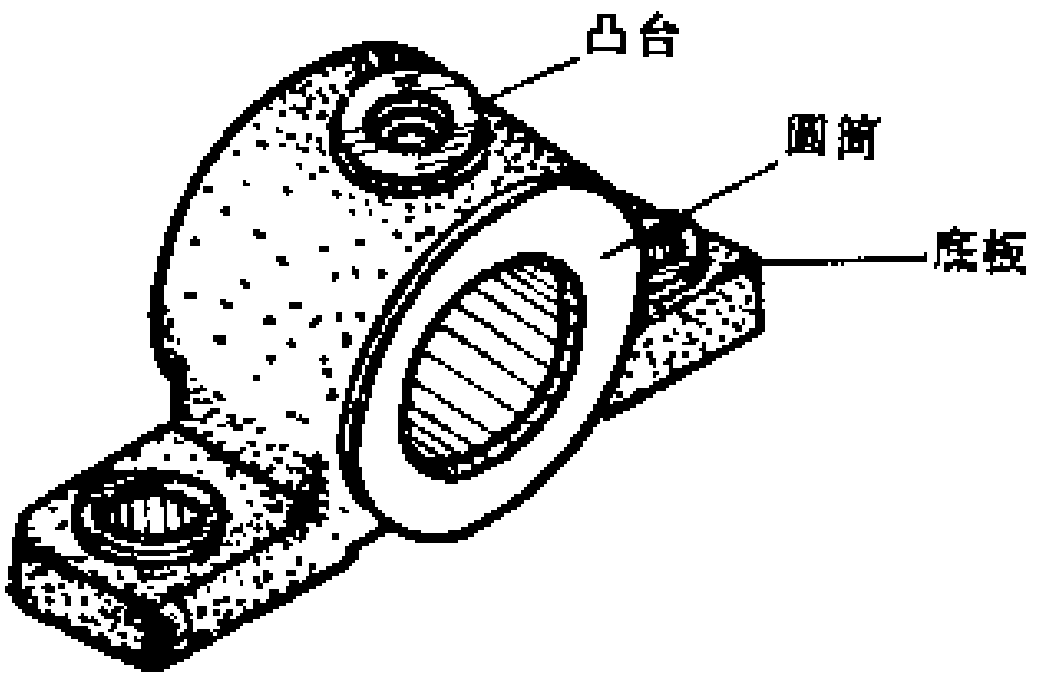
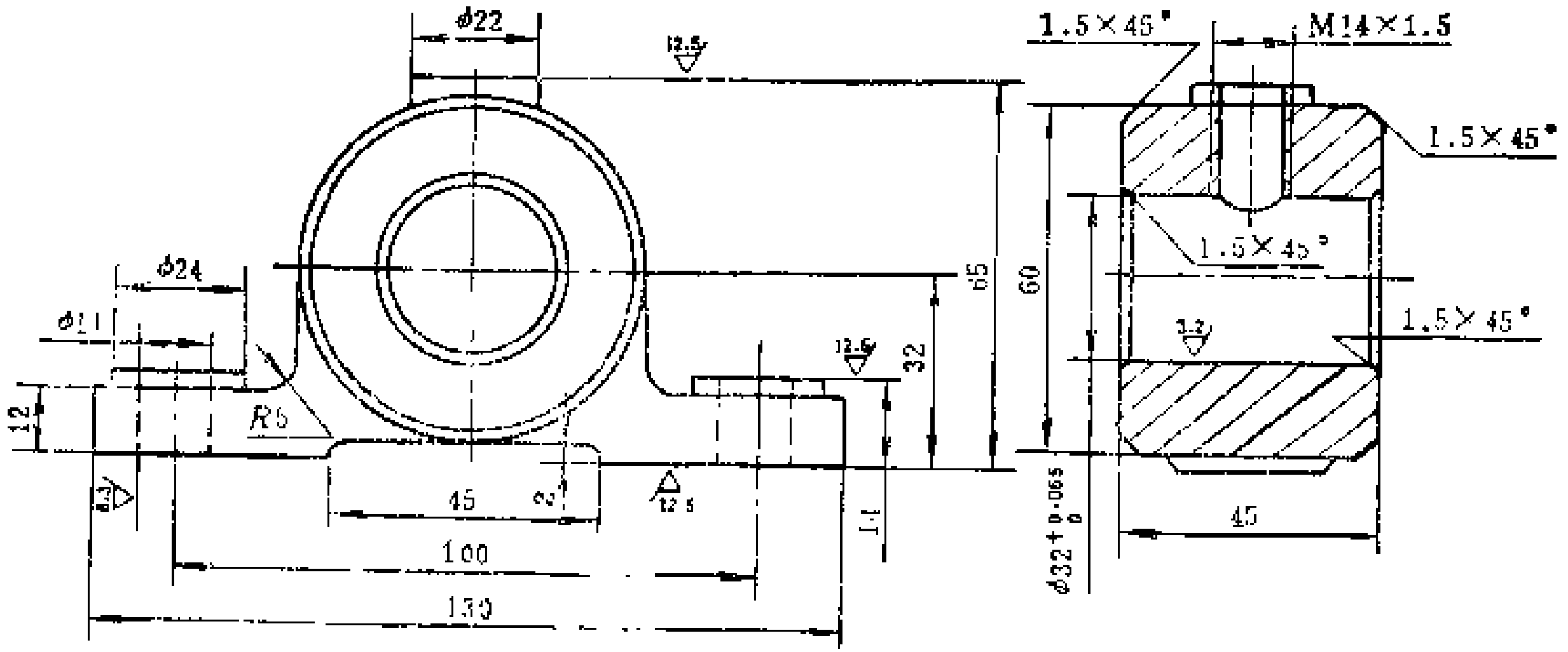


图1.2-1　轴承座的立体图

1. --组图形（包括视图、剖视图、剖面图等）把零件轮廓形状表达清楚。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com



未注圆角半径均为 R2

轴承体		比例	数量
制图		材料	
		HT150-330	
校核			

图1.2-2　轴承座的零件图

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytansha.ng.com

2. 尺寸标注　把零件各部位的大小和位置确定下来。

3. 技术要求　说明零件在制造和检验时应达到的一些要求。例如表面粗糙度，尺寸偏差、形状及位置偏差、材料及其它要求等，用符号注写在图样上，也可在图样的空白处统一注写。

4. 标题栏　说明零件的名称、材料、数量、图形比例及零件编号等。

二、图线

图形是由图线构成的。了解图线是看懂图形的第一步。图线的型式和用途如表1.2-4所示。

表1.2-4　图线

图线名称	图线型式	图线宽度	主要用途举例
粗实线		b（约0.5～2mm）	可见轮廓线
虚　线		约 b/3	不可见轮廓线
细实线		约 b/3	尺寸线，尺寸界线，剖面线，引出线
细点划线		约 b/3	轴心线，对称中心线
双点划线		约 b/3	假想轮廓线，中断线
波浪线		约 b/3	断裂处的边界线

三、正投影的基本原理

（1）正投影方法　如图1.2-3所示，如果把墙面V作为图纸平面，即投影面；和投影面垂直的光线1称为投影线；把物体2的影子3设想为需要画出的图象，那么这个图象就称为正投影图（简称投影）。称这种绘图方法叫正投影法。可见，正投影法的基本条件是投影线垂直于投影面。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）三视图的形成与投影规律　当用三个视图表示零件结构形状时，按正投影方法就有三个投影面，如图 1.2-4 所示。设立三个互相垂直的投影面——正立投影面 V（简称正面），水平投影面 H（简称水平面），侧立投影面 W（简称侧面）。这三个投影面的交线 OX、OY、OZ 也互相垂直，分别代表长、宽、高三个方向，称为投影轴。把物体放在观察者和投影面之间，用正投影法由前向后、由上向下、由左向右分别向正面 V、水平面 H、侧面 W 进行投影，就可分别在三个投影面上，得到物体的三视图。

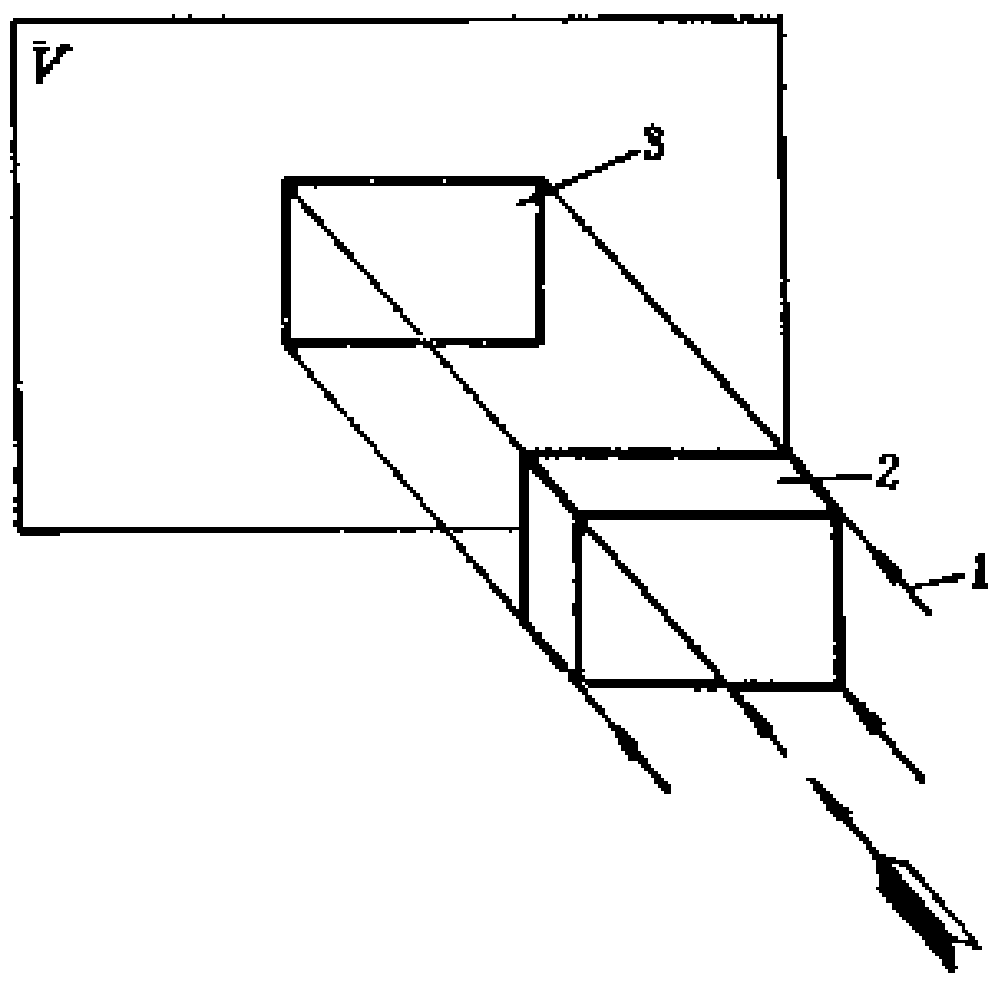


图1.2-3　正投影法

国标规定的视图名称是：

主视图——由前向后投影，在正面上所得的图形；

俯视图——由上向下投影，在水平面上所得到的图形；

左视图——由左向右投影，在侧面上所得到的图形。

为了把三视图画在同一个平面上，如图1.2-4所示，规定正面 V 不动，将水平面 H 绕 OX 轴向下旋转，侧面 W 绕 OZ 轴向右旋转，使它们与正面处于一平面上。在旋转过程中，OY 轴一分为二，随 H 面旋转的称 OY_H，随 W 面旋转的称 OY_W。这时，三视图的位置如图1.2-4 c）所示。

正面画着主视图，俯视图就在它下面；

右面画出左视图，三图位置不改变。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

在实际制图中，投影轴和投影图的边框都不必画出；视图按上述位置配置时，视图名称也不必注出，如图 1.2-4 d 所示。

从三视图的形成过程中，我们可以进一步规纳出三视图之间的相互联系及其投影规律。由图 1.2-4 d 可以看出，每个视图只能反映长、宽、高中的两个方向的大小；

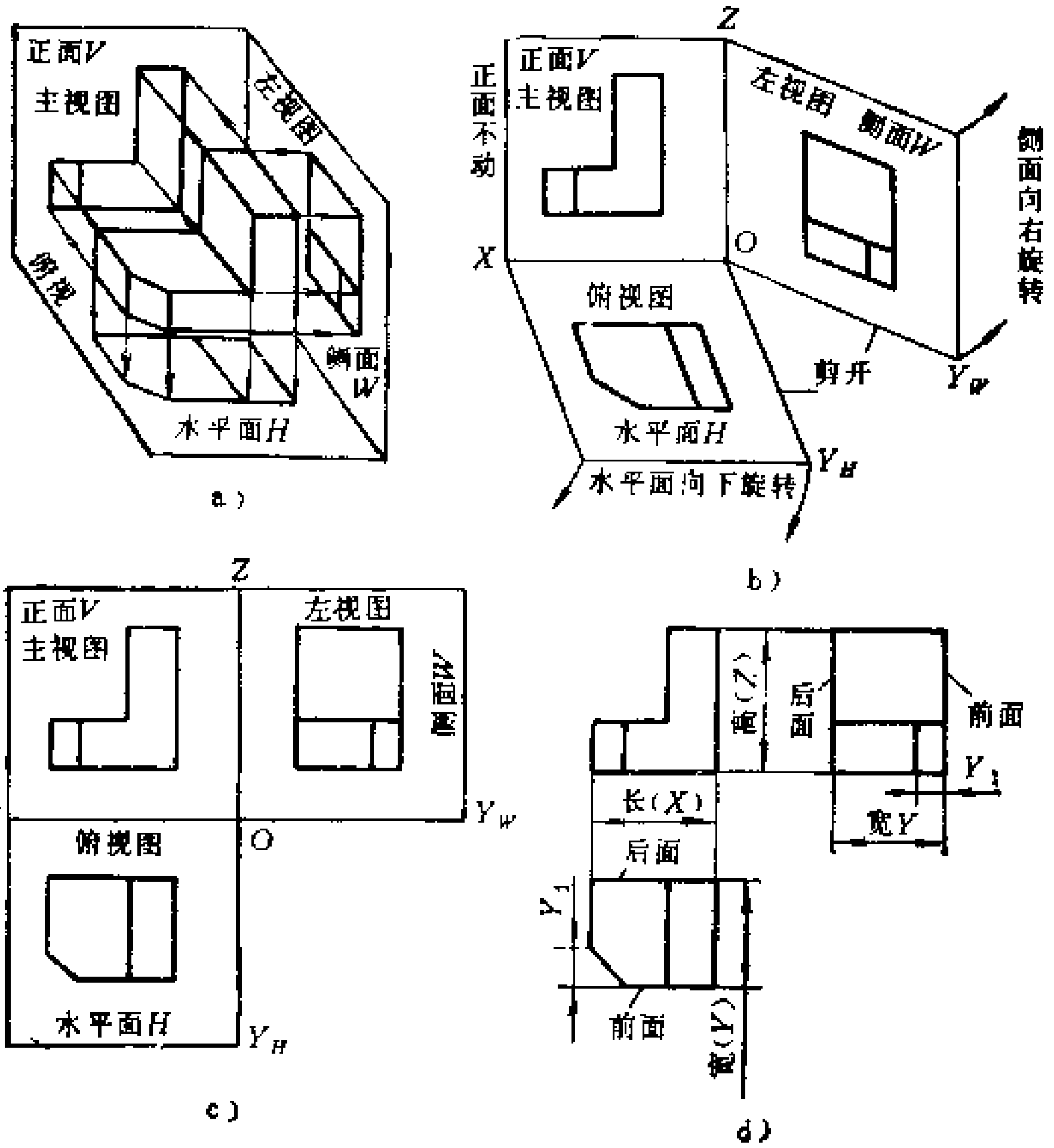


图1.2-4　三视图的形成

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

主视图反映物体的长（X）和高（Z）；

俯视图反映物体的长（X）和宽（Y）；

左视图反映物体的宽（Y）和高（Z）。

这个事实说明，如果没有附加其它说明。只凭一个视图是不能完全确定零件的空间形状。从物体的投影和投影面展开过程中，还可以看到三个视图是有联系的，它们的投影关系是：

主视、俯视长对正；

主视、左视高平齐；

俯视、右视宽相等。

简单的说就是：长对正、高平齐、宽相等。

（3）直线的投影特性　图1.2-5 所示的物 体中，分别用加粗的实线表示对投影面处于不同位置三条直线及它们的投影，可以看出：

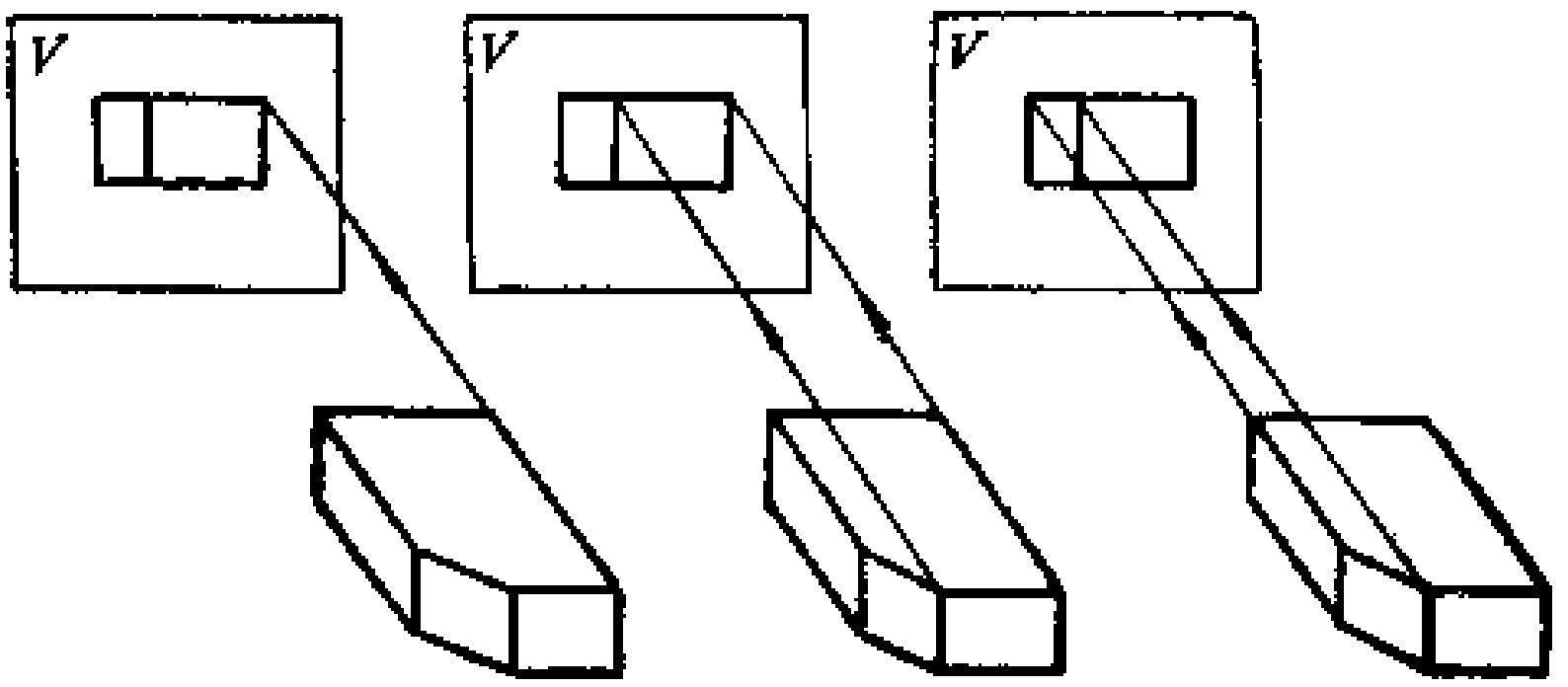


图1.2-5　直线的投影

1）直线垂直投影面，投影成一点；

直线平行投影面，投影实长现；

直线倾斜投影面，投影长改变。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

2）平面投影特性　仍用图1.2-5 所示的物 体为例，图1.2-6分别用绘有密集的点表示的平面，它们 对于投影 面处于不同的位置，及投影情况是：

平面垂直投影面，投影成直线；

平面平行投影面，投影实形现；

平面倾斜投影面，投影形改变。

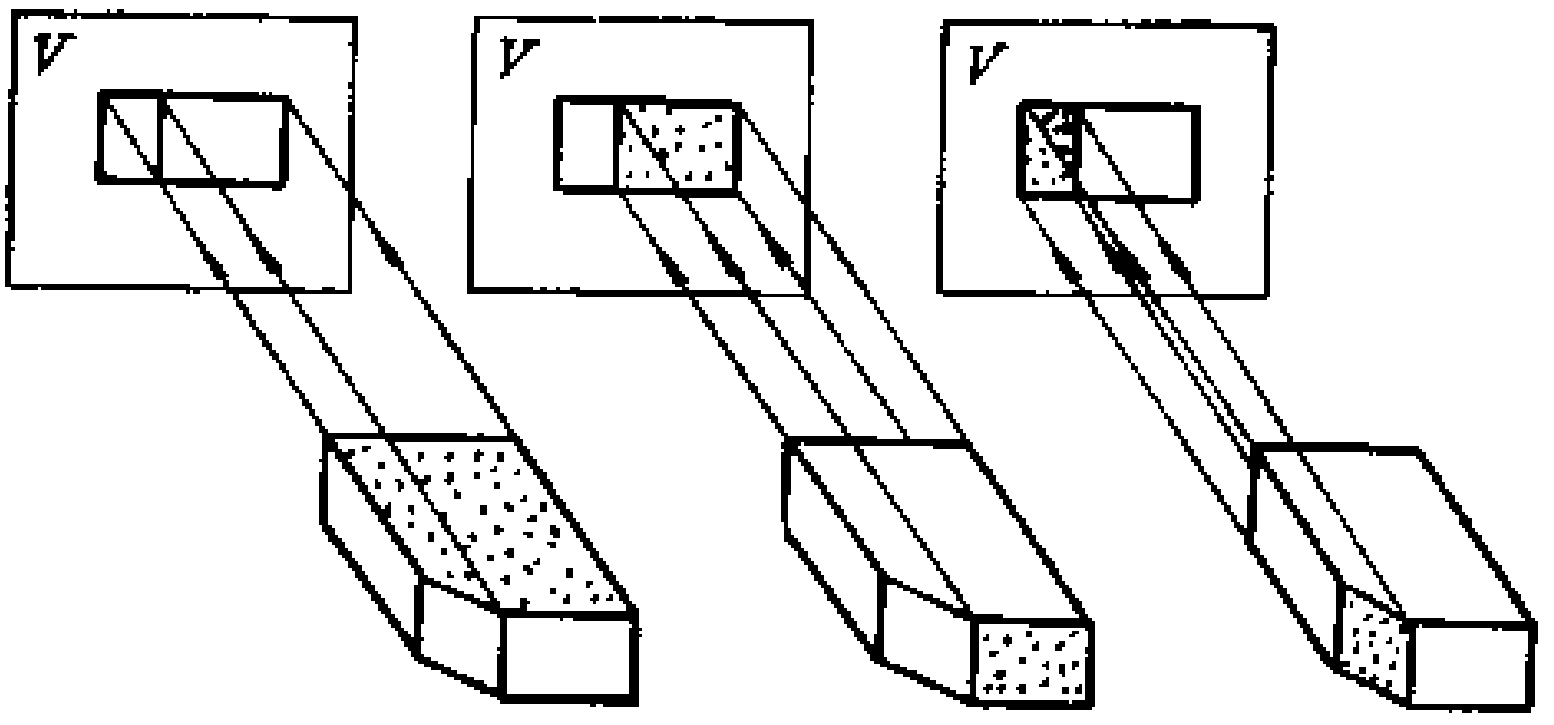


图1.2-6　平面的投影

四、表达零件形状常用的方法

在生产实践中，所遇到零件的形状是千变万化的，有的只用三个视图表达还不够，还需要附加一些其它视图；有的不需要三个视图也可以表达清楚。下面将简单地介绍表达零件形状常用的几种方法；

1．表达零件外部形状的方法——视图

（1）基本视图　当零件形状较复杂时，它的六面形状可能都不相同。为了清晰地表达零件的各面形状，便在已有三投影面的基础上再增加三个投影面。

制图国家标准中采用的六个基本投影面组成的一个正六面体，各投影面的展开方法如图1.2-7 所示。这时 各视图的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

配置关系如图1.2-8所示。这六个视图称为基本视图。

主视图　由前向后投影

俯视图　由上向下投影

左视图　由左向右投影

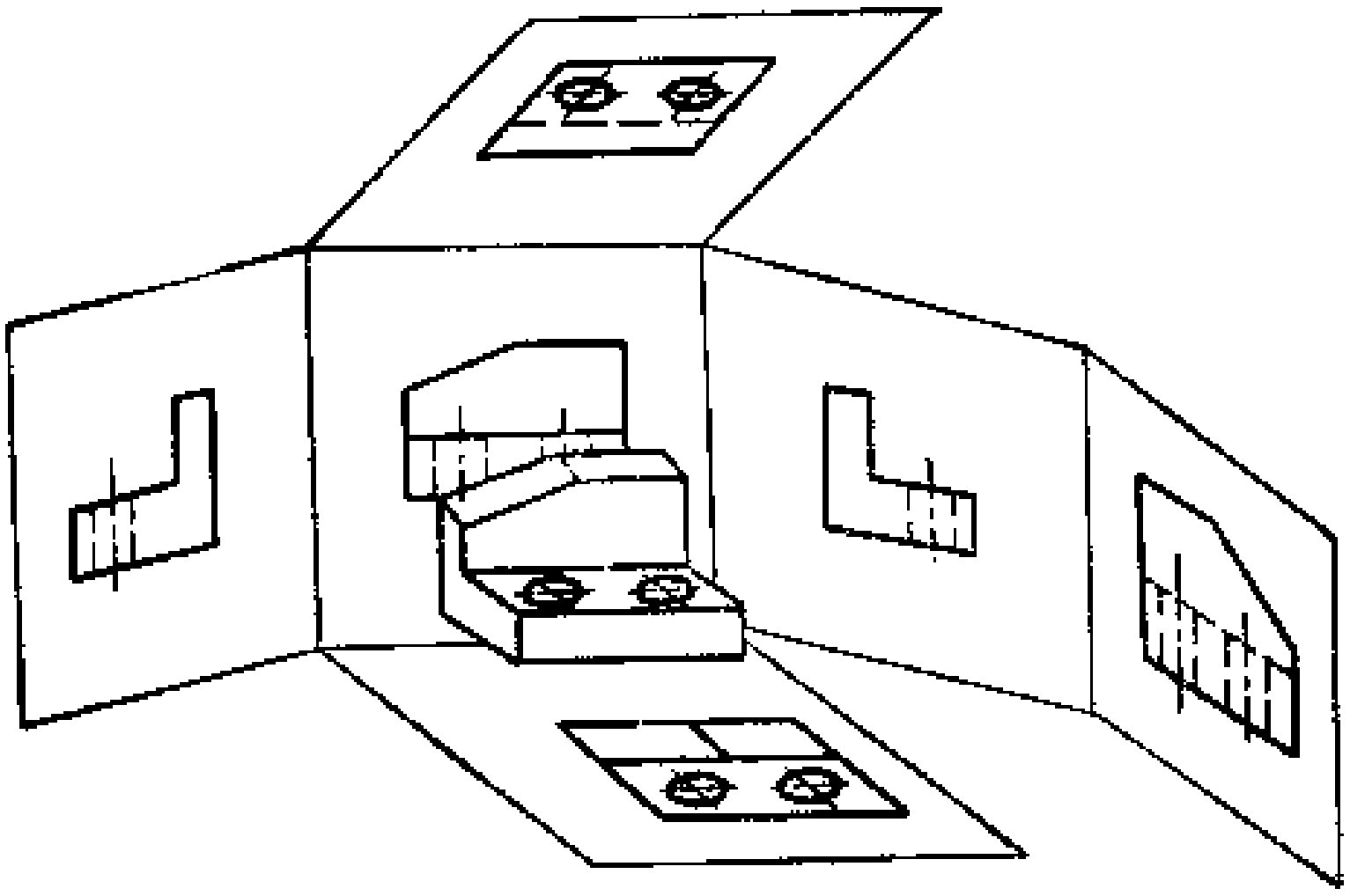


图1.2-7　六个基本投影面及其展开

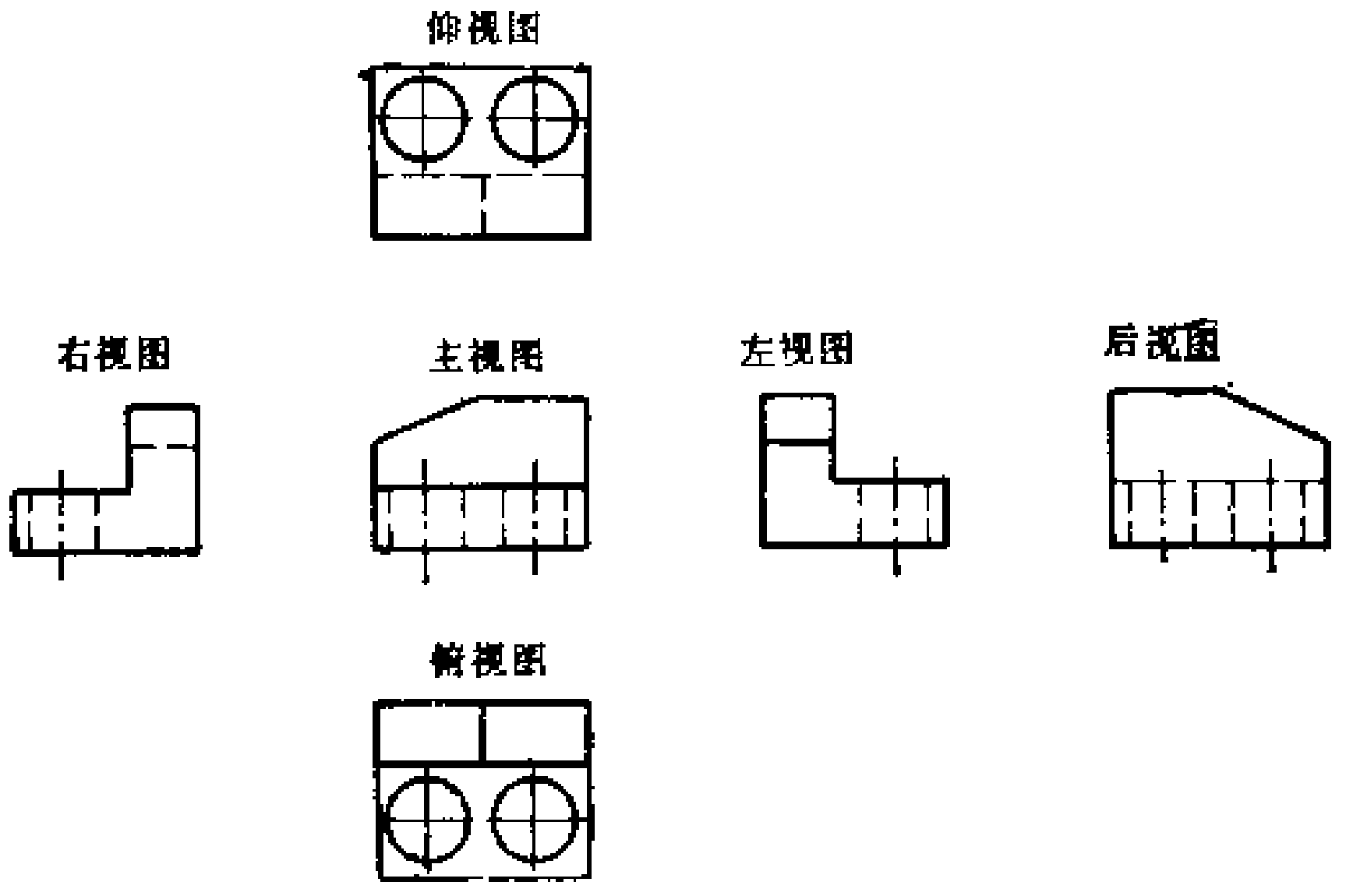


图1.2-8　六个基本视图的配置

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

右视图　由右向左投影

仰视图　由下向上投影

后视图　由后向前投影

（2）斜视图　当零件表面与基本投影面成倾斜位置（图1.2-9a）时，在基本视图上就不能反映出表面的实形。这时，可正对着倾斜的表面进行投影，在与该表面平行的投影面上，作出反映倾斜部分实际形状的投影，如图1.2-9a所示的A向视图。它配置的位置最好在箭头所指的方向，有时为了画图方便，也可将它放正，并注上“A向旋转”，如图1.2-9b所示。

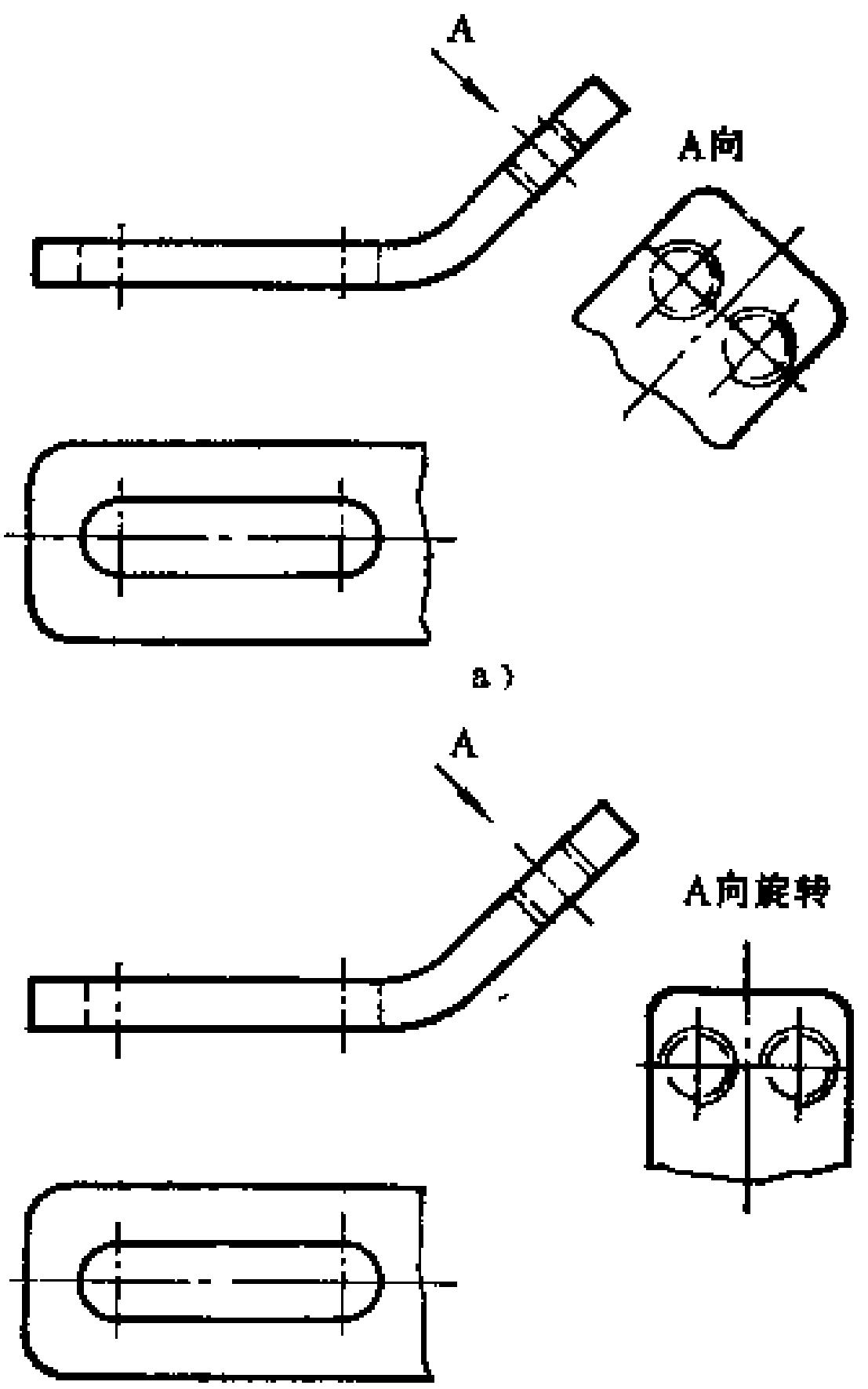


图1.2-9　斜视图

（3）局部视图　当零件在某个方向有部分形状需要表示，但又没有必要画出整个基本视图时，可以只画出基本视图的一部分。

2. 表达零件内部形状的方法——剖视　当零件的内部形状较复杂时，在视图上就用很多虚线表示。这样，不利于尺

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

寸的标注。为解决这个问题，使原来不可见的部分转化为可见的，使虚线变成实线，在制图时可采用这种剖视的方法。如图1.2-10所示，假想用一个剖切平面，通过零件的对称中心线，将零件剖成两半，移去前半部，而将其余部分向投影面进行投影。这样投影所得到的视图叫做剖视图。

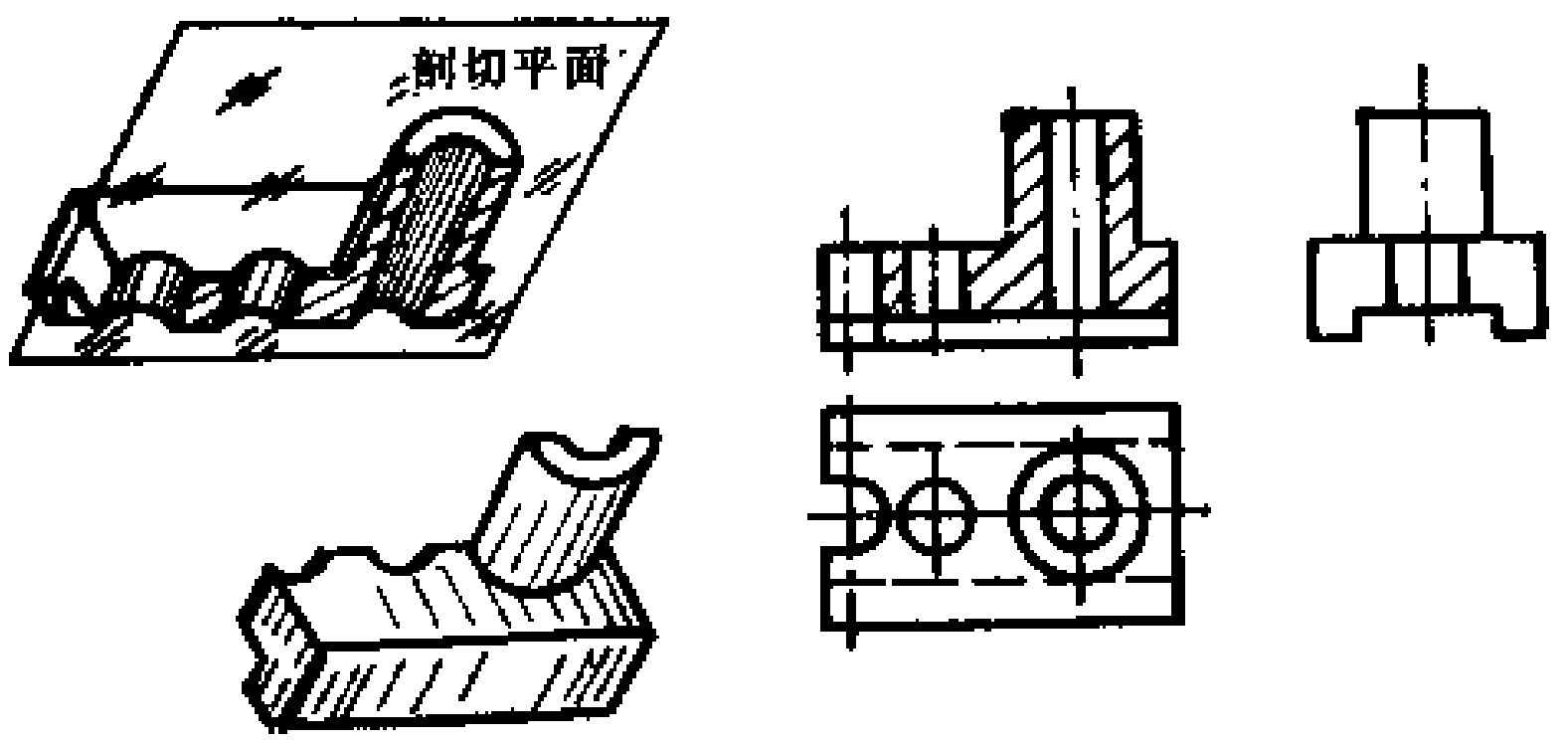


图1.2-10　剖视的概念

在画剖视图时，应根据零件内部形状的特点采用不同的剖视方法。

3. 表达零件断面形状的方法——剖面　用一个剖切平面把零件切开，只画出零件的真实形状，并画上剖面符号，这种图叫剖面图，简称剖面。剖面常用来表示零件上某一部分的断面形状，例如零件上的筋板，轮辐、轴上的键槽和孔等。根据剖面图在画图时所配置位置的不同，可分为移出剖面和重合剖面两种。

五、识图

在生产实践中，应根据图纸上的图形设想出零件的形状，这除了实践以外，还需要掌握一定的方法，一般识图步

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

骤如下：

1. 看标题栏　在标题栏内记载零件名称、材料、比例以及有关生产组织管理方面的内容。它们对识图是有帮助的，起着概括了解零件的作用。

2. 分析视图，概括了解　先了解一下有几个视图，对照各视图看一看各视图的形状，以便分解为若干个基本主体。

3. 划分部分，分析形体　一般复杂的零件都是由简单的主体组成，而简单主体表面在各视图上就是一些线框，所以看图时，应以反映形体特征的主视图为重点，划分几个线框，把零件分成几部分。然后由主视图每部分的封闭线框，找出它在其它视图中的对应投影，就可以判断它的形体。

4. 合起来想整体　看清各部分形状后，根据各部分的形状和它们之间的相对位置，统观全面，从而想出零件的整个形状。

5. 看尺寸　通过看尺寸可以进一步了解零件的大小及其结构。并分析长、宽、高三个方向的主要尺寸基准，并运用形体分析法，检查每一部分的定形尺寸和定位尺寸标注的是否齐全。分析哪些是主要尺寸，进一步掌握零件的结构特点。

6. 看技术要求　图上所注的表面粗糙度，公差配合、形位公差及各项技术要求。

六、装配图

表示机器或部件的图样叫做装配图

1. 装配图的一般表达方法　装配图表达重点是零件的装配关系，所以各零件本身内、外形不一定表达出来，它的基本内容包括：

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（1）必要的特征尺寸　如表示部件（或机器）的规格，性能的尺寸；零件之间装配关系的尺寸；外形尺寸；部件（或机器）的安装尺寸等。

（2）一组视图　表示各组成零件的相互位置和装配关系，部件（或机器）的工作原理和它的结构特点。上节所述的剖视等方法仍可适用。

（3）技术要求　部件（或机器）的装配，安装，检验，运转，性能等所要达到的技术要求，应在技术条件上写清楚。

（4）零件编号、明细表与标题栏　装配图上对每一个不同的零件必须编号，并在明细表中填写零件的序号、名称、规格、材料等内容。并有标题栏，用以记载机器（或部件）的名称，规格比例，图号及有关生产组织方面的内容。

2. 装配图的特殊表达方法　为了表达零件间的装配关系，装配图中常采用一些特殊的表达方法：

（1）沿零件结合面剖切和拆卸画法　如为表达机器（或部件）内部被遮盖的部分，可将盖、或某些零件拆卸，需加说明时，可加注“拆去××件”等。也可以沿两相配零件的结合面剖切，以表示内部状态。

（2）简化画法　对于规格相同的零件，可以只画出其中一个详细图形。其余用条交叉的点划线表示。对零件的次要结构，如圆角、倒角等允许不画出。

（3）假想表示法　有时为表示本部件与其它零件的安装连接关系，或部件中某个零件的运动极限位置，可用双点划线来表示。

（4）夸大画法　装配图中薄片小间隙、小锥度等，有时按它们的实际尺寸很难画出，或表达不明显，可将它们的厚度、间隙、锥度等夸大画出。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

综上所述，我们介绍了简单装配图的表达方法，读者只要认真掌握所述的要点，通过反复练习，就可以看懂装配图。

5　正确执行探伤工艺规程

无损检测工作在锅炉、压力容器和大型锻件制造中占有特别重要的地位。国内外的制造厂在取得制造许可证时对无损检测都有一定的要求。在质量保证手册中，把无损检验作为强制性要求的章节。质量保证手册中要求说明工厂的无损检测引用什么规范和标准，并且要求手册能对规范和标准的要求充分说明。要求工厂明确由谁来负责决定所要求的探伤和委任主任探伤师或探伤责任工程师（责任人员）来负责全厂的探伤技术和保证结果的可靠性，并规定全体探伤人员必须经过培训考试和资格鉴定。要求探伤按探伤工艺进行，这些要求都应在质保手册中明确。

一、无损检测工艺规程

无损检测是一门科学，它的任务是利用物理方法来检测各种工件内部的质量情况，且不损坏工件。各种工件用无损检测方法取得工件内部反映的各种信息，进行分析、推理和判断，得出工件质量优劣的结论。因此无损检测方法应该是严格的科学方法，且有一定的工作程序。无损检测用于各种领域，国家颁布的标准要适应各种情况。因此工厂要把自己采用的技术和怎样实施标准编写无损检测工艺规程。当然这个规程中的验收标准不得低于国家的或部颁的标准。这个规程不但说明工厂的无损检测的具体方法；而且要求保证探伤的一致性即每个操作人员都有统一的标准，统一的方法，统一的记录，统一的报告。为了能理解无损检测工艺规程是怎么回事，现将几种常用方法的规程的主要内容分别叙述如下：

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

1. 射线检验规程　规程要求说明制订规程的目的，使用范围，对探伤人员的资格要求。射线检验技术至少应包括下列内容：

（1）材料和厚度范围；

（2）所采用的放射性同位素和X射线最高千伏数；

（3）射线源至胶片的最小距离；

（4）射线源的最大尺寸；

（5）胶片的牌号或类型；

（6）采用的增感屏；

（7）透度计及其使用方法和灵敏度；

（8）软片的处理；

（9）底片评定条件和设施；

(10) 软片上应有的标记；

(11) 照相黑度；

(12) 照相技术；

(13) 散射线屏蔽。

射线检验规程中还应包括验收标准、报告和记录要求，资料的保存以及必要的编制说明（包括工艺规程是按哪一个标准制订的）。

2. 超声波检验规程　超声波探伤使用的场合很多，因此要根据不同的探伤对象，列出各种检验规程，如锻件超声检验规程，焊缝超声检验规程，钢板超声检验规程等。规程也要求说明制订的目的和范围等。而与射线检验规程不同的是所采用的技术至少应包括下列内容：

（1）从哪几个表面进行探伤；

（2）表面状态；

（3）被检对象的类型和形状、材料和尺寸；

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（4）耦合剂类型、牌号等；

（5）检测方法；

（6）声波的类型和传播角度；

（7）探伤仪型号及性能要求；

（8）探头的类型、频率和晶体尺寸；

（9）校验试块和校验方法；

(10) 检查方向、方式和范围；

(11) 记录的水平和判断水平；

(12) 定量和测长的方法。

超声检验规程也应包括验收标准，报告和记录要求，资料保存及必要的编制说明等。

3. 磁粉检验规程　磁粉探伤根据不同的探伤对象有不同的磁化方法，磁化规范的选择又影响检测的灵敏度，因此要保持磁粉探伤结果的一致性必须制订一个磁粉检验规程，其要求与射线、超声相同，而所采用的技术至少应包括下列内容：

（1）被检材料、形状和尺寸以及检验范围；

（2）所用的磁化方法；

（3）所用的磁化装置及校验；

（4）表面清理和粗糙度；

（5）铁磁粉的类型、颜色和干显法；

（6）磁化规范选择；

（7）退磁；

（8）显示的评定。

磁粉检验规程亦应包括验收标准，记录和报告内容和资料的保存，以及必要的编制说明。

4. 渗透检验规程　渗透检验是一种工艺性要求很高的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

探伤手段，同样的一组渗透剂，由于使用不当，可能检测失效，因此要求探伤人员严格按渗透检验规程进行探伤是非常必要的。编制规程的要求与其它探伤类同，在所采用的技术方法，至少应包括下列内容：

（1）被检材料、形状或大小以及检验范围；

（2）渗透检验所用的材料型号；

（3）检验前的准备工作细节；

（4）检验时渗透和显象的细节（时间、温度等）；

（5）检验后清洗的方法细节；

（6）渗透材料的校验；

（7）照明；

（8）显示的评定。

渗透检验规程应对显示的相关性和非相关性作出定义，并明确验收标准、记录和报告内容，资料保存和必要的编制说明。

二、无损检测工艺卡片

无损检测工艺规程反映了一个工厂在执行国家和部颁标准时的技术水平。对于工厂的具体产品如何探伤，还需要进一步分解，由于产品的结构不同，因此检验的方法各有不同，探伤工艺卡规定了产品上某一部位探伤的方法和验收标准等。

6 独立地进行无损探伤中的辅助工作和生产准备工作

一、射线探伤的生产准备工作

（1）透视前应做好资料的收集整理工作，如了解被透视部件的规格、焊接方式、焊接工艺特点等等，并编写好透视检验记录图，在这个图上，应按焊接记录图填写焊工代号、焊口编号以及透视的顺序号。

（2）透视前应检查探伤设备是否处于完好备用状况，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

如X光机的电源装置是否合乎要求、γ射线探伤的射源操作装置是否灵活可靠等。对机械化、自动化设备并应试操作数次，检查有无故障。

（3）透视前必须做好现场安全的全面布署。

（4）透视前应清除焊缝表面的焊渣、飞溅金属和脏污物并作外观检查，发现有不允许的表面缺陷时（如严重咬边、表面裂纹、气孔等），应先作处理。

（5）透视前应放置好规定的标志，在焊缝两侧的规定地位，分别妥放代表透视编号的铅字号码、指示焊接部位的箭头，以及用以对比缺陷深度与计算灵敏度的透度计等，这些标志应在透视后的底片上显现出来。

对较长的焊缝如采用分段透视，应按照底片的长度在焊缝上作出记号。

二、磁粉探伤的生产准备

1. 对零件表面的要求

（1）送检零件应清除油污、锈斑、毛刺、氧化皮和金属屑等脏物。

（2）需要发蓝、磷化、电镀等表面处理的零件，一般应在表面处理前进行磁粉探伤，如必须在表面处理后进行，则覆盖厚度不得超过30μm。镀铬层厚度不得超过15μm。

（3）有非导电覆盖层的零件必须通电磁化时，可将电接触部位的覆盖层去掉，再进行通电。

2. 设备

（1）磁粉探伤设备的安装　设备宜安装在单独的房间内，退磁机的安装方向宜使退磁机产生的磁场垂直于地磁场。

磁粉探伤设备应使用单独电源供电。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

检验零件的场所应保证照明度不低于 500lx，最好采用日光灯或毛玻璃灯。

用荧光磁粉检验零件时，应备有3200～4000 Å 波长的紫外线灯，以及观察零件用的暗区。

（2）磁化电流　磁化电流可采用直流电、交流电、半波整流或全波整流。直流电或整流电可发现零件表面下较深的缺陷，交流电发现零件表面缺陷的灵敏度较高，但用于剩磁检验时，应配备断电相位控制器，或采用其它相应措施，以保证零件磁化后有足够的剩余磁感。

（3）磁粉探伤主要设备：

1）带开关的配电盘；

2）作为周向、纵向或复合充磁用的磁粉探伤机；

3）适当容积的带盖磁悬液槽或喷洒磁悬液的装置及磁悬液的搅拌装置；

4）检验零件的工作台；

5）退磁机；

6）文件存放柜及废品箱等。

（4）设备的维护与保养　磁粉探伤设备应加强维护和保养，每年全面检修一次，探伤机上的测量用仪器应半年鉴定一次，设备的电气部分（绝缘状态，接触点、电源调节装置、信号装置等）应每季度检查一次。

3. 对磁粉和磁悬液的要求

（1）磁粉质量应符合有关标准规定。磁粉应具有高的磁导率和低矫顽力的铁磁粉末，磁粉与被检验零件的颜色应有高衬度。

（2）磁悬液配制、使用及其质量应符合有关规定。磁悬液可用变压器油或水作为液体介质，允许用煤油和润滑油

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的混合液或其有关标准规定的介质代替之。

荧光磁悬液的液体介质本身应不发荧光，又不改变荧光磁粉之性能。

为保持磁悬液的性能，磁悬液的温度不得低于15℃。

（3）当用水磁悬液检查零件时，应避免零件锈蚀。镀锌和镀镉零件最好不用水磁悬液检查。

三、对接焊缝超声波探伤的准备

（1）操作者应掌握所探工件的材质，焊缝坡口形式，焊接工艺，缺陷可能产生的部位等资料，根据荧光屏上反射波形进行综合判断。

（2）仪器和探头的组合灵敏度，在达到所探工件最大声程处的探伤灵敏度时，有效灵敏度余量至少应为10dB。

（3）探伤仪应具有衰减量不少于50dB连续可调的衰减器，其精度为任意相邻12dB的误差小于±1dB。

（4）对探伤面的要求　在探伤中，探头应能在探伤面上可以左右前后地移动，若探伤面不平整，将直接影响到探伤结果。为此必须对探伤面进行修整。在探伤面上应清除掉飞溅物、氧化皮和凹坑以及锈蚀等。

探伤面的修整方法是，先用砂轮机或砂轮碎片除掉附着的飞溅和异物。

探伤面粗糙度愈高，声耦合条件愈好，判断准确性也愈高，否则给判断带来困难。

两侧探伤面的修整宽度 b 规定如下：

$$bB > s' + H$$

式中　s'——探头垂直于焊缝移动的最小距离；

H——探头长度（或为 $H = 50\text{mm}$）。

s' 值按下式确定（对接焊缝）：

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

薄板　$s' = 1.5\,b$；

中板　$s' = 2 \times \delta \times \mathrm{tg}\beta - a$；

厚板　$s' = \delta\,\mathrm{tg}\beta - a$（用直射法）。

式中　b——焊缝宽度；

a——入射点到探头前沿距离；

β——探头折射角；

δ——被探件厚度。

在焊缝探伤时，探头在焊缝两侧移动距离 如 图 1.2-11 所示。

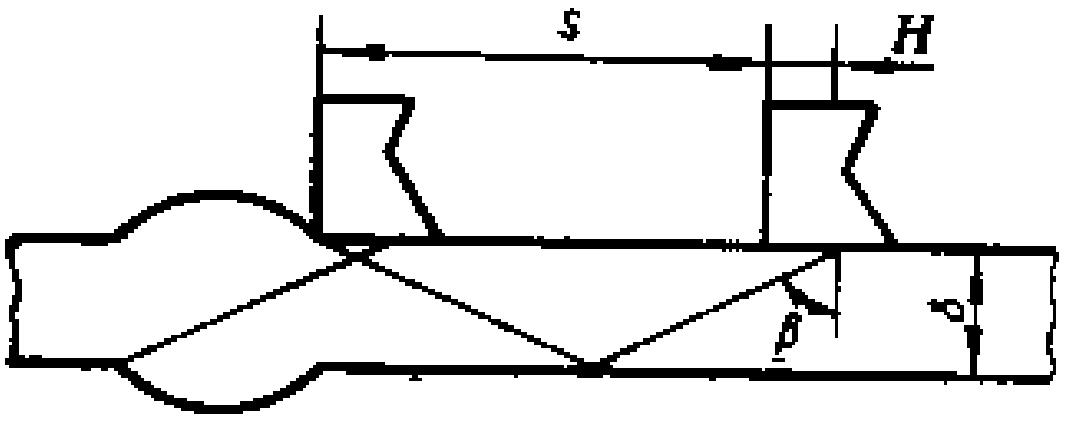


图1.2-11　探头移动距离

（5）耦合剂

为使超声波顺利地传入工件而使用的耦合剂有以下各种液体：①水，②机油，③润滑油，④浆糊，⑤甘油，⑥水玻璃。

（6）频率的选择　在接到所需探伤的工件后，应根据被探工件的材质和厚度来选择频率。

在一般情况下，频率越高，越能发现小缺陷，分辨率越好，容易测定缺陷的位置和尺寸。因此一般说来，当板厚小时，采用高频；而当板厚较大或材料对超声波衰减明显时，应选用低频。在焊缝探伤中，多采用 2.5～5MHz 的频率 来探测薄板的焊缝，如板厚12mm 以下。中厚板焊缝多用 2～2.5MHz。

（7）探头K值的选择及测定　探头K值的选择应从三个方面考虑：

1）能使超声波声束扫查到整个焊缝截面　假定对接焊缝上部加强高最大宽度为 2 b，下部加强高最大宽度为 2 c，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

板厚为 δ，探头前沿为 a，则 $K = \mathrm{tg}\beta$，见图 1.2-12。纵焊缝两侧探伤，如采用直射法，一次反射法，则探头入射点离焊缝中心线oo'的最小距离是 $b + a$，因此声束主线与oo'交点至表面距离 $d = \dfrac{b + a}{K}$，而 $K = \dfrac{b + a}{d}$，即利用直射法能扫查离表面距离为 d 以下部分，当探头向后移动，底面 c 一般不能作为反射面，经常取 A 点作为反射面。

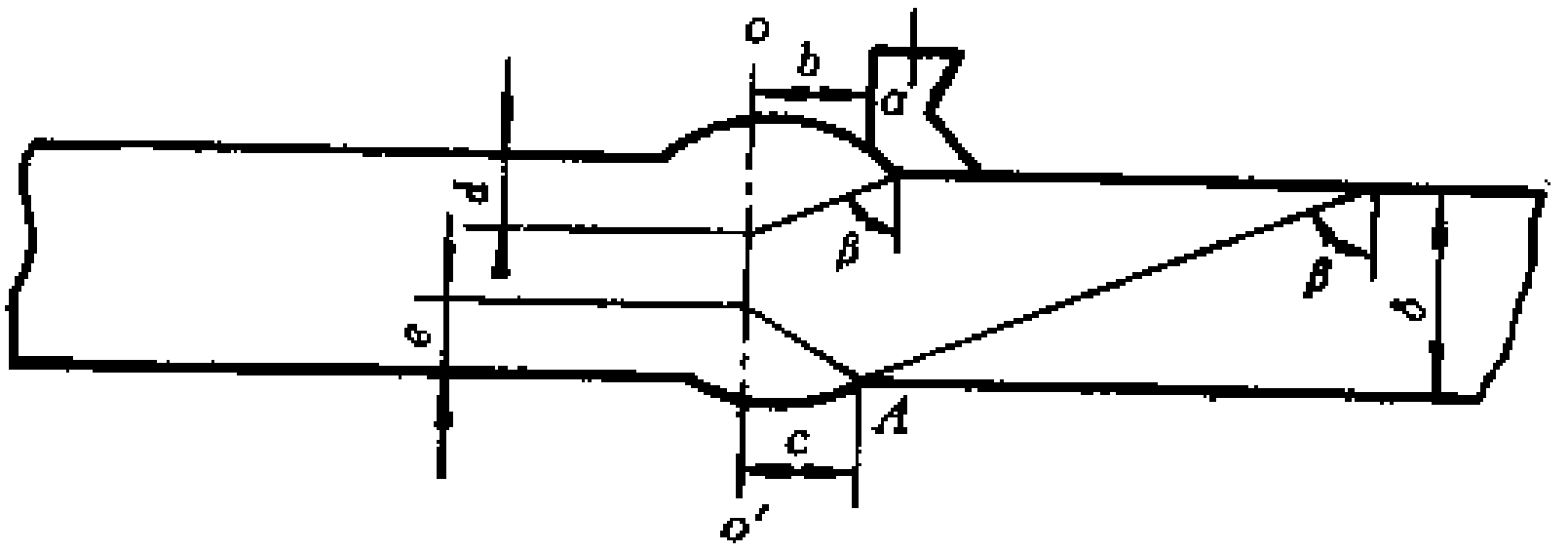


图1.2-12　探头K值的选择计算

2）能使声束中心线尽量与主要危险性缺陷平面垂直。

3）要保证足够的探伤灵敏度。

当K值选大时，声程变长，扩散角也变大，若工件很厚，由于声能在工件中的衰减，使探测灵敏度降低，所以在选择K值时，应注意这个问题。

在考虑上述这三方面的问题之后，可按表 1.2-5 选取K值。

表1.2-5　由板厚选择K值

板厚 δ（mm）	$K = \mathrm{tg}\beta$ 值
8～25	3.2～2.0
>25～46	2.5～1.5
>46～120	2.0～1.0

表 1.2-5 的K值是按板厚选取，探伤时应根据产品的板

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

厚找出标称K值探头，但K值常因斜楔中声束、探头的磨损不同，而产生变化，所以必须在试块上测出K值。

7　独立地按规程标准、有关技术文件调整仪器和正确进行射线、磁粉、渗透检验操作。准确做好原始记录

一、射线探伤检验

射线检验操作一般可按以下几个步骤进行。

1. 照相区域的划分　工件在射线探伤之前，事先应在工件上划分出照相区域，这一步骤称为划线。

划线之前工作人员必须先确定划线的长度，然后在工件上进行划线。划线时，还应在工件的内外表面均标出照相区域的中心。其误差不得超过10mm。相邻的两端，在射线照相上，必须保证有100%的覆盖区域。

2. 对焦　对焦也称对镜头。一般包括下列两方面的内容：

（1）使射线源焦点与胶片保持一定的空间距离。

（2）使射线束中心对准划线中心，并以一定的角度入射工件。

3. 贴片　按透照技术的要求将X射线胶片安放在一个相应的位置上，使射线透过工件后能射到胶片上，这一过程称为贴片。在贴片时应注意如下几点：

（1）根据产生散射线的可能性分别采用滤板、铅遮板和底部铅板，选用铅箔增感屏等方法对散射线进行屏蔽。并按要求把它们与X射线胶片安放在一定的位置上。

（2）按透照工件情况，选择一定大小的X射线胶片。

（3）在X射线暗匣背面用软垫和支撑棒等工具将胶片暗匣与工件压紧，其目的是使X射线胶片与增感屏相互贴紧，减小固有不清晰度。另外减小胶片与工件的间隙，还能

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

减小几何不清晰度。

（4）放置各种符号与标记

4. 各种符号的放置要求　在每张射线照片上都应具有透度计、中心定位符号、照相编号及工件编号，必要时还可以放置探伤人员的代号以及探伤日期。各种符号的相互位置，如图 1.2-13 所示。

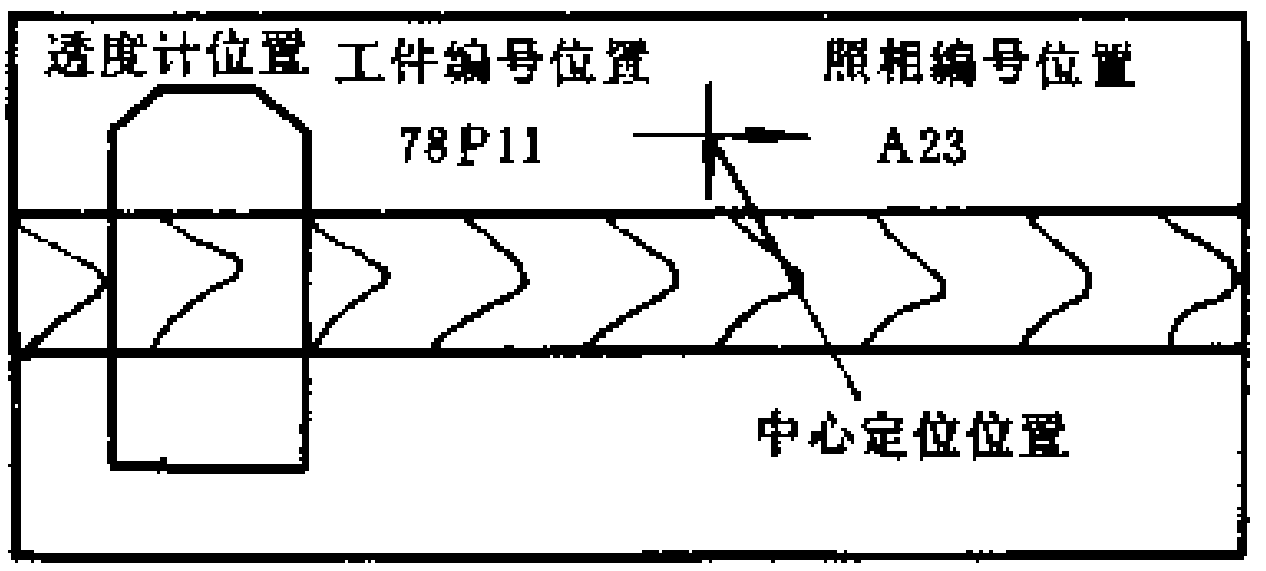


图1.2-13　各种符号的相对位置

放置各种符号时应注意以下几点：

（1）透度计　透度计必须放在靠近射线源一侧的工件表面，若需放在靠近胶片一侧的工件表面，则事先须进行修正。透度计还应放在X射线照相的两端，将直径细的钢丝朝张向外侧。用周向曝光技术时，透度计可每隔90°放置一个，每张照片上都应有透度计的标记。

（2）中心定位符号　中心定位符号分成内中心和外中心两种。内中心符号为“┼”；外中心符号为“┿”。内中心符号安放在工件和X射线胶片之间，箭头指示出内划线中心位置，箭头指向焊缝边缘。

外中心符号放在靠近射线源一侧的工件表面上，水平方向箭头代表焊缝划线编号的前进方向，垂直箭头与外划线中心相符合，箭头指向焊缝边缘。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（3）工件和照相编号　工件编号是工件的代号，应由工厂有关部门统一进行。

照相编号是工件射线探伤区域的流水编号，但应在流水号之前加代号指明是工件上的那一部位。

在焊缝射线探伤时，除了透度计跨越焊缝以外，其它符号的标志不能安放在焊缝上，应安放在距焊缝边缘约5mm处，以免把焊缝中心的缺陷遮挡住。

5. 曝光　曝光就是开启射线机使射线按预定的方向对工件进行透照，在照片上形成潜影。曝光包括如下内容：

（1）选择曝光量，一般在15～25mA·min之间，不得低于15mA·min。若固定电流，则对曝光时间予以选择。

（2）选择合适的管电压（kV）。

（3）开启X光机对工件进行透照，使胶片感光。

6. 射线探伤记录　GB3323—82标准中规定了射线探伤的记录内容，包括工件编号，照相编号、摄片部位（可用简图表示）及摄片条件，其详细程度应达到易于重复摄得同样的照片为目的。

典型的射线探伤记录形式，如表1.2-6所示。

表1.2-6　射线探伤记录形式

工件编号	工件厚度	射线机	曝光参数			焦距	增感法	胶片
86P19	20（mm）	2005	180（kV）	5（mA）	5（min）	600（mm）	Pb（0.05）	Ⅲ型

片号	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	复照
1					
2					
3					

拍片人×××　　评片人×××　　定位人×××

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

应如实填写射线探伤现场记录单，不得弄虚作假。

（1）摄片条件　包括X射线胶片牌号或型号，增感方法、摄片焦距、kV值、mA值、曝光时间和射线源型号及编号。

（2）工件编号　工件如有一个编号（单件），则填写一个编号；如由几个部件组合的工件则可按组合顺序全部记录，也可选择代表性编号记入记录单。

（3）摄片部位　即为照相编号（片号）。

（4）工件情况　工件厚度（必要时注明材料牌号）。

（5）定位简图　画出工件外形及摄片部位的分布状况，必要时需注明尺寸。

射线探伤现场记录时应注意如下几点：

（1）按记录表格内容逐项填写；

（2）在探伤时如发现什么反常现象，应在记录单中用简明的文字予以说明；

（3）在记录时不宜另造符号及词汇。

二、磁粉探伤检验

磁粉探伤技术操作过程对探伤灵敏度有很大影响，所以了解正确的技术操作方法是十分重要的。

1. 磁粉探伤的表面要求　在磁粉探伤前，应对零件的受检表面进行干燥和清洁处理，以清除污垢、锈蚀和松动的氧化皮等。

2. 磁化时间　磁粉探伤中，对工件进行磁化的时间应当多长呢？磁化时间过短，达不到磁化效果，影响探伤灵敏度。磁化时间过长又浪费了时间，影响生产效率。所以，工件的理论磁化时间是1/100 s，即50周波中，一个正弦波的1/2周期可把工件磁化到饱和值。但在实际检验中，由于磁

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

滞现象，致使工件中磁感应强度B落后于外加磁场强度H。对工件必须有一定的磁滞训练过程，致使磁畴转向，所以，一般磁粉探伤的磁化时间都大于1/100 s。通电时间每次约在0.5～1 s之间。

在采用湿粉连续法探伤时，磁化时间有时需要几秒钟，这是因为连续法要求在磁化状态下施加磁悬液，且在停止施加磁悬液后还需一段磁化时间，以便在磁悬液自由流动状态时显示缺陷。

3. 磁化方向和电极距离　我们知道，工件或焊缝内部缺陷的走向可能是各种方面的，而在磁粉探伤中，当缺陷方向与磁力线垂直时最容易显示，而当缺陷方向与磁力线平行或接近平行时不易显示。所以，为了检出不同方向的缺陷应当采用不同的磁化方向。

在焊缝的磁粉探伤中，为了避免漏检，每个受检区域应进行两次检查。两次检查的磁力线方向应大体上垂直，每次检查的区域要有足够的重复。当采用电磁铁磁化时，在同一检查区域内，电磁铁应近似成直角磁化两次。当采用电极触点法磁化时，在同一检查区域内，电流方向应近似成直角磁化两次。当采用旋转磁场近行磁化时，在同一检查区域内只磁化一次就可以了。

采用电极触点法磁化工件时，应特别注意触点之间的距离。其距离过小（例如小于50mm）则会因触点周围吸磁粉过多干扰缺陷的显示，故工件尺寸小于50mm时不能采用电极触点法探伤。而又当触点间距离过大（例如大于200mm）时，会减弱工件的磁化，易造成漏检。因此，一般电极触头之间距离采用150mm左右。

对于轴，棒状工件的磁粉探伤，为避免漏检，每个轴或

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

棒（例如大于500mm）在采用线圈进行开路纵向磁化时，应分段进行。对于短粗轴或棒（$L/d<5$）进行纵向磁化时应串接起来。

4. 磁粉和磁悬液的施加　一般焊缝均采用连续法探伤，因而必须在磁化电流通过时施加磁粉。

采用干粉法探伤时，干粉应喷涂或撒布，可用喷粉器来快速、均匀的施加干磁粉。应注意喷得轻，不可过量。应先用少量的磁粉喷在工件表面，接着用微弱的气流吹去多余的部分，气流的大小应控制在以不能破坏或去掉那些轻吸附着的磁粉迹象。在磁粉探伤中，磁粉和被检验工件表面必须干燥。在施加磁粉的必要时可轻敲工件加以振动。

采用湿粉法探伤时，磁悬液应缓慢浇上，并注意适量。磁悬液须不断地进行搅拌，保持磁粉浓度均匀，施加磁悬液时冲力不可过大，应保证不致冲洗掉或移去轻附于工件表面上的迹象。停止浇液后应给于1～2次的磁化，让流动的磁粉仍有机会被缺陷磁场吸附。

5. 磁粉探伤的观察　采用非荧光磁粉进行探伤时，应有足够的光线，观察所显示的迹象，一般在照明灯光下用肉眼可检查有无磁粉痕迹。

采用荧光磁粉进行探伤时，需将外部光线遮住，至少在检查前 5 min 将紫外线灯打开，使荧光磁粉受到照射，发出明显的荧光。荧光磁粉探伤必须在紫外线灯的照射下，用肉眼检查有无磁粉迹痕。

一般紫外线探伤灯辐射的波长为3000～4000 Å，国产紫外线探伤灯的主要辐射波长为3650 Å。

在荧光磁粉探伤中，为使荧光磁粉达到足够的亮度，易于用肉眼观察，除要求紫外线灯具有一定的辐射波长外，还

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

应具有一定的辐射强度。

6. 退磁　某些工件经磁粉探伤后将残留相当大的磁场，会影响工件的机械性能。在许多情况下，例如某些锅炉和受压容器的焊缝，磁粉探伤后尽管残留磁场并不防碍以后的使用，所以一般不需要进行退磁处理。但是，在某些情况下需要将工件退磁，例如，经磁粉探伤后的工件如需机械加工，剩余磁场将使铁屑吸附在刀具上。又如运转零件经磁粉探伤后，其剩磁会吸附铁屑，可能破坏运转面，影响零件寿命。另外，若工件在灵敏的电子仪器附近工作，强的剩磁可能会干扰仪器的正常工作。一般只有在图纸，技术条件中特别注明时才进行退磁。在所有情况下，退磁的磁场强度必须大于磁化工件的磁场。

常用的退磁方法一般有以下几种：

（1）应用最广的方法是，将工件从一个高磁场强度的交流线圈中退出，推荐的磁场强度为5000～10000安匝。操作时应注意工件在切断线圈的磁化力前完全离开线圈的影响区，否则退磁器将对工件起磁化作用。

（2）采用交流磁化时，将电流逐步减小到零进行退磁。

（3）采用可连续递减和反向的直流磁化，电流直至降到可忽视的数值。这是对大型零件退磁的最有效的方法，因在这里交流磁场无足够的磁通穿透力以除去剩磁。这一方法需更换电流方向，同时要求采用降低电流的专用设备。

7. 试验记录　作试验记录时，可采用表1.2-7的记录示例。

三、渗透探伤检验

渗透探伤操作一般按如下步骤进行：

1. 用清洗剂去除工件表面的油脂，污垢。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表1.2-7　磁粉探伤试验记录　　年　月　日

委托者　　试验地点　　单位名称

试件名称		数量	材料及热处理状态
试验装置名称		1	
试验条件	使用磁粉的磁化时间	2	
	磁粉的种类	3	
	磁粉的分散介质和检查液的浓度	4	
	磁化电流种类	5	
	磁化电流值和通电时间	6	
	磁化方法	7	
	标准试片	8	
试验结果		9	
试验人员		10	
备注			

2. 工件表面干燥后施加渗透剂，但用刷涂法时，刷涂次数不得少于3次。受检表面保持在湿润状态下的渗透时间不得少于10min。

3. 用清洗剂去掉多余的渗透剂。清洗时可用擦抹，喷射等方法，禁止在工件表面倾到大量的清洗剂，以防将渗入缺陷中的渗透剂被清除掉。

4. 施加显像剂　可用喷射法或涂刷法。受检表面形成的显示剂薄膜必须薄而均匀。

5. 观察缺陷。显示剂施加完毕，一般停留10min，用4～10倍放大镜对缺陷进行观察。有特殊要求时，停留30min再作第二次观察。观察缺陷应在光线充足的条件下进行。当

