

上海轨道交通 15 号线圆形隧道调线调坡设计研究

黄小纯

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//工程师)

摘要 调线、调坡设计是城市轨道交通线路设计中的重要一环。通过对结构断面进行限界检核,针对侵限地段进行调线、调坡设计,从而减小或消除侵限情况,为将来铺轨、设备安装提供保障。结合上海轨道交通 15 号线工程实例,介绍了圆形隧道调线、调坡设计的主要流程与方法。

关键词 城市轨道交通; 圆形隧道; 调线调坡设计

中图分类号 U452.2⁺6; U231.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.019

Research on Line and Slope Adjustment Design of Circular Tunnel of Shanghai Rail Transit Line 15

HUANG Xiaochun

Abstract Line and slope adjustment is an important part in the design of urban rail transit lines. By checking the clearance of the structural section, line and slope adjustment is carried out for the section with limit violation, so as to reduce or eliminate the limit violation and to provide guarantee for future track laying and equipment installation. Taking the engineering of Shanghai Rail Transit Line 15 for case study, the main process and method of line and slope adjustment design of circular tunnel are introduced.

Key words urban rail transit; circular tunnel; line and slope adjustment design

Author's address Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, 200235, Shanghai, China

城市轨道交通车站与区间土建工程施工完成后,因施工误差以及结构沉降和变形等因素,土建结构会在平、纵断面上偏离原设计要求。因此,需在轨道铺设、设备安装前,对车站轨行区与区间隧道的土建结构是否满足行车及设备安装的限界要求进行检核;若出现侵限而影响铺轨及其他设备正常安装的情况,则需采取处理措施;必要时,需在降低线路技术标准的前提下,对局部地段线路平、纵断面设计进行适当调整,以减轻或消除侵限的情

况,从而保证运营安全。

1 调线、调坡设计

1.1 设计依据

1) 设计资料:线路、限界、轨道、结构(车站、区间)和供电接触网等专业施工图及有关资料;具体包括:线路平、纵断面施工图,直线段与曲线段建筑限界图,曲线超高值,轨道结构高度要求,轨道型式里程表,以及供电接触网对轨道上方净空要求等。

2) 测量资料:由测量单位提供调线、调坡的测量技术报告。

3) 设计规范:国家及地方有关城市轨道交通设计的规范。

1.2 调线、调坡设计流程

其主要包括断面测量、限界检核和调线调坡步骤等,具体流程如图 1 所示。

1.3 调线、调坡设计前的测量工作

调线、调坡设计前的测量工作目的是通过测定隧道和车站竣工时的断面内轮廓线至线路中心线的水平距离及顶、底高程,以判断竣工误差;并作为是否需要调整线路的判断依据。一般按每 5 m(盾构隧道按 5 环)测量一个横断面,特殊点(线路曲线特征点、结构类型变化点、泵站等)及施工偏差较大地段等处需加测断面。测量基准线为设计线路中心线;测点系指结构内轮廓上的限界控制点(上部、中部、下部);左、右横距指左、右测点至基准线的水平距离,分别以 A 、 B 表示。图 2 为上海轨道交通 15 号线单洞单线圆形隧道断面测点分布示意图。

1.4 限界检核

1.4.1 检核内容

限界检核内容主要包括横向限界检核和竖向限界检核。横向限界检核主要包括盾心(盾构隧道中心)误差值,左、右横距值;竖向限界检核主要包括顶板与底板高程,以及轨面上、下的净空。

