

双排桩扶壁式挡土墙在陡坡路堤边坡中的应用

董林兵, 阳吉宝, 刘福东

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 对于高陡、周边环境复杂的路堤边坡, 常规的桩基托梁重力式挡土墙已经难以满足工程需要。为了改进该支护结构的不足, 提出了一种新型的支护结构——双排桩扶壁式挡土墙, 并结合其在深圳市某山区道路高填方边坡工程中的应用, 重点介绍了计算、设计和施工等问题。从实际应用效果来看, 双排桩扶壁式挡土墙极大地节省了边坡用地, 变形控制效果较好, 可为类似受周边环境限制、填方高度较大的路堤边坡工程提供参考。

关键词: 桩基托梁重力式挡土墙; 双排桩扶壁式挡土墙; 周边环境限制; 高填方; 路堤边坡

中图分类号: U417.1+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0091-04

Application of Double-row Pile Counterfort Retaining Wall in Steep Embankment Slope

DONG Linbing, YANG Jibao, LIU Fudong

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: For the high and steep embankment slope with complex surrounding environment, the conventional gravity retaining wall on supported beams of pile foundation has been difficult to meet the engineering needs. In order to improve the shortcomings of the support structure, a new type of support structure - double-row pile counterfort retaining wall is proposed. Based on its application in high-filled steep embankment slope project of a mountainous road in Shenzhen, the calculation, design and construction are specially introduced. From the practical application effect, the double-row pile counterfort retaining wall can greatly save the slope land, and the deformation control effect is better, which can provide reference for similar high-filled embankment slope projects restricted by the surrounding environment.

Keywords: gravity retaining wall on supported beams of pile foundation; double-row pile counterfort retaining wall; restricted by surrounding environment; high-filled; embankment slope

0 引言

在高填方路堤边坡中, 由于用地条件的限制, 通常导致常规分级放坡不可行, 而以桩板式挡墙垂直支护取代。对于高填方路堤边坡, 对挡墙变形要求较高, 一般采用锚拉式桩板式挡墙。

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013), 高度较大的新填方边坡不宜采用锚杆挡墙方案^[1]。究其原因是新填土沉降压缩、固结变形会引起锚杆拉力增加, 导致锚杆失效。陈玉新等^[2]详细分析了某预应力锚索桩板墙支护高填方边坡工程的失稳原因, 明确指出预应力锚索失效是高填方边坡

失稳的直接原因。

桩基托梁重力式挡土墙由重力式挡土墙、托梁和桩基等组成^[3], 近年来广泛应用于公路、铁路路堤边坡中。根据国内应用现状, 其通常用于解决挡土墙墙底地基承载力不足的问题, 填土高度一般不超过10 m。

随着我国基础设施建设的发展, 高陡、周边环境复杂的路堤边坡越来越多, 显然, 常规的桩基托梁重力式挡土墙已经难以满足目前的工程建设需要。

为了解决这一问题, 国内许多学者进行了研究。张云平^[4]指出, 位于陡坡路堤的桩基托梁挡土墙的桩基、挡土墙不仅承受着墙后土压力, 还承受着墙后填方整体滑动的推力。江涛^[5]通过在桩基托梁上设置预应力锚索, 来解决桩顶水平推力和墙顶水平位移过大的问题。李海平等^[6]在桩基托梁前设置斜向

收稿日期: 2024-08-29

作者简介: 董林兵(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事基坑围护、边坡加固与地基处理等项目设计和研究工作。

支撑梁和拉梁,依靠支撑梁和桩基来控制支护体系变形及整体稳定性。陈荣等^[7]将双排桩和扶壁式挡土墙2种支护结构结合起来,形成整体结构,较好地解决了高填方边坡变形大、放坡空间受限的问题。

本文依托深圳市某山区道路高填方边坡工程,对双排桩扶壁式挡土墙进行了实际应用,重点介绍其计算、设计和施工等问题,以期为后续类似陡坡路堤段高填方边坡工程的设计提供参考。

