

肋柱式挡土墙的设计方案研究

郭巍

中铁二院工程集团有限责任公司

摘要:在地面横坡陡峻,坡面凹凸不平,边坡上部需要加宽和强加固,边坡下部基岩坚硬开挖困难,支挡结构只有少许放坡空间地段的问题是一个比较复杂的技术问题,作者结合一个工程实例,对这种地形地貌和地质条件下的边坡支护设计和施工作了一些探讨。某市某某路K7+148~+190段边坡支挡就是一个这样的工程。在该工程中,创立了肋柱式锚杆挡墙结构及施工方法,成功地解决了这类边坡的支挡设计和施工难题。该工程已经历了7个水年的考验,结果表明该创新型技术安全可靠、结构与环境和谐,美观大方,工程造价低、施工简便、工期较短、使用状况良好,经济和社会效果显著。

关键词:肋柱式锚杆挡墙;设计方案;研究

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.10.109

一、引言

在边坡加固工程中,经常会遇到地面横坡陡峻,坡面凹凸不平,边坡上部需要加宽和强加固,边坡下部基岩坚硬开挖困难,支挡结构只有少许放坡空间的情况,常规的作法是采用桩板墙、锚索桩板墙等结构进行支挡,但在这些结构施工时,需要经过桩孔开挖、钢筋笼吊装、灌注桩身混凝土,绑扎冠梁钢筋、浇注冠梁混凝土,挡土板植筋、钢筋绑扎、立模板、浇注挡土板混凝土,施工锚索等工艺,存在桩孔开挖困难、工序复杂、工期较长,造价较高等不足。

如何找到一种既安全、节省、又容易实施的支挡结构和施工方法,是摆在工程技术人员面前的一道难题。本文以某市某某路K7+148~+190段边坡支挡工程为背景,在地面横坡陡峻,坡面凹凸不平,边坡上部需要强加固,边坡下部基岩坚硬开挖困难,支挡结构只有少许放坡空间的边坡方面进行了设计和施工的技术创新探索,取得了非常好的效果。

二、工程概况

该工程位于某市某某路K7+148~+190段长42.0m,左侧路堑边坡安全等级为一级,永久性支护工程。

该段道路左侧路堑边坡顶上为通往叶家庄主干道,边坡右侧为某某路,且已挖至道路设计标高。由于该段边坡上部岩体破碎,溶槽、溶隙及节理裂隙发育,且溶槽、溶隙内充填黏土,开挖后坡面上部岩体局部出现垮塌,并已侵入叶家庄主干道近半幅路面,危及进出叶家庄的车辆及人员过往安全,故须对该段边坡进行边固处理,恢复通往叶家庄的全幅道路,详见图1 某市某某路K7+148~+190段边坡未处理前地形地貌情况。

由于该段边坡在前、后、左、右、上、下六面均受道路、桥梁及房屋的限制,即该段边坡前方是正在修建的某某路,后方有进出叶家庄的主干道,左侧是已建成完工的十层楼房屋,右侧是环城高速公路的高架桥,上、下均受道路路面标高控制,加之该段边坡岩体为灰



图1 某市某某路K7+148~+190段边坡未处理前地形地貌情况

岩——岩质坚硬。若施工期间放炮,则危及左右两侧的房屋和高架桥和叶家庄主干道的安全;若施工期间不放炮,则由于边坡灰岩岩溶和节理、裂隙不发育,坡面凹凸不平,影响进出叶家庄的主干道路只能半幅通行,而难以处理。

场地地处河谷岸坡地带,边坡前缘为南明河边;后缘至斜坡中部。地势总体北高南低,坡高11~15m,坡面向南,坡度角一般50~70°,最大达82°。根据钻探揭露和地表地质调查,场地上伏土层由耕植土(Q^{p1})、黏土(Q^{el+d1})夹碎块石组成;下伏基岩为奥陶系中上统(O₂₊₃)灰岩,基岩较坚硬、较完整,岩体基本质量等级为Ⅲ类,节理裂隙不发育,边坡区内地下水类型主要为碳酸岩岩溶水,水量受地形、岩性等因素的控制及南明河切割的影响,南明河为该区域的地下水排泄基准面;区内地下水总体上向南迳流,在地势低洼部位以泉的形式出露地表。地下水水质一般为低矿化HCO₃-C_a.M_g型水,中性,对砼无侵蚀性。

