

Analysis and Preventive Measures of Stereographic Projection of Stratified Rock Slope

Yan Wang, Duoxi Yao, Haifeng Lu, Zheng Jiang

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui
Email: 2419668737@qq.com

Received: Sep. 8th, 2017; accepted: Sep. 23rd, 2017; published: Oct. 9th, 2017

Abstract

Taking Guangde County Xindu opencast mine as an example, stability analysis of slope based on red flat projection method has been made, and feasible protective measures according to the actual engineering slope have been put forward to solve the problem of qualitative analysis of slope stability engineering project. In this paper, based on the principle of stereographic projection, the slope stability was analyzed by Lizheng software drawing stereographic projection. It is concluded that the III slope level and the combination of 1 dominant discontinuities has the possibility of occurrence of wedge sliding instability, the possibility of wedge structure mainly through the remaining districts consisting of sliding surface of slope is small. According to the structural characteristics of rock mass, the failure mode can be broken by arc failure. Some protection measures such as drainage, anchorage and side slope detection are put forward.

Keywords

Rock Slope, Stereographic Projection, Structural Plane, Slope Stability

层状岩质边坡稳定性赤平投影法分析及防治措施

王 妍, 姚多喜, 鲁海峰, 蒋 正

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南
Email: 2419668737@qq.com

收稿日期: 2017年9月8日; 录用日期: 2017年9月23日; 发布日期: 2017年10月9日

摘要

以广德县新都露天矿为实例, 基于赤平投影的方法对边坡进行稳定性分析, 解决实际工程项目边坡定性稳定分析的问题并提出防护措施建议。文中利用赤平投影的原理, 通过理正软件绘画出赤平投影图进行边坡稳定性分析。得出III区边坡层面和优势结构面1的组合有发生楔体滑动失稳的可能性, 采场其余各区边坡主要结构面组成的楔体发生滑动的可能性小, 并根据岩体结构特征分析其破坏模式可为圆弧形破坏, 提出了排水、锚固、边坡检测等后期的防护措施。

关键词

岩质边坡, 赤平投影, 结构面, 边坡稳定

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

岩质边坡的稳定性是由多种因素共同决定的, 例如结构面的物理力学性质, 或者是结构面的空间位置等因素都会对其稳定性造成影响。主要的地质灾害有崩塌、泥石流、滑坡、塌陷等危害, 目前国内外针对这些边坡灾害总结了一些常用的防治技术, 如填土反压、坡面防护、削坡减载、抗滑桩以及锚杆、排水、支挡结构等防护方法, 但是现实当中的边坡防护工程比较复杂, 一般情况下都是采用一种或者同时采用几种防护措施来解决工程灾害问题, 对边坡进行系统的防护。另外在一些国外的发达国家, 通过GIS检测边坡灾害方面的应用方法越来越普遍。经过大量的工程实例, 可以总结出边坡稳定分析的方法有: 定性与定量分析方法[1] [2], 自然历史分析法、图解法[3] [4] [5]、边坡稳定性分析数据库和专家系统[6]等属于定性分析, 但根据本文的工程特征, 决定选用更加直观的极射赤平投影的定性分析方法来分析边坡的稳定性。

2. 极射赤平投影原理

极射赤平投影是把物体三维空间的重要要素投射到平面上进行研究的一种方法, 通过分析线、面方向, 相互之间的角距关系以及运动轨迹来研究物体特征, 从而达到定性结论的目的。它可以直观地表示在表面的所有组和工程岩体开挖工程结构之间的空间组合关系、结构工程岩体稳定性分析[7]。赤平投影图像的定量图解广泛应用于天文、航海、测绘、地理、地质科学等领域, 但在结构面间距、延性、结构面性质和发展史等方面都难以考虑, 因此, 用这种方法分析边坡的破坏模式有时会得出与实际情况不一致的结论[8]。

2.1. 平面投影

将无限延伸并过球心的平面与球面相交成一个大圆, 根据其特征可以分为直立大圆、平行大圆、倾斜大圆, 大圆上的各点和极射点(P)的连线必会穿过赤平面, 在赤平面上的这些切入点的连线, 即为该大圆的极射赤平投影。如图1, 直立大圆SPNS投影成NS直径; 水平大圆的WNES投影成基圆本身, 倾斜大圆ANBS的投影成大圆弧SBN (SAN半圆的投影是在基圆之外的赤平面上)。

