

预应力锚索地梁在矿山已变形边坡加固中的应用

魏万鸿¹, 宿星^{1,2}, 叶伟林^{1,2}, 吴玮江¹, 申虎军³, 杨涛¹

(1. 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 甘肃兰州 730000; 2. 兰州大学资源环境学院 西部环境教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000; 3. 酒泉钢铁(集团)有限责任公司镜铁山矿, 甘肃嘉峪关 735101)

摘要: 岩土锚固是边坡岩土体加固的主要措施。以酒泉钢铁(集团)有限责任公司镜铁山矿黑沟矿区已变形边坡加固工程为例, 利用 Slide 软件进行边坡稳定性分析及支护结构设计计算, 对已变形边坡采取预应力地梁锚固 + 坡顶防渗排水 + 主、被动网防护 + 随机锚固的综合治理工程措施, 阐明了高边坡预应力锚索地梁的一般程序与方法。实践表明, 采用以预应力锚索地梁为主的综合防治措施, 对已变形高边坡的变形控制和支护效果较好。

关键词: 预应力锚索地梁; 变形边坡; 边坡稳定性计算; 边坡加固; 岩土锚固

中图分类号: P642.22; TE325+.3 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2017)07-0071-05

Application of Pre-stressed Anchor Cable Groundsill in Reinforcement Engineering of Deformed Mine Slope/WEI Wan-hong¹, SU Xing^{1,2}, YE Wei-lin^{1,2}, WU Wei-jiang¹, SHEN Hu-jun³, YANG Tao¹ (1. Hazards Prevention Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000, China; 3. Jiuquan Iron and Steel (Group) Co., Ltd., Jingtieshan Mine, Jiayuguan Gansu 735101, China)

Abstract: Geotechnical anchoring is the main measure of slope rock and soil reinforcement. Take an example of deformed slope reinforcement project in Heigou mining area of Jingtieshan mine, the slope stability analysis and supporting structure design calculation are made by using Slide software, then the comprehensive management engineering measures of groundsill by pre-stressed anchorage + slope top seepage prevention drainage + active and passive network protection + random anchorage are adopted for the deformed slope. This paper illustrates the general construction procedure and methods of the high slope pre-stressed anchor cable groundsill. The practice shows that the comprehensive prevention and control measures based on the pre-stressed anchor cable groundsill are good for the deformation control and the supporting effect of the deformed high slope.

Key words: pre-stress anchor cable groundsill; deformed slope; slope stability calculation; slope reinforcement; geotechnical anchoring

岩土锚固是边坡岩土体加固的主要措施, 以其能充分发挥岩土体自身强度, 增加自稳能力, 加固效果好, 地层适用范围广, 作业空间占用少, 环境适应性强, 能保证工程长期稳定等优点, 在矿山、水利水电、交通、建筑等领域得到广泛应用^[1-3]。对已变形边坡体或对变形控制要求较高的边坡, 预应力锚固不失为一种较为科学可靠的加固手段^[4-9]。以酒泉钢铁(集团)有限责任公司镜铁山矿黑沟矿区已变形边坡加固工程为例, 说明预应力锚固的设计、施工

与实效。

1 问题的提出

酒泉钢铁(集团)有限责任公司镜铁山矿黑沟矿区一工程边坡上部为黑沟矿区 3470 m 提升机房, 下部为 3400 m 作业平台(见图 1), 两处设施均为矿山生产的关键, 其安全运行直接关系到矿山的生产运营^[10]。

该边坡原为自然边坡, 由于 3400 m 平台的开挖,

收稿日期: 2017-04-06; 修回日期: 2017-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目“甘肃省不同类型黄土滑坡的滑动致灾空间预测研究”(编号: 41362014); 甘肃省科技厅民生计划项目“兰州北山一带黄土山坡建筑区地质灾害调查评价及防灾标准研究”(编号: 1209FCMA012); 甘肃省青年基金项目“永靖县库区黄土滑坡滑动致灾空间预测研究”(编号: 145RJYA314); 甘肃省科学院应用研发项目(编号: 2012JK-07, 2013JK-06, 2013JK-07, 2013QN-13, 2015JK-01)

作者简介: 魏万鸿, 男, 汉族, 1968 生, 滑坡室主任, 高级工程师, 从事地质工程与地质灾害防治研究工作, 甘肃省兰州市城关区定西南路 211 号, 873274908@qq.com。

通讯作者: 宿星, 男, 汉族, 1979 年生, 副研究员, 硕士, 从事地质工程与地质灾害防治研究工作, 甘肃省兰州市城关区定西南路 211 号, geocity@163.com。

