

500kV 变电站电气一次部分及其监控系统设计

白鑫龙

(兰州理工大学 机电学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:变电站电气一次部分的合理设计和稳定运行直接影响变电站电气系统的工作性能,结合 500kV 超高压枢纽变电站系统的特点,对变电站电气一次部分及其监控系统进行设计研究。依据电气一次部分的主接线设计原则和实现功能,比较双母线双分段带旁路接线和 3/2 断路器接线设计,确定出主接线设计方案。在此基础上,设计了基于可编程逻辑控制器 PLC(Programmable Logic Controller)与组态软件的电气一次部分监控系统。调试和运行表明,监控系统实现了变电站一次部分设备状态及参数的监测和控制,保障了系统的可靠性,提高了变电站自动化和智能化水平。

关键词:变电站;电气一次部分;主接线设计;监控系统;可编程逻辑控制器(PLC);组态软件

中图分类号: TM 711

随着我国经济建设的高速发展,能源需求的不断扩大,输变电工程电压等级不断升高,电网结构日趋复杂,电网实时信息传送量成倍增多,对电网运行的可靠性要求也越来越高,变电站运行的可靠性成为变电站设计的重要目标^[1]。

变电站设计保证运行的可靠性主要从两个方面实现:一是变电站电气一次部分的合理设计^[2]。电气主接线设计是电气一次部分设计的首要部分,主接线形式直接影响变电站本身及电力系统的可靠性、灵活性和经济性,并且对电气设备的选择、继电保护和控制方式有较大的影响,因此,合理确定主接线形式具有重要的意义;二是变电站监控设计^[3]。实时监控变电站设备和各类数据,能及时发现和排除系统出现的故障,有效保持电网运行的安全性和可靠性。因此,以 500kV 变电站为例,研究设计变电站电气一次部分主接线及其监控系统。对进一步提高变电站电气一次部分及其监控系统优化设计应用以及更高电压等级变电站的电气系统设计应用水平具有一定的借鉴意义。

1 变电站电气一次部分设计

以 500kV 枢纽变电站为例说明电气一次部分设计。500kV 超高压变电站容量大、电压高、出线回路数多,是电力输送的枢纽性变电站。该枢纽变电站包含 500kV 进线四回,线路长度分别为 200km(2 回)与 300km(2 回)属于四个独立电源;110kV 馈出线 8 回,距负荷端分别为:40km(2 回)、50km(2 回)、60km(2 回)、70km(2 回)。变电站安装主变四

台(4×370MVA),系统按照无穷大考虑。

1.1 主接线设计

变电站电气一次部分的设计主要是主接线的设计。主接线是由高压电气设备通过连接线组成的接受和分配电能的电路,它反映各电气设备的作用、连接方式和各回路间的相互关系,构成了变电站电气部分的主体。主接线是电力系统按接线组成中的一个重要部分,它的确定直接影响着电力系统的安全、稳定、灵活以及配电装置的布置、继电保护的配置、自动装置和控制方式的选择,因此,它的设计必须满足工作可靠、调度灵活、运行检修方便且具有经济性和发展的可能性等要求^[1,2]。下面对两个接线设计方案^[4]进行分析比较。

方案 1:采用双母线双分段带旁路接线

双母线分段带旁路接线就是在双母线带旁路接线的基础上,在母线上增设分段断路器,它具有双母线带旁路的优点,但投资费用较大,占用设备间隔较多,一般采用此种接线的原则为:

(1)当设备连接的进出线总数为 12~16 回时,在一组母线上设置分段断路器;

(2)当设备连接的进出线总数为 17 回及以上时,在两组母线上设置分段断路器。

方案 2:采用 3/2 断路器接线

3/2 断路器接线就是在每 3 个断路器中间送出 2 回回路,一般只用于 500kV 电网的母线主接线。它的主要优点是:

(1)运行调度灵活,正常时两条母线和全部断路器运行,成多路环状供电;

(2)检修时操作方便,当一组母线停支时,回路不需要切换,任一台断路器检修,各回路仍按原接线方式运行,不需切换;

(3)运行可靠,每一回路由两台断路器供电,母线发生故障时,任何回路都不停电。

3/2断路器接线的缺点是使用设备较多,特别是断路器和电流互感器,投资费用大,保护接线复杂。

比较两种主接线设计方案的可靠性和经济性,3/2断路器接线在最严重的故障方式下,停电元件较少,当一组母线发生故障时,没有元件停电,即使是在一组母线检修,另一组母线故障的情况下,也没有元件停电,隔离开关操作简单,调度运行灵活,可靠性高。在投资方面,当元件数在6~10个时,与双母线双分段带旁路接线相比是经济的;当元件多于10个时,3/2断路器接线投资增大,但投资也远比系统不可靠造成重大事故的经济损失小。所以,本设计选用方案2。

