

基于 Slide 的某露天矿边坡整治及其稳定分析

蒋权*

(中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410007)

摘要:为评价某露天矿南部边坡的安全性、确定科学合理的露天边坡参数,针对该边坡岩体工程地质特征、边坡布置情况及其破坏模式等,借助 Slide 二维边坡计算软件,选用瑞典圆弧法和简化 Bishop 法确定其边坡安全系数,判断边坡稳定性程度.考虑边坡失稳的主要影响因素,并结合该矿矿体赋存及开采条件,提出安全可靠又符合实际的边坡优化及日常管理维护方案.按照优化结果,南部边坡经整治加固后,既保证了安全生产又节省了剥离成本,达到了预期目标.研究表明,采用瑞典圆弧法和简化 Bishop 法计算得到的稳定性系数较为合理和可靠,对存在圆弧滑裂面的此类边坡有一定的适用性.

关键词:露天采场;边坡;稳定性分析;安全系数;边坡治理

中图分类号:TD854.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2017)01-0044-06

Slope Regulation and Stability Analysis of an Open-pit Mine Based on the Slide Software

JIANG Quan

(Zhangye Changtian International Engineering Co. Ltd., Changsha, 410007)

Abstract: In order to evaluate the safety of southern slope of an open-pit mine and determine the rational open-pit slope parameters, Sweden slipcircle method and simplified Bishop method are selected in view of the engineering geological characteristics, the slope layout and failure modes, etc. Then the slope safety factors are determined and the degree of slope stability is obtained, with Slide simulation software. In consideration of the main influential factors of slope instability and the occurrence of ore bodies and mining conditions, the reliable and practical slope optimization and daily management and maintenance scheme are proposed. According to the optimization results, the expected target is achieved with the stripping cost saved and mining safety guaranteed after reinforcement of the southern slope. The study shows both Sweden slipcircle method and simplified Bishop method are suitable for mines with circular slip surfaces and the safety factors obtained is reasonable and reliable.

Key words: open pit; slope; stability analysis; safety factor; slope protection

稳定性分析与评价是确定采场要素及参数的最有效方法,也是未来开采过程中加固或监测局部不稳定边坡的重要依据.换言之,边坡稳定性研究的主要目的就是为确定经济、合理的最终边坡角等台阶构成参数.如果边坡角过缓,能确保开采期间的边坡稳定,但要耗费大量的废石剥离费用.反之,虽可降低前期废石剥离及运输的费用,但后期边坡维护加固的费用必然增加.由此可见,边坡研究是一个复杂的系统工程,涉及到安全与成本、投资与效益等多因素的综合权衡^[1].

综观国内外研究文献,科学工作者主要从边坡失稳机理(边坡破坏模式)、边坡计算模型、边坡破坏/

收稿日期:2016-10-18

* 通信作者, E-mail: jians12@163.com

失稳的概率统计及安全可靠性分析等展开基础理论研究,并结合边坡监测手段,针对工程实际提出可靠的边坡加固方案.如杜俊^[2]结合工程岩体稳定性分析、边坡动力演化试验和数值分析方法对尖山磷矿层状边坡开挖的变形破坏机理与失稳模式开展深入研究,并提出相应的边坡稳定性控制对策.

随着科技的进步,对边坡破坏/失稳形成致因考虑更为全面,除考虑边坡本身上覆岩体开挖的影响外,还考虑地下水、地震、周围其他采矿活动(如露天转地下)的相互影响等,对完善边坡研究的理论体系及丰富工程实践经验具有重要的指导意义.如房智恒^[3]等人引入单元安全度概念,从整体和局部分析了弧状高陡边坡失稳情况,弥补了单纯采用有限差分强度折减法对边坡整体稳定做出评判,而忽视了局部失稳的可能性.

然而,由于具体工程条件的限制,影响边坡稳定的因素各不相同,对边坡研究方法的选取要兼顾科学与实用的原则.本文针对具体工程项目的边坡岩体工程地质特征、边坡布置情况及其破坏模式等,借助 Slide 二维边坡计算软件^[4],选用瑞典圆弧法和简化 Bishop 法^[5-7]确定其边坡安全系数,判断边坡稳定性程度,通过剖析边坡失稳的主要影响因素,并结合该矿床赋存及开采条件,提出安全可靠又符合实际的边坡优化及日常管理维护方案.