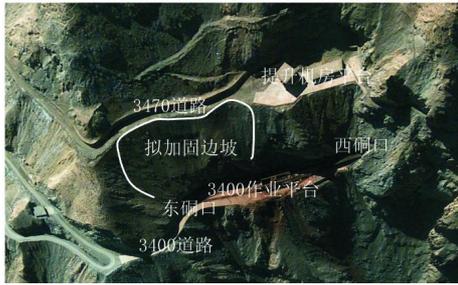


图1 3400~3470 m 边坡地形地貌图

形成了上缓下陡的人工边坡,边坡上部为矿区生产道路通往提升机房,现场调查表明,该边坡已发生变形,在道路路面存在3条滑动裂缝,延伸长度30~50 m,宽10~20 cm,可见深30 cm以上(见图2),若不采取加固措施,边坡失稳滑动的可能性很大。



图2 3470 m 路面变形

2 边坡概况

2.1 边坡体地质结构

该边坡位于3470~3400 m作业平台之间,上部有1~4 m的残坡积碎石土层极不均质,具架空结构;下部为基岩,岩性为钙质千枚岩,属软岩,抗风化能力较差,软化系数大,表层风化裂隙发育,节理裂隙密度较大,强风化层厚度5 m左右,透水性较好(见图3)。

2.2 坡体规模及变形特征

正常条件下:

$$F_s = \frac{\sum (c_i \Delta L_i \cos \alpha_i + W_i \operatorname{tg} \varphi_i) [\cos \alpha_i + (\operatorname{tg} \varphi_i \sin \alpha_i / F_s)]^{-1}}{\sum W_i \sin \alpha_i}$$

地震条件下:

$$F_s = \frac{\sum \{c_i \Delta L_i \cos \alpha_i + [W_i - C_z (a/g) W_i \sin \alpha_i] \operatorname{tg} \varphi_i\} [\cos \alpha_i + (\operatorname{tg} \varphi_i \sin \alpha_i / F_s)]^{-1}}{\sum [W_i + C_z (a/g) W_i \cos \alpha_i] \sin \alpha_i}$$

式中: F_s ——斜坡稳定性系数; W_i ——第*i*条边坡土条重力,kN; α_i ——第*i*条边坡土条倾角,(°); ΔL_i ——第*i*条边坡土条潜在滑面长度,m; c_i ——第

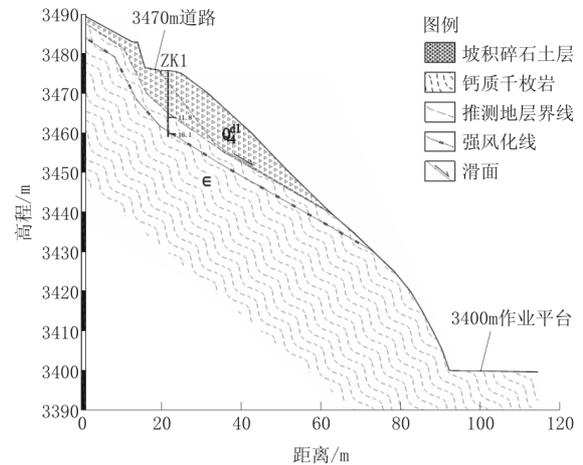


图3 边坡工程地质剖面(2-2剖面)

边坡相对高差70 m,坡度45°左右,下部由于3400 m平台开拓,形成了高20 m以上的临空面,坡面上部为碎石土层覆盖,下部基岩裸露。3470 m道路宽8~10 m,开拓过程中,形成了较多松散物质,自然堆放在边坡上,加之道路车辆荷载等影响,3470 m道路发生沉陷,局部沉降量达2 m以上,路面存在3条滑动裂缝,延伸长度30~50 m,宽10~20 cm,可见深30 cm以上。道路内侧挡土墙已局部产生变形破坏。为此,在坡面上设置了主动防护网,在一定程度上缓解了坡面滑动危险性,防止表层落石及崩塌的发生,但仍没有改变边坡的不稳定状态,边坡失稳滑动的可能性很大。

3 边坡稳定性分析与计算

3.1 稳定性计算方法

现场调查及钻探表明,边坡已发生蠕变变形,滑动变形滑面基本为基岩顶面,滑坡后缘为路面中部附近,滑面类型为折线型,稳定性计算按勘察结果确定滑面,采用毕晓普(Bishop)条分法公式^[11-12]计算。

i 条边坡土条的粘聚力,kPa; φ_i ——第*i*条边坡土条的内摩擦角,(°); a/g ——地震水平系数; C_z ——地震影响系数,取0.25。

3.2 参数选取及计算结果

边坡岩土体的重度、内摩擦角、内聚力等参数在试验资料的基础上,根据边坡稳定情况进行反算,并参考了有关经验值综合确定,见表 1。

表 1 边坡稳定性计算参数

岩 土 层	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 c / kPa	内摩擦角 φ / ($^{\circ}$)
表层残坡积物	17	9	30
强风化钙质千枚岩	25	28	30
弱风化钙质千枚岩	26	105	35

