

涡流检验方法

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了金属材料及零部件表面和近表面缺陷涡流检验的一般要求和仪器设备、试验参数选择、检验步骤等详细要求。

1.2 适用范围

本标准适用于金属零部件及一定尺寸范围的管、棒、线材表面和近表面缺陷的检验。

2 引用文件

GB 9445—88 无损检测人员技术资格鉴定通则

GB/T 12604. 6 — 90 无损检测术语涡流检测

3 定义

本标准采用 GB/T 12604. 6 定义的术语。

4 一般要求

4.1 人员

从事涡流检验的人员应持有有关主管部门颁发的符合 GB 9445 规定的技术资格等级证书。各级人员只能从事与自己技术资格等级相应的工作。

4.2 环境

4.2.1 检验场地应清洁、通风。

4.2.2 检验场地的温度和相对湿度应控制在仪器设备和被检件允许的范围内。一般温度不高于 40℃,相对湿度不大于 80%。

4.2.3 检验场地附近不应有影响仪器设备正常工作的磁场、震动、腐蚀性气体及其他干扰。

4.3 电源 电源供电电压的波动应不超过额定电压的 $\pm 10\%$ 。

5 详细要求

5.1 检验原理

涡流检验的基本原理为电磁感应。当载有交变电流的检测线圈接近被检验的金属试件时,由于检测线圈磁场的作用,在试件表面和近表面将感应出涡流。涡流的大小,相位和流动轨迹与试件的电磁特性、几何尺寸和缺陷等因素有关,该涡流产生的磁场作用又使检测线圈阻抗发生变化。因此通过测定检测线圈阻抗的变化,即可获得被检件有无缺陷的质量信息。

涡流检验时,由于涡流密度随检测线圈离被检件表面距离的增加几乎成指数减小,因而较深处的缺陷难以发现。

5.2 仪器设备

涡流检验用仪器设备一般包括探伤仪、检测线圈、机械传动装置、记录装置和磁化装置。

5.2.1 探伤仪

5.2.1.1 涡流探伤仪分为便携式和非便携式的单频、双频或多频涡流探伤仪。探伤仪主要由激励单元、信号处理单元和显示单元组成：

- a. 激励单元应能产生足够幅值和适当频率的交变电流；
- b. 通过调节信号处理单元，应能明显区分试样上的人工缺陷信号和噪声信号；
- c. 显示单元应能监视检验结果，显示缺陷信号的幅值或幅值与相位。当缺陷信号等于或大于验收水平时，需有声音和(或)灯光报警指示。

5.2.1.2 探伤仪应能及时对检测线圈中电磁感应的变化产生响应，对需要检出的缺陷信号有足够的信噪比，具有足够的抗干扰能力，并保持长时间稳定工作。

5.2.1.3 探伤仪使用一年或经维修后应按产品说明书中规定的技术指标进行检定，检定不合格的应及时处理或更换。

5.2.2 检测线圈

检测线圈分为点式、内插式、外穿过式和扇形线圈。

检测线圈应能在被检件上感应涡流，并能反映出被检件电磁特性的变化，其形式和有关参数应与所使用的探伤仪相匹配。

5.2.3 机械传动装置

机械传动装置应能保证被检件与检测线圈之间以规定的方式匀速、平稳地作相对运动，不应造成被检件表面损伤，不应有影响检验信号的振动。传动速度应可调，在检验过程中传动速度的波动应在 $\pm 5\%$ 范围内。若对管、棒、线材进行检验，还应具有保证检测线圈电中心与被检件中心一致的调节机构。用旋转点式检测线圈时，应能使检测线圈相对被检件匀速旋转。

5.2.4 记录装置

记录装置应能及时记录探伤仪输出的相应信号，记录方式应符合检验要求。

5.2.5 磁化装置

磁化装置应能连续对检测线圈通过的被检件区域进行饱和磁化处理。若被检件不允许存在剩磁，磁化装置还应配备退磁装置，该装置应能有效去除被检件中的剩磁。

5.3 试样

5.3.1 标准试样

5.3.1.1 用于标定仪器设备综合性能的标准试样应按有关标准制作，并由权威机构检定合格后，方可使用。

5.3.1.2 标准试样应由有关技术机构统一传递，每五年检定一次。

5.3.2 对比试样和人工缺陷

5.3.2.1 用于调试仪器设备的灵敏度、确定验收水平和保证检验结果再现的对比试样应与被检件具有相同的合金成分、热处理状态、表面状态和电磁性能，并无干扰人工缺陷检验的自然缺陷和本底噪声。

