

浅析某水电站调速器导叶位移传感器反馈故障

韩向阳, 杜沅枫, 王家璇, 郭立永,
黄世乾, 李伟, 李帅

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘要:对于水电站而言,水轮机调速器运行品质的好坏直接决定了机组的安全和稳定运行。针对某新投产水电站 2 号机组并网运行期间调速器双套严重故障,综合故障事件信号、故障 PLC 代码以及采用模拟报警试验法分析,得出该次调速器双套严重故障原因,为机组安装施工期间存在金属切割、焊接等作业遗留的金属粉末,导致机组并网运行调整负荷时,金属粉末对导叶位移传感器 1、2 采样产生了不良跳变影响,传感器断线报警,从而造成调速器双套严重故障,并切至纯手动运行。笔者针对该次非典型事故提出了故障原因分析、处理措施及预后措施等,对处理类似事故有一定的参考意义。

关键词:调速器;导叶位移传感器;“三选二”逻辑

中图分类号:TK243.6

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2023)增 1-0130-05

Analysis of Feedback Fault of the Displacement Sensor for the Governor Guide Vane of a Hydropower Station

HAN Xiangyang, DU Yuanfeng, WANG Jiakuan, GUO Liyong, HUANG Shiqian, LI Wei, LI Shuai

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610051)

Abstract:For hydropower stations, the operation quality of the turbine governor directly determines the safe and stable operation of the units. In response to the serious fault of the double sets of governor during the grid connection operation of Unit #2 of a newly put into operation hydropower station, the comprehensive fault event signal, fault PLC code, and simulated alarm test method analysis were used to determine that the cause of the serious fault of the double sets of governors was the presence of metal powder left over from metal cutting, welding, and other operations during the installation and construction of the unit, which caused that when the units were connected to the grid to the adjust the load, the metal powder had a negative jumping effect on the sampling of the guide vane displacement sensors 1 and 2, causing a sensor wire breakage alarm, resulting in a serious fault in the dual sets of the governor and switching to pure manual operation. This article proposes fault cause analysis, handling measures, and prognosis measures for this atypical accident, which can provide reference for handling similar accidents.

Keywords: Governor; Serious Fault; Guide vane displacement sensor; Logic of selecting two from three

0 前言

对于水电站而言,调速器是水轮发电机组的重要组成部分之一,其作用是通过控制导叶接力器的开度大小进而控制水轮机过水流量的大小来调整水轮机的转速。调速器工作的可靠性直接影响到机组稳定运行,调速器控制闭环中涉及频率测量、导叶位移(开度)测量、有功功率测量等多个环节,任一环节故障都可能导致控制失效,进而造成导叶开度、机组负荷的波动^[1]。

某水电站为混流式、立轴水轮发电机组,额定功率为 4×375 MW,采用国电南瑞生产的 SAFR-2000H 型水轮机调速器。每台水轮发电机组在水车室接力器处安装 5 只直线式导叶位移传感器,3 只供调速器用,2 只供监控用,其中供调速器用的 3 只传感器(导叶位移传感器 1、导叶位移传感器 2、导叶位移传感器 3)参与导叶调整控制。若调速器出现异常,可能导致导叶开度的大幅度波动,甚至造成机组事故停机^[2]。因此调速器一般采用冗余设计,而导叶调整是调速器的执行核

收稿日期:2023-06-16

心,导叶位移传感器是反馈导叶开度的有效元器件,可直接反馈于发电机组的功率输出^[3]。该水电站导叶开度信号采取“三选二”逻辑,主用元件故障立即切换至其他备用元件工作,基本可以实现导叶开度、机组负荷无扰动的切换,有效保证了机组可靠运行。

但是在电站实际生产运行中,仍存在由于导叶位移传感器的工作不稳定或失效导致调速器双套严重故障的风险,影响发电机组甚至是电网安全。主要原因有元件自身产品质量的问题、控制逻辑设计的不合理、安装调试过程中由于操作不当而埋下的隐患等^[4]。

1 调速器导叶开度“三选二”逻辑简介

某水电站导叶位移传感器安装于水车室接力器旁,导叶位移传感器1分别送至机调柜综合模块1和电调柜A/B套AI模块;导叶位移传感器2分别送至机调柜综合模块2和电调柜A/B套AI模块;导叶位移传感器3送至电调柜A/B套AI模块。正常情况下以导叶位置传感器1为主用,调速器导叶“三选二”控制逻辑原理图见图1(“三选二”逻辑仅在空载或并网态执行)。

