

文章编号: 1671- 251X(2011)01- 0050- 03

# 白云鄂博铁矿东矿边坡稳定性研究

张飞, 李默然, 周连春, 孙宝雷, 曹华

(内蒙古科技大学矿业工程学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:** 针对白云鄂博铁矿东矿C区边坡产生的3处不稳定滑体, 结合现场工程地质勘察和岩石力学试验, 采用理正岩土分析软件5.5版及加拿大岩质边坡稳定性分析计算软件SLIDE5.0对削坡、锚索加固、注浆的二次加固措施进行了分析计算, 通过计算得到的安全系数来综合判断该二次加固措施的有效性。分析计算结果表明, 通过削坡、锚索加固、注浆的加固措施, 可以使白云鄂博铁矿东矿C区边坡最危险滑面的安全系数达到1.186, 符合设计边坡稳定安全系数要求。文章最后提出了实施这些措施时的注意事项。

**关键词:** 矿山; 边坡稳定性; 安全系数; 二次加固; 削坡; 锚索加固; 注浆

**中图分类号:** TD851 **文献标识码:** A

## Research of Stability of East Slope of Bayan Obo Iron Mine

ZHANG Fei, LI Mo-ran, ZHOU Lian-chun, SUN Bao-lei, CAO Hua

(Mining Engineering College of Inner Mongolia University of Science and Technology,  
Baotou 014010, China)

**Abstract:** For three unstable landslides of C area of Bayan Obo Iron Mine, with data of engineering geological exploration and rock mechanics test, the paper analyzed and calculated several measures for the secondary reinforcement including cutting slope, reinforcement by anchor cable and grouting by use of 5.5 edition of Lizheng soil analysis software and Canadian rock slope stability analysis software SLIDE5.0, and determined whether the secondary reinforcement measures are effective through the calculated safety factor. The analysis and calculation result showed that the secondary reinforcement measures can make safety factor of the most dangerous landslide to achieve 1.186, which meets requirement of designing safety factor of landslide's stability. At last, it proposed several notices about implementation of the secondary reinforcement measures.

**Key words:** mine, slope stability, safety factor, secondary reinforcement, cutting slope, reinforcement by anchor cable, grouting

## 0 引言

白云鄂博铁矿东矿自1957年开始基建剥离, 矿体为近东西走向, 呈西窄东宽的扫帚状产出, 倾角为 $58^{\circ}$ , 地质构造复杂, 地层褶皱强烈。区域构造轮廓以东西向达尔加复式大背斜为骨架, 在两翼发育着一系列次一级的背、向斜和断层构造。断层走向主要为东西向, 次为北西、北东和南北向。采场内岩石

按工程地质性质可划分为5个岩组<sup>[1]</sup>, 即属于 $H_8$ 岩段的白云岩岩组、铁矿岩组, 属于 $H_9$ 岩段的长石板岩岩组, 位于 $H_8$ 和 $H_9$ 岩段之间经交代蚀变作用形成的云母片岩岩组、第四系岩组, 此外还有岩脉分布。为便于进行边坡稳定性分析, 将工程地质条件、边坡几何形状和坡面倾向基本相同的地段划分为同一个区, 各区边坡可用单一的剖面 and 相同的计算参数来表征。按照该原则, 将该矿采场划分为6个边坡分区, 即A、B、C、D、E、F区。其中C区由云母片岩组成的边坡已发生了3处不稳定滑体, 已采取了锚杆、锚索等人工加固措施, 保证了边坡滑体的稳定性。但随着下方不断开采的爆破震动作用, 已加固

收稿日期: 2010- 09- 14

作者简介: 张飞(1959- ), 男, 内蒙古包头人, 教授, 硕士, 现主要从事岩石力学与工程、采矿工艺与技术、矿业技术经济方面的教学与研究工作。E-mail: 56267217@qq.com

的滑体再次出现严重的滑坡现象, 所以必须采取二次加固措施。现拟对出现滑体的边坡采取先削坡, 然后用锚索加固并结合注浆的加固措施。按照现有地质资料和滑体失稳变形的情况及以上措施, 笔者采用理正岩土分析软件 5.5 版及加拿大岩质边坡稳定性分析软件 SLIDE5.0 进行分析计算<sup>[2]</sup>, 来验证该措施是否有效, 为白云鄂博铁矿的安全生产提供决策依据。

