

宁朗水电站 #1 机组上导摆度超标故障频发原因分析及处理

华超

(四川凉山水洛河电力开发有限公司 四川 成都 610041)

摘要: 宁朗水电站 #1 机组投产后因上导摆度反复超标进行过三次检修处理, 经过一系列的原因分析、故障排查, 找出引起该机组上导摆度超标的原因是机组在运行过程中水平发生了恶化, 其根源是推力瓦托盘与抗重螺栓接触不良, 检修处理后彻底解决了该机组上导摆度超标的故障。推力瓦托盘与抗重螺栓接触不良引起机组上导摆度超标的案例实属罕见, 具有一定的代表性, 可为检修人员分析解决该类故障提供一个新的线索。

关键词: 水轮发电机; 摆度; 水平; 轴线; 推力瓦托盘; 抗重螺栓

0 引言

宁朗水电站位于四川省凉山州木里藏族自治县宁朗乡宁夏沟, 为金沙江左岸一级支流水洛河“一库十一级”梯级开发中的第九个梯级电站, 电站采用引水式开发, 装有 3 台 38MW 水轮发电机组, 多年平均年发电量 4.773 亿 kWh, 电站于 2012 年 7 月投产发电。水轮机 (HLA855-LJ-300) 为立轴混流式结构, 额定水头 81m, 额定转速 214.3r/min, 单机引用流量 51.6m³/s。发电机 (SF38-28/5800) 为立轴悬式结构, 上导轴承、推力轴承设计共用一个油槽, 位于上机架内, 下导轴承位于下机架内, 上导、下导轴承各有九块均布同心巴式合金瓦, 水导轴承有八块均布同心巴式合金瓦, 导轴瓦均采用抗重螺栓支撑, 推力轴承有 8 块氟塑料瓦, 采用抗重螺栓刚性支撑。

1 摆度增大过程

宁朗水电站 #1 机组于 2012 年 7 月投产后, 随着机组运行时间的增长, 机组运行摆度也随之逐渐增大, 上导摆度增大最为明显, 2015 年该机组上导摆度严重超标, 对该机组进行检修, 检修后运行初期摆度情况良好, 但运行半年后, 该机组上导摆度又出现增大并超标, 下导和水导摆度也有增大但未超标。2016 年对该机组再次进行检修, 检修后试运行期间摆度情况也良好, 2017 年汛期运行 1 个月后, 该机组上导摆度再次出现增大, 整个汛期一直处于 I 级告警值上下运行, 下导、水导摆度有增大但未超标, 经过整个汛期的高负荷运行, 该机组上导摆度进一步恶化, 摆度高于 II 级告警值, 且上导瓦温已接近报警温度 60℃, 严重影响安全运行。

2 前两次处理过程回顾

2.1 第一次处理过程

2015 拆机检查时发现该机组推力头与镜板连接螺栓有 3 颗松动, 其余螺栓紧力普遍不够; 检查推力瓦抗重螺栓无松动痕迹; 盘车测量的初始轴线、旋转水平均不合格; 分开镜板与推力头取出绝缘垫, 发现绝缘垫多处破裂。分析认为是因为推力头与镜板连接螺栓紧度不够, 运行时出现松动, 随着运行时间的变长, 轴线和水平发生变化, 导致上导摆度恶化。更换绝缘垫调整轴线至合格, 采用旋转法测量水平并将旋转水平调至 0.02mm/m; 回装后试运行, 上导摆度良好, 认为处理得当。

2.2 第二次处理过程

2016 年拆机检查发现推力头与镜板连接螺栓普遍松动, 其他部位未见明显异常; 考虑是镜板与推力头连接螺栓由于不锈钢材质强度不够原因导致, 将连接螺栓全部更换成 8.8 级高强度螺栓, 处理绝缘垫、调整旋转水平使轴线、水平均合格, 回装后观察运行 3 个月, 上导摆度数据均良好, 认为处理已彻底得当。

3 本次检查处理过程

3.1 常规检查处理

考虑到上次对该机组检修时更换了镜板与推力头连接螺栓, 轴线、水平、中心均调整良好, 检修后运行初期摆度情况也良好, 轴线、水平再变差的可能性较小。机组在运行时定子三相电流很平衡, 初步排除转子质量不平衡、电磁力不平衡引起摆度超标后, 进行了以下检查:

3.1.1 机架检查

在监视到该机组上导摆度呈增大变化趋势后, 对该机组上机架支臂及基础螺栓进行检查并加强监视, 一直未发现松动迹象, 排除机架松动原因导致。

3.1.2 过流部件检查

该机组上导摆度超标发生在汛期运行 1 个月的时候, 并且下导、水导摆度也有增大, 考虑可能有木木头进入蜗壳内引起水力不平衡造成摆度进一步恶化, 开启蜗壳人孔门、锥管人孔门进入检查, 蜗壳内无较大的异物, 过流部件均完好, 测量转轮止漏环间隙, 总间隙均匀正常, 排除水力不平衡因素导致摆度超标。

3.1.3 轴瓦间隙检查

在进行过以上检查后, 拆开上导油盆盖, 检查上导轴瓦抗重螺栓锁紧螺栓无松动, 锁紧压板无松动, 将瓦抱轴后复测的总间隙值与上次检修后调整的间隙值基本吻合, 排除上导瓦隙增大造成摆度超标。

经过以上初步的排查分析, 未找到该机组上导摆度增大的原因, 怀疑仍是机组轴线或水平发生了变化, 进一步检查处理需拆机检修, 耗时至少 10 天, 且具体检修耗时存在不确定因素, 正值汛期抢发电量的关键时期, 介于机组摆度未超过 II 级告警值、轴瓦温度虽相对较高但稳定, 决定暂不处理, 让该机组始终处于额定负荷下运行并加强运行参数监

视，撑过汛期再进行拆机检查处理。

3.2 拆机检查处理

3.2.1 外观检查

汛期后，按照 B 级检修计划对该机组进行拆机检修，拆机时对上导 / 推力轴承进行外观检查，上导瓦抗重螺栓及锁紧压板、推力头与镜板连接螺栓、推力瓦抗重螺栓及锁紧压板、推力瓦架固定螺栓均未发现松动迹象。

3.2.2 轴线检查

推中心后进行盘车，测得的初始数据（见表 1），轴线倾斜示意图（见图 1）。

表 1 初始盘车数据

测点	1	2	3	4	5	6	7	8
百分								
百读								
数								
上导 a	0	1	0	-1	1	2	-1	0
下导 b	3	5	-27	-24	-3	10	-21	-14
水导 c	4	9	-24	-32	-10	15	-11	-12
相对点	1-5	2-6	3-7	4-8				
全摆度								
上导 Φa	-1	-1	1	-1				
下导 Φb	6	-5	-6	-10				
水导 Φc	14	-6	-13	-20				
净全摆度								
下导								
Φba	7	-4	-7	-9				
水导								
Φca	15	-5	-14	-19				

下导绝对摆度：
0.27mm>0.25mm/m（下导处绝对摆度最大允许值）

下导相对摆度：
 $\frac{\Phi_{ba}}{L_1} = \frac{0.09}{4.35} = 0.02 \text{ m/m}$
 $\text{m}<0.03\text{mm/m}$ （下导相对摆度最大允许值）

水导绝对摆度：
0.32mm<0.35mm/m（水导处绝对摆度最大允许值）

水导相对摆度：
 $\frac{\Phi_{ca}}{L_1+L_2} = \frac{0.19}{8.55} = 0.02 \text{ m/m}$
 $\text{m}<0.05\text{mm/m}$ （水导处相对摆度最大允许值）

