



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 883 — 2004

电站在役给水加热器铁磁性钢管 远场涡流检验技术导则

Technical guide of remote fielding eddy inspecting for steel tubes of
in-service feedwater booster in power plants

2004-03-09 发布

2004-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语	1
4 一般要求	2
5 检测设备	2
6 对比试样管	3
7 操作步骤	5
8 检验结果评定	6
9 检验报告	6
附录 A (资料性附录) RFT 与 SPI 的互补性说明	7

前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会《关于确认 1999 年度电力行业制、修订计划项目的通知》电力司〔2000〕22 号文安排制订的。

在役给水加热器是给水循环的一个重要组成部分，是利用汽轮机抽汽加热锅炉给水的热交换器，是提高电厂热经济性的重要辅助设备。

制订本标准的目的是，对在役给水加热器热交换管采用远场涡流方法进行检验时提供统一的检验技术规范、对检验结果提供统一评定方法。

本标准制订时，引用了国内有关标准的某些内容，主要参考并引用了 ASTM E2096—2000 《在役铁磁性钢管远场涡流检测技术导则》中的内容，以使本标准更具备先进性。

附录 A 为本标准的资料性附录。

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并解释。

本标准起草单位：国电热工研究院、华北电力科学研究院有限责任公司、广东电力试验研究所、爱德森（厦门）电子有限公司、广东韶关发电厂。

本标准主要起草人：李建民、胡先龙、林介东、林俊明、黄志强、李亚林、孙建国、吴前驱。

电站在役给水加热器铁磁性钢管远场涡流 检 验 技 术 导 则

1 范围

本标准规定了电站在役给水加热器铁磁性钢管远场涡流检验的内容、检验方法、检验设备及检验结果评定方法。

本标准适用于外径为 $\phi 15\text{mm} \sim \phi 25\text{mm}$ 、壁厚为 $0.71\text{mm} \sim 3.0\text{mm}$ 范围的在役给水加热器铁磁性钢管的远场涡流检验。其他用途及规格的铁磁性钢管的检验可参照执行。

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。

ASTM E268—1984 电磁检测术语

ASTM E2096—2000 在役铁磁性钢管远场涡流检测技术导则

3 术语

下列术语适用于本标准

3.1

远场涡流 Remote Field Eddy

远场涡流是电磁场在管道内部传输中产生的一种涡流现象。远场区域的磁场是由激励线圈附近的电磁能量穿出管壁，然后沿外壁扩散，最后又透入管壁内感应到检测线圈上。该项技术采用的是一个内插式探头，探头结构如图 1 所示，其中包括一个激励和一组置于激励线圈远场区域的检测线圈。与常规涡流方法不同的是：远场区域的磁场主要是由激励线圈附近的电磁能量穿出管壁，然后沿管外壁扩散，最后又进入管壁内，感应到检测线圈上。远场涡流技术克服了常规涡流受集肤效应的影响，能有效的检测管壁内、外表面缺陷，且很少受提离、偏心等外界干扰，它不仅适用于非铁磁性钢管，也适用于铁磁性钢管。

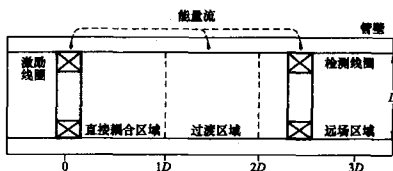


图 1 远场涡流检测原理

3.2

阻抗平面图 Impedance Plane Diagram

在常规涡流检测中，表示涡流检测线圈阻抗的电阻分量及感抗分量与检测频率、试件的电导率、磁导率及尺寸等的基本关系图，而在远场检测中代表检测器的电压输出。

3.3

电压平面图 Voltage Plane Diagram

交流电压的二维表示方法，横轴表示基于参考信号相位的正弦分量，纵轴表示相位分量。

3.4

对比试样管 Reference Standards

远场涡流检验用试样管分为缺陷特征对比试样管和系统对比试样管两种。系统对比试样管不能当作缺陷表征对比试样管使用，除非其人工缺陷与所要检测的缺陷相似。

3.5

支撑板 Support Plate

支撑板指给水加热器中，垂直管束方向的管板，其作用是支撑管束，减少变形和抑制振动。

4 一般要求

4.1 实施涡流检验前，应做好检测辅助工作并满足检测要求。被检验的管子内表面应进行清洗，不得有妨碍检验的污垢、油脂、金属屑及其他外来物质。清洗时，应不破坏管子内表面。

