

ICS 27.100

F 23

备案号: 29000-2010

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 370 — 2010

承压设备焊接接头金属磁 记 忆 检 测

Metal magnetic memory testing of welded joint
on pressure equipments

2010-05-24 发布

2010-10-01 实施

国家能源局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 金属磁记忆检测的原理 1

4 金属磁记忆检测方法的应用原则 1

5 术语、定义和符号 1

6 一般要求 2

7 检测方法 3

8 检测结果的处理 4

9 检测工艺卡 4

10 检测记录及检测报告 5

附录 A（规范性附录） 金属磁记忆检测方法的应用原则 6

附录 B（资料性附录） 使用数字仪器对管道周向对接接头进行诊断的案例 7

附录 C（资料性附录） 使用带记录和扫描装置的仪器对电站锅炉汽包对接接头进行诊断的案例 8

附录 D（资料性附录） 金属磁记忆检测结果记录及报告格式 10

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2004 年行业标准项目补充计划的通知》(发改办工业[2004] 1951 号)的要求编写的。

标准编写时,参考了俄罗斯联邦国家标准 ГОСТ Р 52005—2003《无损检测 金属磁记忆方法 总体要求》、ГОСТ Р 52012—2003《无损检测 金属磁记忆方法 名词和术语》及俄罗斯焊接科学技术学会标准 СТ ПНТКО 0000—2004《设备和结构焊接接头 金属磁记忆方法》。

本标准的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:华北电力科学研究院有限责任公司、黑龙江电力科学研究院、山西电力科学研究院、天津电力科学研究院。

本标准主要起草人:胡先龙、池永滨、毛良彦、董勇军、马崇。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心(北京市白广路二条 1 号,100761)。

承压设备焊接接头金属磁记忆检测

1 范围

本标准规定了承压设备焊接接头的金属磁记忆检测方法以及对检测结果的处理原则。

本标准适用于在役电站锅炉、压力容器、压力管道等承压设备焊接接头的金属磁记忆检测。对其他电力设备的检测可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

DL/T 675 电力工业无损检测人员资格考核规则

DL 5009.1—2002 电力建设安全工作规程 第1部分：火力发电厂

ASTM E268 Definitions of Terms Relating to Electromagnetic Testing

EN1330-5 Non-destructive Testing Terminology Part 5: Terms Used in Eddy Current Testing

3 金属磁记忆检测的原理

金属磁记忆检测的原理是“磁致伸缩”效应及其逆效应。工件在运行时，受工作载荷和地球磁场的共同作用，会发生磁畴组织定向的和不可逆的重新取向，即“伸缩致磁”。工作载荷去除后，所产生的“磁”会被工件“记忆”下来，形成磁场。在应力集中的部位，磁场强度的法向分量会发生符号变化，并存在过零值点，即出现磁场强度 $H_p=0$ 的点。利用金属磁记忆检测设备，可以发现磁场强度 $H_p=0$ 的点，从而确定应力集中区。

4 金属磁记忆检测方法的应用原则

金属磁记忆检测方法的应用原则见附录A。

5 术语、定义和符号

GB/T 12604.6、ASTM E268、EN1330-5 确立的以及下列术语适用于本标准。

5.1

金属磁记忆检测 metal magnetic memory testing

在工作载荷的作用下，金属工件中产生了弱磁场。通过检测磁场强度的变化，确定工件中的应力集中部位，这种检测方法称为金属磁记忆检测。

5.2

应力集中指示区 stress concentration zone

在试件（焊接接头）表面磁场法向分量的符号改变点（过零点， $H_p=0$ ）的连线。应力集中指示区的表征为局部磁化值 ΔM 与基体磁化值 M 相比发生剧烈变化，并表现为突出的“峰值”。

