

# 市域铁路牵引供电系统设计关键问题探讨

黄玲珍

(中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

**摘要** 对市域铁路牵引供电系统的供电制式选择、牵引变电所与电力变电所合建(以下简为“牵引电力合建变电所”)方案、与轨道交通供电资源共享模式等关键问题进行了探讨。以上海市域铁路嘉闵线为例,结合线网规划、运输组织、环境条件等项目特点,推荐该线路牵引供电系统采用 25 kV 交流供电制式,提出牵引电力合建变电所全户内总平面优化布置方案。

**关键词** 市域铁路;牵引供电系统;设计;关键问题

**中图分类号** U223.2

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2022.06.024

## Discussion on Design Key Problems of Suburban Railway Traction Power Supply System

HUANG Lingzhen

**Abstract** Key problems of traction power supply system selection, joint construction scheme of traction and power substation, and rail transit power supply resource sharing mode of suburban railways are discussed. Taking Jiamin Line of Shanghai suburban railway as an example, considering the characteristics of line network planning, transportation organization and environment conditions, 25 kV AC power supply system is recommended for suburban railway traction power supply system, and the optimized indoor general layout scheme of traction and electric power joint construction substation is proposed.

**Key words** suburban railway; power supply format; design; key problem

**Author's address** China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

社会经济发展加速了城市与城市之间、城市郊区与中心城区之间的交通需求,市域铁路作为快速、便捷的交通方式,缓解了居民的出行压力<sup>[1]</sup>。牵引供电系统为列车提供动力,其安全、可靠、不间断供电是市域铁路正常运营的关键。市域铁路牵引供电系统有别于城市轨道交通和城际铁路,其需同时满足快速、公交化的运营要求。以上海市域铁路嘉闵线(以下简为“嘉闵线”)为例,对该线路牵引

供电系统设计中的供电制式选择、牵引变电所与电力变电所合建(以下简为“牵引电力合建变电所”)方案,以及其与轨道交通供电资源共享模式等关键问题进行了探讨。

## 1 市域铁路牵引供电制式选择

城市轨道交通通常采用直流 750 V 或直流 1 500 V 牵引供电制式,城际、客运专线采用单相工频 25 kV 交流牵引供电制式。交通线网的协调性、速度的适应性、供电能力的合理性及经济性等特点,决定了上海市域铁路牵引供电制式的选择。

上海市域铁路作为长江三角洲区域一体化交通网络的一部分,在运输组织上与国铁互联互通,需满足国铁跨线车的通行。上海市内已运营或即将改造并纳入上海市域铁路线网的金山支线、浦东铁路等均采用 25 kV 交流供电制式。上海市域铁路采用交流供电制式,可以实现长江三角洲区域一体化铁路交通网络开行大交路列车及互联互通的目标。

上海市域铁路设计速度采用 120 km/h 及以上,在建市域铁路机场联络线、嘉闵线的设计速度均为 160 km/h,目前还未有能满足该设计速度的直流制式车辆,若重新研制势必造成成本增加。以嘉闵线为例,线路长约 44 km,设 15 座车站,平均站间距 3.110 km,最小行车间隔 3 min。暂不考虑线路土建、车辆研发及购置等因素,对该线路交、直流牵引供电制式的工程投资进行对比,如表 1 所示。

交流牵引供电系统供电电压等级高,牵引供电设施少,接触网结构简单。嘉闵线牵引供电系统采用交流供电制式与采用直流供电制式相比,工程投资可减少约 500 万元/km。因此,嘉闵线采用 25 kV 交流牵引供电制式,即可适应 160 km/h 的设计速度,在牵引供电工程投资上也更具备经济性。市域铁路整体工程的经济性可结合土建、车辆、信号、通信、检修维护进一步分析<sup>[1]</sup>。

表1 嘉闵线交、直流牵引供电制式下工程投资对比表

Tab.1 Comparison of AC/DC traction power supply system project investment

项目	数量	不同供电制式下的工程投资/万元	
		交流制式	直流制式
环网电缆	44 km	19 000	23 000
外部电源工程	2 座	50 000	50 000
110 kV 变电所	2 座	12 000	9 000
直流牵引所	17 座		23 000
供电车间	1 处	1 800	1 800
接触网	44 km	26 000	25 000
杂散电流防护	44 km		4 800
电力监控	1 处	500	1 800
合计		110 800	132 400

注:城市轨道交通环网电缆同时为直流牵引变电所、降压变电所供电,市域铁路环网电缆仅为降压变电所供电;交流制式下工程投资为2 500 万元/km,直流制式下工程投资为3 000 万元/km。