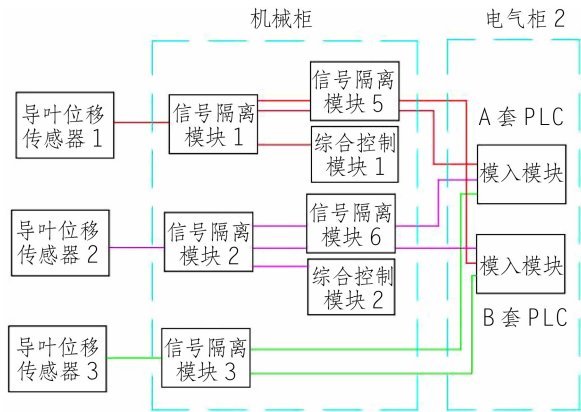


图1 调速器导叶位移传感器“三选二”控制原理图

调速器导叶“三选二”控制逻辑如下所示。

(1)导叶传感器1发生采样故障(未定位、死值、越限、断线、跳变),则选择导叶传感器2为主用。

①导叶传感器2或导叶传感器3再发生采样故障切至备套调节器运行,同时将本套调节器切至纯手动。

②导叶传感器2和3偏差超过1.5%持续1s后报导叶偏差故障,切至备套调节器运行,同时将本套调节器切至纯手动。

(2)若导叶传感器1正常,导叶传感器2发生采样故障,则报导叶传感器2故障。

①导叶传感器3再发生采样故障则切至备套调节器运行,同时将本套调节器切至纯手动。

②导叶传感器1和3偏差超过1.5%持续1s后报导叶偏差故障,切至备套调节器运行,同时将本套调节器切至纯手动。

(3)导叶传感器1正常、导叶传感器2正常、导叶传感器3发生采样故障。

若此时,导叶传感器1和2偏差超过1.5%持续1s后报导叶偏差故障,切至备套调节器运行,同时将本套调节器切至纯手动。

(4)导叶传感器1、导叶传感器2、导叶传感器3均无采样故障。

①若导叶传感器1和2偏差未超过定值,选择导叶传感器1主用,此时导叶传感器2和3且导叶传感器1和3偏差超过1.5%持续1s后,仅报导叶传感器3故障和导叶偏差故障。

②若导叶传感器1和2偏差超过1.5%持续1s后,判断导叶传感器2和3、导叶传感器1和3偏差是否超过设定值,若偏差超过1.5%持续1s后报导叶偏差故障,切至备套调节器运行,同时将本套调节器切至纯手动。

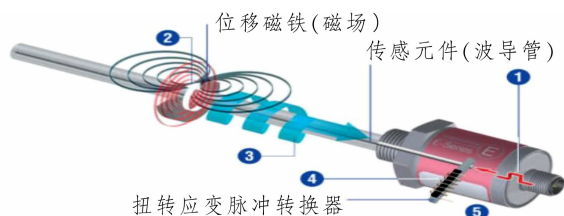
③当导叶传感器1和2偏差超过1.5%持续1s后,将导叶传感器1、2分别与导叶传感器3进行比较,选择与导叶传感器3偏差值较小者为主用,并报另一个导叶传感器故障。

2 调速器导叶位移传感器原理简介

该水电站机组调速器控制系统配置有3套独立导叶位移传感器,并通过信号隔离装置后将导叶位移信号一分为二供调速器两套PLC控制使用。

3套导叶位移传感器为磁致伸缩线性位移传感器,每套导叶位移传感器由位移磁铁和金属杆组成,导叶位移传感器原理见图2。

在位置测量方面,这款 Temposonics 绝对值输出线性位移传感器充分利用了经特殊设计的磁致伸缩波导管的特性。在传感器内部,波导管在两个磁场相互作用的瞬间产生扭变脉冲。这两个磁场相互作用产生的应变脉冲能够被传感器的电子头检测出来。其中一个磁场由沿着带有波导管的传感器杆移动的磁铁产生,另一个磁场由波导