5.3

磁场的强度变化系数 magnetic field strength variation factor

所测磁场强度 H_p 的梯度值，即磁场 H_p 的模数差值与两个测量点距离之比。

5.4

磁场 H_p 的测量通道 magnetic field H_p measuring channel

由测量磁场强度的磁敏传感器组成，1 个磁敏传感器构成 1 个测量通道。可应用多通道测量系统，即使用 2 个或更多磁敏传感器。

5.5

磁场 H_p 的记录间距 magnetic field H_p record spacing

磁敏传感器的扫描间距或每个测量通道两个相邻检测点之间的距离。

5.6

磁敏传感器间距 distance between the adjacent sensors

两个相邻的磁场 H_p 测量通道（磁敏传感器）之间的距离。

6 一般要求

6.1 检测人员

从事金属磁记忆检测的无损检测人员，应进行培训，并按 DL/T 675 的要求进行考核，取得相应的资格证书。

6.2 检测对象及环境

6.2.1 对妨碍检测的异物应进行清理，检测表面不应进行机械打磨处理。

6.2.2 检测对象不应有下述影响检测结果的情况存在：

- a) 存在金属的人工磁化；
- b) 检测对象上存在外来铁磁性异物；
- c) 检测对象附近（1m 以内）存在外部磁场源。

6.2.3 被检对象本身不应持续振动。

6.3 检测仪器

6.3.1 每一测量通道对同一被测磁场测量值相对误差为 $\pm 5\%$ 。

6.3.2 仪器测量范围为 $\pm 1000\text{A/m}$ 。

6.3.3 最小扫描步长为 1mm。

6.3.4 电路正常工作造成的电噪声水平应为 $\pm 5\text{A/m}$ 。

6.4 传感器

6.4.1 可采用铁磁测量仪或场强计、梯度计等作为测量漏磁场强度的传感器。

6.4.2 传感器的形式依据方法和检测对象确定。每一传感器应具备两个及两个以上测量通道，一个通道用于消除外部磁场的影响，其余通道用于测量。

6.5 安全及工作环境

从事检测的人员必须遵守 DL 5009.1—2002 的规定，当检测条件不符合 6.2 的要求或不具备安全作业条件时，应等待条件改善并符合要求后再进行检测。

6.6 检测准备

6.6.1 检测准备的主要内容为：

- a) 分析了解被检测对象技术资料 and 运行情况；
- b) 填写检测工艺卡；
- c) 选择检测仪器和传感器；
- d) 调整、标定仪器和传感器；
- e) 把检测范围划分成若干个小区域并记录在原始记录表中。

6.6.2 对被检测对象技术资料应进行下列几方面的分析：

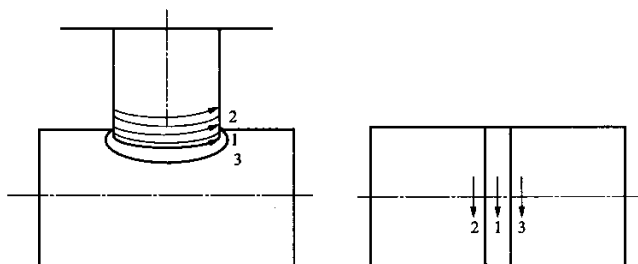
- a) 被检测对象的材料牌号和部件的形式尺寸；
- b) 被检测对象部件的结构特征、焊接接头的形式等；
- c) 被检测对象工作状况和故障（损伤）可能产生的原因。

7 检测方法

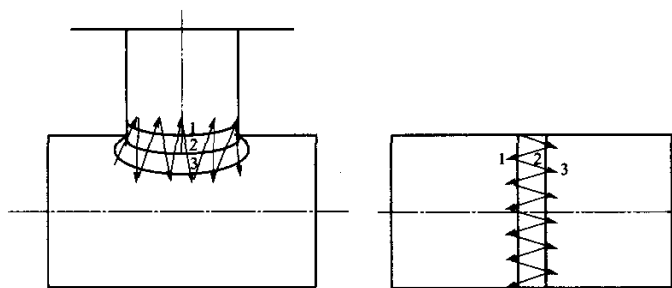
7.1 采用单传感器的检测

采用单传感器对设备焊接接头进行检测时，检测传感器的扫查按图 1 所示的方式进行。将检测传感器垂直置于检测表面，进行下列检测：

- a) 沿焊缝周向扫查（包括焊缝金属和焊缝两侧的热影响区），如图 1a）所示；
- b) 沿焊缝垂直（或接近垂直）方向扫查（包括焊缝金属和焊缝两侧的热影响区），如图 1b）所示；
- c) 检测时，应注意仪器显示的磁场强度（ H_p , A/m）的正负号及数值的变化，磁场符号和量值跳跃式变化可说明在设备对接接头具体区域上沿 $H_p=0$ 线存在残余应力集中区，这些区域可用彩色记号笔加以标记，并在原始记录表中记录检测数据。



