

文得根水电站甩全厂负荷试验的关键技术与实践分析

张 晓

内蒙古引绰济辽供水有限责任公司 内蒙古 兴安盟 137400

摘 要: 结合文得根水电厂全厂甩负荷试验的重要性、目的、试验方法与流程,以及在试验过程中涉及的关键技术要点,包括水轮机调速系统、发电机励磁系统的动态响应特性等。通过对试验数据的分析与评估,总结试验成果与经验,旨在为提高水电站的安全性、稳定性和可靠性运行提供技术支持

关键词: 甩全厂负荷试验; 调速系统; 励磁系统; 扩大单元; 超调量; 正调差

引言

水电厂作为电力系统的重要组成部分,承担着电能生产与供应的关键任务。在水电厂的运行过程中,可能会遭遇各种突发情况导致全厂负荷瞬间甩脱,如电力系统故障变电站开关突然断电跳闸、站内设备故障等,使机组运行受阻,发电机组运行速度会因为失去负荷而迅速升高,如果没有及时采取措施,可能导致发电机发生过电压状况,对设备造成损害,这就是水轮发电机甩负荷,在出现甩负荷问题后,如果保护装置正常运行下,机组运行速度提升到最大限值之后,调速器会关闭导叶限制水轮机进水量,从而控制机组转速,防止转速过高。一旦出现甩负荷问题,必然会影响水电厂运行安全和稳定,甩全厂负荷试验是全面检验水电站各系统在极端工况下动态性能与协同工作能力的重要手段,其试验结果对于评估水电站的安全性、稳定性以及优化运行控制策略具有极为重要的意义^[1]。

文得根水利枢纽是引绰济辽工程的水源工程,是一座具有调水、灌溉、发电等多项功能的大型枢纽,文得根水电厂为引水式坝后水电站,电厂总装机容量36MW(3*11.4MW+1*1.8MW),输水系统为一洞四机五管布置形式,于2024年6月完成4台机组72小时运行试运行,每台机组单机甩负荷都成功试验完成,但由于库水位原因,未达到4台机组同时额定水头满载条件,到2024年8月14日上游水位达到372.05设计高程,符合甩100%负荷试验条件。但由于未设置调压井的一洞四机同时甩负荷案例极少,所以在试验前,经过多方讨论,做了详细部署,在各方努力下,甩负荷试验得以顺利完成。

1 工程基本参数

引绰济辽文得根水利枢纽工程水电厂总装机容量36MW,其中:1台卧式机组,发电机型号为SFW1800-12-1730,装机容量1.8MW。3台立式机组,水轮机型号为HLTF60-LJ-225,发电机型号为SF11.4-28/4870,

单机容量11.4MW;上游水库正常蓄水位377m,死水位351m,设计洪水位377.7m;电站最大毛水头41.9m,最小毛水头21m。每台机组配置了YCVT型高压压型调速器,操作油压为16MPa,引水系统为一洞四机加灌溉生态管布置,每台机组蜗壳前装设液控蝶阀为进水阀。

发电机与主变压器组成两机一变扩大单元接线,1G小机和2G发电机与1T主变压器组成一组扩大单元接线,3G机和4G发电机与2T主变压器组成一组扩大单元接线,全厂共两组扩大单元接线,高压侧为一回66kV文双线接入220kV双榆树变电站,在线路跳闸情况下,所有机组将甩负荷停机^[2]。

2 甩全厂负荷试验的目的及要求

台机组同时甩负荷试验是对66kV文双线、水轮发电机组、主变等电力设施的稳定性考验,是对相关水工建筑物附属配电设备的设计、制造和安装质量的关键考核性试验,也是对电厂全系统调节能力、机组安全可靠性的实际检验。试验的目的主要评估机组在电力系统失衡或突发故障时的稳定性,确保机组能迅速响应,维持电网的稳定运行。

检验水轮机调速系统的动态性能:在机组甩掉全部负荷后,水轮机调速系统在甩负荷过程中需快速响应,通过调节导叶开度来控制水轮机的转速,防止转速过度上升而引发机组超速等严重事故。根据水利水电工程机电设计技术规范的规定,当机组容量占系统总容量的比重不大,或不担任调频任务时,机组甩负荷时的最大转速升高率宜小于60%。甩额定负荷后,调速器的动态品质应达到在转速变化过程中超过稳定转速3%以上的波峰不应超过2次。

评估发电机励磁系统的性能:励磁系统在甩负荷瞬间应能迅速调整发电机的励磁电流,以维持机端电压稳定,保障电力系统的电压质量与稳定性。通过试验考察励磁系统的强励倍数、电压响应时间、电压波动率等参

