

地铁车辆场段出入段小半径曲线线路接触网刚柔过渡设置方案

高 妍

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安 // 工程师)

摘 要 阐述了目前 3 种接触网刚柔过渡形式各自的原理及优缺点, 提出刚柔过渡在地铁出入段小半径曲线线路上设置需满足的条件。比较了刚柔过渡处竖直悬吊及悬臂式悬吊等两种悬挂方式, 推荐小半径曲线线路采用竖直悬吊方式以保证接触线的接触面与受电弓平行。建议设计时可根据线路条件实际放样, 以此来进行接触网刚柔过渡处的平面和立面布置, 并给出了平面和立面布置的详细设计步骤及注意事项。

关键词 地铁车辆场段; 出入段线; 小半径曲线; 接触网; 刚柔过渡

中图分类号 U225.2

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.06.034

Allocation Scheme of Catenary Rigid Flexible Transition Section on Small-radius Curve of Metro Vehicle Depot Inlet/Outlet Line

GAO Yan

Abstract Principle, advantages and disadvantages of the current three fromats of catenary rigid flexible transition section are expounded, and the required conditions of setting rigid flexible transition on metro inlet/outlet line small-radius curve are demonstrated. Two hanging ways at the rigid flexible transition section, namely, vertical suspension method and cantilever suspension method are compared. It is recommended to use vertical suspension to ensure the interface of contact line parallel to pantograph for small-radius curve line. It is suggested to do lofting according to the actual line conditions during design, in order to carry out plane and facade layout of catenary rigid flexible transition section, of which detailed design steps and precautions are listed.

Key words metro vehicle depot; inlet/outlet line; small-radius curve; catenary; rigid flexible transition

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

目前, 国内大部分采用架空接触网的地铁线路, 其正线地下段一般采用刚性接触网, 车辆段、停

车场考虑到建设成本一般采用柔性接触网。因此, 在柔性接触网与刚性接触网衔接处必须设置刚柔过渡, 而刚柔过渡通常设置在出入段线上, 以实现弓网关系的平滑过渡。

文献[1]分析了曲线线路上刚柔过渡在施工阶段需注意的问题; 文献[2]对困难条件下刚柔过渡设计中的问题进行了探讨; 文献[3]针对上海轨道交通 9 号线提出小半径曲线处刚柔过渡需按比例放样。

近年来, 由于城市发展用地越来越紧张, 为了适应车辆场段选址, 其出入段线的曲线半径逐渐减小, 对刚柔过渡的设置提出了新的考验。

1 接触网刚柔过渡的布置形式

目前, 接触网刚柔过渡的布置形式有关节式刚柔过渡、切槽关节式刚柔过渡及切槽贯通式刚柔过渡等 3 种形式, 如图 1 所示。

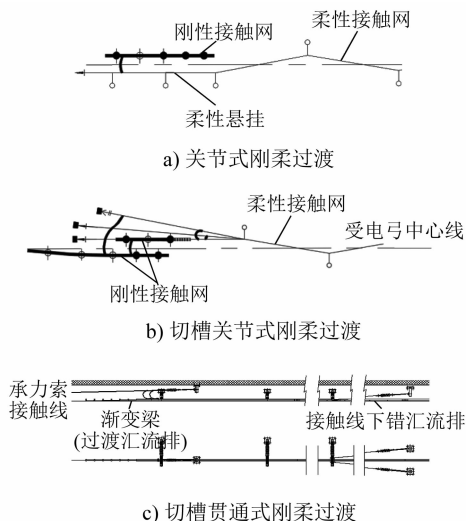


图 1 接触网刚柔过渡的布置形式

1) 关节式刚柔过渡。系通过柔性接触网深入隧道内和刚性接触网形成锚段关节。文献[4]对关节式刚柔过渡处受电弓进行了受力分析, 提出刚性

过渡至柔性以及柔性过渡至刚性,需设置不同的始触点高差以满足受电弓的平滑过渡。

2) 切槽关节式刚柔过渡。该结构要求承力索提前下锚,利用柔性接触网接触线穿入切槽式汇流排形成过渡段,与正常刚性接触网构成锚段关节。文献[5-6]分析了关节式刚柔过渡的两种方式,提出切槽关节式刚柔过渡在列车运行速度为 120 km/h 时仍具备双向通过能力;相比关节式刚柔过渡,切槽关节式刚柔过渡能适应更高的列车速度。

