

DOI: 10.11779/CJGE2019S1028

黄土地区平山造地岩土工程设计方法浅析

曹杰^{1, 2, 3}, 张继文^{1, 2, 4}, 郑建国^{1, 2, 3}, 梁小龙^{1, 2, 3}, 刘智^{1, 2, 3}, 李攀^{1, 2, 3}

(1. 机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710043; 2. 陕西省特殊土工程性质与处理技术重点实验室, 陕西 西安 710043;
3. “三秦学者”岗位科研创新团队, 陕西 西安 710043; 4. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 为解决黄土地区平山造地工程中出现的一系列岩土工程技术难题, 根据已有的工程经验和文献资料, 对黄土地区平山造地工程设计主要考虑因素进行了分析, 结合黄土特性, 就地基处理、土方填筑、坡面防护、水环境控制等方面注意事项及设计方法进行了初步说明与讨论, 以期对黄土地区同类工程设计和研究提供参考。

关键词: 湿陷性黄土; 高填方; 地基处理; 土方填筑设计; 坡面设计; 排水设计; 水敏性

中图分类号: TU444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2019)S1-0109-04

作者简介: 曹杰(1980—), 男, 陕西西安人, 博士, 教授级高工, 主要从事高填方工程、地基处理、地下结构抗震等方面的岩土工程实践与研究工作。E-mail: caojie801014@126.com。

Design of high-fill reclamation projects in loess areas

CAO Jie^{1, 2, 3}, ZHANG Ji-wen^{1, 2, 4}, ZHENG Jian-guo^{1, 2, 3}, LIANG Xiao-long^{1, 2, 3}, LIU Zhi^{1, 2, 3}, LI Pan^{1, 2, 3}

(1. China JIKAN Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd., Xi'an 710043, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Engineering Behavior and Foundation Treatment for Special Soil, Xi'an 710043, China; 3. "Sanqin Scholar" Post Research and Innovation Team, Xi'an 710043, China; 4. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: With the rapid development of China's urbanization, the embankment reclamation has become an effective method to solve the bottleneck of construction land shortage, and a series of geotechnical engineering problems have arisen in these projects. Based on the existing engineering experience and literatures, the main considerations of reclamation projects are analyzed in loess areas. Considering the characteristics of loess, the precautions and design methods of foundation treatment, earth fill, slope protection and water environment control are preliminarily explained and discussed so as to provide reference for the design and research of similar projects in loess areas.

Key words: collapsible loess; high fill; ground treatment; earthwork design; slope optimization design; water drainage design; water sensitivity

0 引言

多年来, 公路和铁路等部门对高度小于30 m的黄土中、低边坡与填方做过较为系统的研究, 但基本仅限于“线性”工程的建设问题。机场建设中所涉及的高填方工程与大面积、大方量的城市造地工程相对较为接近, 但机场工程与城建造地工程在使用条件、建设布局和规划理念等方面还是有所不同, 所引起地基应力分布、填筑体变形、地下水重分布等均有差异。黄土沟壑丘陵地区平山造地工程中, 成功的经验不多, 深入系统的研究则尚属空白。

本文基于西北黄土丘陵沟壑区平山造地工程的建设成就, 就设计与施工过程中面临的一些工程技术难题进行分析与讨论, 对黄土地区平山造地岩土工程设计方法进行总结。

1 整体设计思路

借鉴民航的“三面一体”控制理论^[1], 并结合延安新区、兰州新城等地的建设经验, 可将黄土丘陵沟壑区大体量平山造地复杂岩土工程的设计提炼、概括为“交接面”、“临空面”、“造地面”、“填筑体”、“地基体”和“环境水”等“三面两体一水”六要素的把握与控制, 如图1所示。

“交接面”包括了基底面、接坡面、填方与挖方交接面、工作搭接面等, 所涉及范围广而零散, 往往

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800501); 陕西省科技统筹创新工程项目(2016KTZDSF03-02); CMEC 2016年科技研发基金项目(GCCT-KJYF-2016-15); CMEC 2017年科技研发基金项目(CMEC-KJYF-2017-05)