2 牵引电力合建变电所方案

2.1 市域铁路电力供电方案

市域铁路电力供电方式主要有分散式贯通供电方案和集中式环网供电方案<sup>[2]</sup>。

1) 分散式贯通供电方案:借鉴铁路贯通线供电方式,设1路10 kV一级负荷贯通线和1路10 kV综合负荷贯通线。车站从地方变电站引入2路10 kV电源,为通信、信号以及动力照明等综合负荷供电<sup>[3]</sup>。10 kV供电系统处于城市电网继电保护的中末端,运行易受其他用户的干扰;其电压等级较低,系统网压波动较大。若沿线既有电源点的备用容量难以满足本工程大负荷的需求,需对地区变电所进行较大的扩建、改建或新建。

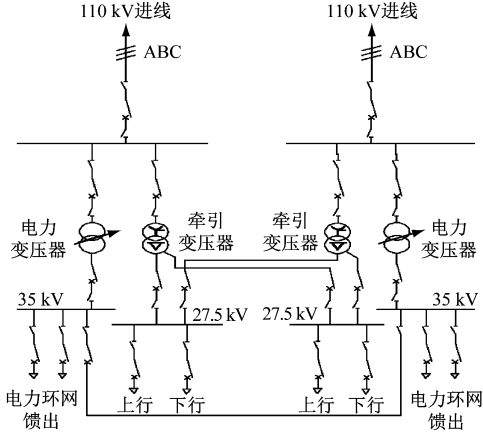
2) 集中式环网供电方案:借鉴城市轨道交通中压环网供电方式,在全线负荷点设置配电所,通过配电所将来自城市电网的高压电源提供给沿线车站降压变电所。电源电压采用110 kV/35 kV或35 kV/35 kV。该供电方式具有电压等级高、电源可靠性高、要求城市电网提供的电源点少、外部电源费用少、有利于多条线路共享等优点。

以嘉闵线为例,该线路车站数量多,均为地下站,动力照明负荷重;高峰小时列车对数多,故障影响范围广。独立设置35 kV电力配电所的集中式环网供电方式的可靠性较好,更适用于市域铁路供电需求。

2.2 牵引电力合建变电所主接线方案

上海市域铁路连接市郊与市区,线路穿越城区,牵引变电所不可避免地选址于城市中心、商业繁华地带、开发区等用地紧张地段,征拆难度大。市域铁路采用27.5 kV牵引变电所与35 kV电力变电所合建方式,可实现土地集约化、资源共享化、工程投资经济化。牵引变电所占电力变电所合建主接线方案有以下3种:

1) 牵引、电力变压器共用110 kV电源。1组牵引变压器和电力变压器接自同1路110 kV电源进线,2路110 kV电源分列运行。牵引变压器采用一主一备方式,电力变压器采用双电源同时运行方式。牵引、电力变压器共享110 kV电源,变压器及其低压侧的设备分开设置,电力变压器与牵引变压器互不影响。该方案的主接线方式如图1所示。



注:ABC为电源相序,图2~3同。

图1 牵引、电力变压器共用110 kV电源主接线方案

Fig.1 Common 110 kV power supply of traction and electricity transformer

2) 电力变压器接于牵引变压器27.5 kV侧母线。2台27.5 kV/35 kV电力变压器接于牵引变压器二次侧27.5 kV母线。因接触网是工频单相电源,牵引负荷波动频繁,将产生电压波动、谐波及负序等电能质量问题;牵引网检修影响电力变压器的供电;两相27.5 kV和三相35 kV电力变压器为非标设备,其定制需增加购置成本。该方案的主接线方式如图2所示。

3) 采用110 kV/27.5 kV/35 kV三绕组变压器。110 kV三绕组变压器二次侧分别为35 kV电力变压器绕组和27.5 kV牵引变压器绕组。电力绕组为通信、信号、动力照明等供电,牵引绕组为牵引网提供单相电源。该方案的优点是三绕组变压器设备结构紧凑、节省房建用地;缺点是变压器定制

成本高,电力与牵引检修相互影响。该方案的主接线方式如图 3 所示。

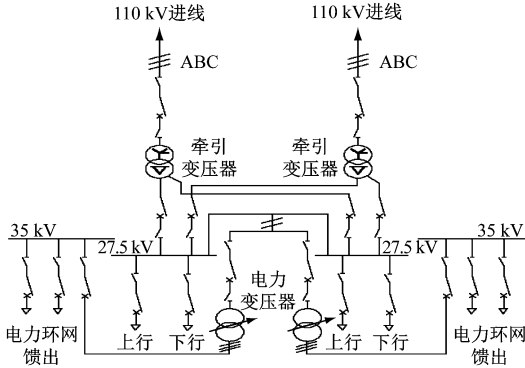


图 2 电力变压器接于牵引变压器 27.5 kV 侧母线主接线方案

Fig. 2 Power transformer connection to traction transformer 27.5 kV bus bar main wiring scheme

