

基于三维立体模型的锅炉受热面防磨防爆技术研究与应用

唐 猛

吉林电力股份有限公司白城发电公司 吉林白城 137000

摘 要: 本文以锅炉受热面的防磨抑爆技术为研究对象, 对其在这一领域中的应用进行深入的研究。通过对锅炉受热表面常见磨损形式、爆炸诱发因素的分析, 阐明 3D3D 建模方法的基本原理和优点, 并对其在磨损预测分析、防爆风险评估、维修决策等方面的应用进行深入的研究。希望本项目研究成果可有效减少锅炉磨损、爆炸等事故的发生, 提高锅炉运行的稳定性和经济性, 为实现锅炉的安全、高效运行提供一条新的技术途径。

关键词: 三维立体模型; 锅炉受热面; 防磨防爆; 磨损预测; 风险评估

1. 引言

锅炉是电力、化工等行业的核心装备, 它的安全、稳定运行直接关系到整个生产过程的成败。受热面是传热的重要载体, 但其在长时间的运行中易发生腐蚀、爆裂等问题, 受热面的磨损会使传热管壁变薄, 承载力下降, 严重时会引起漏失, 而一旦发生爆炸事件, 会给人民群众带来极大的生命和经济损失。传统的防磨抑爆方法主要依靠人工判断和二维平面图来进行, 存在精度不高、实时性不强等不足。近年来, 随着计算机及造型技术的飞速发展, 三维实体造型技术已逐步在工业生产中得到广泛应用, 给锅炉受热面的防磨抑爆工作带来了全新的机遇。本文旨在深入研究三维立体模型技术在锅炉受热面防磨防爆中的应用, 探索更有效的技术手段, 提高锅炉运行的安全性和可靠性。

2. 锅炉受热面磨损与爆炸问题分析

2.1 常见磨损类型及原因

锅炉受热面磨损形式多种多样, 有冲刷磨损、冲击磨损、腐蚀磨损等。

由于高速烟气中的固相粒子不断地冲刷着加热表面的壁面, 造成严重的磨损, 锅炉工作时, 烟气在炉膛及烟道中高速流动, 所携带的飞灰等固体粒子将持续冲击管壁。烟气速度太高、飞灰浓度太高以及管壁有很高的粗糙度, 都会加剧冲蚀磨损, 比如在燃煤锅炉内, 煤质的改变会引起飞灰颗粒的硬度、含量等的变化, 从而加剧对受热面的冲蚀和磨损。

冲击磨损是由弯头和三通等加热面部位引起的, 当烟流经过这些几何参数突然变化的部位时, 其运动轨迹将发生变化并产生大的冲击角, 从而引起局部磨损。它表现出明显的

方向性、集中性, 常导致管壁厚在较短的一段时间内急剧减小。

而腐蚀磨损是一种既有化学侵蚀又有机械磨损的综合作用, 受热面金属在高温、高湿和含二氧化硫、三氧化硫等腐蚀性气体的作用下, 会发生化学反应并生成腐蚀产物。在烟气的作用下腐蚀产物会继续剥落, 使新的金属表层暴露出来, 从而加剧了腐蚀与磨损^[1]。例如在燃用高硫煤的锅炉中, 二氧化硫在一定条件下会与水反应生成亚硫酸和硫酸, 对受热面造成严重的腐蚀磨损。

2.2 爆炸事故的诱因探讨

锅炉受热面爆管的诱发因素较为复杂, 有超压、超温及材料缺陷等。

超压是引起爆炸的一个主要因素。当锅炉内的压力超出其设计承受极限时, 会发生爆炸事故, 产生超压的主要原因有安全阀失效不能正常打开泄压阀, 另外, 由于负荷突然变化或供水系统出现故障, 也会引起锅炉的蒸汽压力急剧上升。另外, 由于汽液系统的阻塞, 导致汽液不能正常流动、压力积累, 从而引起超压^[2]。

过热会降低受热面材料的强度、韧性, 从而增大发生爆炸的危险, 引起过热的因素有循环不良, 燃烧条件不稳定等。比如在锅炉水循环失效, 局部受热面无法得到有效冷却的情况下, 管壁温度急剧上升, 甚至超出材料的允许温度, 从而改变材料的微观结构并且降低材料的强度。此外, 由于燃烧过程中存在火焰偏斜和不完全燃烧等不稳定因素, 易造成局部受热面过热。

