

紧凑型箱式变电站及其智能化的实现

张建忠¹, 程明¹, 潘苏平²

(1. 东南大学电气工程系, 江苏 南京 210096; 2. 张家港市苏源金和开关有限公司, 江苏 张家港 215600)

Compact Prefabricated Substation and Its Improvement Using Intelligent Control Technology

ZHANG Jian-zhong, CHENG Ming, PAN Su-ping

(1. Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Zhangjiagang Suyuan-Jinhe Switch Co., Ltd, Zhangjiagang 215600, China)

摘要: 紧凑型箱式变电站是在综合了美式箱变和欧式箱变的基础上发展起来的。笔者首先分析了美式箱变和欧式箱变的主要缺点, 提出了紧凑型箱式变电站的两种改进方式, 最后探讨了实现紧凑型箱式变电站智能化的方案。

关键词: 箱式变电站; 紧凑型; 智能化

中图分类号: TM631.2

文献标识码: A

Abstract: Compact prefabricated substation has been developed based on the American-type and the European-type prefabricated substation. This paper analyzes main shortcomings of the two type prefabricated substations, and presents two approaches for improvement. The scheme to realize intelligent compact prefabricated substation is discussed.

Key words: prefabricated substation; compact; intelligent

1 引言

箱式变电站是一种由高压开关设备、电力变压器、低压开关设备、功率因数补偿装置、电能计量装置组合为一体的成套配电装置。由于箱式变电站在工厂内由卖方预制好, 因此大大节省了建设时间和资金, 减少了维护费用, 节约了占地面积。随着市政建设现代化进程的加快, 将 10 kV 架空线转入地下, 已成为近几年配电网改造的一个热点, 而大量 10 kV 架空线改为地下敷设的电缆, 势必淘汰过去常用的柱上变压器, 箱式变电站正是在这一背景下获得了空前发展。据报道, 美国箱变产量占到配电变压器产量的 80% 以上, 而我国尽管经过最近几年的发展, 箱变所占比例仍远低于这一水平, 因此箱式变电站的发展空间依旧很大^[1]。

2 传统箱式变电站的分类及不足

传统箱式变电站按结构分主要有美式箱变和欧式箱变。

我国自 20 世纪 70 年代后期引进欧式箱变, 由于当时 SF₆ 开关和干式变压器技术均不成熟, 这类箱变采用普通的负荷开关、熔断器和低压柜, 使用带有油枕的油浸变压器, 因此箱变体积很大。这种箱变存在较大缺点, 一方面体积大、占地面积大, 限制了欧式箱变在诸如城市街道等狭窄地区的使用; 另一方面欧式箱变的金属外壳在南方夏季高温日照之下也将大大影响变压器出力, 这些因素致使箱变在我国配电网中的推广应用十分缓慢。

从 90 年代起, 我国引进美式箱变, 该箱变将负荷开关、环网开关和熔断器结构简化放入变压器油箱内, 和变压器一起浸在油中, 以油作为绝缘、散热和灭弧介质, 变压器油箱及散热器直接暴露在空气中, 散热效果很好, 占地面积很小, 造价低。但美式箱变将高压电器元件与变压器共装于一个油箱体内, 负荷开关及熔断器动作时产生电弧, 使变压器油炭化、变质, 污染整个油箱, 降低了变压器的绝缘性能、缩短了使用寿命^[2]; 另外变压器正常工作时由于损耗产生的变压器油温升高将大大影响负荷开关和高压熔断器的正常运行, 而且美式箱变所配置的手动环网负荷开关无法实现配网自动化所要求的具备自动投切功能, 所以要达到箱变的全绝缘、全密封、免维护和实现配网自动化, 必须要在美式箱变的基础之上进行改进。

3 紧凑型箱式变电站的概念及改进方式

针对美式箱变和欧式箱变在我国应用的实际情况, 近几年出现了一种综合上述两种箱式变电站优点的新型箱变——紧凑型箱式变电站。

紧凑型箱式变电站是指那些取消了美式箱变的高压元件与变压器共箱结构, 采用欧式箱变具有的高压开关柜来实现高压侧元件与变压器的相分离, 同时又具有美式箱变的体积小、造价低等优点的新型箱式变电站。同目前存在的两种主流箱变的现状

