

蒲石河抽水蓄能电站电气二次设计

郑光伟¹, 张全胜², 牛聚山¹, 杨光华¹, 李军², 彭惊¹

(1. 中水东北勘测设计研究有限责任公司, 吉林 长春 130021;

2. 辽宁蒲石河抽水蓄能有限公司, 辽宁 丹东 118216)

摘要: 蒲石河抽水蓄能电站机电设备采购由国外厂商成套供货转型为国内厂商分散招标。电站采用国产计算机监控系统, 不同厂商设备间接口的协调给电气二次设计提出了新问题, 通过加强接口设计、技术沟通、采用新技术等措施, 保证了监控系统的成功。电气二次设计中, 还优化了励磁整流装置, 改进了发电电动机继电保护控制逻辑回路, 采用了厂用电系统保护测控一体化装置, 选择了合理的蓄电池容量。

关键词: 电气二次; 监控系统; 励磁; 继电保护; 蒲石河抽水蓄能电站

Secondary Electric Design of Pushihe Pumped-storage Power Station

Zheng Guangwei¹, Zhang Quansheng², Niu Jushan¹, Yang Guanghua¹, Li Jun², Peng Liang¹

(1. China Water Northeast Investigation, Design and Research Co., Ltd., Changchun 130021, Jilin, China;

2. Liaoning Pushihe Pumped Storage Power Station Co., Ltd., Dandong 118216, Liaoning, China)

Abstract: The electrical equipments for Pushihe Pumped-storage Power Station are scattered supply by different domestic manufacturers instead of the packaging supply by foreign manufacturers. Because of the adoption of domestic computer monitoring system, the interface coordination between devices from different manufacturers becomes a new problem during secondary electrical design. By improving interface design, enhancing technical communication and using new technologies, the monitoring system is successful. During the secondary electric design, the excitation rectifier is optimized, the logic circuit of motor-generator relay protection is improved, the monitoring-control-protection integral device is used in auxiliary power system and the battery capacity is also reasonable selected.

Key Words: secondary electric; monitoring system; excitation; relay protection; Pushihe Pumped-storage Power Station

中图分类号: TM645.2(231)

文献标识码: B

文章编号: 0559-9342(2012)05-0068-04

蒲石河抽水蓄能电站机电设备采购首次打破了之前完全依赖国外厂商成套供货的局面, 主机、主变、GIS 设备、GCB、500 kV 高压电缆等主要机电设备, 发变组继电保护装置、全厂计算机监控系统等主要二次设备, 均为单独招标采购。分散的招标采购方式。有利于节约设备投资, 但不同厂商设备接口间的协调变得十分复杂。如何以计算机监控系统为核心, 将不同功能的设备连接起来, 形成信息畅通、动作协调、保护完善、运行可靠的现代化电站, 对电气二次设计提出了新挑战, 在实现这个目标的过程中, 形成了蒲石河电气二次设计的新特点。

1 计算机监控系统

1.1 监控系统的选择

抽水蓄能电站工况转换复杂, 启停频繁, 输入

输出信息量大, 一直以来我国大型抽水蓄能电站的监控系统均由国外主机厂商成套供货。

经过调查研究, 总结抽水蓄能电站采用国外计算机监控系统的经验和教训, 针对国外监控系统在关键技术、备品备件、安装调试存在的问题, 结合蒲石河机电设备分散招标采购的特点, 提出监控系统单独招标, 并大胆采用了南瑞集团公司研制的以 MB80 智能可编程控制器为核心的 EC-2000 监控系统。采用南瑞监控系统最大的优势是接口协调比较容易, 经过精心研究监控系统配置和功能, 研究被控对象的监控要求, 通信接口方案。优化输入、输

收稿日期: 2012-03-05

作者简介: 郑光伟(1952—), 男, 吉林长春人, 教授级高工, 从事水电工程设计和管理工作。

出信息的内容及数量,并审查了阿尔斯通主机控制流程,根据主变、GIS设备、厂用设备、公用设备的监控要求,提出了蒲石河电站监控策略和控制流程。如主变空载供水泵控制策略;4台中压空压机随9台中压储气罐压力变化启停控制策略;断路器、隔离刀闸、接地刀闸的控制及闭锁策略;机组测温元件报警、跳闸判别策略等。