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

发现有不允许存在的缺陷时应作出标记，以便修补。

6. 缺陷观察完毕后，清除显示剂。

7. 所有操作必须在工件温度为15～50℃条件下进行，否则应对渗透剂作灵敏度校验。

8. 检验完毕应写出检验记录，一般包括以下内容：

（1）工件及设备代号；

（2）检验部位；

（3）使用配方；

（4）检验结果；

（5）检验日期及检验人员。

8 从底片上衡量工作质量（曝光过度、曝光不足、露光、灵敏度低于要求、标记不全、贴片对位不正确等）。**并能识别典型缺陷种类**

一、曝光过度、曝光不足或露光对底片质量的影响

在射线照相时，由于种种原因射线照相在摄片和暗室处理过程中，会产生各种伪像和不符合使用要求的缺陷，致使射线照相报废。

胶片曝光过度，显影时间短，就会造成底片反差不足或黑度过高。相反，若胶片曝光不足，显影时间过长时，则底片反差过度。或者曝光不足，显影也不足时，一般黑度也不足。极度曝光不足，被过度显影补偿时，底片灰雾也相应增加。有时胶片暗袋破损露光时，底片边缘也会产生灰雾。

我们知道，照相黑度不宜过高，也不宜过低。过高的照相黑度会造成无法对射线照相观察，而过低的照相黑度造成照相反差降低，无法显示或分辨缺陷致使缺陷漏检。

射线照相的反差是指照片上图像黑白分明的程度，也就是照片上所显示缺陷部位的黑度与没有缺陷部位黑度之间的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

差别，黑度差别大缺陷图像就容易看出来。黑度差别小则称为反差低，缺陷图像就不易看出来，将造成缺陷的漏检。但反差过高的照片，其层次就会降低，那么显示微小缺陷及缺陷端部细微变化的能力就差。

射线照相的清晰程度是指照片上图像边界清楚的程度。如果图像边界分明，就容易观察出缺陷形状的细节。清晰度与反差是两个不同的概念，一张照片可以具有很高的反差但所形成的图像可以很模糊，清晰度甚低。反之，也可以具有很高的清晰度但反差甚低。

一张摄影质量良好的射线照片，应当具有适当的黑度，反差和清晰度等因素，这些因素是衡量一张射线照片摄影质量好坏的主要依据。除此之外，在射线照相时，标记不全，贴片对位不正确等也是不可忽视的因素。

二、典型缺陷的识别

射线底片干燥以后即可对底片上的图像进行辨认，在钢铁制件的射线探伤中，缺陷在照片上的图像黑度总是比无缺陷处的照相黑度要高，这样就可以评估出工件的质量情况。

1. 铸件中常见缺陷的辨别

（1）空洞 这种缺陷包括铸件内的残余缩孔，大气孔和管状气泡等缺陷。这些缺陷在射线照片上具有黑度高，外形不规则而且大小不一，外形轮廓线清晰可辨的特征。

（2）裂纹 裂纹在射线照片上呈现不规则的黑色线条，有接近于直线的也有呈弯曲的，甚至还有呈龟裂分布的。一般来讲裂纹的图像比较清晰可辨，两端尖细中间略宽。

（3）疏松 疏松是由于铸件材料结构不致密而引起的，在射线照片上常呈树枝状分布的黑色线条，线条宽度较大，边缘较模糊。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（4）夹杂物　夹杂物在照片上的图像呈现为外形不规则，分布也无一定的规律，其黑度视夹杂物种类而有所差异。当夹杂物密度低于铸件材料时，其黑度比周围部分高；当密度比铸件材料高时，其黑度比周围部分低。

2. 焊缝中常见缺陷的辨别

（1）裂纹　焊缝中的裂纹在焊缝金属和热影响区内均有可能产生，这是射线探伤较难发现的缺陷。裂纹在照片上具有如下的特征，其外形多呈略带弯曲的细齿状黑色线条，当裂纹较深时，也有直线状的细纹；黑度一般较高，外形轮廓线清晰可辨，常常是两端尖细，中间略宽不大含有分枝。

（2）气孔　气孔在焊缝中位置不一，在照片上呈现黑度较高的圆点或椭圆形斑点，轮廓线一般不大分明。

（3）未焊透　未焊透通常产生在焊缝坡口的钝边处，在照片上呈现黑度均匀，外形清晰，有一定宽度呈直线状的黑色线条，往往位于焊缝中心线处。

（4）夹渣　夹渣是由于在焊接时，未把焊药渣清除干净就进行焊接而形成的。夹渣在照片上的图像为外形不规则，轮廓线不大分明，具有一定的黑度。

9　对简单工件如钢板、平面锻件进行超声波探伤，判别波形，作出判断

一、钢板的超声波探伤

钢板是由板坯轧制而成的，而板坯可由钢锭轧制或连续浇铸而成。钢板的缺陷有内部缺陷及表面缺陷，超声波探伤的主要探测对象是钢板中的内部缺陷。

钢板中的内部缺陷均由板坯中的残留缺陷组成的。由于钢板均经轧制而成，所以钢板中大部分缺陷与板面平行，主要缺陷有分层和白点（厚钢板中）。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

1. 探伤方法

（1）钢板探伤按声耦合方式分类，可分为直接接触法探伤和薄水层水浸法探伤两种。

当小块板厚大于50mm的钢板在超声波探伤中，可用直探头以机油或其它耦合剂耦合，直接接触钢板进行探伤。但大批量钢板的探伤均采用薄水层水浸探伤。

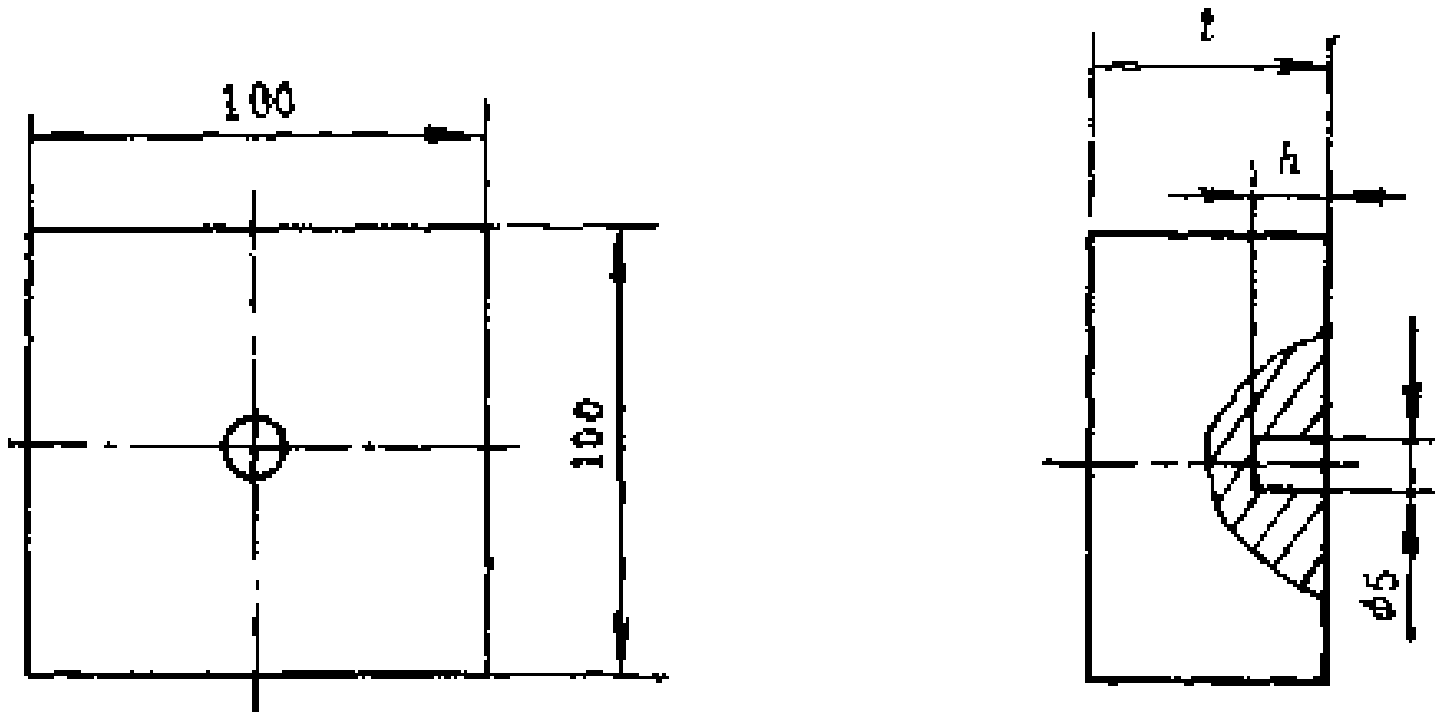
薄水层水浸探伤是在探头上外装一个水套，探头与钢板之间保留一定空隙，水由水套向外溢出并充满这一间隙，从而保证超声波的稳定耦合。此间隙的大小，理论上应为波长的1/2的整数倍，实际探伤时，水层距离的调整以能获得最大探测灵敏度为准。

（2）按探头（或晶片数）分类　钢板探伤若按探头（或晶片数）分类，则可分为单直探头的接触法探伤，双晶探头（俗称联合双探头）的薄水层水浸探伤，以及钢厂中为提高检测速度而采用多通道（多探头）对钢板的自动探伤。

2. 探测灵敏度的校准方法　钢板探伤中，探伤灵敏度的校准有两种方法。第一种方法是在GB2970—82标准中规定使用的灵敏度校准试块上（见图1.2-14）进行校准。校准时，将试块上平底孔的第一次反射回波的高度调至仪器示波屏满幅度值的80%（比标准中规定的50%要高），以此灵敏度探伤时，不测定缺陷的“当量”，仅测定缺陷的面积；另一种探测灵敏度的校准方法是，以钢板缺陷处的底面多次回波来校准（回波次数为4～6次），用此法探测钢板时，可根据缺陷回波的高度及回波次数的多少来粗略地判别钢板中是否有缺陷存在。

3. 灵敏度校验试块　GB2970—82标准规定钢板探伤用灵敏度校验试块的尺寸、规格，如图1.2-14所示。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com



钢板厚度（mm）	试块厚度 t（mm）	平底孔深度 h（mm）
12～30	22	11
>30～60	46	15
>60～120	90	22

图1.2-14　钢板探伤用灵敏度校验试块

4. 探测频率　钢板常用探伤频率为2.5MHz，也可根据钢板的厚度及材质选用其它探测频率。

5. 扫查方式

（1）全面扫查　当钢板的要求较高时，必须对钢板进行100%的全面探测（即全面扫查）。

扫查时，为了防止缺陷的漏检，探头每次扫查的有效区域应小于晶片直径，且每次扫查时要有一定的超声覆盖，扫查速度应控制在0.2m/s以内。

（2）列线扫查　按GB2970—82的标准规定，对钢板进行超声波探伤时，探头沿垂直于钢板的压延方向，作间隔距离为100mm的平行线移动，如图1.2-15所示。发现缺陷后，再在其周围探测，以测定缺陷的面积。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

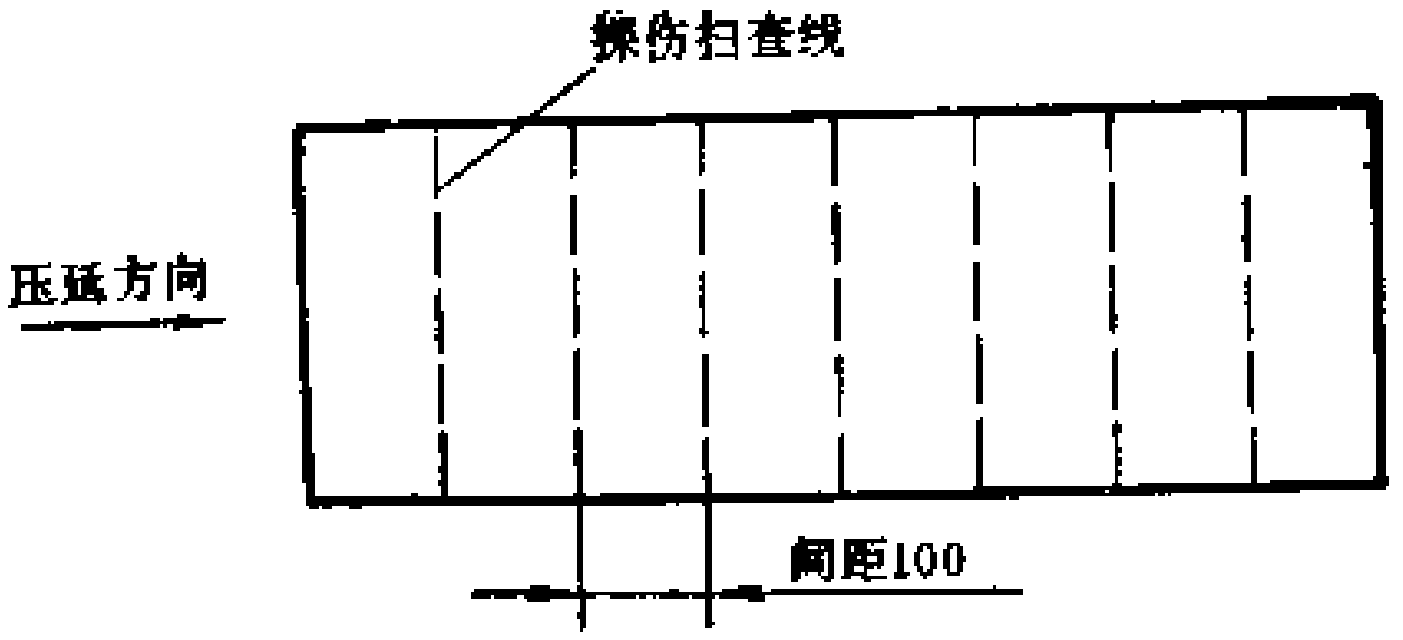
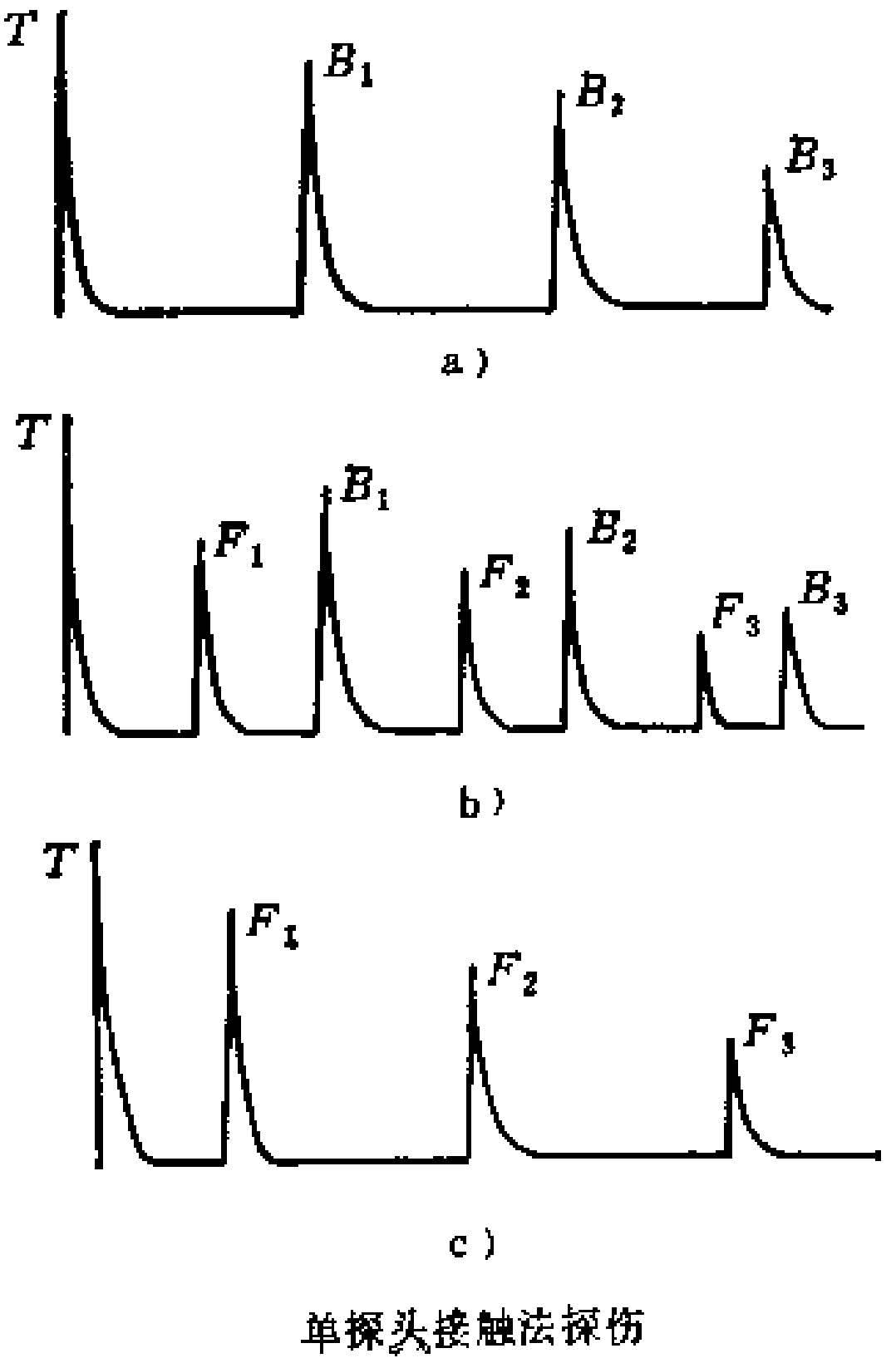


图1.2-15　钢板列线扫查

6. 缺陷面积的测定　缺陷面积的测定，首先要测出缺陷的指示长度与宽度。其长度可按相对灵敏度法测定。

7. 探伤波形　钢板探伤时，根据使用不同探测方法，在仪器示波屏上总共会出现以下几种波：始波“*T*”，底波“*B*”，缺陷回波“*F*”及界面波“*S*”。根据缺陷波，底波的回波次数及回波高度，即可判断缺陷的严重程度。

若钢板中无缺陷存在，则示波屏上只有始波“*T*”，界面“*S*”及底波的多次反射。如果钢板中存在小于声速截面



单探头接触法探伤

图1.2-16　钢板的探伤图形
（单探头接触法探伤）
a）无缺陷　b）小缺陷　c）大面积缺陷

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的缺陷时，仪器示波屏上同时显示始波、界面波、缺陷波及底波。若钢板中存在大面积缺陷时，则底波消失，示波屏上只有始波，界面波及缺陷波的多次反射回波。各类探伤波形，如图1.2-16所示。

在钢板探伤时，经常会出现缺陷的第一次反射回波比第二次低的现象，如图1.2-17所示。

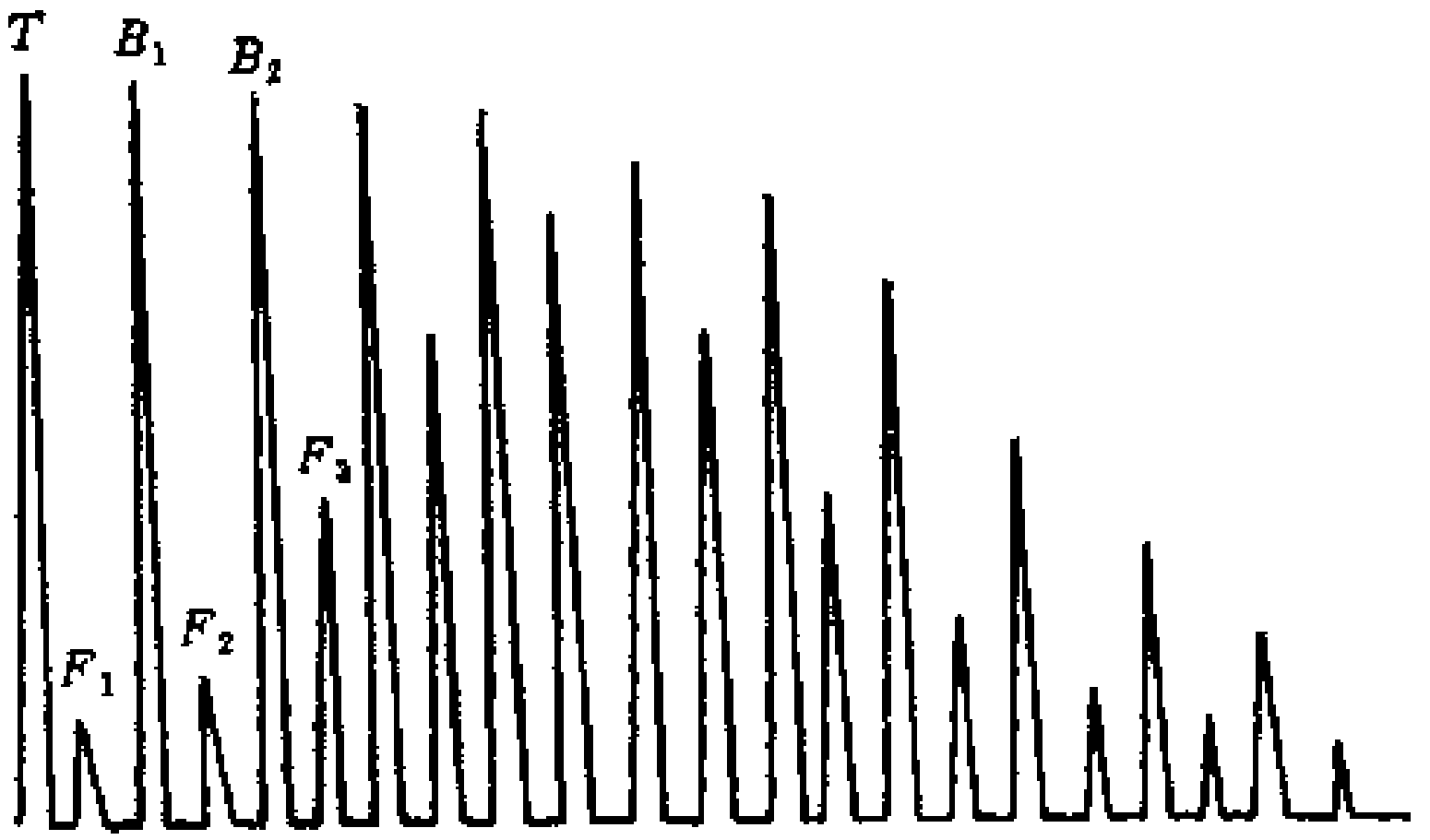


图1.2-17　回波的迭加效应

这种现象是由回波叠加效应造成的。当缺陷面积小于声束有效截面，且缺陷位于板厚中心位置时，就会出现这种回波迭加现象。

这是由于在超声波的传播路径中，缺陷F_1只有一条反射路径(图1.2-17)；而缺陷反射波F_2就有三条反射路径(图1.2-17)；缺陷波F_3就有5条反射路径等等。缺陷的反射路径越多，回波迭加效应就越明显：由于缺陷反射回波的路径增多，使回波叠加能量增加，因此在示波屏上就出现如图1.2-17中所

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

示缺陷回波幅度逐次增高的现象。但缺陷回波幅度增高到某一次后，随着声波传播距离的增大，声波能量衰减较大，因此以后的缺陷回波幅度又出现逐次下降的现象。这里需要说明的是，图1.2-17是缺陷回波传播路径的示意图，图中所有传播路径都是对同一个缺陷而言的。

钢板探伤过程中，若出现上述回波迭加现象时，对缺陷的评估应以缺陷的第一次回波高度为准，但当板厚小于20mm时，对缺陷评估应以缺陷的第二次回波高度为准。

二、饼类锻件的超声波探伤

锻件的形成主要由冶炼、锻造、热处理及机械加工四道工序组成。

钢锭是锻件的原材料，它由冶炼而成。冶炼是将一定配比的炉料置于平炉或电炉中熔炼，再经充分除氧，去渣后的钢液浇铸于金属锭模内凝固后即形成钢锭。钢锭再送入加热炉中加热（一般加热温度在1200℃左右）后取出。经锻压变形成形而成锻件坯料（俗称锻坯）。

锻压的方式大致可分为镦粗、拔长和滚压三种。其中镦粗主要用于饼类锻件，轴类锻件主要采用拔长，而筒类锻件一般先镦粗、后冲孔、再滚压。

为了改变钢的金相组织，以达到改善钢的性能之目的，锻件坯料还需进行热处理。锻件热处理有退火、回火、正火和淬火，其中淬火加回火称为调质。

锻件的超声波探伤，一般总是在锻件经机械加工后进行。锻件的机械加工主要以车削为主，有些锻件也有采用刨床切削加工的（主要视锻件的形状或大小而定）。

锻件中常见的缺陷有缩孔、疏松、夹杂物（主要是非金属夹杂物、少量也有金属夹杂物）、裂纹及白点。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

1. 探伤方法　饼类锻件的锻造工艺是以镦粗为主。因此，冶金中残留的缺陷经强力锻压后，其取向大多与锻压方向垂直而与锻件的端面平行，所以采用直探头在端面探测对缺陷的检验效果最佳。

但对于一些重要的饼类锻件，如核动力设备中的蒸发器管板，在超声波探测时，使用直探头分别从两端面进行探测。以消除因探头近场造成的不可探测区。

饼类锻件的探伤，按耦合状态的不同，可分为接触法探伤和液浸法探伤两种。接触法探伤见图1.2-18。

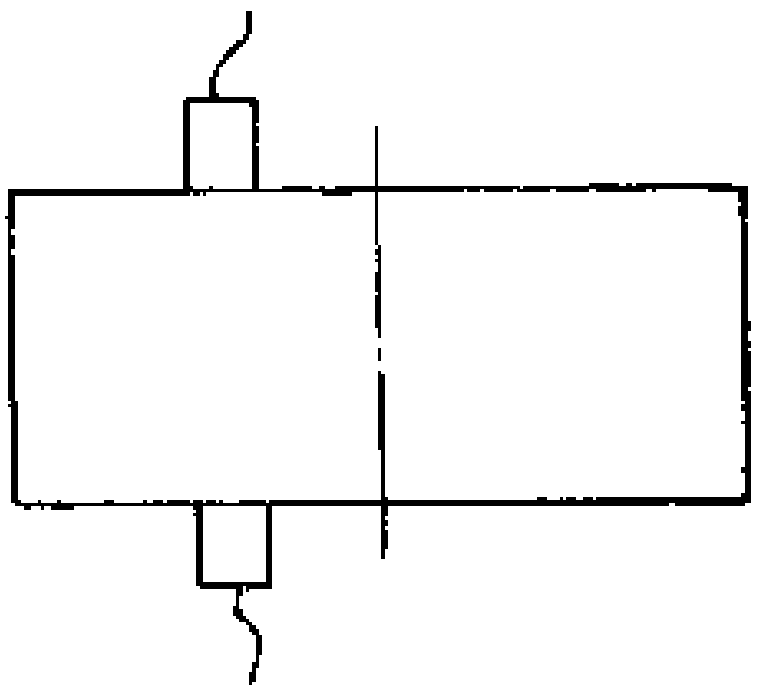


图1.2-18　接触法探伤

（1）接触法探伤　饼类锻件普遍采用接触法进行探伤。它是将探头直接置于被探工件的端面，超声波由探头经耦合剂直接入射至工件（见图1.2-18），探头在端面上移动并作100%扫查，以探测与端面平行的缺陷。

（2）液浸法探伤　对于批量生产的小型饼类锻件，若采用模锻工艺时，锻件表面较为平整，这样就可将锻件置于液槽中进行液浸探伤。槽中耦合剂可用机油或防锈水。如探测时需配备支承锻件的转盘，保证锻件以一定的速度在液槽中转动，探头控制器可控制探头

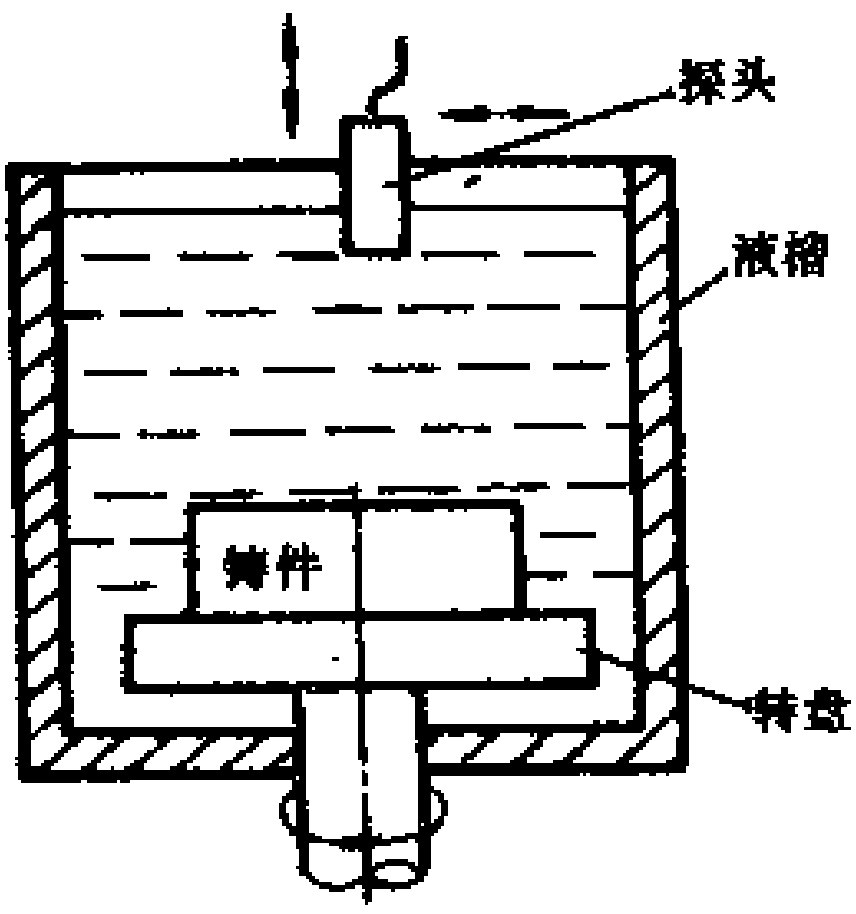


图1.2-19　液浸探伤法

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的上下调节及径向送进，这样就能实现锻件坯料的自动或机械探伤，见图1.2-19。

饼类锻件若采用单探头高水层探伤，则水层距离（即探头表面至工件探测面之间的水层高度）应作如下考虑。当锻件探伤时，仪器示波屏的基线上只显示锻件底面的一次反射回波，则水层距离必须满足式(1.2-1)的要求。

$$\delta_1 > TC_1/C_2 \qquad (1.2\text{-}1)$$

式中 δ_1——工件厚度；

C_1——水中的纵波声速；

C_2——钢中的纵波声速。

高水层探测时，探伤波形如图1.2-20所示。

2. 探测条件的选定

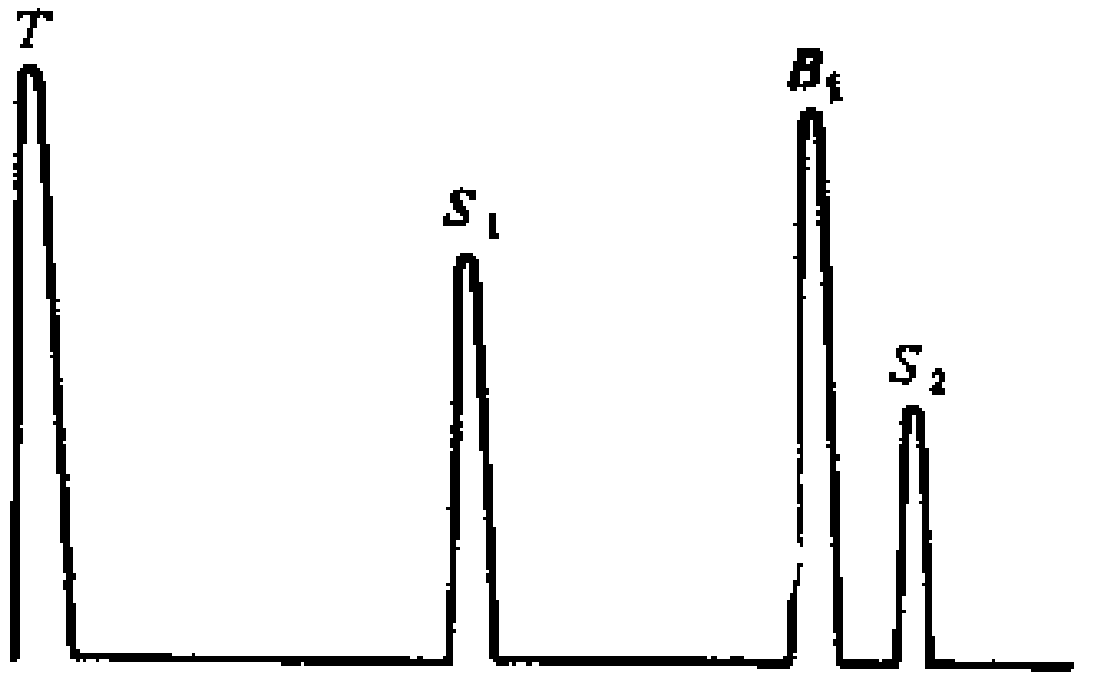


图1.2-20 高水层探伤时之波形图

（1）探测频率 饼类锻件常采用的探测频率为2.5MHz，当锻件为奥氏体粗晶材料时，则可用1.25MHz的频率进行探测。

（2）探头 饼类锻件超声波探伤时，主要使用纵波直探头，晶片尺寸为ϕ20mm。但在探测时，若底波严重下降或消失而缺陷回波甚微或示波屏上没有缺陷回波显示时，有必要加用一定的折射角（或K值）的斜探头，在端面进行探测，用以检出与端面成一定倾角的缺陷。

（3）探测灵敏度的校准 饼类锻件探伤时，探测灵敏度可直接用工件大平底为参考反射体进行校准。这样，在探

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

测时须考虑表面耦合损耗对探伤灵敏度的影响。

饼类锻件的探测灵敏度，视锻件的工作状态等而定。通常对于锻件的重要区，探测灵敏度选用 ϕ2mm 的平底孔；而对于非重要的探测，一般选用的探测灵敏度是 ϕ4mm 的平底孔。

3. 探伤工艺卡　在工厂中有各类工艺文件指导工人的生产，例如金属加工工人可根据金加工工艺卡按步骤对工件进行加工；焊工凭焊接工艺卡施焊；热处理工按热处理规范实施对零部件乃至产品的热处理等。超声波探伤也应制订相应的探伤工艺卡指导探伤工的工作。不同材料及规格的产品应制订相应的探伤工艺卡，做到一物一卡，对号入座。探伤工在进行产品超声波探伤时，根据产品的工艺号及图号就能找到相应的工艺卡。探伤工根据探伤工艺卡所规定的内容实施探伤，这样既保证了产品质量，又完善了探伤责任制。

4. 锻件探伤中缺陷回波的识别，应根据锻件中缺陷类型、特征、缺陷波的形状、大小及数量等进行综合分析判断。

（1）密集缺陷　锻件探伤中仪器示波屏上同时显示的缺陷回波甚多，波与波之间的间隔距离甚小，有时波的下沿连成一片，这种缺陷回波称为密集缺陷回波。常见的缺陷可为夹渣和白点。

（2）分散缺陷回波　锻件探伤时，工件中的缺陷较多但较分散，缺陷彼此间隔距离较大，这类缺陷回波称为分散缺陷回波。其大小主要用“当量法”来测定。

（3）底波的严重下降或消失　当锻件中存在大面积缺陷时，缺陷回波特高甚至达饱和状态，并有多次重复回波，缺陷的大小已不能用“当量法”来表示，此时工件的底面回

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

波会严重下降或消失。

锻件探伤中有时还会出现这种现象，底波严重下降甚至消失，但示波屏上没有缺陷回波显示，出现这种情况时，若工件底面较平整，这就说明该锻件的材质很差或锻件中有大缺陷，但该缺陷与探伤面有一定的倾角。为此就有必要采用斜探头或其它方法加以检测，搞清底波严重下降或消失的原因。

10　室外工作时，射线探伤的安全防护计算

所谓射线探伤中的防护，就是减少射线对工作人员和其它人员的影响。也就是采取适当的措施从各方面把剂量控制在国家所规定的最大容许剂量标准（100mrem/周）以下，以避免超剂量的照射和减少射线对人体的影响。

国家容许的剂量当量单位为雷姆（1rem＝1000mrem），但我们在探伤中用仪器测量到的剂量单位是伦琴（1R＝1000mR），虽然伦琴与雷姆的物理含义不同，但对于X射线或γ射线而言，伦琴数可以近似为雷姆数，因而用射线仪测出伦琴数即可以计算出是否超过最大允许剂量当量。

对工业探伤用X射线或γ射线外照射的防护原则一般有三种，即屏蔽防护；距离防护和时间防护。

一、屏蔽防护

屏蔽防护就是利用各种屏蔽物体吸收射线，以减少射线对人体的伤害。如由砖墙或水泥墙建成的射线防护室，或者现场用的活动铅房，都是利用屏蔽来防护射线。不同的屏蔽材料对射线吸收能力不同，不同的X射线管电压所需的防护厚度也不同。防护屏的材料和厚度的确定，需要事先根据X射线机的基本参数及使用情况（管电压、管电流、照射方向、位置、距离和每周实际工作时间等），来计算出各种防

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

护材料的厚度，做到既保证安全又不浪费材料。目前在工业探伤中，只能近似计算X射线防护屏的厚度，一般防护屏的效果究竟如何应由可靠的辐射剂量仪器进行测量。

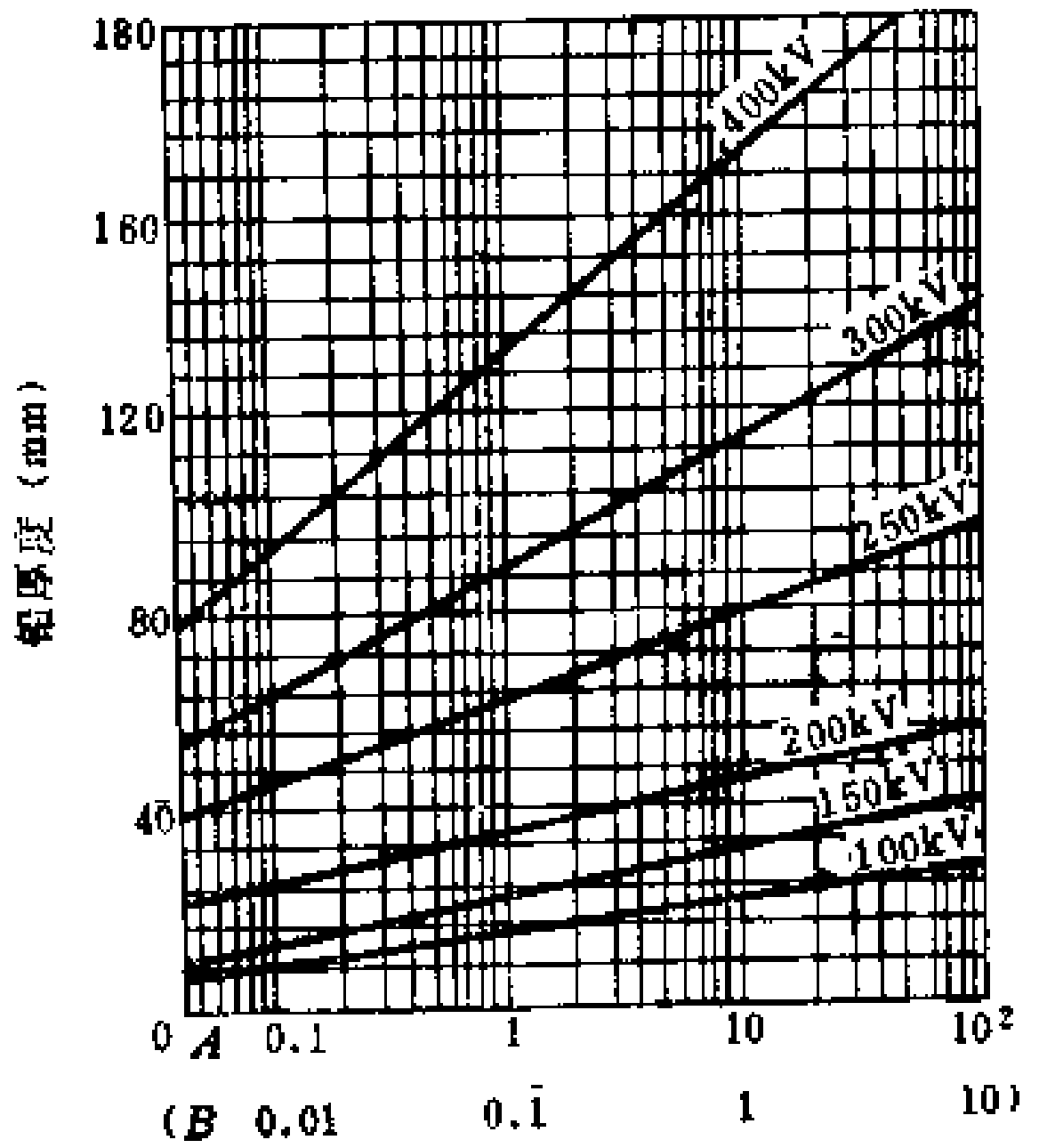


图1.2-21　对X射线的屏蔽所需的铅当量

$A(0.1\sim10^2)$—在最大允许剂量率为2.1 mrem/h的计算值

$B(0.01\sim10)$—在最大允许剂量率为0.21 mrem/h的计算值

下面介绍X射线屏蔽厚度的简易计算：

当知道X射线管的管电压、管电流和屏蔽物到靶的距离，便可以从图1.2-21中求出铅（$\rho=11.34\ g/cm^3$）的防护厚度（包括安全系数在内）。

单色（波长单一）射线束强度的衰减规律可按下式计算

$$P=P_0e^{-\mu t} \qquad (1.2-2)$$

P——射线通过厚度为 t 的防护屏后的射线束强度；

P_0——射线束通过防护屏前的强度；

μ——衰减系数；

t——防护屏的厚度。

因为X射线管所发出的X射线束强度 P_0 与X射线管的阳极材料（靶材料）的原子序数Z、管电压 V 的平方和管电

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

流 I 成正比，与距离 R 的平方成反比。

即
$$P_0 \propto ZV^2I/R^2 \qquad (1.2\text{-}3)$$

$$P_0 = AZV^2I/R^2$$

式中 A——比例系数（与射线管的结构和管电压有关）将（1.2-2）式代入（1.2-3）式得

$$P = \frac{AZV^2I}{R^2}e^{-\mu t} \qquad (1.2\text{-}4)$$

为了计算方便，令通过防护屏后的射线强度 $P = P_{\text{最大允许}}$（若每周实际工作时间以 48 h 计算，则职业工作人员容许剂量当量 $P_{\text{最大允许}} = 2.1\text{mrem/h}$；非职业工作人员容许剂量当量 $P_{\text{最大允许}} = 0.21\text{mrem/h}$）。而管电压 V 为恒定电压（100、150、200、250、300、400kV）时，则防护屏厚度为管电流和距离的函数，即 $t = f(I/R^2)$。图（1.2-21）即为计算结果。

所以只要知道 V、I 和 R 就可以从图 1.2-21 中查出铅防护层的厚度（其中包括两倍安全系数）。

一般不用铅做固定射线防护室，因为那样太不经济。当用其它材料时，可以近似地用密度关系求出其防护层厚度：

$$t = \frac{\rho_i t_i}{\rho} \qquad (1.2\text{-}5)$$

式中 ρ_i——已知铅的密度；

t_i——已知铅防护层的厚度；

ρ——所求之防护材料的密度；

t——所求防护层材料的厚度。

上述求防护层厚度的计算方法是从单色能量理论出发，而实际上 X 射线是连续能谱，再者计算时取了某些近似值和平均值，显然不很精确。按此方法与实际测量相比较，其误

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

差在25%以下，在防护设计中还是有参考价值的。

二、计算实例

已知选用300kV X射线机，它的最大管电流 $I=10mm$，墙到靶距离 $R=5m$ 时，在0°方向照射对职业工作人员所需的防护砖墙厚度是多少（砖的密度为1.9g/cm³）？

对“职业”人员取 $P_{最大允许}=2.1mrem/h$。

则 $$I/R^2=10/5^2=0.4$$

在图（1.2-21）的横坐标 A 中找出 $I/R^2=0.4$ 的一点，从这点垂直向上找出与300kV线相交的点，再从这交叉点向左平移与纵坐标相交点即 $t=80mm$（铅厚）。

又根据式(1.2-5)得

$$t_{砖}=\frac{\rho_i t_i}{\rho}=\frac{11.3\times 80}{1.9}=480 \quad mm$$

依照上述计算程序我们可以计算出表1.2-8所列的管电压、管电流所需要的防护层厚度。

表1.2-8 管电压，管电流与防护层厚度的关系

管电压 (kV)	管电流 I (mA)	靶距防护层距离 R (m)	I/R^2	铅防护层厚度 (mm)	砖防护层厚度 (mm)
200	20	5	0.8	40	238
250	15	5	0.6	60	358
300	10	5	0.4	80	478
400	10	5	0.4	120	715

三、距离防护

在进行野外或流动性检验时，利用距离防护射线是极为

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

经济而有效的方法。

若距离X射线管阳极靶的距离 R_1 处的射线剂量率为 P_1，在同一径向距离 R_2 处的剂量率为 P_2，则有：

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

即
$$P_2 = \frac{P_1 R_1^2}{R_2^2} \qquad (1.2\text{-}6)$$

从式（1.2-6）可以看出，射线剂量率与距离平方成反比，增大距离 R_2 对该处的剂量率 P_2 的降低是十分显著的。在没有防护物或防护层厚度不够时，利用增大距离的方法同样能够达到防护目的。

在实际探伤中，究竟采取多远的距离安全，应当用辐射仪进行测量。

三、时间防护

在可能的情况下，尽量减少接触射线的时间，这也是防护方向之一。

因为人体所接受的总剂量是与辐射源接触的时间 t 成正比的：

即
$$D = P_1 t$$

式中 D——总剂量当量；

P_1——剂量率；

t——时间。

如果要保证探伤工作人员每人每周实际接受剂量不大于0.1rem，则下式成立：

$$P_1 t' \leqslant 0.1$$

或
$$t = 0.1/P_1$$

显然，P_1 大则时间 t 就应该小，即在一周内实际工作

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

时间要短。

如果我们在较大的剂量情况下拍片，可用控制拍片的张数，来保证探伤人员在一周内不超过国家规定的最大允许剂量当量。即

$$N = 0.1/P_0'$$

式中 P_0'——实际测量拍每张片子人体所受的剂量当量（rem/h）；

N——一周内允许拍片数。

0.1 表示最大允许剂量（0.1rem/周）。

11 电工基本操作（仪器电源接线、调换熔丝、安全用电等）

一、使用仪器注意事项

在无损探伤工作中常用的仪器有：超声波探伤仪，涡流探伤仪，射线探伤机和磁粉探伤机等。在使用这些仪器时，应注意以下几点：

1. 电源电压与设备额定电压应一致。

2. 仪器的电源线长度应适当，防止发生拖线绊人而触电。

3. 超声波探伤仪、射线探伤机等仪器的电源线应采用三芯软线、配用三孔插座、插头、以保证与机壳连接的芯线通过插座而可靠地接地。

4. 某些功率较大的磁粉探伤机，应配专用插座和插头。

二、插座和插头

插座是供连接电源线，并与相同型式的插头，插销相配接而接通电路的一种常用电器装置。

一般插座是在胶木或陶瓷制成的底座上，安上与极数相

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

应的接触套和接线装置，顶面再用盖子罩封。

插座的主要作用，是通过插头将用电器与电源连接起来，因此，电线有多少条，插座就有多少个接点与电线相连接。当插头插上时电路即通。单相两极电路有两个触点，一接“相”线，一接“零”线（又叫中性线）。单相三极电路有三个触点，它们分别接“相”、“中”、“地”三线；三相四极电路有4个触点，地线或保护零线接“E”，其余接A、B、C三相电路。

插头是一种连接插座与用电设备的电器。按照插头引取电力相数的不同，可分为单相电源和三项电源用插头两种。单项电源用插头又可分为无接地和有接地（俗称保险插头）两类。单相无接地插头只有两只插脚（两极插头），而接地插头则有三只插脚（三只插头，其中接地插脚要比其余两只脚粗而长，用于与电器的金属外壳连接，可防止电器漏电而引起触电危险）。使用单相电源而具有金属外壳的电器时，如超声波探伤仪、射线探伤机等均应采用有接地的插头。三相电源用插头同样可用一只长而粗的插脚接地，因此它共有4只插脚。

安装插头和插座时，需要注意以下几个问题：

1. 接错线　这种情况多出于新购置的仪器所附的插头与现装的插座不合适，只好另装合适的插座，而在接线时又没有经验，错把地线接到火线插脚上，使仪器外壳带电，人手一触及外壳就会触电。

2. 带电零件外露　用胶木制的插头，易因碰撞或跌落而破裂，使带电零件外露，若不更换新插头，就会发生触电事故。

3. 接地插销过短或地插套配合过松　粗制滥造的插头

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

接地插销过短，或插座的接地触套配合过松，接地线路得不到可靠的连接，因此漏电时便起不到安全保护作用造成事故。

4. 电线接头松脱　接线螺钉过松或过紧，没有可靠地接好电线或由于插头接线柱的横孔高于螺孔底部，当螺钉压紧电线时，电线因受剪力作用而产生部分断线，或虽断离但未被发觉，以至在使用过程中电线被拉脱，相线（火线）和地线相碰撞，仪器外壳便带电而引起触电。

5. 线头碰触　这是由于在插头接线时过于粗心大意，使三芯线剥皮过多，造成线头松散，或挤压破损而引起碰线短路或漏电，造成触电事故。

6. 壳体不绝缘　插座（或插头）的胶木件本身质量不好，使用时间过久吸潮漏电而出事故。其它胶木电器也有类似的情况，使用时应加以注意。

三、安全用电

探伤工作中使用仪器时，要注意安全用电，才能避免发生触电和用电事故。为此应注意如下几点：

1. 湿手不可接触电气装置，否则易触电。

2. 不能用铜丝作为保险丝，因铜丝的熔点较高，不易烧断，起不了保护电路的作用。应按照电路上的实际用电量来选用适当的保险丝。

3. 电气装置的盖子破了，人碰到裸露的带电部分，就会触电，因而必须及时修复。

4. 经常移动的仪器，如超声波探伤仪等用毕后，除关去开关外，还应把插头拔下，以防开关失灵而长期通电，损坏仪器。

5. 保持仪器设备的电压、电流、温升不超过允许值。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

6. 通过所用导线的电流不得超过其安全载流量。

7. 对于较潮湿的环境，我们在使用仪器设备时，还应安装触电保安器，以确保人身、设备的安全。

四、熔断器

熔断器又称保险丝，是作为安全保护用电的一种电器，广泛用于用电设备的保护。使用时，由于熔断器与负载同时串联在电路中，正常情况下，它相当于一根导线，电路一旦发生事故或出现严重过负荷，大电流立即通过保险丝，这时此种保险丝因受到过量的热而熔化，于是将电路迅速切断。

熔断器一般由电熔丝、熔管和触头等组成。

在无损探伤仪器中，一般使用低压熔断器，这是一种简单而常用的电器设备，在选择和使用时，往往不被人们所重视，因而发生故障的机会较多。为此应注意以下几点：

1. 熔管的额定电流，应大于熔丝的额定电流。

2. 使用中，应经常检查熔断器的各部位接触情况。

3. 不可直接操作低压熔断器去断开带负荷的电路。

无损探伤仪器在更换保险丝时，必须根据各仪器实际使用电流的大小来确定。常用保险丝的规格和应用范围如表1.2-9所示。

表1.2-9 常用保险丝的规格和适用范围

号 码	直径(mm)	熔断电流(A)	最高安全工作电流(A)
25	0.508	3	2
22	0.712	5	3.3
20	0.914	7	4.8
18	1.219	10	7
16	1.626	16	11
14	2.032	22	15
13	2.337	27	18
12	2.642	32	22
11	2.946	37	26
10	3.251	44	30

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

12 正确执行有关安全防护规则

在进行X射线和γ射线透照焊缝时，须严格遵守安全技术规则，这样可降低工作人员在日常工作中所感染的射线剂量。因为X射线和γ射线可在人体有机组织中引起一定程度上的病理作用。当人体有机组织受少量射线剂量照射时，其作用并不显著，而有机组织能很快地恢复正常状态。经医学观察的结果证明：当人体在每一天内全身感染0.05rem的剂量时，在其有机组织内不会发生任何不可复原的病变。如果不是全身照射而仅仅限于手部的情况下，那么剂量的安全限制可以更高一些，每日可允许受到0.25rem的剂量照射。若超出上述情况时，则极易引起各种生理变化。为使我们对放射线的有害作用，以及工作的安全性有更进一步的认识和重视。现分别将射线对有机组织的影响及透照时的安全技术叙述如下：

一、放射线对有机组织的影响

人体受到了过量的放射线的作用后，就会逐渐引起身体某些部分机能的失常而导致各种病理的变化，这种病就叫做射线病。射线病是慢性的，有潜伏期的，其病状的出现和发展，常经过数周、月或年的时间。在一定的程度上，射线病又是长期积累的，它可以由一次很强的照射产生，也可由较弱的但长期不断地受照射所至。而在进行放射线探伤中，易遇到的还是后一种，故对防护也应采取严格的措施。

人体受射线照射的影响，这与所受照射剂量的多少，被照射时间，身体被照射到的部位以及人体对射线抵抗力的差异等因素有关。其中以血液的变化是射线病最经常和最重要的标志，长期由少量照射所引起的射线病，一般早期就可发觉。这些症状如一旦能及早发觉，避免继续受到照射并开始

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

治疗，人体健康常常是可以恢复的。发觉和治疗得愈早，也愈容易恢复。因此工作人员除对射线的影响应有足够的重视和警惕外，还在工作中应严格地遵守安全操作与防护规程，但恐惧是不必要的。

二、在工地、车间及试验室中进行透照的安全技术

在工厂工作的条件下，很大一部分的探伤工作是用来透照固定的设备和各种结构部件，在这种透照对象中最常遇到的是锅炉、船体以及起重或运输设备等的焊缝。

所有上述的探伤工作可在工地上或在车间中进行；且最好在无人或很少有人的地方进行检查。如在工作人员很多的工地上或车间内进行照射时，须将危险区域隔离起来。如用三角小红旗将危险区围起来，上面写有带警告性的字样或用几块警告牌置于安全距离处，以防人员的闯入，这在工厂中是很适用的。

在使用X射线机进行照射时，安全距离可以参照表1.2-10所示的。

表1.2-10　X射线照相时的安全距离

安全距离(cm)不小于	管电流(mA)	铅防护层(cm)			
		75(kV)	100(kV)	150(kV)	200(kV)
60	10	0.22	0.34	0.43	0.67
90	10	0.20	0.31	0.40	0.62
150	10	0.17	0.27	0.36	0.55
240	10	0.15	0.24	0.32	0.48
300	10	0.13	0.22	0.30	0.45
450	10	0.11	0.19	0.26	0.40
600	10	0.05	0.17	0.24	0.36
1500	10	0.02	0.11	0.17	0.24

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

能在试验室内进行照相的一般是较小的焊接件，因此工件和放射线探伤机，均可在有利于防护的适当位置下固定下来，同时试验室又有围壁与外界隔绝，所以对防护的范围来讲，在试验室中的条件较工地、车间为优越。

为保证工作中最大程度的安全，应在试验室的门上装置闭门接触器，当门关上时就使供电线路接通，同时门上的红色警告灯发亮，当有人无意将门推开时，闭门接触器断开，就可不再继续供电，人体可不受放射线的影响。

试验室内还应具有通风设备，通风的入气孔和出气孔应设置在适宜的地方，以便保证整个室内的容积都有良好的通风。每天在开始工作前和工作中须注意进行换气。墙壁、天花板、地板和门窗都应有光滑的表面；不得有裂缝和凹陷的地方，以防止放射性同位素的积聚。天花板、地板和墙壁的连接处最好做成内圆角，便利于清扫。

当试验室位于整个建筑物的最底层时，应将单向射线束对着地面工作；当在建筑物的最高层时，应将单向射线束向着天花板工作。如不能满足这些条件时，则须采用衰减系数相当高的材料制成防护屏来遮蔽。最常用的是钢板或铅板。

三、探伤工作人员的条件和应有的保健措施

放射线探伤工作并不是任何人都能承担的，须具备一定的条件，若参加了这项工作后，必须认真贯彻一定的保健措施。现逐条叙述如下：

1. 探伤工作人员，必须进行全身的健康检查，若有下列情况之一者，不宜担任这一工作。

（1）若人体内的红血素低于60%；每平方厘米内的红血球数量少于350万和白血球数量少于4000个者。

（2）中枢神经系统有器管疾病，内分泌系统受损害者。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（3）皮肤干燥而破裂者。

2. 凡从事探伤工作的人员，应经过技术保安培训，这其中包括放射线对影响人体健康的认识和安全工作法，同时应经适当的考核合格后，方可参加探伤工作。

3. 探伤工作人员应进行定期性的半年一次的全身健康检查和血液分析。如发现低于上述条件或与正常状况有差异者，均应暂时调离工作岗位，待完全复原后才能继续进行该项工作。

4. 在试验室或工地、车间中进行透照时，应随带检查测量仪（如线量计）有系统地检查射线的照射强度，以引起注意和加强防护。

5. 探伤工作人员在进行这项工作时，必须使用各种防护品（如工作服、帽子、铅手套、铅围裙等），以免遭受无谓的损伤。

6. 绝对禁止在进行探伤工作的场所进食，吸烟或贮藏食品。

7. 工作完毕后应彻底洗手，并在任何时候都应注意将手指甲修短。

8. 探伤工作人员应有合理的休息时间和适当的营养，以及经常注意锻炼身体，以增强对各种射线病侵袭的抵抗力。

9. 探伤工作人员务必保证在一个工作日内，不允许吸收到大于 0.05rem 的剂量单位。

13 做到岗位责任制和文明生产的各项要求

无损检测技术目前已在我国机械、造船、航空、航天、铁道等工业部门得到普遍的应用。它对于改进制造工艺、降低生产成本，提高产品质量、保证设备的安全运行等方面已发挥了明显的作用。为达到这一目的，对于无损探伤人员的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

思想素质，技术水平以及组织管理等方面都提出了更高的要求。为此，必须建立健全无损检测人员的岗位责任制，做到文明生产。具体内容包括以下几个方面：

1. 无损探伤工作者要认真学习马列主义 毛泽东 思想，坚决执行党的路线、方针、政策、坚持四项基本原则、不断增强主人翁责任感、促进技术服务职业道德建设。

2. 专业人员必须树立为四化钻研技术的思想，认真学习本专业技术和有关理论知识，努力做到业务精通，技术过硬。

3. 每个工作人员对于使用的仪器 设备，要熟 知主机及附件的合理应用，不断地充实和提高实际工作水平的能力，做到技术熟练、准确、及时。

4. 对于国家或上级颁发的有关无损 检 测标准、规程、规定、方法等法规，探伤工作者应切实按照执行，不得任意修改，以确保国家法规的严肃性。

5. 对一些技术较复杂，要求较高的无损 检测任 务，要指定专人在有经验的技术人员指导下进行操作。

6. 对尚未掌握本专业技术或不太了解仪器设 备性 能的人员，不得单独进行操作或使用仪器设备。

7. 对青年技工要加强技 术培 训，做好传、帮、带和组织表演赛，以利互相学习，共同提高。

8. 做好安全生产的管理工作，确保职工在生产过程中的安全健康。这是我们国家的一项重政策，也是社会主义企业管理的基本原则之一。为此，全体探伤人员必须加强法制观念，认真遵守党和国家及探伤室有关安全生产的制度和规定。

9. 无损探伤仪器设备，是开展 检测 工作的重要物质手段，因此必须管好用好，做到层层有人负责，事事有人管，使仪器设备经常处于良好的状态，以保证生产的顺利进行。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

工 作 实 例

1 筒体纵缝、环缝X射线或γ射线探伤的操作过程

一、筒体纵缝的射线探伤操作

各种工件进行射线照相法探伤时，往往由于其形状及探伤的要求不同，对所采用的透照技术应有所选择，以保证工件的探伤质量。

对于带有一定曲率的筒体纵缝进行射线照相时，一般采用单壁透照单面成像技术。在这一透照技术中射线源（P）位于工件的外侧，而X射线胶片位于工件内侧，使射线透过筒体的单层壁厚进行射线照相。如图1.3-1所示。

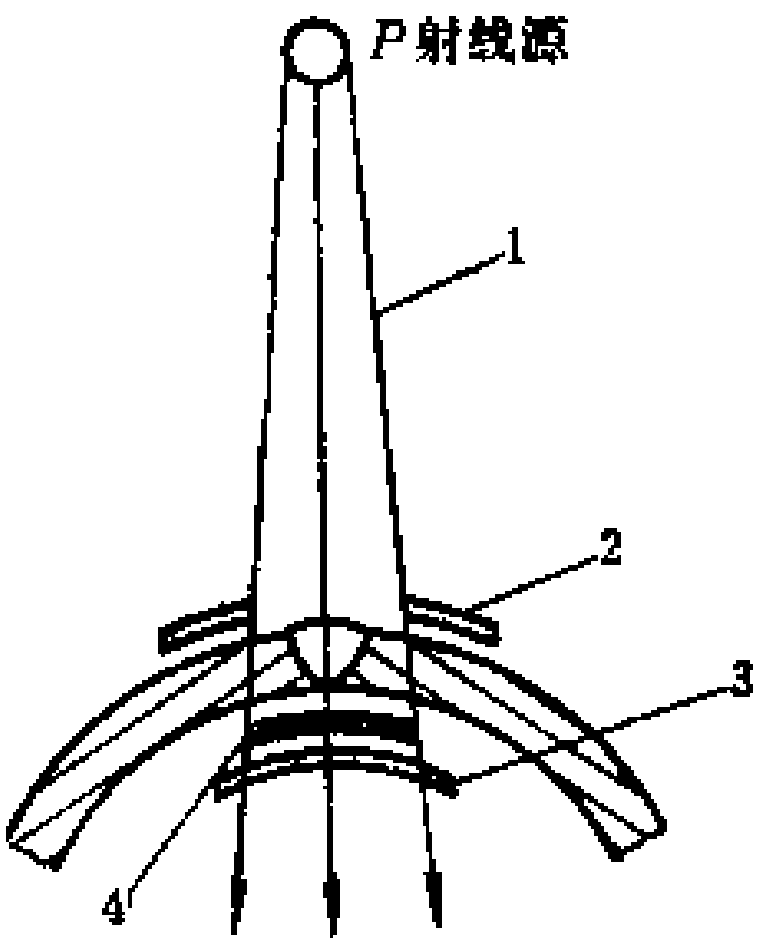


图1.3-1 筒体纵缝透照的示意图

1—射线束 2—前遮铅板 3—后遮铅板 4—胶片

在采用单壁透照单面成像技术时，应注意如下几个问题：

1. 射线的入射方向应尽可能与工件表面相垂直，以保证缺陷的检测灵敏度。

2. 如无法使射线中心束垂直于工件表面，则应按焊缝中心线方向选择一定的入射角度，但所选择的角度不宜过大，最佳的角度是使射线传播方向与焊缝表面相垂直。

3. 透照焦距的选择必须满足一定的要求，除此以外还必须使透照的有效长度大于射线探伤时，所划分的拍片段落

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的长度，防止产生漏检现象。

二、筒体环缝的探伤操作

筒体环缝进行射线探伤时，也可以采用单壁透照单面成像技术。此时射线中心束必须对准X射线胶片的中心（长度方向上的中心），该中心还必须与工件上的划线中心相重合。以免射线照相两端的黑度不一样，影响射线照相质量。如图1.3-2所示。

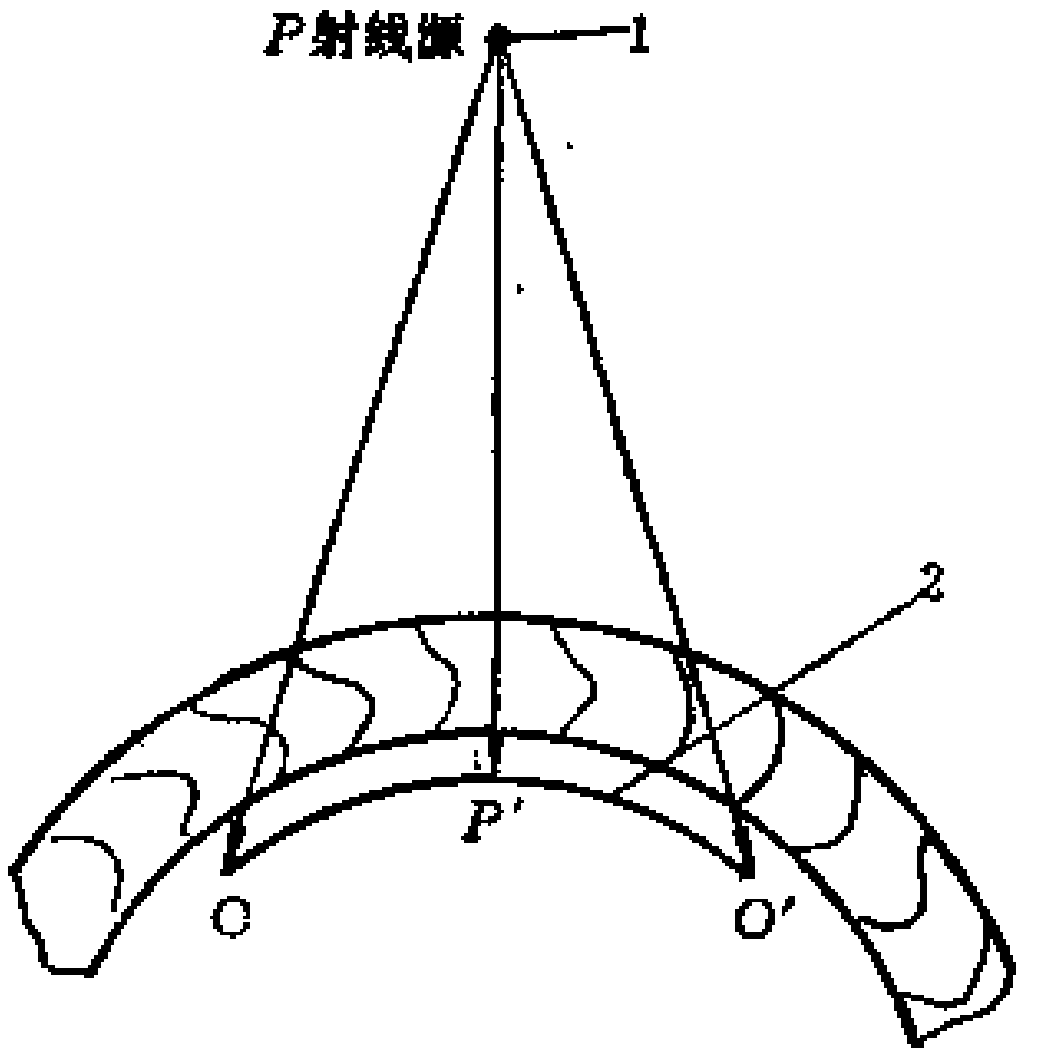


图1.3-2　筒体环缝的射线照相

1—射线中心束　2—软片

为了加快探伤速度，提高工作效率，筒体环缝探伤时，可将全景射线源（能向360°空间内发射射线的射线源）置于直径较大的压力容器内的圆心处，将胶片贴在工件外表面需要透照摄片的部位，对压力容器的环缝进行射线探伤，如图1.3-3所示。

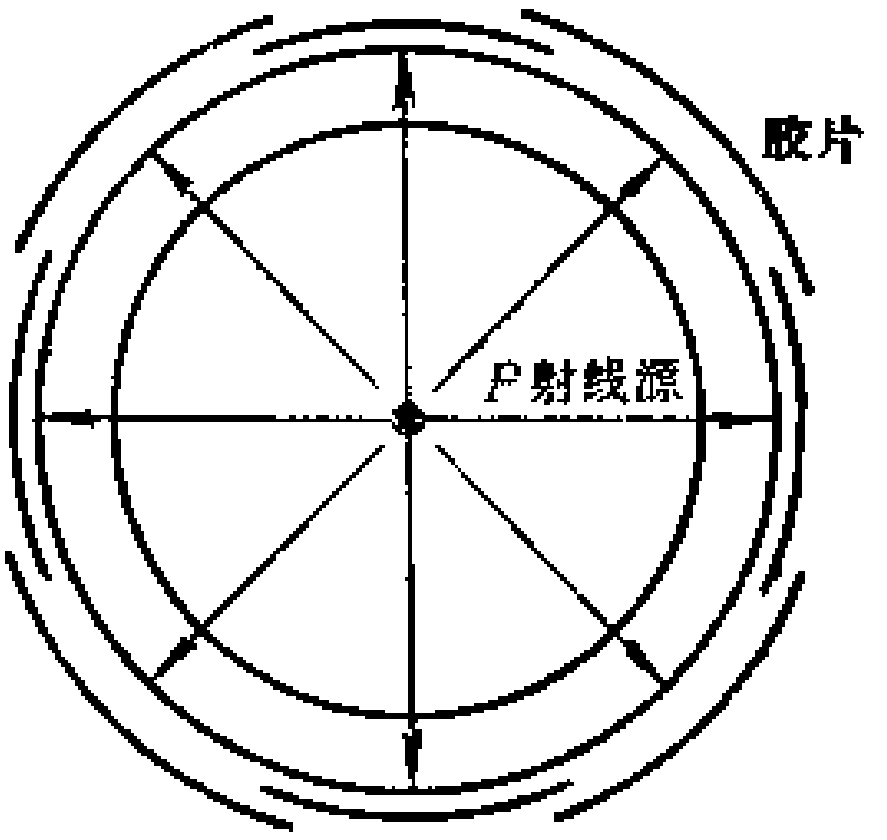


图1.3-3　筒体环缝的周向曝光

这种透照技术是

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

一种特殊的单壁透照单面成像技术，在应用时应将全景射线源确实置于工件的圆心处，否则由于偏心而导致所摄得的X射线照相底片黑度不一致。另外这种透照技术的焦距就是工件的半径，所以应用时需考虑焦距是否符合要求。否则就不宜采用，而应考虑采取其它的透照技术。

2　排除射线、超声、磁粉探伤仪电源不通的故障及超声探头、磁极触头电接触不良等故障

一、射线、超声、磁粉探伤仪电源不通故障的排除

无损探伤工作者用电源线将仪器和电源插座连接之后，打开电源开关，发现仪器不工作，此时应进行如下几项检查：

1．将仪器电源线从插座上拔下，用万用表或试电笔检查电源插座是否有电。

2．用万用表的电阻挡分别检查仪器电源线的“相线”，“中性线”和“地线”是否连通。三根线如“相线”或“中性线”其中有一根线不通则应进行修理或更换新的。

3．用万用表的电阻挡检查仪器电源部分保险丝之熔丝是否连通，如保险丝已被烧断、应使用相同规格的保险管进行更换。

4．检查仪器的电源开关是否接触不良或已被损坏。

5．检查仪器电源线两端插销是否接触良好。

若按以上几条原则逐一进行检查，即可排除超声、射线和磁粉等探伤仪器电源不通的故障。

二、超声探头、磁粉触头接触不良故障的排除

在使用超声波探头进行工作时，如发现探头接触不良，则可能由以下几个方面的原因所引起：

1．连接仪器和探头的连接线与两端的插销接触是否良

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

好，如脱焊时，应使用电烙铁将探头连接线和插销焊牢。

2. 检查探头内部各连接部分的接触是否良好，如有松动应拧紧。

3. 被探部件表面存在有严重的氧化皮，凸凹不平甚至缺少必要的耦合剂等，都会造成超声探头接触不良的现象。

使用磁粉探伤机进行工作时，如触头接触不良，大多数情况下是由于工件表面随着有严重的氧化皮、漆皮等不导电物质所致。

8 正确操作超声波探伤仪探测大直径钢管、轴类锻件等

一、大直径钢管的超声波探伤

大直径钢管的超声波探伤，是用于检测钢管的纵向缺陷和横向缺陷。但钢管中大量的缺陷是沿钢管的轴向分布的纵向缺陷。因此，大直径钢管的超声波探伤是以纵向缺陷为主，探测方法有单斜探头横波接触法探伤和聚焦探头水浸探伤两种。探测频率为2.5MHz或5MHz。

1. 单斜探头横波探伤　大直径厚壁管的纵向缺陷，可用单斜探头进行探测，探头按图 1.3-4 所示位置放置，探头沿钢管圆周进行100%的扫查。考虑到缺陷的取向，探测时，探头还应作正、反两个方向的100%扫查，以免漏检。

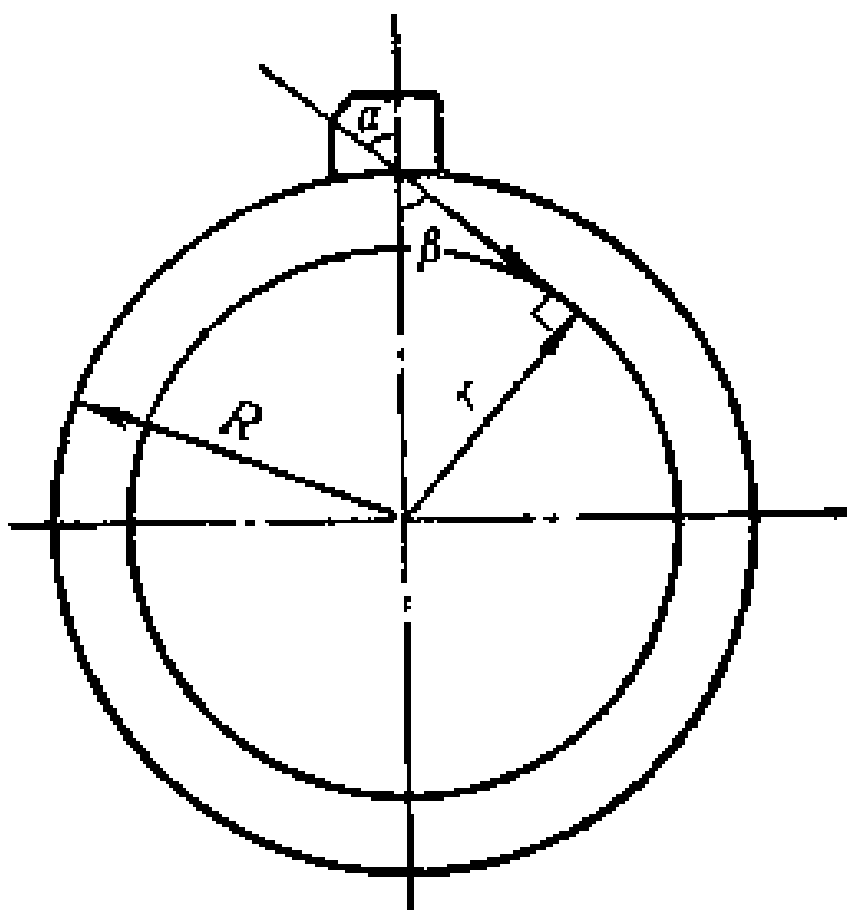


图1.3-4　钢管的横波探伤

用单斜探头对大直径厚壁管进行探测时，为了确保良好的声耦合，须将

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

探头斜楔底面进行修磨，使斜楔底面与钢管外圆相吻合，以减少耦合损耗。

2. 钢管横波探测条件　采用横波进行探测时，为在工件中能获得纯横波，探头入射角必须大于第一临界角而小于第二临界角。但钢管用横波进行探测时，有其独特之处。为确保检验出钢管内壁的缺陷，必须使横波主声束能射达钢管的内壁，见图1.3-4。因此，钢管用横波探测时，探头入射角必须满足式（1.3-1）的要求。

$$\sin^{-1}\frac{C_1L}{C_2T}\times\frac{r}{R}>\alpha>\sin^{-1}\frac{C_1L}{C_2L} \qquad (1.3\text{-}1)$$

