

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.04.005

轨道交通调线调坡技术及改进研究

李驰宇, 虞先溢

(中铁二院华东勘察设计有限责任公司, 杭州 310004)

摘要: 在城市轨道交通施工过程中, 由于桥梁、隧道、地下车站等轨道交通构筑物的截面比较紧凑, 在施工期间难免会产生施工误差结构变形, 使结构物偏离设计位置。对于偏离较大的地段, 首先通过调整线路平面和纵断面, 或调整设备, 以此来减少偏差, 满足建筑限界要求。然后根据调整后的线路平、纵断面进行综合铺轨图的设计或变更设计, 最终才能施工轨道结构和铺轨。通过对轨道交通调线调坡设计流程进行梳理, 对调线调坡方法进行总结, 并根据设计经验, 对调线调坡技术提出用建筑限界代替设计值, 引入“限界圆”检测, 并进行可视化研究等改进建议。列举工程实例, 并总结若干难度较大的因素, 建议提早介入, 减少对相关专业的影响。

关键词: 轨道交通; 调线调坡; 可视化

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2019)04-0025-05

Technology and Improvement of Line and Slope Adjustment

LI Chiyu, YU Xianyi

(China Railway Eryuan Engineering Group CO., LTD., Hangzhou 310004)

Abstract: During the construction of an urban rail transit, the components of the structures such as bridges, tunnels, and underground stations are so dense that there is a possibility of distortion in the construction error structure, and deviation of structural objects from the design position. For areas with large deviations, the extent of deviation can be reduced by adjusting either the line plane and longitudinal section, or the equipment, so as to meet the requirements of the building limits. Then, based on the adjusted line plane and the layout of the rails, the design of the tracks is either designed again or modified to suit the track structure and the tracks. This study analyzes the design process for the line and slope adjustment for urban rail transit and summarizes the line and slope adjustment method. Furthermore, based on the design experience, the design value is replaced by the construction limit, and the “limit circle” test and visual research are introduced. Finally, the authors discuss case studies, highlighting a few challenging aspects, and suggest early intervention to reduce adverse impact.

Keywords: rail transit; line and slope adjustment; visualization

1 调线调坡的目的

近年来, 伴随着国内城市轨道交通如火如荼的发展, 建成通车的轨道交通项目越来越多。在通车前有一道重要的工序就是调线调坡, 调线调坡设计是轨道铺设和轨旁设备安装的重要依据。

桥梁、隧道、地下车站等轨道交通构筑物的截面比较紧凑, 基础一旦完成便很难改变; 而在施工期间不可避免会产生测量误差、施工误差和结构变形等因素, 使结构物偏离设计位置^[1]。对于偏离较大的地段, 通过调整线路平面和纵断面或调整轨旁设备的安装减少偏差, 满足建筑限界要求。然后根据调整后的线路平、纵断面进行综合铺轨图的设计和铺轨。

2 调线调坡资料准备

1) 最终版施工图设计线路平、纵断面图。

收稿日期: 2018-05-09 修回日期: 2018-06-12

第一作者: 李驰宇, 男, 硕士, 高级工程师, 从事新型轨道交通线路设计理论与技术的研究, 286242479@qq.com

2) 轨道专业提供的曲线超高表、轨道结构高度及允许减少值。

3) 限界专业提供的直线地段建筑限界图和曲线加宽计算办法。

4) 建筑专业提供的车站站台层平面、纵剖面、横剖面图。

5) 接触网专业提供的轨顶以上结构高度及允许减少值。

6) 轨旁设备宽度允许减少值。

3 调线调坡设计流程

调线调坡设计流程共分为5部分,如图1所示。横断面测量的密度,直线地段一般为每隔6m,曲线地段为5m。结构横断面变化处、人防隔断门边缘、联络通道、区间射流风机等处及施工偏差较大地段应加密断面^[2]。



图1 调线调坡设计流程

Fig. 1 Process of adjusting the slope design

4 调线调坡方法

调线调坡设计要遵循“先平面、后纵断面”的设计原则^[3]。

4.1 地下线平面调整

根据横断面测量记录表所反映的结构偏差情况,调整曲线使其拟合施工偏差,以符合限界或有关专业的设备安装要求。

4.1.1 直线地段的调整

通过平移、旋转和在直线地段增设反向曲线来拟合施工偏差曲线。但是若偏差发生在车站端部,效果常常不理想。

4.1.2 曲线地段的调整

曲线地段调整的方法较多,应结合偏差在曲线上的分布情况选择。主要的调整方法有以下几种:

1) 调整缓和曲线长度。该方法适用于施工偏差位于曲线同一侧,或者曲线前半段和后半段偏差正好相反的情况。通过调整缓和曲线长度来改变曲线内移量,使调整后的曲线能拟合施工偏差。调整缓和曲线长度有两种类型:①同时延长或缩短圆曲线两端的缓和曲线,圆曲线两端缓和曲线长度相同,缓和曲线内移量

的计算公式为 $p=l^2/24R$,从公式可见,与原有缓和曲线相比,该长度增大则曲线内移,缩短则曲线外靠;

②采用不等长的缓和曲线,可以使圆曲线发生微小的扭转。

2) 调整圆曲线半径。该方法适用于施工偏差位于曲线同一侧的情况。若圆曲线主要为内侧侵限,可增大曲线半径;反之则减小曲线半径。

3) 采用复曲线。该方法一般尽量不采用^[4]。在困难情况下,当施工偏差在曲线两侧呈离散状分布时,采用复曲线来拟合施工偏差是一种比较有效的方法。采用复曲线时,两相邻曲线的曲率差一般不宜大于 $1/2500$,以避免设置中间缓和曲线。采用复曲线调线的关键是要找到各个公切点,找到合适的公切点可以减少复曲线的数量。

4) 调整切线位置。该方法适用于直线段和曲线段都有一定的施工偏差的情况。

5) 调整线路标高。在圆形隧道地段,对于侵限不大的地段,也可采用调整轨面标高,以增大控制点横距,减少侵限。

4.2 地下线纵断面调整

纵断面调整是根据横断面测量记录表中的轨面以下实测高度(轨道结构高度)和轨面以上实测高度,对于高度不足的地段,通过调整坡段长度和坡率来拟合实测标高。调坡的一般方法如下:

1) 将一个长坡段分成若干个短坡段,且各短坡段间的坡度差小于2‰的办法来调坡,坡度差小于2‰可不设竖曲线。

2) 若较大的偏差位于变坡点附近,可通过改变竖曲线半径的办法来调整。

3) 改变变坡点标高。

4.3 高架线调线调坡

高架地段线路调整的基本方法与地下线相同,但高架线的线路调整有其特殊性。

1) 轨面以上净空一般不受控制,故横断面测点较少。

2) 受桥梁和墩台的设计偏心控制,线路的横向调整量即调线受到一定的限制。

3) 受梁部和墩台设计荷载的控制,轨道结构抬高量亦受到一定的限制。

4) 桥梁施工时,梁部预留有一定的上拱度,线路调整不宜在竣工后立即进行。

5) 桥梁施工时在梁面上已预留了与承轨台连接

的垂直插筋,线路的横向调整量不宜使插筋外露。

5 调线调坡技术改进

5.1 用建筑限界代替设计值,使调线调坡更加直观

设计值与实测值的对比,它们的差值只能说明实际施工与设计的偏差,不能直观得出是否侵限,是否需要进行调线调坡设计。通常,设计值会大于限界的

要求,有一定的余量。以直线段圆形 5 500 mm 内径盾构隧道为例, A_2 、 B_2 设计值为 2 750 mm,建筑限界为 2 600 mm^[5]。

根据笔者的经验,可以将记录表进行改进,将线路左右侧的设计值调整为建筑限界, H_1 将设计值调整为接触网最小高度, H_2 将设计值调整为轨道道床最小高度。经此调整后,误差如果为正值,说明没有侵限,误差为负值就需要重点关注。改进后的表格见表 1。

表 1 XX 线圆形隧道断面测量记录表头
Tab. 1 Cross-sectional measurement record of line XX

工程名称															工程部位												口左线			口右线								
检测断面里程	设计结构中心坐标		实测结构中心坐标		H (底部测点高程)			H_0 (顶部测点高程)			线路左侧						线路右侧						D			H_1			H_2			备注 (CAD图名)						
											A_1			A_2			A_3			B_1			B_2			B_3												
	x	y	x	y	设计值	实测值	误差	设计值	实测值	误差	建筑限界	实测值	误差	建筑限界	实测值	误差	建筑限界	实测值	误差	建筑限界	实测值	误差	建筑限界	实测值	误差	设计值	实测值	误差	设计值	实测值	误差		设计值	实测值	误差			

