

泡沫轻质土在陡坡桥梁桩基施工平台中的应用研究

徐鸿彪, 向波, 李颖, 唐国汉, 谭邦明

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 成都 610041

摘要: 公路建设领域中陡坡桥梁施工主要受控于桩基施工平台的设置。以某高速公路及其受限的中陡斜坡桥梁桩基施工平台设计为例, 分析了传统3种施工平台方案在本工程中的适用性, 引入了泡沫轻质土施工平台并开展了稳定性计算及强度设计。实例表明, 采用常规锚杆加固, 可实现在 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 陡斜坡上修筑8.5 m宽的泡沫轻质土施工平台, 为条件受限情况下的中陡斜坡施工平台设计提供参考。

关键词: 泡沫轻质土; 陡坡桥梁; 桩基施工平台; 稳定性与强度

中图分类号: P642; U443.1; U443.15 **文献标识码:** A

Application Research on Foam Lightweight Soil in Construction Platform of Pile Foundations for Steep Slope Bridges

XU Hongbiao, XIANG Bo, LI Ying, TANG Guohan, TAN Bangming

Sichuan Highway Planning, Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610041, China

Abstract: In the field of highway construction, the construction of steep slope bridges is mainly controlled by the setup of pile foundation construction platforms. Taking the design of a pile foundation construction platform for a highway bridge on an extremely constrained medium-steep slope as an example, the applicability of three traditional construction platform schemes in this project was analyzed. The foam lightweight soil construction platform was introduced, and stability calculations and strength design were carried out. The example shows that with conventional anchor rod reinforcement, it is possible to construct an 8.5 meter-wide foam lightweight soil construction platform on a slope of 50° to 60° . The result can provide a reference for the design of construction platforms on medium-steep slopes under constrained conditions.

Key words: Foam lightweight soil; Steep slope bridges; Pile foundation construction platform; Stability and strength

0 引言

随着我国公路路网的逐渐加密及既有公路的升

级改造, 陡坡桥梁在公路工程建设中愈发多见。理论方面, 前人从受力机理、极限承载力计算、变形分析等角度对此类桥梁的桩基开展了大量的研究工

收稿日期: 2024-06-28 改回日期: 2024-09-05

基金项目: 四川省交通运输科技项目(2024-ZL-02)

第一作者简介: 徐鸿彪(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事公路交通方面的地质灾害评价与防治工作。E-mail: xuhongbiao3000@foxmail.com

引文格式: 徐鸿彪, 向波, 李颖, 等. 泡沫轻质土在陡坡桥梁桩基施工平台中的应用研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2025, 36(1): 74-80.

XU Hongbiao, XIANG Bo, LI Ying. Application research on foam lightweight soil in construction platform of pile foundations for steep slope bridges[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2025, 36(1): 74-80.

作,完善了陡坡桥梁基础的设计理论^[1-3];实践方面,夏演^[4]、王超^[5]分别以河惠莞高速、秦巴山区公路为例,介绍了陡斜坡桥梁桩基施工方式,二者均采用半填半挖作业平台、人工挖孔桩施工工艺;华勇等^[6]以湖北恩来高速忠建河大桥陡坡桩基施工为例,将传统水上桥梁基础施工钢平台法运用于陡坡桥梁高桩承台基础悬空区域的施工;刘杰^[7]以岭塘大桥为例对山区陡坡桥梁桩基标准化施工进行了总结,指出施工平台与便道修筑是陡坡桥梁施工的关键工序,建议便道与施工平台相连,以形成较大的平台空间,其便道与平台均采用半填半挖形成;王林峰等^[8]以北盘江贞望大桥临江主墩桩基施工为例,分析4种成桩方式对临水斜坡填土筑岛的稳定性影响;而杨加奇等^[9]以元江至蔓耗高速为例,介绍了采用支架栈桥形成作业平台、人工水磨钻法进行成孔的方式,解决了悬崖地形施工桩基平台的难题。综上,现状陡坡桥梁的基础施工平台主要采用土石填筑、半挖半填及钢平台三种,前两者主要由土石方作业形成,占地多、对天然地面破坏较大、易造成斜坡失稳,仅适用于地形横坡较小、地质条件较好的斜坡;而钢管桩平台存在顶部纵横坡较小、平台需设桩基、造价高等特点,多用于工程量较为集中的大型特殊桥梁施工。因此,有必要研究一种占地面积小、稳定性高、造价低的可供成孔机械使用的施工平台,以解决当前愈发多见的中陡坡桥梁桩基施工难题。

