

600MW 锅炉高温受热面爆管与寿命监测研究

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 600MW 锅炉为研究对象, 针对 600MW 锅炉高温加热面爆管和寿命监控这一关键科学问题, 从锅炉工作机理和高温受热面的结构特征入手, 通过对典型爆管事故的分析, 对其产生的原因和危害进行深入的分析。由此系统的梳理已有的监测技术原理、优劣势, 并探索新技术的应用, 最终完成结构的寿命监测系统的设计和实现。本项目的开展, 将为 600MW 锅炉的高温加热面爆管事故的防治, 保障锅炉的安全、稳定运行, 提高电站的经济效益, 具有十分重要的现实意义。

关键词: 600MW 锅炉; 高温受热面; 爆管; 寿命监测; 监测系统

1. 引言

1.1 研究背景与意义

600MW 火电机组在全国电网中占有举足轻重的位置, 是保证电力供给的主要力量。锅炉是火电机组的重要组成部分, 它的安全可靠与否关系到电力系统能否持续、高效地工作。高温受热面是锅炉能源转化的重要组成部分, 其长期工作在高温、高压、高应力等复杂环境中, 在蒸汽、烟气的冲刷、腐蚀等作用下, 是最易失效的部位。高温加热面爆管事故是造成机组停运和维修的主要原因, 也是重大安全事故的主要原因, 根据统计, 在各种类型的锅炉事故中, 高温加热面爆管的比例高达 30~40%。因此深入开展 600MW 锅炉高温受热面爆管与寿命监测研究, 对预防爆管事故、延长设备使用寿命、保障电力生产安全稳定具有迫切的现实意义。

1.2 国内外研究现状

国外针对锅炉高温加热面爆管及寿命监控开展的比较早, 已在材料特性分析、无损检测、在线监控等领域取得丰硕的成果。如美国和德国采用超声波、射线等先进的无损检测手段, 对锅炉受热面管线进行定期检测, 可有效地减少爆管的几率, 在此基础上, 构建考虑材料蠕变、疲劳等特征的管线寿命预测模型, 实现管线的寿命精确预测。

我国在这方面的研究起步比较晚, 但是近几年却得到了很大的发展。研究单位和企业在学习国外的先进技术的基础上, 根据我国的具体情况不断地对其进行完善和革新, 近年来, 我国在大型电厂锅炉水冷壁换热器的国产化和监控技术的优化等研究工作中, 已经取得长足的进步。但现有研究

还存在诸多问题, 如复杂条件下多因素耦合作用下爆管机理尚不明确、实时、精确、智能程度有待提升等。

2. 600MW 锅炉高温受热面概述

2.1 锅炉工作原理简介

600MW 机组是一种将燃油化学能转换成热能, 将其输送到供水系统中转换成高温、高压蒸汽, 从而带动机组产生电能的装置。该装置的工作过程由燃料燃烧、传热、换热三个部分组成, 首先, 煤、天然气等燃料在炉中与空气充分混合, 产生巨大热量并产生高温火焰及烟雾。在此基础上, 通过辐射、对流等方式将热能传输到位于锅炉或烟道的传热管内, 其中的水(主要为水)在吸热后逐渐升温、汽化, 最终生成高温、高压蒸汽, 高温、高压的蒸汽经管路输送到涡轮, 使转子高速转动, 从而产生电能^[1]。

2.2 高温受热面结构与工作特点

600MW 机组的高温加热面是以过热、再热为主体的, 其传热特性与传热性能密切相关。其中过热器设在锅炉的高温烟道内, 其功能是对饱和水进行再加热, 以获得一定的过热度; 再热器起着对汽轮机高压缸排汽的再热作用, 使其达到较高的汽温、焓值, 从而达到提高机组热效率的目的。

高温受热面的工作特点主要体现在以下几个方面: 一是高温受热面壁温高, 其壁温可达到 540~600℃及以上; 二是承压能力强, 一般为 17~25 兆帕; 三是在高温烟、蒸汽的冲刷和侵蚀下, 管线的表面极易发生氧化、磨损和腐蚀; 四是运行工况复杂, 锅炉在启动、停机、负荷变化等过程中, 高温受热面会受到温度和压力的频繁波动, 容易产生热应力