测量周期

- ① 电流脉冲产生磁场
- ② 与位移磁铁磁场相互作用产生扭转应变脉冲
- ③ 扭转应变脉冲扩散
- ④ 转换器探测到应变脉冲
- ⑤ 将传输时间转换为距离

图 2 导叶位移传感器原理图

管上通入的电流脉冲产生。位移磁铁的位置可通过计算产生电流脉冲与应变脉冲到达传感器电子外壳这段时间,从而进行准确的测量。通过上述基本原理,实现了高重复性和高准确性的可靠位移测量^[5]。

该线性位移传感器具有运行稳定、非接触测量、无磨损的特点,能够在恶劣的工业环境下提供最佳耐用性及精确位置测量解决方案。

3 事件概述

2021 年 11 月 14 日,2 号机组正常并网运行,15:00:52,计算机监控系统报:“<2 号机组>调速器 A 套一般故障、<2 号机组>调速器电气柜 A 套严重故障、<2 号机组>调速器 A 套切换故障、<2 号机组>调速器 A 套导叶反馈故障、<2 号机组>调速器电气柜主控 PLC 切换、<2 号机组>监控有功闭环退出,且 2 号机单机 AGC 退出。15:00:58,计算机监控系统报<2 号机组>调速器 B 套一般故障、<2 号机组>调速器电气柜 B 套严重故障、<2 号机组>调速器 B 套切换故障、<2 号机组>调速器 B 套导叶反馈故障、<2 号机组水机保护>调速器电气柜严重故障、<2 号机组>调速器液压控制柜机械手动反馈”等报警信号。现场检查 2 号机组电调柜上有“A 套一般故障、A 套切换故障、A 套严重故障、A 套导叶反馈总故障、B 套一般故障、B 套切换故障、B 套严重故障、B 套导叶反馈总故障”等报警信号。

事故发生后,当班运行人员现场检查确认调速器控制系统无影响机组运行的其他问题,15:26:32,运行人员复归调速器 A 套严重故障成功(保留 B 套严重故障信号备查),15:29:11,运行人员重新手动投入有功闭环调节,进行减负荷,

并申请调度同意将 2 号机组由运行转为热备用,进一步排查设备故障原因。

4 事件原因分析

在 2 号机组热备用状态下,2 号机组调速器故障时 PLC 程序代码见表 1。

表 1 2 号机组调速器故障时 PLC 程序代码

名称	值	类型
ai_gv[1]. status	2	INT
ai_gv[2]. status	2	INT
ai_gv[3]. status	21	INT

经检修专业班组检查调速器 PLC 程序故障代码并与其余运行机组对比分析可知:2 号机组导叶位移传感器 1、导叶位移传感器 2 均显示为状态 2(断线故障),导叶位移传感器 3 显示为状态 21(正常)。

待运行人员申请集控中心将 2 号机组停机备用后,检修专业班组对 2 号机组 3 套导叶位移传感器本体、信号采集回路、电源回路、PLC 采集板件等进行逐一详细排查,确认控制系统电源供电正常,回路端子无松动、无虚接,PLC 采集值无偏差。

现场检查 2 号机组导叶位移传感器的位移磁铁时,发现 3 个位移传感器的位移磁铁底部吸附有较多金属粉末,导叶位移传感器位移磁铁处吸附金属粉末见图 3。

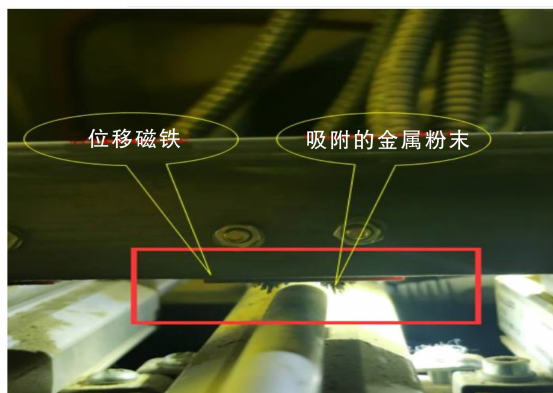


图 3 导叶位移传感器位移磁铁处吸附金属粉末

为检查确认位移磁铁与金属杆的间隙是否满足要求(3 ± 2 mm),现场使用金属塞尺进行测量(金属粉末吸附在位移磁铁上与金属塞尺情况类似),且故障时位移传感器处的金属粉末厚度见表 1。