1) 盾心误差值 D :根据实测盾构隧道中心坐标

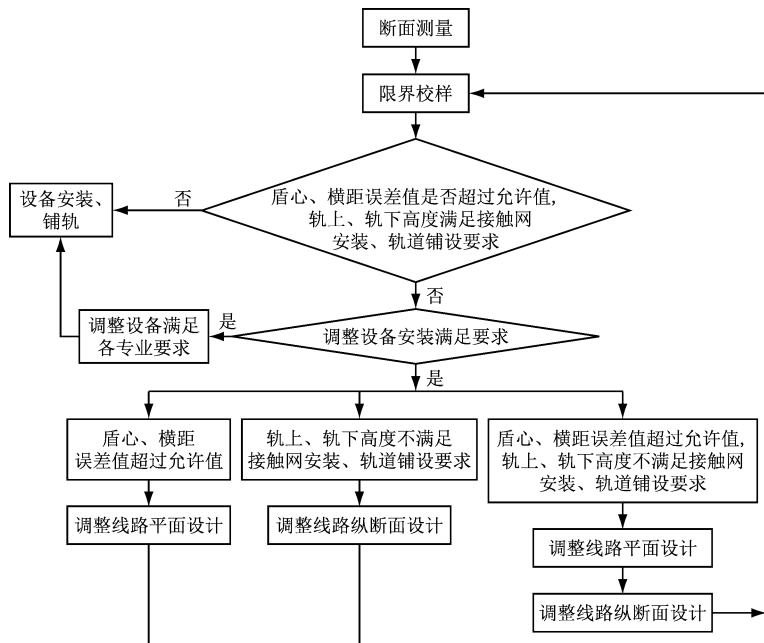


图1 调线、调坡设计流程图

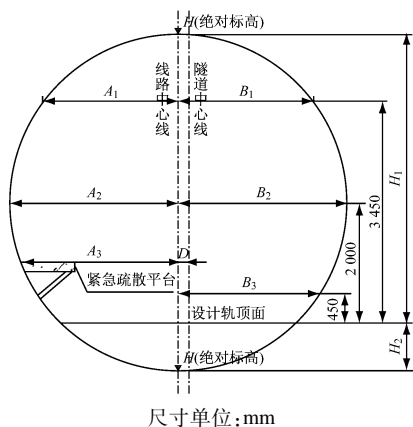


图2 上海轨道交通15号线单洞单线圆形隧道断面测点分布图(隧道内径为5.9 m)

($X_{\text{实}}, Y_{\text{实}}$)与设计盾构隧道中心坐标($X_{\text{设}}, Y_{\text{设}}$),可计算得到隧道中心线偏移误差值 D (往行车方向左侧偏取为负值,反之为正)。

$$D = \sqrt{(X_{\text{实}} - X_{\text{设}})^2 + (Y_{\text{实}} - Y_{\text{设}})^2} \quad (1)$$

2) 左、右横距 A 、 B 值:将每个检测断面的每个测点处(上、中、下部)实测横距值与设计值比较,可计算得到 A 、 B 误差值。其中,直线段设计值为定值,曲线段设计值需考虑曲线段偏移量。

3) 顶、底板高程 H_0 、 H_D :即每个检测断面处的隧道内顶、底板实测高程与设计高程比较,可计算得到 H_0 、 H_D 的误差值。

4) 轨面以上净空值 H_1 :每个检测断面处隧道内 H_0 与设计轨面标高的差值为轨上净空实测值

H_1 ,需满足供电接触网安装的要求。

5) 轨面以下净空值 H_2 :每个检测断面处的设计轨面标高与隧道内底实测高程 H_D 的差值为轨下净空实测值 H_2 ,需满足轨道铺设的要求。

1.4.2 检核标准

应根据限界、轨道和供电接触网等相关专业要求,合理制定检核标准。以上海轨道交通15号线区间为例,其采用单洞单线圆形盾构隧道,隧道外径为6.6 m,内径为5.9 m,建筑限界的圆直径为5.6 m。即:盾构隧道内上下、左右各有150 mm的冗余量。

1) 平面检核标准:考虑一定测量误差,将100 mm作为调整线路平面的边界条件。即:盾心误差值大范围超过100 mm、横距缩小值大范围大于100 mm时,需调整线路平面设计。

2) 竖向检核标准:① 轨面以上净空值的要求与供电接触网安装要求有关。根据DG/TJ 08-109—2017《城市轨道交通设计规范》^[1] 19.3.22第2条“地下线路接触线悬挂高度(距轨面)宜为4 100 mm,最低高度不应小于4 040 mm”,故轨面以上净空值不应小于4 600 mm(4 100 mm + 500 mm 安装高度);② 轨面以下净空值的要求与轨道铺设要求有关。上海轨道交通15号线采用预制板道床,其轨道结构高度设计值为800 mm,轨面以下净空设计值为950 mm(800 mm + 150 mm)。一般地段,轨面以下净空值不宜小于900 mm;特殊减振地段,采用浮

置板道床减振,轨面以下净空值不宜小于 950 mm。同时,在满足轨道和供电接触网安装要求的前提下,为后续运营留有适当的调整空间^[2],轨面以下净空值不宜过大(即大范围大于 1 000 mm)。

另外,需核实盾构隧道中心水沟与区间最低点泵站间预埋管管底标高,避免因管道高出道床而致使轨道施工困难、排水不畅^[3]。

因此,当轨面以上净空值大范围小于 4 600 mm、轨面以下净空值大范围小于 900 mm(浮置板地段为 950 mm)或大范围大于 1 000 mm 时,需调整线路纵断面设计。