泡沫轻质土作为一种轻质材料,已被纳入现行路基设计规范体系^[10,11]。由于其质量轻,具有良好的流动性、自立性、保温性、可泵性等特性^[12],在公路路基永久工程领域中得到了广泛的应用;其自立性强的特点可大幅减少轻质土实体占地,质量轻的特点可大幅降低其实体下滑的可能性及对地基承载力的要求,良好的流动性、可泵性则可使其实体适应多变的地形和施工条件。已有的轻质土公路工程实例多出现于软土路基填筑、公路加宽填筑、三背回填、滑坡路基、地下空洞填充、冻胀翻浆处理等场景^[13,14],但对于其在陡斜坡施工平台中的应用则未见先例。若将其作为施工平台主材,与传统土石填筑、半挖半填平台相比,轻质土平台可解决大型土石作业带来的施工时间长、占地面积大、坡面扰动大、平台稳定性差、事后难修复、对生态破坏大等问题,亦可解决传统钢平台仅无法顺地形随弯就弯、顶纵坡无法过大、基础要求高、维护管养困难、施工期长等问题,具有较好的工程运用价值。

本文以某高速公路陡斜坡桥梁桩基施工平台设计为例,引入泡沫轻质土施工平台,解决了条件受限

情况下的桩基施工问题,可以为类似陡斜坡地区桩基施工平台、施工便道设计提供参考。

1 工程概况

某在建高速沿废弃河道设置互通式立交,其主线及D线顺河设桥通过,其中主线桥布置于原河床中,D匝道桥布置于左岸冲洪积台地边缘陡斜坡上,坡度 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,坡高 $33\sim 42\text{ m}$ 。据钻探揭露,台地由第四系上更新统冲洪积卵、砾石土组成,土体呈中密状,厚 $44\sim 74\text{ m}$;河床范围内出露 $15\sim 26\text{ m}$ 中密状漂石土。下伏志留系石门坎组粉砂质泥岩,岩体强风化层厚度约 $4\sim 6\text{ m}$ (图1)。

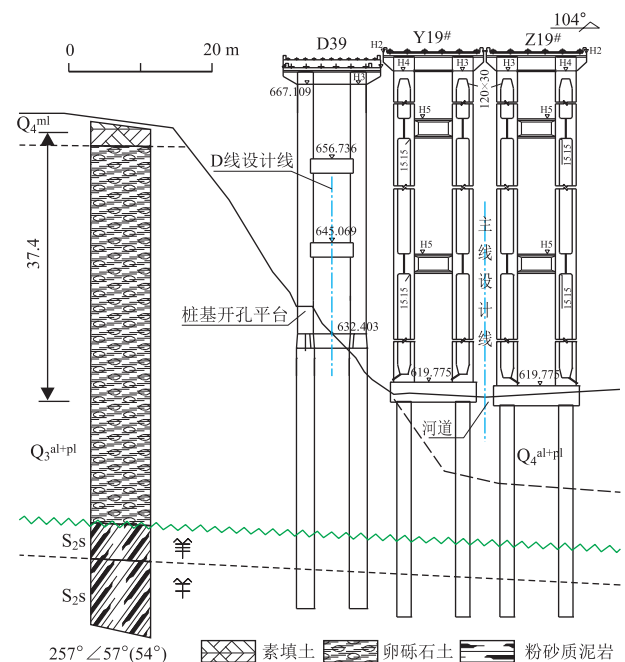
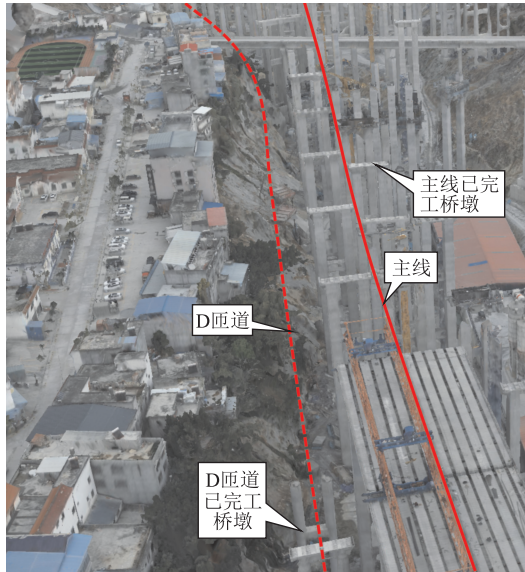