式中　C_1L，C_2L——分别为第一介质和第二介质中的纵波声速；

C_2T——第二介质的横波声速；

$r\cdot R$——分别为钢管的内半径与外半径。

不同规格的钢管，若需用横波进行探测，则钢管壁厚 t 与钢管外径 D（或钢管内径 d）之比，必须满足式（1.3-2）的要求。

$$\frac{t}{D}\leqslant 20\% \quad 或 \quad \frac{t}{d}\leqslant 40\% \qquad (1.3\text{-}2)$$

3. 聚焦探头的水浸探伤　为提高钢管超声波检测速度，缩短检测周期和提高检测精度，在钢管探伤中普通采用聚焦探头进行水浸探伤，聚焦探头能使超声波束敛聚，能量加强，并能避免因声束扩散而在管内产生折射纵波及表面波。

通常使用的聚焦探头为线聚焦探头，声束的聚焦是由探头晶片前浇注的环氧树脂圆柱凹面透镜来实现的，如图1.3-5所示。

据国外有关资料介绍，实际探测时，可将探头声束在水中的焦点位置调在钢管中心轴线上，见图1.3-5。这样，横

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

波在管壁中传播时声束经敛聚后发散，发散后再敛聚。在整个管子截面上会形成各两次反射声束平均宽度不变的细声束，这样，不仅能提高探测灵敏度，且只需要对声束入射角稍作调整，就能获得管子内、外壁探伤回波的等辐射值。

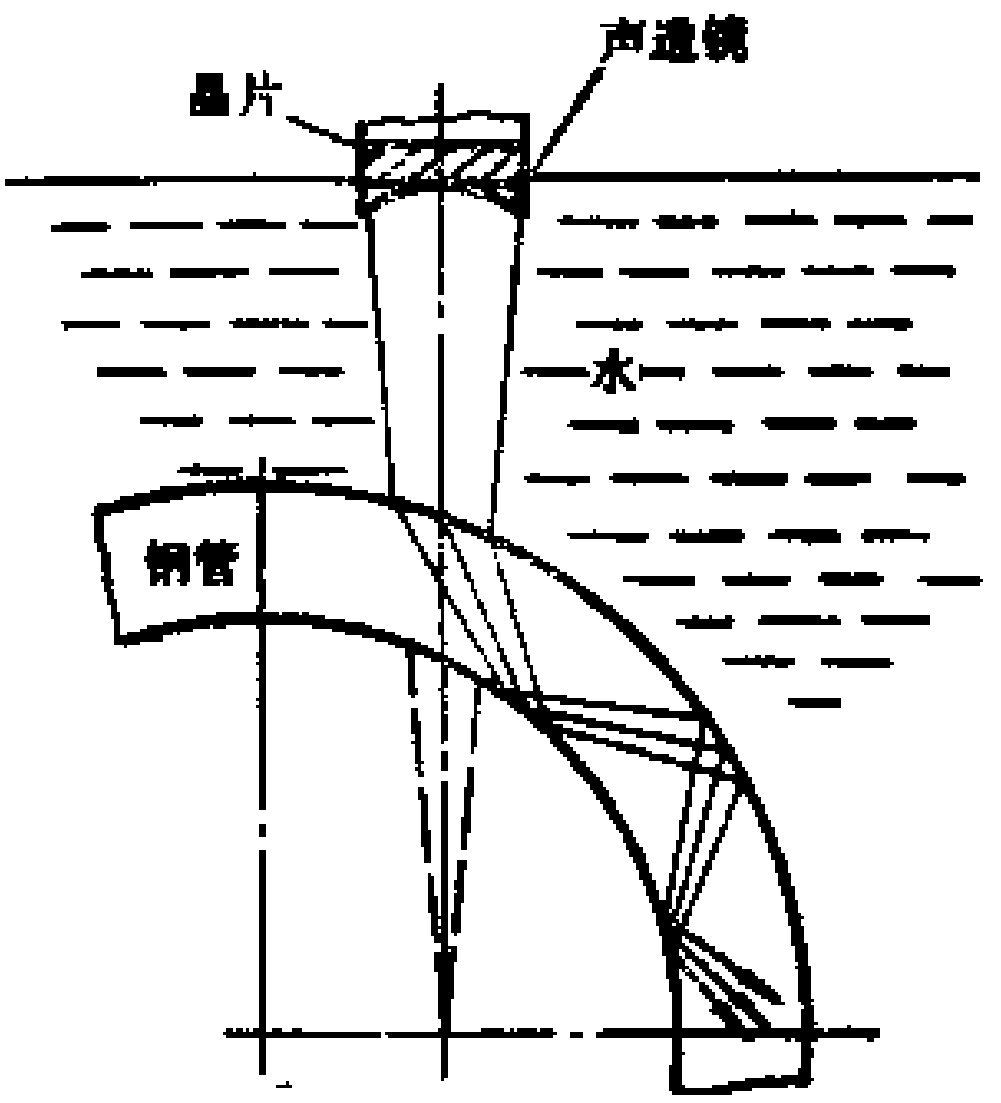


图1.3-5　钢管用聚焦探头的水浸探伤

二、轴类锻件的探伤

1. 探伤方法　轴类锻件的锻造工艺是以拔长为主，所以大部分缺陷的取向与轴线平行，此类缺陷的探测是以纵波直探头从径向探测效果为最佳。考虑到缺陷会有其它取向，因此轴类锻件的超声波探伤，还辅以直探头轴向探测及斜探头周向轴向探测。

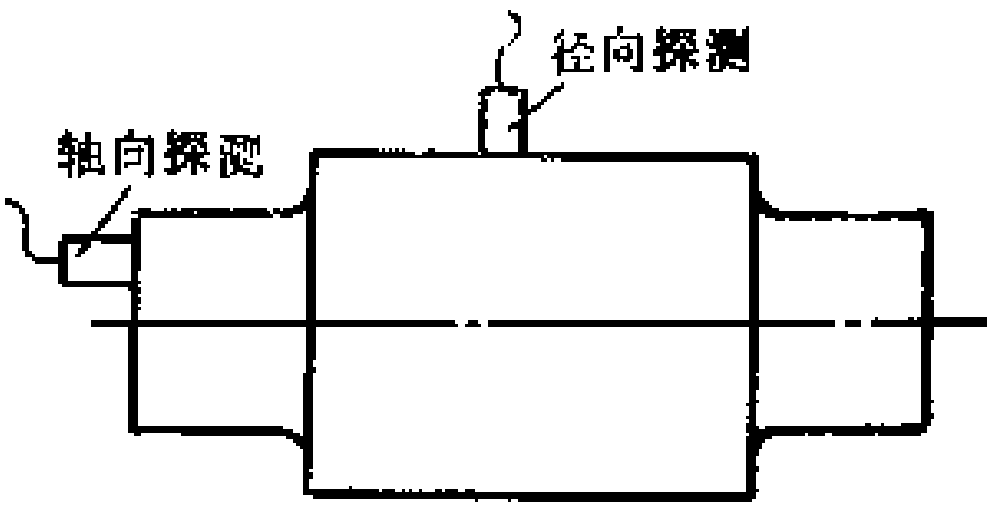


图1.3-6　直探头径向和轴向探测

（1）直探头探测

1）直探头径向探测　如图1.3-6所示，直探头径向探测时，探头于轴的外圆，超声束沿轴的半径方向入射至工件。探测时探头沿外圆作全面扫查，以发现轴类锻件中最常见的纵向缺陷。

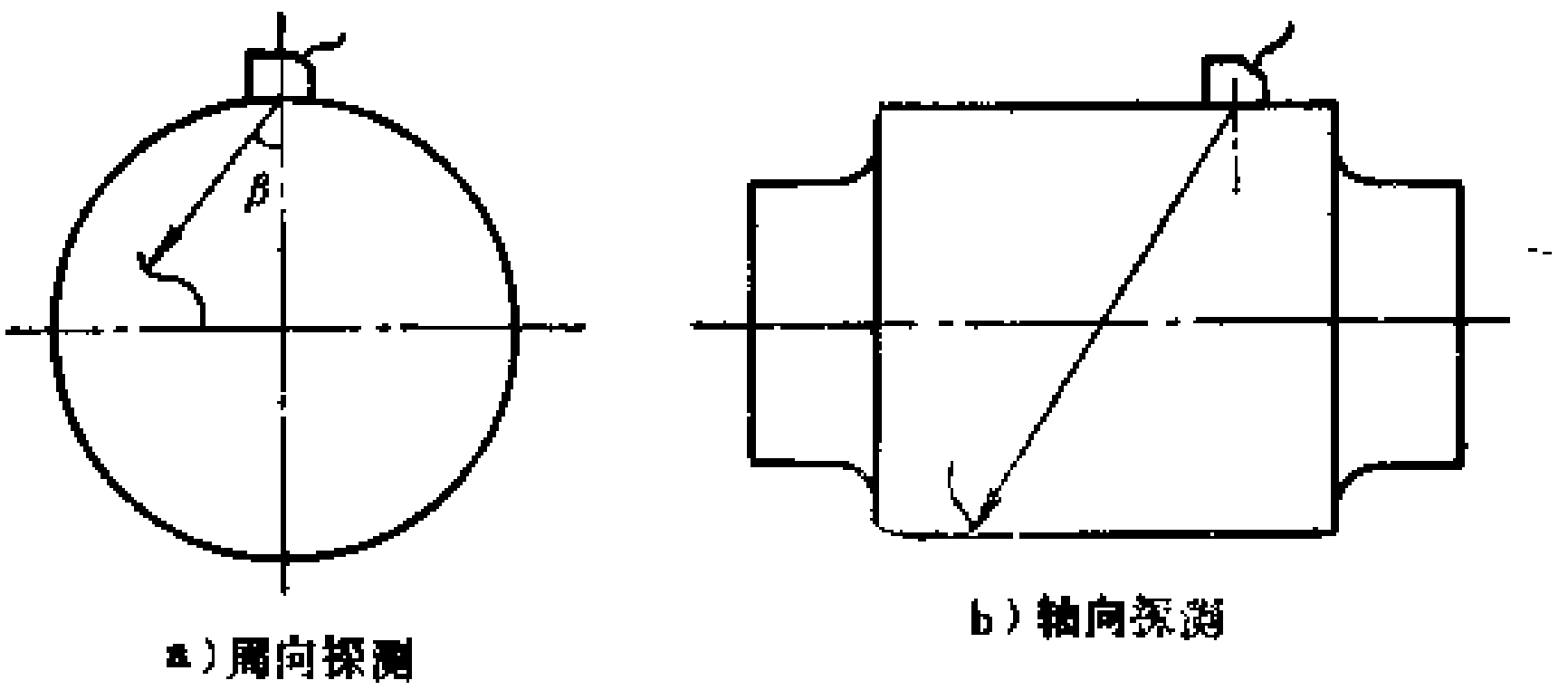
这种径向探测法是目前工厂中最常见的一种，也是轴类锻件最主要的探测方法。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

2）直探头的轴向探测　如图1.3-6所示，直探头轴向探测时，探头置于轴的端头，超声束沿锻件轴线方向入射至工件，探头在轴端作100%扫查，以检查出与轴线相垂直的横向缺陷。但当轴的长度特长时，仪器灵敏度就会感到不足，还当轴有多个直径不等的轴段时，会有声束扫查不到的死区，因此这种探测方法有一定的局限性。

（2）斜探头探测

1）斜探头周向探测　锻件中若存在片状轴向缺陷，采用直探从径向或轴向探测都难以检出时，必须使用一定折射角(或K值)的斜探头在轴的外圆作周向扫查，见图1.3-7a，以检查出上述片状轴向缺陷。



a）周向探测　　b）轴向探测

图1.3-7　斜探头轴向及周向探测

a）周向探测　b）轴向探测

斜探头作周向探测时，探头按图1.3-7a所示位置置于轴的外圆，作100%的全面扫查。考虑到缺陷的取向，探测时探头应作正、反两个方向的100%扫查。

2）斜探头的轴向探测　当轴的长度较长或轴上有几个轴段时，用直探头从轴向探测会受到一定的局限性，特别当锻件中存在片状径向缺陷而用直探头从径向及轴向探测都难

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

以检出时，就应使用一定折射角（或K值）的斜探头作轴向探测。

探测时探头如图1.3-7 b 所示置于轴的外圆，并沿轴线方向作正，反两个方向的全面扫查。

2. 探测条件的选择

（1）探测频率

轴类锻件超声波探伤时，常用的探测频率为2.5MHz 或2MHz。当轴的材质为粗晶材料或材质衰减较严重时，可使用较低频率的探头进行探测，例如用 1.25MHz 或 1MHz 的探头。

（2）探头　轴类锻件的超声波探伤，主要是使用直探头的径向探测。目前，国内外有关标准中规定使用的探头是直径为20mm的直探头。使用大尺寸晶片的探头能获得较大的辐射声能，并能改善探头的指向性。但当轴径较小时，若再使用大尺寸晶片探头，会引起表面耦合损耗的增大，因此只宜使用小直径晶片的直探头。

（3）探测面粗糙度　轴类锻件探伤时，探测面主要是轴的外圆表面，为了保证良好的声耦合，探测面的加工粗糙度R_a的最大允许值不超过3.2μm。这一规定适用于所有锻件的超声波探伤面。

（4）探测速度　按JB1581—75标准规定，轴类锻件超声波探伤时，为避免缺陷漏检，探头的移动速度一般不大于150mm/ s，探头的移动间距应小于探头直径的75%。

（5）探测灵敏度的校准　轴类锻件进行超声波探伤时，探测灵敏度的校准有两种方法。一种是试块对比法；另一种是工件曲底面校准法。

试块对比法是制作一块与工件材质、形状（曲率），表

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

面粗糙度类同的曲面试块，在试块上钻有平底孔，以不同声程的平底孔来校准仪器的探测灵敏度，并以校好的灵敏度去探测工件。这种试块对比法，因试块制作较困难（特别当轴径较大时），因此目前工厂中很少使用。

另一种灵敏度的校准方法是目前工厂中普遍使用的，即曲底面校准法。对于直径大于200mm的轴类锻件，探测灵敏度可直接以轴的曲底面来校准，校准时仪器灵敏度按同声程大平底与平底孔反射声压的dB差值来调整。

轴类锻件探测时常用的探测灵敏度为 ϕ 2mm的平底孔。

4　正确操作磁粉探伤仪探测焊缝、螺栓、轴等工件。正确使用灵敏度试片

一、焊缝的磁粉探伤

压力容器或结构件由于其制造工艺（坡口形状，焊接种类，预热，保温条件以及组装情况等）、规模大小有所不同，所以制品检查的时间，方法也就很难提出一个具体的要求。在现场检验时，探伤人员要根据具体情况灵活的运用磁粉探伤试验方法。

采用自动电弧焊接时，焊缝表面一般较平滑，不必打磨即可实施磁粉探伤试验，若采用手工电弧焊时，焊缝表面较粗造，此时，为取得一定的探伤效果，应用砂轮机修整增强焊波部分，使焊接区的表面大部分光滑。

焊缝表面或近表面常见的焊接缺陷有裂纹，未焊透和气孔等。在焊缝的磁粉探伤检查中，使用得最多的是磁轭法或支杆法。这两者的装置移动较方便。因此，可对大型构件的任意位置进行探伤。近年来，根据生产检验的需要，又出现了四极式旋转磁场探伤装置，一次磁化可检查出焊缝表面各个方向的缺陷。这种装置用于压力容器焊缝表面的检查，即

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

可提高工作效率，又可防止漏检缺陷，故目前应用较为普遍。

1．磁轭法　携带式磁轭探伤装置一般可分为永久磁轭，直流电磁轭和交流电磁轭三种。直流电磁轭检查缺陷的能力将随着检验焊缝厚度的增加而降低，使用局限性较大，因而较多的还是采用交流电磁轭。

用连续法使用电磁轭检查焊缝时，应将焊缝划分为若干个受检段，作出标记、每个受检段的长度比两极之间的距离少1～2cm。电磁轭之间的最佳距离为100～150mm。按标定的受检段依次改变电磁轭的安放位置，这样可检查出焊缝中的横向缺陷。

利用四极式旋转磁轭检查大型构件的焊缝，是极其方便的。且一次便可检查出多方向的缺陷。这种方法是利用旋转磁化设备在焊缝上磁化，磁轭行走的同时喷洒磁悬液进行探伤的。

探伤时，旋转磁轭的行走速度要力求均匀，应不大于3m/min，磁悬液的喷洒应在行走方向的前方中间，以防止已探过部位的磁痕被流动的磁悬液冲刷，且磁痕的观察应在磁轭行走的同时进行。以免缺陷磁痕被破坏。

2．支杆法　用支杆法检查焊缝时，可采用图1.3-8的支杆位置布置法，其间距要保持一定的大小，且不应直接放在焊缝上，需放在焊缝的边缘。因为支杆与工件接触的部位，检验效果很差。

使用支杆法时，有可能烧坏试件表面，产生裂纹，在实际操作时，应特别引起注意。为此，探伤之前必须将工件表面打平，减少接触电阻。支杆电极最好用钢材制成，若使用铜电极，在烧伤时铜就会扩散到金属组织内，成为产生冶金

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

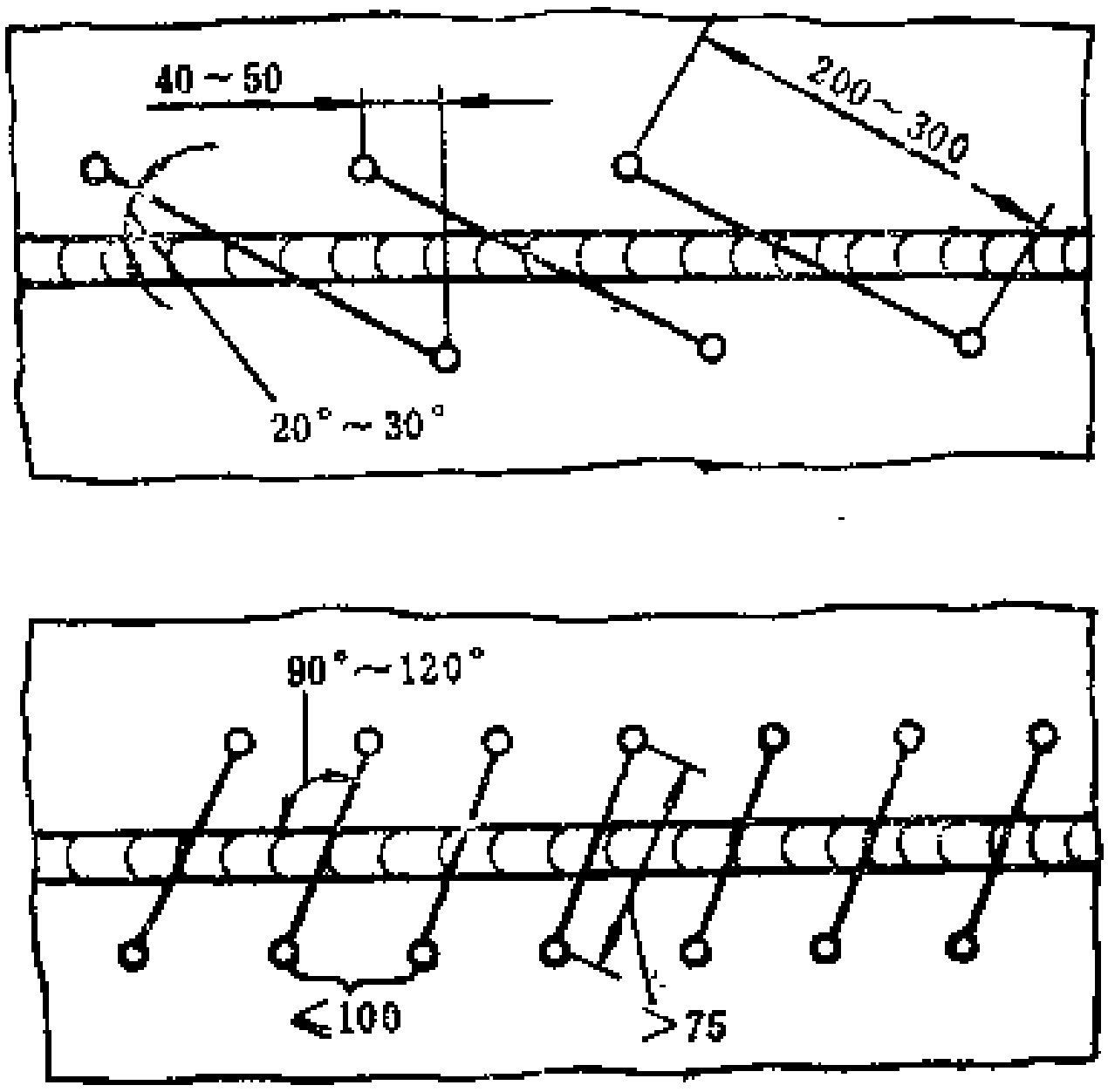


图1.3-8　支杆位置布置图

缺陷的根源。

如果这种检验是在焊接过程中进行的，工件的温度将在20～80℃，这时要用干法。有时工件温度高达300℃，就应该使用高温磁粉。

焊缝表面的磁粉检验，主要是用来发现裂纹，对于焊缝表面的夹渣、气孔以及薄壁容器焊缝内的未焊透也有一定的检出能力，但探伤灵敏度较低。

二、轴的磁粉探伤

轴类锻件的磁粉探伤方法的选择，应由轴的尺寸、材料磁性、检查部位、对灵敏度的要求以及生产效率等来确定设备和探伤工艺，原则上按以下几种情况进行：

1、不能搬上固定探伤设备的大型轴件，可采用磁轭法或缠绕线圈法进行探伤。在应用缠绕线圈法探伤时，一般在

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

工件上绕3～5匝较为合适。有效磁场通常约在距线圈每边150mm范围内。

2．较大的轴类工件，可采用连续法轴通电和线圈开路法进行探伤。

连续法轴通电时，其磁化电流值 $I=(8\sim15)D$

式中 I——电流值(A)；

D——工件直径(mm)。

采用线圈开路法磁化时，零件的 L/D（长度/直径）比值不得小于2/1。若长度与外径之比在2～15之间，通过N匝线圈的电流值应为45000除以N和 L/D 的乘积（L 最大值为450mm）。不符合上述要求的零件用8000～10000安匝。此时还应注意以下几点要求：

（1）零件的长轴应平行于线圈轴；

（2）线圈的截面至少应比零件的横截面积大10倍；

（3）零件需靠近线圈边安放；

（4）当零件的长度，长于线圈轴（在线圈两边长出150～220mm）时，应分段逐次磁化。实际可每隔450mm分段逐次磁化。

三、灵敏度试片的正确使用

磁粉探伤用试验片是，探伤时必备的良好工具，可用来检查设备、磁粉、磁悬液的综合使用性能及操作方法之是否适当。此外，试验片可用来考察被探伤工件表面各点的磁场分布规律，并可用来确定最理想的磁化电流。我国目前最常用的灵敏度试片有A型和C型两种，其尺寸和外形如图1.3-9和1.3-10所示。

我们以A型试片为例，来介绍试片的使用方法。

1．粘贴方法　先洗净试片上的防锈油，用胶带纸（或

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

手指）将试片开槽的一面紧贴于清洁的被检查工件的表面，但胶带纸（或手指）不得盖住试片槽部。

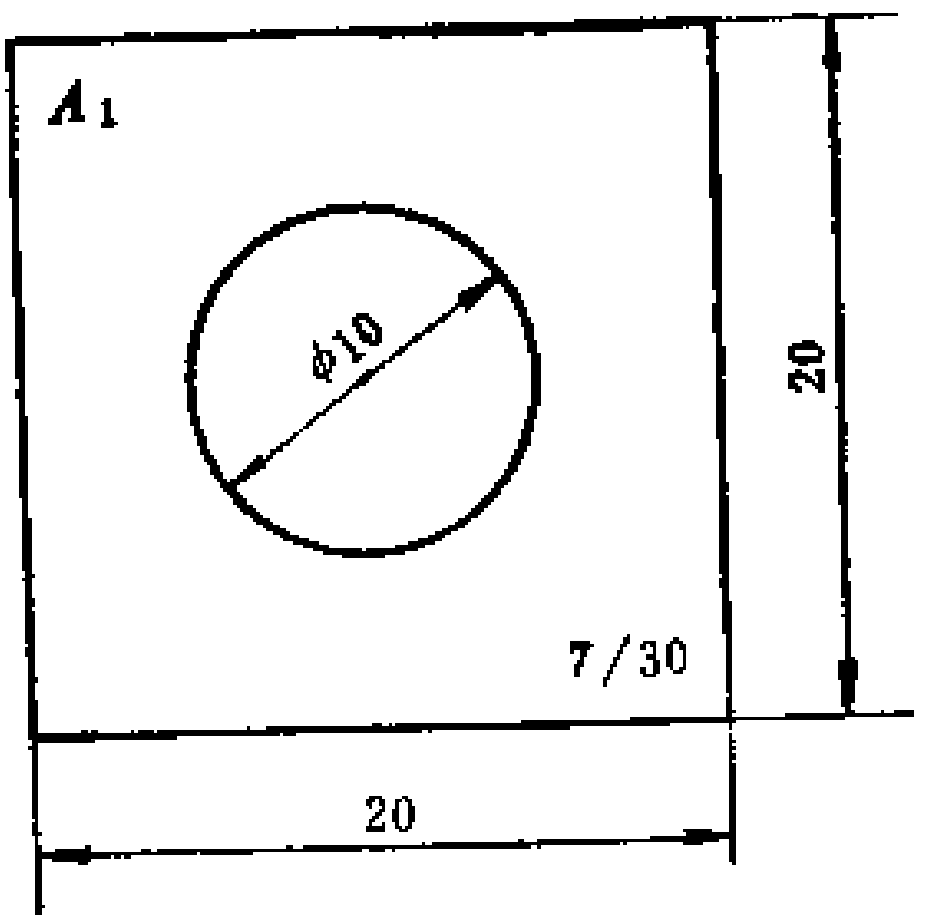


图1.3-9　A型标准试片外形

A_1—分类号　7/50—规格字码

2. 磁化方法　外加磁化法（连续法）试验时，先将试片贴于工件上，然后在磁化工件的同时，滴在试片上喷撒磁粉或浇注磁悬液。剩余磁场法试验时，先磁化工件，后将试片贴于工件上，再往试片上喷撒磁粉或浇注磁悬液，或者将工件贴上试片的部位浸在磁悬液中片刻，后取出。

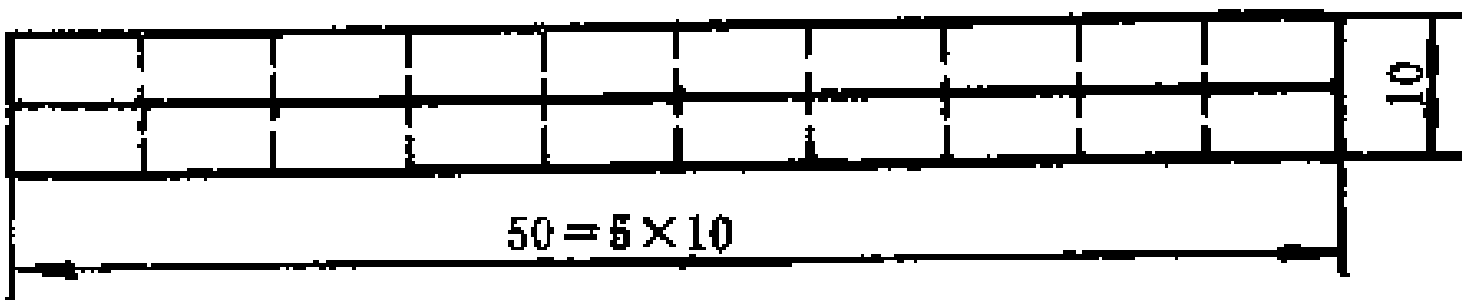


图1.3-10　C型标准试片外形

3. 具体应用

（1）确定有效磁场的分布方向　对形状复杂的工件，不能预知其表面有效磁场的分布方向时，可将试片贴于工件待测表面磁化，且与试片上清晰显示磁痕方向相垂直的方向，则为工件表面该部位的有效磁场方向，从而可确知检查预定方向缺陷的可靠性。对于C型试片，则应在磁化中反复转动试片方向，以便求得最佳磁痕显示方向。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）确知满意的探伤工件的有效磁场区　对形状复杂的工件，或采用线圈、电磁轭铁、支杆以及两个以上磁场复合磁化等场合，可根据试片在工件各部位的磁痕显示长度和清晰度的差异，确定探伤有效磁场区，以避免有效磁场不足部位工件缺陷的漏检。

（3）确定磁化规范　当用计算方法确定形状复杂工件的磁化电流有困难时，可用试片间接的求出大致合适的磁化电流值。

计算大致磁化电流值时，将试片贴于具有一定长度，直径为 D 的圆柱试棒上，进行连续法轴向通电，周向磁化试棒，徐徐增加电流，记下刚好使试片清晰显示某一磁痕长度的磁化电流值 I_0，则可算出该试棒的临界有效磁场值：$H=\frac{4I_0}{D}$（试棒材料宜与被探工件材料的磁特性相同或相近，可以大大减小误差）。

4. 注意事项　试片所在部位的有效磁场决定着该试片的磁痕显示。所以试片上的磁痕显示，仅仅表明工件上有效磁场的大小和方向。为确知工件上某种缺陷之被检测的可靠性，尚需按上述方法求出理想的磁化电流值。

同一材料状态下，试片规格分数值相同（即沟槽深度与板厚比值 h/t 相同），则磁痕显示灵敏度相同；规格分数值愈小，则磁痕显示灵敏度愈低，相应于工件探伤灵敏度愈严。同一分数值下，冷轧状态下的试片比冷轧退火状态的试片的磁痕显示灵敏度低，相应于工件探伤灵敏度愈严。各种规格的试片，有着其相应的磁痕显示灵敏度，对应着不同的探伤规范。

试片材料轧制纤维方向的磁痕显示灵敏度比垂直于轧制

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

纤维方向的略高，冷轧状态比冷轧退火状态的试片，这种差异稍大一些，使用时应予注意。

磁化电流的种类、磁粉的种类、磁性、粒度和磁悬液的配比组成等，均会强烈地影响试片的磁痕显示灵敏度，所以用试片确定磁化电流时，务必特别强调采用与确定试片临界有效磁场值相同的试验条件，否则，可能会导致十分有害的试验结果。

试片与工件的贴合距离也对试片的磁痕显示有着一定的影响，欲使试片与工件间无间隙地贴合是办不到的。试验表明，用连续法时，周向磁化间隙在0.5mm以内，对试片的磁痕显示影响不太大，纵向磁化间隙还可以大一些。

工件的材质对试片的磁痕显示也有一定影响，试验表明，在探求大致合理的磁化电流值时，这种影响可忽略不计。

使用过程中，不能将试片反复弯折或撕拉，以防槽底变形开裂，影响显示效果。试片使用后应清洗油封。

5 正确配制各种探伤用药液、显影液、定影液、磁悬液等

一、磁悬液的配制

在进行湿法探伤时，要使磁粉悬浮于水里成为水质磁悬液，或者悬浮在油里成为油质磁悬液，同时将磁粉不断搅拌，使其均匀地分布于液体介质中。

磁悬液性能的好坏，将直接影响到磁粉探伤的灵敏度，其性能一般应满足如下要求：

1. 悬浮介质（油或水）应具备良好的渗透性能和悬浮性能。这种性能是靠介质液体的粘度来保证。液体粘度的作用，在于能够悬浮磁粉（使之不易沉底，保证有足够的磁粉

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

颗粒参与工作）和有较好的渗透性能（磁悬液能够渗入微小缺陷中去，使磁粉能被微小缺陷的弱小漏磁场所吸附）。配磁悬液的油液，国外大多采用粘度为 5～6cP⊖ 的轻质石油。而国内一般采用轻质变压器油，或煤油加变压器油作油质磁悬液介质。其粘度在几个厘泊至十几个厘泊之间。如油液的粘度太大，则液体表面张力变大，磁粉分散运动性能变差，就不易渗透到微小缺陷处，造成灵敏度下降。水质磁悬液，因介质是水，其运动粘度小（小于 2cP），悬浮性能较差，要特别注意搅拌，以保持磁悬液中的磁粉分布均匀，即保持参加工作的磁悬液有足够的浓度。

2. 磁悬液的浓度必须适宜，不宜过高或偏低。以保证探伤的可靠性和敏感性。过高会使工件表面易造成过度磁粉堆积，使工件无清晰的衬底，影响缺陷的观察与判断。而浓度太低，又会使微小缺陷处的漏磁场吸附磁粉数量太少而呈现不出缺陷的轮廓来，造成漏检。一般规定油质磁悬液浓度为15～35 g / L，水质磁悬液浓度低些，为10～15 g / L。荧光磁粉因其探伤灵敏度高，浓度又可低些。通常荧光磁粉磁悬液浓度为 1 ～2 g / L。

磁悬液浓度还可随工件的粗糙度而变，如粗糙度值高时，浓度可低一些；反之，可高一些。这样做的目的，是保证有足够的磁粉流经缺陷，同时保证有清澈的衬底，以提高探伤灵敏度。

3. 蒸发率低、含硫量低。

4. 介质最好是无色的。

5. 磁悬液应无毒、无臭味，防腐蚀和防锈性能要好。

6. 闪点高，通常在57℃以上。

⊖ 1 cP = 10^{-3} Pa·s，下同。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

磁悬液必须经常检查其性能，如非荧光磁悬液在白光下观察，磁悬液变混浊，变色或磁粉颜色变弱；荧光磁悬液在紫外灯下观察，磁粉荧光亮度明显降低，磁悬液呈乳白色，就必须更换新的磁悬液，以保证探伤结果的可靠性。

常用的磁悬液配方，分别列入表1.3-1和表1.3-2中。

表1.3-1　油质磁悬液配方

序号	材料名称	比例（%）	磁粉含量（g/L）	运动粘度（cP）	备注
1	灯用煤油	100	15～35	3.5	磁粉含量也可为20～30（g/L）
2	灯用煤油 变压器油	50 50	15～35	7.5	
3	变压器油	100	15～35	16.9	
4	灯用煤油 10号机油	50 50	15～35	11.4	

表1.3-2　水质磁悬液配方

材料名称	含量	磁粉含量（g）
油酸	3000（mL）	大约60～80（g）
苛性钠溶液	3000（mL）	
水玻璃	500（mL）	
亚硝酸钠	40（g）	
硼砂	200（g）	

二、显影液的配制

在配制显影液时应注意水温合适并清洁；往水中加药品的顺序不能颠倒，前一种药品彻底溶解才能加下一种药品。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

在配制显影液时，配制顺序是很重要的，如果先将对苯二酚溶于水中，溶液会因空气的氧化作用而逐渐变黄，如再将此溶液中加入碱（碳酸钠等）则溶液立即被空气氧化成棕色。如果胶片在这样的显影液中显影，乳剂就会染成棕黄色，有时还会产生很大的雾翳，同时显影液的效力大为降低。前面已经提到，显影液中的保护剂能防止显影液被氧化，因此，应在加入对苯二酚之前，首先溶解保护剂（一般为亚硫酸钠）。但米吐尔对氧化不敏感，要在亚硫酸钠（保护剂）之前溶于水，如在亚硫酸钠之后溶解米吐尔，就会产生白色沉淀，特别是在亚硫酸钠浓度很高的时候。米吐尔在温度50℃以下的水溶液里不易氧化，所以首先溶解米吐尔，然后溶解亚硫酸钠是完全可以的。如果配方中有亚硫酸氢钠时，可与亚硫酸钠一同加入。

综上所述，配制显影液的顺序为首先放入米吐尔，其次放入亚硫酸钠，再放入对苯二酚。

至于加速剂（碱）可按两种方法加入：

1．当所用的碱为强碱时，（如苛性钠）可把碱分开单独溶解，然后将碱溶液徐徐加入显影剂和亚硫酸钠的水溶液中。在加入之前，一定要使碱液冷却，加入时还要不断地搅拌，如果加入热的碱液时，即使已有亚硫酸钠的存在，也不能避免在显影剂溶液中产生有害的物质。此外，在溶解苛性钠时，应将碱逐渐的加入冷水中，并且不断地搅拌，因为苛性钠溶于水时会产生大量的热量。

2．如所用的碱不是苛性碱，可直接把固体碱逐渐的加入显影剂及亚硫酸钠溶液中，并不断地搅拌，直到完全溶解为止。

最后是加入抑制剂。它可在任何时间加入，但在习惯

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

上，总是留在最后加入的。

总结以上各点，我们可得出配制显影液药品加入溶解的先后次序的规律，即：

（1）米吐尔（显影剂）；

（2）亚硫酸钠（保护剂）；

（3）对苯二酚（显影剂）；

（4）碱（碳酸钠等，加速剂）；

（5）溴化钾（抑制剂）。

一般地说，配制显影液按照配方中药品排列的顺序依次加入是最安全的。

此外，还有几点也需加以注意：

1）水温　一般水温为50℃左右，除非是配方上规定要用更高的温度。因水温过高可能引起药物分解，而过低药品则难溶化。

2）容器　配制显影液的容器，不能用锡、钢、或锌铁皮等材料制成，因这些东西都会引起雾翳（一般称为化学雾翳）。

3）顺序　在配制显影液时，一定要先将水加入于容器中，然后按药品顺序逐一加入溶液中，切不可先将药品放入容器中而后倒入水，否则将会使药品结成难溶的块状物。

4）溶解　在配制显影液时，切不可性急，一定要等前一种药品完全溶解后，才能加入后一种的，否则，药品将难以溶解。

三、定影液的配制

定影液配制时，药品的放入也要按一定的顺序。

我们已经知道，定影剂硫代硫酸钠在酸性溶液中会被分

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

解，而亚硫酸钠能阻止这种分解的进行。由此可见，在配制定影液时也有一定的规程。一般是先溶解定影剂，再溶解保护剂。如保护剂是亚硫酸氢钠，则要等定影剂溶解冷却后才能加入，并不断地搅拌。其次是加醋酸和硼酸，醋酸要徐徐加入，并要不断地搅拌。硼酸可先用少量热水溶解，这样可溶得快些。最后加入明矾。

药品的配制顺序按配方所给的次序和方法来进行是最保险的。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

中 级 工

应 知

1 X射线探伤仪和γ射线探伤仪的一般结构原理

一、X射线探伤仪的结构原理

1. 探伤用的X射线装置原理 在工业探伤上，X射线的产生是利用X射线管中高速度电子去撞击阳极靶，电子运动突然被阳极靶阻止，其动能大部分转变为热能，一小部分转变为X射线能。

X射线管是用来产生X射线的真空二极管。其阴极（灯丝）用来产生热电子。在阳极与阴极间加高电压，电子由于阳极高电位吸引，即以高速度向阳极靶撞击，从而产生X射线。

X射线管中电子的高速运动能量是利用阳极、阴极间的高电压形成的。X射线管两极的高电压是由高压发生器（主要由高压变压器等组成）供给的。高压发生器一般要浸在绝缘油里工作。目前工业上采用的X射线机最大电压为420kV。如欲获得高能X射线可采用加速器，在探伤上应用直线加速器越来越多。

2. 探伤用的X射线装置结构 目前，国内外把X射线机大致分为两大类，即移动式X射线机和携带式X射线机。移动式X射线管电压可达420kV；携带式X射线机管电压可达300kV。移动式X射线机和携带式X射线机在结构和应用上都有些不同。

移动式X射线机结构如图2.1-1所示。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

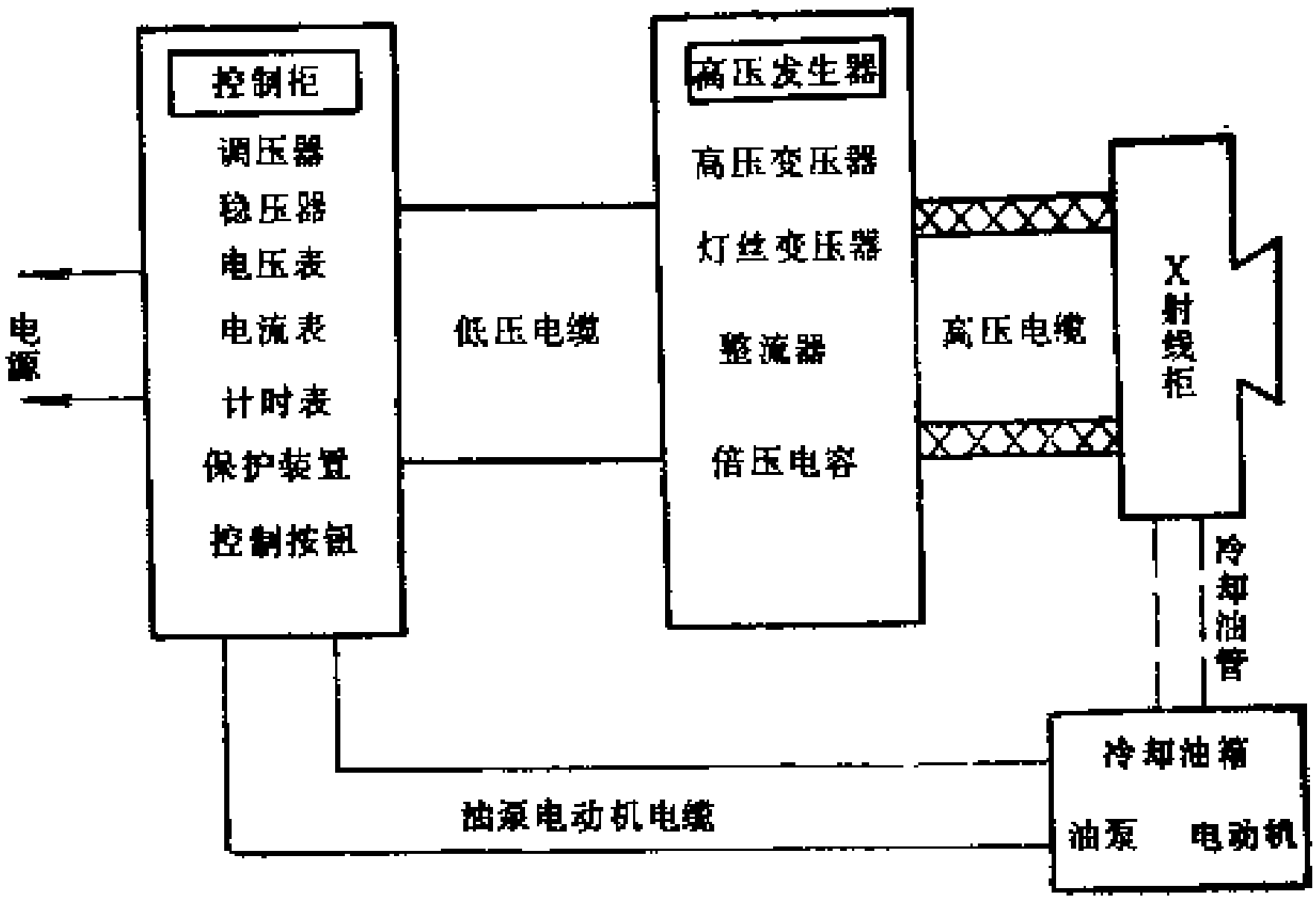


图2.1-1　移动式X射线机结构示意图

X射线管放在充满冷却绝缘油的X射线柜内，高压发生器油浸在高压柜内。这种发生器通过高压电缆与X射线柜内的射线管的阴、阳极两端相连接；X射线管是用强制循环油进行冷却，循环油还要进行水冷；控制柜（操纵台）要放在防射线的操作室内，用低压电缆与高压发生器相连接，控制柜除了用来调节电压（kV），电流（mA），时间（min）外，还装有过载、过流、过热等保护装置。

移动式X射线机一般体积大、重量都较重，适合于实验室、车间等固定场所使用。一般移动式X射线机的管电压可制作的高些，管电流大些，可透照较厚的工件，并节省透照时间。

携带式X射线机一般体积小、重量轻，适于流动性检验或大型设备的现场探伤。携带式X射线机结构如图2.1-2所

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

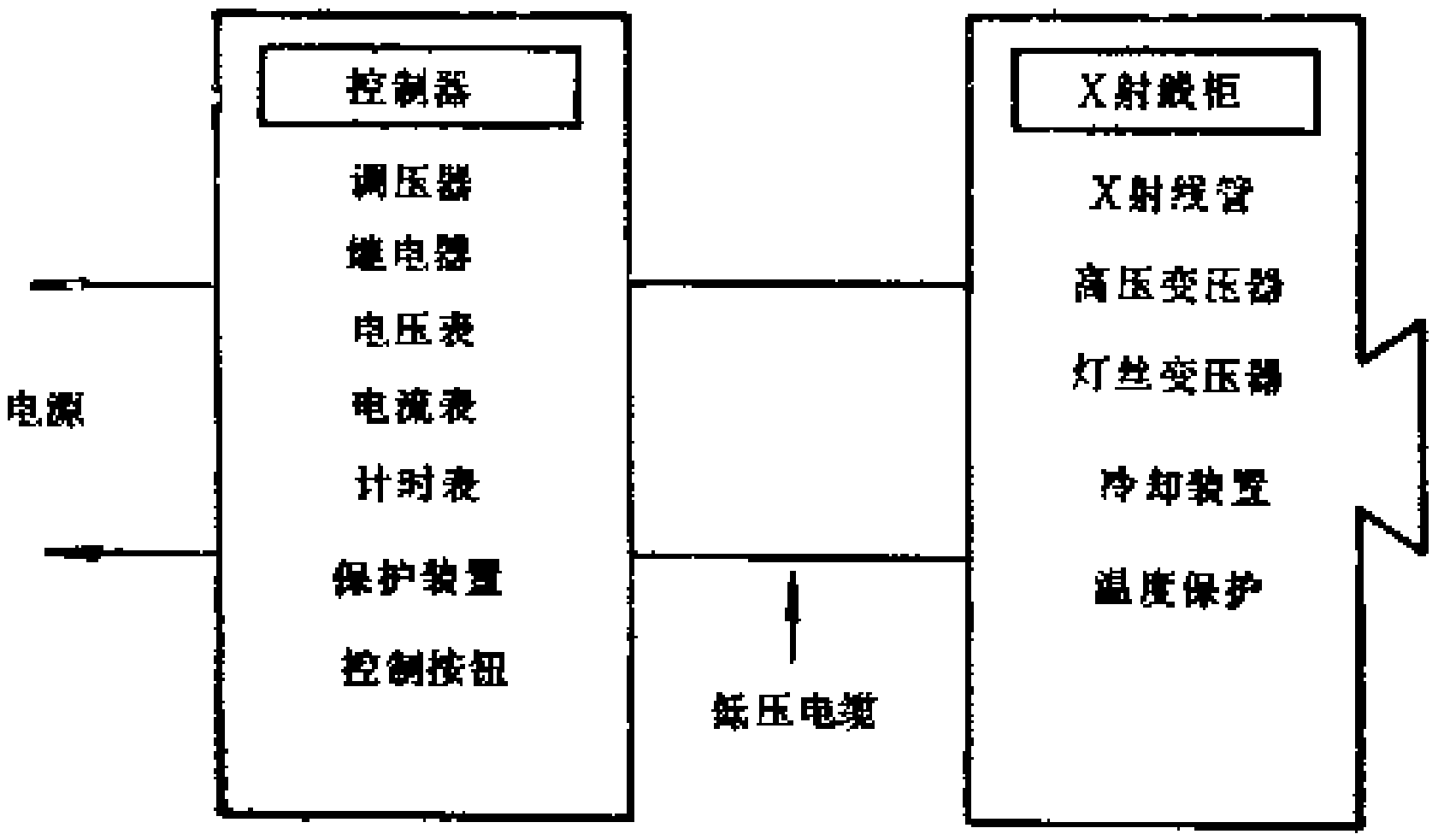


图2.1-2　携带式X射线机结构示意图

示。

为便于搬动，携带式X射线机通常是将X射线管和高压发生器放在一起（统统装入射线柜内），没有高压电缆和整流装置。一般携带式X射线机只有控制器和射线柜两部分组成。

二、γ射线探伤仪的结构原理

γ射线照相探伤法是用γ射线穿透被检验的工件，而将工件内部结构显示在底片上。在这种方法中，就是利用γ射线能穿透很厚的金属以及对软片乳剂光敏层的光化作用的特性。图2.1-3为放射源、受检工件以及软片在透照时的相对安放位置的原理简图。

γ射线放射源在透照时，一般都是装在特制的防护壳（铅质容器）中，以防止γ射线对操作人员产生伤害作用。在容器上有γ射线束透过的窗口，软片是装在用不透光，但同时又几乎完全不会吸收γ射线的材料（一般是用黑纸或人

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

造革布）制成的暗匣中。在装好容器及暗匣之后，打开容器，γ射线就穿透被检验的工件而射在软片的光敏层上。经过一定的曝光时间关闭容器，曝光后的软片经过照相化学处理——显影、定影、冲洗及晾干，即获得制成的γ射线底片。

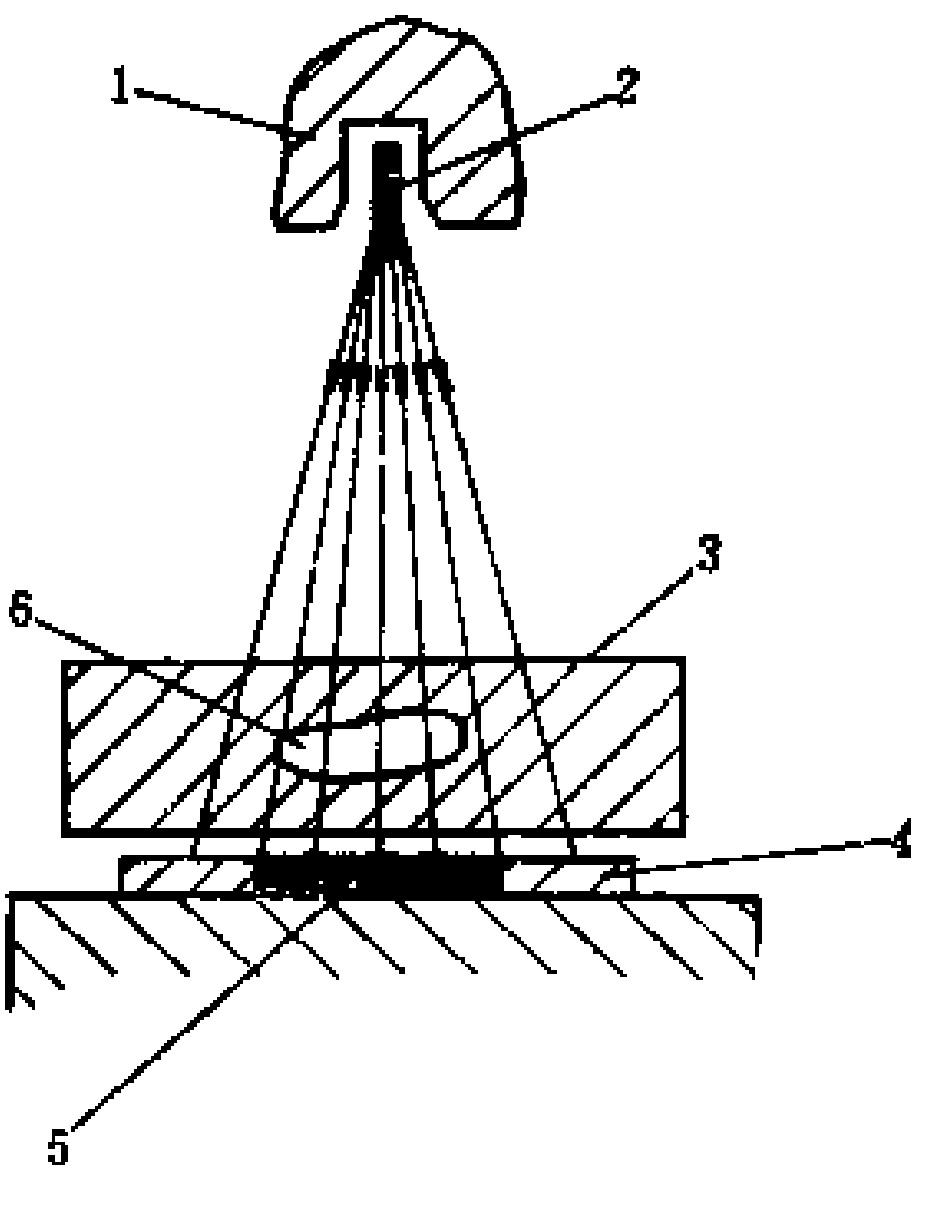


图2.1-3 γ射线照相探伤法原理简图

1—防护容器 2—放射剂 3—被检验的工件 4—软片 5—缺陷物象 6—缺疵

γ射线探伤装置一般包括以下四个部分：

（1）安装在小车上的支架；

（2）主保护罩，单向曝光探头和周向曝光探头；

（3）传动放射源用的电动机，减速装置，操纵盒和手动操纵机构；

（4）放射源从主保护罩移动到工作护罩的金属软管和钢丝。

2 探伤仪常见简单故障分析

一、X射线探伤仪的故障分析

X射线机的维修一般应由专职人员进行，探伤人员了解一定的维修知识，对正确使用仪器，延长仪器使用寿命，排除小的故障是有益的。

X射线机常见故障如下：

1. X射线管松动 如在正常曝光下，所摄得的X射线底片清晰度很不好，或在曝光过程中，毫安表指示很不稳

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

定，那么此种情况很可能是由于X射线管受振动而产生松动现象所致。这是在携带式X射线机中经常易出现的故障。

2. 保险丝熔断　保险丝的熔断有两种情况：一是外来电流过大，二是X射线机内部短路或过电流。应详细地逐步查找原因，决不可盲目换上大容量保险丝，以免损坏仪器。

3. 电流表无指示或指示很小　在接通高压后电流表不动或微动，此时虽调整电流调节旋钮和增大高压，都无法使其增加，则此故障可能是电缆插头未插好或毫安表两端中断，也可能是X射线管损坏（如灯丝断）而造成，需认真检查。

4. 电缆断线　如因使用不当而折损电缆（在其它部分都好的情况下），用万用表就可检查出断线。不要用切断电缆的办法来重新接线，这样当使用携带式X射线机在室外透照时，易使电缆太短而缩小安全距离，这时可用单根软线在电缆外部接好以代替断线。

5. 自耦变压器老化，高压指数达不到额定值　自耦变压器长时间使用后，因老化会使电压降增大，造成输出电压达不到额定值，此时可打开操纵箱，把自耦变压器的电刷移动范围增大，则可使输出电压达到额定值。

6. 射线发生器漏油，高压跳火　射线发生器密封垫圈处，有时可能被油腐蚀而漏油进入空气，降低绝缘，形成高压击穿，对地放电或高压发生电磁开关跳火高压不能接通等现象。这时要更换新的耐油橡皮垫圈，漏去的油要用同型号耐压度足够的新油填充上。高压发生电磁开关跳火可能是因射线发生器内油温过高，使油膨胀器作用，不能接通高压，此时只要使油冷却即可解决。跳火原因也可能是因为绝缘油耐压不够，则应全部换上合格的新油。高压电缆击穿，高压

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

变压器击穿，X射线管漏气，都可能使高压跳火不能接通。总之，凡高压不能接通时，一定要仔细查找原因。

7. X射线管失效　X射线管使用一段时间后，透视能力就会逐渐降低，时间再长，还会在曝光条件与以前一样的情况下，使X光胶片稍微感光，得到黑度很不够的底片，这可能是X射线管失效所至，其原因由于X射线管制造不良而引起的。

另外，当X射线管受到很大振动或使用时间超过规定寿命，也会失效，需换上新的X射线管。

8. 阳极过热毫安表摆动较严重　由于长时间使用，而且对X射线管阳极的冷却注意不够，或是X射线管制造质量不良等都会造成阳极过热现象。这时阳极金属内的残留气体会放出，而使阴极发出的电子流受到影响，造成管电流时大时小地不稳定，毫安表摆动严重的现象。发现此现象，应立即停机，以使阳极冷却下来。在以后使用过程中更应注意冷却问题。

9. 电动机不转，发生器局部发热　当携带式X射线机受到强烈振动时，电动机的轴承会变更位置，使转子卡住，电动机不转，冷却油不能循环，易使热量集中在阳极散热器周围，造成射线发生器局部发热。遇此情况，应拆开发生器，检修电动机，使它正常工作。

10. X射线管灯丝预热时间不够，而使灯丝老化损坏　由于在工作中不认识灯丝加热的重要作用，往往在灯丝还未充分预热时就加上高压，即灯丝本身还没能充分地发挥发射自由电子能力时，就加上高压，等于硬把电子从灯丝中“拉”出来，这样就会严重地影响灯丝的寿命。同样在工作完毕时，也应使灯丝加热一定时间，若马上把加热开关关闭，则

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

灯丝就会从强烈发射自由电子状态一下变成不发射状态，这种突变还会影响灯丝的寿命。因此，必须在工作开始前和结束后均需将灯丝加热半分钟左右，特别在工作结束后，灯丝加热时间还应适当长些。这样才能增加灯丝寿命，避免加速老化。如发现灯丝因老化而损坏，则应更换新X射线管。

二、超声波探伤仪常见故障分析

超声波探伤仪是一种较精密、较复杂的电子仪器。根据其设计特点，元器件质量、组装工艺以及工作环境，使用情况等诸方面原因，仪器将会出现各种故障。

1. 烧断电源保险丝　出现这种将电源保险丝烧断的情况，一般是由于电源电路部分发生短路，产生了过大的电流而造成的结果。一旦发现保险丝被烧断而进行检修时，应立即切断电源，并拔下电源连接线以保证安全。

检修时，首先应该查看“110/220 V电源变换”位置是否与使用电源相符，并予以纠正。然后用万用表检查电源部分各主要节点对地电阻值，在短路处查出，予以修复。一般短路故障常出现在整流二极管、滤波电容、变压器初级或次级绕组等处。

2. 发现仪器某些部分工作不正常（如灵敏度低，扫描线不稳等），同时发现保险丝虽未烧断但变压器迅速发热，甚至流汤、冒泡、冒烟、有焦臭味等等。

这时应切断电源，拔去电源线，首先检查电源电路部分，查找造成变压器发热的原因。这种情况一般是由于电源部分某处短路而使电流增大，但又不致烧断保险丝而造成的。一旦发现短路部分并予修复后，变压器即不应再发热了。若仪器所表现的故障是因电源不正常而引起的，则电源修复后仪器所表现的故障即消失。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3. 无亮点　开机后，经过正常预热，将辉度调至最大位置，无论“垂直”、“水平”两个位移旋钮怎样调配，荧光屏上都没有光点出现，即为无亮点。出现这种情况，一般故障可能发生在高压发生线路或高压传输线路或示波管本身。

检查时，首先使用2500 V档的万用表检查仪器高压发生线路输出端，是否有正、负直流高压输出，然后按顺序检查正、负直流高压是否加到示波管上。高压整流元器件或滤波器元器件损坏，高频高压振荡器不起振，或高阻值电阻开路等，都是常见故障。同时还应注意检查示波管加速阳极屏帽和管座是否接触良好。

若高压正常，可用万用表500 V档分别检查示波管水平偏转板和垂直偏转板的直流电压，同时相应转动“水平”、“垂直”旋钮，观察直流电压变化幅度。若变化偏高或偏低，则应检查上述部分。

同时应检查主控同步电路是否工作，若不工作，则无任何触发信号输出，于是扫描部分和发射部分不工作，亦无升辉闸门，这种情况下也可能造成无亮点现象。

若上述各项检查均未发现故障，则可能是示波管本身损坏。如灯丝不亮、漏气等，这时可更换示波管再作试验。

4. 只有亮点　荧光屏上有亮点但无扫描线又无始波。这种现象一般是由于同步电路故障引起的。无同步信号，则会造成无发射、无扫描现象。其故障原因可能有下列几种情况：

电源供电不正常或根本无电压；

元器件损坏，致使同步振荡器不起振；

同步信号输出端短路或开路，造成无信号输出。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

此外，当发射电路，高频放大器，视频放大器，扫描闸门发生器，锯齿波发生器，扫描输出，释抑电路等诸多部分中几部分或全部同时发生故障，也会造成只有亮点的故障现象。

5. 有始波而无扫描线　出现这种情况，必然是由于扫描系统故障所引起的。因此，应检查同步信号输出——扫描电路——扫描输出的整个扫描系统。一般检查要点和方法如下：

（1）检查各组工作电压是否正常；

（2）转动“水平”位移旋钮，观察始波是否可以左右移动，若有故障，应首先予以修复；

（3）检查扫描输出端是否有对称的锯齿波输出，若无则检查锯齿波发生器是否有正常的锯齿波产生，以判断是否是输出电路故障。若无扫描闸门信号发生，则检查同步信号是否输入扫描电路部分，以判断闸门发生器是否存在故障。

（4）通常容易发生的故障是：

在闸门发生器和锯齿波发生器部分的传输线路接点开路，使信号无法传递或元器件损坏，这时单元电路也不能正常工作；

在扫描输出部分常是元器件损坏，特别是晶体管电路中高反压晶体管较易击穿，而在调换时应注意其耐压必须达到规定要求。

6. 有基线无始波　发生这种情况，故障必然在发射或接收系统。包括发射电路（包括探头），接收放大电路（包括衰减器），检波和视频放大等各部分。

一般检查要点和方法如下：

（1）检查上述各部分电路的工作电压是否正常，并予

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

调整。

（2）转动“垂直”旋钮，观察扫描基线是否能作上下移动，如有故障，应予排除。

（3）检查发射部分是否正常。简单的方法是这样：将仪器的“单双”开关置“双”，增益置最大，拔去发射管（或用其它方法使之不工作），然后用手指触摸仪器的“收”插座，如果此时荧光屏垂直方向有人体感应信号，则说明“收”插座以后的电路工作正常，故障就发生在发射部分。发射部分一般常见的故障有：发射管衰老、损坏，或其它元器件损坏；无同步信号输入或幅度太小；连接探头的高频电缆线开路或探头损坏等。

（4）检查接收放大部分（包括高频放大器检波器、视频放大器和功率输出）工作是否正常。可由前向后或由后向前逐级检查，看是否由于元器件损坏造成故障，是否是由于传递线路开路而造成故障。

7. 基线过短　正常仪器的扫描基线长度应略大于荧光屏水平刻线长度，而且扫描线亮点应均匀，若扫描线长度过小或扫描线尾部出现亮点，通常是扫描系统出了故障，使输出的锯齿波幅度太低或者锯齿波出现平顶。因此，应检查各级工作电压，检查各级负载元器件，检查释抑电路和扫描输出线路等。

8. 基线水平方向抖动　水平方向抖动是由于扫描系统不稳而造成。主要原因如下：

（1）由于电源电路中滤波、稳压部分出现故障，电源电压纹波太大，对同步，扫描等系统产生50Hz的干扰，这时将“重复频率”置50Hz档处，抖动才能消除。因此，应检查电源供电电压纹波幅度，检查元器件是否损坏，接地点是

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

否牢固，滤波电容是否漏液和容量减小等。

（2）同步电路或扫描闸门电路管子衰老或元器件损坏，会造成扫描基线始端抖动。

（3）释抑电路不稳定，会造成扫描基线尾部抖动。

9. 基线垂直方向跳动　垂直方向的跳动主要是视频放大级的不稳定所造成的。特别是电源纹波过大的50Hz干扰（如稳压管闪动不定）和元器件损坏或跳火。

（1）波动跳动如果在水平或垂直方向同时发生，主要是由于电压纹波过大引起的，应检查稳压电源。

（2）若波形闪动严重，可能是显示系统故障（如示波管内跳火，加速阳极屏帽接触不良或高压系统跳火）所引起。高压跳火原因很多，如电源不稳，导线击穿，“辉度”，“聚焦”电位器和滤波电容等高压元器件太靠近低电位元件或绝缘瓷板漏电等。

10. 荧光屏显示的脉冲过矮　波幅过矮主要是检波器或视频级故障造成的，应对可使显示波形具有一定饱和高度的起限幅度作用的电路部分进行检查，同时还应检查视频级板极电压和输入信号幅度。

11. 波幅过高　荧光屏上显示的脉冲波形幅度过高，故障通常发生在视频放大级，如元器件损坏使板极电压变化或限幅二极管开路等。

若波幅过高，时基线变长、变暗，则可能是加给示波管的高压变低了。

12. 开机后扫描线越来越暗　荧光屏上能显示出亮线，是由于高速电子打在荧光物质上，激发荧光质发光，扫描线越来越暗，应检查高压是否降低，再检查示波管是否慢性漏气。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

若波形变暗而基线始端存在明显的亮点，则故障可能发生在升辉电路部分。

13. “辉度”、“聚焦”旋钮不起作用　“辉度”、“聚焦”电位器失调，原因有如下几种：

（1）电位器本身损坏，失效；

（2）负高压线路故障；

（3）加至示波管X、Y偏转板的直流电位变化过大也会使聚焦变差，此时，调节“水平”、“垂直”旋钮，在荧光屏上可观察到扫描基线处于不同位置时的聚焦情况是不同的。

（4）示波管本身散焦。

14. 接收放大器自励　在整条扫描线上或某一段上出现一片杂乱波形，且其幅度和宽度可受“增益”旋钮调节的影响，这就是一种最常见的放大器自励现象。

引起放大器自励的主要原因有：

放大器中某一级的接地点接触不良，前级输入端开路，阴极旁路电容短路，以及某些连线位置的移动或屏蔽罩、盖板未紧固等。

15. 探伤灵敏度低　探伤灵敏度的高低，是仪器和探头配合使用的结果，检修时应注意下面几点：

（1）探头性能是否完好，且是否与仪器有正确的匹配；

（2）灵敏度下降不太大的，一般是元器件衰老（特别是发射闸流管衰老为常见）引起的；

（3）灵敏度下降较大的，通常是放大器中个别元件损坏，使放大量降低所致。如阴极旁路电容开路，衰减器电阻损坏或接触不良，电源电压变化等；

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（4）灵敏度变得极低的，可能是发射、接收系统中某部分开路或短路，使信号无法通过而引起的。如探头线折断，衰减器开路或短路、电子管灯丝不亮、接收线圈开路或接触不良而使放大器严重失谐等。

16. 水平线性变差　仪器水平线性变差，即扫描锯齿波线性变差，发生波形畸变，应着重检查锯齿波发生器和扫描输出电路。

（1）用万用表检查各组电源电压。

（2）用万用表测量各管的工作电压，特别需注意锯齿波发生器各管工作点的变化，因为某些元器件性能的改变会导致锯齿波始端或顶端产生严重畸变。

（3）测量扫描输出级各管的工作点。

（4）用示波器观察锯齿波发生器和扫描输出电路各级输出波形。

17. 垂直线性变差　在检修仪器垂直线性时，必须检测仪器衰减器的精度，当衰减器精度符合要求时，才能从下面几方面考虑垂直线性变差的原因：

（1）接收放大器某级工作点的改变，影响了放大器线性；

（2）检波管性能变差，产生波形失真；

（3）视频级工作点偏离或双向输出的视频信号幅度相差悬殊且失真；

（4）示波管有效显示区域缩小或产生图象失真。

18. 分辨率变差　影响分辨率的主要因素有如下三点：

（1）探头性能；

（2）检波后的滤波电容；

（3）视频级的高频补偿电容。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

若在检修中更换了元器件，则将垂直线性、动态范围等再检查一遍进行调整，以防顾此失彼，相互影响。

3 超声探伤中用的各种探头的基本结构

目前，在超声波探伤中由于被探伤工件的形状、材质，探伤的目的和探伤的条件不同，而使用各种形式的探头。按其不同的归纳方式可进行不同的分类，如按在被探材料中的传播的波型，可分为直立的纵波探头，即直探头和斜角的横波、表面波、板波探头，即斜探头；按与被探材料的耦合方式，可分为直接接触式探头和液（水）浸探头两种；根据超声波束的聚焦与否可分为聚焦探头和非聚焦探头；根据工作的频谱可分为宽频谱的脉冲波探头和窄频谱的连续波探头。此外，自动检测中还有机械扫描的切换探头和电子扫描的阵列探头。以及在一些特殊条件下使用的特殊探头，如高温探头，狭窄探伤面使用的微型探头，近表面探伤的联合双探头等等。下面介绍几种常用的基本探头：

一、直探头

这种探头一般用于手操作，可通过少量液体耦合剂与被探工件直接接触，进行人工扫查，要求被探工件表面有一定的粗糙度。此种探头发射的超声波束垂直于被探工件的表面，即适宜于单探头的反射法，也适宜于双探头的穿透法。当采用单探头工艺时，该探头可交替地用来发射和接收，在一段时间间隔里，它向工件辐射超声脉冲，在另一时间间隔里，它接收由工件反射的回波信号。当被探工件形状不规律，底面与工件表面不平行或某些特殊情况时可使用一个探头作发射，另一个探头作接收的双探头工艺。为获得较好的探伤结果，发射探头和接收探头可以根据压电性能选择不同的压电材料，如选择压电发射系数较高的 PZT 作发射探头，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

选择压电接收系数高的硫酸锂作接收探头。

典型直探头的基本结构，如图2.1-4所示。

直探头是由壳体、阻尼块、压电元件和保护膜等基本部分组成。

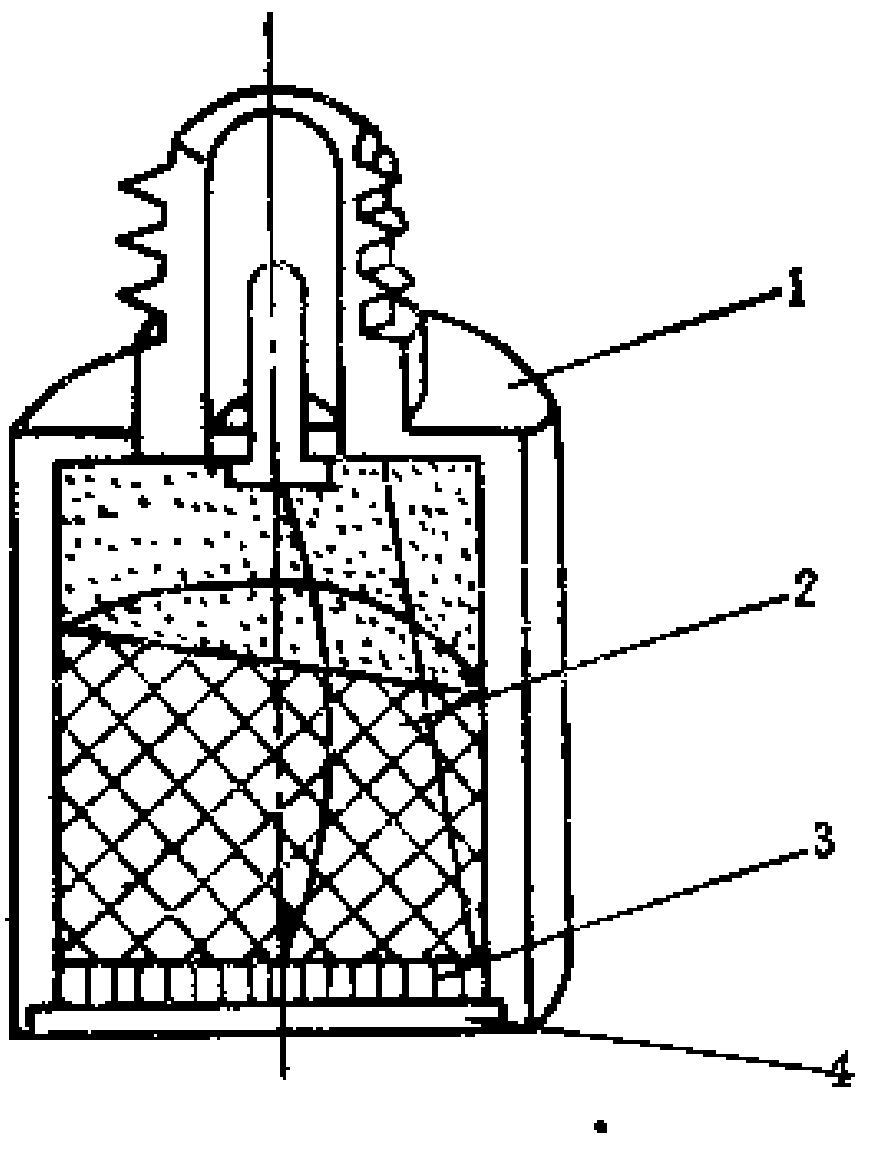


图2.1-4　直探头的结构
1—壳体　2—阻尼块　3—压电元件　4—保护膜

1. 阻尼块　在超声波探伤中为了提高分辨率和减小探伤盲区，一般希望发射的超声脉冲在满足功率要求的条件下尽可能窄些。为了得到窄脉冲，除了电路的激励源的脉冲宽度要尽量窄以外，还与超声探头的工作情况有关。探头仅对品片施加电振荡信号以后，激起晶片振动产生超声波。当加在晶片上的电振荡停止以后，晶片由于惯性的作用仍然要维持振动一段时间才逐渐恢复静止状态，这种情况对于探伤是十分不利的。在脉冲反射法探伤中，我们需要晶片探动以后立即恢复到静止状态，准备接收回波信号，晶片的继续振荡将会阻塞回波信号的接收，其结果使盲区增大，分辨率降低。此外声能是从晶片前后两面同时发射的，从后面发射的声能也必须加以限制，以防此声能返回晶片而出现杂波。改变这些缺点的方法是在晶片背面加高阻尼吸收介质就可以使能量通过背面进入背衬材料。从声波的反射与折射一节的讨论中可知，为了使从压电元件辐射至背衬材料的声能完全吸收，必须满足压电材料的声阻抗 Z_T 与背衬材料的声阻抗 Z_b 相等的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

条件。但实际上满足 $Z_T = Z_b$ 的条件是很困难的，因此一般不称背衬材料为匹配块，而称为阻尼块或吸收块。加了阻尼块之后阻尼了晶片中的振荡，使脉冲变窄，但同时也减少了晶片辐射的声能。为保证阻尼块既能起到吸收作用，又能保证探头有足够的灵敏度，必须使阻尼块的声阻抗尽量的接近晶片的声阻抗。

目前的超声探头，通常采用环氧树脂加钨粉做成阻尼块。实验表明，阻尼块的声速主要决定于环氧树脂的声速，与钨粉的配比关系不大。阻尼块的声阻抗在一定范围内随着钨粉的颗粒和钨粉配比的增大而增大。如果在环氧树脂固化前进行高速离心处理，提高近压电元件层阻尼块的致密度，这样不仅以进一步提高声阻抗，而且还可获得渐变的声阻抗特性，也将更有利于与晶片材料的匹配。实验可表明，相同颗粒钨粉，钨粉配比越大，吸收性越强，当钨粉配比达到一定值以后吸收就不再增加了。在相同配比情况下，钨粉颗粒越大吸收越好。在通常情况下，适当加入2%左右的橡胶粉，可以进一步增加阻尼块的吸收性能，一个好的阻尼块应使向后发射的声波衰减 200dB 以上。为防止阻尼块与压电元件之间粘接层降低阻尼吸收效果，一般将阻尼块和压电元件直接浇铸在一起。为减少声波在阻尼块中的反射影响，阻尼块的后边缘可制成波浪式或倾斜式的。

