

瀑布沟水电站机组运行初期机械故障及处理方法

杨建林, 李文斌, 周克

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900)

摘要:瀑布沟水电站从首台机组投运后的1年多时间里,曾出现过各种故障,如水导油槽漏油、活动导叶中轴套密封压板螺栓断裂、机组技术供水泵电机发热、剪断销剪断、厂房渗漏集水井深井泵抽水效率降低、机组摆度变大、下导轴承滑转子上移、水库放空洞工作闸门冲压式水封损坏等。瀑布沟水电站检修项目部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,并为进一步了解掌握瀑布沟水电站机组设备状况提供了积极的参考意见。

关键词:水轮发电机;导叶;水导油槽;剪断销;技术供水泵;瀑布沟水电站

中图分类号:TK730.8 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2014)S2-0060-04

瀑布沟水电站装机有6台650 MW的混流式机组,其中发电机部分均由东方电机厂生产,2、4、6号机组水轮机部分由东方电机厂生产,1、3、5号机组水轮机部分由GE公司生产。瀑布沟水电站作为目前四川省以及国电集团最大的水力发电厂,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目前相当领先的水平^[1]。瀑布沟水电站投运至今机组运行总体状况良好,未出现水轮机转轮裂纹等重大问题。由于设备投产的高强度及磨合期的特点,不可避免地会出现一些问题,本文对瀑布沟水电站初期运行时出现的一些机械故障及采取的处理措施作一综述。

1 导叶中轴套密封压板螺栓断裂

瀑布沟水电站5号机组活动导叶有24块,活动导叶通过上、中、下轴套径向限位,活动导叶总高约4.1 m,上、中、下轴颈分别为0.249 m、0.319 m、0.269 m,相互之间距离约为2.0 m和1.8 m。电站设计最高水头为181.7 m,因此活动导叶相对为细长件,在水头作用下,中轴套、下轴套主要承受水压力与固定部件之间相互作用的剪切力,导叶在中下轴套位置也极易发生挠度变形,因此在该情况下,中轴套、下轴套极易发生磨损现象。瀑布沟水电站机组活动导叶中轴套上部设有盘根密封,并设有密封压板2块,每块密封压板由3颗M16的螺栓紧固。2011年3月瀑布沟水电站5号机组B级检修时,检

查发现5号机组有一活动导叶中轴套密封压板有3颗M16的螺栓断裂(见图1),密封盘根部分损坏。



图1 密封压板螺栓断裂

由于发现及时,未发现轴套及导叶发生严重磨损现象。为避免因导叶中轴套漏水使杂质进入导叶中轴套从而加剧轴套磨损,对该导叶中轴套密封进行了更换,并根据导叶中轴套位置重新安装了密封压板,打磨密封压板,加大了密封压板与轴颈的间隙,并调整压板与轴颈间隙均匀,防止轴颈与压板挤压受力而再次剪断压板螺栓。

2 机组技术供水系统故障与改造

瀑布沟水电站4~6号机组技术供水系统从安装、调试、运行至今,分别出现过2次水泵电机烧毁(6号机组2号泵(图2)、4号机组1号泵)、1次水泵密封环破裂(5号机组1号泵(图3))、1次滤水器排污电机烧毁(5号机组主轴密封滤水器)及各水泵轴承损坏等故障。

作者简介:杨建林(1981—),男,河南洛阳人,工程师,主要从事电站检修、安装与管理工作。E-mail: yjl301@163.com



图2 6号机组1号水泵电机电源接头烧毁



图3 5号机组1号水泵密封环破裂

针对电机接线柱发热的问题,瀑布沟水电站检修项目部将4、6号机组技术供水泵电机绕组线鼻子更换为闭式长线鼻子(图4)并烫,增大了接触面积,同时加装了绝缘热缩套,对接线柱进行了紧固处理。



图4 长短线鼻子对比

针对瀑布沟水电站4~6号机组技术供水系统运行情况,瀑布沟水电站检修项目部加强检修巡回检查。瀑布沟水电站机组技术供水泵电机运行情况见表1。

表1 4号、5号机组技术供水泵电机运行情况

水泵电机	电 流 值/A	电机功率/ kW	电机 效率/%	电机功率与 轴功率比
4号机组1号	390	270.2	96.5	0.75
4号机组2号	402	278.5	99.4	
5号机组1号	383	265.3	94.7	0.78
5号机组2号	400	277.1	99.0	