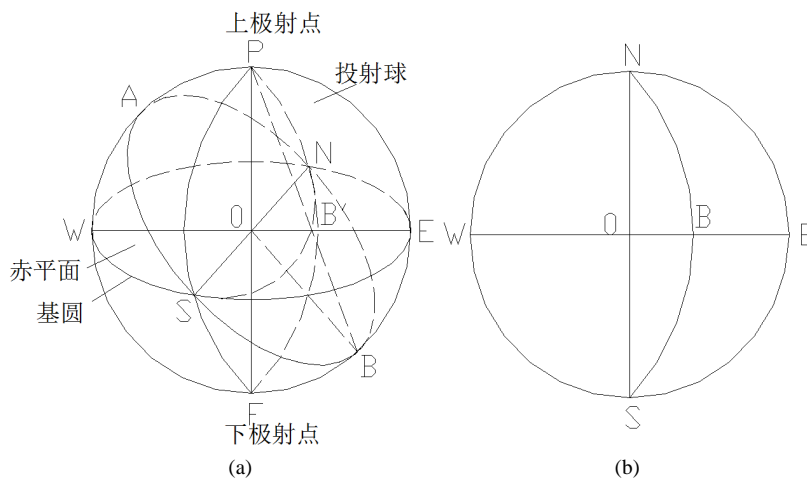


Figure 1. Projection element; (a) perspective drawing (b) stereographic Projection
图 1. 投影要素; (a) 投视图; (n) 赤平图

2.2. 直线投影

穿过球心的无限延长的直线必将与球面相交于两点，称为极点，极点与极射点(P)连接的直线与赤平面相交于一点，称为赤平投影点。如铅直投影点位于基圆中心，水平直线的投影点位于基圆上的两个极点，两点距离等于基圆直径，倾斜直线的赤平投影点有一点在基圆内，另一点在基圆外，两点角距相差 180° ，如图 2 所示。

3. 岩质边坡破坏判定依据

如果出现沿着某个结构面或多个结构面的组合面形成倾倒、平面滑坡、楔形滑坡等多种形式的破坏等现象，往往是因为边坡岩体优势结构面与边坡面的走向、倾向处于某种不利的组合。这时，结构面的强度决定了岩体的强度，边坡稳定性主要受结构面的控制。如图 3 所示，表明了边坡失稳的类型与结构面赤平投影的对应关系。

当只考虑结构面的摩擦角时，对于平面破坏和楔体破坏这两种常见的情况，其滑动破坏的判别原则可以总结为：

$$\beta_p \geq \beta \geq \phi$$

其中 β_p 为边坡面的倾角， β 为结构面在坡面倾向上的视倾角， ϕ 为结构面的摩擦角。

当结构面中的凝聚力存在时，可以按照等效摩擦角的概念来综合考虑凝聚力的影响，则结构面的视倾角 β 与倾角 β_j 的关系为：

$$\tan \beta = \cos(\alpha_j - \alpha_p) \tan \beta_j$$

其中 α_j 为结构面或者两组结构面交线的倾向， α_p 为坡面的倾向[9]。

在实际工程的应用中，边坡结构面的特征会比以上三种典型的模型要复杂的多，再加上如临空面、切割面与坡面的组合关系等边界条件的不同的影响，使得边坡的破坏模式往往是图 3 三种基本典型模式的组合或者衍生，另外，在分析边坡破坏模式的时候也需要考虑结构面强度这一重要因素[4]。

4. 应用工程实例

本文介绍的实例是广德县新都建筑石料用灰岩矿，该矿区行政上隶属安徽省广德县新杭镇。其开采现状是经多年开采，已形成采坑，南北长约 589 m，东西宽约 337 m，采坑内主要有 +36 m、+43 m、+70 m

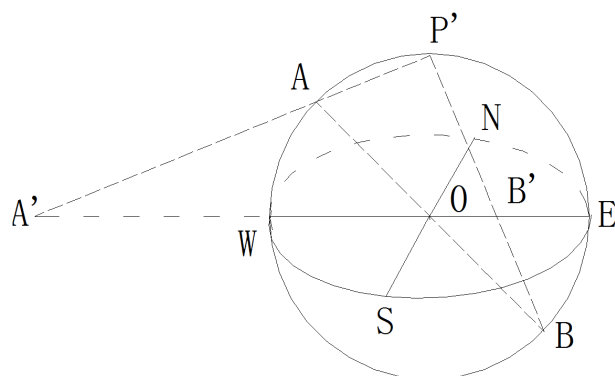


Figure 2. Stereographic projection of slant line (AB)