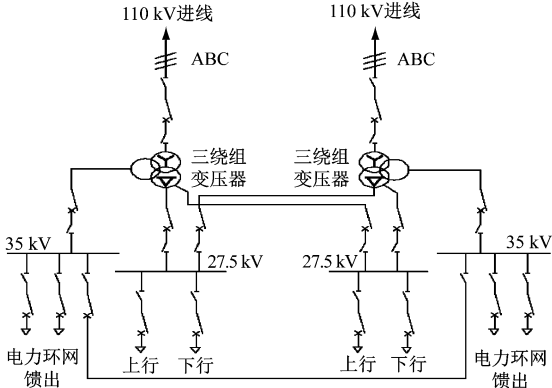


图 3 110 kV/27.5 kV/35 kV 三绕组变压器主接线方案

Fig. 3 110 kV/27.5 kV/35 kV three-winding transformer main wiring scheme

综上,推荐嘉闵线牵引电力合建变电所采用电力变压器与牵引变压器共享 110 kV 电源的主接线方式。

2.3 牵引电力合建变电所总平面布置

市域铁路牵引变电所多设置于铁路沿线,采用户外敞开式布置方式,房屋面积较大。市域铁路大多穿越市(郊)区,户外敞开式变电所的占地面积大,电气设备的噪声及布置影响城市环境和景观。而全户内布置型式变电所具有布局紧凑、占地面积少、设备安装运行环境好、便于维修等优点<sup>[4]</sup>。综合上述因素,嘉闵线牵引电力合建变电所采用全户内优化布置型式。

全户内优化布置的牵引电力合建变电所采用局部三层设计:第一层设有电力变压器室、牵引变压器室、110 kV 组合电器室、SVG(动态无功补偿装置)室等房屋;局部夹层设有 SVG 室和通信室;第三层设有高压室、控制室、接地变和电阻柜室等。

按常规户外敞开式变电所布置时,场坪尺寸为 120 m×100 m;按全户内一层牵引变电所布置时,场坪尺寸为 100 m×42 m;按全户内二层牵引变电所布置时,场坪尺寸为 75 m×40 m;采用优化后的全户内三层设计方案时,场坪尺寸为 61 m×40 m,仅为户外敞开式设计方案的 20.3%,为全户内一层布置方案的 58.1%,为全户内二层布置方案的 81.3%。牵引电力合建变电所全户内总平面优化布置方案如图 4 所示。

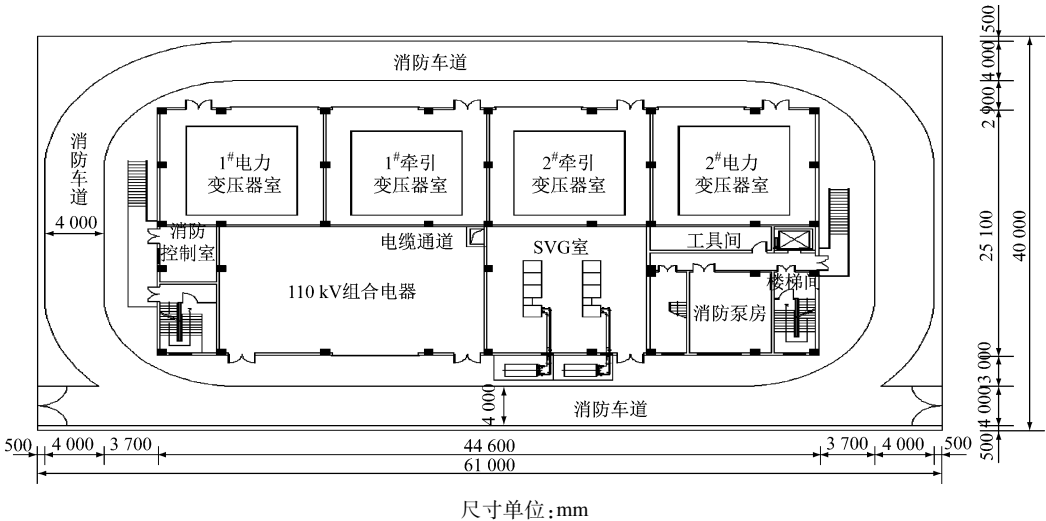


图 4 牵引电力合建变电所全户内总平面优化布置图

Fig. 4 Traction and electricity joint construction substation optimized indoor general layout plan

