

工业锅炉的无损检测技术

周裕峰, 沈功田, 徐 春

(中国特种设备检测研究中心, 北京 100013)

摘 要:工业锅炉由于承受压力载荷及部分部件直接受火焰和高温烟气加热, 因此具有爆炸的危险性。在其制造、安装和使用过程中的无损检测是保证产品质量和安全使用的有效手段之一。论述了上述各阶段采用的无损检测方法及其目的。采用的方法除常规的无损检测方法外, 还包括 X 射线实时成像检测和电磁涡流表面裂纹检测等方法。

关键词:工业锅炉; 无损检测; 综述

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)10-0545-03

Review of Nondestructive Testing Technique for Industrial Boiler

ZHOU Yu-feng, SHEN Gong-tian, XU Chun

(China Special Equipment Inspection and Research Center, Beijing 100013, China)

Abstract: Industrial boiler is very dangerous because of its working under high pressure and some parts being heated by fire or high temperature fume. The nondestructive testing (NDT) technique plays one of the most effective roles to ensure the boiler manufacturing quality and its safety. The NDT methods and purpose are discussed during the manufacturing, equipping and using. In addition to normal NDT methods, some advanced techniques such as X-ray real-time imaging and eddy current inspection are also introduced.

Keywords: Industrial boiler; Nondestructive testing; Review

锅炉是将燃料在炉膛内进行燃烧或电能转换释放出热量的能量转换设备, 炉内的工质吸收热量形成具有一定温度和压力的蒸汽、热水或有机热载体, 以供发电、生产或生活上使用。锅炉按使用形式划分为工业锅炉、小型锅炉和电站锅炉。工业锅炉一般是指额定工作压力 ≤ 2.5 MPa 的锅炉, 主要是为生产或生活提供蒸汽、热水或有机热载体^[1]。

我国政府有关法规对锅炉的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造等环节均提出了监督管理要求, 而无损检测技术在制造、安装和使用的检验中发挥着关键作用, 与工业锅炉检验及规定使用无损检测技术有关的安全技术规范有《蒸汽锅炉安全技术监察规程》《热水锅炉安全技术监察规程》《有机热载体炉安全技术监察规程》和《锅炉定期检验规则》, 其

中射线、超声、磁粉、渗透和涡流检测采用 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》。下面根据工业锅炉制造、安装和使用的不同阶段对采用的不同无损检测技术分别加以综合介绍。

1 制造过程中的无损检测

工业锅炉本体由主要受压部件焊接或胀接组成。水管锅炉受压部件有锅筒、集箱、下降管、水冷壁、对流管束、防渣管、过热器和省煤器等。锅壳锅炉受压部件有锅壳、炉胆、回燃室、烟管、冲天管和下脚圈等。用于受压部件的金属材料包括钢板、钢管、锻件、铸钢件、铸铁件和紧固件。这些受压部件及原材料在制造过程中必须按设计文件、国家和行业标准的要求进行无损检测。

1.1 目视检测

为保证产品质量, 从原材料进货、受压部件加工制造、部件间组装到最终总装, 各阶段产品状态均应进行目视检测。

收稿日期: 2006-09-04

作者简介: 周裕峰(1966—), 男, 高级工程师, 从事特种设备检验检测工作。

用于制造锅炉的金属材料均应按批抽取一定数量进行表面质量和几何尺寸检查。并应符合相应的标准和定货合同的规定,如 GB 709《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》。

受压部件的几何尺寸、表面质量和开孔位置等应符合设计图样、标准和工艺文件的要求。

受压部件的所有焊缝,包括非受压部件与受压部件的连接焊缝均应进行目视检测。焊缝外形尺寸应符合设计图样和工艺文件的规定,焊缝高度不低于母材表面,焊缝与母材应圆滑过渡。焊缝及热影响区表面不应存在裂纹、夹渣、弧坑和气孔等表面缺陷。一些受压部件焊缝不允许存在咬边,允许咬边的焊缝,其深度和长度也不能超标。焊缝均应采用全焊透型式,不允许采用搭接连接,一些部位不允许采用 T 形接头连接。焊缝位置也应符合标准规定。