1.2 主变压器容量选择

变压器容量的选择至关重要,容量选择小了,不满足负荷增长的要求。容量选择大了,变压器空载

损耗大,起不到降低损耗的要求。因此,变电所主变压器的容量一般按变电所建成后5~10年的规划负荷考虑,并按按照其中一台停用时其余变压器能满足变电所最大负荷 S_{max} 的60%~70%选择。变电站主变压器容量为370MVA,型号选择SFPZ-370000/500^[5]的变压器。

1.3 电气设备选择

1.3.1 母线选择

母线选择时,要首先选择母线的材料,500kV电压等级,一般选择钢芯铝绞线,然后按经济电流密度选择母线截面,选择满足母线截面要求的母线型号,按最小截面法校验母线的热稳定和电晕条件校验母线的临界电晕电压,最终确定母线的型号。母线选择LGJQT-1400mm²型钢芯铝绞线。

1.3.2 500kV断路器的选择

依据断路器装设地点和构造类型,选择户外式少油断路器,由额定电压选择 $U_e \geq 500\text{kV}$;额定电流选择 $I_e \geq 897.22\text{A}$;额定开断电流选择 $I_{ku} \geq I_{li} = I' = I_k = 2202\text{kA}$ 。查《电力工程设计手册》选用LW12-500^[5]型户外式少油断路器,见表1。

表1 LW12-500型户外式少油断路器主要技术参数

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	极限通过电流(kA)		固有分闸时间 (ms)	5秒热稳定电流 (kA)
				峰值	有效值		
LW12-500	500	4000	63	160	125	20	63

校验:额定电压: $U_e = 500\text{kV} = U_N$;额定电流: $I_e = 4000\text{A} > 897.22\text{A}$ 。

1)额定开断电流校验:

500kV母线短路次暂态电流 $I_k^{(3)} = 12.64\text{kA}$

LW12-500断路器的额定开断电流为 $63\text{kA} >$

12.64kA 符合要求。

2)动稳定校验:

500kV母线短路冲击电流: $I_{sh} = 32.232\text{kA}$;

LW12-500断路器的极限通过电流: $I_{li} = 125\text{kA}$, $I_{sh} < I_{li}$ 符合动稳定要求。

3)热稳定校验:

设后备保护时间为 1.9s 根据所选断路器的参数可知,其断路器的固有分闸时间为 0.02s 选择的熄弧时间为 $t = 0.03\text{s}$

则设备短路时的持续时间为: $t = 1.9\text{s} + 0.03\text{s} + 0.02\text{s} = 1.95\text{s}$

短路时的热效应: $Q_{K500} = I_k^{(3)} \cdot t = (12.64\text{kA})^2 \times 1.95\text{s} = 31.55\text{kA}^2 \cdot \text{s}$ 允许的热效应: $Q'_{K500} = (63\text{kA})^2 \times 5\text{s} = 19845\text{kA}^2 \cdot \text{s} > Q_{K500}$ 。所以,该断路器满足热稳定性的要求。其余断路器选择方法与500kV断路器方法类似。

1.3.3 110kV侧隔离开关的选择

1)为保证电气设备和母线检修安全,选择隔离开关带接地刀闸。

2)该隔离开关安装在户外,故选择户外式。

3)该回路额定电压为110kV,因此,所选的隔离开关额定电压 $U_e \geq 110\text{kV}$,且隔离开关的额定电流大于流过断路器的最大持续电流897.22A。

4)所以,选择GW4-110/1000^[6]型单接地高压隔离开关主要技术参数,见表2。

表2 GW4-110/1000型单接地高压隔离开关主要技术参数

型号	额定电压(kV)	额定电流(A)	极限通过电流峰值(kA)	4s热稳定电流(kA)
GW4-110/1000	110	1000	80	25

2 监控系统设计

变电站电气一次部分监控系统的设计对电网安全稳定运行,降低变电站造价两方面起着重要的作用^[7]。应用于变电站的监测系统应在信息技术和通讯技术的协助之下,实时监测变电站电气一次部分设备的状态和运行数据,在获取相关信息后,应对监控信息进行必要分析,并以图表显示、音响通知等直观的形式提交到监控终端,为管理者和运行人员的决策提供直观的依据。

