

箱式直流牵引变电站在城际轨道交通中的应用

喻 奇

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

摘 要 城际轨道交通通常采用直流牵引供电制式。由于直流牵引变电站的供电距离较短,需在站间距较大的沿线区间设置牵引变电站。结合直流牵引变电站的供电设备组成,提出了对应箱式变电站各功能单元的划分方案,并成功应用于南京宁高城际轨道交通工程。预装箱式变电站具备占地面积小、施工周期短的优点,随着技术不断发展,预装箱式变电站在城际轨道交通领域应用前景广阔。

关键词 城际轨道交通; 箱式变电站; 直流牵引供电

中图分类号 U224

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.08.043

Application of E-house DC Traction Substation in Intercity Rail Transit

YU Qi

Abstract Intercity rail transit usually adopts DC traction power supply system. Due to the short power supply distance of DC traction substation, it is necessary to set up traction substations in the sections along the line with large distance between stations. Considering the composition of power supply equipment at DC traction substation, a scheme for dividing the functional units of the corresponding E-houses is proposed, which has been successfully applied to Nanjing-Gaochun intercity rail transit project. The E-house features small floor space and short construction period, and with the continuous development of technology, it will have a broad application prospect in the field of intercity rail transit.

Key words intercity rail transit; electrical house; DC traction power supply

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

城市群(又称城市带、城市圈、都市群或都市圈等)指以中心城市为核心,向周围辐射构成城市的集合。城际轨道交通,国外又称区域性轨道交通,本文主要指在经济联系紧密的两座相邻城市之间设置的轮轨交通,平均站间距较大(相对于地铁),大多采用直流牵引供电制式。根据中华人民共和国

住房和城乡建设部发布的《全国城镇体系规划纲要(2010—2020年)》,我国将更加注重国家中心城市及国家级城市群的建设,城际轨道交通将得到进一步发展。

随着城市土地资源日趋紧张,传统土建式变电站占地面积大的问题日益突出。由于箱式变电站在节约土地资源和缩短施工周期方面具备较大优势,在国内城市电网、工矿企业、住宅小区等场所应用非常广泛^[1]。在城际轨道交通领域,箱式变电站也具有很大的发展潜力。

1 箱式变电站简介

箱式变电站是将高压开关设备、变压器、低压配电装置、电力监控设备和变电站辅助系统,按一定接线方案组合安装在一个或几个箱体內的紧凑型成套变配电系统。简而言之,就是将变配电设备和变电站辅助系统安装在防锈、防潮、防尘、防火、防盗、隔热的钢结构箱体内,具有占地面积小、现场施工周期短、可移动等优点,是继土建变电站之后崛起的一种新型的变电站。箱式变电站目前分为以下3种类型:

1) 拼装式变电站。将常规高、低压成套装置及变压器装入钢结构箱体,在高、低压配电装置间设置检修维护通道,变压器通常安装在单独的隔室内。这种型式的箱式变电站运营维护方便,适应性好,缺点是体积偏大。

2) 组合装置型变电站。高、低压配电装置不使用现有的成套装置,而是将高、低压一次设备、控制、保护二次设备直接装入箱内,使之成为一个整体。总体设计是按免维护型考虑的,因此箱内不需要设置检修维护通道。这种型式箱变体积较小,检修非常困难。一旦出现故障,排除故障和恢复供电所需耗时长,适用于对供电可靠性要求不高的场所或者临时性供电场所。

3) 一体型变电站。是在简化高、低压设备的二

次控制、保护装置的基础上,将高、低压配电装置与变压器本体一起装入变压器油箱,使之成为一个整体。这种型式的箱式变体积更小,其体积接近于同容量的普通型油浸变压器。一旦出现故障无法检修,只能整体更换。由于采用可燃油作为绝缘材料,过载能力强,但加大了火灾风险,适用于空间受限、火灾风险小、人迹罕至的特种场所。

2 箱式牵引变电站发展现状

箱式牵引变电站已在国外电力系统、城市轨道交通等领域得到广泛应用,如美国达拉斯地区轻轨系统的 16 座 1 500 kW 和 2 500 kW 的牵引变电站采用的都是箱式牵引变电站;圣地亚哥地铁系统 E1 CAJONLRT 线工程中,12 座 1 000 kVA 牵引变电站采用的也是箱式牵引变电站^[2]。洛杉矶捷运局红线一期和二期、宾西法尼亚东南部捷运局等也大量采用了箱式牵引变电站模式^[3]。