相对应,紧凑型箱式变电站可以分为基于欧式箱变和美式箱变两种改进方式,由此紧凑型箱变存在两种明显不同的结构型式。

事实上紧凑型箱变只是相对于欧式箱变来说实现了紧凑化,因此许多公司推出的紧凑型箱变是在欧式箱变基础上改进实现的,这种改进着重于下面几方面:

(1)解决散热问题和加强通风设计^[3]。箱变中的变压器安装在一个狭小的空间内,运行中产生的热量很难散发出去,再加之室外阳光的辐射更导致了变压器的温升增高,从而限制了箱变的体积进一步缩小。解决办法是要降低箱变中最主要热量来源,即变压器的自身发热,采用低损耗的变压器,如非晶合金变压器是一行之有效的方法,小容量箱变(500 kV·A 以下)一般采用自然冷却通风,对于大容量箱变要使用强迫通风。

(2)采用非金属或新型材料外壳设计以最大程度阻止阳光辐射对箱变的影响,也有公司提出了箱变的园林景观设计,以求与自然环境的协调。

(3)采用国内目前市场上成熟的技术进步产品,如 SF₆ 环网开关、干式变压器及新型低压开关元件以求进一步缩小箱变的体积。

90 年代引进的美式箱变在风靡市场近 10 年之后,发现其存在诸多缺点,故障率明显偏高,进入 90 年代末期以来提出了一些改进意见和方法,比较典型的是西安高压电器研究所提出的高压元件室与变压器室相隔离的方案^[4]。而随着近年来 SF₆ 开关技术的成熟和价格的下降,高压元件侧采用 SF₆ 气体绝缘来替代变压器绝缘油变得顺理成章。故现在不仅要实现高压侧的变压器和高压元件分离,而且高压元件要采用独立的开关柜结构,这样可以解决传统美式箱变缺高压计量、难于缺相保护和遥控的难题。基于美式箱变的紧凑型箱变主要继承了美式箱变的共箱体结构,见图 1,即将变压器的外壳及散热器同时也作为箱变外壳的一部分,因此仍旧保留着美式箱变的散热性能好、占地小、造价低的优点。变压器采用全密封油浸变压器,油箱顶部预留空气间隔,油加空气隙体积保持恒定,油箱散热器的波纹状结构可以消减内部压力,因此该紧凑型箱变的变压器同美式箱变一样具有免维护的特点。紧凑型箱变的变压器与高、低压设备呈品字型排列,高压侧采用 SF₆ 环网开关柜,通过电缆或铜母线与变压器连接,变压器类似于美式箱变将高低压套管、分接开关、油位指示、释压阀等安装在一面侧板上,侧板与封闭的高低压隔室用螺栓紧密连接,使变压器与高低压设备紧密地连接成一体。为了增加美观度,可以采用新型建材制作高低压隔室,这种材料制作的紧凑型箱变同时也能起隔热作用。这种较晚出现的紧凑型箱变与前面所分析的紧凑型箱变

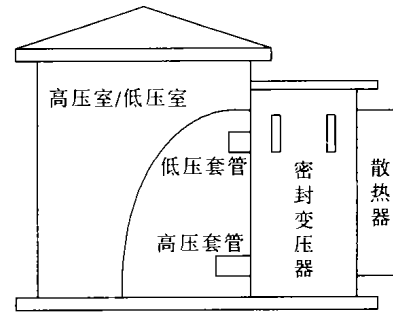


图 1 紧凑型箱变的共箱结构

相比,结构更加紧凑,占地更少,因而造价更低;与传统的美式箱变来比,由于省却了价格昂贵的插入式负荷开关和肘型电缆头,减少了变压器室油量,缩小了体积,使高压侧使用 SF₆ 开关后,在增加成本不多的情况下,提高了配电可靠性,增加了方案选择上的灵活性。从目前箱变发展情况来看,这种型式的箱变将是紧凑型箱式变电站的主流。