数,确保其在甩负荷工况下的可靠运行。要求检查励磁调节器的稳定性和超调量。规范要求当发电机甩额定有功负荷时,发电机电压超调量不应大于额定电压15%,振荡次数不超过3次,调节时间不大于5S;

分析压力管道水击压力变化:甩负荷时,水流在压力管道内的流速急剧变化会产生水击现象,可能导致管道内压力大幅波动。试验旨在监测水击压力的最大值、最小值及其变化过程,验证压力管道的设计强度是否足够,以及所采取的水击防护措施是否有效。规范规定,当额定水头在20~40m时,机组甩负荷的蜗壳最大压力升高率宜为50%~70%。

验证水电站自动化监控系统的可靠性:在甩负荷试验全过程中,自动化监控系统需准确采集各设备的运行参数、及时发出控制指令并记录试验数据。通过试验检验监控系统的数据采集精度、指令执行正确性以及数据存储与分析功能的可靠性。

检验水轮机、发电机、轴承等在甩负荷工况情况下的振动幅度是否在合格范围,检验轴瓦在甩负荷工况下的温度变化情况。

通过甩负荷试验,测定相关系统的运行参数或特性曲线,从而帮助运行人员掌握机组在不同工况下的运行特性及操作特性,为今后的长期运行提供技术储备,保证运行安全^[3]。

3 甩全厂负荷试验的方法与流程

在详细制定试验方案过程中,试验分两步走,首先3台机组进行同时甩50%负荷试验,使机组实现不停机甩负荷,记录甩负荷过程中的各种参数变化,主要测量并记录机组最高转速和蜗壳最大压力,同时监测进水阀、水轮发电机组、调速器、励磁系统、辅助设备设施、机电设备设施等运行状态和水工建筑物的变形情况。进行各项检查及各类数据分析后再进行100%甩负荷试验。

由于试验过程中采用的是分出线断路器的方法,存在厂用电丢失的风险,在甩负荷试验前已做好专项厂用电切换试验,以确保试验中厂用电切换功能正常,并全程安排专门运行人员在厂用电控制盘柜旁,一旦厂房出现失电情况,厂用电未能切换,进行紧急操作。

首先,按照预定的试验方案,逐步将试验各机组带至50%额定负荷运行,使各系统处于稳定工作状态。

确认各部位正常后,向电网调度申请试验,待电网调度回令后,分出线断路器,4台机组瞬间同时甩负荷。

4 甩全厂负荷试验中的实践成果

由于在2024年6月每台机组都已成功做过单机甩负荷试验,具有单机甩负荷试验的数据支撑,各保护动作都

已确认可靠,在甩全厂负荷前各项准备工作都已做好。

首先核实调速器、自动励磁调节器的参数设置在最佳值;其次由于甩50%负荷时,机组频率为59Hz,考虑为保证在机组甩100%负荷时考验机组转速上升率,且机组具备机械过速保护,故将二级过速保护暂时退出;另外由于是两机一变扩大单元的接线方式,在甩负荷试验时会出现逆功率现象,为保证试验成功,将逆功率保护也暂时退出,检查核实后按照流程进行操作。

5 试验设置的调速器相关参数

根据主机厂调保计算结果,大机组活动导叶采用一段关闭模式,关闭时间为8s;机组一级过速115%,二级过速158%,机械过速保护163%。

甩负荷瞬间,水轮机失去负荷阻力矩,转速会迅速上升,此时调速系统会快速关闭导叶,控制转速,将机组转速平稳调节至额定值附近,这一过程的调节时间应尽可能短,同时要避免出现过大的超调量。超调量过大会导致机组转速在额定值上下波动,偏离稳态转速3%以上的波动次数不超2次,否则影响机组的稳定运行与设备寿命。

其中调速系统的PID调节参数等对转速上升率有着重要影响,空载调节参数是转速过渡过程超调量小、收敛快、波动次数少、且转速摆动值最小的一组调节参数,因此,在甩负荷前调速器的稳定参数选择在空载扰动所确定的最佳值。

6 试验设置的励磁调节器参数

甩负荷时,发电机机端电压会瞬间升高,励磁系统应具备足够的强励倍数,能够在短时间内提供较大的励磁电流,以维持机端电压稳定,防止电压过高对电气设备造成损害或过低影响电力系统的稳定性。同时,励磁系统的电压响应时间应小于规定值(通常为0.1-0.2s),快速响应机端电压的变化。

