

边坡支护设计在复杂地形中的应用探究

文 / 李贵博 湖南省国土空间调查监测所

摘要: 本文以某县山区场地平整及边坡支护建设项目为例,详细分析了边坡稳定性与支护结构设计的过程与理念。项目所在地地形起伏较大,原始地貌单元属于河流阶地地貌,场地条件复杂。基于勘察结果,结合相关规范标准,设计了包括坡率法放坡、格宾挡墙、混凝土重力挡墙、悬臂式挡墙、扶壁式挡墙、桩基托梁挡墙及岩石锚喷等多种支护结构。文章还强调了监测与信息化施工在边坡支护工程中的应用,以确保施工过程中的安全性和工程质量。通过对该边坡支护项目的全面设计探究,为类似山区场地平整及边坡支护工程提供了宝贵的经验和参考。

关键词: 山区; 场地平整; 边坡支护; 监测; 信息化施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.106

引言

随着城市化进程的加速,城市土地资源的紧张局势日益凸显,特别是在山区等复杂地形的开发利用成为城市扩展的重要方向。山区场地平整及边坡支护工程在这一过程中扮演着重要角色,它们不仅涉及土方开挖与填筑,还涉及复杂的地质条件和环境保护问题。边坡支护工程不仅要保证工程本身的安全稳定,还要考虑到环境保护和生态平衡。本文以某县山区场地平整及边坡支护建设项目为例,详细介绍了边坡稳定性分析与支护结构设计的过程与理念。



图1 边坡支护设计总平面图

一、工程概况

项目场地位于某省某县,原始地貌单元属于河流阶地地貌,地形起伏较大,场地主要为丘岗、荒地,冲沟处分布有水田、旱地。场地距河流直线距离约100米左右,勘察测得各个钻孔孔口标高变化于267.45-342.66m之间。场地有效用地红线范围内平整至设计标高后,西南角的污水处理厂稍低为300m,中间仓库为305m,东侧生产厂房为310m。主要建筑和构筑物有生产厂房、污水处理厂、装卸区、食堂等,项目拟同步建设进出厂两条道路。项目边坡支护总平面图及三维效果图分别见图1、2。



图2 边坡支护设计效果图

二、场地工程地质与水文地质条件

场地原始地貌类型属河流冲积阶地,坡体主要由填土(较厚)、卵石(稍密-中密),粉质黏土(较薄、可塑-硬塑)、强风化泥质粉砂岩、中风化泥质粉砂岩等组成。场地内无地表水体,地下水类型主要为第四系上层滞水、孔隙潜水及基岩裂隙水,勘察期钻孔未揭露地下水,赋水贫乏,地下水的来源主要靠大气降水及地表渗透水补给,并受大气降水或雨季降水的影响,随季节变化。场地地势较高,地下水通过土层孔隙向地势低洼处的河流水系排泄(勘察期附近河水位高程257.8m,历史最高水位一般不大于270m)。

三、支护方案选型

(一)在本次山区场地平整及边坡支护建设项目中,边坡支护类型的选择是基于综合地质勘察结果、场地条件、工程安全等级以及经济效益等多方面因素综合

考量的结果。在边坡支护选型时,首先需要考虑的是边坡的稳定性和安全性。

(二)根据地质勘察报告,场地内无地表水体,地下水类型主要为第四系上层滞水、孔隙潜水及基岩裂隙水,勘察期钻孔未揭露地下水,赋水贫乏。这一特点在一定程度上减少了支护结构设计中对于地下水影响的考量。然而,场地较高,地下水通过土层孔隙向地势低洼处的水系排泄,因此在支护结构设计时可适当考虑地下水位变化对边坡稳定性的潜在影响。

(三)针对场地的复杂地质条件和边坡高度,本项目采用了多种支护结构相结合的设计方案。对于高度较大、稳定性要求高的边坡,采用了桩基托梁扶壁式挡墙+格宾挡墙组合的支护型式,通过组合支护,一方面可以减小挡墙的规格、尺寸、工程量,另一方面能够提高边坡整体稳定性,确保边坡的长期稳定。对于高度较