4 紧凑型箱式变电站智能化的实现

随着变电站综合自动化和配电自动化技术的发展,箱式变电站的智能化逐渐提上议事日程。进入 90 年代后,电力自动化技术获得空前发展,变电站自动化系统也日趋成熟,90 年代末期市场上开始出现智能箱式变电站。由于紧凑型箱式变电站出现相对较晚,早期的智能箱式变电站开发均针对欧式箱变进行,如河北电力设备厂的无人值班智能箱式变电站。2002 年,天津电气传动研究所组织全国联合设计了 XB1 紧凑型箱变和 XBZ1 智能箱变,目前是我国设计方案最为齐全的紧凑型箱式变电站,它具有前面分析的紧凑型的两种不同形式供用户选择。箱变外壳可以采用金属或非金属制作,结构排列有品字型和目字型,XBZ1 智能箱变是在 XB1 基础上实现的,去掉 XBZ1 的智能终端及元件,两者是等同的。另有一些公司开发的智能箱式变电站是从变电站综合自动化移植转化而来,一般来说,普通变电站的综合自动化系统也适用于箱式变电站的智能化、自动化,由此推出的智能箱变 3 层结构的中间层采用高性能的馈线远方终端(FTU),如南瑞继保生产的各种线路微机保护装置,变电站层为通过现场总线接收电力数据和传送控制命令的上位微机。

目前开发的智能箱式变电站还存在某些不足。从普通变电站综合自动化移植而来的智能箱变往往不能兼顾到箱式变电站的低压侧,实现成本也较高;XBZ1 智能箱变组合了多家公司共同开发,形成了一整套包括智能开关、协议转换器、网络电力仪表及各种控制器在内的产品,这虽然方便了用户的选型使用,但实际应用中要根据情况决定选用智能元件和网络布线元件,不可避免产生与外界公司产品之间互操作性的问题,这些还有待于进一步验证;另外某些智

能元件的通信协议采用的是 Modbus, 总线的性能还偏低, 若主接线采用 Profibus 现场总线, 那相互之间还需要增加协议转换器, 这些会影响通信的实时性。

笔者特别提出了紧凑型箱式变电站的智能化, 是考虑到箱式变电站的紧凑化是一种必然的发展趋势, 今后箱式变电站的智能化主要是针对紧凑型箱变, 后面不加特别地指出均对紧凑型箱变适用。

类似于变电站综合自动化, 分层分布式的智能箱式变电站可分为3层结构, 分别为设备层、间隔层(或称中间层)和变电站层, 设备层由箱变中一次设备组成, 间隔层包括各种现场智能仪表、智能数据采集装置及通信管理机等, 变电站层可由后台监控主机或远方监控主机构成。

箱式变电站是一个特殊的配电终端, 其低压出线回路可以直接供电到最终用户, 同时随着经济的发展和电力市场体系的逐步形成, 电力用户对供电的可靠性要求越来越高, 这些决定了箱式变电站在智能化方面的特殊要求: ①高压侧能满足电力系统对配电网自动化的要求。②低压侧达到现代设备管理的要求, 以节约管理维护费用。③可以用后台监控主机或远方主机对箱式变电站进行“四遥”系统管理。

4.1 高压侧实现方案

图2为一箱变典型高压侧一次接线, 两路进线分别接入环网的两侧, 多台这样的箱变组成手拉手环网供电, 可以实现很高的供电可靠性。采用负荷开关(2QLD)加限流熔断器作为变压器 TM 的主保护, 限流熔断器一相熔断时能跳开三相负荷开关, 不会发生缺相运行。线路侧负荷开关必须配有电动遥控操动机构和配置检测故障电流用的三相电流互感器, 配置馈线远方终端 FTU 的环网开关在配电自动化主站软件的配合下可以实现对箱式变电站的故障隔离和对非故障段恢复供电。

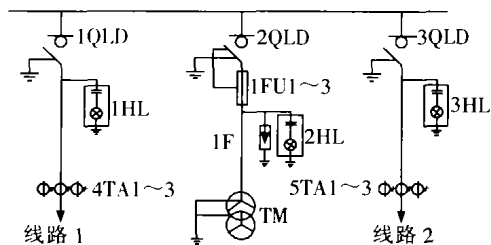


图2 高压侧一次接线图

4.2 低压侧实现方案

低压侧要控制的内容有电压调整、无功补偿、电能计量、主开关及分路开关的保护整定工况监控等, 将来随电力用户对电能质量要求的提高, 可能还会加上谐波和电压跌落、瞬变等的监控和补偿。目前国际上主要的生产低压电器的公司均有智能开关供应, 这些智能开关遵循一种或几种现场总线协议, 可以满足大多数场合的需求。