1.5 调线、调坡设计

1.5.1 调线设计

1) 根据测量数据,将每个断面处的实测盾构隧道中心坐标放样,可得到实测盾构隧道中心线。

2) 将实测盾构隧道中心线左右各偏移盾心误差允许值 a (15 号线 a 取 100 mm),形成 $2a$ 范围线。查看设计盾构隧道中心线有哪些区段位于 $2a$ 范围外。

3) 通过调整曲线半径、缓和曲线长度、曲线交点位置(直线段方位角)以及多种方式组合等设计方法,使设计盾构隧道中心线尽可能位于 $2a$ 范围线内。

4) 线路平面调整后,需根据调整后的隧道中心线,重新进行断面测量和横向限界检核。若满足限界要求,即可进行竖向检核。

1.5.2 调坡设计

调坡设计主要为满足供电接触网安装的轨上净空要求和轨道结构高度要求而进行的局部调整纵断面设计,可通过移动变坡点、坡段拆分、调整坡度值和调整竖曲线半径等方法来实现。线路纵断面设计调整后,重新进行限界检核。

2 工程实例

2.1 工程概况

上海轨道交通 15 号线为上海西部的南北向径向线。该线起于紫竹高新区站,止于顾村公园站,全长约 42.3 km,共设 30 座车站,平均站间距为 1.439 km。全线均采用地下线敷设形式,采用 A 型车 6 辆编组。全线设元江路车辆段和陈太路停车场各 1 座,设主变电所 3 座(中宁路主变、虹梅路主变、元江路车辆段主变),运营控制中心设于蒲汇塘调度指挥大楼。本文选取 15 号线中段某区间(A

站—B 站)上行线加以分析。

A 站、B 站均为地下二层岛式站。上行线区间长约 984 m。该段线路平面受控因素较多,设置 3 处曲线(半径 R 分别为 450 m、2 000 m、360 m),如图 3 所示。纵断面采用“高站位、低区间”的节能坡设计。区间内设 1 处联络通道兼泵站。

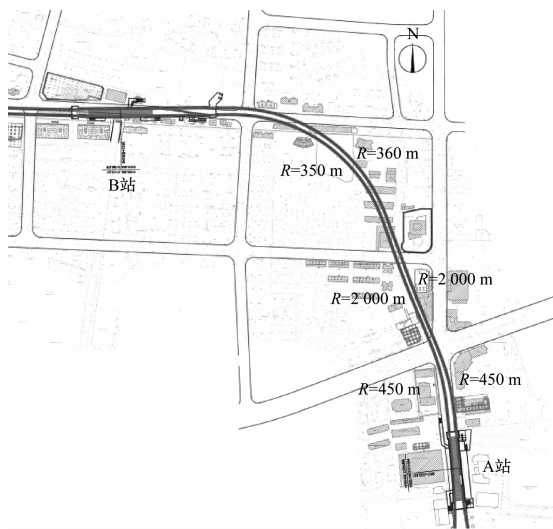


图3 上海轨道交通 15 号线某区间线路平面图

该区间上行线采用单洞单线圆形隧道,管片外径为 6.6 m、内径为 5.9 m、厚度为 350 mm,标准环宽为 1.2 m,采用通缝拼装。其中,40 环至 535 环(长约 600 m)采用高档钢弹簧浮置板道床,其余基本采用预制板道床。

2.2 限界检核

1) 盾心误差值。由图 4 可知,45 环至 165 环、470 环至 496 环(共约 175 m 长)盾心误差绝对值大于 100 mm,最大为 -203 mm。该段位于 B 站东端 $R=360$ m 圆曲线及缓和曲线段。



图4 盾心误差值曲线图

2) 左、右横距。图 5~7 为左、右横距误差值曲线图。由图 6~8 可知,45 环至 165 环(约 144 m 长) B_1 、 B_2 、 B_3 误差值大于 -100 mm,最大值为

-226 mm(B_3);470 环至 530 环(约 72 m 长) A_1 、 A_2 、 A_3 误差值大于 -100 mm,最大值为 -158 mm(A_3)。

