

吕梁某黄土高边坡稳定性分析与工程防治实例

刘志军¹, 刘文元², 易志强²

(1. 山西省柳林县自然资源局, 山西 吕梁 033300; 2. 太原理工大学 矿业工程学院, 太原 030024)

摘 要:黄土地区沟壑纵横、高低起伏的复杂地貌形成了许多黄土高边坡,严重影响着人类的生产活动。因此关于黄土高边坡的稳定性分析及其治理措施一直是黄土地区地质灾害防治研究的热点问题。以山西某黄土高边坡为例,通过野外现场勘察查明其工程地质条件,基于室内试验测定相关岩土力学参数,最后利用数值模拟软件 Geo-studio 对其进行稳定性分析,并提出相应的治理方案,为该类型黄土边坡的防治提供借鉴意义。

关键词:地质灾害;黄土高边坡;稳定性分析;工程治理

中图分类号:P642

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A Case Study of Stability Analysis and Engineering Prevention for High Loess Slope in Lvliang

LIU Zhijun¹, LIU Wenyuan², YI Zhiqiang²

(1. Natural Resources Bureau of Liulin County, Lvliang 033300, China;

2. College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The complex landforms with gullies in loess areas have formed many high loess slopes, which seriously affect human production and other activities. Therefore, the stability of the high loess slope and its treatment have always been a hot issue in the prevention and control of geological disasters in the area. Taking a high loess slope in Shanxi Province as an example, the engineering geological conditions were found out by field surveys and relevant geotechnical parameters were determined by laboratory tests. Finally, the numerical simulation software Geo-studio was used to analyze the stability, and the corresponding treatment plan was proposed, which could provide reference for the prevention and control of this kind of loess slopes.

Key words: geological disaster; high loess slope; stability analysis; engineering treatment

黄土广泛分布在西北、华北与东北地区,尤其集中分布在黄河中上游的甘肃、陕西、山西以及宁夏等省区,总面积约为 $6.3 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占我国陆地面积的 6.6%^[1]。在黄土地区,由于沟壑纵横、高低起伏的复杂地貌形成了许多黄土高边坡,同时因黄土独特的工程特性使得这些高边坡极易失稳,从而严重影响着人类的生产活动。因此,关于黄土高边坡的稳定性分析及其治理措施一直是黄土地区地质灾

害防治研究的热点问题^[2-4]。

本文以山西某黄土高边坡为研究对象,通过野外现场勘察查明工程地质条件,根据工程地质分析原理分析其可能的破坏模式,通过室内试验测定相关岩土力学参数,最后利用 Geo-studio 中 slope/w 模块对其进行稳定性分析,并提出相应的治理方案,为该类型黄土边坡的防治提供借鉴意义^[5-6]。

* 收稿日期:2019-05-05

作者简介:刘志军(1981-),男,山西吕梁人,本科,工程师,从事地质灾害防治等方面的工作。

1 工程概况

项目边坡地理位置优越,位于 307 国道以西,南侧毗邻三川河。边坡为一黄土质边坡,边坡高度约在 10 m~70 m 左右,坡顶长约 650 m,坡底长约 450 m,勘察期发现此边坡经人工削坡,边坡坡率约 1:0.75~1:0.9。在坡脚处有一住宅小区,通过现场调查发现边坡并未出现大面积的滑塌现象,且在边坡坡顶均也无地裂缝发育,但在局部出现了浅层滑塌,其稳定性对坡脚及坡顶的建筑物安全形成巨大威胁。

2 边坡工程地质条件

2.1 地形地貌

勘察区场地地貌为低山丘陵,受风化、水流冲刷以及人工开挖的多重作用形成现状地貌形态。勘察期间建筑场经人工削坡,边坡坡率 1:0.75~1:0.9,分台阶放坡(见图 1)。通过现场地质调绘,边坡坡顶均无地裂缝发育,坡脚局部出露石炭系石灰岩。

边坡呈“U”型环抱坡脚建筑场地,高度约在 10 m~70 m 左右,坡顶长约 650 m,坡底长约 450 m,坡度较陡峭,坡脚标高 807.05 m~814.86 m,相对高差 7.81 m,坡顶标高 882.36 m~819.25 m,相对高差 63.11 m;植被少有发育,局部可见少量杂草。



