

350MW超临界锅炉水冷壁上集箱管座焊缝裂纹原因分析

王 瑀 张艳文 刘志华 冯泽奇 李晓辉 韩鹏程
呼和浩特热电厂 内蒙古呼和浩特 010010

摘 要: 本文围绕呼和浩特热电厂2×350MW超临界锅炉水冷壁上集箱管座焊缝裂纹问题展开研究。首先介绍了锅炉设备的基本概况以及水冷壁上集箱管座的运行特点,接着从热膨胀因素、设计因素、焊接因素和运行因素四个方面深入分析了焊缝裂纹产生的原因。针对这些原因,提出了管排应力分散处理、焊补和热处理、结构改进建议以及运行维护建议等处理措施。研究结果对于保障锅炉的安全稳定运行,避免类似事故的发生具有重要的参考价值。

关键词: 350MW超临界锅炉;水冷壁上集箱管座;焊缝裂纹;原因分析;处理措施

引言

火力发电中超临界锅炉属于重要发电设备。随着人们对电力需求越来越大,对能源利用效率的要求也越来越高,350MW超临界锅炉已经被许多电厂广泛使用。但是在锅炉长时间运行中水冷壁上集箱与管座之间焊缝裂纹现象逐渐突出,不仅会影响锅炉正常工作,甚至会导致安全事故发生,经济损失较大。呼和浩特热电厂2×350MW机组的运行中,也曾碰到过类似的问题。为此,对350MW超临界锅炉水冷壁上集箱管座焊缝裂纹成因进行了深入地分析,提出了行之有效的治理方法,对确保电厂安全平稳运行有一定的实际意义。

一、350MW超临界锅炉水冷壁上集箱管座结构及运行特点

(一) 锅炉设备概述

呼和浩特热电厂2×350MW机组采用哈尔滨锅炉(集团)股份有限公司的主机产品。主机为2×1140t/h一次中间再热、单炉膛、前后墙对冲旋流燃烧方式、尾部双烟道、烟气挡板调节再热汽温、平衡通风、紧身布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构Ⅱ型超临界本生直流锅炉,型号为HG-1140/25.4-YM1。

该热电厂的汽轮机采用哈尔滨有限责任公司制造的CZK350/320-4.2/0.4/566/566型超临界、中间再热、单轴、双缸双排汽、直接空冷、采暖供热抽汽式汽轮发电机组。发电机为哈尔滨电机厂有限责任公司制造的QFSN-350-2型三相、二极、隐极式转子同步,水、氢、氢冷却发电

机,属于常规燃煤火力发电厂。

电厂以双回220kV线路接入位于电厂西面金海500kV变电站,为呼和浩特市及金川开发区大部分用户供热,供热管线分城市热网东线、西线、金川线、巴彦线和富泰,现有实际供热面积2974万平方米。#3、4机组分别于2011年12月2日和2012年1月25日投产发电。

(二) 水冷壁上集箱管座的运行特点

水冷壁作为锅炉中最主要的受热面,具有吸收炉膛火焰辐射热和将水转化为饱和蒸汽等功能。水冷壁上集箱管座是水冷壁管与集箱之间的关键联接部件,锅炉工作时受到复杂应力及热负荷作用。在正常运行时,水冷壁管内的工质(水和蒸汽)在水泵的压头作用下作强制流动,吸收炉膛内高温烟气的热量。水冷壁管内各处受热情况因炉内温度分布不均而有所不同,从而造成管内工质温度、压力等参数的差别。同时集箱是汇集、分配工质的组件,它的温度、压力都不同于水冷壁管。此温度与压力之不同,将使得集箱管座在水冷壁处受到热应力与机械应力之影响。