1 工程概况

某露天矿南部边坡大部分地段为土质边坡,仅西南端出露有岩质边坡(顺层边坡).组成边坡岩土体主要为人工填土、第四系残积土及全风化-强风化砂岩夹菱铁矿和褐铁矿(岩层产状为 $110^\circ \angle 25^\circ$),稳定性为一般-较差.露天采场南部边坡已形成5个台阶,台阶坡面角 $52^\circ \sim 65^\circ$,总体走向为北东-南西,台阶高度为12 m,总高度超过60 m,东北端已局部滑坡(见图1),台阶坡面因雨水冲刷均已发生不同规模的崩塌,局部坡段存在历史遗留的采空区及地面塌陷区.

边坡分布在出入沟东侧,坡脚规划有一条运岩道路,如果边坡出现失稳,将会对该矿安全生成造成极大的危害.该边坡高度超过60 m,坡度陡,局部地段已发生滑坡.根据勘察场地地质环境条件,结合边坡特点及有关规范,将本边坡工程安全等级划分为Ⅱ级.为了便于技术合理、安全经济地完成初步设计、施工图设计,以便安全高效地露天开采,矿方特委托我院及长沙矿山研究院开展露采边坡稳定性及最终边坡角研究.我院作为设计单位参与其中,主要工作内容涵盖2个方面:(1)根据长沙矿山研究院编制的露天边坡结构参数优化研究报告中提出的合理边坡角调整边坡设计参数;(2)针对调整的边坡典型剖面采用极限平衡法进行边坡安全系数的计算,检验调整边坡的稳定性,对存在潜在滑动面的边坡进一步提出治理措施,使其边坡安全系数满足规范要求,最终确定出技术合理、经济可行的最终边坡角等台阶参数.

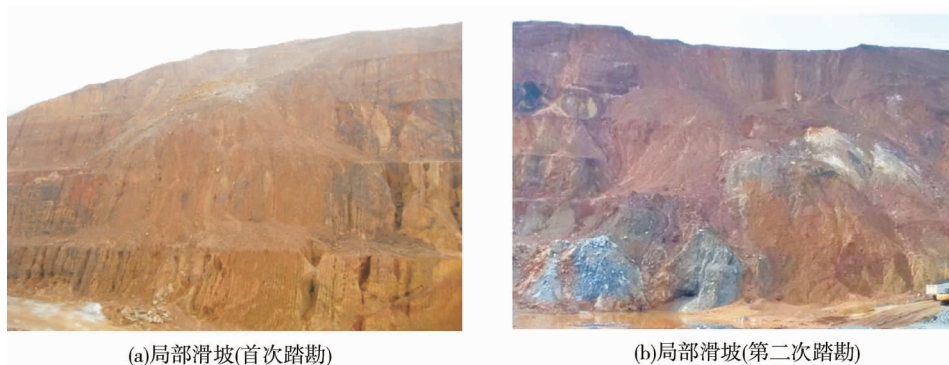


图1 某露天矿南部边坡现状

2 边坡稳定性计算分析

2.1 计算剖面与参数选取

露天矿边坡稳定性受到诸多因素的影响,包括工程地质、水文地质条件,岩体结构和构造,断层、节理

的发育情况及其空间组合,边坡所处的应力环境条件等,只有掌握准确而丰富的地质及应力环境基础资料,才能保证边坡稳定性分析结果的可靠性.这些资料必须通过现场工程地质钻孔取芯及现场取样,并开展系统的室内岩石力学参数测试及必要的折减修正后方可获得^[8].

本次边坡分析以长沙矿山研究院提供的露天边坡结构参数优化研究报告中的力学参数为依据,选取的岩体介质力学参数如表1所示.

结合相关资料,对该露天矿南部边坡7处剖面进行稳定性分析计算,分别为1[#],2[#],3[#],4[#],5[#],7[#],9[#],具体位置如图2所示.

表1 岩体介质的力学参数

岩性	容重/(kN/m ³)	粘结力/kPa	内摩擦角/(°)
强风化次英安斑岩	28.20	213	26
中风化次英安斑岩	32.93	301	31
微风化次英安斑岩	29.29	337	34
强风化灰岩	29.97	310	28
中风化灰岩	29.15	397	32
微风化灰岩	29.33	450	36
凝灰岩	26.15	194	21
粉质粘土	18.80	50	22
素填土	18.80	50	22

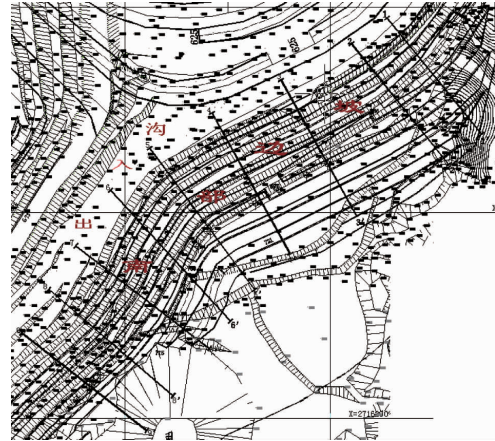


图2 计算剖面线位置

2.2 边坡稳定性判据

根据 GB51016-2014《非煤露天矿边坡工程技术规范》,不同荷载组合下总体边坡的设计安全系数如下表2.

