

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20230083

水轮机分段关闭装置误投故障分析与处理

李亚鸽¹, 杜瑞涛¹, 赵伟俊², 劳鹏飞²

(1. 东方电气集团国际合作有限公司, 四川 成都 611730; 2. 武汉三联水电控制设备有限公司, 湖北 武汉 430200)

摘要: 为分析中亚某水电站水轮机分段关闭装置误投故障的原因, 通过介绍调速器机械液压控制系统的结构及原理, 并分析机械液压系统油路, 发现事故配压阀动作后由于压力油供油管流速过快, 致使分段关闭装置的控制腔压力降低而误动, 因接力器关闭时间过长导致水轮发电机组转速过高。提出将分段关闭装置控制压力油的取油口从事故配压阀主压力油供油管移至调速器系统储能罐上的方案, 通过效果测试证明了该方案的可行性。

关键词: 机械液压系统; 调速器; 分段关闭装置; 事故配压阀; 误动

中图分类号: TV734.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)09-0172-03

1 概况

某水电站位于中亚的乌兹别克斯坦共和国苏尔汉河州图波兰水库下游, 为径流式水电站, 正常蓄水位为 785.00 m, 最大引用流量为 140 m³/s, 最大水头为 31.15 m, 额定水头为 30.70 m, 最小水头为 17.52 m; 装机 2 台卡普兰轴流转桨式水轮发电机组, 单机容量为 19.6 MW。水轮机调速器系统由双比例冗余式电气液压调速器、滑阀式事故配压阀、活塞式单向节流阀组成。滑阀式事故配压阀由机械超速液压回路和电气信号并联控制, 分段关闭由调速器电气调节器输出电气信号控制。水轮机导叶正常关闭时间为 12 s, 事故配压阀关闭时间也为 12 s, 分段关闭已安装但未启用, 在水轮发电机超速试验时, 因事故配压阀动作导致供油管流速过快, 分段关闭误投, 致使关闭时间超过 20 s。通过将分段关闭控制腔压力油管接至压调速器系统储能罐的方案, 从根本上解决了此问题, 改进方案实施后通过反复试验, 事故配压阀关闭和调速器本体关闭时间均保持在 12 s, 与整定时间相符。

2 调速器机械液压控制系统结构及原理

2.1 水轮机调速器液压系统回路

该电站水轮机调速器液压系统回路主要由压力油系统、调速器机械液压控制系统、事故停机装置、分段关闭装置及导叶接力器、桨叶受油器组成。压力油系统包括回油箱、压力油泵及电机、储能罐; 调速器机械液压控制系统包括导叶主配压阀及电液转换系统和桨叶主配压阀及电液转换系统; 事故停机装置包括事故配压阀和机械超速装置; 分段关闭装置由单向节流阀和先导电磁阀两部分组成; 该电站导水机构由推和拉双接力器实现开关控制^[1]。在整个调速器液压系统中, 对导叶关闭速度有影响的主要有导叶主配压阀、事故停机装置、分段关闭装置及导叶接力器。各部件之间的液压系统关系见图 1。

水轮发电机组正常运行过程中, 由调速器电气调节器根据给定值与实际测量值的偏差输出电气控制信号控制电液转换器(比例伺服阀), 电液转换器根据接收到的模拟量信号线性驱动阀芯位移, 阀芯位移后输出等比大小流量的液压油控制主配压阀开关腔开口实现对导叶接力器的开关控制。在这种状态下当电气调节器发出开导叶信号时, 导叶主配压阀向上移动, 主配的压力油腔与开启腔联通, 压力油经过事故配压阀开启腔和分段关闭单向节流阀后控制接力器开启, 当电气调节器发出关导叶信号时, 导叶主配压阀向下移动, 主

收稿日期: 2023-01-17, 修回日期: 2023-04-14

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究计划项目(B2018328)

