

大型水电站调速器负荷波动分析与处置

王 刚, 刘 金 华

(雅砻江流域水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051)

摘 要: 调速器作为水电发电机组的重要设备, 肩负着机组开停机, 调节发电机转速, 平衡机组出力与用电负荷, 维持系统频率稳定等重大功能, 调速器故障将造成机组负荷波动、故障跳闸, 电网频率异常等严重后果。针对某水电站 2 号水轮发电机组调速器负荷波动故障, 结合监控系统、调速器控制系统报警事件及运行数据曲线, 重点分析了负荷波动发生的原因, 介绍了故障处置过程及措施, 讨论了负荷波动的主要影响及处置思路, 对处理类似故障有一定的参考意义。

关键词: 调速器; 负荷波动; 分析; 处置

中图分类号: TV74; TK243.6; TM714

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2021)06-0119-03

Analysis and Treatment of Governor Load Fluctuation in Large Hydropower Station

WANG Gang, LIU Jinhua

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

Abstract: As an important equipment of hydropower generator sets, governor shoulders the important functions of starting and stopping the unit, adjusting the generator speed, balancing the output and power consumption of the unit, and maintaining the stability of the system frequency. Failure of governor will cause unit load fluctuation, fault trip and even more serious consequences such as abnormal grid frequency. This paper mainly analyzes the causes of load fluctuation of the governor of No. 2 hydro-generator unit in one hydropower station based on the monitoring system, alarm event of the governor control system and the operation data curve, introduces the fault handling process and measures, discusses the main influences and treatment proposals of load fluctuations, which offers reference for dealing with similar faults.

Key words: governor; load fluctuation; analysis; treatment

1 概 述

某电站位于四川省雅砻江下游, 电站装设 6 台单机 55 万 kW 混流式水轮发电机组, 总装机容量 330 万 kW。该电站水轮机调速器由电气控制、机械控制和液压机械三部分组成。调速器电气控制系统采用武汉事达公司生产的 WT-SPLC-STARS 型调速器, 调速器机械控制部分由瑞士 HYDRO VEVEY 公司制造^[1~2], 液压机械部分主要由油压装置、直缸接力器、超速限制装置等组成。调速器主要调节过程为监控系统向调速器电气控制柜下发调节指令, 调速器电气控制柜内调速器头将接收到的调节指令通过 PID 控制算法转换为电转信号^[1~2], 输出至调速器机械控制柜内的电液伺服阀, 电液伺服阀控制主配压阀通断驱动接力器动作, 最终实现水轮机导叶的

开启与关闭。机组调速器负荷波动是机组常见故障之一, 机组负荷波动主要有三点危害。第一: 造成电站出力短时间内大幅变化, 引起电网频率波动、潮流断面越限, 严重情况下可能导致部分电网线路跳闸, 威胁电网安全稳定运行。第二: 负荷波动损害电站设备, 由于导叶快速开关, 压力管道产生水锤效应, 对引水管道、导水机构及接力器油管路本身造成损坏; 电气上发电机定转子电流、机端电压、发电机磁场过大, 可能导致定子线棒烧损或绝缘击穿, 铁芯温度升高, 定子端部过热等。其他辅助设备, 因机端电压剧烈变化, 影响厂用设备正常运行。第三: 引起事故扩大。由于调速器接力器反复动作, 耗油量急剧增加, 造成油压装置低油压/低油位动作, 保护动作停机并落到进水口闸门, 导致事故扩大, 机组恢复正常备用所需时间增加。因此要及时准确处置负荷波动, 保证机组安

收稿日期: 2021-11-03

全稳定运行。

2 调速器负荷异常波动事件分析

2.1 事件概述

某日,监控系统报“二号机无功测量值故障动作、二号机励磁电压超高限、二号机组超出力运行动作、二号机有功功率 612.75 MW、二号机 1/2 号发变组保护 RCS985AW 装置报警、二号机 1/2 号发变组保护过负荷报警、二号机 A、B、C 三相电流高限报警”等报警信号,检查 2 号机有功监控实测值 685 MW、调速器有功输出值 649 MW,导叶开限和开度均为 100%。

2.2 故障现象分析

故障前全厂 AGC 为退出状态,2 号机固定负荷 466 MW,调速器采用“闭环/自动/功率反馈”的正常模式,1 号调速器头主用。故障发生后,2 号机负荷大幅上窜,导叶开度实际最大到达 100%,负荷升至 650 MW,最大上窜至 750 MW,监控系统上压导叶开限无效,现地切换调速器头并压导叶开限后,负荷固定。

