



中国机械工程学会无损检测分会 UT培训讲义

本讲义由学会常务委员 晏荣明 编写
(仅供参考)

中国机械工程学会无损检测分会 深圳市无损检测人员培训中心

电话：021-65550277

电话：13538291001

邮箱：chsndt2008@163.com

邮箱：yanrongming@126.com

第三章 超声检测系统

CHAPTER 3

ULTRASONIC TESTING SYSTEM

内容 CONTENTS

- 超声检测仪器 **UT UNITS**
- 超声检测探头 **UT TRANSDUCERS**
- 耦合剂 **COUPLANTS**
- 超声检测试块
UT BLOCKS
- 检测系统的性能及测试
PERFORMANCE & TESTING

超声检测仪器 UT UNITS

- 功能和分类 **Function and Classification**
- **A型脉冲反射式模拟超声探伤仪**
A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument
- **A型脉冲反射式数字式超声探伤仪**
A-scan Pulse Echo Digital UT Instrument
- **超声测厚仪 ultrasonic thickness gouge**

功能和分类

Function and Classification

- 产生必要的电脉冲激励信号提供给发射换能器以便激发超声波；
- 接收、处理、分析并显示来自接收换能器的包含被检对象的不连续性或物理量信息的信号，以便对不连续性或物理量作出评价。

功能和分类

Function and Classification

按应用领域分

- 超声波探伤仪
- 超声波测厚仪
- 超声波声速仪
- 超声波流量计

功能和分类

Function and Classification

超声波探伤仪

- 按超声波种类分：连续波、脉冲波、调频波；
- 按显示方法分：A扫描、B扫描、C扫描；
- 按信号处理方法分：模拟式、数字式。

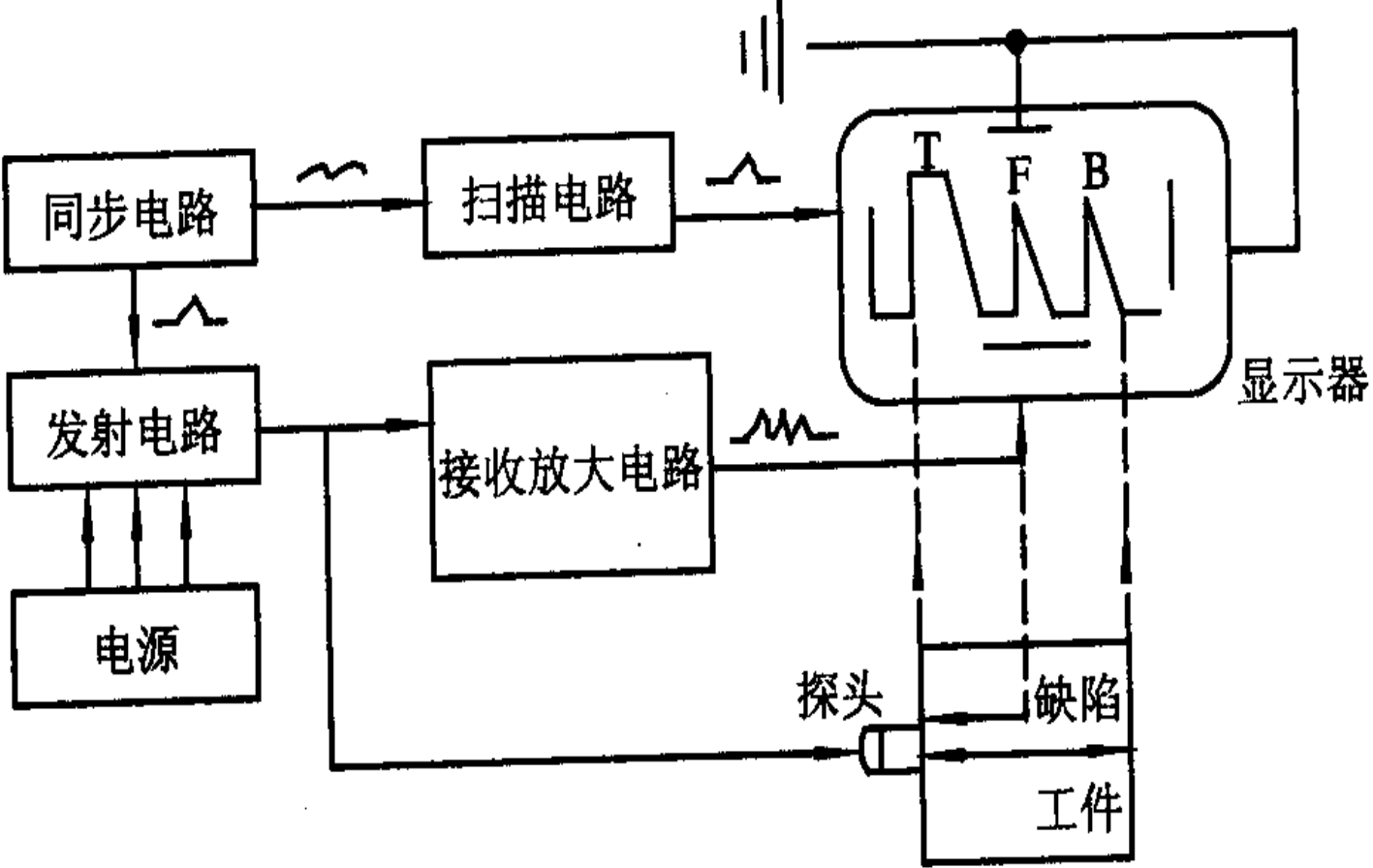
A型脉冲反射式模拟超声探伤仪

A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument

- 工作原理
- 电路分析
- **A型脉冲反射式模拟超声探伤仪旋钮**

A型脉冲反射式模拟超声探伤仪

A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument



A型脉冲反射式模拟超声探伤仪

A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument

- 同步电路
- 发射电路
- 时基电路
- 接收电路
- 放大电路
- 显示电路

A型脉冲反射式模拟超声探伤仪A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument ——同步电路

- 功能：产生周期脉冲信号（即同步信号），用以触发探伤仪各部分协同工作。
- 要求：前沿陡；重复频率有一定范围，通常在50Hz~4000Hz，以适应不同尺寸工件和不同扫描速度的探伤。
- 影响：灵敏度和时基线的亮度。

A型脉冲反射式模拟超声探伤仪A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument ——发射电路

- 功能：在同步信号的触发下，以重复频率产生高频高压的发射信号，用以激励探头中的晶片振动，从而产生超声波。
- 要求：高脉冲幅度 (300-1000v)以提高探头的辐射强度从而提高超声波的穿透力和灵敏度；窄脉冲宽度以覆盖很宽的频率范围和提高分辨率。
- 影响：超声波的穿透力，检测灵敏度和分辨力。

A型脉冲反射式模拟超声探伤仪A-scan Pulse Echo Analog UT Instrument ——时基电路

- 功能：在同步信号的触发下，以重复频率产生锯齿波信号，加在示波管的水平偏转板上，形成水平扫描线。
- 要求：线性好，以提高仪器的水平线性，进而提高定位精度；锯齿波信号的斜率可调，以调节仪器的扫描范围，适应不同尺寸工件的检测。
- 影响：仪器的水平线性；扫描范围。

接收电路

功能：探头接收到微弱的回波信号先用经校核的衰减器进行衰减（最大**30dB~40dB**），以便作定量评定；阻抗匹配，频率调谐。

- 要求：宽频带以覆盖更大频率范围；好的放大线性以提高仪器的垂直线性及定量评定精度；短阻塞时间以缩短盲区。
- 影响：系统的灵敏度和上盲区；仪器的垂直线性
- 调整
 - 匹配阻抗
 - 调谐频率
 - 衰减量