小、周边环境条件相对较好的边坡，考虑到经济性和施工便利性，采用了坡率法放坡、重力式挡墙、悬臂式挡墙等，减少支护结构的工程量。

(四)在边坡支护结构设计中，还特别考虑了环境因素和美学要求。为了使支护结构与周围环境相融合，对于边坡采用了绿化护坡的方案，通过植被的覆盖来减

少水土流失，同时提升边坡的景观效果。

(五)综上所述，本项目的边坡支护选型是在综合考虑地质条件、工程安全、经济效益和环境影响的基础上，通过科学的设计和合理的施工技术要求，实现了边坡的稳定性、安全性和经济性的最优平衡。详细支护分段见下表1。

表1 各段边坡支护方式一览表

分段项目	A ₁ B	CC ₁ /GH	C ₁ D/	H-I	JKLM\NOP\TU\U3U4	RSS ₁	UU ₁ U ₂ U ₃	V ₁ V ₂ /V ₃ W	XX ₁	X ₁ Y	Y ₁ Z	ZZ ₁	Z ₁ Z ₂ Z ₃ A
坡脚纵长(m)	32	87.5	36.3	112	421.6	222.2	67.7	59.9	97.3	74.4	115.4	139.2	88.8
高度(m)	3-4	9	12	15-30	10-29	0-30	20-25	5-6	2-5	5-7.5	7.5-12.5	12.5-15.5m	1-13
边坡类型	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	永久性岩质边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡	填土型永久性边坡
安全等级	二级	一级	一级	一级	一级	二级	一级	二级	二级	二级	一级	一级	二级
处治方式	悬臂式挡土墙	扶壁式挡土墙	扶壁式挡土墙	桩基托梁扶壁式挡墙+格宾挡墙	台阶式加筋压实填土边坡	放坡+锚杆+喷播植草	桩基托梁扶壁式挡墙+格宾挡墙	悬臂式挡土墙	放坡(坡比1:2.00)+喷播植草	放坡(坡比1:2.00)+1:2.00+喷播植草	放坡(坡比1:2.00)+1:2.00+喷播植草	放坡(坡比1:3.00)+喷播植草	重力式挡墙+分级放坡+喷播植草

四、边坡支护结构设计

(一) 主要支护形式及服务年限

边坡主要采用以下方式支护：坡率法放坡、格宾挡墙、混凝土重力挡墙、悬臂式挡墙、扶壁式挡墙、桩基托梁挡墙及岩石锚喷等多种支护结构，合理使用年限不小于50年。

(二) 边坡支护主要验算参数

(1) 根据边坡的岩土条件、高度、边界特征等因

素，分别按不同的支护断面验算，计算采用《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)等给定的数值分析方法，边坡安全等级总体为二、一级。边坡上部行人荷载按5KN/m²、小型车辆荷载按15KN/m²、装卸区及材料运输按25KN/m²。岩土工程指标以场地岩土工程勘察报告作为依据，并结合本地区类似成功经验进行修正，以修正后的指标值，作为验算值，主要岩(土)层指标如下表2:

表2 主要岩(土)层力学性质指标

地层名称	承载力特征值 Fak (kPa)	压缩模量 平均 Es (MPa)	内摩擦角 标准值 φk (°)	粘聚力 标准值 Ck (kPa)	重度 (KN/m ³)	基底摩擦系数	土体与锚固体黏结强度标准值 (kPa)	抗拔系数 λ	地基土水平抗力系数的比例系数 m (MN/m ⁴)	钻、冲、挖孔干作业/泥浆灌注桩	
										极限侧阻力 标准值 kPa	极限端阻力 标准值 kPa
素填土①	未完成自重固结	/	9	10	18.1	/	15	/	3.5	15/10 (负摩阻力系数取-0.35)	/
稍密-中密卵石土③	240	/30	(35)	(15)	21.5	0.40	100	0.5	80	100/80	/
可塑-残积粉质黏土⑤	200	8	20	34	20.2	0.25	55	0.7	18	55/47	900/700 (L=5-10m)
强风化泥质粉砂岩⑧	350	/(100)	(28)	(60)	21.7	0.35	150	0.7	125	150/100	2800/2300
中风化泥质粉砂岩⑨	1200	/(600)	(37)	(165)	23.9	0.45	300	0.8	220	300/200	6800/5800
泥岩、泥质砂岩结构面	/	/	(22)	(50)	/	/	/	/	/	/	/

