

三峡左岸电站初期运行机械故障处理综述

冉毅川, 符建平

(三峡水力发电厂, 湖北省宜昌市 443002)

摘要: 三峡左岸电站 14 台机组于 2005 年全部投产, 作为新设备, 必然有一个磨合期, 在此期间会出现各种故障, 如水导瓦故障、油冷却器故障、导流板断裂、导叶中轴套漏水等。三峡电厂对于主辅设备出现的这些问题进行了分析, 有针对性地采取了解决措施, 保证了机组的稳定运行。

关键词: 水轮发电机; 导叶; 冷却器; 压油泵; 排污阀; 气蚀

中图分类号: TV738

0 引言

三峡电厂作为目前世界上最大的水力发电厂, 将有 32 台 700 MW 水轮发电机组, 其设计、安装及运行受到了广泛的关注, 设备制造及安装水平代表了世界领先水平。由于水轮发电机组主设备论证充分, 水轮机转轮裂纹等问题未出现, 设备在利用率较高的同时, 也保持了较好的可靠性。但由于设备投产的高强度及磨合期的特点, 不可避免地出现一些问题, 本文对电站初期运行时出现的一些机械故障及采取的处理措施加以综述。

1 水导油冷却器漏油

三峡左岸电站 1F~3F 机组、7F~9F 机组为某公司供货。根据合同约定, 其水导轴承冷却器在机组正常运行时应有一组作为备用。但在实际运行中, 为保证水导瓦温在规定范围内, 不得不投入全部冷却器, 且在机组运行中无法对其中任何一组进行更换, 这意味着无事故备用冷却器。同时, 在运行和 C 修中, 已经发现有 4 台冷却器出现了冷却铜管破损的现象(见附录 A 图 A1), 导致跑油和进水, 给机组的正常运行带来很大的安全隐患。

合同规定: 原冷却器的材质为铜镍合金, 镍的比重占 10%。综合葛洲坝电站运行经验, 紫铜材质的冷却器更适用于长江水质, 因此对水导冷却器进行了更换。在新的冷却器设计制造过程中, 除改变了冷却管的材质外, 还增加了冷却铜管壁厚, 并加强了质量控制, 尤其是胀管接头的质量控制。更换后, 水导油冷却器漏油问题得到了控制, 3 年来没有再发生类似情况。

2 6F 机组水导轴承烧瓦

2003 年 9 月 9 日 11 时 48 分, 6F 机组因水导瓦温过高启动事故停机流程停机, 甩负荷 520 MW。监控系统画面显示 6F 机组水导瓦温已经升至 115.1 °C, 上油槽油位 66 mm, 2 台水导外循环油泵停运, 停机过程中瓦温仍在上升。运行人员赶到现场时水导瓦已烧, 最高温度达 138 °C, 且现场无法手动启动循环油泵, 经查为控制柜内 220 V/48 V 变压器进线开关 5Q3 跳闸。

因厂用电倒换操作, 10 kV 8 MVA 电源间断约 3 s, 6F 机组水导外循环泵动力电源在厂用电倒换后供电正常, 而水导外循环泵控制回路 220 V/48 V 电源变压器的进线开关 5Q3 跳闸, 导致 2 台水导外循环泵停运, 使水导上油槽的油位快速下降(油漏至下油槽), 水导瓦瓦温迅速升高。当瓦温达到 75 °C, 水机事故正确动作停机。因水导瓦与大轴之间没有油进行润滑和冷却, 在停机过程中瓦温仍在迅速升高, 导致烧瓦(见附录 A 图 A2)。

在设计上, 水导外循环泵控制回路 220 V/48 V 电源变压器无电源监视, 进线开关 5Q3 额定容量偏小(2 A), 该开关跳闸是此次事故的直接原因。原设计中, 该机组有水导上油槽油位低动作停机的功能, 但因该油位传感器稳定性差, 经常误动报警, 故厂家技术人员要求将水导上油槽油位低投信号、不停机。

为提高油位保护的可靠性, 加装了一套油槽油位传感器, 其油位过低接点与原传感器接点一起构成油槽低油位停机硬接线保护; 同时, 监控系统利用 2 个油位传感器的模拟量构成水导油槽低油位后备保护。在监控系统流程中增加油泵全停保护, 判断机组油泵运行状态, 全停时延时 60 s 停机。将 48 V 电源由 1 路增加至 2 路, 并增大 5Q3 电源开关的容

