

电站锅炉水冷壁管腐蚀检测

刘凯	厦门涡流检测技术研究所	福建厦门	361004
王维东	徐州电力试验中心	江苏徐州	221009
朱伟明	安徽淮南平发电有限公司	安徽淮南	232089
李林	华电攀枝花发电公司	四川攀枝花	617066

摘要: 锅炉是电站重要设备,其水冷壁管内腐蚀和裂纹造成爆裂致使停炉等严重事故,一直是困扰业界之难题。本文介绍新发展的低频电磁技术能够从管道外壁快速探测管内壁缺陷,并已在多个电厂成功运用。

关键词: 水冷壁管; 缺陷; 低频电磁

Inspection of Waterwall Tube Defects for Power Plants

LIU Kai	Xiamen Eddy Current NDT Testing Institute	361004, China
WANG Weidong	Xuzhou Electric Power Research Institute	221009, China
ZHU Weiming	Pingwei Electric Power Co.	232089, China
LI Lin	China Hua Dian Panzhihua Power Co.	617066, China

Abstract: This paper introduces a system using a scanner moved along the tube wall to scan from OD for defects inside the tube, primarily on the fireside. Typical defects found on these waterwall tubes are hydrogen damage, caustic gouging, etc. This system is based on low frequency electromagnetic technology. The tubes are not required to be cleaned to the level necessary for UT thickness testing. This new system is fast, accurate, cost effective and field proven for power plants.

Keywords: Boiler waterwall; Defect; Wallthickness; Low frequency electromagnetic

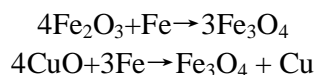
锅炉是热电厂最重要的生产设备,其炉内水冷壁管在长期服役中受到烟气、煤灰和火焰等侵蚀,极易出现磨损、腐蚀,造成管壁局部减薄,在管内高压、高温蒸汽的作用下,最终产生管体爆裂泄漏等严重事故。锅炉出现泄漏与一般管道出现泄漏不同,无法在继续生产运行中进行维修,往往要停机抢修,其经济损失巨大,因而各电厂对有效减少和避免锅炉管爆漏都非常重视,加强水冷壁管的在役运行材质的监测和检查具有十分重要的现实意义。

1. 水冷壁管内壁腐蚀机理

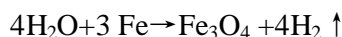
造成水冷壁管管壁减薄的原因主要有外壁烟灰吹蚀和内壁垢下腐蚀。前者出现在管外

壁与炉内烟气的流向有关，有规则可循，一般均匀减薄能够用肉眼或手感找出位置，用超声波测厚仪可以精确测出其剩余厚度。而后者在管内壁的发生位置是随机的，目前只能靠超声波测厚仪来局部抽查管内腐蚀情况，但由于测量前的除垢，涂抹耦合剂的准备工序，限制了测量的数量。要在几千根几十米高的水冷壁管中查找出个别腐蚀坑，如同大海捞针。

由给水管路带来或停炉时形成的含有氧化铁及氧化铜的水渣在锅炉水冷壁管受热面内壁产生沉积，当向火内侧内壁金属与这些氧化物接触时，产生如下反应。



反应是以化学方式进行，氧化铁和氧化铜为阳极，管内壁金属为阴极，阴极在反应中不断地腐蚀下去，这是垢下腐蚀的第一阶段，管内蒸汽与高于 400° C 的铁接触时又将发生下列反应。



当水冷壁管受热面内由于垢下腐蚀产生的氧化物造成蒸汽停滞或流速减小时，将发生上述反应，并在金属表面形成磁性氧化铁膜（ Fe_3O_4 ），称为“蒸汽腐蚀”，所产生的蒸汽腐蚀后生成的氢气如果不能较快地被气流带走，将与钢管表面发生作用，使之脱碳，造成钢材变脆，所以也称为“氢腐蚀”。

内壁腐蚀实质上是化学反应过程，局部温度越高反应越强烈。反应中产生的氢氧化物残余物将使局部蒸汽流速减慢，更促进了上述反应的进行，垢下腐蚀一般发生于锅炉水冷壁管向火侧内壁，破坏形式如贝壳。垢下腐蚀发生后向深度发展，致使管壁穿孔爆裂。另外，被腐蚀区域的钢材表面盖有疏松的铁锈层，造成管壁热传导性不良，出现局部管壁过热，产生材质蠕变，甚至出现管壁向外鼓包，最终破裂。

