

火电厂水汽系统腐蚀产物分析及案例探讨

邵和平

大唐长春第二热电有限责任公司 吉林长春 130000

摘要: 本文深入探讨火电厂水汽系统腐蚀产物相关问题。论述了腐蚀产物的来源, 物理化学性质及对系统产生的影响, 并介绍了腐蚀产物的检测技术与分析方法, 包括样品采集与预处理, 定性及定量分析方法等。分析了腐蚀产物分析结果的应用, 如与系统运行状态之间的联系, 设备寿命与安全状况的影响评价以及依据这些结果实施的优化控制措施。通过这些内容的研究, 希望给火电厂水汽系统安全稳定运行赋予理论支撑与实践指导。

关键词: 火电厂; 水汽系统; 腐蚀产物; 分析方法

引言

国内火力发电厂发电机组具有大容量、高参数的特点, 并且随着国家节能战略的实施, 这一趋势将持续发展。大容量、高参数机组对于水汽品质的要求也会越来越严格。水汽系统进油将严重影响火力发电厂的汽水品质, 对于机组的安全稳定运行造成严重威胁, 近几年发生了一些基建火电机组或者运行火电机组水汽系统进油事故。^[1] 火电厂水汽系统是发电设备正常运转的关键部分, 水和汽的品质好坏直接关系到系统的安全水平与经济指标, 水汽循环时, 受到各种原因的作用, 难免出现腐蚀状况, 腐蚀会产生腐蚀产物, 这些产物会危害水汽品质, 而且会在设备表面沉积下来, 进而造成热传递效率降低, 局部腐蚀加重, 极端情形之下还会引发设备故障, 影响火电厂正常运转, 因而, 针对火电厂水汽系统腐蚀产物开展分析有着极为实际的价值, 通过对腐蚀产物产生的地点, 性质, 检测手段以及结果应用进行探讨, 可给火电厂采取有效的防蚀举措给予科学支撑, 维持水汽系统长时间稳定运行。

1 火电厂水汽系统中腐蚀产物的来源与特性分析

1.1 腐蚀产物的主要来源

水汽循环系统里金属材料的溶解是腐蚀产物的一个重要来源, 火电厂水汽系统里常常采用碳钢, 铜合金之类的金属材料, 这些材料会在特定的水质和运行环境下发生腐蚀溶解, 碳钢处在含溶解氧的水里容易遭受电化学腐蚀, 铁原子会失去电子变成亚铁离子, 接着被氧化成铁的氧化物, 这些氧化物就是常见的腐蚀产物, 铜合金同样会在水汽环境中遭受腐蚀, 生成铜的化合物。水质处理不当也会造成腐蚀产物,

若水中有过量的硬度盐类, 如钙镁离子, 经加热会生成碳酸钙, 氢氧化镁等沉积物, 此类沉积物既影响传热效果, 又可能吸附其它杂质, 加快金属腐蚀速度, 而且, 水里溶解氧, 氯离子等杂质未被去除, 同样会对金属造成腐蚀, 从而形成腐蚀产物。

1.2 腐蚀产物的物理化学特性

火电厂水汽系统里的腐蚀产物主要成分包含铁氧化物, 铜化合物, 硅酸盐等, 铁氧化物是较为常见的腐蚀产物, 比如磁性氧化铁 (Fe_3O_4), 赤铁矿 (Fe_2O_3) 等, 铜化合物有氧化铜 (CuO), 碱式碳酸铜等, 硅酸盐也许来源于水源中的硅元素或者水质处理时所加的药剂。腐蚀产物的粒径分布和形态各不相同, 其粒径大小可从微米级到毫米级不等, 形态上可能呈现疏松或者致密的状态, 片状或者球状的形状也都可能出现, 比如某些铁的氧化物就可能表现出疏松多孔的结构, 而有些铜的化合物则可能形成致密的块状物。腐蚀产物还具备电化学活性、附着强度这些特性, 电化学活性关乎腐蚀产物参与到电化学腐蚀进程中的程度, 附着强度则影响腐蚀产物在设备表面的稳固性, 要是腐蚀产物的附着强度较差, 容易掉落进水汽之中, 这或许会加重系统的腐蚀状况。

1.3 腐蚀产物对系统影响的作用机制

腐蚀产物会在换热设备表面沉积, 这会导致换热效率下降, 沉积层的热阻比较大, 热量传递受阻, 设备的传热性能就会变差, 想要实现一样的换热效果, 就得耗费更多能源, 发电成本也跟着上涨。局部腐蚀加重也是腐蚀产物带来的影响, 沉积物下的腐蚀是局部腐蚀的一种, 沉积物的存在改变

了金属表面的水汽环境，导致了局部的腐蚀环境。^[2] 腐蚀产物还会造成电偶腐蚀，不同金属由于电位不同，在电解质溶液中形成原电池，加快了金属腐蚀。从长远看，腐蚀产物会改变水汽品质，随着腐蚀产物持续累积，水里的悬浮物和溶解固形物增多，水质变差，这样不但影响设备正常工作，还可能损坏后面的水处理设备，缩减设备使用寿命。