5.3.2.2 对比试样上的人工缺陷可为纵向和(或)横向刻槽，刻槽的横截面类型根据被检件要求确定，可为U型、V型(夹角 $60^\circ \pm 2^\circ$)或┐型。刻槽的尺寸按附录A(参考件)选择，也可由供需双方协商确定。

对比试样上的人工缺陷亦可为垂直于对比试样表面的通孔或平底孔。孔的尺寸按附录B(参考件)选择，也可由供需双方协商确定。

5.3.2.3 对比试样上的刻槽可采用机械加工、电火花加工或化学腐蚀等方法制作；对比试样上的孔可采用机械加工、电火花加工等方法制作。加工时不应引起试样变形。由加工形成的毛刺及嵌入槽、孔内的杂

质应清除干净,清除时不应损伤试样的完整性。

5.3.2.4 对比试样上两相邻人工缺陷的间距及首尾人工缺陷与端头之间的距离,以在检验条件下能清楚分辨缺陷信号和端头效应,并能及时准确地记录报警为准。管、棒、线材检验用的对比试样,其间距或距离一般不大于 200mm。

5.3.2.5 对比试样因机械磨损等原因产生干扰检验结果的信号时,应及时更换。

5.4 被检件

5.4.1 被检件端头应无毛刺,内外表面应清洁;非磁性被检件表面不应有磁性粉末。如不满足上述要求,应进行清除,清除时不应损伤表面。

5.4.2 被检件的表面粗糙度、尺寸公差、弯曲度等与检验有关的技术指标应符合产品技术条件要求。

5.5 仪器设备的选择

5.5.1 形状复杂的、在役设备的零部件等单个产品或局部部位的外表面检验,应选用便携式单频、双频或多频涡流探伤仪,采用点式检测线圈,并用手动方式进行。

5.5.2 被检件的螺孔和内表面的检验,选用便携式单频、双频或多频涡流探伤仪,采用与被检部位匹配的各种异形检测线圈,如螺孔检测线圈、直角检测线圈和 45°检测线圈等,并用自动方式进行,也可用手动方式进行。

5.5.3 管、棒、线材的检验,选用非便携式单频、双频或多频涡流探伤仪,采用外穿过式检测线圈并配备传动装置,并用自动方式进行。但特殊类型的缺陷和大直径管、棒材的检验,应采用旋转点式检测线圈。

5.5.4 在役管道内表面的检验,选用便携式单频、双频或多频涡流探伤仪,采用内插式检测线圈并配备探头推拉器进行检验。如不能接近被检件,还应配备遥控装置及信号采集分析装置。

5.5.5 焊接管材的焊缝和基材的电磁性能(指与涡流检验有关的电磁性能)一致时,按 5.5.3 条选择仪器设备;两者电磁性能不一致时,则基材采用旋转点式检测线圈,焊缝区采用扇形检测线圈分别进行检验。

5.5.6 被检件为磁性金属且磁性影响检验结果时,采用外穿过式或扇形检测线圈并配备磁化和退磁装置进行检验。

5.6 检测频率的选择

应根据被检件要求检验的灵敏度、近表面缺陷的深度、表面和近表面缺陷的相位差等条件选择检测频率。对管、棒、线材还应考虑其外径和壁厚的因素。

5.6.1 涡流在被检件近表面的渗透深度与被检件的电导率和所采用的检测频率有关。检测频率选定后应根据附录 C(参考件)中公式(C1)计算在该频率下的标准渗透深度。