### 3 市域铁路与城市轨道交通供电资源共享模式

轨道交通主变电所采用 110 kV/35 kV 供电方式,通过中压供电网络为沿线牵引(混合)变电所及降压变电所供电。上海在建及规划市域(郊)铁路线路(长度超过 600 km),将与城市轨道交通形成网络化运营,且多处站点与规划城市轨道交通衔接。通过市域铁路与城市轨道交通主变电所资源共享,可减少外部电源投资<sup>[5]</sup>。

市域铁路与城市轨道交通主变电所共享的模式包括 110 kV 电源侧共享及 35 kV 电源侧共享<sup>[6]</sup>。

#### 3.1 110 kV 电源侧共享

110 kV 电源侧共享模式设置 6 台变压器:2 台 110 kV/27.5 kV 牵引变压器为市域铁路牵引网供电,2 台 110 kV/35 kV 电力变压器为市域铁路电力供电,2 台 110 kV/35 kV 主变压器为轨道交通线路供电。该模式的主接线方式与图 1 类似,增加了 2 台轨道交通专用主变压器。

#### 3.2 35 kV 电源侧共享

35 kV 电源侧共享模式的常用主接线方式主要有 T 接方式和两级母线方式,如图 5 所示。

1) T 接方式:从变压器二次侧出线端子处引出。共享工程分别设置独立的 35 kV 母线,市域铁路电力供电系统与城市轨道交通供电系统相对独立。

2) 两级母线方式:在变压器二次侧设置两级 35 kV 母线,第一级 35 kV 母线为市域铁路与城市轨道交通共用;第二级 35 kV 母线分别为市域铁路与城市轨道交通设置,且各线路 35 kV 供电系统相对独立。

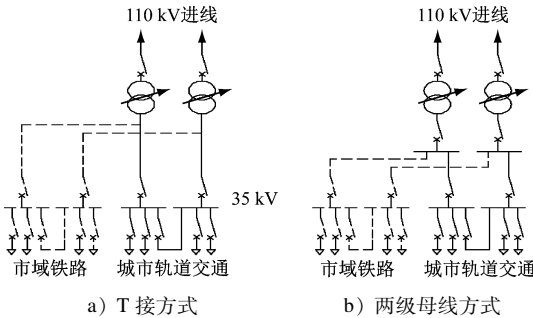


图 5 35 kV 电源侧共享方式

Fig.5 35 kV power side sharing mode

T 接方式结构简单,母线相互干扰小;两级母线

方式适用于共享主变电所距离较远、馈线回路较多、线路建设时序相差较大的线路。

#### 3.3 供电资源共享方案分析

市域铁路与城市轨道交通 110 kV 电源侧共享和 35 kV 电源侧共享方案,从故障影响、运营管理、占地面积、工程投资等方面进行技术经济比较<sup>[7]</sup>,见表 2。

表 2 两种供电资源共享方案技术经济性对比

Tab.2 Comparison of technology and economy between two power supply resource sharing schemes

项目	共享方案	
	110 kV 侧	35 kV 侧
故障影响	主变压器独立设置,故障相互影响小	主变压器故障同时影响市域铁路和城市轨道交通供电
共享后增减主要设备	增加 1 套主变压器及配套接地装置、1 套 110 kV 高压电气设备、1 套 SVG	对既有电力变压器、SVG 进行增容改造
运营管理	接口在 110 kV 电源进线侧,运营管理简单	接口在 35 kV 电源出线侧,运营管理复杂
主变电所占地面积/m <sup>2</sup>	约 3 000	约 2 500
共享后增加投资/万元	约 1 400	约 1 200 (不计旧设备剩余价值)

市域铁路与城市轨道交通供电资源共享模式的选择,需结合线网规划、建设时序,经技术经济综合比较后再确定。

### 4 结语

上海市域铁路嘉闵线采用交流牵引供电制式,在与国铁互联互通、运输组织需求、经济性等方面具有较为明显的优势。推荐嘉闵线牵引电力合建变电所总平面采用全户内三层优化布置型式,该型式节省占地面积、环境适应性强。该线路与城市轨道交通供电资源的共享模式可结合供电系统的可靠性、建设时序适应性等方面来确定。

### 参考文献

[1] 胡仁兵. 市域铁路制式选择分析[J]. 铁道工程学报,2014(6):99.  
HU Renbing. Analysis of urban - suburban railway standard selection[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(6):99.  
[2] 孙建明,丁坚勇,董世欢. 市域铁路电力供电方案及可靠性分析[J]. 城市轨道交通研究,2015(12):22.

(下转第 133 页)