蒲石河电站4号机组经过安装调试,顺利投产发电。国产化监控系统接口能力强、编程灵活、人机界面友好。降低了监控系统设备投资和维护成本,促进了民族工业的发展。

1.2 监控系统测温方案

阿尔斯通要求机组所有RTD测温点都作用于跳闸、停机,总数近百点,超过国内厂商数倍。扩大参与跳闸的RTD点数,对于保证机组安全运行有利,但同时增加了误动的几率。为了防止RTD误跳闸,国内厂商曾采用过一些措施,但都存在某些不足,例如“3取2”判断法,不适用于测点少的部位;“延时滤波”法会使保护的实时性变差;“升温速率限值”及“合理上限值判断”需要根据运行经验确定限值。

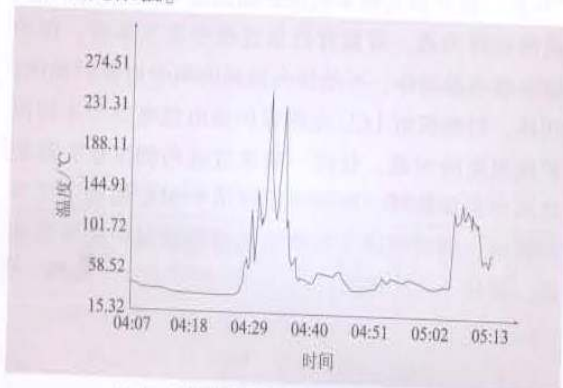


图1 4号机组下导瓦5号RTD测温曲线

图1为蒲石河2011年12月15日4号发电电动机下导轴瓦5号测温电阻的温度变化曲线。该RTD测温电阻由于引线接触不良,电阻呈脉冲变化态,既不是短路,也不是断线,监控检测到的温度值高达252.9°C,越限时间可达数分钟,测控装置的RTD断线闭锁措施和延时滤波都毫无作用;测温曲线有时刚好超过跳闸限值,合理上限值判断法不起作用。为此,我们提出“动态上升率”防止温度跃变的判断法,表达式为:(当前温度-4s前温度) < (2s前温度-6s前温度)*3+0.5)。该逻辑为“每4s的温度爬升率小于2s之前的温度爬升率的3倍”。也就是说,监控系统总是不断以当前温度上升率(相对前4s)与前2s温度上升率(相对前6s)相比较,如果超过一定限值(例如3倍),则判为错误信息,立即闭锁该点输出,报警。直到机组停下后

退出闭锁。如果同一点多次发生温度爬升率异常升高的情况,可考虑对该点进行检修。该方案优点是上升率的限值是动态的,轴瓦故障时,即使测点升温很快也不会被闭锁,直至报警、跳闸;若测点本体故障,即使温度在报警线以下,只要检测到变化率不正常,就可将测点退出。“动态上升率”建模编程投入后,效果很好。

2 励磁系统

2.1 励磁整流装置优化

蒲石河励磁系统由外商阿尔斯通供货。励磁装置是保障发电电动机安全可靠运行的重要部件之一,近年来,国外引进的励磁系统时有严重故障发生,造成重大损失。由于国内与国外厂商对励磁装置参数设计有一定差异,为保证蒲石河电站发电电动机可靠运行,我们按照国内相关标准和计算方法对励磁变压器、交直流断路器、整流元件、灭磁电阻等关键设备的参数进行计算复核。发现励磁整流装置选用平均导通电流为1350A的晶闸管容量偏小,当一桥故障退出时不能满足励磁系统强励运行的要求。经与阿尔斯通交涉后,将晶闸管改为BISD-210H,平均导通电流为2115A,满足运行需要。

