

# 蒸汽锅炉水冷壁爆管原因分析及对策研究

王悦 谢小娟 郭佳鑫 李谢岱

广东省特种设备检测研究院珠海检测院 广东珠海 519000

**摘要:** 针对蒸汽锅炉连续发生水冷壁爆管事故,从锅炉运行、水质监测管理、水处理设备运行管理、炉内加药控制等方面进行分析爆管原因,提出锅炉管理、水处理作业人员、水质监测管理、科学加药控制等相关措施,为今后锅炉运行中出现水处理不当类似问题提供经验和参考。

**关键词:** 水冷壁管; 腐蚀; 水处理; 锅炉

## 前言:

随着国家经济的蓬勃发展,安全生产、绿色运行是国内工业发展的必要趋势,锅炉在工业生产中扮演着重要角色,因此,锅炉安全、节能、环保地运行对工业生产的安全性起着决定性作用。研究发现影响锅炉安全运行的主要因素有锅炉运行管理、水处理运行管理、原水水质、水处理设备选取、司炉工操作规程、水处理药剂控制等,因此,为确保锅炉安全、节能、高效地运行,做好锅炉水处理系统监督管理、锅炉运行安全监督管理等工作,对锅炉安全、节能运行是至关重要的。

## 一、蒸汽锅炉爆管过程

某电器有限公司一台自然循环蒸汽锅炉(见图1),该锅炉为双锅筒D型布置的水管室燃炉结构,于2020年1月1日投入使用,连续运行至2020年2月28日锅炉水冷壁爆管,漏水导致锅炉报废;在2020年8月5日更换锅炉后重新投入使用,连续运行至2020年10月26日水冷壁中间部位再次发生爆管漏水事故;在2021年2月25日更换锅炉后重新投入使用,连续运行至2021年3月30日水冷壁中间部位再次爆管漏水(见图2、图3)。拆除锅

炉的水位计,发现其汽、水连接管内部结生约2mm厚的白色水垢(见图4、图5),拆开下集箱,发现大量白色水垢沉积于管底部(见图6)。



图1 锅炉本体



图2 锅炉水冷壁



图3 锅炉水冷壁泄漏点



图4 水位计汽连管接管

**项目:** 广东省特种设备检测研究院项目——《给水全挥发处理对电站锅炉水冷壁氢脆的影响研究》,编号:2020CY10



图5 水位计水连接管



图6 下集箱

表1 现场取样化验结果

取样位置	项目	单位	标准值	实测值	结论
软水器出口	硬度	mmol/L	≤ 0.03	2.092	不合格
水箱	硬度	mmol/L	≤ 0.03	2.046	不合格

## 二、试验分析

现场采集锅炉给水箱、软水器出口水质样品,根据《锅炉用水和冷却水分析方法硬度的测定》GB/T 6909-2018的铬黑T测试法,检测水样硬度,具体数值见表1所示,按照GB/T 1576-2018要求,该锅炉给水硬度严重超过标准要求,容易引发锅炉受热面发生结垢、腐蚀现象。

现场割管采集垢样,垢样呈白色,取适量垢样,置入烧杯中,加入5%盐酸溶液后,产生大量气泡,同时垢样基本溶解。根据《蒸汽和热水锅炉化学清洗规则》GB/T 34355-2017附录G中结垢物类型鉴别方法,可判定该结垢物以碳酸盐为主,符合硬度超标引发结垢的特征。

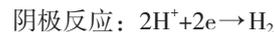
## 三、爆管原因分析

从现场检验、管样结垢物分析及水样分析结果可得,该锅炉的腐蚀主要体现在沉积物下浓缩腐蚀,导致水冷壁管腐蚀减薄,甚至穿孔。

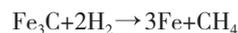
水处理设备不能正常运行,无法去除原水中全部的钙镁离子,导致无法满足锅炉给水要求,给水泵入锅炉中后,引起锅炉内部受热面结生大量水垢,锅炉运行工况下,产生沉积物下介质浓缩腐蚀。锅炉金属表面本有致密的 $Fe_3O_4$ 钝化膜,在锅炉运行过程中,当锅水浓缩到

一定倍数时, $Cl^-$ 达到一定浓度,聚集在碳钢本体有缺陷部位,随着 $Cl^-$ 浓度的增加,钝化膜的击穿电位降低,钝化膜的破坏加快,而且高浓度的 $Cl^-$ 导致金属表面不能及时形成 $Fe_3O_4$ 钝化膜。

当钝化膜被破坏时,金属本体易发生腐蚀。当给水中含有氯化物、硬度超标时,生成 $CaCl_2$ 和 $MgCl_2$ 进入锅炉,发生水解产生HCl,同时生成 $Ca(OH)_2$ 和 $Mg(OH)_2$ 沉积物,由于受热面存在大量沉积物,形成密闭腔体,致使HCl在沉积物下浓缩,HCl浓度逐步升高,在腐蚀坑内形成闭塞腐蚀电池,持续腐蚀金属本体,甚至腐蚀穿孔;腐蚀电池反应式如下:



由于阴极反应发生在沉积物下,生成的 $H_2$ 受到沉积物的阻碍不能及时扩散到汽水混合区域,促使金属管壁与沉积物之间积累大量氢。这些氢部分扩散到金属内部,与碳钢中的碳化铁发生如下反应:



因而造成碳钢脱碳,金相组织受到破坏。由于反应产物 $CH_4$ 会在金属内部产生压力,使金属组织逐渐形成裂纹,金属本体承压能力下降,发生爆管事故。

该企业发生爆管的管理原因主要有以下四个方面: 1) 企业管理人员对锅炉水处理不重视,对锅炉运行状况不了解,未建立锅炉及水处理管理制度和运行操作指导书,操作不当导致水处理设备未能正常运行,无法制水,将自来水直接泵入锅炉中,因自来水中含有大量钙镁离子,不能满足锅炉给水要求,导致锅炉内部受热面结垢严重; 2) 水处理设备为自动软水器,设备安装后及制水时均未进行水质分析化验,企业未配备水质检测相关试剂,无法确定水处理设备制水能力,导致司炉人员不能准确判断水处理设备制水能力是否达到锅炉给水要求,直接将水处理设备出水泵入锅炉中; 3) 企业加入氢氧化钠等碱化剂,但未进行硬度、碱度、pH等指标的检测,随意加药,不加控制,导致炉水pH长期偏高; 4) 水处理设备未能正常运行,锅炉内部结生大量水渣,又未及时排污,水冷壁管中部弯折,折弯处流通面积小,水渣在水冷壁管上不断沉积形成坚硬水垢堵塞水冷壁管,炉水不能流通水冷壁管,无法传递热量,导致水冷壁出现超温、胀粗,在长期运行工况下,水冷壁管发生垢下腐蚀,导致连续出现爆管事故。

## 四、措施

锅炉的安全运行与锅炉水质息息相关,加强锅炉水处理管理是势在必行的。锅炉水处理效果受水处理设备、

操作人员、原水水质、锅炉运行条件、锅炉加药系统等影响,提高水处理效果的措施有以下几个方面:

#### (1) 锅炉使用单位加强水处理作业管理

企业水处理系统应符合国家标准锅炉用水要求,合格的水处理系统是锅炉安全生产的前提。企业若不严格执行国家锅炉用水标准,会导致锅炉存在安全风险的同时,企业运行成本有所增加,经济效益降低,为促使锅炉安全、节能地运行,应加强水处理系统管理。

#### (2) 合理选择水处理方法和系统

根据原水水质,以技术可靠、经济合理为原则,选择合适的水处理方法和系统,确保水处理设备出水符合国家锅炉用水标准要求。当原水总硬度超高或原水水质随季节变化较大时,一级软水器出水可能无法达到标准要求,水处理设备建议采用复合式配备,即两级串联软水器或者采用软水器+反渗透联合。当原水碳酸盐硬度较高时,水处理设备建议采用交换容量大的设备,即弱酸阳离子交换设备或不足量酸再生氢离子交换树脂的氢-钠离子串联系统。当原水水质悬浮物、有机物等杂质含量较高时,水处理设备建议采用预处理装置+软水器,预处理流程为混凝-澄清-过滤,去除原水中大部分悬浮物、有机物、胶体等杂质,以避免后续水处理设备、水处理出水被污染,影响水汽质量。

#### (3) 采用炉内加药补充防垢处理

采用炉内加阻垢剂的补充防垢处理,宜使用连续自动加药设备。根据锅炉的实际用水量、蒸汽发生量、锅炉用水水质、排污量等情况精确计算、准确计量,连续均衡地进行加药,促使锅炉水质维持在较低限的控制指标运行,降低阻垢剂的加入量,做到科学、环保加药,实现节能降耗目标。

#### (4) 提高水处理作业人员的专业技术水平

锅炉使用单位为确保锅炉安全运行,应当了解水处理系统的重要性,配备专业的水处理作业人员,严格按照国家法规执行锅炉相关的标准和要求。水处理作业人员专业技术水平应保持与时俱进,用人单位应定期为其安排专业培训机构进行学习、培训,以确保其水处理知

识的先进性。

#### (5) 合理制定排污时间与排污量

按照锅炉相应标准要求,排污方式主要有定期排污和连续排污,每班进行至少一次排污,可同时采用锅炉底部排污和其他排污工序。排污量一般通过检测给水、锅水的水质来确定。通过检测锅水、给水的pH值及氯离子含量,计算排污率,确定是否要进行排污,控制排污量,排污后再次采集给水、锅水检测,当水质检测结果达到符合标准要求,停止排污。

#### (6) 定期对锅炉除垢

对于锅炉内部,当水垢厚度大于1mm及以上或受热面严重锈蚀时应除垢,据统计清除受热面1mm的水垢可提高锅炉效率3%-5%。使用单位应定期进行锅炉内部检查,根据锅炉实际结垢、腐蚀情况,采取碱煮、酸洗、机械除垢等除垢措施,以确保锅炉受热面清洁、无垢运行。

### 五、结语

锅炉安全运行是一个严密的水汽系统工程,从锅炉运行、锅炉管理制度、锅炉使用单位管理人员意识、水处理作业人员专业技术水平、水处理设备运行管理、锅内加药防垢控制、水垢监督检验及清除等方面综合考虑,提出应提高锅炉使用单位管理人员安全意识,提高企业管理人员对水处理重要性的认识,加强对水处理作业人员的专业培训,加强对锅炉用水水质的监督,保证不达标给水不进锅炉的基本原则,逐步完善管理制度,优化管理水平等措施,促使锅炉安全、经济、节能地运行,并为今后锅炉运行中出现水处理不当类似问题提供经验和参考。

### 参考文献:

- [1]彭韬.工业锅炉典型水质事故案例分析[J].世界有色金属,2018,8:275-277;
- [2]刘伟,陈龙.工业锅炉水冷壁管爆管、变形鼓包的原因及分析[J].经验交流,2017,6:294;
- [3]付红红,樊钊,陈伟民,等.锅炉水冷壁爆管原因分析[J].工业锅炉,2017,4:50-55;