

[轨道交通]

# 箱式变电站在城市轨道交通中的实际应用

文/南京地铁建设有限责任公司 赵晨

南京地铁宁高城际S9号线跨湖段区间采用了箱式变电站的解决方案。介绍了S9号线设计、施工和运营情况，就箱式变电站和传统房式变电站的规模、经济型、施工难度、运营情况和适用性等特点进行了对比，提出了对于变电站建设的一些建议。

自2000年南京地铁1号线开工以来，南京市轨道交通的建设进入了飞速发展时期，轨道交通的形式也愈加多元化。轨道交通线路的地下段、地面段和高架段根据城市的规划和地形需要，在不同的线路和区域中各司其职。而南京作为一个南北狭长的水乡城市，在市域轨道交通中，必不可少的会出现各种跨江、跨河、跨湖段以及长大区间的特殊区段。作为轨道交通设备系统的核心之一，供电系统应根据线路及自身特点，合理的设置变电站的位置与形式，达到减少建设规模、节约建设投资和缩短施工工期的目的。

## 背景特点

### 1. 南京地铁S9号线的特点

南京地铁宁高城际S9号线北起线路北部翔宇路南站，经铜山、石湫和明觉后，与宁高新通道并线上跨石臼湖，经团结圩，进入高淳城北科技新城，南至高淳站全长52.42 km，其中地下段3.61 km、地面段4.62 km、高架段44.19 km；共设置6座车站，13座牵引变电站，其中跨湖段自明觉站至团结圩站全长16.97 km，在石臼湖上设区间变电站两座。

湖上区间变电站位于宁高新通道外侧，考虑到公路景观，规划要求变电站的顶面不高于公路

桥，同时考虑变电站在汛期的防汛要求，因此变电站净空高度受到限制，无法达到传统变电站的4 m层高要求。因此经多方讨论，最后决定采用箱式变电站的方案。

### 2. 箱式变电站在轨道交通行业的背景

箱式变电站在美国、英国和法国等西方国家已被广泛采用，有着40多年的运营经验，香港地铁、北京地铁和上海地铁等运营单位也有少量的使用经验，ABB、施耐德和西门子等国外厂商均有成熟的箱式变电站生产经验和运营业绩，国内也有部分厂商有生产轨道交通箱式变电站的能力，但国内尚无生产GIS箱式变电站的经验。南京地铁S9号线在国内首次使用了含35 kV GIS开关柜的整体箱式变电站，同时，这也是国内首次在跨湖段使用了箱式变电站。

## 箱式变电站与传统变电站的构成对比

箱式变电站与传统变电站相同，包含了中压柜、整流变压器、整流器、负极柜、排流柜、直流柜、动力变压器和控制柜等设备。同时，作为变电站的配套设施，同样包含照明、动力电源、通风空调系统、门禁、火灾报警系统和摄像头等设备。

根据设备及地形情况，箱式变电站设计时需在本体底部预留电缆孔洞，同时，在土建基础施

工时，可需配合进行电缆层施工并预留电缆层孔洞。箱式变电站通过预留的电缆通道进入区间构成环网。

与传统变电站钢筋混凝土结构不同，箱式变电站采用预制钢板拼装焊接而成，焊接点处需进行防水处理。壳体外进行镀锌并喷涂防腐涂料，满足区段内的防腐要求。在壳体内部布置保温层，以减少钢制外壳带来的四季昼夜温差变化。箱式变电站内的电源一般由交直流屏引出，开关柜室采用工业级空调系统，整流变压器室可采用风冷或工业级空调系统的模式进行降温。