和疲劳损伤。

3. 高温受热面爆管问题剖析

3.1 爆管事故案例分析

案例一：某发电厂 600MW 机组在使用期间，出现过热器爆管的情况，并对其原因进行分析。在该过程中，由于锅炉内的蒸汽压力突然降低，造成炉内负压的大幅波动，并伴随有较大的喷汽声音，通过对爆管部位的检测，发现爆管部位在过热器的高温区，管壁出现明显的减薄、开裂现象。经分析，由于长时间受高温烟气侵蚀、管壁变薄，且生产工艺中有大量的焊接缺陷，随着使用时间的推移，裂纹不断扩大，直至爆裂。

案例二：某发电厂 600MW 机组在试压时出现再热器爆裂的现象，事故后，锅炉的汽液损失增加，烟气温度下降。通过对爆管管线的检查，发现其内部存在着严重的氧化性腐蚀，并且由于管壁高温，使其力学性能退化，不能承受工作压力而开裂。经深入研究，发现锅炉在使用中存在着不符合标准的问题，且含有大量的杂质及腐蚀性物质，加快管线的腐蚀速度。

3.2 爆管原因深入探究

材料因素：高温热管的材质对高温传热管的性能提出更高的要求，当材质不符合标准，含有夹杂、结构不均匀等缺陷时，极有可能导致管材变形、开裂甚至断裂。另外，随着使用年限的增长，材料会出现蠕变以及疲劳等损伤，使其性能退化，从而引起爆管事故。

运行工况：在锅炉运行中，由于温度和压力的波动、负荷的波动以及蒸汽和水的质量的变化，会对其造成一定的影响。在超温工况下，管材的蠕变会加速，从而降低其使用寿命；当压力脉动太大时，管线将处于交变应力状态，极易产生疲劳开裂；由于汽水质量差，水里的杂质及腐蚀性物质容易粘附于内壁，加快腐蚀、结垢，降低换热效率并且引起管壁温升。

制造安装：在钢管生产中，如果存在焊接工艺和加工精度等方面的问题，将给管道的生产带来一定的安全隐患。比如焊缝中存在的气孔、夹渣和未焊透等缺陷，随着生产的进行，裂纹会不断扩大，直至爆裂。在管线安装时，若管线布局不当，支架和吊架安装不当，将导致管线受力，从而影响管线的正常使用。

3.3 爆管的危害及影响

爆管事故中，高温、高压蒸汽会瞬时喷涌而出，造成人员伤亡，如烫伤、窒息等，还可能引发火灾、爆炸等次生灾害，严重危害火力发电厂的安全生产。管道爆裂会引起锅炉停机维修，从而影响发电，降低发电能力，同时也要耗费大量的人力、物力、财力来进行事故处置和维修。在我国，600MW 机组的一台机组中，存在着严重的爆管问题，爆管事故会打乱电厂的正常生产计划，影响电力供应的稳定性和可靠性，给电网的安全运行带来压力。同时，频繁地爆管事故还会缩短锅炉的使用寿命，增加设备的维护成本和更换频率。

4. 高温受热面寿命监测方法

4.1 寿命监测技术原理与分类

基于材料特性的管线监控方法是通过对接管的机械性能、金相组织、化学成分等的检测，对管线的性能及破坏情况进行评价，进而对管线的剩余使用寿命进行预测。比如金相分析能从微观上观测到材料微观结构的改变，并能判别珍珠球化和碳化物的聚积，对材料进行机械特性试验，可测定其强度、韧性等各项指标，从而对其进行承载能力的评定^[2]。

以物性参数为基础的管线监控技术，充分考虑管线在使用期间的温度、压力、振动等物性参数的变化，间接地反映管线的工作状况及使用寿命。比如，在管内安装了温度传感器，对管内壁的温度进行实时监控，一旦温度超出设定的阈值，就可以判断出管线的不正常情况。在此基础上，利用压力传感器实时监控管线内部的压力变化，并对管线的使用寿命进行了分析。

此外，无损检测是指利用超声波、射线、磁粉等非破坏性检测手段，对管线进行检测，以检测出管线的内部缺陷及损坏情况。这种方法不会损坏管线的结构，检测出管道内部的裂纹、腐蚀、壁厚减薄等问题，为寿命评估提供依据。

4.2 现有监测方法的优缺点

基于材料特性的监控技术具有对材料微结构及性质的深刻研究，提高寿命预报的精度，其不足之处在于需对管线取样化验，为一种非破坏性的检验方式，并且检验周期很长，无法达到实时监控的目的。

