

小关子水电站1号机组过流部件损坏原因及改造方法

刘海洋,熊怀双

(国电大渡河检修安装有限公司,四川 乐山 614900)

摘要:小关子水电站在投运后的检修中,多次发现机组过流部件因气蚀导致的叶片出水边断裂、尾水管十字补气架脱落、底环及导叶损坏等问题,严重影响到该电站的经济、稳定运行。通过对小关子电站1号机组过流部件损坏现象的综合分析,得出损坏主要原因为转轮和导叶的线型设计缺陷、安装过程中导叶垂直度不合格以及运行条件恶劣等多种因素,处理方法为对转轮、补气方式和导水机构进行重新设计和改造,对其成功的改造方法进行了总结。

关键词:混流式水轮发电机组;过流部件;气蚀;改造方法;小关子水电站

中图分类号:TK730.8 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2014)S2-0051-02

小关子水电站位于四川省雅安市宝兴县境内的宝兴河上,为宝兴河梯级开发的第四级电站。该电站采用低坝引水式开发,引水隧洞全长10 km,引用流量 $130\text{ m}^3/\text{s}$,设计水头136.5 m,装有4台单机40 MW混流式水轮发电机组,机组补气方式为尾水管十字补气架与顶盖真空破坏阀联合补气。

水轮机型号HLD242-LJ-205,额定出力41.24 MW,额定流量 $32.5\text{ m}^3/\text{s}$,额定水头136.5 m,吸出高度-4.5 m,最大水头152.3 m,额定转速375 r/min,最小水头132.7 m,飞逸转速770 r/min,转轮叶片为13片,转轮材质为ZG00Gr16Ni5Mo 不锈钢。

发电机型号SF40-16/4250,额定容量40 MW,额定电压10.5 kV,额定电流2 588 A,功率因数0.85,额定转速375 r/min,空气间隙16.5 mm。

1 运行和检修情况

宝兴河属多泥沙河流,含沙成分主要为大颗粒金刚砂,且整个汛期河水含沙量急剧增加,使得机组过流部件的运行条件更为复杂。经过多年运行,过流部件发生严重气蚀、磨损,并导致转轮叶片出水边产生大量裂纹,甚至局部脱落。此外,1号机组尾水管真空涡带严重,尾水管十字补气架效果不佳等综合因素,进一步加强了尾水管压力脉动,增加了转轮叶片出水边和尾水管十字补气架根部的疲劳应力和振动。在多次检修期间,除返厂修复外,均在现场进行补焊、打磨处理。经过10余年的检修,其叶型已发

生严重变化,同时受现场焊接和打磨工艺影响,其转轮静平衡性能已偏离出厂状态,运行工况日趋劣化。

2 过流部件损坏情况及原因分析

2.1 检查情况

2013年度检修中,对小关子电站1号机组进行A级检修工作。拆卸后,经检查发现该机组顶盖、底环与活动导叶背水边接触处有较严重气蚀现象,底环内部气蚀厚度达到20 mm;活动导叶轴颈与叶片连接处气蚀、磨损严重;转轮下环及叶片出水边均出现较严重气蚀现象,且叶片出水边有较严重裂纹及部分脱落。其过流部件气蚀、磨损情况如图1~3所示。



图1 转轮气蚀及裂纹

2.2 气蚀及磨损、裂纹原因分析

2.2.1 气蚀及磨损原因分析

图4为刘一心^[1]在循环水洞中的试验得出的初生空化数和泥沙含量的关系曲线,可看出泥沙含量 S 与初生空化数的变化关系。邓军等^[2]的研究表明,随着水流含沙量的增加,当含沙量较小时,沙粒所带气核对空化空蚀的影响大于沙粒对脉动压力的