放大电路

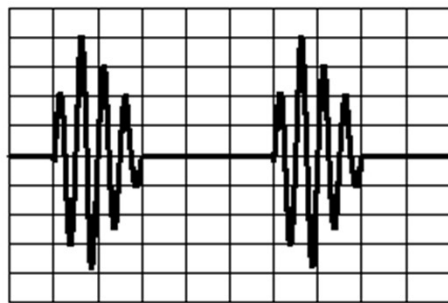
- 功能
 - 信号放大（净增益总量60dB~80dB）
 - 频带滤波
 - 再进行放大，加在示波管的垂直偏转板，以显示回波的形状。
- 要求：高放大倍数以使信号得到足够放大，因而提高灵敏度；
- 调整
 - 增益
 - 频带选择

检波电路

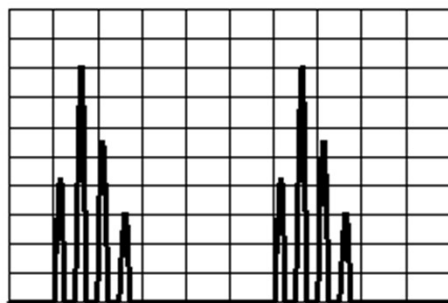
- 功能
 - 整流和滤波，提取载频脉冲的包络信号
- 射频信号
 - 探头自振频率或发射载波频率的超声波，通过短时脉冲调制形成超声波**交变**信号。
 - 显示屏上满幅显示（0~±50%）
 - 同时有脉冲信息和载波信息
- 检波（视频）信号
 - **直流脉冲**包络信号
 - 显示满幅（0~100%）
 - 只有脉冲信息
- 信号抑制电路
 - 将小信号斩波到零

检波电路

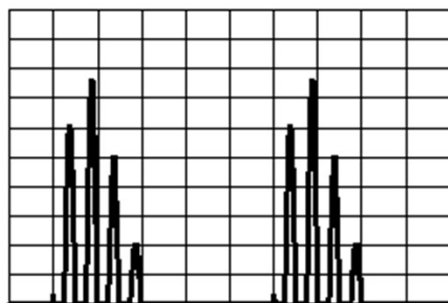
射频波形



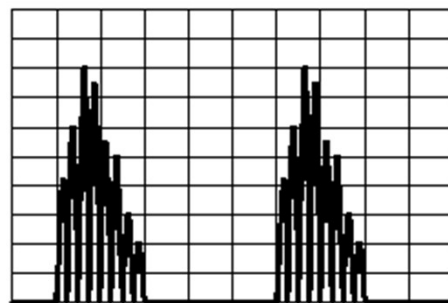
正向检波



负向检波



双向检波

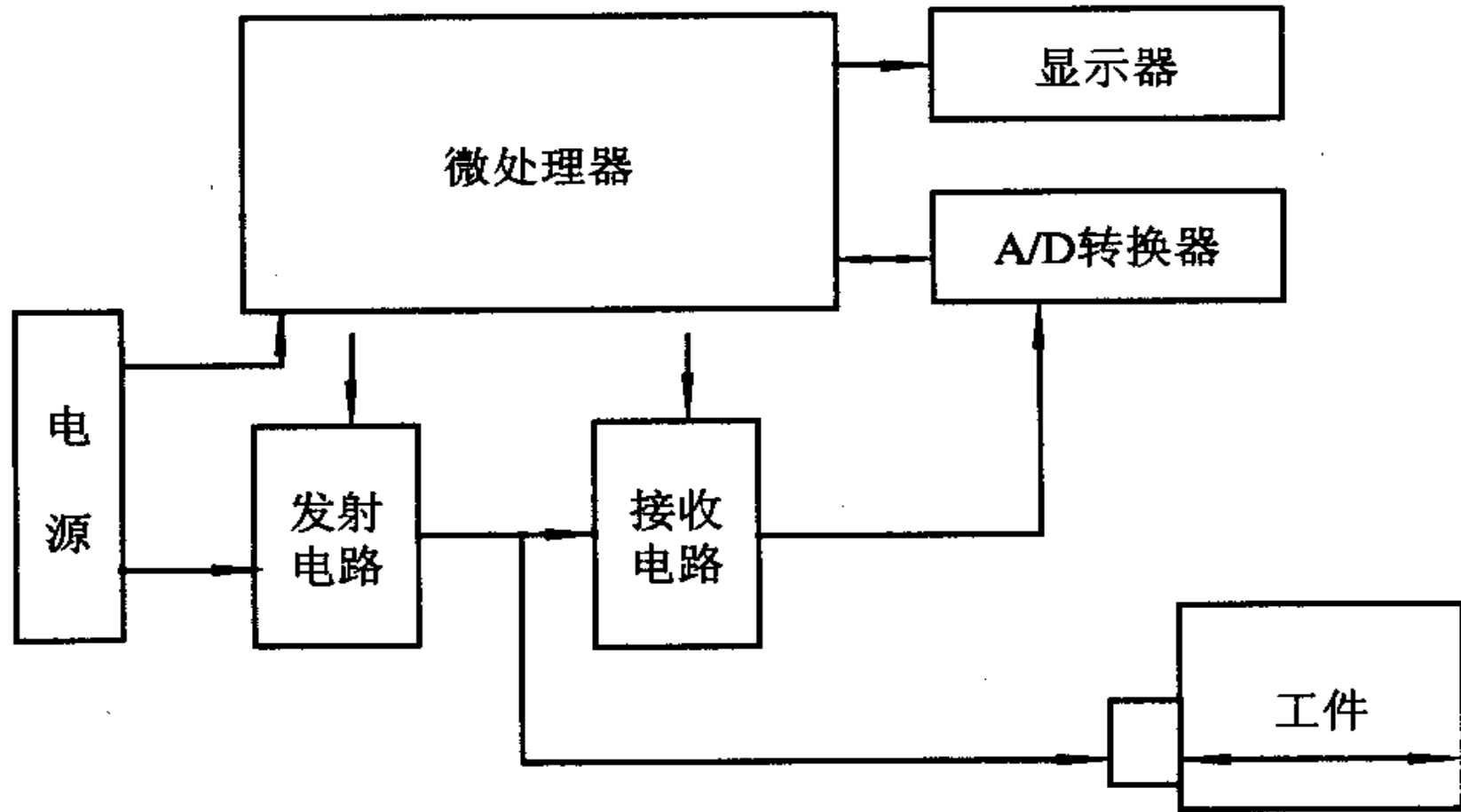


滤波波形



A型脉冲反射式数字式超声探伤仪

A-scan Pulse Echo Digital UT Instrument



超声测厚仪

ultrasonic thickness gouge

- 共振式测厚仪
- 脉冲反射式测厚仪
- 兰姆波测厚仪

超声测厚仪——共振式

- 原理

连续波垂直入射到工件中，当厚度为半波长整数倍时，形成驻波，产生共振。

$$\delta = n \cdot \frac{\lambda}{2} = n \frac{c}{2f_n}$$

当 $n = 1$ 时，测得相邻两个共振频率后，即可计算厚度：

$$\delta = \frac{c}{2(f_n - f_{n-1})}$$

- 优点：可测厚度下限0.1mm，精度0.1%；
- 缺点：不能直读结果，需要计算。

超声测厚仪——脉冲反射式

- 原理

通过测量超声波在工件中往返时间，根据声速计算：

两种方法：
$$\delta = \frac{ct}{2}$$
始波与第一次底波之间的时间，可测下限1-1.5mm；
第一次和第二次底波之间的时间，可测下限0.25mm.

