

防治锅炉“四管”泄漏及运行可靠性研究

陈俊杰 徐君鑫

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 210035

摘要：随着新型电力系统的快速发展，新能源尚未对传统能源实现安全可靠替代前，火电机组特别是煤电机组仍然是保障电力稳定供应的基础，特别是极端天气下导致新能源出力受限或者电力需求高峰时，煤电机组为确保电力稳定供应、满足民生用电和促进经济社会发展需求，起到了“压舱石”的关键性作用。据近10年来国内大型电站的不完全统计，火电机组因锅炉设备事故造成的非计划停运次数占机组全部非计划停运次数的49%，其中由于锅炉“四管”泄漏事故造成的非计划停运又占锅炉设备总事故次数的60.5%。锅炉“四管”泄漏的主要原因包括原始缺陷、磨损腐蚀、疲劳撕裂、检修及施工安装、过热超压等。电厂要充分结合自身特点，建立起熟悉机组、经验丰富、长期从事相关工作的锅炉防磨防爆工作小组，尤其是烟气走廊、结构复杂、应力集中、燃烧器周围、吹灰器周围、折焰角等容易忽视的部位，要作为重点排摸部位检查，提前发掘锅炉“四管”及设备缺陷，将风险隐患彻底扼杀在萌芽状态，切实提升锅炉设备运行可靠性。

关键词：电力稳定供应；锅炉“四管”泄漏事故；失效机理；提前发掘；运行可靠性

1 研究背景

锅炉防磨防爆作为火电机组锅炉设备运行安全稳定的关键环节，更是保证机组安全、稳定、经济运行的重要基础。随着新型电力系统的快速发展，新能源尚未对传统能源实现安全可靠替代前，火电机组特别是煤电机组仍然是保障电力稳定供应的基础。2023年，全国煤电机组以不足40%的装机占比，承担了70%的顶峰保供任务，特别是极端天气下导致新能源出力受限或者电力需求高峰时，煤电机组为确保电力稳定供应、满足民生用电和促进经济社会发展需求，起到了“压舱石”的关键性作用。当新能源发电负荷处于高峰时段，煤电机组不得不保持长期低负荷或者深度调峰运行，由于锅炉蒸发量降低，锅炉的水动力循环可能会产生问题，导致受热面的金属管壁冷却效果变差，甚至长期处于超温运行，当金属强度降低或管壁受腐蚀减薄到一定程度时，极易发生爆管事故，给锅炉运行可靠性带来了极大的安全隐患。

2 数据分析

据近10年来国内大型电站的不完全统计，火电机组因锅炉设备事故造成的非计划停运次数占机组全部非计划停运次数的49%，其中由于锅炉“四管”泄漏事故造成的非计划停运又占锅炉设备总事故次数的60.5%。因锅炉“四管”泄漏引起的停机事故，占机组非计划停运时间的40%，占锅炉设备非计划停运时间的70%。锅炉“四管”泄漏部位中，水冷壁和过热器泄漏次数占总次数的75%，省煤器占比约17%，再热器占比约8%。锅炉“四管”泄漏的主要原因包括原始缺陷、磨损腐蚀、疲劳撕裂、检修及施工安装、过热超压等。

裂、检修及施工安装、过热超压等。

以600MW机组为例，每发生一次锅炉“四管”泄漏造成的机组非计划停运，按照每次停炉抢修6天、机组平均负荷率60%、度电利润0.1元/KW·h进行计算，单次非计划停运将造成超过600万元的直接经济损失，不仅影响锅炉受热面使用寿命，而且还影响民生采暖供热、工业供汽等社会效益。