常用金属材料在不同检测频率下的标准渗透深度见附录 C(参考件)中表 C1。

5.6.2 管、棒、线材的检测频率按附录 C(参考件)中表 C2 和表 C3 选择。

5.7 对比试样的选择

应根据被检件的尺寸、状态、检验灵敏度、检验深度等要求按附录 A(参考件)、附录 B(参考件)选择对比试样的类型和规格。零部件及局部部位的检验按附录 A(参考件)中图 A1、图 A2、图 A3、图 A4 选用人工刻槽对比试样;棒、线材的检验按附录 A(参考件)中图 A5、图 A6 选用刻槽对比试样;管材的检验按附录 A(参考件)中图 A5、图 A6 和附录 B(参考件)中图 B1、图 B2、图 B3、图 B4 选用人工通孔或刻槽(纵向和(或)横向)对比试样,焊接管材的对比试样上的人工缺陷应至少有一个在焊缝上。需要确定检出的缺陷深度时,应选用不同深度的平底孔或刻槽对比试样。

5.8 仪器设备的标定

仪器设备应按有关标准要求用标准试样进行标定。经标定的仪器设备均应达到各自的技术指标。

5.9 仪器设备综合性能的调试程序

5.9.1 检验灵敏度的调试

按规定的验收水平调试检验灵敏度,使灵敏度对比试样上作为验收水平的人工缺陷通过检测线圈时,人工缺陷信号与噪声信号比不小于 3。

5.9.2 记录单元的调试

将相同尺寸的人工缺陷连续通过检测线圈,次数不少于 3 次。调试记录单元,使记录单元能及时记录上述尺寸的缺陷信号,且其幅值差在平均幅值的 $\pm 10\%$ 范围内,并使该幅值处于仪器记录仪组合的线性区域内。

5.9.3 报警单元的调试

将相同尺寸的人工缺陷信号调到记录满幅度的 $50\% - 70\%$ 之间的某一幅值,使各人工缺陷信号的幅值差在平均记录幅值的 $\pm 10\%$ 范围内,选取其中最低值为标准报警幅值,此幅值应处于仪器放大器的线性区域内。也可用不同尺寸的人工缺陷来调试记录报警单元,当尺寸小于验收水平的人工缺陷通过检测线圈时,显示记录单元应有响应但报警单元不动作,只有当尺寸等于或大于验收水平的人工缺陷通过检测线圈时,报警单元才动作。

5.9.4 机械传动装置的调试

机械传动装置的调试应符合 5.2.3 条要求,并根据检验要求确定传动速度,一般在 $10 \sim 80\text{m/min}$ 内选择。最高传动速度应根据探伤仪滤波器的通频带确定。

5.9.5 检测线圈电中心的调试

将分辨率对比试样上相同尺寸的人工缺陷相对检测线圈分别处于 0° 、 90° 、 180° 、 270° 位置

或用调节周向灵敏度差异的对比试样,以选定的检验速度通过检测线圈,调节检测线圈电中心,使相同尺寸的人工缺陷以不同位置通过检测线圈时,仪器显示幅值的差值均不大于 3dB 。

5.9.6 点式检测线圈的调试

采用点式检测线圈和手动方式检验时,应首先按仪器使用说明书要求校准零位及提离补偿。在调试及检验时,检测线圈施于被检件表面的压力要适中,检测线圈与被检件表面应垂直放置,检测线圈沿被检件扫描的行距应不大于检测线圈磁芯直径的三倍,检验速度要适中,一般为 20m/min 。

5.9.7 磁化装置的调试

将存在影响检验结果的磁性对比试样(其磁性能与被检件一致)在增加磁化电流或磁场强度的状态下反复进行检验,直到磁化程度增加到使对比试样上的非人工缺陷信号幅值不再减小,并达到最佳信噪比为止。

5.9.8 检验结果一致性的调试

将对比试样上作为验收水平的人工缺陷连续通过检测线圈,次数不少于 3 次。检验设备应在调定的分贝值(或增益)下 100% 报警,采用记录报警时,所有人工缺陷信号的记录幅值各次中最低者应不小于标准报警幅值。