图2 底环气蚀

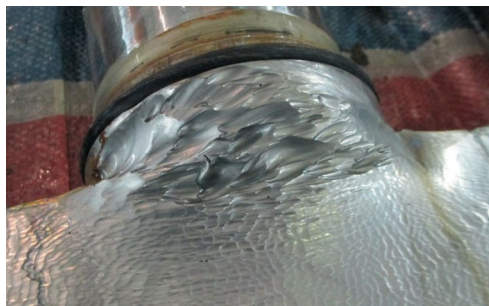


图3 导叶气蚀及磨损

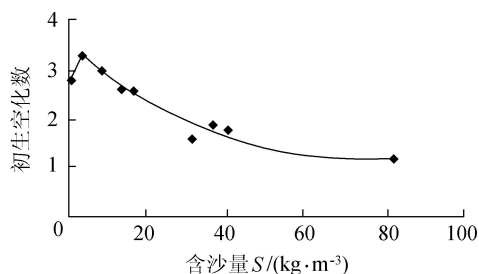


图4 初生空化数和含沙量关系曲线

影响,此时促进空化空蚀;而南方山区潮河流,悬移质泥沙含量往往很小,可能远小于临界含沙量,因而,含沙量的增加总是使磨损加剧。从以上分析可知,汛期随着宝兴河河水泥沙含量的增加,空气泡的溃灭也趋于严重,气蚀也就得到了加剧。此外,由于小关子水电站原装转轮套用二滩水电站转轮模型,与小关子水电站水力特性有较大差异。罗经等^[3]基于 CFD 的流场模拟结果表明,气泡在背流面形成局部漩涡区域,且涡心压力最低。而气泡在溃灭发生的微射流以一定的倾角冲击过流部件表面时,对材料产生的最大应变在流束边界呈环状分布,与底环表面的实际气蚀形状相符,故推断表面气蚀为活动导叶叶型设计不合理导致的脱流所致的翼型气

蚀;转轮出水边变薄及蜂窝状缺陷为出水边脱流造成的翼型气蚀与沙粒磨损联合作用所致(冲蚀缺陷);底环和顶盖与轴颈配合处气蚀,根据其形状特性和轴套偏磨不难看出,应为导叶垂直度不合格,引起导叶端部与底环、顶盖间隙处形成高速射流所产生的间隙气蚀。

2.2.2 裂纹原因分析

转轮叶片出水边、尾水管十字补气架根部、尾水管里衬裂纹是由于在尾水管真空涡带所产生的交变应力引起的疲劳所致。同时,叶片制造时的缺陷在周期性变动负荷的频繁作用下,疲劳裂纹可以从缺陷处发生和扩大。现场处理过程中,补焊材料的成分、结构和杂质的含量,以及热处理、应力消除等工艺都未能进行严格控制,使得现场处理效果不佳,运行后进一步恶化。

2.2.3 振动原因分析

根据修前振摆监测系统显示,尾水管压力脉动值较大,且导叶开口不均匀,导致转轮水力不平衡;同时,由于在小开度时叶片进口冲角较大,在叶片和流道之间产生二次流及回流,造成较严重的叶片进口脱流及叶道涡,使得机组振动区域过大(5 ~ 30 MW 为振动区)。

3 处理方法

根据以上分析,小关子水电站 1 号机组过流部件除底环与活动导叶端部位置气蚀为安装原因导致的间隙气蚀外,其余均为叶型设计不合理及水质、运行工况等多项因素综合引起的。经多方面论证认为该机组过流部件修复利用价值不大,应根据该电站情况重新设计、制造安装。具体改造内容如下:

a. 转轮:新设计转轮型号为 HLD694-LJ-205,叶片数由 13 片增加为 15 片,以减小单个流道尺寸,并采用 X 型叶片结构。转轮表面喷涂碳化硅抗磨涂层以削弱泥沙对转轮本体的磨损,同时在进水边和出水边加厚涂层。

b. 补气方式:新机组保留顶盖真空破坏阀,取消原有的尾水管十字补气架及泄水锥,在转轮上冠开孔并通过静音止回阀的压力整定值开启阀门,以达到从转轮上方补气效果。

c. 导水机构:活动导叶修改叶型,减小其尾部脱流现象的发生。顶盖、底环、活动导叶过流面喷涂碳化硅抗磨涂层,调整导叶立面间隙的偏心销也将调节余量由 3 mm 增加至 5 mm,加大了其调解能力。底环和顶盖重新调整中心水平并钻配定位销孔,以保证导叶的垂直度在合格范围内。

(下转第 59 页)

电痕迹。检查完毕之后,开始对全部汇流排进行处理。首先松开绝缘夹件螺栓,逐个对上层汇流排加包 5 层环氧云母绝缘,加包部位为汇流排被绝缘夹件装配环绕的部位,左右各延长 100 mm。待绝缘包扎完毕,拧紧绝缘夹螺栓之后,在绝缘夹件、金属垫板、螺帽上刷一层环氧胶。其次用厚度为 2 mm 浸了 0708 室温固化胶的适形毛毡填满汇流排与绝缘夹件之间的缝隙,防止汇流排对绝缘夹件放电。最后待所有胶干透以后,对定子进行整体喷 188 红磁漆,待红磁漆干透以后再进行耐压试验。