量,取消 48 V 侧开关。

3 5F 机组拉断销信号器故障

5F 机组在调试运行期间多次出现拉断销报拉断信号,但现场检查发现拉断销完好,信号线及回路也正常。经过仔细试验和检查,发现拉断销信号器固定不牢是根本原因,在机组振动时,容易发生信号器跳动的情况,从而发出拉断销拉断的信号。原信号器的固定螺栓为 2 个直径 6 mm 的螺钉,与导叶转臂的连接强度不够,后在信号器上加护板罩住信号器,再用 2 个 10 mm 螺栓固定护板于导叶臂上,护板牢牢地压住信号器(见附录 A 图 A3)。改进后,拉断销误报信号的情况未再出现。同时,针对拉断销误报信号的可能性,在报拉断销信号作用于停机落快速门的条件中,增加转速达 105% 额定转速的条件,只有当拉断销信号与转速信号同时作用时,才导致落快速门成功。

4 滤水器排污阀堵塞

三峡左岸电站机组技术供水系统滤水器是机组供水的关键设备,直接影响机组的安全运行。该滤水器的设计专门针对三峡污物的情况,采取转动排污措施,解决了滤水器容易堵塞的问题。然而,经过近 1 个月的运行,机组滤水器多次出现排污管堵塞导致排污不畅的问题,堵塞部位从排污总阀开始,慢慢扩展到弯头部分。由于排污总阀的出口在下游尾水位以下,发生堵塞后,处理起来异常困难,需要潜水至水下封堵排水管出口,再拆下排污总阀进行处理,增加了处理难度并严重威胁机组的安全稳定运行。

检查发现,蝶阀作为排污阀不合适,蝶阀在全开时阀瓣会占据其有效过流面积而形成瓶颈,过流部分宽度仅为 15 mm 和 28 mm,杂质极易在此聚积(见附录 A 图 A4)。对此,将排污总阀(蝶阀)更换成弹性座闸阀,保证了排污管的畅通,效果良好。

5 导叶中轴套漏水

2003 年 7 月至 2005 年 8 月,三峡左岸电站 8 台某公司供货的水轮发电机组相继投产发电。机组运行后,活动导叶中轴套在运行中均出现漏水,尤其以 11F~14F 机组表现突出,几乎是 24 个活动导叶的中轴套全部漏水。活动导叶中轴套漏水量加大,直接导致顶盖泵频繁启动,最频繁的时候达到每间隔 7 min~8 min 启动一次。

原设计中,中轴套外侧靠近下端处沿中轴套圆

周加工一圈宽 8.75 mm、深 5.6 mm 的矩形密封槽,槽内安装一圈直径 7 mm 的 O 形密封条。同时,在中轴套内侧靠近下端处加工一圈宽 20 mm、深 14 mm 的矩形密封槽,安装一圈 529.3 mm×560 mm×20 mm 的唇形密封条(轴套与导叶轴之间的单边间隙为 0.35 mm~0.46 mm),见附录 A 图 A5。

根据对中轴套密封结构漏水原因的分析,决定有针对性地对中轴套密封结构进行改进:①保留中轴套内、外两侧现有的 2 道密封;②在中轴套上端(内侧)重新设计加工一圈密封槽,密封槽径向深度单 15 mm,轴向深度 32 mm,密封槽内安装 V 形密封圈,由支撑圈、密封圈、压圈 3 部分组成,选择同时 3 层密封圈叠加使用;③在中轴套上端外法兰上设计加装一层压紧环,用于 V 形密封圈圆周的轴向压紧,使 V 形密封圈在安装时可获得足够的初始过盈和预压缩,从而保证密封效果^[1](见附录 A 图 A5)。

6 导叶抗磨板处理

2004 年 11 月至 2005 年 4 月,三峡电厂进行冬季检修,发现 10F 机组活动导叶下沉,端面间隙分配关系改变,导致活动导叶在机组运行时的调节运动中将底环上表面及活动导叶下端密封严重刮伤(见附录 A 图 A6)。后检查发现 4F~6F,11F,12F 机组也有类似现象,进一步检查发现活动导叶抗磨块有异常,所有抗磨块的磨损量均超过设计磨损量 0.05 mm/年,尤其以 10F 机组最为严重。拆下拐臂后发现,5 号、9 号、11 号、12 号、13 号 5 个活动导叶抗磨块完全损坏(见附录 A 图 A7),其他抗磨块的余厚为 2.41 mm~2.97 mm,平均 2.87 mm,有些固定螺栓刚刚处在抗磨块表面极限处,甚至已将主拐臂下表面严重刮伤。据此可判定,活动导叶下沉是由抗磨块的超常磨损引起的。

根据上述结论,决定在 14F 机组安装时将抗磨块面积加大 1 倍,即安装 4 块抗磨块,增加接触面积,使抗磨块承受的压强降低,从而降低磨损率。同时,在安装抗磨块时,严格按照设计要求进行安装^[2],保持压紧螺栓与抗磨板表面的高差,保证压紧螺栓联结紧固。按照此方案改进安装运行 3 多月后检查 14F 机组,发现抗磨块未见明显磨损。后对其他机组实施了相同的改造。