表2 不同荷载组合下总体边坡的设计安全系数

边坡工程安全等级	荷载组合 I	荷载组合 II	荷载组合 III
I	1.25~1.20	1.23~1.18	1.20~1.15
II	1.20~1.15	1.18~1.13	1.15~1.10
III	1.15~1.10	1.13~1.08	1.10~1.05

注:1.荷载组合 I 为自重+地下水;荷载组合 II 为自重+地下水+爆破振动力;荷载组合 III 为自重+地下水+地震力.

经分析,该露天矿南部边坡的危害等级确定为 II 级,边坡高度小于 300 m,安全等级定为 II 级.因此,本项目按表 2 中安全等级 II 选取安全系数.

2.3 边坡现状研究与评价

某露天矿南部边坡为碎裂岩体和散体介质边坡,结合现场局部滑坡体形态,判定其破坏模式主要为圆弧形破坏,故本研究采用瑞典圆弧法和简化 Bishop 法,按 3 种不同荷载组合(荷载组合 I 为自重+地下水、荷载组合 II 为自重+地下水+爆破振动力、荷载组合 III 为自重+地下水+地震力)进行边坡稳定性计算.

现场调查及工程勘查表明,边坡岩体中无稳定地下水位,岩体裂隙水均通过井下采空区及巷道排出.爆破震动爆破震动影响系数根据长沙矿山研究院提供的露天边坡结构参数优化研究报告取 0.031.地震力根据 2001 年 8 月 1 日实施的中华人民共和国国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001),该矿区抗震设防烈度为 6 度区,地震动反应谱特征周期为 0.35 s;地震动峰值加速度分区为 0.05 g,3 种工况下原始边坡稳定性计算结果见表 3.

对比表 2 可知,原始边坡安全系数均偏小,未达到规范要求的安全标准,产生边坡滑坡事故是必然的.实际生产过程中,边坡 3[#]剖面线附近边坡已发生局部滑坡(见图 1),故安监部门要求对该矿南部边坡进行治理以提高其稳定性.

表 3 各工况条件下原始边坡稳定性计算结果

剖面编号	最终边坡角/(°)	瑞典圆弧法			简化 Bishop 法		
		工况一	工况二	工况三	工况一	工况二	工况三
1 [#]	38	1.102	1.040	1.005	1.156	1.090	1.053
2 [#]	39	1.056	0.998	0.965	1.094	1.035	1.001
3 [#]	45	0.904	0.861	0.835	0.925	0.881	0.855
4 [#]	40	1.073	1.018	0.986	1.157	1.080	1.048
5 [#]	41	1.188	1.126	1.090	1.213	1.150	1.114
7 [#]	44	1.118	1.063	1.031	1.147	1.092	1.060
9 [#]	42	1.103	1.057	1.020	1.145	1.093	1.062

注:工况一的荷载组合为自重+地下水;工况二的荷载组合为自重+地下水+爆破振动力;工况三的荷载组合为自重+地下水+地震力。

2.4 边坡整治及其稳定性验算

为解决原始边坡存在的稳定性问题,设计主要采用削坡减载的方法对边坡进行整治^[9]。本次治理方案分 2 步骤实施,第一步即对南部边坡台阶组成进行调整,采用 2 个台阶为一组,安全平台为 6 m,清扫平台为 11 m。风化岩石段台阶坡面角为 53°,土质边坡台阶坡面角为 45°。将边坡角调整到 31°~37°。

经初次调整后,设计的边坡稳定性良好,基本满足规定的安全系数限值要求,但在靠近 2[#],3[#]线附近边坡实施爆破作业时,需采取相应的控制爆破技术等措施,减小爆破对边坡稳定性的影响。

经对比可知,剖面 5[#],7[#],9[#]安全系数有富余,说明此处边坡尚有加陡的潜力。结合现场实际,针对南部边坡 5[#],7[#],9[#]剖面线附近边坡参数进行二次调整如下:

- 1) 保留 697 m 水平清扫平台,取消位于较为稳定岩石段的 673 m 水平清扫平台。
- 2) 安全平台宽度由 6 m 调整为 5 m,清扫平台由 11 m 调整为 10 m。
- 3) 岩石段台阶坡面角保持原有角度,粉质粘土调整为 53°,素填土调整为 45°。

经上述调整后,对其进行了 3 种工况下的边坡稳定分析。因篇幅有限,本文仅给出符合本项目边坡所处工程地质环境最复杂工况(考虑自重、地下水、爆破振动力)条件下,剖面 5[#]~9[#]的稳定分析计算结果图,如图 3~图 5 所示。其他有关各剖面设计边坡安全系数的计算结果见表 4。

由表 4 可知,5[#],7[#],9[#]剖面线附近的边坡坡度适当加大后,其安全系数降低,但仍大于规范规定的安全阈值。经估算,2 次调整的结果对比,后者可减少剥离量 92 256 m³。显然,设计提出的边坡整治方案,既保证了边坡的稳定性又节省了治理费用,实现了双赢的目标。由稳定性计算结果可知,研究区域的边坡安全系数储备相对有限,故建议矿山在日常边坡维护时采取以下措施:(1)临近边坡控制爆破;(2)修筑地面排水沟,拦截地表水,防止雨水冲刷坡面;(3)在局部岩石风化、结构面发育等稳定性差的地段打锚索或抗滑桩等加固与植被护坡;(4)严禁坡脚超挖;(5)加强边坡巡视与监测。

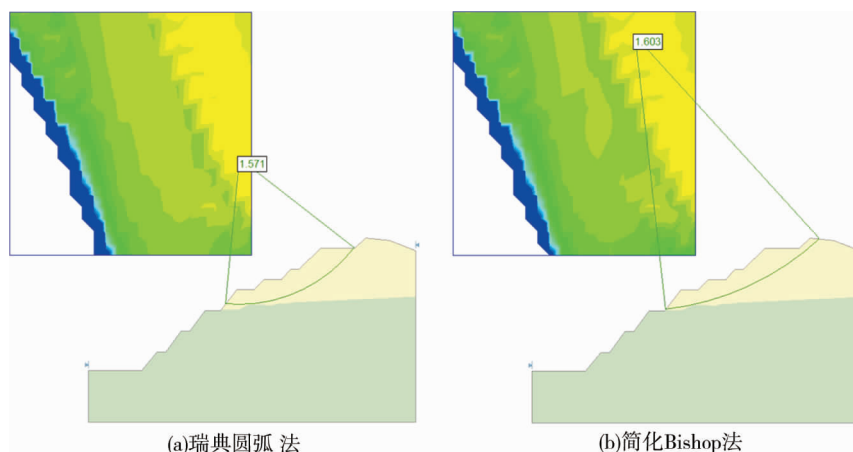


图 3 剖面线 5[#]设计边坡稳定分析计算结果图

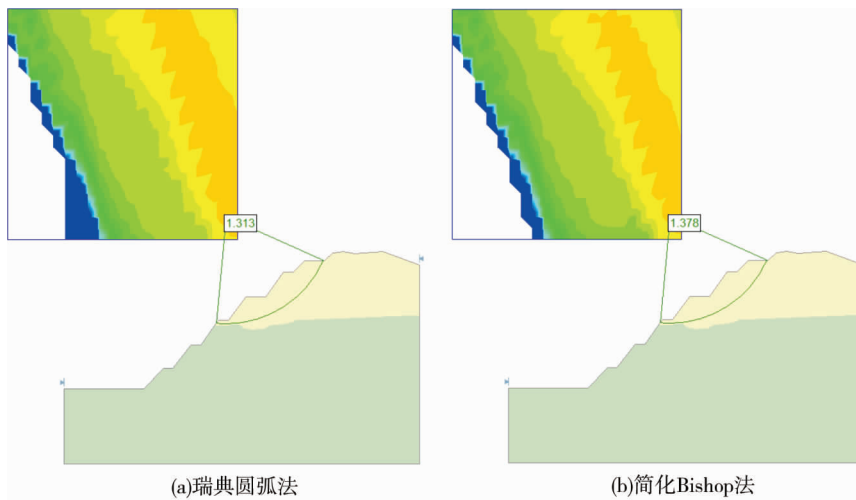
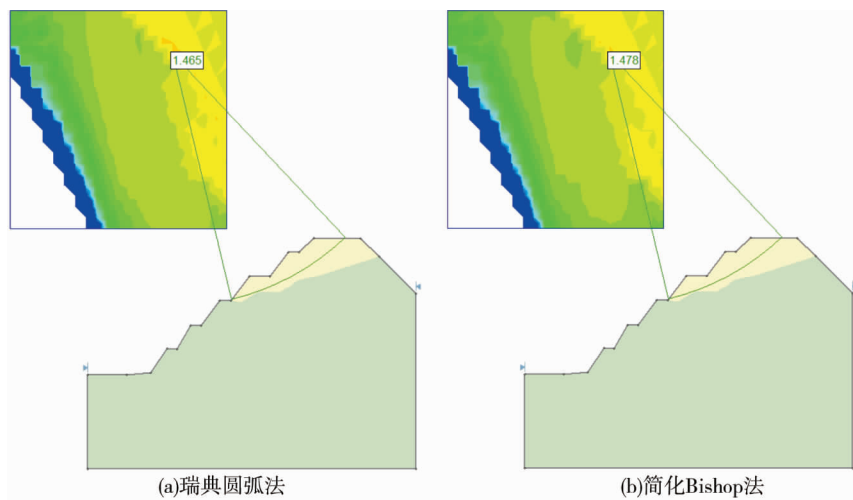
图4 剖面线7[#]设计边坡稳定分析计算结果图图5 剖面线9[#]设计边坡稳定分析计算结果图