2.2 磁场断路器选择

经计算励磁断路器开断弧压不能满足运行要求,原因是ALSTOM在选择磁场断路器常开接点最大断开电压时,没有考虑发电机空载误强励中励磁整流装置可能输出的高电压。励磁事故分析发现:电机空载误强励机端电压升到1.5倍额定值,并考虑峰值,励磁整流装置失控误强励输出励磁电压峰值

$$E_{dq} = U_{2n} \times 1.414 \times 1.5 \times 0.9 = 640 \times 1.5 \times 1.414 \times 0.9 = 1222 \text{ V}$$

励磁整流装置输出误强励励磁电流值是3倍额定励磁电流值,即

$$I_{qf} = 3I_{fn} = 3 \times 1713 = 5139 \text{ A}$$

灭磁初瞬向SiC灭磁电阻立即转移上述全部励磁电流所需要的转子反向电压

$$U_{rm} = C I_{qf}^2 = 194.33 \times (5139/38)^{0.4342} = 1636 \text{ V}$$

式中,C为系数,应采用最大值,这里取ALSTOM计算式中的C值194.33。按“ANSI/IEEE C37.18标准”要求的磁场断路器的最大遮断电压即最大断流弧压 $U_{brn} \geq U_{rm} + E_{dq}$,即 $U_{brn} \geq 1636 + 1222 = 2858 \text{ V}$ 。

但实际上,阿尔斯通为蒲石河发电电动机选用的磁场断路器CEX71-2000是2极跳闸,最大遮断电压 U_{brn} 为1200/1500V,远小于应有值2858V,安全裕度系数 $k_2 = (1200/1500) \div 2858 = 0.420/0.525$ 。而且,最大遮断电压1500V,还小于励磁整流装置失控误强励时SiC灭磁电阻上通过3倍额定

励磁电流值时的电压峰值 1 636 V，也就是说发生这种严重事故灭磁初瞬，在较长时间内转子电压不能反向使磁场断路器触头中的励磁电流快速转移到 SiC 电阻中去，很可能发生烧毁磁场断路器甚至整套励磁盘的可能，显然这是十分不安全的。经与阿尔斯通供货商沟通，将蒲石河机组磁场断路器改为 CEX06-2000-4.2，开断电压为 3 000 V，满足机组各种工况安全运行要求。

3 发电电动机继电保护控制逻辑回路的改进

3.1 继电保护运行工况逻辑的设计

抽水蓄能电站运行工况复杂，不同运行工况需要配置不同的继电保护、需要不同的定值，以及不同的保护跳闸输出。目前传统的做法是由计算机监控系统提供运行工况条件或外部搭接逻辑实现保护投入和闭锁功能。由于继电保护对可靠性的要求远大于监控系统，在事故情况下，需要继电保护 100%可靠动作，而监控系统很难满足这一要求。为使继电保护不依赖监控独立运行，蒲石河抽水蓄能电站与西门子公司合作，利用供货的保护装置本身具有的开关量输入通道及逻辑编程功能，将发电机出口断路器 Q0、被拖动开关 Q91、拖动开关 Q92、换相开关 Q9、短路开关 Q6、中性点接地开关 QE、导叶位置开关等状态信号，经过逻辑组合，编制出抽水运行工况、抽水调相工况、发电运行工况、发电调相工况、电气制动工况、抽水启动工况等。图 2 是几种工况的逻辑关系式，图中所定义的工况可能不完全反映机组实际工况，但能够涵盖机组的运行工况，装置用于投入或闭锁保护，运行准确无误，简单、可靠、实用。图 3 是利用上述工况设计的保护投入或闭锁逻辑图。



图 2 工况条件逻辑图

3.2 水泵启动工况继电保护跳闸逻辑改进

发电机在背靠背启动过程中发生故障时，由于处于低频状态，连接两台机组的断路器因低频闭锁不能分闸，如果单独分开一台发电机的磁场断路器，又会造成发电电动机失磁，为此，我们考虑用同时启动两台机保护跳闸矩阵，使两台机磁场断路器同时跳闸灭磁，随即使两台机解列。