2 腐蚀产物的检测与分析方法研究

2.1 样品采集与前处理技术

采样点的选择非常关键，要按照高腐蚀风险区域，典型部位的原则来选，比如锅炉的省煤器，水冷壁这些地方，水流速度，温度这些因素会使得这些地方的腐蚀风险比较高，所以这些地方要重点采样，汽轮机的凝汽器，给水管道这些地方也要采样。采样工具和方法多种多样，擦拭法适用于采集设备表面的腐蚀产物，用干净的棉球或者滤纸轻擦设备表面，再把擦拭物放进去样品容器里面，冲洗法就是给设备表面冲刷一定压力的水，把设备表面的腐蚀产物冲下来，把冲下来的水收集起来当作样品，滤膜法就是把滤膜装进采样装置，让水样经过滤膜，腐蚀产物就被拦截在滤膜上。样品保存与预处理也不能忽视，样品容器要选清洁无污染的材料，保存时按样品性质选保存条件，低温，避光等等，样品预处理包含防止二次污染，干燥或者消解处理，有水分的样品要干，有些难溶的腐蚀产物也许要消解，把它变成能溶的东西，方便后面分析。

2.2 定性分析方法

光学显微镜观察法是简单的定性方法，光学显微镜下可以看到腐蚀产物的形貌，例如颗粒大小，形状，分布等。不同物质的腐蚀产物其形貌也不同，通过观察形貌就可以大概知道腐蚀产物是什么。扫描电子显微镜（SEM）和能谱分析（EDS）可以更深入了解腐蚀产物的成分及分布，扫描电镜可以得到表面高分辨率的形貌图像，清楚的显示出腐蚀产物的表面形貌。^[3] 能谱分析可以在样品表面进行元素的定性定量分析，确定腐蚀产物中包含哪些元素。X射线衍射（XRD）主要用来鉴定腐蚀产物的晶体结构，不同的晶体物质有不同的XRD图谱，将样品的XRD图谱与标准图谱进行比较，就可以准确地判断出腐蚀产物的晶体结构和物相组成。

2.3 定量分析方法

重量法是定量分析中常用的一种方法，用于测定总沉积物的质量，把采集来的样品经过干燥，灼烧等步骤后，称

量其质量的变化，以此来算出总沉积物的质量，这种办法比较简便，不过对于一些复杂的样品来说，也许会有些许误差。原子吸收光谱（AAS）或者电感耦合等离子体（ICP）可以用于元素含量的测定，AAS有灵敏度高，选择性好等优点，可以测定样品中多种金属元素的含量，ICP的线性范围更宽，检测效率更高，可以同时测定多种元素。比色法/分光光度法，这种检测方法一般用于检测特定组分的浓度，它是利用物质对一定波长的光具有选择性吸收的特性，通过测定吸光度来推算出物质的浓度，比色法/分光光度法操作简单快速，适合现场快速检测。

2.4 腐蚀产物分析方法的综合应用案例

实际火电厂水汽系统腐蚀监测时，单一分析方法很难全面评价腐蚀情况，所以要综合应用多种检测技术，某600MW燃煤电厂曾出现锅炉水冷壁管腐蚀泄漏现象，技术人员用“取样分析+在线监测+模拟实验”综合方法展开诊断，先用滤膜法获取水冷壁管沉积物样品，经SEM-EDS分析得知腐蚀产物以磁性氧化铁（ Fe_3O_4 ）为主，而且检测到较高浓度的氯离子（约3ppm），接着用XRD技术确定腐蚀产物的晶体结构，再用重量法测得沉积速率 $0.8\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。^[4] 为验证分析结果，电厂做了小型模拟实验装置，同样水条件实施加速腐蚀实验，类似腐蚀产物再现，再用在线铁含量监控（最高达 $5\mu\text{g}/\text{L}$ ）作辅助判断，认定腐蚀系凝汽器轻微泄露造成海水渗透，氯离子环境加快碳钢管点蚀。这个案例表明，把多种分析办法结合起来用，既能正确找出腐蚀产物的特性，又能清楚地查到腐蚀的源头，给制订专门的防锈办法（好比改良凝汽器密封状况，改变加药计划）给予了可靠的依据。

3 腐蚀产物分析结果的应用及关联性研究

3.1 腐蚀产物特性与系统运行状态的关系

腐蚀产物的成分与水质参数有着密切的联系，比如水中溶解氧含量较多时，就会形成铁的氧化物，而水中氯离子含量过高时，则会引发铜的腐蚀，生成铜的化合物，通过分析腐蚀产物的成分，能够推测出水质参数的变化状况，进而及时调节水质处理手段。沉积速率与热力系统运行工况也密切相关。温度、流速等运行工况会影响腐蚀产物的生成与沉积速率，在高温、低流速的区域，腐蚀产物更易沉积，沉积速率也会随之增大，故而通过检测腐蚀产物沉积速率，了解热力系统的运行工况是否正常。典型腐蚀产物（如磁性氧