此外, 材料上的缺陷也可能引发爆炸, 在锅炉生产中, 若选择的材料不够好, 存在夹渣、气孔、裂纹等缺陷, 并在

长期高温高压下不断发展,造成受热面的开裂。由于生产过程中存在的一些问题,如焊接质量差、热处理不当等,也会降低传热面的强度及可靠性,从而增大爆炸的几率。

3. 三维立体模型技术原理及优势

3.1 三维建模技术简介

三维造型是指在准确的测量并通过计算机软件实现对受热面的结构、零件的准确检测与数据采集,从而建立其三维实体造型的方法。首先,工作人员要得到锅炉受热面的详细设计图及有关参数,如管径、壁厚、长度、连接方式等。在此基础上,利用 SolidWorks、AutoCAD3D 等专门的 3D 造型软件,按照上述参数,逐级建立零件的 3D 模型。在建立传热计算模型时不仅要保证模型的几何参数符合真实工况,而且要精确地对弯头、三通、鳍片等传热部件进行精确仿真。

同时,也可与野外实测资料相结合,提高模型的可靠性和准确性,采用激光扫描、全站仪量测等方法,获得受热面的真实轮廓及空间位置信息,并对其进行校正与改进。最后所建立的三维数值模型可以显示整个炉膛内的传热面及各部分的详细情况,为进一步的分析与应用奠定准确的依据。

3.2 模型与数据融合机制

如何将三维立体成像数据与运行数据和监控数据进行融合,是其高效应用的重要保证。锅炉在正常工作状态下,温度、压力、流量、烟气流速等工作参数都是由安装在锅炉各部件上的传感器来实现的,由此所得到的数据通过数据采集系统传送到电脑,并将其与 3D 模型相对应。在此基础上,通过将多个传感器获取的信息映射到三维模型中对应的位置上,从而实现对锅炉受热面的实时模拟。比如在模型壁面上进行温度信息的显示,并用不同的颜色来表示,使操作者对受热面各个部分的温度分布有一个直观的认识。同时通过对测试数据的分析,得到温度变化趋势、压力波动范围等信息,并将其反馈至 3D 模型,从而为防爆设备的磨损预报及安全评价提供数据支撑。

此外,也可将历史资料和 3D 建模数据进行整合,构建相应的数据库,结合历史数据,归纳加热表面磨损及工况演变规律,并对模型及预报算法进行优化,以提高预报精度与可靠性。

3.3 相比传统方法的独特优势

三维立体建模技术相对于传统的二维平面图、凭经验进行评判,有着明显的优越性。在直观方面,二维平面图仅能

用几张视图表示锅炉受热面的结构,要了解其真实形态及空间关系,就必须具有强大的空间想象力;而三维建模可以将被加热面的整体面貌以 3D 的方式展现出来,操作者可以从不同角度、不同距离对其进行观察,对其结构特征及各部分间的联接关系有更直接的认识,从而减少对其认识的困难,提高工作效率。

在精度方面,传统的计算方法多采用经验公式或估计,缺乏对复杂结构及实际操作过程中不确定性的考虑,导致计算精度不高。该模型以实测数据为基础结合具体的设计参数,能较好地反应受热面的真实状况^[3]。同时将该方法与实时监测数据进行融合,能够对模型中存在的误差进行及时的检测与修正,从而确保分析结果的精度。

从数据的可处理性来看,传统的方法很难实现对海量生产数据的高效处理与分析,然而,三维建模技术能够将运行数据、监测数据、模型三者有机地融合在一起,借助计算机的强大运算能力与数据分析算法,实现对数据的深层次挖掘与分析,实现对设备磨损发展趋势的快速、精确的预测与评价,从而为企业的安全生产与管理提供科学依据。另外,三维模型的建立,也可以为仿真试验提供一种简便的方法,研究不同因素对受热面磨损和防爆性能的影响,为优化设计和制定合理的运行策略提供支持。

4. 基于三维模型的防磨防爆技术应用

4.1 磨损预测与分析

基于三维立体模型进行磨损预测与分析,采用数值仿真方法,通过数值仿真研究不同工况下热表面的流动特征,以及不同工况下固体粒子在不同工况下的移动轨迹,并与历史磨损及实时监控数据相结合,实现对不同工况下不同工况下受热表面的磨损位置与程度的预测^[4]。

首先,采用计算流体动力学(CFD)方法,对炉膛内烟流及固相粒子的运动过程进行数值仿真。在此基础上,引入 CFD 数值模拟程序设置入口气流速度、温度、压力、颗粒粒径和浓度等边界条件。采用数值模拟方法,获得烟气中的流场及固体粒子的运动轨迹,通过数值计算,得出烟气速度越高,固体粒子撞击次数越多的地方,就越容易产生磨损。由此利用已有的磨损数据,构建一种新的磨损预测模型,通过对已有的热负荷试验数据进行统计和分析,得出不同工况下热负荷与烟气流速、温度、运行时间等运行参数的对应关系。其次,采用神经网络和 SVM 等机器学习方法,建立磨损