5.2 调线调坡后增加“误差圆”检测

圆形隧道调线调坡后,对于平面偏差较大、竖向偏差也较大的地段,也许平面满足误差的允许值,竖向也满足误差的允许值,但由于空间误差的叠加,最终会超限。这些地段需进行仔细的限界检算。由于限界计算工作量较大,可先采用“误差圆”来检查。

5.2.1 误差圆的限值 $[r]$

圆形隧道内轮廓半径与建筑限界半径之差值即为误差圆半径的限值 $[r]$ 。

当圆形隧道内轮廓半径为 2.75 m 时, $[r]=0.15$ m;

当圆形隧道内轮廓半径为 2.7 m 时, $[r]=0.1$ m。

5.2.2 各断面的误差圆半径计算

各断面的实际误差圆半径 r 的计算方法如下:

设圆心的横向偏差为 ΔS ,表 1 中的 D 值代表盾构中心与线路的偏差, ΔS 对应即为表 1 中 D 值的误差,圆心的竖向偏差为 ΔH ,则 ΔH 等于表 1 中 H (底部测 $r=\sqrt{\Delta S^2+\Delta H^2}$ 点高程)的误差与 H_0 (顶部测点高程)的误差之和再除以 2。

则若 $r<[r]$,则表明圆形隧道内轮廓在建筑限界圆外,内轮廓不侵限。

若 $r>[r]$,则表明部分圆形隧道内轮廓在建筑限界圆内,故须重新计算实测横距处建筑限界,以决定是否采取措施。

5.3 调线调坡可视化方法

由于断面测量数据量非常大,靠设计师逐个核对费时费力,适合借助 CAD 工具,进行可视化辅助设计,根据断面测量数据,生成平面和纵断面的包络线图,使调线调坡工作直观、形象。

5.3.1 纵断面

以 5 500 mm 内径盾构隧道为例,可根据实测的结构顶、底标高,并结合对应地段轨道道床和接触网安装要求的最小高度^[6],在纵断面上生成上下两条包络线。如果设计轨面线位于两条包络线之间,说明轨道道床厚度和接触网安装高度满足设计要求,不需要进行调坡。反之,如果出了包络线,则需要调坡,并可在 CAD 图中直观的进行调整。

上下轮廓线生成原理如下:

上包络线标高=实测顶部测点高程(H_0)-接触网安装最小高度。

下包络线标高=实测底板测点高程(H)+对应地段道床最小高度^[7]。

5.3.2 平面

与纵断面调整相似,仍以 5 500 mm 内径盾构隧道为例,根据断面测量的隧道中心线,考虑隧道左右两侧的误差允许值 r 及曲线地段隧道中心线与线路中线偏移量,利用平面解析几何推理的方法,可在线路平面图上外放出两条平面限界包络线。当原设计线路中心线位于两条限界包络线之间,则可判定盾构施工

满足要求,无需进行线路平面调整;反之,如线路中心线突破限界包络线时,则判定盾构施工误差超出允许值,则需要调线调坡。按照 4.1 介绍的方法,将线路中心线调整至限界包络线范围内,则说明线路平面调整满足要求。

6 工程调线调坡设计实例

引起调线调坡的原因较多,情况各异,解决的办法也要具体问题具体分析,不能一概而论。这里选取两个代表性的工程实例,一个以平面调整为主,一个以纵断面调整为主。供大家参考借鉴。

6.1 平面调整实例

某轨道交通线路其区间全长约 1 208 m,采用盾构法施工,根据隧道贯通以后的断面测量数据,左线最大水平偏差接近 600 mm,有 85 m 范围内线路水平偏差超过 150 mm,超限严重,需调整平面线形。根据调线调坡可视化方法,绘制了平面线路的限界包络线,如图 2 所示。

