

城市轨道交通与干线铁路衔接段的 接触网设计方案研究*

余 韬

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 102600, 北京//高级工程师)

摘 要 分析了城市轨道交通与干线铁路2个系统的接触网组成,总结了2个系统在牵引供电制式、悬挂方式、接触线高度、设备限界、回流网、开关设备、轨道车辆高压电器设备等方面的差异。根据城市轨道交通与干线铁路所采用的授流方式,提出了在二者的衔接段采用直流架空接触网和交流架空接触网衔接、直流接触轨与交流架空接触网衔接2种设计方案。该研究已在试验线上得以成功应用,实现了在1条走行轨上同时开行城市轨道交通列车和干线铁路系统机车的接触网设计。

关键词 城市轨道交通;干线铁路;接触网衔接设计;架空接触网;接触轨

中图分类号 U255;U293.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.03.012

Study on OCS Design at Connecting Section of Urban Rail Transit and Trunk Railway Line YU Tao

Abstract The composition of OCS in urban rail transit system and trunk railway line system is analyzed, and the differences between the two systems in aspects including traction power supply mode, suspension mode, contact wire height, clearance requirements, return system, isolation switch, locomotive high-voltage electrical equipment are summarized. Considering the two current collection modes adopted by urban rail transit and trunk railway line, two design scheme are proposed. One is connection between DC overhead catenary and AC overhead catenary, and the other is connection between DC conductor rail and AC overhead catenary. The research has been successfully applied on test line, and the OCS design of urban rail transit train and trunk railway line system locomotive running on one track at the same time has been realized.

Key words urban rail transit; trunk railway line; OCS connection design; OCS (overhead contact system); conductor rail

Author's address China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 102600, Beijing, China

如果城市轨道交通与干线铁路在1个车站内能无缝连接,则乘客有可能只需乘坐1趟列车,就能到达市区、郊区及相邻城市的各站点。因此,建立一体化的轨道交通系统不但便于城市向郊区延伸,带动周边区域的快速发展,同时也使轨道交通更加舒适、方便和快捷。特别是将既有的城市轨道交通系统与既有的干线铁路系统相连,只需要在2个系统间新建衔接段,即可节省大额的建设费用。

要实现城市轨道交通与干线铁路的衔接,供电系统的顺利过渡是其中关键的因素之一。本文对牵引供电制式、悬挂方式、接触线高度、设备限界、回流网、接触网开关设备、机车高压设备等进行重点探讨,提出城市轨道交通与干线铁路2个系统衔接段的接触网设计方案。

1 2个系统接触网的差异

1.1 牵引供电制式

牵引供电制式有直流和交流2种。其中:直流制式的电压一般为750 V或1 500 V,具有牵引电流大、绝缘等级低、对隧道净空要求小的优点,但牵引所数量多、电能损耗较大,多适用于城市轨道交通系统;交流制式的电压为25 kV,具有牵引所数量少、牵引网截面小、结构简单的优点,但绝缘等级高、对隧道净空要求高,多适用于干线铁路系统。

由于我国干线铁路发展已经较为成熟,大中型城市均连入干线铁路系统。如果将城市轨道交通系统与既有的干线铁路系统连接,利用干线铁路系统富余的客运能力,组成一体化轨道交通,将节省巨额的轨道交通建设费用。这其中最核心的问题

* 中国铁建股份有限公司科研开发项目(15-C58)

就是要解决不同供电制式在接触网上的衔接。

1.2 授流方式

接触网的授流方式体现了载流能力和机械接触的特点^[1]。授流方式分为架空接触网和接触轨 2 种,其中,架空接触网又可分为柔性架空接触网和刚性架空接触网。

干线铁路系统的列车最高运行速度可达到 350 km/h,受电弓与接触线高速摩擦,弓网电弧对功率因素、受电弓滑板 and 接触导线使用寿命等方面均会产生不良影响,因此宜采用弓网载流性能好的柔性架空接触网。在隧道净空低的低速区段,在考虑造价等因素时,可采用刚性架空接触网。

城市轨道交通系统的列车最高运行速度不大于 120 km/h,与干线铁路系统相比,其弓网接触的要求较低,柔性架空接触网、刚性架空接触网和接触轨这 3 种授流方式在城市轨道交通系统中均有应用案例。其中,在城市轨道交通线路的地下区段因为降低净空可以减少开挖投资,其接触网大多采用接触轨或刚性架空接触网,在地上区段则大多采用接触轨或柔性架空接触网。