采用物理量作为测量手段，其优势在于能够对管线进行实时、在线的监控，并能及时地检测出管线运行中出现的异常状况，但由于物性参数对管线使用寿命影响较大，需建

立精确的数学模型, 才能对其进行有效的预测。

非破坏性测试的优势在于它可以探测到管道的内部缺陷, 在防止爆管事故方面发挥着巨大的作用。其不足之处在于测试费用比较高, 有些测试方法对测试人员有很高的专业技能, 且检测结果受检测条件和人为因素影响较大。

5. 寿命监测系统的设计与实现

5.1 系统总体架构设计

寿命监测系统由数据采集层、数据传输层、数据处理层、应用层管理层组成。其中, 温度传感器、压力传感器、应变传感器和振动传感器等传感器构成数据获取层, 实现对高温受热面温度、压力、应变和振动等的实时监测。在数据传输层, 利用工业以太网和无线网络等通讯手段, 实现对采集到的数据进行传送; 通过对数据的加密、压缩, 确保数据的可靠、实时性。数据处理层主要包括服务器及数据处理软件, 用于存储、分析、处理数据, 利用一些算法, 如数据挖掘和机器学习, 对数据进行深度分析提取有用信息, 评估高温受热面的运行状态和寿命情况。应用管理层为用户提供人机交互界面, 实现数据的实时显示、查询、分析、预警报警等功能, 用户可以通过该界面了解高温受热面的运行状态, 制定合理的维护计划。

5.2 数据采集与处理

数据采集根据高温受热面的结构和运行特点, 传感器的合理布局。在过热器、再热器等重要部位, 如高温段、弯头、焊缝等处加装温度、应变传感器, 在管线的出口处设置压力感应器, 将振动传感器安装在支架, 吊架附近。由传感器获取的数据经过模数转换后, 再将其送至数据传送层。

数据处理方面, 通过对采集的数据进行滤波、去噪、归一化等处理, 以改善数据质量。在此基础上, 利用有限元法对管线的受力情况进行了数值模拟, 并利用灰色预测模型对管线的使用寿命进行预测^[4]。同时, 将分析结果与设定的阈值进行比较, 当数据超过阈值时系统自动发出预警信号。

5.3 监测系统的功能与特点

功能:

功能类型	功能描述
实时监测	实时显示高温受热面的温度、压力、应变、振动等参数, 以曲线、图表等形式直观展示运行状态
预警报警	当监测参数超过设定阈值时, 系统通过声光报警、短信通知等方式及时发出预警信号, 提醒工作人员采取措施
数据分析	对历史数据进行统计分析, 生成各种报表和曲线, 为设备维护和运行优化提供依据

寿命预测 根据监测数据和寿命预测模型, 预测高温受热面的剩余寿命, 为设备更换和检修提供参考

特点:

特点类型	实现方式
可靠性高	采用冗余设计, 配备备用设备或模块; 运用容错技术, 具备故障检测、隔离与恢复功能
智能化程度高	引入人工智能算法, 对大量监测数据进行自动分析处理; 构建寿命预测模型, 实现剩余寿命自动预测
扩展性强	采用模块化设计, 将系统功能划分为独立模块; 模块间采用标准化接口进行通信
人机界面友好	设计简洁直观的操作界面, 采用图形化、可视化展示方式; 设置便捷的操作按钮和导航菜单

结语

本文针对 600MW 锅炉高温受热面爆裂和寿命监控问题, 在分析锅炉工作机理和高温受热面结构特征的基础上, 通过对某 600MW 锅炉高温受热面爆管的成因和危害进行深入的分析, 全面梳理对目前已有的寿命监控技术, 并研制出一种新型的寿命监控系统。本文的研究将防止高温加热面爆管事故的发生, 保证锅炉的安全稳定运行, 具有重要的科学意义和实用价值, 但因其复杂多变、不确定因素, 导致其爆管及寿命监控尚有诸多问题有待深入探讨。今后, 需要加强复杂条件下多因素耦合作用下爆管机理的研究, 持续优化与创新生命监控技术, 并且提升监控系统的智能化与可靠性, 以更好地满足电力生产的需求。

参考文献:

- [1] 范大志. 600MW 锅炉高温受热面爆管与寿命监测研究 [D]. 北京市: 华北电力大学, 2011.
- [2] 吴恺. 电站锅炉高温对流受热面壁温计算及寿命评估的研究 [D]. 北京市: 华北电力大学, 2014.
- [3] 魏铭毅. 电站锅炉高温受热面壁温在线监测系统研究 [J]. 电力设备管理, 2025,(01):114-116.
- [4] 王诗啸. 电站锅炉高温受热面壁温在线监测系统研究 [D]. 北京市: 华北电力大学, 2017.

作者简介: 姓名: 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