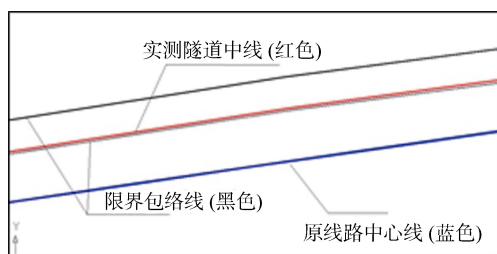


图 2 原施工图平面偏差

Fig. 2 The plane deviation of the original construction plan

调线调坡方案采用调整圆曲线半径和缓和曲线长度的方法,同时调整两端直线的方位角。最终通过多次试算将曲线参数由原 R-650, 1-60 调整为 R-500, 1-50。经过调整后,上述偏差较大范围内隧道最大水平偏差减小到-141 mm(左偏)、143 mm(右偏),左右两侧偏差基本接近,调整接近极限,且线路中心线已在限界包络线中,满足限界要求,如图 3 所示。

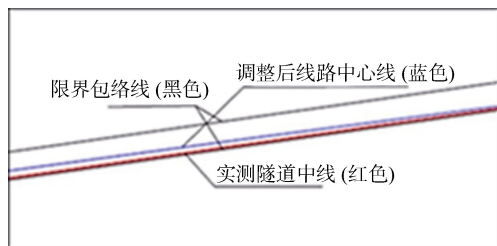


图 3 调线调坡后平面偏差

Fig. 3 The plane deviation of the line and slope adjustment

6.2 纵断面调整实例

某轨道交通线路,河道距离车站端部较近,盾构出站后下穿河道产生了较大的上浮,根据断面测量的数据,上浮处最不利点轨下高度仅为 402 mm,该段为中等减振扣件地段,轨下标准的高度是 740 mm。盾构区间上浮,所剩轨下高度严重不满足轨道的设计要求,必须进行调坡设计。根据调线调坡可视化方法,绘制了纵断面包络线,如图 4 所示。

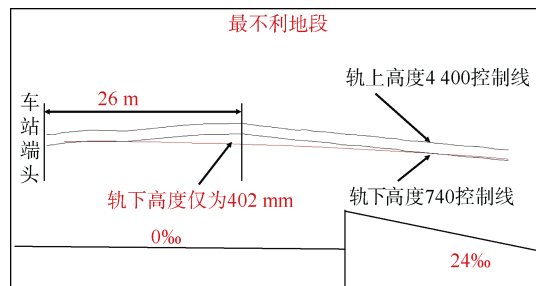


图 4 原施工图纵断面最不利点

Fig. 4 The most unfavorable view of the line profile of the original construction plan

由于上浮段距车站端头较近,仅为 26 m,给调线调坡带来较大困难,而车站的测量数据显示站台范围内必须维持原设计轨面标高。经多方案比选,采用了出站后增加 47 m 长 7‰的上坡,后续坡度改为 29.2‰;车站内平坡长度由 220 m 缩短为 180 m。该方案轨下高度最小优化为 618 mm,纵坡方案和最不利点改善情况如图 5 所示。

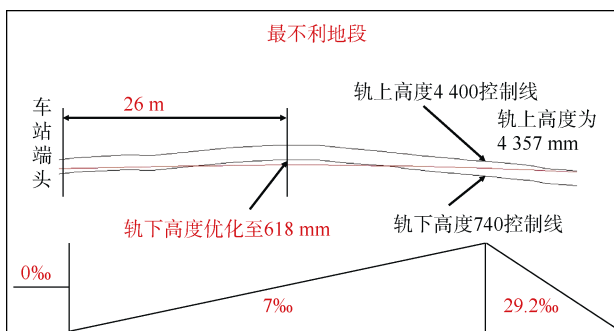


图 5 调线调坡方案纵断面最不利点

Fig. 5 The most unfavorable view of the line profile of line and slope adjustment

调坡后,轨面至隧道壁底部最小距离为 618 mm,由于道床高度较小,轨道进行了特殊设计,将原设计的长轨枕+双侧水沟,调整为薄短轨枕+中心水沟,并加强配筋和采用 C50 道床混凝土。

7 结语

综上所述,调线调坡是一项从测量到设计,涉及专业范围广的综合工作,它是由于工程地质原因或重大工程失误造成线路重大偏离情况下的一种挽回手段^[8],事后介入终显被动,难以消除所有的不利影响,能否未雨绸缪,做好防范将是大家共同努力的目标。