预报模型,通过对锅炉受热面的实时监控,将其输入预测模型,可以对锅炉受热面在一定时期内的磨损情况进行预测。

最后通过建立的三维数学模型,可以对各种防治措施进行仿真评价,比如通过增加防磨瓦、偏流板等元件,研究其对烟气流动及固体粒子运动特性的影响,从而评价防磨蚀性能,为选择合适的防磨方案提供参考。

4.2 防爆风险评估

基于三维模型的防爆风险评估主要包括超压风险评估、过热风险评估和材质缺陷风险评估。

针对超压危险评价问题,可以使用压力传感器布置在三元模型中的方法,实现对锅炉内各个部分压力的实时监控。通过对试验结果的比较,得出相应的计算公式,并在此基础上提出了相应的报警信号,通过建立的数学模型,分析造成压力异常的因素,包括汽水系统堵塞和安全阀失效等,从而提出解决问题的方法。

过热危险评价技术是利用温度传感器对锅炉受热面的各个部分进行实时测量,并将其映射为三维模型,对温度场进行了分析,确定温度场的位置。将热传导原理与模型中的传热参数相结合,对受热面内金属表面的温度分布进行预测。如果温度超出了材料的允许温度,就会给出过热警告,同时对造成过热的因素,例如水循环失效,燃烧工况不稳等,从而做出相应的调整^[5]。

材料缺陷的风险评价方法是通过建立材料表面的3D建模,并结合生产过程中的质量记录及测试数据,判定材料缺陷的位置。采用有限元方法,模拟材料缺陷在高温高压环境中的扩散过程,评价材料缺陷对材料抗爆性能的影响,针对高风险区域,提出检修方案并且保证锅炉受热面的安全运行。

4.3 检修维护策略制定

基于三维模型的分析结果,可以制定更加科学合理的检修维护策略,根据磨损预测和防爆风险评估的结果,对受热面的各个部分进行维修优选。对高磨损和高防爆危险区域,应优先进行维修。在编制维修计划时,运用3D建模技术精确地决定要更换的零件的大小、数目,并预先备好零件缩短维修周期。

同时,利用三维建模技术对维修进行仿真,对维修工作进行优化,比如要选择最优的检修进口位置,零部件的拆卸及安装次序,以防止检修时对其余零部件的损伤。另外,通过对维修人员的三维建模训练,让他们了解受热面的构造

及维修要点,从而提高维修质量与效率。

在设备的日常维修中,依据三维建模结果对操作参数进行合理的调整。比如通过调节烟气流速,优化燃烧工况,减少受热面的磨耗和防爆隐患。在此基础上,通过定期更新与维护,融合新工况与检测结果确保模型精度与效率,为维修与维修决策的不断优化提供支撑。

5. 结语

本文以3D立体建模为基础,系统地研究和讨论锅炉受热面的防磨抑爆技术,通过对锅炉受热面的磨蚀、爆破等问题的分析,阐明了3D建模方法的基本原理和优点,并对其在设备磨损预测、防爆风险评估以及维修决策中的应用进行较为详尽的论述。在此基础上,提出一种基于故障诊断与故障诊断的新方法,通过实例验证,实现对复杂工况下换热器劣化规律的预测,实现对复杂工况下换热器劣化程度的精确评估,为建立科学、合理的维修与维修决策提供理论支撑,从而大幅减少设备磨损与爆炸事故的发生概率,提升锅炉安全稳定与经济效益。

但是,三维3D建模技术在锅炉受热面防磨防爆方面的应用还有很大的发展空间。在今后的研究中,还可以将3D模型与人工智能、物联网等技术相结合,使其在使用寿命预测、爆炸危险等方面取得更大的突破。在此基础上,进一步完善数值模拟方法,提升数值模拟精度与计算效率,并且进行大量的工程实践研究,不断积累经验,不断完善技术体系,从而为我国锅炉装备的安全、高效运行提供更加可靠的保证。

参考文献:

- [1] 梁国奇. 锅炉防磨防爆智能监测系统的应用[J]. 电力系统装备, 2023, (10): 174-176.
- [2] 冯亦武, 吴家伟, 隋鑫. 锅炉受热面管半定量风险评估技术研究与应用[J]. 黑龙江电力, 2021, 43(03): 213-216+273.
- [3] 崔颖. 超临界二氧化碳循环流化床锅炉的燃烧特性及放大规律研究[D]. 江苏省: 东南大学, 2022.
- [4] 李刚. 三维数字技术在燃煤电厂数字化建设中的应用研究[J]. 自动化仪表, 2020, 41(01): 101-105.
- [5] 葛闯. 电站煤粉锅炉分隔屏过热器磨损特性数值试验及防磨损运行优化研究[D]. 江苏省: 东南大学, 2021.

作者简介: 唐猛, 出生年月日: 1987年6月19日, 性别: 男, 民族: 满, 籍贯: 辽宁省西丰县, 学历: 大学本科, 职称: 工程师, 从事的研究方向: 锅炉设备检修