1 工程概况

深圳市某山区道路工程位于深圳市深汕特别合作区,工程南起红海大道,北至深汕大道,全长约10.6 km。道路右线 K5+520~ K5+600 段为高填方路基段,最大填土高度为15.4 m,现状地面坡度约1:1.7>1:2.5,为陡坡路堤;道路边线外30 m为用地红线,红线外为规划道路。该工程典型路基横断面见图1。

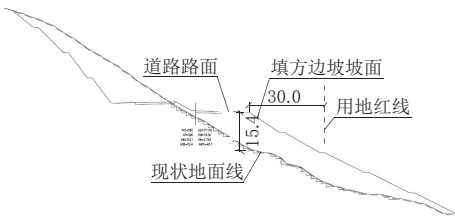


图1 本工程典型路基横断面图(单位:m)

针对该路堤边坡,有3种边坡支护方案可供比选。3种支护方案设计参数见表1,示意图见图2至图4,技术和经济指标对比表见表2。

表1 3种支护方案设计参数表

支护方案		设计参数
方案一	5级放坡+坡脚矮挡墙	分级高度8 m,自上而下坡率分别为1:1.5、1:1.75、1:2、1:1.2、1:1.25,矮挡墙高度4 m
方案二	泡沫轻质土填筑+预应力锚索	填筑最大高度15.4 m,外挂预制面板
方案三	双排桩扶壁式挡土墙	旋挖灌注桩直径1.5 m,扶壁式挡墙高度8.5 m

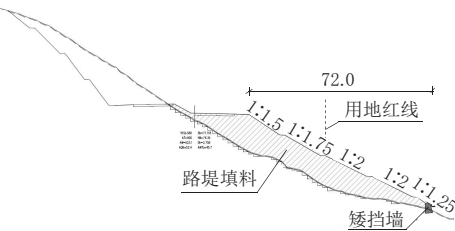


图2 边坡支护方案一示意图(单位:m)

由表2可见:方案一(5级放坡+坡脚矮挡墙)占地面积大,填方量大,侵占规划道路,同时所处地段为陡坡路堤段,填土高度达37 m,边坡安全性较小;

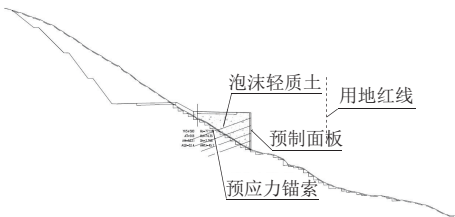


图3 边坡支护方案二示意图

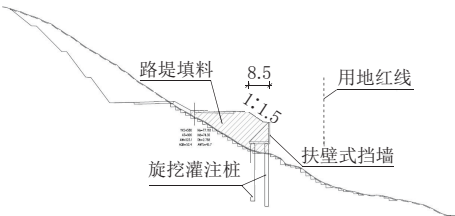


图4 边坡支护方案三示意图(单位:m)

表2 3种支护方案技术、经济指标对比表

支护方案	超出道路边线宽度/m	边坡高度/m	每延米填方量/m³	安全性	造价/万元
方案一	72(超用地红线,侵占规划道路)	37.0	846	较小	282
方案二	不超出	15.4	188(泡沫轻质土)	较大	735
方案三	8.5	16.6	295	较大	580

方案二(泡沫轻质土填筑)填土高度较大,工程造价较高;方案三(双排桩扶壁式挡土墙)占地面积较小,工程造价适中。综上所述,该段路堤边坡推荐采用双排桩扶壁式挡土墙支护方案。

2 计算模型

双排桩扶壁式挡土墙采用扶壁式挡墙与双排桩相结合的形式,结构整体受力较为复杂。为简化计算,将上部的扶壁式挡墙和下部的双排桩分别进行计算。

2.1 扶壁式挡墙计算

由于扶壁式挡土墙墙底没有凸樨和托梁,与下部桩基刚性连接,因此不验算其抗倾覆和抗滑移稳定性。

对扶壁式挡墙,可根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)第12.2.6条规定,按简化模型进行内力计算^[1]。