1.3 接触线高度

在城市轨道交通系统中,受电弓的工作高度为 3 980 ~ 5 800 mm。在干线铁路系统中,受电弓的工作高度为 5 200 ~ 6 500 mm。

由于城市中心区的轨道线路以地下线居多,受隧道净空限制,宜采用受电弓高度较低的城市轨道交通系统。而郊区的轨道线路则多为地上线或地面线,接触线高度不受净空限制。因此,郊区线路便于设置 2 个系统的衔接段,导线高度应采用 2 个系统受电弓均满足的 5 200 ~ 5 800 mm。

1.4 设备限界

接触网支柱、接触轨等设备的安装应符合轨道车辆横断面轮廓尺寸的限界要求。城市轨道交通系统接触轨设备的限界为 1 470 mm,架空接触网的限界为 1 670 mm。干线铁路系统架空接触网的限界为 2 440 mm。

地下区段线路的架空接触网采用吊柱或汇流排悬挂,不存在限界要求。当地下段采用接触轨时,其限界按照 1 470 mm 控制。

地上区段线路为了接触网支柱布置的统一性,衔接段优先采用尺寸较大的干线铁路限界要求。

1.5 回流网

干线铁路系统的回流网由钢轨、大地和回流线

3 部分组成。由于采用交流系统,钢轨与大地之间不设绝缘,轨道电位较低。

城市轨道交通系统的回流网为钢轨回流,由于采用直流系统,易产生直流杂散电流^[2]。杂散电流会腐蚀地下金属结构^[3],因此钢轨与地面需设绝缘。由于钢轨具有电阻,当回流电流经过时,走行轨的电位将升高,检修人员易因误触钢轨而发生电击事故。因此,在市中心区采用直流城市轨道交通系统时,需设轨地绝缘和轨电位限制措施。在郊区若采用交流干线铁路系统,需要在 2 个系统衔接段的合适位置设轨道绝缘节,或在城市轨道交通区段增加回流轨,以将两者的回流网分开。

1.6 接触网开关设备

城市轨道交通系统电压等级低、载流要求高,干线铁路系统电压等级高、载流能力低。在衔接段的接触网开关设备可以配置 25 kV 耐压等级绝缘子,并通过增加电连接来提高载流量,以同时满足城市轨道交通和干线铁路 2 个系统的要求。

1.7 轨道车辆高压电器设备

轨道车辆高压电器是指安装在车辆顶部或侧面、工作在高压环境下的电器,在电路中主要体现在主电路的原边部分。轨道车辆高压电器主要包括受电弓/集电靴、主断路器、高压电流互感器、高压电压互感器、高压连接器、高压隔离开关、避雷器等。国内已有可在城市轨道交通直流系统和干线铁路交流系统中灵活切换牵引供电制式的市域快轨列车。

2 直流架空接触网和交流架空接触网的衔接设计

2.1 牵引供电制式设计

2.1.1 衔接段的接触网导线配置

城市轨道交通直流系统电压低、电流大、导线数量多。干线铁路交流系统电压高、电流小、导线数量少。表 1 提供了城市轨道交通与干线铁路 2 个系统接触网导线配置方式,以供参考。

导线的截面和具体数量可根据工程的实际载流量选定。当轨道车辆载流超过上述配置导线的载流量时,还可以增设适当数量的加强线。导线的数量对接触网工程投资影响较大,可以按市区线路和郊区线路分开配置接触网导线。应在郊区的地上线路区间设置 2 个系统接触网的衔接段。

表1 城市轨道交通与干线铁路接触网导线的参考配置

Tab. 1 Reference configuration of OCS conductor of urban rail transit and trunk railway line

轨道系统	悬挂类型	导线配置方式
城市轨道交通	刚性架空接触网	单汇流排 + 单接触线 + 单架空地线
	柔性架空接触网	双承力索 + 双接触线 + 单架空地线
干线铁路	刚性架空接触网	单汇流排 + 单接触线
	柔性架空接触网	单承力索 + 单接触线

