

# Analysis of Abnormal Condition of Water Guide Bearing Swing Increasing Continuously During Start-up Test of Unit 1 of Manwan Hydropower Plant

Guanfu Gong Chungui Yang

Huaneng Lancang River Hydropower Co., Ltd. Manwan Hydropower Plant Hydroelectric Operation and Maintenance, Lincang, Yunnan, 675805, China

## Abstract

After the completion of Class B maintenance of Unit 1 of Manwan Hydropower Plant, during the idling operation test of the unit, it was found that the online monitoring device of the unit showed that the water guide wobble gradually increased from 180 $\mu\text{m}$  to 480 $\mu\text{m}$ , and the value of the water guide wobble continued to increase with the increase of time. The inspection unit had no obvious abnormal sound and odor, and the unit vibration had no obvious change. In order to ensure the safe operation of each guide bearing of the unit, the unit was immediately shut down for inspection, and the abnormal pendulum was finally found to be due to the friction, heat and expansion between the rotating turbine shaft and the stationary water guide oil basin seal cover felt, resulting in the increase of the vibration and pendulum data of the unit measured on the online monitoring device, and no actual change in the pendulum of the unit's water guide bearing. This paper mainly analyzes the causes of this abnormal situation, and introduces the treatment methods.

## Keywords

hydropower plant; water guide bearing; vibration; swing degree

## 漫湾水电厂1号机组启动试验期间水导轴承摆度持续增大异常情况分析

龚官福 杨春贵

华能澜沧江水电股份有限公司漫湾水电厂水电运维, 中国·云南 临沧 675805

## 摘要

漫湾水电厂1号机组B级检修结束, 在开展机组空转运行试验过程中, 发现机组在线监测装置显示水导摆度由180 $\mu\text{m}$ 逐步增加至480 $\mu\text{m}$ , 且水导摆度值随着时间增加呈继续增大趋势, 检查机组无明显异常声响、异味, 机组振动无明显变化。为确保机组各导轴承安全运行, 随即申请机组停机检查, 最终排查出摆度异常原因, 机组长时间运行, 转动的水轮机轴与静止的水导油盆密封盖毛毡发生摩擦发热膨胀, 引起在线监测装置上所测机组振摆数据增大, 机组水导轴承摆度实际未发生变化。论文主要对引起此异常情况的原因进行分析, 并对处理方法进行介绍。

## 关键词

水电厂; 水导轴承; 振动; 摆度

## 1 概况

漫湾水电厂位于中国云南省云县和景东县交界的澜沧江中游河段上, 距昆明公路里程461km, 是澜沧江中下游河段梯级规划推荐的两库八级开发方案中的第三个梯级电站, 是澜沧江干流上开发的第一个大型工程。漫湾电厂于1986年5月开工建设, 1993年5月正式建厂, 1993年6月30日首台机组投产发电, 1995年6月28日一期工程5台25万千瓦机组全部投产运营, 2007年5月18日二期工程1台

30万千瓦机组投产运营, 2008年并购田坝电站1台12万千瓦机组, 总装机容量达到167万千瓦, 为“一厂三站”式分布, 实施远方集中控制。电厂主要通过两回500kV和三回220kV的电压等级线路接入云南电网, 在系统中担负基荷及调频、调峰和事故备用任务。

漫湾水电厂1号机组装机容量为300MW; 水轮机型号为: HLD399-LJ-630; 设计水头为: 89m; 设计流量为: 389.01m<sup>3</sup>/s; 额定转速为: 115.4r/min; 由东方电机股份有限公司制造。1号机组由三道导轴承, 即上导轴承、下导轴承、水导轴承及一道推力轴承组成。

【作者简介】龚官福(1989-), 男, 中国云南曲靖人, 本科, 工程师, 从事水电运维研究。

## 2 导轴承介绍

漫湾电厂1号机组导轴承(上导轴承、下导轴承、水导轴承)的主要作用是承受由轴传来的径向负荷并将其传递到混凝土墩上,限制机组的振摆在相关标准范围内。立式水轮机导轴承按润滑介质不同可分为水润滑和稀油润滑导轴承,而稀油润滑导轴承又有分块瓦式、楔子板式和圆筒瓦式三种,1号机组水导轴承为油浸式分块瓦结构,轴承设计总间隙为0.70mm,轴瓦最高运行温度为65℃,报警温度为70℃。目前,大中型机组发电机上导、下导及水导轴承大多采用分块瓦轴承,运行可靠,且安装调整比较方便。此类型的轴承已在国内的龙滩、小湾、三峡及溪洛渡等大型电站使用。分块轴瓦按固定方式分类,有支柱螺丝式(抗重螺栓式)、固定于轴瓦上的调整块式及固定于轴瓦座圈上的楔子板式,1号机组水导轴承分块轴瓦固定方式为楔子板式,优点是:轴瓦不需刮研;楔子板与轴瓦、轴承座圈配合面受力较好,随轴瓦数量的增多其承载能力越强;具有自调整功能,振动与摆度小,发热量小,机组运行稳定。缺点是:轴瓦间隙采用间接测量,测量误差增大;因零部件较多,导致相应的各零部件间的接触情况对实际运行时的轴瓦间隙影响较大;系统结构较复杂,检修范围广,工作量增大。