7 蜗壳导流板处理

三峡左岸电站某公司供货机组的水轮机蜗壳上、下环板处各装有 50 块导流板,导流板与座环焊

接连接,相邻导流板之间通过弧形筋板焊接连接,其作用主要是使进入固定导叶的水流形成稳定环流,平稳过渡到固定导叶的进口(见附录 A 图 A8)。首台机组于 2003 年 7 月 12 日投入商业运行以来,先后发生了 3 台机组部分导流板 7 次不同程度的损坏,其中 6F 机组 3 次,10F 机组 2 次,11F 机组 2 次,损坏形式有撕裂和裂纹,给机组的安全稳定运行带来很大的隐患(见附录 A 图 A9)。

针对导流板的损坏情况,探索了不同的处理方法,经过反复试验,最终采取以下修复及处理措施:对受损机组导流板撕裂和裂纹处进行焊接修复;在 1 号~39 号导流板上,下导流板与弧形筋板连接处的尾端加焊长 500 mm、焊角高 6 mm~8 mm 的立角焊缝;在筋板与导流板连接部位内侧边缘加焊长 30 mm、厚 5 mm 的方形加强筋板;在 1 号~39 号导流板上,下导流板内侧距边缘 150 mm 处加焊横向加强筋板,横向加强筋板材质为 Q235 普通低碳钢板,尺寸为 1 100 mm×150 mm×18 mm。

8 调速器压油泵破裂

三峡左岸电站调速系统压油装置中,ALSTOM 机组设有 4 台(VGS 机组设有 3 台)相同的泵,其中 ALSTOM 机组 3 台(VGS 机组 2 台)作为工作泵,1 台为备用泵。运行中,一台泵作为增压泵连续运行。所有油泵为螺杆泵,在最大油压下能自吸。泵的主要参数:额定功率 160 kW,额定电压 380 V,流量 15.5 L/s,额定压力 6.1 MPa~6.3 MPa,工作介质为 ISO46 透平油,目前压油泵运行中,油的温度变化范围为 35℃~40℃。

自 2003 年机组安装投运以来,三峡左岸电站调速系统压油装置压油泵连续发生泵体开裂故障,外方检查认为泵选型不当,主要缺陷有:转速过高(2 900 r/min),电机噪声过大,泵体材质强度不够,泵体悬臂安装等。于是自 2004 年 4 月开始,陆续将所有压油泵更换为重载泵。但从 2005 年 8 月开始,重载泵又连续发生泵体渗油故障,对机组安全运行构成极大威胁。

针对这一情况,选用了新的电机和油泵。新压油泵采用的电机转速为 1 450 r/min,螺杆副采用 ALLWEILER 公司独特的型线技术;具有油膜稳定、压力脉动小、效率高、汽蚀性能好的技术特性,油泵流量满足设计要求。电机和泵转速下降了近一半,降低了油泵运行的高频振动,改善了油泵运行过程中的压力冲击和汽蚀性能,减小了油泵运行噪声。

结构上,泵和电机采用分离式设计,通过弹性联轴器、底座或联接架实现连接(电机底座可直接配用现用的底座),可以更好地保证泵与管线的准确定位,增加泵的刚性和紧固效果。泵体与泵的转动组件也采用分体式设计,泵到使用寿命周期后,只需更换转动组件,有效降低了泵的使用成本;而且,更换泵转动组件时不需拆卸泵体,降低了泵维修时的装配要求和难度。

9 AH 三段关闭规律改变

5F 机组在 2003 年 6 月安装调试期间进行过速试验时发生剧烈振动,水轮机活动导叶拉断销 4 次被拉断,导致紧急关闭进水口快速门。经过 3 个月的试验、分析,其主要原因是机组过速停机时,当导叶关闭至 5%左右开度、机组转速约 100%额定转速时,通过导流部件的水流由顺流变成射流的瞬间,流道内产生较强的水力脉动,其频率与水轮机部分机械部件的频率 20 Hz 接近,从而引起某种程度的共振。为了解决振动问题,除对调速系统结构进行改造外,对导叶分段关闭规律也进行了调整。改进后的分段关闭规律见表 1^[3]。

表 1 改进前、后导叶 3 段关闭时间

改进前后	第 1 段/s	第 2 段/s	第 3 段/s
改进前	2.3	17.4	18
改进后	2.3	10.0	50

10 蜗壳取水口拦污栅改造

左岸机组技术供水取水口在蜗壳内,仅 1 路水源,2 台机之间加联通管互为备用。运行一段时间后,机组取水口拦污栅多次发生堵塞现象(见附录 A 图 A10),导致压力和流量急剧降低,在机组运行状态下,只好采取短暂关闭取水口总阀,让主流道的水流对取水口进行冲洗。但此举存在一定的风险,可能会使机组部分设备温度过高而停机。为了解决此难题,对蜗壳取水口拦污栅结构进行了改造(见附录 A 图 A10),增加了格栅的间距,在表面增加了凸出的顺水流的立筋板。改造后,取水口堵塞的情况大为改观,流量及压力仅轻微降低,无须进行反冲洗,保证了技术供水的可靠性。