场区属亚热带湿润季风气候区,年平均气温14.6℃,最热为7月份,极端最高气温39.5℃;最冷为1月份,极端气温-9.5℃。无霜期260天以上,年平均降雨量为1154.26mm,降水多集中在4~10月,占全年降水

量的87.36%。夏季盛行偏南风，冬季盛行偏北风，春秋两季风向变换频繁，年平均风速小于2.0m/s。受山区地形、微地貌控制，区内地表水系较发育，大气降水多顺坡面迳流，向南往南明河内排泄。

设计采用的主要力学参数：

耕植土： $\gamma = 16.5\text{KN/m}^3$ ， $C_k = 15\text{KPa}$ ， $\Phi_k = 3.00$ ， $q_{sk} = 10.0\text{kPa}$ ；

硬塑黏土： $f_{ak} = 200\text{KPa}$ ， $\gamma = 18.2\text{KN/m}^3$ ， $C_k = 44.0\text{KPa}$ ， $\Phi_k = 8.00$ ， $q_{sk} = 30.0\text{kPa}$ ，

黏土夹碎石： $\gamma = 21.0\text{KN/m}^3$ ， $C_k = 35.0\text{KPa}$ ， $\Phi_k = 6.00$ ， $q_{sk} = 40.0\text{kPa}$ ；

中风化灰岩： $f_a = 2500\text{KPa}$ ， $\gamma = 25.6\text{KN/m}^3$ ， $f_{rk} = 46.0\text{MPa}$ ， $f_{rb} = 400.0\text{kPa}$ ；

车行荷载 $q = 30\text{kN/m}^2$ ；

边坡安全等级为一级；边坡稳定安全系数为1.35；边坡结构重要性系数为1.1。

三、受力模型与计算

肋柱式锚杆挡墙是由肋柱、挡土板、锚杆、冠梁、腰梁组成的支挡体系，如图4。根据肋柱式锚杆挡墙的组成特点，进行结构安全计算。

(一) 主动土压力计算

墙背主动土压力计算：

$$E'_h = \gamma_x E_h$$

E'_h ——岩土压力的水平分力修正值 (KN/m)

E_h ——主动岩土压力的水平分力 (KN/m)

γ_x ——岩土压力修正系数，应根据岩土类别和锚杆类型按相关规范确定。

对岩质边坡采用逆作法施工，按 $\sigma_h = E'_h / (0.9H)$

σ_h ——岩土压力水平分力 (KN/m²)

H——肋柱式锚杆挡墙高度 (m)

(二) 肋柱式锚杆挡墙结构

肋柱式锚杆挡墙结构主要体现在锚杆承受的锚固力和岩体侧压力方面，其受力分析与计算模型，见图3。

截取肋柱的任意支点A，F为肋柱的支点反力。如图

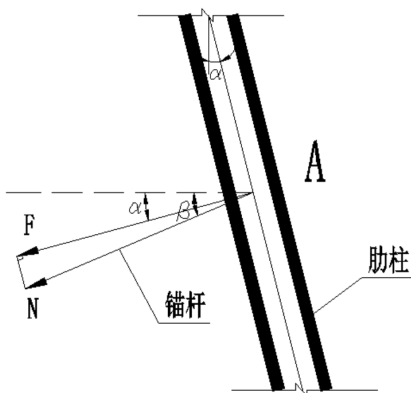


图2 锚杆拉力与支点反力的关系图

锚杆的轴向力为N，则：

$$N = F / (\cos(\beta - \alpha))$$

α ——肋柱的竖向角倾 (度)

β ——锚杆与水平面的夹角 (度)