同时由于文得根水电厂采用的是扩大单元接线模式,根据电力要求,励磁系统应具有无功调差功能,且接入同一母线的发电机在并列点处的电压调差特性应一致,机端并列的发电机无功调差系数应不小于+5%,即励磁调节器应采用正调差模式,同时并列的几台机组调差系数必须设置相同,否则机组之间可能出现较大无功波动现象,经过试验所有机组最佳值统一设置为6。

7 试验成果与经验总结

从测得的数据及过渡曲线可以得知:在线路开关断开的瞬间,导叶立即关,导叶关闭时间8s,最大转速73.46Hz,转速上升率46.9%,小于调节保证要求的60%;偏离稳态转速3%(1.5Hz)以上的波动次数1次,满足规

程要求小于2次的要求；机组最低转速48.56Hz，不低于90%额定值；从甩负荷开始至转速升至最高转速所经历的时间为 T_M 为5.0s，从机组甩负荷时起，到机组转速相对偏差小于 $\pm 1\%$ 为止的调节时间 T_E 为26s， T_E/T_M 比值为5.2，小于规程要求的15；蜗壳最大压力升高率达58%，满足规范要求要求的50%~70%；尾水管进口最大真空度0.4m水柱，低于调节保证要求的8m水柱，满足要求。

综上所述，调速器调节稳定性较好，满足压力上升和转速上升的调节保证要求。

发电机励磁系统的强励倍数为2倍，电压响应时间小于4ms，发电机电压最高到7133V，超调量最大到13%，满足规程15%，各项指标均在规定范围内，表明励磁系统性能良好；

机组摆略微有点变化，无异常，轴瓦温度在甩负荷过程中也无异常。

在甩负荷试验全过程中，自动化监控系统准确采集了各设备的运行参数、及时发出控制指令并记录了试验数据。通过甩负荷试验也成功检验了计算机监控系统的数据采集精度、指令执行正确性以及数据存储与分析功能的可靠性^[4]。

综上所述，甩负荷实验各项参数正常，调速器、励磁调节器调节性能较好，机组性能稳定，验证了设计、制造、安装都满足要求。

发现的问题与改进措施：在试验过程中也发现了一些问题，如部分测量传感器在甩负荷瞬间存在数据跳变现象，影响了数据采集的准确性。

对水电站运行控制策略的优化建议：根据甩全厂负荷试验结果，对水电站的运行控制策略提出以下优化建议：一是进一步优化水轮机调速系统与发电机励磁系统的参数匹配，提高两者在甩负荷等动态工况下的协同工作性能；二是完善压力管道水击防护系统的运行监控与维护策略，定期对水击防护设备进行检查与测试，确保其始终处于良好的工作状态；三是加强水电站自动化监控系统的数据质量控制与异常数据处理能力，提高对突

发故障的预警与诊断水平，为水电站的安全稳定运行提供更可靠的技术保障。

8 结论

通过文得根水电厂“一洞四机五管”三机同时甩负荷试验，验证了水轮发电机厂家水力过渡过程导叶一段关闭可行，各振动摆度及轴承温度变化趋势稳定，为电厂长期安全稳定运行提供了数据支撑。

在电厂甩负荷试验过程中，根据前一阶段实测数据实时进行计算分析，为下一阶段试验提供参考，采用循序渐进的试验方法，一定程度上降低了试验过程中的风险，从而保证了现场试验的安全、顺利进行。

通过试验，对调速器、励磁的重要调节参数进行了进一步验证，保证了长期运行稳定。

通过试验，对厂家的调保计算进行了部分复核，通过三机甩负荷数据与理论数据进行对比，进行误差分析。设计过渡过程中极端情况出现在最大水头，由于水位未能达到校核洪水位，因此仅复核了额定工况，未对极端工况进行复核。

“一洞四机五管”三机同时甩负荷试验在国内案例不多，因此文得根三机同时甩负荷试验为一洞多机布置形式提供了实践验证，为同类机组结构设计和选型提供了依据，也为多机甩负荷试验提供了实践方法。有助于进一步提高水电站的运行管理水平，保障电力系统的安全可靠供电，为水电行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]中水东北勘测设计研究有限责任公司、内蒙古自治区水利水電勘测设计院《引绰济辽工程初步设计报告》2017.11
- [2]《水轮发电机组启动试验规程》(DL/T507)
- [3]《水轮机电液调节系统及装置技术规程》(DL/T563)
- [4]《大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置的试验规程》(DL 489)