2.2 挡土墙向下传递的荷载

挡土墙向下传递的荷载包括竖向力 N_k 和水平力 F_k ,以及所有力移到墙底中心处的弯矩 M_k ,如图5所示。

由力平衡和力矩平衡联立二元一次方程组:

$$\frac{P_{k\max} + P_{k\min}}{2} B = N_k \tag{1}$$

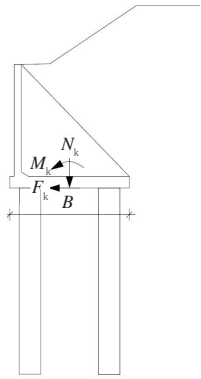


图5 挡土墙向下传递的荷载

$$\left[\frac{2P_{k\max} + P_{k\min}}{3(P_{k\max} + P_{k\min})} B - \frac{B}{2} \right] N_k = M_k \quad (2)$$

式中: $P_{k\max}$ 、 $P_{k\min}$ 分别为挡土墙墙底竖向分布力最大值、最小值; B 为挡土墙墙底宽度; N_k 为挡土墙墙底受到的竖向力; M_k 为挡土墙墙底中心处受到的弯矩。

求解方程组得到 $P_{k\max}$ 和 $P_{k\min}$,将挡土墙向下传递的竖向力和弯矩转化为竖向分布力,如图6所示。

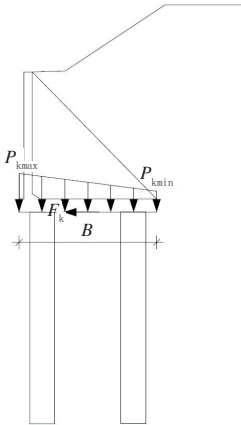


图6 传递荷载转化为分布力

2.3 双排桩计算

双排桩可采用前、后排桩相互作用的结构模型,如图7所示。

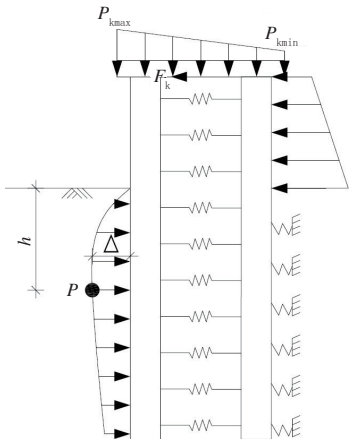


图7 双排桩相互作用模型

作用在后排桩上的作用力有主动土压力、滑坡推力。前排桩嵌固段上的土反力可按下列公式计算:

$$P = k\Delta \quad (3)$$

$$k = ah^n \quad (4)$$

式中: P 为滑坡面以下土的弹性土反力,kPa; k 为弹性土抗力系数; Δ 为滑坡面以下桩的位移,m; a 、 n 为计算系数; h 为滑坡面以下任意点到滑坡面的竖向距离,m。

前、后排桩间土对桩侧的压力,可根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)第4.12.2条规定,按公式4.12.2进行计算^[8]。

3 设计方案

根据地勘报告,该段边坡自然地面以下分布的地层从上而下为①素填土、⑤₁全风化花岗岩、⑤₂强风化花岗岩、⑤₃中风化花岗岩。岩土层物理力学参数见表3。

表3 岩土层物理力学参数表

地层名称	天然重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 C / kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	地基承载力特 征值 f_{ak} /kPa
①素填土	18.5	10	12	80
⑤ ₁ 全风化 花岗岩	18.9	25	20	300
⑤ ₂ 强风化 花岗岩	20	50	25	500
⑤ ₃ 中风化 花岗岩	22	500	35	1 500

根据地勘报告提供的参数,采用理正岩土对双排桩扶壁式挡土墙进行结构计算;采用理正深基坑对整体结构进行稳定性分析。

经计算,扶壁式挡土墙向下传递的竖向分布力最大为242.9 kPa,最小为171.9 kPa,水平力为374.1 kN。前排桩最大弯矩3 997.5 $\text{kN} \cdot \text{m}$,最大剪力1 356.5 kN;后排桩最大弯矩3 283.3 $\text{kN} \cdot \text{m}$,最大剪力930.1 kN;桩顶最大水平位移为19.3 mm,整体稳定性系数6.625;抗倾覆稳定性系数1.367,均满足设计要求。