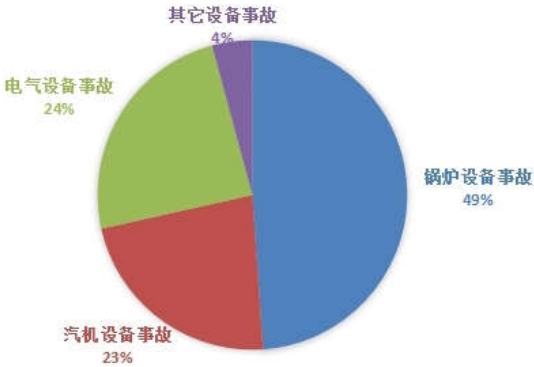


图1 机组非计划停运各专业事故占比

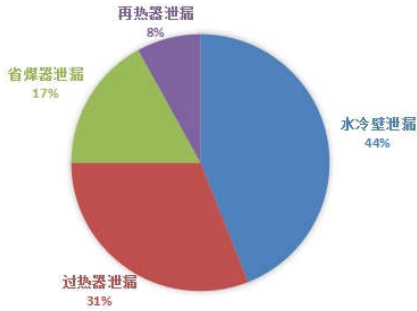


图2 锅炉“四管”泄漏部位次数占比

3 典型泄漏

表1 锅炉“四管”典型泄漏

原因	失效机理
长时过热爆管	管壁温度长期处于设计温度以上而低于材料的下临界温度，超温幅度不大但时间较长，管材发生碳化物球化，管壁氧化减薄，强度下降，蠕变速度加快，管径胀粗，最后在管材最薄弱的部位发生脆裂。
短时过热爆管	锅炉运行期间因冷却发生恶化，短时间管壁温度突然上升，导致强度下降，产生变形、胀粗、减薄，最终发生爆管。
蒸汽侧氧化、腐蚀	锅炉管蒸汽侧氧化皮脱落，堵塞管内导致过热，组织老化，强度下降，发生爆管。
外壁高温氧化、腐蚀	低氮燃烧改造后水冷壁局部出现还原性氛围（较高浓度的硫化氢和一氧化碳），金属管壁发生高温硫化腐蚀；掺烧高硫煤、高碱煤，含有较多碱金属，加剧高温腐蚀，提高吹灰频率，造成局部管壁冲刷磨损。
磨损爆管	煤灰烟气的机械磨损作用，伴随有氧化或腐蚀，管壁减薄，强度持续下降。
氢脆、氢腐蚀	锅炉水—蒸汽循环过程中，水蒸气氧化产生大量的氢，同时内壁腐蚀也会产生氢；氢脆是氢溶于水中或溶于基体中与应力共同作用引起；氢腐蚀是氢与铁、碳物质反应生成化合物，形成局部高压，产生裂纹引起。
内壁腐蚀	锅炉酸洗后存在少量未清洗下来的氧化皮及污垢等，内有残存含氯产物在高温作用下形成腐蚀物，阻碍传热导致管壁温度升高产生氧化腐蚀，氧化腐蚀增加进一步恶化传热并加快腐蚀，最终管壁减薄直至发生泄漏。
应力腐蚀	常见于特定高强度钢；介质含有氯离子；受拉应力产生管材破裂。
异物堵塞	新建机组、锅炉技改、锅炉换管期间残留的管内杂物，部分堵塞时引起长时过热爆管，完全堵塞时引起短时过热爆管。
焊接裂纹	焊接接头处因两种金属的蠕变强度不匹配，是接头早期失效的主要原因；焊缝界面附近的碳迁移，导致异种金属焊接界面断裂失效，一般发生在过热器、再热器异种钢焊接接头处。
热疲劳	常见于调峰运行机组，受烟气中的硫、钠、氯等物质促进腐蚀损坏；炉膛蒸汽吹灰造成管壁温度急剧变化，产生热冲击；超温导致管材强度下降。

4 防治手段

针对过热爆管、氧化腐蚀、磨损爆管、氢脆氢腐蚀、异物堵塞、焊接裂纹等锅炉“四管”典型泄漏原因，通过进一步分析其失效机理，从而进一步规范建立锅炉“四管”防磨防爆技术台账，深入对防磨防爆知识的理解，确保锅炉“四管”泄漏问题的防治手段得到有效执行，增强了锅炉“四管”防磨防爆小组对锅炉受热面泄漏风险的控制能力，提升了日常维护的质量和效率。

4.1 防止氧化皮堵塞

针对锅炉过热器管、再热器管蒸汽侧氧化皮脱落堵塞管内导致过热的问题，一是加强过热器、再热器出口蒸汽温度监视和控制，调低超温报警设定，降低金属管壁运行温度整体水平，通过调整锅炉燃烧工况，降低受热面管壁温差和汽温偏差，严防局部超温，抑制氧化皮生长速度；二是正常运行期间在允许范围内，定期或不定期地调整过热器、再热器管内的蒸汽温度，并适当增大蒸汽温度波动的幅度和速度，使一部分较厚的氧化皮陆续发生剥落并被蒸汽带走；三是停炉期间加强过热器、再热器系统疏水排放，确保管内剥落的氧化皮保持