图1 桥区典型断面图

该路段主线与D匝道中心线平面距离 $19\sim 21\text{ m}$,均设 40 m 跨径简支T梁桥,桥高 $20\sim 45\text{ m}$ 。由于D匝道桥位地面线高于主线所在的河道约 $10\sim 18\text{ m}$,且陡斜坡上方平台边缘为民房聚集区,不具备挖方设置施工平台的条件(图2),设计阶段建议采用土石沿斜坡填筑形成临时纵向便道,完成D匝道桥桩基施工后再行施工主线桥(图3)。

由于征地拆迁协调困难,施工单位进场后先行施做远离民房的主线桥。在完成主线桥桩、墩施工后,互通区征地拆迁问题才得到解决,此时主线桥下部结构已完成施工,可供D匝道桥施工的空间狭窄,施工平台的设置及钻孔方式的选择均受限(见图2)。施工单位于桩位处浇筑小型施工平台,并改用人工挖孔工艺进行D匝道桥桩基施工;人工开挖桩基至河道标高附近时,孔内开始大量渗入地下水,孔



(镜头向下游, 主线桥墩已完工)

图2 现场地形地貌

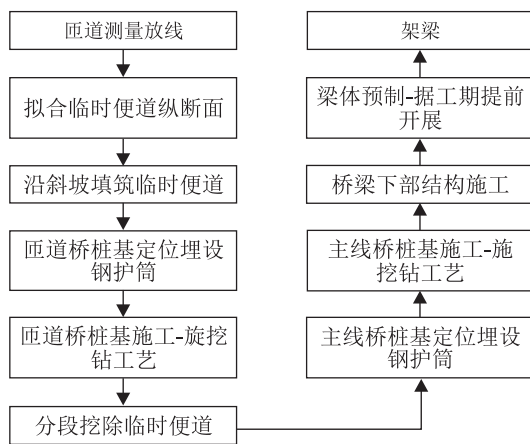


图3 设计阶段建议施工工序

壁无法成型,人工作业安全无法得到保障,必须改用机械成孔,亟需开展施工平台方案研究。

2 施工平台方案研究

2.1 方案受控要素

(1) 施工平台需避让主线桥墩

D匝道桥紧临主线桥,为便于桥下空间的开发使用,设计阶段将三幅桥的孔跨尽可能布成一条线,主线桥与D匝道桥墩柱最小间距仅3.2 m,D匝道墩位处地面线与河床高差为10~18 m。由于主线桥墩已完成施工,D匝道桥施工平台的修建需考虑不得对主线已施工桥梁构成影响。

(2) 施工平台需降低对民房的影响

D匝道桥所在陡斜坡上方平台为居民聚集区,临边修建有大量多层民宅。施工平台的方案不应对面构成过多的扰动。

(3) 施工平台需考虑其稳定性

拟重新修建的D匝道施工平台面临上下边坡重要结构物密布、场地狭窄且坡度较陡的问题,一旦平台失稳,坡顶民房及坡脚已建桥墩安全性将无法得到保证。因此,方案选择时应确保施工平台的稳定性。

(4) 施工平台需考虑拆除期间的安全性

施工平台整体位于陡斜坡上,D匝道墩位处中心地面线与河床高差达10~18 m,加之坡体由非稳定基岩组成,上方有当地居民长期排放生活污水,为保证运营期桥梁整体安全,施工平台应在桥梁下部结构完工后及时拆除,并确保拆除期间不产生局部失稳而影响主线桥墩及作业人员的安全。

2.2 传统方案可行性论证

针对现状陡斜坡桥梁施工平台所采用的3类施工平台搭建方案,结合工程所在地条件开展了方案可行性研究,判定方案可行性主要由前述受控要素开展,如表1所示。

表1 传统平台搭建方案在本工程上的可行性

受控要素 情况	方案类型				
	土石填筑方案		半填半挖方案		钢管桩
	放坡	坡脚设挡	放坡	坡脚设挡	平台方案
对主线桥墩影响	大	中	大	中	小
对民房的影响	小	小	大	大	小
平台稳定性	中	高	中	高	高
拆除期间安全性	低	低	低	低	中

从可行性对比情况来看,钢管桩平台方案是传统施工平台方案中最适宜本工程的。但由于桥位处斜坡上部卵、砾石土经多年雨水冲刷、植物根系生长及人类活动影响,密实程度稍差,综合考虑基础襟边因素,平台需采用桩基础或深埋扩大基础,以下对两种基础方案可行性进行分析。