3) 切槽贯通式刚柔过渡^[7]。该形式下,承力索锚固在隧道洞口,接触线不改变方向,直接穿入切槽式汇流排,并通过贯穿螺栓固定。为了吸收接触线的张力,锚固梁上每隔 1.0 m 设置 1 处贯穿螺栓用以紧固接触线,并在其后设置带拉线的终锚点,以解决刚性接触网翘曲梁对受电弓的冲击。文献[8]仿真模拟了切槽式刚柔过渡的两种方式,结果表明,此种过渡形式可满足 160 km/h 的行车速度要求。

3 种刚柔过渡布置形式的优缺点对比见表 1。

表 1 接触网刚柔过渡布置形式对比表			
刚柔过渡方式	优点	缺点	使用情况
关节式刚柔过渡	结构简单,无需采用特殊的零部件	弓网关系变化大,始触点高差对列车时速影响较大 ^[1] ,柔性悬挂对净空要求较高	仅应用于早期开通的地铁线路,如广州地铁 1 号线等
切槽关节式刚柔过渡	适用于接触网采用双承双导悬挂方式,且列车能够双向通行的地铁牵引供电系统线路	仅适用于设计速度为 120 km/h 以下的线路	普遍应用于国内地铁线路
切槽贯通式刚柔过渡	适用于设计速度为 160 km/h 的线路	需采用特殊夹紧力汇流排	目前应用于部分交流 25 kV 的干线铁路及北京新机场线

2 地铁出入段小半径曲线线路接触网刚柔过渡的设置条件

在小半径曲线上设置刚柔过渡方案时,需注意如下要求:

1) 隧道一定范围内应具备刚柔过渡的安装净空条件。根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,隧道内接触线距轨面的高度不应小于 4 040 mm。以西安某地铁工程项目为例,其接触线导高为 4 040 mm,隧道内轨面以上净空高度为 4.6 m,曲线半径为 250 m,切槽式汇流排长度为 5 m,汇流排终端长

度为 5.95 m。第 2 支接触线下锚抬升角度与汇流排终端抬升角度需保持一致,为 $\arctan(70/1\ 000)$,则第 2 支接触线下锚点至隧道口的距离约为 19 m。在此范围内应核算 4.6 m 的净空高度能否满足安装需求。核算刚柔过渡安装净空时,需考虑刚性接触网安装形式的高度,接触线和承力索的下锚支与工作支的绝缘距离,以及下锚支距混凝土结构的距离等。若接触线高度抬升,隧道净空亦应相应增大。

2) 保证柔性接触网拉出值与刚性接触网拉出值相匹配,以及切槽式汇流排不发生扭转和弯折。切槽式汇流排为了使本体的刚性逐渐减少、柔性逐渐增大,每隔一定距离开有多个切槽,每个切槽的深度逐渐朝单一方向加深,因此无法承受较大的扭矩和弯矩;本体上设置有对接触线夹紧的螺钉和防止接触线发生滑动的专用线夹,当接触线产生扭转或弯折时,其作用力通过螺钉及线夹反映在切槽式汇流排上,导致局部形成硬点,影响弓网关系。

3) 各悬挂点拉出值考虑接触线最大风偏时,不超过受电弓的工作范围。刚柔过渡处刚性接触网最大拉出值可与正常地下区段拉出值保持一致,无需考虑风偏。但隧道外柔性接触网拉出值需考虑接触线最大风偏时,不超过受电弓的工作范围。曲线上柔性简单链型悬挂最大风偏时拉出值 $b_{j,max}$ ^[9]为:

$$b_{j,max} = \frac{l^2}{8} \left(\frac{mp_j}{T_j} + \frac{1}{R} \right) - a - \gamma_j$$

式中:

- l ——链型悬挂的跨距值,m;
- m ——链型悬挂的当量系数,一般取 0.85 ~ 0.90;
- p_j ——接触线单位长度的风负载,kN/m;
- T_j ——接触线的额定张力,kN;
- R ——曲线半径,m;
- a ——悬挂点处的拉出值,mm;
- γ_j ——接触线水平面内的支柱挠度,mm。

以 R 为 250 m 的小半径曲线为例, m 取 0.85,最大风速取 25 m/s,截面面积为 150 mm² 接触线的风负载取 0.703 kN/m, T_j 取 12 kN, a 取 250 mm, γ_j 取 20 mm, l 按不大于 30 m 计算。经核算, $b_{j,max}$ 为 309 mm,未超过受电弓的工作范围。

4) 根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》的要求,所有接地体距带电体的最小距离不应小于 150 mm。