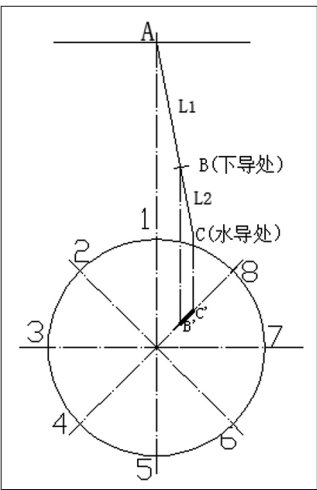


图 1 轴线倾斜示意图

可以看出，虽然下导绝对摆度超过国标允许值、水导绝对摆度已接近国标最大允许值，但是下导、水导相对摆度却合格，结合轴线倾斜示意图看，说明轴线“直线度”并无问题。

3.2.3 水平检查

盘车时，在推力头上端放置和像水平仪测得的旋转水平（见图 2）。可以看出，镜板水平度变化很大，最大偏差达 0.15mm/m，严重超过国标 0.02mm/m。

经过轴线、水平检查分析，可基本判断为摆度增大是水平恶化导致。

3.2.4 水平恶化原因分析查找

上次检修机组水平调的很好，为什么仅半年又发生了

如此大的变化呢？前两次检修均能将镜板水平调整合格，初步排除镜板发生变形的可能。考虑前两次处理均认为是推力头与镜板连接螺栓松动导致水平发生变化，未对镜板支撑部件进行深入检查，决定对镜板的支撑部件进行重点检查，推力轴承结构图（见图 3）。

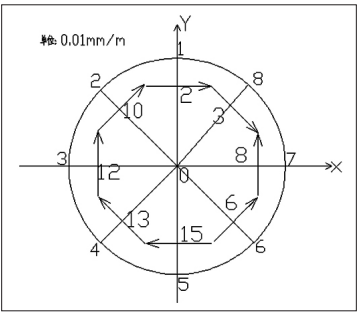


图 2 机组原始旋转水平

将转子顶起用风闸锁死使镜板与推力瓦脱开，用力推推力瓦外侧发现瓦不能灵活晃动，取出推力瓦检查氟塑料面无异常，但瓦背与托盘接触的面有明显凹槽，凹槽深度且不均匀，说明瓦与托盘之间有相对移动；取托盘时，发现 8 个托盘与抗重螺栓顶部均卡死，用撬棍才能将其撬动取出，

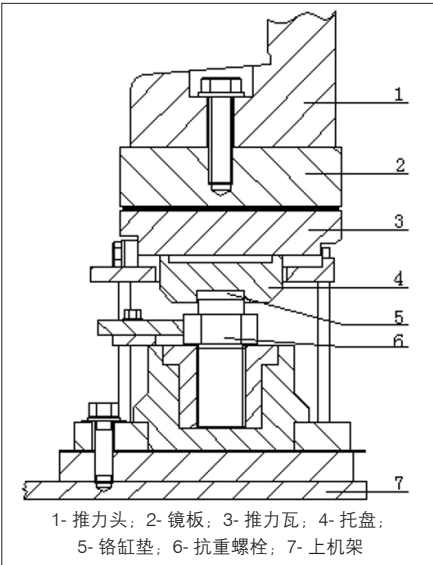


图 3 推力轴承结构图

取出托盘后发现 8 个抗重螺栓顶部球面边缘均有不同程度的塌陷，最严重的纵深 2mm、径深 1mm（见图 4）。

8 块托盘底槽口均有不同程度的凹陷，最严重的纵深 2mm、径深 0.5mm（见图 5）。

托盘底槽内的铬钢垫能自由转动，但 8 个铬钢垫均无受力痕迹，测量抗重螺栓外径为 97mm，托盘底槽的内径为



图 4 抗重螺栓球面边缘塌陷



图 5 托盘底槽口边缘凹陷

96mm，螺栓外径比托盘底槽内径大 1mm，可以看出安装时抗重螺栓顶部未进行过打磨处理，导致抗重螺栓顶端未能完全进入槽内与铬钢垫接触，仅抗重螺栓上端球面与托盘槽口呈线接触，机组运行时会有不可避免的振动，槽口边就对螺栓顶部外侧进行不停的挤压形成“咬边”现象，推力瓦受力全靠抗重螺栓顶部边缘与托盘槽口的“咬边”来支撑，这种非正常的支撑方式随着运行时间的增长，“咬边”深度会逐渐增大，且 8 个抗重螺栓顶部边缘与托盘槽口咬边深度不一致，从而也就造成了镜板水平发生变化，非正常支撑方式的恶化过程（见图 6），正常的支撑方式（见图 7）。