在国内轨道交通供电系统中,首座箱式牵引变电站是上海轨道交通 5 号线(莘闵线)工程采用的由美国 POWELL 公司生产的箱式牵引变电站。此后,箱式变电站又在上海轨道交通 1 号线延伸线等工程中得到使用^[4]。天津开发区新交通洞庭路试验线、北京地铁 5 号线正线供电系统扩容改造工程也采用了箱式牵引变电站^[5]。箱式牵引变电站方案在南京有轨电车、淮安有轨电车项目均已应用。

综上所述,箱式牵引变电站在国内外均已成功应用案例。

3 箱式直流牵引变电站方案

3.1 箱式直流牵引变电站的供电设备

箱式直流牵引变电站所属供电设备包括变配电、直流牵引和电力监控 3 大部分。

1) 变配电部分的具体设备为高压开关设备、配电变压器、低压配电柜。城际轨道交通中压网络通常采用 35 kV 电压等级,高压开关设备选用 35 kV 金属封闭气体绝缘开关柜。配电变压器为本站及邻近区间动力配电和照明负荷提供电源,容量一般为 100~200 kVA。根据低压配电负荷确定低压配电柜的设置方案,负荷量较小时采用交流屏兼作低压配电柜。

2) 直流牵引部分的具体设备为整流变压器、整流器、直流开关柜(直流进线柜或馈线柜)、负极柜、

排流柜。整流变压器和整流器又合称为整流机组,城际轨道交通单套整流机组容量一般在 1 800~2 500 kW。其中,整流变压器是牵引变电站中最重的设备,单台质量为 8~10 t,也是发热量最大的单体设备。城际轨道交通通常采用 2 套整流机组,接于同一段中压母线,并联构成等效 24 脉波整流电路。直流开关柜和负极柜是直流牵引系统的配电设备,排流柜属于杂散电流防护系统设备。

3) 电力监控部分的具体设备为交流屏、直流屏、蓄电池屏、控制信号屏、钢轨电位限制装置。交流屏是站用 380 V/220 V 交流电配电设备,直流屏是站用 220 V 直流电配电设备,控制信号屏是电力监控系统的站级信息采集和控制设备。钢轨电位限制装置的作用是监视和限制钢轨电位。

箱式直流牵引变电站的设备一次接线方案与常规直流牵引变电站的无异,其主要变化在于尽量选用紧凑布置型设备。例如,直流开关柜选用 500 mm 柜宽设备,而常规直流柜柜宽为 600 mm 或 800 mm;高压开关设备按限高 2 400 mm 选型,而常规柜型高度在 2 600 mm 左右;对整流变压器本体高度也进行了限定,不得超过 2 700 mm。同时,箱式直流牵引变电站须尽量选用免后维护设备,尽量靠墙安装,以缩减箱体尺寸。

3.2 箱式直流牵引变电站的箱体设置方案

箱式直流牵引变电站所涉及的设备数量较多且种类繁多,设备集成难度非常大。因此,目前国内轨道交通行业均采用拼装式变电站。

直流箱式牵引变电站的容量较小时,可采用整装运输方式^[6]。但是对于城际轨道交通区间直流牵引变电站,仅变电站供电设备的质量就达 50 t 左右,加上箱体自重和配套辅助系统质量,整座箱式变电站总重约 90 t。为便于制造、运输和吊装,箱式牵引变电站应采用多箱体组合方案,并应根据公路运输限制条件确定箱体运输模块的宽度、高度和长度^[7]。综合考虑各因素,箱式牵引变电站运输模块按宽度不大于 3.75 m、高度不大于 4 m、长度尽量控制在 10 m 以内考虑设计方案。

箱体设置方案应考虑以下因素:单体质量较大且运输安装不便的设备单独设置箱体;高、低压设备分设不同箱体;均衡各设备箱体质量,减少箱体总数量;方便后期设备更换,便于线缆布放和运营维护。具体布置方案如下:

1) 整流变压器箱体。该箱体供电设备仅布置

整流变压器。为保证其中一台整流变压器故障需要维修或更换时,不影响另一台整流变压器正常运行,每台整流变压器均单独设置箱体。整流变压器不设外壳,箱体开门侧设置绝缘隔板。每个箱体设置一道双扇运输门。

该箱体散热措施采用风机强制排热的方式,按变压器长时 100%负载率考虑运行发热量并叠加箱体外部环境温度和太阳辐射影响。配置 2 台相同的轴流风机,进风口设置于箱体底部,风机安装于箱体侧面。单台风机故障时,变压器仍可在自身温度允许的条件下继续运行。