图 1 边坡整体地形地貌

Fig. 1 Overall topography and landform of slope

2.2 地层岩性

根据野外调查及钻探揭露的地层和堆积物沉积韵律特征,结合室内土工试验,场地钻探揭露地层主要为第四系全新统冲洪积层(Q_4^{al+pl}),岩性主要为粉质粘土和卵石及石炭系石灰岩;边坡岩土体地层由新到老依次为上更新统风积(Q_3^{col})成因的乌兰黄土和中更新统风积(Q_2^{col})成因的粉土及粉质粘土(离石黄土)组成,坡体岩性主要以粉质粘土和粉土为主,具体如下:

第①层:湿陷性粉土(Q_3^{col}),褐黄色,稍湿,稍

密,具有孔隙,垂直节理发育,表层见少量植物根系。夹薄层粉质粘土。

第②层:粉土(Q_3^{col}),黄褐色,含云母、氧化铁、氧化铝等,稍湿,中密,土质不均,混少量粉质粘土及云母碎屑,摇振反应一般,无光泽,干强度中等。

第③层:粉质粘土(Q_2^{col}),褐色,含云母、姜石、氧化铁、氧化铝等,局部夹薄层粉土,无摇振反应,稍有光泽,干强度及韧性较高。

第④层:砂卵石(Q_2^{al+pl}),杂色,矿物成分以石英、长石、云母为主,级配不良,中密,该层夹有粉土和细砂等成分。分布有从北—西—南一次减少的趋势。

第⑤层:石灰岩(C_3^1)灰色,中风化—强风化,矿物成分以方解石为主,隐晶质结构,层状构造,岩体较完整,属于较硬岩,岩体基本质量等级为Ⅲ级。

2.3 地质构造

研究区内构造简单,构造位置为鄂尔多斯地区的东缘,吕梁山块隆与鄂尔多斯断块接壤的南北向构造带西侧,其构造基本形态总体上表现为由北东向南西渐倾的单斜构造,地层以几度至十几度的倾角缓缓向西插入黄河底下,其间伴随有平缓的褶曲。

3 边坡稳定性分析与评价

3.1 边坡现状宏观分析

边坡为土质边坡,坡顶地形平缓,坡面较为陡峭,坡表分布有少量杂草,在边坡范围内未发现边坡变形迹象,边坡在现状条件下大面积处于基本稳定状态,局部处于欠稳定状态,但是在外界影响,如降雨地影响下,存在破坏的可能性。土质边坡易受降雨冲刷而产生局部崩塌,坡面稳定性相对较差。

3.2 边坡稳定性分析

结合本次勘察场地边坡的具体情况进行分析,影响边坡侧向稳定的主要因素是降雨,自然边坡在降雨条件下容易失稳。根据现场调查的自然边坡现状及现场测量的边坡形态建立计算模型,抗剪强度指标在室内试验提供指标的基础上经反复验算并结合现有边坡存在的状态综合分析确定,计算参数见表 1。

表 1 边坡稳定性计算岩土参数建议值

Table 1 Suggested values of geotechnical parameters for slope stability calculation

岩土层名称	天然重度	饱和重度	建议值(天然/饱和)	
	/($kN \cdot m^{-3}$)	/($kN \cdot m^{-3}$)	粘聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)
湿陷性粉土	15.4	18.7	32.0/14.0	24.0/16.0
粉土	16.6	19.2	38.0/18.0	27.0/20.0
粉质粘土	17.7	19.8	39.0/20.0	28.0/22.0
卵石	19.5	20.3	0.0/0.0	35.0/32.0
石灰岩	21.6	22.9	86.0/53.0	47.0/34.0

根据边坡形态,在可能滑动的方向上选取具有代表性的剖面,运用 Geo-studio 软件中的 slope/w 模块对其在天然和暴雨(饱和)两种工况下进行稳定性分析,其计算原理采用极限平衡法,包括瑞典条分法、Bishop 法、Janbu 法、Morgenstern-Price 法等,本次计算中采用 Morgenstern-Price 法进行,其中 1-1' 剖面安全系数和最危险滑动面如图 2 和图 3 所示。