通过分析得出以下结论:机组技术供水水泵远离最优工况工作(扬程35 m,流量2 268 m³/h),工作效率极低,远低于水泵额定设计88.5%的效率,导致出口压力偏高,流量偏低。需要对原技术供水泵及电机进行改造,并且各部件技术供水冷却器的进出口阀门需进行联合调整,以期达到流量和压力的

均衡分配,使得机组技术供水的运行最优化,满足机组冷却及温升要求。

按照DL 5066—1996《水力发电厂水力机械辅助设备系统设计技术规定》的规定,结合目前各水泵运行(流量及扬程)及机组设备运行温升情况,瀑布沟水电站检修项目部认为重新选型水泵仍需考虑原设计院的设计要求(扬程35 m、流量2 260 m³/h),过高扬程和流量将会使冷却器压力和流速过高,不利于保证冷却器使用寿命,管道许用压力安全系数会降低,增加漏水隐患。同时,如果水泵功率选择偏大,配套电机功率必然超过315 kW。按照JB/T 8680.1—1998《三相异步电动机技术条件》要求,超过315 kW的电机电源应取6 kV。由于现场水泵电机控制为启动时变频控制(V/F),正常运行时仅提供400 V稳压电源,未进行其他变频控制(恒功率、恒转矩、电压或电流矢量),选择变频电机不仅费用高,而且需增加电机风扇电源。选型过程中,重点考虑水泵高工作效率的宽泛以及电机运行的稳定性能。

经改造后的技术供水泵效率等各方面性能均远远优于原设备。同时针对机组和主变技术供水泵车式密封和轴承失效缺陷的典型缺陷,项目部更换车式密封,提出了将深沟球轴承更换为调心轴承建议,调整了电机与同心度,并对电机基础螺栓进行加强紧固处理,减小了由于震动导致电机基础发生位移的概率,改善了水泵运行状态。

3 水导油槽漏油处理

瀑布沟水电站2、4、6号机组水轮机部分由东方电机厂生产,水导油槽外油盆与顶盖设计为整体结构,因此水导油槽组合缝与顶盖组合缝为同一组合缝,该机组顶盖由4瓣通过组合螺栓组合而成,每两块之间有橡胶条密封。由于组装原因,机组投产后,瀑布沟6号机组与4号机组先后出现水导油槽漏油的情况,其中6号机组最为严重,每天漏油约10 L,为保障机组安全运行,不得不在机组运行期定时为水导油槽注油。

检查发现油槽漏油原因有3个:一是油槽外油盆组合缝(顶盖组合缝)存在漏油;二是瀑布沟水电站水导油槽外油盆与内油盆为对接方式(图5),在对接组合缝处,利用托板及两道密封条进行连接,在托板外侧密封条接头处存在漏油现象;三是瀑布沟水电站2、4、6号机组水导油槽采用外循环冷却方式,在机组运行时通过两台油泵将油槽内热油从油槽底部抽出,经过3台冷却器重新注回水导油槽。整个水导外循环冷却系统布置在水车室内顶盖上,紧凑的布置空间使整个系统有许多接头、法兰连接,

较多的法兰及接头也增加了油在油管路中循环时的外泄。狭小的空间,紧凑的布局同时也为发现、处理管路中透平油的渗漏造成一定困难。

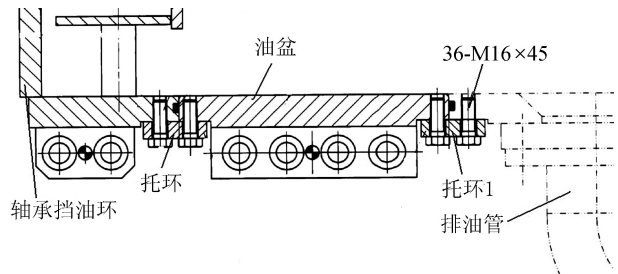


图5 水导油盆装配

利用机组小修时间,瀑布沟水电站检修项目部从三方面入手全面治理机组水导油槽漏油现象:一是检查更换水导油槽托板密封条,特别做好密封条接头处的处理,减少油槽底板渗油量;二是利用TS528工业紧急修补剂对顶盖及油槽外油盆组合缝进行处理,先用专用清洗剂对组合缝进行清洗,对重要组合缝处先用堵漏胶棒填堵,然后将TS528的A、B胶按1:1的比例调配均匀后,均匀严密地涂抹在缝隙处,调和后的修补剂必须尽快使用,超过1 min将发生凝固现象,这时封堵效果将大大降低,待修补剂凝固后检查是否存在气泡或修补剂凝固时产生的坑缺,这时需重新封堵;三是全面检查处理水导油槽外循环冷却系统管道接头及法兰,同时根据现场结构设计管道布置,计划在大修期间改造系统管路以减少漏油点。通过以上方法的处理,瀑布沟水电站东电机组水导油槽漏油均已得到可靠处理,各机组经过1年的运行,再未发生过漏油、补油现象。