3.2.5 处理方法

将抗重螺栓顶部外侧进行打磨，打磨后螺栓外径 95mm，用锉刀、砂布清除托盘底槽口的毛刺，并将推力瓦背面的凹坑磨平。配装托盘与抗重螺栓后，托盘能灵活晃动并找正，旋转抗重螺栓时托盘不会憋劲，装回推力瓦后，瓦也能随托盘一起灵活晃动。

处理后，粗调镜板水平后进行盘车，盘车测量镜板旋转水平后进行精调，直至镜板旋转水平达到 0.02mm/m，水平调整好后，轴系的绝对摆度也就合格了。

3.2.6 处理效果

处理后至今机组已运行 3 年，期间仅进行过例行小修，其运行振摆一直良好，机组满负荷运行时的振摆数据（见

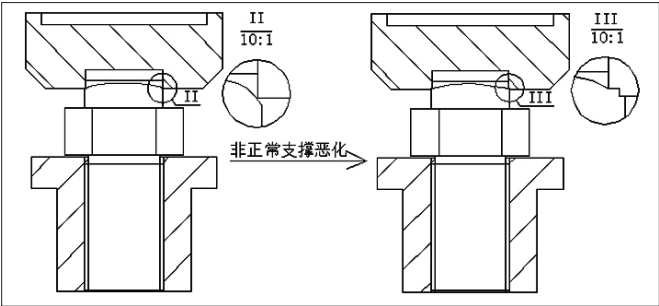


图 6 非正常支撑方式恶化过程示意图

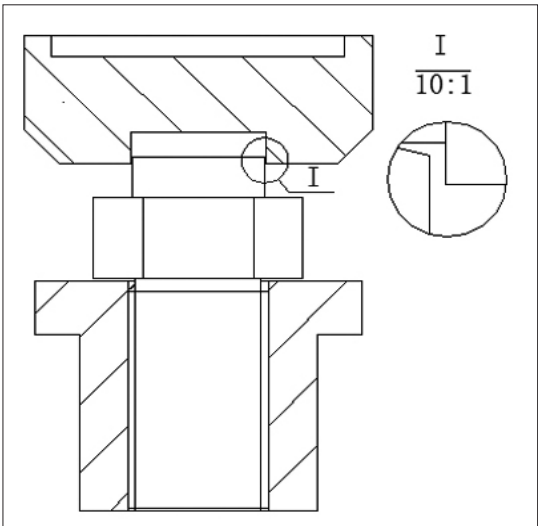


图 7 正常支撑方式示意图

表 2)，彻底解决了该 表 2 机组满负荷运行时的振摆数据 机组上导摆度超标的缺陷。

4 结语

新投水电机组随着运行时间的变长，出现轴承摆度超标是比较常见的故障，通常在进行机架、过流部件、轴瓦间隙、空气间隙等常规检查后，往往都会对机组轴线、水平情况进行检查，发现轴线、水平质量不合格时，往往认为是新机组经过磨合后较为正常的问题，采取快捷的方法将水平、轴线处理合格后就能解决问题，此次未找到引起故障的根源，导致缺陷处理不彻底，出现故障复发、频发的现象。本文详细的介绍了宁朗水电站 1 号机组上导摆度超标故障分析、处理过程，经过多次处理才找出了导致机组上导摆度超标最根本的原因是推力瓦抗重螺栓与托盘接触不良，这种情况极为罕见，具备一定的代表性，可为检修人员查找处理该类缺陷提供一条新的线索。

参考文献：

[1] 陈秀芝. 水轮发电机机械检修 [M]. 北京：中国电力出版社,2003:146+149-269+272.

[2] 李天文. 吴连周. 水轮发电机上导摆度超标原因分析与处理 [J]. 电力安全技术, 2009(07).

[3] 李万绪. 魏智民. 石泉 2 号水轮发电机上导摆度超标处理 [J]. 大电机技术, 2000(05).

[4] 汪俊. 蔡燕生. 水力机组安装与检修 [M]. 北京：中国电力出版社,2011.

[5] GB/T8564-2003, 水轮发电机组安装技术规范 [S].

作者简介：华超 (1993-), 男，汉族，四川乐山人，本科，助理工程师，研究方向：水轮发电机机械检修。