

某600MW 机组锅炉水冷壁泄漏原因分析及防范措施

殷政万

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，贵州 毕节 551800

DOI:10.61369/ME.2026070035

摘 要： 600MW 超临界燃煤机组锅炉水冷壁是炉膛的核心受热部件，长期处于高温烟气冲刷、介质压力冲击和复杂的应力作用下，泄漏故障是机组运行过程中高发的承压设备缺陷。水冷壁泄漏会引起炉膛负压波动、烟气参数突然变化、机组被迫低负荷运行甚至停机，严重的还会造成锅炉非计划停运，直接威胁到火电机组的安全稳定和经济运行。本文以某投运多年的600MW 超临界机组为研究对象，结合机组实际运行工况和检修案例，对水冷壁磨损、腐蚀、热疲劳、焊接缺陷、运行调节不当等各方面的泄漏原因进行梳理，总结出故障排查和应急处理的方法，针对不同的运行情况制定常态化的运行控制、检修改进、设备改造的预防措施，有效地降低水冷壁泄漏故障的发生率，保证机组长期稳定运行。

关 键 词： 600MW 机组；锅炉；水冷壁；泄漏故障

Analysis of Leakage Causes of Water-Cooled Tubes in A 600MW Unit Boiler and Preventive Measures

Yin Zhengwan

Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract： The water-cooled tubes of a 600MW supercritical coal-fired unit boiler are the core heat-absorbing components of the furnace. They are constantly exposed to high-temperature flue gas scouring, medium pressure impact, and complex stress effects. Leakage faults are common defects of pressure-bearing equipment during the operation of the unit. Leakage of water-cooled tubes can cause fluctuations in furnace negative pressure, sudden changes in flue gas parameters, forced low-load operation of the unit, even shutdown, and in severe cases, non-planned shutdown of the boiler, directly threatening the safety, stability and economic operation of thermal power units. This paper takes a 600MW supercritical unit that has been in operation for many years as the research object, combines the actual operating conditions of the unit and maintenance cases, and sorts out the leakage causes of water-cooled tubes from various aspects such as wear, corrosion, thermal fatigue, welding defects, and improper operation adjustment. It summarizes the methods for fault detection and emergency handling, and formulates regular operation control, maintenance improvement, and equipment renovation preventive measures for different operating conditions to effectively reduce the occurrence rate of water-cooled tube leakage faults and ensure the long-term stable operation of the unit.

Keywords： 600MW unit; boiler; water-cooled tube; leakage fault

引言

国内600MW 超临界火电机组占电网主力供电份额，大部分机组担负着深度调峰、频繁启停、变负荷运行的任务，锅炉受热面运行工况逐渐恶化。水冷壁直接接触炉膛高温火焰和烟气，内部流过高压高温汽水介质，内外温差和应力变化频繁，长时间运行容易产生管壁损伤、裂纹、减薄等缺陷，逐渐发展成泄漏故障。水冷壁泄漏故障隐蔽性较强，初期故障特征不明显，隐患不断累积会逐渐扩大缺陷范围，造成机组降负荷、停炉抢修等问题。根据现场实际情况准确找出泄漏故障的原因，采取全方位的防范措施，可以从根本上减少泄漏故障的发生，提高机组设备的可靠性以及发电的经济性。

一、600MW 机组锅炉水冷壁概述及泄漏故障表现

（一）水冷壁结构与运行工况

该600MW 机组配套超临界参数锅炉，炉膛四周有膜式水冷

壁结构，用大量的无缝钢管和鳍片焊接成一个密闭的炉膛换热壁面。水冷壁管内流过超临界汽水混合物，吸收炉膛燃料燃烧放出的辐射热，完成水加热、汽化和升温的过程，是锅炉的主要换热部件。机组正常运行时，水冷壁管壁一直处在高温高压环境下，