另外,锅炉启停次数、负荷变化以及其他运行工况都会影响水冷壁上集箱管座。频繁启停及较大负荷变化可使管座经受较大热冲击及应力变化而增大焊缝裂纹发生危险。

二、水冷壁上集箱管座焊缝裂纹原因分析

(一) 热膨胀因素

在锅炉运行过程中,水冷壁管和集箱会受到高温的影响而产生热膨胀。由于水冷壁管和集箱的材质、结构和受热情况不同,它们的热膨胀量也会存在差异。

对于该热电厂的350MW超临界锅炉,水冷壁上集箱规格为 $\Phi 273 \times 65\text{mm}$,材料为SA-213P12,而鳍片材料为15CrMo,厚度为5mm。在受热时,集箱和水冷壁管的

作者简介: 王瑀(1994.03—),男,汉族,内蒙古自治区巴彦淖尔市人,毕业于内蒙古工业大学,本科,能源与动力工程专业,助理工程师,现就职于呼和浩特热电厂。

膨胀量不同, 14mm左右联箱的胀长, 会因管排鳍片固定限制, 形成胀差应力。集箱管座承受膨胀差引起的热应力, 随着锅炉启停次数的增加和机组负荷大幅度变化, 应力集中的角焊缝部位容易被拉裂。

例如, 在锅炉启动过程中, 集箱和水冷壁管从常温逐渐升温, 由于升温速度不同, 两者之间会产生较大的热膨胀差。在这个过程中, 管座角焊缝处会受到拉伸应力的作用。而在锅炉停机时, 温度下降, 又会产生收缩应力。这种反复的热应力作用会使焊缝处的材料逐渐疲劳, 最终导致裂纹的产生。

(二) 设计因素

设计因素对水冷壁上集箱的管座焊缝裂纹有明显的影 响。锅炉炉膛是由下螺旋水冷壁与上竖直水冷壁组成, 这种结构使得集箱管座在水冷壁处受力情况比较复杂, 竖直设置的水冷壁管在受热膨胀后, 管排鳍片固定在集箱管座处将产生附加应力。原设计为通长集箱, 当温度发生变化时, 集箱会沿着膨胀中心往两端扩展, 这和水冷壁管的热膨胀量相差较大, 集箱的角焊缝会产生胀差应力, 随着锅炉启停及负荷的改变, 容易出现应力集中角焊缝拉裂现象。在设计水冷壁时, 管子直径和管间节距的选取也很关键, 管太细则热敏感性大, 管间节距选得不合适将影响到管座受力, 提高焊缝中裂纹出现的可能性, 由于设计结构和参数的不合理性, 可能会为裂纹的形成埋下隐患。

(三) 焊接因素

焊接因素对水冷壁上集箱焊缝质量影响重大。管子坡口加工不合理会严重影响焊接接头质量。若坡口角度不正确, 会导致焊缝根部熔合不良, 易形成未熔合缺陷, 降低焊缝强度; 坡口容积不够, 会造成焊缝金属填充不足, 使得焊缝在承受应力时易出现裂纹。焊接工艺不当也是导致焊缝裂纹的关键因素。焊接电流、电压、焊接速度等参数的选择对焊缝成型和质量起着决定性作用。焊接电流过大, 会使焊缝过热, 导致焊缝组织粗大, 韧性降低; 焊接速度过快, 会使焊缝熔深不足, 产生气孔、夹渣等缺陷。此外, 焊接过程中的操作不规范, 如焊接顺序不合理、层间清理不彻底等, 都会破坏焊缝的完整性和均匀性, 使焊缝在长期运行中因承受复杂应力而出现裂纹, 进而影响水冷壁上集箱管座的安全运行。

(四) 运行因素

运行因素是导致水冷壁上集箱管座焊缝裂纹的重要原因。该电厂的350MW超临界锅炉作为供热机组, 运行工况复杂多变。频繁的启停操作对管座焊缝影响极大, 每次启动时, 集箱和水冷壁管从常温快速升温, 由于升温速度差异, 两者热膨胀不同步, 管座角焊缝承受拉伸