(1) 桩基础方案。本工程调整施工平台及成孔方案的原因为场地地形、地质条件及两侧重要结构物限制了平台搭建及机械成孔,而水文条件又决定深孔桩基不适于采用人工挖孔桩。钢平台采用桁架体系,柱距较小,桩基数量多,虽可减小桩基直径,但所面临的陡斜坡桩基根数更多,施工难题更为突出。因此钢平台采用桩基础方案不可行。

(2) 深埋扩大基础方案。深埋扩大基础需于陡斜坡上开挖深基坑,虽单个基础开挖面小,但由于钢平台柱间距小、基础多,会形成沿斜坡连片基坑开挖,叠加后极易造成斜坡顶部的民房受损。因此钢平台采用扩大基础方案不可行。

综上,传统的3种施工平台搭建方案均不适用于本工程。

2.3 泡沫轻质土施工平台方案可行性论证

泡沫轻质土作为一种新型轻质填筑材料,在我国市政、公路建设中得到了较广泛的推广运用,已纳入现行规范^[10,11]。以往的公路工程实践主要将其用于主体工程中,鲜见于便道、施工平台。结合泡沫轻质土特性及场区受控要素情况,本工程采用泡沫轻质土浇筑施工平台的可行性分析如下。

(1) 轻质性:轻质土的重度为 5~16 kN/m³,若按平均重度 10 kN/m³ 估算,约为土石材料重度的 48%、混凝土材料重度的 43%。这一特性可降低对地基的承载力要求、减少沿斜坡下滑的推力,对施工平台及天然斜坡的稳定性有利;可降低拆除时轻质土块体滚落时的冲击力,保证拆除期间下方已建桥墩的安全性。

(2) 强度可调节性:轻质土的强度可在 0.3~1.5 MPa 范围进行人为控制,对施工机械作业荷载具有较强适应性;强度较混凝土低,拆除方便。

(3) 高流动性:轻质土中不配置粗骨料、内含大

量气泡,可通过管道实现长距离、高扬程泵送,无需振捣和碾压作业,适用于本工程前期无法上施工机械的条件,对斜坡顶民房无影响。

(4) 自立性:轻质土采用水泥作为固化剂,固化后具有良好的自立性,可直立放坡,避免对已建桥墩造成影响,保证桩基孔口侧壁不发生坍塌。

此外,泡沫轻质土中的气泡体积占有率可达 40%~70%,可吸收桩基成孔时振动波,降低施工对坡顶上方民房的影响。综合这些特点,泡沫轻质土施工平台方案在本工程具有较好的可行性。

3 泡沫轻质土施工平台设计

3.1 平台几何设计

(1) 平台平面设计

D 匝道桥桩基分布于匝道设计线两侧,施工平台平面需兼顾左、右侧桩基,同时便于成孔机械的纵向移位。考虑将平台的中心设计线与 D 线设计线大致重合,沿陡斜坡中部展布(图 4)。

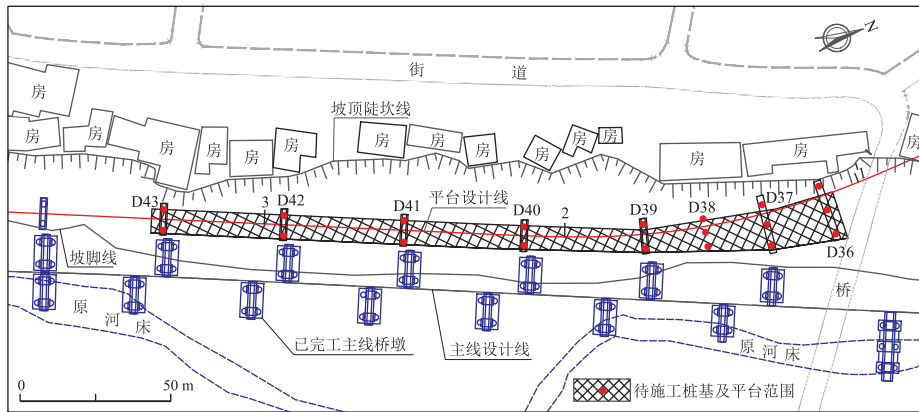


图 4 平台平面布置图

(2) 平台纵面设计

D 匝道桥位于陡斜坡上的桩基共计 8 跨 16 处桩基,墩位纵向间距为 20 m、40 m。由于桩基基本位于陡斜坡上,若每处墩位均设置独立的一个平台、相邻墩位平台不连通,则施工组织难度较大、便道成本较高。鉴于此,考虑沿纵向将所有墩位处的桩基

