

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2012.03.024

节能型降压变电所技术探讨

杨兴山

(北京城建设计研究总院有限责任公司 北京 100037)

摘 要 介绍车站设置降压变电所的方案:设置一座降压变电所方案,节能效果不明显;设置两座降压变电所方案,虽突出节能意识,但经济效果较差。提出一种降压变电所节能型主接线形式,将一座完整的降压变电所进行拆分-整合,体现更广泛的节能理念,达到“低投入高产出”的效果。

关键词 城市轨道交通;降压变电所;节能;主接线;电缆;能耗;造价

中图分类号 U224 **文献标识码** A

文章编号 1672-6073(2012)03-0096-04

城市轨道交通(尤其是地铁)是城市的用电大户。对于黄河领域的城市而言,6节编组、2 min运行间隔的20 km地下线路,牵引及动力照明系统年总用电量为8 000万kW·h左右,意味着一条线路年消耗折合标准煤19.8万t。近、远期动力照明供电系统用电量分别约占线路总用电量的50%、36%左右。在一般情况下,供电系统造价占工程造价的12%左右,可见产品制造过程带来的能耗也是巨大的。

车站降压变电所的主接线形式多年来没有变化,一般注重于运营能耗的解决方案。笔者尝试在降低运营能耗的基础上,提出一种兼顾降低产品制造过程中能源消耗的新型接线方案。

1 车站降压变电所传统接线

国内车站降压变电所常用的主接线形式为两种:中、低压单母线分段,低压母线设置分段开关;中、低压母线分段,均设置分段开关。车站降压变电所的数量及位置基本遵循着深入负荷中心的原则。

1.1 一座降压变电所接线方案

国内标准车站多采用一座降压变电所方案,设置

在靠近车站中央空调系统设备机房的车站一端。降压变电所纳入中压网络节点中,中压电源为双进双出,中、低压单母线分段,均设置分段开关,如图1所示。

这种接线方案的特征是:

- 1) 多用于标准车站,车站规模较小;
- 2) 单台配电变压器容量不大于1 250 kV·A,正常负载率较高或合理;
- 3) 跨越车站中部的低压电缆数量较多;
- 4) 配电线路能耗较大。

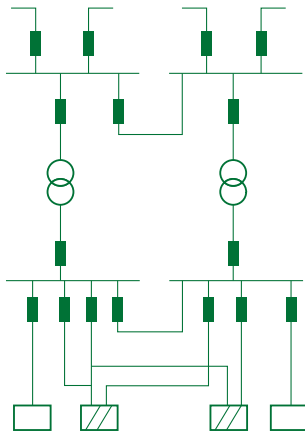


图1 一座降压变电所主接线

1.2 两座降压变电所接线方案

根据车站规模、低压负荷大小及分布等情况,部分车站设置了两座降压变电所,如换乘站,分设于车站两端。按业内习惯,纳入中压网络节点中的称为“降压变电所”,脱离中压网络节点的称为“跟随所”。

降压变电所的主接线与图1相同。“跟随所”中压单母线分段,不设置分段开关,低压接线与图1相同,如图2所示。

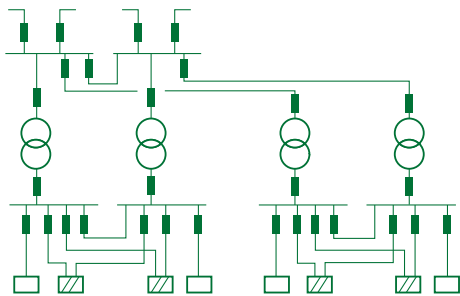


图2 两座降压变电所主接线

这种接线方案的特征是:

- 1) 车站规模较大,如换乘站;

收稿日期: 2011-06-14 修回日期: 2011-07-07

作者简介: 杨兴山,男,大学本科,工学学士,副总工程师,高级工程师,从事轨道交通供电系统研究,yangxs@buedri.com

- 2) 车站低压用电负荷较大且分布均匀,单台配电变压器容量一般不小于 630 kV·A,配电变压器的正常负载率较低或偏低;
- 3) 跨越车站中部的低压电缆数量较少,但增加了两回中压电缆;
- 4) 低压配电线路的能耗较小,整体节能效果优于车站一座降压变电所的方案;
- 5) 工程造价较高。