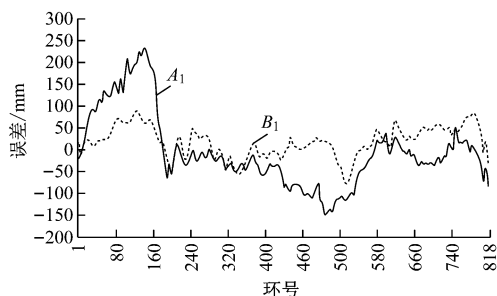


图 5 A_1 和 B_1 左、右横距误差值曲线图

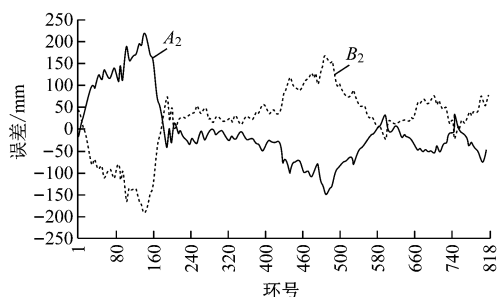


图 6 A_2 和 B_2 左、右横距误差值曲线图

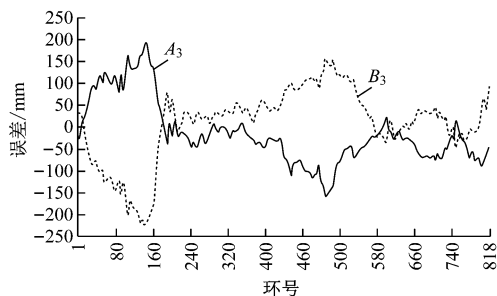


图 7 A_3 和 B_3 左、右横距误差值曲线图

3) 底、顶板误差值均小于 -100 mm。

4) 轨面以上净空均大于 4 600 mm。

5) 轨面以下净空。图 8 为轨面以下净空值曲线图,可以看出:上行线 1 环至 185 环、210 环至 300 环、445 环至 495 环、545 环至 818 环(约 687 m 长)轨面以下净空小于 950 mm,75 环至 160 环、765 环至 800 环(约 145 m 长)轨面以下净空小于 900 mm。

2.3 调线、调坡设计方案

2.3.1 调线设计方案

根据限界检核结果,45 环至 165 环、470 环至 530 环(约 175 m 长)盾心误差值大范围大于 100

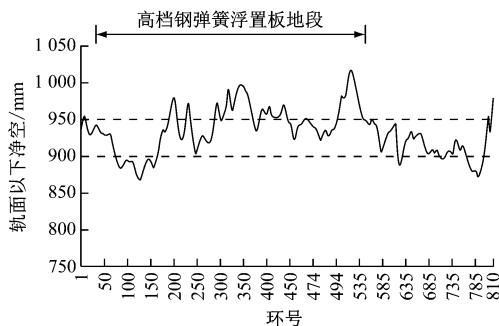


图 8 轨面以下净空值曲线图

mm(最大值为 -203 mm)、横距值大范围大于 -100 mm(最大值为 -226 mm(B_3)),需局部调整线路平面设计。

经反复调试,由于 1 至 425 环($R=360$ m 曲线段)盾心误差值变化趋势不统一,其中区间 1 至 165 环误差为负值(即往行车方向左侧偏),区间 166 环至 425 环误差为正值(即往行车方向右侧偏)。仅调整曲线半径或缓和曲线长度,效果不佳,故考虑采用半径与缓和曲线长组合调整方案:曲线半径由 360.0 m 减小至 359.8 m,缓和曲线长度由 60.0 m 增大至 70.0 m。470 环至 530 环(夹直线段)盾心误差值变化趋势统一,均为正值,则采用直线段方位角调整的方案。

调线设计后重新进行限界检核:盾心误差值大于 100 mm 地段由 175.0 m 长减少至 12.0 m 长,盾心误差最大值由 -203 mm 减小至 -113 mm(见图 9);横距误差绝对值大于 100 mm 地段由 175.0 m 长减少至 30.0 m 长, B_3 最大误差值由 -226 mm 减小至 -109 mm。具体的对比曲线如图 9~15 所示。

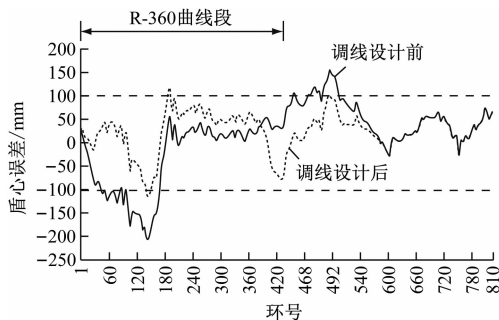


图 9 调线设计前后盾心误差值曲线图

2.3.2 调坡设计方案

由于轨面以下净空不足设计值的区段主要位于进出站地段,故考虑采用移动变坡点的方式来调整坡段长和坡度。其纵断面调整如图 16 所示。轨面以下净空小于 950 mm 区段的长度由 687 m 减小