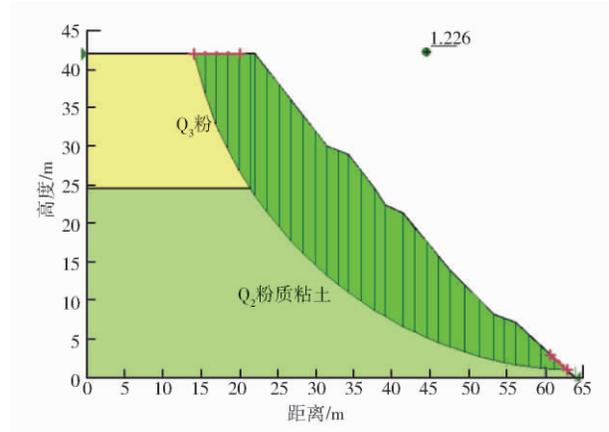


图 2 1-1'剖面天然工况计算简图

Fig. 2 A Sketch of natural working conditions of 1-1' Section

计算结果表明,边坡在天然工况下的稳定系数为 1.226,处于基本稳定状态;而在工况 II 暴雨状态

下的稳定系数为 0.936,处于不稳定状态,即边坡在暴雨状态下有可能失稳形成滑坡。因此,需对此边坡采取相应的治理措施。

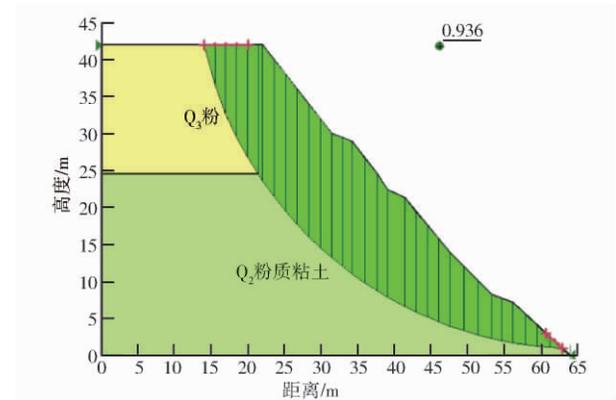


图 3 1-1'剖面暴雨工况计算简图

Fig. 3 A sketch of calculation of rainstorm conditions in 1-1' profile

4 边坡工程治理

4.1 边坡工程治理设计

结合高边坡特性以及边坡设计要求,本次边坡设计采用削坡+框架梁+锚杆+锚索+排水沟的综合治理措施,具体设计方案见图 4。

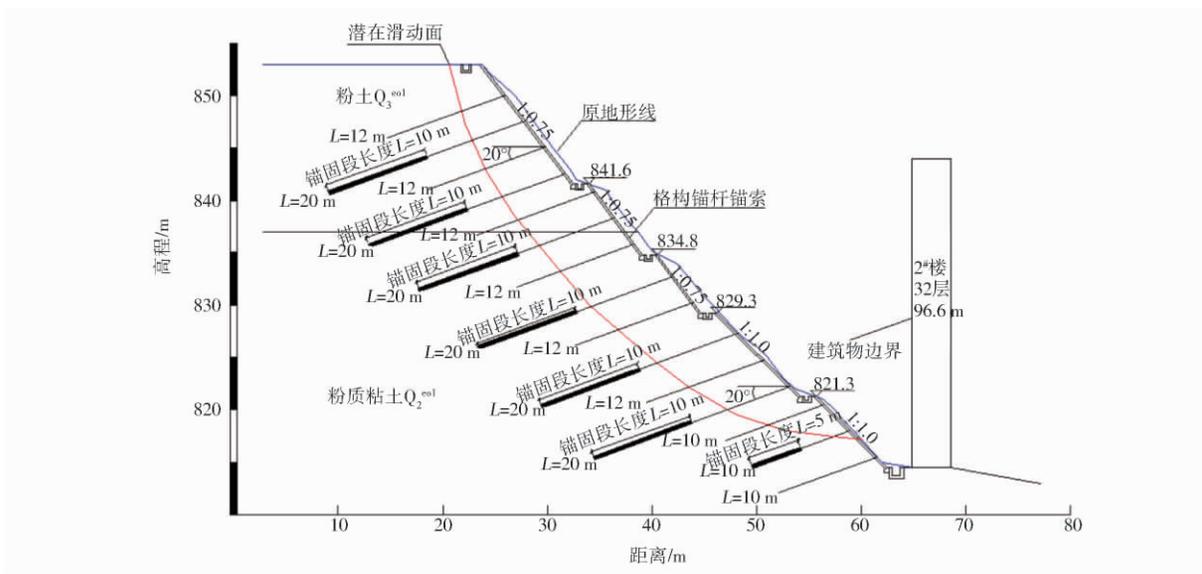


图 4 边坡设计治理示意图

Fig. 4 Sketch of slope design and treatment

1) 削坡:边坡分别按 1:0.25、1:0.5、1:0.75、1:1.0 坡率削坡,单级坡高 4.8 m~12.3 m,中间留设 1.5 m~2 m 宽平台。

2) 框架梁:框架梁截面为 400 mm×400 mm,采用 C25 混凝土。

3) 锚杆:设置于边坡坡面,锚杆孔距 2.5 m,垂直排距 2.5 m,倾角 20°,孔径 130 mm,锚杆钢筋

Φ32,锚杆长度分 10 m 和 12 m 两种,弯头长度不小于 45 cm。

4) 锚索:锚索设置于边坡坡面,锚索孔距 2.5 m,垂直排距 2.5 m,倾角 20°,孔径 130 mm,压力分散型锚索,锚索采用 15.2 mm,高强度,低松弛,1860 级无粘结钢绞线;每索由 3 根组成;锚索长度、自由段及锚固段长度见图 4。