采取上层汇流排加包 5 层环氧云母绝缘,在绝缘夹件、金属垫板、螺帽上刷一层环氧胶,并喷 188 红磁漆的处理措施后,工频交流耐压试验合格。

4 结 语

本文针对铜街子水电站 11 号机组定子汇流排在交流耐压试验中出现局部放电的现象,结合 11 号机组改造定子汇流排安装、试验的实际情况,分析了

这种现象发生的原因,并介绍了具体的处理方案以及在铜街子电厂的实际运用效果。在今后发电机定子汇流排进行耐压试验时,遇到局部放电现象后,如果汇流排的主绝缘没有损坏,处理合格后仍可以使用。经过处理后,11 号机组运行没有出现任何异常现象,证明处理方法是合适的,能够确保机组安全、可靠运行的。

参考文献:

[1] 杨开平,韩郭锋,梁光辉. 发电机定子线棒耐压试验放电起火的原因及对策[J]. 华电技术,2010(9): 63-64.
[2] 付岚贵,金英兰. 大型水轮发电机定子线棒绝缘厚度减薄研究[J]. 绝缘材料通讯,2000(3):31-35.
[3] GB755—2000 旋转电机定额和性能[S].
[4] GB/T8564—2003 水轮发电机组安装技术规范[S].
[5] JB/T6204—2002 高压交流电机定子线圈及绕组绝缘耐电压试验规范[S].
[6] DL/T596—1996 电力设备预防性试验规程[S].
(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)

(上接第 52 页)

4 改造后运行情况

为检验该机组改造后在各工况下的稳定性,对该机组进行了变转速、变励磁、变负荷、甩负荷等试验,对机组的振动和摆度进行了监测和分析。试验结果表明,除在负荷 30 MW 时振动较大外,其余工况下振摆效果达到优良水平。水导轴承在负荷 30 MW 时频谱如图 5 所示,由该频谱分析可知,在此区域尾水管真空涡带稍大,产生的 0.19 倍频振动分量为此时机组振动的主要成分,较改造前明显减小。振动区缩小为 28 ~ 32 MW,大大提高了机组的可利用负荷区。

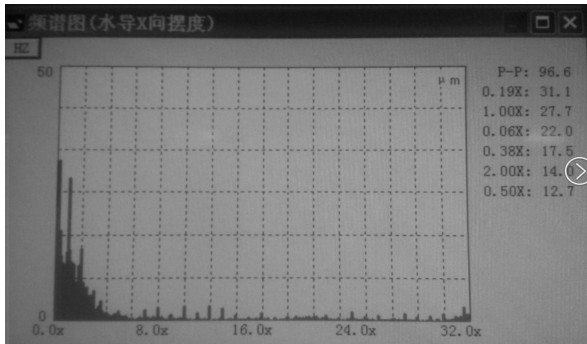


图 5 负荷 30MW 时水导轴承频谱

5 结 语

针对小关子水电站 1 号机组过流部件气蚀现

象,通过水力学、CFD 模拟、旋转机械振动分析等对该机组过流部件严重损坏现象进行了综合分析,得出其损坏主要原因为转轮和导叶的线型设计缺陷、安装过程中导叶垂直度不合格以及运行条件恶劣等多种因素。

通过重新设计安装并喷涂耐磨材料和更换补气方式后,1 号机组抗气蚀和磨损能力明显增强,各工况下稳定性较以前有明显提高,其改造经验对其他类似工程具有一定的借鉴价值。

参考文献:

[1] 刘一心. 悬移泥沙对水流空化状态的影响[J]. 水利学报,1983(3):55-58.
[2] 邓军,杨永全,沈焕荣,等. 水流含沙量对磨蚀的影响[J]. 泥沙研究,2000(4):65-68.
[3] 罗经,李健. 基于 CFD 的水轮机气蚀机制探讨[J]. 润滑与密封,2006(7):102-104.
[4] 翟建平. 湖北省锁金山水电站冲击式水轮机水斗断裂原因的分析和裂纹处理[C]//水轮发电机组稳定性技术研讨会论文集. 北京:经济日报出版社,2007:204-207.
[5] 翟建平. 四川省马边波罗电厂水轮机运行稳定性问题研究[C]//湖北省中、小水电建设与管理学术研讨会论文集. 武汉:湖北省水力发电工程学会,2004:165-179.
(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)