在使用金属塞尺进行模拟报警试验过程中,2

号机组调速器控制系统再次报出了“导叶开度传感器故障、调速器严重故障”等报警,金属塞尺模拟试验数据见表2。

表2 金属塞尺模拟试验数据

传感器	项 目		
	位移磁铁与金属杆之间安装间隙	金属粉末厚度	触发断线报警塞尺厚度
	实测值 /mm (要求 3 ± 2 mm)	厚度 /mm	厚度 /mm
导叶传感器 1	2.69	约 1.2	0.4~0.5
导叶传感器 2	2.76	约 1.4	0.3~0.4
导叶传感器 3	2.33	约 0.5	0.75~1.0

对比金属粉末厚度与触发断线报警塞尺厚度,可以判断,本次2号机组调速器双套严重故障具体原因如下:

2号机调速器控制系统3套导叶位移传感器位移磁铁上均不同程度的吸附有金属粉末,在2号机组负荷调整过程中、机械振动等因素的作用下,位移磁铁上吸附的金属粉末振动导致位移磁铁磁场发生变化,因位移传感器1、2吸附的金属粉末较多,导致位移传感器1、2采样值同时发生跳变,产生传感器断线报警,而位移传感器3吸附的金属粉末较少,未产生传感器断线报警。

两套调速器调节器均因两个位移传感器同时断线生成导叶反馈总故障,进而分别生成严重故障报警,导致调速器控制系统切至机械纯手动方式。

根据2号机组调速器故障时运行环境判断,导叶位移传感器位移磁铁所吸附的金属粉末为2号机组安装施工期间金属切割、焊接等作业遗留。

5 处理过程及建议

(1)对2号机调速器控制系统3个导叶位移传感器(特别是位移磁铁安装处的金属粉末)进行彻底清理,清理后的导叶位移传感器见图4。

(2)将导叶位移传感器上金属粉末彻底清理后,对2号机组调速器导叶位移传感器相关回路进行全面排查,确认回路无异常。

(3)对调速器控制系统相关报警信号复归后,检查2号机组调速器控制系统PLC程序、导叶位移传感器采样均正常。

(4)利用其他机组停机备用的机会,对调速器



图4 清理后的导叶位移传感器

导叶位移传感器相关回路进行全面检查,确保回路无异常、导叶位移传感器处无金属粉末。

(5)运行及检修人员日常巡检中加强对调速器导叶位移传感器本体的巡视,确保其周围无金属粉末以及影响传感器正常上送采样值的异物。

(6)检修期间对调速器导叶位移传感器做好防护,避免出现因检修工作需要金属切割、焊接时在导叶位移传感器处留下金属粉末等影响传感器送采样值的异物。

6 结 语

该次事故的主要原因是该水电站为新投产电站,在机组安装施工期间存在金属切割、焊接等作业遗留的金属粉末,导致机组并网运行调整负荷时,金属粉末对导叶位移传感器造成了采样值跳变等不良影响,是一起水电站调速器非典型故障,但也有一定的警示。

调速器在水电站发电机组中的功能和作用是无可替代的,而导叶调整又是调速器的执行核心,导叶位移传感器的重要性不言而喻^[6]。在以后的工作中还需定期对调速器导叶位移传感器表面进行外观检查、清理,确保传感器工作环境、状态良好;对传感器安装环境周边进行彻底清扫,确保运行环境良好;后续在传感器等元器件安装区域周边进行相关工作前充分做好防护措施,防止对元器件运行工况产生影响^[7]。

但不能保证在机组安装施工期间,仅有调速器位移传感器处遗留金属粉末这一隐患。所以日常巡检及工作过程中不仅要加强对调速器导叶位移传感器的关注,确保调速器导叶位移传感器相关回路均正常运行,同时也要对其他设备,特别是

一些对精度要求较高的元器件进行密切巡视,防止类似事故再次发生。

参考文献:

- [1] 赵冉.大型轴流转桨式水轮机导叶开度反馈装置故障分析与处理[J].水电站机电技术,2021,44(07):45-48+68.
- [2] 王远均,曹凯,陈晨.调速器主配压阀位移传感器反馈故障分析与处理[J].水电与新能源,2014(03):42-44.
- [3] 张中弛.两起水轮机调速器故障的分析与处理[J].水电站机电技术,2022,45(05):50-53.
- [4] 林广.浅谈岩滩水电站2号机调速器电气部分升级改造[J].红水河,2021,40(02):141-145+149.
- [5] 曹佳源.浅析一起导叶传感器故障引起逆功率事故停机[J].科技风,2017(12):160.
- [6] 许菲.提升水电站调速器导叶位移采样的可靠性研究[J].云南水力发电,2022,38(01):198-200.
- [7] 万雅男.水电站调速器常见故障及其维修检修处理方法[J].