2. 保护膜　直探头在探伤中一般直接与工件接触，为了保护压电元件不至被磨损、碰坏，因此在直探头的前面一般要加一层保护膜。目前使用的保护膜有硬保护膜和软保护膜之分。

硬保护膜多采用普通陶瓷片、钢玉片或金属片，近年来也有用含硅砂的塑料和碳化钨的硬保护膜，使用过程中利用其

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

良好的耐磨性能而起到保护压电元件的目的。一般难于将保护膜做得很薄。所以加上硬保护膜的探头，因为声波在保护膜内的多次反射，使荧光屏上的始脉冲的宽度增加，而且压电晶片由于粘上了保护膜以后，探头的机械性能因素也会大大降低。

目前，在探头前加软保护膜的逐渐增多。因为以塑料做的软保护膜的始脉冲占宽较硬保护膜小，若能选择塑料材料的声阻抗介于晶片材料和耦合介质声阻抗之间，则对探头的透声效果的影响较小。且对于表面粗糙的工件，使用软保护膜的探头还可改善其与工件的接触耦合效果。

从理论上讲，无论是硬保护膜或软保护膜，其厚度为声波在该介质中的1/2波长的整数倍时，声波透射率最大。若压电元件的声阻抗为 Z_1，被探工件的声阻抗为 Z_2，则当保护膜材料的声阻抗 $Z=\sqrt{Z_1Z_2}$ 时为最佳传输条件。但由于匹配阻抗的设计和工艺保证及各方面影响因素都较为复杂，往往还要通过实验选取最佳方案。

3. 壳体　超声探头的壳体起着固定和保护整个探头元件的作用。壳体可以用金属或塑料制造。在壳体上还装有小型电缆接插件，金属壳体常用作压电元件的接收极。壳体的外形主要根据探测条件来进行设计，一些小型的探头为便于操作往往还带有易于抓持的金属环和塑料罩。在壳体上还应标明探头的工作频率和晶片尺寸等主要性能参数或厂家的商标与型号。

对于宽频带的超声波探伤仪所配套的探头，为使探头的谐振频率与仪器的电激励的频率相一致，在用压电陶瓷元件制成的探头内应加装与晶片并联的匹配电感。为使探头有较高的频率，除了合理地调配频率之外，还应考虑阻抗匹配，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

当压电元件的等效电阻等于仪器的内阻时，探头才能获得最大的输出电功率。阻抗匹配可采用变压器式的或改变电容T网路式的，一般以采用变压器式的为多，即在探头壳体中装入阻抗变换器和阻尼电阻。

直探头适用于制造过程中的钢坯内夹杂、缩孔；锻件内夹渣、裂纹、白点、偏析和折叠；轧制品内分层、夹渣、撕裂和裂纹；铸件内疏松、夹渣、收缩裂纹、冷隔和气孔；各种使用材料中的腐蚀、疲劳裂纹和应力腐蚀裂纹等缺陷的探伤。

二、斜探头

斜探头一般由探头芯、斜楔块和壳体等主要部分组成。探头芯与直探头相似，也是由压电元件和阻尼块构成的。斜探头与直探头的主要不同点是，前者在压电元件和被探材料之间用一块斜楔块构成一固定的入射角。这样，斜探头就可以将压电元件发射的纵波，通过斜楔块与被探材料的界面折射并产生波型转换，在被探材料中形成纵波与横波并存、单纯的折射横波及表面波等不同波型。不同波型的产生取决于被探材料、斜楔块的声速和入射角，对于给定的被探材料和斜楔块，可通过选择楔块的入射角度，在被探材料中获得所需要的波型和波束方向。如斜楔块的入射角选择在第一临界角与第二临界角之间，在被探材料中可获得单纯的折射横波，这样斜探头称横波斜探头。斜楔块入射角的变化可在被探材料中得到不同的折射角，根据入射角和折射角的不同，横波斜探头有三种标称方式：第一种是苏联和国产部分的横波斜探头，以纵波入射角标称，常用的入射角有30°、45°、50°、55°；第二种是西方国家的横波斜探头，以钢中的折射角标称，常用的折射角有40°、45°、50°、60°、70°；第三种是

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

国产部分的横波斜探头，以钢中折射角的正切值K（$K=\mathrm{tg}\beta$）标称，常用的K值有1、1.5、2、2.5。如果斜楔块入射角大于第二临界角，通过斜楔块使在被探材料中的横波折射角大于90°，由波型转换所得到的是沿被探材料表面传播的表面波，这种斜探头称为表面波探头。

斜楔块的材料应选择衰减系数适宜，通过耦合剂与被探材料能实现稳定、较好的声耦合，还应易于加工。有机玻璃是最普通的斜楔块材料，其缺点是不耐磨、易碎、频率高时声衰减大。斜楔块的设计原则，除了保证严格的入射角外，还应考虑其外形尺寸适当，不致引起较大的声衰减，和保证在斜楔块内多次反射的声波不能返回压电元件。

目前较普遍使用的斜探头有，有机玻璃斜探头和金属壳斜探头，其结构如图2.1-5所示。

有机玻璃斜探头的探头芯是，用油耦合通过壳体的机械压紧力压在有机玻璃斜楔块上的。金属壳斜探头的探头芯是粘在斜楔块上的。在金属壳斜探头内除斜楔块外，还灌注了吸声材料，用以吸收透过斜楔块的声能；且与被探材料相接触的金属壳体的边缘还能起到耐磨的作用，有的斜探头在底面还另外加贴耐磨的材料。

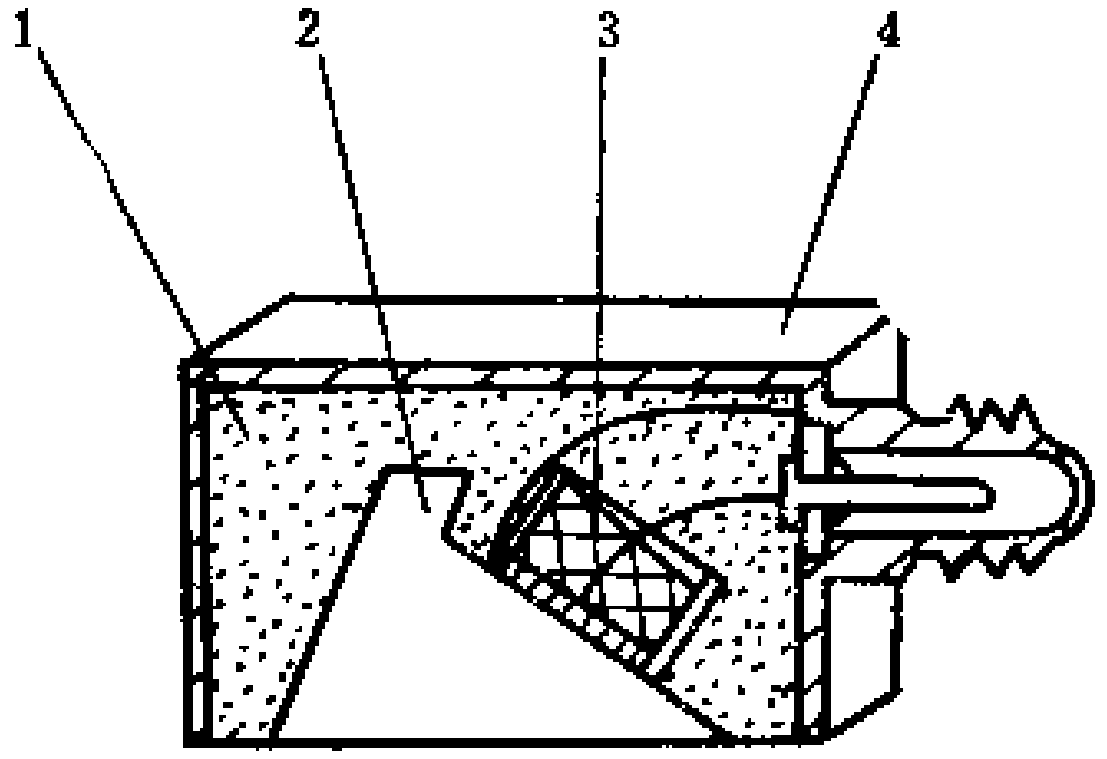


图2.1-5　金属壳斜探头的结构

1—吸声材料　2—斜楔块　3—探头芯　4—外壳

斜探头常采用方型压电元件。与使用圆型压电元件相

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

比，用方型压电元件可增加声源面积，提高发射强度，因而可以明显地提高探伤灵敏度。

横波斜探头适用于制造过程中锻件内的折叠和裂纹，轧制件内的撕裂和裂纹；焊接件焊缝内夹渣、未熔合、未焊透、咬边、焊瘤、焊缝及母材中的裂纹；管材内环形裂纹，纵向裂纹；各种使用材料中的疲劳裂纹和纵向裂纹等缺陷的探伤。表面波探头适用于各种材料的表面质量的检查。

三、联合双探头

联合双探头是为了弥补普通直探头探测近表面缺陷的盲区大、分辨率低的缺点而设计的，其结构如图 2.1-6 所示。这种联合探头相当于两个探头的组合，其中间用隔声层隔开。为缩短在工件中的近场区，采用了有机玻璃延迟块，将两个探头芯以较小的倾角对称地粘在延迟块上，一个可作为发射超声波，另一个作为接收来自工件的反射声波。若两个

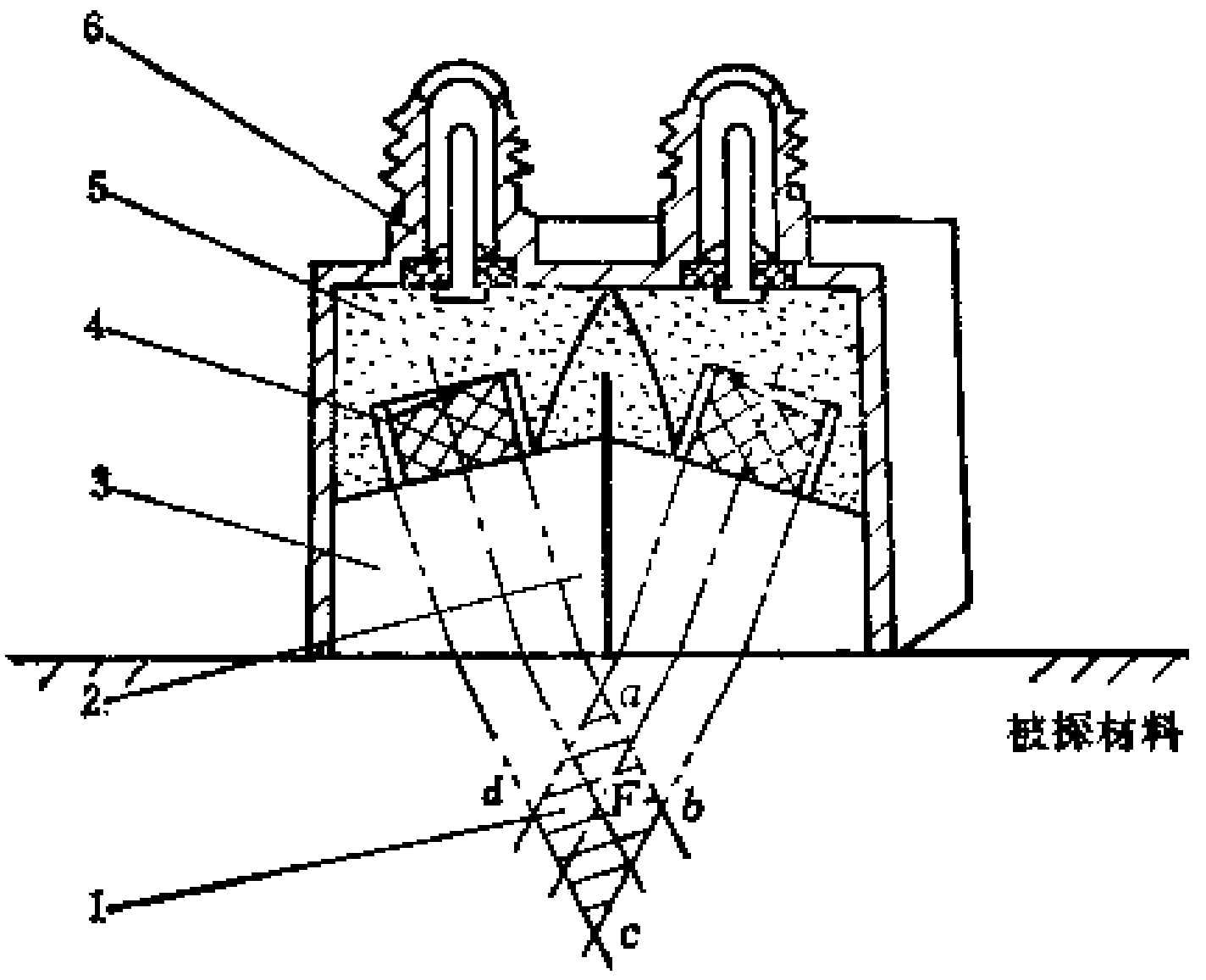


图2.1-6　联合双探头的结构

1—探伤区　2—隔声层　3—延迟块　4—探头盖　5—吸声材料　6—壳体

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

晶片同时发射超声波束，其交叉覆盖的区域（图中$abcd$的棱形图）即为联合双探头的探伤区。声束中心的交点F的探伤灵敏度最高，远离F点的区域探伤灵敏度随距F点距离的增大而下降，这是联合双探头的特点。按这一特点，根据实际探伤的需要，选择不同的探头芯倾角，就可以改变F点距探测面的深度和覆盖区$abcd$的大小。倾角越小F点距探测面越深，探伤区越窄长，适宜于探伤较厚的工件；倾角越大F点距探测面越浅、探伤区越短粗，适宜于探伤较薄的工件。

由于采用了双晶片，发射与接收分开，消除了压电晶片与延迟块之间的反射杂波，同时由于在仪器线路设计中始脉冲不能进入放大器，克服了阻塞现象，使探伤盲区大为减小，为近表面的探伤提供了有利条件。发射与接收分开就可以根据对发射晶片和接收晶片不同的要求，选择各自性能优良的压电材料，因而可以获得较高的回路增益，这是一般直探头所不可能做到的。

联合双探头除了直探头形式外，还有斜探头形式，它们的原理和设计构思与上述情况大致相同，可以根据工件的特殊需要来进行具体设计。

联合双探头适用于制造过程中，钢板和薄形工件的厚度测量、分层缺陷的探伤及管壁厚度测量，使用材料中壁厚减薄的测量和腐蚀及应力腐蚀裂纹等缺陷的探伤。总之，它主要用于探测近表面缺陷和薄工件的测厚。

四、聚焦探头

用类似光学透镜和凹曲面反射使光集聚的办法，采用声透镜和声波在凹曲面进行反射行为，也可使超声束集聚。这种由超声探头和声透镜或凹曲反射面的组合而成的探头称为聚焦探头。由于聚焦探头的声束变细，声能更为集中，从而

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

大幅度地改善了指向性，提高了灵敏度和分辨率，为进一步探索缺陷的定性定量创造了有利的条件，所以近年来聚焦探头得到了很快的发展。

聚焦探头在结构上可以有不同的形式，除声透镜和凹曲面反射式以外，还可以将压电晶片直接做成曲面获得聚焦声束，但是由于制造工艺难以做到保证确定的形状，目前还较少采用，根据探伤的具体要求，这种聚焦探头可设计成直接接触的或水浸式的，其主要的结构可以是直探头，也可以是斜探头的。聚焦探头的几种类型如图 2.1-7a～d 所示。

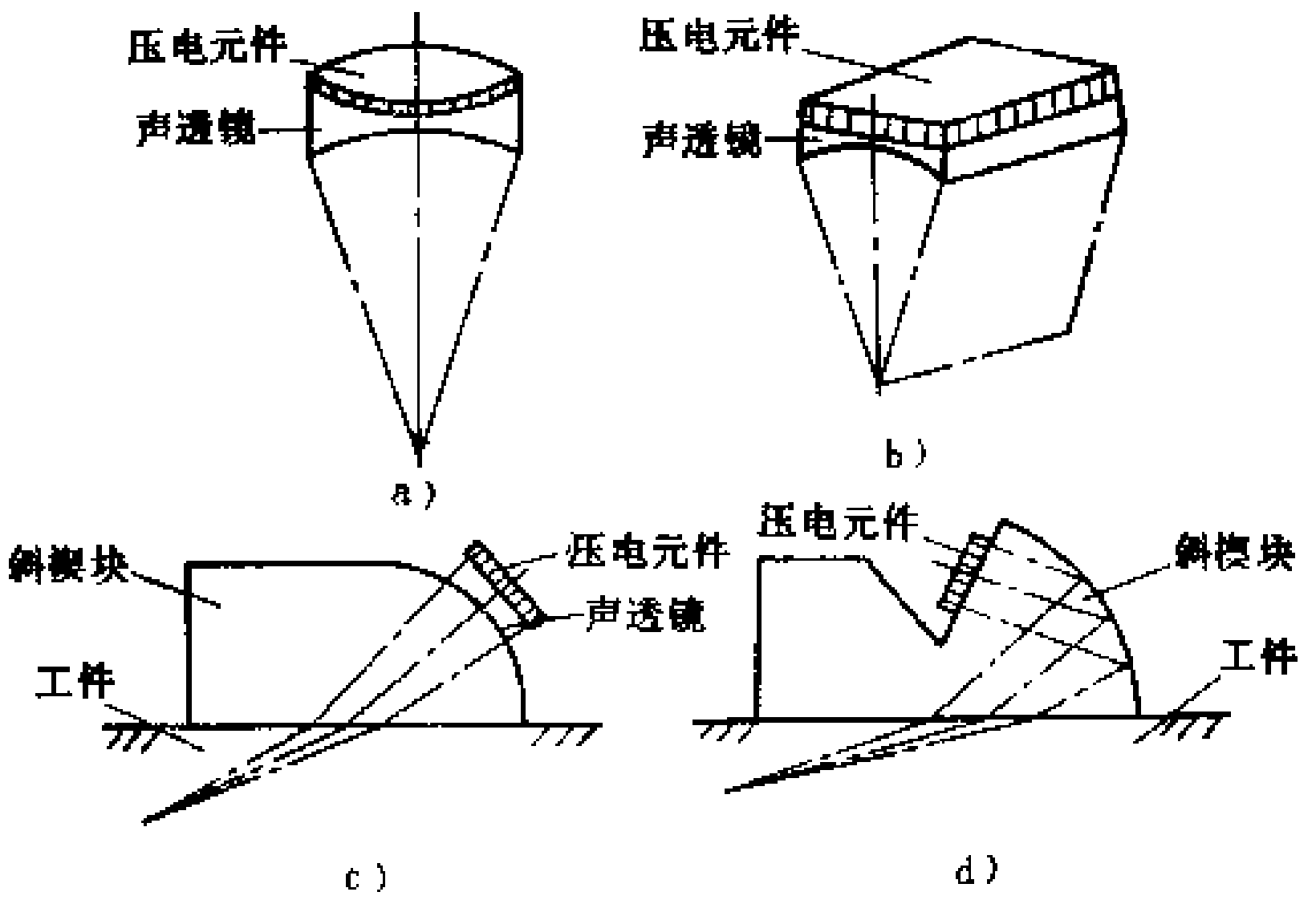


图2.1-7　聚焦探头的几种类型

a 图是球形曲面声透镜构成的点聚焦探头；b 图是圆柱曲面声透镜构成的线聚焦探头；c 图是声透镜聚焦斜探头；d 图是反射式聚焦斜探头。

线聚焦探头从理论上获得的是一个聚焦线段，波束的聚焦可以用焦柱的长度和宽度来描述，主要用于管材和棒材的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

探伤。点聚焦探头理论上获得的是一个聚焦点，实际交点可以把它看成是在声压最大值附近某一范围的区域，一般用焦点的直径和长度来描述，与线聚焦探头相比它有更高的灵敏度和分辨率，但焦点的覆盖面积要小。

声透镜的材料应选择对与其接触介质的折射率大，声阻抗接近于与其接触的介质或压电元件的声阻抗，内部声衰减小和易于加工制造的材料。常用的材料为有机玻璃、玻璃、聚苯乙稀、环氧树脂、铝和镁。为得到最好的声传输效果，往往将声透镜和压电晶片直接粘结在一起。对于用同一材料制成的声透镜和确定的探测条件来说，改变声透镜的曲率半径就可以改变焦距的长短。曲率半径越大的声透镜的焦距也越长，曲率半径越小的声透镜的焦距也越短。焦距越短，频率越高焦点处的声压则越大。

聚焦探头水浸法探伤中，由于水与金属工件的声速差异较大，水中集聚的声束经水与工件表面后将进一步集聚，而且这一次的集聚作用远大于声束在水中集聚的程度，如图2.1-8a)所示，因此在一定范围内改变在水中聚焦探头至工件探测面的距离对改变工件内焦点的深度影响较小。对于直接接触法探伤的聚焦探头，一般在声透镜和工件探测面之间还要加一个透声楔块，如b图所示，集聚的声波束经透声楔块和工件探测表面后同样会在工件中进一步集聚，但由于透声楔块和工件声速差异较小，其进一步集聚的程度比水浸探伤也要小一些。

理论和实践都证明，要获得较满意的聚焦效果，应采用尺寸较大的聚焦晶片、声透镜和反射面，目前在工件中一般的聚焦深度在50mm以内。由于聚焦探头的聚焦声场只有一个较窄的范围，因而对于某一给定的探测深度范围，就需要

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

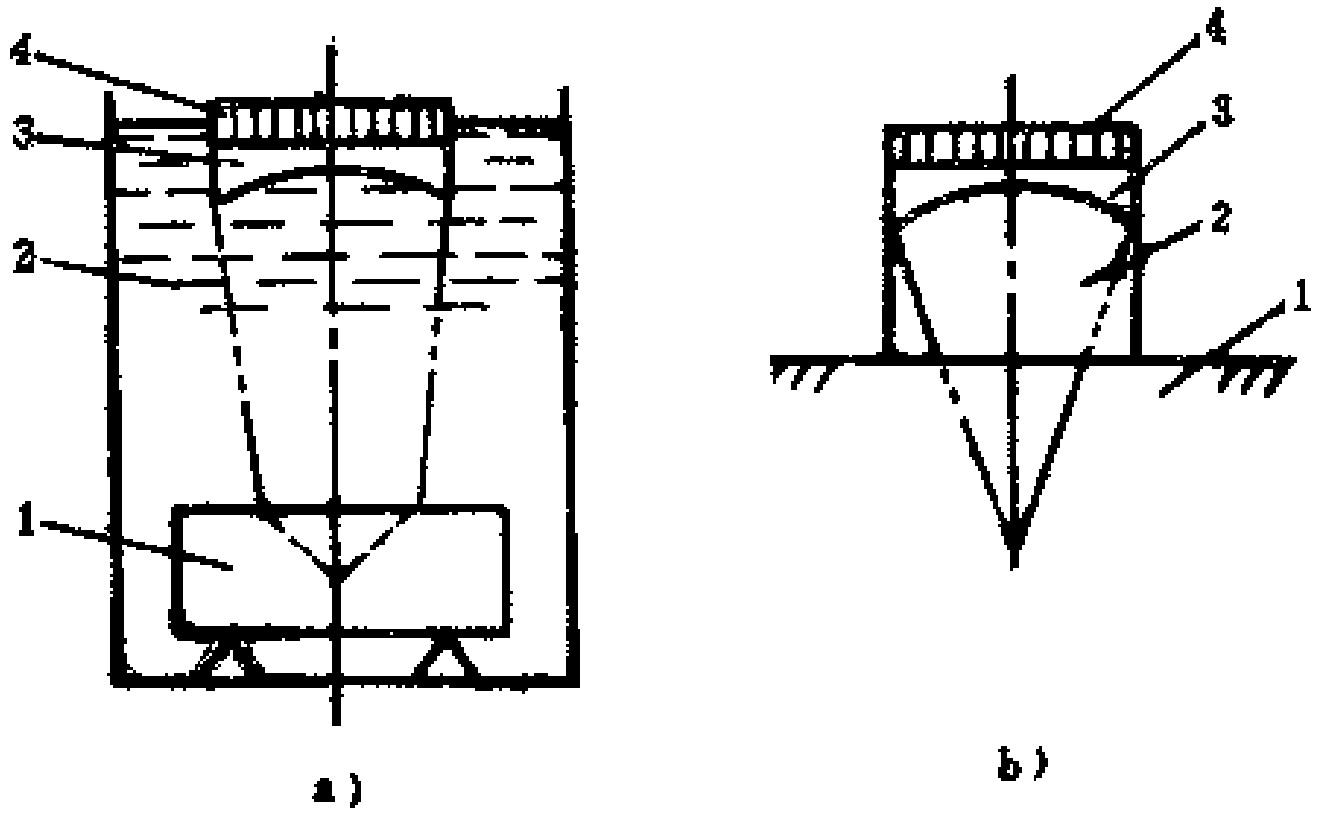


图2.1-8　不同探测条件的聚焦作用

a）水浸法探伤　b）直接接触法探伤

1—工件　2—水槽　3—声透镜　4—压电元件　5—透声楔块

选择一组适当的聚焦探头才能完成探伤任务。

4　了解常用仪器（射线、超声、磁粉、荧光探伤仪）的主要技术性能

一、射线探伤仪的主要技术性能

以国产最常用的便携式2005型射线探伤仪为例，说明其主要技术性能参数，如表 2.1-1 所示。

表2.1-1　2005型射线探伤仪性能参数

序　号		项　　目	技 术 参 数
1	输入	电压(V)	220
		周率(Hz)	50
		相数	单项
		最大容量	1.5(kVA)

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（续）

序号	项目		技术参数
2	输出	X射线管两端高压峰值(kVP)	200
		管电流(平均值，mA)	5
3	射线管	焦点面积(mm^2)	3×3
		射线角度	40°
		冷却方法	油浸自冷
4		最大容量最长连续工作时间	5(min)
5		射线最大穿透厚度(钢丝)	43(mm)

二、磁粉探伤机的主要技术性能

以TYC-2000型固定式荧光磁粉探伤仪为例，说明其主要技术参数，如表2.1-2所示。

表2.1-2 TYC-2000型固定式荧光磁粉探伤仪性能参数

序号	项目	技术参数
1	直流纵向励磁	0～2000(安匝，可调)
2	磁轭最小有效截面	100(mm^2)
3	交流周向励磁	0～2000(A可调)
4	探头间夹持探件尺寸	0～1200(mm，可调)
5	手持电缆探头励磁	800(A)
6	紫外线灯管启动时间	3～4(min)
7	紫外线灯管不稳定最大延时	15(min)
8	紫外线主要辐射波长	3650(A°)

三、荧光探伤仪主要技术性能

以TYS-300型手提式荧光探伤仪为例，说明其主要技

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

术参数（表2.1-3）。

表2.1-3　TYS-300型手提式荧光探伤仪技术参数

序　号	项　　目	主　要　技　术　参　数
1	输入电压	交流220(V)、50(Hz)
2	灯管功率	240±28(W)
3	工作电流	2.3±0.4(A)
4	工作电压	120±1.6(V)
5	不稳定连续时间	15min以下
6	主要辐射波长	3650(A°)
7	最大启动电流	4.5(A)

四、超声波探伤仪主要技术性能

超声波探伤仪的主要技术性能有以下几个方面：

1. 衰减器

（1）总衰减量　应不少于60 dB；

（2）衰减误差　在探伤仪规定的工作频率范围内，衰减器每12 dB的工作误差应不大于±1 dB。

2. 垂直线性误差　应不大于8%。

3. 动态范围　应不小于26 dB。

4. 水平线性误差　应不大于2%。

5. 工作频率　窄频带和宽频带探伤仪的探伤工作频率一般应为0.5～30MHz。

6. 电噪声电平　在《产品标准》中应给出电噪声电平的最大值，一般为15%。

7. 探伤灵敏度余量　在《产品标准》中至少应给出石英标准探头（2.5Q20B或5Q20B）和一个常用的窄频带直探

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

头在给定（发射强度）调节度下，探伤灵敏度余量的最小值。

探伤灵敏度余量的测试，规定应在电噪声电平不大于10%的条件下进行。

5 金属工艺学（热处理、铸造、压力加工等）初步知识

一、钢的热处理

钢和生铁都是铁和碳的合金，它们的区别在于含碳量的不同。钢的含碳量小于2%，工业用钢一般含碳量不超过1.4%。生铁的含碳量大于2%，一般在2.5～4%之间。由于含碳量的差异，显然使钢和生铁的性能不同。钢的含碳量越多，钢材的强度、硬度便越高，而塑性和韧性却随之降低。另外，通过热处理，即使是相同成分的钢材，加热同样的温度，采用不同的冷却方式，最终所得到的机械性能也会很不相同。这是因为钢铁内部的组织结构随着化学成分和热处理工艺的不同而变化，因而性能不同。

钢铁在固态下通过加热，保温和不同的冷却方式，以改变其组织结构，达到材料预定的物理、化学和机械性能要求，这样的方法称为热处理。经过热处理的零件，可使性能组织得到改善，充分发挥金属元素的作用和材料的潜力，延长机器的使用寿命和节约金属材料的消耗。

1. 钢铁热处理的三个主要过程

（1）将钢或铁由室温加热到高温（一般在临界点以上），使钢全部或部分地转变为奥氏体。

（2）从奥氏体状态温度以各种不同的方式冷却，以获得预期的组织。

（3）把冷却后的某种组织（如马氏体），再加热到临界

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

点以下，以获得回火组织（如回火索氏体）。

2. 钢的热处理工艺

（1）退火和正火　退火就是将工件加热到临界点以上的一定温度，保持一定时间，随炉一起缓慢冷却，以得到接近平衡状态组织的一种热处理方法。正火的不同之处在于，加热后将工件置于空气中冷却，其冷却速度比退火快，晶粒组织也细一些。退火和正火的作用，大致有降低硬度，提高塑性，细化晶粒，调整组织部分改善机械性能，使组织均匀化，消除部分内应力。

（2）淬火　将工件加热到高温奥氏体状态，保温一段时间，然后快速冷却，以得到马氏体组织。这种淬火热处理方法能提高工件的硬度和耐磨性。

由于工件表面的冷却速度快，容易达到马氏体组织，而中心部位冷却的速度慢，造成这部分组织不完全是马氏体，于是强度与硬度就会偏低，出现所谓“未淬透”现象。

钢材淬透性的大小，可以用淬硬层的深度来表示。与钢材淬透性有关的主要因素是：钢的含碳量与合金的成分；淬火介质的冷却能力。

（3）回火　工件经淬火后，一般需及时进行回火，因为淬火马氏体性能较脆，会产生很大的内应力。经回火后，能使淬火组织趋于稳定。获得好的综合机械性能。

回火时，原子的活动能力有所增加，过饱和的碳原子开始以某种碳化物的形态逐渐从马氏体中析出。一般有如下几种回火方式：

1）低温回火—仍保持马氏体形态，称为回火马氏体。

2）中温回火—形成一种由极细小颗粒状渗碳体分布在铁素体基体上的机械混合物，称回火屈氏体。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3）高温回火—得到弥散分布的较大颗粒的回火索氏体。这就是所谓的调质处理。回火索氏体有较高的韧性和塑性。

除此之外，还有表面热处理，如钢的表面渗碳、氮化与碳化共渗，渗铝、硼等化学元素。深冷处理和时效处理等特殊工艺。

二、铸造

金属材料在冷热加工的过程中所表现的性能，称为加工工艺性能。它包括铸造性能，压力加工性能，焊接性能，热处理性能与切削加工性能等。

材料不仅具有良好的使用性能，而且还应具有良好的工艺性能。而金属材料的性能与其成分、组织以及加工工艺之间的关系又是非常密切的。一般在设计机械零件并为之选用材料时，经常以机械性能指标作为主要依据。可是在实际情况下，加工工艺却往往成为决定某种材料能否被选用的关键因素。

金属材料的铸造工艺就是将液体金属浇入铸型中，待金属冷却凝固后，获得所需零件或毛坯的方法。铸件一般需经机械加工后才能使用。对于尺寸要求不高的零件，或某些用精密铸造方法铸造的零件，也可以不经加工直接使用。

1. 铸铁的铸造过程　铸铁按其化学成分和内部组织的不同，可以分为普通灰铸铁，球墨铸铁与可锻铸铁等很多种。由于灰铸铁（又称灰口铸铁）具有一系列优点，是使用最广泛的一种结构材料。

（1）铸铁的熔化　总的来讲，通过熔化会使铁水中的含碳量增加，硅和锰的含量下降，使化学成分发生一定的改变。因此，根据铁水化学成分的要求，可计算炉料成分与熔

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

化过程。

（2）铸铁的浇铸　要求铁水有较好的流动性。浇铸温度约为1250～1400℃左右。

（3）铸件的凝固　热胀、冷缩是多种物质的物理现象。金属从高温液态冷到室温固态，也必然发生体积的变化，多数为合金体积收缩。体积收缩的三个阶段是：合金的液态收缩、凝固收缩和固态收缩。合金的液态与凝固收缩是铸件产生缩孔和疏松的原因。而合金的固态收缩是使铸件尺寸减小，产生内应力、变形和裂纹的主要原因。

2. 钢的铸造　对于机械性能要求较高或要求具有特殊机械、物理、化学性能的重要铸件，常用钢来铸造。但铸钢的铸造性能比灰铸铁差，即流动性差，收缩性较大，产生偏析的倾向也较大。在碳钢中中碳钢的铸造性能比较好，合金钢的铸造性能就不如碳钢。因此，为获得优质的铸钢件，必须在造型材料，工件铸件设计等方面，采取一系列措施。

3. 有色金属的铸造　有色金属具有密度小，导热性高，耐腐蚀，耐磨以及其它物理、化学性能。常用的材料有铝合金，铜合金及镁合金等。

在铝合金中，铝是基本元素，含量在85%以上。由于铝是化学性能相当活泼的金属，在高温下很容易氧化和吸收气体。如形成 Al_2O_3 非金属夹杂物，降低铝合金的性能。而高温条件下所吸收的气体，在凝固与冷却过程中，以分子状态（气泡）重新析出，形成分散之孔，会严重降低铸件的气密性。因此常采用溶剂层下精炼，与合理安排浇铸系统，以克服铝合金的氧化。

铜合金的铸造性能与铸铁相比，具有熔点低，流动性好和收缩小，但极易氧化和易吸收气体。为此，常采用精细的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

型砂来造型。对于某些收缩较大容易氧化的铜合金，应使液体金属平稳地引入铸型，并安置冒口，使之顺序凝固，避免产生缩孔、冷隔和浇不足等缺陷。

4．特种铸造　为了提高铸件质量，适应大批生产的需要，还有许多与型砂铸造不同的铸造方法。

（1）金属型铸造　将液体金属浇入用金属制成的铸型中，以获得铸件的方法，这种方法适用于大批量生产，铸件表面质量好。但金属型的铸造成本高，且铸件在收缩时容易开裂。

（2）压力铸造　将液体金属在很高的压力下，高速射入用合金钢制成的模具中，冷却凝固后得到铸件的方法称为压力铸造。此种铸件的尺寸较其它铸造方法的准确，而表面粗糙度较低，且铸件通常不再需要进行机械加工。但由于高压的液体金属易冲坏铸型，所以必须采用合金工具钢制造模具。因此成本较高。

（3）离心铸造　将液体金属浇入旋转着的铸型，金属液体在离心力的作用下充填铸型，并冷却凝固后所得铸件的方法。由于离心力的作用，使金属中熔渣与气体等均集中于内表面，因而结晶呈方向性，细密无缩孔、气孔等缺陷，铸件的机械性能好。适用于铸造空心旋转体的铸件。

三、金属的压力加工

金属的压力加工是在外力作用下，使金属坯料产生塑性变形，从而获得具有一定形状、尺寸和机械性能的原材料，毛坯或零件的方法。

钢和大多数有色金属及其合金都有不同程度的塑性，均可进行压力加工。压力加工时主要类型有轧制、挤压、拉丝、自由锻造、模型锻造和板材冲压等。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

1. 金属的塑性变形　金属的塑性变形是，由于外力在金属内所形成的应力超过了一定的限度，使组成金属的晶粒本身与晶粒之间产生了滑移或晶粒的部分晶格产生扭曲的结果。

金属在不同温度下变形后的组织和性能不同，因此金属的塑性变形可分为冷变形和热变形，凡在再结晶温度以下的变形称为冷变形。金属在冷变形时只有加工硬化而再结晶现象，因此，金属抗拉强度增大，塑性降低、若继续变形，金属就会裂。热变形则是在再结晶温度以上的变形，在热变形过程中的硬化现象，随时被再结晶所消除，因而金属的塑性良好，变形抗力低，而且能获得具有高机械性能的再结晶组织。因此金属压力加工主要采用热变形方式。

压力加工所用的原始坯料是铸件，这些铸造件再经过热变形后获得了细化的再结晶组织，同时铸锭中的气孔，缩松等都被压合，金属的组织更加紧密。此外，金属在变形时晶粒沿变形方向拉长，而分布晶界上的杂质也随着一起被拉长。但晶粒由于再结晶能恢复到正常形态而杂质却依然呈条状被保留下来，形成了纤维组织。所以热变形后金属的机械性能大大地提高，强度比原来提高了1.5～2倍，而塑性和韧性提高得更多。

2. 金属的热加工　对金属的加热要求是，使坯料在均匀热透的情况下，以最短时间获得加工所需要的温度，同时保持金属性能的完整性，并使金属与燃料的消耗在最小范围内。

钢在加热时会出现的现象是：

（1）金属性能的变化　低碳钢加热时随着温度的逐步升高，由于原子吸收了大量的热能，使它处于一种极为活泼

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的状态，因而变形抗力降低。同时当金属达到一定温度时，组织会发生变化，使塑性增高。

（2）氧化及脱碳　加热的金属表面极易与氧化合生成氧化铁皮，而且还会发生碳的氧化——脱碳。

（3）过热与过烧　碳素钢加热，当超过一定温度时晶粒急剧长大，这种现象称为过热。过热降低了钢的机械性能。由于长时间在过高的炉温内加热，炉气中的氧气会渗入金属的内部组织中，在晶界上产生氧化层，从而破坏了晶粒间的结合，造成锻压破裂，称之为过烧。

3. 热应力与组织应力　金属材料在加热过程中，由于其内外存在着温度差，从而所形成的内应力称热应力。同时由于温差的产生，会使材料内外组织的转变先后不一，也就形成了应力，这种应力称组织应力。

碳素钢的始锻温度不宜过高，过高会造成过热和过烧现象。但也不能过低，否则会使锻造的温度范围减小，并使金属的变形抗力增大，一般始锻温度以1050～1200℃为宜。终锻温度不能过低，过低时会降低金属的可锻性，增加了加工的难度。若过高，加工终止后，晶粒会继续长大而形成大结晶组织，降低了金属的机械性能。一般碳素钢的终锻温度约为800℃。

4. 压力加工的方式

（1）轧制　金属铸锭除少数用于锻造外，绝大部分均经过轧制加工的方法制成各种类型的原材料。轧制主要用于型钢、钢板和钢管的加工，同时也可用于直接制造某些机器零件的成品。

（2）挤压　以强大的压力作用于放在模腔中的金属，使其变形而获得所需形状的型材，如管材或零件。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（3）拉丝　将经过轧制或挤压的材料或管子拉过比坯料截面略小的模孔，使坯料的横截面减小而长度增加的一种变形过程。

（4）自由锻造　利用冲击力或静压力使金属坯料在上、下两个砧块之间变形，以获得所需形状的锻件。金属受力后在上、下两砧水平面间作自由流动，所以称为自由锻造。

自由锻造有手工锻造和机器锻造两种。机器锻造是自由锻造的基本方法。

（5）模型锻造　把金属坯料放在锻模槽内加压力使其变形的一种锻造方法。模锻与自由锻相比，生产率高，锻件尺寸精度高、表面粗糙度低，可以锻出自由锻难于锻造的形状，并能节约金属材料。

（6）板材冲压　利用冲模对板料加压，使板材分离或变形，从而获得零件的一种加工方法。板材冲压用的原材料，必须具有足够的塑性。常用的金属材料有低碳钢、高塑性的合金钢、铜、铝、镁及其合金等。非金属板材如石棉板，硬橡皮，绝缘纸，纤维板等。

6　探伤中自用用具（或材料）和药液的作用和原理

一、黑度计的作用和原理

黑度计（又称密度计）是用于测定X射线探伤摄相底片黑度的。底片黑度的大小会直接影响到被观测材料缺陷的效果。

将被测底片放置在观片灯上，使被测黑度部分对准黑度透光孔的下方，通过透光孔进入的光信号，由光敏元件转变为电信号，此电信号经由线性集成电路构成的放大器进行线性放大，在微安表上读取黑度值。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

使用时，首先将黑度计放在观片灯的主观察窗中，开启电源开关，此时微安表即有指示，然后按其光源亮度将微安表调至零。再将被测底片放在黑度计测光管的下方，待指针的指向稳定后，即可读出黑度值。

二、线性透度计的作用和原理

透度计是在X射线探伤中用来验测摄相像质的。使用透度计只能评定摄相像质的优劣，并不能评定缺陷的大小。

线性透度计是用不同的金属丝，压在塑料薄膜中制成的。在X射线探伤中以能看得见的金属丝的最小直径与工件总厚度之比，测定摄相灵敏度的。其探伤灵敏度的表示式如下，

$$K = \frac{a}{S} \times 100\%$$

式中　K——探伤灵敏度；

a——金属丝的最小直径（mm）；

S——透照部位厚度（mm）。

三、显影液的作用和原理

显影是一个较为复杂的化学反应过程，它的基本要点是利用显影液中的还原剂（显影剂）把X射线胶片中经过射线感光后的溴化银所形成的潜影还原成可见图像。

显影从化学概念出发就是还原过程。X射线胶片中的溴化银晶体的溶解度甚小，但还有少量的溴化银溶于水中，其溶解的部分在水中形成银离子和溴离子。银离子通过显影液中的还原剂被还原成金属银，还原剂本身则被氧化，金属银就在胶片上沉淀而变成可见图像。

显影时还原剂对乳化剂的作用是由表及里逐渐渗透的，对每颗溴化银晶体的作用是由感光中心逐渐向外扩大，感光多的地方显影就快，形成的照相黑度也高；感光少的地方则

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

反之。未经感光的溴化银在一定时间内不与还原剂发生化学反应，但超过一定的时间也会产生反应，形成射线照相的本底灰雾度。

四、定影液的作用和原理

定影主要是溶去未感光的溴化银微粒，使X射线胶片失去感光性能。即使以后再受到任何射线或光线的照射，也不会再产生感光，使照相上的图像固定下来。

定影的过程分两个阶段，第一阶段中硫代硫酸钠与溴化银起化学反应，形成不溶于水的硫代硫酸银钠，即：

$$AgBr + Na_2S_2O_3 = NaAgS_2O_3 + NaBr$$

第二阶段不溶于水的硫代硫酸银钠继续与硫代硫酸钠起化学反应，形成可溶于水的硫代硫酸三银钠，这样就可以把未感光的溴化银从乳剂层溶去，使射线照相图相固定下来。第二阶段的化学反应式如下：

$$3NaAgS_2O_3 + Na_2S_2O_3 = Na_5Ag_3(S_2O_3)_4$$

7 探伤中自用用具（或材料）和药液的质量鉴别方法

一、磁粉性能的检查

磁粉的性能主要包括以下这几方面内容，即颜色及荧光辉度（荧光磁粉）、粒度、磁性和在缺陷上显现的清晰度。

一般干法用的磁粉，由于回收困难，基本不考虑其劣化问题。但湿法用的磁粉由于保管或使用不当，会造成大量的吸潮，产生凝聚使其分散性严重恶化。所以对磁粉的性能必须进行检查，方法如下：

1. 磁粉的粒度检查　新购入的磁粉应进行粒度检查。方法有筛分法、显微镜观察法和酒精沉淀法。

（1）筛分法　磁粒在325/150号筛上所留的数量不超

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

过15%者视为合格。取样数量为15～20 g。

（2）显微镜观察法　在玻璃片上滴一点变压器油，再用大头针拨上少量磁粉，仔细搅拌后，在放大100～150倍显微镜下进行观察，借显微镜刻度尺读出颗粒的尺寸。读取时应读取最大值与最小值后取其平均值。

（3）酒精沉淀法　此法为检验磁粉粒度最常用的方法。具体作法如下：取一个化验用的玻璃管（长400mm、直径10±1mm）放在化验用的滴定架上，在玻璃管的零和300 mm 的刻度处作为标记。

1）用工业天平称出3 g磁粉；

2）将玻璃管下端用皮塞塞住，往管内注入酒精（至玻璃管一半高）；

3）将秤得的磁粉倒入酒精中，用力搅拌。

4）再将酒精倒入在玻璃管的300 mm 记号处。堵上管口，反复摇晃数次，然后放于滴定架上。

5）静止3 min后观察液柱中黑色部分的高度，并读数。

6）将以上几步的操作重复进行3次取平均值。高度超180 mm 者为合格。

2. 磁粉磁性的检查　此种检查是用磁性秤进行。磁性秤的结构如图2.1-9所

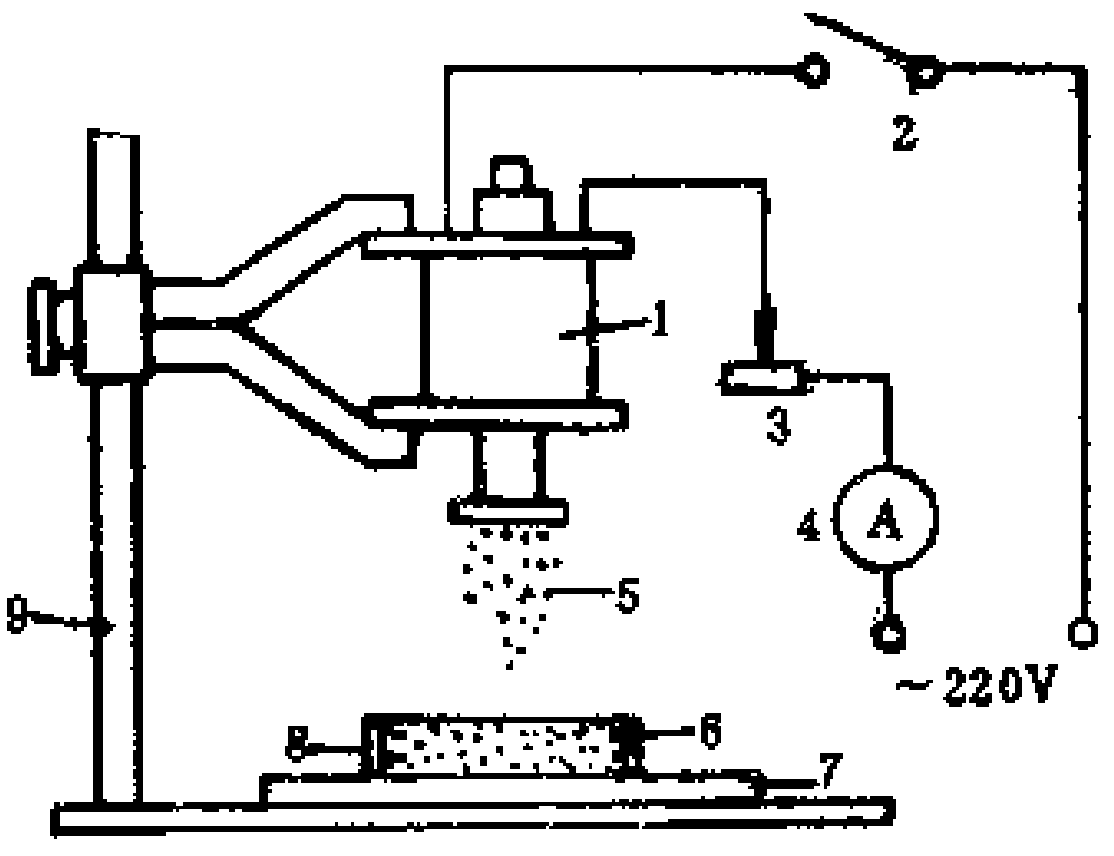


图2.1-9　磁性秤的结构图

1—电磁铁　2—开关　3—变阻器　4—电流表　5—被吸磁粉　6—磁粉　7—磁粉用板　8—圆环　9—支架

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

示。测定方法如下：

（1）在木板上铺一张纸，纸上放一内径70 mm，高10 mm 的铜环或铝环。

（2）将磁粉松散的撒入圈中，使其平齐，然后用平尺刮去多余的磁粉。

（3）将电磁铁通电，用变阻器把电流调整到1.3A，然后断电。

（4）将装满磁粉的圈从下面移向电磁铁的铜盘，使圈与铜盘接触。然后接通电流，使圈与铜盘接触保持5 min。

（5）将圈移开，在铜盘上吸附住一些磁粉。稳定1 min。

（6）断电，铜盘上吸附的磁粉落在新纸上，称出磁粉的重量。

将以上几个步骤重复进行3次，取3次称量的平均值，重量不低于7 g 为合格。

3. 磁粉的外观检查　主要检查磁粉的色调与荧光磁粉的荧光辉度。检查方法可用肉眼观察。将使用中的磁悬液滴一点在化验用的滤纸上，进行观察。若为荧光磁粉要在紫外线照射灯下观察其荧光辉度并与新磁粉对比，若不合格应予报废。

二、磁悬液性能的检查

湿法用的磁悬液随着使用时间的增长，其性能将劣化，劣化的过程随装置的规模而不同。大型磁化装置，由于种种原因，其劣化程度要厉害一些，故在管理工作中需检查的项目要多些，反之小型装置要少些。

作为检查项目有磁悬液浓度检查、外观检查和综合性能检查。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

1. 磁悬液的浓度检查　在下列三种情况下要进行磁悬液的浓度检查，即日常检查、使用新磁悬液和认为有必要的检查时。

检查方法为：

（1）启动油泵电动机搅拌 30 min。

（2）取 100mL 的磁悬液放入沉淀管中，如图 2.1-10 所示。静止 30 min。

（3）读出沉淀管中沉淀的体积，并应符合下列要求：

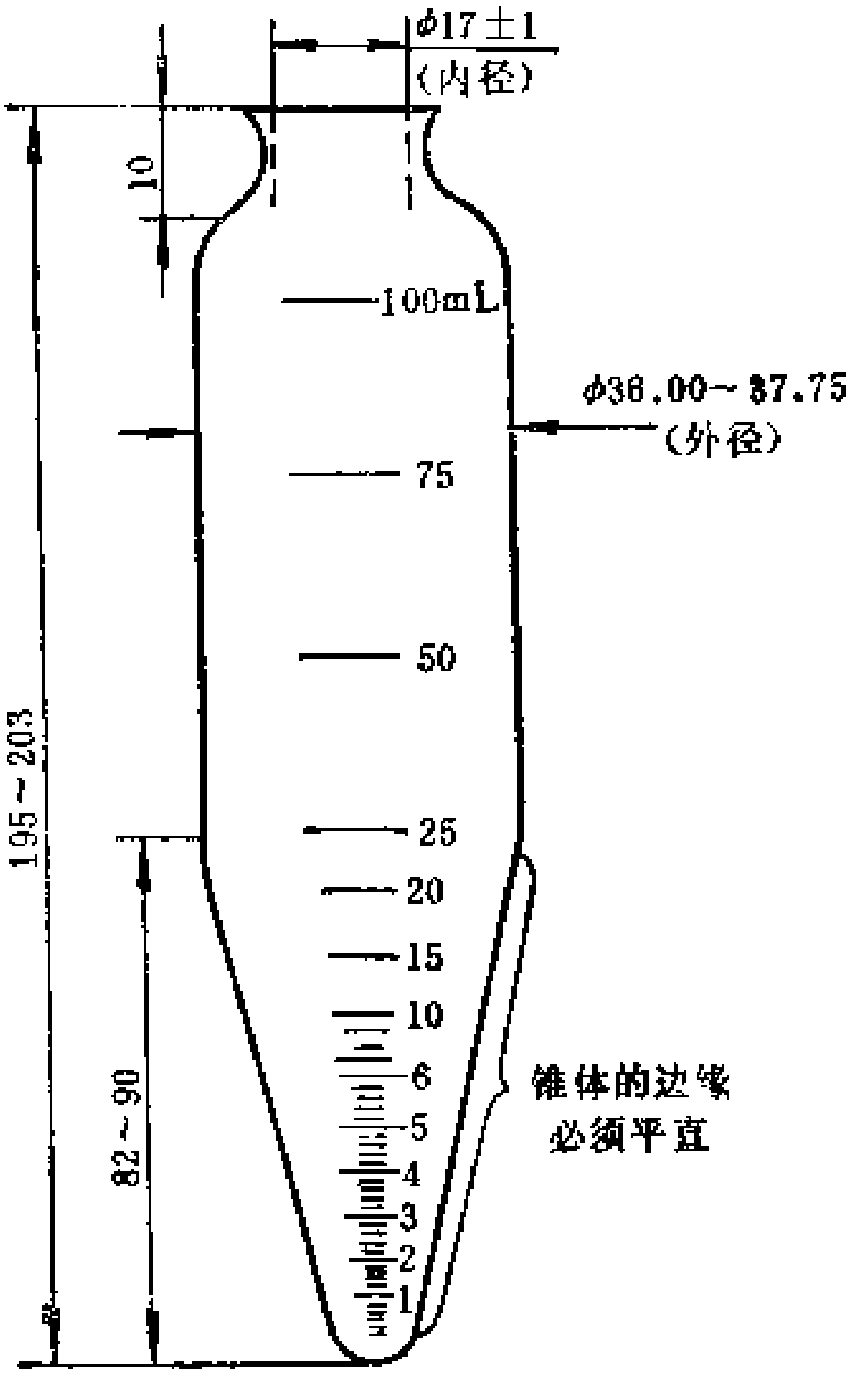


图2.1-10　沉淀管

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

磁悬液种类	每 100mL 沉淀容积
荧光磁粉	0.2～0.5mL
黑色磁粉	2.0～4.0 mL

（4）若不符合上述要求，需进行处理。过低时要加磁粉，过高时要加悬浮液，使之符合标准。

2. 磁悬液的外观检查　为了解磁悬液中，着色剂和荧光剂的剥离程度与色彩及荧光辉度，以及杂质混入后的污染程度，应对磁悬液的外观进行检查。检查方法是把磁悬液在日光或紫外线下观察，当难于判断时，应与新磁悬液进行观察比较。

3. 综合性能检查　这种检查是为了检验磁悬液中磁粉形成磁痕的能力。检查的方法是以装置的综合检查为准，用标准试片进行综合性能的校验。当发现显示性能有所降低时，应予以报废或更换。

三、荧光渗透剂亮度的比较测定

1. 粗略的测定方法　用两个玻璃管，一个装入标准渗透剂，另一个装入在使用的渗透剂，密封放置 4h 以上，在黑光灯下比较荧光亮度，并观察渗透剂有无分层，沉淀现象。

2. 黑光照度计的测量方法

（1）用两张干净的滤纸，分别浸湿在使用中的渗透剂和标准渗透剂的溶液中，然后烘干，在黑光灯下比较，如二者发光强度无明显差别，则说明使用中的渗透剂发光强度合格。若有明显差别，应再作进一步的比较试验。

（2）用二氯甲烷分别将使用中的渗透剂和标准渗透剂稀释到10%的浓度。

（3）将两张 80×80 mm 的滤纸，分别在以上两种稀释液中浸湿，并在85℃以下的烘干装置中烘干。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（4）将黑光照度计置于黑光灯下，移动照度计得最大值，再调节黑光灯高度使照度计读数达 250lx 为止。

（5）取出黑光照度计中的荧光板，换上浸过渗透的滤纸，分别记下两张滤纸的读数。

（6）二者读数之差除以浸渍过标准荧光液的滤纸的读数的百分数应不大于25%，否则渗透剂应更换。

四、黑光灯强度的校验

黑光灯强度用黑光强度检测仪或黑光照度计测量，测量方法如下：

开启黑光灯 20 min 后，将黑光强度检测仪置于黑光灯下，调节检测仪过滤片到灯泡的距离为 380 mm，读出检测仪上的读数。一般规定其读数值应大于 1000μW/cm²。

用同样方法，可用黑光照度计测量。如我国航标规定照度计与灯泡相距 460 mm 时，其读数应不低于 70 lx。

实际使用黑光灯时，要测量黑光辐照的有效区，其测量方法如下：

1. 将黑光灯置于平时检验时的高度位置，开启灯预热 20min；

2. 将黑光强度检测仪置于黑光灯下，作水平移动，当检测仪读数达最大位置时为止；

3. 在工作台上将读数最大点的位置画出互相垂直的两条直线，见图 2.1-11 所示。

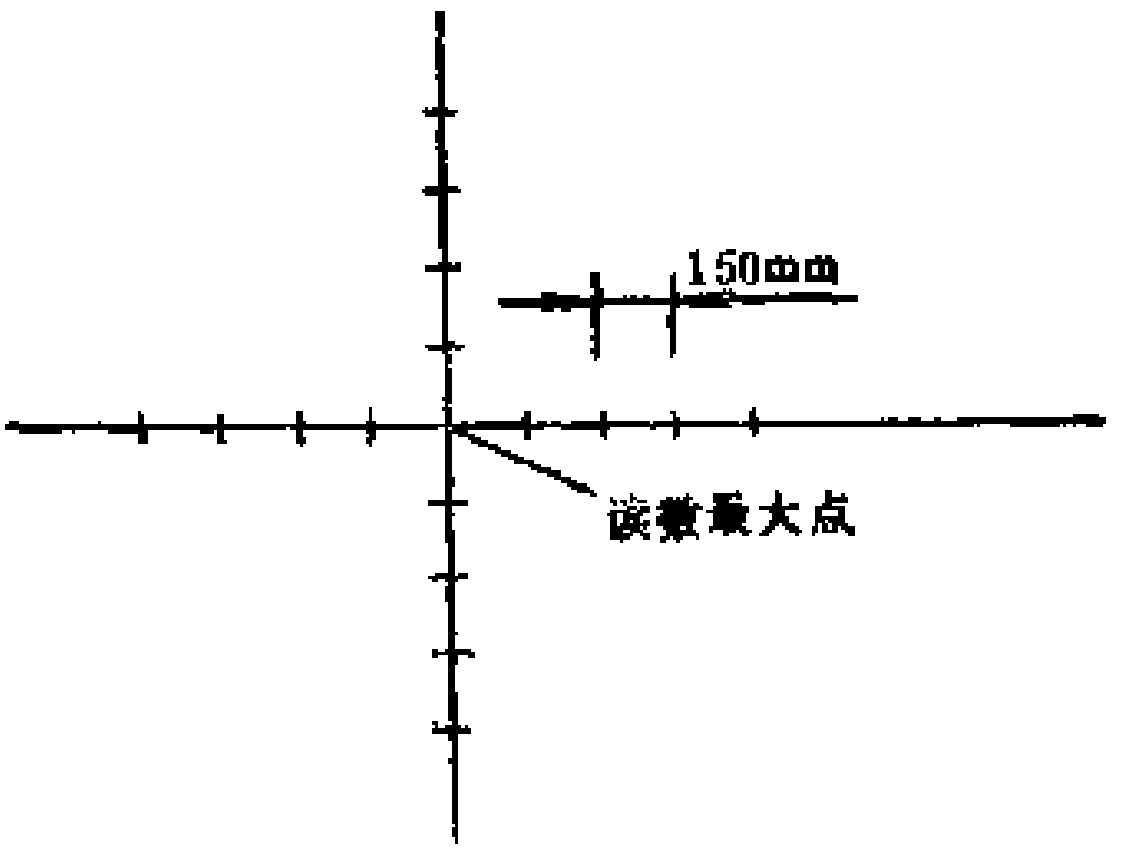


图2.1-11　黑光灯辐照有效区的测量

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

4. 再将黑光强度检测仪置于交点处，沿待条直线按150 mm的间隔点依次检测，并记下读数，直到测得读数为 1000 μW/cm² 的读数点为止。记下这些点，将这些点连接成圆形，这个圆内区域就是黑光灯辐照的有效区。零件检验应在该有效区范围内进行。

8 超声波探伤的物理基础、探伤方法，缺陷定位、定量的计算

一、超声波探伤物理基础和探伤方法

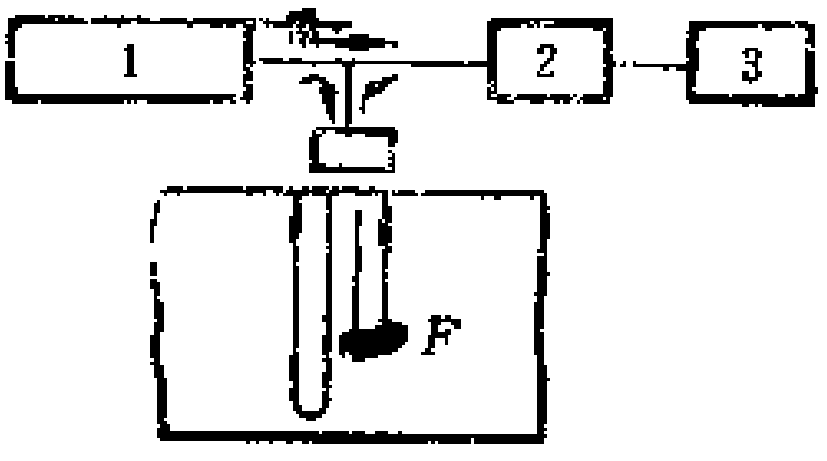
把高频声波(通常为 1~5MHz)，即超声波脉冲从探头射入被检物，若其内部有缺陷则一部分入射的超声波在缺陷处被反射，利用探头能接收信号的性能，可以不必损坏被检物而检出缺陷的部位及其大小。这种方法叫超声波探伤。

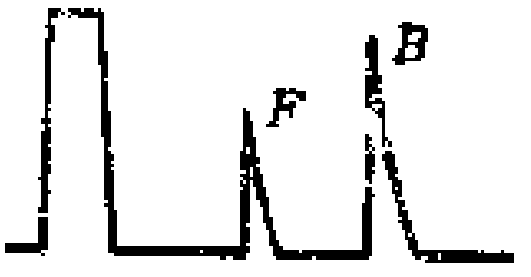
超声波探伤中有各种探伤方法和方式，若按原理分类，大致可分为脉冲反射法、穿透法及共振法。下面介绍这三种方法。

1. 脉冲反射法 超声波以持续时间为 0.5~5μs 这样极短的脉冲在被检工件中传播，当遇到缺陷和底面就会产生反射，被探头接收，用这种方法就可检出被检工件中有无缺陷以及缺陷的大小和位置。在超声波探伤中一般是使用这种方法。此法是把探头通过油等耦合物质与被检工件接触，使用直探头时，发射的是纵波，用斜探头时主要是横波等。

图 2.1-12 所示的是垂直探伤时的原理。探伤时把脉冲振荡器发射的电压加到探头的晶片上，使之振荡后产生超声波，以一定的速度在工件内传播，当遇到缺陷和底面时便产生反射，被探头接收，通过高频放大、检波、视频放大后在荧光屏上显示出来。荧光屏的横坐标表示距离，纵坐标代表

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com





F、缺陷、B、底面反射波

图2.1-12　A型脉冲反射法

1—脉冲振荡器　2—高频放大、检波、视频放大　3—荧光屏　F—缺陷波

反射波声压强度，从图中可以看出缺陷波（F）比底面反射波（B）先返回探头，这样就可以根据反射波的有、无、强或弱等情况，以及反射波与发射波脉冲之间的时间间隔，就能知道缺陷的存在与否及其位置、大小等。

2. 穿透法　穿透法是根据脉冲波或连续波穿透工件之后能量的变化来判断有无缺陷的一种方法。该法是利用两个探头，一个作发射（A）用，一个作接收（B）用，并分别放置在被检工件的两侧，如图 2.1-13 所示。高频振荡器与发射探头 A 连接，当探头 A 发射超声波时，若工件中没有缺陷，则声波经过工件被探头 B 接收，通过放大器将接收信号放大，在指示器上显示出来。若使用连续探伤时，当工件无缺陷时，接收能量大，则电流表读数大，若缺陷很大时由于缺陷的阻挡，

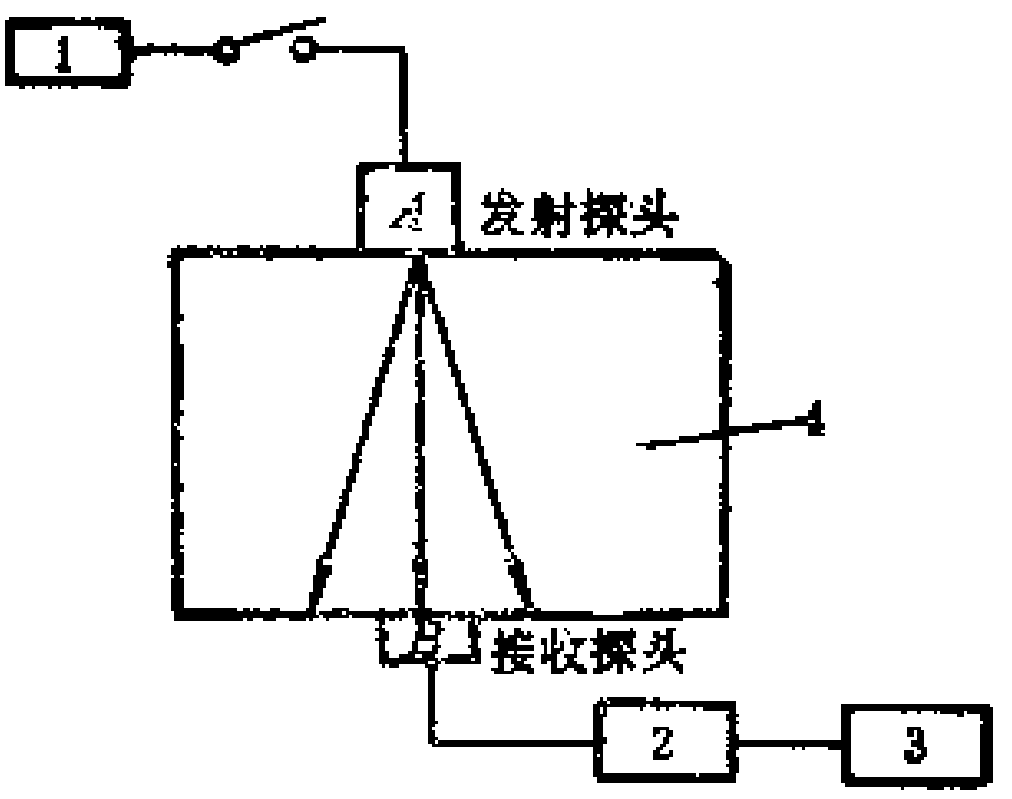


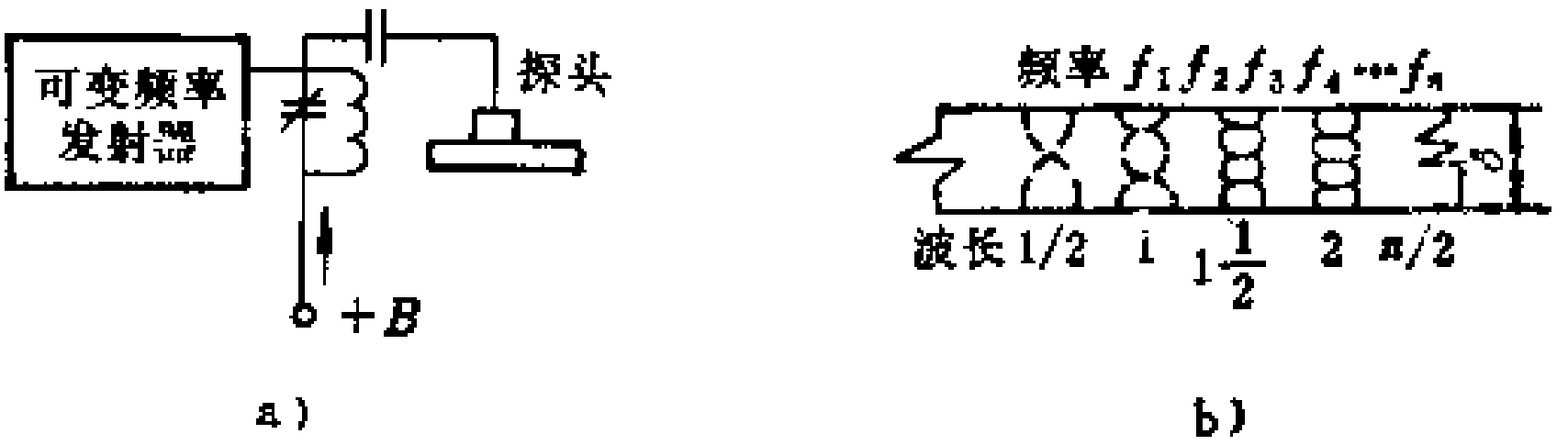
图2.1-13　穿透法

1—高频振荡器　2—放大器　3—指示器
4—工件

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

探头 B 接收不到探头 A 发射的声波，故指示器——电流表指示为零。而使用脉冲穿透法时，也是如此。当缺陷很大时，在荧光屏上无接收信号；当工件无缺陷时，由于接收能量大，所以荧光屏上能显示出较高接收信号；而缺陷较小时，则有一定的接收信号。穿透法就是利用这个原理来发现缺陷的。

3. 共振法　当两个频率相同的相干波，在同一直线上沿相反方向传播而产生的干涉现象即称为驻波。共振法就是利用驻波这个特性来测定工件厚度或者确定缺陷有无的一种方法。如图 2.1-14 所示。



a)　　b)

图2.1-14　共振法测厚计示意图

若声波（频率可调的连续波）在工件内传播，当被检物体的厚度（δ）为超声波波长（λ）的一半或成为倍数时（即 $\delta = \frac{\lambda}{2}$ 或 $\frac{1}{2}n\lambda$，$n = 2、3$ ……的整数倍），由于入射波和反射波的相位相同，则引起共振，因而仪器可显示出共振频率点，而共振点频率波长可代表被检物体工件的厚度。计算公式如下：

$$f_0 = \frac{C}{\lambda} \qquad (2.1\text{-}1)$$

$$\delta = \frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2f_0} \qquad (2.1\text{-}2)$$

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

为避免计算的误差，在一般情况下用相邻的两个共振频率之差来算出共振基频及工件厚度，即式 2.1-3。

$$\delta = \frac{C}{2(f_n - f_{n-1})} \qquad (2.1\text{-}3)$$

式中 f_0——共振频率；

δ——工件厚度；

C——被检工件的声速；

λ——测试频率的波长；

f_n——第 n 点的共振频率。

4. 脉冲反射、穿透、共振三种方法的比较。

（1）脉冲反射法

1）该法能检查出尺寸大于二分之一波长的缺陷。因此这种方法灵敏度较高。

2）能较准确地知道缺陷的位置和缺陷大小。

3）可以探出远达 1 m 以上的缺陷。

4）对探测太薄的工件或靠近表面的缺陷有一定的盲区。

5）使用方便，可在一个探测面上进行探伤。

（2）穿透法

1）该法的灵敏度比脉冲法低。

2）不能对缺陷定位。

3）可避免盲区，适用于薄板的探伤。

4）便于使用指示器或记录仪，适用于自动探伤。

5）设备简单，检查速度快。

6）对两个探头的相对位置要求高。

（3）共振法

1）可以精确地测定工件厚度，特别适用于测量薄件。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

2）不适用于厚度在100mm以上的工件。

3）灵敏度比穿透法高，但比脉冲反射法低。

4）要求能细化工件表面的粗糙度，否则难以达到探伤目的。

通过对上述三种方法的比较，可知道这些方法的各自特点，目前常用在超声波探伤中的是脉冲反射法，而穿透法常用于板类夹层和非金属材料的检查，如橡胶、塑料之类，至于共振法常用于测厚，如测定容器的壁厚及腐蚀情况。

二、超声波探伤缺陷定位

1. 直探头探测时缺陷的定位　脉冲反射式超声波探伤仪示波屏上的时基线和探头的激励脉冲是同时触发的。也就是说，当探头被激励而向工件发射超声波时，激励脉冲也被馈至接收电路，而时基线路也同时开始扫描。因此，在时基线路的始端出现一个很强的脉冲波，这个脉冲波俗称“始波”、“始脉冲”或“发射波”，“发射脉冲”，用符号“*T*”来表示。当探头接收到由工件底面反射回来的声波时，时基线右边相应处出现一个表示工件底面反射的脉冲波，此波称为“底波”，用符号“*B*”表示。时基线从“*T*”扫描到“*B*”之间的距离代表了工件的厚度。如果工件中有缺陷，当探头接收到由缺陷反射回来的声波时，在时基线的相应处会出现一个代表缺陷的脉冲波，此波称为“缺陷波”或“伤波”，用符号“*F*”表示。从“*T*”扫描到“*F*”所需要的时间正好等于超声波从探头到缺陷而又从缺陷返回探头的传播时间。显然，缺陷波所经时间短于底波所经时间。因此缺陷波“*F*”位于“*T*”波与“*B*”波之间。如果探伤仪时基线性很好，就可利用“*T*”、“*F*”和“*B*”波之间的距离关系对缺陷定位。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（1）仪器时基线的调整

1）利用工件底面反射进行调整　如果被探工件有两个已知厚度值时，就可直接利用其两个已知厚度值来调整仪器的时基线。

例如被探工件是一根实心轴，已知有直径为320mm及120mm的两个轴段。仪器时基线调整时，可将直探头分别置于两段轴上，如图2.1-15所示。

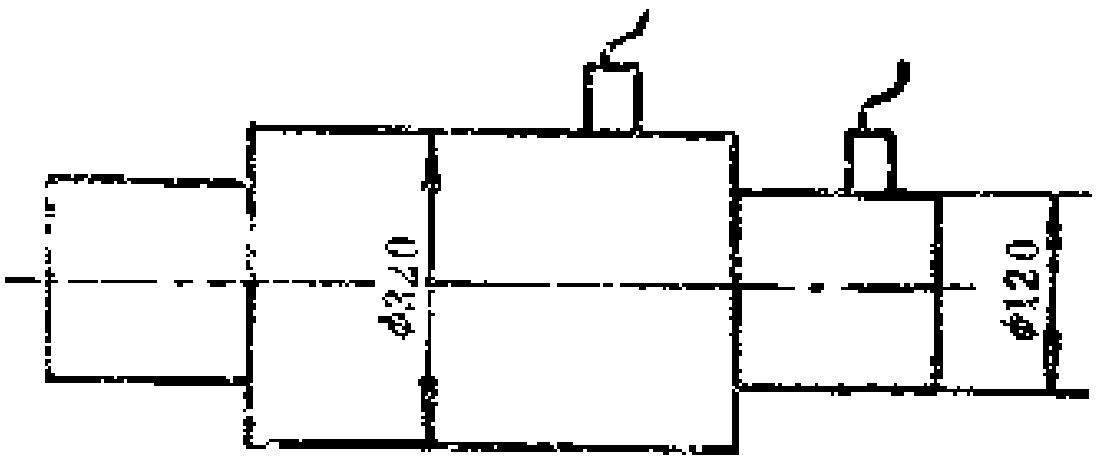


图2.1-15　轴探测时仪器时基线的调整

反复调节仪器的“深度微调”及“水平”旋钮，使φ320mm及φ120mm两轴段的底波前沿分别位于示波屏水平刻度线的“8”和“3”上，这样仪器示波屏水平线每毫米刻度就代表了钢中距离（或声程）4mm，仪器的时基线即可按1:4的比例调整好了。