收稿日期: 2019-04-29

都是工程中极易被忽视的薄弱面所在。基底面是指填筑体与原地基的接合面，基础底面的岩土工程特性、软弱层处理、排水措施等均是工程建设中需要重点关注的问题；接坡面、填挖交接面、工作搭接面附近应注意不均匀沉降与潜在入渗通道的处理；“临空面”包括挖方和填方边坡坡面，除坡面优化设计以保证稳定性和经济性，还需考虑防冲刷和环境美化等问题；“造地面”即土方填筑体顶面，是造地工程最终所形成的用地范围，根据城市规划要求，不同功能分区应该对造地面具有不同的沉降控制要求；“填筑体”是工程的主体，“填筑体”自身的变形特性直接影响“造地面”的变形和沉降，其强度特性则直接影响“临空面”的稳定性；“地基体”着重强调了黄土丘陵沟壑区地势起伏大、厚度不均的湿陷性地基，其自身的变形与“填筑体”变形共同构成“造地面”的变形与沉降；“环境水”由地表水和地下水两部分组成，天然低湿度下具有明显高强度和低压缩性的黄土，在浸水甚至增湿时均会发生强度大幅度骤降和变形大幅度突增的特性^[2-4]，因此“环境水”对黄土高填方工程具有重要影响。

黄土地区平山造地岩土工程“三面两体一水”设计方法是以体与面的概念抽象、突出设计过程中应考虑的控制因素，目的是在设计过程中对繁杂技术问题的逐条排查与处理。

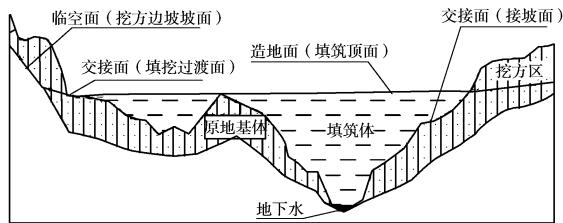


图1 平山造地工程“三面两体一水”控制设计示意图
Fig. 1 Schematic diagram of design method for high-fill foundation

2 设计中应考虑的因素与方法

基于以上六个要素，黄土丘陵沟壑地区平山造地岩土工程设计主要包括地基处理设计、土方填筑设计、边坡设计、排水设计。

2.1 地基处理设计

地基处理原则是：①基本消除原地基压缩沉降；②基本消除原黄土地基的湿陷性；③结合防排水要求，确保原地基长期稳定性。主要包括原始沟道地基处理、不良地质体处理。

黄土丘陵沟壑区浅层地基大致可分为三大类：第一类是起伏大、分布广、最为常见的湿陷性黄土，以大面积消除湿陷性为主要目标；第二类是沟谷冲积物，以大幅度消除压缩性为目标；第三类是人为筑

坝促淤造地形成的填土与淤积土，其工程性质与淤泥质土近似，应先期进行降、排水降低中浅层含水率，后期以提高承载力降低压缩性为目标进行地基处理。

不良地基体主要包括崩塌、滑坡、土洞、悬岩。崩塌堆积物的处理原则是挖而不运、就地解决，结合土方填筑施工中开挖台阶进行处理；填方区滑坡一般不需要考虑其整体稳定，规模较小时将其挖出就近碾压，规模较大但在强夯处理深度范围内时，采用强夯进行处理；挖方区的滑坡，土方开挖时应从不影响滑坡稳定的部位开挖，以免诱发滑坡；地表显露土洞，原则上进行追踪开挖，分层回填，对隐伏土洞，宜根据埋藏深度进行不同能级强夯处理；对悬岩应予以削除，当削除处理受场地限制或施工困难时，应采用块石对其下部进行填充。

2.2 土方填筑设计

填筑体是整个工程的建设主体，处理目的一是使填筑体达到稳定、密实、均匀，以减少造地面的工后沉降与不均匀沉降；二是消除湿陷性黄土作为填料时的湿陷性，避免在后期城市建设中造地面出现的二次高压增湿变形^[3-4]。