3 接触网刚柔过渡处的悬挂方式

考虑到小半径曲线上外轨超高,以及受电弓存在偏斜,当允许的最大外轨超高为 120 mm 时,受电弓沿线路中心的偏斜角度为 4.78° 。由于刚性接触网是由汇流排夹持接触线与受电弓进行接触,若受电弓偏斜时,汇流排及接触线保持垂直,会造成受电弓对接触线的偏磨,长期运行下,受电弓会提前与汇流排形成倒角接触,会极大地减少接触线的使用寿命,严重情况下还会造成打弓的不良事故。

接触网刚柔过渡处包括悬臂式和竖直悬吊式两种悬挂方式(见图 2)。

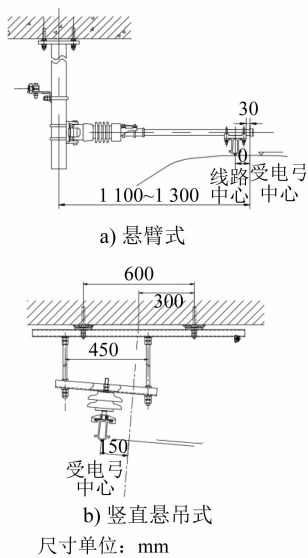


图 2 接触网刚柔过渡处的悬挂方式

1) 悬臂式绝缘子通过抱箍安装在吊柱上,仅能通过增加垫片的方式调整悬臂的角度或吊柱的倾斜度,以达到悬臂整体与受电弓接触面相平行的目的。安装时,因可调整余量较小,垫片需一次安装到位,且调节精度较低。

2) 竖直悬吊式通过调整 T 型头螺栓的长度实现悬吊槽钢与其上安装的绝缘子、汇流排和接触线的整体偏转。该悬挂方式具备调整方式便利、调整范围大、调节精度高等特点。因此,小半径曲线上悬挂安装推荐采用竖直悬吊方式。

4 接触网刚柔过渡处平面和立面布置的设计步骤及注意事项

小半径曲线上刚柔过渡需要根据线路和土建条件实际放样,并结合平面、立面设计,制定满足以上条件的刚柔过渡方案。

4.1 接触网刚柔过渡平面布置的设计步骤

1) 为保证刚性接触网的拉出值及柔性接触网拉出值的最大风偏不超过受电弓的半宽,隧道外第 1 组柔性悬挂点距刚柔过渡的距离不能过大,按跨距不超过 10 m 考虑。

2) 以隧道洞口里程为基准,根据切槽式汇流排和终端汇流排的长度,沿地铁线路中心线摆放刚性悬挂点 a 、 b 、 c ,通常按距端部弯头 1.8 m、2.0 m、3.8 m 的跨距进行布置,如图 3 所示。

3) 计算隧道外柔性接触网的风偏,并确定洞外第 1 组柔性悬挂点的拉出值。

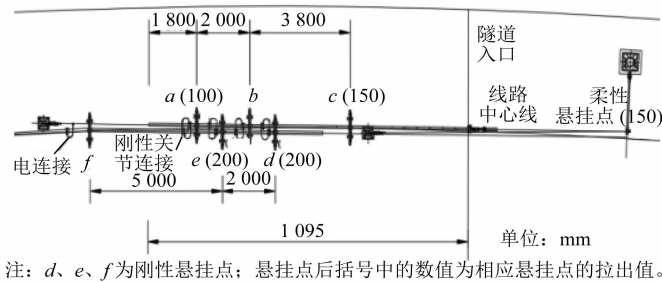


图 3 接触网刚柔过渡的平面布置图

4) 设刚性悬挂点 a 的拉出值为 100 mm,将 a 点于洞外第 1 组柔性悬挂点进行连接,以确定刚柔过渡锚段的延伸线。

5) 按常规布置方式确定刚柔过渡下 1 个锚段悬挂点 e 、 d 、 f 的拉出值及跨距。

6) 核算各刚性悬挂点的拉出值是否超出受电弓工作范围。

4.2 立面布置设计步骤

1) 根据接触网刚柔过渡平面图,沿地铁线路方向摆放各个悬挂点。

2) 计算承力索和接触线的下锚位置。其中,隧道内净空较小的情况下,双承力索可在洞口顶板结构上下锚,第 1 支接触线尽量在隧道内第 1 个悬挂点前下锚,第 2 支穿入切槽式汇流排的接触线下锚