- 优点：精度0.01mm，应用最广。

超声测厚仪——兰姆波

- 原理

在频率、入射角和厚度一定时激发兰姆波，然后，改变入射角或频率，产生兰姆波，根据入射角或频率测量厚度。

- 应用较少。

超声检测探头 **TRANSDUCERS**

- 功能和分类 **Function & Classification**
- 压电效应和压电材料
Piezoelectric Effect & Material
- 压电式超声探头 **Piezoelectric Transducer**
- 探头电缆线 **Transducer Cable**

功能和分类 **Function & Classification**

- 探头在超声检测中起能量转换的作用。
- 发射探头把仪器发射电路提供的电能转换成机械振动能（尤其超声能）向被检工件中辐射超声波。
- 接收探头把机械能（即接收到的超声波）转换成电能，被仪器接收。

功能和分类 **Function & Classification**

- 按应用领域分：探伤探头、测厚探头、测距探头
- 按耦合方法分：接触式探头、液浸式探头
- 按晶片数量分：单晶探头、双晶探头
- 按声束与工件表面的夹角分：直探头、斜探头
- 按所激发的波型分：纵波探头、横波探头、表面波探头
- 按能量是否聚焦分：普通探头、聚焦探头

压电式超声探头

Piezoelectric Transducer

- 接触式单晶直束纵波探头
- 接触式单晶斜束探头
- 接触式双晶探头
- 水浸式单晶直束纵波聚焦探头
- 探头型号命名

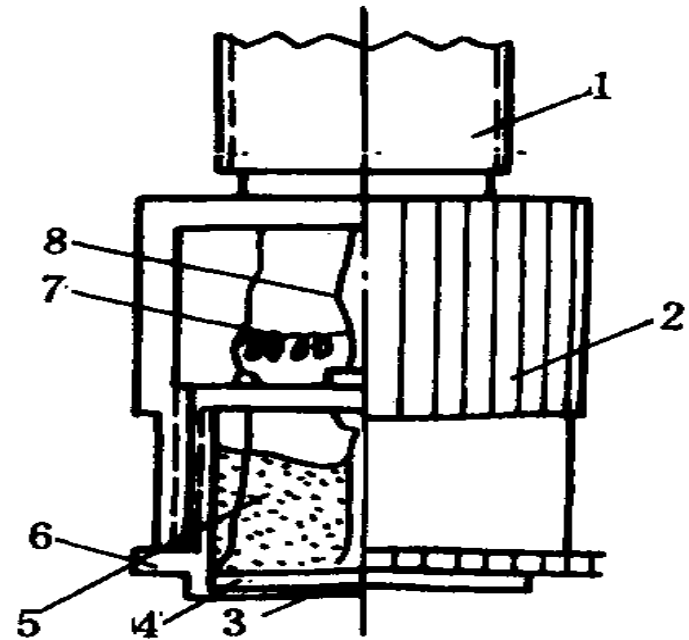
压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——接触式单晶直束纵波探头

- 原理：晶片作厚度方向振动，产生纵波。晶片：发射和接收超声波的作用；

-

- 结构



- 1-接头 2-外壳 3-接线 4-匹配线圈 5-阻尼块
- 6-内壳 7-压电晶片 8-保护膜

压电式超声探头 **Piezoelectric Transducer** ——接触式单晶直束纵波探头

- 晶片：发射和接收超声波；
- 阻尼块：增加晶片阻尼、吸收往背面辐射的声波；
- 保护膜：保护晶片免受磨损和损伤。

- 特点：结构简单，使用方便；

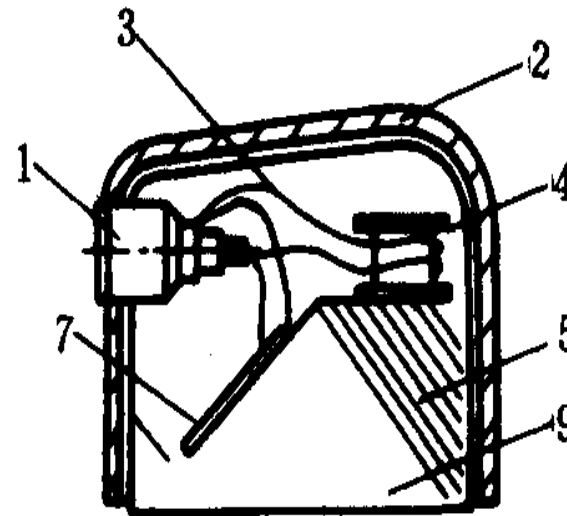
- 应用：直射声束纵波检测。

压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——接触式单晶斜束探头

- 原理：在发射信号的激励下，晶片产生纵波，倾斜传到斜楔与被检工件的界面时，发生折射和波型转换，在工件中得到与探头固有频率相同频率的所需要波型。

- 结构



1-接头 2-外壳 3-接线 4-匹配线圈 5-阻尼块
6-内壳 7-压电晶片 8-保护膜 9-斜楔

压电式超声探头 **Piezoelectric Transducer** ——接触式单晶斜束探头

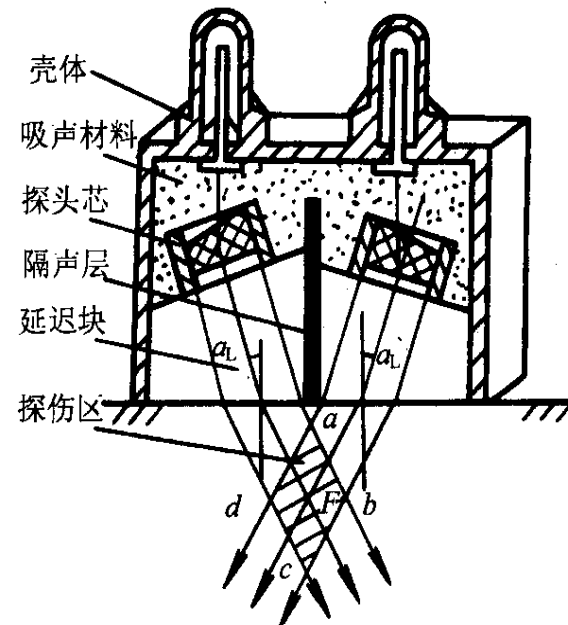
- 斜楔：保护晶片和转换波型。
- 特点：产生斜向声束；可通过不同的斜楔角度得到不同的波型。
- 应用：横波检测、表面波检测、板波检测。

压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——接触式双晶直束纵波探头

- 原理：两晶片一发一收，分别发射和接收信号。

- 结构



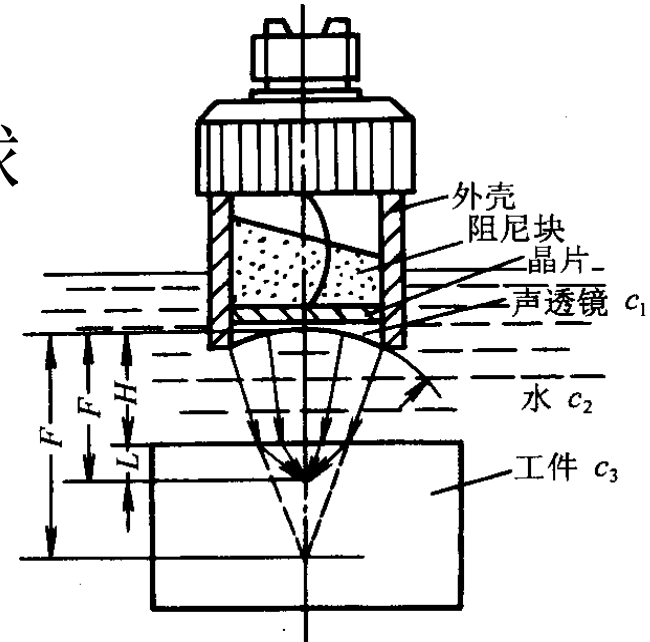
压电式超声探头 **Piezoelectric Transducer** ——接触式双晶直束纵波探头

