

· 一线动态 ·

TLT 动叶可调轴流式风机机械故障分析

The mechanical failure analysis of TLT axial flow fan with adjustable moving blade

廖大鹏¹, 尹民权²

LIAO Da-peng¹, YIN Min-quan²

(1. 山东电力调度中心, 山东 济南 250001; 2. 华电国际邹县发电厂, 山东 邹城 273522)

(1. Shandong Electric Dispatch Control Center, Jinan 250001, China; 2. Zouxian Power Plant, Huadian Power International Corporation Limited, Zoucheng 273552, China)

摘要:华电国际邹县发电厂4台锅炉的吸、送风机自投产以来多次发生故障,经过不断的改进、治理,取得了一些成果。详细介绍了动叶可调轴流式风机安装、维修过程中存在的问题,以及风机运行中出现机械故障的状态诊断、原因分析及处理方法,以供同行参考。

关键词:吸风机;故障诊断;分析

中图分类号:TK 223.26 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2008)09-0039-04

Abstract:The induced draft fan and forced draft fan of four boilers in the Zouxian Power Plant of Huadian Power International Corporation Limited were failed repeatedly since they were put into operation. Some improvement measures were adopted, and some results were obtained. The problems existed in erection and maintenance of axial flow fan with adjustable moving blade were presented. The diagnosis of mechanical failures occurred in fan operation was described, the failure reasons were analyzed, and the handling methods were given. All these can be used as reference for whom of same trade.

Key words: induced draft fan; failure diagnosis; analysis

1 风机概况

华电国际邹县发电厂(以下简称邹县电厂)总装机容量为2540 MW,一期、二期工程4×300 MW机组是我国最早自行设计制造(经改造后目前4台机组实际出力均为335 MW)的国产机组,4台锅炉全部为亚临界压力中间再热自然循环单炉膛燃煤汽包炉,分别于1985和1989年建成投产。每台锅炉配置2台动叶可调轴流式吸风机和2台轴流式送风机。

#1、#2、#4炉投产时配套设计安装的SAF28-18-16-1型吸风机,均为上海鼓风机厂采用德国TLT技术生产的动叶可调轴流式吸风机,参数见表1。

#1、#2炉投产时配套设计安装的FAF23.7-13.3-1型送风机,均为上海鼓风机厂采用德国

TLT技术生产的动叶可调轴流式送风机,参数见表1。

2001年#4锅炉技改大修及2002年#3锅炉技改大修时,将#3、#4锅炉的送、吸风机全部更换为上海鼓风机厂制造的轴流式动叶可调送、吸风机。所有改造的风机配用原有电动机,选用的上海电机厂产品型号同#1、#2锅炉送、吸风机电机相同。

2 存在问题

该厂4台锅炉的送、吸风机投产初期运行比较正常,经过大约20年的运行,发生过多次机械故障,不论是风机的润滑油系统出现问题还是机械方面发生故障,最后都体现在转子组件上。出现较大故障被迫停运风机进行抢修时,为了缩短抢修时间,减少锅炉单侧风机运行带来的不经济和不安全因素,一般是直接将故障转子拆下来更换一台新转子。投产后因故障而更换转子数量在不断增加,但自从开展状态检修以来,特别是从2002年开始,转子更换数

表 1 TLT 风机特性参数

项目	吸风机	送风机	备注
风机风量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	969 645	489 423	
风机风压/kPa	3.29	3.15	送风机不含 消音器阻力
风机叶片调节 范围/ $^{\circ}$	-30 ~ +15	-20 ~ +20	
液压缸行程与 直径/mm	336/100	336/100	
风机轮毂内径/mm	1 584	1 334	
风机内径/mm	2 818	2 372	
风机叶顶间隙/mm	2.8 + 1.4	2.4 + 0.6	叶片在关闭位置
风机叶片数/只	16	16	
风机功率/kW	1 050	750	
风机效率/%	84	85	
电机功率/kW	1 800	1 000	
电机转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	985	993	
额定电压/V	6 000	6 000	
额定电流/A	205	113	