2.1 系统的整体结构和功能

监控系统的整体结构,如图 1 所示。该系统设计为 3 个层次:第 1 层为上位机,由变电站控制计算机和组态软件构成,设计为双机冗余,位于监控中心;第 2 层为 PLC,选用西门子 S7-300 系列的产品,设计为软冗余,安装于现场的控制室;第 3 层为现场设备,包括断路器、隔离开关等设备状态监控及电压、电流等参数监控。变电站监控计算机通过普通网卡连接到以太网,PLC 通过以太网通信模块连接以太网,采用 TCP/IP 协议完成二者之间的通信。

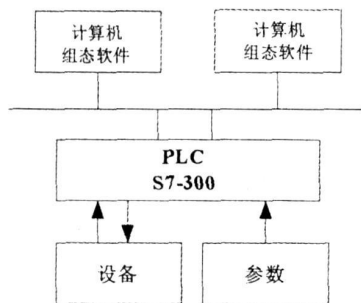


图 1 监控系统结构

PLC 负责监控设备状态的反馈数据,采集参数信息,根据上位机发出的指令和自身的控制程序控制设备。上位机安装组态软件,通过与 PLC 交换数据,对设备的状态进行实时监控,并发控制命令给 PLC 进而对设备进行控制。同时,该系统使用了冗余结构。组态软件支持控制设备冗余、网络冗余、上位机冗余等多种冗余模式。在监控系统中,两台上位机一台做主站控制,一台做从站控制,正常工作时只有主站和 PLC 通信,从站的数据通过主站来进行备份和同步,如果主站出现故障,从站将接管主站的工作,当主站恢复后,通过自动或手动方式切换回来。组态软件对 PLC 的冗余结构提供了有效地支持,正常时与 PLC 主系统进行通信,当主系统故障时,PLC 的控制任务由主系统切换到备用系统,组态软件也会根据冗余切换标识断开与主系统的通信,

然后与备用控制系统进行通信,保证了切换的准确及时。

2.2 PLC 的选择和设计

PLC 的高可靠性和稳定性适合于实时控制,编程方式简单,可以用指令或是梯形图来进行编程。因此,选用 PLC 来实现变电站电气一次部分监控。在选择 PLC^[8-10]的型号和配置时,要分析控制对象,对 I/O 的点数进行统计,还需在实际 I/O 点数的基础上留出 20%~30%的备用量,使系统具备扩展能力。分析该系统的控制任务,选用西门子公司的 S7-300^[11]系列产品能满足控制系统的要求,S7-300 采用模块化结构,运行速度快,各种模块可进行广泛的组合,实现控制功能。

PLC 系统模块选型^[8]为:CPU 模块选择 CPU315-2 DP,该新型 CPU 集成一个 PROFINET 接口,支持 TCP/IP 协议,能较容易地和包括 IPC 在内的其它支持以太网的设备之间自由通信。数字量输入模块选择 SM321 (DI 32 x DC24V),数字量输出模块选择 SM322 (DO 32 x DC24V/0.5A),模拟量输入模块选择 SM331 (DO 32 x DC24V/0.5A),电源模块选择 PS307 10A,接口模块选择 M360/361。

2.3 组态软件的设计

组态软件是指一些数据采集与过程控制的专用软件,它们是在自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境,使用灵活的组态方式,为用户提供快速构建自动控制系统监控功能的、通用层次的软件工具。

为监控变电站一次部分设备和参数采用“组态王”^[12]进行人机界面的工程设计。设计步骤:(1)设计图形界面,建立 PLC 设备;(2)创建实时数据库,使检测数据点与 PLC 中的数据对应起来。这些数据包括 PLC 采集的变电站监控数据和组态软件写入 PLC 的命令标志位;(3)制作图形界面,用于显示设备的工作状态和报警信号的状态,显示操作按钮;(4)动画连接。建立图形和数据的对应关系,使图形随着数据的变化而改变其外观,可用于发出声光报警;(5)动作脚本。对设备进行控制时,按下操作按钮引发鼠标事件,执行脚本程序,将相应的标志位置位等。

2.4 组态软件与 PLC 的通信

组态王软件与 S7-300 PLC 通信有专门的驱动程序^[10],用户不必熟悉二者之间的通信协议,在 PLC 中也无需进行任何的编程和网络设置,即可实现二者的通信。