N——锚杆轴拉力 (N)

F——A点锚杆支点反力 (N)

(其余计算公式略)

四、方案比选

(一) 方案一

超高衡重式挡土墙，挡土墙高度达到16.5m (含基础埋深)，墙身横截面宽度4.85m，墙身断面面积达到70.4m²，每延米工程造价为5.28万元，且使用和施工的安全性均较低。该方案存在造价高，石方开挖量大，不能爆破作业施工难度大、挡墙太高安全性低等问题。

(二) 方案二

锚索桩板墙方案，桩身截面尺寸2.0×3.0m，最大桩长25m，每根桩上设2排6束长12m的锚索，每延米造价5.488万元。该方案存在着存在桩孔开挖困难、工序复杂、工期较长，造价较高等不足。

(三) 方案三

肋柱式锚杆挡墙方案，其中肋柱截面尺寸为0.3×0.4m，挡土板厚0.2m，胸坡坡率1:0.25，锚杆采用HRB400，直径 $\phi 32\text{mm}$ ，长5~8m，间距2m，在原始坡面与挡土板间浇筑C25混凝土，每延米造价为2.225万元。比方案一节省57.9%，比方案二节省69.8%。该方案具有：较小的支挡结构体积、较小的土石方开挖量，较大的支挡高度、较高的安全系数、与既有支挡建筑较好的含接性，以及简单快捷的施工工序，较短的工期和较经济的造价等优点。

(四) 方案造价比较

1. 超高衡重式挡土墙、锚索桩板墙与肋柱式锚杆挡墙方案经济比较

超高衡重式挡土墙方案：造价5.28万元/m；

锚索桩板墙方案：造价5.488万元/m；

肋柱式锚杆挡墙方案：造价2.225万元/m。

肋柱式锚杆挡墙方案比超高挡土墙方案和锚索桩板墙方案节省造价近60%以上，故选择肋柱式锚杆挡墙方案，比超高衡重式挡土墙和锚索桩板墙方案更经济。

2. 超高衡重式挡土墙、锚索桩板墙与肋柱式锚杆挡墙方案技术比较

肋柱式锚杆挡墙各细部结构的施工均属于比较成熟的现有施工工艺，即：在现场坡面上成孔、下锚杆、注浆、绑扎立柱钢筋笼、绑扎腰梁钢筋、绑扎挡土板钢筋、绑扎底板钢筋、立模、浇筑混凝土、养护。施工安全和质量均有保障，比超高衡重式挡土墙和桩板墙 (人工挖孔) 施工更安全、工艺更简单、更容易实施、工期更短。

比超高衡重式挡土墙、锚索桩板墙可以减少的结构圻工量和尽可能少的土石方开挖量,获取较大的支挡高度,实现工程量小、工艺简单、工期较短、造价较低、安全系数高,塑造与既有支挡建筑较好的含接效果。

(五) 方案比较的结果

1) 超高衡重式挡土墙基础开挖量大,且临时边坡较高,使用和施工的安全性均较低,造价高,石方开挖量大,不能爆破作业施工难度大、挡墙太高安全性低等问题;肋柱式锚杆挡墙只需对现有边坡清刷平顺,无须爆破作业,只须在坡面上施作锚杆、肋柱、挡土板、浇筑混凝土等即可,土石方开挖量小,施工工艺简单,施工安全有保障。

2) 锚索桩板墙的抗滑桩截面尺寸较大,只能采用人工挖孔,桩孔在半坡上,而且紧临既有大桥和房屋,施工难度较大,施工安全相对较低,施工进度较慢、工期较长;肋柱式锚杆挡墙施工工期较短。