施工平台连成一个整体;为便于施工车辆、设备纵向正常通行,平台最大纵坡按 12% 进行控制。为减少坡面开挖、尽可能利用已开孔桩基,平台纵面以高处已开孔桩基人工平台标高为准进行拟合,结果如图 5 所示。

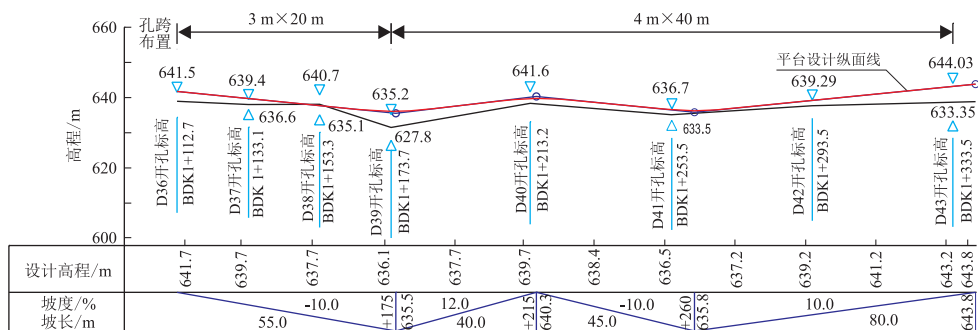


图 5 平台拟合纵面线

(3) 平台断面设计

为确保外侧桩基成孔期间不致因机械振动致轻质土边缘破损,轻质土断面外缘距桩基边缘不小于0.5 m,按此控制轻质土平台平均宽度为8.5 m;为提高平台稳定性,考虑于平台底部斜坡开挖横向台阶,于外侧壁上设置斜向锚杆。典型断面情况如下图6所示。

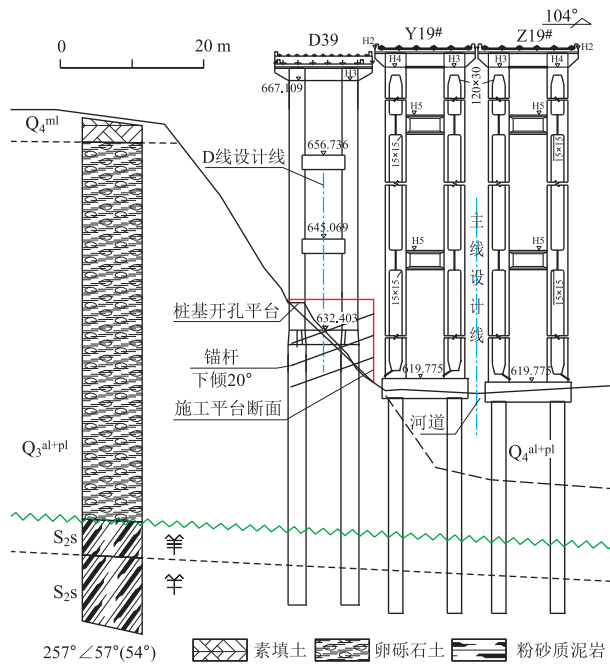


图6 平台设计断面图

3.2 平台稳定性计算

(1) 计算模型、假定及参数

根据平台断面设计线,拟定轻质土边坡稳定性计算模型如图7所示,其中 F 为锚固力,与水平线夹角为 20° ;当斜坡坡度较小时,可不设锚杆。

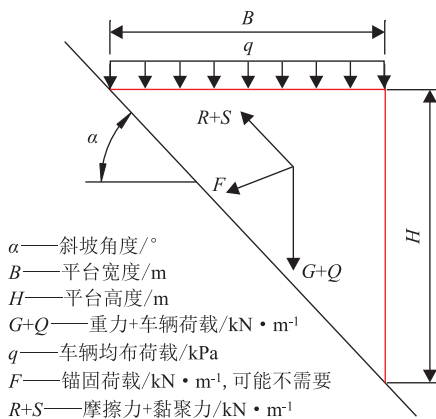


图7 平台稳定性计算简图

基于现场斜坡稳定、轻质土抗剪强度较高,作如下假定:

假定1:斜坡土体对轻质土平台无土压力。

由于天然斜坡稳定,坡角 φ 即为暴雨工况下土体的自然休止角,坡表的土体不受土压力作用;平台浇筑时浆液少量下渗至土体中产生胶结,对稳定性起提高作用,因此本条假定是合理的。