1 C 区地形、岩性及地质构造条件

白云鄂博铁矿东矿边坡 C 区工程地质图如图 1 所示。C 区边坡走向呈弧形, 坡高为 378 m, 岩体主要由云母片岩构成, 为薄层状结构, 其间含有厚度不大的白云岩夹层。结构面主要有白云岩与云母片岩接触面断裂带, 产状变化较大, 总体产状倾向角为  $(210^{\circ} \sim 240^{\circ}) / (40^{\circ} \sim 75^{\circ})$ , 表现为挤压破碎带, 夹有厚度不均的白云岩透镜体, 破碎带宽度约为 0.6~5.0 m; F15 断层为逆断层, 产状倾向角为  $150^{\circ} / 86^{\circ}$ , 表现为挤压破碎带, 宽度为 0.5m; F16 断层为逆断层, 产状倾向角为  $165^{\circ} / 60^{\circ}$ , 表现为挤压破碎带, 宽度为 0.3 m; F17 断层为逆断层, 产状倾向角为  $71^{\circ} / 118^{\circ}$ , 表现为挤压破碎带, 宽度为 0.6 m; F91 断层为逆断层, 产状倾向角为  $245^{\circ} / 60^{\circ}$ , 在云母片岩中表现为挤压破碎带, 宽度为 1~2 m; F107 断层为逆断层, 产状倾向角为  $162^{\circ} / (50^{\circ} \sim 65^{\circ})$ , 断层泥化程度较高, 宽度为 1.5~3 m, 断层影响破碎带宽为 6~10 m。岩体中发育有云母片岩片理, 产状倾向角为  $(185^{\circ} \sim 200^{\circ}) / (55^{\circ} \sim 75^{\circ})$ , 由坡顶至坡底倾向角变化逐渐由陡变缓<sup>[3-4]</sup>。

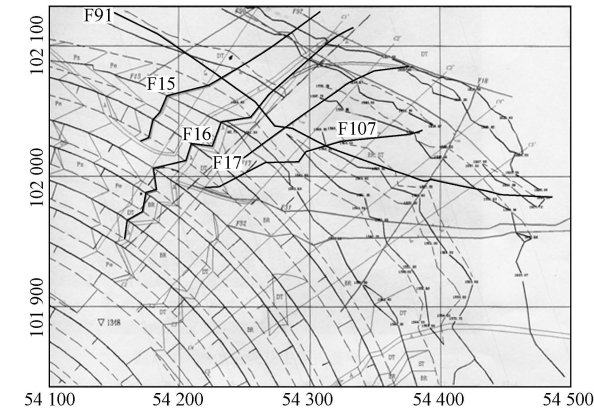


图 1 白云鄂博铁矿东矿边坡 C 区工程地质图

C 区目前发育有 3 个规模较大的滑体。1 号滑体位于 1 594 m 平台, 该滑体的出现使得下方生产台阶不能正常靠界并段。2 号滑体后缘位于 1 628 m 平台, 滑体高度为 84 m, 共涉及 1 544~

1 628 m 的 7 个台阶坡, 滑体总量达百万吨。随着采深的不断增加及受降水影响, 滑体蠕滑沉降不断扩大, 滑体表面台阶岩体受压开裂、松散坍塌的现象随处可见, 从坡面坍塌滚落的岩石堆满了 1 544 m 平台, 阻断了清扫平台通道。3 号滑体位于 1 488~1 544 m 台阶, 向西与 B 区 4 号滑体连为一体, 滑体后缘张裂缝位于 1 544 m 平台, 裂缝长度近百米, 受其影响, 1 516 m 台阶不能按设计靠界。随着下方台阶的不断生产, 受采场爆破震动及临空影响, 滑体滑移趋势将逐渐加大<sup>[5]</sup>。

2 C 区边坡稳定性计算与分析

2.1 岩体的力学参数选择

C 区边坡的岩体参数如表 1 所示<sup>[6]</sup>。

表 1 C 区边坡的岩体参数

岩体名称	类型	内聚力 C/MPa	容重/ (kN·m <sup>-3</sup> )	内摩擦角 Φ/(°)
云母片岩	岩体	0.158	25.7	33
白云岩	岩体	0.206	26.5	40
白云岩断层带	残余	0.077	26.5	34
云母片岩断层带	残余	0.040	25.7	32
云母片岩	不连续面	0.040	25.7	28
白云岩	不连续面	0.100	26.5	34