实际探测时，如果发现“缺陷波”位于示波屏水平刻度线的“6”处，则此缺陷的埋藏深度为240mm。

2）利用试棒或试块进行调整　当被探工件上只有一个已知厚度值时，若单用“始波”及工件底面回波来调节仪器时基线，由于调节的精度差，因此一般不使用。此时，仪器时基线的调节常在校验试棒或试块上进行。

直探头探测时，仪器时基线的调整可在两根不同探测声程的平底孔试棒上进行。

例如被探工件是用厚度为200mm的φ2平底孔试棒来调整仪器的时基线。调整时可分别将探头置于两根试棒上，调节仪器“增益”，使两试棒上φ2平底孔反射回波能在仪器示

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

波屏上清晰显示，然后反复将探头置于两根试棒上，并调节仪器的“深度微调”及“水平”旋钮，使深100及200mm ϕ2平底孔反射回波的前沿分别位于示波屏水平刻度线的“5”与“10”上，这样示波屏水平线的每毫米的刻度线就代表了钢中距离（或声程）2mm。此时，仪器时基线即按1:2的比例调整好。

由于平底孔试棒加工困难，且对仪器时基线的调整亦不方便，为此，可采用SG-Ⅳ简易试块（图2.1-16）进行仪器时基线的调整，（试块材质与被探工件相同）。

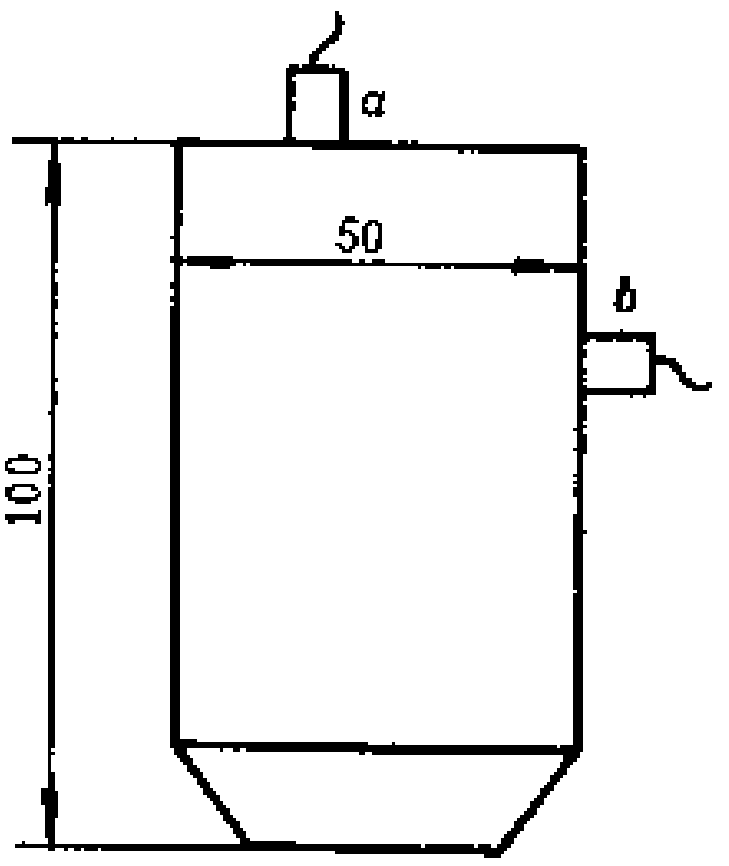


图2.1-16 SG-Ⅳ试块

调整时，可根据被探工件的厚度，利用厚度50mm及100mm的底面来调整。例如同样探测上述厚200mm的管板，可将探头置于SG-Ⅳ试块的a处，提高仪器“增益”，使100mm底面的第一、第二次反射回波在示波屏上清晰显示。探头不动，调节仪器的“深度微调”及“水平”旋钮，使试块100mm的第一、第二次底波的前沿分别位于示波屏水平刻度线的“5”与“10”处，这样示波屏水平线的每毫米的刻度线代表钢中距离或“声程”2mm，仪器的时基线可按1:2的比例调整好了。

探测时，若发现缺陷波位于示被屏水平刻度的“6”处，则表示此缺陷的埋藏深度为120mm。

（2）缺陷的定位 仪器的时基线按上述方法调整好后，缺陷的埋藏深度即可根据缺陷波所处水平刻度线上的位

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

置直接按比例求得。若探头的声束方向不偏（即声束中心与探头几何中心一致），则缺陷就位于探头中心沿深度方向的延长线上。

2. 斜探头探测时缺陷定位　如图 2.1-17 所示，斜探头探测时，声束轴线与探测面法线的夹角称为折射角（横波），声束由上面（入射点 0）倾斜入射到工件下表面所对应探测面上的投影距离称为 0.5 跨距，记为 $0.5s'$；声束又从工件下表面反射到上表面，此时的整个投影距离称为 1 个距离，记为 $1s'$；依次类推有 $1.5s'$，$2s'$ 等等。当声波在 0 ～$0.5s'$ 范围内探测时，习惯上称为一次被探测；在 0.5～$1s'$ 范围内探测时，称为二次被探测，依次类推有三次被探测及四次被探测。

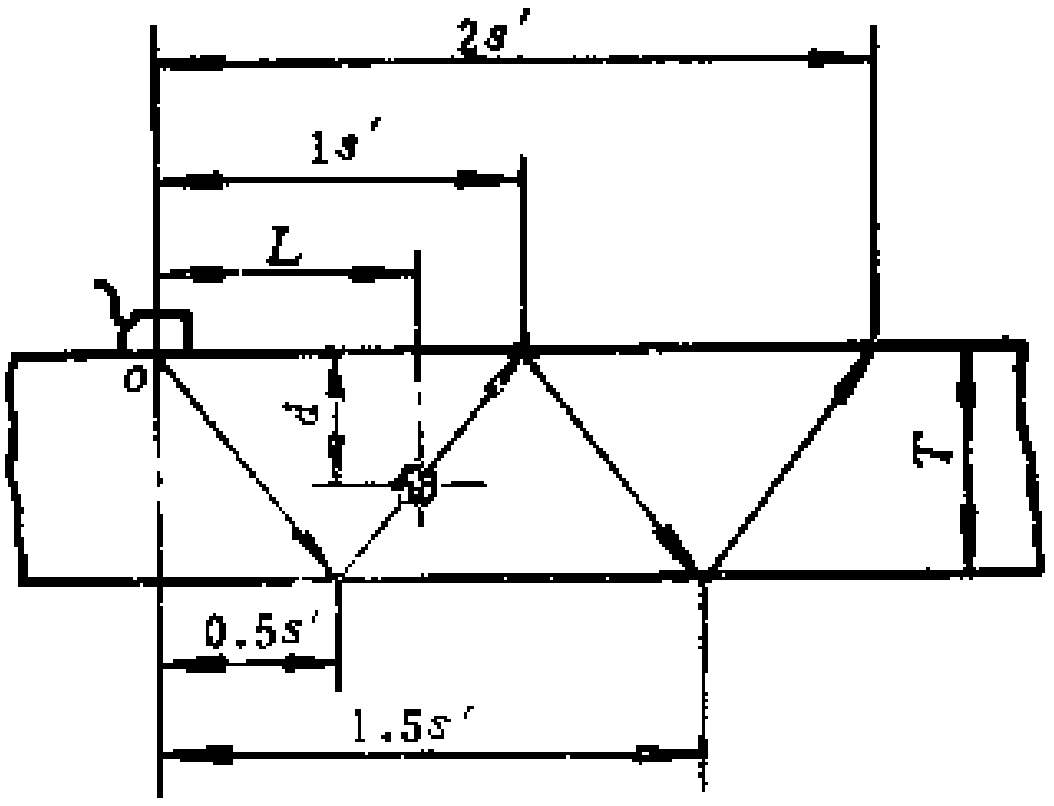


图 2.1-17　斜探头探测时的缺陷定位

缺陷从探测面上的投影点到探头声束入射点之间的水平距离“L”称为“探头距离”。缺陷至探头测面的垂直距离“d”称为缺陷深度。缺陷的位置即由这两个参数确定。

斜探头探测时，即水平定位法、深度定位法及声程定位法。这里只介绍两种常用的缺陷定位方法即水平定位法和深度定位法。薄板对接焊缝的超声波探伤一般采用水平定位法，中厚板对接焊缝的超声波探伤常采用深度定位法。

（1）水平定位法　以“探头距离”并按一定比例来调整仪器时基线的方法，称为水平定位法。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

1）仪器时基线的调整　此时，一般采用长横孔试块，在采用长横孔试块调整仪器时基线之前，探头的前沿长度和声束入射点已测知。调整时，将探头置于长横孔试块上（图2.1-18）作前后移动，先用一次波测出横孔的最大反射回波，探头不动，量出探头前沿至试块端面的水平距离 a_1，再后移探头，用两次波测出同一横孔的最大反射回波。同样探头不动，量出探头前沿至试块端面的水平距离 a_2。在上述测定的同时反复调节仪器的“深度微调”和“水平”旋钮，使横孔的一次最大反射回波 F_1 和二次波 F_2 的前沿分别位于示波屏水平刻线的 a_1-20+l_0 及 a_2-20+l_0 处，这样仪器的时基线已按水平定位并以 1:1 的比例调整好了。见图 2.1-18 的波形图。

采用横孔试块调整仪器时基线时，若横孔的孔径较大且

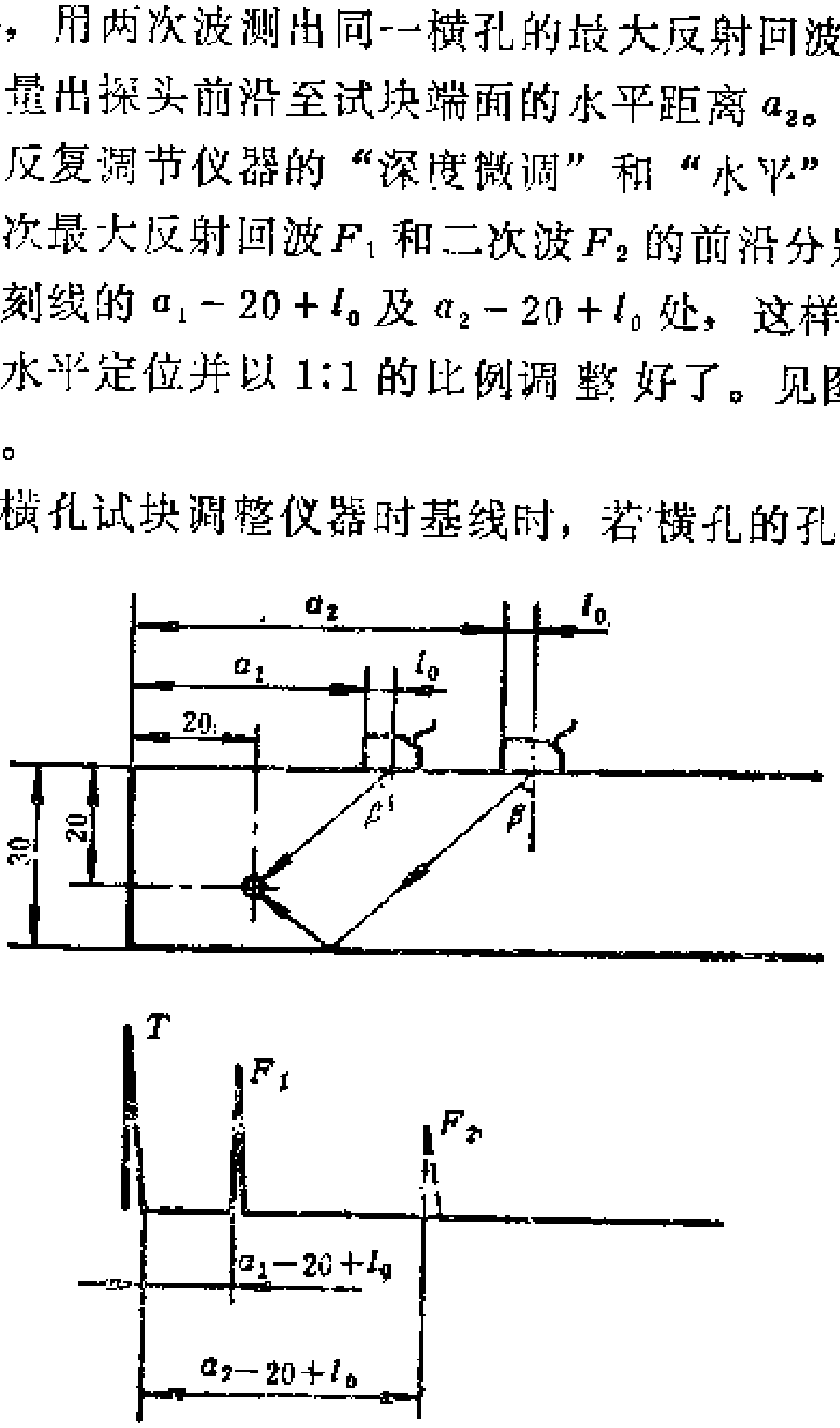


图2.1-18　长横孔试块法

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

时基线需作精度调节时，则用一次波探出的横孔反射回波F_1应调在示波屏水平刻线的$(a_1-20+l_0)-R\sin\beta$处。同理，F_2波应调在示波屏水平刻线的$(a_2-20+l_0)-R\sin\beta$处（其中R为横孔的半径，β为横波折射角）。

2）缺陷的定位　按上述方法将仪器的时基线调好后，就可根据缺陷所处示波屏水平刻线的位置，直接读出“探头距离”，而缺陷的深度位置可根据“探头距离”（L），用式（2.1-4）、（2.1-5）求得。

一次波探测时：

$$d_1 = L_1 / \mathrm{tg}\beta = L_1 / K \qquad (2.1\text{-}4)$$

式中　d_1——一次探测时，缺陷距探测面深度；

L_1——一次探测时的探头距离（直接从示波屏水平刻度线上读得）。

二次波探测时：

$$d_2 = 2t - \frac{L_2}{\mathrm{tg}\beta} = 2t - \frac{L_2}{K} \qquad (2.1\text{-}5)$$

式中　d_2——二次波探测时，缺陷距离探测面的深度；

L_2——二次波探测时的探头距离（直接从示波屏水平刻度线上读得）；

t——工件厚度。

当d_1（或d_2）及L_1（或L_2）为已知时，缺陷的位置也就确定了。

（2）深度定位法　以人工反射体离探测面的深度，并按一定比例来调整仪器时基线的方法称为深度定位法。深度定位法中常用的为横孔试块法。

在用横孔试块对仪器时基线按深度定位法进行调整前，试块中两横孔距探测面的深度d_1、d_2及探头K值均为已知

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

值。

仪器时基线调整时，按图 2.1-19 所示的位置将探头置于横孔试块上，前后移动探头，用一次波测出两横孔的最大反射回波F_1、F_2，反复调节仪器的“深度微调”及“水平”旋钮，分别将F_1、F_2的回波前沿调至示波屏水平刻度线的d_1、d_2处，这样仪器的时基线即用横孔试块按深度定位法1:1 调整好。此时，发射脉冲也必然位于仪器示波屏水平刻度线零位左侧，示波屏上看不到“始波”。

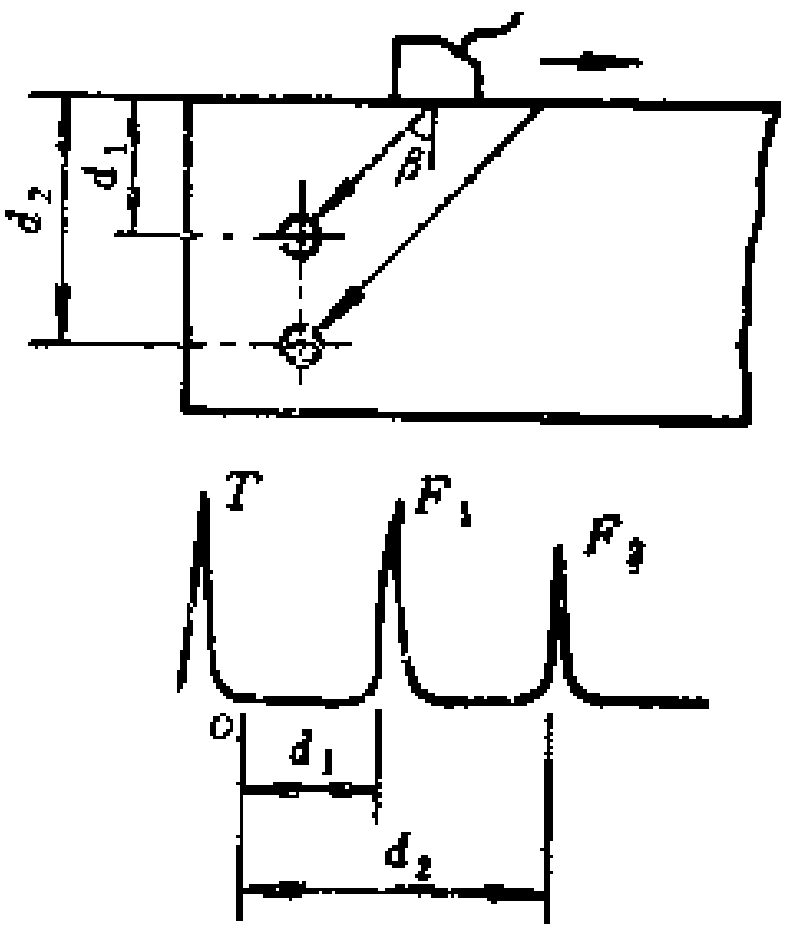


图2.1-19　横孔试块法

d_1、d_2—两横孔距探测面的深度　R—横孔半径　β—横波折射角

在用横孔试块调整仪器时基线时，若横孔的直径较大又需作精度调整时，横孔的反射回波F_1应调在示波屏水平刻度线的$d_1-R\cos\beta$处，同理，回波F_2应调在示波屏水平刻度线的$d_2-R\cos\beta$处。

三、超声波探伤缺陷的定量

所谓定量就是指在探伤中测定缺陷的大小和数量，而缺陷的大小包括面积、长度等。

目前在工业超声波探伤中，对于缺陷定量的方法很多，但均有一定的局限性。国内外常用的定量方法大致可分为两类，即小于声束截面的当量法和大于声束截面测长法。即当缺陷小于声束截面时，一般采用当量法定量；对于较大或较长缺陷采用测长法定量。

1. 当量试块比较法　这是在超声波探伤中应用较早的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

一种方法。我们知道，到目前为止工业探伤上广泛应用的是A型脉冲反射式超声波探伤仪，这种仪器是依靠缺陷反射波在荧光屏上的高度来确定缺陷的大小。即反回声压相同的缺陷被认为是大小相同的缺陷。但实际上，工件或焊缝中的缺陷表面状态（不平度）、声束夹角和内含物都可能不同，即使大小相近的缺陷反回声压可能相差很大。因此依靠缺陷反射波的高度来确定缺陷的大小是不可靠的，换句话说目前的超声波探伤并不能确切地确定缺陷的实际大小。所以，对超声波探伤缺陷的定量一般采用“当量”的概念，而不是确定缺陷的实际尺寸。

所谓当量法，就是用某些人为的标准反射体（如平底孔）的反射波高作为基准对缺陷进行定量的方法。当超声波从某一缺陷上反射回来的能量，与相同声程的ϕ2平底孔反射回来的能量相同时（测试条件完全一样），该缺陷就定为ϕ2平底孔当量。同样，当某些缺陷的反射波高与同深度ϕ3平底孔相同时，就称为ϕ3当量。这种当量定量法，是把各种各样自然缺陷反回声压与标准反射体相比较，比如ϕ2当量的缺陷，仅仅说明它的声压反射相当于ϕ2平底孔的声压反射，而不能代表缺陷的实际尺寸就是ϕ2。当然，在许多情况下，当量与实际尺寸的大小是有一定关系的。通常当量大的缺陷实际尺寸可能大。

当量试块比较法的具体应用是这样的：当在探伤中发现缺陷反射波时，调整仪器使缺陷波在荧光屏上达到不饱和的基准高度（如满幅度的50%），然后在仪器灵敏度不变的情况下，把探头放在一系列当量试块上（与该缺陷具有相同深度的不同孔径的平底孔试块），如图2.1-20所示。寻找平底孔反射波，当某一孔径平底的反射波高也刚为达到基准高度

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

时，则该平底孔的直径，即被定为被探工件中的缺陷的当量大小。

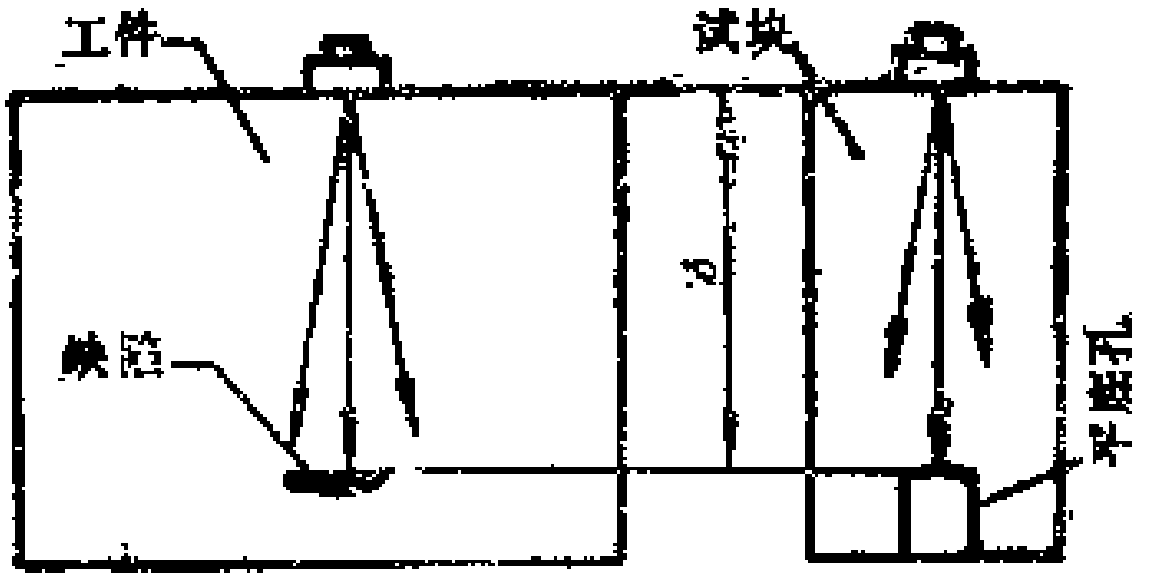


图2.1-20　当量试块直接比较法

这种当量试块比较法就是把缺陷反射波与试块中的平底孔反射波进行比较，其特点是直观易懂，当量概念明确。但由于缺陷在工件内分布的深度、大小不同，为了进行比较，必须制作大量的不同深度，不同孔径的平底孔试块，操作时需在一系列试块上寻找与缺陷相同的反射波高，相当繁琐。当工件的材质、表面粗糙度、或曲率与试块不同时，更是麻烦，故当量试块比较法在目前工业探伤中已显得落后，很少有人使用了。

2. 6dB测长法（半波高度法）　对于工件中大于声束截面的缺陷，其大小不能用当量法比较。我们知道，当量定量法是依据缺陷反射波的高度对缺陷进行定量的，当工件中存在着面积或长度大于声束截面的缺陷时，如图2.1-21所示的缺陷A和缺陷B，显然不能凭反射波高对缺陷进行定量，因为缺陷大于声束截面以

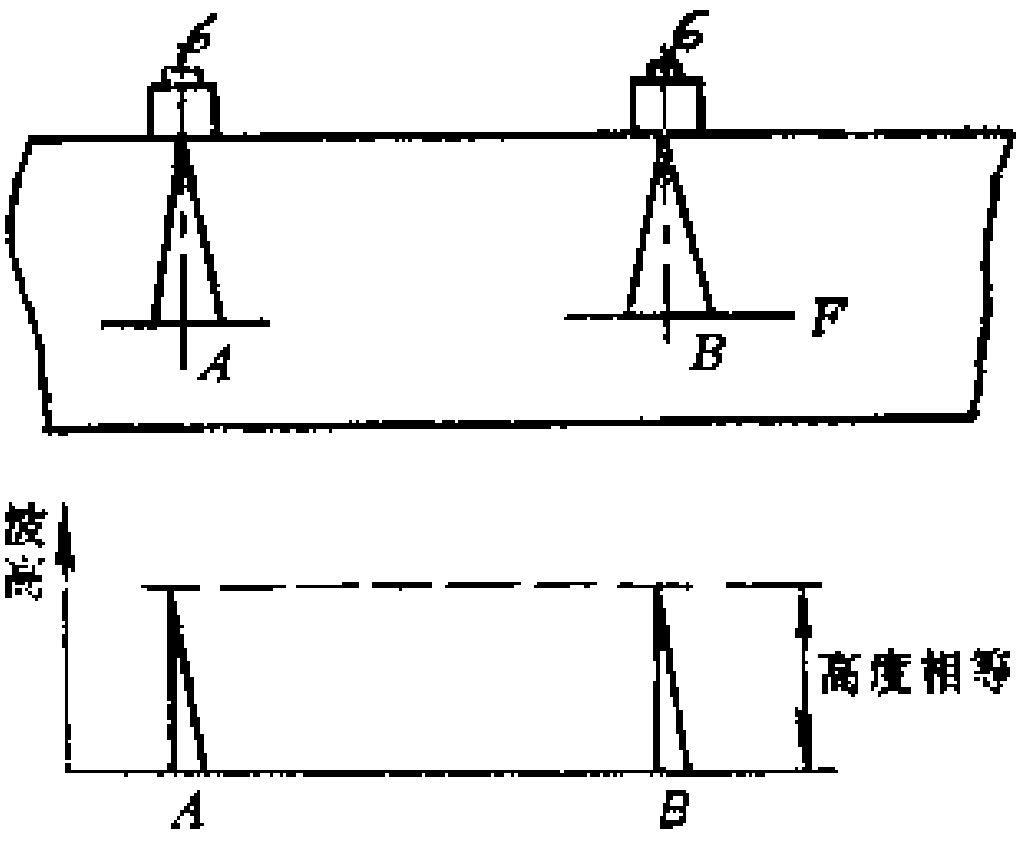


图2.1-21　测定缺陷当量的误差

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

后，随着缺陷的增大反回声压不会再增加，反射波不会再增高，因此无法从荧光屏上缺陷反射波的高低来确定缺陷的大小。

大于声束截面的缺陷的定量，往往是根据缺陷反射波的高度和探头的移动距离来决定的，这就是所谓的测长定量法。测长法象当量定量法一样不能真正反映缺陷的实际尺寸，因为缺陷的取向、形状、表面状态和内含物等，都将影响反射波的高及其测量长度。所以在测长定量法中使用“缺陷指示长度”的概念，以便和缺陷的实际长度加以区别。

测量缺陷的指示长度的基本原理是建立在声束指向性上的。声束有一定的扩散角，中心轴上声压最高，愈靠近声束边缘声压愈小，当缺陷与声束中心轴相遇时，产生较强的反射波，随着探头左右移动，缺陷逐渐偏移声束中心轴，缺陷波也随之降低直到消失，因此随着探头的移动可以绘出一条缺陷回波高度的曲线如图 2.1-21 所示。

6dB 测长法（或称半波高度法）的原理可以从图2.1-22中看出。当探头处于位置 1 时，全部声束都射到缺陷上，因而反射波最高，当探头向左移动时，反射波高保持不变（假设此长条缺陷状态不变），探头移动至位置 2 时，

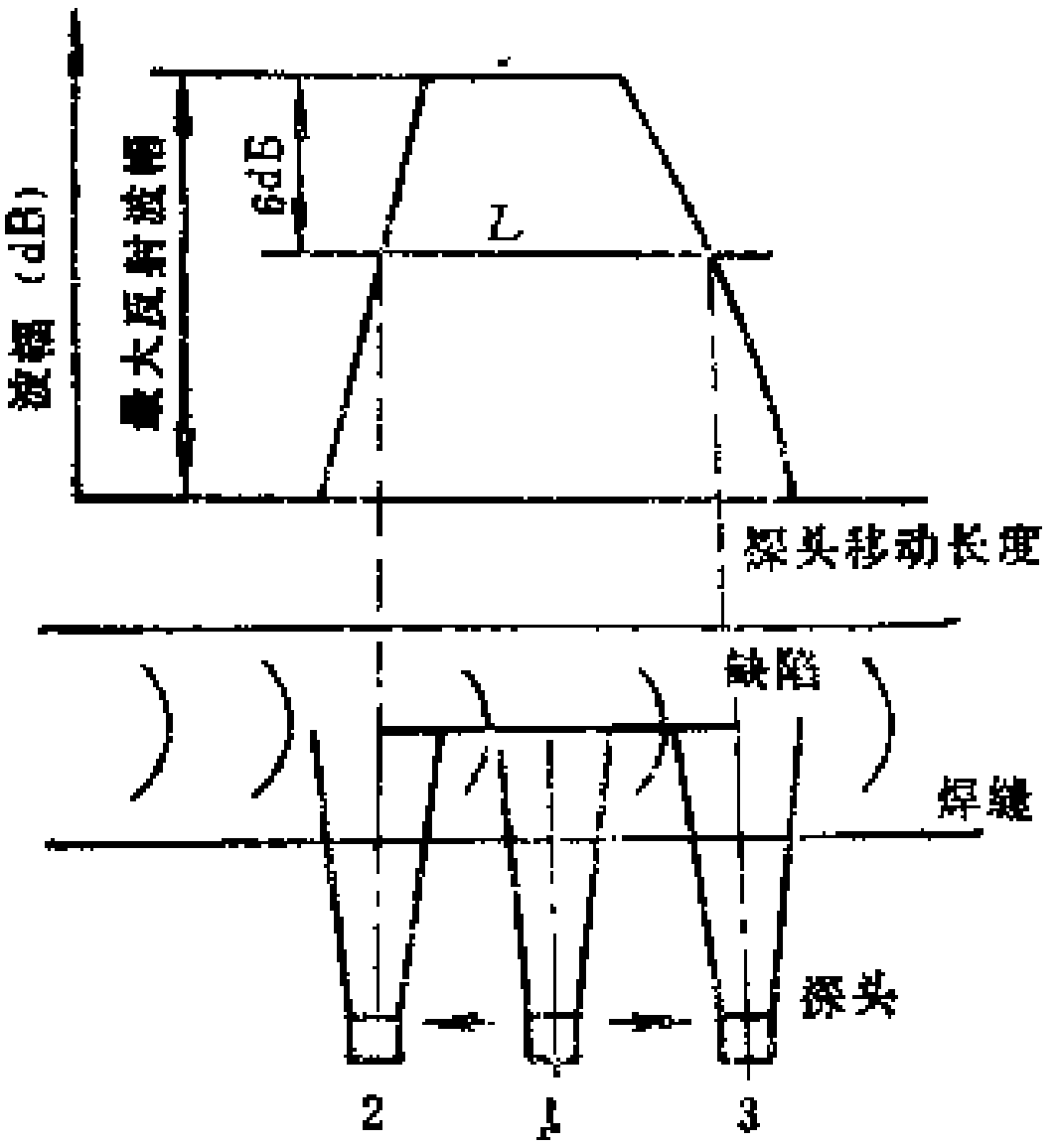


图2.1-22　6dB测长法

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

声束只有一半射到缺陷上，此时反回声压与位置 1 相比，将降低一半，所以反回波高降低一半，如以分贝值衡量波高则降低6dB。同样，探头向右移动，处于位置 3 时，反射波高也将降低一半，或 6dB。从图 2.1-22 可以看出，探头从位置 2 移动到位置 3 其距离 L 刚好是缺陷的长度，所以我们可以用波高降低 6dB（或一半）时探头中心线之间距离 L 做为缺陷指示长度，这就是所谓的 6dB（或半波高度）测长法。

采用 6dB测长法的具体做法是，探伤中发现大于声束截面缺陷时，移动探头找出该缺陷的最大反射波，调节仪器衰减器使波高达到某一标准高度(如满幅度的 50%)。然后用 衰减器将仪器灵敏度提高 6dB，沿缺陷方向移动探头，使缺陷波高恢复到基准高度，此时探头左右移动的距离（探头中心线之间距离）即为缺陷的指示长度。

采用半波高测长法的具体做法是，移动探头找出缺陷的最大反射波（不能使其达到饱和），然后沿缺陷方向左右移动探头，当缺陷高度降低一半时，探头中心线之间的距离即为缺陷的指示长度。显然半波高法和 6dB法原理一样，但半波高度法操作简单，对垂直线性好的仪器以采用半波高度测长法较简便。但对于垂直线性误差大的仪器，则只能采用较麻烦的6dB 测长法，否则会产生很大误差。

半波高度法或 6dB法是焊缝或其它材料探伤中，用来对缺陷测长较常用的一种方法。它属于相对灵敏度测长法，即以缺陷本身的最大反射波为基准，降低 6dB来测其长度。

9　磁化电流规范计算

工件磁化时，应根据工件所用材料的磁性能、工件的尺寸、形状、表面状况、缺陷的性质（种类、形状、大小、位置、方位等），来确定以下参量，检验方法（连续法、剩磁

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

法）、磁场方向和磁场强度、磁化方法、磁化电流的种类、电流值及有效探伤范围。选择磁化电流值或磁场强度值所遵循的规律，称为磁化规范。

制订一个工件的磁化规范时，首先应根据工件的材质和热处理状态，而确定所采用的剩磁法或是连续法探伤。然后再根据工件的尺寸、形状、表面粗糙度以及应探出缺陷的位置、形状和大小确定磁化方法和磁化电流值。因为这些因素的变动范围很大，所以对每个具体工件作出磁场强度的具体规定是有一定困难的。但是在长期的生产实践中，人们制订了周向和纵向的磁化规范，使磁场强度控制在合理的范围内，能使工件得到有效的磁化。

一、周向磁化规范

1. 通电法或穿棒法的规范　圆柱形或圆筒形工件用通电法或穿棒法进行周向磁化时，可按下述公式计算磁化电流值。

$$I = \frac{HD}{320}$$

式中　H——磁场强度（A/m）；

D——工件受检部分的直径（mm）。

例 1　一圆柱工件直径为 50mm，周向磁化时要求表面磁场强度为 8000 A/m，问应通以多大的磁化电流？

解　$$I = \frac{8000 \times 50}{320} = 1250 \quad \text{A}$$

对于形状不规则的工件进行磁化时，计算磁化电流值的近似方法是用工件的当量直径。所谓当量直径是指与该工件周向相同的圆棒直径，即

$$D = \frac{\text{周长}}{\pi}$$

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

例 2　一截面积为 50×50，长为 500mm的钢棒，要求表面磁场强度为 8000 A/m，求所需的磁化电流值?

解　当量直径　$D=\frac{200}{\pi}=64$　mm

$$I=\frac{8000\times 64}{320}=1600\quad \text{A}$$

我国几十年来普遍采用的磁化标准规范是：工件表面磁场强度剩磁法为 8000 A/m。连续法为 2400 A/m。承受高负荷的工件采用高于此值的严格规范，受力小的粗加工工件或毛坯件采用低于此值的放宽规范（表 2.1-4)。按照我国的习惯、表中的电流值为工频正弦交流电的有效值，采用别种类型的电流要加以换算，见表 2.1-5。

表 2.1-4 中的标准磁化规范得到我国各工业部门的承认。它来源于苏联，是苏联航空材料研究院通过大量试验制订出来的，苏联及东欧各国至今仍沿用此规范，长期实践证明它是合理的。英国最新标准（BS6072）中提出工件表面施加 2400 A/m的磁场强度即能满足探伤要求，与此相吻合。日本认为探伤所需要的磁场强度也与此非常接近，这也就是说该规范已得到世界性的认可。

如果工件表面有覆盖层，如铬层、镍层、锌层、镉层和漆层时，磁粉探伤的灵敏度将下降。若覆盖层的厚度在 25μm以下，可以采用上述规范。如果超过 25μm，磁化时就要增大电流值。经验证明，用湿连续法检查硬镀铬层工件，当工件表面达到 4800～6400 A/m（60～80Oe）的磁场强度时，能发现深度为 20～270μm的细小磨削裂纹；铬层厚度为 130μm时，能发现深度 0.15mm的疲劳裂纹镀铬工件在电镀之后，为了修复尺寸，有时铬进行磨削，但磨削会使电镀层

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表2.1-4　工件周向磁化规范

规范名称	适用于那些工件	能发现那些缺陷	检验方法	工件表面磁场强度			工件磁化电流计算公式		
				A/m	A/cm	O_e	圆筒形	圆　板	板　材
标准规范	表面粗糙度较高之高负荷工件	深度超过0.05mm 的表面缺陷，以及埋藏深度在 0.5mm 之内的表面下较大缺陷	剩磁法	8000	80	100	I ①$=25D$	$I=16D$	$I=16S$
			连续法	2400	24	30	$I=8D$ ②	$I=5D$	$I=5S$ ③
严格规范	弹簧、喷嘴等高负荷工件及工件上应力高度集中区，这些部位易产生早期疲劳裂纹，或细小磨削裂纹	在抛光表面上，凡深度在0.05mm 之内的细小发纹和磨削裂纹均可全部发现，亦即实际上可发现所有缺陷	乘磁法	14400	144	180	$I=45D$	$I=30D$	$I=30S$
放宽规范	承受静力和重复静力(拉伸、压缩)的表面粗加工面之工件	能发现所有危险性缺陷（表面裂纹、延深金属深处之发纹），也能部分发现细小缺陷	连续法	4800	48	60	$I=15D$	$I=10D$	$I=10S$
			剩磁法	4800	48	60	$I=15D$	$I=10D$	$I-10S$

① I —磁化电流(A)；②D—工件直径(mm)；③S—板的宽度(mm)。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表2.1-5　周向磁化标准规范的换算

工件形状	检验方法	交流电（有效值）	直流电（平均值）	单相全波整流电（平均值）	单相半波整流电（平均值）	三相全波整流电（平均值）	三相半波整流电（平均值）	一切波形（峰值）
圆柱(筒)形	剩磁法	I①$=25D$	$I=35D$②	$I=23D$	$I=11.5D$	$I=33D$	$I=29D$	$I=35D$
	连续法	$I=8D$	$I=11D$	$I=7D$	$I=3.5D$	$I=10.5D$	$I=9D$	$I=11D$
圆板形（沿直径通电）	剩磁法	$I=16D$	$I=22.5D$	$I=14D$	$I=7D$	$I=21D$	$I=18D$	$I=22.5D$
	连续法	$I=5D$	$I=7D$	$I=4.5D$	$I=2.3D$	$I=6.6D$	$I=6D$	$I=7D$
板材（沿板长通电）	剩磁法	$I=16S$③	$I=22.5S$	$I=14S$	$I=7S$	$I=21S$	$I=18S$	$I=22.5S$
	连续法	$I=5S$	$I=7S$	$I=4.5S$	$I=2.3S$	$I=6.6S$	$I=6S$	$I=7S$

① I—磁化电流(A)；② D—工件直径(mm)；③ S—板之宽度(mm)。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

下金属烧伤，产生细小的磨削裂纹，此时应采用特殊的磁粉探伤工艺检查这些裂纹。

2. 偏置心棒法规范　用穿棒法检查空心工件时，只要导体位于工件中心，便可采用前述规范。如果工件直径过大，设备功率不足，导体置于中心达不到所需磁场值时，则可将工件排在导体上磁化。换句话说，是将导体贴近工件内壁放置，即所谓的偏置心棒法。在此情况下，工件上形成磁极，应考虑到退磁场的影响，磁化时，依次将导体放在工件的不同位置，亦即将工件在导体上转动。当导体直径为50mm时，根据工件的不同壁厚，用连续法时，可取如下电流值，如表2.1-6所示。

表2.1-6　心棒磁化法不同工件壁厚之电流值

工件壁厚(mm)	电流值(A)
2～5	1000
5～8	1250
8～11	1500
11～14	1750

壁厚大于14mm的工件，厚度每增加3mm，磁化电流增加250A。有效磁化区约为导体直径的4倍。

3. 支杆法磁化规范　用支杆法进行焊缝或大型部件的局部检查，在支杆间距150～200mm时，磁化电流可按下式计算。

$$I = 4L$$

式中　I——磁化电流（A）；

L——两支杆间距（mm）。

4. 环形件缠绕通电电缆规范

环形件用电缆缠绕通电周向磁化时，磁化电流可按下列公式求出：

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

$$I = \frac{HD}{320N}$$

式中　N——缠绕匝数。

若工件具有不同的直径或截面，厚度不超过30%时，可一次磁化，厚度变化大于30%时，可以分段磁化，分段检查，但决定报废时，应采用与截面相应的磁化电流值检查。

二、纵向磁化规范

螺管线圈内的磁场强度（A/m），可按下述公式求出，

$$H = \frac{NI}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

式中　L——螺管线圈长度（m）；

D——螺管线圈直径（m）；

N——线圈匝数；

I——电流（A）。

在线圈的匝数及尺寸一定的情况下，令

$$K = \frac{N}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

则　　$H = KN$

工件在线圈内进行纵向磁化时，端头形成磁极，退磁场对外磁场起减弱作用。有效磁场低于外磁场，减弱的程度取决于L/D值。

线圈磁化时，采用剩磁法磁化，磁场强度推荐值列于表2.1-7。

连续法的磁化规范，可用下式计算

$$NI = \frac{45000}{L/D}$$

式中　N——线圈匝数；

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表2.1-7　纵向磁化规范

L/D	线圈中心磁场强度		
	A/m	A/cm	Oe
≥10	12000	120	150
$2<L/D<10$	20000	200	250
盘形件	36000	360	450

I ——磁化电流(A)。

例如工件的L/D值为10，线圈5匝，那么所需磁化电流即900 A。

磁化长工件时，在线圈外距线圈端头200mm之内为有效磁化区，长度超过450mm的工件需分段磁化。

10　掌握射线探伤的评片标准

我们知道，射线照相底片的评定必须依据一定的标准。我国目前采用的是GB3323—82(钢焊缝射线照相底片等级分类法)标准。所以本节重点将介绍这个标准。

一、焊缝质量根据缺陷数量的规定分成四级

1. Ⅰ级焊缝内不准有裂纹、未熔合、未焊透、条状夹渣。

2. Ⅱ、Ⅲ级焊缝内不准有裂纹、未熔合及双面焊和加垫板的单面焊中的未焊透。

3. 对于不同尺寸的气孔按表2.1-8换算。

表2.1-8　气孔换算表

气孔尺寸(mm)	≤1.0	>1.0≤2.0	>2.0≤3.0	>3.0≤4.0	>4.0≤6.0	>6≤8.0	>8
气孔数	1	2	3	6	10	15	25

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

4. 各级气孔的限量（包括点状夹渣）按表2.1-9规定，表中的数字系指照片上任何10×50mm²的焊缝区域内（宽度小于10mm的焊缝仍以50mm计），Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级焊缝中气孔点数。多者用于厚度上限，少者用于厚度下限，中间厚度的气孔点数用插入法决定，可按数字修约法推算至整数。

5. 如果单个气孔尺寸的大小超过母材厚度的1/2时即作为Ⅳ级者。

6. 当气孔尺寸在0.5mm以下时不计点数。

7. 钨夹渣按表2.1-9气孔数量评级，但按表2.1-8数值的1/2核算。

表2.1-9 气孔（包括点状夹渣）的分级

母材厚度（mm） 气孔数 等级	2.0～5.0	5.0～10	10～20	20～50	50～120
Ⅰ	2～4	4～6	6～8	8～12	12～18
Ⅱ	3～6	6～9	9～12	12～18	18～26
Ⅲ	4～8	8～12	12～16	16～24	24～35
Ⅳ	点数多于Ⅲ级者				

8. 表2.1-10是条状夹渣分级的规定。条状夹渣必须同时满足单个条状夹渣长度、夹渣群总长度及条状夹渣间距的规定。

9. 设计焊缝系数等于或低于0.7时，Ⅱ级焊缝内存在的单面未焊透，其深度不应超过壁厚的15%，最深不超过1.5mm；Ⅲ级焊缝内存在的单面未焊透，其深度不应超过壁厚的20%，最深不超过2mm。各级焊缝内单面未焊透的长度

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

表2.1-10　条状夹渣的规定

级别	单个条状夹渣长度	条状夹渣间距	条状夹渣群总长
Ⅱ	1/3 t，最小可为4，最大不超过20	$<6L$	不超过单个条状夹渣长度
		$\geqslant 6L$	在任何12 t 焊缝长度内不超过 t
Ⅲ	2/3 t，最小可为6，最大不超过30	$<3L$	不超过单个条状夹渣长度
		$\geqslant 3L$	在任何6 t 焊缝长度内不超过 t
Ⅳ	大于Ⅲ级者为Ⅳ级		

注：1. 表中 t 为母材金属厚度；L 为相邻两夹渣中较长者的长度

2. 当焊缝长度不足12 t（Ⅱ）级或6 t（Ⅲ）级时，可按比例折算。如折算的条状夹渣群总长小于单个条状夹渣长度时，以单个条状夹渣长度为允许值。

不超过该级焊缝夹渣群总长度的规定。

未焊透深度必须采用有效的方法，在焊缝边缘上放有一定深度凹槽的缺陷尺寸，在底片上产生对比照度，以便推断缺陷深度。

二、焊缝的综合评级

在12 t 焊缝长度内（如焊缝长度不足12 t 时，以焊缝长度为限）几种缺陷同时存在时，应先按各类缺陷单独评级。如有两种缺陷，应将其级别数之和减1作为缺陷综合的焊缝质量等级。如有三种缺陷，应将其级别数之和减2作为缺陷综合的焊缝质量等级。

11　射线探伤原理及影响灵敏度的原因，提高灵敏度的措施

照相法射线探伤的灵敏度，是指射线透照底片上所能发现的工件中沿射线穿透方向的最小缺陷尺寸。

为便于发现微小的缺陷，要求底片具有较高的灵敏度。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

影响灵敏度的因素很多，如图2.1-23所示。

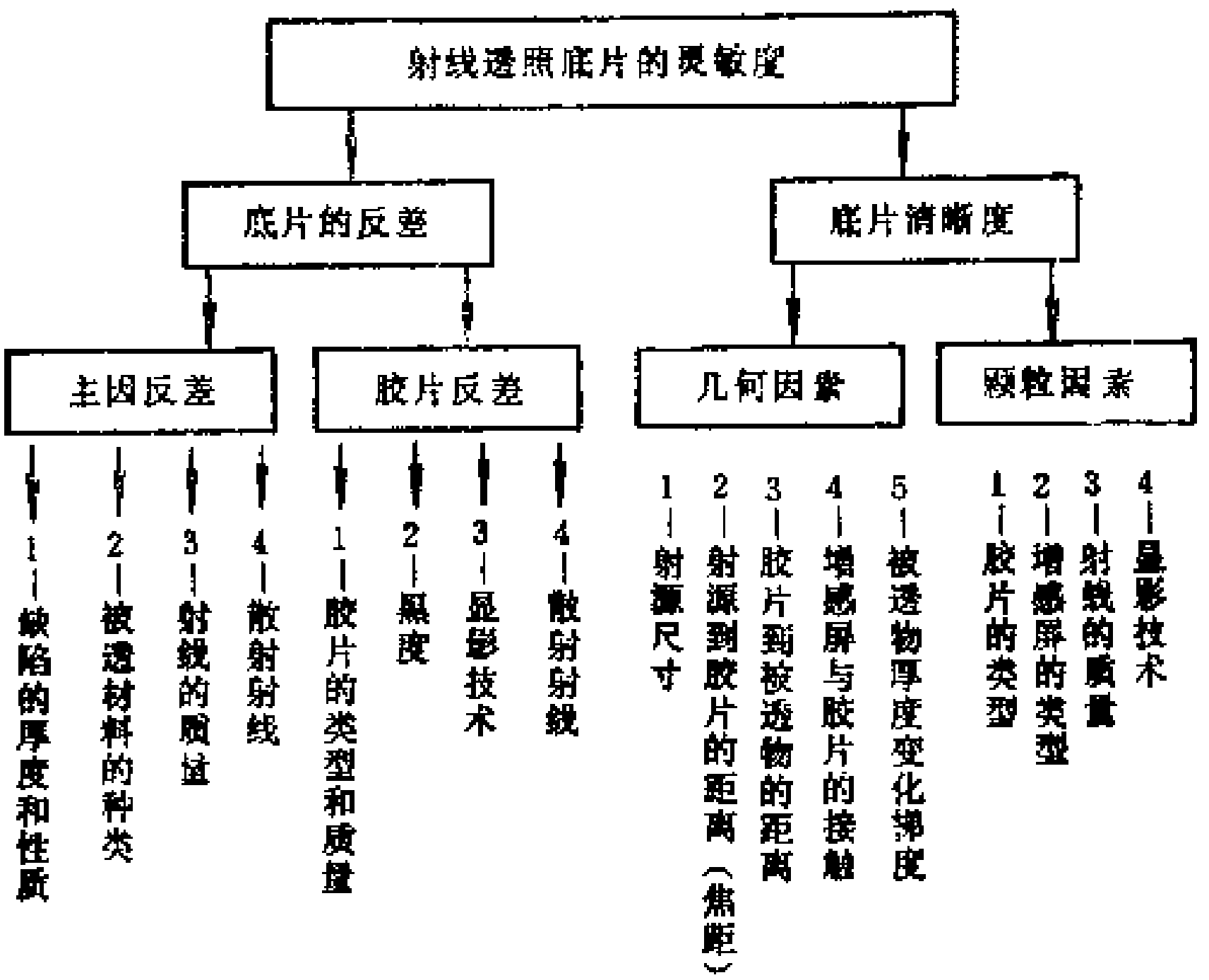


图2.1-23　影响射线透照底片灵敏度的因素

从图中可以看出，射线透照底片的灵敏度取决于两方面的因素，即底片的反差和底片的清晰度。底片的反差又取决于主因反差和胶片反差；底片的清晰度又取决于几何因素和底片的颗粒大小。

主因反差是指射线透过工件后，缺陷处的射线强度与其周围没有缺陷处射线强度对数值之差与胶片反差系数的乘积。胶片反差即为胶片反差系数，显然反差愈高，灵敏度愈高，反之亦然。

几何因素主要指射线源本身有一定尺寸，透照后在底片上显现的缺陷影象周围形成半影，影响对缺陷的辨认。显然半影愈小，影象愈清晰，灵敏度愈高，反之亦然。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

下面将对影响底片灵敏度的主要因素及采取的措施进行介绍。

一、射线硬度

X、γ射线的硬度就是指其穿透力，它取决于射线的波长。硬的射线就是波长较短的射线，它对一定的物质而言，具有较小的吸收系数，也就是说它的衰减作用小，容易透过物质。反过来说，波长较长的射线穿透能力就较小，也就是所谓的软射线。射线的硬度对照相底片的质量有很大的影响，当穿过物体而落到照相底片上相邻部分的射线强度之比为最大时，则在底片上所产生的明暗度也最大。如果缺陷的厚度已定，而要求大的明暗度时，就必须选用波长较长的射线。对X射线照相来说，即选用低的电压。因为当物质一定时，波长愈长，则μ值愈大。（μ为材料的射线衰减系数）。

从另一方面来讲，衰减系数愈大，在单位时间内达到软片上的射线能量就愈小，因而在一定的曝光条件下，所得出的底片摄影密度就很小。为得到适当的摄影密度，就需延长曝光时间。这对节约电能来说是不利的。故在实际工作中应看具体情况而定。如果对产品的质量要求不高，或者是工件成批的检查为了争取时间，可以用较高的电压；如果被检查的工件要求较高，又允许使用较长的曝光时间，则对X射线照相来说，可以用较低的电压。

二、散射线

用X射线或γ射线对工件进行透照时，不管在任何时候或任何条件下，都会或多或少地产生一些散射线。散射线会使底片增加黑度，降低明暗度，因而降低了底片质量。从图2.1-24可以看出，如果没有散射线存在，第一次射线穿过物体后，在底片上所留下的影像是清晰的。若物体中具有缺陷

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

x，则在底片上 2 — 3 部分比 1 — 2 与 3 — 4 部分的黑度要大些。但是由于散射线的作用，使其影像以及周围产生了额外的黑度，于是明暗度下降。在最坏的情况下，可能使影像或底片完全模糊，特别是检查工件中小的缺陷而对散射线没有预先防护，可能完全检查不出来。

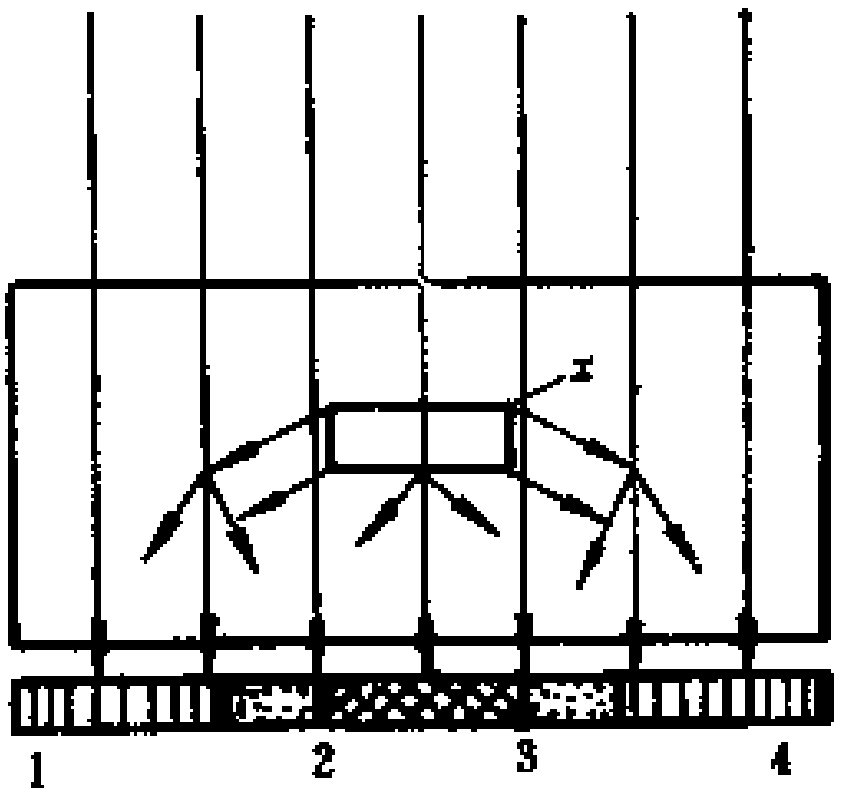


图2.1-24　散射线对底片的影响

对物体进行射线透照时，不仅需考虑到被检查物体本身产生的散射线，同时还要注意到来自其它方面的散射线。例如，被检查工件附近的物体上，暗匣上面，暗匣下面材料上等，以及在用X射线透照时，X射线保护罩和窗口材料上也会产生散射线。所以在实际透照时，切不可忽略这些散射线的来源，因为它对底片质量可产生一定的影响。但要完全根除这种有害的影响也是不可能的，特别是物体被检查部分厚度愈厚，检查范围愈大时，这种有害作用就显得愈强烈。所以必须采取某些适当措施，以减少其有害作用。

对散射线之防护通常有如下几种：

为避免射线在空气中的漫射和使射线集中进行投射，可将圆锥体射线束利用铅制聚焦器加以限制来达到。为避免工件表面产生散射线，可采用厚度为 4～5mm的铅板或稍厚的铜板为衬底材料。此时，应特别注意的是，当暗盒背面之材料为水泥或木板时，则必须采用铅板或铜板为衬底材料。上述防止散射线的方法如图2.1-25所示。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

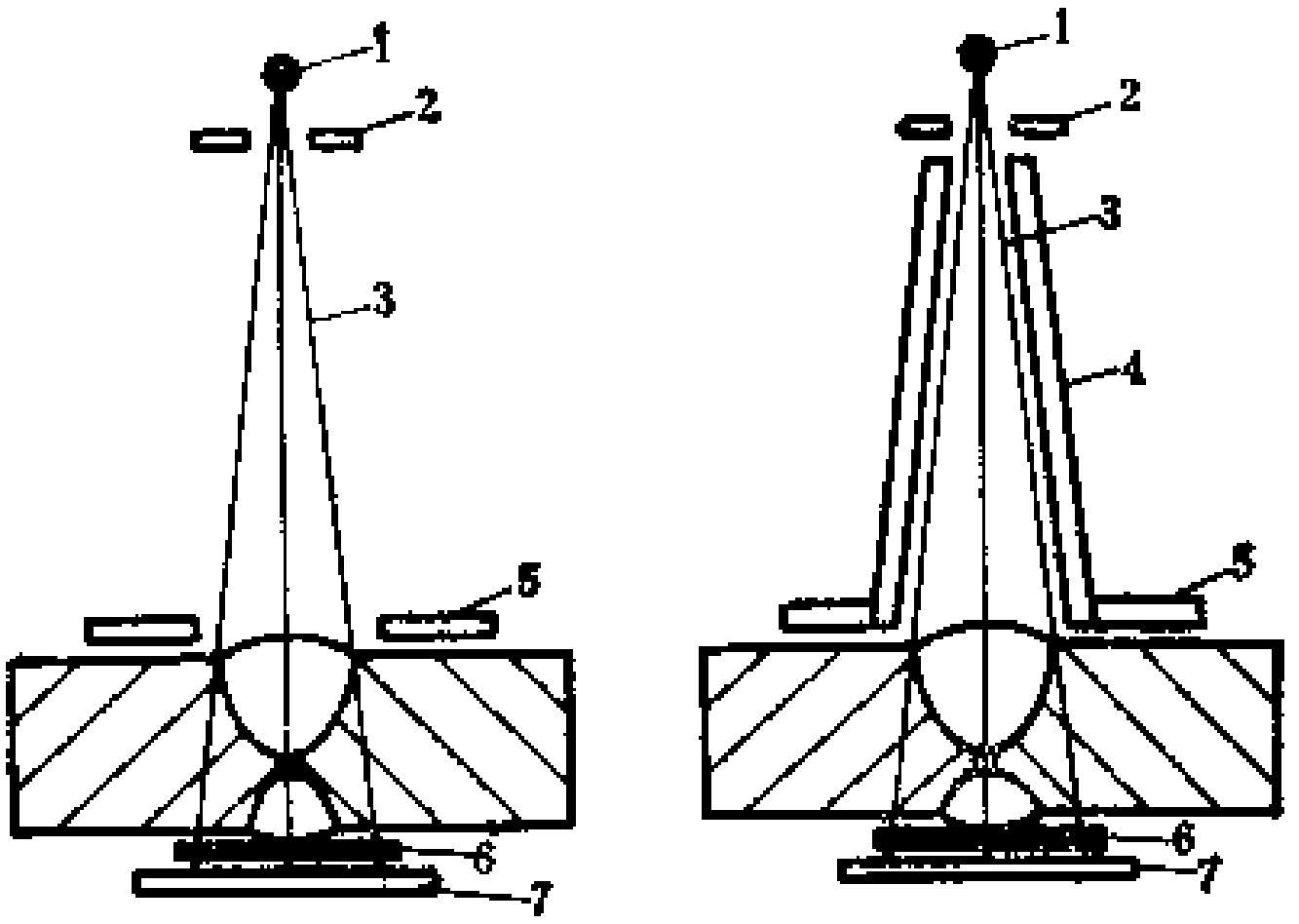


图2.1-25　防止散射线对底片质量影响之示意图

1—射线源　2—限止射线圆锥体的光阑　3—射线束　4—限止器
5—前遮板　6—暗匣　7—后遮板

三、射线源及焦距的大小

实际上我们使用的一切X射线和γ射线源，都具有一定的几何尺寸、它对底片清晰度的影响可从图2.1-26上看出。

若射线源为点状时，其投影所产生的缺陷轮廓，由缺陷影像的黑度D_1突然过渡到周围部分的黑度D_2，因而在底片上所呈现的缺陷影像轮廓是清晰的。若射线源具有一定直径，则以直径为圆的面上每一

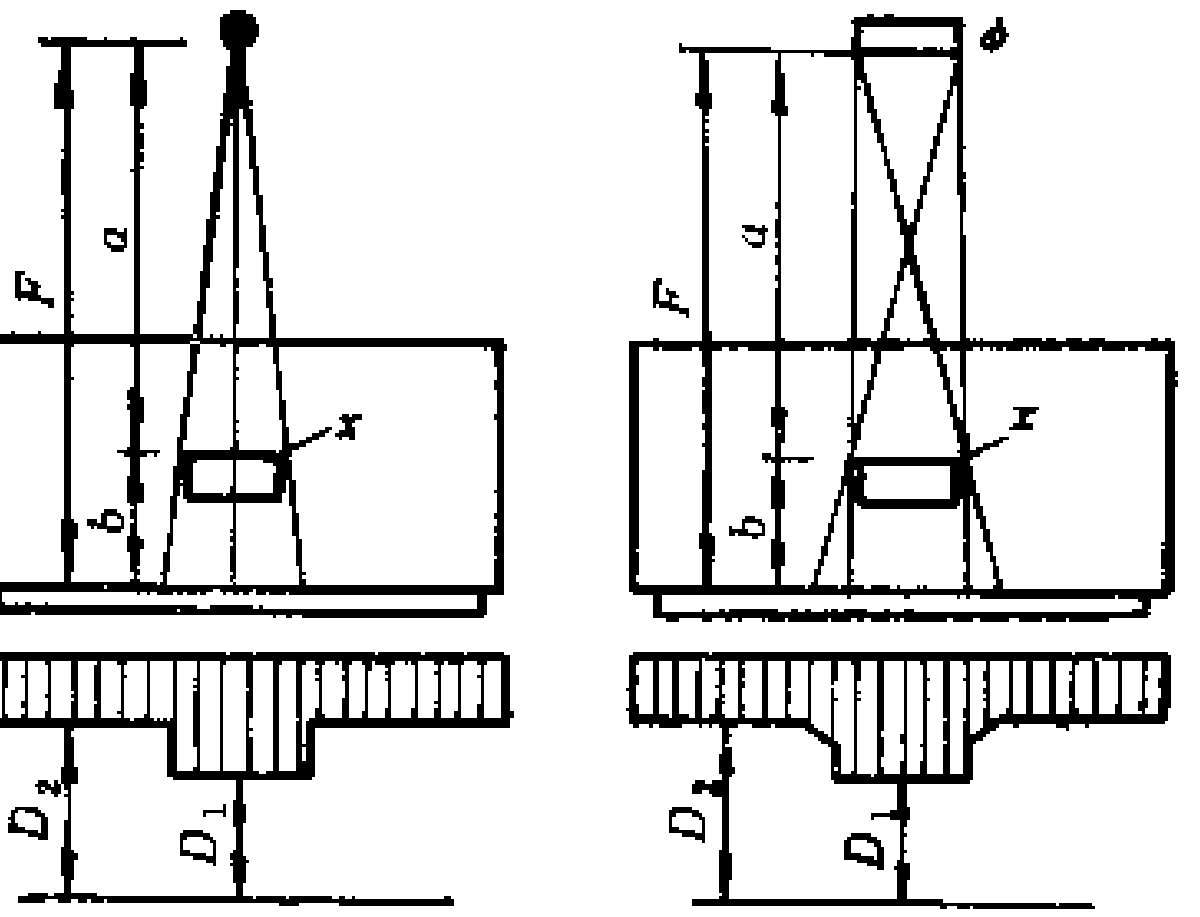


图2.1-26　射线源及焦距大小对底片质量影响之示意图

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

点都是射线的发源地。因而除形成黑度D_1外，还形成了由黑度D_1过渡到 D_2 的半影。这些半影的宽度便造成了缺陷影像边缘的漫射，从而降低了清晰度。

漫射度随着射线源直径 ϕ 和 a、b 的距离而变化，若用公式表示，即

$$U = \phi\ b / a \qquad (2.1\text{-}6)$$

式中 ϕ ——射线源直径；

a ——射线源至缺陷距离；

b ——缺陷至软片距离。

从公式(2.1-6)中可以看出，当射线源直径 ϕ 值缩小且远离缺陷时，漫射度下降，缺陷影像的清晰度提高。由此可见，为了查明材料内部的缺陷，必须采用尽可能小的射线源。但实际情况不可能做到，因为对一定型号的X光机或一定能量的γ射线源来说，X射线源的焦点和γ射线源的几何尺寸是一定的，不可能将其无限度地缩小或经常更换。在这种情况下，只有增加焦距来提高底片的清晰度。从图2.1-26中可看出，当焦距增至为 $F = a+b$时，便能得到质量较好的底片。但是增加焦距会延长曝光时间，从节约来说是不利的。

四、缺陷在射线投射方向上所处位置

缺陷在底片上所呈现的黑度，与射线投射方向所处的相对位置有很大关系。图2.1-27所示为具有同样大小的三个缺陷，这些缺陷在射线投射方向上所处的位置不同。从图2.1-27 a 可看出，若缺陷与射线投射方向一致时，则呈现的黑度的大小最好，这是由于在射线投射方向上，缺陷的厚度与工件的厚度相比，所占的百分数最大，所以投射在软片上缺陷部分的射线强度要比通过健全部分大得多，所产生的明暗度

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

差异亦较大。若此缺陷与射线投影方向成某一角度或完全垂直（如图2.1-27 b与c）时，则缺陷沿射线投射方向占工件厚度的百分数小得多，结果投射到软片上有缺陷与无缺陷的射线强度差异就很小，因而缺陷不易显现出来。由此可见，缺陷在底片上所显现的灵敏度，与它在投影方向上的厚度及其与射线所成夹角有关。

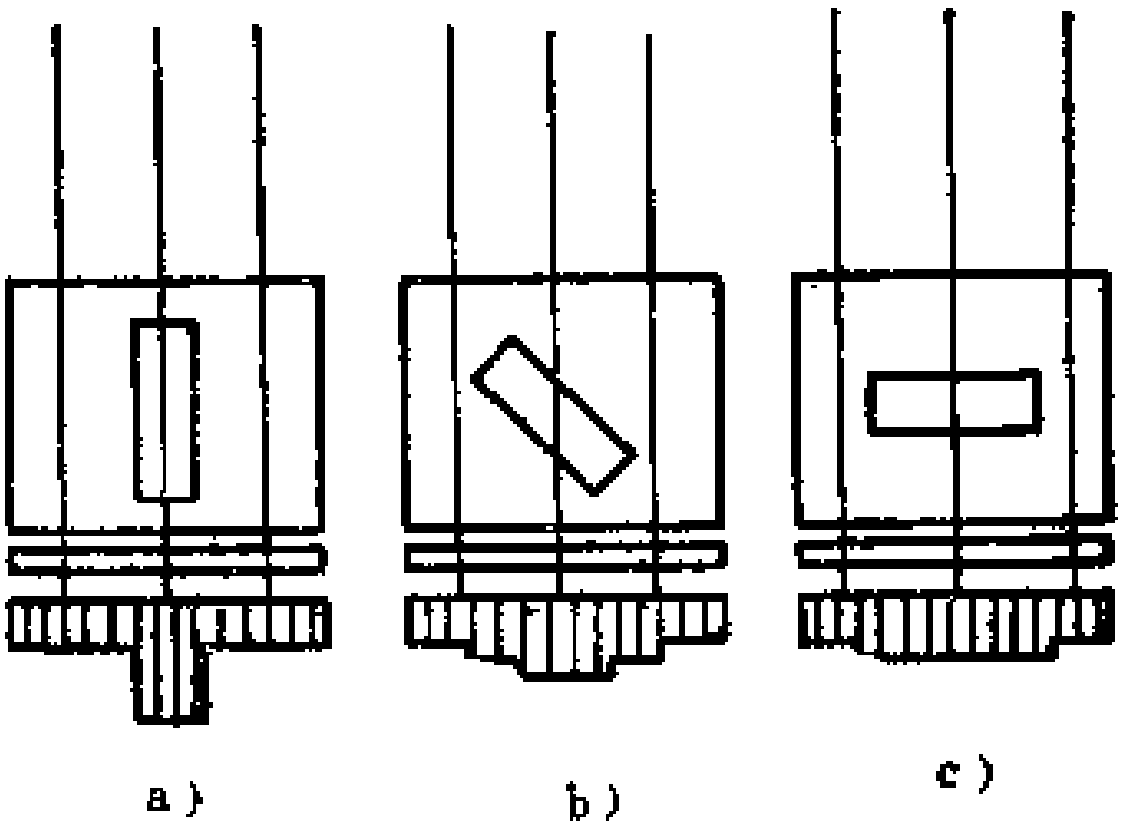


图2.1-27　缺陷在投射方向所处的不同位置而被显现的程度

图2.1-27中的阴影线表示投射在软片上的射线强度，用它可以清楚地说明缺陷在底片上显现的程度。

我们在工作中经常会碰到这样的情况，即射线在投影方向上的厚度很小，其面积较大但在底片上的缺陷亦很难看出或完全看不出，如轧制钢板中的夹杂物及分层等缺陷，在通常的情况下，用射线透照是无法显示出来的。

五、胶片类型和显影因素对透照底片灵敏度的影响

国外一般将X射线胶片分为三种类型，如表2.1-11所列。

表2.1-11　X射线胶片类型

类　型	特　　征
Ⅰ	细颗粒、高反差胶片，与金属增感屏并用
Ⅱ	非增感型胶片，通常与金属增感屏并用
Ⅲ	增感型胶片，与荧光增感屏并用

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

对胶片反差而言，Ⅰ型最高，Ⅱ型次之，Ⅲ型最低；就金属银颗粒尺寸而言，Ⅰ型最细，Ⅱ型次之，Ⅲ型最粗。反差愈高，颗粒愈细，底片愈清晰，灵敏度愈高，反之亦然。

对于质量要求高的工件进行射线透照，一般都要求采用Ⅰ型胶片。对于一般工件，应采用Ⅱ型胶片。在射线探伤中，配合荧光增感屏，采用Ⅲ型增感型胶片的场合，已愈来愈少。但Ⅰ型胶片感光速度低，曝光时间长，这也是选用Ⅰ型胶片所需要考虑的因素。

显影液的温度，显影时间对胶片反差和灰雾都有影响，一般显影温度为20°C左右，显影时间为5～7min，胶片反差最大。显影温度过高或显影时间过长，胶片反差反而有下降趋势，且灰雾急剧增加；显影温度过低，显影时间过短，胶片反差较低，后两种情况都会降低灵敏度。

为了提高反差，可使用高反差显影液，这种显影液会使金属银的颗粒变粗。为了减小颗粒，也可采用微粒显影液，但这种显影液将使底片反差降低。因此，选用这两种类型的显影液时，应权衡利弊。

六、底片黑度对灵敏度的影响

实验证明，当底片黑度达到一定值（最佳黑度）时，灵敏度为最高。而黑度过大，灵敏度会随底片黑度的增加而降低，这是因为人眼不能感觉到这种黑度过大的底片上邻近部分的黑度差。黑度过小的底片也会因眩晕而影响对缺陷的分辨。

当胶片的暗室处理条件及其它因素不便时，底片的黑度随曝光时间的增长而增加。相反，缩短曝光时间可使底片的黑度减小，所以曝光时间过长或过短都会使底片上的缺陷显现的灵敏度降低。曝光时间的正确选择还与很多因素有关，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

但当曝光条件确定时，获得同一曝光量的底片，它的黑度是相同的。

影响底片黑度的因素很多，所以在实际工作时，需将某几个因素如胶片型号、显影剂、显影时间、定影剂、定影时间、增感方式、焦距、射线机型号和被透材料等固定下来，只变更被透材料厚度、曝光量和管电压三个因素。这样，经试验后所得到的曝光曲线，就可以在实际透照中应用了。

在进行X射线透照时，提高底片黑度的方法主要是增加曝光量和管电压，但管电压过高将会影响主因反差。因此，黑度的提高需权衡利弊。对γ射线透照来说，可稍增加曝光时间，使黑度有所提高。实际工作中，黑度要求不低于1.4即可。对于厚度大的工件，透照底片上从最小黑度到最大黑度的变化，一般要求在1.3~3.5范围内。

如果工件厚度变化太大，不能满足上述要求，可以分别对工件厚度大的部位与厚度小的部位进行两次透照或者采用双焦片技术。

12 各种产品（焊件、锻件、钢板、钢管、铸件等）常见缺陷种类及产生原因

为正确地进行无损检验，必须预计原材料和焊缝中所产生的缺陷种类。因此，检验人员需要具备在各种材料的焊缝中所产生缺陷的各种知识。这里所说的缺陷不是指工业用金属材料中在制造时所出现的不可避免的不连续部分，而是指那种在制造时认真操作就能避免的部分。而其数量和大小在按设计要求的正常条件下运转时，会使材料、机器、结构物等发生损坏。然而在这里还没有把由于设计有问题，意料之外的超负荷以及发生特殊环境条件而造成损坏等因素考虑进去。在定期检查中发现的不连续部分，有时还包括一部分在

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

制造过程中漏检的缺陷，但极大部分是由于在不符合设计要求的情况下而引起的，对这些缺陷若不及时采取措施的话，就可能连续发展或者成为有害的断裂发生源。所谓缺陷是指这种不连续部分。

下面着重介绍在各种材料和焊缝中所产生的主要缺陷种类及其原因。

一、压延件中的常见缺陷

这里所说的压延件包括板材、棒材和管材。

1. 钢板中常见缺陷

（1）分层　是指截面裂为两层的缺陷。它是由于钢锭中存在气孔、缩孔、夹渣或者耐火材料等以致压合不紧密而引起的。

（2）条状裂纹　是指截面断断续续的小裂纹。它是由于偏析、缩孔、气孔、夹渣、氧化皮和耐火材料等以致压合不紧密而引起的。

（3）夹渣物　是指截面上的杂质，熔渣和耐火材料。这些夹渣物是由于浇铸钢锭时带入熔渣、耐火材料和其它杂质而引起的。

2. 钢棒中常见缺陷

（1）纵向裂纹　是一种较深的线状裂纹。它是由于热应变、时效以及材料的性能不良，尤其是在材料中存在着针孔、气孔等而引起的。

（2）夹杂　是钢锭中存在的夹杂物，其产生原因是由于钢锭在压延和拉伸过程中而造成的一种缺陷。

（3）缩孔　是钢锭中的缩孔在其内部顺压延方向而产生的线状缺陷。

（4）线状缺陷　是直线状缺陷。它是由于在钢锭中有

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

针孔、气孔以及表面粗糙等，而在压延时延伸而成的。

3．钢管中常见缺陷

（1）外壁折迭　由于在圆钢表面夹入杂质，铁屑或有偏析、非金属夹杂物和裂纹时，在穿孔时产生的缺陷。

（2）裂纹　是由于材料含铜量过多，加热不良以及加工方法不宜所产生的缺陷。

二、锻件中常见缺陷

1．非金属夹渣物

是由于炼钢时熔炼和铸锭不良，混进了硫化物和氧化物等非金属氧化物或者耐火材料等所造成的缺陷。

2．缩孔　是由于铸锭时，因冒口切除不当，铸模设计不良，以及铸造条件（温度、浇铸速度、浇铸方法、熔炼等）不良所产生的缩孔未被锻合而遗留下来的缺陷。

3．裂纹　其形状较简单，是由于材质不良，加热温度不当和工件形状不适当等所引起的很尖锐的缺陷。

4．过烧　是由于过热使材料内部引起晶界氧化，并产生显著的裂纹，或生长成粗大的晶粒。其产生原因可以认为是加热温度、加热时间和加热方法不适当。

5．白点　是一些细微的裂纹。这是由于在钢水中含有氢气，在冶炼、锻造过程中来不及逸出来而产生的。

三、铸件中常见的缺陷

1．针孔、气孔　熔化的金属在凝固时，其中的气体来不及逸出而在金属表面或内部产生的洞孔。其直径为2～3mm的叫做针孔，大于3mm的叫做气孔。

2．夹渣　是浇铸时由于铁水包中的熔渣没有与铁水分离，混进铸件而形成的缺陷。

3．冷隔、浇铸不足　主要是由于浇铸温度太低，金属溶

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

液在铸模中不能充分流动，于是在铸件表面生产冷隔。因铁水未流入而形成缺口的地方叫浇铸不足。

4. 裂纹　是由于材质和铸件形状不适当，在凝固时因收缩应力而产生的裂纹。在高温下产生的叫热裂纹，在低温下产生的叫冷裂纹。

四、焊缝中常见缺陷

1. 裂纹　焊缝中产生的裂纹可大致分为熔敷金属部分热影响区产生的两种裂纹。前者包括焊道裂纹、焊口裂纹、根部裂纹和微裂纹等。后者包括根部裂纹、穿透裂纹、焊道下裂纹和夹层裂纹等。其原因是熔敷金属的韧性不良，母材或焊条含硫量过多、焊接规范不当、焊口处理不良、熔敷金属的含氢量过多等。

