

# 火电厂锅炉“四管”失效原因分析以及预防措施

范方奎

(太仓港协鑫发电有限公司, 江苏 太仓 215433)

**摘 要:** 锅炉“四管”(水冷壁、省煤器、过热器、再热器)失效是造成发电机组可靠性差的一个主要因素,对发电厂的安全和经济指标影响很大。2013年某省调机组共发生机组异常停机101次,其中四管金属部件失效导致的异常停机34次,金属失效原因导致异常停机次数占所有异常停机次数的33.66%,严重威胁机组的安全稳定运行。提高锅炉“四管”的可靠性是火力发电厂安全生产工作的重中之重。

**关键词:** 锅炉; 四管; 失效; 原因分析; 防磨防爆; 预防措施

## 1 概述

某公司配套4×330MW机组,锅炉是由上海锅炉厂设计制造的SG--1036/17.47—M868型亚临界控制循环锅炉,分别于2004年5、6、10、11月投产,目前运行近8万小时,由于公司在锅炉四管防磨防爆工作的重视,四管失效导致泄漏的事件逐年在减少,但随着机组运行周期的延长,检修期间发现四管失效的缺陷越来越多,据统计分析造成四管失效的原因主要有热疲劳、应力集中、吹灰器吹损、机械磨损、材质老化、安装检修工艺不规范、飞灰冲刷等其它因素,其中热疲劳40%、应力集中占20%,吹灰器吹损占20%,这几种原因应该引起我们的足够重视,下大力气去分析整治。

## 2 四管失效原因分析

### 2.1 热疲劳方面

公司锅炉为上海锅炉厂生产的亚临界、强制循环汽包炉,过热汽减温水取至高加前给水管路,该减温水温度约 170℃能保证减温水顺利喷入减温器并良好雾化,需要的减温水量小,调温灵敏;但是由于减温水温度仅有 170℃,二级减温器温度在 500℃以上,300℃的温差容易导致减温器热疲劳从而产生裂纹。过热器二级减温器检查发现有裂纹,该情况在 6 号炉尤为严重。2009 年 9 月 30 日 6 号炉调停,检查发现 6 号炉过热器 II 级减温水管座角焊缝处有一长度约为 35mm 的横向裂纹,割开加强弯头前对接焊缝发现减温器内多孔喷嘴与其固定角焊缝完全脱开,喷嘴向上成垂直方向,经超声波检查发现减温器母材及管座有多道裂纹。由于时间紧,

本次检修只将喷嘴垂直方向位置恢复顺气流方向水平布置,然后将减温器多孔喷嘴与其固定角焊缝打磨焊接,加强管座角焊缝打磨挖补处理。因工期所限,减温器母材及管座上存在的裂纹暂时没有处理。后经专业人员制定方案,领导批准,决定利用下次调停机会将减温器管座改型更换,母材裂纹挖补的方法进行处理 2010 年 02 月 05 日 6 号炉调停检修,在 II 级减温器管座更换过程中,当外筒体开孔至设计值  $\phi 130\text{mm}$ ,发现与减温水管道连接的二级减温器筒体上母材管口有 7 条长 60~65mm 的径向裂纹,管口裂纹无法进行打磨消除,只能将新管座和喷嘴进行恢复,2011 年计划检修进行过热器 II 级减温的更换工作。

2012年10月2日6号炉调停检修,发现A侧高温再热器出口管道化学取样管座母材处有多道裂纹,对该管座母材裂纹进行挖补处理,扩孔至 $\phi 110\text{mm}$ 时,发现母材管口有多条长20~35mm的径向裂纹(见图1),管口裂纹无法进行打磨消除,只能用封头将管口进行封堵,确保机组运行。



图 1 A 侧高温再热器出口管座母材多道裂纹

预防措施: 随着机组运行年限的延长,金属部

件产生疲劳裂纹的现象是不可避免的,但可以通过提前发现缺陷,系统改进等手段避免疲劳裂纹引起设备失效导致的四管泄漏事件,应该做到以下几点:1)利用机组计划检修对易产生疲劳裂纹的部位进行金属检验,及时发现缺陷及时处理,如每次检修应对减温器喷嘴角焊缝、进水管座角焊缝进行检验,发现缺陷及时消除,一旦这些缺陷不能及时发现产生贯穿性裂纹会导致减温器的失效事件;2)炉外的金属部件保温必须符合的要求,不得有破损,防止雨水进入产生冷热交变;3)针对减温器温差较大的现场可以将过热器减温水由高加前调整至高加出口,可以提高减温水温度至 270℃,提高减温水温度约 100℃,减少了二级减温器温差 100℃,可以有效的改善减温器热疲劳。