2) 高压设备箱体。该箱体布置高压开关设备、整流器柜和排流柜。高压开关设备选用无需后维护的 C-GIS 设备,以减少空间占用。整流器由于发热量大,且设备前后均需维护空间,因此采用面对面布置方式。排流柜侧面尽量靠边,以节省空间。整个箱体设置 1 道双扇运输门和 1 道单扇巡视门。该箱体由于宽度较大,为便于生产制造和运输,采用两模块设计制造的方案,现场拼装合拢。

该箱体散热措施采用冗余的工业级空调,按箱体内供电设备运行可能产生的最大发热量并叠加外部环境温度和太阳辐射影响,配置 2 台相同的一体式特种机房空调。单台空调故障时,箱体内环境温度仍可控制在 35℃以下。

3) 直流与控制设备箱体。该箱体由三个单独防火分隔的隔室构成,其中的两个小隔室各布置一台配电变压器,另一个大隔室布置直流开关柜、负极柜、端子柜和钢轨电位限制装置,以及控制信号屏、交流屏、直流屏和蓄电池屏。整个箱体设置 1 道双扇运输门和 1 道单扇巡视门。该箱体由于宽度较大,为便于生产制造和运输,仍采用两模块设计制造的方案,现场拼装合拢。

该箱体两个配电变压器隔室的散热措施采用风机强制排热的方式,按变压器长时 100%负载率考虑运行发热量并叠加箱体外部环境温度和太阳辐射影响,配置 2 台相同的轴流风机,进风口设置于箱体底部,风机安装于箱体侧面。单台风机故障时,不影响供电系统正常运行。

该箱体的大隔室散热采用冗余的工业级空调,按隔室内供电设备运行可能产生的最大发热量并叠加外部环境温度和太阳辐射影响,配置 2 台相同的一体式特种机房空调。单台空调故障时,隔室内

环境温度仍可控制在 30℃以下。

整座箱式牵引变电站各箱体辅助设备的集中控制箱设置于直流与控制设备箱体的大隔室内,用以实现整座箱式变电站各箱体排热风机、工业级空调、照明配电、SF6 气体泄漏监测装置的集中监控。该集中控制箱接入变电站综合自动化系统,并纳入控制中心电力调度系统远程监控。

3.3 箱式牵引变电站与传统牵引变电站的比较

箱式牵引变电站与传统牵引变电站的技术经济比较分析见表 1^[8]。由表 1 可知:两者技术水平相当;箱式牵引变电站主要优势在于占地面积小、现场施工周期短;箱式牵引变电站的经济指标与传统牵引变电站相比略差,这也是箱式牵引变电站尚未得到大范围推广的原因。

表 1 箱式牵引变电站与传统牵引变电站
技术经济比较分析表

项目	传统牵引变电站	箱式牵引变电站
可靠性	设备可靠性同箱式牵引变电站。设备房防护能力强	设备可靠性同传统牵引变电站。箱体按当地环境条件设计防护能力,与传统牵引变电站基本无异
可用性	系统可用性同箱式牵引变电站	系统可用性同传统牵引变电站
可维修性	设备用房面积大,运营维修方便	房间布置紧凑,运营维修略有不便
安全性	设备和配套设施的安全性同箱式牵引变电站	设备和配套设施的安全性同传统牵引变电站
工期控制	受制于土建工期和装修施工,现场施工周期长	工厂预装,现场仅完成少量接线和调试,现场施工周期短
适应性	地上、地下均可设	仅可设于地上
工程投资	设备投资同箱式牵引变电站。地下牵引变电站综合投资较大,地上牵引变电站综合投资较小	设备投资同传统牵引变电站。综合投资略大于地上的传统牵引变电站(不计占地)

4 应用实例

南京宁高城际轨道交通禄口新城南站至高淳段(S9 号线)长达 52.4 km,共设站 6 座,采用 DC 1 500 V 架空接触网牵引供电制式。该工程跨越石臼湖段长达 13 km,跨湖段须设置 2 座水上牵引变电站。石臼湖设有自然保护区,跨湖段的城际轨道交通桥与公路桥并行。为减小牵引变电站对景观的影响,缩短现场施工的周期,尽最大可能避免对石臼湖自然保护区产生影响,该工程选用了箱式牵引变电站设计方案^[8],该箱式牵引变电站平面布置图如图 1 所示,单座箱式变电站现场安装调试周期仅用时半个月。