量逐年下降。作者根据自己从事运行、检修和质量监督工作中接触到的吸风机常见机械故障以及个案,对风机运行中出现的问题进行了汇总分析。

(1) 风机的转子解体检修工作量大、费用高、工艺复杂。如果运行维护和检修质量不能完全保证,转子故障率就高。转子比较常见的故障体现在以下 3 个方面。

1) 风机漏油。主要是液压缸、控制头和轴承箱密封件或润滑油系统漏油。#1 ~ #4 炉从投产以来总共更换的 53 台转子(液压缸)中,有 40% 转子(液压缸)属于密封不严漏油而导致的。受到技术、试验等方面的限制,风机的转子解体大修工作只能返厂,而返厂解体大修一次需 20 万元以上。为了节约费用和抢修工期,只要转子内部件没有问题,就只更换液压缸,#1 ~ #4 炉从投产以来共更换 18 台液压缸。

2) 风机振动。受当时技术条件限制,风机投产时没有装设振动自动测量装置,风机振动参数的采集主要靠人员利用仪器现场对机壳进行实际测量。风机的振动一般分为突发性振动和逐渐增大性振动 2 种。前者多发生在风机负荷变化频繁且幅度较大时,主要在转子轮毂表面积灰突然脱落造成转子不平衡或锅炉高负荷(近年来由于煤质差,锅炉经常用 4 套制粉系统)运行情况下发生;后者则主要由

机械方面的异常引起,振动大时还会伴有脉动异音出现,如果叶片磨损严重时振动不明显也会出现脉动异音。

3) 风机轴承温度高。吸风机的轴承箱内驱动端装有 2 套轴承:7340BMPUA 向心推力轴承和 NJ340EmiC3 滚柱轴承;在非驱动端有 1 套 NU340EmiC3 滚柱轴承。运行规程规定,吸风机的轴承温度大于 80°C 时报警,大于 110°C 时跳闸。排烟温度偏高以及润滑油温度高等原因导致吸风机轴承温度时常在 $78 \sim 86^{\circ}\text{C}$ 之间运行。从投产以来,吸风机有 5 次是因轴承温度高和异音问题更换转子组件。液压缸、控制头内轴承一段时间采用的是国产轴承,从投产以来更换过 72 台液压缸,解体后发现因液压缸主轴的 6209 轴承和控制头内调节杆的 3200 轴承破碎导致调节套卡涩不动的问题占 50% 以上,后来将轴承全部改为德国进口轴承后故障率明显下降。

(2) 风机叶片漂移。2002 年以前很少发生叶片漂移现象,停炉检修中有时偶尔发现叶片角度不一致,近年来运行中时常发生叶片漂移现象。2003 年 11 月,#3 炉甲吸风机检修过程中,进行内部检查时发现#13、#14 叶片漂移(与其他叶片角度不一致);2004 年 9 月,#3 锅炉大修时对甲吸风机解体检查,在进行叶片内外角度校对时发现 7 只叶片调节不动;2005 年 4 月 22 日夜间停#3 炉甲吸风机,进行内部检查发现叶片漂移,其中有 3 只叶片关闭;2006 年 4 月#3 锅炉小修中,检查发现#3 炉甲吸风机有 8 只叶片角度相差 5° 关不到底,乙吸风机也有 6 只叶片漂移^[1]。

(3) 吸风机叶片磨损。为了保证风机效率,吸风机叶片顶部间隙设计在 $2.8 + 1.4 \text{ mm}$ 范围内,投产初期阶段(1992 年以前)电除尘器运行工况不稳定效率偏低,加重了吸风机叶片的磨损。由于烟气含尘量高导致吸风机叶片磨损,严重时沿叶片宽度磨掉 $1/3$,致使吸风机叶片叶顶间隙达到 6.2 mm 以上。1 套新叶片只用 1 年甚至更短时间,特别是#2 炉甲吸风机,更换次数比其他风机高 1 倍以上。

(4) 吸风机支撑环裂纹。风机转子与风机机壳的固定由轴承箱两端的法兰用 8 条螺栓与机壳的壳体板固定。邹县电厂#1、#2、#4 炉 TLT 吸风机投产初期运行比较正常,从 1998 年起,发现#1 炉乙吸风机、#2 炉甲吸风机机壳振动大并且超过规程规定值,停炉后吊开吸风机上盖检查发现,轴承箱与下部机壳相固定的支撑环焊口出现裂纹,支撑环下部的