4 导叶剪断销剪断

瀑布沟水电站5号机组B类检修期间在做无水试验时,发生一导叶剪断销剪断情况。经检查发现该活动导叶上端面与顶盖之间卡阻,并产生大面积的挤伤、刮伤情况(图6),多块活动导叶也存在同样的情况。随后在1号机组的检修中发现约半数的活动导叶均存在该情况。

瀑布沟水电站GE机组活动导叶设计端面总间隙为1.06~1.22 mm,上端面间隙占端面总间隙的60%~70%,下端面间隙占端面总间隙的30%~40%,实测上端面间隙约0.3 mm,下端面间隙约0.75 mm。导叶下止推块与下止推块轴颈间隙设计值为0.05~0.15 mm,实测间隙为0.20~0.40 mm,尤其是导叶与顶盖抗磨板挤伤严重的导叶,导叶在水中浮力的作用下存在上浮趋势,再加上下止推块间隙较大,使得上端面间隙变化,间隙过小。同时由于在无水试验时,导叶频繁在干摩擦的情况下开关动作,反复挤碾卡在上端面间隙的杂物,最终导致顶



图6 活动导叶损伤

盖与导叶上端面之间的金属不断挤压、脱落、堆积,最终导致活动导叶卡阻,使得剪断销剪断。

针对该情况,检修人员将顶盖上挤伤部分尤其是堆积起来的金属用砂轮机打磨平整光滑后,用千斤顶转动该活动导叶,然后继续将新露出的部分进行打磨处理。通过这种方法,不断将挤伤的金属进行打磨,直到导叶转动灵活无卡阻为止。对顶盖损坏严重的区域,用不锈钢焊条进行堆焊,并用砂轮机打磨光滑。由于该情况是瀑布沟水电站GE机组的普遍情况,因此在检修时,该处被列为重点检查项目,并提前处理。

5 渗漏集水井深井泵工作效率降低

2010年7月,瀑布沟水电站渗漏集水井深井泵在工作时出水口压力变低,水泵运行时间变长,在对瀑布沟水电站渗漏集水井1、2、3号深井泵吊出检查时发现在深井泵吸水口堵塞有大量木板、竹片、塑料布等杂物(图7),而且吸收口过滤网已严重变形,如果继续运行,将导致过滤网被严重破坏,大量杂物直接卡进水泵叶轮内,使叶轮磨损加大,增大其破坏程度,甚至导致水泵电机烧毁。



图7 深井泵吸水口堵塞大量杂物

渗漏集水井深井泵及电机通过9节DN500、长约3m的排水管连接吊装在集水井内,泵吸收口有滤网。瀑布沟水电站检修项目部对深井泵滤网进行清理后,组织人员进入渗漏集水井检查发现,集水井内有大量漂杂物,厂房3号排水廊道至集水井的排水口无拦污栅,有大量杂物不断从3号排水廊道排至渗漏集水井内。

为了根治集水井深井泵堵塞问题,保障厂房安

全,项目部一方面积极组织人员进入渗漏集水井内打捞杂物,一方面在3号排水廊道至集水井的排水口处加装拦污栅;一方面在渗漏集水井内装设泥沙泵,对集水井内泥沙、杂物进行彻底清理,一方面组织人员对3号排水廊道内生产垃圾进行清理,并组织人员对其他深井泵进行吊出清理检查,多方面下手从根本上解决了深井泵再次被堵的隐患。从处理后至今近1年时间里,再未发生过深井泵工作效率降低的情况。

6 调速器系统油压过高

2010年夏季,瀑布沟水电站4号机组调速器液压系统压油泵频繁启动,回油箱内油温不断升高,超过50℃。经检查发现调速器主配压阀漏油较大,导致油泵频繁启动做功,使油温上升。瀑布沟水电站采用比例伺服阀式微机调速器,调速器是GE原装进口的FC20000阀组,含有复中机构,其中的比例伺服阀是输出信号压力油的元件,控制主配压阀输出压力油操纵接力器^[2]。处于优先位置的紧急停机阀组,可保证机组在紧急状态下安全可靠关机,主配压阀遮程为0(图8),由于该主配压阀漏油较大属于设备质量问题,且当时瀑布沟水电站地下厂房通风系统尚未投入使用,因此才导致油温过高。

