

气泡混合轻质土 在地铁高填方路基中的应用

郑惠文

(重庆市轨道交通集团有限公司, 重庆 400022)

摘要:以重庆地铁涂山车辆段高填方路基工程为例,介绍气泡混合轻质土在用地狭小受限地段的应用实例,提出气泡混合轻质土填筑地铁路基的设计要点并进行稳定性验算,通过分析肯定了气泡混合轻质土的耐久性,提出气泡混合轻质土填筑地铁高填方路基的施工及质量控制要求。相对于桩板式挡墙和结构混凝土架空等传统处理方式,气泡混合轻质土填筑地铁受限高填方路基具有施工方便、节约投资、缩短工期的优点,且质量可控度高。

关键词:地铁;高填方;气泡混合轻质土;稳定性;耐久性

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2018)04-0088-04

Bubble-Mixed Light Soil Applied in a Metro High-Fill Roadbed

ZHENG Huiwen

(Chongqing Rail Transit (Group) Co., Ltd., Chongqing 400022)

Abstract: With the Chongqing Tu Hill depot high-fill engineering as an example, this article introduces application examples of bubble-mixed light soil in narrow and restricted areas, and proposes the design points of bubble-mixed light soil filling subway subgrade; in addition, its stability was checked. The durability of bubble-mixed light soil was confirmed via an analysis. This paper also proposes construction and quality control requirements of high-fill roadbeds of bubble-mixed light soil. Compared to pile-sheet retaining walls and structural concrete overhead and other traditional treatment methods, bubble-mixed light soil fill for restricted subway high-fill roadbeds has many advantages such as construction convenience, less costs, shortened construction period, and strong quality control.

Keywords: metro; high fill; bubble mixed light soil; stability; durability

气泡混合轻质土是近年发展起来的一种新型轻质材料^[1]。它是用物理发泡方式,在水泥基浆体中加入一定体积的气泡群,制备的大量均匀封闭微小气泡的轻质工程材料。气泡混合轻质土具有良好的强度和耐久性,并且轻质、便于施工、固化后可直立^[2],在路基填筑、桥涵台背回填、结构减小荷载等方面有较为广泛的应用^[3-5]。郑涛等^[6]以四川省川北地区广巴高速公路连接线为工程依托,在复杂地质构造与环境条件下,通过采用气泡混合轻质土技术替代重式混凝土

支挡物的方法,确保路堤整体稳定,减少结构物不均匀沉降,解决放坡征地难、施工不便、软基处理等诸多技术难题;潘锐等^[7]阐述了轻质土作为减荷路基填筑材料的设计要点和结构处理方法。气泡混合轻质土填筑技术目前有成熟的施工操作规程《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》^[8](CJJ/T 177—2012),但该技术铁路、地铁路基填筑中应用较少,需要对其设计及施工进行总结。

1 工程概况

重庆地区山高坡陡,建设地铁车辆场,面临较多的填土工程。重庆轨道环线涂山车辆段及出入段线工程位于涂山路以东、内环快速路以西的地块。场地呈

收稿日期: 2017-09-03 修回日期: 2017-10-27

作者简介: 郑惠文,女,硕士,高级工程师,主要从事地铁隧道、桥梁、路基等土建工程研究, 37968949@qq.com

狭长型，南北向长约 1 600 m，东西向最窄处位于场地中部，宽约 95 m。场地原始地貌为构造剥蚀浅丘沟谷地貌，现状地形起伏较大，为两边坡夹一冲沟，平场后标高与明渠顶标高仍有 10~13 m 高差。车辆段平面位置及布置如图 1 所示。

2 方案设计

车辆段中段地势狭窄，但该区域布置有镗轮库、

洗车库、工程车库、场区道路以及数条连接检修库至停车列检库的轨道线。为了解决场地狭小施工不便、质量不易控制的难题，最大化地增加可使用土地面积，为下方明渠预留足够空间，对比桩板挡墙、放坡+架空混凝土平台等 4 种方案后，经设计单位推荐和专家评审，决定采用放坡+气泡混合轻质土回填方案（图中红色区域）。图 2 为气泡混合轻质土填筑区的典型剖面图。