下图所示为S9号线的跨湖箱式变电站平面布置

置，考虑到S9号线跨湖区间变电站只对通信等少量设备负荷及区间照明供电，在设计中取消了低压柜，利用交流屏进行供电。同时，根据跨湖段地形特点，将设备房布置进行优化，将整流器布置在高压室，整流柜和配电变压器布置在控制室，使得整体面积最小化。全所共计高压室、控制室和两个整流变室4个模块，高压室和控制室总重30 t，整流变压器室重17 t。配电变压器容量160 kV·A，整流变压器容量2 MV·A，整流变压器箱体占地面积3.6 m×5 m，跨湖箱式变电站箱体占地面积31 m×5 m，对比S9号线标准变电站的400 m<sup>2</sup>占地面积，缩小了70%的占地面积。

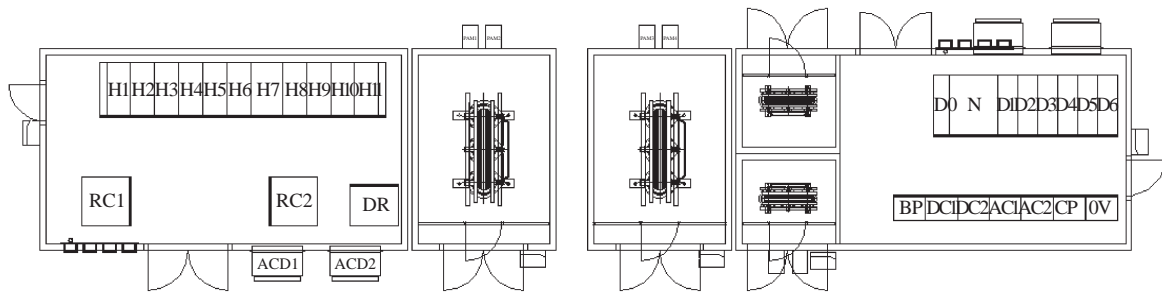


图 S9号线的跨湖箱式变电站平面布置图

### 箱式变电站与传统变电站在施工中的对比

传统的地铁变电站建设周期较长，涉及结构、建筑、暖通、给排水、照明配电、FAS和门禁等大量专业，各专业之间接口众多，施工过程中包含土建、安装、装修及设备安装调试等步骤，施工过程中易出现配合失误，如漏开孔、管线被占用等情况，而设备安装与装饰装修之间的工序交叉，不仅易导致工期延误，更容易对精密设备造成损坏，造成财产损失。而箱式变电站具有“一体化施工”的特点，照明、动力电源、通风空调系统、门禁、火灾报警系统和摄像头等设备进行整体设计，在厂内统一组装调试，避免了现场工序交叉。在厂内，不仅可以完成上述的变电站外部专业施工，同时，可以对设备进行固定就位、拼柜、接线、调试和试验，将现场工作在厂内无尘环境下完成，到现场吊装后只需进行少量的接线和调试工作，大大缩短了现场的施工周期。不过，箱式变电站因体积和重量远超传统设备，现场运输和吊装时难度较大，需编写专项的吊装方案和交通疏导方案。

南京地铁S9号线跨湖段区间变电站在施工时具有其特殊性，由于施工时石臼湖时值枯水期，

湖上无法进行浮吊作业，只能采用在公路桥上用汽车吊将箱式变电站吊至水上平台一种方案，石臼湖大桥限重55 t，吊车自重43 t。而由于箱式变电站的4个模块质量均超过了12 t，不满足大桥的承重要求，因此，设计联络时最终确定了将高压室和控制室一分为二，现场拼接并增加密封条；所有设备分开吊装；现场安装调试的施工方案。该方案相较于标准的箱式变电站，增加了吊装工作量和现场接线的工作量，并将原计划在工厂内安装调试的工作量改至现场完成，但总体工期并未受到影响。

### 箱式变电站与传统变电站在运营中的对比

为了减少占地面积，箱式变电站在设计时会尽可能地压缩无效面积，安装完成后，很多设备仅保留前维护通道，无法从背面进行维护，这对箱式变电站的设备本身提出了更高的要求，在设备设计上尽量做到前维护甚至免维护。由于内部空间紧张，运营人员的操作难度可能有所提高，但是技术上与传统变电站并无差别。