- 隔声层：阻止发射信号直接被接收。
- 特点：高幅度的发射信号未直接进入接收电路造成阻塞，所以检测盲区小；具有一定的聚焦效果。
- 应用：测厚、薄板及近表面不连续性的检测；还用于粗晶材料的斜束检测。

压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——水浸式单晶直束纵波聚焦探头

- 原理：直探头发射超声波，经透镜聚焦。
- 结构：直探头和平一凹球



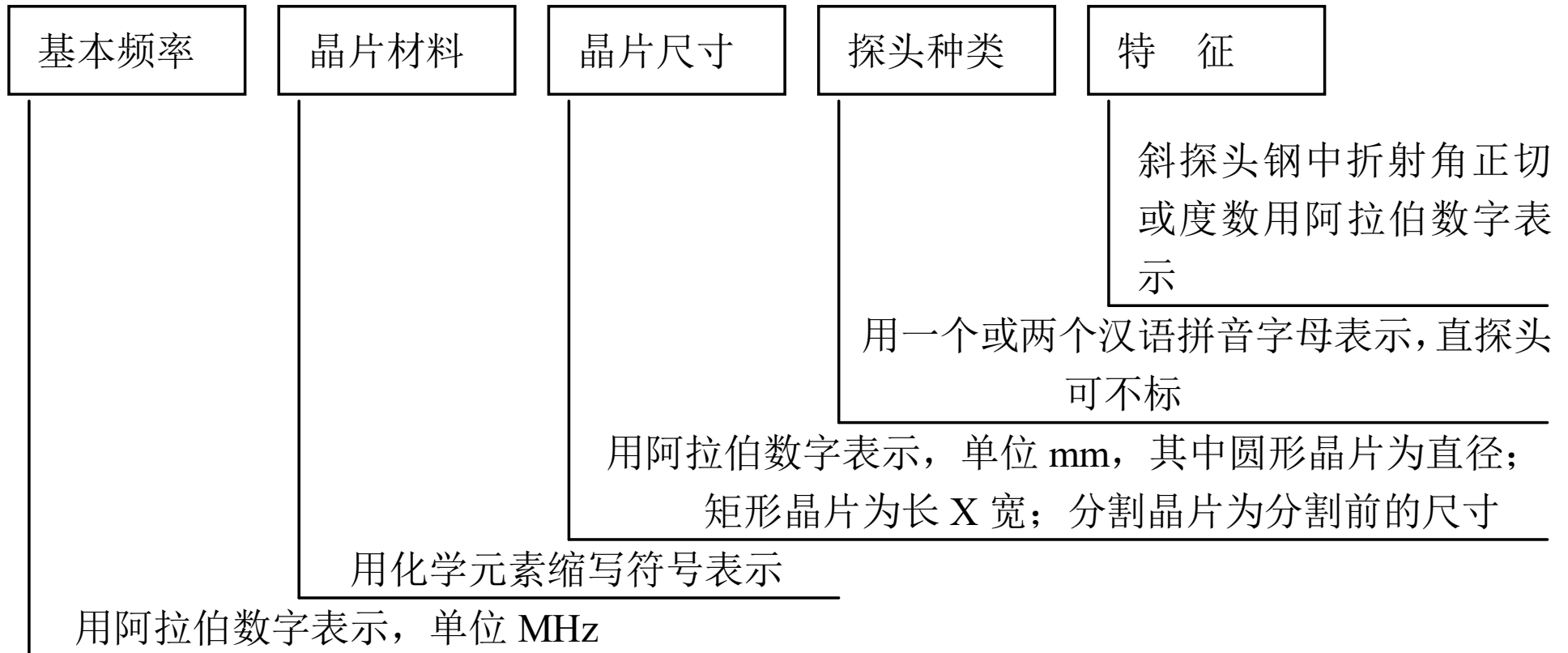
压电式超声探头 **Piezoelectric Transducer**

——水浸式单晶直束纵波聚焦探头

- 特点：聚焦探头能量集中、检测灵敏度高、横向分辨率好。
- 应用：特别适合于不连续性的定位和定量的精确评定。

压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——探头型号命名



压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——探头型号命名

晶片材料	代号
锆钛酸铅陶瓷	P
钛酸钡陶瓷	B
钛酸铅陶瓷	T
铌酸锂单晶	L
碘酸锂单晶	I
石英单晶	Q
其他材料	N

压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——探头型号命名

探 头 种 类	代 号
直探头	Z
斜探头（用 K 表示）	K
斜探头（用角度表示）	X
分割探头	FG
水浸探头	SJ
表面波探头	BM
可变角探头	KB

压电式超声探头 Piezoelectric Transducer

——探头型号命名

2.5 B 20 Z

种类：直探头

晶片直径：14mm

晶片材料：钛酸钡陶瓷

基本频率：2.5MHz

5 P 6*6 K 3

特征值：K值为3

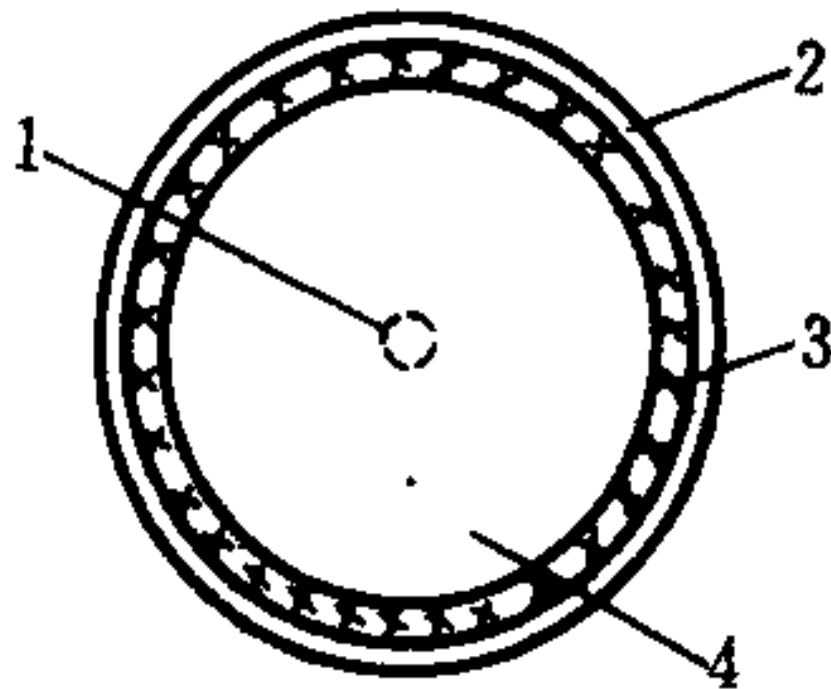
种类：用K值表示的斜探头

晶片尺寸：长*宽

晶片材料：PZT

基本频率：5MHz

探头电缆线 **Transducer Cable**



耦合剂 COUPLANTS

材料	声阻抗	优点	缺点	备注
水	1.5	便宜	生锈、不易润湿、粘度低	添加防锈剂、润湿剂
机油	1.28	润湿性和粘度合适、无腐蚀		
甘油	2.43	耦合效果好	腐蚀、贵	
水玻璃	2.17			
化学浆糊		便宜	腐蚀	