2.2 边坡稳定性分析计算

按照现有地质资料和滑体失稳变形情况, 采用理正岩土分析软件 5.5 版及加拿大岩质边坡稳定性分析软件 SLIDE5.0 进行分析计算。计算时设置参数: 云母片岩  $C = 0.040$  MPa、 $\Phi = 32^{\circ}$ , 注浆后云母片  $C = 0.090$  MPa、 $\Phi = 35^{\circ}$ , 白云岩  $C = 0.206$  MPa、 $\Phi = 40^{\circ}$ , 震动加速度为 0.05g, 锚索预应力为 1 800 kN。计算结果如表 2 所示。

表 2 边坡稳定性分析计算结果

计算工况	最小安全系数
采取措施前	0.428
削坡后	0.689
削坡后总体坡锚索加固	0.867
削坡后总体坡锚索加固结合注浆至 $C = 0.090$ MPa	1.186

3 结语

从分析计算结果可看出, 通过削坡减载、锚索加固、注浆提高岩体强度加固的方法, 可以使最危险滑面的安全系数得到提高明显, 最终达到 1.186, 符合设计边坡稳定安全系数(考虑地震)不小于 1.10 的

文章编号: 1671- 251X(2011)01- 0052- 03

# 超高压输电线地面电场的测量、计算及分析

付朝国, 孙岩洲

(河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003)

**摘要:** 利用电磁辐射分析仪 PM M 8053B 与工频电磁场探头 EHP- 50C 对某地区 500 kV 超高压输电线路的电场强度进行了实际测量; 应用等效电荷法对该地区空旷地带的电场强度进行了模拟计算。通过 Matlab 软件对比计算结果与实测结果后得出, 采用等效电荷法计算电场强度所得结果与实测数据基本一致; 建筑物中以及树林下的电场强度远小于空旷地带。

**关键词:** 超高压输电线; 电磁辐射; 电场强度; 等效电荷法

**中图分类号:** TD601

**文献标识码:** A

## Measurement, Calculation and Analysis of Ground Electric Field of Super High-voltage Transmission Line

FU Chao-guo, SUN Yan-zhou

(School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University,  
Jiaozuo 454003, China)

收稿日期: 2010- 09- 25

基金项目: 国家自然科学基金项目(50974053)

作者简介: 付朝国(1981- ), 男, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要研究方向为高压电磁兼容的应用。E-mail: guoqiang19841204@tom.com

要求<sup>[7]</sup>。可见, 采取这些措施进行岩体强度加固是有效的。在采取这些措施时要注意以下几点:

(1) 由于 C 区内云母片岩岩体质量较差, 岩石松散破碎, 已无必要对表层岩体进行加固治理, 所以采用滑体削坡减载的方法。削坡时要保证清扫平台的宽度, 必要时采取超前支护措施, 对于削坡后局部不稳定的坡段应采取加固措施。

(2) 坚持“边开挖, 边防护”的原则, 靠帮边坡形成后, 应及时采取加固措施; 对于大的清扫平台进行注浆加固。要加强边坡变形监测, 掌握边坡变形动态, 平时安排专人对边坡进行认真检查, 发现隐患必须及时处理, 确保施工安全。矿上必须安排人员对边坡上部打锚杆进行加固, 对边坡上有裂隙的地方必须采用水泥进行浇筑加固<sup>[8]</sup>。

(3) 爆破震动是影响边坡稳定性的主要因素, 应尽量减小生产采掘爆破对边坡岩体的扰动, 保留原岩的原始强度, 在靠界处采用预裂控制爆破方式。预裂爆孔间距为炮孔直径的 10 倍, 不耦合装药系数

为 2~ 4, 预裂孔超爆时差为 75 ms。

参考文献:

- [1] 孙玉科, 杨志法, 丁恩保, 等. 中国露天矿边坡稳定性研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999.
- [2] 瞿建萍, 朱令起, 张大伟, 等. 黑山铁矿露天采场边坡稳定性分析[J]. 矿业快报, 2008(8): 74-76.
- [3] 王发东, 刘治中. 弓长岭露天铁矿某段边坡变形破坏分析及预测[J]. 金属矿山, 2005(11): 17-19.
- [4] 蔡美峰, 何满潮, 刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 388.
- [5] WONG F S. Slope Reliability and Response Surface Method[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1995, 111(1): 32-53.
- [6] 祝玉学. 边坡可靠性分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 135.
- [7] HOEK E, BRAY J W. 岩石边坡工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983.
- [8] 李海蒙, 李军财, 蔡美峰, 等. 某矿山边坡滑坡分析及综合治理技术研究[J]. 中国矿业, 2006(6): 58-60.