5.10 检验步骤

5.10.1 按 5.4 条要求处理被检件。

5.10.2 按 5.9 条调试仪器设备,保持调试后的仪器设备状态,开始进行检验。

5.10.3 在连续检验过程中,每隔 2h 和检验结束时应用对比试样调试一次仪器设备。当对检验结果及仪器设备功能发生怀疑时,需重新调试仪器设备,如确认功能异常,除重新调试仪器设备外,还应对上次调试后检验的所有产品重新进行检验。

5.10.4 涡流检验中由微小凹痕或工具颤痕等原因引起的无关的显示信号,对产品的最终使用无妨碍,但任何超过验收水平的显示信号,如果不能证明它是无关的显示信号,均应作为缺陷信号处理。

5.11 检验结果的评定与处理

5.11.1 经检验未发现尺寸大于或等于验收水平的缺陷的被检件为检验合格品。

5.11.2 经检验发现有尺寸大于或等于验收水平的缺陷的被检件,应对缺陷部位再次进行检验(如有条件,可改变检测频率或用其他检验方法验证)。若仍发现有尺寸大于或等于验收水平的缺陷,则该被检件为检验不合格品。

5.11.3 不合格的被检件经设计部门同意可在缺陷部位进行清除修补(处理后其技术指标应满足该产品的有关要求),然后重新检验。如检验结果满足 5.11.1 条要求仍为检验合格品,否则为检验不合格品。

5.12 检验报告

检验报告包括以下内容:

- a. 本标准编号;
- b. 被检件的名称、材料牌号、规格、状态、炉(批)号、数量、局部检验产品应图示检验部位;c. 被检件的图号及所属型号;
- d. 仪器设备型号及检测线圈的编号;
- e. 对比试样的规格;
- f. 检验结果的评定与处理;
- g. 送检日期及检验日期;
- h. 送检单位及检验单位;
- i. 检验、校对、审核人员签名;
- j. 其他。

附录 A

涡流检验用刻槽对比试样 (参考件)

A1 零部件检验用对比试样

A1.1 调试零部件检验灵敏度的刻槽对比试样见图 A1。

刻槽尺寸:深度 $0.3 \pm 0.03\text{mm}$, 宽度 $0.13 \pm 0.01\text{mm}$, 长度 10 ± 1.00 。

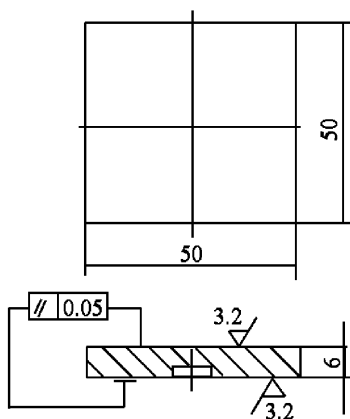


图 A1 单个刻槽对比试样示意图

A1.2 调试孔内表面检验灵敏度的刻槽对比试样见图 A2 其中 d 为检测线圈外径。

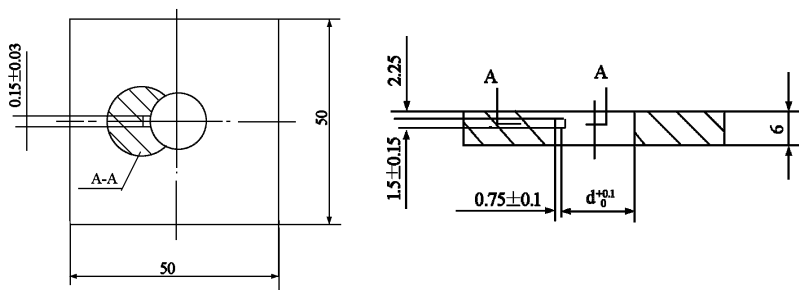


图 A2 孔内表面刻槽对比试样示意图

A1.3 评价缺陷深度的单面刻槽对比试样见图 A3。

刻槽深度从左到右分别为 0.1、0.2、0.4、0.6mm，深度允许误差为深度标称值的 $\pm 15\%$ ，但不应超出 $\pm 0.05\text{mm}$ 。刻槽宽度均为 $0.13 \pm 0.01\text{mm}$ 。

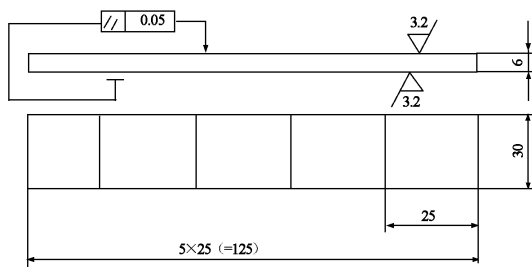


图 A3 单面多个刻槽对比试样示意图

A1.4 评价缺陷深度的双面刻槽对比试样见图 A4。

上表面刻槽同图 A3 要求。下表面刻槽深度从左到右分别为 0.8、1.0、1.2、1.4mm，深度允许误差为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，刻槽宽度均为 $0.13 \pm 0.01\text{mm}$ 。

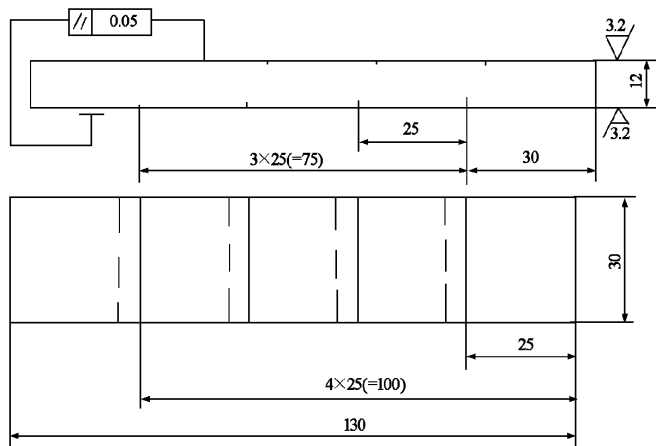


图 A4 双面多个刻槽对比试样示意图

A2 管材检验用刻槽对比试样

A2.1 调试检验灵敏度和周向灵敏度差异的刻槽对比试样见图 A5。

在管材外表面的三个横截面上沿 0°、120°、240°方位按图 A5 分别加工一条横向刻槽。

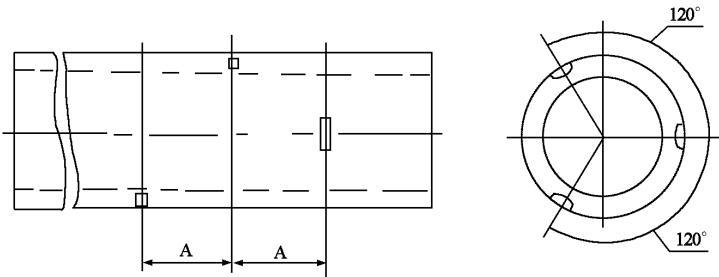


图 A5 带有三个刻槽的对比试样示意图

A2.2 调试检验灵敏度和轴向分辨率的刻槽对比试样见图 A6。

在管材外表面沿母线按图 A6 分别加工一条横向刻槽。

A2.3 图 A5 和图 A6 中刻槽深度可按表 A1 选择,也可按被检管材壁厚的 5.096~12.5%选择(最小深度为 0.1mm),深度允许误差为刻槽深度标称值的±15%,当计算所得误差在±0.013mm 范围内时,应取±0.013mm;刻槽宽度为 0.8±0.05mm;刻槽长度为 3~5mm。刻槽间距 A 和首尾刻槽离端头距离按 5.3.2.4 条要求确定。