图 2. 倾斜直线(AB)的赤平投影

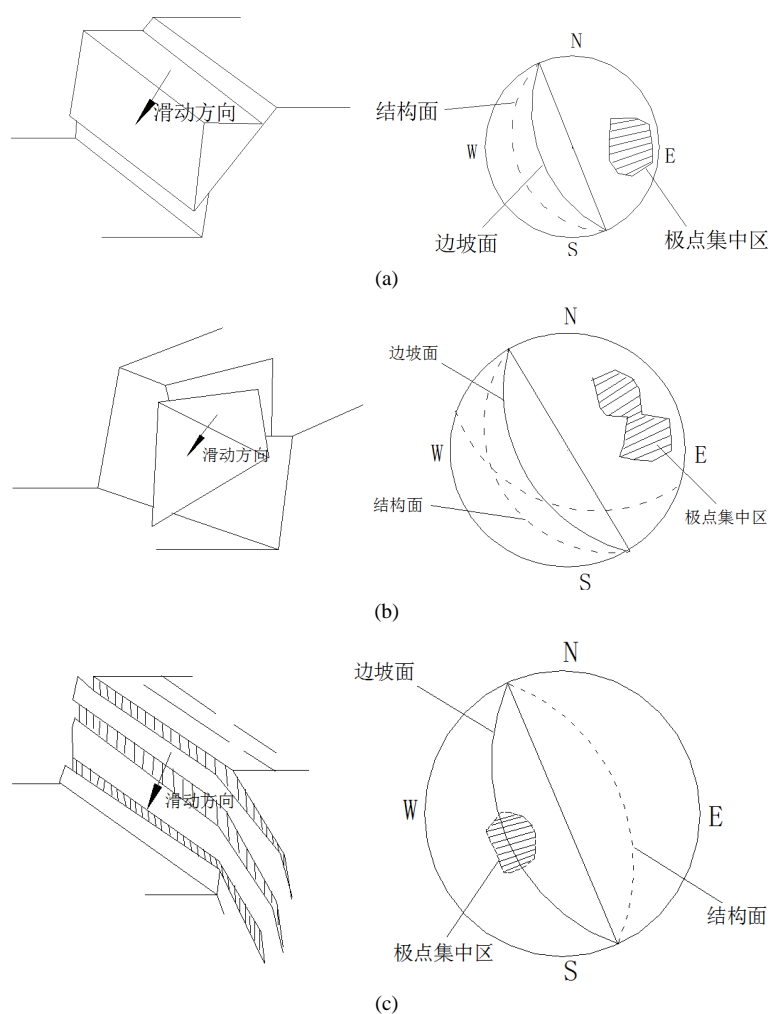


Figure 3. Slope failure type; (a) plane failure; (b) wedge failure; (c) toppling failure

图 3. 边坡破坏类型; (a) 平面破坏; (b) 楔体破坏; (c) 倾倒破坏

台阶组成。采坑南侧坡顶标高+142.80 m，按坡底采坑+66.5 m 标高测算，已形成最高(142.8 - 66.5) 76.3 m 垂高的边坡。坡顶地形坡度+0°~-16°左右。最高点大于+200 m。所以根据资料总结的边坡现状特征，本文决定采用更加直观的赤平投影法来分析该边坡的稳定性。

该矿区地层为一单斜构造, 矿区内发育断层两条, 其中 F1 走向逆断层, 走向约 50° , 倾向北西, 倾角 $70^{\circ}\sim 75^{\circ}$, 出露长度约 1950 m, 贯穿整个矿区, 从而使得矿区内石炭系黄龙、船山组及高骊山组地层重复, 地质构造简单。

经测量, I 区坡面的层面产状为 $315^{\circ}\angle 54^{\circ}$, II 区坡面的层面产状为 $257.37^{\circ}\angle 56^{\circ}$, III 区坡面的层面产状为 $38.47^{\circ}\angle 75^{\circ}$, IV 区坡面的层面是不规则弧面, 根据现场结构面调查结合室内统计分析, 得出本矿边坡岩体除层面外, 存在着 2 组优势结构面。其中灰岩区优势节理组产状为 $65^{\circ}\angle 25^{\circ}$ 和 $223^{\circ}\angle 62^{\circ}$, 泥岩区优势节理组产状为 $60^{\circ}\angle 27^{\circ}$ 和 $216^{\circ}\angle 64^{\circ}$, 泥岩区和灰岩区岩体的完整程度为较破碎。

4.1. 边坡分区

东(顺向)坡 I 分区: 垂高 76.30 m, 边坡角 54° ;
北(横向)坡 II 分区: 垂高 58.20 m, 边坡角 56° ;
南(横向)坡 III 分区: 垂高 37.50 m, 边坡角 75° ;
西(逆向)坡 IV 分区: 垂高 0~20.4 m。

4.2. 矿山边坡稳定性分析

工程地质条件、水文地质条件、采矿技术条件及其他因素影响露天矿山边坡的稳定性。矿山边坡是由纵横交错的结构面及其围割的岩石组成, 并处在某种构造应力场中。岩性、结构面、构造应力是影响边坡稳定的主要工程地质因素。