(1) “填筑体”控制

“填筑体”控制的关键是对土方填筑工艺、压实参数进行有效控制，填筑施工方法的选择应根据密实度要求、土料类型、含水率、场地条件等因素综合考虑，常用的有振动碾压、冲击碾压和填筑强夯等。振动碾压具有地形适应性强、工程单价低的优点，缺点是单台效率相对较低、对含水率要求严格；冲击碾压的优点是单机施工效率高，相对于振动碾压，分层厚度可加厚、含水率控制要求也可适当放宽，但需要较宽广的工作面以保证其连续运行速度以达到压实效果；强夯具有地形适应性强、一次铺填厚度大、综合处理效果好的特点，但单价相对较高。总体上，当原地基具有超过碾压厚度的松散土层，尤其是处于“V”字型谷底时，采用强夯进行夯实；填方区下部，宽敞工作面没有形成前，采用振动压实的方法进行压实；在填方区上部，大范围作业采用冲击碾压进行压实；当土料含水率偏低时，采用强夯或冲击碾压。

为了保证足够的沉降稳定时间，应优先安排高填方区段施工，在高大边坡临空面附近施工时还应加强边坡水平位移的监测；其次，为了加快沉降速度，缩短工后沉降稳定时间，可在冬歇期以及造地竣工到用地开发的间歇期对填筑厚度较大区域和重要规划区域采取超高堆载预压处理。

(2) “交接面”控制

“交接面”区域主要包括填筑体与原山体接坡面、工作搭接面、填方与挖方过渡区3个区域。

对接坡面的处理(如图2所示)目的在于:①保证斜坡部位“填筑体”与“地基体”能够形成良好的契合;②高、陡坡体上的湿陷性黄土在施工初期不具备施工条件,土方填筑工作面为此处地基处理提供了工作平台,可对原有湿陷性坡体进行专门处理;③接坡附近的填筑体由于地形限制,难于压实,通过接坡处理,可以对其进行适当补强,保证其密实度。

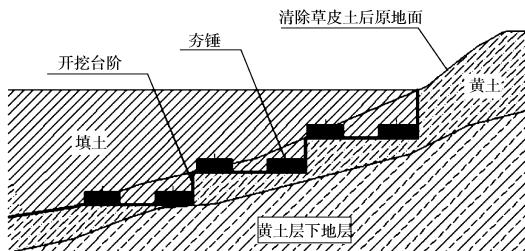


图2 接坡处理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of treatment of contact slope surface

工作搭接面处理(如图3所示):由于施工单位间的起始填筑标高、施工进度差异等,在填筑体内部往往会出现众多工作面,设计时应考虑到相邻工作面的进度差异,对工作面两侧的高差有所要求,避免人为形成明显“错台”现象。

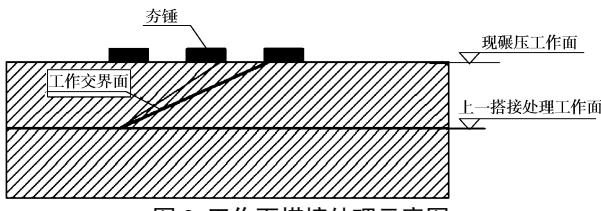


图3 工作面搭接处理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of treatment of work surface

填、挖交接面与过渡区(如图4所示):与填方区相比,挖方区无明显沉降甚至会出现卸载回弹,如果填、挖交接面的处理被忽视,将会导致过渡区域的差异沉降较大甚至出现突变,最终影响造地面的实用性和安全性。