超声检测试块 **UT BLOCKS**

- 功能和分类 **Function & Classification**
- 标准试块 **Standard Block**
- 参考试块 **Reference Block**

功能和分类 **Function & Classification**

- 功能

探伤仪性能、探头性能以及二者组成的检测系统的综合性能的测量、校验；

仪器定标和灵敏度的调整；不连续性的定位和定量评定。

- 分类

标准试块；

参考试块。

功能和分类 **Function & Classification**

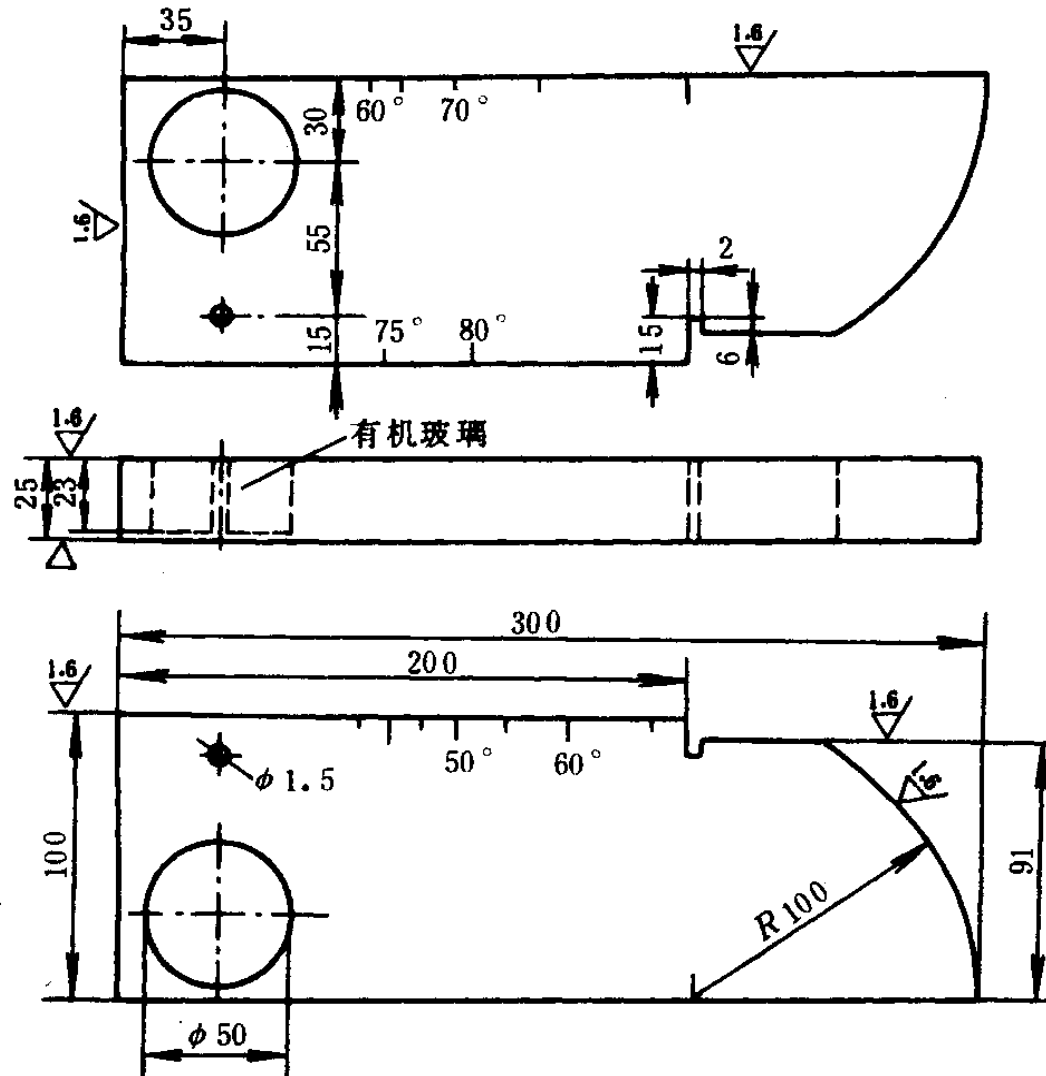
- 制作试块材料的要求
 - 标准试块：符合标准；
 - 参考试块：与被检工作相同或相似；不应有妨碍使用的缺陷。