结构面系指岩体中的各种地质界面, 结构面又称为不连续面。结构面对于岩体的稳定性有重要影响, 特别是优势结构面的影响更加重要, 但由于地质体的不确定因素, 结构面发育的特征与规模也会随之发生变化, 在诸多结构面对岩体稳定性起决定性的控制作用的结构面, 即优势结构面[10]。其对边坡稳定的影响主要有:

- 1) 弱化边坡岩体的力学性质, 从而降低边坡的稳定。
 - ① 分割岩体, 使其失去均一性和连续性, 并使其具有各向异性。
 - ② 降低岩体的整体强度, 尤其是抗剪强度。
 - ③ 成为地表水渗入和地下水活动的通路, 对边坡的稳定性产生不利影响。

2) 结构面的空间分布及其与边坡自由面的相互位置关系, 往往是边坡失稳破坏的主要控制因素。

岩质边坡破坏是否沿岩体不连续面发生失稳, 与结构面分布、组合及其密度密切相关。赤平投影方法是判断结构面对边坡稳定性影响的主要方法之一。故本次利用赤平投影法对矿区边坡各分区的由结构面切割形成的楔体稳定性进行定性分析, 分析结果如图 4 所示。

从图 5 可以得出, III 区层面和优势结构面 1 的组合对露采边坡的稳定性有一定的影响, 该两组结构面的交线方向与该区边坡倾向大致相同, 在裂隙组切割作用下, 产生崩塌的可能性较大。其余各区边坡主要结构面组成的楔体发生滑动的可能性小。

对于 III 区边坡, 层面和优势结构面 1 的组合对露采边坡的稳定性有一定的影响, 有发生楔体滑动失稳的可能性, 采场其余各区边坡主要结构面组成的楔体发生滑动的可能性小, 说明结构面对其稳定性不具有控制作用。根据《非煤露天矿边坡工程技术规范》(GB51016-2014)中表 A.0.3 [11]可知, 当结构面组合对边坡失稳不具有控制作用时, 其破坏模式可转为圆弧形破坏。

5. 边坡防护措施

在露天矿山开采过程中, 边坡失稳有可能对露天底的工业设施及人员安全造成危害, 因此采取一些防护措施防止边坡失稳势在必行。露天矿边坡的防护措施主要遵循下原则, 即: 预防为主、防治结合、