支撑板和肋板均存在不同程度的开裂。1999年3月, #4炉乙吸风机振动振幅 $132\ \mu\text{m}$, 到4月19日停炉后解体发现, 该吸风机上机壳内推力侧上支撑环与轴承箱口环有明显的磨擦痕迹, 承力侧上支撑环与轴承箱口环间隙大, 由于振动大下壳体肋板开裂, 加强肋板也裂开。虽然多次对壳体肋板裂纹处临时挖补, 但是不久又多次开裂, 严重时导致机壳变形。#2炉甲吸风机就因为支撑环及下壳体肋板多次开裂并且导致机壳变形, 长期振动大, 被迫于1999年9月将#2炉甲吸风机整套机壳全部更换。

3 常见故障原因分析

3.1 液压缸、控制头、轴承箱漏油

(1) TLT轴流式吸、送风机因其采取动叶可调结构, 无形中增加了密封点。转子漏油主要分为长期运行中漏油和新更换的转子漏油2个方面, 往往因为风机漏油严重导致更换转子。投产初期漏油现象较轻, 1995年前后转子更换出现第1次高峰, 系锅炉负荷高、排烟温度高加剧了密封件的老化所至。锅炉排烟温度高, 经常在 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 运行, 最高时达 $220\text{ }^\circ\text{C}$ 以上(虽然有密封、冷却风机, 仍然会对密封件的使用寿命有影响), 容易出现漏油, 甚至还曾经发生过吸风机控制头运行中漏油造成控制头室着火事故, 同时也与设备本身密封件的质量有关。1998年以后出现第2次更换高峰, 受时间、技术条件限制, 无法对整个转子解体, 运行中不能检修, 所以返厂解体并要求厂家将轴承骨架油封以及各动静结合部位的密封全部改用进口件。第3次更换高峰则出现在2001年以后, 主要与#3、#4炉技改更换新吸、送风机转子时安装的质量差有关。

2002年2月, #3炉技改大修更换安装了新吸、送风机后, 2002年5月11日, 试运中发现#3炉甲送风机机壳中分面向外大量漏油(不到2h向油箱内补充约240 kg机油), 被迫又更换新转子。2004年3月25日, #3炉乙送风机轴承箱漏油又被迫更换新转子, 2004年10月14日, #3炉乙送风机因轴承箱漏油再次更换转子(送风机转子一般可以使用8年以上)。从2002年2月#3炉技改大修新风机投运至2006年6月底, #3炉甲吸风机共更换2台转子和2台液压缸, 而乙吸风机也更换过1台转子和1台液压缸。据统计, #3炉4年来更换9台转子(液压缸), 其中有5台是因为漏油。

(2) 轴承箱漏油。轴承密封件质量差和老化引起漏油; 风机润滑油质不合格或恶化, 轴承杂质进入油室

损伤磨坏密封件; 轴承箱骨架油封的压环外有锁紧螺母, 由于锁紧螺母没有止退装置, 运行中长期振动, 锁紧螺母松动, 导致骨架油封的压环松动引起漏油。

(3) 液压缸和控制头漏油。主要分为内漏和外漏, 内漏主要是活塞及滑阀密封件故障造成动调卡涩与失灵, 外漏则主要是密封件老化引起控制头输入(输出)轴透盖以及液压缸各动静结合部位密封等漏油。油管道接头漏油多由质量问题或磨损造成。2005年4月4日#3炉乙吸风机吊开上盖检查, 发现控制头拉筋松开, 磨坏泻油管接头而漏油。2005年4月22日停用#3炉甲吸风机, 发现同样问题。在以上漏油严重无法消除时, 只得更换液压缸。