外接一千摄氏度以上的高温烟气，内受高压介质冲击，同时锅炉启停、负荷变化造成的交变应力也常常出现，使设备长时间处于复杂严峻的运行状况之中，很容易产生各种损伤缺陷。

（二）水冷壁泄漏典型故障表现

水冷壁轻微泄漏时，机组运行参数会有一些细微的异常变化，炉膛负压有微小的波动，排烟温度有局部的下降，锅炉给水量和蒸汽流量差值略有增大，现场炉膛内有轻微的异响。泄漏缺陷不断扩大时，管壁破损喷水量变大，炉膛负压剧烈波动，烟气温度分布严重失调，局部区域烟温明显下降，锅炉排烟湿度也大幅度上升。严重泄漏时会出现炉膛异响增大、引风机出力不断超出限值、机组负荷被迫降低等情况，如果不能及时处理，就会造成管壁冲刷损坏范围变大，引起大面积水冷壁失效，从而导致锅炉紧急停炉^[1]。

二、某600MW 机组水冷壁泄漏主要故障类型

（一）管壁磨损减薄泄漏

管壁磨损减薄属于该机组水冷壁最常出现的泄漏情况，大多发生在炉膛燃烧区、吹灰覆盖区和烟气冲刷死角。燃料燃烧产生的飞灰、炭颗粒被高温烟气高速冲刷到管壁上，长时间的微切削作用使管壁逐渐变薄。燃用劣质煤、煤质不稳定时，飞灰含量增加，磨损速度加快。另外，吹灰频次过高、蒸汽压力超标的高压蒸汽直接冲刷管壁，使管壁厚度不断减小，承压能力下降，最后导致管壁破损泄漏。

（二）高温腐蚀泄漏

高温腐蚀泄漏多发生在炉膛下部水冷壁上，属于渐进性损伤故障。燃料中的硫、灰分在炉膛高温还原性气氛中燃烧生成硫化物，附着在管壁上，并且和金属基体发生反应造成管壁腐蚀。配风不均、局部缺氧都会使还原性气氛更加严重，腐蚀速度加快。长期腐蚀引起的坑蚀、剥落、壁厚不均等缺陷会使得管壁的有效承压厚度变小，在介质压力的作用下会产生腐蚀穿孔泄漏。

（三）热疲劳裂纹泄漏

热疲劳裂纹泄漏是由于机组工况经常变化所造成的，在水冷壁弯头、集箱连接段等应力集中处容易出现。机组频繁启动和停止、深度调峰、负荷突然变化，管壁温度急剧变化，金属不断受热膨胀又遇冷收缩形成交变热应力。应力长期循环就会产生细微裂纹，裂纹不断扩展直到穿透管壁而发生泄漏。该机组长时间做调峰工作，负荷忽大忽小，冷热交替，热应力不断累积，因此容易产生此类问题。

（四）焊接缺陷引发泄漏

焊接缺陷主要出现在水冷壁对接焊缝、鳍片、管口焊接处。安装检修时形成的未焊透、夹渣、气孔等隐性缺陷，在运行介质的压力和热应力的作用下会越来越大。部分焊缝工艺不合理，残余应力没有释放出来，在运行过程中容易出现开裂。由于启停、负荷变化引起的振动使缺陷扩展速度加快，最后造成焊缝开裂而泄漏。该种故障的隐蔽性大，常规巡检很难提前发现。

（五）结垢过热爆管泄漏

结垢过热爆管是由于汽水品质不合格造成的。给水、炉水控制不严，水中含有的盐类杂质在管内壁沉积形成水垢。水垢导热性能差，阻碍换热，使管壁局部温度升高，金属过热蠕变，强度下降。长期过热造成鼓包、裂纹、壁厚减薄，造成爆管泄漏。该类故障多为突然发生的单点故障，发展速度快，容易造成机组非计划停运^[2]。

三、600MW 机组水冷壁泄漏核心成因分析

（一）燃料管控与燃烧调整不当

入炉煤质不稳定、掺烧控制不严格都会加重水冷壁的磨损和腐蚀。机组为了控制成本频繁掺烧劣质、高硫高灰煤，燃烧产生大量的飞灰，加大烟气冲刷，加快管壁磨损。高硫燃料产生腐蚀性的硫化物，炉膛局部缺氧形成还原性气氛，高温腐蚀速率也会增大。另外配风调整滞后，一二次风配比不合理，火焰中心偏移、烟气偏流，造成水冷壁局部超温冲刷，多种因素一起导致泄漏。

