

Bishop法在露天煤矿边坡角确定中的 实践与应用

周连春

西昌学院土木与水利工程学院, 四川 西昌

收稿日期: 2023年12月23日; 录用日期: 2024年1月24日; 发布日期: 2024年1月31日

摘要

针对伊泰伊犁矿业有限公司阿尔玛勒煤矿边坡角确定的技术难题, 采用了Bishop法来确定露天煤矿边坡角的新方法, 并阐述了采用Bishop法来确定露天煤矿边坡角新方法的使用条件和使用注意事项, 在伊泰伊犁矿业有限公司阿尔玛勒煤矿进行了应用研究, 收到了良好应用效果, 节约了成本, 保证了阿尔玛勒煤矿安全、高效地生产, 具有很广泛的应用价值。

关键词

Bishop法, 露天煤矿边坡角确定, 实践, 应用

Practice and Application of Bishop Method in Determining Slope Angle of Open-Pit Coal Mines

Lianchun Zhou

School of Civil and Hydraulic Engineering, Xichang University, Xichang Sichuan

Received: Dec. 23rd, 2023; accepted: Jan. 24th, 2024; published: Jan. 31st, 2024

Abstract

In response to the technical difficulties in determining the slope angle of Almale Coal Mine in Yitai Yili Mining Co., Ltd., a new method called Bishop method was adopted to determine the slope angle of open-pit coal mines. The usage conditions and precautions of the new method using Bishop method to determine the slope angle of open-pit coal mines were explained. The application research was conducted in Almale Coal Mine in Yitai Yili Mining Co., Ltd., and good application results were

achieved, saving costs. It ensures the safe and efficient production of Almale Coal Mine and has a wide range of application value.

Keywords

Bishop Method, Determination of Slope Angle in Open-Pit Coal Mines, Practice, Application

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国的露天煤矿的开采过程中边坡的控制是安全生产的重要环节,边坡稳定性分析与控制是露天煤矿开采领域研究的关键问题之一[1]。如何针对不同露天煤矿特有的工程及地质特征,提出合理的边坡角设计及稳定性控制方案,确保露天煤矿实现高效、安全及持续生产,是采矿工程学科技术人员亟待解决的关键问题[2]。迄今为止,在边坡稳定性分析中,刚体极限平衡法以其概念清晰、计算简单、工程资料丰富应用最为广泛[3]。常用的刚体极限平衡分析方法有:瑞典圆弧法、瑞典条分法、Bishop法、Janbu法、Morgenstern-Price法、Spencer法、Sarma法、剩余推力法、通用条分法、楔形体法、Newmark法和美国陆军工程师团法[1]。其中,Bishop法亦属于极限平衡法,是分法的一种。它亦是將土体分成许多竖向土条,作用于每个土条上的力可由土条的极限平衡条件求出,然后把作用在全部土条上的诸力求和,就可以确定整个土体的平衡。Bishop法适合于圆弧滑动,而剩余推力法适合于任意曲面滑动[4]。针对露天煤矿边坡工程地质条件,本论文采用了Bishop法进行了边坡角的确定和分析,收到了良好的应用效果。

2. 矿井概况

伊泰伊犁矿业有限公司阿尔玛勒煤矿位于伊南煤田东段、坎乡南部,距伊宁市60 km,距察布查尔县城55 km,行政区划隶属新疆察布查尔锡伯自治县东北部坎乡管辖。内蒙古伊泰集团拥有大中型生产矿井11座,总生产能力超过5000万吨/年,生产的煤炭具有低灰、特低硫、特低磷、高热值等优点。矿井采区回采率为80%以上,采掘机械化程度达到100%。1200万吨/年的酸刺沟煤矿是我国第一座超千万吨的地方煤矿;1500万吨/年的红庆河煤矿是我国目前规模最大的立井开采矿井。公司投入运营的选煤厂有8座,全部采用先进的重介洗选工艺,总洗选能力超过5000万吨/年,其中,准格尔召与酸刺沟选煤厂现已建成煤泥干燥系统,单套设备处理湿基煤泥99万吨/年。阿尔玛勒煤矿矿田范围内查明保有煤炭资源总量(探明+控制+推断)210,051万吨,其中:探明资源量82,639万吨,控制资源量51,481万吨,推断资源量75,931万吨。探明资源量占总资源量的39.34%,探明+控制类资源量占总资源量的63.85%。另估算了不可采煤层相对集中分布的可采范围资源总量(推断)5139万吨。适合露天开采的煤炭资源总量(探明+控制+推断)130,554万吨,其中:探明资源量55,070万吨,控制资源量25,150万吨,推断资源量50,334万吨。探明资源量占总资源量的42.18%,探明+控制类资源量占总资源量的61.45%。资源量可靠;煤种基本以不粘煤为主,零星长焰煤,是优质的火力发电和煤化工用煤,也可做工业锅炉用煤及民用煤。本矿可采原煤量814.51 Mt,按设计规模4.50 Mt/a、储量备用系数1.15计算,设计服务年限157.39 a。首采区可采原煤量117.58 Mt,储量备用系数1.1,年生产能力4.50 Mt,服务年限23.75 a。