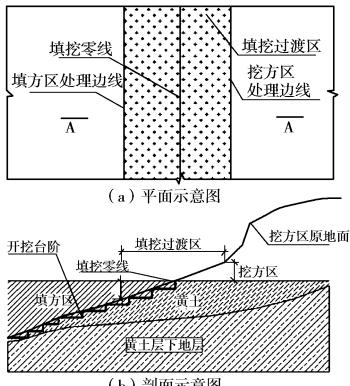


图4 填挖过渡区处理示意图

Fig. 4 Schematic diagram of treatment of transition zone

对上述各类薄弱面,一般采用台阶开挖(台阶面适当内倾)并以强夯密实方式补强处理。台阶开挖的

高度与宽度、强夯的能级、间距与布点方式均应根据交接面处的地层湿陷性等级与厚度、山体坡度与开挖量、交接面高差与范围等实际情况灵活把握。

2.3 边坡设计

边坡设计包括边坡坡型设计、坡脚处理以及坡面防护。

(1) 坡型设计:应在满足稳定性的前提下进行坡型优化。边坡稳定性分析时,建议分别采用天然含水率和塑限含水率的抗剪强度计算边坡稳定性。鉴于大型工程建设均采取较全面的排水措施,因此,一般情况下不考虑极端不利的饱和状态。大多数规范中采用的极限平衡法基于刚性假定,忽略了土体应变与位移的协调性,将导致两个后果:一是不能考虑局部区域安全系数的变化,二是应力分布与实际不符。因此,对于复杂的边坡坡体还应结合数值方法进行稳定性评价。

当边坡的安全系数不能满足设计要求时,需要采取工程措施,本质上是增加土体抵抗移动的能力,常用的处置措施主要有两大类:一是减小下滑力或利用一种外来施加的力系抵消或平衡下滑力;二是增加土体的内在强度,保证土体的剪应力小于抗剪强度,使边坡能在没有外来力系的帮助下保持稳定。

如图5所示,对于高大坡体(大于20 m^[5])坡度较陡时可以通过减缓坡度或分级填成台阶状以增加其稳定性并可降低地表水流速减小坡面冲刷,即每隔一定高度设置坡面马道,结合排水设计在马道与坡面设置排水。马道的宽度与高度设计除满足坡体稳定、排水通畅等要求外,还应考虑后期的用地功能(如交通便道等)予以加宽。综合考虑上述因素之后,还应进行变坡度设计,以考虑与原山体地形的有机结合和土方量的优化。

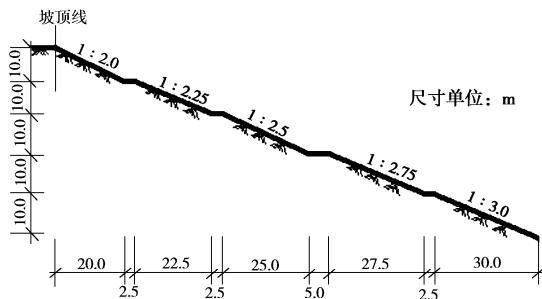


图5 坡型优化设计示意图

Fig. 5 Schematic diagram of optimization design of slope shape

(2) 坡脚处理:与前文提到的“地基处理设计”以及下文的“排水设计”部分内容相结合,坡脚处理目的在于消除原地基的变形与不均匀沉降,同时是为了提供坚实基础,防止坡脚的侧向变形。因此,填筑边坡坡脚内侧与外侧的原地基一定范围内必须进行专

门地基处理。

(3) 坡面防护: 由于水流对边坡的侵蚀, 易使坡面土体抗剪能力减弱。借鉴以往的填方工程的成功经验, 并结合西北地区的气候、土质状况, 对坡面的防护采用三维植被网的综合防护, 能有效地保护坡面不受风、雨、洪水的侵蚀。其初始功能是有利于植被生长, 随着植被的形成, 它的主要功能是帮助草根系统增强其抵抗自然水土流失的能力。

2.4 排水设计

由于黄土的水敏特性, 使得排水设计对整个造地工程质量的把控起到至关重要的作用。

(1) 地下排水: 如图 6 所示, 根据沟底原有水系分布, 结合地形具体情况, 以不改变或破坏原有水系为原则, 设置原始沟谷地基内的盲沟系统。在主要冲沟和次要冲沟分别设置主盲沟与次盲沟, 多数冲沟存在有以下降泉形式出露的地表水流时还应以支盲沟将其引入主盲沟或次盲沟。