1.2 通球试验

由于管子对接焊缝中的焊瘤等缺陷或弯管使管子截面变形会使流通截面减小,从而影响循环系统的正常工作。对公称外径 ≥ 60 mm 的受热面的管子进行通球试验。

通球试验是根据不同公称内径的管子或不同弯管半径与公称外径的比值的管子选用不同直径的通球,以通球能否顺利通过判别试验结果。

1.3 焊缝表面无损检测

工业锅炉制造过程中,为保证焊缝表面质量,通常使用表面无损检测技术对焊缝进行检测。主要的方法有磁粉和渗透检测。制造单位一般工艺要求对角接焊缝进行上述检测。

1.4 焊缝内部无损检测

焊缝内部无损检测主要包括射线和超声检测。

1.4.1 射线检测

标准、规范和设计技术条件规定,在工业锅炉制造过程中,对一些焊接接头需进行一定比例或 100% 的射线检测。如锅筒、炉胆的纵向和环向焊缝、管子的环焊缝等。

对于锅筒、炉胆的纵、环焊缝和一些小规模工业锅炉生产企业制造的管子环焊缝中运用胶片成像系统是最常见的。而大量的管子环焊缝射线检测使用实时成像系统是一种效率高且经济实惠的方法。

1.4.2 超声检测

标准和规范规定,在工业锅炉制造过程中,对一些焊接接头需进行一定比例或 100% 的超声检测。如锅筒、炉胆的纵向和环向焊缝、管子的环焊缝、管

板与锅壳或炉胆或燃烧室的 T 形焊缝等。这些焊缝超声检测中,小管径薄壁管对接焊缝的检测比较困难。由于管子属于大曲率薄壁件,要求选用短前沿、窄脉冲、大入射角的探头,保证一次声波能够扫描到焊缝另一侧内壁根部。检测方法是焊缝中心线为基准,通过回波在焊缝中的位置以及回波相交、相离和相跃情况来判断是否存在缺陷。

一些设计技术条件及制造单位的制造工艺要求对原材料进行超声检测复验及对管座角焊缝进行超声检测。如石化企业用的一些有机热载体炉管材为铬钼钢,通常要求材料到货需进行超声检测;一些管件与集箱插入式或安放式管座角焊缝也需进行超声检测。大量无缝钢管超声检测以自动扫查系统为最佳。自动扫查系统主要由超声检测系统和机械传动系统组成。超声检测系统主要由多通道检测仪、组合探头和喷水耦合系统组成,组合探头一般包括一对扫查周向缺陷的一发一收探头,一对扫查轴向缺陷的一发一收探头以及一只测厚的直探头。机械传动系统将受检管件匀速旋转、步进或使管件匀速旋转,并保证检测系统能够扫查管件整体。插入式或安放式管座角焊缝的超声检测一般有五种检测方式,即在接管和集箱内壁采用直探头检测,在接管外壁采用斜探头检测,以及在接管和集箱外壁采用斜探头检测。实际情况下,工业锅炉能够实施的一般只有从接管和集箱外壁采用斜探头进行检测。标准中焊缝形状是均匀的,截面是相同的,而实际中绝大多数这种焊缝是 1/2 对称的,截面是变化的,其变化情况与两工件的几何尺寸、角接位置及角接角度有关。检测时应分区选择探头,或使用多种 K 值的探头,以扫查所有焊缝且易发现危险性缺陷。管接点焊缝也有同样的问题。

环焊缝自动超声检测系统也发展得很快。一般工件不动,组合探头随扫查系统在可靠耦合的情况下绕焊缝匀速运动。组合探头数量和角度根据被扫查工件厚度分区而定。数字扫查系统可根据每组扫查探头负责的区域设定闸门,固定信号采集区段,大大减少了伪缺陷波的干扰。但目前采用的进口检测系统或自行开发的检测系统,其灵敏度调节与现行标准规定的反射体不一致,从而无法按现行标准直接给出检测结论。

2 安装过程中的无损检测

工业锅炉中许多产品是整台设备在总装后出厂

的,现场安装内容就是将锅炉本体与整个系统管线连接及控制系统安装。另一些工业锅炉本体是由制造厂预制好的部件单元在现场组装而成。现场组装焊缝首先要进行表面质量检验,检验合格后,根据规范、设计技术条件及安装工艺的要求进行无损检测。由于现场组焊位置的限制,常采用 γ 射线检测和超声检测来保证较高的检测比例。检测方法与管理过程中的方法相同。