(2) 岩土厚度取值原则：由于每段各点的岩土分层厚度不一，计算时将各段岩土层厚度根据最近地域剖面之不利组合遵照规范有关要求进行处理；

(3) 验算结果：经验算均满足相关规范规定的有关主要技术参数、安全系数等要求。

(三) 代表地段(HI段)支护结构设计

(1) 本段为填土边坡，支护方式为下部桩基托梁

扶壁式挡墙+上部格宾挡墙，标准剖面高25m；安全等级为一级；

(1) 场地整理：现坡形按照平面图标注的底板高程分段进行台阶式整理，现场实际高程底板要求不低于标注的各段挡墙基底高程；

(2) 施工程序：挡墙底板台阶式整理，并确认基础莫基层符合设计地层或以下地层→施工桩基→清理桩

头→浇筑挡墙底板、分段浇筑立壁、扶臂→墙背分层加筋填土压实（压实并达到 $\geq 90\%$ ）、锚定板施工→格宾挡墙堆砌、分层加筋填土压实（压实并达到 $\geq 90\%$ ）→喷播植草→水沟及其他；

(3) 桩基础： $\phi 1500$ 挖孔灌注桩复合地基，方形布置，网格 4000×4500 ，每排4桩，排距4.5m，桩长6m，C30，保护层50；桩端嵌入中风化泥质粉砂岩的全断面深度不小于1m，设计单桩承载力特征值不小于4427kN；单桩水平承载力特征值不小于726kN；

(4) 扶壁式挡墙：扶壁式挡墙基础开挖深度 $\geq 1.0\text{m}$ ，奠基在粉质黏土（可塑-硬塑）或以下地层上，承载力特征值不小于200KPa，如有超挖，采用C20砼找平到设计底高程；底板厚1.0m，扶肋0.60m、立壁厚0.75m，墙趾0.85m，扶肋间距4.5m，保护层35；根据分层填土高度，可按5-10m分层分段立模布筋、浇筑砼C30形成挡墙；墙背500/层加筋、填土压实（ $K \geq 90\%$ ），每20m预留温度缝；挡墙垫层C20，厚100，垫层尺寸大于基础尺寸100；

(5) 锚定板：墙后扶肋浇筑时预留锚定板钢筋 $\Phi 28$ ，便于后期焊接；锚定板为 $800 \times 800 \times 350$ ，C30，保护层50，拉筋2 $\Phi 28$ ，拉筋外套 $\phi 83$ 厚4.0的钢管，管内注入纯水泥浆；锚定板网格为底板以上每5000为一层，间距 $\phi 4500$ ；

(6) 墙背填土：分层（500mm/层）满铺高尔凡网，压实；高尔凡 $8 \times 10 \phi 2.7$ ；压实度不小于90%；

(7) 坡面绿化：挂网喷播植草。

(8) 格宾挡墙：格宾石笼网：孔 80×120 ；丝径 $\phi 4.0$ ；规格 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 等；材质为高尔凡网。石料：微风化青灰色灰岩，尺寸是网目的1到2倍；

(9) 立面泄水孔：D50PVC间距为 3000×3000 ，坡脚排距地面高度不大于200，泄水孔管长L为不小于视界面挡墙厚度并插入反滤包内中部，“梅花”型分布；

(10) 截、排水：C20砼现浇。坡顶沟为倒梯形，尺寸 500×750 汇水坡降为顺坡势，平缓段水沟坡降按2-5%；坡脚水沟可暂不设；挡墙身、底板铺设1000厚的开山碎石或砂卵石排水、透水层。