3. 存在的问题

正常情况下,大型露天煤矿边坡角每增加 1° ,可减少剥岩量几千万吨,节省投资2000万~3000万元人民币[5]。但是,露天煤矿边坡角如果设计的过陡,将产生边坡破坏。加强露天矿边坡稳定性问题研究,合理地确定边坡角是露天矿工程中的一项重要任务[6]。露天开采人为地塑造了边坡,随着开挖深度的加大,边坡的规模也不断扩大,即严重地破坏了地应力的自然平衡,又导致了人工边坡的变形、破坏和滑移,给人民群众的生命财产安全造成了巨大的损失[7]。例如2023年2月22日13时12分,内蒙古自治区阿拉善盟孛井滩生态移民示范区内蒙古新井煤业有限公司露天煤矿发生特别重大坍塌事故,造成53人死亡、6人受伤,直接经济损失20430.25万元。如果正确地选择露天煤矿的边坡角已经成为确保露天煤矿安全高效生产的关键问题,本论文正是针对这个问题展开了技术研究,收到了良好的应用效果。

4. Bishop 法在露天煤矿边坡角确定中的实践与应用

4.1. 计算方法

(1) 滑坡模式

采掘场边坡地层主要由粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥岩和煤等组成的混合型边坡,总的来说,组成边坡的岩石主要为软质岩石。

采掘场南部边坡倾向与地层倾向一致,地层倾角较大。根据边坡勘探报告资料,这类滑坡滑面由倾向与坡向近似相同的潜在滑面和侧向切割面组成,上部滑面陡,下部滑面缓。切割后的岩土体在自重的作用下压缩软弱夹层,导致软弱夹层产生固结、下沉,潜在滑体切割软弱层之下的岩土体且滑体后缘面出现穿层拉裂,当遇到岩土下伏的另外软弱层时,滑体就可能沿该层面产生滑动。推测滑坡模式主要为,局部滑坡模式为顺层-滑移型圆弧滑动型。采掘场东部、西部边坡走向与地层走向一致,组成边坡的岩石主要为软质岩石,可能的滑坡模式为圆弧滑动。

(2) 计算方法

根据地质报告,本矿地层内含水量较小,富水性极弱,地下水具微承压性。本次计算未考虑来自此地层内潜水对滑坡体产生的水力推压力矩和水力浮托力。计算方法选用简化 Bishop 法。

简化 Bishop 法是计算单一圆弧型破坏(图 1)最为常用和有效的方法。数学模型如下:

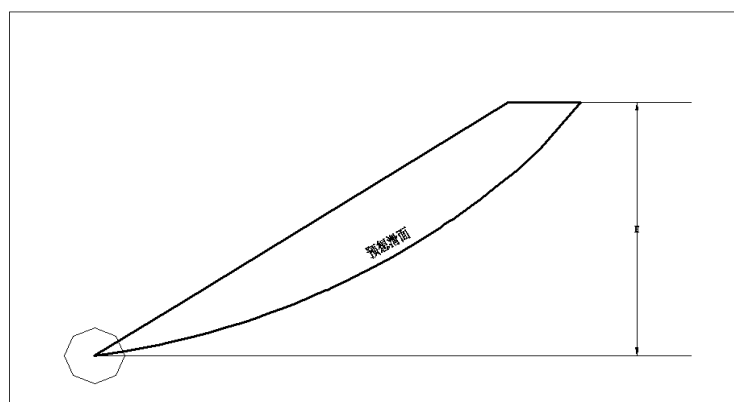


Figure 1. Schematic diagram of circular arc failure

图 1. 圆弧型破坏示意图

$$F = \frac{\sum X/(1+Y/F)}{\sum Z+Q}$$

$$\begin{aligned} \text{式中: } X &= [C_i + (rh_i - r_w h_{wi}) \operatorname{tg} \phi_i] \Delta X_i / \cos \alpha_i \\ Y &= \operatorname{tg} \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \phi_i \\ Z &= rh_i \Delta X_i \cdot \sin \alpha_i \\ Q &= \frac{1}{2} r_w \cdot Z^2 \cdot a / R \end{aligned}$$