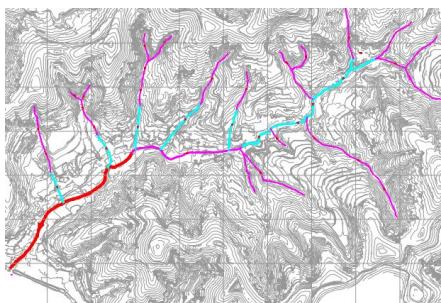


图 6 地下盲沟排水系统示意图

Fig. 6 Drainage system of underground blind ditch

排水盲沟的基本构造是土工布包裹碎石, 场区内的地形地貌复杂时, 超长距离的纯碎石盲沟存在排水不畅的隐患。如果谷底地形条件允许, 可加设一条与主盲沟走向大致相同的排水涵管。如地形条件较差, 可直接在主盲沟与次盲沟内埋设涵管, 形成中空的排水盲沟(如图 7 所示)。

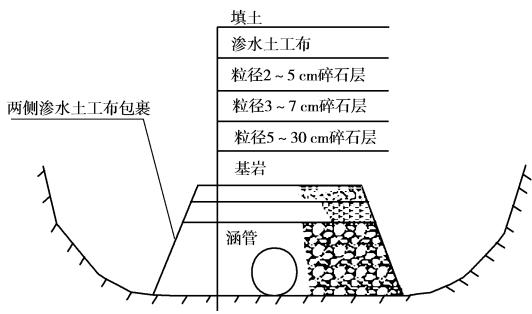


图 7 排水盲沟断面示意图

Fig. 7 Section of drainage blind ditch

(2) 坡面排水设计: 如图 8 所示, 结合坡面防护设计, 在坡面上设置横向与纵向排水系统, 避免地表水直接在坡面上形成径流冲刷坡面。横向排水应在马

道内设砌石排水沟, 顺坡向排水每隔一定间距设置一道。但是必须注意, 彻底阻止水对边坡特别是对滑面的作用是极不现实的, 排水措施需要与其他工程措施配套进行综合防护。

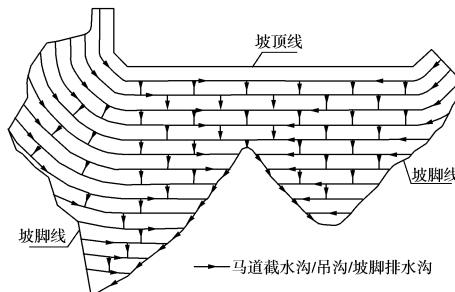


图 8 坡面排水平面示意图

Fig. 8 Drainage sketch of slope surface

3 结 论

本文属于黄土丘陵沟壑地区平山造地岩土工程概念性设计, 并不牵涉具体的设计参数与施工工艺, 仅就平山造地工程设计的总体思路和基本原则进行了简要说明, 对造地过程中需要考虑的六大因素进行了定性分析, 以期为后续类似工程提供一定借鉴作用。

参 考 文 献:

- [1] MH/T5027—2013 民用机场岩土工程设计规范[S]. 2014. (MH/T5027—2011 Code for geotechnical engineering design of airport[S]. 2014. (in Chinese))
- [2] 谢定义. 试论我国黄土力学研究中的若干新趋势[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1): 3 - 13. (XIE Ding-yi. Exploration of some new tendencies in research of loess soil mechanics[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(1): 3 - 13. (in Chinese))
- [3] 张苏民, 张 炜. 减湿和增湿时黄土的湿陷性[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(1): 57 - 61. (ZHANG Su-min, ZHANG Wei. The collapsibility of loess during moistening and dry process[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1992, 14(1): 57 - 61. (in Chinese))
- [4] 刑义川, 李京爽, 李 振. 湿陷性黄土与膨胀土的分级增湿变形特性试验研究[J]. 水利学报, 2007, 38(6): 546 - 551. (Deformation characteristics of collapsible loess and expansive soil under the condition of wetted in stages[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(6): 546 - 551. (in Chinese))
- [5] JTGD30—2004 公路路基设计规范[S]. 2004. (JTGD30—2004 Specification for design of highway subgrades[S]. 2004. (in Chinese))