边坡稳定性采用 Slide 软件计算(图 4),计算结果如表 2。

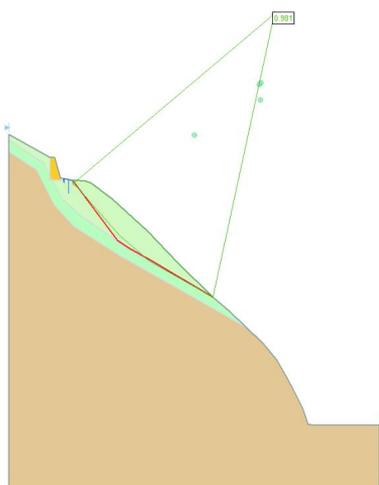


图 4 边坡稳定性计算剖面(2-2 剖面)

表 2 边坡稳定性计算结果(Bishop 法)

工 况 条 件	稳定性系数 F_s		稳定状态
	2-2'剖面	3-3'剖面	
I 工况:自重	0.981	1.069	临界稳定
II 工况:自重+地震	0.901	0.971	不稳定

计算结果表明,该边坡稳定性系数在正常情况下为 0.981 ~ 1.069;地震条件下稳定性系数为 0.901 ~ 0.971,边坡稳定系数 < 1.0 ,处于不稳定状态,之所以没有发生滑动,主要是因为主动防护网对坡体的加固作用。该边坡长期以来一直处于整体蠕动滑移状态,加上边坡面较陡,前部临空条件好,坡体的稳定性差,在地震、降水等外部因素的引发作用下坡体有进一步失稳滑动的可能。

4 边坡加固设计

该边坡上部为 3470 m 水平道路,下部为 3400 m 作业平台,均为矿山运营的关键部位,边坡上部无削方条件,下部无支护空间,同时,受矿山任务要求,施工期无法停止矿山生产,施工条件较为困难。根据国内外岩质边坡加固经验,结合该边坡的具体工程地质条件,经综合分析后,确定采取预应力地梁锚固+坡顶防渗排水+主、被动网防护+随机锚固综合治理工程措施(见图 5)。