2. 未焊透　是在有坡口以及丁字形接头焊接时，由于焊条直径过粗或者焊接电流过低，使电弧不能达到坡口底部而产生的缺陷。

3. 夹渣　是由于焊条直径和电流的选择不当，运条不熟练以及与前道焊缝的熔渣未清除干净，焊接技术不好所造成的缺陷。

4. 气孔　是由于焊条不干燥，坡口面生锈，油污和涂料未清除干净，焊条不合适或熔融中的熔敷金属同外界空气没有完全隔绝等所引起的缺陷。

5. 未熔合　是焊接界面没有充分熔合面产生的缺陷。其原因是运条不良，表层没有清理干净和预热不够等。

五、维修检查中常见缺陷

疲劳裂纹是应力长期作用在工件上所产生的裂纹。疲劳裂纹中有接触应力疲劳裂纹、热应力疲劳裂纹以及腐蚀疲劳裂纹。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

13 射线探伤中各参数之间相互关系的理论分析和电压、电流、曝光时间、焦距、焦点大小、工件厚度差等对底片质量的影响

一、曝光条件的选择

X射线强度随着管电压（kV）和管电流（mA）的增加而增加，射线的穿透力也随之增加。但是散射线（软射线）的强度也同时增加，使射线照相的反差和清晰度严重下降。

X射线探伤时，对照相曝光条件的选择主要是对管电压kV值（射线的质）以及曝光量（管电流mA与曝光时间的乘积）的选择。选择的原则是在保证射线具有一定的穿透力和足够的曝光量前提下，尽可能地采用较低的管电压来进行X射线探伤。

一般在选择管电流和曝光时间时，把时间取得短些，而电流在尽可能的范围内取得大一些。这样即可节约时间，也可以减少一些散射线的影响。

X、γ射线是从射线源（阳极耙或γ射线元素）上向四方散射的。它在空间各点的强度分布与焦距的平方成反比。若焦距增大，则在单位时间内达到单位面积上的射线强度就小，底片的摄影密度也就小。对X射线透照来说，欲达到一定的摄影密度，亦即要达到一定的射线强度时，应必须增加曝光时间或管电流。但实际上增加管电流是受X射线管容量所限制的。增加曝光时间是不经济的，会影响X射线管的寿命和生产进度。因此必须选择合适的焦距。

在选择焦距时，必须考虑到使软片透照结果具有合适的明暗度，同时，又不超过所允许的曝光时间。但焦距也不能过小，否则会因射线硬度及几何因素的影响使底片质量降低。因此，一般说来焦距不得小于1.5倍的底片长度。在可能

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的情况下，焦距应适当，这样可以得到较清晰的底片。

二、几何不清晰度

根据GB3323—82《钢焊缝射线照相及底片等级分类法》第2.3条的规定，几何不清晰度（U_g）在甲级方法（铅箔增感屏、非增感性胶片）中不得大于0.2mm，在乙级方法（荧光增感屏、增感性胶片）中不得大于0.4mm。

几何不清晰度U_g，是工件中的缺陷经射线透照后在射线透照上被扩大了的图像之半影，它是由于摄片装置的几何方面的因素而引起的。几何不清晰度可从图2.1-28所示的几何关系中推导。

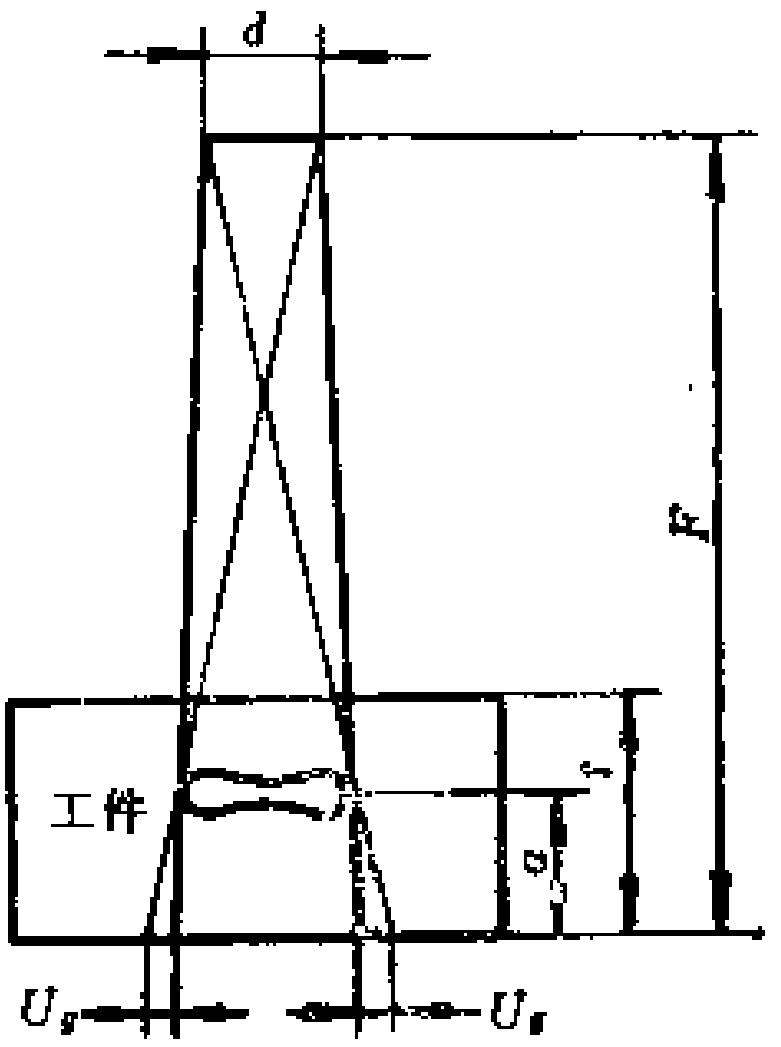


图2.1-28 几何不清晰度的计算

$$U_g = \frac{da}{F - a} \qquad (2.1\text{-}7)$$

式中 U_g——几何不清晰度（mm）；

d——射线源焦点尺寸（mm）；

F——射线源焦点至胶片距离（mm）；

a——缺陷至胶片的距离（mm）。

当缺陷位于图中工件的上表面（靠近射线源一侧的表面）时，几何不清晰度U_g值将达到最大值。这是射线探伤中对几何不清晰度控制的极限条件，则式（2.1-7）可改写为：

$$U_{g\,max} \leqslant \frac{dt}{F - t} \qquad (2.1\text{-}8)$$

式中 t——工件厚度。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

从式（2.1-8）中可以清楚地看出，射线探伤时若增大焦距，射线源焦点尺寸减小，工件厚度减小，射线照相的几何不清晰度将随之减小，图像清晰度增加。所以在射线照相时，应按照标准规定的几何不清晰度和工件厚度，射线源焦点尺寸按式（2.1-8）所示的关系推导。最短焦距。即

$$F_{min} \geqslant \left(\frac{U_{gmax}}{d} + 1 \right) t \qquad (2.1\text{-}9)$$

式中 F_{min}——最短摄片焦距（mm）。

14 电工一般基础知识

一、电路的基本概念

随着电的日益广泛的应用，现代电工设备不但种类繁多，而且日新月异不断地发展。但是目前绝大多数的设备仍是由各式各样的电路所组成的。不论电路的结构如何复杂，它们和最简单的电路之间还是具有许多最基本的共性，并遵循着相同的运动规律。

电路是由电源、负载和连接导线所组成。

用导线将一个小电灯泡的两端与一节干电池的正、负两极分别连接起来，如图2.1-29所示。这时小电灯泡就亮了。从图中可看到干电池、小电珠以及连接这两者的导线，就构成了一个最简单的电路。其中干电池是电能的供给者，所以被称为电路的电源，而小电珠则是消耗电能的，叫做电路的负载，电能通过连接导线，从电源送往负载。

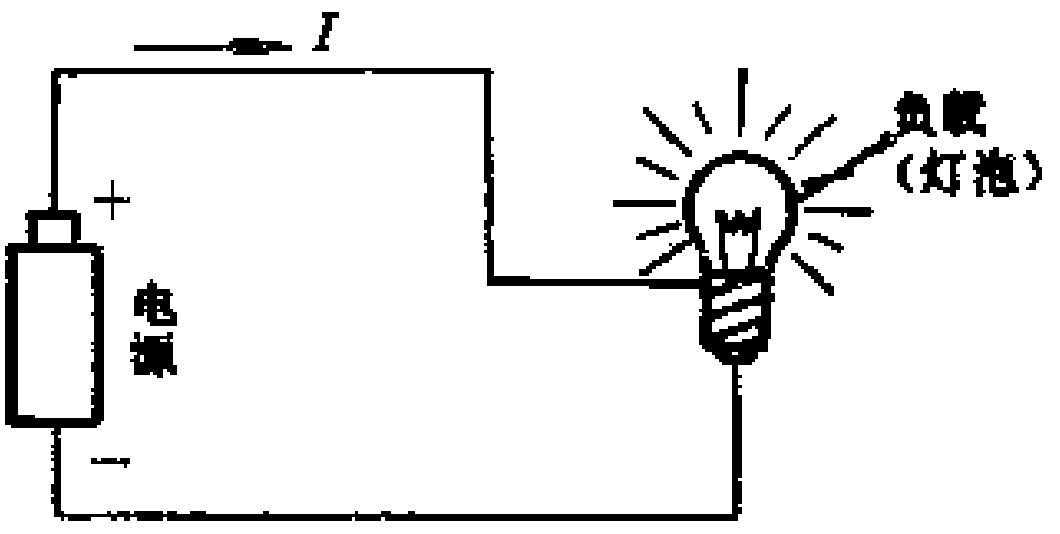


图2.1-29 电路的组成

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

电灯、电炉、继电器及电动机等都是电路的负载，它们分别将电源所送给他们的电能转变成光，热或机械能，为我们所利用。在电力及一般用电系统中，电路就起着这种传输与转换电能的作用。

二、直流电与交流电

如果电流的大小和方向都不随时间变化，即在任何不同时刻，单位时间内通过导体横截面电荷量均相同，其方向也始终不改变，则这种电流称为直流电流。为与变化的交流电区别起见，对直流电流用大写字母 I 表示。

电流和时间的关系可用图形表示出来。我们规定沿水平方向的横坐标表示时间 t，沿垂直方向的纵坐标表示电流 i。由于直流电流是不随时间变化的，所以它的图形是一条与横轴平行的直线，如图2.1-30 a 所示。在任何不同的时刻 t，电流 i 的数值均等于恒定的 I。

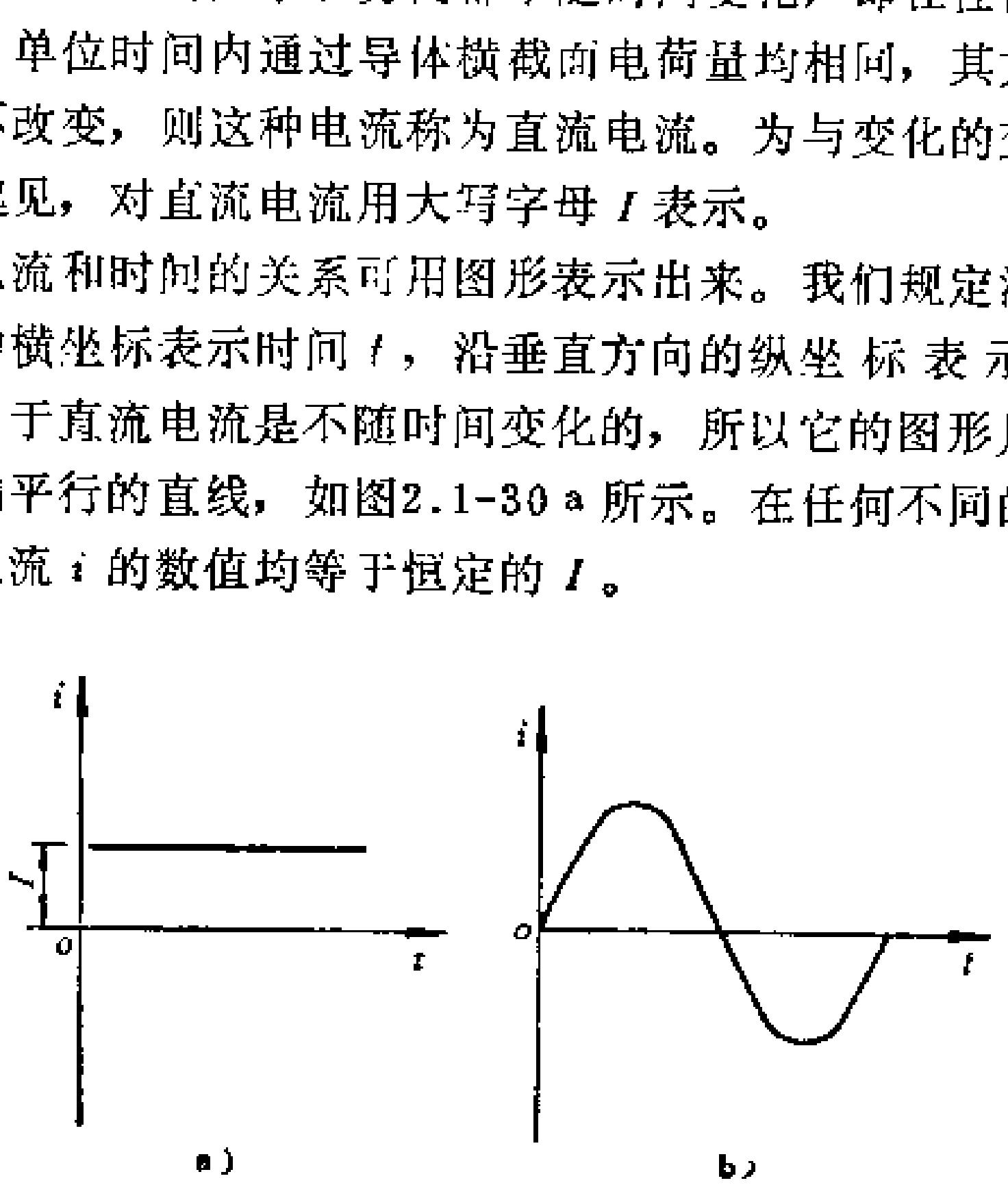


图2.1-30　电流和时间的关系图

电流的大小和方向如果随时间按一定的规律反复交替地变化，一会儿从小变大，一会儿又从大变小；一会儿电流是正的，一会儿却变成负的（电流正负的变化即代表其方向的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

变化)，则这种电流称为交流电。如图2.1-30 b 所画的图形就是最常见的为正弦交变电流的变化规律。我们平常用的，由电力网供出的交流电，就是这种电流。

三、三相四线制交流电源

动力方面多采用三相正弦交流电（简称三相交流电)。铁路电信设备所用的交流电，基本上也都是由三相交流电源供给的。

三相交流电为什么应用得这样广泛呢？这是由于它在应用上具有很多优点所决定的。譬如三相发电机比同样尺寸的单相交流发电机输出功率大；在同样条件下输出同样大的功率，三相输电线比单相输电线节省材料；三相电动机由于结构简单、坚固耐用、维护和使用较方便，运转时比单相交流电动机震动小，因此三相交流电引起了人们的重视，并获得了广泛的应用。

三相电压和三相电流统称为三相交流电。能供出三相交流电的设备称为三相电源。

一般三相电源供出三个具有相同频率和振幅，但在相位上相差120°的正弦电压，这组电压叫做对称三相电压，其瞬时值表示为

$$\begin{aligned} u_{A0} &= U_m \sin(\omega t + \varphi) \\ u_{B0} &= U_m \sin(\omega t + \varphi - 120^\circ) \\ u_{C0} &= U_m \sin(\omega t + \phi + 120^\circ) \end{aligned} \qquad (2.1\text{-}10)$$

三相电压中的每一部分称为一相，分别用 A、B、C 表示，称为 A 相、B 相和 C 相。

能供出对称三项电压的电源叫做对称三相电源。譬如三相发电机和三相变压器的副绕组都是对称三相电源。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

四、保护接地和保护接零

我们知道，用电设备的金属外壳在正常情况下是不带电的，但有时可能由于带电绝缘部分损坏而出现对地电压，工作人员碰到后就会有电流通过他的身体而触电。设备外壳对地电压越高，流过人体的电流就越大，严重时有致命的危险。为此常采用保护接地或保护接零线的方法来保证工作人员的安全。

1. 保护接地　所谓保护接地就是用电设备的不带电的金属部分与大地之间作良好的金属连接，以保护人体的安全。

一般在电源中点不接地的电力网中，用电设备例如电机，变压器和控制电器的金属外壳，配电盘的金属框架等都应采用保护接地。

为什么用电设备采用保护接地就能确保工作人员的安全呢？下面我们以图 2.1-31 所示的三相电动机为例，先分析外壳不接地的情况，然后再分析电机外壳接地的情况，通过比较就很容易了解接地的作用了。

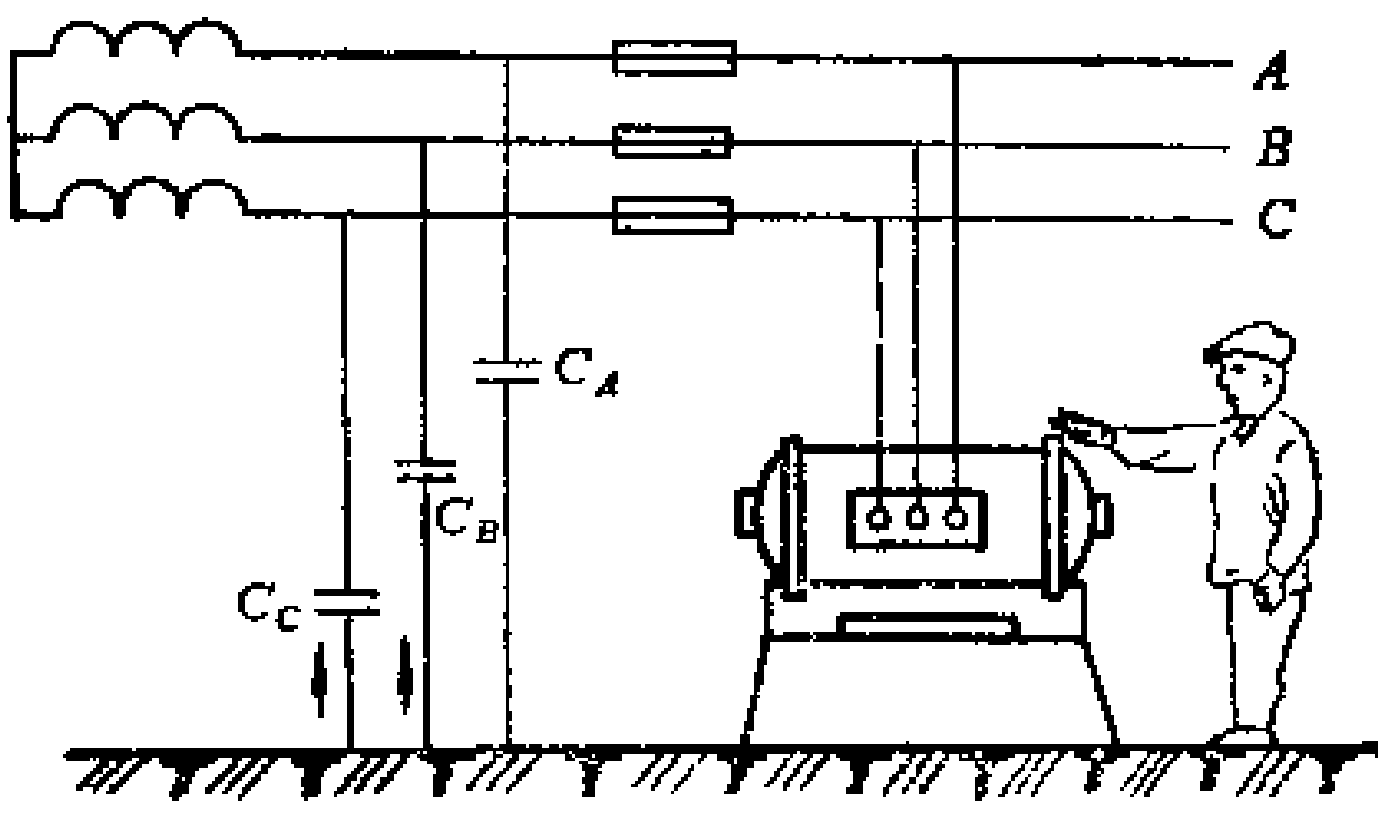


图2.1-31　三相电机外壳不接地情形

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

如果三相电动机内一相（如A相）绝缘损坏而碰壳，电机外壳便带电，并与A相输电线同电位。由于输电线与大地间存在着电容（其电容值与输电线的长度成正比），工作人员碰到电机外壳时，人体就与A相输电线对地的电容C_A并联，这时线电压U_{AB}和U_{AC}就通过人体以及电容C_B和C_C各形成一条闭合的导电回路，因此有电流通过人体而触电。在低电压供电系统中线路不长时，各线对地电容不大，上述的触电事故还不严重，若低压线路很长或在高压线路中，这种触电事故就比较严重了，所以用电设备若无保护接地是不安全的。

三相电动机有了保护接地（电机外壳接地）情况不同装置，若电动机的一相绕组绝缘损坏而碰壳，工作人员就可以避免危险如图 2.1 -32 所示。因为机壳已经接地，而且它与大地间的电阻很小，所以机壳和大地间的电位差（机壳对地电压）就很小，而人体的电阻一般比接地电阻大数百倍，此时工作人员碰到机壳就相当于人体和接地电阻并联。接地短

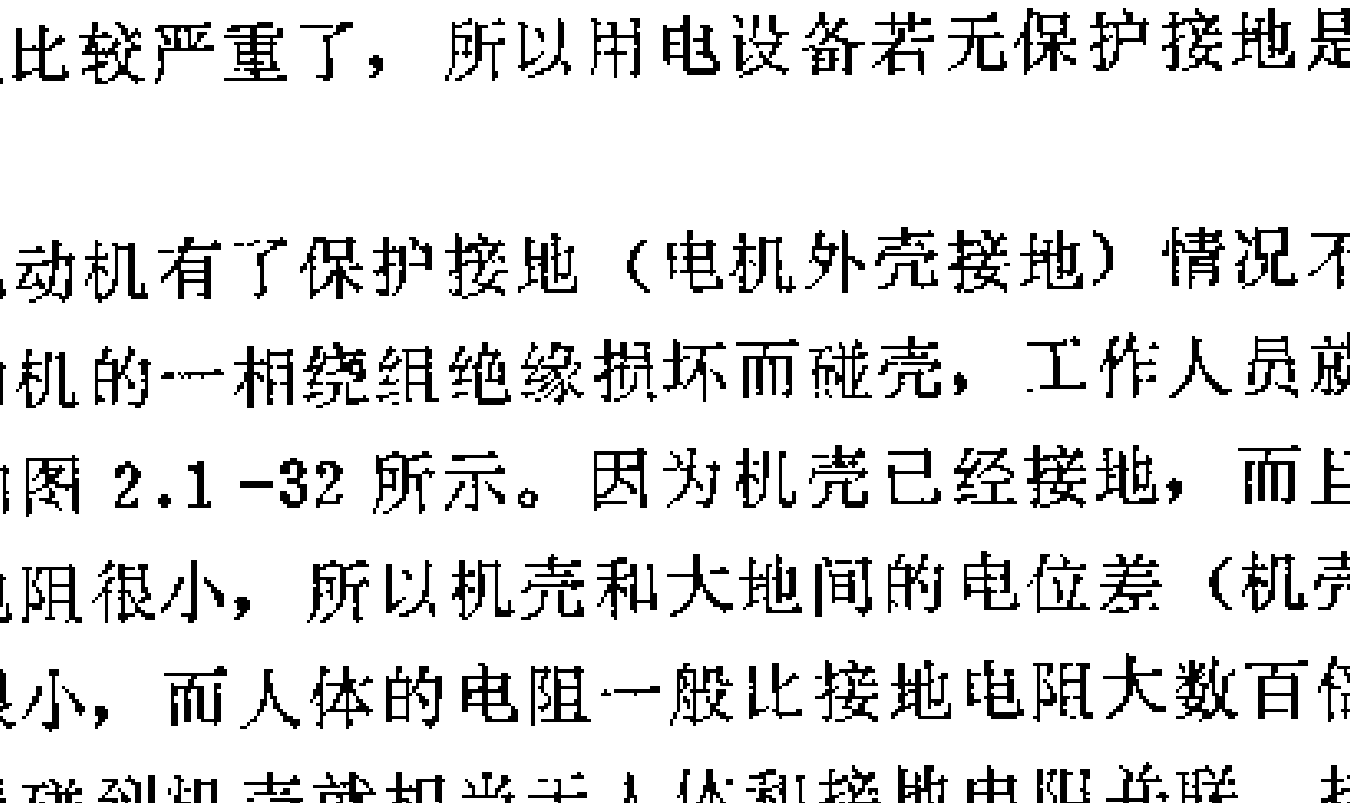


图2.1-32　三相电机外壳接地

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

路电流将同时沿着接地体和人体两条通路流过。

我们知道，流过每一条路径的电流值是与其电阻的大小成反比的。所以接地电阻愈小，流过人体的电流也就愈小。当接地电阻极为微小时，流经人体的电流几乎等于零，所以工作人员就不致有触电危险。

2. 保护接零线　保护接零线就是用设备的不带电的金属部分与零线作良好的金属连接。所谓零线是这样定义的，即在三相四线制供电系统中，当中点接地时，该点称为零点。由零点引出的导线，称为零线。而不接地的中点所引出的导线，称为中线。如图 2.1-33 及图 2.1-34 所示。

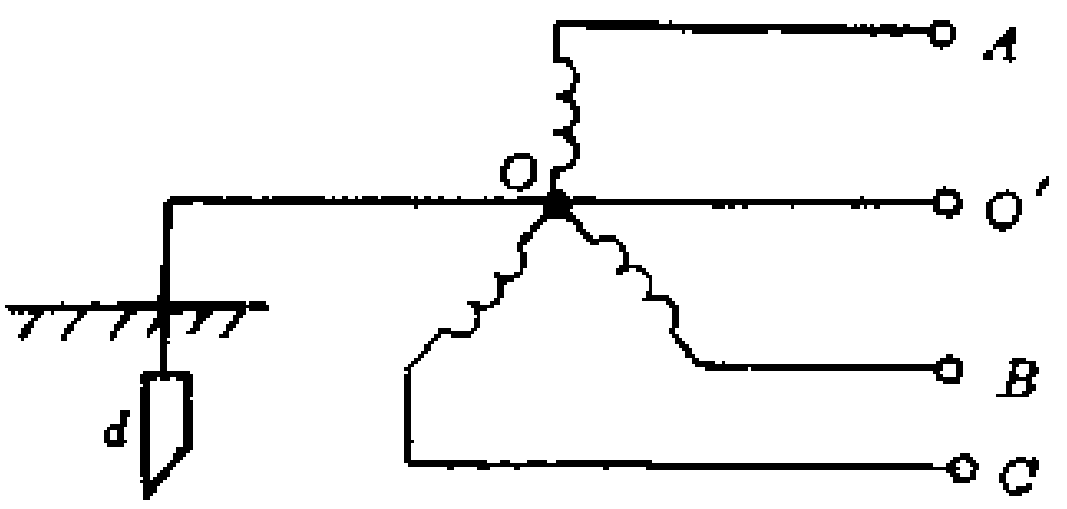


图2.1-33　三相电源的星形连接中点接地

一般在电源中点接地的低压三相供电系统中，用电设备都采用保护接零线。保护接零线的作用是，当用电设备的某一相绝缘损坏而碰壳时，该项可以通过机壳和中线形成单相短路，如图 2.1-35 所示。由于中线的电阻很小，所以会产生很大的短路电流，因而三相电路中的自动开关或熔断器能迅速动作，及时断电，消除危险，确保人身安全。

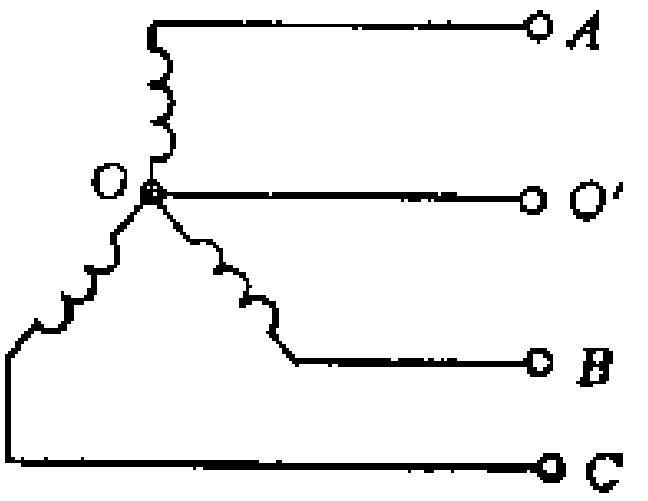


图2.1-34　三相电源的星形连接中点不接地

在同一供电系统中，不允许保护接零线保护接地线同时采用。否则当用电设备一相碰壳后，由于大地的电阻比中线

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

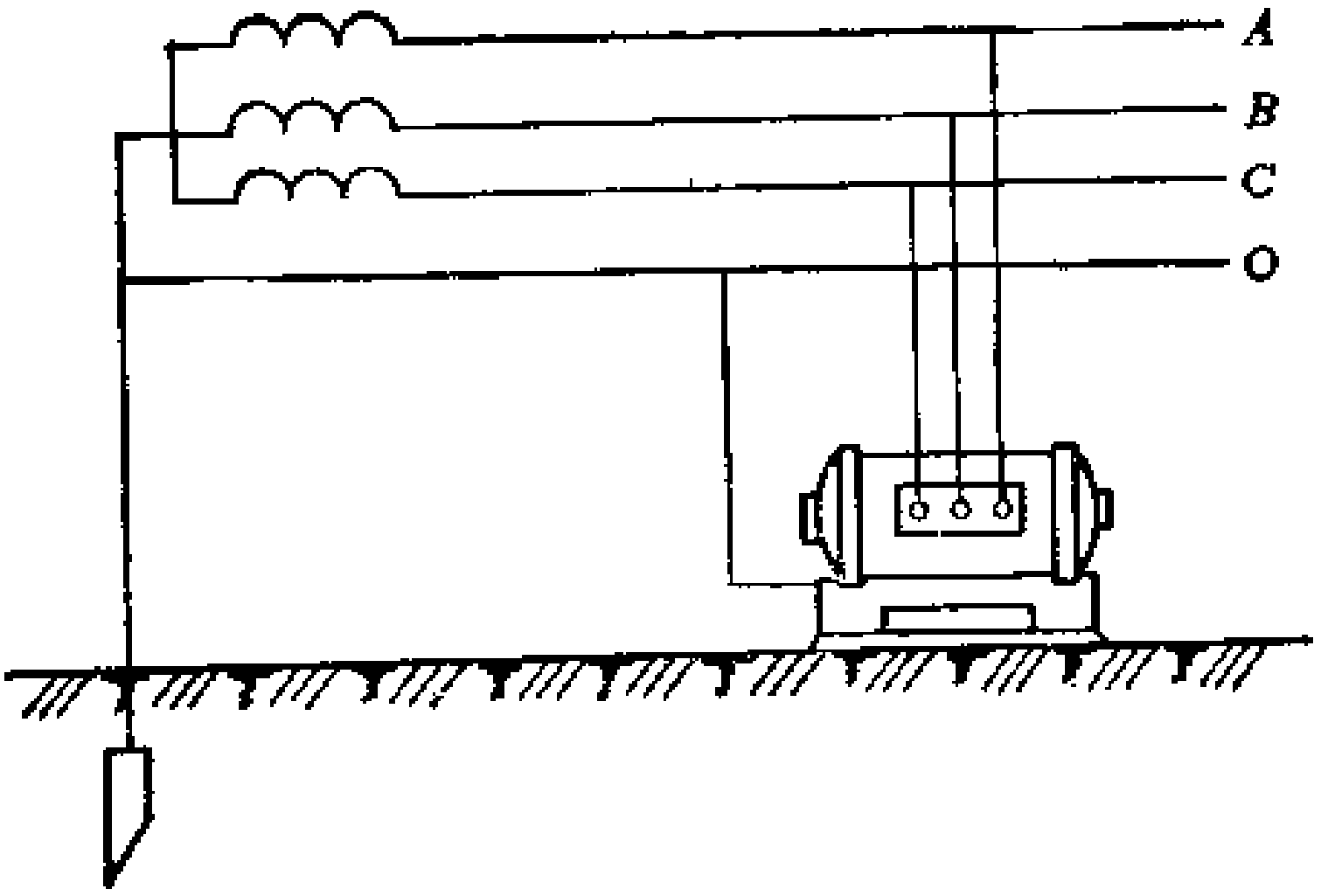


图2.1-35　三相电机外壳接中线

的电阻大很多，所以经过机壳、接地体和大地形成的短路电流往往不足以使自动开关或熔断器动作，而电流流过大地又使电源中点的电位升高，这样使所有接零线的用电设备的金属外壳或框架就出现了对地电压，造成更多的触电事故。

15　受压容器的基本知识（类别、等级、采用何种探伤方法、抽查比例、工艺要求等）

一、压力容器的分类

压力容器的种类很多，若按压力来分有低压容器（$1 \leqslant P \leqslant 1.6$MPa⊖）、中压容器（$1.6 < P \leqslant 10$MPa）、高压容器（$10 < P \leqslant 100$MPa）和超高压容器（$P > 1000$MPa）。根据容器的压力高低，生产过程中的重要性及介质的危害程度，以及从安全监察角度综合归纳为三类容器：

一类容器

（1）非易燃、易爆，无毒介质的低压容器；

⊖　1 kgf/cm² = 0.1 MPa，下同。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）易燃、易爆，有毒介质的低压分离容器和换热容器。

二类容器

（1）任何介质的中压容器；

（2）剧毒介质的低压容器；

（3）易燃、易爆，有毒介质的低压反应容器和贮运容器；

（4）低压热交换器（废热锅炉，D_i＜1000mm）。

三类容器

（1）任何介质的高压超高压容器；

（2）剧毒介质容器；

（3）易燃、易爆，有毒介质的中压反应容器；

（4）任何压力的热交器（废热锅炉）。

二、压力容器检验的无损探伤方法及抽查比例

压力容器经长期服役后，由于温度和压力频繁交变，而造成疲劳缺陷，或者是介质的腐蚀产生的应力腐蚀裂纹，这些隐患如不及早发现和清除，轻者损坏停产，重者造成灾难性事故。所以对压力容器要加强管理与监督检查。

用于压力容器检验的无损探伤方法一般有以下几种：

（1）表面缺陷的检验常采用磁粉探伤或是着色探伤。

（2）内部缺陷的检验常采用超声波探伤或是X射线探伤。

（3）容器壁厚的检测可使用超声波测厚仪。

压力容器的定期检查：可分为外部检查，内部检查和全面检验。

（1）外部检查

1）压力容器每年至少应进行一次外部检查。检查简

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

体、法兰、密封、螺栓、焊缝、开孔接管部位、有无泄漏、变形或裂纹等缺陷。

2）检查筒壁有无因超高温造成局部过热现象。

3）检查容器的基础有无下沉，倾斜或产生裂纹。基础的螺钉有无松动、裂纹和腐蚀等。

4）检查容器安全设施是否齐全、灵敏、可靠。

5）容器的防腐蚀层、保温层、是否完好，有无漏液痕迹和漏气现象。

（2）内外部检查　容器内外部的检验每三年至少进行一次，除外部检查的项目外，还应检查下列项目：

1）容器内外表面，开孔接管处有无介质腐蚀或冲刷磨损等现象。

2）容器的所有焊接接头，过渡区和其它应力集中的部位有无产生断裂或裂纹，对有怀疑的部位、可采用10倍的放大镜检查或用磁粉、着色进行表面探伤。如发现表面有裂纹时，可进一步抽查焊缝总长的20%采取超声波或X射线探伤，如未发现表面裂纹，对制造时已进行100%无损探伤检查的容器，可不作进一步检查。但对制造时采用局部无损探伤检验的容器，仍应进一步作适当的抽查（可小于20%）。

3）有衬里的容器，衬里是否有凸起，开裂及其它损坏现象。若衬里出现缺陷，有可能影响容器本体时，应将该处衬里去掉，并检查周围是否有腐蚀裂纹。

4）筒体，封头等通过上述检验后，发现有怀疑的部位，或应定点进行多处壁厚测量，如小于最小壁厚时，应重新进行强度核算，并提出可否继续使用的建议和许用最高工作压力。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

5）容器内壁由于温度、压力、介质腐蚀作用可能引起金属材料结构的破坏时（如脱碳、应力腐蚀、晶界腐蚀、疲劳裂纹等），必要时还应作金相检验和硬度测定，并写出检验报告。

6）高压、超高压容器的紧固螺栓，应逐个进行外形宏观检查，并用磁粉或着色探伤检查有无裂纹。

7）对于发现的缺陷，不论修复与否，均应作好记录，以便作为监视缺陷有无发现的依据。

（3）全面检验

1）容器的全面检验，一般是结合大修进行的，应每6年至少检验一次。除检验内外部项目外，还应对主要焊缝（或壳体）进行无损探伤抽查，抽查长度为容器焊缝总长的20%。对高压、超高压的反应堆容器，应进行100%的超声波探伤，必要时还应作表面探伤。

2）容器经内部检验合格后，应按规定作耐压试验。

3）对二、三类容器进行水压试验后，还应作内外壁宏观检验，并对内壁主要焊缝进行磁粉探伤。对易燃、易爆，有毒介质的容器（如卧式缸和球缸）应作100%的磁粉探伤。

16 生产技术管理知识

工业产品的质量是人们普遍关注的问题，它关系到人们日常生活的各个方面。在工业生产中高压、高温和高速运转的设备质量更为重要，一旦发生事故将会引起巨大的损失。因此在生产前、后和使用中都应采用各种检测手段，给产品质量进行评价。

无损检测是人们普遍感兴趣的检测方法，因为它不破坏产品，不损坏产品的性能，甚至可以使设备不停止运行，而

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

进行安全性、可靠性和性能、寿命方面的诊断和评价。为了保证产品质量和设备的安全运行，无损探伤的技术管理工作尤为重要。

一、无损探伤人员的管理

无损探伤是一项专业性很强的质量检验工作。无损检测方法随着科学技术的进步在不断地更新、提高。检测仪器的改进又将改变检测手段和检测结果以及重新对产品进行评价。因此对从事探伤工作的人员就要求知识更新和提高技术业务水平，提高对标准、法规的理解和执行能力。

全国无损检测学会和劳动人事部都制订了无损检测人员的资格考核规则。对从事该项工作的人员必须进行资格鉴定，取得相应的合格证书。因此无损检测部门应该是有一定知识结构的部门，并应进行专业分工。我国把无损检测人员分为三个级别，即Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级。Ⅲ级人员可以出任探伤工程师，主管一部分的探伤工作。并负责制订探伤方法，解释技术规范和法规，制定特殊的探伤技术以及解释探伤结果。还应有能力使用现有的标准，评价产品质量，也可凭借探伤工程师在材料、制造工艺和检验上的经验，在无标准的情况下，制订探伤方法和验收标准。亦应熟悉各种探伤方法的使用，去指导Ⅱ级和Ⅰ级人员的工作。Ⅱ级人员直接进行探伤操作，校验仪器和评价结果并出具报告，还应知道各种探伤方法的使用范围和局限性，并负责培训Ⅰ级人员。Ⅰ级人员主要是探伤人员，应能正确地执行工艺规定的操作，使用仪器设备，并能初步判断检测结果。

射线探伤的人员在从事该工作之前必须要求进行体格检查，尤其是血液的检查。以后每年需体检一次，对每人的血液情况进行登记和统计。在日常工作中发现有异常现象应及

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

时进行体检，以保证射线探伤人员的健康水平。

二、无损探伤设备和材料的管理

探伤结果来自设备和材料提供的信息，如果其性能不佳，提供信息的失真程度就会很大，从而对产品误判。

对探伤设备、材料的综合性管理主要是建立台帐和使用卡，以及定期检验，详细记载设备，材料进厂时的日期和性能。使用情况和故障，检修以及周期校验情况。探伤设备和材料应设专人保管，使用时应该严格按照操作规程操作，保证探伤结果的可靠性。

三、无损检测方法的管理

无损检测是把一定的物理能量加到被检验物上去，再使用特定的检测装置来检测这种物理能量的穿透、吸收、散射、反射、漏泄、渗透等现象的变化，来检查被检物有无异常现象。因此能不能把这种异常情况检查出来，与被物的材质、组织成分、形状、表面状态、大小，方向性和检测装置的特性等有很大的关系。一般来说，不管采用那一种检测方法，要完全检查出异常部分是不可能的。也就是说，虽经过无损检测，得到了没有缺陷的信息，也不应该认为一定不存在缺陷。另外，用无损检测测得的异常部分的种类、形状、大小、方向性等信息，由于所用检测方法的不同而不同。因此在进行无损检测时，对于不同的检测对象要合理地选择不同的检测方法，以达到较理想的效果。

无损检测实施时间的选择，必须是评定质量最适当的时间。例如一根曲轴，在热处理之前实施检测，主要是对原材料制造工艺的检查，而在热处理之后的检验，不管什么情况都是对热处理工艺操作的检验。因此，质量评定的对象是随质量评定时间的不同而不同。另外有时还要用不同的检测方

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

法，所以必须明确规定在什么时间、用什么方法来检验。又如高强度钢焊缝有时会产生延迟裂纹，大家知道它是在焊接后的几小时才开始发生的，而后逐渐扩大，因此如果过早的进行检验，则检验后仍会发生许多裂纹，所以通常至少要放一昼夜，然后再进行检验。

以上两例说明，选择什么时间检验，对正确的评定质量是极为重要的。

在无损检测过程中，若采用不适当的检测方法以及检测规范不正确时，检测结果的可靠性就有所降低。由于检测方法本身的特点所限，缺陷不能完全检出。为了尽量地提高检测结果的可靠性，必须选择适合于异常部分性质的检测方法。为此，必须预计被检物异常部分的性质，即预先分析被检物的材质，加工种类、加工过程或使用经过。必须预计缺陷可能是什么种类、形状、在什么部位、什么方向、推想它们的性质、随后再选择最适当的方法。因而，若按检测规范来确定的检测方法有时就不一定是最适当的方法，所以必须选择能够发现检测方法最大能力的检测规范。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

应　　会

1　正确使用射线剂量仪进行剂量计算

一、射线剂量仪的使用

测定射线的剂量。就能确定工作地点的剂量率以及工作人员在每个工作日内所感染的射线剂量，以此来促使放射线工作能很好地遵守安全技术规则，保护工作人员的健康。

测定射线的剂量，一般采用电离室和气体计数管两种方式。现以国产Ⅲ型放射性剂量仪为例，说明其使用方法。

这种仪器使用电压为 110 V 或 220 V，测量剂量范围是 0～0.5μR/ s 和 0～15μR/ s，能直接读出射线强度，准确度为±10%。

1. 仪器的使用方法

（1）将电源插头插在电源插座上。

（2）将电压调整从“关”渐渐调整到规定值。

（3）在刚开始的时候，应有一个红灯或绿灯发亮，线压指示表指针上升或下退是正常现象，待 0.5～1 min逐渐稳定。这时真空管的阴极已烧热，需要调整零位调节器，使指针达到“零位”，于是可开始测量。

2. 使用注意事项

（1）在接电源之前，应先了解电源电压是否与本仪器的使用电压相符。

（2）使用完毕后必须将电压调整旋钮回到“关”的位置。

（3）在调节零位时，应在远离放射物或X光机未开的

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

时候调节，以免影响测量值。

（4）使用时注意电压指示表指针在红格范围之内即可使用，最好将电压调整到使指针在红格白线上最为适当。

（5）使用与保藏时不宜置于潮湿处。

（6）在测量时不宜受到过分强烈射线以免计数管衰老或损坏，且使用时间不宜过长。

（7）本仪器应每两年用放射性钴60γ射线源进行校正。

二、使用射线计量仪进行剂量计算

射线探伤中的防护，就是减少射线对工作人员和其它人员的影响。也就是采取适当的措施从各方面把剂量控制在国家所规定的最大允许剂量标准（100mrem/周）以下，以避免超剂量照射和减少射线对人体的影响。

国家允许的剂量当量单位为雷姆（1rem＝1000mrem），但我们在探伤中用仪器测量到的单位是伦琴（1R＝1000mR），虽然伦琴与雷姆的物理含义不同，但对于X射线或γ射线而言，伦琴数可以近似为雷姆数，因而用辐射仪测量出伦琴数可以计算出是否超过最大允许剂量当量。

国家所规定的最大允许剂量标准为(100mrem/周)以下，即100mR/周。

因为　　1R＝1000mR＝100000μR

所以最大允许剂量也为100000μR/周。

若每周工作5天，每天工作6 h，则每秒钟所允许的最大剂量便为0.93μR。

在射线探伤工作场地，用Ⅲ型放射性线量仪所测得的射线剂量率为1.2μR/s时，此值已超过标准规定，就应采取以下三种措施进行防护。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

一是采用屏蔽物或增大距离的办法，减少人体接受的射线剂量率。

二是缩短接触射线的时间，这也是防护方法之一。因为人体所接受的总剂量与辐射源接触的时间成正比。

即 $$D = P_1 t$$

式中 D——总剂量当量；

P_1——剂量率；

t——时间。

2 根据评片标准正确地评片，作出结论，出具报告

射线探伤是为了从射线底片上来辨别缺陷的有无，说明缺陷的性质，解释缺陷存在的情况，推算缺陷可能发展的趋向等。同时根据被检查物的要求来决定是否合格。

射线底片的评定是一个细致而复杂的工作，需要长期的实践经验和理论分析，要多了解被检物的生产过程，缺陷的形成原因，以及做些实地的解剖观察工作，且有时还要配合其它试验，才能得出正确结论。

对于底片上缺陷的辨认，必须掌握底片评定技术，需在具体工作中，不断摸索经验，才能得到满意的结果。

在评定底片前需注意如下几个问题：

（1）底片上的标记、代号、符号应齐全，并不应覆盖被检验部位。

（2）底片上被检焊道的影像应规整齐全，不可缺边或缺角。

（3）底片上必须有透度计显示，被检部位须达到灵敏度要求。

（4）底片上被检部位黑度应符合要求。

（5）底片上不得有污点，水迹，或各种伪缺陷。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

只有达到以上要求的底片才能进行评定。盲目评定达不到要求的底片将无法保证被检工件的质量，这一点必须引起探伤人员的重视。

在观察底片时，评片人员一定要熟悉有关的评定标准，且严格按照评定标准进行评定。不掌握底片评定标准的人员不能参与底片评定。

一、缺陷的评定

焊缝射线照相底片的评定必须依据 GB3323—82 标准进行。具体评定情况如下：

（1） Ⅰ级焊缝内不准有裂纹，未熔合、未焊透、条状夹渣。

（2） Ⅱ、Ⅲ级焊缝内不准有裂纹、未熔合，以及双面焊和加垫板的单面焊的未焊透。

（3） Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级焊缝中允许存在的气孔点数对于不同板厚有不同的要求。

（4） Ⅱ、Ⅲ级焊缝中的条状夹渣必须同时满足单个条状夹渣长度，条状夹渣的总长度及条状夹渣间距的规定。

（5）在12 T 焊缝长度内有几种缺陷同时存在时，应先按各类缺陷单独评级。将其级别数之和减 1 作为缺陷综合焊缝质量等级。如有三种缺陷，应将其级别数之和减 2 作为缺陷综合的焊缝质量等级。

根据以上五条要求：即缺陷的性质，数量和大小，把底片划分为四个级别，依次为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ级。

二、出具报告

GB3323—82 标准的第四条规定了射线探伤记录与报告的内容，包括工件编号、照相编号、摄片部位（可用简图表示）及摄片条件、焊缝等级分类结果、缺陷的种类、返修次

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

射线照相记录

日期

工件编号	工件厚度	射线机	曝光参数			焦距	增感法	胶片
81P19	20(mm)	××2005	180kV C_1	5(mA)	5(min)	600(mm)	Pb(0.05)	D_7

评片记录：

片号	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	复照
A1					
2					
3					
4					

拍片人：×××　　评片人：×××

定位简图

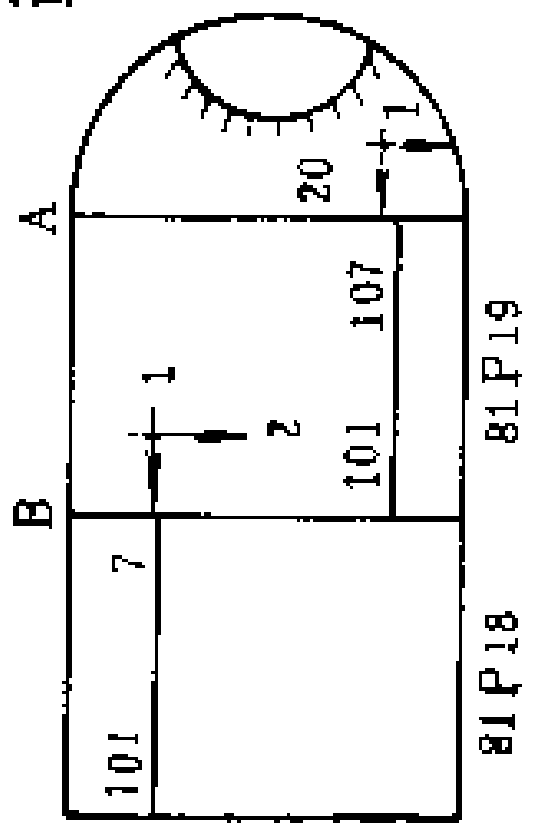


图2.2-1　射线探伤记录格式

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

数、其它事项还应用文字加以说明。

典型的射线探伤记录形式，如图 2.2-1 所示。

3　根据产品的几何形状、厚度、技术要求，正确选择探伤规范和有关技术条件

一、曲轴的磁粉探伤

曲轴有模锻和自由锻两种，以模锻居多。

1. 探伤方法　曲轴形状复杂且有一定的长度，可采用大型固定式磁粉探伤机，连续法轴通电方式进行周向磁化，线圈法分段纵向磁化，如图 2.2-2 所示。

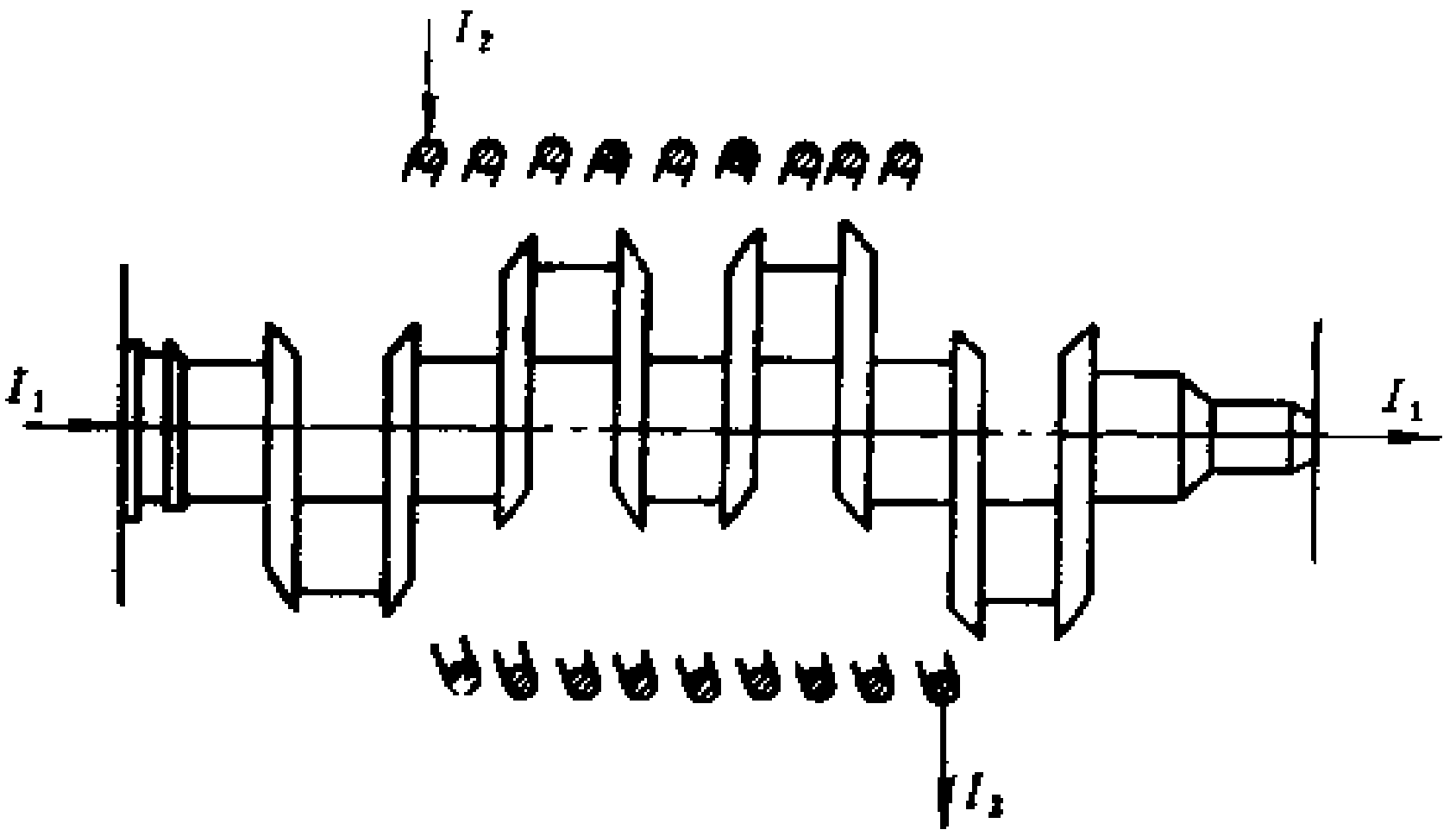


图2.2-2　曲轴磁粉探伤

2. 磁化规范　周向磁化电流　$I = 25D$　　(2.2-1)

纵向磁化，当 $L/D > 10$ 时，线圈中心的磁场强度可为 12000 A/m。亦即 150Oe

式中　I——电流强度（A）；

D——工件直径（mm）。

二、铸钢阀体磁粉探伤

铸钢阀体形状复杂，表面粗糙，探伤面积也很大，且要

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

求检测出表皮下有一定深度的缺陷，根据这种工件的特点，探伤时需作如下考虑：

（1）阀体的体积很大，不可能放置在固定式的探伤机上，应采用移动式探伤机，到现场进行探伤。

（2）由于需检查出皮下缺陷，宜采用直流电。

（3）工件表面粗糙，而且又是现场检查，宜采用干法进行探伤。

具体操作程序如下：

（1）清理受检表面，将工件表面的砂子、气化皮和油污等清除干净，且表面要完全干燥。

（2）用支杆法磁化，电流强度为800A，支杆间距200mm。

（3）在电流接通的情况下，用喷粉器将磁粉均匀喷撒在工件上，随后用压缩空气吹走多余的磁粉，但风量要适当掌握，不要将缺陷上的磁粉吹掉。

（4）切断电源，取下支杆电极。

（5）在适当照明下观察缺陷。

阀体上常出现的缺陷有热裂纹和冷裂纹，表现为锯齿状的线条，缩孔表现为不规则的，面积大小不等的斑点。夹渣表现为羽毛状的条纹。

三、飞机大梁螺栓孔探伤

飞机在服役过程中，机翼大梁螺栓孔易产生疲劳裂纹，裂纹的方向与孔的轴线平行，集中出现在孔的受力部位。铆刀变钝震颤产生的轴向刀痕也常常导致疲劳开裂。其临界裂纹尺寸很小，安全期很短，飞机往往因大梁断裂而坠毁，因此，定期探伤检验，提高早期裂纹的发现率极为重要。

对于螺栓孔疲劳裂纹的检测，最好的方法是磁粉探伤

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

—— 橡胶铸型法。螺栓孔检测部位如图 2.2-3 所示。

下面将介绍飞机机翼大梁螺栓孔的检验程序：

（1）将螺栓分解下来，把零号砂布装在手电钻上，孔壁打磨光，直至没有任何锈蚀痕迹，然后用干净抹布蘸上溶剂将孔壁彻底擦拭干净。

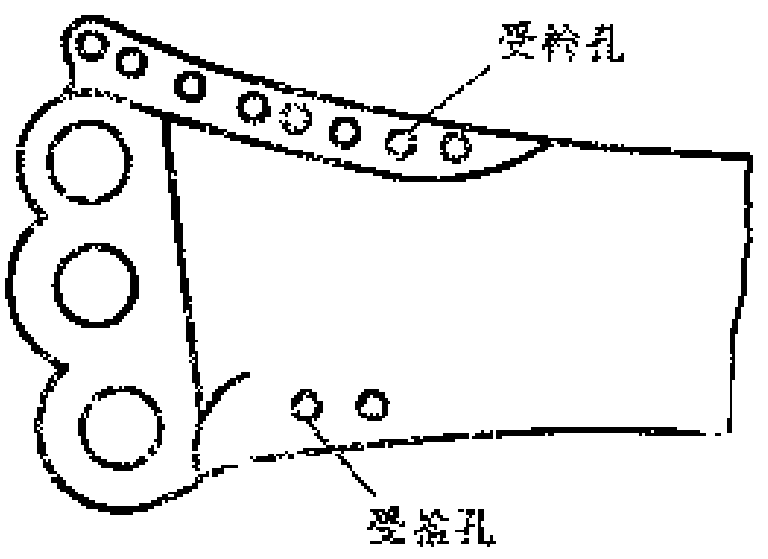


图2.2-3　机翼大梁受检部位

（2）将铜棒穿入孔中，电流取 $I = 40D$，用穿铜棒法磁化螺栓孔。

（3）用手指堵住孔的底部，先将黑色磁粉与挥发性溶剂配制的磁悬液注入孔内，直至注满，停留10 s 左右，然后把磁悬液流掉。

（4）将孔壁彻底进行干燥。

（5）用胶布将孔的下部堵住，如孔的下部为铅垫板，可用软木塞，尼龙塞塞住。

（6）将加入硫化剂的常温硫化硅橡胶注入孔中，直至灌满。

（7）橡胶固化后，从孔的上端将已固化的橡皮拨开，然后从孔的底部轻轻将铸件顶出。

（8）在良好的光线下，用 10 倍的放大镜检查橡胶铸件，或在实体显微镜下观察。

（9）退磁　可将橡胶铸型可作为永久记录保存。

四、转子中心孔的磁粉探伤

发电机转子在锻造时，没有墩粗工艺而只有拔长，所以缺陷大都是沿轴向分布的纵向缺陷。磁粉探伤时把产生磁场的电缆线直插入孔中，用直流电进行磁化，磁悬液通过油泵

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

注入铜管，从铜管的喷头向上喷出。转子的放置一端稍低一点，以便让多余的磁悬液流出。在断续磁化过程中，把磁悬液喷头从转子一端移向另一端，使整个内孔均匀地喷上磁悬液。

取出电缆后用潜望镜观看。

内孔的上半圆检查后，再将转子旋转180°，重复上述过程再探一次，这样整个内孔全部检查完毕。

磁悬液的配制，用120mL的磁膏溶于10L二次提炼的石油内。磁化电流的选择，原则上保持工件表面上磁场强度为800A/m。

实际探伤时使用电流：

当中心孔直径为100mm时，磁化直流电为2200A。

当中心孔直径为150mm时，磁化直流电为2400～2800A。

以上操作检查完毕后，必须进行退磁，且必须把剩磁退掉。

4 超声检测较复杂的工件并能正确地对缺陷进行定位、定量、判别波形

一、螺栓的探伤

电站中高温、高压部件，如气缸、调速气门等的紧固螺栓，在运行检修过程中经常发现有断裂的现象。多年来我国电站行业利用超声波探伤来检查螺栓中的初期裂纹，保证了电站的安全运行。

超声波检查螺栓的原理是基于同一种螺栓的螺纹形式都是一样的，它们对超声波的反射也基本相同，所以在荧光屏上螺纹波的特征都是相同的。但是，一旦在某一道螺纹处出现了裂纹，在荧光屏上就会出现一些特殊波形和波形变化。利用这个特点便可检测螺栓中的裂纹。

1. 螺纹反射波　螺栓螺纹的夹角一般为60°，如图2.2-4

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

所示。

用平探头在端面探测时，螺纹反射波主要由探头扩散声束在螺纹处的反射所形成的。每个螺纹反射波的波形接近，幅度相差甚小，除声程不同外，其它反射条件都基本相同。因此反射波的能量差异在3dB以内，荧光屏上的幅度差值不大于30%。相邻螺纹对超声波的反射无明显干扰，螺纹对底波的反射也没有影响，沿圆周探测时底波反射能量相等。同一螺纹在圆周各部位反射能量差异较大，探头沿圆周移动时波形时起时落。

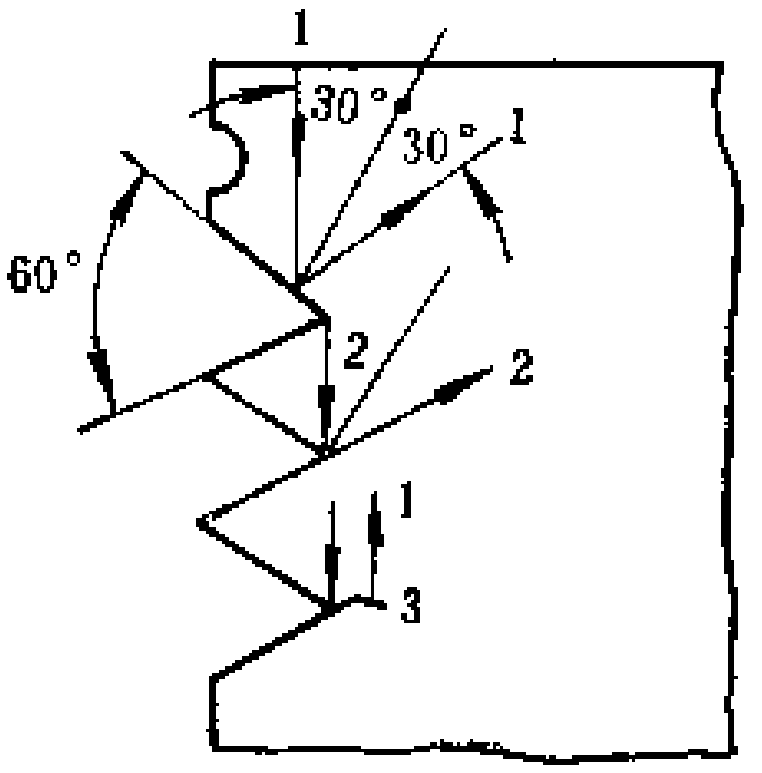


图2.2-1　超声波在螺纹上的反射

1—主声束　2—绕射声束　3—裂纹

2. 固有信号　同型号的螺栓对超声波的出现有规律的反射，这种反射不是由裂纹或其它缺陷引起，称为固有信号。掌握每种螺栓的固有信号规律，便于将它与裂纹区分。

3. 裂纹的反射波　由于螺栓螺纹处的裂纹大都是平行于端面的，对入射声波成垂直反射，因而声波在裂纹表面反射的能量大于从螺纹处反射的能量。调整仪器的灵敏度，将螺纹反射波全部消去，此时裂纹反射波仍然和底波同时存在。当裂纹深度为1mm时，其反射波一般大于6dB。裂纹能破坏相近螺纹的正常反射，当螺纹产生裂纹（即使深度很小）时，由于它沿圆周有一定的长度，对声波方向相邻的下螺纹的入射和反射起阻挡作用，因此荧光屏上可见到裂纹下邻螺纹的波高很小，甚至消失。

裂纹还能减弱底部反射波的能量。不管裂纹大小如何，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

它总是超出了螺纹，对入射声波起了阻挡作用，因而减弱了底波的反射能量，使裂纹处的底波幅度总是较正常区为低。

由于裂纹垂直于入射声束，在有裂纹处的螺栓两端进行探伤时，虽然声程不同，但反射能量都很强，通过两端探测可互相验证。对于小直径的螺栓周向裂纹，当探头置于螺栓端面中心附近时，反射最强。当探头沿圆周探测时，裂纹反射波的变化比较平稳，而且能探出沿圆周的长度。

（1）螺栓探伤方法

1）探测灵敏度的确定　采用与被测螺栓同样规格的螺栓做试块，以螺纹反射波高度确定探伤的起始灵敏度。将直探头置于螺栓的端面，调节仪器旋钮，使与探头相对一端的螺纹出现2～3个反射波，波高在20mm以下，以此作为探测的基准灵敏度。

2）探测方法　检查一端裁丝状态的螺栓，应该以螺母端的端面作为主要工作面，因为该种螺栓的裂纹均位于结合面处（即裁丝端螺纹中）。从螺母端进行检查，裂纹反射波的特征特别明显。检查时要着重观察该处波形的变化，发现可疑波形时，可从另一端验证。检查时探头在端面作周向移动，同时沿径向作往复移动如图2.2-5所示。

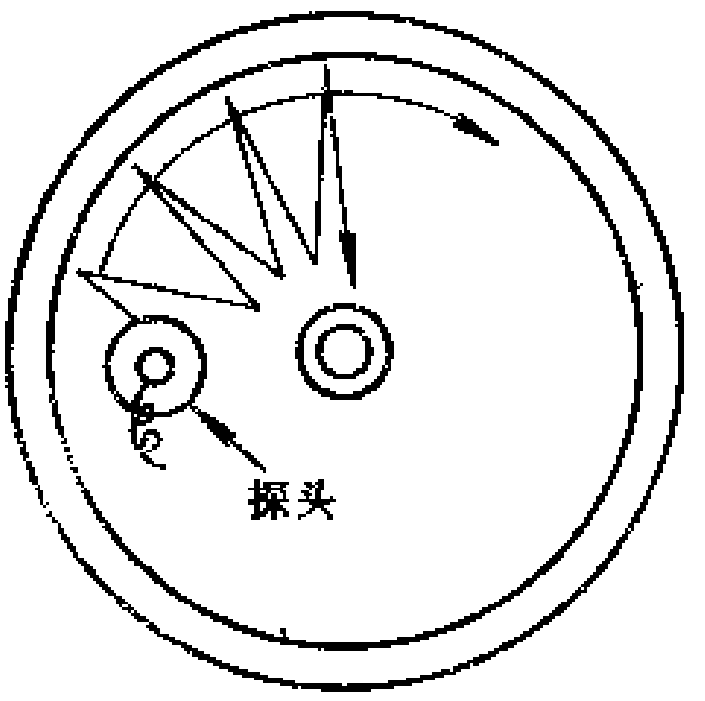


图2.2-5　探头移动方式示意图

（2）裂纹缺陷的判断

在基准灵敏度下，如出现波高在40mm以上的反射波，声程与工件接合面处的位置相对应，并沿圆周有一定的长度，则基本上可以认为是裂纹。再结合以下几点仔细地分析便可

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

得出正确的判断，比较裂纹与螺纹反射波的幅度差是否有明显增大；底波幅度是否低于其它区域；提高灵敏度，观察其对下邻的螺纹波是否有明显的阻挡；降低灵敏度，当螺纹波已消失时，观察它与底波是否同时存在；从另一端探测，该波形所在位置和幅度变化是否也有上述特征。

二、薄壁管对接焊缝的探伤

薄壁管（ϕ32～60mm，δ=3.5～6mm）对接焊缝的探伤，对于发现焊缝内的裂纹和未焊透还是较有效的。

1. 探伤方法

（1）对仪器的要求　使用高分辨率的仪器，工作频率为5MHz。

（2）对探头的要求　使用6×6、8×8的晶片，K=2.8的斜探头，其前沿距离a一般应小于7mm，最大不得大于10mm，用直射法时至少声束应达到焊根，探头斜楔接触面必须与管子吻合。

（3）仪器的调整及灵敏度的确定　用水平定位法，其探伤灵敏度为ϕ15mm标准孔反射波高大于基准高度10dB。所用试块见图2.2-6。

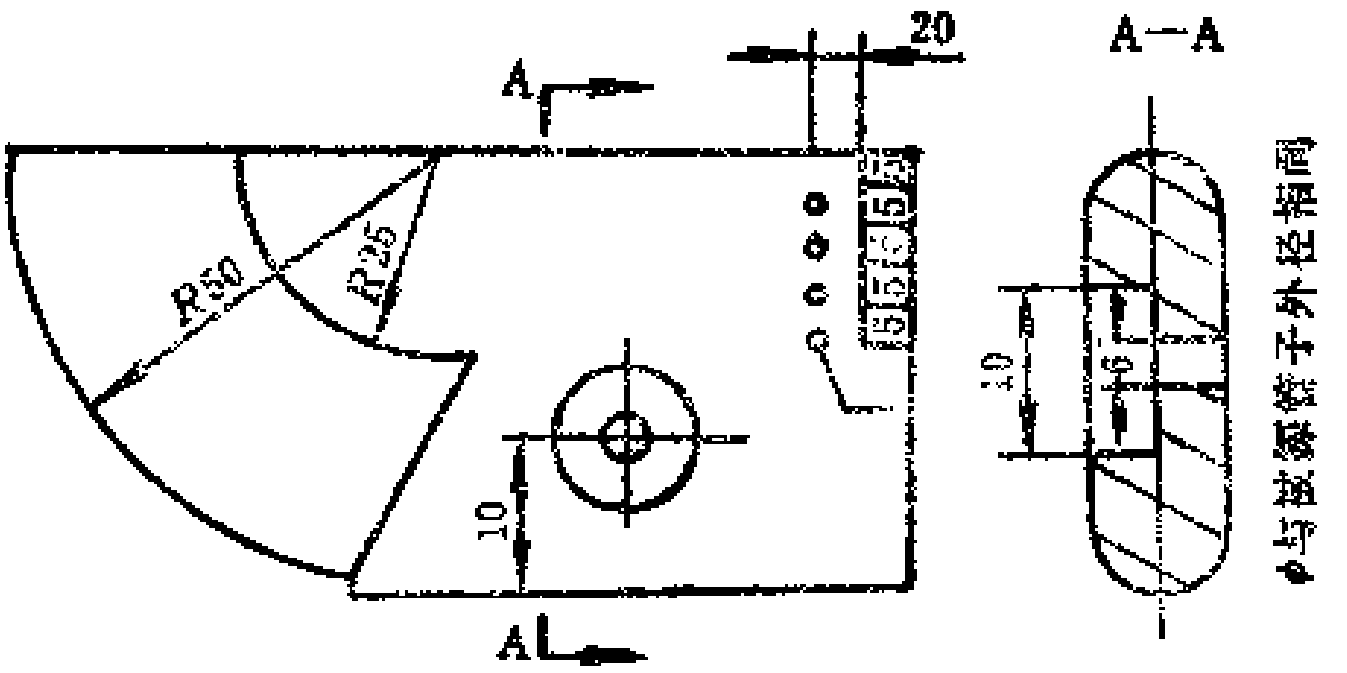


图2.2-6　管子探伤用的一种试块

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（4）标记点和观察区的确定

1）标记点　把0.5的跨距、1跨距、1.5跨距标记在荧光屏的刻度板上，如图2.2-7所示。

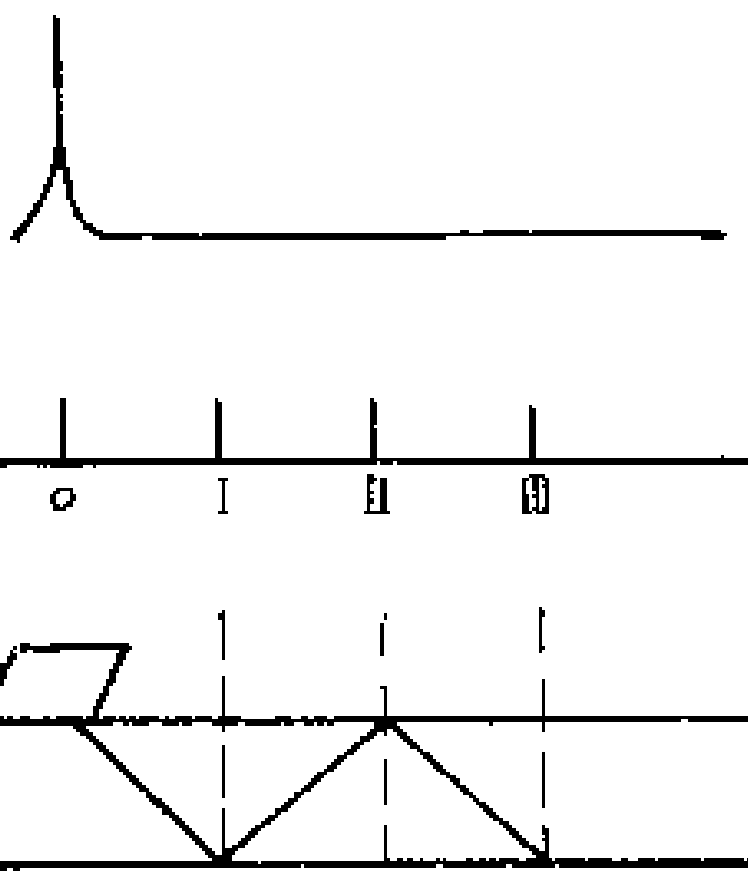


图2.2-7　探伤位置的确定方法

2）观察区　为便于鉴别缺陷波，可把荧光屏的读数分为三个区。对管子是V型坡口的焊缝，先确定第二观察区，由图2.2-8可见1跨距处包括整个第二观察区。第三观察区由图2.2-9确定。

用1.5跨距来发现根部缺陷是容易的。为减少判伤的困难，可把根部范围划在第三观察区，而把1跨距范围中扫查根部附近的区域划作非观察区。因这一部分出现的几何反射信号较多，故把它划在非观察区内可减少误判量。