作者简介: 李亚鸽(1987-), 男, 副高级工程师, 研究方向为水利水电工程机电设备技术管理, E-mail: liyage@dongfang.com.cn

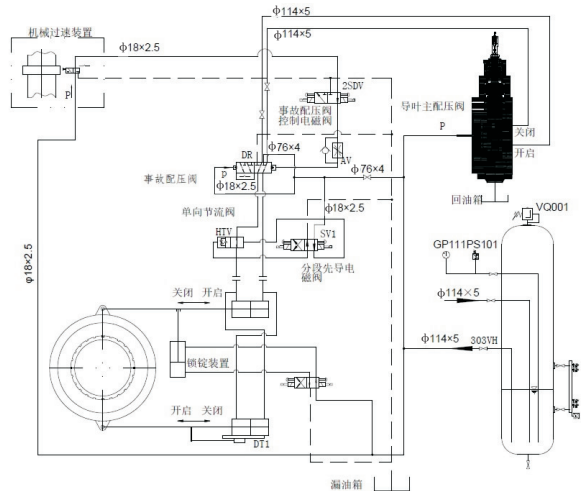


图 1 导叶机械液压控制系统图

Fig. 1 Gate mechanical hydraulic control system diagram

配的压力油腔与关闭腔联通,压力油通过事故配压阀关闭腔后控制接力器关闭。当接力器开启时回油通过关闭压力油管回至调速器回油箱,反之亦然^[2]。

2.2 事故配压阀及分段关闭装置工作原理

事故配压阀由机械超速液压回路和电气信号并联控制,采用失压动作设计方式;而机械超速装置和事故配压阀的先导电磁阀油路串联,机械超速或先导电磁阀 2SDV 动作均会切断事故配压阀 ASV 的控制油路,达到控制事故配压阀动作的目的。事故配压阀动作后调速器主配压阀的开关机腔油路被切除,压力油 P 腔和 B(关机)腔接通,回油 T 腔和 A(开机)腔接通,压力油 P 经过 B 腔到达水轮机接力器关机腔,推动接力器向关闭方向位移,接力器开机腔的液压油经过分段关闭单向节流阀和事故配压阀 A 腔后回到回油箱,实现事故停机功能。因此当事故配压阀动作后导叶接力器关闭速度不再受导叶主配压阀控制。事故配压阀动作液压系统见图 2^[3]。

水轮发电机组在紧急停机或事故停机时,机组导水机构会快速关闭。拥有长引水管道的水轮发电机组,若导叶关闭过快会使引水系统的水压上升超出设计范围,且导叶快速关闭后引起的反水锤造成的浪涌会导致轴流转浆使水轮机抬机事故;另一方面若导叶关闭慢会使水轮发电机组的转速过高^[4]。为达到此控制要求,在调速器系统液压回路中设置分段关闭装置。实现过程如下:当水轮发电机组开始快速停机时,水轮机调速器系统控制导叶开度从当前开度至全关位置,截断水轮机的过水流量,在导叶关闭过程中利用分段关闭装置单向节流特性控制导叶接力器开腔的回油量,实现导叶快、慢关两种关闭速率。通常使导

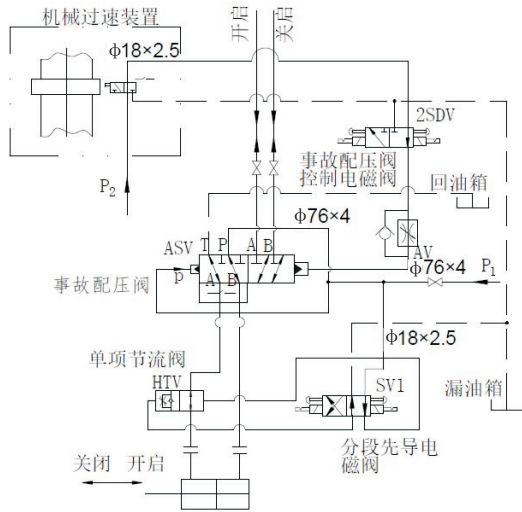


图 2 事故配压阀控制液压系统图

Fig. 2 Diagram of the hydraulic system of the ADV

叶从 100%开度至拐点(如 30%开度)这段行程的关闭速率较快,分段关闭装置处于退出位置,以保证水轮发电机组的转速快速下降,导叶关至拐点后,分段关闭装置的先导电磁阀动作截断控制腔压力油,分段关闭单向节流阀动作,使导叶从拐点至全关位置的关闭速率较缓慢,以保证引水管道的水压力不超过设计值。

3 导叶关闭速率变慢故障分析

事故配压阀动作后,其液压系统压力油的流动路径见图 2。P1 压力油经 φ76 mm×4 mm 的油管至事故配压阀 ASV 的 P 腔,经过 B 腔后至接力器关机腔,从事事故配压阀 B 腔到接力器关机腔管路为 φ114 mm×5 mm,接力器开机腔内的回油经过单向节流阀 HTV 后连接至事故配压阀 A 腔,然后经事故配压阀 T 腔回到调速器回油箱内,从接力器开机腔到事故配压阀 A 腔管路管径为 φ114 mm×5 mm。

根据伯努利原理可知,等高流动时,流速越大,压力就越小。即流过该点的流速越快,该点压力越小。当事故配压阀动作后,P1 压力油管路内的液压油快速流动,连接在该管路上 φ18 mm×2.5 mm 的分段关闭控制腔压力油管内的液压油压力快速下降。当该压力管路内压力过低时,分段关闭装置的单向节流阀 K 腔压力降低,接力器在关闭过程中开腔回油经过单向节流阀 B 口后回到回油箱,此时因为 B 口的液压油通过辅助控制油孔进入 C 腔。C 腔在弹簧及液压油压力的作用下,其操作功大于 K 腔,单向节流阀活塞向上移动,对接力器回油进行节流,使接力器关闭速度变得缓慢。分段关闭装置结构见图 3。