11 调速器齿盘测速钢带断裂

2005 年 4 月 10 日中午,1F 机组水导轴承油槽内出现异常声响,经过现场认真检查,初步判定为测速装置处周期性异常声响;需停机处理。当日下午 1F 机组停机后,将水导盖板打开,发现齿条测速装

置的6个测速探头头部全部损坏,环抱大轴的齿条出现多处损伤:1个测速齿严重变形,呈平坦状;1个测速齿轻微内凹变形;齿条的8个连接螺栓中有2个已经脱落,脱落原因为连接块与齿条脱落(见附录A图A11)。

鉴于现场情况,对水导上油槽进行了彻底清扫,更换了破损的齿条和测速探头,在油槽内放置了高强磁棒,更换了水导循环油。机组重新运转后经检查无异音。后利用冬修的机会对齿盘进行了更换改造,新的齿盘钢带在接头处进行了加固,在安装工艺上注意了齿盘钢带分瓣联结的强度、各齿间的高差控制以及测带与测速探头的合理距离。

12 11F 机组主轴内部进水

2007年4月4日,电气人员例行检查11F机组转子绝缘不合格。在检查大轴内部电气回路过程中,未发现其他异常,但发现11F机组大轴与补气管之间有积水,深度近1m。积水产生的水雾使转子励磁引线部分受潮,导致转子绝缘不合格。经过抽水检查,发现水轮机大轴中心补气管与锥形平台的密封损坏漏水,导致大轴内产生积水。为了消除这一缺陷,在停机状态下排尽尾水管余水,搭设检修排架,吊起大轴补气管,进行了密封更换,更换后进行了压力试验,回装后充水正常。

从该机组结构特点来看,大轴中心补气管与锥形平台的密封是一个关键部位,密封损坏将导致大轴内部进水,影响励磁引线的绝缘,甚至会机坑进水;而且,在缺陷的处理上也有不小的难度,需要排水、搭检修排架、起吊大轴补气管,工作人员要进入大轴与补气管狭小的区域工作。机组结构有不太合理的一面。

13 10F 机组转轮叶片气蚀

在10F机组冬修期间,发现水轮机转轮10号

叶片背面出水边均发生不同程度的气蚀,尤其是距下环内侧500mm处有一长550mm、宽130mm的严重气蚀区域,叶片表面已形成类似蜂窝煤的凹坑,表面材料已经被破坏(见附录A图A12)。

主要修补程序如下:打磨严重气蚀的区域,仔细清洗,并除去表面异物;修复前对损伤区域进行渗透试验及叶型尺寸检查、焊接,焊前先进行预热,保持温度在80℃~120℃;进行打磨,打磨用砂轮要适用于CA6MN不锈钢材料,并且不能先用于碳钢打磨,以避免污染现场材料。

14 结语

综上所述,三峡左岸电站针对出现的故障进行了原因分析,进行了必要的处理和改造,保证了机组的稳定运行。通过对三峡左岸电站运行机械故障的处理,运行维护人员积累了一定的经验,并应用于三峡右岸电站的设计中,从源头上保证了三峡右岸机组的可靠性。

附录见本刊网络版(http://www.aeps_info.com/hadm/ch/index.aspx)。

参考文献

- [1] 冉毅川,刘连伟. ALSTOM水轮机导叶中轴套密封改造. 大电机技术, 2006(4): 53-55.
- [2] 刘连伟,冉毅川. ALSTOM机组活动导叶抗磨块及拐臂磨损处理. 大电机技术, 2006(5): 51-54.
- [3] 刘连伟,朱俊杰,凌伟华. 三峡左岸电站6号机小开度异常振动分析及解决方案. 水电站机电技术, 2004, 27(4): 38-40, 56.

冉毅川(1969—),男,通信作者,高级工程师,主要研究方向:水电厂机械设备维修和管理。E-mail: ran_yichuan@ctgpc.com.cn

Mechanical Failure Treatment of Three Gorges Left Bank Hydropower Station at Initial Operation Stage

RAN Yichuan, FU Jianping

(Three Gorges Hydropower Plant, Yichang 443002, China)

Abstract: The total fourteen units were put into operation in 2005. In the transitional stage of these new equipment, there may be various failures in turbine guide bearing, oil cooler, flow guide, shaft bushing of guide vane, etc. For the Three Gorges Hydropower Plant these failures are analyzed and corresponding measures are taken to ensure the stability of operation of the units.

Key words: hydro-generator; guide vane; cooler; oil pump; drainage valve; cavitation