2. 缺陷波的判断

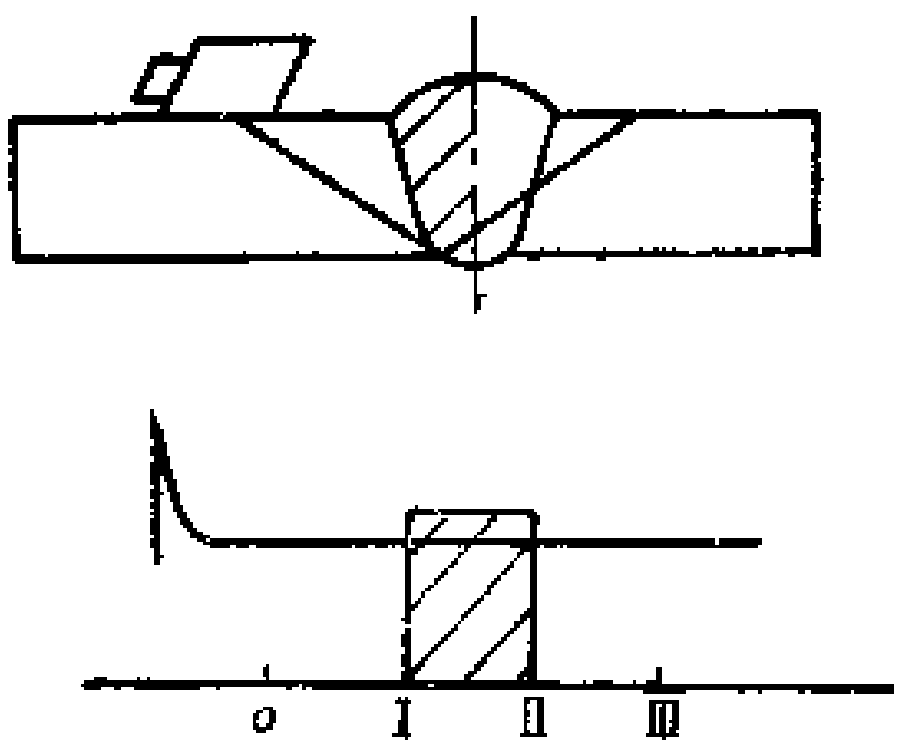


图2.2-8　探伤范围确定之一

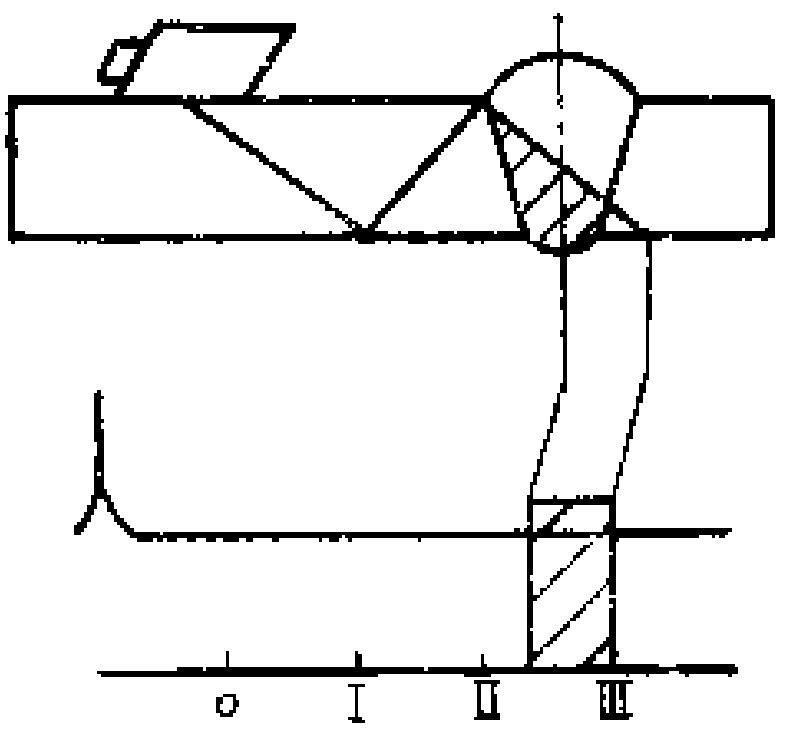


图2.2-9　探伤范围确定之二

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（1）凡是在0.5跨距点前出现反射波，可判为缺陷波。

（2）观察荧光屏上第几跨距范围内出现反射波。若前一次波未进入焊缝，该信号为缺陷波。若前一次波进入焊缝则该信号为几何反射波。

上述判伤的原则仅按声束中线考虑，但声束边缘也会造成几何反射，因此还要用下述方法进行判伤：

1）从焊缝两侧都发现反射波

① 如果定位均在焊缝中心则为缺陷。

② 如果定位均在靠近探头的一侧，则为两个缺陷。

③ 如果定位有一侧靠近探头，则为一个缺陷。

④ 如果从两侧定位，分别在远离探头的一侧，则为几何反射波。

2）单侧发现的反射波，如果定在焊缝中靠近探头的一侧或焊缝边缘，则为缺陷波。否则为几何反射波。

3）从两侧探伤，在1.5跨距（或0.5跨距）标记点均出现反射波，且定位均在同一位置，则为缺陷波。

4）一跨距点上出现反射波，只要有一侧靠近探头，也应判为缺陷。

5 分析射线底片报废原因并提出改进措施

在射线透照或暗室处理过程中，如不按操作规程或不小心，就会在底片上留下伪缺陷，给评定工作带来困难，以致于底片报废。所谓伪缺陷，就是由于不是存在缺陷，而是由于存在其它原因，在底片上出现了黑色痕迹，以致真伪难分。所以当出现这种情况而不能下结论时，应检查暗袋，增感屏和暗室处理的情况等。如不能找出原因，应再重照一张，在某些情况下，可在一个暗袋内放两张胶片进行曝光，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

以便比较区别伪缺陷。

伪缺陷生成的原因很多，现介绍几种易发生的伪缺陷。

（1）照相暗袋漏光，使胶片感光，而成形状不规则的黑色影像，有时易和夹渣、缩孔、裂纹相混。

（2）因受压、受折、使胶片感光，其影像有时很象裂纹。

（3）因冲洗不干净，留下黑色斑痕，易与夹渣物相混。

（4）在干燥天气，有时胶片与胶片间摩擦，则发生静电作用而感光，在射线底片上出现树枝状纹路或斑点。

（5）胶片受潮而膨胀，在表面起皱，经暗室处理后将会在底片上出现黑色细条纹路犹如水波。

（6）增感屏有污垢、剥落，或起了化学作用，降低感光性能、使底片黑化度减少，犹如工件里有重金属夹杂物一样（在检查铝焊缝时特别注意这个问题）。

（7）因探伤工作者不清，而在底片上留下指纹和污点。

（8）显影时因胶片表面附有小气泡，以致使该处未能起显影作用，则在底片上出现摄影密度较淡的圆形斑点。

（9）胶片在显影时，沾上了显影液，则在底片上呈现摄影密度大小形状不一的斑点。

（10）胶片在未显影时，沾上了定影液，则在底片上呈现了摄影密度淡的斑点，其外形轮廓上有黑边。

（11）胶片在显影时摇动不均，则在底片上呈现黑色条纹。

（12）工件表面的凸凹不平，造成底片摄影密度不一，易误为工件内部缺陷。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（13）胶片在荧光增感屏被光照射后，荧光还没有消失就装入暗袋中，造成感光而形成伪缺陷。

底片上伪缺陷的辨认需要一定的实践经验。在底片评定中，要避免见到黑影就返修的做法，因为很可能把不该返修的伪缺陷当做缺陷对待，这样不仅白白浪费工时和材料，且降低了焊缝强度。同时，也不应当在没有把握的情况下，武断地评定底片上的影像为伪缺陷，因为那样可能把真正的缺陷放掉。在底片评定时，如发现底片上有类似伪缺陷的影像时，正确的办法是应当进行重新拍照，以确定其是不是缺陷，这是比较可靠的做法。特别是当对底片真伪缺陷有争议时，必须重新拍照。

为避免底片上出现伪缺陷，造成底片之报废，探伤工作者应注意以下几点：

（1）对胶片和增感屏要注意保管和使用。

（2）工件在照相之前，对于表面应检查。发现有凸起和凹坑时需进行焊补和修磨。

（3）需定期更换药液。

（4）在冲洗胶片时，要按照暗室操作规程进行。

6　超声检测常见工件，结合工件制造工艺对缺陷进行分析并做出结论

一、锻件探伤

锻件内存在着各种类型的缺陷，其形成的机理也较为复杂，要全面的发现这些缺陷，必须采用超声波探伤、低倍、硫印、金相等多种手段才能完成。其中超声波探伤所发现的缺陷，按其形成的工艺过程可分为两种：一种是冶炼和铸造过程中形成的缩孔、疏松、偏析和夹杂物等；另一种是在锻造和热处理过程中形成的裂纹、白点和晶粒粗大等。现将这

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

些缺陷的形成原因和超声波探伤中的一些规律介绍如下：

1. 缩孔和缩管　缩孔和缩管都是在浇铸钢锭的过程中形成的。当液体金属注入钢锭模后，其凝固过程是从四周向中心，由底部向上部逐渐进行的，同时发生体积收缩。如果在冷却过程中不能随时补充液体金属，那么将在最后凝固的钢锭上部冒口部位形成空洞，空洞一般呈喇叭口状，此空洞即为缩孔。当缩孔较严重，具有较大的长度时，又称为缩管。

用超声波检查锻件中的缩孔，已不是它的原始形态，而是在锻造后未完全切除的残余缩孔。因此这些缩孔的位置都处于冒口端锻件中心部位，从一端向锻件内部延伸。在锻造时随着金属的延伸而被拉长，有时在锻造中可长达2m之多。

用超声波检查时，反射信号很强，且沿轴向连续存在。当缩孔较大时，底波有严重的衰减甚至消失。

2. 疏松　疏松形成的机理和缩孔相同，也是由于金属在凝固过程中因体积的收缩而造成的。所谓疏松，其本质就是固态金属的多孔或不致密。疏松与形成缩孔所不同的就是冷凝速度的差别。当冷凝速度快时，金属便不能产生集中的体积收缩，因而形成了弥散的多孔性。在铸造过程中，往往疏松伴随缩孔存在。经锻造之后，一般疏松情况能够得到不

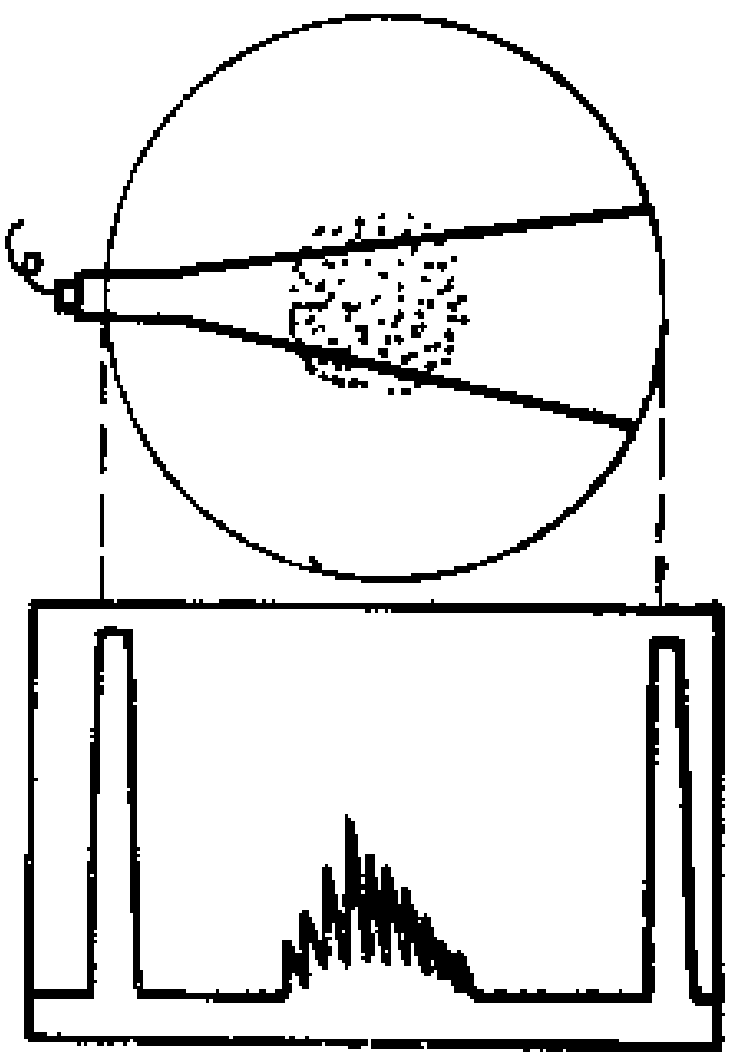


图2.2-10　锻件中的疏松及波形

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

同程度的改善。图2.2-10示出了锻件中疏松及探伤波形。

疏松也大多存在于冒口端，所以超声波探伤时底波明显降低，甚至消失，有时会出现很小的丛生的缺陷反射信号，有时甚至没有缺陷反射信号。

3. 夹杂物　材料中夹杂物的种类很多，但按其来源大体上可分为内在夹杂物和外来夹杂物两类。

（1）内在夹杂物　内在夹杂物是材料在冶炼、浇铸过程中，由于内部各成分间或金属与炉气、容器等接触所引起的化学反应而形成的产物。这类夹杂物的颗粒非常细小，且呈弥散分布，一般超声波较难发现。但在浇铸时由于这类夹杂物和金属的熔点不同，在冷凝过程中将集中于钢锭的中心，或钢锭的某些区域内，这种现象称为区域偏析。

在锻件中常见的偏析有两种，一种是密集于锻件中心部位，称为中心夹杂物；而另一种是离开锻件的中心部位，成方锥形，称为方形偏析。

按偏析区出现的部位不同，从钢锭的纵剖面看又可分为：

1）出现在钢锭上部的“V形偏析”；

2）出现在钢锭下部的“V形偏析”。

在偏析区中由于夹杂物过于集中，颗粒变大，对于这类缺陷超声波探伤有时是能发现的。

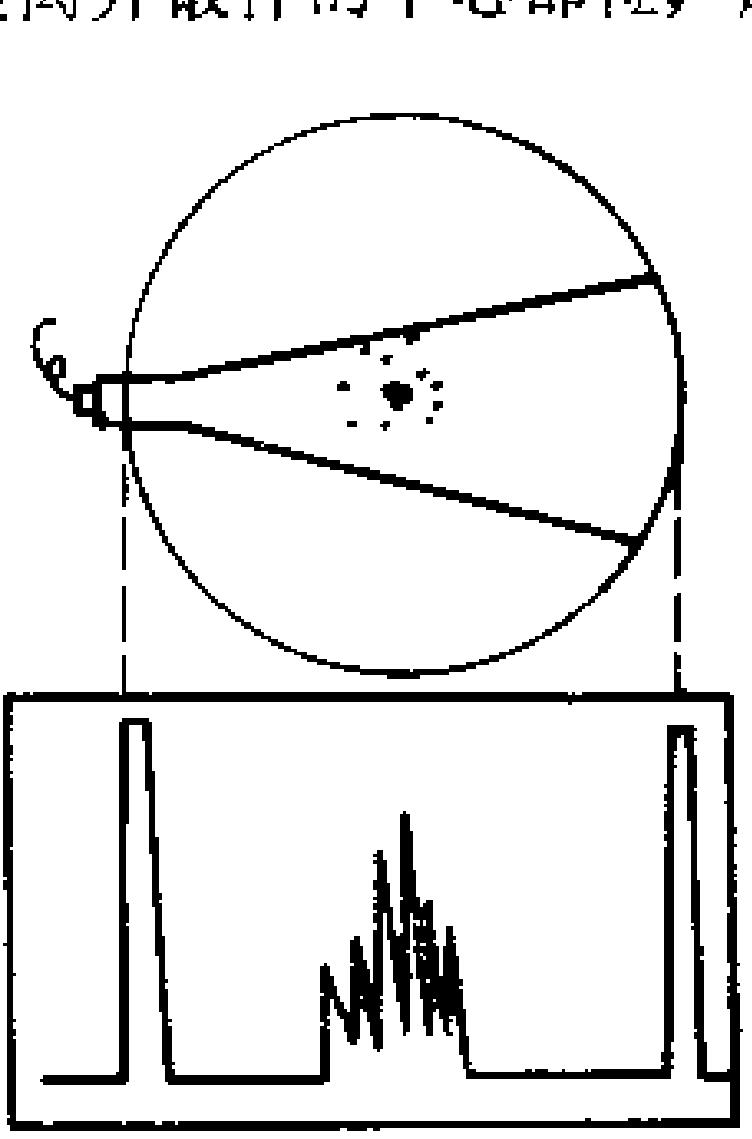


图2.2-11　锻件中的中心夹杂物及其波形

对于中心夹杂物，缺陷反射信号在荧光屏上相对于锻件

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的中心位置是丛状波形，如图2.2-11所示。缺陷当量一般均不大，最大约为ϕ_8、ϕ_4左右。

对于方形偏析，缺陷的反射信号在荧光屏上将出现以中心为对称的两丛波形，如图2.2-12所示。

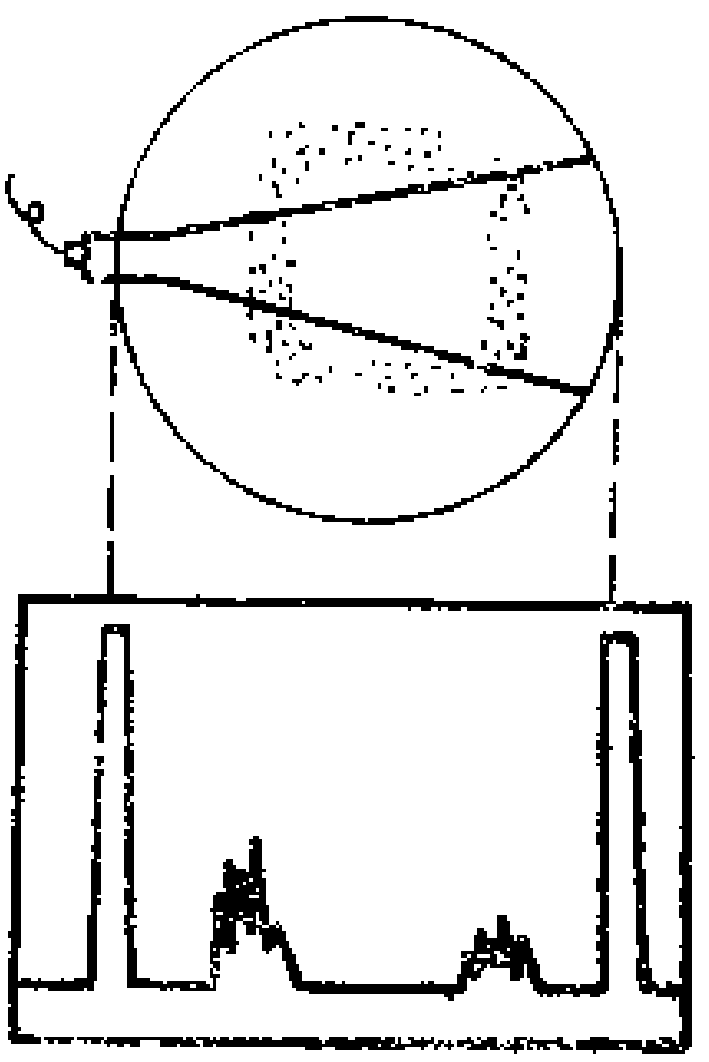


图2.2-12 锻件中的方形偏析及其波形

（2）外来夹杂物 这种夹杂物一般是从炼钢炉、钢包或其它设备上掉下来的耐火材料。这种夹杂物体积较大，虽然在锻造时，有可能被粉碎成较小颗粒或压成薄片状。但这类缺陷仍很容易被超声波探伤所发现。这种缺陷的出现和分布无一定规律，所以探伤时缺陷出现的位置也无规律可寻，缺陷反射信号大小也不一样。如果在某一区域发现了缺陷，往往不只是一个，而是多个群集。

4. 裂纹 金属在锻造和热处理等加工过程中，由于锻造温度不适当，加热温度不均匀；加热、冷却的速度不适宜，以及施加的压力不适当或不均匀都将引起金属的局部破裂，形成裂纹。

裂纹的种类很多，在工件中的分布位置也很广。例如在工件表面、近表面及内部都可能产生。现将锻件中最典型的中心锻造裂纹叙述如下。

这种裂纹的产生主要有三个方面的原因：

（1）锻造前工件加热不均匀或不足，俗称没有烧透；

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（2）停锻温度过低，工件外部冷却快，心部冷却慢，温差过大；

（3）由于高熔点或低熔点的夹杂物在晶界上密集析出。在上述三种情况下，金属在承受压力加工时，由于各自塑性变形不同，在其交界面上将产生滑移甚至撕裂。最典型的中心锻造裂纹，如图2.2-13所示。

这种裂纹在进行超声波探伤时，随着探头沿圆周方向移动，反射波幅变化很大，而且波形在荧光屏上游动。

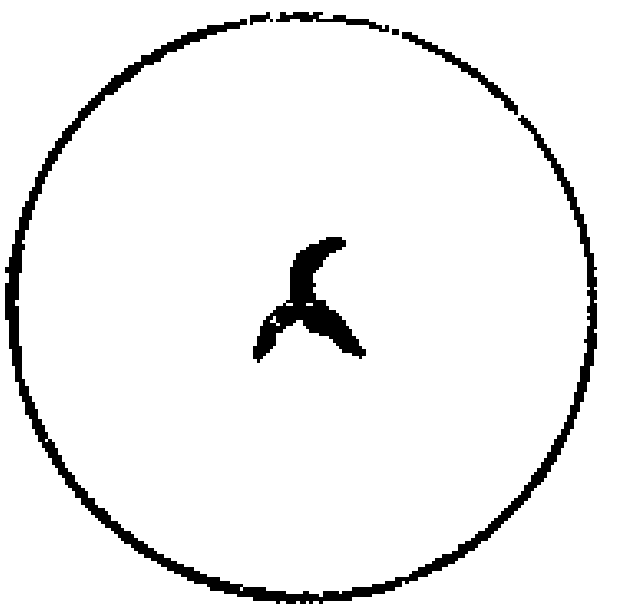


图2.2-13　中心锻造裂纹

5. 白点　在某些金属裂口上，有时会发现圆形或椭圆形、表面光滑呈银白色的斑点，其直径大小不等，从零点几毫米到十几毫米，这种缺陷称为白点。

实质上白点就是裂纹，它会严重地影响金属材料的延伸率，收缩率及韧性。白点最易产生在以镍、铬、锰为合金元素的合金结构钢中，低合金结构钢、碳素结构钢有时也会产生白点，但较少见。在奥氏体钢及莱氏体钢中未发现过白点。

关于白点形成的原因，尚未得出更确切的结论。目前都认为氢是形成白点的主要原因。在冶炼和浇铸过程中进入金属液体中的氢气是以原子状态存在的，在以后的热加工过程中，如果缓慢冷却，氢原子有从金属内部向外扩散的趋势，如果冷却过快，氢原子来不及从金属内扩散出去，而在金属内逐渐聚集并结合成氢分子。氢分子很难从金属中向外扩散，在其聚集的地方将造成巨大的局部应力，致使金属破坏。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

白点在形成时，有扩散现象，因此在锻件中所形成的位置有差异，对于小截面锻件，冷却快，来不及扩散，所以白点一般均在中心部位形成。超声波探伤时，在相对于锻件中心部位出现林状波。

对于较大截面的锻件，加热后冷却较慢，存在着明显的扩散现象。白点呈辐射状分布在锻件圆周的某一深度范围内。超声波探伤时，白点将出现在对称于锻件中心的两处，呈林状波，且浅的一处缺陷反射波幅度高，较深的一处缺陷反射波幅度低。白点的超声波探伤波形如图2.2-14所示。

在超声波探伤中，有时白点的波形和中心夹杂物，“V”形偏析，“方”形偏析等缺陷信号，在荧光屏上的分布位置容易混淆，这时可按以下三个方面区分：

（1）白点多出现在锻件的大截面段，而中心夹杂物和各种偏析，只出现在锻件的某一端。

（2）白点为清晰的林状波；而中心夹杂物和各种偏析则为连续起伏的丛状波。

（3）白点对超声波反射强烈，所以对底波影响大；而中心夹杂物和各种偏析，因透声性较好，所以对底波影响小。

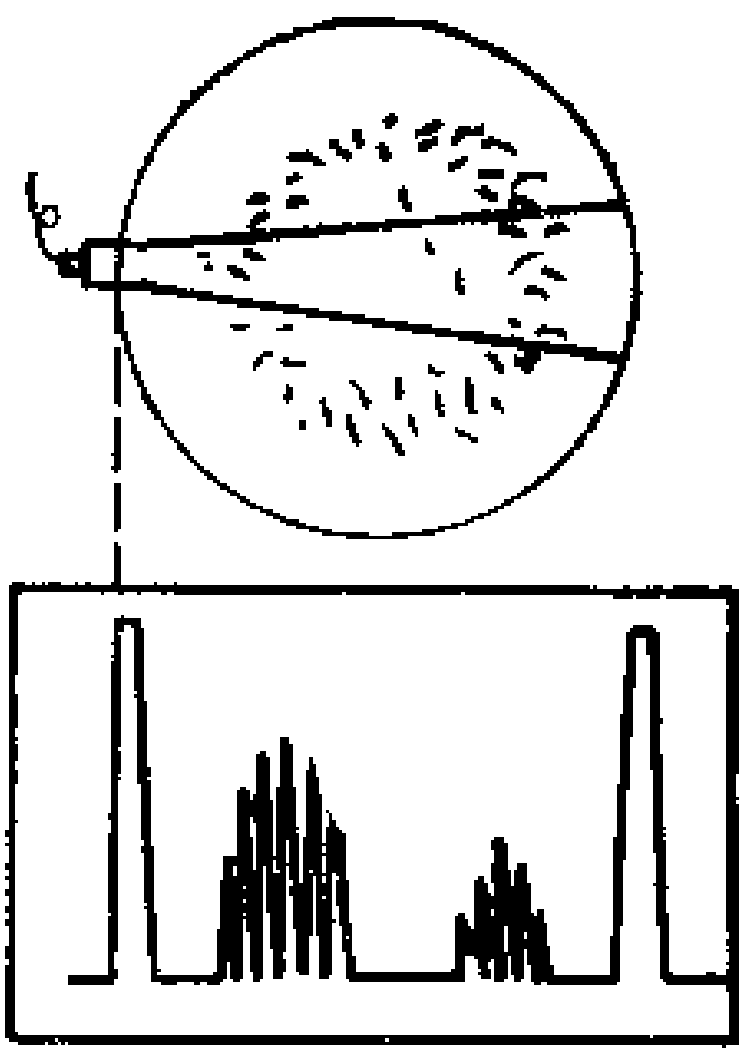


图2.2-14　锻件白点及探伤波形

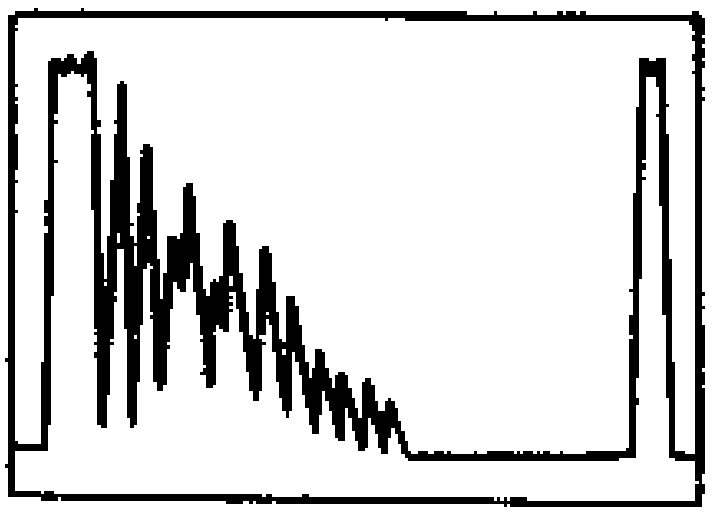


图2.2-15　晶粒粗大的波形

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

6. 晶粒粗大　晶粒粗大对超声波的吸收和散射影响甚大，在探伤中将引起超声能量的强烈衰减，而且还会引起很多杂乱的反射信号，图2.2-15即为晶粒粗大所引起的超声波波形，这对超声波探伤十分不利。

此种波形在荧光屏上出现是有一定规律的，不论探头放在工件表面的任何位置上，反射信号都出现在相对于锻件近表面的一段区域里，且波形呈自由衰减形式。

二、铸钢件探伤

用超声波对铸钢件进行探伤，因它在铸钢件内的衰减不是很大，所以声（束）的穿透性还是可以的。在这种情况下，可选择适当的探伤灵敏度和探测频率进行探伤。其灵敏度的选定得合适与否是非常重要的，一般讲应选择较低的频率，如 2.5MHz以下。另外有相当一部分的铸钢件可不进行表面加工，探伤面较粗糙，如采用一般的机油耦合势必降低声能的穿透率，因而使探伤灵敏度降低。为此，在探测表面不加工的铸钢时，必须采用粘度较大的机油，黄油和水玻璃等作为声耦合剂。当然粘度过大的耦合剂也要吸收一部分声能，但能保证声能传播到工件中去这一主要条件。

铸钢件中常见的宏观缺陷是缩孔、疏松、气孔、夹砂和裂纹，尤其疏松是铸钢件中最普遍存在的缺陷。较大的疏松、缩孔会产生明显的反射回波，有时在探伤仪荧光屏上反射波形是单个的，有时是丛生的，这需由疏松之间的距离，大小决定。但如果是细面密集的小疏松，则会造成声能的慢散射，以致声能严重衰减，在荧光屏上使底波消失，出现所谓的无底波区。如果此时把仪器的灵敏度提高，有时也会出现底波和杂乱的缺陷反射波。如果是大小掺杂的疏松，在荧光屏上的波形将会是既有较高的伤波，又有明显的底波下降

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

或底波消失。

在某些形状复杂的铸钢件中，拐角部分往往出现缩孔、疏松，因而探伤灵敏度的选择和探伤方法的选定是十分重要的，可根据实际情况来决定。

为了正确地选择超声波探伤灵敏度，采用超声——射线透照的方法是行之有效的。具体是将已有的铸钢件射线照相的标准底片，按其零件使用的技术条件选出其中合格与不合格的界限，再用存在着这种界限的缺陷部分，来调整超声波探伤仪灵敏度的临界值，从而对整个工件进行探伤并评级。

由于铸钢生产工艺较压力加工的型材为简单，因而由探伤波波形来判断缺陷的性质也较容易，所以在铸钢件的超声波探伤中，往往根据对探伤波波形和加工工艺所作的综合分析来判断缺陷的性质。但必须说明的是这种分析的前提是被探铸钢件的组织较为均匀，晶粒不太粗大，否则仍会产生错误

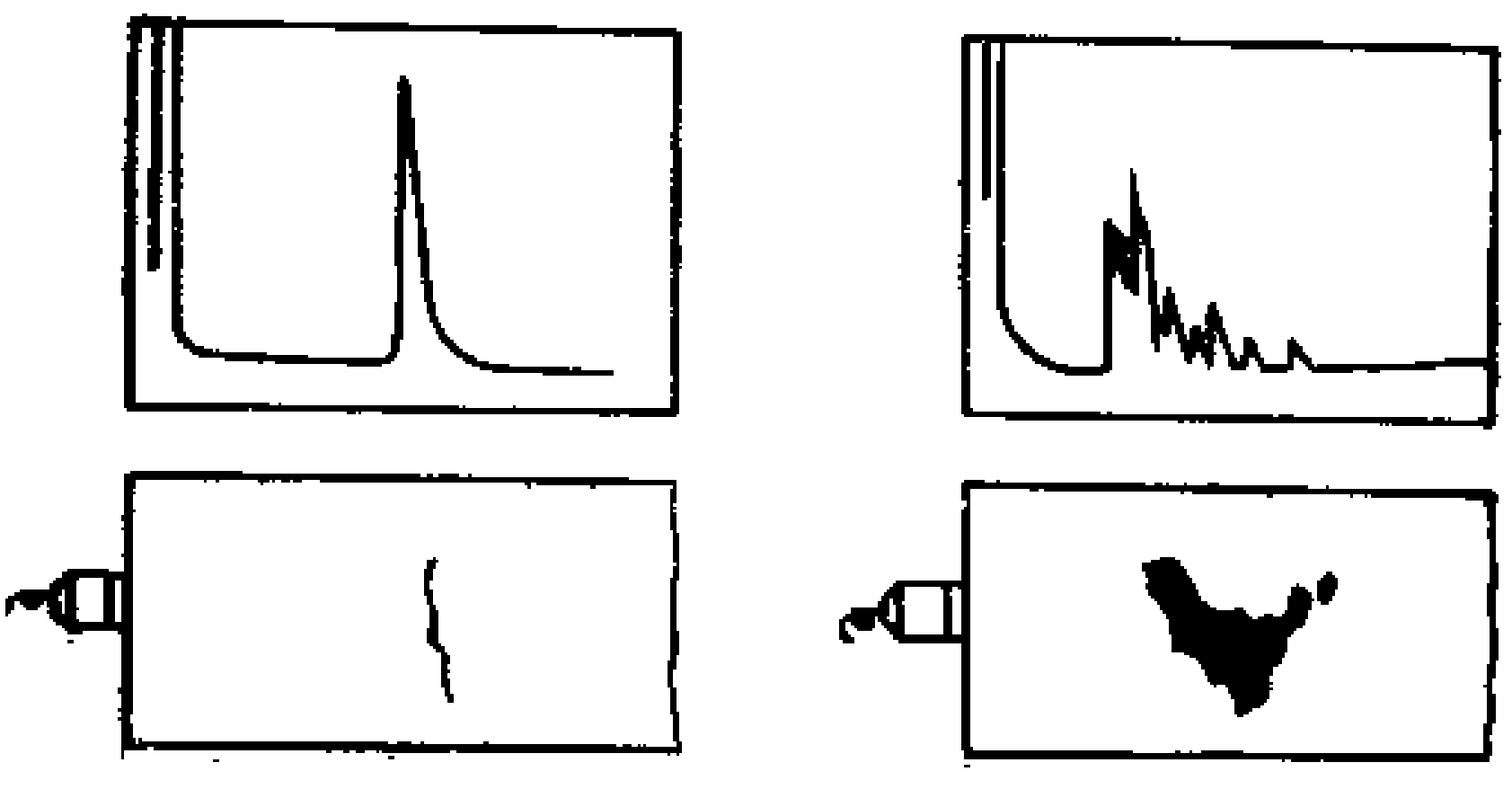


图2.2-16　铸钢中的缺陷及波形

a）裂纹及波形　b）缩孔及波形

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的判断。作为判断者其经验应较丰富，分析问题时应特别细小，草率下结论是难以做到判断正确的。几种缺陷的伤波波形如图2.2-16所示。

由上图可以看出，裂纹的反射波形较尖锐整齐，也较高，而缩孔类的缺陷由于形状不规则，且易聚集，所以反射波不单纯，当其尺寸较大时，也会产生相当强的反射波。夹砂或夹杂类的波形与缩孔差不多，只是密集性差一些。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

工 作 实 例

1　能独立地对整台容器探伤

一、双面对接焊缝（单壁单透、周向曝光）、管道单面对接焊缝（单壁单面成像、双壁单面成像、双壁双面成像）的射线探伤

1. 单壁透照单面成像技术　单壁透照单面成像技术是把射线源放在工件外侧，而将X射线胶片放在工件的内侧（或另一侧），使射线透过工件的单层壁厚进行射线探伤的一种常用技术。图2.3-1是平板工件所采用的单壁透照单面成像技术。

使用这一技术时应注意如下几个方面的问题：

（1）射线的入射方向应尽可能地与工件表面相垂直，以保证缺陷的检测灵敏度。

（2）如无法使射线中心束垂直于工件表面，则应按焊缝中心线方向选择一定的入射角度，但所选择的角度不宜过大，最佳的角度是使射线传播的方向与焊缝中心线相平行。

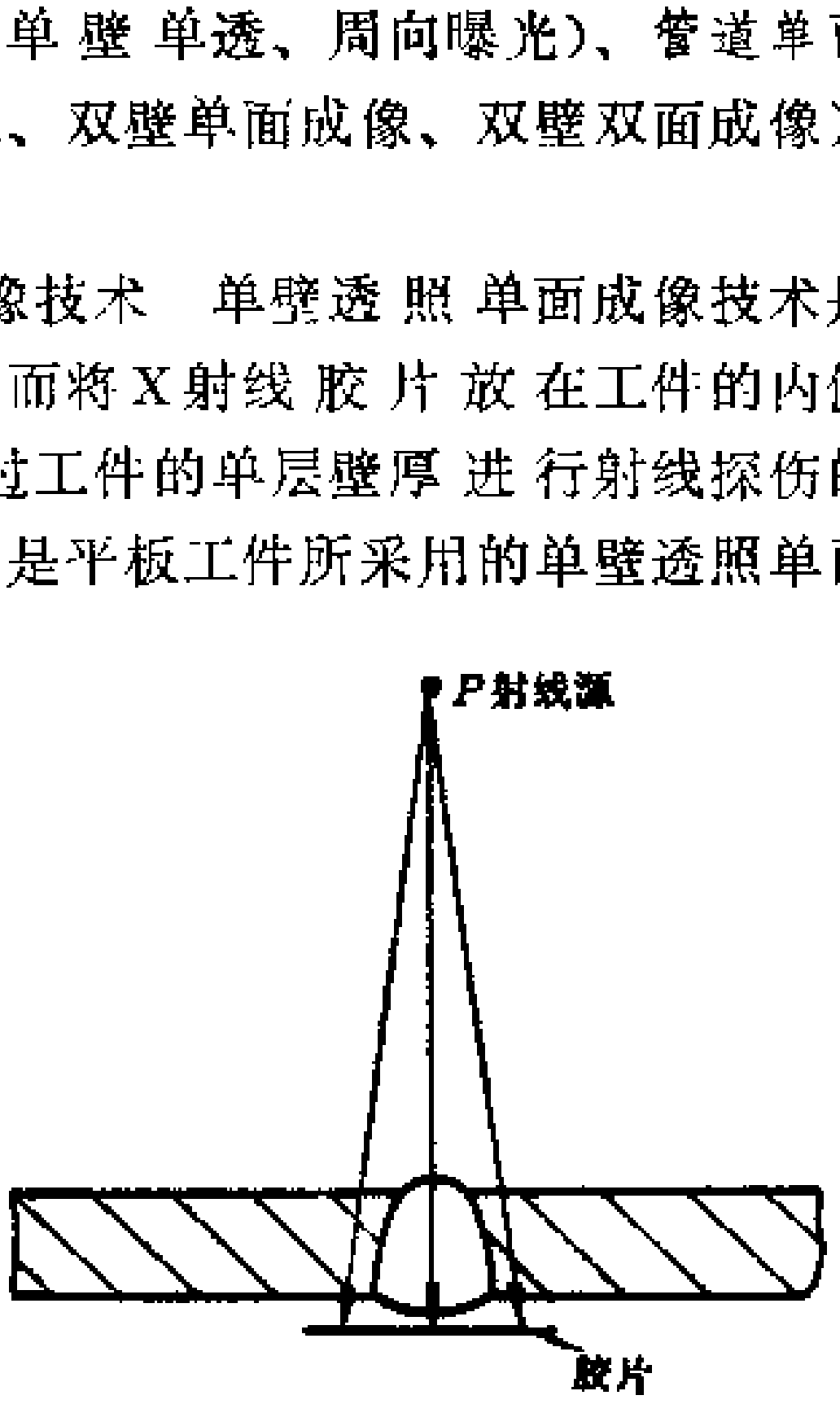


图2.3-1　平板工件的单壁单面成像

（3）对带有曲率工件的周向焊缝进行射线探伤时，射

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

线中心束必须对准X射线的胶片中心（长度方向上的中心），该中心还必须与工件上的划线中心相重合。以免射线照相两端头的照度不一，影响射线照相质量。

（4）透照焦距应满足一定的要求，还必须使透照的有效长度大于射线探伤时所划分的拍片段落的长度，防止产生漏检现象。

（5）对直径小于600mm的工件采用这种单壁透照单面成像技术时，必须在X胶片的背面衬垫背部铅板，防止由工件内表面所产生的散射线射达X射线胶片，降低射线照相的清晰度及反差。

单壁透照单面成像技术除了应用于平板和带有曲率工件的焊缝射线探伤以外，还可以应用于角接、搭接、大口径管座焊缝的射线探伤。

简单的角接焊缝射线探伤方法如图2.3-2所示。在使用这一技术时应将射线束传播方向平行于焊缝中心线。在放置

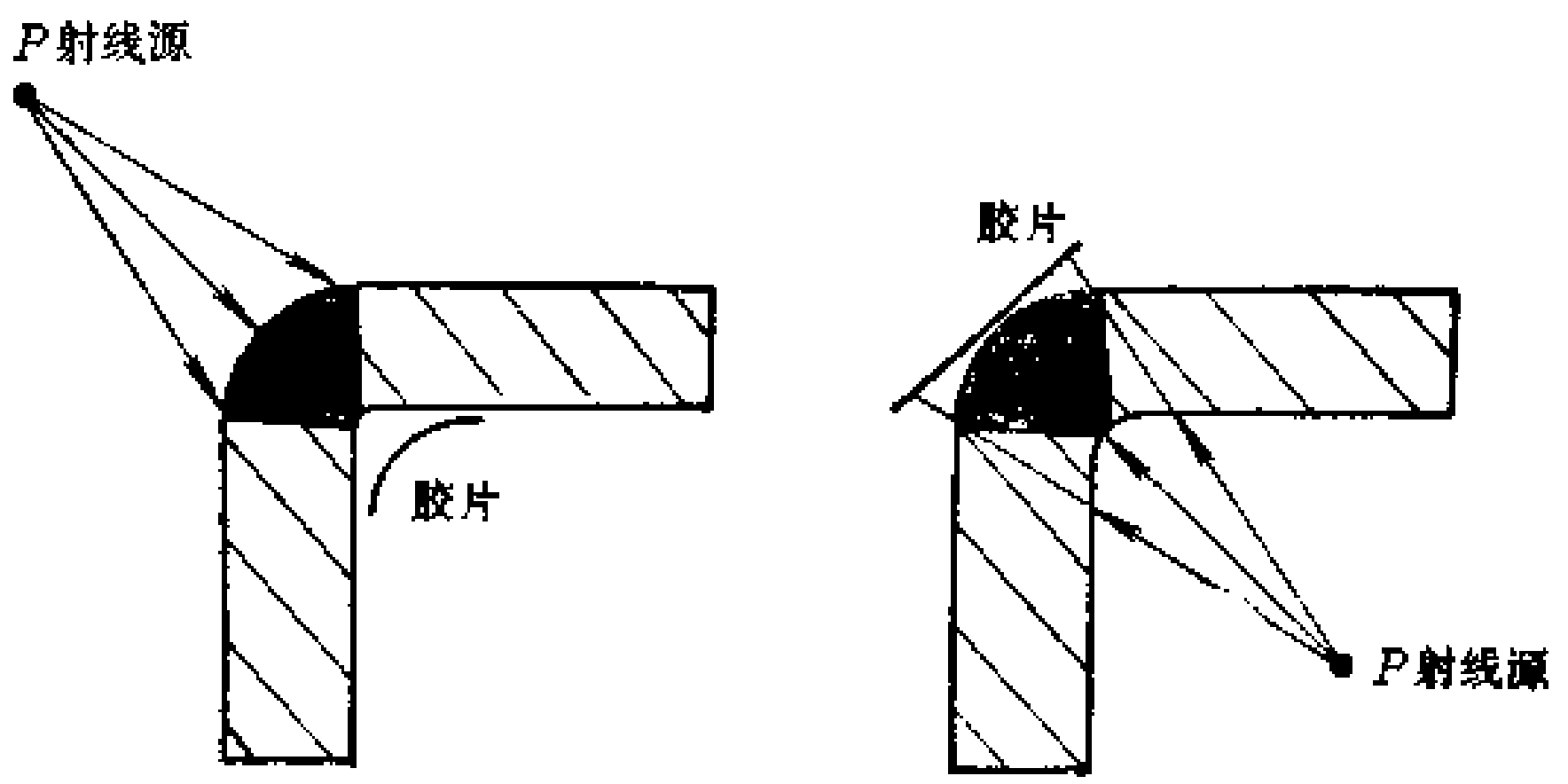


图2.3-2　角接焊缝射线探伤技术

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

X射线胶片时应注意不要使其弯曲过度，但应尽可能地把X射线胶片与工件贴紧。

在金属结构件中大量采用T形结构的角接焊缝，T形角接焊缝的射线照相透照技术如图2.3-3所示。

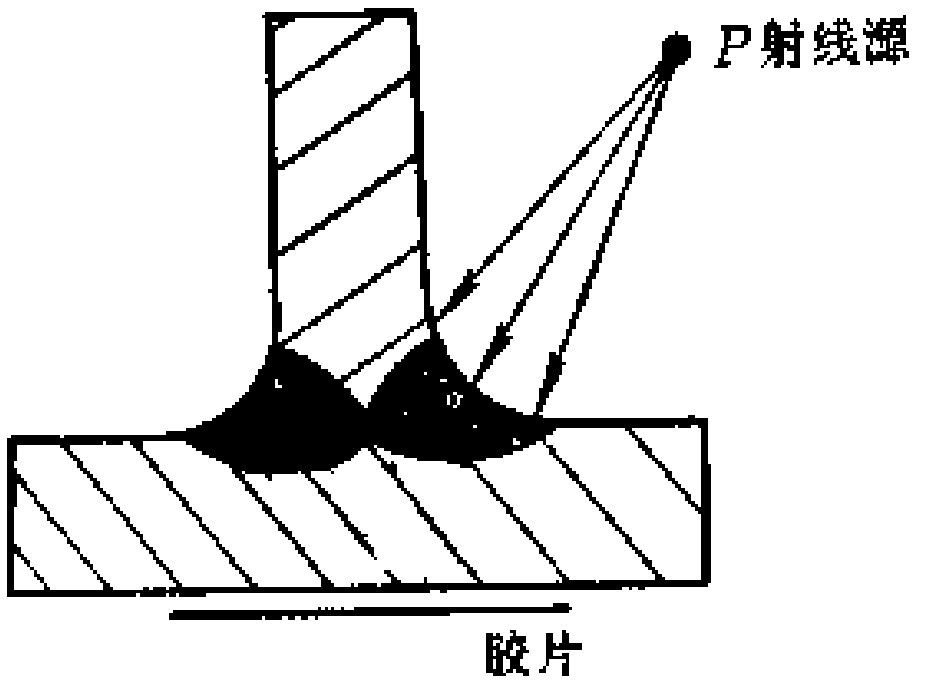


图2.3-3　T形角接焊缝的射线照相透照技术

T形角接焊缝射线探伤时，射线束不可能完全垂直入射工件的表面，必须按照工件形状及焊缝的结构倾向一定的角度，角度的大小同样以不影响焊缝区域在X射线胶片上的投影为准。但摄片的焦距和曝光条件的选择，应按倾斜角度和工件名义厚度之间的关系选择。

为保证缺陷的检出率，应对垂直翼板左右两侧的焊缝都进行透照，即在左侧和右侧各拍摄一张射线照片。

2. 双壁透照单面成像技术　双壁透照单面成像技术是把射线源置于工件外侧，而把X射线胶片置于射线源对面一侧的工件表面，射束透过工件的双层壁厚，把靠近X射线胶片一侧工件的材料图像投影在X射线胶片上的一种透照技技，这一技术的原理见图2.3-4。

应用这一技术时应注意如下几个方面的问题：

（1）对直径在200mm以上的工件使用双壁透照单面成像技术时，射线束可以垂直入射工件表面，按照几何光学的原理，靠近射线源一侧工件材料图像，由于像距和物距的比例失调而发散，不在胶片上成像，只有靠近X射线胶片

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

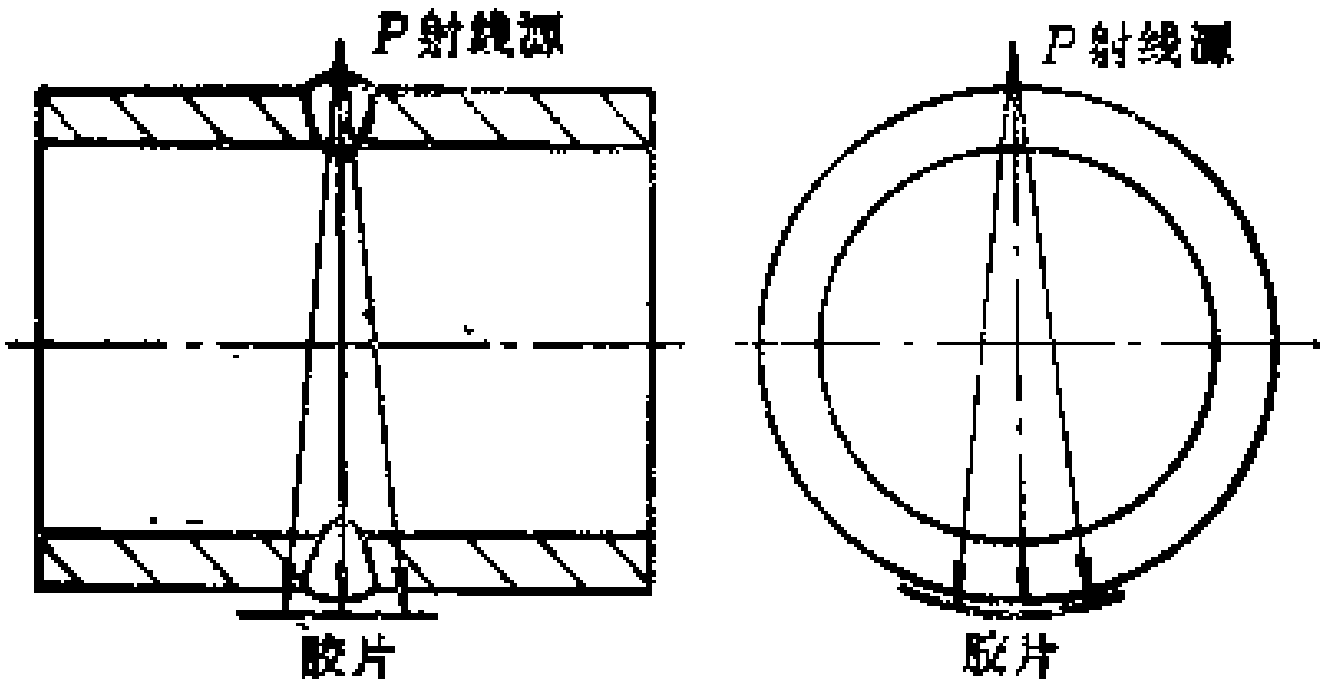


图2.3-4　双壁透照单面成像技术

一侧的工件材料图像在X射线胶片上成像。

（2）对直径小于200mm的工件使用双壁透照单面成像技术时，必须使射线束倾斜入射工件表面，但倾斜角度不宜过大，以靠近射线源工件材料图像不投影在X射线胶片上为准。为了保证缺陷检出率，倾斜角度一般不宜超过20°。

（3）在安放胶片时应使胶片与工件表面相互贴紧，以减少散射线对胶片的影响，提高射线照相质量。

（4）射线探伤时摄片焦距的选择应满足一定要求，并依此为基准按透照有效长度的规律，尽量采用较短的焦距进行射线探伤。

（5）射线中心束无论是垂直投影还是倾斜投影，都必须通过工件圆心位置后射达X射线胶片长度方向中心，且这一中心应与工件划线段落的中心相重合。防止所摄得的射线照片两端黑度不一，降低射线照相质量。

双壁透照单面成像技术可应用于直径大于80mm的管道对接焊缝的射线探伤。除此以外，还可以应用于结构比较特殊的工件焊缝（如密封容器焊缝）及中等口径的管座角焊缝

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的射线探伤。

图 2.3-5 表示了直径较大的密封容器的焊缝，使用双壁透照单面成像技术的透照方法，这种透照方法既适用于这类工件的环缝，还适用于这类容器纵缝的射线照相。

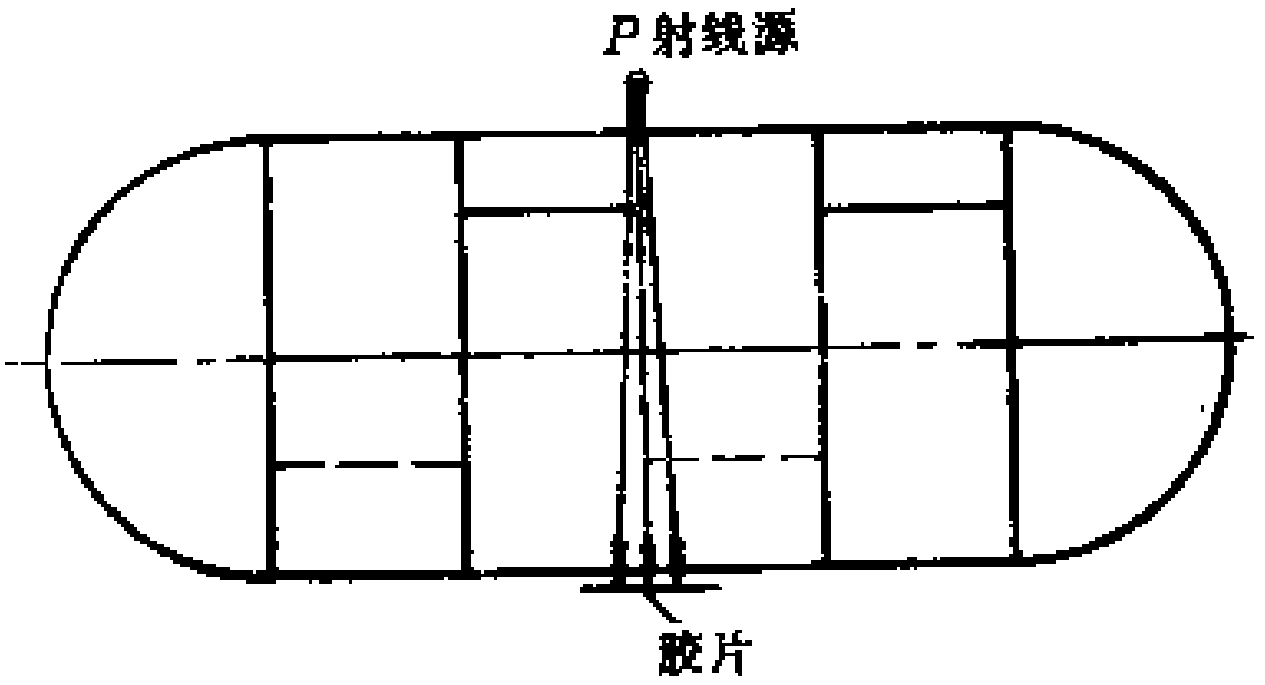


图2.3-5　密封容器焊缝射线探伤透照技术

3. 双壁透照双面成像技术　双壁透照双面成像技术是把射线源置于工件外侧，将X射线胶片置于射线源对面一侧的工件表面，使射线束透过工件的两层壁厚。把工件近射线源侧和近胶片一侧焊缝，按光学投影的原理同时投影在X射线胶片上，在X射线胶片上形成椭圆形的检测图像以供观察。其基本原理如图 2.3-6 所示。

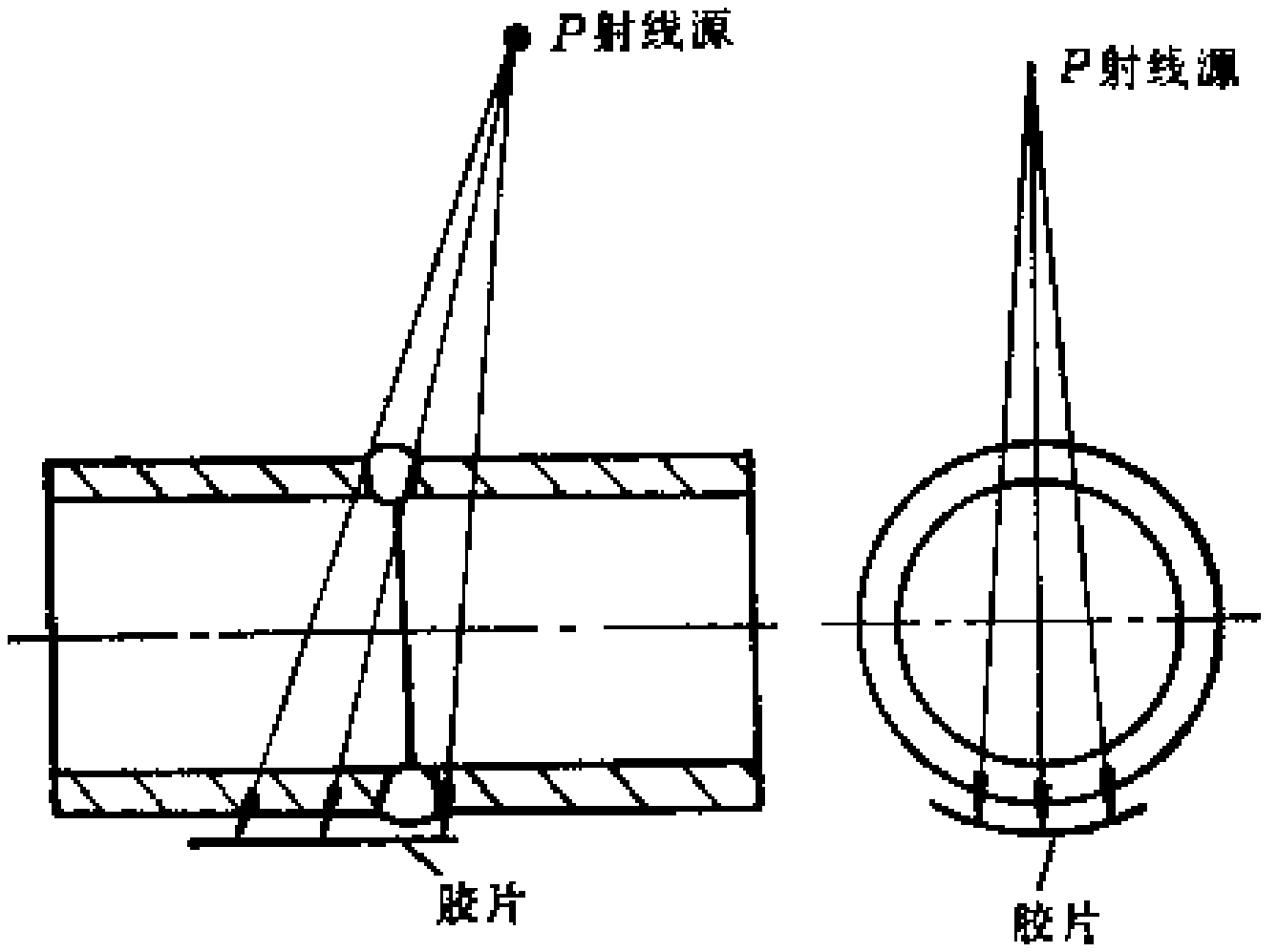


图2.3-6　双壁透照双面成像技术

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

在应用双壁透照双面成像技术时，应注意下列几方面的问题：

（1）为能摄得椭圆的射线照片，按光学投影的原理，射线束必须倾斜入射工件表面，但倾斜角度不宜过大，以使近射线源和近胶片侧的焊缝图像能在射线胶片上分开为准，其最大的分离程度不得超过一条焊缝之宽度，或小于10mm。

（2）摄片时的最短焦距可按照所拍摄工件的直径进行选择，而不是按照工件厚度或射线穿透工件的总厚度选择即

$$F_{min} \geqslant \left(\frac{d}{U_{gmax}} + 1 \right) \times D$$

式中 d——射线源的焦点尺寸（mm）；

U_{gmax}——允许的最大几何不清晰度（mm）；

D——工件外径（mm）。

（3）X射线胶片在工件表面上的放置方法有两种。一种是把胶片沿工件表面的形状而弯曲，使胶片与工件表面紧贴，这样可以减少散射线对胶片的影响，但容易造成椭圆两端头图像产生变形及所形成的椭圆不规则。另一种方法是将X射线胶片平放在工件表面上，胶片中间与工件表面贴紧而两端与工件表面分离，这种放置方法的优点是可以改善所形成椭圆的不规则，减少变形，但散射线(尤其是从工件两侧)对胶片的影响较严重，易使射线照相产生灰雾而降低摄片质量。

（4）双壁透照双面成形技术，最基本的要求是，射线束必须具有一定的倾斜角度。如何使射线束倾斜入射工件表面，也有两种方法。

在射线探伤中一般采用的方法是使射线中心束倾斜一定角度，利用射线中心束进行透照摄片。这种方法的优点是射

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

线中心束的射线强度大，所以可适当地选择较低能量的射线（但应保证射线对工件材料的穿透能力）进行探伤，还可有效地降低散射线的强度，减少散射线对胶片的影响。

二、对容器的对接焊缝，厚壁角焊缝正确地进行定位、定量、并作出结论和出具探伤报告

1. 对接焊缝的探伤　对接焊缝的超声波探伤，除了作好探伤前的准备工作之外，还要调整好时间扫描线，曲线的制作和对缺陷进行定量工作等，下面将按探伤程序来介绍这些方法。

（1）探伤面和探头的移动区　对板厚大于12～46mm的焊缝，探伤面在筒体外壁和筒体内壁的焊缝两侧。见图2.3-7 a。

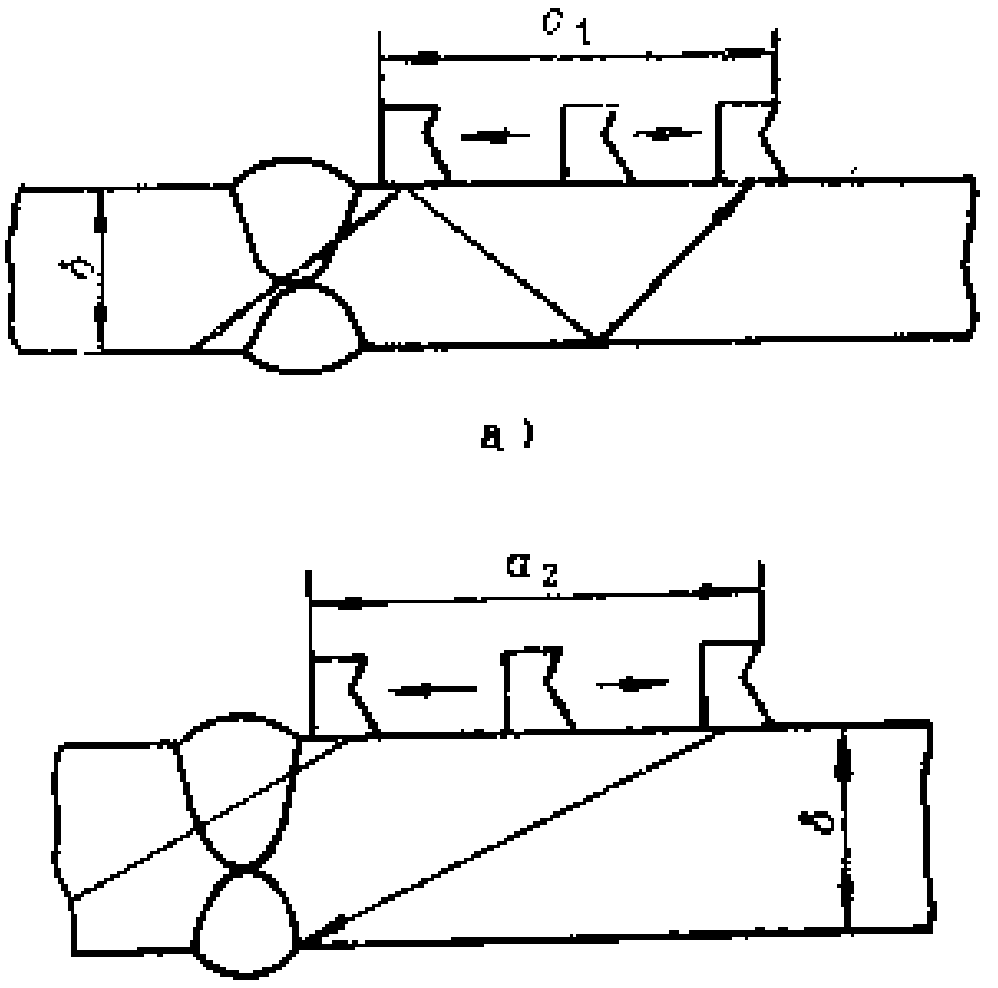


图2.3-7　焊缝探伤时探头移动区

a）8～46mm焊缝的探头移动区

b）大于46～120mm焊缝的探头移动区

探头移动区为：

$$a_1 \leqslant 2\delta K + 50\text{mm}或$$

$$2\delta K + H \quad (2.3\text{-}1)$$

式中　a_1——探头移动区距离(mm)；

δ——工件厚度(mm)；

H——探头长度或50（mm）；

K——斜探头比值（即$\mathrm{tg}\beta$）。

板厚大于46～120mm的焊缝，探伤面为筒体内外壁焊缝的两侧（如因条件限制，只能从一面或一侧探伤时，还应采用大K值探头，以减小未声透区），如图2.3-7 b所示。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

$$a_2 \leqslant dK + 50\text{mm} \qquad (2.3\text{-}2)$$

由上式（2.3-2）可知，在对接焊缝中，对板厚大于12～46mm（即中薄板）的焊缝，其探伤法应采用直射法和一次反射法，而在中厚板焊缝探伤中应使用直射法。

（2）时间扫描线的调整　时间扫描线的调整方法常用的有三种：即声程、水平距离和垂直距离时间扫描线的调整法。但在焊缝探伤中板厚小于20mm以下时，经常使用1:1水平定位法，时间扫描线按水平距离调整；在板厚大于20mm时使用深度定位法，时间扫描线按垂直距离（即深度）调整。下面将详细介绍这两种调整方法。

1）水平定位法　该法是利用几个不同距离的横孔（或其它反射体）来调整时间扫描线。使荧光屏刻度板的读数与探头入射点距反射体的水平距离形成一定比例的一种定位方法。在一般情况下，通常采用比例1:1。调整方法如下：

① 测出探头的入射点和K值。

② 把荧光屏上的始脉冲先左移10mm。

③ 把探头放在横孔试块上作前后移

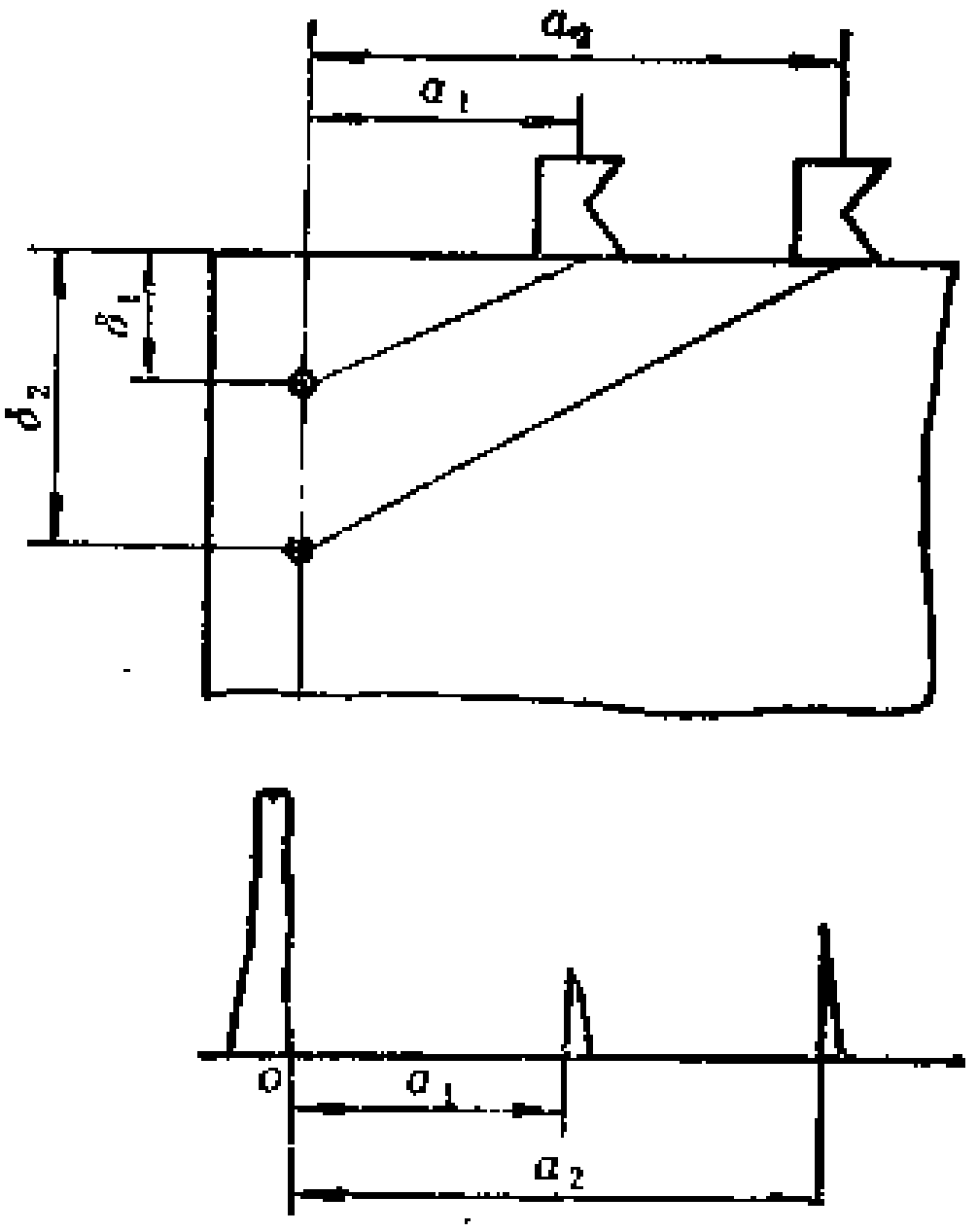


图2.3-8　水平定位法

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

动，找出 δ_1 孔的最大反射波，量出 δ_1 孔的水平距离 a_1，如图 2.3-8 所示。用仪器上的微调旋钮，调节该孔至荧光屏刻度板 a_1 位置距离，并作好标记(可用仪器上的标距点标出)。

④ 在③的情况下后移探头，找出 δ_2 孔的最大反射波量出 a_2 值。若 δ_2 孔反射波在荧光屏上出现的读数（y）与 a_2 值不相符时，应找出两者之差（x）。

$$a_2 - y = \pm x \qquad (2.3\text{-}3)$$

若差数（x）为正值时，应转动微调旋钮把 δ_2 孔最大反射波向大读数移动，如两孔距探测面的垂直距离比值为 2，以顺时针方向转动微调旋钮，将 δ_2 最大反射波调至 $y + 2x$ 处。

若差数（x）为负值时，与上述相反，将 δ_2 孔最大反射波向小读数方向移动，该读数为 $y - 2x$。

按上述方法调节后，再用水平旋钮，把 δ_2 孔最大反射波移动到 a_2 值的位置。这样水平距离的时间扫描线已调整完毕。若按上述方法 δ_1 孔波与刻度板上有误差时应再进行调整，直至读数相符为止。但要注意仪器水平线性的误差，否则会给时间扫描线的调整带来困难。

2）深度（垂直距离）定位法　此法是把荧光屏刻度板的读数代表探头至反射体的距离(δ)。若已知垂直距离（或深度）可用 $a = \delta K$ 求出水平距离，现场应用时，可使用深度和水平换算表。该表的绘制应和测定探头 K 值（或折射角）同时进行，如图 2.3-9 表示利用横孔绘制换算表的方法。

用深度调整时间扫描线的方法与水平定位法相同。

（3）距离——波幅曲线的制作及使用　为了对缺陷进行评价，在国内外均使用波幅曲线，如日本 Jisz3060—75，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

联邦德国的 AVG 曲线及美国的 ASME曲线等。

缺陷波的高度与缺陷的大小、距离有着密切的关系，所以当反射体一定时，反射波的高度随距离而变化。因而可以预先在试块上或用计算的方法来绘制距离—波幅曲线。目前我国绘制曲线的方法有两种，即在仪器垂直线性良好时，可以把曲线直接绘制在荧光屏的刻度板上，利用这种方法绘制曲线称为距离—波幅曲线法；另外一种是在仪器垂直线性不佳或其它原因时，可利用衰减器的读数来表示相对波高的分贝值，称为“距离—分贝”曲线法。下面将介绍用实测法绘制曲线的方法。