3) 肋柱式锚杆挡墙可根据现场的地形地貌和地质条件,较为灵活地选取比较有利的施工工序和施工方法,比超高衡重式挡墙和锚索桩板墙的施工难度大幅降低。

4) 肋柱式锚杆挡墙的工程造价比超高衡重式挡土墙和锚索桩板墙节省近60%。

故经对上述三个方案进行技术经济比较后,选用肋柱式锚杆挡墙方案。

(六) 肋柱式锚杆挡墙设计

由于该肋柱式锚杆挡墙位于斜坡上,边坡坡率按1:0.25(详见图3 肋柱式挡墙代表性横断面图),在与既有挡墙衔接段前后10m范围从1:0.25逐渐过度到与既有挡墙胸坡一致。在边坡顶部设冠梁、边坡上部设加密锚杆、边坡中部设两道腰梁,在肋柱背面设钢筋混凝土挡土板,在边坡下部的适当位置设钢筋混凝土底板,在挡土板与坡面间浇筑C20混凝土,每隔15~20m设一道伸缩缝。

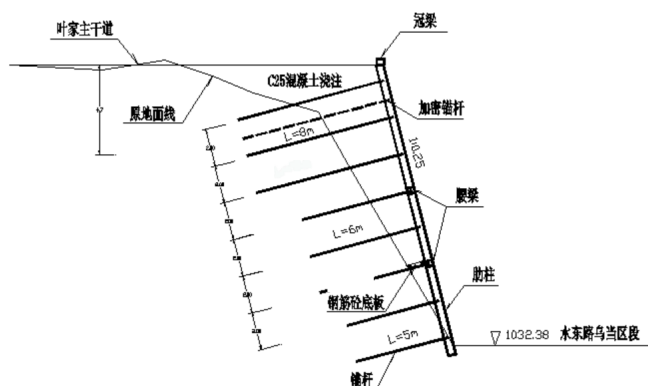


图3 肋柱式挡墙代表性横断面图

五、实施效果

肋柱式锚杆挡墙解决了现有技术中超大断面的超高挡土墙工程量较大,造价较高,对地基承载力要求高,

出问题的概率也较高,锚索桩板墙中的抗滑桩截面尺寸偏大,只能采用人工挖孔,桩孔在半坡上,而且紧临既有大桥和房屋,施工难度较大,施工安全相对较低,施工进度较慢、工期较长等问题;肋柱式锚杆挡墙结构和施工工艺较简单,工期较短,在施工和使用时的安全系数较高、外立面平整美观,解决了地面横坡陡峻,坡面凹凸不平,边坡上部需要强加固,边坡下部基岩坚硬开挖困难,支挡结构只有少许放坡空间、须与既有建筑平顺衔接等问题。图4为肋柱式锚杆挡墙施工完成后的效果。



图4 某市某某路K7+148~+190—肋柱式锚杆挡墙施工完成后的现场照片

肋柱式锚杆挡墙实施完成后,达到了较为理想的效果,现已经过七个水文年的考验,表明该技术安全可靠、结构与环境和諧,美观大方,工程造价低、施工简便、工期较短、使用状况良好,经济和社会效果显著。

六、结论

肋柱式锚杆挡墙是解决地面横坡陡峻,坡面凹凸不平,边坡上部需要加宽和强加固,边坡下部基岩坚硬开挖困难,支挡结构只有少许放坡空间、须与既有建筑平顺衔接等问题,施工工艺简单、工期较短,投资比超高挡墙和锚索桩板墙可节省工程造价近60%。

参考文献

- [1] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例[M]. 人民交通出版社, 2017.
- [2] 李安洪, 周德培, 冯君, 张继春. 顺层岩质边坡稳定性分析与支挡防护设计[M]. 人民交通出版社, 2011.
- [3] 建筑边坡工程技术规范(GB 50330—2013)[S]. 中国建筑工业出版社, 2013.
- [4] 公路路基设计规范(JTB D30—2015)[S]. 人民交通出版社, 2015.
- [5] 建筑基坑支护技术规程(DB11/489—2016)[S]. 中国建筑工业出版社, 2016.
- [6] 铁路路基支挡结构设计规范(TB10025—2019 J127—2019)中国铁道出版社有限公司
- [7] 铁路路基设计规范(极限状态法)(Q/CR9127—2018)中国铁道出版社有限公司