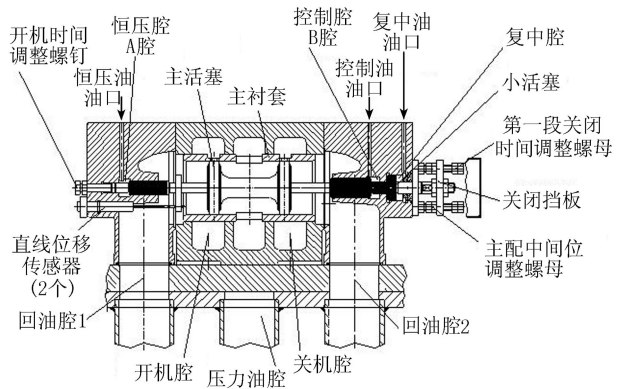


图8 主配压阀结构

针对该情况,联系调速器厂家更换主配压阀,更换后油泵启动频率由原来8 min启动1次,变为约30 min启动1次。同时在调速器回油箱旁加装一套油泵及冷却系统,利用1.5 kW、每小时可输送80 L油的油泵可在油温变高时将回油箱内热油抽出,经过冷却器冷却后输送回回油箱。冷却水取自位于调速器回油箱旁的一组空气冷却器冷却水管。经处理后,在机组运行的近1年时间里调速器油温过高的情况得到极大改善。

7 机组摆度变大

瀑布沟水电站5号机组在运行初期就存在摆度

变大的问题,检查发现由于发电机上导、下导瓦衬槽宽过大(图9),导致机组在运行时导瓦支柱螺栓(Ø62)不能对导瓦起到限位作用,并且导致瓦隙变大,从而引发机组摆度变大的情况。

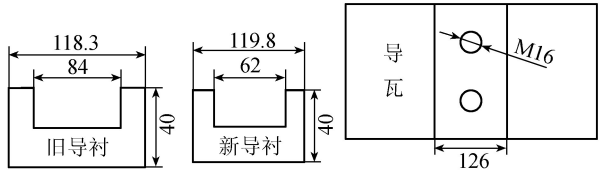


图9 上导瓦衬槽宽(单位:mm)

针对该情况利用机组检修期对发电机上、下导瓦瓦衬进行更换。由于无法提供机组安装时各导瓦的准确原始调整值,再加上机组投运后,该机组瓦隙曾被局部放大调整过,因此在有限的时间内既不能采取重新盘车调整轴线的方法进行处理,也不能完全依据设计值进行调整,因此针对停机前机组运行情况,检修人员为更换瓦衬制定了详细的计划,采用不盘车方法进行调整处理。

处理前将机组旋转部件推至机组旋转中心,并用楔子板将转轮固定,将上导、下导瓦与大轴抱紧,避免大轴位移,用塞尺测量发电机各导轴承的每一块瓦间隙,并做好记录。逐一、对称地吊出导瓦更换瓦衬。由于新瓦衬加工尺寸过大(比设计值大0.2~1 mm),导致新瓦衬无法顺利进行更换,因此针对该问题联系厂家后对新瓦衬进行现场打磨,使导瓦尺寸符合设计要求(118.5~119 mm)。待瓦衬处理合格后逐一更换,更换一块瓦衬并回装该瓦后,随即对之进行抱紧,保障更换瓦衬时大轴轴线不发生位移。所有瓦衬更换完毕后,依据原始测量记录及机组原始轴线摆度对瓦隙重新进行调整。在整个处理过程中保障瓦隙的测量准确、减小误差和保障轴线不发生位移是整个处理过程的重点及难点。为了保障轴线不发生位移,检修人员在转轮迷宫环间隙上均匀对称打入楔子板,抱紧上导、下导所有导瓦,并在抱瓦、更换瓦衬过程中在上导、下导、水导处同时90°方向架百分表进行监测。为了保障瓦隙的准确测量,减小误差,检修人员每测量4块导瓦后,就更换塞尺,避免塞尺磨损导致的测量误差。测量分3次进行,第一次由同一人一次性测量所有瓦隙,然后第二人对每块瓦隙进行检测,最后由第三人对测量过的瓦隙进行抽查,抽查数量不少于导瓦数量的50%。在最后调整瓦隙时将计算出的数据统一缩小0.01~0.02 mm,进一步减小累积误差。在更换瓦衬、调整瓦隙后,通过振摆装置监测,机组轴线机组运行状态良好。