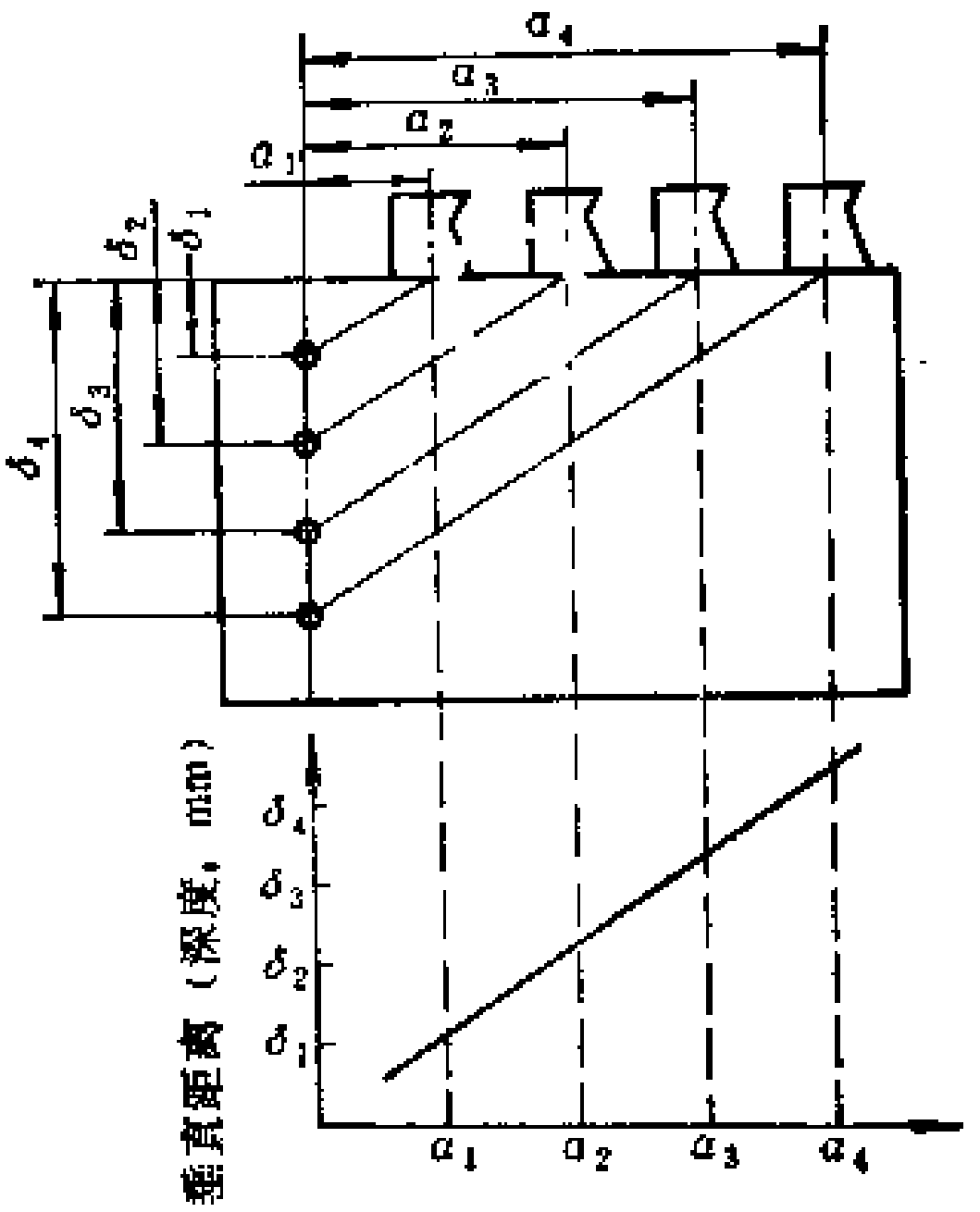


图2.3-9　深度定位法

距离—波幅曲线的制作与使用：

在仪器垂直线性良好时可使用该法绘制曲线，这种方法的特点是可以利用刻度板上的曲线直接读出缺陷的大小。

1）实测法

①　测出探头的入射点和探头比值K。

②　调整好时间扫描线（按工件厚度可选用水平定位和深度定位），一般用 1:1 定位法，但此比例会导致几条曲线

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

紧靠在一起，应放大调整比例。

③ 在制作曲线时，将探头放在图 2.3-10 所示的位置上，在一定灵敏度下，把各个最大反射波高度位置标记在刻度板上。

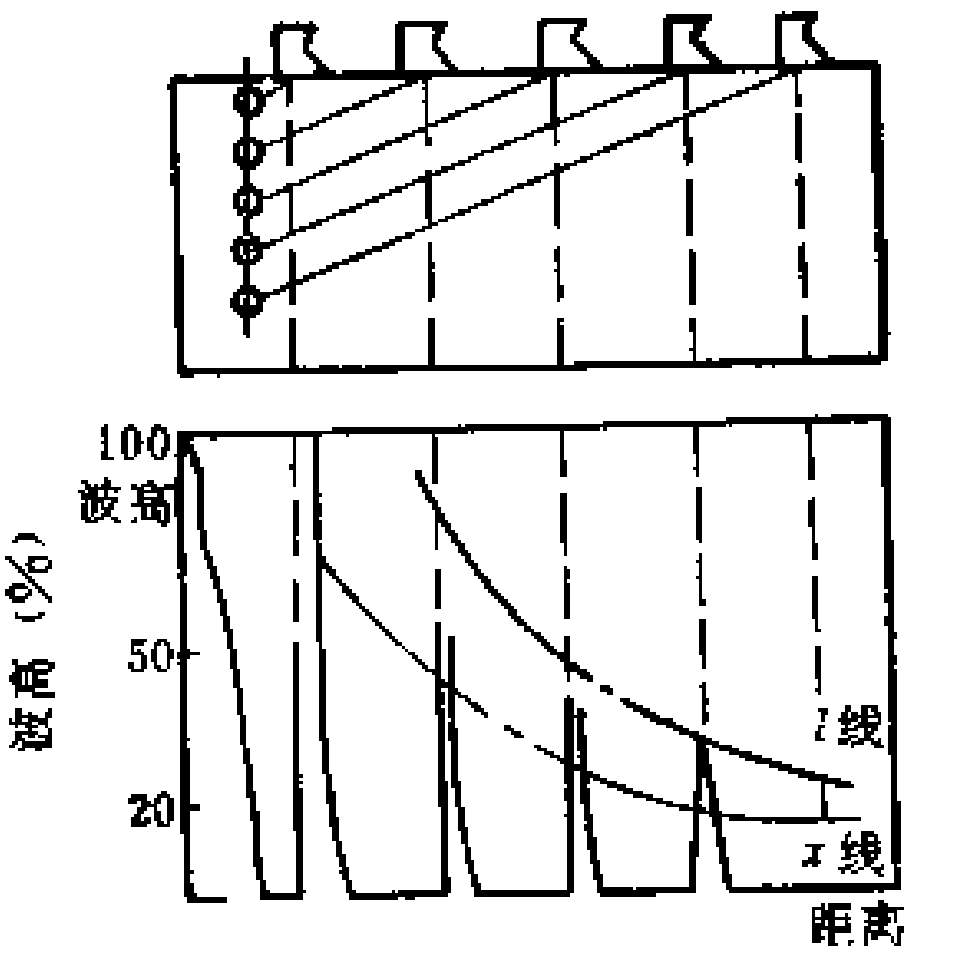


图2.3-10 距离一波幅曲线的制作

④ 把各点连成一条曲线。

绘制曲线的要求应按超声波探伤焊缝的标准进行，这里只介绍一般常用绘制曲线的要求。

绘制曲线可在短、长横孔试块上按下述要求进行：

制作定量线（*L*）、判废线（*F*）、测长限制线（*X*）。如图 2.3-11、图 2.3-12 和图 2.3-13 所示。

① 当板厚小于46～120mm时

（i）绘出 $\phi 1\times 6$ 或 $\phi 2\times 40$—8dB 距离—波幅曲线，此线为定量线（*L*）。

（ii）在定量线以上10dB作距离—波幅曲线，此线称为判废线（*F*）。

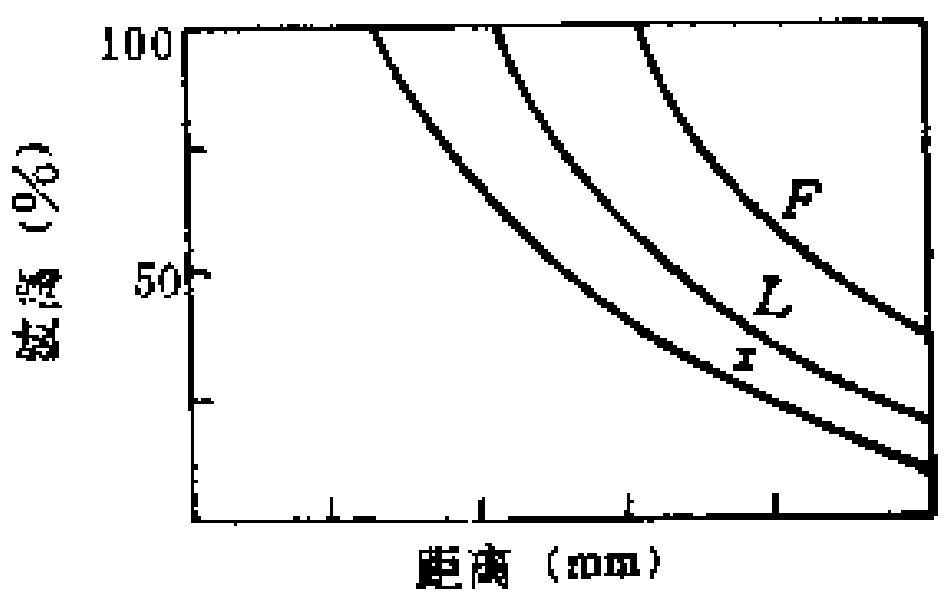


图2.3-11 板厚＞46～120mm的距离—波幅曲线

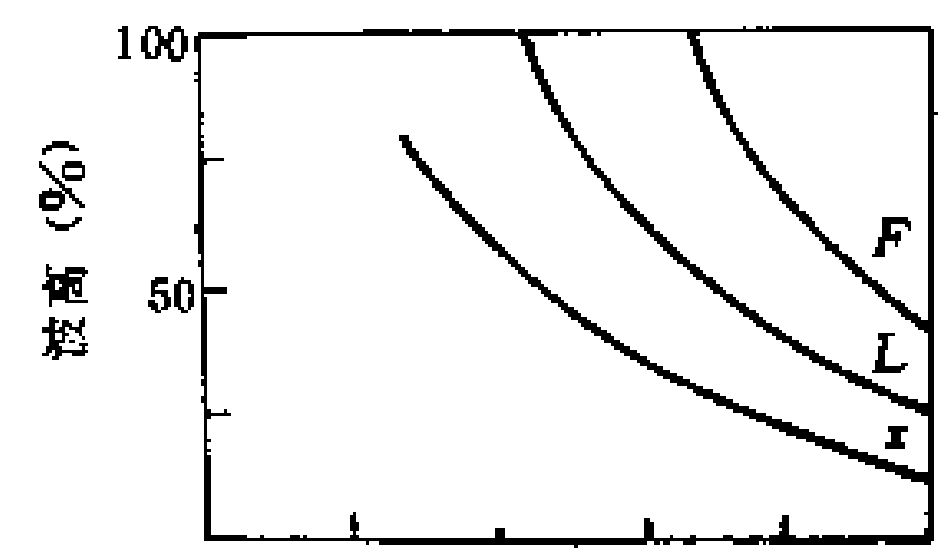


图2.3-12 板厚＞15～46mm的距离—波幅曲线

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

(iii) 在定量线以下 6 dB 作距离—波幅曲线，称为测长限制线(*X*)。

② 板厚大于 15～46mm时

(i) 绘出 ϕ1×6－3dB 或 ϕ2×40－12 dB作距离—波幅曲线，此为定量线（*L*）。

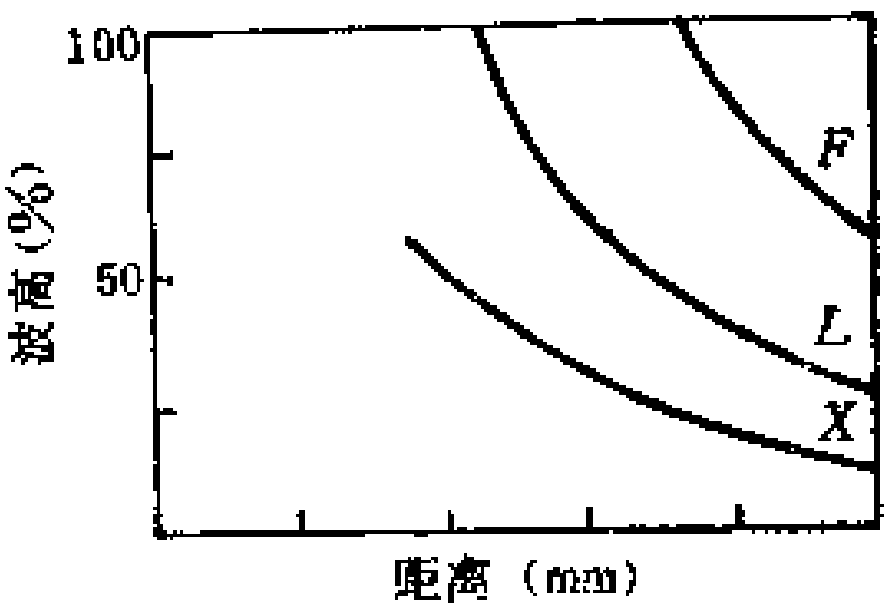


图2.3-13 板厚＞8～15mm的距离—波幅曲线

(ii) 在定量线以上 8 dB 作距离—波幅曲线，称为判废线（*F*）。

(iii) 在定量线以下 6 dB 作距离—波幅曲线，称为测长限制线（*X*）。

③ 板厚小于 8～15mm 时

(i) 绘出 ϕ1×6－6 dB 或 ϕ2×40－12dB 作距离—波幅曲线，此为定量线（*L*）。

(ii) 在定量线以上 8 dB 作距离—波幅曲线，称为判废线（*F*）。

(iii) 在定量线以下 6 dB 作距离—波幅曲线，称为测长限制线（*X*）。

定量线与测长限制线之间称为Ⅰ区，定量线与判废线之间称为Ⅱ区，判废线以上称为Ⅲ区。

从上述绘制曲线的要求可知：定量线与测长限制线之间均为 6 dB。若使用距离—波幅曲线法制作曲线（不是距离—分贝曲线）时，在荧光屏的刻度板上有时难以绘出判废线，只能绘出定量线和测长限制线，若有缺陷波超出定量线而不知道该缺陷是否判废时，可使用衰减器把该波降到定量线上，

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

读出分贝值。若分贝值超出定量线与判废线之间的分贝数，则该缺陷按判废处理。

2）灵敏度的调整　按上述方法制作曲线之后，当多次在现场使用时应重新校对灵敏度。在确定判废灵敏度时，应按超声波标准进行。

3）曲线的使用

①　在使用探伤灵敏度进行探伤时，如发现了缺陷波，应使用判废灵敏度进行定量（即在衰减器上加 6 dB）。

②　当缺陷波的最高点在定量线与测长限制线之间称为Ⅰ区缺陷，定量线与判废线之间称为Ⅱ区缺陷，判废线以上称为Ⅲ区缺陷。

③　在该刻度板上所划曲线的某个位置上，当缺陷波太高时，不能直接读出缺陷波在那个区域内，可用衰减器把波高降低。如缺陷波超出定量线 L（定量线以上 8 dB 为判废线），可在定量灵敏度下，把衰减器的读数调到 6 dB加 8 dB 等于 14dB 处（假定探伤灵敏度比判伤灵敏度高 6 dB），此时定量线变为判废线，当缺陷波超出此线时，可称为Ⅳ区缺陷。

（4）缺陷的定位　发现缺陷波后，应找出从缺陷到探头的水平距离，标出缺陷的埋藏深度，供判伤及返修用。

1）利用水平定位法时的缺陷定位　因时间扫描线的调整是按水平距离（α）定位的，故荧光屏上缺陷波的位置，就是从缺陷到探头入射点的水平距离($\alpha_{伤}$)。

缺陷埋藏深度($\delta_{伤}$) 的确定：当用直射法探伤时，若在荧光屏上发现缺陷的水平距离为($\alpha_{f伤}$)，可用下式求出缺陷的埋藏深度 ($\delta_{伤}$)

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

$$\delta_{1伤}=\frac{a_{1伤}}{K}\quad（K为探头的比值）$$

若使用一次波探伤时，可用下式求出缺陷的埋藏深度（$\delta_{2伤}$）

$$\delta_{2伤}=2\delta-\frac{a_{2伤}}{K}$$

式中　δ——为板厚。

2）利用垂直定位法时的缺陷定位　中厚板多用此法定位，当比例1：1时，可直接读出缺陷的深度。缺陷的水平距离可由2.3-9得出。

（5）缺陷的定量　缺陷的定量是关系到产品质量是否合格的关键之一，应按超声波探伤标准进行。目前我国在焊缝探伤中常用的定量方法是位于定量线和定量线以上的缺陷应进行幅度和缺陷指示长度的测量。缺陷波幅度的测定是将探头置于出现最大缺陷波的位置，读出该缺陷所在区域。而缺陷指示长度的测定是，当缺陷波只有一个高度时，可用相对灵敏度法（即6 dB），测其指示长度；而当缺陷波出现多个高点时，端部反射波高在定量线上及Ⅱ区时，用端点6 dB法测其指示长度；而当缺陷端部反射波高位于Ⅰ区时，可用绝对灵敏度法测长，即将探头移动至波幅，降至测长限制线为止测其指示长度。

（6）判废标准　判废标准应根据超声波探伤标准执行。我国常用的判废标准如下：

1）当缺陷波高度于判废线上及Ⅲ区时；

2）缺陷波高度位于定量线上及Ⅱ区的条状缺陷，且缺陷指示长度超过表2.3-1数值时；

3）关于缺陷总长和密集缺陷的规定　单个缺陷指示长

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

度小于表 2.3-1者，在任意 2 δ 焊缝长度范围内，（但不超过 150mm）缺陷指示长度总和超过表 2.3-1 规定时。

表2.3-1　条状缺陷判废标准

级　别	条　状　缺　陷　指　示　长　度　L(mm)
Ⅰ　级	$L=\frac{1}{3}\delta$（δ = 板厚），但最小可为10，最大不超过30
Ⅱ　级	$L=\frac{2}{3}\delta$（δ = 板厚），但最小可为12，最大不超过40

在任意 8 mm 的深度范围内，缺陷测定间距 $a \leqslant 8$ mm，以缺陷之和作为单个缺陷计，$a > 8$ mm 时，分别计算。

反射波高位于Ⅱ区的点状缺陷，其指示长度小于 10mm，按 5 mm 计。

（7）缺陷反射波的特征　检出缺陷后，在不同的方向进行探伤，荧光屏即得到缺陷波的形状和反射波高度的变化。然后结合缺陷的位置和焊接工艺，对缺陷的性质进行综合判断。但到目前为止还没有一个成熟的方法，只是进行简单的估测，所以存在着一定的误差。这里将简单介绍一下对典型缺陷的估测方法。

1）裂纹　有的裂纹是倾斜的，且裂纹表面呈锯齿形，因此当从焊缝两侧探伤时，一侧信号较强，而另一侧信号很弱，并且波形有交错现象。一般裂纹反射波较高，但也会出现反射波低和没有波形交错现象。

2）未焊透　一般出现在焊接坡口的钝边处，当探头垂直缺陷作定点移动时，回波消失较快。探头的转角要比裂纹小。当探头沿缺陷指示长度方向平行移动时，反射波的高度变化不大。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3）夹渣　夹渣与上述波形不一样，这种缺陷表面不光滑、粗糙，所以波形多出现如图 2.3-14 的情况。

4）气孔

① 单个气孔　当探头垂直于缺陷作转角转动时，缺陷波迅速出现，随后立即消失，在平行于焊缝移动时，反射波突起突落。

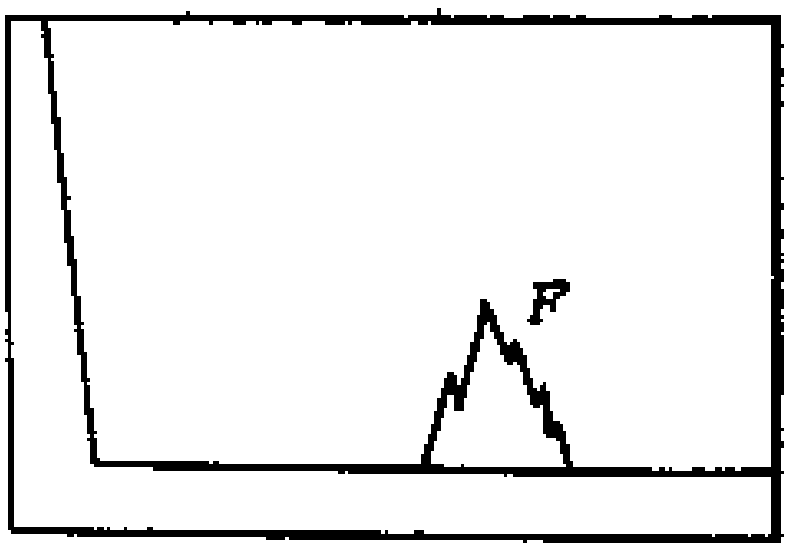


图2.3-14　一种夹灰的波形

② 密集气孔　当探头对准密集气孔时，会出现一簇反射波，如图 2.3-15 所示。其波高随气孔的大小而不同，当探头作定点转动时，会出现此起彼落的现象。

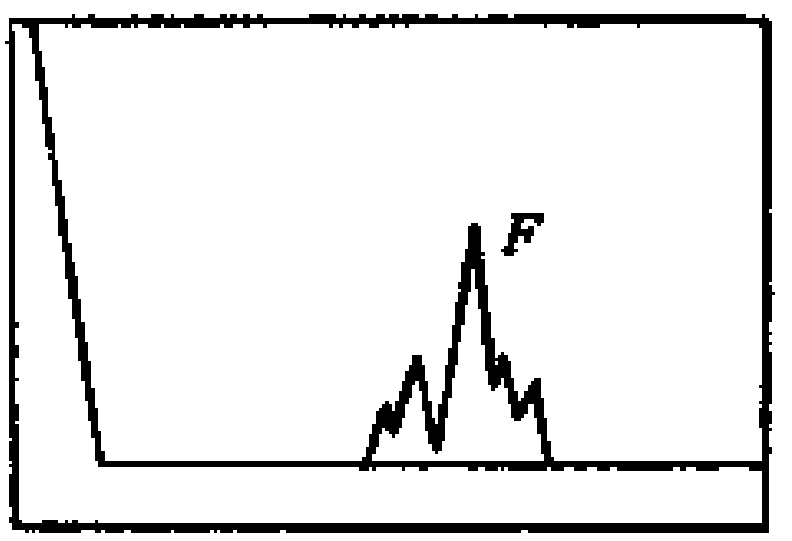


图2.3-15　密集气孔的波形

2. 管座角焊缝探伤

（1）管座角焊缝的坡口形式

管座角焊缝的焊接坡口形式有贴合式和插入式(图 2.3-16 b）两种，如图 2.3-16 所示。

（2）探伤方法　当用纵波直探头对管座角焊缝进行探测时(贴合式管座角焊缝在筒体内壁)；插入式管座角焊缝在接管内壁探测)，见图 2.3-16。由于超声波声束趋于垂直射向缺陷(纵向缺陷)，所以缺陷的反射回波最强，这对于管座角焊缝中的未熔合、裂纹之类危险性缺陷的检测最有效，因此管座角焊缝的超声波探伤主要采用直探头接触法探伤。常用探头为单晶直探头（或双晶直探头)。对于直探头未扫查到的区域应加用斜探头探伤。对于插入式管座角焊缝，在焊

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

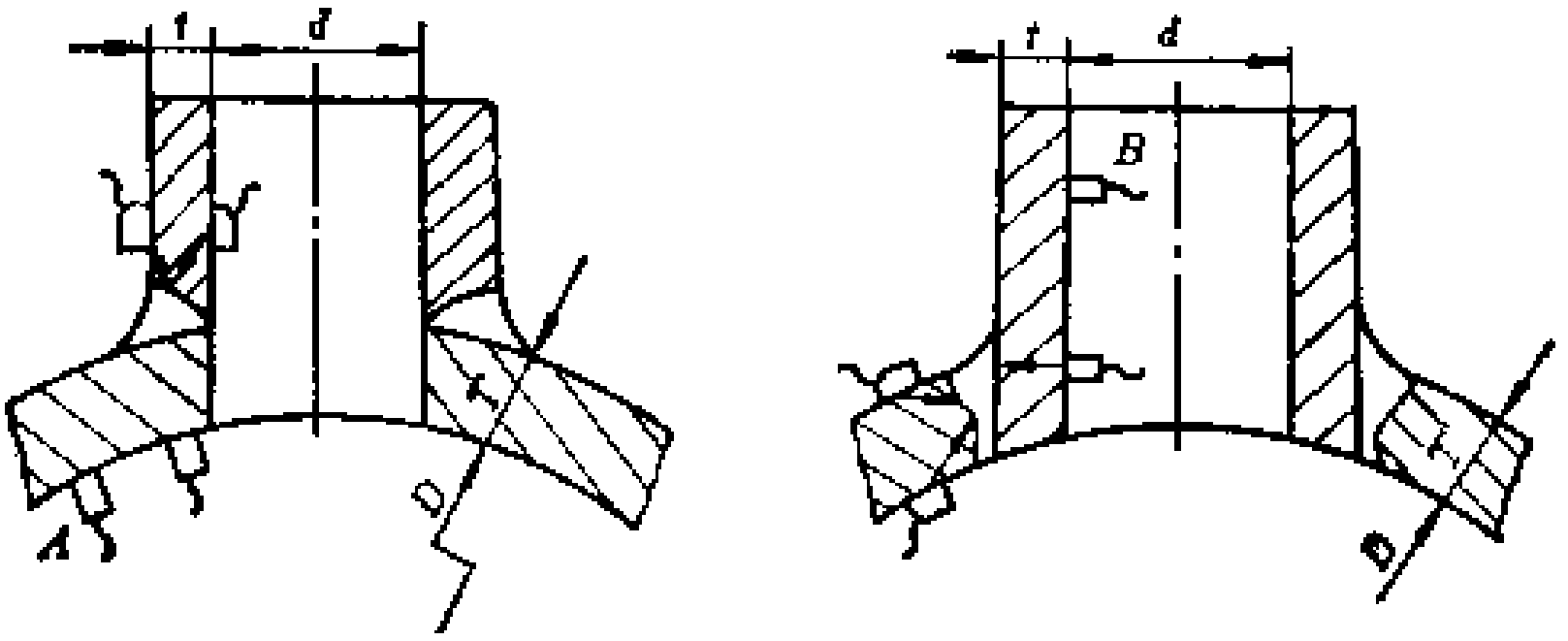


图2.3-16　管座角焊缝焊接坡口形式

a）贴合式　b）插入式

缝根部易产生缺陷，所以当探头的不可探测区（即探头声束扫查不到的区域)的长度大于焊缝根部至接管内壁的距离时，更有必要加用斜探头作补充探伤。斜探头的探测部位和探测方向如图 2.3-16 所示。

此外，凡产品制造技术条件中规定了要求探测横向缺陷的管座角焊缝，均应将焊缝内壁加强层磨平后，在焊缝表面用大 K 值斜探头（常用 K_2探头）进行探测，如图 2.3-17 所示。探测时，探头应在焊缝表面作顺时针及逆时针两个方向的 100% 探伤，以免缺陷漏检。

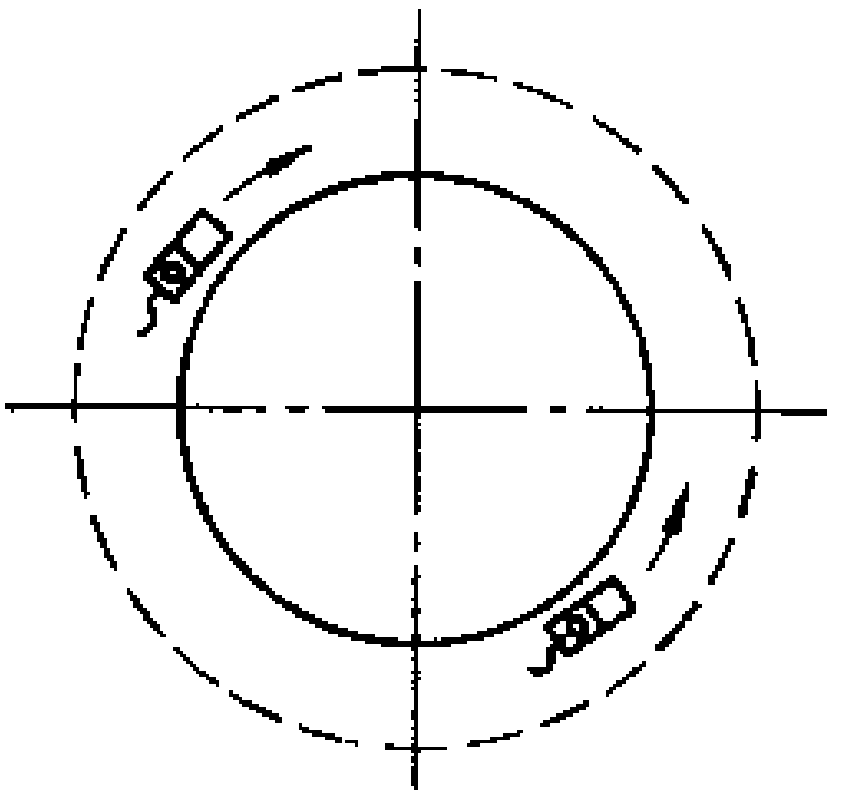


图2.3-17　管座角焊缝横向缺陷的探测

（3）探测条件的选定

1）探测频率　管座角焊缝探伤常用探测频率为 2.5MHz。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

2）探头　采用软保护膜的单晶直探头，为保证良好的声耦合，推荐使用晶片尺寸为 8 × 9 mm²的软保护膜单晶直探头。

斜探头与工件接触面尺寸应符合下式的要求。

$$L(\text{或 } l) \leqslant \sqrt{\frac{D}{2}}$$

式中　L——探头接触面长度；

b——斜探头接触面宽度；

D——斜探头探测面曲面半径。

3）耦合剂　管座角焊缝超声波探伤用耦合剂有干油、机油、和化学浆糊之水溶液，常用耦合剂为后者。

4）探测灵敏度的校准　直探头探测时，以工件圆柱曲底面（筒体外壁底面接管外壁曲底面）为参考反射体，使用当量计算法校准仪器的探测灵敏度。但探测灵敏度校准时必须注意以下两点：

①　以工件圆柱曲底面作参考反射体并使用当量法校准探测灵敏度时，应选择三个反射点，这三个反射点的回波高度差要小于 4dB。以此三点测试值的算术平均值进行仪器灵敏度的校准。

②　上述探测灵敏度仅仅是接管外壁（或筒体外壁）处的探测灵敏度。由于焊缝有一定的宽度，因此，实际探伤时，上述探测灵敏度还应计入焊缝宽度造成的声程分贝差值。

直探头探测时，测长灵敏度为 ϕ3-6dB（平底孔），定量灵敏度为 ϕ3mm 平底孔，判废灵敏度为 ϕ6mm 平底孔，探测灵敏度为测长灵敏度。

斜探头探测时，灵敏度的校准可根据 JB1152—81 标准的规定执行。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

（4）仪器时基线的校准　使用软保护膜直探头对管座焊缝进行测定，仪器时基线可按“深度定位法”直接在工件已知厚度的曲底面上进行校准见图2.3-16中探头位置 A、B 处。校准时，应将最大探测声程校准在仪器时基线的后半部分，以提高对缺陷的定位精度。通常，用直探头校准时，可使用SG-Ⅱ长横孔试块 30mm 大平底的多次反射回波，并按一定比例进行调整。

斜探头探测时，仪器时基线的校准按 JB1152—81 标准规定进行。

（5）缺陷的测定　缺陷当量大小的测定按“当量测定法”；缺陷指示长度根据JB1152—81 标准中的规定进行测定；缺陷的定位采用直探头探伤时，可应用工件底面反射和试块进行调整，采用斜探头探伤时可应用水平定位和深度定位法测定。但由于探测面和缺陷返修面均是曲面，且两曲面之夹角大于 90°，因此在缺陷返修前对缺陷的定位应作必要 的修正，否则在返修时会找不到缺陷。

（6）验收标准　锅炉大口径管座角焊缝超声波探伤标准 JB3144—82中规定的验收标准如下：

1）缺陷判废区　在焊缝两侧熔合线（返修后复探时为返修焊补的熔线）以外 5 mm 内的区域均作为焊接缺陷的判废区域。

2）在焊接缺陷的判废区域内不允许存在下列缺陷：

①　纵向缺陷

i）缺陷反射当量达到或超过判废灵敏度者。

ii）缺陷反射当量达到或超过定量灵敏度，但低于判废灵敏度，而指示长度 $L \geqslant \frac{t}{3}$。且最小可为 10mm，最大不超

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

过 30mm 者（t 为焊缝截面中心线高度，包括焊缝加强层的高度）。

② 横向缺陷

i）缺陷反射当量大于或等于判废灵敏度者。

ii）缺陷反射当量大于或等于定量灵敏度，但低于判废灵敏度，且指示长度 $L \geqslant 15$mm 者。

iii）被探伤人员判为危险性缺陷者。

3）以下缺陷不予返修，但应予以记录。

① 缺陷反射当量超过定量灵敏度但低于判废灵敏度，且指示长度小于判废长度（指示长度小于 10mm 者不计）。

② 缺陷反射当量超过测长灵敏度但低于定量灵敏度，且指示长度大于或等于判废长度者。

三、对容器的焊缝、管子对接焊缝、角焊缝、锻件、管道材料、螺栓等工件的磁粉探伤

1. 焊接件的磁粉探伤　由于焊接件的结构形状、尺寸、检验内容和范围等具体情况有所不同，因此所采用的磁粉探伤方法也应有所区别。现将其常用的磁化方法介绍如下：

（1）磁轭法　所谓磁轭法是指交流电磁铁。这种方法的优点是设备简单，操作方便。但是磁轭只能单方向磁化工件，因此，为检出各个方向的缺陷，必须在同一部位至少作两次互相垂直的探伤，而且应将焊缝划分为若干个受检段，电磁轭之间的最佳距离为 100～150mm。为检查横向缺陷在标定的受检段上，应交替重叠地改变磁轭位置；为检查纵向缺陷，则应将电磁轭跨在焊缝上，使两极的连线与焊缝相垂直，依次移动磁轭，逐个检查每个受检段。

在工程探伤实际操作中，由于两次互相垂直的探伤，磁轭配置不可能很准确，有漏检的可能性，这是磁轭法的主要

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

缺点，另一缺点是探伤效率低。

（2）支杆法　支杆法也是单方向的磁化方法，其主要优点是电极间距可以调节。探伤时，可根据探伤部位情况及灵敏度要求确定电极间距和电流的大小。探伤时为避免漏检，同一部位也要进行两次互相垂直的探伤。但要注意不要将支杆直接放在焊缝上，而应放在焊缝边缘，因为支杆与工件接触的部位检验效果很差。

用支杆法探伤时也有电极配置问题，与磁轭法一样，也存在漏检的可能，这是它的缺点之一。其次是电极与工件的接触面容易产生电火花，从而烧伤工件表面。因此在焊缝探伤中与磁轭法相比应用较少。

（3）交叉磁轭法　用交叉磁轭旋转磁化的方法检验焊缝表层裂纹，可得到满意的效果。其主要优点灵敏可靠，并且探伤效率高。目前在焊缝探伤中尤其在锅炉压力容器探伤中应用越来越广。

使用交叉磁轭检验焊缝时，应当注意以下几个问题：

1）磁极端面与工件表面的间隙应适当，这是为了交叉磁轭能在被探工件表面上移动行走。如果间隙过大，将会在间隙处产生较大的漏磁场。这个漏磁场的方向会消耗磁动势，使线圈发热；另一方面将扩大磁极端面附近产生的探伤盲区，从而缩小探伤有效宽度。因此，在选用交叉磁轭时，应注意这个问题。一般来说，此间隙在保证能行走的情况下越小越好，最大不宜超过1.5mm。

2）交叉磁轭的行走速度要适宜，与其它方法不同，使用交叉磁轭时，通常是连续行走探伤。且从探伤效果来说，连续行走探伤比而定位置探伤不仅效率高，而且更加灵敏可靠。只要操作无误，不会造成漏检。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

交叉磁轭相对于工件作相对移动，也就是磁化场随着交叉磁轭而在工件表面移动。对于在工件表面有效磁化场内的任意一点来说，是在一个幅值和椭圆度随着时间而变化着的旋转磁场作用下，因此在被探伤面上任意方向的裂纹都有与有效磁场最大幅值正交的机会，从而得到最大限度的缺陷漏磁场。这就是使用交叉磁轭旋转磁化探伤的独特之处。是其它磁化方法所不及的。

与其相反，如果使交叉磁轭固定位置分段对焊缝进行探伤，就会使被探工件表面各点处于不同幅值和椭圆的旋转磁场作用下，结果将造成各点探伤灵敏度不一致。使某些部位对某一方向裂纹的探伤灵敏度降低，对此必须引起重视。

交叉磁轭行走速度一般为 2～3 m/s，可根据具体情况酌情确定。表 2.3-2列举了影响探伤速度的各种因素。

表2.3-2 影响探伤速度的各种因素

条件与要求		探伤速度
探伤面的表面状态	光滑 粗糙	快 慢
磁悬液的载液	煤油 水	快 慢
网路供电电压	高 低	快 慢
探伤灵敏度要求	高 低	快 慢

3）磁悬液的喷洒原则　为避免磁悬液的流动面冲涮掉已经形成的磁痕，并使磁粉有足够的时间聚集到缺陷处，喷洒磁悬液的原则是，在检查球罐环缝时，磁悬液应喷洒在行走方向的前上方；在检查环罐纵缝时，磁悬液应喷洒在行走

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

方向的正前方。

4）磁痕的观察　用交叉磁轭探伤时，通常是在交叉磁轭通过探伤部位之后再观察辨认有无缺陷磁痕。但是观察应在交叉磁轭通过后尽快进行，避免缺陷磁痕被践踏和破坏。

（4）线圈法　对于管道周围焊缝可用线圈法探伤。方法是在焊缝附近沿圆周方向用电缆绕4～6匝，如图2.3-18所示。这种磁化方法只能发现焊缝和热影响区以纵向为主的裂纹。

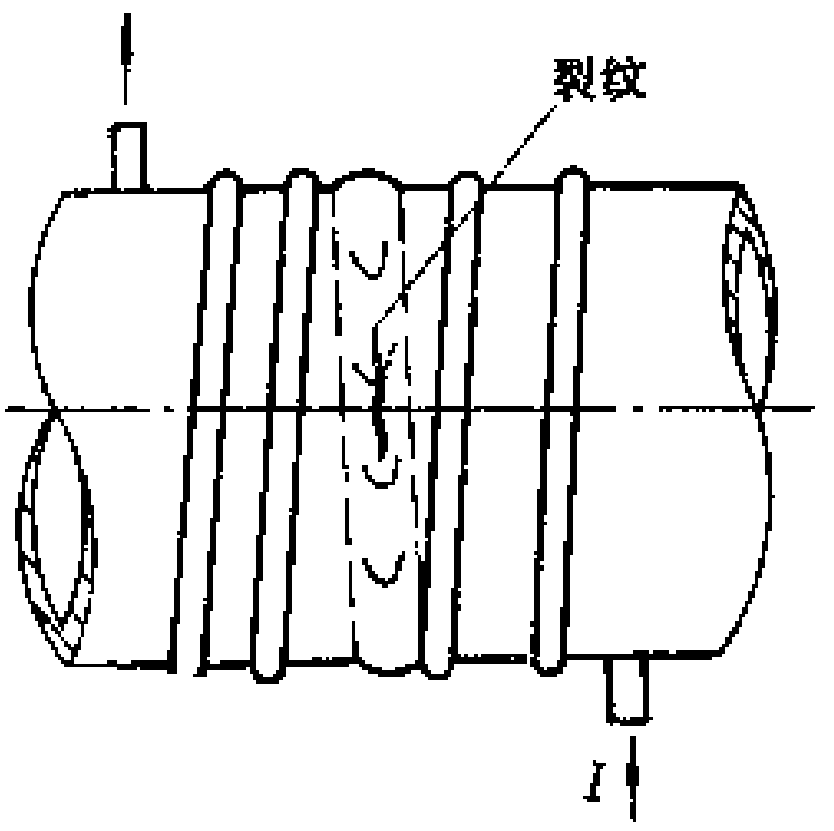


图2.3-18　电缆对管道进行轴向磁化

（5）平行电缆法　把电缆按图2.3-19所示布置在焊缝两侧，通电磁化。这种磁化方法也只能发现以纵向为主的裂纹。使用这种方法时，应将不作磁化用的那段电缆尽量远离被探工件，以免干扰有效磁场，从而影响探伤效果。

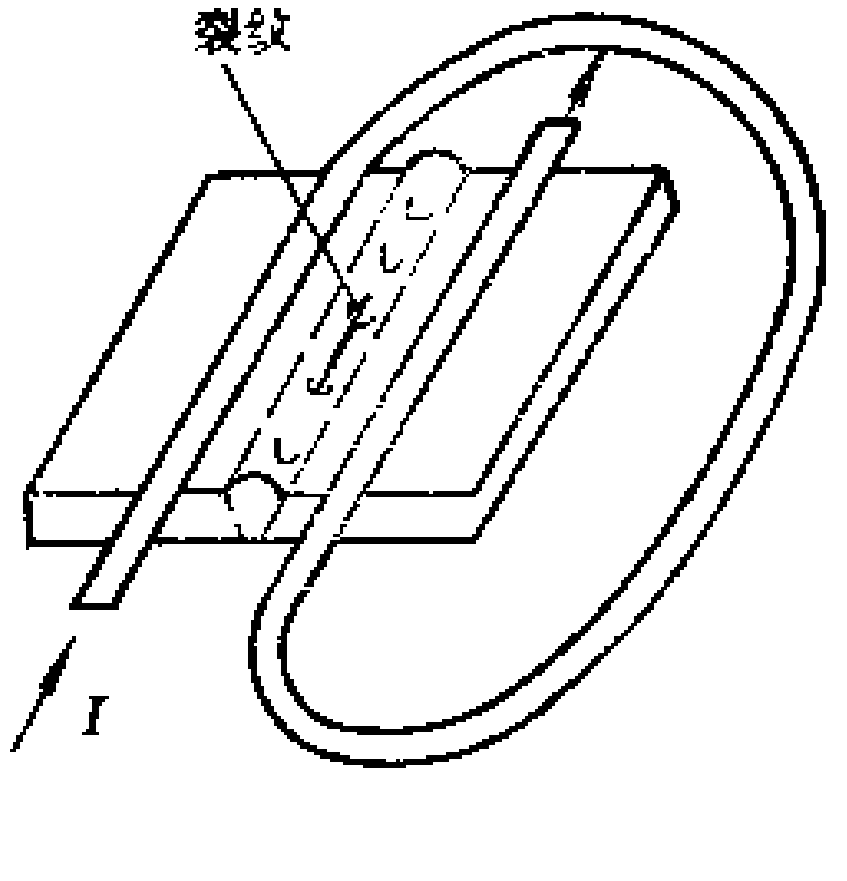


图2.3-19　用平行电缆磁化焊缝

上述五种探伤方法中，前三种都用便携式专用探伤装置。而线圈法及平行电缆法只是辅助性方法，其特点是可以不用专用探伤电源，而以300～500 A交流电焊机代用。但使用时不允许长时间通电磁化，每次通电磁化不能超过2～

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3 s 。因此操作时动作要快，观察缺陷磁痕在断电之后进行。

2. 管材探伤　无缝钢管在制造时，易产生纵、横向裂纹，磁粉探伤时应根据缺陷性质和分布方位，选择相应的探伤工艺。

（1）采用普通规范进行周向和纵向探伤；

（2）用湿连续法检验，每次可检验部分面积；

（3）应将管子沿圆周方向转动 4～6 次，每次转动钢管60°～90°，检验完一个面再转动。

（4）应采用优质黑色磁粉或是荧光磁粉检验，且磁悬液浓度应大一些，建议荧光磁悬液浓度为 2 g/L，黑色磁悬液浓度为 20～25 g/L。分散剂粘度可略大一些，允许 10cP 以上，黑色磁悬液可用轻质油作分散剂。

（5）必要时，在钢管表面喷洒一层很薄的反差增强剂，便于磁痕的形成和观察。

3. 螺栓的检验　带螺纹的工件、螺纹的根部很容易产生相关磁痕，应特别注意。检验时需作如下考虑。

（1）宜采用对比度高的荧光磁粉湿法检验，磁悬液浓度应低些，施加的时间要稍长。

（2）为检验螺纹上的纵向缺陷，应采用轴通电法。

（3）为检验螺纹上的横向缺陷，应采用线圈法。

（4）对淬火后的高强度合金钢螺纹用剩磁法检验，不容易产生非相关磁痕。

4. 弹簧的检验　弹簧能够发生大量的弹性变形，从而吸收冲击能量和缓和冲击与震动。它受交变载荷，产生破坏的主要原因是疲劳，弹簧上的缺陷会导致大的机械事故，所以对弹簧检验极为重要。

（1）压缩弹簧　对压缩弹簧磁粉探伤应作如下考

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

虑：

1）为检验弹簧钢丝上的纵向缺陷，应将弹簧套在一个长度略短于弹簧的绝缘木棒或胶木棒上，放在两磁化夹头间，使电流沿弹簧钢丝通过进行磁化，这样做的目的是用绝缘棒支撑磁化夹头的距离，这样不致过于压缩弹簧。

2）为检验弹簧钢丝上的横向缺陷，可将弹簧夹在探伤机的两磁化夹头间，中间仍用绝缘木棒支撑进行纵向磁化。

3）也可将弹簧穿铜棒进行周向磁化，以便检验与弹簧钢丝成一定角度的纵向缺陷，但灵敏度较低。

4）根据材料的热处理状态和磁性，选用湿式连续法或湿式剩磁法检验。

5）弹簧钢丝上经常出现的纵向缺陷有裂纹，发纹和拉痕等，一般可通过打磨排除。横向缺陷对弹簧的疲劳强度影响较大，处理时应慎重。

6）弹簧退磁困难，用线圈法退磁时，应边转动边拉出。

（2）拉伸弹簧　对拉伸弹簧的磁粉探伤应作如下考虑：

1）为检验拉伸弹簧铜丝上的纵向缺陷，应首先在拉力机上将弹簧拉开，在弹簧间夹上绝缘片，再将弹簧用绝缘棒支撑夹在探伤机的两磁化夹头之间，用通电法磁化。

2）为检验拉伸弹簧钢丝上的横向缺陷，可采用穿棒磁化，因为拉伸弹簧一圈挨着一圈，相当于一个钢管。

对拉伸弹簧用这种磁化检验，尚存在一个缺点，就是弹簧钢丝与绝缘片的交界处用连续法检验时，观察不到磁痕，所以最好用剩磁法。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

四，容器中不锈钢或其它有色金属部件焊缝的渗透探伤

大型制氧机的空分装置，一般均由铝镁合金材料组成，其管道对接焊缝表面要求必须作 100%的着色探伤。

这种空分装置从地面到顶端共计 43.5m，其管道由各种弯头、对接连接，采用钨极氩弧焊工艺，管道口径为 ϕ8～1100mm，壁厚 1～8mm。这给检查带来了一定的困难。

1．渗透探伤方案的选定

（1）探伤工艺的选择　因为空分塔较高，层次较多，又分主塔和副塔。根据情况可由底层开始向上一层一层地检查，并先检查副塔后检查主塔，这样可避免漏检和不要的爬上爬下。运送药液比较集中，观察也方便。

（2）设备的选用　根据设备特点，采用便携式喷雾装置，这样进行操作和携带较方便。

2．探伤灵敏度的选择　在渗透探伤操作之前，首先对渗透液的毛细作用进行校验。一般采用镀铬裂纹试块或铝合金淬火试块观察渗透液的实际渗透性能，操作是否正确。

利用这种试验片，可在探伤中比较和测试不同条件下着色探伤的灵敏度。

3．渗透探伤操作方法

（1）清洗　被检焊口和热影响区首先要经过清洗，使之无油污，灰垢及打磨坡口时残留的金属粉末等有碍渗透液渗透的感染物质。

（2）渗透过程　因为铝镁合金的焊缝表面光滑，且横缝较多，利用喷罐进行喷涂，渗透液流失很大，污染其它管道。为此，可改用毛刷，反复涂刷焊缝，直至不下流为止。这样既可节约大量的渗透液，又可消除不必要的大量清洗管道的工作。但是设备之纵缝仍然采用喷涂方法。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

渗透时间除了应考虑到当时的气温条件外，还要考虑到因焊口表面光滑，渗透液容易流失，因此渗透时间一般确定为 15min。如果气温超过 35℃，铝镁合金温度可达 40℃，这时如将渗透液刷在焊缝上，渗透液极易挥发和干燥，这样渗透效果不好，可停止作业。

（3）二次清洗　二次清洗的目的是，将焊缝表面上残存的渗透液清洗掉。其过程为先用棉纱将能擦掉的部分渗透液先擦掉，然后再将清洗剂轻轻地喷洒在焊缝及其周围的表面上，并用棉纱擦洗干净。在擦洗过程中要特别注意：因铝合金表面上的缺陷，特别是裂纹一般深度很浅，浮着在裂纹里的渗透液极易被吸出。为避免这种情况发生，最好将清洗剂先喷洒在棉纱上，然后用棉纱去擦洗焊缝，这样将会得到较好的效果。

（4）显像过程　经过清洗的焊缝表面，近似金属本色为好。在喷洒显像剂时要注意：由于显像剂中的氧化镁粉颗粒较粗，易沉淀，喷嘴也易堵塞。因此在使用前，应将显像剂上下摇晃几次，随后使喷嘴与焊缝垂直，在距离 300mm 处进行作业。但是显像剂不要喷的太厚，以免微小缺陷被覆盖，不易发现。干燥方法均采用自然干燥 1～2 min，然后用 5 倍的放大镜进行观察。如果一次确定不下来的可疑点，可进行反复检验，直到得出正确答案。

4. 缺陷的分类　目前一般将渗透检验中的缺陷分为三类：

（1）由裂纹显示的花纹；

（2）由线状缺陷显示的花纹；

（3）由片状缺陷显示的花纹。

对于第一类缺陷的显示，不管其几何尺寸大小，均需打

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

磨处理。然后再进行着色探伤，直到无裂纹为准。

2 超声探伤仪与探头的组合性能测试，并鉴定其性能优劣

一、斜探头声束入射点及前沿长度 L_0的 测定

用斜探头对焊缝等进行探测时，为保证对缺陷的正确定位，探测前必须测定探头的声束入射点及其前沿长度。

测定时仪器“抑制”适当开大，以减小仪器的动态范围，其余旋钮置于适当位置。将探头置于 1 号标准试块上，如图 2.3-20所示。前后移动探头，当得到半径 100圆弧面的最高回波时，读取与该圆弧中心记号对应的探头侧面的刻度，作为入射点，读数精确到 0.5 mm。探头不动，用刻度尺测量由上面测得的入射点至探头前沿的距离 L，读数精确到0.5mm。

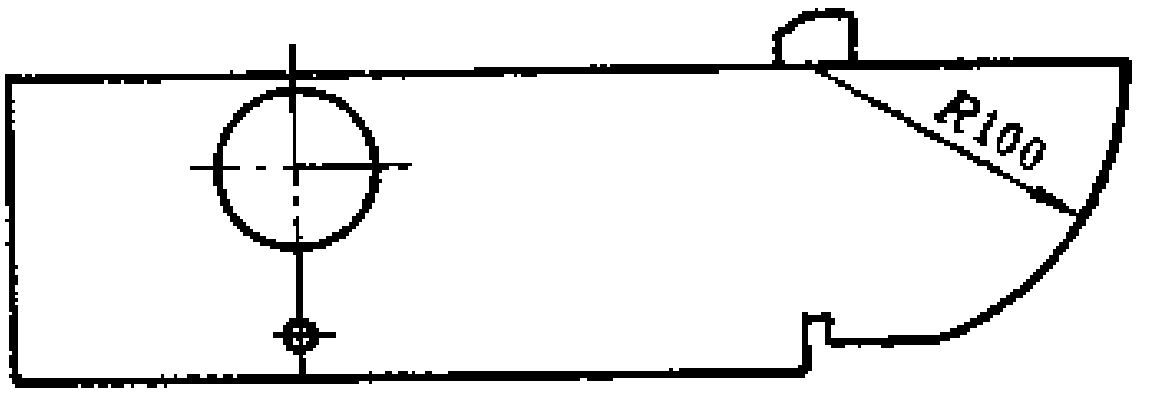


图2.3-20 探头入射点的测量

二、斜探头 K（$\mathrm{tg}\beta$）值的测定

在焊缝超声波探伤中，为了保证对缺陷的正确定位，除了需事先测量探头的声束入射点及其前沿长 L 外，还应事先测定探头的实际 K 值。

斜探头实际 K 值的测定如图 2.3-21 所示。测定时，仪器“抑制”适当开大，以减小仪器的动态范围，使之易于分辨圆弧的最大回波，其余旋钮置于适当位置。

测定时将探头置于 1 号标准试块上，当 $K \leqslant 1.5$ 时，将探头放在如图 2.3-21 a 所示位置，观察 ϕ50mm 孔的回波；$1.5 < K \leqslant 2.5$ 时，探头放在如图 2.3-21 b 所示位置，观察

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

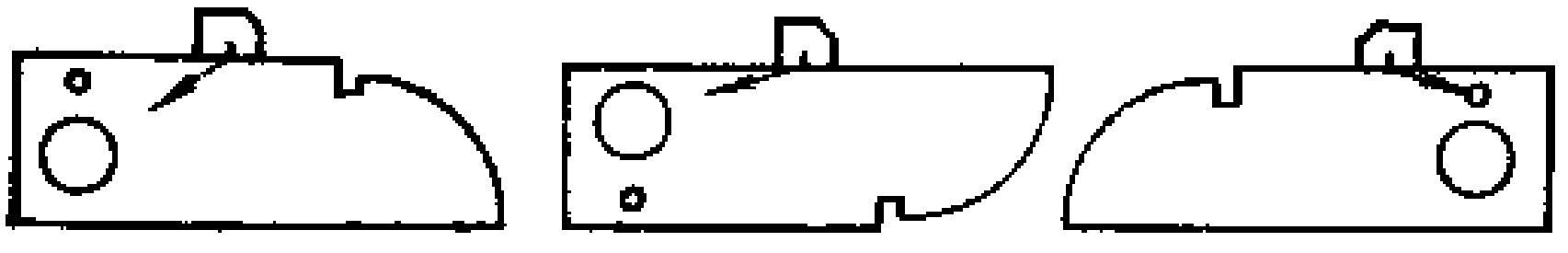


图2.3-21　斜探头K值的测定位置图

ϕ50mm 的回波；$K>2.5$ 时，则观察图 2.3-21 c 的 ϕ1.5 mm 横孔的回波。前后移动探头，直到孔的回波最高时固定下来，然后在试块上读出与测得入射点相对应的角度刻度 β，β 即为被测探头的折射角，读数精确到0 .5°。

按式（2.3-4）计算K值

$$K = \mathrm{tg}\,\beta \qquad (2.3\text{-}4)$$

式中　β——折射角，(度)；

K——β 的正切值。

三、探伤灵敏度余量的测量

灵敏度余量是表示探伤设备（仪器和探头）检测微小缺缺的能力，它与仪器及探头的性能好坏有关。即使是同一种仪器，若各探头的质量指标不一致，则各探头与仪器的组合灵敏度指标也就不一样。

这里所指的灵敏度是指在规定的探测深度（或声程）下，能检出的最小缺陷。通常是以规定探测深度下的人工孔径或灵敏度余量（dB）来表征。灵敏度余量的具体测试可按 ZBY230—84 之规定进行。

测定时，将探伤仪与石英标准探头连接，首先按标准规定测出探伤仪的电噪声电平，然后调节（衰减器）或（增益），使电噪声电平≤10%，并记下此时（衰减器）的读数

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

S_0。

将石英标定探头置于1号标准试块上，厚度100mm处，并使底波处于最高位置，调节衰减器，使底波B_1幅度恰为垂直刻度的50%，记下此时（衰减器）的读数S_1，则探伤灵敏度余量按(2.3-5)式计算。

$$S_Q = S_1 - S_0 \qquad (2.3\text{-}5)$$

式中 S_Q——石英标定探头的探伤灵敏度余量，(dB)。

连接常用直探头并置于Z_{20}-2试块上，如图2.3-22所示。移动探头使孔波最高，调节衰减器使孔波幅为垂直刻度的50%。记下此时衰减器的读数S_2，则探伤灵敏度余量按式(2.3-6)计算。

$$S_P = S_2 - S_0 \qquad (2.3\text{-}6)$$

式中 S_P——常用直探头的探伤灵敏度余量(dB)。

四、垂直线性误差的测量

仪器示波屏上反射波高度与接收信号之间成正比例关系的程度，称为仪器的垂直线性。

垂直线性的测定，是将与仪器连接的探头固定在试块上，如图2.3-23所示。

调节探伤仪，使荧光屏上显示的探伤图形中的孔波幅度恰为垂直刻度的100%，且(衰减器)至少有30dB的衰减余量。

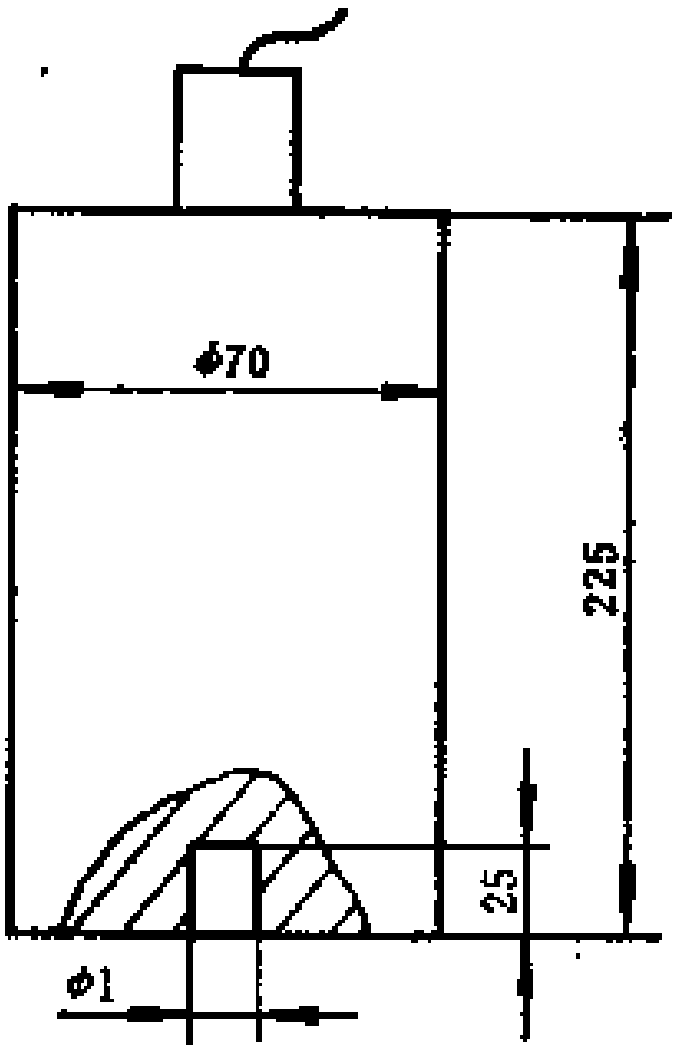


图2.3-22 直探头在Z_{20}-2试块上的位置

调节衰减器，依次记下每衰减2dB时孔波幅度的百分

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

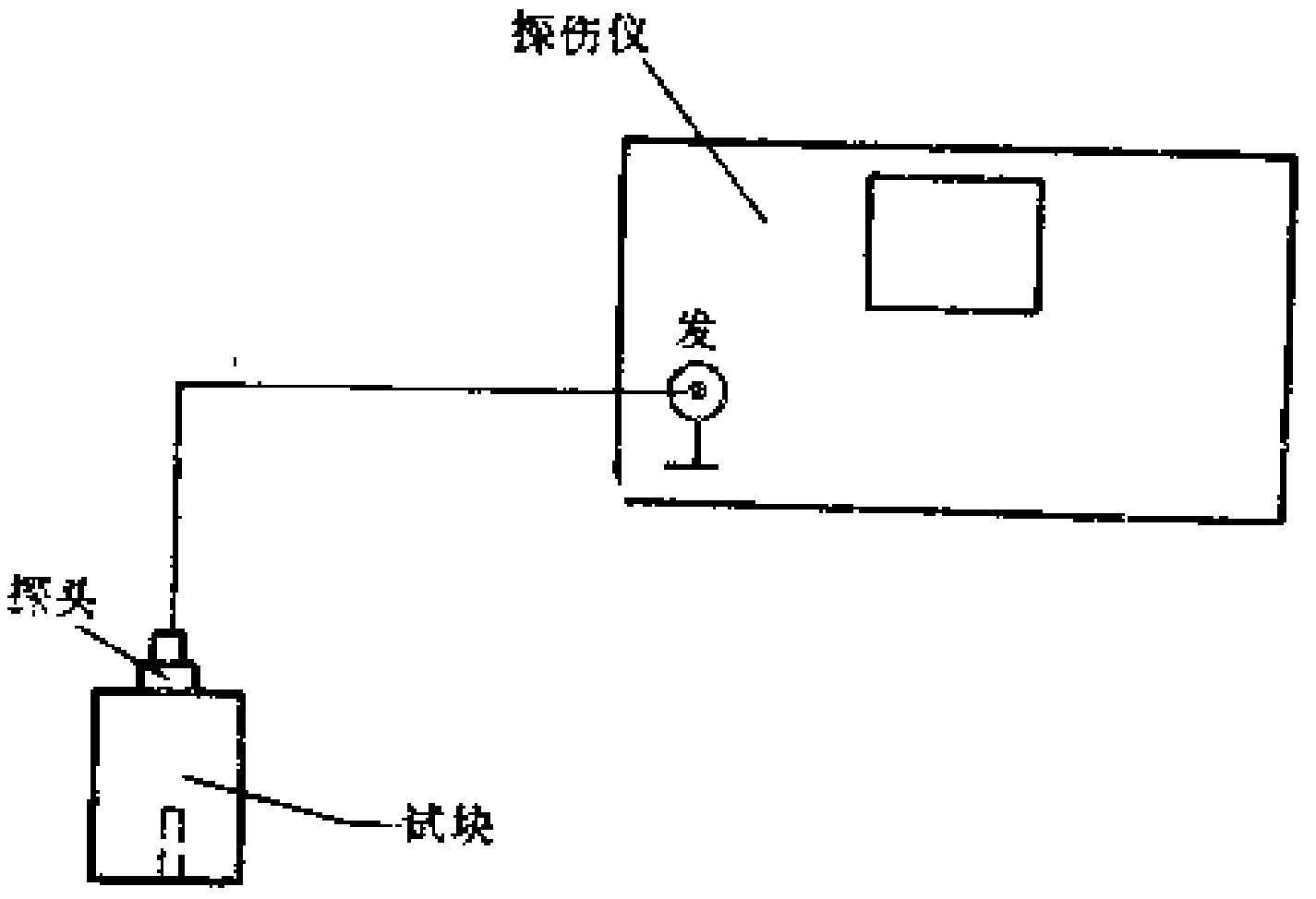


图2.3-23　仪器垂直线性测量示意图

数直至 26dB。然后将孔波幅度实测值与表 2.3-3 中的 理 论值相比较，取最大正偏差d_+与最大负偏差d_-之绝对值的和为垂直线性误差 Δd，如（2.3-7）式。

$$\Delta d = |d_+| + |d_-| \qquad (2.3\text{-}7)$$

式中　Δd——垂直线性误差，（%）。

表2.3-3　波高理论值与衰减量的关系

衰减量（dB）	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
波高理论值（%）	100	79.4	63.1	50.1	39.8	31.6	25.1	20.0	15.8	12.5	10.0	7.9	6.3	5.0

五、仪器水平线性的测定

仪器的水平线性又称时基线性，指的是仪器时基线显示值与探测声程之间的正比例程度。测定时连接探头，并根据被测探伤仪中扫描范围档级的要求，将探头固定于适当厚度

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

的试块上，如图 2.3-24 所示。再调节探伤仪，使之显示多次无干扰底波。

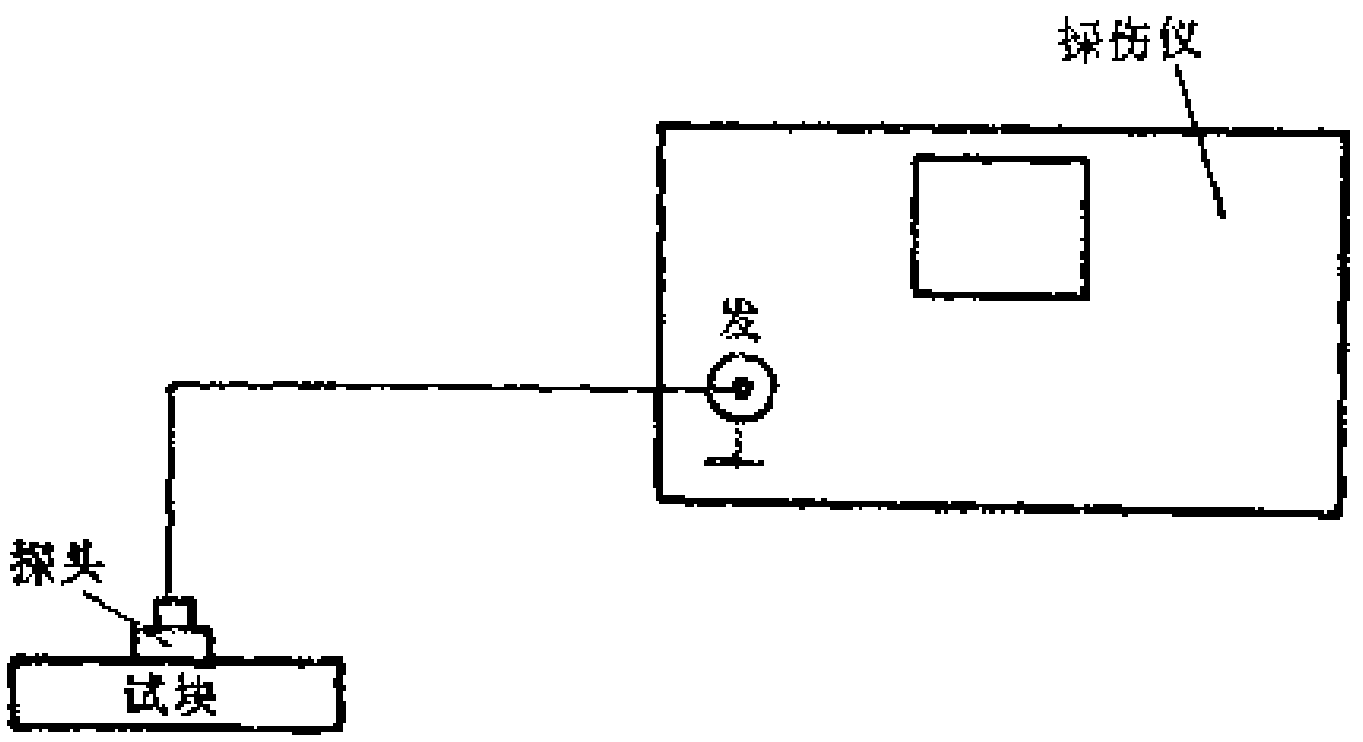


图2.3-24　仪器水平线性测量示意图

在不具有“延迟扫描”功能的探伤仪中，在分别将底波调到相同幅度（如垂直刻度的 80%）的条件下，使第一次底波 B_1的前沿对准，水平刻度“2”，第五次底波 B_5的前沿对准水平刻度“10”；然后再依次将每次底波调到上述幅度时，分别读取二、三、四次底波前沿与水平刻度“4”、“6”“8”的偏差 L_n，见图 2.3-25，然后取其最大偏差 l_{max} 按

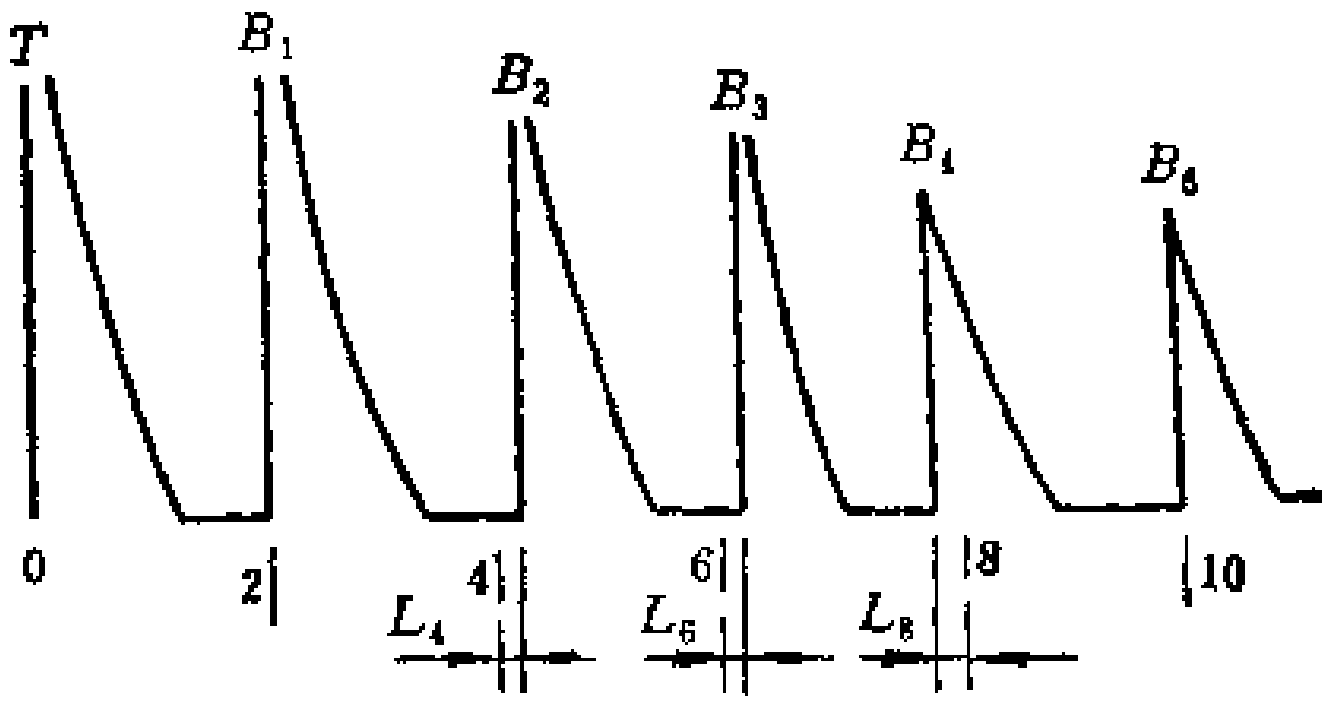


图2.3-25　不同底波在扫描线上的位置

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

式（2.3-8）计算水平线性误差 ΔL。

$$\Delta L = \frac{|L_{max}|}{0.8B} \times 100\% \qquad (2.3\text{-}8)$$

式中　ΔL—— 水平线性误差，（%）；

B——水平全刻度数。

在具有“延迟扫描”功能的探伤仪中，仍按上述方法将底波 B_1前沿对准水平刻度“0”，底波 B_5前沿对准水平刻度“10”，然后取第二至第五次底波中之最大偏差值L_{max}，再按（2.3-9）式计算水平线性误差 ΔL

$$\Delta L = \frac{|L_{max}|}{B} \times 100\% \qquad (2.3\text{-}9)$$

在探伤仪扫描范围内的每个档级，至少应测试一种扫描速度下的水平线性误差。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

参 考 文 献

〔1〕〔日〕无损检测协会编　戴端松、张企耀译校《无损检测概论》　上海科学技术出版社　1981年

〔2〕无损检测学会编《磁粉探伤》　机械工业出版社　1987年

〔3〕上海铁道学院编写组编《电工原理》　1979年

〔4〕射线检验培训教材编写组 编《射线检验培训教材》　水利电力出版社　1983年

〔5〕云庆华等编《无损探伤》　劳动出版社　1982年

〔6〕机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会《机械工程手册》　机械工业出版社　1978年

〔7〕鞍山钢铁公司修建部编《电焊工》　辽宁人民出版社　1980年

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

工人技术等级标准自学丛书

铸造工必读
化铁工必读
有色金属熔炼工必读
筑炉工必读
锻压工必读
热处理工必读
电镀工必读
油漆工必读
车工必读
镗铣工必读
齿轮工必读
磨工必读
刨工必读
钳工必读*
工具钳工必读*
铆工必读*
电焊工必读*
气焊工必读*
木工必读
模型工必读

工业化学分析工必读
物理金相实验工必读
无损探伤工必读
内外线电工必读*
维修电工必读*
有线电维修工必读*
热工仪表检修工必读
管道工必读
起重工必读
模样检查工必读
铸件检查工必读
锻件检查工必读
机械检查工必读
热处理检查工必读
电镀、油漆检查工必读
铆、焊检查工必读
计量检定修理工必读
电工仪表修理工必读
机动车修理工必读*

注：凡书名后有*者为天津科学技术出版社出版，其余为机械工业出版社出版。

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

[General Information]
书名=无损探伤工必读
作者=
页数=306
SS号=10707088
出版日期=

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

目录

1 常用无损探伤仪的种类和用途

2 自用探伤仪的电路框图、探伤原理、主要性能、灵敏度、使用范围、操作规程和维护保养简单知识

3 常用辅助设备的种类、名称、规格、型号、使用规则及保养方法

4 常用工具、用具（或材料）的种类、名称、规格和用途

5 常见金属材料的种类、名称、规格和牌号

6 药液配方的名称、性能、主要成分、配制及

使用注意事项

7 机械制图基本知识

8 有关计算：划线、探伤比例、射线探伤灵敏度计算

9 按技术标准、工艺卡、技术条件、操作规程掌握

下列方法的操作过程

１０焊接种类、方法及识别常识（区别手工电弧焊、电渣焊、氩弧焊等）

１１电工基本知识

１２有关锅炉、压力容器知识

１３射线对人体的危害及防护知识

１４安全技术规程应会

1 正确使用和维护保养自用无损探伤仪（X射线、γ射线、超声波、渗透等探伤仪）

2 正确使用有关工具、用具和辅助设备及维护保养。一般工具、用具的修理和自制

3 常用药液的配制（显影液、定影液、磁悬液）及识别

4 看懂零件图

5 正确执行探伤工艺规程

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

6 独立地进行无损探伤中的辅助工作和生产准备工作

7 独立地按规程标准、有关技术文件调整仪器和正确进行射线、磁粉、渗透检验操作。准确做好原始记录

8 从底片上衡量工作质量（曝光过变、曝光不足、露光、灵敏度低于要求、标记不全、贴片对位不正确等）。并能识别典型缺陷种类

9 对简单工件如钢板、平面锻件进行超声波探伤,

判别波形，作出判断

１０室外工作时，射线探伤的安全防护计算

１１电工基本操作（仪器电源接线、调换熔丝、安全用电等）

１２正确执行有关安全防护规则

１３做到岗位责任制和文明生产的各项要求

工作实例

1 筒体纵缝、环缝X射线或γ射线探伤的操作过程

2 排除射线、超声、磁粉探伤仪电源不通的故障及

超声探头、磁极触头电接触不良等故障

3 正确操作超声波探伤仪探测大直径钢管、轴类锻件等

4 正确操作磁粉探伤仪探测焊缝、螺栓、轴等工件。正确使用灵敏度试片

5 正确配制各种探伤用药液、显影液、定影液、磁悬液等

中级工

应知

1 X射线探伤仪和γ射线探伤仪的一般结构原理

2 探伤仪常见简单故障分析

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

3 超声探伤中用的各种探头的基本结构

4 了解常用仪器（射线、超声、磁粉、荧光探伤仪）的主要技术性能

5 金属工艺学（热处理、铸造、压力加工等）

初步知识

6 探伤中自用用具（或材料）和药液的作用和原理

7 探伤中自用用具（或材料）和药液的质量鉴别方法

8 超声波探伤的物理基础、探伤方法，缺陷定位、

定量的计算

9 磁化电流规范计算

１０掌握射线探伤的评片标准

１１射线探伤原理及影响灵敏度的原因，提高灵敏度的措施

１２各种产品（焊件、锻件、钢板、钢管、铸件等）常见缺陷种类及产生原因

１３射线探伤中各参数之间相互关系的理论分析和电压、电流、曝光时间、焦距、焦点大小、工件厚度差等对底片质量的影响

１４电工一般基础知识

１５受压容器的基本知识（类别、等级、采用何种探伤方法、抽查比例、工艺要求等）

１６生产技术管理知识

应会

1 正确使用射线剂量仪进行剂量计算

2 根据评片标准正确地评片，作出结论，出具报告

3 根据产品的几何形状、厚度、技术要求，正确选择

探伤规范和有关技术条件

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com

4 超声检测较复杂的工件并能正确地对缺陷进行定位、定量、判别波形

5 分析射线底片报废原因并提出改进措施

6 超声检测常见工件，结合工件制造工艺对缺陷进行分析并做出结论

工作实例

1 能独立地对整台容器探伤

2 超声探伤仪与探头的组合性能测试，并鉴定其性能优劣

参考文献

常州三合声源超声波科技有限公司
www.shsytanshang.com