化铁)的生成条件分析对判断系统的腐蚀状态很有意义,磁性氧化铁一般在含氧量适宜、温度较高之处形成,通过分析磁性氧化铁的含量及其分布状况,就能推测出系统里的含氧量和温度分布情形,从而为采取对应的防腐举措给予依据。

3.2 腐蚀产物对设备寿命及安全性的影响评估

沉积层厚度与局部腐蚀速率有定量联系,沉积层越厚,局部腐蚀速率就会越快,因为沉积层会妨碍氧气的渗透,致使金属表面的氧化还原电位产生改变,进而加快局部腐蚀进程,通过对沉积层厚度以及局部腐蚀速率的监测与评价,可预估设备的腐蚀状况及剩余寿命。对关键设备(汽轮机叶片、锅炉管)的损伤风险预测,是确保设备安全可靠运行的重要内容,根据腐蚀产物的分析结果,结合设备的运行工况和材料特性,可以建立起相应的设备损伤风险评估模型,预测不同工况下设备的损伤风险程度,对高损伤风险的设备要尽早进行防腐或者更换修理。腐蚀产物堆积对于系统经济性的影响也不可小觑,沉积层增多会导致传热效率下滑,要想保持同等的发电功率,就得耗费更多燃料,发电成本因而上升。

3.3 基于分析结果的优化控制方案

水质调整建议属于优化控制策略的一个部分,从腐蚀产物的分析情况出发,调整加药计划,也许要加大缓蚀剂的添加数量,从而改善金属的防腐水平,而且,还要恰当把控水的 pH 数值,防止水的酸性或者碱性过大而对金属产生腐蚀效果。运行参数优化同样可以提升系统安全性及经济性,通过调节锅炉的运行温度,压力等参数,削减局部高温/低流速处的产生,减缓腐蚀产物的形成与沉积速率,而且,改善水汽循环系统的流速分布状况,防止出现水流死角,同样有益于削减腐蚀现象的发生。^[5]在线监测技术的运用可做到实时监测与控制,比如装上铁含量实时监测仪,就能立刻了解水里铁离子含量变动情况,要是发觉铁离子含量超标,马上采取手段去处理,沉积物预警系统可在沉积物到达一定厚度的时候发出警报,提醒工作人员尽快执行清洗和保养,防止沉积物堆积给设备带来损害。

3.4 腐蚀产物分析技术的将来走向

随着火电厂对于水汽系统安全与经济的要求逐步加强,腐蚀产物分析技术正在向着智能化、精准化以及及时性的方

向发展着,人工智能与大数据分析相结合的腐蚀预测模型会是未来发展的一大重点,从过往腐蚀数据中学习,能够预估出腐蚀产物出现的趋向,从而改良防锈手段,而且,像原子力显微镜和同步辐射 X 射线这类技术也被应用到腐蚀产物的微区分析之中,进一步加强了腐蚀产物微结构方面的理解水平。在线监测技术的进步是重要的发展走向,在未来的在线监测系统中,它不会单纯局限于铁含量,PH 值之类的常规参数,会融合多种传感器的数据,像溶解氧,电导率,温度等,配合着机器学习,做到对腐蚀产物执行动态检测并发出预估警报,而且,轻巧携带,对现场检测而言敏感性更加强大的工具会被更普遍地投入火电厂的常规守护,激光诱发击穿光谱这类设备会被更多地利用起来。

4 结语

火电厂水汽系统腐蚀产物的分析是一项复杂且重要的课题,对腐蚀产物的来源、特点、检测技术和分析结果应用展开深入探究,就能更好地认识水汽系统的腐蚀情况,从而采取有效的防腐手段,保证火电厂安全稳定运行,在实际工作中,要综合利用各种分析办法,确切把握腐蚀产物的状况,按照分析得到的结果制订合适的改良控制方案,还要持续加强水汽系统运行工况的监测和管理,尽快找出并解决潜在的腐蚀问题,提升火电厂的经济性和可靠性,往后,伴随着技术不断发展,想必会涌现出更为先进的腐蚀产物分析方法和防腐技术,给火电厂的发展给予更强有力的支持。

参考文献:

- [1] 张建斌. 火力发电厂水汽系统油污染原因分析及应对措施 [J]. 化学工程与装备, 2016,(07):192-194.
- [2] 钱焕云. 火电厂水处理及水汽理化系统故障及对策分析 [J]. 工业水处理, 2018,38(03):106-110.
- [3] 姜波. 火力发电厂 600 MW 机组水汽系统氢电导率超标原因分析及处理 [J]. 清洗世界, 2018,34(10):1-4.
- [4] 刘广福. 浅谈火电厂水汽化学监督的重要性 [J]. 价值工程, 2014,33(01):31-32.
- [5] 王新利, 张丽英. 火电厂化学水汽监督的探讨 [J]. 科技传播, 2014,6(16):157+162.