4.2 从事检验的人员必须持有电力或相关部门颁发的涡流Ⅱ级以上资格证书，并经远场涡流检测专项培训，方可独立操作及签发报告。

4.3 探头在管内的穿行速度 $\leq 10\text{m/min}$ 。

5 检测设备

5.1 检测仪器

仪器在满足标样管缺陷的检出灵敏度、分辨率的前提下还应具备以下基本功能：

- 采用电压或阻抗平面图显示，以便能实时给出缺陷信号的图形，全面反映缺陷信号的相位、幅值等特征，为信号分析提供更多的信息，同时可将干扰信号与缺陷信号调整在不同的相位上，以方便对信号识别；
- 具有自动平衡功能；
- 频率范围： $10\text{Hz}\sim 5\text{kHz}$ ；
- 具有 $0^\circ\sim 359^\circ$ 的相位旋转功能，连续可调，最小步进精度为 1° ；
- 具备 $0\sim 80\text{dB}$ 的可调增益范围，调节步长 0.5dB ，步进精度误差小于 3% ；
- 具备双频或多频检测功能，宜使用4个以上非分时的多通道仪器；
- 具备参数设定、信号显示、分析、存储和打印等功能；
- 推荐使用具有数据库管理功能的检测仪器，以便对历次检测数据进行自动分析、比较，评定缺陷的发展速率。

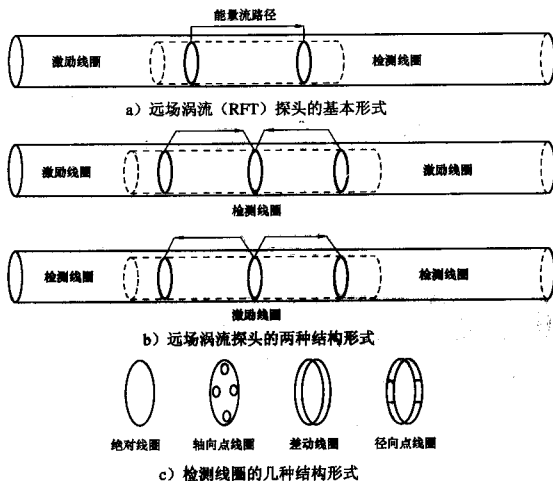
5.2 探头

5.2.1 探头应具有合适的直径，应能顺利通过所要检测的管子，并具有尽可能大的填充系数，直管检测通常采用图2所示的远场涡流探头。

5.2.2 绝对式检测线圈主要用于大面积渐变缺陷的检测；差动检测线圈用于管道长度方向上突变性缺陷的检测。

5.2.3 多点式检测线圈用于检测管道周向壁厚的偏差。多点式线圈相对于管道既可以径向安置，也可以轴向安置。采用多点式检测线圈应用相应通道数的检测仪器。

5.2.4 对于U形弯管段，可以使用柔性探头，以尽量减少检测盲区。



注：箭头表示从激励线圈到检测线圈电磁能量流的方向

图2 远场涡流探头

6 对比试样管

6.1 对比试样管的用途

6.1.1 用于调整仪器参数，使仪器工作于最佳状态；

6.1.2 用于建立缺陷—信号关系，作为缺陷定性、定量的判别依据。

6.2 对比试样管人工缺陷特征

6.2.1 必须采用与被测管具有同样的尺寸、规格、材质及热处理状态的材料。

6.2.2 制作前必须用其他方法检验，用于制作对比试样管的材料不应存在自然缺陷。

6.2.3 远场涡流检测用对比试样管分为缺陷特征对比试样管和系统对比试样管两种，系统对比试样管不能当作缺陷表征对比试样管使用，除非其人工缺陷与所要检测的缺陷相似。

6.3 对比试样管的制作要求

6.3.1 通孔、圆底孔和平底孔 [见图 3a)]：一个或多个穿透或非穿透孔均可。制作不同直径不同深度的人工缺陷，用以模拟点腐蚀。

6.3.2 圆周凹槽 [见图 3b)]：该种人工缺陷分为平行槽和锥形二种。其槽宽应小于管直径的二分之一，可用来模拟周向条状缺陷。宽的圆周凹槽轴向长度为管径的二倍，用以模拟管壁减薄。

6.3.3 单边缺陷 [见图 3c)]：单边缺陷是指在管子一侧的缺陷，用以模拟蒸汽冲蚀导致的缺陷。

6.3.4 系统对比试样管人工缺陷加工精度要求：人工缺陷的深度按标定管壁厚的百分比来表示。缺陷深度的精度不超过标定壁厚的 $\pm 2\%$ ，其他尺寸的误差应在 $\pm 0.25\text{mm}$ 以内。