抬升角度与终端汇流排的抬升角度保持一致。

3) 结合平面和立面图(见图 4),核对所有接地体距带电体的距离,若该距离不满足绝缘距离,可

采取调整下锚高度、下锚角度、刚性接触网跨距、刚性接触网拉出值等措施。

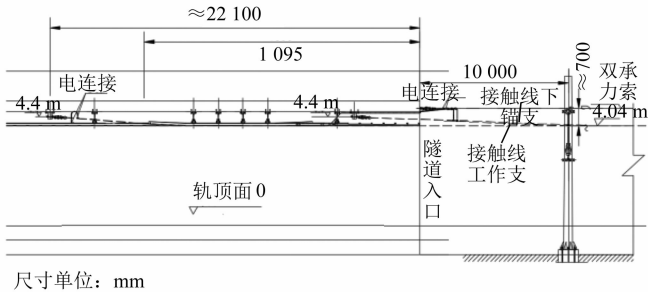


图 4 接触网刚柔过渡的立面布置图

4.3 接触网刚柔过渡外平面和立面布置的注意事项

1) 隧道内非绝缘关节处两锚段接触线的相对拉出值为 200 mm 时,需将 B 型悬吊槽钢调整为 A 型悬吊槽钢(见图 5),以避免汇流排与悬吊槽钢螺栓的间距不满足 150 mm 的绝缘距离。

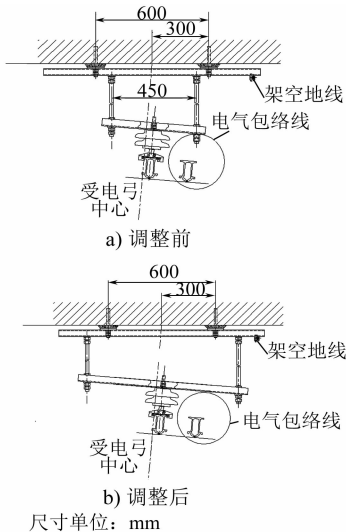


图 5 接触网刚柔过渡竖直悬吊方式调整前后对比图

2) 第 2 支接触线下锚与刚性悬挂点 f 发生冲突(见图 6)时,需调整该点跨距。不同跨距下接触线的相对位置,如表 2 所示。根据实际放样,跨距为 6 m 且 f 点拉出值为 150 mm 时,第 2 支下锚接触线能够满足其距 f 点的绝缘距离,如图 6 所示。

表 2 悬挂点 f 的跨距与接触线的相对位置数值表

刚性悬挂点 f 的跨距/m	接触线抬升高度/mm	接触线偏离线路中心的距离/mm
4	154	189
5	224	227
6	294	269

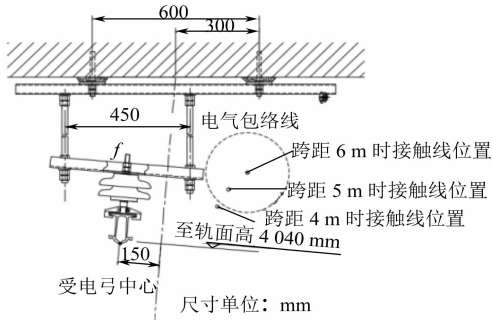


图 6 悬挂点 f 与接触线的相对位置图

3) 第 2 支接触线下锚时宜采用杵头型下锚绝缘子,保证小半径曲线上接触线和汇流排整体的偏转以及切槽式汇流排的平顺性。

4) 将原切槽端头的电连接线通过电缆延伸至第 1 个悬挂点,以减少切槽范围内汇流排的硬点,如图 7 所示。

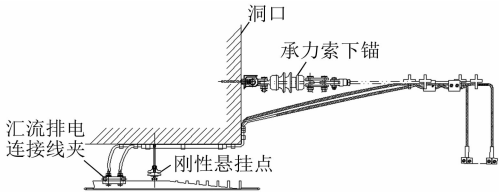


图 7 刚柔过渡处的电连接方式

5) 隧道外第 1 组、第 2 组柔性悬挂接触线高度宜与隧道内保持一致,防止接触线在切槽式汇流排中产生额外的分力。

5 结语

接触网刚柔过渡作为整个地铁弓网关系的薄弱环节,运营部门应予以高度重视。对困难条件下接触网刚柔过渡的布置,应分析地铁线路及土建

(下转第 165 页)

表 3 3 种同相牵引供电方案的系统可靠性计算结果

可靠性特征量	方案 1	方案 2	方案 3
平均工作概率/%	97.416 750	97.465 260	97.465 259
平均停工概率/%	2.583 250	2.534 740	2.534 741
平均维修时间/h	2.353 800	2.465 900	2.465 870
维修率/(次/h)	0.424 800	0.405 500	0.405 500
故障率/(次/年)	98.686 900	92.388 300	92.388 300
平均工作时间/h	88.765 600	94.817 200	94.817 200
平均寿命周期/h	91.119 400	97.283 100	97.283 100