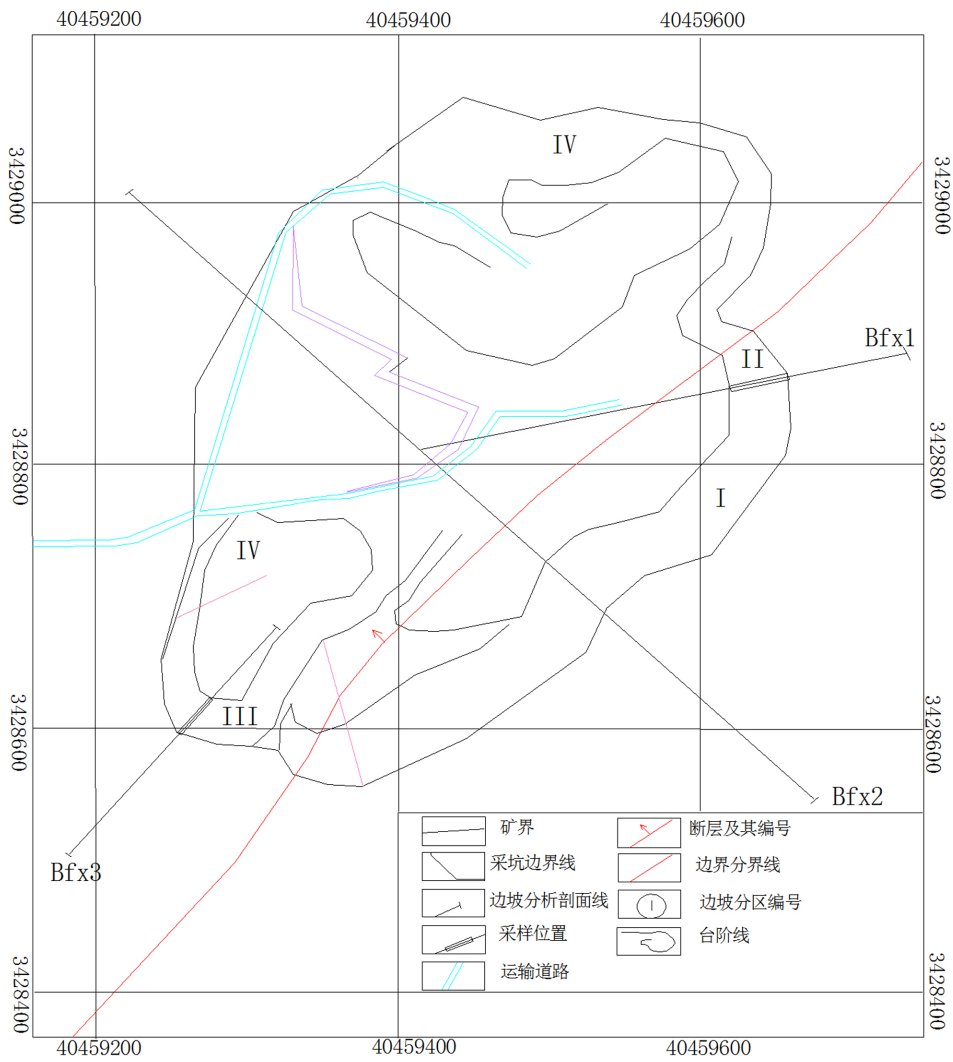
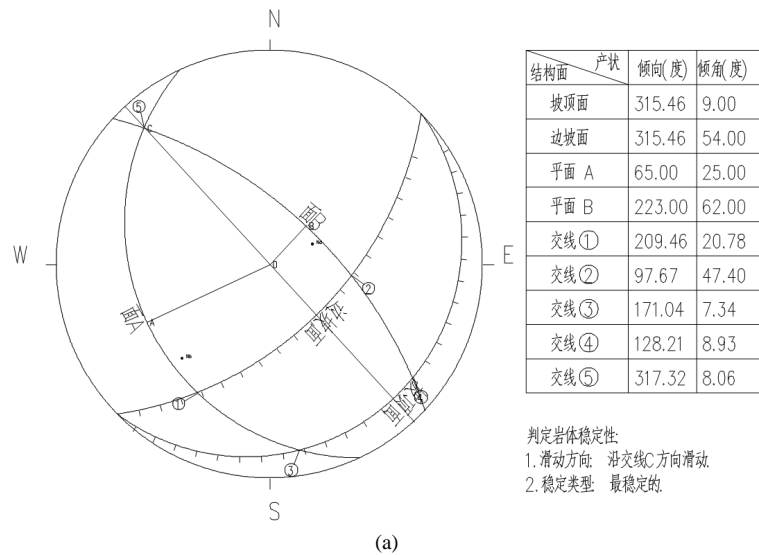
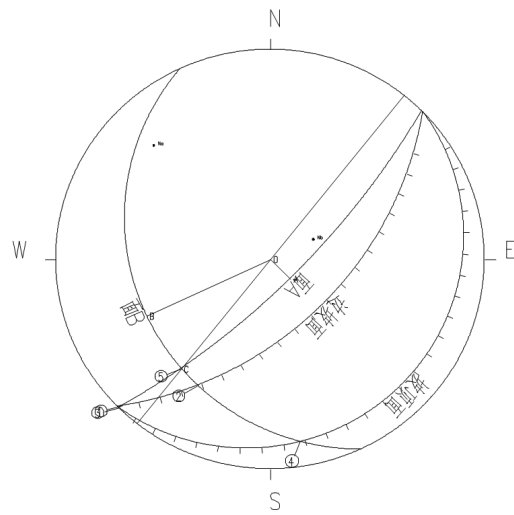


Figure 4. Slope stability analysis zoning map

图 4. 边坡稳定分析分区图

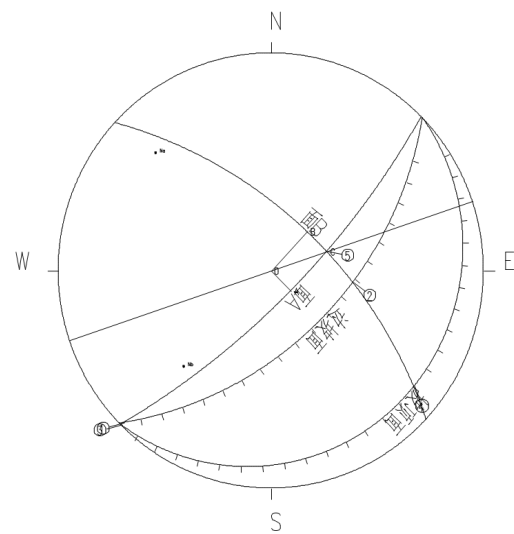




(b)