功能和分类

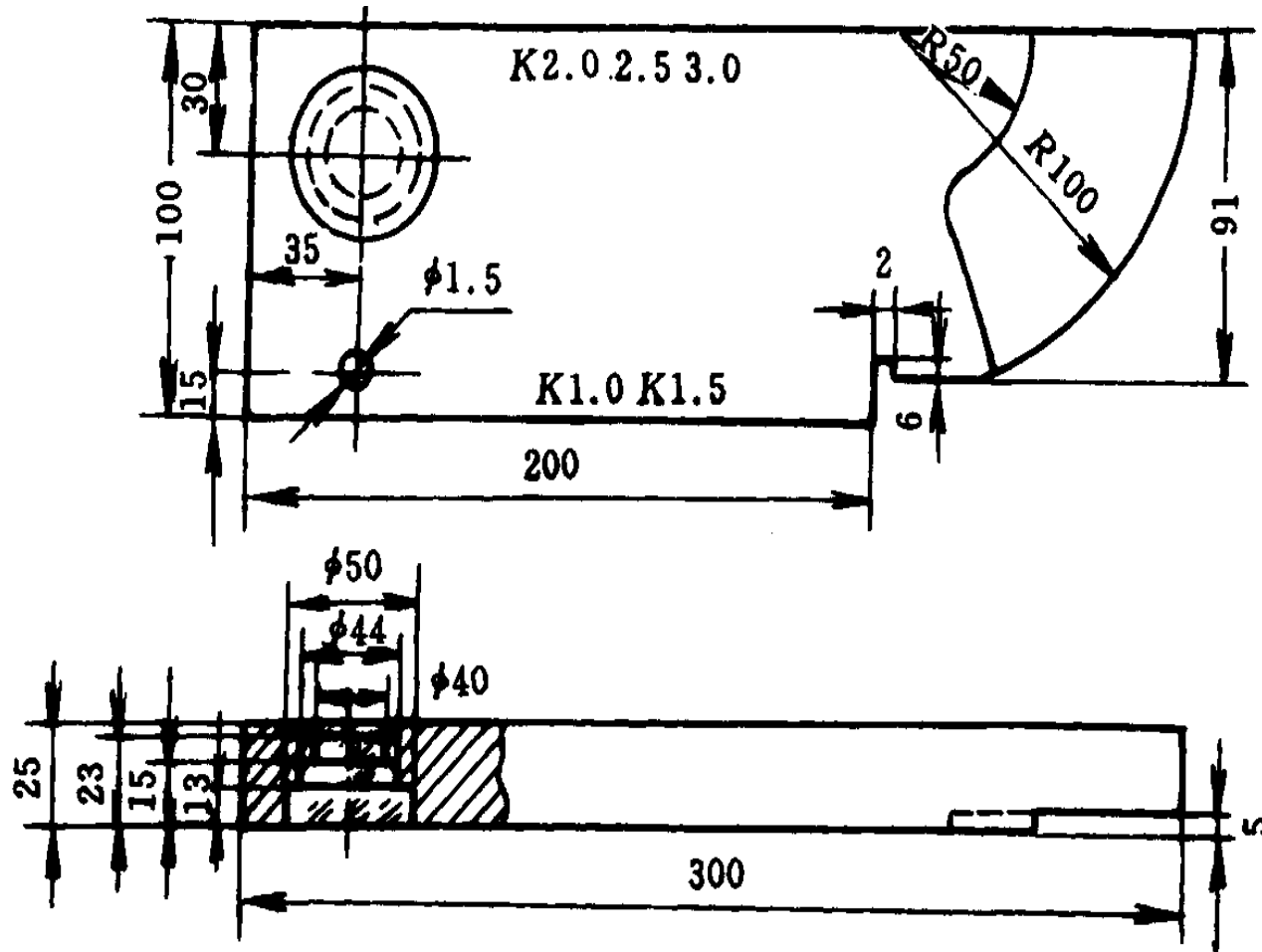
Function & Classification

- IIW1试块
- IIW2 试块
- ASTM铝合金试块
- 半圆试块

标准试块 Standard Block



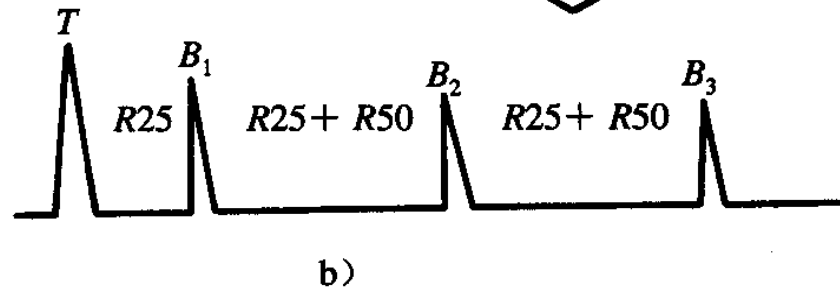
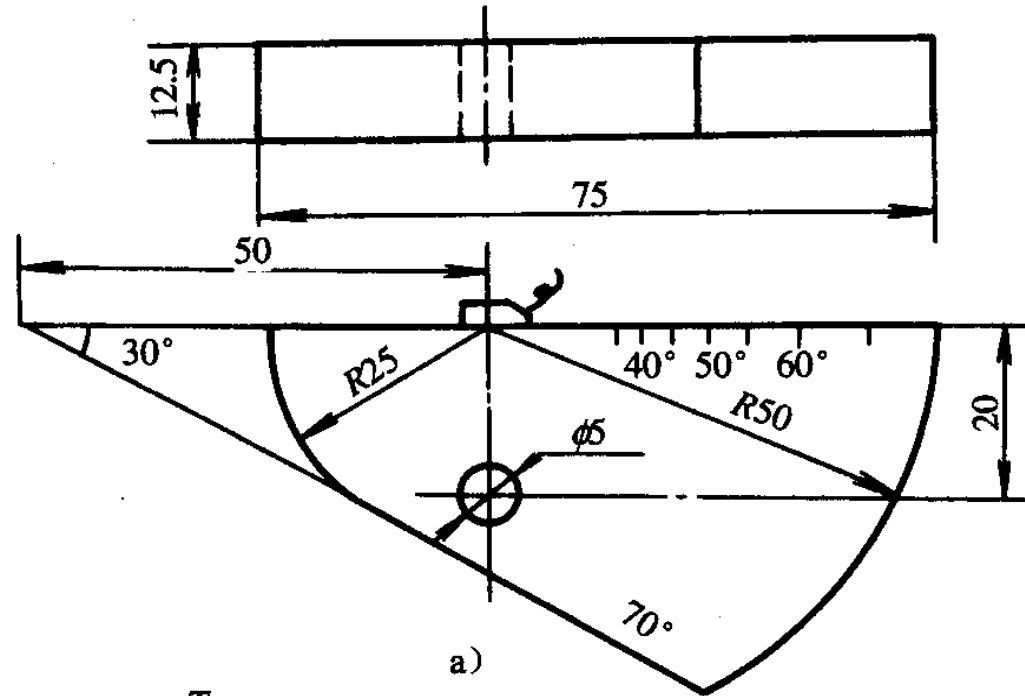
标准试块 Standard Block



标准试块 Standard Block

用途	分类	内容	反射体
测试性能	仪器	水平线性	25 或 100mm 平面
		垂直线性	
		动态范围	
	探头	斜探头入射点	R50 或 R100mm 圆柱面
		斜探头折射角	$\phi 50$ 或 $\phi 1.5$ mm 圆柱孔
		斜探头声束轴线偏离角	25mm 端角
		斜探头声束宽度	$\phi 50$ mm 圆柱面
		斜探头回波频率	R100mm 圆柱面
	综合	斜探头的灵敏度余量测量	R100mm 圆柱面
		直探头远场分辨率	85mm 槽底、91 和 100mm 平面
		斜探头远场分辨率	$\phi 50$ 、 $\phi 44$ 和 $\phi 40$ mm 圆柱孔
		直探头盲区（估计）	$\phi 50$ mm 圆柱孔（至两侧距离 5 和 10mm）
		最大穿透力	23mm 有机玻璃
	调节仪器状态	定标、扫描范围	25 和 100mm 平面或 R50 和 R100mm 圆柱面