（二）机组运行工况频繁波动

由于电网调峰的影响，机组的工况经常发生改变，冷热交替造成的交变热应力会破坏水冷壁。启停阶段升降温速率控制不好，管壁温度急剧变化，金属热胀冷缩产生的应力容易产生裂纹。深度调峰时负荷高低不断变化，燃烧工况也经常改变，管壁温度忽高忽低，热疲劳损伤慢慢增加。长期不稳定运行会扩大微小裂纹，最后导致管壁泄漏。

（三）吹灰系统运维操作不规范

吹灰作业控制不好，就会造成水冷壁的损坏。当吹灰次数超过规定、蒸汽压力过大或者吹扫时间过长时，高压蒸汽会对管壁造成冲刷作用，破坏管壁表面的氧化层以及金属基体，进而使得管壁迅速变薄。部分吹灰器的喷嘴偏移、卡涩，定点冲刷一个部位，造成局部严重磨损。吹灰设备缺陷没有得到及时的处理，作业流程执行不到位，长时间的作用下逐渐造成水冷壁局部泄漏。

（四）汽水品质与化学监督不到位

汽水品质控制不好容易造成内壁结垢过热泄漏。给水处理环节管控不严，杂质、溶氧、盐分超标；炉水化验次数不足，水质异常不能及时调整，杂质在管内壁形成水垢。水垢破坏换热效果，使管壁局部超温，加快金属蠕变老化。水质不合格还会引起内壁电化学腐蚀，双重损害加大水冷壁泄漏危险^[3]。

四、水冷壁泄漏故障排查与应急处置方法

（一）故障初期预判排查

机组运行时，依靠实时运行参数的变化来开展故障初期的预判，准确找到泄漏隐患。重点对炉膛负压、排烟温度、给水量、蒸汽流量、引风机电流等进行监测，发现参数出现异常波动并排除其他设备故障后，初步判断为水冷壁泄漏。采用就地听音、炉膛观察、烟气湿度检测等方法对泄漏大致区域进行排查，

区分出轻微渗漏和严重泄漏。对故障发生时段的机组负荷、煤质参数、运行工况进行及时记录，为准确找到故障原因并加以分析奠定基础，防止出现漏判或者误判的情况发生。

（二）停机后精准定位检测

机组停炉冷却后全面细致的进行检查，找出泄漏处和缺陷处。采用目视检查、管壁测厚、无损探伤、水压试验等方法对水冷壁管壁磨损、腐蚀、裂纹、鼓包、焊缝缺陷等问题进行全方位的检查。重点检测炉膛燃烧区、吹灰冲刷区、应力集中区管壁厚度，检测焊缝完整性及致密性^[4]。采用分段排查、分区检测的方式，准确找到泄漏的故障点，统计出缺陷的数量以及损伤的程度，确定出检修整改的范围，防止出现漏检情况的发生。

（三）泄漏故障应急处置流程

发现水冷壁漏点后按程序进行应急处理，控制故障范围。轻微泄漏时保持机组稳定低负荷运行，控制炉膛温度和燃烧工况，防止缺陷迅速发展，做好停机检修的准备。当泄漏量不断增大、参数异常变坏时，立即执行机组降负荷操作，防止高负荷运行加重管壁损伤。当故障严重危及设备安全时，立即申请紧急停炉，停止引风机高速运转，排出炉膛潮湿烟气，防止水汽对其他设备造成侵蚀，同时开展故障查找和检修改进工作。

五、600MW 机组水冷壁泄漏长效防范措施

（一）严控入炉煤质优化燃烧调整

建立入炉煤质标准化管控体系，严格控制燃料品质，合理安排煤种掺烧方案。严格控制入炉煤的硫分、灰分和水分含量，防止高腐蚀、高磨损劣质煤大量进入炉膛，减少烟气腐蚀和飞灰冲刷强度。改善锅炉燃烧调节手段，准确调节一、二次风参数，均匀分布炉膛温度场和流场，消除局部缺氧、火焰偏移、烟气偏流等现象，削弱炉膛还原性气氛。根据机组负荷的变化来调节燃烧参数，保证燃料充分燃烧，从源头上减少高温腐蚀和飞灰磨损，稳定水冷壁的运行工况。