结构面	产状	倾向(度)	倾角(度)
坡顶面		315.46	9.00
边坡面		315.46	54.00
平面 A		315.00	75.00
平面 B		65.00	25.00
交线①		224.73	1.00
交线②		209.46	20.78
交线③		224.98	0.08
交线④		171.04	7.34
交线⑤		218.58	22.66

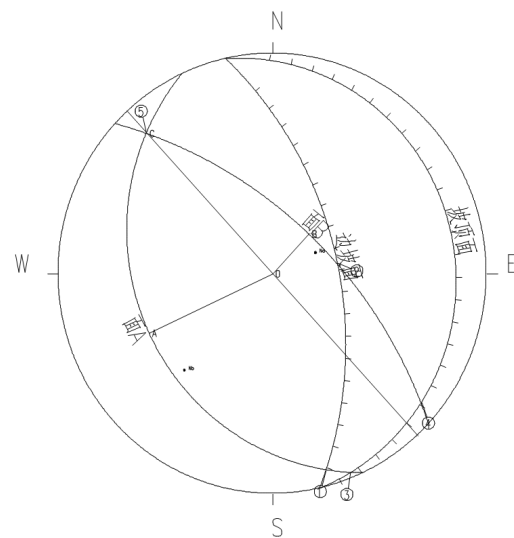
判定岩体稳定性:
 1. 滑动方向: 沿交线C方向滑动
 2. 稳定类型: 稳定的



(c)

结构面	产状	倾向(度)	倾角(度)
坡顶面		315.46	9.00
边坡面		315.46	54.00
平面 A		315.00	75.00
平面 B		223.00	62.00
交线①		224.73	1.00
交线②		97.67	47.40
交线③		224.98	0.08
交线④		128.21	8.93
交线⑤		71.33	58.87

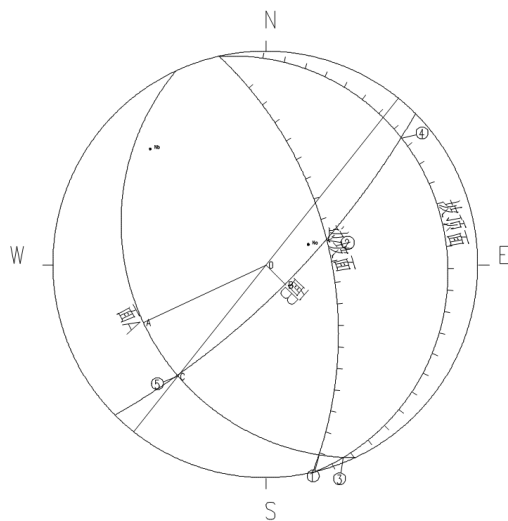
判定岩体稳定性:
 1. 滑动方向: 沿交线C方向滑动
 2. 稳定类型: 稳定的



(d)

结构面	产状	倾向(度)	倾角(度)
坡顶面		257.37	9.00
边坡面		257.37	56.00
平面 A		65.00	25.00
平面 B		223.00	62.00
交线①		164.42	4.36
交线②		81.13	55.94
交线③		158.13	1.46
交线④		130.08	5.48
交线⑤		317.32	8.06

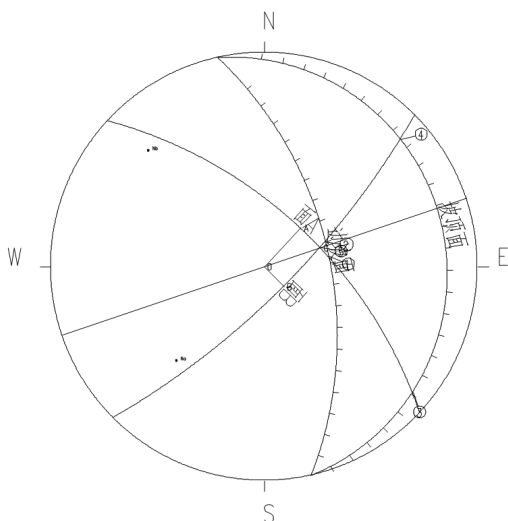
判定岩体稳定性:
 1. 滑动方向: 沿交线C方向滑动
 2. 稳定类型: 最稳定的



(e)

结构面	产状	倾向(度)	倾角(度)
坡顶面		257.37	9.00
边坡面		257.37	56.00
平面 A		65.00	25.00
平面 B		315.00	75.00
交线①		164.42	4.36
交线②		68.08	55.65
交线③		158.13	1.46
交线④		47.10	7.79
交线⑤		218.58	22.66