假定2:在外荷载作用下轻质土平台不产生剪切破坏。

根据公路路基设计规范^[11],地下水位以上轻质土强度参数建议为 $c=120\text{ kPa}$, $\varphi=6^\circ$;地下水位以下 $c=100\text{ kPa}$, $\varphi=4^\circ$ 。按等效内摩擦角计算公式 $\varphi d = \arctan(\tan \varphi + c/\gamma H)$,取天然及饱和轻质土重度 γ 为 10 kN/m^3 、 12 kN/m^3 ,可得不同深度处轻质土等效内摩擦角曲线图(图8)。可见当填高为2 m时,基底等效内摩擦角为 $77^\circ\sim 81^\circ$,当填高为15 m时,基底等效内摩擦角为 $32^\circ\sim 42^\circ$;而轻质土与碎石土、砂类土或基岩接触面的摩擦系数建议值分别为0.6(干)、0.5(湿),对应的摩擦角仅为 31° 、 27° ,远低于轻质土的等效内摩擦角。因此可认为在接触面发生滑动前,轻质土平台内部不会产生滑动面,本条假定合理。

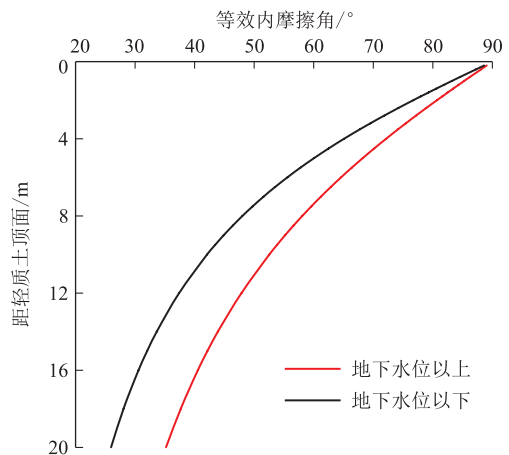


图8 不同深度处轻质土等效内摩擦角曲线图

根据设计规范^[11]及相关文献^[14-15],稳定性计算参数按下进行取值:

天然工况:轻质土重度 $\gamma=10.0\text{ kN/m}^3$,与基底土体摩擦系数 $u=0.6$,黏聚力 $c=15\text{ kPa}$ 。

饱和工况:轻质土重度 $\gamma=12.0\text{ kN/m}^3$,与基底土体摩擦系数 $u=0.5$,黏聚力取 $c=12\text{ kPa}$ 。

车辆荷载:最大施工车辆荷载取 $q=10\text{ kN/m}^2$ 。

取每根锚杆直径为32 mm的HRB400钢筋,锚孔直径为110 mm,锚杆锚固段长度平均长度为4 m,锚杆间距按 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 矩形布设。根据公路路基设计规范,地层与注浆体间黏结强度设计值取240 kPa,锚杆与砂浆间黏结强度设计值取2.4 MPa,临

时锚杆设计安全系数 K_1 取 1.6, K_2 取 1.8。经计算,单根锚杆的设计锚固力 Pd 为 201 kN。

(2) 稳定性公式推导

根据假定 1,施工平台仅承受竖向荷载作用,无绕平台前后缘顶部产生倾覆的可能。由于本工程天然边坡坡度为 $50^\circ \sim 60^\circ$,大于接触面摩擦角 $27^\circ \sim 31^\circ$,因此施工平台不会沿内部土体产生滑动,仅可能沿接触面产生滑动,只需计算沿浇筑底界滑动安全系数。

竖向荷载:

$$G+Q=BH\gamma/2+qB=\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B$$

竖向荷载切向分力:

$$(G+Q)\sin\alpha=(\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B)\sin\alpha$$

竖向荷载法向分力:

$$(G+Q)\cos\alpha=(\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B)\cos\alpha$$

锚固力切向分力: $F\cos(\alpha+20)$

锚固力法向分力: $F\sin(\alpha+20)$

斜坡黏聚力: $S=cB/\cos\alpha$

故:

下滑力:

$$(G+Q)\sin\alpha-F\cos(\alpha+20)=(\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B)\sin\alpha-F\cos(\alpha+20) \quad (1)$$

抗滑力:

$$\begin{aligned} R+S &= u[(G+Q)\cos\alpha+F\sin(\alpha+20)]+S \\ &= u[(\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B)\cos\alpha+ \\ &\quad F\sin(\alpha+20)]+cB/\cos\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