在机电设备机组的安装和检修工作中,机组导轴承间隙值的分配计算和调整是一道非常重要的工序。在机组的轴线处理合格之后,将机组各导轴承的中心均调到主轴的旋转中心线上且使各导轴承同心,主轴在旋转中不致憋劲,并有利于约束主轴摆度,减轻轴瓦磨损和降低瓦温。如果轴瓦间隙过大,会造成机组摆度增大,轴与轴瓦间的振摆力增加,发热量增大,致使润滑条件变坏,不能形成良好的油膜;如果间隙过小,则会引起轴瓦发热加剧,甚至可能出现烧瓦事故。

导轴承间隙直接影响整个轴系的稳定性,导轴承间隙加大,将引起轴系临界转速下降,稳定性变差机组振动摆度增大。一个性能良好的导轴承的主要标志是:能形成足够的工作油膜厚度;瓦温在允许范围内,一般在50℃左右;循环油路畅通,冷却效果好;油槽油面和轴瓦间隙满足设计要求;密封结构合理,不甩油;结构简单,便于安装和检修等。如果机组运行时摆度增大,轴与轴瓦间的振摆力增加,发热量增大,致使润滑条件变坏,不能形成良好的油膜,甚至发生固定部件与转动部件碰撞事故。

## 3 异常现象

在开展1号机组空转运行试验过程中,发现机组在线监测装置显示水导摆度由180μm逐步增加至480μm,摆度持续增大无变缓趋势。检查上导轴承摆度稳定在180μm、下导轴承摆度稳定在250μm,机组摆度无明显变化;检查上机架水平振动稳定在80μm,上机架垂直振动稳定在20μm,下机架水平振动稳定在20μm,下机架垂直振动稳

定在56μm,顶盖水平振动稳定在3μm,顶盖垂直振动稳定在1.62μm,机组振动无明显变化;检查上导轴承最高瓦温为:43.13℃;油温为:24.94℃;下导轴承最高瓦温为:50.43℃;油温为:23.71℃;水导轴承最高瓦温为:42.27℃;油温为:24.07℃,机组各部导轴承瓦温油温无明显变化。对风洞外围、水机室、机组检修廊道进行检查,均未发现异常情况,机组未见异常声响。从以上现象中无法准确判断出故障原因,为确保机组安全运行,随即申请机组停机检查。机组停稳后,准备对水导轴承油盆密封盖板进行拆除时,发现与密封盖板接触的水轮机轴承圈温度较其他位置偏高,最高温度约为50℃。

## 4 原因分析

机组停稳后,专业人员结合故障现象,再次对机组的回装、盘车、水导轴瓦调整过程进行梳理,对可能产生故障现象的原因进行梳理排查,具体如下。

①转子中心体下法兰与主轴联轴螺栓未拉紧,机组在运行过程中主轴异常摆度值与正常摆度值相互叠加,导致水导轴承摆度突然增大。检查机组盘车数据满足要求;初步怀疑转子中心体下法兰与主轴联轴螺栓未拉紧,机组在高速运转时,机组轴线质量变差,机组的旋转部分主轴线与旋转中心线偏差较大,导致机组运转中出现较大的摆度。开启转子中心体小门,进入转子中心体内部对转子中心体下法兰与主轴联轴螺栓进行检查,螺栓未见松动现象;防松动挡块与螺母间隙均匀,未发现异常;两结合面用0.05mm塞尺检查无间隙;查阅联轴螺栓回装记录,确定联轴螺栓严格按照要求进行回装(详见表1),拉伸值满足要求,未发现异常。故此原因排除。

②水导轴承相关紧固件存在松动,导致水导摆度增加。导轴承承受机组转动部分的径向不平衡力,使机组轴线在规定数值范围内摆动。一个性能良好的导轴承,能形成足够的工作油膜厚度,循环油路畅通,冷却效果好,瓦温在允许范围之内,轴瓦间隙满足设计要求。导轴承运行过程中,摆度发生明显变化时,极有可能为轴瓦间隙发生变化所致。为验证这一判断,专业人员拆开下导、水导油盆盖板,对下导瓦抗重螺栓、水导瓦楔子板、轴承座进行检查,均未发现异常情况。复测下导、水导瓦间隙,与修后数据进行对比,未发生明显变化。故此原因排除。