3.2 吸风机叶片磨损

吸风机叶片磨损轻重除了与叶片制造工艺、耐磨涂层以及叶型等有密切的关系, 还与烟气中灰尘的含量过高以及烟气量偏大等都有极大的关系。1990年#2炉乙吸风机入口烟气挡板未完全开启运行3个月, 烟气流量偏向甲侧造成甲吸风机叶片严重磨损。通过对邹县电厂三期(6000 MW机组)#5、#6锅炉吸风机叶片磨损情况长期观察, 发现三期吸风机叶片表面没有防磨涂层, 叶片磨损轻微(已经运行了10年以上)。

经过仔细研究分析, 叶片磨损与叶型及电除尘器效率高有关, 且主要与风机转速有关。三期吸风机转速只有 $750\ \text{r}/\text{min}$ (一、二期吸风机转速为 $985\ \text{r}/\text{min}$), 而三期吸风机与一、二期吸风机属于同一种形式(同为16只叶片), 转速比一、二期吸风机低了近 $1/5$ 。在相同的风机选型条件下, 理论与实践均表明风机叶片的耐磨寿命与风机转子速度的平方成反比, 因此, 在相同出力条件下, 转速较低的风机具有更好的耐磨性。三期吸风机比一、二期吸风机转速低2档以上, 也是三期吸风机更耐磨的一个重要因素。从图1可以看出, 自从1997年推行点检制, 特别是2000年开展状态检修以来, 风机的检修、运行质量和检修工艺有了明显的提高, 吸风机叶片寿命可以超过8年。

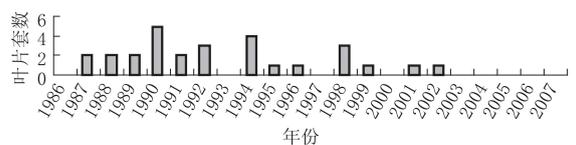


图1 投产以来#1、#2、#4炉引风机更换叶片(套)数量统计

3.3 风机振动

吸风机运行中时常出现振动超出规程规定值的

现象,经过动平衡后不见效果,被迫更换备用转子。一般更换 1 台吸风机转子约需要 72 h,如果突击加班抢修也得 48 h。由于更换过程中只能单侧风机运行,既影响了发电量还威胁着锅炉的安全运行。转子(轴承箱)振动主要有以下几个方面的原因:

(1)一般情况下,校对完控制头同心度后将各调节螺栓紧固,为了防止控制头抖动,利用 1 根支撑拉筋将控制头与风机壳体固定。支撑拉筋的固定螺栓由于振动松脱,造成控制头同心度超出规定范围。控制头输入(输出)轴联结柱销和弹簧钢片磨损间导致隙过大或断裂、控制头同心度调节螺栓松动等都会引起振动;风机转子由轴承箱两端的法兰采用 8 条螺栓与机壳的壳体板固定,螺栓松动也会加剧风机的振动。

(2)除了风机轴承故障引起振动以外,由于液压缸和控制头的密封漏油污染导致轮毂表面不均匀积灰加剧,即使控制头不漏油,轮毂表面积灰到一定厚度也会局部脱落而造成吸风机轮毂不平衡振动,轮毂表面积灰主要是控制头室空间的密封风量不能正常维持导致。吸风机的密封风机至控制头室的通道(即吸风机的出口空心静叶)内布置有 3 条进、回、泻油管道,该风道出口有用来固定 3 条油管道的一角钢支架,该支架遮挡密封风机通道出口 1/3 面积(特别是^{#2}炉甲吸风机),影响出风;加上角钢支架、油管道及固定卡子等容易堆积油灰,又减少了通风量;由于常年磨损吸风机的出口(空心)静叶,磨损后空气漏入烟气中以及密封风机入口滤网堵塞等,这些问题都会加剧轮毂表面积灰造成风机轮毂不平衡振动。

(3)吸风机转子轮毂上装有 16 只叶片,叶片的制作安装有着严格的工艺要求,叶片必须全面检查配对编号。导致风机叶片漂移的主要原因有:一是制造和复装质量的影响,主要是叶柄与调节杆(曲臂)以及曲臂与滑块的锁紧螺母改型后紧力不足松动,叶柄 7211 轴承和曲臂滑块磨损间隙过大等导致叶片漂移;二是运行工况的影响,由于排烟温度偏高,致使转子内的润滑脂软化流淌或干结,加上叶柄密封不严,积灰后造成叶片卡涩等都会导致叶片漂移而导致振动^[1]。