(下转第69页)

验阶段和现场的耐压阶段都未出现异常,是因为在装配阶段,此针状异物在屏蔽环内悬浮或沿着高压电极的圆弧面弯曲,由于盆式绝缘子的中心电极和屏蔽件连接处电场较为缓和,耐压试验时未能检出异常。

现场运行后,针状异物受到微小的静电振动,逐渐向竖起的方向弯曲,缓慢从平伏状态转变为直立状态,导致电场强增强了几倍,最后突破了屏蔽件处电场缓和的区域,导致电场集中,造成此针状金属异物对壳体放电,导体和壳体间通过电弧短路。从导体以及壳体上的烧熔痕迹判断,因短路电流产生的电弧受电磁力影响,向远离绝缘子的方向移动。经过近50 ms 后,相关断路器开断解除了事故,燃弧熄灭。

5 结 语

本次事故是由于安装工艺控制不严,盆式绝缘子中心电极和屏蔽件连接处存在异物,在电场的作用下,异物受到静电力作用,导致电场集中,造成了金属异物对壳体放电,导体和壳体间短路。对于

(上接第 63 页)

8 下导轴承滑转子上移

在瀑布沟水电站 4 号机组投运不久,发生了机组下导轴承滑转子与发电机大轴分离的情况,滑转子在离心力的作用下逐渐向上爬升,最终与铝合金材料的下导油槽盖板接触,导致油槽盖板严重磨损,磨损后的金属屑落入油槽内部,进入导瓦与大轴轴领之间,将导瓦面严重磨损,导致瓦温升高,造成机组停机。

瀑布沟水电站机组发电机大轴与下导轴承滑转子通过热套方式组合在一起,之间通过键传递扭矩。由于滑转子与大轴配合间隙过小,再加上机组运行时滑转子受热膨胀的影响,滑转子与大轴之间紧合力逐渐变小,最终在离心力作用下发生该故障。

在分析事故原因的基础上,将下导油槽进行彻底分解清洗,并更换下导瓦、研磨轴领。为节省处理工期,最终采用均匀加热的方法对滑转子进行加热,并用千斤顶对称将滑转子顶回原位,在测量滑转子圆度满足要求的情况下,加工限位块,焊接在大轴上,对滑转子进行限位。焊接时采用对称焊接的方

GIS 母线的安全运行和事故处理,应注意以下几点:①要做好母线的清洗和清理工作,控制安装调试工艺,切实保证设备投产后的安全运行;②母线故障后应尽快通过各种直接或间接手段查找或排除故障点,为后续事故处理提供参考;③GIS 设备投运后应加强监视,比如配备在线监测系统,对 GIS 气室内气体参数以及内部设备电场分布情况进行在线监测分析,及早发现隐患,避免引起设备事故的发生,在事故情况下可以迅速确定故障点,加快事故处理和恢复进程。

参考文献:

[1] 乐群. GIS 常见运行故障及现场安装工艺分析[J]. 上海电力,2006(5):538-541.
[2] 王卉,陈楷. 220 kV GIS 母线事故处理方法探析[J]. 中国电力教育,2010(32):259-260.
[3] 杜少云,朱科. GIS 母线中金属异物运动的探讨[J]. 华通技术,2004(1):34-39.

(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)

式,并用百分表监测滑转子的变形量。

对 4 号机组下导轴承采用该方法处理后,4 号机组再未出现过滑转子上爬的情况,同时针对该现象,利用检修期对瀑布沟水电站每台机组进行了焊接限位块处理,目前机组运行状况良好。

9 结 语

瀑布沟水电站首台机组于 2009 年 12 月投产发电,电站 6 台机组于 2010 年 12 月全部投产发电。从首台机组投运后的 1 年多时间里,曾出现过各种故障,本文对出现的故障现象作了一简要综述,介绍了针对各故障采取的解决措施,对同类工程具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 冉毅川,符建平. 三峡左岸电站初期运行机械故障处理综述[J]. 水电自动化与大坝监测,2008(1):65-68.
[2] 向文平,陈勇旭,李军路. 瀑布沟水电站 2#水轮发电机组调速器故障分析及处理[J]. 广西水利水电,2012(5):64-66.

(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)