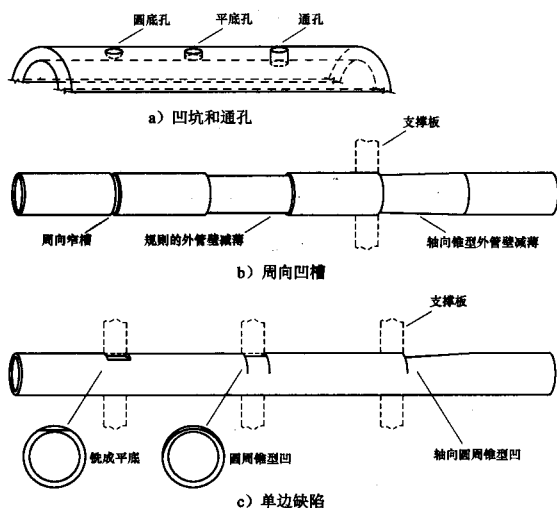


图3 用于缺陷特征对比试样管的人工缺陷

6.3.5 缺陷特征对比试样管人工缺陷加工精度要求：圆底孔、通孔、短圆周凹槽、长圆周凹槽和单边缺陷。（如图4中，A表示直径9.5mm球型圆底孔，加工深度50%；B表示直径为1.5倍壁厚的通孔；C表示槽深为20%，槽宽为3mm的短环形槽；D表示槽宽大于或等于两倍管外径的长环形槽；E表示深度为60%，长度16mm的周向单边缺陷，其周向幅度为 $180^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 。）

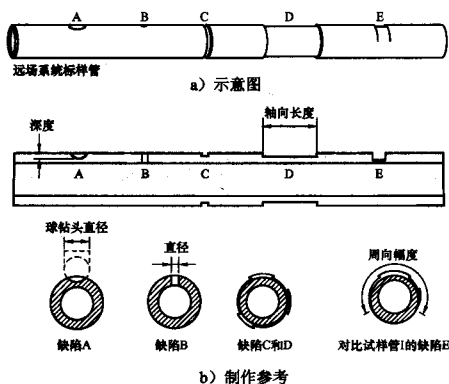


图4 远场涡流检测系统对比试样

6.3.6 模拟构件：人工标样管需配备一些模拟构件，如支撑板，以模拟现场加热器管道安装固定构件对缺陷信号的影响。

6.4 对比试样管的制作

6.4.1 每一个人工标样管应使用序列号标示并保存。

6.4.2 人工缺陷在轴向的定位应避免重复信号及边缘效应的干扰。

6.4.3 加工时应避免因过热和不适当的加工导致管的材料及磁导率等物理性能的变化。

6.4.4 标样管保存过程中要避免机械损伤。

6.5 干扰信号抑制

6.5.1 材料的电磁特性对如下因素敏感：杂质、偏析、制造工序、晶粒细化、应力史、当前应力状态、温度变化史、当前温度、磁化史等。

6.5.2 导磁率改变：制造过程中不均匀的温度、不均匀的应力、弯曲处；在役或其他场合中的不均匀热交换等因素都导致铁磁性金属管的导磁率的变化，磁导率的这一改变会被误认为或模糊认为是缺陷。

6.5.3 加工制作时，可能会产生残余应力并伴有导磁率变化。热处理可消除残余应力，使材料导磁率的变化减小，同时还应采取其他抑制措施消除这种影响。

6.5.4 导体构件：管道外部或附近的导体构件会削弱电磁场，降低对缺陷信号的检出灵敏度和精度。检测前应了解被检测部件的构造，包括：支撑板、隔板、底板、管板、邻近管、冲击板等。

6.5.5 识别和抑制干扰技术包括以下三点：

- a) 可根据标样管上人工缺陷或实际管的缺陷来获得参考信号；
- b) 特殊结构探头线圈的使用；
- c) 也可使用其他的检测技术方法对存在干扰的管段缺陷进行检测。

7 操作步骤

7.1 被检管的清洗

检测前应先对被检管进行清洗，消除相应的强磁或导体碎片及阻塞物。

7.2 仪器设定

7.2.1 选择工作频率：使用远场涡流检测系统对比试样管作试件，设定工作频率，使电磁场能较好地穿透管壁，并使仪器对最小缺陷的检测有足够的灵敏度。

7.2.2 设定工作频率：使远场涡流检测系统对比试样管的通孔和 20% 的圆周凹槽的信号在阻抗平面图或电压平面图上得到 $50^\circ \sim 120^\circ$ 的相位夹角；