## 2.2 应力集中方面



图2 4号炉R19吹灰器让管泄漏点



图3 5号炉R10吹灰器让管裂纹

公司四台300MW机组吹灰器的让管发生泄漏(图2)或者产生裂纹(图3)的缺陷,据统计已有16起,2013年在5、6号炉C修中就发现让管裂纹缺陷10起,此类型位置的管子布置需要在管排上开孔,然而因孔、沟槽、缺口、台阶等附近存在应力集中,从而削弱了构件的强度,降低了构件的承载能力。应力集中处往往是构件破坏的起始点,应力集中是引起

构件破坏的主要因素,其次由于锅炉结构及机组启动中,升温、升压速率、机组负荷控制不好,锅炉管子会发生膨胀不畅造成应力集中,拉裂管子,长期作用就极易引发泄漏。

预防措施:1)全面检查吹灰器让管部位,对密封板和让管连接采用满焊的全部进行检查,并切割止裂缝,鳍片裂缝至母材的进行更换;2)吹灰器密封盒套管更换,加工新套管,新套管在原套管基础上加长50mm,防止由于吹灰器内漏,造成水渗入到密封板和让管表面;3)新更换的让管和密封板连接方式采用点焊,在密封盒里重新浇注耐火材料;4)每次检修时,对容易出现应力集中的部位进行仔细检查,发现问题,及时处理,消除隐患;5)每次锅炉启动中做好水冷壁的膨胀记录,判断膨胀是否正常。

## 2.3 吹灰器吹损

通过历次对“四管”防磨防爆检查情况看,吹灰器对受热面的吹损主要是由吹灰器内漏、吹灰器不旋转、吹灰器吹灰时带水、吹灰器吹灰蒸汽压力过高、喷嘴进入炉膛的距离不足、吹灰器枪杆与受热面的不垂直、吹灰器故障未退出等方面造成的。

公司四台300MW机组低温过热器省煤器悬吊管处都存在吹灰器吹损的现象,2011年605-04C修时,准备对吹损部位进行测厚检测,由于吹损部位有L型支撑块和管夹,测厚探头无法接触此部位,所以只能目测、手摸,估算管壁减薄1.5mm(管子规格 $\phi 51 \times 6$ ),对吹损部位采用加装防磨罩的处理方式,并减少了吹灰次数和降低了吹灰压力。606-05C修时拉开管排拆除此位置L型支撑块和防磨罩,对低过第二层第31排上数第一根与炉后悬吊管磨损部位,管夹割断后,磨损处测厚:上数第1根4.38mm,第2根4.6mm,第3根4.5mm检测最薄壁厚仅4.38mm(管子规格 $\phi 51 \times 6$ ),壁厚平均每年吹损减薄0.18mm。依据DL/T939-2005《火力发电厂锅炉受热面管监督检验技术导则》第6.6.1条规定锅炉受热面剩余壁厚应满足强度计算所确定的最小需要壁厚,一般情况下对于水冷壁、低过、省煤器再热器管、壁厚减薄量不应超过设计壁厚的30%,上述吹损管子已低于设计最小需要壁厚4.9mm,我公司计划A修期间对减薄超标的管子进行更换。

公司四台300MW机组省煤器第一层上部管排第一根管壁严重吹损,4台炉都存在类似问题,



606-05C修时检测最薄一根壁厚仅3.8mm(管子规格 $\phi 51 \times 6$ ),其余管子在4.0mm左右,目前吹损部位已加装防磨罩,严重的进行了补焊处理。

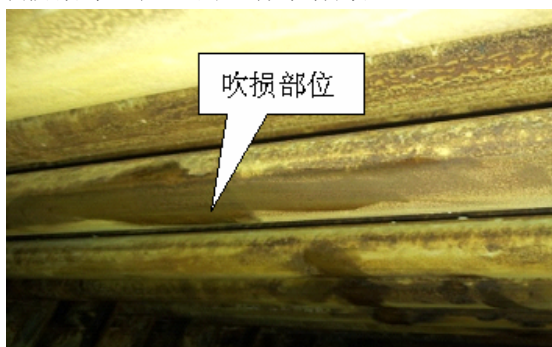


图4 省煤器第一层上部管排第一根管壁严重吹损

预防措施: 1) 检修期间加强吹灰器周围管子的检查; 2) 每次检修后,应对吹灰器进行投运前的调试,调整好喷嘴进入炉膛的距离、吹灰器枪杆与受热面的垂直度、喷嘴的喷射角度、旋转角度等; 3) 运行中,应加强对吹灰器的检查和维护,当遇到吹灰器在炉内、烟道内卡住及吹灰器进汽门漏汽时,应及时退出并切断汽源; 4) 加强对吹灰器疏水调阀的检修维护,保证其吹灰时能够正常开启进行疏水,调整各吹灰器的压力至规定范围。

## 2.4 材质老化

在公司 506-04C 修中,对末级再热器管大包内出口段(材质 12Cr1MoVG)进行了取样检验,显微组织为铁素体+珠光体,珠光体大部分已分散,仅见少量珠光体区域,平层状珠光体均已小球化,组织球化 4 级。在 407-04C 修中,对末级再热器管大包内出口段(材质 12Cr1MoVG)进行了取样检验组织为铁素体+碳化物,其珠光体区域已经完全消失,碳化物聚集于铁素体晶界上,组织呈严重球化,球化级别为 5 级。根据 DLT438-2009《火力发电厂金属技术监督规程》第 9.3.12 条规定:材质 12Cr1MoVG 受热面管子珠光体球化若达到 5 级需要进行更换。目前三期两台锅炉末级再热器材质为 12Cr1MoVG 的管子组织球化级别在 3 至 4 级之间,管子逐渐进入老化状态,5 号炉末级再热器管大包内出口段 12Cr1MoVG 管子过热严重,如果在运行 2 年的时间,有可能组织继续球化,球化级别升高。4 号炉末级再热器材质为 12Cr1MoVG 的管子组织球化级别已达 5 级,严重影响安全生产,公司计划 A 修期间进行更换

预防措施: 1) 根据对此部位管子的状态分析,

造成老化的主要原因是管子超温引起的,在更换管子的同时进行再热器受热面超温改造,根据厂家的建议结合我公司的实际情况采用末级再热器受热面改造,将末再炉内受热面高度割去1500mm; 2) 运行人员根据煤质变化做好燃烧调整,控制超温现象。

## 2.5 机械磨损

由于管卡、支吊架松动,定位块脱落,在运行过程中与管子相互摩擦刮蹭,运行时间长了就会出现管子的磨损,我公司前后屏过热器冷却定位管就存在磨损的重要隐患;同时,若燃烧器损坏,燃烧器角度偏斜等,高速的风粉气流冲刷受热面,很快就能造成水冷壁泄漏事故,应引起足够的重视。图5为前后屏过热器冷却定位管与前后屏磨损的现象。



图5 前后屏过热器冷却定位管与前后屏磨损

预防措施: 机组检修期间加强对定位管卡,吊架、燃烧器及周围水冷壁等部位的检查,发现问题及时可靠处理

## 2.6 安装检修工艺不规范

我公司5号炉后屏过热器出口三通基建焊缝以及母材;6号炉末级过热器入口三通基建焊缝以及母材已多次出现裂纹缺陷,经处理目前在观察运行中,2009年10月25日至12月5日504-01A修中发现后屏过热器出口联箱三通焊缝9条横向裂纹,处理情况:机械加工到深60mm时裂纹消除补焊,热处理后复检时在焊缝下面15mm左右距离三通母材有3条长10~15mm的裂纹,经打磨3mm深时再次检验裂纹消除,无需补焊。2011年5月21日至6月20日505-03C修中发现后屏过热器出口联箱三通基建安装焊缝10条长60mm横向裂纹,处理情况:机械加工到深65mm时裂纹消除补焊,处理后经MT检验焊缝热影响区三通体上出现2条150mm长裂纹,打磨6mm后裂纹消除,不需补焊,再次检验合格(本次为华源

处理)；在506-04C对该位置缺陷进行复检，没有发现缺陷。通过上述处理过程分析，三通基建焊缝以及母材裂纹的产生与焊接热处理工艺有直接关系，不同单位的处理，结果完全不一样，5号炉后屏过热器出口三通裂纹经过华源检修的处理，目前裂纹已消除。