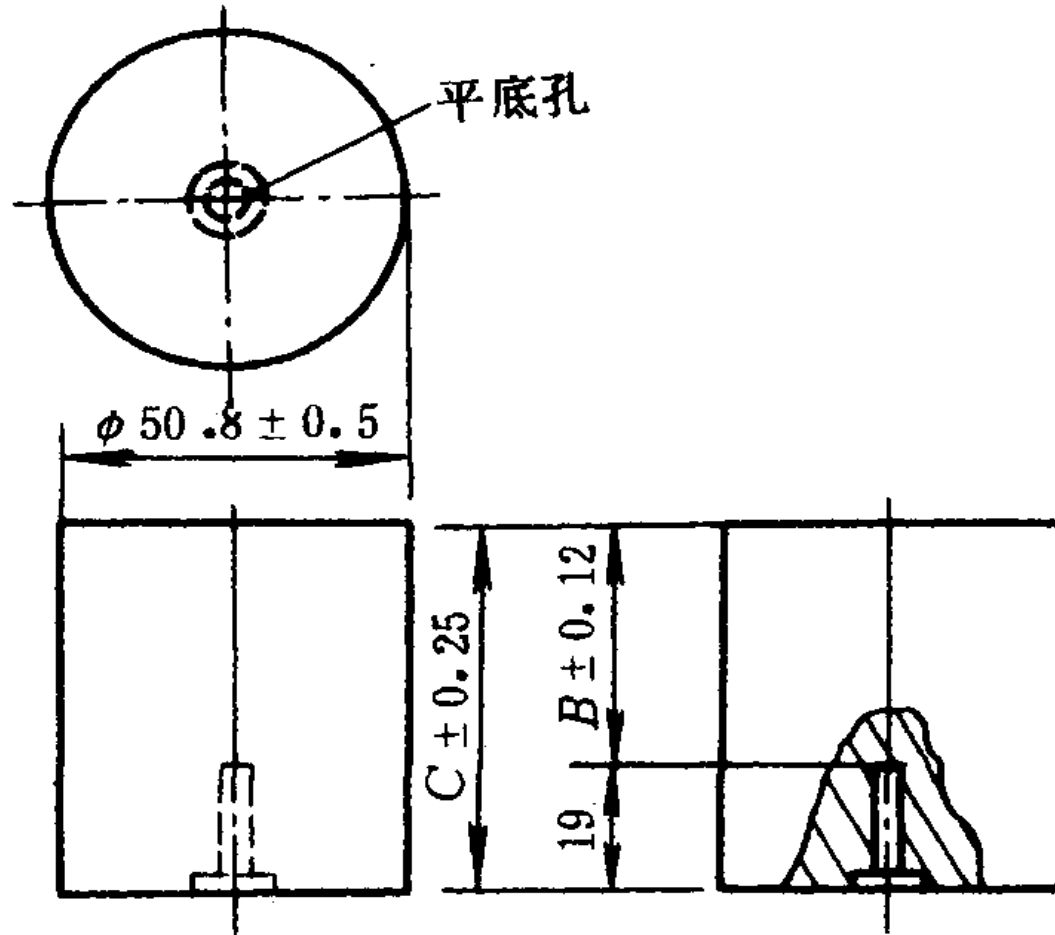
标准试块 Standard Block



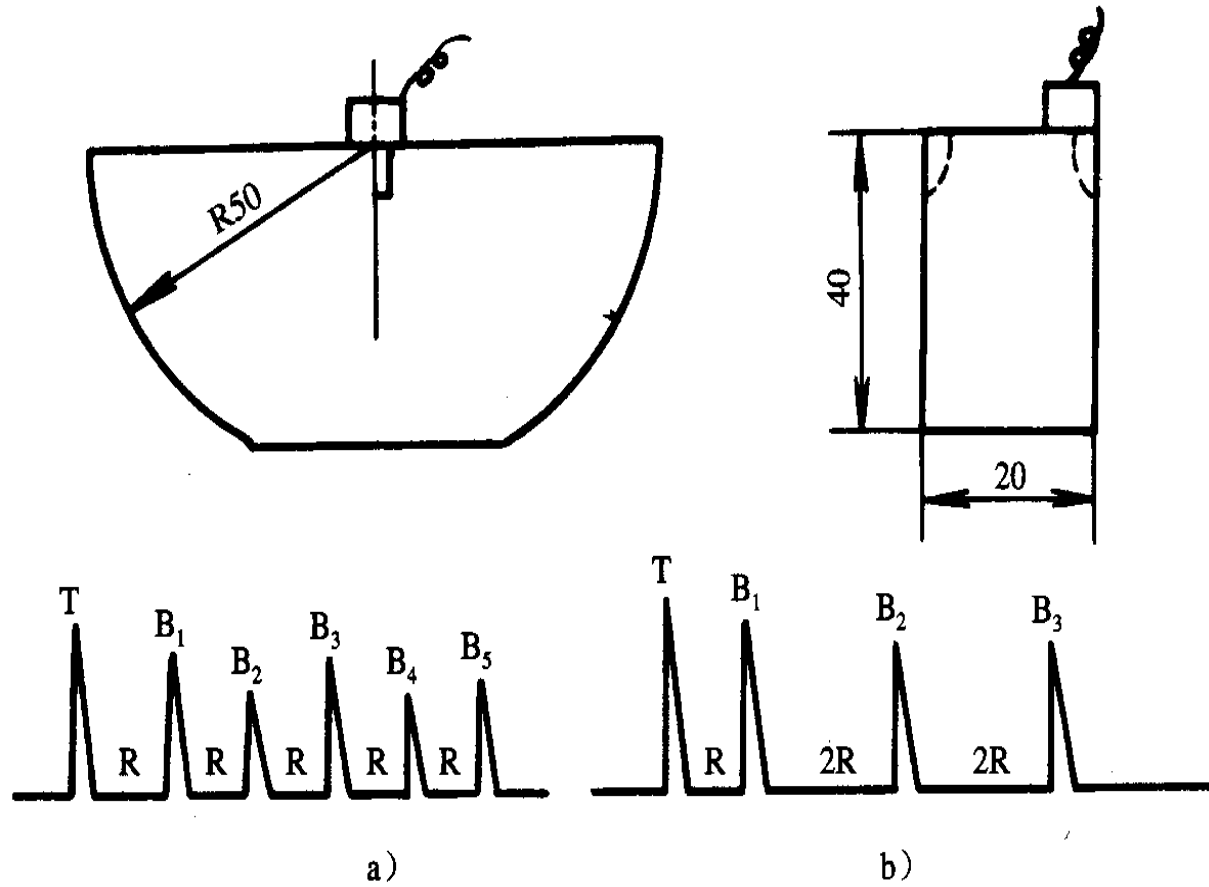
标准试块 Standard Block

用途	分类	内 容	反 射 体
测试性能	仪器	水平线性	12.5mm 平面
		垂直线性	
		动态范围	
	探头	斜探头入射点	R50 或 R25mm 圆柱面
		斜探头折射角	ϕ 5mm 圆柱孔
		斜探头声束轴线偏离	12.5mm 端角
调节和校核仪器状态	时基	定标、扫描范围	12.5mm 平面或 R50 和 R25mm 圆柱面
	灵敏度	回波高度	ϕ 5mm 圆柱孔