通过上述计算结果可知,由于原牵引供电方案的牵引变电所层的正常工作概率比同相牵引供电方案低两个数量级,因此,同相牵引供电的系统可靠性比原供电方案的系统可靠性高。

5 结语

相较于传统牵引供电系统,同相牵引供电系统的可靠性更高。该系统取消了电分相,采用交流供电,同时解决了过分相问题和杂散电流问题。接触网采用的分段供电和检测技术,可以缩短故障维修时间,进一步提高牵引网的供电可靠性。因此,采用同相牵引供电技术方案,在解决既有问题的同时,供电系统的可靠性也有所提升。

(上接第 157 页)

条件,通过实际放样,充分考虑安装后可能出现的问题,在设计阶段进行规避。施工过程中也应对接触网刚柔过渡处予以重视,应减少施工误差,以保证刚柔过渡处良好的弓网关系。

参考文献

[1] 陈佳佳. 地铁接触网关节式刚柔过渡施工技术运用分析[J]. 科技风,2020(7): 125.
[2] 艾晓宇. 困难条件下的接触网刚柔过渡方案的探讨[J]. 科技创新与应用,2017(17): 206.
[3] 陈玮. 上海轨道交通 9 号线一期接触网刚柔过渡方案[J]. 铁

(上接第 161 页)

参考文献

[1] 王洪林. 设计时速 120 km 线路架空刚性悬挂接触网跨距选择[J]. 城市轨道交通研究,2017(10): 79.
[2] 杨理兵. II 型架空刚性接触网技术研究[J]. 城市轨道交通研究,2006(11): 50.
[3] 李夫忠. 接触网波动特性及提高波速利用率途径的研究[D]. 成都:西南交通大学,2012.
[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 轨道交通地面装置电力牵引架空接触网:GB/T 32578—2016[S]. 北京:中

参考文献

[1] 于松伟. 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.
[2] 李群湛. 我国高速铁路牵引供电发展的若干关键技术问题[J]. 铁道学报,2010(4): 119.
[3] 李群湛,贺建闽. 电气化铁路的同相供电系统与对称补偿技术[J]. 电力系统自动化,1996(4): 9.
[4] 解绍锋,李群湛,贺建闽,等. 同相供电系统对称补偿装置控制策略研究[J]. 铁道学报,2002(2): 109.
[5] 陈民武. 基于 GO 法的高速铁路牵引变电所可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制,2011(18): 56.
[6] 赵文龙. 同相供电系统可靠性研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
[7] 李群湛. 论新一代牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报,2014(4): 559.
[8] 李海燕,解绍锋,孙镜堤,等. 统一牵引供电系统可靠性研究[J]. 电气铁道,2018(6): 9.
[9] 郑吉. 地铁牵引供电系统可靠性分析[D]. 成都:西南交通大学,2009.
[10] 赵健. 基于 GO 法的交流牵引供电系统可靠性研究[D]. 西安:西安理工大学,2010.
[11] 林飞. 牵引供电系统可靠性指标体系与可靠性分析[D]. 成都:西南交通大学,2006.

(收稿日期:2019-05-27)

道工程学报,2010(6): 83.
[4] 李丁丁. 关节式刚柔过渡始触点高差研究[J]. 机电信息,2017(24): 151.
[5] 赵海军. 刚柔过渡方式的研究[J]. 电气化铁道,2008(1): 25.
[6] 杨艺,周宁,李瑞平,等. 基于有限元法的弓网过渡段处动态性能仿真分析[J]. 振动与冲击,2016(18): 71.
[7] FURRER B. Process and Apparatus for Coupling Elastic And Rigid Contact Line Systems:US,5957254 A[P]. 1999-09-08.
[8] 关金发,田志军,吴积钦. 基于弓网动力仿真的 160 km/h 刚柔过渡系统方案研究[J]. 铁道学报,2018(9): 48.

(收稿日期:2020-06-18)

国标准出版社,2016:16.
[5] 韩柱先,王国梁. 刚性接触网的不平顺分析[J]. 铁道工程学报,2007(4): 61.
[6] 尹魁元. 接触网刚性悬挂跨距的选择[J]. 都市轨道交通,2013(8): 105.
[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通架空接触网技术标准:CJJT 288—2018[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019: 15.

(收稿日期:2019-05-31)