a) 传感器沿焊缝周向扫查感



b) 传感器沿焊缝垂直（或接近垂直）方向扫查

注：1、2、3 表示检测区域。

图 1 采用单传感器检测时扫查方式

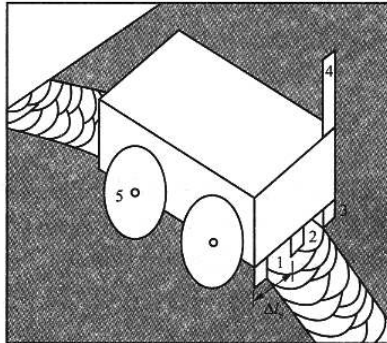
7.2 采用多传感器的检测

采用多传感器对设备对接接头进行检测时，检测传感器扫查方式应按图 2 所示的方式进行。

检测可采用由 4 个传感器（图 2 中传感器 1～传感器 4）和装入小车壳体中的位移传感器构成的扫描装置完成，位移传感器可随着磁场强度 H_p 量值的变化同时完成被检测区域长度的测量。如图 2 所示，检测时，传感器 1 和传感器 3 置于设备对接接头两侧的热影响区上，而传感器 2 位于两者之间的中央部位。

检测前，为每一测量通道设定磁场强度 H_p 的测量步长。每一测量通道上的测量步长（ s ）或者相邻两测量点之间的距离 Δk 不应超过焊缝两侧母材之厚度（母材不等厚时，取较薄值）。相邻传感器之间的

距离为 Δl_s ，按照焊缝尺寸设定并在测量之后输入仪器。



1、2、3—用于记录焊缝表面磁场 H_p 的磁敏传感器；4—用于消除外部磁场 H_p 的磁敏传感器；
5—编码器驱动轮； Δl_s —磁敏传感器间距

图2 采用4通道传感器检测时传感器的扫查方式

7.3 扫查注意事项

- 7.3.1 检测之前，应按照仪器说明书对仪器进行校准。
7.3.2 传感器到工件表面的距离宜控制在3mm~5mm范围内。
7.3.3 扫查速度不宜大于500mm/s。

8 检测结果的处理

8.1 应按下列条款进行数据计算：

- a) 每一测量通道的磁场梯度值：

$$K_{NH} = |\Delta H_p| / \Delta l_k$$

式中：

Δl_k ——两个检测点之间的距离。

- b) 测量通道之间的磁场梯度值：

$$K_{NH}^s = |\Delta H_p| / \Delta l_s$$

式中：

Δl_s ——磁敏传感器间距。

- c) 每一测量通道上以及测量通道之间磁场梯度的平均值 $K_{NH}^{\bar{p}}$ 和最大值 $K_{NH}^{\max}$ 。
d) 表示应力集中不均匀程度的磁参数 m ：

$$m = K_{NH}^{\max} / K_{NH}^{\bar{p}} \quad (\text{随焊接接头质量的不同在 } 1.05 \sim 3.0 \text{ 或更大范围内变化})$$

8.2 应力集中指示区的确定。

相邻测量通道之间磁场 H_p 有最大异极值（最大值的 K_{NH}^s ）或者任何一个测量通道上的磁场 H_p 有最大梯度值 $K_{NH}^{\max}$ 的区域，是应力集中指示区。对磁参数值（ m ）不小于2.0的应力集中指示区，应确定是否有缺陷存在，可采用其他检测方法进行检测。

附录B是使用数字仪器对管道周向对接接头进行诊断的案例。附录C是使用带记录和扫描装置的仪器对电站锅炉汽包对接接头进行诊断的案例。

8.3 需采用其他无损检测方法进行抽检的区域，可根据金属磁记忆检测结果确定。

9 检测工艺卡

进行金属磁记忆检测前，须由具备相关资质的人员编制工艺卡，工艺卡至少应包括以下内容：

- a) 部件名称、规格、材质及焊接接头形式;
- b) 检测标准名称;
- c) 检测仪器名称、型号及传感器形式;
- d) 检测前对仪器校准的要求;
- e) 检测时, 传感器到工件表面的距离、扫查方式及扫查速度;
- f) 检测中发现问题时, 宜采取其他验证方法及该方法所依据的标准和验收等级等;
- g) 安全注意事项。