调速器正常运行时,电气控制柜收到调节指令后发出的电转信号偏离零位电压,动作方向与导叶、功率变化趋势一致,正电压为增大,负电压

为减小,且电转信号超前于导叶、功率的变化。

调速器负荷波动时,在外部功率给定不变,机组频率正常情况下,电转信号发生了正电压的突变,0.5 秒内电压由 0.19 V 突变为 2.01 V,导叶开始往开启方向动作,导致功率超上限 650 MW,调速器报功率故障和调速系统小故障,自动由功率反馈切换为开度反馈。

由于故障前外部给定的调节指令均无变化,而调速器系统电转信号最先突变,导致导叶、功率波动,在主调速器头切至 2 号调速器头后故障消失,最终确定引起负荷波动的原因为机组调速器控制系统 1 号调速器头伺服阀放大板 QD1 在用通道故障。

故障原因为调速器 A 套伺服阀功率放大板 QD1 当前运行通道故障,导致电转信号输出异常,机组停机后检修人员更换 A 套功率放大板输出通道(QD1 板件有两个独立的放大元件,由两个不同通道输出,2 号机调速器故障元件示意图见图 1),并经空转试验(开机过程中必须选择 B 套调速器头运行,防止 A 套不稳定导致开机过速),对比 A、B 两套调速器头电转信号输出一致,现地进行调速器头切换,监视 A 套电转信号输出正常。

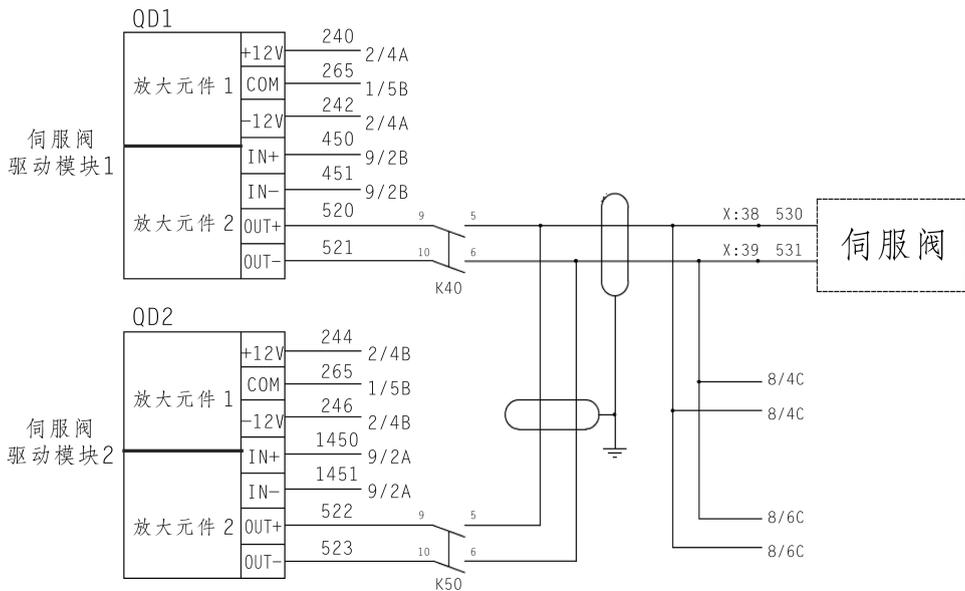


图 1 2 号机调速器故障元件示意图

2.3 报警信号分析

监控系统当时报了主要报警信号:二号机开度反馈控制方式投入、二号机有功闭环调节退出动作、二号机电调手动方式投入、二号机励磁通道

1 停止/通道 2 运行、二号机油压装置备用油位 2 启泵到达等。

2.3.1 调速器自动切开度反馈

并网机组调速器由功率反馈切开度反馈的条

件有:

- (1) 调速器功率变送器硬件故障, 即有功值越上、下限量程(该次自动开度反馈原因);
- (2) 机组由并网转至解列;
- (3) 调速器进入孤网模式;
- (4) 调速器切至现地\试验方式;
- (5) 调速器现地方式下, 切换模式把手至开度反馈;
- (6) 调速器远方方式下, CCS 发令切至开度反馈。

2.3.2 监控闭环调节退出

并网机组监控有功闭环退出的条件有^[3]:

- (1) 机组并网信号消失;
- (2) CCS 发令退出闭环;
- (3) 调速器远方自动方式下, 功率反馈故障或有功设定值故障(该次闭环退出原因为功率反馈故障);

- (4) 调速器切现地方式;
- (5) 调速器进入孤网模式。

2.3.3 励磁通道切换^[4]

并网机组励磁通道发生切换的条件有(摘选):

- (1) COB 板电源消失、D/O 驱动板故障、MUB 板故障或其电源消失;
- (2) 励磁故障;
- (3) 整流桥过热或其电源消失;
- (4) 通道失磁、通道故障、EGC 故障;
- (5) V/Hz 故障(该次通道切换原因为 V/Hz 超限)。

2.3.4 备用油位 2 启泵

由于导叶快速开关, 接力器耗油量增大, 压力罐压力和油位下降明显, 大泵启动并达到备用油位 2 启泵条件。从曲线看, 油压最低至 4.94 MPa (低油压 4.776 MPa), 油位最低 1 232.83 mm (低油位 903 mm)。如果导叶再一次快速调整, 低油压事故将不可避免。由此可见, 在机组负荷大幅波动的情况下, 及时稳定机组出力, 避免低油压/低油位保护停机导致事故扩大显得尤为重要。

2.4 故障处置思路

对于负荷波动类故障^[5], 主要的处置思路如下:

首先要立即采取措施控制负荷波动, 在故障发生第一时间采取压机组导叶开限方式, 控制波

动范围。其次要准确判断故障类型, 立即现地查看调速器输出电转信号, 如电转信号变化与导叶开关反向一致(电转信号为负表示关导叶, 反之则表示开导叶), 判断属于调速器控制系统故障, 如电转信号变化与导叶开关方向相反, 判断属于机械液压回路故障。最后根据故障类型采取相应应对措施, 如控制系统故障, 采取切换 A/B 套运行方式或将调速器切电手动方式进行处置, 如机械液压回路故障, 可尝试切换油过滤器改变油路流通性进行应对。如负荷波动无法控制危及电网系统和电站设备安全, 为防止事故扩大, 应快速减负荷停机, 必要时拍停机组或落门停机。

2.5 故障处置措施

2.5.1 应急处置

(1) 报警信号出现后, 运行监盘人员迅速查看监控系统 2 号机机组控制画面中监控实测值 685 MW, 调速器有功输出值 649 MW, 导叶开限和开度均为 100%, 确认机组负荷上窜后在监控系统上压 2 号机导叶开限, 将开限压至故障前开度 57%, 但操作完成后开限又瞬时返回至 100%, 监控系统压开限操作无效。

(2) 现场检查人员查看机调速器机械部分及油压装置无明显异常, 调速器电气控制柜上小故障指示灯闪烁, 触摸屏事件记录中有主用 PLC 故障等报警信息, 电转信号在 1.5 V 左右波动, 调速器已切换至远方/开度反馈方式。鉴于电转信号异常大幅度正向增加, 导致导叶持续往开启方向动作, 由故障现象判断出主用调速器头故障, 将调速器切至备用调速器头后导叶开限变为 82%, 导叶开度变为 80%, 有功稳定在 635 MW, 调速器小故障指示灯停止闪烁。

(3) 将调速器控制方式切换至现地, 在检修人员协助下通过调整导叶开限将有功功率调整至空载后向上级调度申请 2 号机解列停机。

2.5.2 检查处理

2 号机停机后, 专业人员将调速器控制系统 1 号调速器头伺服阀放大板 QD1 切换至备用通道运行, 并经空转试验对比两套调速器头电转信号是否输出一致。现地进行调速器头切换试验, 监视 1 号调速器头电转信号输出正常, 确认故障消除。

(下转第 125 页)

期对围岩采取的固结灌浆措施,效果远达不到结构设计和防渗要求。基于工程现状,参建各方反复研究论证后不得不采用对约1 km长高压洞段加内钢衬、调压室钢罩加厚并由“钢罩+平压孔”型式调整成“钢罩”承受内外水压力和围岩压力的高压力容器型式、“钢罩”外侧围岩进行固结灌浆等非常规措施进行处理,最终问题得以解决。但其施工难度非常大,处理时间近两年,直接投资增加过亿,发电工期延误两年多,经济损失较大。