4.1 预应力锚索地梁

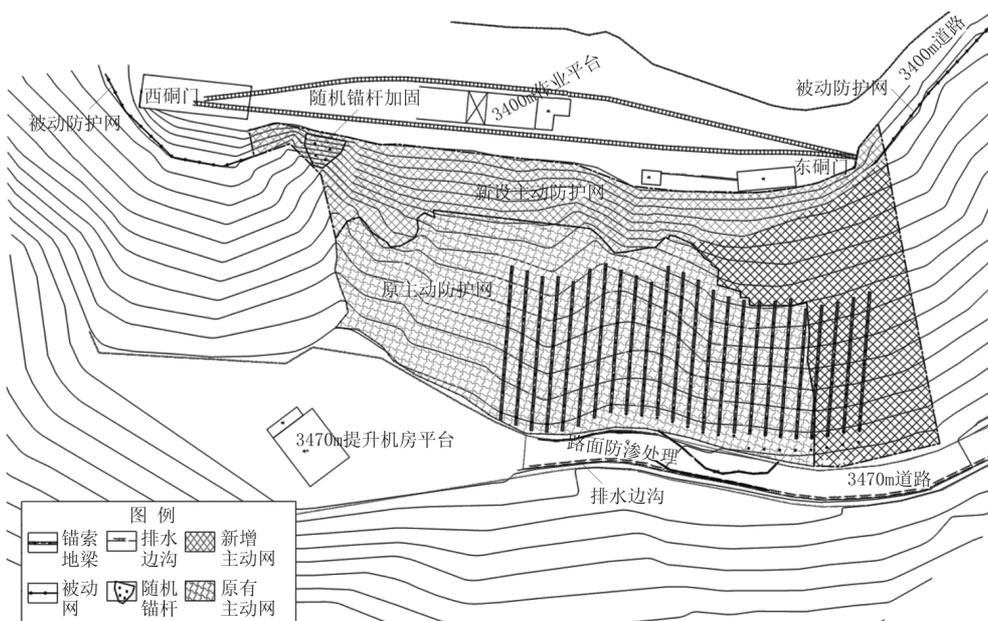


图 5 边坡加固工程平面布置

对边坡处于临界稳定状态的 92 m 宽坡段采取预应力地梁锚固措施。

设计在该边坡布置 24 条预应力锚索地梁,锚固段位于基岩中,锚固段长度 7 m,锚索地梁水平间距为 4.0 m,预应力锚索坡向垂直间距 3.0 m,孔径

130 mm,倾角 20°,单孔设计拉力 500 kN,锚筋采用 5 ϕ 15.24 高强度低松弛预应力钢绞线制作,锚索结构如图 6 所示。地梁截面尺寸 0.6 m \times 0.5 m,采用 C30 混凝土浇筑。

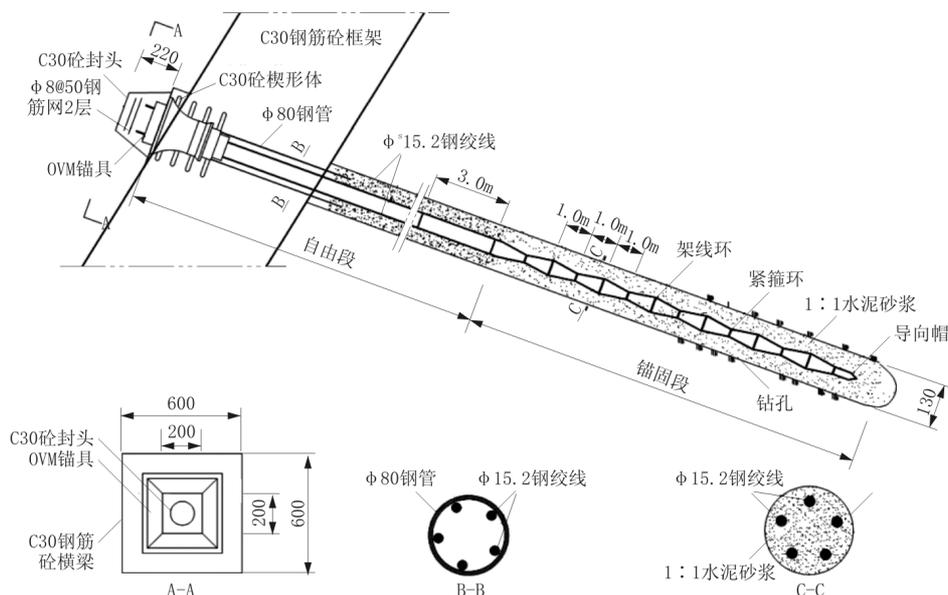


图 6 预应力锚索结构

锚索地梁在现状坡面上设置,并在地梁下铺 5~10 cm 厚的 C10 混凝土垫层找平。地梁设置在现有坡面上,各段边坡坡率可能不一致,因而地梁长度可根据实际情况做相应调整。

各条地梁沿坡面延伸较长,为便于施工,并适应坡面地形起伏,将地梁设计为 I 型地梁、II 型地梁 2 种类型(见图 7),其中 I 型地梁安装锚索 3 根,II 型地梁布置锚索 4 根,并在 I 型地梁、II 型地梁锚索孔间布置长 4 m 的固定锚杆,锚杆直径为 28 mm。

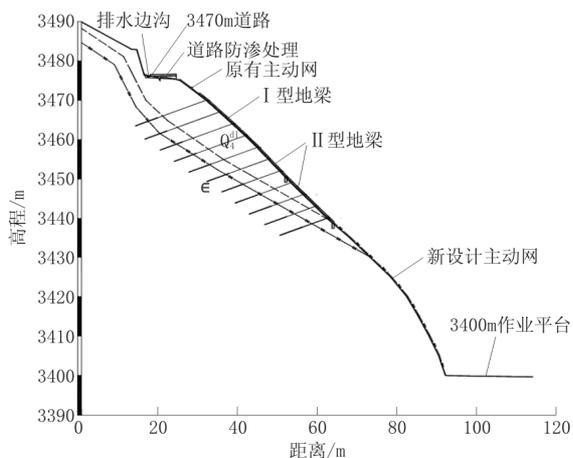


图 7 边坡预应力锚索地梁加固剖面(2-2 剖面)

采取 Slide 边坡设计软件,按设计支护结构建立支护模型,经计算,按设计加固后,正常工况下边坡稳定系数 > 1.30 ,满足该工程边坡安全要求。

4.2 随机锚杆加固设计

该边坡下部西侧由于软弱结构面的存在,发育有较大危岩体,质量达 100~200 t 的危岩体直接威胁矿山生产及人员安全,设计采用锚杆墩加固。锚杆长度为 8.5 m,锚杆间距 2.5 m,锚杆结构与地梁中锚杆相同。锚杆墩的尺寸为 0.3 m \times 0.3 m \times 0.2 m,采用 C30 混凝土浇筑。