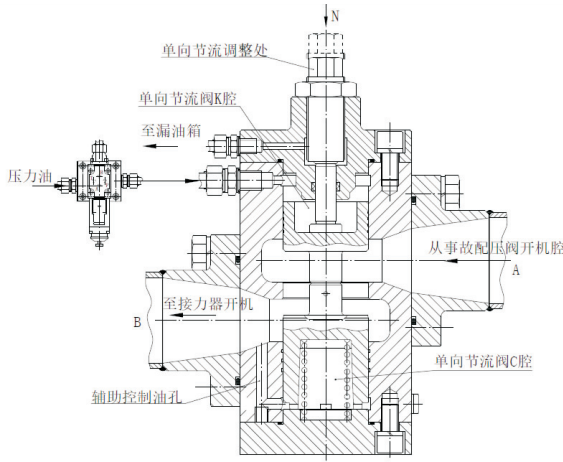


图 3 分段关闭装置结构

Fig. 3 Step-closure device structure drawing

分析可知,当事故配压阀动作后,因为压力管路 P1 内的液压油流速变快,使分段关闭装置的控制压力油压力降低,在接力器关闭过程中就会出现分段关闭的单向节流阀误动,接力器关闭时间变长,由最初调整的 12 s 变为 20 s,导致水轮发电机组转速持续升高^[5]。

4 处理措施及效果

4.1 处理措施

分析确定该液压系统在管路连接和液压回路设计中存在缺陷,有两种方法可解决事故配压阀动作引起分段关闭装置误动的问题:①加大单向节流阀 K 腔受力面积,使相同的压力作用下其所做的功增大,当 K 腔的受力大于 C 腔时,单向节流阀的活塞持续保持在复归位置。②更改分段关闭装置的控制压力油取油口位置,将其压力油管直接接至水轮机调速器系统的储能罐上。由于设备已经安装到位,施工现场缺少车床等工具,且从分段关闭装置的结构及控制原理来讲,其结构、工艺及控制方式不存在缺陷,从而排除第一种方法。最终选择第二种方法,更改取油口。将分段关闭控制压力油管从事事故配压阀主压力油管上割下并封堵主压力油管上的开孔,调速器系统储能罐在设计制造过程中已经预留有备用的取压接口,将分段关闭压力油管延长并接至储能罐备用接口^[6]。

4.2 效果测试

更改完分段关闭控制压力油管的取油位置后,重新测试水轮机调速器系统导叶关闭时间见表 1。首先在无水情况下通过调速器手动操作阀及紧急停机电磁阀测量利用调速器主配压阀关闭水轮机导叶的时间,其关闭时间为 12.3 s;然后将调速器电气调节器切至电手动控制模式,通过比例伺服阀控制调速器主配压阀关闭水轮机导叶,

表 1 导叶关闭时间
Tab. 1 Gate closing time

序号	测试条件	执行机构	起始导叶开度/%	结束导叶开度/%	关闭时间/s
1	无水测试	机手动操作	99.99	0.00	12.3
2		紧急停机电磁阀	99.99	0.00	12.3
3		比例伺服阀	99.99	0.00	12.5
4		事故配压阀	99.99	0.00	12.5
5		事故配压阀	99.99	0.00	12.4
6		事故配压阀	99.99	0.00	12.4
7		事故配压阀	99.99	0.00	12.2
8		事故配压阀	99.99	0.00	12.4
9	有水测试	事故配压阀	99.99	0.00	12.5

检测到的关闭时间为 12.5 s。由于主要问题为事故配压阀动作后引起分段关闭装置误动,所以 5 次测试事故配压阀的关闭导叶时间,5 次平均时间为 12.4 s。无水测试的关闭时间与设计时间和调节时间相符。再打开水轮发电机组的尾水闸门和进水闸门,开启发电机并做机组过速试验,通过事故配压阀关闭水轮发电机组。根据关闭曲线计算出有水情况下的关闭时间为 12.5 s。无水和有水试验事故配压阀关闭时间均与整定值相符,导叶关闭曲线未见异常。

5 结论

通过分析某电站调速器系统液压系统图及管路接口、管径、事故配压阀和分段关闭装置动作原理及动作过程,事故配压阀动作后引起分段关闭误动主要是因管道内压力油流速过快导致分段关闭控制压力油管压力降低。重新选择分段关闭装置的控制压力油取油位置后,解决了分段关闭误动问题。在液压系统管路连接和设计过程中,必须考虑管道内压力油流速过快引起分支管路压力降低所造成的后果。

参考文献:

- [1] 孔令义. 大型贯流式水轮机调速器机械液压系统设计[J]. 今日制造与升级, 2022(5): 31-33.
- [2] 蔡卫江, 蔡博宁. 水轮机调速器液压随动系统精细化建模研究[J]. 水电与抽水蓄能, 2021, 7(1): 33-38.
- [3] 颜宁俊, 冯陈, 黄灿成. 水轮机调速器电液随动系统建模及其辨识方法[J]. 水电能源科学, 2019, 37(11): 166-169, 82.
- [4] 杨春霞, 徐顶娥, 祝双桔, 等. 贯流式水轮机流动特性及压力脉动特性研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(7): 154-158, 98.
- [5] 崔伟杰, 李高会, 姚右文, 等. 水电站复杂水道系统水力共振研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(3): 78-81.
- [6] 姬钊, 邹磊. 水电站水轮机调速器的调整与维护[C]// Proceedings of 2022 Shanghai Forum on Engineering Technology and New Materials (ETM2022). 2022: 151-152. DOI: 10. 26914/c. cnkihy. 2022. 040336.