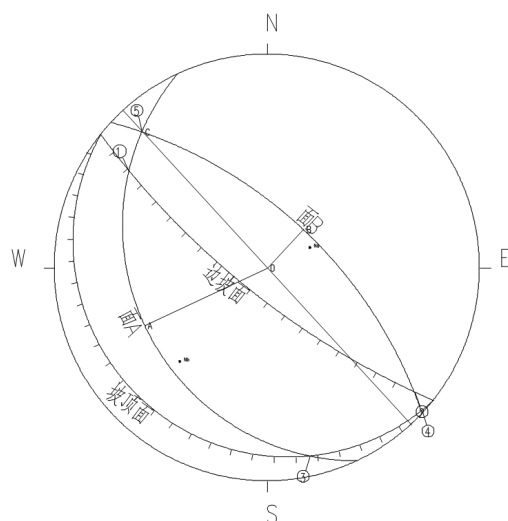
判定岩体稳定性:
 1. 滑动方向: 沿交线C方向滑动
 2. 稳定类型: 最稳定的.



(f)

结构面	产状	倾向(度)	倾角(度)
坡顶面		257.37	9.00
边坡面		257.37	56.00
平面 A		223.00	62.00
平面 B		315.00	75.00
交线①		81.13	55.94
交线②		68.08	55.65
交线③		130.08	5.48
交线④		47.10	7.79
交线⑤		71.33	58.87

判定岩体稳定性:
 1. 滑动方向: 沿交线C方向滑动
 2. 稳定类型: 稳定的.



(g)

结构面	产状	倾向(度)	倾角(度)
坡顶面		38.47	9.00
边坡面		38.47	75.00
平面 A		65.00	25.00
平面 B		223.00	62.00
交线①		304.87	13.17
交线②		129.99	5.64
交线③		167.30	5.67
交线④		132.65	0.66
交线⑤		317.32	8.06

判定岩体稳定性:
 1. 滑动方向: 沿交线C方向滑动
 2. 稳定类型: 最稳定的.

