

文章编号: 1674—8247(2023)04—0095—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.04.018

重庆至贵阳铁路遵义站深厚素填土地基处理设计

程云 邹兴普 范厚贵

(中铁二院贵阳勘察设计研究院有限责任公司, 贵阳 550002)

摘要:遵义站位于遵义市朱家坝,属构造剥蚀、溶蚀低山地貌,站区场地内堆填大量素填土,厚度10~30 m,结构松散,潮湿。车站路基以填方形式通过深厚素填土地基,地基处理与控制沉降是路基设计的重点和难点,制定安全、经济、施工便捷的设计方案对确保铁路运营安全意义重大。为解决这一技术难题,提出了翻挖回填形成埋式高路堤的工程措施,不仅节省工程投资、缩短工期,且利用原素填土作为回填料,克服了深厚素填土地基的沉降问题,取得了良好的效果。

关键词:深厚素填土;埋式高路堤;地基处理

中图分类号: U213.1+4

文献标志码: A

Design of Deep Plain Fill Foundation Treatment for Zunyi Station of Chongqing-Guiyang Railway

CHENG Yun ZOU Xingpu FAN Hougui

(Guiyang Branch of China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Guiyang 550002, China)

Abstract: Zunyi Station is located in Zhujiaba, Zunyi City. It belongs to the low mountain landform of tectonic denudation and dissolution. A large amount of loose and humid plain fill soil with a thickness of 10~30 m is filled in the station area. The station subgrade passes through the deep plain fill with an embankment. The treatment and control of settlement in the foundation are the key and difficult points in subgrade design. Developing a safe and economical design scheme that is convenient for construction is of great significance to ensure railway operation safety. In order to solve this technical problem, this paper proposes the engineering measures of digging and backfilling to form buried high embankment, which not only saves project investment and shortens the construction period, but also uses plain fill as backfill material to overcome the settlement problem of deep plain fill foundation and achieves good results.

Key words: deep plain fill; buried high embankment; foundation treatment

随着城市经济的快速发展和人口的逐渐增加,建筑用地日趋紧张,工程建设中不可避免地要面对大面积深厚素填土地基。素填土是由天然土经人工扰动和搬运堆填而成,不含杂质或杂质含量很少,一般由碎石、块石、砂或粉土、黏性土等一种或几种材料组成,根据其主要组成物质可分为素填块石、碎石类土、

砂类土、素填粉土或黏性土^[1-2]。深厚素填土地基因其厚度大、不规范回填、成分复杂等因素,处理难度大。场地处理的关键是采取适宜、经济、可行的加固处理措施,控制沉降达到场地的正常使用要求。地基处理恰当与否关系到工程的质量、投资和进度,因此地基处理受到越来越多的重视^[3-5]。不同的地基处

收稿日期:2022-03-22

作者简介:程云(1980-),男,高级工程师。

引文格式:程云,邹兴普,范厚贵.重庆至贵阳铁路遵义站深厚素填土地基处理设计[J].高速铁路技术,2023,14(4):95-99.

CHENG Yun, ZOU Xingpu, FAN Hougui. Design of Deep Plain Fill Foundation Treatment for Zunyi Station of Chongqing-Guiyang Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4):95-99.

理方法能达到的地基处理效果、产生的经济效益和所消耗的工期是不同的,结合工程实际与素填土地基的性质,因地制宜制定处置措施,能带来良好的经济效益和社会效益。

1 工程概况

重庆—贵阳铁路为新建双线铁路,设计为速度目标值 200 km/h 客货共线铁路、有砟轨道,是连接重庆与贵阳的首条快速铁路通道。遵义站位于遵义市朱家坝一小河口一带,属构造剥蚀、溶蚀低山地貌,其中 D2K 221 + 370 ~ D2K 221 + 630 长 260 m,车站路基以填方形式通过,路基填高 2 ~ 5 m。根据岩土工程勘察,该场地地表覆盖土层为素填土,下伏基岩土为灰岩,物理力学参数如表 1 所示,地层分类描述为:

(1)素填土(Q_4^m):为地方建设堆填,来源为邻近市政工程项目挖山弃土,堆填时间不足两年,未压实,厚度 10 ~ 30 m,褐黄色~棕红,潮湿,松散~稍密,以碎石、块石为主,黏土次之,黏土含量 15% ~ 30%,为含黏土碎石类土,石质母岩成分主要为灰岩、泥灰岩等。

(2)下伏基岩为灰岩(T_1^{m3}):青灰色,隐晶质结构,中厚~厚层状,中等风化、岩质较硬,锤击不易碎,属 V 级次坚石。

表 1 岩土物理力学参数表

| 岩土名称及成因代号 | 重力密度/(kN/m ³) | 压缩模量 E_s /MPa | 内摩擦角/(°) | 黏聚力/kPa |
|---------------|---------------------------|-----------------|----------|---------|
| 素填土 Q_4^m | 18.7 | 4.2 | 26 | 15 |
| 灰岩 T_1^{m3} | 22 | — | 55 | — |

取样进行室内土工试验,素填土类别为含黏土碎石类土,根据 TB 10001 - 2016《铁路路基设计规范》中填料类别划分为 C1 组填料,可作为基床以下填料^[6]。

2 遵义站素填土地基设计的重点及难点

(1)由于堆积条件、堆积物质成分的差异,素填土的性质不均、孔隙大小不一,颗粒级配混杂,粘结性能差,无协调变形能力,破坏呈刚性或突变状态。素填土堆填于沟槽内,厚度 10 ~ 30 m,且分布范围有很大的人为随意性,工程性质空间差异较大、变化缺乏规律性。因此,控制地基的沉降不均匀性,是设计需要考虑的重点。

(2)场地内素填土厚度达 10 ~ 30 m,土质疏松,孔隙率高,具有较高的压缩性,在自身重量和大气降水下渗的作用下,有自重压密性的特点^[7]。分布区域为车站岔区,对路基刚度及沉降要求极为严格,深厚素

填土地基稳定性、沉降控制是运营风险控制的关键。

(3)素填土成分杂、分选性差,堆填随意且深度超过 10 m,地基处理难度大,制定经济、可靠的治理措施是设计的难点,对贯彻绿色、经济、环保的建设理念至关重要。

(4)素填土为新沉积的欠固结土,工后沉降控制是确保安全运营的重点。

3 遵义站深厚素填土地基处理设计

3.1 处理深度的确定

有砟轨道荷载分布宽度 3.4 m,轨道自重 17.3 kPa,列车荷载(ZK 特种荷载)46 kPa,线间荷载 10.7 kPa;4 股道、线间距 5.0 m,按虚拟三角形法计算列车 + 轨道荷载作用于路堤中心基底的附加应力为 25.8 kPa;车站路基填高 4.2 m,路基填土重度 $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$,换算荷载为 88.2 kPa,则地基顶面附加应力 $P_0 = 25.8 + 88.2 = 114 \text{ kPa}$ 。地基压缩层的计算深度应满足沉降计算深度范围内的地基垂直附加应力不大于地基自重应力 0.1 ~ 0.2 倍^[8],有砟轨道取高值,无砟轨道取低值,按角点法计算得出 0.2 倍应力比深度为 15 m,0.1 倍应力比深度为 24 m。

场地内素填土最大厚度达 30 m,根据规范在计算深度以下仍有软土层时应继续增加计算深度。鉴于工程所处的车站道岔咽喉区对地基沉降极为敏感,为确保运营安全按应力比 0.1 确定压缩层计算深度,取 24 m 进行未处理条件下沉降计算,如表 2 所示。

表 2 地基压缩层未处理工况沉降量表

| 素填土 Q_4^m | | | | 沉降计算方法 |
|-------------|---------------------------|-----------------|--------------|----------|
| 压缩层厚度/m | 土体重度/(kN/m ³) | 压缩模量 E_s /MPa | 地基顶面附加应力/kPa | |
| 24 | 18.7 | 4.2 | 114 | 分层总和法 |
| 修正系数 | 施工期完成沉降比/% | 总沉降量/mm | 施工期完成沉降量/mm | 工后沉降量/mm |
| 1.3 | 80 | 514 | 313 | 201 |