10 检测记录及检测报告

检测记录及检测报告格式参见附录 D, 检测记录和报告数据应齐全、完整和准确, 并由检测人员和相关责任人员签字确认。检测记录和报告等保存期一般不得少于 7 年。

附录 A
(规范性附录)

金属磁记忆检测方法的应用原则

- A.1 金属磁记忆检测法用于确定应力集中指示区及焊接接头中的损伤危险区。
- A.2 金属磁记忆检测法的应用应先于其他无损检测方法（超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测等）。
- A.3 金属磁记忆检测法可以检测各种尺寸和形状的金属焊接接头（对接接头、丁字接头、角接头、搭接接头等），而焊接金属结构的厚度不受限制。
- A.4 金属磁记忆检测法一般在停机后（卸除工作载荷后）进行，亦可在被检测部件处于运行状态（工作载荷）下进行。
- A.5 金属磁记忆检测法可以确定：
 - A.5.1 残余焊接应力集中区域及其沿焊接接头的分布。
 - A.5.2 焊接接头缺陷（气孔、夹渣、未焊透、未熔合及裂纹等）可能存在的区域。
- A.6 根据金属磁记忆检测结果，建议对最大应力集中指示区使用常规检测方法或其他手段进行验证，确定是否有缺陷存在，并采用相应的适用标准进行评定。

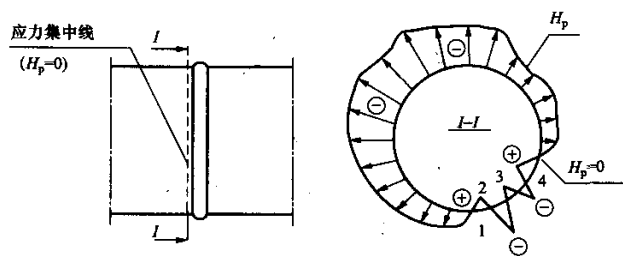
附录 B

(资料性附录)

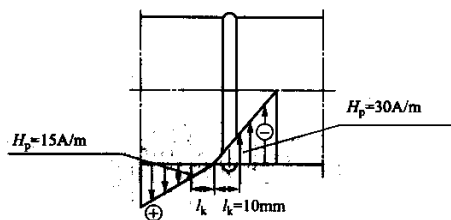
使用数字仪器对管道周向对接接头进行诊断的案例

使用数字仪器对管道周向对接接头进行诊断的案例参见图 B.1。

图 B.1 示出了沿焊接接头周边和在残余应力（应力集中线）区测定磁场 H_p 分布状况的案例。



a) 沿残余应力集中区焊接接头周边（1区~4区沿 $H_p=0$ 线）磁场 H_p 分布



b) 沿位置2最大应力集中区管道底侧母线的磁场 H_p 分布

图 B.1 在残余应力集中区沿焊接接头周边磁场 H_p 分布示意

由图 B.1 a) 可见，2 区周围磁场梯度值最大。为了测定应力集中线（ $H_p=0$ 线）附近的应力强度，要在该线两侧相等距离 l_k [见图 B.1 b)] 测量 H_p 值和确定 $2l_k$ 长度的 H_p 梯度值。按公式 $|\Delta H_p|/(2l_k)$ 确定的该梯度值，确定残余应力强度系数 $K_{NH}^{\max}$ 。例如，对图 B.1 b) 所示的焊接接头区段，2 区的 $K_{NH}^{\max}$ 值计算公式为

$$K_{NH}^{\max} = \frac{|-30 - 15|}{2l_k} = \frac{45 \text{ A/m}}{20 \text{ mm}} = 2.25 \frac{\text{A/m}}{\text{mm}} = 2250 \text{ A/m}^2$$

附录 C

(资料性附录)