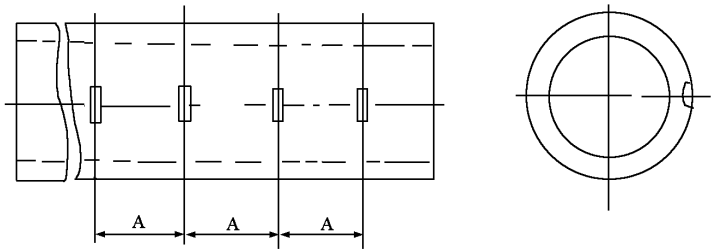


图 A6 带有四个刻槽的对比试样示意图

表 A1 铜及铜合金管检验用刻槽对比试样深度

mm

管 材 壁 厚	管 材 外 径							
	6~16	>16~19	>19~22	>22~25	>25~32	>32~38	>38~44	>44~51
	刻 槽 深 度							
0.9~1.1	0.15	0.15	0.15	—	—	—	—	—
>1.1~1.2	0.17	0.17	0.18	—	—	—	—	—
>1.2~1.5	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.20	—	—
>1.5~1.7	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20	0.22	0.23	0.25
>1.7~1.8	0.19	0.19	0.20	0.20	0.22	0.23	0.25	0.27
>1.8~2.1	0.19	0.19	0.20	0.22	0.22	0.23	0.25	0.28
>2.1~2.4	0.19	0.20	0.22	0.23	0.23	0.24	0.28	0.31
>2.4~2.8	—	0.20	0.22	0.23	0.24	0.25	0.29	0.32
>2.8~3.0	—	0.23	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.33
>3.0	—	—	0.25	0.25	0.28	0.29	0.32	0.36

附 录 B

涡流检验用通孔对比试样

(参考件)

B1 管材检验用通孔对比试样

B1.1 调试检验灵敏度和周向灵敏度差异的通孔对比试样见图 B1。

在管材的三个横截面上沿 0° 、 120° 、 240° 方位按图 B1 分别加工一个贯通管壁的径向通孔,通孔大小按表 B1、表 B2、表 B3 选择。

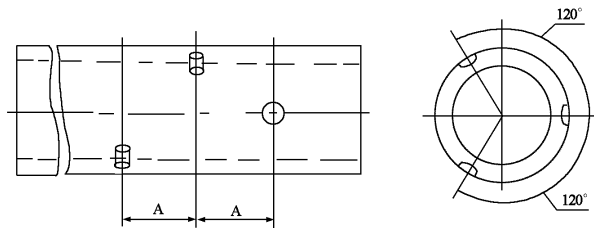


图 B1 带有三个通孔的对比试样示意图

B1.2 调试检验灵敏度和轴向分辨率的通孔对比试样见图 B2。

在管材外表面沿母线分别加工一个贯通管壁的径向通孔,通孔大小按表 B1、表 B2、表 B3 选择。

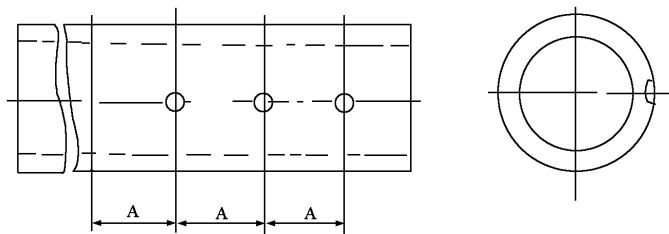


图 B2 带有四个通孔的对比试样示意图

B1.3 评价缺陷深度的平底孔和通孔对比试样见图 B3。

在管材外表面沿母线分别加工一个不同直径和深度的平底孔和通孔。图 B3 为检验核电站热交换器管子缺陷时使用的对比试样规格,平底孔(外径不小于 19mm 的管材)深度允许误差不大于深度标称值的 $\pm 20\%$ 或 $\pm 0.08\text{mm}$,取其中较小值;平底孔孔径允许误差为 $\pm 0.25\text{mm}$ 。

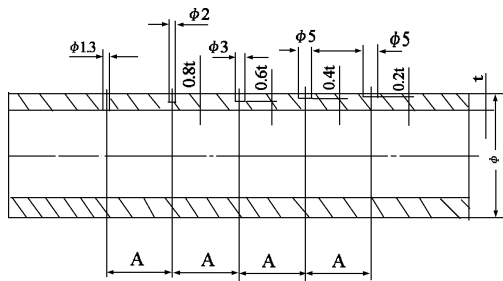


图 B3 不同深度平底孔和通孔对比试样示意图

B1.4 分级评价用的不同孔径通孔对比试样见图 B4。

在管材六个横截面上沿 0° 、 120° 、 240° 方位按图 B4 分别加工一个贯通管壁的径向通孔,其中三个 da 孔的孔径一致,三个 db 孔的孔径一致,da 孔的孔径小于 db 孔的孔径。da, db 孔的孔径尺寸按表 B3 选择。