本段支护剖面示意图如下图3。

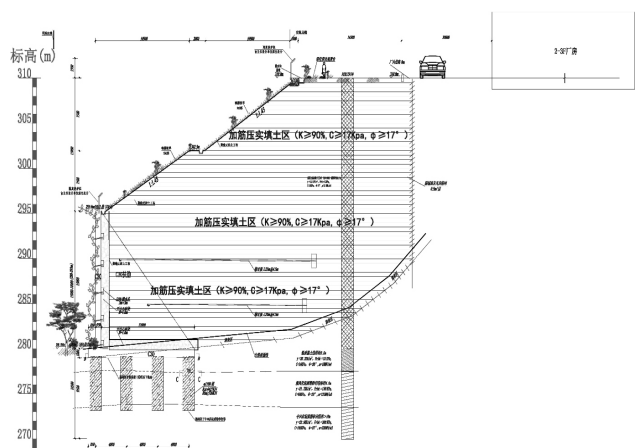


图3 HI段支护剖面图

五、边坡安全等级、监测及信息化施工

(一) 因场地平整需要削坡、填方，削坡主要在东南侧山体局部，北侧局部地段现状地形基本接近305m高程，无须挖填，其余地域均为填方型挡土墙；总体安全等级为二级至一级，按一级要求进行监测；全坡段截排水、综合植物绿化美化与人文环境融合。

(二) 本项目边坡范围较大，场地地质情况变化大，为了确保边坡的安全稳定，施工时应及时反馈现场地质变化状况、施工情况和变形、应力监测信息，做好信息化施工、动态设计，避免发生安全事故。

六、边坡支护面临的主要技术问题及应对措施

本项目面临边坡高度超出规范要求、桩基托梁模式计算模式多样化、超高挡墙地基基础的承载力及抗滑移稳定性问题，以及挡墙自身、桩基础配筋合理性等技术挑战。针对边坡高度超出规范要求的问题，项目采取了综合支护措施，如桩基托梁扶壁式挡墙+上部格宾挡墙；桩基托梁模式的选择上，通过对比分析不同的计算模式（拆分及不同软件对比），选择了最适合项目特点的结构模型，确保了设计的科学性和合理性；对于超高挡墙地基基础的承载力及抗滑移稳定性问题，通过加设桩基础后，挡墙的基础承载力及稳定性安全系数显著提高，满足了工程设计要求。项目的顺利实施也验证了理念及方法的合理性、科学性、可行性。

结论

本文通过对某县山区场地平整及边坡支护建设项目的全面设计探究，提供了一种适用于复杂地形的边坡支护解决方案。通过对场地岩土工程条件的详细分析，结合国家、行业等规范标准，设计了合理的支护结构。施工技术要求和监测与信息化施工的应用，确保了工程的质量和安。本研究为类似山区场地平整及边坡支护工程提供了宝贵的经验和参考。

参考文献

- [1] GB 55008-2021 混凝土结构通用规范[S].
- [2] GB 50330-2013 建筑边坡工程技术规范[S].
- [3] JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范[S].
- [4] GB 50007-2011 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] 叶逢春. 扶壁式挡墙结合桩锚复合支护结构的设计与分析[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版). 2014.
- [6] 封志军, 赖紫辉, 薛元. 考虑桩-梁协调作用的桩基托梁计算理论分析[J]. 铁道工程学报. 2012.
- [7] 王莹, 李宝铭. 新型加筋格宾挡墙设计与施工[J]. 北方交通. 2013.
- [8] 刘泽, 杨果林, 申超, 等. 绿色加筋格宾挡墙现场试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版). 2012.
- [9] 王新, 胥慧. 浅析扶壁式挡墙截面尺寸对稳定计算影响[J]. 黑龙江水利科技. 2020.
- [10] 郑向前, 孙帅涛. 扶壁式挡墙在建筑土质高边坡中的分析设计[J]. 建筑技术开发. 2018.

作者简介：李贵博（1987.10-），男，回族，硕士研究生，河南南阳，高级工程师，主要从事岩土工程勘察设计等工作。