图 3 保护投入或闭锁逻辑图

要保证两台机的磁场断路器同时跳开，这就需要通过硬接线下发跳闸命令。由于两台机组背靠背启动时，拖动、被拖动组合较多，硬接跳闸逻辑将十分复杂。我们与西门子公司合作，利用保护装置的跳闸矩阵及机组 LCU 功能，设计了一套简易控制回路，动作逻辑接线如图 4 所示：该方案的基本思路是机组继电保护屏增加 1 个低频保护出口继电器，该继电器 4 付常开接点分别与机组 LCU 的 4 个开闭点串联。当机组背靠背启动时，机组 LCU 可通过“开出”接点预先将本机保护输出继电器与对侧保护跳闸矩阵沟通。背靠背启动过程中发生事故，保护输出继电器动作，可使预先沟通的两个对象同跳闸；同样，对侧机组 LCU 也将保护输出继电器与本侧保护跳闸矩阵沟通。任何一侧事故或两侧事故，都能将两侧可靠跳开。该方案还可用于 SFC 拖动工况事故跳闸，同时解决了低频启动时机械保护跳闸的难题。简化了二次接线。

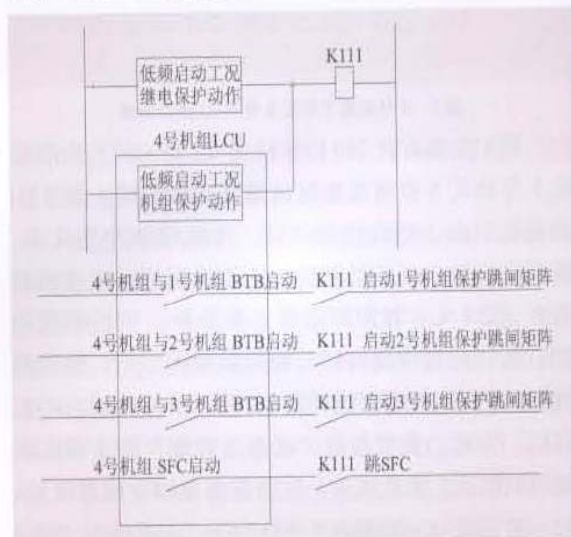


图 4 4号机组低频启动工况下保护跳闸逻辑图

4 四合一厂用电保护测控、可编程自备投装置应用

蒲石河厂用电采用 10、0.4 kV 两级电压，系统

接线复杂。厂用电保护测控采用具有遥信、遥测、遥控及保护功能的四合一保护测控一体化装置,分散布置在配电柜上,通过100 Mb 光纤连接到保护管理机,再与全厂监控系统接口。与常规硬接线连接方案相比,全厂计算机监控系统节约几十台多功能表;节约上百个开关量输入通道和几十个开关量输出通道;节约了大量保护、控制、信号电缆。

蒲石河厂用电3段10 kV 厂用母线;4段0.4 kV 自用电母线;4段0.4 kV 公用母线。之间的备自投关系十分复杂,运行方式多达十几种。用微机备自投装置难以满足备自投功能,因此采用法国施耐德公司可编程序控制器,实现可编程序备用电源自动投入控制。实现各种工况下10 kV 三段母线、0.4 kV 四段母线备自投;实现10 kV 母线、0.4 kV 母线上下级之间的合理配合,正确投入;当10 kV 三个电源完全消失时,可编程序备自投装置能自动切除10 kV 母线、0.4 kV 母线上的次要负荷断路器,保留全厂重要负荷及黑启动机组负荷断路器,然后向监控系统发信号,自动启动800 kW 柴油发电机组,逐级恢复厂用电源,保证全厂重要负荷及黑启动机组的供电。