4.3 路面防渗排水设计

对该边坡上部约 132 m 进场道路采取路面防渗措施,对路面上部渗透性较好的砂砾石层进行换填,换填深度为 0.7 m,下部采用 0.3 m 厚 2:8 水泥土夯填作为防渗层,上部面层采用 0.4 m 厚泥结石作为道路面层。道路内侧设排水边沟,采取“远接远送”的原则,将路面汇水在加固段西侧适宜路段集中疏排。

4.4 主、被动防护网防护设计

该边坡下段为人工开挖边坡,基岩裸露,坡体岩石节理、裂隙发育,易产生崩塌、掉块,威胁 3400 m

水平作业平台财产及人员安全。设计在边坡下段采用GAR2型主动防护网进行防护。对3400 m作业平台东、西洞口及进场道路上部设主动防护网部位分别设长50 m的RX-050型被动防护网系统。

4.5 监测措施

施工过程中,在该边坡坡顶、坡中各设3个临时性位移观测点,定时观测各点位移状况,密切注意边坡稳定性。主体工程完工后,在该边坡坡顶、坡中各设3个永久性位移观测点,并建立巡查监测制度,专人、定期观测各点位移状况,进行边坡稳定性长期观测。

5 边坡加固施工及治理效果

该工程于2012年6月开工,并于2013年6月顺利完成。施工中在做好下部3400 m作业平台、3470 m道路安全防护的基础上,矿山生产正常进行。施工期间加强对边坡稳定的监测,所观测到的数值均在设计范围内。施工结束后,3470 m道路内侧排水渠处原主动网固定钢缆由原来的受力张拉状态,逐渐变成松弛的卸荷状态,说明坡面支护施加预应力后,坡面变形得到大幅度的改善。工程竣工至今,已经过了4个雨季的严峻考验,边坡未曾发现不稳定迹象,这表明加固工程设计是有效、安全可靠的(见图8),可为广大工程设计人员提供经验借鉴。



图8 加固后整体效果明显

6 结论

(1)对于需要严格控制边坡变形,施工场地狭窄的矿山边坡加固工程,可采用预应力锚索地梁支护形式,在不停止矿山生产的前提下,可以实现顺利施工和加固安全,变形控制和支护效果较好。

(2)边坡加固应采取综合措施,将坡面柔性防护(主、被动网)与预应力锚索地梁、坡面截排水措施结合在一起,能较好的实现边坡防护目标。

(3)该工程实践证明,可以应用Slide软件进行边坡稳定性计算分析,同时可以利用该软件提供的支护结构进行边坡加固设计,该软件边坡稳定性计算分析符合工程实际,加固设计计算能满足工程需要。

参考文献:

- [1] 程良奎. 岩土锚固研究与新进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3803 - 3811.
- [2] 郑颖人, 陈祖煜, 王恭先, 等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [3] 杜信峰, 苗子臻, 邱浩然. 岩土锚固理论研究现状与发展[J]. 工业技术创新, 2016, 3(4): 177 - 179.
- [4] 张发明, 刘汉龙, 赵维炳. 预应力锚索加固岩质边坡的设计实例[J]. 岩土力学, 2000, 21(2): 177 - 179.
- [5] 闫莫明, 杜瑞君. 预应力锚索参数设计与工程应用[J]. 煤矿支护, 2006, (3): 10 - 14.
- [6] 李永德. 预应力锚索框架梁在山地边坡加固中的应用[J]. 施工技术, 2010, 39(2): 103 - 105.
- [7] 田巍, 赵宪富. 预应力锚索在滑坡治理中的应用[J]. 吉林地质, 2016, 35(2): 113 - 115.
- [8] 鲁鸿福, 王丽梅. 干法喷射混凝土技术在高边坡预应力锚索(杆)框架工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(5): 76 - 80.
- [9] 韩富强, 张锦灵, 庞磊. 兰州徐家湾不稳定边坡的综合治理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(2): 78 - 84.
- [10] 魏万鸿, 吴玮江. 镜铁山矿黑沟矿3470 - 3400 m水平边坡治理工程勘查及施工图设计[R]. 甘肃兰州: 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 2012.
- [11] DZ/T 0219—2006, 滑坡防治工程设计与施工技术规范[S].
- [12] GB 50330—2002, 建筑边坡工程技术规范[S].