(上接第81页)

器主配相应密封元件。当内泄较大主配压阀已无修复价值,则更换为新的主配压阀。

日常加强机组透平油取样检测,若发现透平油油质不合格,则对透平油进行过滤,滤除油中杂质和水分,保证颗粒度、含水量等指标满足要求,减少油中杂质对主配压阀的损害。

虽然此次并非接力器、油管路、压力罐、油泵等设备导致压油泵频繁启动,但在定期检查试验中也需根据环境温度、运行工况等合理调整压力罐油气比例。同时检测接力器及各管路、法兰、阀门是否存在“三漏”现象,发现问题及时处理,避免事态扩大。

5 结语

水轮机调速器油泵频繁启动危害很大,不仅缩短电机寿命,而且使油温升高,油质劣化,进而破坏各液压部件的密封,极端情况下会导致机组事故停机,因此应引起足够的重视。

本文借助监控画面监视和历史数据收集,提前发现3号机调速器压油泵频繁启动这一故障。

长江干流6座梯级电站单日发电今年首超10亿kW·h

北京时间2023年8月10日电 记者从中国长江三峡集团有限公司获悉:2023年8月8日,长江干流乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝、三峡、葛洲坝6座梯级电站单日发电量超10亿kW·h,相当于节约标准煤约30万t,减排二氧化碳约80万t,这也是2023年6座梯级电站单日发电量首次突破10亿kW·h大关。入夏以来,梯级电站受电区域用电负荷大幅攀升。三峡集团全力做好迎峰度夏能源保供工作,在上级调度部门的指导下,密切关注长江流域水雨情,优化调度方案,落实设备巡检维护,为受电区域提供安全稳定的清洁电能。2023年8月8日,梯级电站高峰运行机组达97台,最大出力超5600万kW,世界最大清洁能源走廊充分发挥能源保供骨干电源点作用。

(人民日报作者 王浩)

黑龙江水利科技,2020,48(04):178-180.

作者简介:

- 韩向阳(1996-),男,河南项城人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行与维护工作;
- 杜沅枫(1994-),男,湖南常德人,工程师,工学学士,从事水电站运行与维护工作;
- 王家璇(1998-),男,陕西渭南人,工学学士,从事水电站运行与维护工作;
- 郭立永(1995-),男,江西赣州,工程师,工学学士,从事水电站运行与维护工作;
- 黄世乾(1997-),男,甘肃永靖人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行与维护工作;
- 李伟(1995-),男,吉林德惠人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行与维护工作;
- 李帅(1997-),男,河南新乡人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行与维护工作. (责任编辑:吴永红)

通过数据分析和排除法,确定了油质不佳导致主配压阀内泄增大是油泵频繁启动的根本原因,并据此给出了处置建议。这对水电站调速器压油泵同类型故障诊断分析具有借鉴意义,也对故障早期发现早期处理提供了宝贵的实践经验。

参考文献:

- [1] 罗海龙.大朝山调速器油泵频繁启动原因分析及处理[J].水电站机电技术,2020,43(10):52-55.
- [2] 李彩丽.水轮发电机调速器油泵频繁启动原因分析及处理[J].城市建设理论研究,2014,29(1):1924-1925.
- [3] 王新乐,荣红.水电机组调速系统油压装置频繁启泵问题分析处理[J].云南水力发电,2013,29(4):141-144.

作者简介:

- 陈宇(1993-),男,四川德阳人,工学学士,工程师,长期从事流域化大型水电站电气一次设备维护、运行监控、流域电站调度等工作;
- 赵传啸(1986-),男,四川成都人,工学学士,高级工程师,从事水电站运维管理工作;
- 刘昆(1990-),男,四川成都人,工学学士,工程师,从事水电站运维管理工作;
- 黄星(1996-),男,四川眉山人,工学学士,助理工程师,从事水电站运维管理工作. (责任编辑:史心雨)