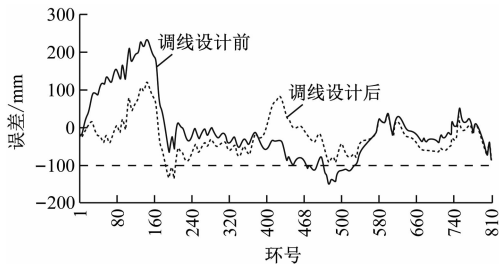


图 10 调线设计前后 A_1 误差值曲线图

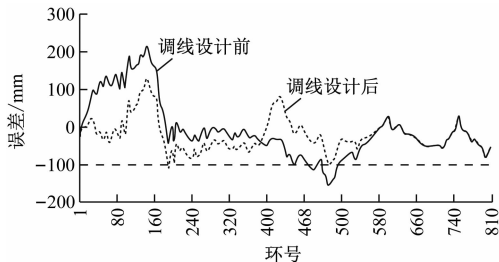


图 11 调线设计前后 A_2 误差值曲线图

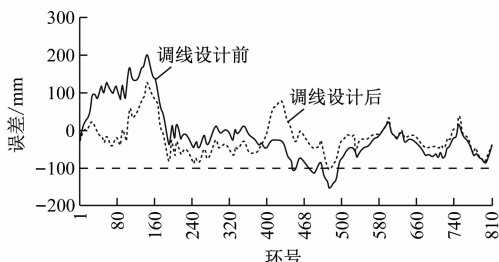


图 12 调线设计前后 A_3 误差值曲线图

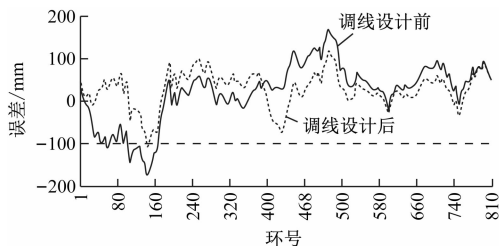


图 13 调线前后 B_1 误差值曲线图

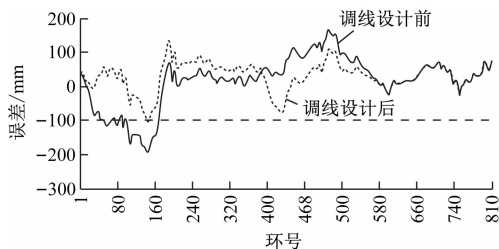


图 14 调线设计前后 B_2 误差值曲线图

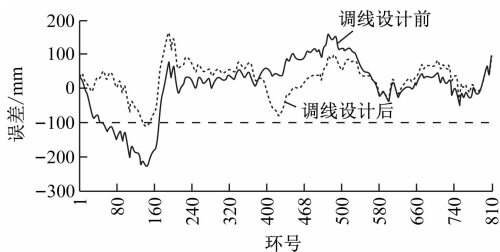


图 15 调线设计前后 B_3 误差值曲线图

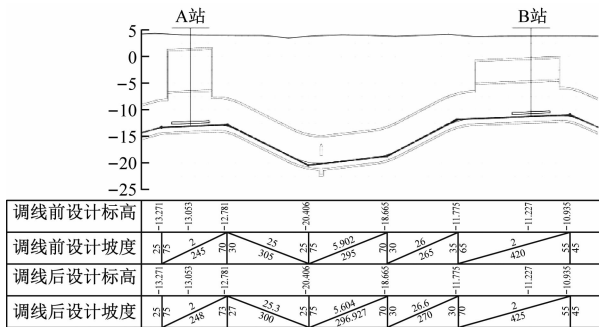


图 16 纵断面调坡示意图

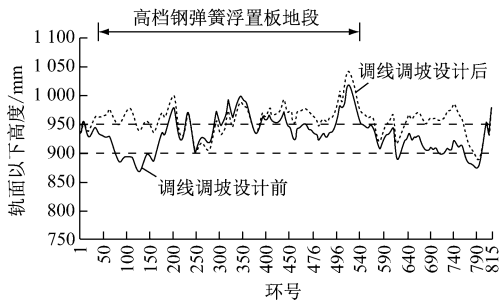


图 17 调线设计前后轨面以下净空值曲线图

另经核查,中心水沟与区间最低点泵站预埋管管底标高为 -20.856 m ,调线、调坡后,该处轨面标高为 -20.011 m ,轨面至管底约 850 mm ,符合轨道铺设要求。