S9号线湖上变电站运行后，尚无漏水、高温等因素导致变电站设备故障，箱式变电站运行情

况稳定。由于石臼湖上有大量蚊虫，会通过空调系统和通风孔进入发光发热的变电站，于是运营人员针对运行情况，在变电站的通风孔处额外增加了防虫措施。

## 结论与建议

综上所述，下表对传统的土建房式变电站和箱式变电站进行了综合比较。

表 电动机与变压器匹配

变电站型式	土建房间式变电站	箱式变电站
经济性	约1 500万元(含房建)	约1 800万元
外形尺寸	占地面积约400 m <sup>2</sup>	占地面积约150 m <sup>2</sup> 净空高度减少约2 m
设备安装	设备运输和现场安装方便，现场工序交叉较多、施工周期较长。施工可靠性受现场环境限制	设备运输较为复杂。现场无无工序交叉、施工周期短。施工可靠性受现场影响较小
运营维护	无人值班，每日巡检，维护方便	无人值班，每日巡检，维护难度受房间大小及设备特点影响
适用性	适用于与车站合建的变电站或独立的地下风井区间变电站	适用于地面、高架区段的区间变电站

箱式变电站在满足现场运输条件的情况下，可以在厂内完成大部分设备组装、接线和调试工作，现场只需完成少量连接和调试工作。在现场运输条件不满足时，箱式变电站同样可以进行拆分后运至现场组装、安装和调试，整体流程较为灵活。相较传统变电站的土建、机电、装修和设备安装调试流程，箱式变电站减少了工序的交

箱式变电站的占地面积小于标准变电站，适合于各类地面区间变电站的建设。同时，箱式变电站可以较为灵活地改变设备的布局，满足不同地形的要求，如安置在高架段桥下等区域，考虑到征地、拆迁费用等因素，在区间变电站的建设费用上占据优势。若在车站地下空间不足的情况下，也可以考虑在地面设置箱式变电站代替地下车站变电站。

接，缩短了工期，为轨道交通的后续建设提供了新思路。

在实际设计和施工中，箱式变电站应特别注意其位置及周边自然环境，合理设计箱体模块，优化运输方案，减少运行后对其带来的额外影响。EA

(收稿日期：2020.04.15)

(编辑：朱金凤)

(上接第51页)

程中能可靠将两个进线隔离，确保不出现并列运行的情况，缺点是自复过程中母线会有短暂失压。如果用户场景中两条进线分别来自大电网和孤岛系统，为了维护大电网系统的稳定，一般不允许将孤岛系统与大电网系统并列运行，在这种情况下就需要选择非同期自复，确保两条进线无法并列运行，比如钢铁余热发电系统。

3) “自投后同期自复”方式同样能在备自投动作后监测到主供进线恢复供电时，将负荷从备用电源自动转移到主供电源，且自复过程中不存在母线失压，缺点是短时间内两条进线会有并列运行的情况。如果用户场景是来自同一个系统，两条进线电源理论上应该就是同步状态，这种情况下，为了确保供电稳定性，可以对两条进线电压检同期，将两个电源短时并列后再恢复成常用

供电模式，比如地铁供电系统。

## 结束语

本文针对备自投系统的供电方式做了深入研究，提出一种自适应于各种应用场景的备自投自复方案，当两个供电电源处于不同系统时，选择非同期自复确保供电可靠性，当两个供电电源处于同一个系统时，选择同期自复确保供电稳定性，能够满足各种用户的需求。

综上，本方案不改动传统备自投的硬件回路设计，仅通过软件改动就能实现备自投的自投自复功能，用户可以根据现场的接线方式灵活选择自投自复的方式，在不增加成本的情况下提高了供电可靠性。EA

(收稿日期：2020.08.19)

(编辑：朱金凤)