抗滑稳定性系数:

$$K_s=(R+S)/[(G+Q)\sin\alpha-F\cos(\alpha+20)] \quad (3)$$

单个断面最多布设的锚杆根数: $N=1+\text{INT}[(H-0.5)/3]=1+\text{INT}[(B-0.5)\tan\alpha/3]$, INT 为取整函数。

则 $F=Npd/3=67+67\times\text{INT}[(B-0.5)\tan\alpha/3]$ (4)

将前述 1~4 式联立可得安全系数的安全计算公式为:

$$K_s=\{u[(\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B)\cos\alpha+[67+67\times\text{INT}((B-0.5)\tan\alpha/3)]\sin(\alpha+20)]+cB/\cos\alpha\} / \{(\gamma B^2 \tan\alpha/2+10B)\sin\alpha-[67+67\times\text{INT}((B-0.5)\tan\alpha/3)]\cos(\alpha+20)\} \quad (5)$$

(3) 稳定性计算

根据 5 式及前述参数,经计算,天然及暴雨工况下的轻质土平台稳定性系数与斜坡坡度的、锚杆根数的关系如图 9 所示。

由图 9 可见,天然和饱水工况下,轻质土平台的稳定性系数相差了 0.3~0.6;天然工况下可在坡度

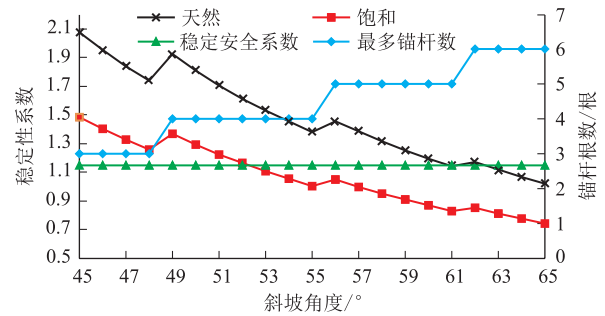


图 9 不同坡度、锚杆根数下斜坡轻质土平台的稳定性系数

为 61° 的斜坡上,通过设置 5 根预设锚杆,保证顶宽 8.5 m 的轻质土施工平台满足使用时的最低稳定安全系数 1.15;完全饱和工况下则只能在 52° 的斜坡上,通过设置 4 根预设锚杆,保证顶宽 8.5 m 的轻质土施工平台满足施工使用。由于陡斜坡上出现轻质土完全饱和的可能性极低,当采用天然工况重度、浇筑面摩擦系数及黏聚力采用饱和工况参数(即仅考虑接触面富水),坡度值可达到 56° ,满足现场施工需求。

3.3 泡沫轻质土强度设计

轻质土路堤堤身材料强度需同时满足上部车辆荷载的压力及保持填筑体自立稳定性的抗压强度。根据规范相关条款^[10],开展强度计算如下:

(1) 按填筑体抗压强度计算

根据规范^[11],按三、四级公路路床取施工平台 CBR 值为 0.94,则堤身强度需满足:

$$q_{u1} = F_s(100 \times \text{CBR})/3.5 = 3 \times (100 \times 0.94)/3.5 = 80.6 \text{ kPa} \quad (6)$$

(2) 按填筑体自立稳定的抗压强度

$$q_{u2} = F_s(0.5\gamma H + q) = 3 \times [0.5 \times 10 \times 8.5 \times \tan(60^\circ) + 10] = 251 \text{ kPa} \quad (7)$$

取 q_{u1} 与 q_{u2} 的大值 0.3 MPa 作为泡沫轻质土材料的最低强度要求;综合考虑施工机械固定立柱下垫块压强,取 0.8 MPa 作为轻质土的设计强度。

3.4 配合比设计

根据规范相关条款^[10]及前述最小泡沫轻质土强度,开展配合比设计。

(1) 目标参数

由于泡沫轻质土消泡将造成容重增加,为保证现场实际容重不超过前述稳定性计算所采用的重度,取湿容重 6 kN/m^3 ;流动性按规范取 160~200 mm;试配抗压强度取设计强度的 1.05 倍,即 0.84 MPa。

(2) 配合比设计

结合当地材料的可及性,采用 P. O 42.5 普通

硅酸盐水泥作为胶凝材料,不加外掺剂及细骨料,水胶比取 0.53,发泡剂采用广州翔路市政工程有限公司稀释倍率为 80、发泡倍率为 20 的产品,据此开展配合比设计如表 2 所示。