3 使用过程中的无损检测

工业锅炉在使用过程中需进行定期检验。定期检验工作分为外部检验、内部检验和水压试验,一般分别为每年、每两年和每六年进行一次。当三者同时进行的时候,应该依次进行内部检验、水压试验和外部检验。只有当三者均在合格有效期内,锅炉才能投入使用。定期检验过程中,常用的无损检测技术除了常见的目视检测、厚度测定、硬度测定、磁粉检测、渗透检测、超声检测及射线检测外,还经常会用电磁涡流表面裂纹检测技术。

3.1 目视检测

锅炉定期检验中,目视检测是非常重要的。它的主要目的是检查锅炉在一个运行周期后本体的变化。其主要内容是检查锅炉受压部件是否出现裂纹、过热、变形、泄漏、腐蚀和损伤等缺陷,锅炉膨胀系统是否有效,锅炉保温和耐火砖等隔热状态以及安全附件使用状态等。检查中经常使用一些有效工具。如使用内窥镜观察集箱、管件内部腐蚀和结垢情况,使用锤击法判断受压部件减薄和开裂现象,使用放大镜近距离观察受压部件表面状况,使用手电筒光柱观察排管变形情况以及使用量具测量受压部件变形量等。

3.2 表面检测

表面检测方法是锅炉停产进行全面检验中首选的无损检测方法,表面检测的部位为锅筒的对接

焊缝和接管角焊缝。对接焊缝的表面检测一般采用磁粉检测方法,由于锅炉内部照明条件不好,通常采用荧光磁粉检测方法,角焊缝采用磁粉检测无法进行时也采用渗透检测方法。根据多年来的检验经验统计,工业锅炉容易出现表面裂纹的部位主要位于直接受火焰加热的受热面。

3.3 电磁涡流表面裂纹检测

焊缝表面裂纹的磁粉或渗透检测,都需要将被检焊缝表面事先进行打磨清洁处理,除去表面氧化,因此大量的打磨增加了锅炉停产检验的时间和费用。针对这些问题,人们研究出基于复平面分析的金属材料焊缝电磁涡流检测技术,在有氧化层的情况下,也可采用特殊的点式探头对焊缝表面进行快速扫描检测,而且提离效应对检测结果的影响很小^[2]。在锅炉停产进行的全面检验中,先采用此种方法对焊缝进行快速检测,然后对可疑部位进行磁粉或渗透检测复验,以确定表面裂纹的具体部位和大小。目前市场上销售的仪器在厚度为0.2 mm以下涂层的情况下,灵敏度高于深0.5 mm,长5 mm的表面裂纹;在有厚度为2 mm表面涂层的情况下,灵敏度高于深1 mm,长5 mm的表面裂纹,该仪器还可以对深度 <5 mm的裂纹进行深度测定。

4 小结

工业锅炉是我国经济建设和人民生活中广泛使用的具有潜在危险的重要设备,无损检测技术是保证其制造、安装和定期检验质量的重要手段之一,除了常采用磁粉、渗透、超声及射线检测外,还常采用电磁涡流表面裂纹检测技术。

参考文献:

- [1] 李正华. 工业锅炉检验[Z]. 北京:中国锅炉压力容器安全杂志社,2000.
- [2] 刘 凯,沈功田. 带防腐层焊缝疲劳裂纹的快速探伤[J]. 中国锅炉压力容器安全,2004,20(6):29-33.

《无损检测》杂志欢迎广大作者网上远程投稿

尊敬的各位作者:

为了适应当今期刊网络化、数字化的发展趋势,本刊经过长期的筹划与准备,初步建立了远程在线投稿、审稿系统。该系统的建立,可以方便作者进行远程在线投稿、查询稿件的处理进度、与编辑部进行实时沟通;审稿专家可以进行在线审稿。从而达到保证文章报道时效性、缩短稿件处理周期和节约成本的目的。

该系统即将试运行,欢迎大家登录“材料与测试网站”

(<http://www.mat-test.com>)查询该系统的使用方法,进行网上投稿。希望大家积极配合,争取尽快过渡到全部采用网上投稿(有条件的作者)。您在使用过程中如发现该系统有什么不完善的地方,希望您悉心指教,并多提宝贵意见。我们的电子邮箱为 ndt@mat-test.com。在此感谢大家多年来对我刊的大力支持,我们定会以更好的服务回报广大作者!

《无损检测》编辑部