2 节能型降压变电所主接线

降压变电所的基本要求是满足各类等级负荷的电源需求。考虑到低压负荷较大以及节能需求等因素,车站设置两座降压变电所也是可行的,但存在性价比差的问题。

综合车站一座降压变电所或两座降压变电所方案的特征,立足于更广泛的节能理念。笔者提出一种改良的降压变电所主接线形式,以降低车站的运营能源消耗,通过工程造价来间接地降低产品在制造过程中带来的能源消耗指标,达到“内外瘦身”的节能减排效果。

2.1 研究原则

研究降压变电所节能型主接线形式,遵循以下原则:

- 1) 满足各类等级负荷的用电需求;
- 2) 追求低压配电线路能耗的最小化;
- 3) 减少电缆用量,尽量降低电缆制造过程带来的能源消耗;
- 4) 达到良好的性价比;
- 5) 利于车站内电缆的敷设。

2.2 技术分析

在标准车站一座降压变电所方案中,将分列运行的配电变压器分别设置于车站负荷中心,主接线仍沿用当前形式,中、低压母线通过电缆实现电气连接,如图 3 所示。

在图 3 中,节能型主接线不改变当前降压变电所中压电源的引入与联络、低压馈出的供配电形式。从技术上讲,图 3 与图 1 的区别在于中、低压分段母线通过电缆进行电气连接,其技术分析:

- 1) 满足各类等级负荷的用电需求,与图 1 ~ 图 2 相同。

2) 一级负荷的双电源、双回电源分别取自车站两端降压变电所的低压母线,电缆长度短的为工作电源,反之为备用电源,利于降低配电系统正常运行下的线路能耗,使部分电缆的长度大为缩短。

3) 二、三级负荷的双电源单回、单电源单回的电源就近取自降压变电所的低压母线,使电缆长度大为缩短,有利于降低配电系统正常运行下的线路能耗。由于配电线路长度缩短,部分电缆的截面可以适当减小,从而降低了工程造价。

4) 当双电源双回电缆的规格满足配电要求及运行方式时,可采用不同截面,电缆长期允许工作电流与上下级开关的配合不存在技术问题。因此,可以实现良好的经济性。

5) 节能型主接线改变了部分始端箱的电源引入点,但不改变始端箱馈出端及以后的接线形式。

6) 分列运行的配电变压器分设于车站两端,为此需要增加 10 kV、400 V 分段母线联络电缆。

7) 共用车站一端降压变电所内的备品备件室、维修室,根据供电系统功能配置的需要,增设了一个控制室。

8) 节能型主接线特征之一是跨越车站中部的低压电缆数量有所减少,减少的数量取决于车站两端及区间二、三级负荷的数量与分布。在站台板下空间日趋紧张的形势下,利于车站内电缆的敷设。

为便于分析,将车站一座降压变电所方案简称为“原方案”,节能型降压变电所方案简称为“新方案”。新方案曾在上海轨道交通 1 号线尝试使用,如衡山路站、黄陂南路站等。

3 不同方案的经济效益分析

通过上述分析可知,新方案较原方案增加了一个控制室(3.3 m×4.8 m),设备布置带来了少量的面积增加,总体对车站建筑规模不构成大的影响,因此在下面的造价分析中不涉及土建费用。

3.1 电缆变化与造价分析

对比图 3 与图 1 可以看出,中、低压设备的配置相同,电缆的数量及规格出现了差异,变电所操作电源装置由 1 套变为 2 套,分析的重点在电缆及操作电源装置方面。下面以北京地铁 10 号线分钟寺站(配电变压器容量 2×1 000 kV·A)为例进行对比分析。