使用带记录和扫描装置的仪器对电站锅炉汽包对接接头进行诊断的案例

使用带记录和扫描装置的仪器对电站锅炉汽包对接接头进行诊断的案例参见图 C.1。

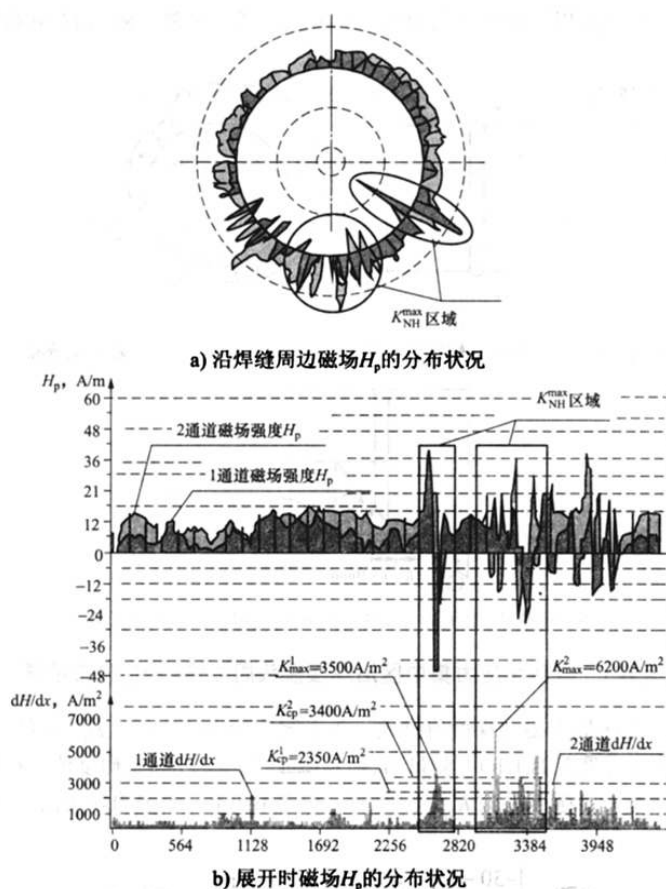


图 C.1 电站锅炉汽包对接焊缝的磁场分布状况

图 C.1 示出了对电站锅炉汽包 ($\phi 1800 \times 87$ mm、钢号相当 20G) 的封头环形焊缝检测结果。

图 C.1 显示了沿焊缝周边 [见图 C.1 a)] 和在展开图中 [见图 C.1 b)] 磁场 H_p 的分布状况, 并示出了最大应力集中区, 在该区磁场 H_p 呈现符号变化和跳跃的特点, 及具有最大 dH/dx 值。 K_{cp}^1 , K_{cp}^2 , ..., K_{cp}^j , $K_{s, cp}^j$ 的计算只适用于具有应力集中区的焊缝范围。

$$K_{cp}^1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta H_p^i|}{\Delta l_k^i} = 2.35 \text{ (A/m) / mm} = 2350 \text{ A/m}^2$$

$$K_{cp}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta H_p^i|}{\Delta l_k^i} = 3.4 \text{ (A/m) / mm} = 3400 \text{ A/m}^2$$

$$K_{cp}^s = \frac{|\Delta H_p|}{\Delta l_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta H_p^i|}{\Delta l_s^i} = 1.7 \text{ (A/m) / mm} = 1700 \text{ A/m}^2$$

$$K_{\max}^1 = 3.5 \text{ (A/m) /mm} = 3500 \text{ A/m}^2$$

$$K_{\max}^2 = 6.2 \text{ (A/m) /mm} = 6200 \text{ A/m}^2$$

$$K_{\max}^s = 3.5 \text{ (A/m) /mm} = 3500 \text{ A/m}^2$$

$$\frac{K_{\max}^1}{K_{cp}^1} = m_1 = \frac{3.5}{2.35} \approx 1.5; \quad \frac{K_{\max}^2}{K_{cp}^2} = m_1 = \frac{6.2}{3.4} \approx 1.85; \quad \frac{K_{\max}^s}{K_{cp}^s} = m_s = 2.1$$

附录 D

(资料性附录)

金属磁记忆检测结果记录及报告格式

D.1 金属磁记忆检测记录参见表 D.1。

表 D.1 金属磁记忆检测记录

记录编号:

[illegible]

检测人员:

审核:

日期:

日期:

