

OT 工况下超临界机组直流炉结垢和积盐特征分析

王 斌

(华润电力(常熟)有限公司,江苏 常熟 215536)

摘 要:介绍了华润电力(常熟)有限公司采用给水加氧处理(OT)工况下,超临界直流机组运行1个大修周期后的锅炉结垢和汽轮机叶片积盐情况,分析了结垢和积盐特征及其成因,并与传统的给水全挥发性处理(AVT)工况进行了比较,给出了超临界机组给水 OT 工况运行注意事项。

关键词:加氧处理;超临界;直流炉;结垢;积盐

中图分类号:TK229.2

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)03-0069-03

伴随国民经济的快速发展,电源点建设步入了前所未有的快速发展阶段,超临界直流机组是电力建设的主力机组,仅江苏省已投产超临界直流炉机组达20台之多。这些机组投运后大多数采用了传统的给水全挥发性处理(AVT)工况,而华润电力(常熟)有限公司3台650 MW超临界机组直流炉自投产之初就采用了给水加氧联合处理(OT)工况,是国产化超临界机组首批成功实施给水 OT 工况的机组。在 AVT 工况下超临界直流炉的锅炉水冷壁结垢和汽轮机叶片积盐呈现一种较为普遍的特征,归纳起来大致有以下几种现象:(1)给水存在流动加速腐蚀(FAC),锅炉水冷壁年结垢量较大;(2)热力系统为无铜系统,但汽轮机高压缸叶片积盐中含铜量却很高。(3)过热器、再热器管氧化皮含量非常高,已经开始威胁机组的安全稳定运行。文章对采取给水 OT 工况运行满1个大修周期后的锅炉结垢和汽轮机叶片积盐情况与 AVT 工况机组进行比较,其结垢和积盐特征类似于 AVT 工况,但其结垢量和积盐量优于 AVT 工况的机组。同时对过热器、再热器氧化皮形成与给水 OT 工况的关系进行了探讨分析。

1 机组运行和结垢积盐概况

1.1 机组运行情况

自投运以来至本次大修期间,机组运行情况如下:(1)大修时间间隔为1 639 d;(2)运行小时数为36 304.66 h;(3)发生爆管次数为0次;(4)没有与化学监督有关的异常或障碍现象;(5)机组停运锅炉保养方式为余热/氨化烘干;(6)水汽合格率为99.86%。

1.2 锅炉四管结垢量统计

锅炉四管结垢量如表1所示。

表1 锅炉四管结垢量计算

管样名称	总垢量/ (g·m ⁻²)	总垢产生速率 /[g·(m ² ·a) ⁻¹]
省煤器	77.67	17.30
水冷壁	99.79	22.22
屏式过热器(T91)	543.63	121.08
末级过热器(T91)	763.74	170.10
高温再热器(T91)	1 680.12	374.19
高温再热器(TP347H)	181.80	40.49

注:高温再热器 T91 管氧化皮厚度在0.15~0.20 mm。

1.3 汽轮机积盐分析

采用尼通(NITON)XLT898PSW型X射线荧光合金成分分析仪对盐垢进行金属元素分析,采用手工滴定方法对盐垢进行阴离子分析,结果见表2。

1.4 水汽系统铜铁含量查定^[1,2]

为了考察热力系统内的腐蚀现象,利用ICP对水汽系统进行查定,结果见表3。

1.5 水汽系统检查结垢和腐蚀评价

水汽系统检查结垢和腐蚀评价见表4。

2 结垢积盐特征分析

2.1 OT 工况下省煤器和水冷壁结垢特征

给水 AVT 工况的超临界直流机组其首年水冷壁结垢速率就会达到100 g/(m²·a)以上,例如上海华能石洞口二厂600 MW直流炉机组,其首年水冷壁结垢速率达到120 g/(m²·a);浙江某超临界发电机组锅炉首年结垢速率也分别达到了129 g/(m²·a)和105 g/(m²·a)。而华润电力(常熟)有限公司1号机组 OT 工况运行4.49年其总结垢量最大为99.79 g/m²,结垢速率为22.22 g/(m²·a)(见表1),其结垢评价见表4。由于超临界机组水质控制技术已经非常成熟,精处理出口水质一般能达到0.10 μS/cm²以下,故其水冷壁系统结垢主要是流动性加速腐蚀(FAC)所致。根据国外经验,可从以下几方面来防止

表 2 汽轮机叶片积盐分析

项 目	高压缸	低压缸 /19 级
颜 色	黑褐色	灰褐色
样品重(溶于 1 000 mL 水)/g	0.996 7	0.989 8
水分 /%	0.00	0.28
pH 值	7.64	7.37
水溶物	NaOH/%	微量
	Na ₂ CO ₃ /%	微量
	NaHCO ₃ /%	微量
	Na ₂ SO ₄ /%	0.04
	NaCl/%	0.12
	水溶 SiO ₂ /%	0.01
Σ 水溶 /%	0.17	0.25
水不溶物	SiO ₂ /%	0.02
	Fe 氧化物 /%	11.94
	Cu 氧化物 /%	74.04
	Zn 氧化物 /%	11.56
	V 氧化物 /%	0.49
	Ti 氧化物 /%	0.20
	Mn 氧化物 /%	0.63
	Mo 氧化物 /%	微量
	Cr 氧化物 /%	0.31
	Ni 氧化物 /%	0.11
	灼烧(450 °C)/%	0.15
	失重(900 °C)/%	-1.48
	Σ 总和 /%	99.47
		99.49

表 3 水汽系统铜铁含量查定 μg/L

取样点	铁	铜
凝结水泵出口	2.00	0.08
除氧器出口	<0.50	0.07
省煤器入口	<0.50	0.21
主蒸汽	<0.50	0.19
再热蒸汽入口	<0.50	0.39
再热蒸汽出口	<0.50	0.21
高加疏水	<0.50	0.16
低加疏水	<0.50	0.27

表 4 水汽系统结垢和腐蚀评价

系统名称	结垢评价
省煤器	一类
水冷壁	一类
屏式过热器(T91)	三类
末级过热器(T91)	三类
高温再热器(T91)	三类
高温再热器(TP347H)	一类
汽轮机高压缸叶片隔板	二类
汽轮机中压缸叶片隔板	一类
汽轮机低压缸叶片隔板	一类

FAC 的发生。

(1) 对于新电厂,在设计时要考虑防止 FAC 的

因素,如流速的确定、管道的布置,尽量减少产生强烈紊流的可能。要选用耐 FAC 的材料。

(2) 在设备检修时,要确定容易发生 FAC 的部位,进行无损检查。国外在这方面已有较具体的经验,并有专用软件。我国应总结出自己的经验。

(3) 大力推广锅炉给水 OT。目前,国内仍对 OT 工况存在顾虑,但是从华润电力(常熟)有限公司 OT 成功的经验看,给水 OT 能有效抑制 FAC 的发生,减缓给水系统的腐蚀,有效抑制锅炉水冷壁管结垢^[3]。

2.2 OT 工况汽轮机高压缸叶片积盐特征

给水 AVT 工况下超临界直流机组汽轮机高压缸叶片积盐量都比较大,如浙江某超临界发电机组汽轮机叶片首年积盐最厚达到 0.15 mm。而采取 OT 工况运行的华润电力(常熟)有限公司 1 号机组运行 4.49 年,其汽轮机高压缸积盐最厚为 0.1 mm,其中、低压缸基本无积盐,叶片光亮洁净,低压缸仅在 19 级有一层浮垢,经查此级正好处于 8 号低加抽汽口处,其浮垢的形成与水汽在此部位发生紊流有很大关系。对华润电力(常熟)有限公司 1 号机组高压缸叶片积盐成分的分析结果表明,其盐垢的主要成分是铜氧化物,但其为无铜机组,锅炉水冷壁结垢中也没有发现铜杂质。资料报道,浙江某超临界发电机组(给水 AVT 工况)高压缸积盐成分铜含量为多,但没有华润电力(常熟)有限公司 1 号机组高压缸积盐含铜量高。由于华润电力(常熟)有限公司 1 号机组过热器出口蒸汽压力为 25.4 MPa,过热蒸汽温度为 543 °C,已经超过水的理论临界状态 22.115 MPa 和 374.15 °C。在超临界状态下,水汽的溶解和沉积特性发生了显著变化,特别是对铜的溶解性携带较亚临界时有了极大提高。

在超临界状态下水汽对铜的溶解性携带显著增强,铜氧化物主要沉积在参数较高的高压缸,这与实际检测结果相吻合。铜氧化物在蒸汽中的溶解度随压力的升高而升高,当压力升高到一定的程度会发生突跃性增加,根据高压缸叶片盐垢含铜量较高、而水冷壁垢样含铜量低的现状,可以判断,热力系统所有含铜成分杂质都通过蒸汽溶解、携带到汽轮机高压缸沉积。

为了解铜成分来源,考察了整个热力系统含铜构件后发现,高压水管路为型号 WB36(15NiCuMoNb5)的材质(同浙江某电厂所用水管路材质相同),其含铜量为 0.5%~0.8%,由于给水系统存在 FAC 和超临界水汽对铜杂质携带的彻底性,以及铜杂质主要沉积在高压缸叶片的特性,故给水系统 FAC 产生的铜杂质是高压缸叶片铜垢的主要来源^[4]。

2.3 过热器和再热器氧化皮含量高

华润电力(常熟)有限公司1号机组本次大修检查对屏式过热器、末级过热器、低温再热器、高温再热器均进行了割管检查,其T91管材氧化皮含量较高,已影响机组的安全稳定运行。而高温再热器TP347H管材氧化皮含量较低,其具体结果见表1。

(1) 蒸汽侧金属表面氧化膜的形成。美国EPR11999年明确指出,蒸汽管道汽侧氧化物的生长与剥离,和机组的水工况无关^[5]。金属表面氧化膜的形成主要是蒸汽腐蚀所致,蒸汽腐蚀是过热器管的主要腐蚀形式,在蒸发管中当发生汽水分层或循环停滞时也会发生,其特征是均匀腐蚀。过热蒸汽在450℃时,可直接与铁发生反应。在氧化膜的形成过程中,并无溶解氧参加反应。

(2) 蒸汽中全部溶解氧若折合成氧化铁量的计算。有人怀疑蒸汽管道内壁的氧化层是由于蒸汽中溶解氧与金属表面反应形成的,认为给水OT会大大增厚管道内壁的氧化层,以致造成氧化层脱落。现通过氧量平衡计算来分析其可能性。

若蒸汽中含氧量由于加氧处理增高了10 μg/kg,对于1台600 MW机组,按蒸汽总量计算,10 μg/kg的溶解氧每小时总共可生成72.3g的Fe₃O₄,每年共生成633 348 g的Fe₃O₄。600 MW机组锅炉过热器和再热器的总受热面为23 101 m²,这样,每年蒸汽管道内表面生成27.4 g/m²的Fe₃O₄。这说明,即使蒸汽中的溶解氧全部转化为Fe₃O₄,量也不高。实际过热器管内的垢量要多很多。显然,过热器、再热器氧化皮不是因为给水OT造成的,而是在高温条件下,铁和水蒸汽直接反应的产物。由此可见,不管是给水AVT,还是OT,均会形成高温氧化皮,过热器、再热器高温氧化层已经成为威胁机组安全运行的重大隐患,是超临界大型机组安全运行共同面临的技术挑战^[3]。

3 OT 工况超临界机组运行注意事项

(1) 对汽水取样装置和化学在线分析仪表进行全面彻底的检查,确保取样管路畅通清洁;分析仪表准确可靠。

(2) 对整个热力系统的水质情况进行全面查定、校核,特别是系统中的阴离子、有机酸等情况。

(3) 停运保护工作一定要加以严格的控制,严格按照停运保护方案实施,这对加氧机组系统内氧化层的保护有着至关重要的作用。

(4) 在加氧过程中,控制加氧稳定,切忌氧量大范围波动。同时加氧量不易过大,一般控制省煤器入口给水氧含量在30~150 μg/L,期望控制值30~

90 μg/L;除氧器入口给水氧含量在30~100 μg/L,期望控制值30~60 μg/L。避免蒸汽系统溶氧过高的现象发生。

(5) 给水OT的同时需要加氨处理,加氨点为精处理出口、除氧器出口,维持省煤器入口给水pH值在8.5~9.0范围。

(6) 实施加氧过程中,给水氢电导应控制不超过0.25 μS/cm²;否则应停止加氧,恢复加氨处理工况。

(7) 加氧过程中除氧器排汽门要保证一定的开度,排出不凝气体(主要是CO₂),防止给水管道及省煤器由于有不凝气体的存在而造成腐蚀。

(8) OT工况正常运行时,高加连续排汽阀保持一圈开度,保证高加疏水溶解氧大于10 μg/L。

(9) 机组负荷保持相对稳定,加氧转换期间,机组负荷应保证在60%以上。

(10) 给水OT应实施自动控制,保证氧量的稳定^[6]。

4 结束语

给水OT工况抑制FAC的效果显著,可极大降低锅炉省煤器、水冷壁管的结垢,其结垢量优于给水AVT工况。以华润电力(常熟)有限公司1号机组水冷壁结垢速率为例,连续运行15年后其结垢量才能达到酸洗标准。有铜系统实施给水OT时要进行评估,防止对铜系统腐蚀,发生蒸汽携带,造成汽轮机叶片积盐。无铜系统实施给水OT也要注意防止铜合金部件的腐蚀,如给水系统有铜合金部件,其给水pH应控制在8.5~9.0之间。给水OT工况汽轮机叶片积盐量优于给水AVT工况。给水OT工况与过热器管内壁氧化皮的形成无关,过热器内壁氧化皮的形成是由水(或蒸汽)本身电离的氧离子和金属表面铁离子结合而成的。氧化膜的增厚也是水(或蒸汽)本身氧化的结果。蒸汽中的溶解氧不是过热器管氧化膜的形成因素。不论是给水AVT还是OT工况,其过热器、再热器T91管材氧化皮量均非常高,TP347H管材氧化皮量优于T91管材,T91管材氧化皮要引起高度重视,氧化皮传热系数很低,其达到一定厚度将造成过热器、再热器超温,氧化皮量呈指数形式上升,最终导致过热器、再热器大面积超温爆管事故的发生。

参考文献:

- [1] DL/T 912—2005,超临界火力发电机组水汽质量标准[S].
- [2] GB/T 12145—2008,火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准[S].
- [3] 火电厂蒸汽流通部件高温氧化皮的影响与防治对策研讨会论文集[C].中国电机工程学会火电分会,2002.

3 结束语

近年来的掺烧试验和实践表明,只要掌握掺烧煤种特性,合理把握掺烧比例和方式,在保证机组安全运行的同时,完全可以通过掺烧劣质煤的方式降低火力发电厂的生产成本。在实际掺烧过程中,要注意以下几点。

(1) 由于煤质发生变化,锅炉的热效率会有显著变化,尤其是掺配燃煤的发热量过低时,锅炉热效率下降更为明显,因此在掺烧过程中不能一味追求掺烧比,还应把握掺配煤质,以免得不偿失^[1]。

(2) 虽然燃煤的挥发分对煤粉燃烧是一个重要的指标,但发热量对锅炉经济指标和机组出力有显著的影响,在做好掺烧工作的同时,一定要兼顾燃煤的可燃性和发热量这两方面因素,否则会发生机组出力受限和制粉电耗上升的情况^[2]。

(3) 在烟煤中掺烧劣质煤将会降低锅炉热效率,其影响程度随着掺烧比例的增大而增大;对于机组掺烧的经济性,需要从发电成本、锅炉热效率、机

组的辅机电耗以及卸煤输煤电耗等方面进行综合分析计算,从而得到机组掺烧的显性成本,在运行时还需考虑机组的隐性成本。

(4) 在进行新煤种掺烧前,应采用逐渐加量的方式进行掺烧试验工作,同时加强现场火焰监视和制粉系统运行工况监视,不能一味地通过提高磨煤机出口温度和氧量的方法来加大掺烧比例,应在试验中寻求最经济的掺烧比例。

参考文献:

- [1] 高小涛. 电站锅炉燃用混煤的煤质特性分析[J]. 江苏电机工程, 2009, 28(1): 63-66.
[2] 翁晓, 丘纪华. 煤质变化对锅炉热效率影响[J]. 华中电力, 2007, 31(2): 39-40.

作者简介:

胡晓光(1978-), 男, 江苏南京人, 工程师, 主要从事电厂运行技术工作;

单汉生(1984-), 男, 江苏南京人, 助理工程师, 主要从事电厂运行技术工作。

Analysis on the Air Distribution Methods and the Mixed Ratio of the Low-quality Coal in 300 MW Boiler

HU Xiao-guang, SHAN Han-sheng

(Nanjing Huarun Thermal Power Co. Ltd., Nanjing 210039, China)

Abstract: According to the experience of 330MW boiler mixed burning anthracite, lean coal and lignite, the effects of mixed ratio and mixed mode on the operation safety, economy and the unit output are analyzed. The view that mixed ratio and mixed mode should be determined by the characters of the boiler and coal mill is proposed in the paper, and the economy can be improved just by reasonable adjustments.

Key words: boiler; low-quality; mixed burning

(上接第 71 页)

[4] 关玉芳. AVT 工况下 600 MW 超临界机组直流炉首年结垢、积盐特征分析[J]. 电力技术, 2009(5): 31-32.

[5] MCCLOSKEY T H, DOOLEY R B, MCNAUGHTOM W P. Turbine Steam Path Damage: Theory and Practice [M]. EPRI, 1999.

[6] DL/T 805.1-2002, 火电厂汽水化学导则 第一部分: 直流锅炉给水加氧处理[S].

作者简介:

王斌(1978-), 男, 甘肃会宁人, 助理工程师, 从事火力发电厂化学监督工作。

Analysis on Characteristics of Salt Accumulation and Fouling in Supercritical Once-through Boiler under OT Condition

WANG Bin

(Changshu Huarun Power Generation Co. Ltd., Changshu 215536, China)

Abstract: The condition that fouling in boiler and salt accumulation on turbine blades occurred under OT condition after one overhaul cycle of a supercritical once-through boiler in Changshu Huarun Power Generation Co. Ltd. is introduced in the paper. Through the analysis on the fouling and salt accumulation, the causes are inferred, and the notes that should be paid attention to under OT condition are discussed. The oxide scale inside the superheater and reheater should also be paid much attention to.

Key words: OT; supercritical; once-through boiler; fouling; salt accumulation