标准试块 Standard Block



标准试块 Standard Block

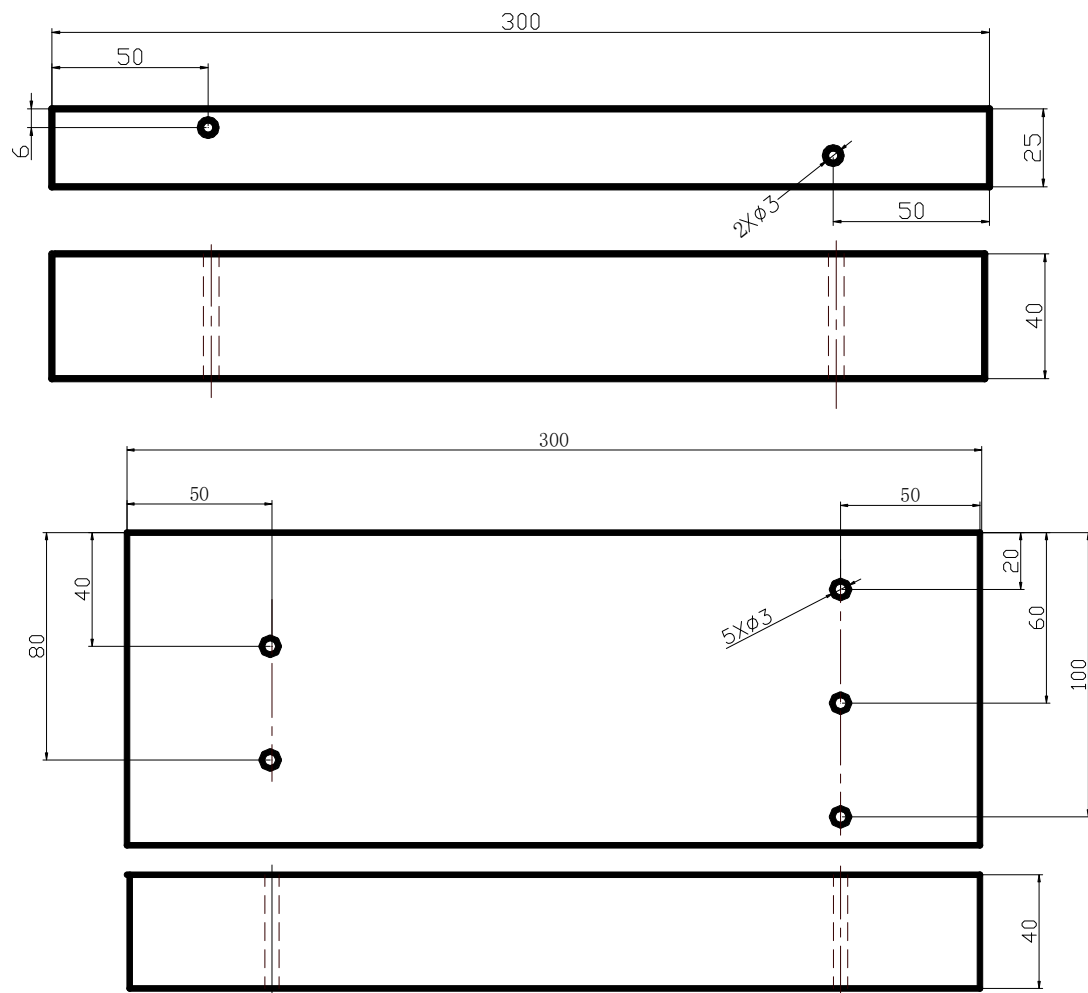


参考试块 **Reference Block**

- 焊缝试块
- 棒试块
- 管试块

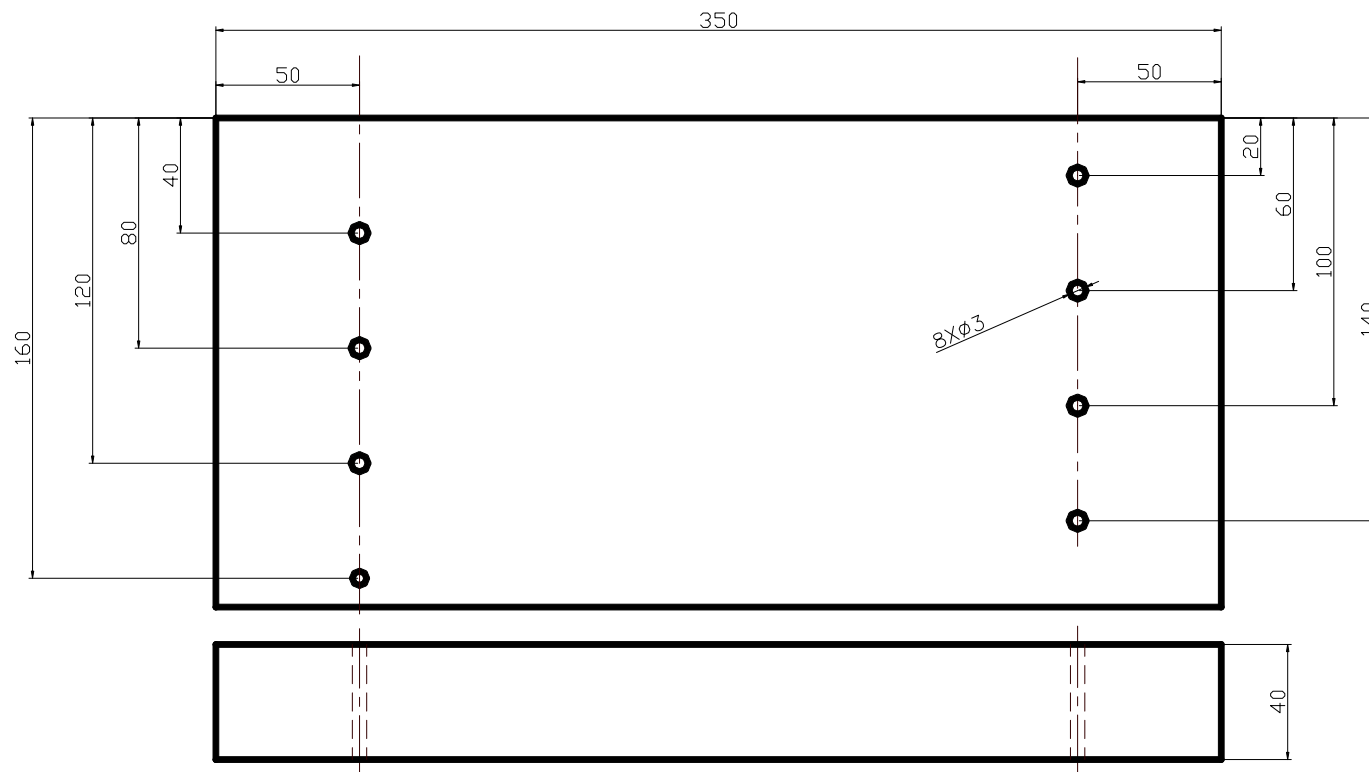
参考试块 Reference Block

——RB-1, RB-2



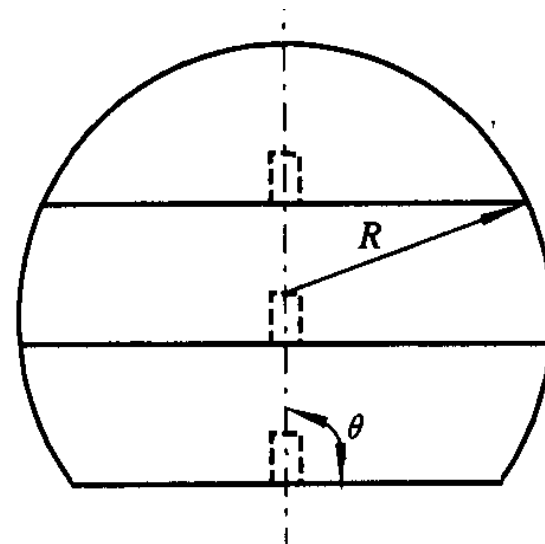
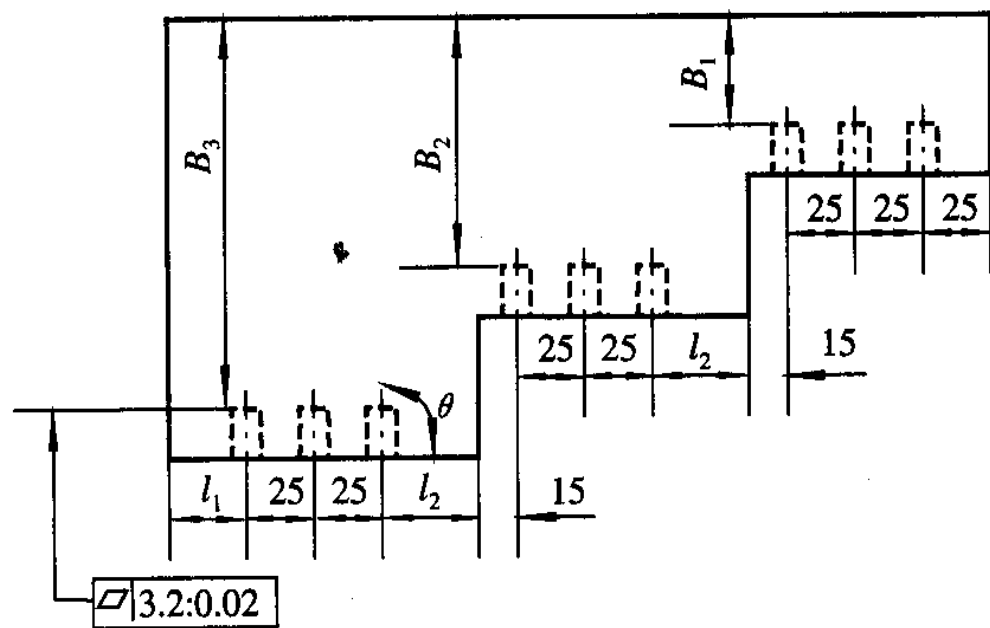
参考试块 Reference Block

——RB-3



参考试块 Reference Block

——棒试块



参考试块 Reference Block

——管试块