5)排水系统:设置于坡脚、平台、坡顶、两侧边坡及进场道路两侧,采用 M10 浆砌片石砌筑;横向排水沟沟底坡率 3%,纵向排水沟沟底坡率与坡比保持一致,纵横排水沟交叉处应至少加深排水沟至 800 mm,防止上游水体下流时溢出排水沟;沟底采用 100 mm,厚 3:7 灰土铺底。

4.2 边坡治理后的稳定性评价分析

对上述设计方案进行边坡稳定性计算,采用计算软件为理正岩土软件,计算剖面简图如图 5 所示,计算结果表明:在天然状态下稳定系数为 1.375,而在暴雨工况下稳定系数为 1.213,两种工况下边坡均处于稳定状态,因此可知该设计方案可满足边坡稳定性要求。

5 结束语

本文以山西吕梁某高边坡为例,通过野外勘察查明其工程地质条件,分析可知边坡在降雨状态下容易失稳,并利用 Geo-studio 软件中 slope/w 模块对该边坡进行稳定性分析,计算结果表明边坡在暴

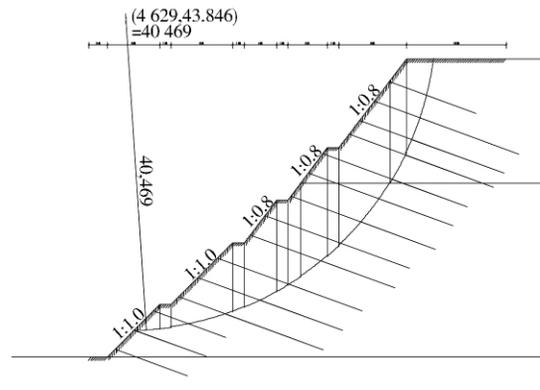


图 5 治理后剖面计算简图

Fig. 5 Profile calculation sketch after harnessing

雨等不利工况下处于不稳定状态。根据分析结果结合报边坡特性及设计要求,提出了削坡+框架梁+锚杆(索)+排水沟的综合治理方案,最后通过岩土软件对该方案进行验算,计算结果显示能满足边坡稳定性要求,同时可为同类型黄土高边坡的治理设计提供指导和依据。

参考文献:

- [1] 王念秦,张倬元.黄土滑坡灾害研究[M].兰州:兰州大学出版社,2005.
- [2] 董震,巨玉文.山西黄土地质灾害的特性及治理研究[J].科学技术与工程,2015,15(7):138-141.
DONG Zhen, JU Yuwen. Characteristics of Geological Disasters in Shanxi Loess and Governance[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(7): 138-141.
- [3] 郑颖人.边坡与滑坡工程治理[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [4] 刘文元,任杰,朱清华,等.寨崖底煤矿高山水池黄土高边坡失稳破坏模式与防治[J].山西煤炭,2018(1):28-30.
LIU Wenyuan, REN Jie, ZHU Qinghua, et al. Failure Modes and Treatment of High Loess Slope of Mountain Pool in Zhaiya' di Mine[J]. Shanxi Coal, 2018(1): 28-30.
- [5] 叶帅华,时铁磊.降雨入渗条件下多级黄土高边坡稳定性分析[J].工程地质学报,2018,26(6):1648-1656.
YE Shuaihua, SHI Yilei. Stability Analysis of Multi-stage High Slope with Loess under Rainfall Infiltration[J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(6): 1648-1656.
- [6] 蒲小武,王兰民,吴志强,等.兰州丘陵沟壑区挖方黄土高边坡面临的工程地质问题及稳定性分析[J].地震工程学报,2016(5):787-794.
PU Xiaowu, WANG Lanmin, WU Zhijian, et al. Engineering Geological Problems of Loess High Excavation Slope in Loess Hilly and Gully Region of Lanzhou and Its Stability Analysis[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016(5): 787-794.

(编辑:薄小玲)