在多次不同电厂的锅炉检测中，发现水冷壁管内壁缺陷有的以下几种主要特征：

- (1) 缺陷多为腐蚀坑，裂纹极少。
- (2) 所有的腐蚀坑都发生在向火侧，以中间部位居多。
- (3) 腐蚀坑的面积大小，深度不同，随服役时间而发展。
- (4) 在炉墙上分布无规律可言。如某处出现爆管，而割开附近几处管检查都完好无损，运行一段时间又会在其它位置爆管。

2. 检测原理

对在役管道的无损检测，通常采用超声波、荧光、磁粉、涡流和漏磁等方法，超声波测量精度高，是一种需要耦合剂的单点测量方法，检测效率低。荧光、磁粉法灵敏度高，但只适合检测外表面裂纹，不能检测管内壁腐蚀缺陷。常规涡流法只适合表面检测，进一步发展的远场涡流法可以检查管道腐蚀，然而探头需从管道内部穿过，这对许多封闭的容器管道是不容许的。漏磁法对管道内部缺陷具有较高的探测灵敏度，检测速度快，成本低，操作简单和信号直观清晰。

漏磁法检测的基本原理是采用合适的励磁回路将磁场施于管道，使管壁局部磁化饱和，当被检区域管壁存在腐蚀坑或裂纹时，局部管壁磁阻增加，该区域的磁场产生畸变，部分磁场从管壁表面泄漏出来，形成局部区域漏磁场，漏磁场的分布与缺陷的性质和几何尺寸存在关联。用磁敏元件获得漏磁场分布状况并转化为可以观察的电信号，即可获及反映管道的缺陷图形。

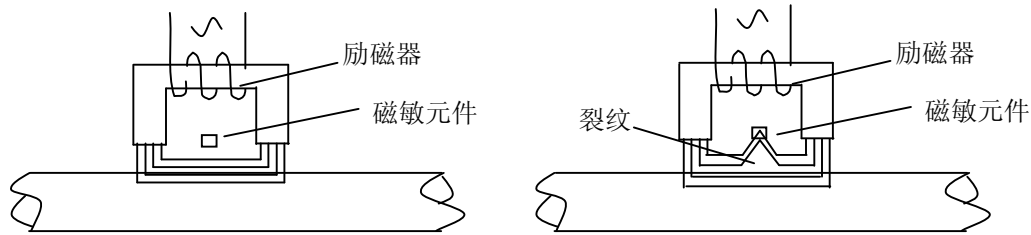


图 1 最简单的漏磁检测原理描述图

以励磁方式不同区分，漏磁方法分为两种：恒磁磁化和交流磁化。前者用直流电磁化或永久磁铁磁化来产生励磁，后者则用交变电流来激励交变磁场。交流漏磁法除较恒磁法在检测装置上较轻便外，还在信号获取增加了相位，频率等方面的信息含量，能更多地收集缺陷特征，然而检测装置也相对复杂，昂贵。

为了减少交变磁场产生的涡流趋肤效应，交流漏磁法工作频率较常规涡流检测低许多，大致在 5~100Hz，视管材质和壁厚而定。由于此特征，这种方法也称为低频电磁检测，简称 LFET。

3. 仪器与信号处理

ET-100 钢管腐蚀扫查仪采用低频交流电磁场技术，以马鞍形探头附着于钢管外壁，来扫查管内壁腐蚀状态。这种扫查方法检测速度快，准确度高，省时省工，又易于实施，无须对管表面的氧化层、垢层进行清除工序，也无须涂抹耦合剂。扫查速度可达 3~5 米/分钟。检查的缺陷类型包括了腐蚀坑，流体粉尘冲刷减薄，裂纹，氧腐蚀，氢蚀等。典型的被测钢管有锅炉水冷壁管，过热管、再热管等等。

仪器的信号处理系统由扫查探头、信号放大器、滤波器、相位处理电路和计算机等组成。

扫查探头从管壁外获得缺陷信号，经放大后送入滤波器，依据干扰信号与缺陷真实信号不同的特征，滤除来自检测现场空间的电磁干扰、探头行进中跳动等干扰。移相器用于抵消由于管壁厚薄、材质和探头间隙不同而产生的相位差异。