4.3 紧凑型箱式变电站应用于配电网自动化的要点分析

(1) 智能箱式变电站的内部通信网络选择和远程通信实现

箱式变电站周围有强电场、强磁场干扰源存在, 内部通信网的抗干扰性能优异与否往往决定了箱变智能化的成功与否, 因此, 对它的抗电磁干扰能力要求较高, 需满足 IEC255 和 GB/T14598 规定的各种 EMI 要求。大量的事实证明, 一种高可靠的现场总线的使用是成功实施配电自动化的关键。站内通信介质可采用双绞线、光纤、同轴电缆, 单模光纤只能用于点对点通信, 光纤用于多点通信时需要采用多模光纤组成环网结构, 一次投入比较大, 故大多采用双绞线作为站内通信介质。另外, 如何实现多主通信、总线冗余技术等也是一个重要问题。

智能箱式变电站的远程通信主要解决现场总线数据采集系统与远程主机的通信问题, 远程通信介质选择有 MODEM 公用网, 电力专网, 专用光纤, 但最常用也是最经济的方法是采用 MODEM 模拟方式, 与其它方式相比, 这种方式通信的可靠性不太高, 数据丢失出错几率也比较高, 仅适用于中低压变电站使用。

(2) 工作电源的取舍

安装于现场的许多智能元件的工作电源是考虑在正常工作和故障情况下, 通过电流互感器送到二次侧的能量足以提供保护及跳闸所需, 因而简化了电源的设计, 箱式变电站考虑到当故障或其他原因导致电路停电时, 要求及时上报信息或恢复线路供电操作, 故箱变要有一可靠稳定的工作电源, 从其他变压器低压侧引入交流电源是一种方法, 但距离较远时就显得代价太大, 在实际使用中一般采用 24 V 充电蓄电池组构成的直流电源。

(3) 监控组态软件的选择与开发

监控组态软件是为了减少用户开发维护的工作量而开发的一种软件技术, 用户在不需编写代码程序的情况下, 便可生成适合自己需求的应用系统。组态软件对不同厂商设备的支持是通过 DDE 和 OPC 技术来实现的, 使用 DDE 标准建立的 I/O 设备通信必须按照各个供应厂商的各个机种开发特定的接口设计应用程序, 势必增加初期开发工作量及维护运转环境的稳定性。OPC 标准是于 1995 年推出的用于实现不同供应厂商的设备和应用程序之间的软件接口标准化, 使相互之间的数据交换更加简单化, 目前国外几家大公司推出的组态软件已支持 OPC 技术, 国内 OPC 的应用研究刚刚开始, 因而也要尽早推出能够支持 OPC 标准的国产组态软件。

5 结语

自欧式箱变和美式箱变的引 (下转 354 页)

与电缆平行的接地金属导体；对于进出有主控微机的值班室的低压电源线不要架空，一般用铠装电缆穿金属管埋地敷设并装上电源避雷器；对网络通信线必须埋地敷设并辅之以屏蔽层，且在网线的两端装上信号避雷器。这样一般能够阻断雷电对感应器、采集器和主控微机的入侵。

3.3 分流

分流是现代防雷的热点，对于自动站来说，就是在电源线、通信线路等入侵通道与接地线间并联一避雷器，从而对自动站进行有效的保护。

3.3.1 低压电源的保护

(1) 单级保护

为了防止 220 V 电源系统的低压线被雷击或感应雷所产生的过电压损坏，一般应在用户进线侧加装低压避雷器或放电器。根据雷电入侵电线的强度，选择通流量为 3~5 kA，最多 10 kA，冲击放电电压低于电源的绝缘冲击耐受电压的避雷器。