注:施工期完成沉降比仅考虑填土荷载引起的压缩沉降,不计入列车 + 轨道荷载

由沉降检算可看出,工后沉降达 201 mm,不满足岔区工后沉降及差异沉降 $\leq 80 \text{ mm}$ 的要求。由于场地内素填土厚度不均、地基差异沉降需要严格控制,地基处理深度按 24 m 控制,对小于 24 m 范围处理至基岩面,以确保铁路岔区运营的安全稳定。

3.2 处理方案比选

遵义站素填土地基地基处理范围大,且均为新近回填、厚度不等、不规范填筑、成分复杂,场地处理的难度大,国内外类似工程可以借鉴的经验很少。根据

工程处治措施的适宜性,并结合场地素填土处理深度、性质及地形地貌条件,提出了钢筋混凝土桩板结构、水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)、埋式高路堤(翻挖分层回填+强夯)3种方案,如图1所示。

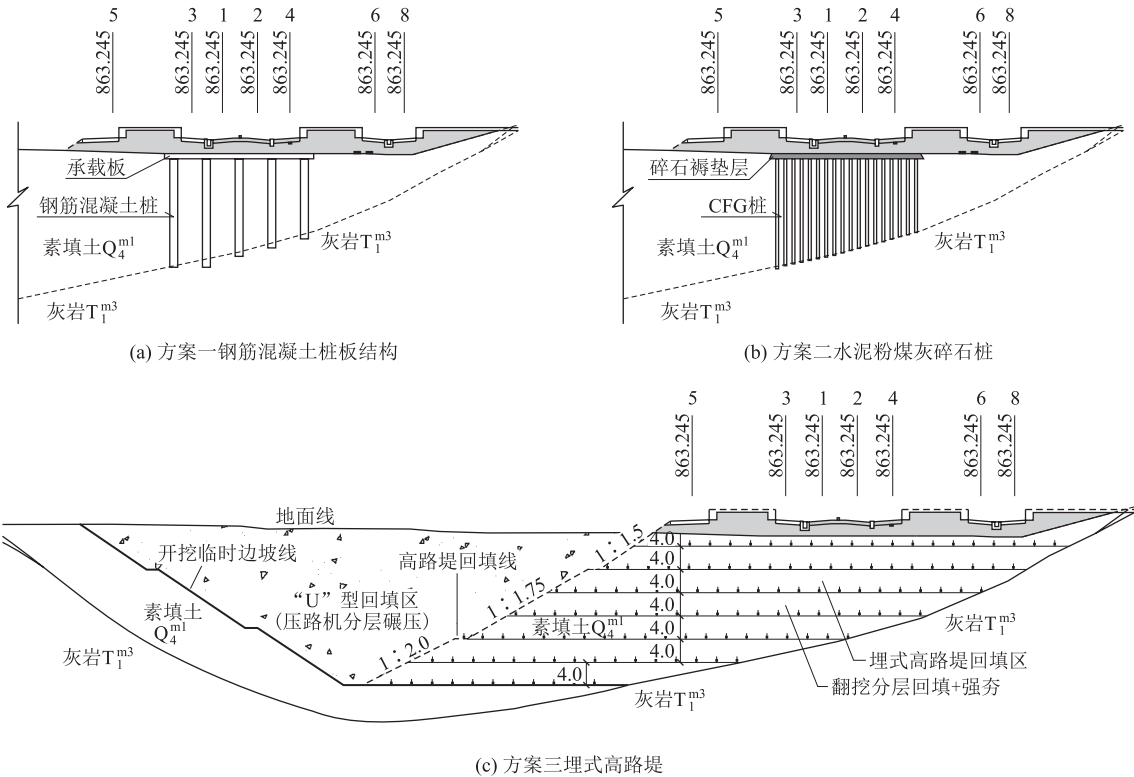


图1 处理方案图

(1) 方案一,岔区及正线股道范围采用钢筋混凝土桩板结构,采用直径1.5 m 钻孔灌注桩,桩长深入基岩不小于2 m,横向桩间距6 m、纵向8 m,桩顶设承载板按纵向10 m 一联设置,承载板上填筑路基,共设260 根桩基,累计长度约4 780 m,承载板 C30 混凝土约8 424 m³。

(2) 方案二,岔区及正线股道范围采用水泥粉煤灰碎石桩加固,桩径0.5 m,间距1.8 m,正三角形布置,桩长至基岩面,CFG 桩约2 503 根合计长度约48 800 m,碎石垫层4 200 m³。

(3) 方案三,埋式高路堤(翻挖分层回填+强夯)。基底素填土满足铁路路基 C1 组填料要求,可用于基床以下路基本体填筑,结合现场为大面积堆填,具备翻挖晾晒后分层回填碾压、强夯的条件,最大开挖回填高度24 m,车站股道及岔区荷载影响范围按高路堤方式回填,并将回填路堤与开挖临时边坡之间“U”形临空面同样分层回填至原地面,形成“埋式高路堤”,翻挖回填量累计约35.2 万 m³,分层强夯面积累计约8.7 万 m²。

3 种地质处理方案优缺点、工期、投资情况如表3 所示。

表3 地基处理方案比选表

| 编号 | 方案名称 | 优点 | 缺点 | 工期/d | 估算投资/万元 |
|-----|------------|---|--------------------------------------|------|---------|
| 方案一 | 钢筋混凝土桩板结构 | 结构刚度大,桩入基岩,通过桩+承载板将路基托举,可实现工后零沉降 | 工程投资大、工期长 | 230 | 1 086 |
| 方案二 | 水泥粉煤灰碎石桩加固 | 处理后 CFG 桩与素填土形成复合地基,可不开挖地基土实现地基加固,沉降控制效果好 | (1) 工程投资较大、工期较长;(2) 素填土地基,成桩效果欠佳,工效低 | 250 | 934 |
| 方案三 | 埋式高路堤 | 依据素填土地基满足路堤填料性质的要求,充分结合场地优势,采取翻挖晾晒后分层回填+强夯的方式,形成埋式高路堤,大幅缩短工期、节省工程投资 | 需临时场地进行填料晾晒、堆放,增加二次倒运 | 114 | 622 |

通过方案比选可知,埋式高路堤方案在工程投资、工期及可实施性方面均具备较好的优势,且采取翻挖回填方式,就地取材不产生弃方外运,施工经济、环保。因此,综合比选后采用埋式高路堤为本工点深厚素填土地基处理方案。

3.3 埋式高路堤地基处理的具体设计

3.3.1 埋式高路堤结构

埋式高路堤结构采用原地翻挖晾晒后分层回填、分层碾压处理方式,最大开挖回填高度 24 m,开挖临时坡率 1 : 1.5,车站股道及岔区荷载影响范围按高路堤方式回填设计。回填后在路堤与开挖临时边坡之间形成“U”形临空面。为减少弃土外运,节省工程投资,将“U”形临空面范围内分层回填至原地面。此举不仅就近利用原素填土,也对高路堤形成反压,使得高路堤在施工完成后复旧成原状地貌,把路堤埋入地下形成人工加固地基,大幅缩短工期、节省工程投资。

“U”型回填区不承受车辆荷载,故分层回填后采用 20 t 震动压路机压实,压实系数按基床以下路堤标准控制;股道及岔区直接承受车辆荷载范围内,每填筑 4 m 高度实行强夯补强加固,以控制工后沉降。

3.3.2 分层回填强夯

经强夯处理的路基断面在路堤填筑期的沉降速率小于未进行地基处理的路基断面,因为强夯影响范围内地基结构压密重组,承载力和模量均较高^[9]。为控制工后沉降,开挖至设计深度后首先对基底面进行平整、强夯,然后分层回填后采用振动压路机压实,“U”型回填区与埋式高路堤回填区同步实施,每填筑 4 m 高度后在埋式高路堤范围内实行强夯加固。

根据修正的梅那(Men-ard)公式估算强夯有效加固深度为:

$$H = \alpha \sqrt{0.1M \times h}$$
 (1)

式中: M ——夯锤质量(kN);

h ——落距(m);

α ——有效加固深度修正系数,取 0.3 ~ 0.4。

取夯锤为 20 t、点夯落距为 10 m、满夯落距 5 m,计算有效加固深度为 4.2 ~ 5.7 m,因此采取每 4 m 1 层强夯,强夯加固设计参数为:

- (1) 夯击能量:点夯 2 000 kN·m,满夯 1 000 kN·m。
- (2) 施工机具:夯锤直径 2.6 m,锤重 20 t,静压强: 38 kPa。
- (3) 夯击方法:采用跳夯法点夯 3 遍,满夯 2 遍。
- (4) 夯点间距:3.5 m,矩形布置,满夯切 1/4 环;夯击次数:点夯 4 击,满夯 3 击。
- (5) 间隔时间:每两遍间隔 3 d。

(6) 夯击检验标准:最后 2 击的平均夯沉量 ≤ 50 mm。

4 实施效果

(1) 工后沉降得到有效控制

为检验翻挖回填并分层碾压、强夯后的实施效果,实施完成后设置了 3 个观测断面,并在轨道铺设前进行了 9 个月的沉降观测。根据观测曲线,填筑压实完成后第 5 个月沉降数据趋于收敛。开通运营后在轨道及列车动荷载条件下,测点移交工务部门又实施了 1 年的运营期沉降观测,工后沉降数据显示,沉降数据在开通后第 4 个月开始收敛,如表 4 所示。

表 4 实测断面工后沉降数据统计表(mm)

| 断面编号 | D2K 221 + 450 | | | D2K 221 + 520 | | | D2K 221 + 580 | | |
|----------------|---------------|----|----|---------------|----|----|---------------|----|----|
| 观测点编号 | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
| 铺轨前收敛沉降累积值 | 32 | 27 | 22 | 24 | 22 | 25 | 24 | 26 | 29 |
| 开通后观测工后沉降收敛累积值 | 12 | 14 | 13 | 18 | 14 | 13 | 16 | 13 | 12 |
| 处理完成后累积沉降 | 44 | 41 | 35 | 42 | 36 | 38 | 40 | 39 | 41 |

根据实测数据,地基铺轨前回填压实素填土地基在土体休止期内累积最大沉降 32 mm,开通后最大工后沉降 18 mm,工后沉降及沉降速率均满足规范要求。开通运营后实测工后沉降证明路基工后沉降小、结构安全可靠,施工质量优良、动车运行平稳。

(2) 采取翻挖回填碾压并分层实施强夯的方式形成“埋式高路堤”,相较于传统深厚素填土地基采用桩板结构、CFG 桩等复合地基加固,大幅度降低了地基加固成本,取得了明显经济效益,节约工程投资约 400 万元、工期提前 4 个月。

(3) 本工程素填土处理方案有效利用了场地内堆填的弃渣,在不产生外弃费用的前提下就地处治,充分体现了经济、环保、绿色的建设理念,开通运营后未发生环境问题,埋式高路堤施工完成后复旧成原地形,实现了工程与自然的和谐统一。

5 结束语

工程建设中各类新近填土、素填土地基出现得越来越频繁,传统的深厚填土地基一般采取挤密置换、CFG 桩、素混凝土桩、预应力管桩、桩板(筏)跨越等措施处理,但此类措施工程投资大、工期长。埋式高路堤结构地基充分结合填土地基的性质,在可利用条件下进行翻挖回填,不仅节省了工程投资、缩短了工期,且有效地实现了绿色、环保的建设理念,带来了良好的经济效益和社会效益,可为同类型地基处理提供参考。

参考文献:

- [1] 工程地质手册(第五版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2020.
Engineering Geology Handbook (5th Edition) [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2020.
- [2] TB 10038-2022 铁路工程特殊岩土勘察规程[S].
TB 10038-2022 Code for Special Soil and Rock Investigation of Railway Engineering [S].
- [3] 王世军,王剑锋,孙茂黎. 杂填土地基地质问题与处理措施研究[J]. 科技创新导报, 2009, 6(17): 33.
WANG Shijun, WANG Jianfeng, SUN Maoli. Study on Foundation Geological Problems and Treatment Measures of Miscellaneous Fill Site [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2009, 6(17): 33.
- [4] 陈宝玉,左辉,王建权. 建筑垃圾土工程特性研究[J]. 水科学与工程技术, 2008(6): 65-67.
CHEN Baoyu, ZUO Hui, WANG Jianquan. Study on Engineering Characteristics of Construction Waste Soil [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2008(6): 65-67.
- [5] 杨定国,吴瑞潜,王秋苹. 杂填土地基的评价与利用[J]. 绍兴文理学院学报, 2005, 25(2): 68-71.
YANG Dingguo, WU Ruiqian, WANG Qiuping. Evaluation and Utilization of Miscellaneous Soil-filling Foundation [J]. Journal of Shaoxing University (Natural Science), 2005, 25(2): 68-71.
- [6] TB 10001-2016 铁路路基设计规范[S].
TB 10001-2016 Code for Design of Railway Earth Structure [S].
- [7] 张莲香,骆朝选,孙付坤,等. 填土的岩土工程勘察及评价[J]. 地下水, 2006, 28(3): 93-94.
ZHANG Lianxiang, LUO Chaoxuan, SUN Fukun, et al. Geotechnical Engineering Investigation and Evaluation of Fill [J]. Ground Water, 2006, 28(3): 93-94.
- [8] TB 10106-2023 铁路工程地基处理技术规程[S].
TB 10106-2023 Technical Code for Ground Treatment of Railway Engineering [S].
- [9] 庞应刚. 胶济客运专线非饱和土强夯地基现场试验研究[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(2): 14-17.
PANG Yinggang. Field Testing Study on the Dynamic Consolidation Unsaturated Soil Foundation of the Qingdao-Jinan Passenger Dedicated Line [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(2): 14-17.

(上接第78页)

5 结论

结合我国现行高速铁路规范,得出了主要结论如下:

(1)按推荐、良好和一般舒适度条件确定400 km/h高速铁路最小曲线半径时,对应临界速度分别为290 km/h、254 km/h和227 km/h,高于临界速度,采用单一高速列车运行模式,低于临界速度采用高低速列车共线运行模式。

(2)高速列车速度为400 km/h且最小曲线半径按高低速列车共线条件进行确定时,过超高和欠超高之和允许值是决定性因素,且主要受限于过超高允许值。

(3)结合CR 400动车组高速列车V-S曲线,在车站两端设置曲线时,最小曲线半径应按良好和一般舒适度标准进行考虑,设计超高可同时满足高速列车欠超高和低速列车过超高要求。

(4)本文相关研究成果可为400 km/h高速铁路车站两端曲线半径与超高设计提供一定参考。

参考文献:

- [1] 徐银光,李艳. 成渝中线400 km/h轮轨动车组技术指标研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(3): 7-11.
XU Yinguang, LI Yan. Research on Technical Indexes of 400 km/h Wheel-rail EMU for Chengdu-Chongqing Middle Line [J]. High
- Speed Railway Technology, 2020, 11(3): 7-11.
- [2] 谢毅,寇峻瑜,姜梅,等. 中国铁路发展概况与技术展望[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(1): 11-16.
XIE Yi, KOU Junyu, JIANG Mei, et al. Development and Technical Prospect of China Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 11-16.
- [3] 张晓东. 铁道工程[M]. 北京:中国铁道出版社, 2019.
ZHANG Xiaodong. Railway Engineering [M]. Beijing: China Railway Publishing, 2019.
- [4] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway [S].
- [5] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].
- [6] 敖云碧,陈刚,周覃龙. 我国高速铁路车站选址理念研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 28-32.
AO Yunbi, CHEN Gang, ZHOU Qinlong. Research on Site Selection Concept of High-speed Railway Station in China [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 28-32.
- [7] 邹凯. 高速铁路邻近车站曲线最小半径研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(5): 35-39.
ZOU Kai. Study on Minimum Radius of Curves Adjacent to High-speed Railway Station [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(5): 35-39.
- [8] 梁晨,司道林,徐玉坡. 时速400/380 km高速铁路最小曲线半径取值研究[J]. 铁道建筑, 2016, 56(1): 63-66.
LIANG Chen, SI Daolin, XU Yupu. Research of Minimum Curve Radius Value for High Speed Railway at 400/380 km/h [J]. Railway Engineering, 2016, 56(1): 63-66.