3.4 轴承温度高

一是润滑油中有杂质等润滑不良,二是轴承磨损游隙大保持架磨损等均会导致轴承温度升高或传动机构卡涩。4 台锅炉吸风机的油站原设计安装的油冷却器,在当地使用换热量余量不大,加上吸风机

冷却水管道太细,且处在厂工业水系统的末端,长年运行后油冷却器以及冷却水管道结垢和淤泥等杂质堵塞,换热效率下降,每次停炉后都必须进行人工清洗。从 1997 年到 2000 年先后改进了冷却水系统,包括加粗南北向母管 $\varnothing 57 \times 4$ mm 无缝管及油站进回水 $\varnothing 25$ mm 支管,将油站冷却水管道加粗并更换;并且增加了 1 组油冷却器,原风机油站 2 台油器共用 1 条冷却水管,后来改为分别独立的 2 套冷却水管;还在油站的检修中将过滤器的清洗工作列为质量监督点进行验收。通过改进,油站油箱润滑油温度从 52℃ 降至 38℃,吸风机轴承温度一般也能保持在 68℃ 以下。

3.5 吸风机下机壳支撑环开裂

吸风机下机壳支撑环开裂一般不应经常发生,除了正常原因以外,主要是锅炉排烟温度升高及环境温度相差较大(特别是冬季)而导致。^{#1} 炉投产初期吸风机机壳外设计安装有一保护罩(车衣),主要起到隔音、保温作用,所以对吸风机机壳未采取保温措施,后来在检修工作中将保护罩(车衣)拆除,但是又没有对吸风机机壳采取保温措施,至今 4 台锅炉吸风机机壳一直裸露在外(^{#3} 炉原豪登吸风机和三期现在 TLT 吸风机外壳均有保温层)。冷却风机吹进机壳体内的低温空气,同样会加大机壳支撑板内外侧温差,也是导致机壳裂纹的一个原因。

4 预防措施

(1)对于轴流式风机(特别是吸风机)的常见机械故障,在日常维护和检修中,应确保转动机械的良好润滑。解体后发现润滑油中杂质很容易沉积在控制头机壳内,致使轴承损坏导致输入轴、滑阀、输出轴传动齿轮等卡涩。消除振动是防止漏油的一项先决条件。严格执行给油脂标准,定期进行油脂化验,可以通过化验油中机械杂质含量判断劣化趋势,特别是润滑油系统(油箱)检修应严格按照工艺标准执行。

(2)控制头输入(输出)轴联结柱销和弹簧钢片定期更换。对控制头采取有效的固定措施,确保控制头的同心度在规定范围内,定期检查控制头各密封。液压缸或控制头内部油封不严密而发生漏油,不仅影响滑阀行程导致动叶开度失真,还会造成动叶开关受限,以至内外角度不一致。

(3)提高检修工艺质量,防止叶片漂移,保证风机轴系中心在规程规定范围以内。润滑不良会引起轴承故障并导致振动,而振动又增加了漏油的

概率。通过分解风机垂直、轴向、水平3个方向的振动,就可以确定导致风机振动的原因和部件。

(4)建议利用每次停炉机会,及时清理轮毂表面积灰,也可以在风机上加装一套吹灰装置,运行中利用压缩空气进行不停机清灰。

(5)及时修复、改进吸风机密封、冷却风机通道,减少漏风和堵塞,确保风道畅通无阻。

(6)改善燃烧状况,降低排烟温度,改善吸风机内部工作环境。在不恢复吸风机车衣的情况下,在吸风机机壳外部加上一层保温材料,减少内外部温

差,在保温层外加上防雨铝皮则更好。

参考文献:

- [1]尹君,刘恩生,尹民权. 锅炉吸风机出力不足原因分析[J]. 发电设备,2007,21(3):203-205.

(编辑:刘芳)

作者简介:

廖大鹏(1974—),男,山东济南人,山东电力调度中心工程师,从事电网调度方面的工作。

尹民权(1953—),男,山东齐河人,华电国际邹县发电厂高级技师,从事锅炉状态检修方面的工作。