5 蓄电池容量选择

由于抽水蓄能电站控制系统对供电可靠性要求较高,又由于抽水蓄能电站通常具有黑启动功能,蒲石河抽水蓄能电站主厂房蓄电池的容量最初选为 $4.32 \times 10^6 \text{ C}$ ($1\ 200 \text{ A} \cdot \text{h}$)。施工设计中,遵照DL/T 50044—2004《电力工程直流系统设计技术规程》,对直流设备参数进行了计算。对直流负荷进行统计分析时,我们发现:微型控制保护装置耗电量仅是电磁式的几分之一,经常负荷电流很小;新型断路器采用电动机储能,合分闸操作电流都较小;由于电气一次增加了柴油发电机组及专用事故照明装置,事故放电负荷主要是为控制、仪表、计算机工作站供电的逆变电源设备,事故放电容量不大。随机放电容量主要是机组黑启动所需直流润滑油泵机电源(7.5 kW 降压启动)、励磁系统启动电源(100 A)。我们使用“电压控制法”及“阶梯计算法”对蓄电池容量进行计算。计算出的蓄电池容量远小于 $4.32 \times 10^6 \text{ C}$ ($1\ 200 \text{ A} \cdot \text{h}$),考虑必要的备用容量后,最终确定取 $2.88 \times 10^6 \text{ C}$ ($800 \text{ A} \cdot \text{h}$)。

(责任编辑 高瑜)

(上接第30页)

表2 上水库库周渗漏参数与计算结果

分段	桩号	透水率/Lu	渗径L/m	水头差H/m	渗透系数K/ $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	计算宽度B/m	含水层厚度T/m	渗漏量Q/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
1	1+889~1+914	8.9	240	22.0	0.178	25	30.85	12.58
2	F ₀ 断层	—	225	22.0	2.750	20	40.00	215.11
3	1+914~1+968	8.9	225	22.0	0.178	34	34.97	20.69
4	1+968~2+124	8.9	250	27.0	0.178	156	32.11	96.30
5	F ₁	—	220	22.0	2.750	26	60.00	429.00
6	2+124~2+220	8.9	325	51.0	0.178	70	51.94	101.56
7	2+220~2+695	16.0	200	45.4	0.320	445	29.69	959.72
8	F ₁₀	—	200	45.4	2.000	10	15.00	68.10
9	2+695~2+739	12.0	300	45.4	0.240	34	40.60	50.14
10	2+739~2+974	12.0	240	45.4	0.240	235	29.55	315.27
11	3+020~3+210	8.9	300	44.0	0.178	190	30.06	149.11
12	3+210~3+525.6	11.3	300	44.0	0.226	315.6	39.00	408.70

注:桩号0+000起始点为库周水文剖面ZK130号孔孔位。

表3 上水库绕坝渗漏参数

分段	桩号	T/m	H/m	Hx/m	B/m	K/ $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	r/m	$\Delta H/(H_1+2T-H_x+\Delta H)/\text{m}$	
左岸	0~24.7~0+75.0	19.3	392	360	96	0.22	1.91	27	97.6
右岸	3+525.6~3+675.5	18.7	392	360	130	0.23	1.91	17	86.4

注:桩号0+000起始点为库周水文剖面ZK130号孔孔位。

4 结语

现阶段对上水库分水岭渗漏分析,各种因素考虑得比较全面,大体上能够反映实际情况,但仍存在着以下问题需进一步研究解决:

(1) 为计算方便,含水层按均质、各向同性裂隙介质问题处理,而实际情况中地下水的渗漏多数是受构造控制的,各向差异较大。

(2) 计算时分水岭的地下水位都是按照正常高水位392 m考虑的,没有考虑水库运行工况下库水位变幅的问题,也就是说,长期运行时分水岭的实际地下水位是多少暂时还是未知的。

(3) 分水岭在20世纪90年代勘探时长观孔甚少,资料多已不全,因此水文地质剖面上勘探的地下水位都不是同一天的,时间、季节差异较大。所以,分析时用现阶段长观孔同一天的地下水位与勘探时的地下水位进行比较,不能完全真实地反应地下水位的升、降问题。

(4) 西、南库岸接触部位长观孔间距较大,期间地下水位取值与实际可能有一定误差。

(责任编辑 陈萍)