干燥状态，利于蒸汽吹扫，包括炉管更换或改造期间适当增大内圈管的弯曲半径、更换抗蒸汽氧化性能更好地不锈钢管等。

4.2 防止受热面磨损

针对水冷壁管因煤灰烟气的机械磨损作用导致爆管的问题，一是严格控制入炉煤质量，包括入炉煤掺配后的硫分、灰熔点等指标，不得大幅偏离设计煤种要求；二是通过改进燃烧器或调整燃烧方式，或者采用锅炉贴壁风等技术改造，防止结焦和形成还原性氛围；三是采取防磨措施，如喷涂防腐蚀涂层、装设防磨瓦、采用受热面新型修复技术等；逢停必检期间对于锅炉发生过泄漏的部位，以及大修期间全面检查的部位，管壁减薄情况需要换管时立即安排更换。

4.3 防止氢脆氢腐蚀

针对锅炉水—蒸汽循环过程中氢脆氢腐蚀引起裂纹损伤的问题，一是汽水品质严格执行最新标准和规定，化学和锅炉专业要加强控制水质，通过加氧运行可以防止氢的积累，减轻氢脆氢腐蚀的问题；二是长期停备锅炉必须采取有效的保护措施，酸洗后的机组启动适当延长启动时间；三是含有铬、镍的高强度钢对氢比较敏

感,含碳量较高的钢遇到氢致使开裂的倾向更大,低碳钢不易发生氢裂,氢致开裂的断口与其它脆性断口高度相似,某些弹性零件及高强度钢镀锌需要进行除氢处理(加热处理法)。

4.4 防止热疲劳失效

针对炉管因锅炉启停、频繁深度调峰等引起的热应力和振动引起的交变应力作用而发生的疲劳损坏,一是改变交变应力集中区域的部件结构,同时考虑运行时应避免机械振动;二是改变运行控制参数,适当提高吹灰介质的温度,降低热冲击,减少压力和温度梯度的变化幅度;三是调整管屏间的流量分配,减少热偏差和相邻管壁的温差。

4.5 防止焊接裂纹

针对过热器、再热器异种钢焊接接头失效问题,一是加强焊接人员技能培训,严格控制焊接质量、加装防护套,利用检修契机对存在的工艺问题进行整改,制定专项检查措施、检修实施等;二是结合自身特点,建立起熟悉机组、经验丰富、长期从事相关工作的锅炉防磨防爆工作小组,尤其是烟气走廊、结构复杂、应力集中、燃烧器周围、吹灰器周围、折焰角等容易忽视的部位,要作为重点排摸部位检查,提前发掘锅炉“四管”及设备缺陷,将风险隐患彻底扼杀在萌芽状态,切实提升锅炉设备运行可靠性。

5 结论及展望

锅炉“四管”泄漏作为锅炉设备事故造成机组非计划停运的焦点问题,如何提升其运行可靠性,多年来电厂锅炉专业的工程技术人员一直在不懈努力。为了减少及杜绝锅炉“四管”泄漏事故的发生,要从以下五个方面重点入手:一是成立攻关小组,强化制度建设;二是坚持逢停必查,落实隐患治理;三是坚持严谨细致,严控检修质量;四是安全互检从严,打造钢铁队伍;五是不断技改创新,提升本质安全。在不久的将来,数字驱动转型发展,智慧引领国家能源将成为新的方向,通过信息化新技术、防磨防爆新工艺和新材料,将会极大地促进锅炉“四管”泄漏专项排查和治理工作,锅炉的“透明度”将显著提高,锅炉安全运行的可靠性将得到显著改善,尤其是全新的光学和声学技术加持下的炉膛泄漏在线监测系统,能将在任意负荷、任意工况条件下深入炉膛,实现锅炉受热面的24小时持续监测和预警。

参考文献

- [1]郝晓军,防治锅炉“四管泄漏”工作综述,电力行业锅监委交流研讨会,2024.
- [2]张广兴,锅炉“四管”防磨防爆全过程管理,电力行业锅监委交流研讨会,2024.
- [3]集团公司编写组,中国华能集团有限公司火电厂防止锅炉设备事故重点要求,华能集团企业标准,2023