必须满足条件:

$$\begin{aligned} (1) \quad \sigma' &= \frac{rh_i - r_w \cdot h_{wi} - c' \operatorname{tg} \alpha_i / F}{1 + Y/F} \rangle 0 \\ (2) \quad (1 + Y/F) \cos \alpha_i &\rangle 0.2 \end{aligned}$$

式中:

F ——稳定系数;

C_i ——瞬时粘结力;

r ——岩石容重;

h_i ——条块高度;

r_w ——水容重;

h_{wi} ——水位高;

ϕ_i ——瞬时内摩擦角;

ΔX_i ——条块宽度;

α_i ——条块底面倾角;

Q ——张裂隙水的水平作用力;

σ' ——有效正压力。

(3) 求最危险滑落面方法

求最危险滑落面,也是求稳定系数最小值,其方法是连续变换张裂缝的位置和变换圆心(即圆弧半径),求出一系列滑落面及相应的稳定系数,从中找出接近最小值的某种规律,从而“接近最小值”,便以此定为该剖面(对应边坡体高度和边坡角)的稳定系数。

4.2. 采掘场边坡地层抗剪强度有关指标的选取

(1) 岩块物理力学指标选取

边坡稳定性分析计算中有关岩石物理力学指标是根据地质报告提供的数据及边坡稳定分析报告综合确定的。岩石物理力学性质指标见表1。

Table 1. Table of strength of different rock masses
表 1. 不同岩体强度表

岩性	容重	粘聚力	内摩擦角
	g/cm^3	Mpa	(°)
第四系	1.91	0.11	19.8
粗砂岩	2.26	0.67	33.60
中砂岩	2.52	0.65	35.55
含砾砂岩	2.35	0.59	29.50
粉砂岩	2.24	0.61	28.03

续表

煤	1.32	0.21	31.67
砂砾岩	2.15	0.56	28.95
排弃物料	2.10	0.15	24.2

4.3. 边坡安全储备系数的确定

安全储备系数或者说稳定系数是边坡稳定分析计算中的一个定量参数，它直接关系到设计边坡的经济性与安全性。

《煤炭工业露天矿设计规范》6.0.8 条明确规定了边坡稳定性安全系数 F_s 的选用范围如表 2 所示。

Table 2. Selection of slope safety factors F_s

表 2. 边坡安全系数 F_s 选用表

边坡类型	服务年限(a)	安全系数 F_s
边坡上有特别重要建筑物或边坡滑落会造成生命财产重大损失者	>20	>1.5
采掘场最终边坡	>20	1.3~1.5
非工作帮边坡	<10	1.1~1.2
	10~20	1.2~1.3
	>20	1.3~1.5
工作帮边坡	临时	1.05~1.2
外排土场边坡	>20	1.2~1.5
内排土场边坡	<10	1.2
	≥10	1.3

根据排土计划及本矿内外排发展空间顺序，开采初期煤层倾角较陡(15°左右)，剥离物大部分需要进行外排，当随着开采时序降深至 5 煤底板后煤层倾角逐渐变缓，可以局部进行内排，当降深至 6 煤底板后随着工作帮向北推进，能够实现完全内排。根据矿山工程时序的发展，达产年可以实现部分内排，达产第 5 年末可以实现完全内排，因此本矿端帮、非工作帮暴露时间均小于 10 年。综上所述边坡安全系数 F_s 确定为非工作帮 1.2，采掘场最终边坡 1.3，内排土场为 1.3、外排土场边坡为 1.5。

4.4. 计算剖面的选取

Table 3. Summary table of using previous engineering geological data for each engineering geological section model

表 3. 各工程地质断面模型利用以往工程地质资料汇总表

序号	工程地质断面编号	断面位置	利用钻孔编号	备注
1	11 勘探线剖面	设计南帮	ZK1100、ZKF1101	利用已有勘探钻孔
2	7 勘探线剖面	设计北帮	ZK713、ZK712	利用已有勘探钻孔
3	地质模型建模	设计西帮	ZK6001、ZK9409	利用已有勘探钻孔
4	地质模型建模	设计东帮	ZK9534、ZK904	利用已有勘探钻孔
5	H9 勘探线剖面	最大开采高度边坡	ZK509、ZK708	利用已有勘探钻孔