经过预处理的信号由计算机采集成数字信号，进行数字处理，以计算机强大的数据处理能力，实现人机对话，图像存储，打印记录等功能。

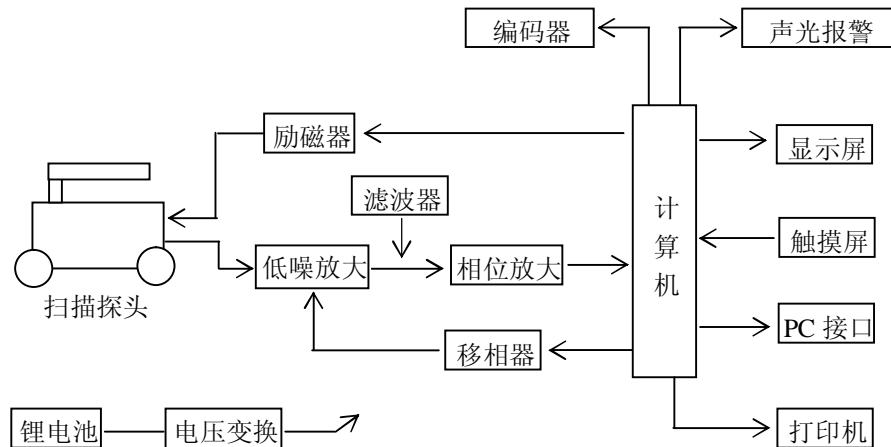


图 2 信号处理电路框图

4. 仪器特点:

1. 触摸屏和飞梭数码旋钮操作方式，直观简捷。
2. 中文友好人机对话，易于操作。
3. 微处理器控制，全数字化测试电路，高可靠性和稳定性。
4. 100 个仪器内置应用程序，非专业人员也能获得最佳设置。
5. 高对比度液晶显示屏，无论在黑暗环境或阳光直射下都能清晰观察。
6. 内置智慧型锂离子充电电池，充满电可连续工作 5 小时。
7. 特殊设计的噪声滤除软件能抑制检修现场的电磁干扰。
8. 铸铝机箱结构，防震防撞，坚固耐用。
9. 扫查探头连接线长 8 米，最长可达 50 米。
10. 符合现场检测的探头滚轮设计，轻巧而容易移动。
11. 锂电池或交流电 100V~240V 自适应供电或充电。
12. 仅 0.9Kg 探头重量，长期操作不易疲劳。
13. 90×240×55mm 超薄纤巧机身，含电池仅 2Kg 重量，适合野外和高空苛刻环境下工作。



图 3 ET-100 钢管
腐蚀扫查仪

5. 现场应用



图 4 电厂水冷壁管
检测现场图一



图 5 电厂水冷壁管
检测现场图二

图 4、5 展示了现场检测典型操作：探头靠滚轮骑附在管子外壁进行扫查，速度约为 3~5 米/分钟，当出现管壁腐蚀减薄处，信号波形向上偏移，腐蚀越深，偏移量越大。见图 6。探头停留在信号最高处，其中心即为腐蚀坑的最深处，定位非常简单而且准确。找到缺陷位置，再以超声波测厚方法，即能准确取得管壁剩余厚度值。

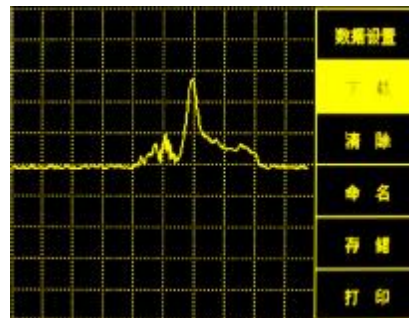


图 6 坑状腐蚀的检测信号

图 7~12 照片显示从检测中取样得到的各种类型内壁腐蚀缺陷。



图 7 水冷壁管坑状腐蚀



图 8 停炉处理不当产生的腐蚀坑



图 9 垢下腐蚀坑



图 10 发生多处麻坑氢腐蚀



图 11 管壁单侧均匀减薄



图 12 螺旋管内壁腐蚀坑

6. 结论

从原理上和实践证明低频电磁法能从管外壁快速、简便和经济地查找管内腐蚀缺陷位置和大小，有效防止电站锅炉水冷壁运行中的爆管停炉严重事故。检测是非接触方法，不需要耦合剂。管外壁的氧化皮，铁锈以及管内的水垢对检验结果没有影响。可探测的缺陷包括垢下腐蚀凹坑、氢腐蚀、裂纹、高温热腐蚀以及制造缺陷。

低频电磁法与超声波检测法比对表：

方法 比对说明	ET-100 管道腐蚀扫查仪	超声波测厚仪	超声波探伤仪
检测范围	整个部件（100%）	局部点	局部面积
表面处理	简单除垢	需打磨	需打磨
可检缺陷	凹坑、裂纹	凹坑	凹坑、裂纹
检测速度	高	极低	低
操作技术难度	低	中	高
经济成本	低	高	高
耦合剂	不需要	需要	需要
漏检可能性	无	有	有
工作强度	低	高	高

随着业者对低频电磁方法优越性认识的加深，今后该技术一定会在管道检测中得到广泛应用。