(2) 多级保护

单级保护简单，但可靠性相对较差。可采取更有效的多级保护电源的措施，见图 3。第 1 级采用气体放电管将大的雷电流限制在后级可忍受的范围内；二级压敏电阻、三级雪崩二极管将输出电压钳制在规定值， L_1, L_2 对高频的过电压具有较大的抑制作用。这样导线虽受雷击，但经过多级保护，电源及其后续主控微机能够得到很好的保护。当然也可通过加装 MOA 及削平电容器将雷电过电压限制在可接受的水平上^[4]。

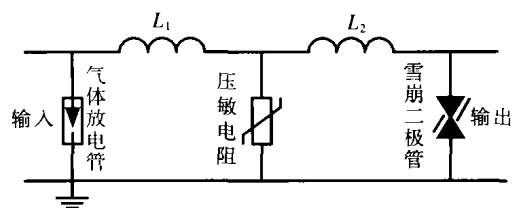


图 3 电源多级保护

3.3.2 传感器、采集器及通信线的保护

在传感器、采集器及终端设备前的通信线路与接地体间都须装保护器，给传感器、采集器以及通信线路提供有效的对地保护。根据传感器线路上可能出现的感应雷电幅值以及采集装置耐受峰值冲击电

(上接第 351 页)

进生产以来，生产厂商及用户不断对其许多方面进行了改进。目前箱变智能化程度不高，但随着自动化技术的发展完善，成本将得以大幅下降，将会推进箱式变电站的智能化应用。以文中思想为主导设计的智能箱式变电站已在实施之中，并被证明是行之有效的。

参考文献：

[1] 陈堂，赵祖康. 配电系统及其自动化技术 [M]. 北京：中国

压的能力，考虑对 RS-232 接口的兼容性，可选择瞬态功率为 600 W，工作电压为 18 V 的双向 TVS 作为保护器件。对线路终端保护，考虑到网络上可能出现的感应雷电幅值，采用了非破坏通流量达 5 kA 以上的气体放电管作大电流限幅保护器件，并以瞬态功率达 1.5 kW 的 TVS 器件作为快速箝位之用，这种模式也是国际上比较标准的保护方式，可为电话线路终端设备提供较为可靠的感应雷电保护。

3.4 均压

均压和接地、防雷装置往往是相互配合的，电位均衡连接是用足够粗的导线把雷电流可能流通的部位与被保护的设备或部分连接起来。对自动站而言，首先将户外的传感器、采集器的各种接地与观测场避雷针的防雷接地统一于电位均衡母线上，其次是将户内的主控微机、电源线、通信线的接地与建筑物的防雷接地之间通过放电管连接，使其在遭雷击时导通，正常时断开，以防止电子设备遭受干扰。如果观测场与主控微机房相隔较近，可建立统一的共地运行方式，使各连接体的电压相同，以消除感应过电压的危害。

4 结语

以 Milos500 型自动气象站为例，分析了自动站的雷电过电压强度、入侵途径。针对雷电波对自动站电子设备的危害，采用了接地、屏蔽、分流和均压等方法进行综合预防。雷害虽是概率事件，很难做到绝对防护，但采取上述防护措施后，能以极大的概率保证自动气象站正常有效的工作。

参考文献：

- [1] 虞昊. 现代防雷技术基础 [M]. 北京：气象出版社，2002.
- [2] 陈大涌. 中尺度自动气象站防雷技术探讨 [J]. 泉州师范学院学报(自然科学)，2002，20(4)：57-60.
- [3] 李友军. 浅谈通信设备的防雷 [J]. 高电压技术，2002，28(1)：56-57.
- [4] 巩学海. 微波通讯站供电电源的防雷保护研究 [J]. 华北电力技术，1997(12)：1-3, 13.

作者简介：甘祥根(1966-),男,硕士生,主要从事信号与信息处理及 GIS 的 VFTO 抑制研究。

- 电力出版社，2003.
- [2] 陈海洪. 美式箱变在实际应用中的一些问题 [J]. 高压电器，2001(6)：59-62.
- [3] 孙本安. 谈紧凑型箱式变电站的开发 [J]. 电气开关，2000(1)：24-26, 28.
- [4] 吴鸿雁. 新型预装式变电站 [J]. 高压电器，2000(5)：57-63.

作者简介：张建忠(1970-),男,硕士研究生,研究方向为现场总线及智能电器。