应力; 停机时温度骤降, 又产生收缩应力。这种反复的热应力循环使焊缝材料逐渐疲劳。而且, 机组负荷大幅度变化也会带来严重问题。供热需求随季节、天气大幅波动, 锅炉负荷也随之频繁变动。当负荷急剧增加或减少时, 水冷壁管内工质的流量、温度和压力快速改变, 管座承受的热应力和机械应力大幅上升。长此以往, 焊缝处材料的疲劳损伤不断积累, 最终引发裂纹, 威胁锅炉的安全稳定运行。

三、处理措施和建议

(一) 管排应力分散处理

对管排进行应力分散处理, 是解决集箱管座在水冷壁处焊缝开裂的关键措施。在水冷壁上改装集箱是一种行之有效的方法, 它把原来整体式集箱沿着中心线分成2个小集箱。由于单台集箱尺寸变小, 热膨胀量随之减小, 从而使集箱和水冷壁管热膨胀不同引起的应力减小。集箱分割区域内的管排以让管的形式焊接于原水冷壁管排上, 该方法可将管排上的应力有效地分散开来, 从而避免了应力向管座角焊缝的集中。

借鉴相关管道应力处理方法, 还可采用拉伸/压缩处理, 对管排施加轴向拉伸或压缩力, 使管排产生微量塑性变形(通常变形量 $\leq 0.5\%$), 以此平衡内部应力, 减少因内应力导致的变形。还可以采用碾压/喷丸的方法, 利用滚轮或模具在管排的表面施加一定的压力, 使管排发生塑性变形, 还可以利用高速弹丸撞击管排的表面, 使得表层发生塑性变形而产生残余压应力, 抵消内部拉应力, 不但可以消除表面应力, 而且可以增加表面的硬度与耐磨性。另外, 浙江德首等应力高分散型管件设计理念具有一定的参考价值, 可以考虑将相似应力分散筋布置于管排内, 使流体流动过程中所引起的冲击应力能够有效分散, 提高了管排结构强度及使用寿命, 降低了焊缝裂纹发生危险, 确保锅炉安全平稳运行。

(二) 焊补和热处理

焊补与热处理是水冷壁上集箱管座焊缝开裂的关键环节。对已经产生裂纹的焊缝需要在焊补之前仔细清洗裂纹, 除去氧化皮、油污和其他杂质, 从而为优质焊接打下基础。选用适当的焊接材料及工艺是关键, 应根据焊缝材质、厚度对电流、电压及焊接速度等焊接参数进行准确控制, 务必保证焊缝的良好熔合, 以防止未熔合、气孔和夹渣等不良现象的出现, 从而提高焊缝的强度和韧性。

焊后热处理作为保证焊接质量的最终环节效果显著。焊接时产生的大量残余应力可能造成焊件的变形、断裂或者应力腐蚀等缺陷, 热处理可以通过消除热应力来减少上述危险。同时可以调节一些高合金材料微观结构、

增强其力学性能,也可以使热影响区硬化区域变软,焊接部件整体性能得到提高。

焊后热处理的方法多种多样。通过将应力消除处理加热至特定的温度(一般在材料回火温度以下),可以有效地减轻材料内部的残留应力;正火处理使钢结构在高温下升温,在慢速下降温,消除了焊缝内硬化区,细化晶粒;回火处理对于一些合金钢焊接件来说是合适的,采用高温加热、缓慢冷却的方法得到优良的冶金组织;对于某些特定的铝合金,时效处理旨在恢复其原有的拉伸强度。

实际运行中应结合焊缝具体情况,合理地选择热处理方式及参数,并对加热、保温及冷却等工序进行严格控制,以保证取得预期处理效果,有效地消除了残余应力、改善了焊缝质量、确保了锅炉安全平稳运行。

(三) 结构改进建议

结构改进的建议对解决集箱管座在水冷壁处焊缝裂纹的产生具有重要意义。本实用新型可利用多段联箱结构将原整体式集箱变为多段式集箱,从而可减小单台集箱热膨胀量和减小热膨胀差异引起的应力。由于集箱分段以后,各段体积较小,当温度发生变化时其热膨胀范围相应缩小,有效地减缓集箱和水冷壁管胀差应力,避免了应力向管座角焊缝集中,减少了裂纹出现的危险。