3 结语

调线、调坡设计是一项系统性工程,其包括断面测量、限界检核和调线调坡设计等步骤,需线路、限界、轨道、供电接触网、建筑和结构等多专业密切配合,消除或减少侵限情况,为城市轨道交通运营安全提供保障。有关建议如下:

1) 调线、调坡设计后的线路平、纵断面仍需满足国家及地方有关城市轨道交通设计规范的相应要求。

2) 调线、调坡设计可能会引起新的侵限,需重新进行限界检核。

至 340 m ,小于 900 mm 区段的长度由 145 m 减小至 12 m 。高档钢弹簧浮置板地段的轨面以下净空值均大于 900 mm (见图 17)。

表 2 典型车站最不利环路压降估算

参数	参数值
冷负荷/kW	300 ~ 550
流量/(m ³ /h)	50 ~ 95
管径型号	DN125/DN150
比摩阻/(Pa/m)	50 ~ 300
管路长度/m	350 ~ 550
管路压降/m 水柱	8 ~ 22

情况,需要通过冷水系统管路优化将 H 控制在 40 m 以内。由此可进行反向推算,由于冷冻机房和表冷器的水阻力为固定值,最不利环路的沿程阻力不宜大于 10 m 水柱。 ΣL 的常用取值 450 ~ 500 m,比摩阻为 200 ~ 220 Pa/m,因此建议地铁车站冷水系统最不利环路的比摩阻不宜大于 200 Pa/m。

4 结论

1) 在典型地铁车站冷水系统的设计中,输冷比容易超过节能设计标准规定的限值。因此,在冷水系统设计前,根据冷水系统管路最大长度提前掌握

(上接第 93 页)

3) 各专业在施工图设计时,应避免采用规范允许最小值,为后期调线调坡设计预留一定空间。以线路设计为例,应注意尽可能使线型顺直,减少曲线,尽量避免平面曲线进入车站范围;同时平面圆曲线、夹直线长度及纵断面坡度及坡长应避免采用规范允许最小值。

4) 应做好与施工单位的设计交底工作,特别注意平、竖曲线进入车站的情况,应尽力减少施工误差、避免施工错误。

5) 在盾构施工过程中,应做好动态监测工作,

水泵扬程限值是必要的。

2) 本文提供了冷水系统耗电输冷比的简化计算式,以及满足节能设计标准耗电输冷比要求的水泵扬程限值图。当水泵效率固定时,地铁车站冷水系统耗电输冷比取决于循环水泵设计扬程。

3) 为满足运行节能要求,地铁车站冷水系统需严格控制管路阻力损失。建议冷冻水泵的设计扬程不宜大于 40 m,冷水系统最不利环路的比摩阻不宜大于 200 Pa/m。

参考文献

[1] 徐丽. 地铁空调水系统设备的节能运行[J]. 节能与环保,2018 (11):27.

[2] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015:22.

[3] 中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施/暖通空调·动力:09JSCS-KR[S]. 北京:中国计划出版社,2009:98.

[4] 徐伟. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:479.

(收稿日期:2019-07-25)

如出现偏差较大的情况,需及时与设计方沟通纠偏方案,避免严重侵限。

参考文献

[1] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 城市轨道交通设计规范: DG/TJ 08—109—2017[S]. 上海:同济大学出版社,2017:213.

[2] 杜昊璇. 城市轨道交通施工完成后的调线调坡设计研究[J]. 地下工程与隧道,2015(2):52.

[3] 赵强. 武汉 2 号线调线调坡设计研究[J]. 铁道工程学报,2013 (10):100.

(收稿日期:2021-04-07)

《城市轨道交通研究》官方网站网址变更公告

根据同济大学对所属单位官方网站管理的统一要求,从 2021 年 7 月 15 日起,《城市轨道交通研究》官方网站网址(原网址:www.umt1998.com)变更为:https://umt1998.tongji.edu.cn。给各位作者、读者带来不便,敬请谅解。

上海铁大城市轨道交通研究杂志社有限公司
2021 年 7 月 1 日