（二）规范机组变工况运行管控

完善机组启停、调峰运行的控制标准，严格控制参数变化速度，减小热疲劳应力损伤。制定出标准的启停操作程序，对升温升压、降温降压的速度进行严格的控制，避免因温度变化过快而造成管壁温度产生大的交变应力。优化深度调峰运行策略，控制负荷升降幅度和变化速度，防止出现负荷大幅度、快速的波动。延长机组稳态运行时间，降低冷热交替次数，减小金属热应力积累。定期对机组工况波动数据进行记录分析，找出温度应力变化的规律，有针对性地对运行方式进行优化，减缓管壁疲劳裂纹的

产生和发展。

（三）优化吹灰系统运维管控

制订统一的定期吹灰作业标准，改进吹灰参数和作业程序，防止由于吹灰引起管壁的损伤。按照锅炉积灰结焦的规律来确定合理的吹灰次数和时间，防止出现过度吹灰、无效吹灰的情况。严格控制吹灰蒸汽的压力和温度，保证参数的稳定性，防止高压蒸汽对管壁造成损害。制定吹灰设备专项巡检制度，定时对吹灰器喷嘴角度及运行情况进行检查，及时修理卡涩、偏移、故障的设备，防止出现局部定点冲刷的现象。经过精细化的吹灰控制，在保证清灰效果的前提下，尽可能地保护水冷壁管壁不被破坏。

（四）强化汽水品质化学监督

建立全方位的汽水品质控制体系，做好常态化的化学监督工作，防止管内壁结垢腐蚀。对给水预处理、除氧、加药系统的运行参数进行优化，严格控制给水溶氧、硬度、pH 值等主要指标，使给水质量符合要求。加密炉水取样化验频次，定时采集炉水，检测炉水盐分、杂质含量，当水质出现异常时立即调整加药参数及排污强度。按照行业规范定期进行锅炉化学清洗，清除管壁内壁的老旧水垢，恢复管壁的换热性能。完善水质台账管理，对水质变化的规律进行跟踪，做到水质问题早发现、早处理。

（五）提升检修质量强化隐患治理

细化水冷壁专项检修标准，提高检修精细化程度，消除所有的隐性设备隐患。机组大修时，全覆盖做管壁测厚、无损探伤、焊缝检测工作，准确找出磨损、腐蚀、裂纹等隐性故障，建立起缺陷台账并实行闭环管理。规范水冷壁焊接工艺标准，控制焊接流程和参数，焊后严格进行无损检测和水压试验，杜绝焊接缺陷留存在系统中。定期对水冷壁的鳍片、刚性梁、紧固结构进行检查，及时处理松动、变形、应力集中的问题，减小管壁的振动和应力损伤，提高设备的运行可靠性^[5]。

六、结论

600MW 机组锅炉水冷壁泄漏故障可分为磨损减薄、高温腐蚀、热疲劳裂纹、焊接缺陷、结垢过热五类，燃料管控不当、燃烧调整偏差、工况频繁波动、吹灰操作不规范、汽水品质超标、检修管控缺失是故障产生的主要原因，各类隐患相互叠加，会严重影响锅炉的安全稳定运行。对故障作出准确预判、定位检测与检修处置，可快速消除泄漏问题。通过严格管控煤质与燃烧工况、规范机组运行与吹灰操作、强化化学监督、优化检修工艺，能够多维度防控水冷壁泄漏故障，减少设备缺陷发生，延长受热面设备使用寿命，保障600MW火电机组安全、经济、稳定运行。

参考文献

- [1] 徐春. 600 MW 超临界机组锅炉屏式过热器泄漏原因与解决办法 [J]. 电站系统工程, 2025, 41(2):33-35.
- [2] 王坤. 火电机组锅炉水冷壁管泄漏原因 [J]. 理化检验 (物理分册), 2024, 60(1):73-77.
- [3] 付敏睿, 程翔, 李勇, 等. 某660 MW 煤电机组锅炉水冷壁失效原因分析 [J]. 电工技术, 2025(23):287-289.
- [4] 谢道隼, 袁荣正, 刘杰, 等. 660MW 超超临界机组锅炉水冷壁管爆漏失效的微观分析 [J]. 电力设备管理, 2023(2):196-198.
- [5] 辛昊阳, 付海宇. 600 MW 超临界机组锅炉水冷壁防磨防爆研究 [J]. 电力系统装备, 2023(1):55-57.