图6 过热器出口联箱横向裂纹

预防措施:缺陷处理应严格安装焊接规程执行，上述缺陷存在的问题主要是热处理工艺不到位，由于该三通形状，位置布置等特点，一般加热器无法达到要求从而导致热处理温度达不到要求，焊后的残余应力没有彻底消除，在对加热器进行完善后，才达到热处理的效果，因此在设备安装检修焊后热处理时应严格按照要求执行。

### 3 做好全过程管理

做好锅炉防磨防爆工作是防止“四管”失效的有效手段，是一项涉及的专业比较多、管控过程和环节复杂、专业性非常强的系统工作，必须从运行管理、化学监督管理、金属监督管理、材料管理、检修管理等多方面着手，做到全过程控制，做好每个环节，防治结合，才能做好此项工作。

#### 3.1 运行管理

运行控制汽温、汽压、壁温，防止发生超温、超压对锅炉受热面造成永久损伤和破坏。由于启停炉温差变化大容易应力集中，出现缺陷扩展以及氧化皮剥落堆积，启停炉应严格控制升(降)温升(降)压率等锅炉参数在允许范围内并严密监视，合理吹灰，及时调整，防止锅炉各参数大起大落。另外应及时根据煤质等外部因素变化调整优化运行方式和参数。

#### 3.2 化学监督管理

化学监督作为锅炉“四管”防磨防爆工作不可或缺的环节，有着非常重要的作用。必须做到以下几点：1) 严格执行锅炉汽水品质控制标准；2) 每周

对炉渣和飞灰进行取样分析，根据炉渣可燃物和飞灰可燃物及时调整炉膛火焰高度、燃煤采购及工程煤掺烧比例，保证炉膛内燃烧工况稳定；3) 从燃煤的源头抓起，严格入炉煤的管理，每天进行采样化验，及时掌握入炉煤的变化情况，准确提供煤质分析报告，为运行燃烧调整提供依据。

#### 3.3 金属监督管理

1) 依据《火电厂金属技术监督规程》以及设备缺陷台账合理编制锅炉金属监督项目；2) 确保项目执行的完整性，做到不漏项；3) 在“四管”测厚工作中，采取防磨防爆小组人员与金相监督人员并行测量的办法，将测量结果对比分析，对存在异议的部位进行复查，及时掌握了管壁的实际状况，确保数据有效真实；4) 金属检验必须以及相关标准执行。

#### 3.4 材料管理

规范金属焊接材料验收制度和出入库管理制度，严格管材材质鉴定，针对库存时间过长、腐蚀超标的备品管材进行淘汰处理，严防错用材质。

#### 3.5 检修管理

加强设备维护检修，认真执行检修项目，严格检修施工的工艺和工作标准，应修必修、修必修好。保持一个稳定精干的防磨防爆检查队伍，在实际工作中做到“分工明确，责任到人，压力到位、奖惩分明”。防磨防爆检查小组成员分片负责，对查出的问题按考核标准进行奖励，同时，对没有检查出缺陷的情况也按规定进行扣罚。在日常工作中严格执行“逢停必检”原则，对照反措项目，充分利用每次的停炉检修机会进行全面检查，发现问题及时采取措施，防止或减少“四管”漏泄发生。采用可行的激励机制，调动并鼓励检查小组进行检查，全面细致的排查各个角落，不留死角。对个人及检修队伍发现的重大缺陷，按考核标准进行奖励，并要求落实到人，不搞大锅饭，充分有效调动了他们的工作积极性，对防磨防爆工作也是有益的推动。加强防磨防爆检查培训，提高工作小组成员的检查水平。小组成员要加强对《防止火电厂锅炉四管爆漏技术导则》等技术法规的学习；加强和兄弟单位合作交流，收集学习同类型锅炉的经验教训，并不断学习锅炉四管防磨防爆的新技术，提高业务水平。

## 4 结束语

由于锅炉内部作业环境差，高空作业风险等因素，“四管”防磨防爆工作成为发电厂里的一项苦差事。对于防磨防爆工作，没有捷径可走，只有当好苦行僧、抓好群防群治工作，方可保一方平安。不断总结经验，吸取各兄弟单位的先进工作方法，持续改进提升自身工作，营造全员参与锅炉“四管”防磨防爆的环境，形成人人有责任、人人有义务的防磨防爆文化氛围，才能继续保持锅炉“四管”的安全稳定运行。

**参考文献：**

[1] 辛本权,牛先印.锅炉四管失效原因分析及预防[Z].2010.

---

**作者简介：**

范方奎（1980-），男，工程师，从事锅炉设备管理工作十年。