表4 各工况条件下设计边坡稳定性计算结果

剖面编号	瑞典圆弧法			简化 Bishop 法		
	工况一	工况二	工况三	工况一	工况二	工况三
5 [#]	1.691	1.571	1.503	1.727	1.603	1.532
7 [#]	1.388	1.313	1.270	1.455	1.378	1.330
9 [#]	1.559	1.465	1.412	1.572	1.478	1.425

注:工况一的荷载组合为自重+地下水;工况二的荷载组合为自重+地下水+爆破振动力;工况三的荷载组合为自重+地下水+地震力。

3 结论

1) 通过计算得到原始边坡的稳定性系数,对比 GB51016-2014《非煤露天矿边坡工程技术规范》不同荷载组合下总体边坡的设计安全系数,原始边坡安全系数均偏小,未达到规范规定的安全标准。

2) 采用瑞典圆弧法和简化 Bishop 法计算得到的稳定性系数较为合理和可靠,对存在圆弧滑裂面的此类边坡有一定的适用性。

3) 经设计 2 次修改原始边坡参数后,边坡的稳定性程度提高.初次调整设计边坡后,其安全系数尚可

满足稳定要求,但局部边坡需采取保护性开采方案.

4)初调后剖面 5[#],7[#],9[#]安全系数有富余,设计上可对边坡再行加陡.结合现场实际,进行如下调整:

(1)保留 697 m 水平清扫平台,取消位于较为稳定的岩石段 673 m 水平清扫平台.(2)安全平台宽度由 6 m 调整为 5 m,清扫平台由 11 m 调整为 10 m.(3)岩石段台阶坡面角保持原有角度,粉质粘土调整为 53°,素填土调整为 45°.调整后的边坡安全系数虽有所降低,但仍在安全范围内,且减少剥离量 92 256 m³,经济效益明显改善.

参考文献:

- [1] Hoek E, Bray J W. 岩石边坡工程[M]. 卢世宗,译.北京:冶金工业出版社,1983.
- [2] 杜俊.尖山磷矿层状边坡变形失稳模式研究[D].昆明:昆明理工大学,2014.
- [3] 房智恒,王李管,蒋权,等.高陡边坡整体与局部失稳的强度折减及安全度判别分析[J].重庆大学学报,2015,38(6): 8-14.
- [4] 倪彬,张伟,刘晓明.基于 Slide 的露天采场边坡稳定性分析[J].中国矿山工程,2013,42(6):28-31.
- [5] 彭振斌,李俊,彭文祥.基于 Bishop 条分法的边坡可靠度应用研究[J].中南大学学报(自然科学版),2010,41(2): 668-672.
- [6] 高玉峰,范昭平,吴勇信.基于 Bishop 条分法的多点多向地震动作用下边坡稳定性分析[J].防灾减灾工程学报,2010,30(2):117-122.
- [7] 曾维国,车兆学,李旭,等.基于 Bishop 法的露天矿边坡稳定分析与实现[J].采矿与安全工程学报,2012,29(2): 265-288.
- [8] 杨泽.云南某露天矿东采区边坡岩体力学参数取值研究[D].昆明:昆明理工大学,2010.
- [9] 王恭先.滑坡防治方案的选择与优化[J].岩石力学与工程学报,2006,25(B2):3867-3873.