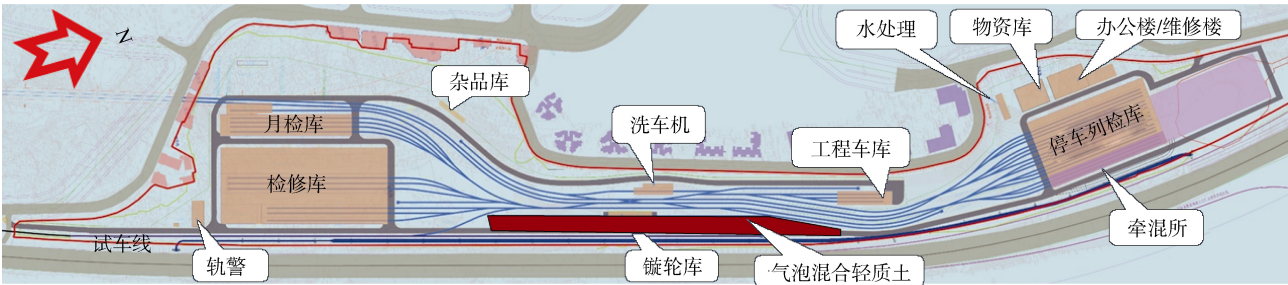


图 1 涂山车辆段平面位置及布置

Fig. 1 Planimetric position and arrangement plan of the Tu Hill depot

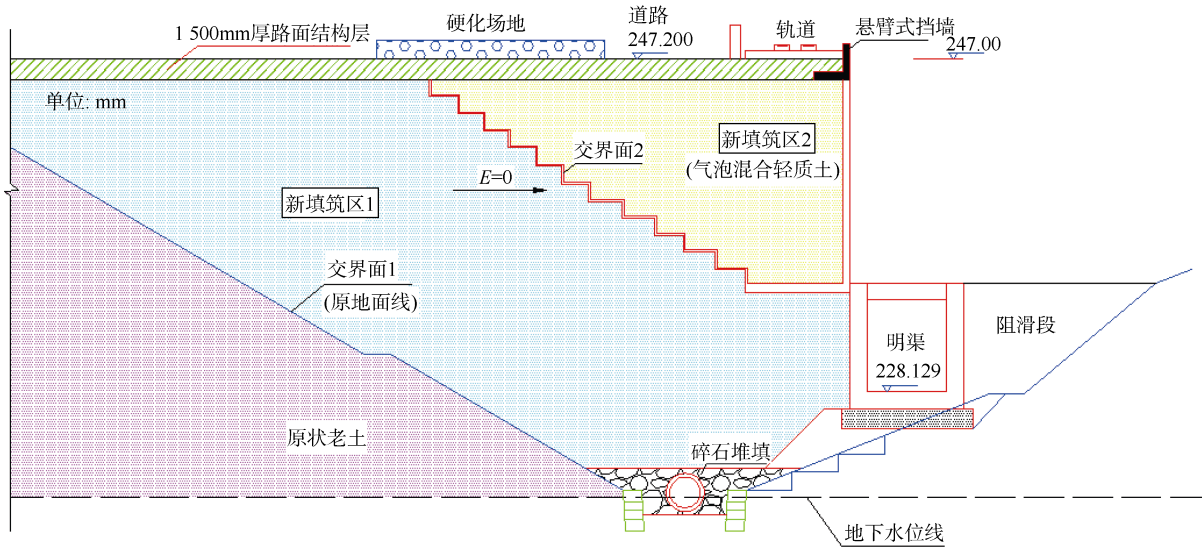


图 2 气泡混合轻质土填筑区的典型剖面

Fig. 2 Typical profile map of a bubble-mixed light soil filling area

3 计算及验算

地铁车辆段路基设计在用地紧张的情况下，要保证设计成果科学、合理，满足安全运营的要求，结构安全无疑是重中之重^[9]。根据公路现行行业标准《公路路基设计规范》(JTGD 30—2015)，按特重、极重交通高速公路路床部位的气泡混合轻质土设计及验算^[10]。由图 2 所示，该填方路基包含两部分：填筑土石区 1 和填筑气泡混合轻质土区 2。

为保证填筑区 1 传递至气泡混合轻质土区 2 的水

平力为 0，根据 CJJ 177—2012 规程填筑区域 1 采用台阶式构造设计。选用级配良好 ($C_u \geq 5$ ，且 $C_c = 1 \sim 3$) 的砂土或碎石类土做填料回填，并分层强夯处理，制订专门的地基处理设计要求。填筑区 2 气泡混合轻质土在无外部水平荷载作用下，只承受车场地面的竖向荷载，需进行路基填筑体抗压强度验算（注：为减少气泡轻质土的垂直压力以及避免两个新填筑区域差异性沉降问题，漩轮库采用桩基础，桩基深入稳定岩层）。由于气泡混合轻质土填筑体整体设置于斜坡台

阶面上,按 CJJ 177—2012 规范应进行抗滑移及抗倾覆稳定验算。

综上,本次设计计算及验算主要有路基填筑体强度验算,填筑区 1 沿与现状地面的折线滑动验算,填筑区 2 (气泡混合轻质土) 抗滑稳定验算和填筑区 2 (气泡混合轻质土) 抗倾覆稳定验算。