原方案为在车站设置一座牵引降压混合变电所,在遵循低压负荷用电需求、动力照明配电形式、运行方式及电缆选型条件等不变的前提下,方案变化后的电缆数据见表 1。

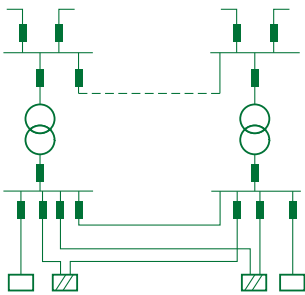


图 3 节能型主接线

表1 电缆规格及数量变化

序号	电缆规格/mm ²	长度变化/m
1	5×10	470
2	5×16	-1 420
3	5×16 *	-320
4	4×25 + 1×16	-790
5	3×35 + 2×16	-160
6	3×35 + 2×16 *	-160
7	3×50 + 2×25	-120
8	4×50 + 1×25	100
9	4×70 + 1×35	200
10	4×95 + 1×50	120
11	3×95 + 2×50	-60
12	3×95 + 2×50 *	100
13	3×120 + 2×70	-240
14	3×120 + 2×70 *	-660
15	3×150 + 2×70	-60
16	3×150 + 2×70 *	60
17	3×185 + 2×95 *	-60
18	3×95	200
19	2×(3×240 + 2×120)	400

表1说明如下：
1) 在原方案中,靠近降压变电所的车站一端的二、三级负荷电源电缆,其规格及长度在方案前后未发生变化,表1对此不予统计。

2) 带*为耐火型电缆(WDZN-YJY₂₃)。
3) 表1中第18项为10 kV 电缆(WDZA-YJY₂₃) ,第19项为两段低压母线间的联络电缆,其余各项均为低压阻燃电缆,型号为WDZA-YJY₂₃。

4) 两台配电变压器分设于车站两端,某一端的二、三级负荷电源电缆的长度较原方案变短,且个别低压电缆的截面变小,同时增加了10 kV 及400 V 母线联络电缆。

电缆及变电所操作电源装置造价参照了2011年2月北京地铁10号线二期工程中标价。计算结果表明,方案变化后电缆造价节省了15.42万元。操作电源装置由1套(100 A·h)变为2套(分别为100、60 A·h),造价增加8.12万元。从变电所自身而言,新方案整体造价比原方案减少7.3万元,降低了工程造价,符合“低投入高产出”的工程建设原则,同时也降低了电缆制造过程带来的能源消耗。假设中压等级为35 kV,当35 kV 母线联络电缆采用3×95 mm²的截面(也有3×70 mm²的工程实例)时,新方案的电缆造价则可节省14.03万元,整体造价比原方案减少5.91万元。

3.2 节能效果分析

线路能耗的计算条件如下：

1) 计算低压配电系统正常经济运行方式下的线路能耗,即把一级负荷中某一长度短的电 缆回路作为工作电源。单台变压器的运行方式属于短时运行的非正常工况,故不予考虑。

2) 仅计算电缆规格或长度发生变化的线路能耗,因其他线路的能耗没有发生变化,则不再计算比较。

3) 低压配电系统中的谐波能耗计算过程复杂,且谐波能耗大小与有功功率呈线性关系,故暂不考虑。

4) 电缆电阻单位值参照《工业与民用配电设计手册》(第3版)。

有功功率损耗可计算为

$$\Delta P_L = 3I_c^2 R \times 10^{-3}$$

式中,ΔP_L为有功功率损耗,kW;I_c为计算相电流,A;R为每相线路交流电阻,Ω。

从计算得知,由于部分低压电缆的长度变短或截面变小(见表1),车站低压配电线路的能耗整体指标降低,见表2。

表2 能耗变化

方案	原方案	新方案
低压线路能耗/kW	52.13	38.08
低压线路能耗占比/%	26.7	19.5

分钟寺站低压用电负荷的位置分布较为均匀,原方案的牵引降压混合变电所靠近负荷偏重的车站一端(即中央空调系统机房附近)。根据新方案,需要变更的配电线路占总量的50%左右。表2表明,新方案的低压线路能耗较原方案的减少了14.05 kW,即降低了26.9%,效果比较明显。

假设条件:20 km 地下线路,17座地下车站;6节A/B型车的车站规模;线路18 h/天运营,低压负荷平均运行时间15h/天。计算得出,全线车站每天节电3 582 kW·h,年节电131万kW·h。按北京电费的协议价0.68元/kW·h估算,年节电费为89.1万元。

按标准煤0.404 0 kg/kW·h系数折算,标准煤年消耗量减少到3 242.6 t。按标准煤0.214 3 kg/m³系数折算,CO₂年排放量减少1.51×10⁷ m³。计算数据表明,城市轨道交通自身的减排潜力巨大。