7.2.3 若用绝对检测线圈设定频率，当探头通过 20% 的周向凹槽时，相位偏转 $18^\circ \sim 22^\circ$ 。

7.2.4 设定仪器其他工作参数，特别要考虑噪声、滤波、采样速率、探头速度、线圈结构、填充系数和振动噪声等对检测灵敏度的影响。

7.2.5 可使用辅助测试频率，为进一步分析提供更多的数据。

7.3 灵敏度的基本要求

通过远场涡流检测系统对比试样管人工缺陷测试获得的数据，确认系统和设定是否达到了所要求的灵敏度。

7.4 探头速度限制

为保证仪器信号指示的重复性，应当保证整个检测过程中，尽可能地使探头速度恒定平稳。

7.5 探头推拔器

在有条件的情况下，建议使用探头推拔器对高压加热器管进行检测，以提高数据采集的均匀度及检测效率，但该装置应能保证探头匀速、平稳地通过管子，不能造成管子内表面的损伤，不得有影响检测信号的振动和电干扰等。

7.6 信号分析

7.6.1 由对比试样管获得的数据,作为仪器检测缺陷的衡量标准,判断被检管是否有缺陷存在。

7.6.2 辅助检测可选择适当的辅助检测方法对有问题区域进行复检,如采用声脉冲快速检漏法及视频内窥镜等。

7.7 校验

每次开始和结束检验前,以及在检验过程中每 2h 或检验人员认为有必要时,须用对比试样管对检验系统的工作状态进行校验。连续工作 4h 须对仪器、探头进行一次校验。

8 检验结果评定

8.1 使用缺陷特征对比试样管对照评估相应的检测数据,进行评定,并认定被检管是否合格。在电压或阻抗平面图,表征缺陷深度的参数通常是相位角,可制作“相位——深度校正曲线图”获得缺陷深度数据。

8.2 有下列情况之一的,可判定为堵管依据:

- a) 缺陷信号超过按 1.25 倍壁厚设定的通孔当量的;
- b) 缺陷信号超过 20% 壁厚的作为记录依据,而不论其信号幅值大小;
- c) 缺陷信号超过 45% 壁厚的;
- d) 缺陷信号反映为贯穿性缺陷的;
- e) 检验人员判定为危害性缺陷时,不受上述条文限制,可直接判废。
- f) 采用声脉冲快速检漏法作补充检验的,以 $\phi 1\text{mm}$ 通孔或检验人员能够判断为穿透性缺陷。

8.2.1 在检验过程中,不能确定是否为缺陷信号时,不作为堵管依据。

8.2.2 在检验过程中,检验人员难以确定为超标缺陷时,不作为堵管依据。

9 检测报告

9.1 检测报告包含如下条款:

- a) 检测部件的名称、部件编号;
- b) 检测管道的尺寸、材质和结构。

9.2 检测的范围。

9.3 仪器、探头、试样管的类型、型号、序列号。

9.4 使用仪器的设置和参数。

9.5 校正标准的序列号。

9.6 检测过程中涉及到的技术概述。

9.7 远场涡流对比试样管人工缺陷定量表示。

9.8 辅助检测(应附上检测数据或信号图形)。

9.9 缺陷列表,标明哪些不符合验收标准。

9.10 操作者、报告签发者及技术资格等级。

9.11 检测日期。

附录 A (资料性附录)

RFT 与 SPI 的互补性说明

远场涡流检测法 (Remote Field Testing, 简称 RFT), 虽然能克服常规涡流检测法的某些不足, 但由于信号两次穿过管壁, 损耗很大, 灵敏度受到很大的影响, 所以它只对管材的体积性缺陷 (如管壁的腐蚀减薄) 较敏感, 而对小孔状缺陷的检测不太理想, 也无法检测阻塞性缺陷。声脉冲检测法 (Sonic Pulse Inspection, 简称 SPI), 是一种针对管道的快速检漏法, 但该方法不能检出没有穿透管壁的体积性缺陷。其原理是: 一激励脉冲波沿管道传播过程中, 如遇到任何阻碍或缺陷, 就会在管壁中激发应力波, 传感器拾取该回波信号, 经选频滤波处理后送到分析系统并显示出波形, 穿透性缺陷如贯穿管壁的孔及裂纹, 回波信号相位先负后正; 阻塞性缺陷, 包括凹坑, 堵塞物, 管子变形等, 回波信号先正后负。典型回波如图 A.1 所示:

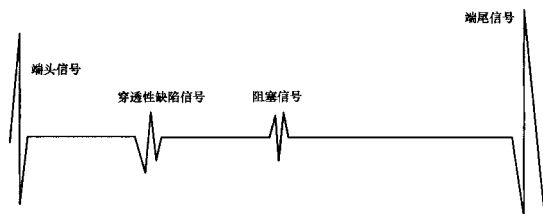


图 A.1 声脉冲管道检漏基本原理示意图

采用 SPI 法作为补充检测手段, 有利于控制穿透性缺陷的漏检率, 提高在役给水加热器铁磁性管道的无损检测可靠性。