根据《伊宁矿区中小型煤矿整合区伊泰伊犁矿业有限公司煤矿(露天)勘探报告》中提供的工程地质资料为基础,见表3所示,选取了4条工程地质剖面作为本次首采区边坡稳定性计算对象,分别为P1、P2、P3、P4剖面,各个剖面均利用勘探报告钻孔资料。计算采用了迭代法进行反复迭代进行,利用MATLAB软件进行计算得到。其中P1、P2剖面位置利用勘探线11剖面,用于计算南帮非工作帮以及北帮最终帮边坡稳定性。P3、P4剖面为利用钻孔数据进行工程地质建模。用于计算东帮、西帮端帮边坡稳定性。工作帮按采矿计划不断推进更新,形成的临时边坡服务时间很短,加之工作帮边坡倾向与岩层倾向相反,有利于边坡稳定,故本次工作不对工作帮进行研究,未选取工程地质剖面。

4.5. 最终边坡角的确定

(1) 南帮边坡(非工作帮)

南帮边坡为非工作帮边坡,当露天煤矿南帮最终帮坡角在 33° 时,边坡稳定系数为1.209,计算结果见图2所示。

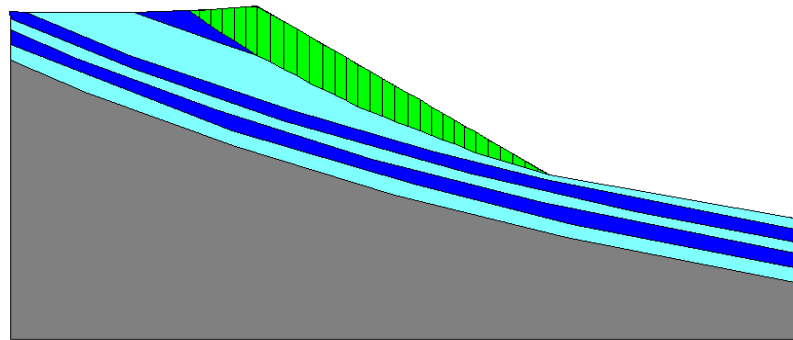


Figure 2. Stability calculation results of the southern slope
图2. 南帮边坡稳定性计算结果

(2) 北帮边坡(最终帮)

北帮边坡为工作帮边坡,当露天煤矿北帮最终帮坡角在 30° 时,边坡稳定系数为1.31,计算结果见图3所示。

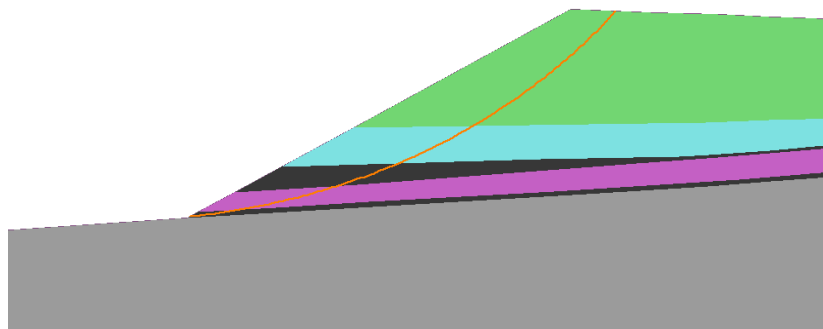


Figure 3. Stability calculation results of the northern slope
图3. 北帮边坡稳定性计算结果

(3) 西帮边坡(端帮)

西帮为端帮边坡,当西帮最终帮坡角在 33° 时,边坡稳定系数为1.221,计算结果见图4所示。

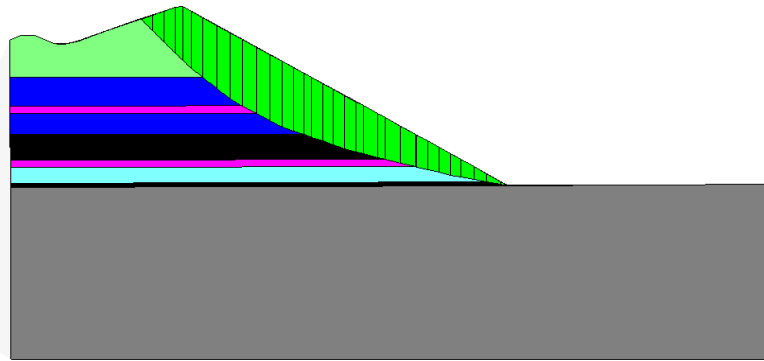


Figure 4. Stability calculation results of the western slope
图 4. 西帮边坡稳定性计算结果

(4) 东帮边坡(端帮)