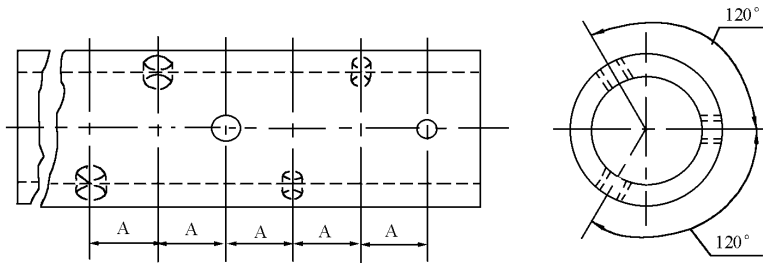


图 B4 不同孔径通孔对比试样示意图

B1.5 通孔尺寸应满足下列要求:

- 孔径允许误差为 $\pm 0.05\text{mm}$;
- 孔向垂直度允许误差不大于 0.05mm ;
- 孔间距和首尾孔离管材端部距离按 5.3.2.4 条要求确定。

表 B1 钢管检验用通孔对比试样尺寸

mm

管 材 外 径	通 孔 直 径
3.2~6.3	0.30~0.5
$0 > 6.3 \sim 19$	0.64
$> 19 \sim 25$	0.79
$> 25 \sim 32$	0.91
$> 32 \sim 38$	1.07
$> 38 \sim 44$	1.17
$> 44 \sim 50$	1.32
$> 40 \sim 63$	1.63
> 63	协商确定

表 B2 铜及铜合金管检验用通孔对比试样尺寸

mm

管材外径	通孔直径
5~19	0.5~0.6
$> 19 \sim 25$	0.8
$> 25 \sim 32$	0.9
$> 32 \sim 38$	1.1
$> 38 \sim 45$	1.2
$> 45 \sim 51$	1.3

表 B3 壁厚为 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 的铝及铝合金管检验用通孔

对比试样尺寸

mm

管材外径	通孔直径	
	da	db
$> 4 \sim 8$	0.2	0.4
$> 8 \sim 10$	0.3	0.5
$> 10 \sim 14$	0.4	0.6

C3 不同电导率的棒、线材检测频率预选表见表 C2。

表 C2 不同电导率的棒、线材检测频率预选表

电导率 %IACS	外 径,mm					
	2.0	4.0	8.0	16.0	32.0	64.0
	检 测 频 率,kHz					
100	10~130	2~30	0.6~8	0.5~2	0.5~1	0.5~1
60	15~200	4~40	1~10	0.5~3	0.5~1	0.5~1
50	15~200	4~50	1~15	0.5~3	0.5~1	0.5~140
40	20~300	6~70	1.3~15	0.5~4	0.5~1.3	0.5~135
35	25~300	7~80	1.5~20	0.5~5	0.5~1.5	0.5~130
30	25~350	7~80	2~20	0.5~6	0.5~1.5	0.5~120
20	40~600	10~130	3~35	0.7~9	0.5~2	0.5~110
10	80~1000	20~300	6~70	1.5~20	0.5~4	0.5~25
5	200~2000	45~600	10~130	3~40	1~8	0.5~3
2.5	350~4000	80~1000	20~300	6~70	1.5~20	0.5~4

注:单位%IACS 为国际退火铜标准电导率的百分数,与国际单位制换算关系如下:

$1\%IACS=0.58MS/m;1MS/m=1.724\%IACS;1S/m=1/\Omega\cdot m。$

C4 管材检测频率预选表见表 C3。

表 C3 管材检测频率预选表

材料	外 径 mm	壁 厚 mm	检测频率 kHz
钢管	4~94	—	4~128
	>9~251		1~64
	>25~50		1~16
	>50~100		1~8
	>100~180		1~4
铝管	3~95	0.4~2.4	1~125
钦管	4~60	0.5~4.6	8~125
铜管	5~50	0.5~3.0	1~100