(2)理论研究表明:气垫式调压室小波动稳定面积较常规调压室大得多,不适用于大流量或上游库水位变幅较大的电站,亦不适用于尾水调压室。在气垫式与常规式均可采用的调压室中,气垫式较常规式体积大,增加了地下大洞室开挖的施工难度和安全风险、支护费用。且因气垫式调压室布置的特点,无论是水幕式,还是“钢罩”式,施工过程中的排风散烟难度大,施工作业环境较常规调压室更差。

(3)气垫式调压室需设置充气空压机和补气空压机,且随着气垫厚度的变化和漏气情况需及时补气,较常规调压室增加了运行工作量和运行成本,运行维护相对复杂,对运行维护人员的要求更高。金平水电站运行情况表明,调压室正常运行维护年成本20万左右。民治水电站放空检查时因放空程序出错,致使钢罩损坏,虽经修补,可以维持电站的安全运行,但漏气量仍偏大。

(4)气垫式调压室若采用水幕式,地下岩体裂隙发育的随机性可能导致灌浆施工质量不可控,上述提到的自一里电站即存在此问题。若采用钢罩式,则钢板焊缝施工质量要求很高。2017年底

(上接第121页)

3 结语

调速器负荷波动对设备及电网安全运行影响较大,应采取有效的预控措施尽量避免该类故障的发生。在设备管理方面,应加强调速器控制系统运行监视和日常巡检,尽早发现隐患并及时消除。同时,结合机组检修,加强对调速器系统控制回路的检查维护,深入排查设备隐患,研究提高设备可靠性保障措施,确保调速器设备安全可靠运行。在应急处置方面,需编制负荷波动类故障的应急处置方案及处置卡,列出故障处置的关键措施,定期进行应急演练,提升人员应急处置水平。

投产的龙洞水电站因钢罩漏气导致运行后补气量很大,每天必须连续补气12 h,才能保证气垫式调压室的水位不上涨,否则,严重影响空压机的使用寿命,增加运行工作量和运行成本。

(5)从施工技术角度看,气垫式与常规式调压室相比,施工技术要求相对较高。

6 结语

气垫式调压室在世界范围内应用相对较少,主要在挪威和我国,已积累了一定的经验和教训。作为满足机组调节保证需要的方式之一,其具有工程占地少、对自然生态环境有利等优点,但其存在对地质条件要求较高、高压隧洞设计难度大、施工建设及运行维护要求高等问题。虽然气垫式调压室理论趋于成熟,“钢罩”“钢包”等新技术的运用理论上突破了地质条件的限制,但建设实例说明,调压室方案选择时,仍应将工程地质条件较好作为基础,针对电站的具体情况,进行技术经济综合比较后审慎确定。

参考文献:

- [1] 郝元麟,余挺.水电站气垫式调压室设计,ISBN 978-7-5170-5225-8[M].中国水利水电出版社,2017,2(1).
- [2] 华富刚.气垫式调压室设计中的主要问题研究[J].水利科技与经济,2006,12(4):222-226.
- [3] 郑道明,王雪红,赵启强.气垫式调压室施工技术研究[J].四川水力发电,2006,25(增刊1):19-21.
- [4] 赵启强,黄芬.水泥化学复合灌浆技术在气垫式调压室补强的应用[J].四川水力发电,2011,30(5):98-100.
- [5] 郇国荣.气垫式调压室及其在大干沟水电站的应用[J].水利水电科技进展,2002,22(3):38-40.

作者简介:

钱震伟(1976-),男,汉族,江苏泰兴人,本科,高级工程师,从事水电工程设计与咨询工作。

(责任编辑:吴永红)

参考文献:

- [1] 魏守平.现代水轮机调节技术[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [2] 魏守平,王雅军,罗萍.数字式电液调速器的功率调节[J].水电自动化与大坝监测,2003,27(4):20-22.
- [3] 谭中美,刘小改.二滩水电站调速器控制系统改造[J].水电站机电技术,2005,28(1):64-65.
- [4] 吴建荣,王秀梅.二滩水电站5号机组负荷波动原因分析及处理[J].四川电力技术,2012,35(1):22-23.
- [5] 徐长明,郝辉,邓友汉.水电机组调速系统控制异常的分析与应对[J].水电与新能源,2021,35(3):33-35.

作者简介:

王刚(1986-),男,陕西西安人,高级工程师,从事水电站运行维护工作;

刘金华(1986-),男,重庆人,工程师,从事水电站运行管理工作。

(责任编辑:吴永红)