3.3 结论

前面分析了新方案的造价影响、节能效果,可以得出以下结论。

1) 新方案重点解决了低压配电线路的能耗问题,且节能效果明显,尤其是在电价逐年提高的趋势下更为明显。

2) 新方案在降低工程造价方面优势明显,节省了大量的有色金属(铜)以及绝缘体原材料,降低了电缆制造过程带来的能源消耗,更加符合国家关于节能减排的政策。

3) 当车站两端低压用电负荷大小及分布出现严重不均匀时,新方案可能会出现两台配电变压器容量一大一小的情况。限于篇幅,对其造价及节能效果不再展开经济效益分析。

4 结语

城市轨道交通动力照明供电系统节能减排工作应从两个方面同时展开:一是改进系统技术方案,朝着有利于长期节能的方向努力;二是减少设备、材料的工程量,降低制造过程带来的能源消耗,实现“总量”上的节能减排。

分列运行的配电变压器分设于车站两端,深入负荷中心方案适用条件:

1) 地下标准车站,除车站中央空调系统外,其余用电负荷分布较为均匀。因地下车站及相邻区间的低压负荷较多,用电量大,因而使低压电缆的数量较多及截面较大,节能型降压变电所能体现低压配电线路的节能效果。

2) 互为冗余、分列运行的配电变压器不超过 2 台,其容量相同。

当超出上述条件时,车站设置两座降压变电所可能较为适宜,或者“一大一小”的配电变压器分设于车站两端。笔者提出的车站降压变电所节能型主接线形式,为今后工程设计提供了一种选择。

参考文献

- [1] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
- [2] GB 50052—2009 供配电系统设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009.
- [3] GB 50217—2007 电力工程电缆设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [4] 刘晓波. 北京地铁 10 号线二期工程分钟寺站动力照明系统施工图[G]. 北京,2011.
- [5] 李华. 北京地铁 10 号线二期工程分钟寺站变电所施工图[G]. 北京,2011.
- [6] 任元会. 工业与民用配电设计手册[M]. 3 版. 北京:中国电力出版社,2005.
- [7] 于松伟,杨兴山,韩连祥,等. 城市轨道交通供电系统设计原理与应用[M]. 成都:西南交通大学出版社,2008.

(编辑:郭洁)

Discussion on Energy-saving Substation Yang Xingshan

(Beijing Urban Engineering Design & Research
Institute, Beijing 100037)

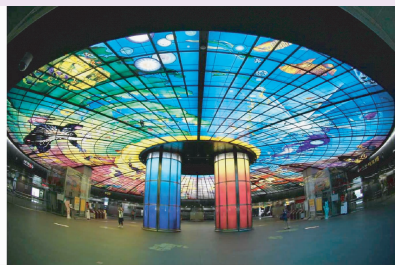
Abstract: The energy-saving effect is not obvious if each station is equipped with only one substation. The scheme for a station equipped with two substations is mainly focusing on energy-saving but has low economic effect. The article postulates a new main electrical connection energy-saving scheme which divides and integrates one substation in order to reflect the energy-saving principle and to achieve the purpose of less input with more output.

Key words: urban rail transit; substation; energy-saving; main electrical connection scheme; cable; energy consumption; cost

封面照片解读——世界上最美丽的地铁站

高雄地铁美丽岛站是全球最大的圆形地下车站,也是拥有全球最大单一玻璃公共艺术品的车站,其合掌型的出入口由日本建筑师高松伸设计,造型为双手合掌,取名“祈祷”,象征和平之意。而公共艺术“光之穹顶”,由意大利艺术家水仙大师(Maestro Narcissus Quagliata)耗费 4 年半所创作,运用天体、人物、大自然、高雄土地上的特有生物,表达重生与包容的内涵,水、土、光、火四大区块代表诞生、成长、荣耀、毁灭,每一块玻璃都是一段故事。光之穹顶直径达 30 m,面积 660 m²,设置在全球最大的圆形地下车站建筑内,共计用了 4 500 片玻璃窗面,对地铁站而言是一巨作。

已有 14 年历史、每月访问流量达 350 万人次的知名美国旅游网 Boots n All,日前评选出全世界最美的 15 座地铁站,其中高雄捷运美丽岛站荣登第 2 名。



摘编自 <http://www.zhongshe.com/forum> 2012-03-30

启事:请封面照片的作者尽快联系本刊编辑部

电话 010-51683785, 邮箱 dskgjt@vip.sina.com