表 2 泡沫轻质土配合比设计

编号	水泥 /kg·m ⁻³	水 /kg·m ⁻³	气泡群 /kg·m ⁻³	气泡群 /l·m ⁻³
1	360	190	34.6	693
2	370	196	34.2	683
3	380	202	33.7	674

(3) 配合比实验结果

经室内试配,按 2 号设计配合比试配所得物理参数情况如表 3 所示。测试结果满足设计及规范相关要求,可以用作现场施工指导。

表 3 推荐配合比测试结果

指标	测试结果	指标	测试结果
实测气泡群密度/kg·m ⁻³	51	准干密度/kg·m ⁻³	566.5
实测流动度(流值)/mm	168	表干容重/kN·m ⁻³	5.7
实测湿密度/kg·m ⁻³	604.9	试块 1/MPa	1.12
沉降距/mm	3.6	强度 试块 2/MPa	1.12
消泡 泌水量/ml	22	试验 试块 3/MPa	1.15
湿密度/kg·m ⁻³	637.0	平均值	1.13

4 结论

以某高速公路中陡斜坡桥梁桩基施工平台设计为例,通过方案定性对比分析、稳定性及强度定量计算,得出以下结论:

(1) 在场地环境极其受限情况下,通过常规锚杆加固,可实现在 50°~60°陡斜坡上修筑平均宽度达 8.5 m 的外侧直立泡沫轻质土施工平台。配合旋挖钻等钻探工艺,可将桥梁桩基施工对外界环境的影响降至最低。

(2) 陡斜坡泡沫轻质土施工平台设计主要考虑平台沿填筑界面产生滑移的可能性,该平台稳定性主要受控于斜坡坡度、水及锚杆根数。一般情况下,斜坡坡度越大,稳定性越差;地表水、地下水丰富时,稳定性系数较不受水时下降 0.3~0.6。轻质土施工平台施工时应重点注意截排水措施的有效性。

(3) 陡斜坡泡沫轻质土施工平台设计还需考虑

堤身强度问题。施工平台中轻质土强度等级主要受轻质土填高及顶部施工荷载的影响,建议按最大不超过 15 m 进行控制。

(4) 与传统施工平台相比,泡沫轻质土施工平台具有质量轻、自立性高、可泵送性强、施工期短、适应地形能力强、易拆除、造价相对最优等特点,可实现坡面零开挖,对坡体扰动少、生态破坏小,适用于不涉水的中陡斜坡常规一般桥梁桩基及墩柱施工。

参考文献

- [1] 杨明辉. 岩质陡坡桥梁桩基承载机理及其分析方法研究[D]. 长沙:湖南大学,2006.
- [2] 栾娟,郝宪武,赵宝俊. 黄土沟壑地形斜坡对桩基承载力的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版),2016,36(6):62-68.
- [3] 赵明华,彭文哲,赵衡. 陡坡段桥梁桩基研究现状及展望[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2022,49(7):1-14.
- [4] 夏演. 揭博高速跨线桥陡坡桥梁墩台施工工艺分析[J]. 工程建设与设计,2022,(12):162-164.
- [5] 王超,冯忠居,任高科. 秦巴山区陡坡桥梁桩基施工技术[J]. 公路交通科技:应用技术版,2012,8(5):122-125.
- [6] 华勇,吴明威,郑建新. 山区大陡坡桥梁高桩承台基础施工[J]. 中国港湾建设,2016,36(5):69-72.
- [7] 刘杰. 山区陡坡桥梁桩基施工标准化技术分析——以岭塘大桥为例[J]. 工程技术研究,2022,111(7):53-55.
- [8] 王林峰,何静,傅奕帆,等. 峡谷地区裸岩陡坡桥梁桩基筑岛施工技术研究[J]. 人民长江,2021,52(11):141-145.
- [9] 杨加奇,刘方敏,文二如. 悬崖陡坡上水磨钻成孔桩基施工工艺[C]//2021年全国土木工程施工技术交流会论文集(中册),2021:694-697.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 气泡混合轻质土填筑工程技术规程(CJJ/T 177-2012)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [11] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基设计规范(JTG D 30-2015)[S]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [12] 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.
- [13] 肖礼经. 泡沫水泥轻质土在公路建设中的应用与研究[D]. 长沙:湖南大学,2003.
- [14] 杨鹏. 泡沫轻质土的力学性能及其在道路工程中的应用研究[D]. 天津:天津大学,2021.
- [15] 陈金威,刘勇,石苏意,等. 不同掺料泡沫轻质土的强度特性[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版),2016,13(4):15-22.