在联箱边部管排上增设膨胀弯,也可以说是一个有效的改进办法。膨胀弯可以吸收管排由于热膨胀而发生的移位,起缓冲作用并降低管排在集箱管座上所受的拉力。管排在热膨胀过程中,膨胀弯能产生一定变形,使热应力得到释放,管座焊缝免受过大拉伸力,焊缝可靠性得到改善。

也可通过加强管座,或者抬高联箱高度,延长光管长度等措施。加强管座可提高管座强度与刚性,从而较好地抵抗热应力与机械应力。增加联箱高度和延长光管长度又能改变管座受力状态并优化应力分布,使应力更均匀地转移,从而避免了应力向焊缝集中。采取上述结构改进措施后,膨胀导致拉裂现象得到了根本解决,确保了锅炉“四管”安全、平稳运行。

(四) 运行维护建议

每天操作时,都必须有严格而科学的检查保养方案,每次锅炉停运大修时都必须对水冷壁上集箱管座做全面而详细的检查保养,在运行过程中,如果能够及时识别出任何不正常的状况,例如焊缝中的微小裂痕或管座的变形,就可以在问题刚刚开始时就将其消除,从而避免裂纹的进一步扩展。

定期对水冷壁清洗与检验具有十分重要的意义。积灰、锈蚀物等不仅影响水流的通畅,而且还会加速水冷

壁被侵蚀、腐蚀,使使用寿命缩短。通过经常清理,消除了这些有害物质,保证了水流顺畅,保持了水冷壁正常工作环境。

强化技术管理,也是一个至关重要的环节。在锅炉设计、制造、安装及运行管理各环节中,必须严格把握技术要求与规范,强化质量安全控制以确保锅炉安全可靠、经济运行。同时,制定详细的操作规程并加强对操作人员的培训,提高他们的工作熟练度和操作技术,加强对操作现场的监控和管控,避免因人为操作不当引发问题。

另外,还应十分重视集汽联箱在检验过程中所发现的不足之处,并及时分析和处理。可通过着色探伤等来检验焊缝和热影响区的表面,以保证不存在超标的缺陷。只有对水冷壁上集箱管座焊缝进行全面、详细、科学地操作和维修,才能够有效地减少水冷壁下集箱管座出现焊缝裂纹的危险,确保锅炉平稳运行。

结论

总之,本文针对350MW超临界锅炉水冷壁上集箱管座焊缝裂纹进行研究具有十分重要的意义。热膨胀因素引起的胀差应力、设计不合理的结构和参数、焊接过程坡口加工和工艺不合适、运行过程启停频繁、负荷变化大都是诱发裂纹产生的关键。根据这些情况,所建议的管排应力分散处理、焊补及热处理、结构改进及运行维护,针对性强。采取上述措施可以有效地降低管座焊缝裂纹,促进锅炉运行安全性。今后,需要不断加强锅炉设备监控研究力度,并不断进行优化设计及运行方案,以保证锅炉平稳高效地运行,从而为电厂稳定供电及供热提供扎实的保证。

参考文献

- [1] 贾少威.超临界直流锅炉水冷壁上集箱管座角焊缝裂纹原因分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2020(11):2.
- [2] 姜世凯.1000MW机组锅炉高温再热器进口管座焊缝裂纹原因分析及处理[C]//2022:114-117.
- [3] 吴友良.350MW汽轮机主汽阀门杆漏气管座角焊缝裂纹分析及工艺研究与应用[J].中国科技纵横,2021(024):000.
- [4] 张磊.某600MW超临界锅炉末再出口集箱管接头裂纹原因分析及改进方案[J].锅炉制造,2020(2):4.
- [5] 杨林.超临界直流锅炉延伸侧墙下集箱管座角焊缝裂纹分析及处理方法[J].百科论坛电子杂志,2020,000(013):1663.