边坡支护具体设计方案如下:扶壁式挡墙高度8.5 m,挡墙顶部为1级坡,坡率1:1.5,坡高4 m,中间留设2 m平台;双排桩悬臂最大高度4 m,2排 $\phi 1.5$ m的抗滑桩,水平距离3.0 m,前后排距5.5 m,前、后排桩桩长分别为25、18 m,且桩端进入中风化岩层3~5 m。边坡支护剖面图见图8。

4 施工技术要求

总体施工顺序:旋挖成孔灌注桩施工→桩间挡

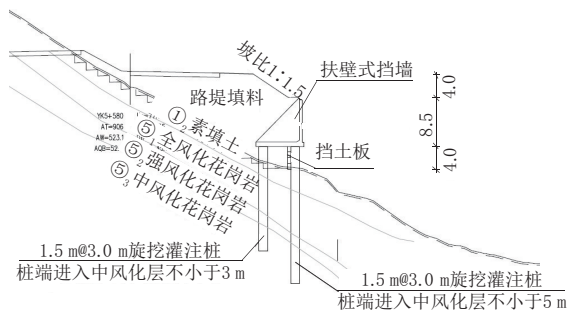


图8 边坡支护剖面图(单位:m)

土板和反滤层施工→桩顶以下桩后填料回填压实→扶壁式挡墙施工→墙底以上填料回填压实→路基、路面施工。

4.1 旋挖成孔灌注桩施工

旋挖成孔灌注桩实际桩长按桩端全断面进入中风化岩层不小于5 m(前排桩)/3 m(后排桩)控制。施工时应加强地质复核,确保桩端全断面嵌岩深度满足设计要求。

为减小前排桩的沉降,施工时应严格控制桩底沉渣厚度,桩底沉渣厚度不大于50 mm。旋挖成孔灌注桩施工后的现场照片见图9。



图9 旋挖成孔灌注桩施工后的现场照片

4.2 灌注桩与挡墙连接施工

为了保证前、后排桩与扶壁式挡墙底板形成整体刚架结构,须通过增加挡墙底板的厚度来保证双排桩之间的连接刚度。因此,挡墙底板厚度设为800 mm。同时,为了使桩顶与挡墙底板之间形成刚性连接,需处理好其连接构造:(1)桩顶进入挡墙底板100 mm;(2)桩顶纵筋须锚入挡墙底板内,其锚入长度不小于35倍纵筋直径。

扶壁式挡墙施工后现场照片见图10。

4.3 墙后填料回填施工

挡墙墙体混凝土强度达到设计强度的75%以上时,方可进行墙后填料回填施工。

该段现状地面坡度较陡,填料回填前应对原地面进行粗糙处理,先清除表面草皮和耕植土,再开挖台阶,台阶宽度不小于2 m。填料应分层铺筑,均匀



图10 扶壁式挡墙施工后现场照片

压实,压实度不小于0.94。

墙后填料回填后现场照片见图11。



图11 墙后填料回填后现场照片

5 实施效果

根据监测资料,从墙后填料回填到路基、路面施工完成,挡墙顶部最大水平位移为20~25 mm,挡墙顶部最大竖向位移为2~5 mm,挡墙及周边环境各项监测数据均在合理、可控范围以内。

该道路已于2023年11月底建成通车。根据现场实地查看,道路路面暂无较大沉降、开裂等现象发生,目前道路运行状况良好。

6 讨论

从该工程的实际应用效果来看,与常规多级放坡相比,双排桩扶壁式挡土墙极大地节省了边坡的占地面积,同时又显著地减小了路堤的填方量。与泡沫轻质土相比,双排桩扶壁式挡土墙既可以节省工程造价,又安全可靠。

对于受周边环境限制、填方高度较大的路堤边坡,采用常规支护方案无法满足设计要求时,可考虑采用双排桩扶壁式挡土墙。

7 结语

(1)双排桩扶壁式挡土墙的出现,为受周边环境限制、填方高度较大的路堤边坡支护方案提供了一

(下转第104页)