根据已完成调线调坡设计的几条线路情况进行总结,以下几处往往调线难度较大,且容易发生错误,需要格外引起重视:

1) 靠近车站端部发生较大的偏差。车站范围内由于控制因素较多,一般不进行调线,即使调整可调范围也非常有限。如靠近站端即发生较大的偏差,往往调线调坡难度很大,且会对相关专业产生无法消除的不利影响。6.2 中的工程实例就充分说明,调线调坡后,轨道高度仍无法达到标准,对道床的耐久性会产生影响。

对于这类情况,线路设计人员尽量在车站范围内采用直线,一是方便盾构始发,二是施工单位不容易出错。如曲线端部进入车站范围,区间结构设计人员在施工交底时,对于平面曲线和竖曲线需特别强调,对地层参数也要进行充分的沟通,施工人员也需要仔细阅读设计文件,理解设计意图^[8]。

2) 新老线接轨。新建延伸线就会存在新老线接轨的问题。由于老线的施工误差、后期沉降等因素,轨道几何形位会和原设计发生一定偏差。另外新线铺轨时,水准点、高程点或多或少都会发生一些变化^[9]。因此在新线铺轨前,一定要对老线接轨段的轨面标高和平面位置进行测量,根据测量结果判断是否需要调线调坡,并提醒铺轨单位要根据老线的几何形位进行一定的顺接。这里要提醒的是,如果老线接轨段正好设置有道岔,道岔的几何形位也要进行仔细的测量,以免调线方案对道岔安装产生影响^[10]。

3) 平面或纵断面“蛇形走行”。由于盾构施工单位缺乏纠偏经验,发现盾构隧道几何形位偏离后,急于纠回到原设计轴线,但盾构机头部到达设计线后,由于盾构机姿态调整的惯性,仍然会沿既有姿态继续向前,从而产生纠偏过头的情况,这就会形成盾构隧道的“蛇形走行”,给调线调坡带来了很大的难度^[11]。

这种情况在施工过程中是尽量要避免的,一旦发现隧道几何形位偏移设计轴线,应尽可能和设计单位沟通,让设计单位为纠偏拟合一条新的平纵断面方案,

既方便施工单位纠偏,又保证了后期线位和相关专业的合理性。

4) 同站台换乘车站。为了方便换乘,现在很多城市的轨道线路都设置有同站台换乘车站。由于同站台换乘车站涉及的换乘线路不是同期铺轨,但是为了减少后续线路建设对运营的影响,站台门、电扶梯、站台面的装修层全都施工完毕。一般的人员都会想当然地以为,新建线路的标高与已建线路的标高一致,两线的标高理论上也确实应该一致^[12],但是由于工程施工误差,以及地铁控制网的变化,这种“想当然”就会带来血的教训。笔者了解得知,曾经有一座同站台换乘车站,就因为“想当然”新线按老线的标高进行铺轨,结果引起了车站范围内道床大范围凿除重做,既浪费了大量工程费,又对工期造成了影响。

与新老线接轨的原理类似,后期建设线路铺轨前,必须谨慎对待断面测量数据,仔细核对新建线路与站台面的标高关系,以决定是否要进行调线。

参考文献

- [1] 许兆俊. 城市轨道交通平、纵断面设计中的调坡调线[J]. 铁道标准设计, 2003, 47(9): 6-8.
XU Zhaojun. Adjustment of gradient and route in design of the horizontal and longitudinal section of an urban rail transit system[J]. Railway standard design, 2003, 47(9): 6-8.
- [2] 城市轨道交通工程测量规范: GB/T 50308—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 108-109.
Code for urban rail transit engineering survey: GB/T 50308—2017[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017: 108-109.
- [3] 李洪强. 苏州轨道交通调线调坡技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2013(11): 38-40.
LI Hongqiang. Research on line and slope adjustment technology of Suzhou rail transit[J]. Railway construction technology, 2013(11): 38-40.
- [4] 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 37.
Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014: 37.
- [5] 陶功安. 地铁车辆限界计算[J]. 电力机车与城轨车辆, 2006, 29(3): 8-12.
TAO Gong'an. Outline calculation of metro vehicles[J]. Electric locomotives & mass transit vehicles, 2006, 29(3): 8-12.

(下转第 36 页)