东帮为端帮边坡，当东帮最终帮坡角在 33° 时，边坡稳定系数为 1.217，计算结果见图 5。

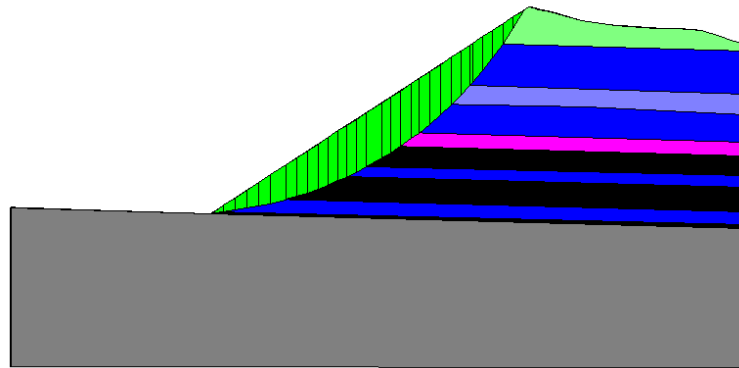


Figure 5. Stability calculation results of dongbang slope
图 5. 东帮边坡稳定性计算结果

根据计算，采场边坡最大采深时，边坡角度 33° ，边坡稳定系数为 1.201，计算结果见图 6。

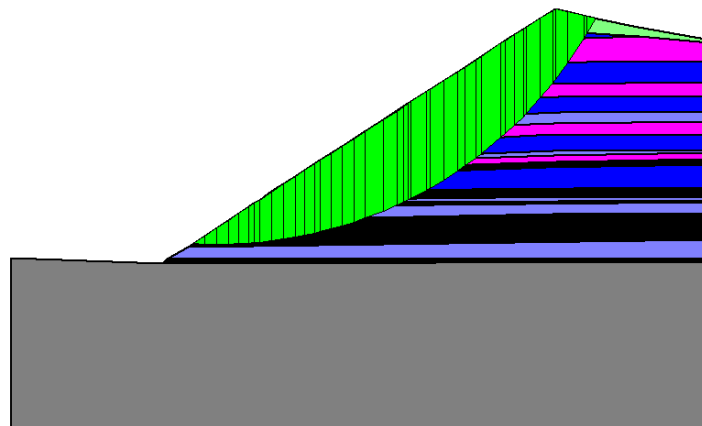


Figure 6. Calculation results of slope stability at maximum mining height
图 6. 最大开采高度时边坡稳定性计算结果

采掘场最终边坡角确定见表 4。

Table 4. Final slope angle
表 4. 最终边坡角

露天采场边坡	最终边坡角
南帮	33°
北帮	30°
西帮	33°
东帮	33°
最大开采高度	33°

本矿的最终边坡角在可研阶段已经进行了比较和确定，此次确定的边坡角《边坡稳定性评价报告》中边坡角一致，露天煤矿的边坡可以保持基本稳定，确保了矿井的安全高效地生产。

5. 结语

(1) 运用 Bishop 法来确定露天煤矿的边坡角对于煤矿安全生产具有非常重要的理论和现实指导意义；

(2) 煤矿在生产中应加强工程地质勘探工作，探明影响露天煤矿边坡稳定的软弱层的分布状态及其物理力学性质，以便作进一步分析研究，随时修正边坡角，使得边坡设计更加符合实际；

(3) 水作用下的边坡破坏机制复杂，掌握其力学特性是制定合理且完备的疏干排水方案的前提。矿田内煤层顶底板岩石力学强度低，稳固性差，岩石遇水极易软化，在开采过程中应在根据实际情况增加水文地质勘察工作并采取有效的防治水措施，防止水对边坡稳定性的影响。

参考文献

- [1] 侯永莉, 于丹, 陈殿强. 海州露天煤矿边坡稳定性分析及治理设计[J]. 矿产勘查, 2009(7): 17-20.
- [2] 韩占占. 哈尔乌素露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 露天采矿技术, 2013(9): 24-27.
- [3] 刘华强. 露天煤矿边坡稳定性分析及治理措施[J]. 煤炭技术, 2011(8): 42-45.
- [4] 张玉海. 关于露天煤矿边坡稳定性分析及治理设计[J]. 科技创新与应用, 2012(7): 37-39.
- [5] 郝全明. 某露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 煤炭技术, 2015(1): 83-85.
- [6] 常贵平. 老君庙露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 现代矿业, 2018(5): 131-132.
- [7] 张宏刚. 多年冻土区木里露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 山西建筑, 2014(3): 54-58.