2.1.2 衔接段的电分相设计

由于城市轨道交通直流系统和干线铁路交流系统不能在接触网上共存,因此应在衔接段接触网设置电分相,中间为无电区,列车利用惯性冲过无电区。城市轨道交通系统列车的最高运行速度不大于120 km/h,为了缩小无电区范围,可采用器件式电分相,其电分相及相关标志牌的相对位置如图1所示。

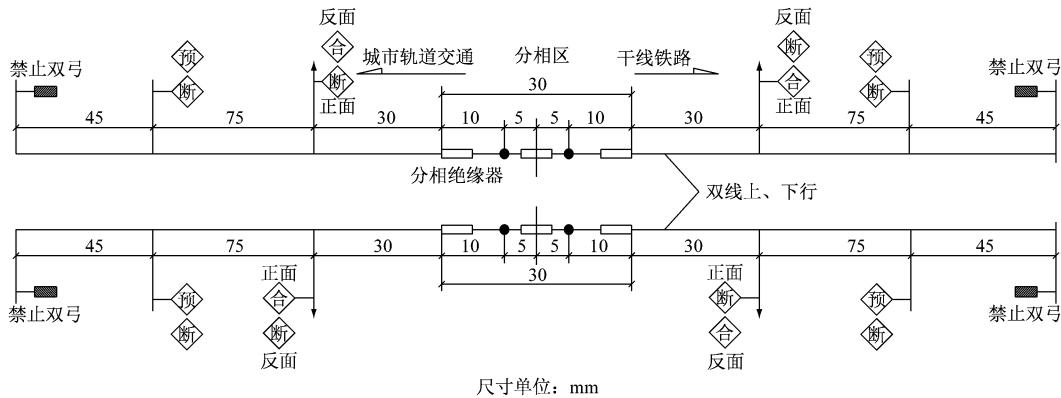


图1 城市轨道交通与干线铁路2个系统衔接段的电分相设计

Fig. 1 Electrical split-phase design in connecting section of two systems of urban rail transit and trunk railway line

由于分相两侧分别为交流、直流2种不同的供电制式,列车通过分相时需要提前打开主断路器,因此可以在图2中1#位置至4#位置间的股道上设置自动过分相地面磁感应器。当列车通过分相区时,可感应到自动过分相磁感应器发出的信号,车载设备根据信号切断或合上主断路器。

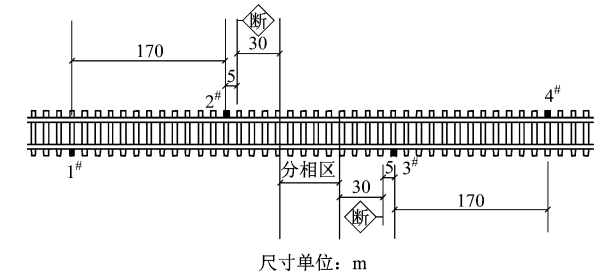


图2 分相区内设置自动过分相磁感应器示意图

Fig. 2 Schematic diagram of setting of passing over phase-splitter magnetic inductor in neutral section area

2.1.3 绝缘设计

衔接段接触网的绝缘均按满足交流25 kV要求进行设计,绝缘爬距不应小于1 200 mm。

2.2 授流方式

若与干线铁路衔接的城市轨道交通系统为新建项目,该新建线路应优先采用架空接触网。若受

隧道净空等条件限制,城市轨道交通采用接触轨授流,则可采用同时具有受电弓和集电靴的轨道车辆,以实现2种授流模式的转换。如深圳轨道交通3号线的正线为接触轨,车辆段为架空接触网,车辆可切换授流以适用这2种模式。

2.3 接触线高度

地下区段线路的接触线高度为4 050 mm,地上区段线路的接触线高度为5 500 mm。接触网衔接段设置在地上,在干线铁路系统侧逐渐将接触线高度提升至5 500 mm,导线的坡度变化不得大于4‰。

2.4 设备限界

地下区段线路采用顶部固定悬挂,除保证接触线高度外,无其他限界要求。

地上区段线路接触网设备限界为2 500 mm。

2.5 回流网

在衔接段设置轨道绝缘节,将城市轨道交通和干线铁路2个系统的回流网分开。衔接段回流设置的具体步骤如下:

1) 列车正常运行时升双弓,通过受电弓从接触网取流,通过轮对从钢轨回流。在衔接段电分相前约150 m,列车开始降前弓,后弓保持不变。

2) 在列车过电分相时,主断路器断开,利用惯

性冲过分相区,此时列车不从接触网取流,也不通过轮对从钢轨回流。因此,主断路器断开后在列车轮对靠近干线铁路侧须设置 1[#]轨道绝缘节,如图 3 所示。

3) 列车主断路器闭合前,在靠近干线铁路侧列车第 1 个轮对后须设置 2[#]轨道绝缘节。以该绝缘节为界,城市轨道交通侧钢轨为绝缘设置,干线铁路侧钢轨为非绝缘设置,如图 4 所示。

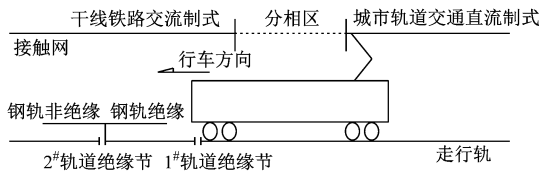


图 3 衔接段 1[#]轨道绝缘节的设置

Fig. 3 Setting of track insulation joint 1[#] in connection section

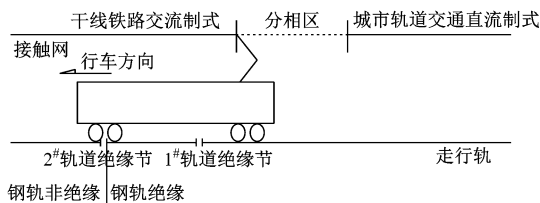


图 4 衔接段 2[#]轨道绝缘节的设置

Fig. 4 Setting of track insulation joint 2[#] in connection section

4) 相互衔接的城市轨道交通线路和干线铁路上如需运行多种不同车型的轨道车辆时,需根据轨道车辆最外侧轮对与受电弓间的距离,计算确定 2 个轨道绝缘节的具体位置,以保证回流的兼容性。

2.6 接触网开关设备

衔接段接触网开关设备应配置 25 kV 耐压等级绝缘子和满足最大直流载流量的电连接。

3 直流接触轨与交流架空接触网的衔接设计

如果将干线铁路系统与采用接触轨的城市轨道交通系统相连,衔接段需同时设置接触轨与架空接触网,并要求轨道车辆同时具有受电弓和集电靴 2 种受电功能。

由于接触轨和架空接触网相互独立、互不干扰,因此,除设备限界和回流网需要进行特殊设计外,供电制式、授流方式、接触线高度、接触网开关设备等方面只需按相关的规范要求设计即可。

3.1 设备限界

由于干线铁路无接触轨,限界未考虑接触轨尺

寸的要求,为了保证干线铁路车辆能在城市轨道交通的接触轨区段正常通过,需将接触轨外移至距离转向架中心线水平 1 727.5 mm 处^[4],机车的受电靴长度也应相应延长。接触网设备限界采用 2 500 mm。

3.2 回流网

干线铁路系统采用钢轨、大地和回流线的回流网。城市轨道交通系统为了避免泄漏直流杂散电流,可增加专用回流轨回流。专用回流轨安装于线路的无接触轨侧,结合设备限界要求回流轨距离转向架中心线水平 1 727.5 mm。

专用回流轨与干线铁路系统回流互不干扰、相互独立。与城市轨道交通的钢轨回流相比,专用回流轨具有明显的优势。

4 应用实例

目前,国内虽然没有正式运营的城市轨道交通和干线铁路共用线路,但是开通了 1 条既能开行城市轨道交通列车、又能开行干线铁路机车的试验线,如图 5 所示。该线同时设置了架空接触网和接触轨,架空接触网能满足直流 750 V、1 500 V 和交流 25 kV 3 种牵引供电制式的需求。



图 5 城市轨道交通与干线铁路共用试验线的衔接段

Fig. 5 Connecting section in the mutual test line of urban rail transit and trunk railway

由于轨道车辆原因,除回流系统和电分相外,衔接段在其余的悬挂方式、接触线高度、设备限界等方面均采用上文所述方案进行设计。在该线上先后进行了城市轨道交通直流列车和干线铁路交流机车的开行试验,2 种轨道车辆均可正常运行。

(下转第 65 页)