该系统面临的主要问题是将 PLC 设计为软冗余结构,当 PLC 的工作由主 CPU 切换至备用 CPU 时,组态软件必须切换到正确的通信对象,进而保证数据交换。为实现这一功能,在组态软件设计图形界面,建立 PLC 设备时中,需要进行合理的设备配置,建立 PLC 设备后,在实时数据库中定义一个数据点,作为冗余切换标志,数据类型选择为“冗余切换标志”,默认处理为 16 位无符号数,正常状态下这个点的值为 0,当它的值为 1 时,组态软件会根据

这个值切换至 PLC 的另一 IP 地址,切换后,数据点的值将自动清零。

3 运行和调试

组态王工程建立后,对监控系统运行和调试。进入组态王运行系统,选择“500kV 变电站监控”,显示出组态王运行系统画面,即可看到界面图形随所监测设备状态和参数的变化而变化,如图 2 所示。

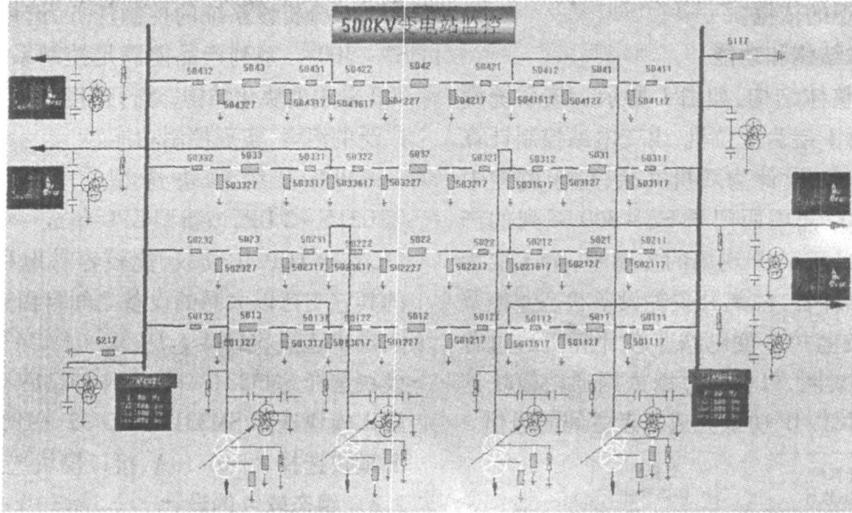


图 2 监控画面

4 结论

变电站电气一次部分主接线设计的稳定性、可靠性直接影响整个变电站电气系统的工作安全性,本论文研究设计 500kV 电气一次部分主接线,满足设计技术要求,可靠、经济、灵活。其设计与主要设备选择方法对于其它电压等级的变电站具有一定借鉴和指导意义,在理论和实践上具有推广应用价值。

变电站电气一次部分监控系统设计的目标是监测设备运行状态,发现事故隐患,能够通过对相关数据的分析,迅速查明引发事故或障碍原因,及时排查,将损失减少到最小。调试和运行表明,本文设计的基于 PLC 和组态软件的变电站电气一次部分监控系统,能够实现对设备运行过程和状态的监控,有效地提高了系统的自动化水平。监控软件功能齐全,人机界面友好,使用方便。

参考文献:

- [1] 石改萍. 4 台主变时 500kV 电气主接线设计分析 [J]. 中国电力教育, 2009, 147-149.
- [2] 黎红梅, 苑舜. 变电所电气主接线可靠性分析方法研

究 [J]. 东北电力技术, 2008(1): 15-17, 22

- [3] 谢庆华. 变电站自动化监控系统的应用 [J]. 电气技术, 2007(3): 92-94.
- [4] 宋继成. 220~500kV 变电所接线设计 [M]. 中国电力出版社.
- [5] 电力工程电气设计手册 (电气一次部分、电气二次部分) [M]. 水利电力出版社, 1990.
- [6] 电力工程电气设备手册 (电气一次部分) [M]. 中国电力出版社, 1998.
- [7] 万芳, 王文, 张弓, 等. 变电站监控系统中控制功能的正确性设计与分析 [J]. 电网技术, 2004, 28(12): 42-45, 49.
- [8] 王兆明. 电气控制与 PLC 技术 [M]. 北京, 机械工业出版社, 2005.
- [9] 崔统雷, 李大中, 崔月甫, 等. 城市供水 PLC 监控系统设计与实现 [J]. 2010, 32(7): 80-82.
- [10] 车秀波, 车一曼, 陈曦. 基于 PLC 和组态软件的油库罐区监控系统 [J]. 自动化应用, 2010(1): 10-12.
- [11] 西门子. S7-300 选型手册 [Z]. 2003.
- [12] 亚控科技. 组态王 6.01 软件使用手册 [Z]. 2003.