本工程填筑体最大高度 $H=13$ m,安全等级为一级,重要性系数 $\gamma_0=1.1$,设计使用年限为 50 年,边坡稳定安全系数取 1.35, CBR=4 (按《公路路基设计规范》^[10]表 3.3.1 取值),坡顶道路荷载取 20 kPa,列车荷载 (按《铁路路基设计规范》附录 A) 取 60 kPa。下部填土地基及填筑区 1 经强夯或分层碾压处理后需满足要求:地基土承载力 ≥ 200 kPa,填土压缩模量 ≥ 12 MPa,压实度 $\geq 94\%$ 。填筑区 2 设计容重等级为 W8,强度等级 CF1.5。无侧限抗压强度设计值: $f_c=1.5$ MPa。填筑区 1 填方边坡超填 1 m,边坡坡度为 1:1.5、1:1.75。

按 CJJ 177—2012 规程 4.5.5 进行填筑路基抗压强度验算, W8 气泡混合轻质土无侧限抗压强度远大于填筑体抗压强度和填筑体自立稳定的抗压强度。按 CJJ 177—2012 规程 4.5.6 进行抗滑动稳定性验算和抗倾覆稳定验算后,安全系数均符合规范要求。

4 列车动荷载对气泡混合轻质土耐久性分析

该工程中,地铁车辆刹车碰撞等作用会对路堤产生较大的冲击作用^[11],有必要对列车动荷载作用下气泡混合轻质土的耐久性进行分析。

1) 气泡混合轻质土施工后形成封闭微孔的细密结构,可有效地阻止水及其他介质的浸入,自身具有良好的耐久性。

2) 本次设计的地面荷载为 $60+25\times 1.5=97.5$ kPa,气泡混合轻质土无侧限抗压强度设计值: $f_c=1.5$ MPa,后者约为前者的 15 倍。

3) 动荷载产生的土压力为其等幅值静荷载的 1.2~1.3 倍,且带有振动和冲击作用。气泡混合轻质土承受的动荷载与其强度应力比通常小于 0.3,根据疲劳方程,按应力比 0.3 计算,气泡混合轻质土的疲劳寿命可达 10^{21} 次,可满足一般工程需要。为更进一步保证气泡混合轻质土的耐久性,按照《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005) 6.1.1 条,路面以下 1.5 m 处动应力衰减比为 0.29^[12]。因此,在气泡混合轻质土上

部设置 1.5 m 厚路面结构层,以减小动荷载带来的振动和冲击影响。

4) 填筑区 2 与填筑区 1 的边坡以台阶形式衔接,设置垂直锚固件,从构造上保证填筑区的整体性和耐久性。

无论是气泡混合轻质土自身还是构造设计及结构设计,均能保证气泡混合轻质土的长期性能。

5 填筑体内、外排水设计

涂山车场修建后,地表将形成有组织的排水系统。渗入原地表高程附近的水将采用碎石反滤层收集,通过直径 0.8 m、纵向通长的带孔混凝土透水管排出车场外。

填筑区 1 与气泡混合轻质土填筑区 2 交界面的渗水将通过设置在抗滑台阶上的碎石堆囊收集,再利用预埋的泄水孔排出填筑体外。同时气泡混合轻质土填筑体 2 底层铺填 15 cm 厚碎石垫层,防止施工过程中雨水对填筑体的不利影响。

6 施工及质量要求

1) 发泡剂是制作气泡混合轻质土的关键材料。施工前应检测发泡剂质量指标。发泡剂每 5 000 L 检测 1 次,主要检测气泡群密度及标准气泡柱静置 1 h 的沉降距。此外,每班开工前均应检测气泡群密度,以保证气泡的稳定性。

2) 原材料适应性试验关系气泡混合轻质土施工的成败。施工前应检测发泡剂与水泥、水及其他掺合料的适应性。主要检验气泡混合轻质土静置 1 h 的湿容重增加值是否满足要求。保证气泡群与水泥基浆体的相容性。

3) 气泡混合轻质土配合比应通过严格的配合比设计和试验确定。根据 CJJ 177—2012 规程按气泡轻质土的容重和强度要求进行原材料组合方案及比例设计,并通过实验室配制及湿容重试验和流动度试验,确定水泥、水、气泡群、掺合料的最佳比例。配合比在施工过程中应根据材料和过程检测情况予以验证和调整,保证材料性能满足设计要求。

4) 为保证工程质量,本工程要求选择有气泡混合轻质土施工经验的施工单位,施工组织设计应经过专家论证认可。正式施工前先做试验段(建议选取 30 m),确定以下内容:

①对气泡混合轻质土进行容重、抗压强度、流动度、原材料适应性试验等,检验各项指标是否满足设

计要求;②确定气泡混合轻质土初凝与终凝时间;③确定单次浇筑厚度。根据凝结时间,在 0.3~0.8 m 的范围内,选取一个最合适的单次浇筑厚度;④确定最佳配合比。

5) 气泡群应采用发泡设备预先制取,新拌气泡混合轻质土采用配管泵送。气泡混合轻质土在泵送设备、泵送管道中的停置时间不宜超过 1 h。

6) 气泡混合轻质土采用分层分块方式浇筑。单层浇筑厚度按试验确定的最合适浇筑厚度控制。单个浇注区浇注层的浇注施工时间不应超过水泥浆的初凝时间;上下相邻两层浇注间隔时间不宜小于 8 h。

7) 施工过程中应加强气泡混合轻质土质量检验。同一配合比每浇注 100 m³ 检验一次湿容重和流动度,每 400 m³ 取样检测一次容重和抗压强度(类似于水泥砼的取样检测方法)。

8) 填筑区 2 与填筑区 1 的边坡以台阶形式衔接,填筑区 1 超填 1 m 后开挖台阶,台阶开挖坡度与边坡坡度一致,高度为 1 m。在台阶角点处设置长度为 2 m 的锚固件,垂直进入基床斜面的垂直距离不小于 1 m,同时控制填筑区 2 的底面宽度不小于 2 m,保证填筑体的整体性和耐久性。

9) 填筑体及挡板每 10~15 m 设置一道沉降缝,沉降缝采用 20~30 mm 厚的聚苯乙烯板或 10~20 mm 厚的夹板。挡板由基础、面板、拉筋及立柱组成,其中面板和基础均采用 C25 砼基础。

7 结论

应用气泡混合轻质土填筑高填方地铁路基的设计方案不仅解决了车辆段工程场地受地形限制造成施工不便的难题,相对于桩板式挡墙和结构混凝土架空等传统处理方式,气泡混合轻质土填筑高填方路基具有良好的耐久性,工程质量可控度高,且减少投资,缩短工期,为同行业采用类似技术积累了工程经验。

参考文献

- [1] 蔡力,陈忠平,吴立坚. 气泡混合轻质土的主要力学特性及应用综述[J]. 公路交通科技, 2005, 22(12): 71-74.
CAI Li, CHEN Zhongping, WU Lijian. Foamed cement banking mechanics and its applications[J]. Traffic science and technology, 2005, 22(12): 71-74.
- [2] 陈忠平,王树林. 气泡混合轻质土及其应用综述[J]. 中外公路, 2003, 23(5): 117-120.
- [3] 黄月华. 气泡混合轻质土在地铁隧道减荷中的应用[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2008, 7(1): 52-54.
HUANG Yuehua. The application of the foamed mixture light weight soil to load-reduce on subway tunnel[J]. Journal of guangdong communication polytechnic, 2008, 7(1): 52-54.
- [4] 罗兴德,周劲草. 气泡混合轻质土在高填筑桥台中的应用[J]. 山西建筑, 2006, 32(11): 154-155.
- [5] 陈文平,谭存茂,杨和平. 气泡混合轻质土在台背回填施工中的应用[J]. 公路, 2012(11): 162-166.
- [6] 郑涛,李海清,蒋瑜阳. 川北重丘区软基层气泡混合轻质土的工程技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2016(1): 78-81.
ZHENG Tao, LI Haiqing, JIANG Yuyang. Research of engineering technology of bubble mixed light soil for soft foundation in hilly area of northern Sichuan[J]. Road machinery & construction mechanization, 2016(1): 78-81.
- [7] 潘锐,刘志明. 气泡混合轻质土在地铁结构上覆市政路基中的应用[J]. 中国市政工程, 2013(2): 79-84.
- [8] 气泡混合轻质土填筑工程技术规范: CJJ/177—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Technical specification for foamed mixture lightweight soil filling engineering: CJJ/177—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [9] 兰淑桂. 地铁车辆段站场设计有关问题的解决方法[J]. 铁道工程学报, 2010(6): 119-122.
LAN Shugui. Solution to relative problems in design of station yard of metro vehicle depot[J]. Journal of railway engineering society, 2010(6): 119-122.
- [10] 公路路基设计规范: JTGD30—2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
Specifications for design of highway subgrades: JTGD30—2015[S]. Beijing: China Communication Press, 2015.
- [11] 梁兴胜,李宁. 冲击荷载作用下气泡轻质土性能试验研究[J]. 低温建筑技术, 2015(1): 41-143.
- [12] 铁路路基设计规范: TB10001—2005[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
Code for design on subgrade of railway: TB10001—2005[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

(编辑: 郝京红)