③机组长时间运行时,水导油盆密封盖毛毡密封与主轴摩擦导致主轴发热膨胀,引起在线监测装置上机组振摆数据增大。查阅检修记录,检修前,水导油盆密封盖毛毡密封宽度为12mm,仅2圈在密封槽内安装毛毡密封,实际密封效果不理想,机组运行时油雾随密封罩与主轴之间间隙溢出,导致1号机组水机室内油雾较大,水导油盆密封盖上长期存在积油现象。

为改变这一现象,检修人员在查阅相关图纸资料,在未找到关于水导油盆密封盖毛毡密封安装要求或规范的情

况下,仅凭借经验,将毛毡密封宽度变为13mm,并在4圈密封槽内均安装毛毡密封,保证机组运行时密封良好,以降低油雾,未考虑到毛毡与主轴可能存在摩擦的情况。当机组运行时,水轮机主轴与毛毡密封发生持续摩擦,摩擦将机械能转变为热能,致使水轮机轴受热发生膨胀,轴表面与振摆探头之间的间隙变小,引起在线监测装置上机组振摆数据增

大。对水轮机轴发热现象进一步检查,拆开水导油盆密封盖,发现水导油盆密封盖毛毡密封因过热发生硬化,确定水轮机轴发热原因为:机组长时间运行,转动的水轮机轴与静止的水导油盆密封盖毛毡密封发生摩擦。故确定水导油盆密封盖毛毡密封与主轴摩擦导致主轴发热膨胀,引起在线监测装置上机组振摆数据增大,机组水导轴承摆度实际未发生变化。

表1 转子中心体下法兰与主轴联轴螺栓回装情况

编号	拉伸器压力 (MPa)	拉伸值 (mm)	打紧角度 / 打紧值	最后拉伸值 (mm)
1#	100	0.39	加热打紧角度 6.3° , 换算拉伸值 0.07mm	0.46
2#	110	0.46	新更换螺栓和螺母	0.46
3#	80	0.175	加热打紧角度 25.6° , 换算拉伸值 0.285mm	0.46
4#	90	0.39	加热打紧角度 6.3° , 换算拉伸值 0.07mm	0.46
5#	80	0.2	加热打紧角度 23.4° , 换算拉伸值 0.26mm	0.46
6#	130	0.43		0.43
7#	85	0.48		0.48
8#	125	0.43	新更换螺栓和螺母	0.43
9#	95	0.41	加热打紧角度 4.5° , 换算拉伸值 0.05mm	0.46
10#	120	0.40	加热打紧角度 5.4° , 换算拉伸值 0.06mm	0.46
11#	110	0.27	加热打紧角度 17.1° , 换算拉伸值 0.19mm	0.46
12#	85	0.39	加热打紧角度 6.3° , 换算拉伸值 0.07mm	0.46

注:联轴螺栓牙距:4mm;拉伸标准为:0.45mm±10%。

## 5 采取的措施

检修人员在更改毛毡参数时,仅考虑到水导油盆密封性能,未认识到毛毡与水轮机轴摩擦生热情况。机组长时间运行时,毛毡与水轮机轴摩擦产生大量热量,使得毛毡受热发生硬化,水轮机轴受热发生膨胀。根据电涡流传感器特性曲线可以看出,传感器前端面与轴表面的距离和传感器输出电压呈线性关系,当水轮机主轴发热膨胀,水轮机轴外径增大,与水导摆度探头之间的距离减小,导致水导轴承摆度逐渐增大,此现象与机组在线监测上水导轴承摆度变化情况吻合。找到异常情况产生的原因后,检修人员按照修前数据重新制作水导油盆密封盖板毛毡密封,将毛毡宽度参数调整为12mm,仅在2个密封槽内安装毛毡密封。装复后,机组运行2h,水导轴承摆度运行正常,水导+X方向摆度为202μm,+Y方向摆度为207μm,实测水轮机轴温度为27.03℃,处理正常。

针对1号机组水导轴承盖板密封效果不理想,水机室内油雾较大,水导油盆密封盖上长期存在积油问题,电厂积

极采用新材料、新技术对水导轴承盖板密封结构进行改造,将密封更换为接触式高分子自润滑密封,同时新增毛刷密封、铝齿挡油等结构,彻底解决了水导轴承油雾突出问题,营造良好设备运行环境,减少了定期清理次数。

## 6 结语

通过对1号水轮发电机组水导轴承摆度变化情况进行跟踪分析,对可能导致水导轴承摆度增大的原因进行逐一分析研判,并制定检查策略,最终通过排除法准确找到了引起水导轴承摆度增加的因素,使得异常情况得到顺利解决。同时也为其他存在类似密封的机组安装提供参考。

## 参考文献

- [1] GB8564—2003 水轮发电机组安装技术规范[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [2] 刘三成.立式水轮发电机上导轴承摆度增大的分析处理[J].陕西电力,2007,35(9):3.
- [3] 路志伟,王增利,王军.安康水力发电厂4号发电机组水导摆度增大分析[J].科技资讯,2013(30):2.