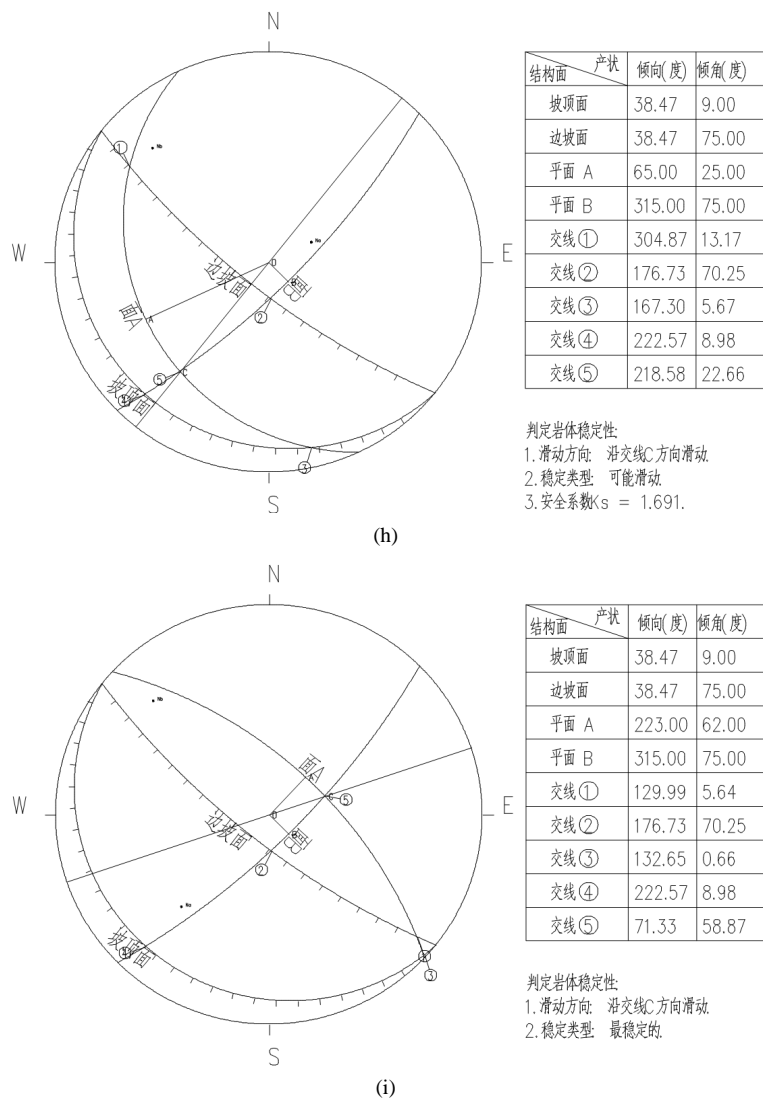


Figure 5. Stereographic projection analysis of slope stability; (a) The advantages of the I area are the structural plane 1 and the dominant structural plane 2 (most stable); (b) I zone level and dominant structural plane 1 (stable); (c) I zone level and dominant structural plane 2 (stable); (d) The advantages of the II area are the structural plane 1 and the dominant structural plane 2 (stable); (e) II zone level and dominant structural plane 1 (most stable); (f) II zone level and dominant structural plane 2 (stable); (g) The advantages of the III area are the structural plane 1 and the dominant structural plane 2 (most stable); (h) III zone level and dominant structural plane 1 (possibly sliding); (i) III zone level and dominant structural plane 2 (most stable)

图 5. 边坡稳定性的赤平投影分析; (a) I 区优势结构面 1 和优势结构面 2 (最稳定); (b) I 区层面和优势结构面 1 (稳定); (c) I 区层面和优势结构面 2 (稳定); (d) II 区优势结构面 1 和优势结构面 2 (稳定); (e) II 区层面和优势结构面 1 (最稳定); (f) II 区层面和优势结构面 2 (稳定); (g) III 区优势结构面 1 和优势结构面 2 (最稳定); (h) III 区层面和优势结构面 1 (可能滑动); (i) III 区层面和优势结构面 2 (最稳定)

及时治理。这也是为了在最大程度上保证边坡稳定性的基础上而制定的。

1) 预防为主就是根据露天矿边坡的实际情况，对露天矿边坡可能出现失稳的区域进行重点的研究，并根据研究结果，采取必要的边坡防护措施，防止边坡出现失稳威胁到矿山人员生命和财产安全。

2) 及时治理就是对露天矿已经被破琢的边坡进行及时的整治,通过系统的研究拿出一套切实可行的边坡防护方案,切勿拖延时间造成边坡进一步恶化。

5.1. 排水工程

大气降水是影响矿山边坡稳定性的其中一个重要因素,尽管矿区水文地质条件属于较为简单的类型,但由于矿山属露天开采的矿山,暴雨渗入是矿山开采的主要危害。

为消除边坡安全隐患,应在边坡岩石移动范围外设置截洪沟。据岩石移动范围实际情况,设置一条截洪沟,拦截地表汇水,将汇水面以内移动范围外的大气降水尽可能截流,减少大气降水的下渗量,从而有效地降低地表水对边坡的影响。

排水工程在应用中可采取在边坡的滑坡部位修建暗沟,这种方法主要是针对由于地下重力水而引起的边坡滑坡,排水暗沟可有效的减小其渗透压,防止边坡进一步恶化。必须使水流方向与边坡上存在滑坡地段的等高线垂直,并且必须和滑动方向保持平行,这样才能使支撑式盲沟的作用最大化。该项工作尤其是在 I、IV 区边坡区域处更应引起重视。

5.2. 锚固工程

通过对边坡稳定性的分析得出,矿区 I 区边坡发生滑移-弯曲失稳的可能性较大,边坡发生弯曲破坏段的长度为 57.65 m,所以可以对坡脚至以上 57.65 m 的位置打锚杆或是锚索进行加固。为了用最小的代价换取最好的边坡防护结果,在布置预应力错巧的时候,应该遵循在边坡上通过预应力错杆的布置形成连续压密带为准则。在矿山实际布置预应力为错的时候,还应该在其中间隔的布置一些普通铺杆,以达到改善错头周围应力条件的目的,从而达到最好的铺固效果。同时,应在各区边坡设置铁丝网,从而减小局部地区的滑坡对露天底的工业设施和人员安全产生影响。

5.3. 边坡检测

边坡的失稳有一个漫长的发展过程,边坡在从稳定转向失稳时是有一个临界点的,若是在临界点前,找寻到边坡可能发生失稳的迹象,便可及时的对边坡进行防护工作。因此,为了寻找这些预示着边坡可能失稳的迹象,并找寻出影响边坡稳定性的因素,应采取实时监测的手段对边坡的主要指标进行监测,及时掌握和了解边坡的破坏情况,及时采取有效措施,防止边坡进一步恶化。

一些基本的边坡防护技术可以见表 1 所示。

Table 1. Side slope protection technique and method

表 1. 边坡防护技术及方法

边坡防护技术		边坡防护方法
	边坡形态修正	削坡改变坡率及外形,坡脚反压等
边坡排水	表面排水	设置排水沟、截水沟等措施
	内部排水	仰斜排水孔、边坡渗沟、支撑盲沟、截排水隧洞、截排水盲沟等
稳定支挡防护	支挡结构	挡土墙、拦石墙、(预应力)抗滑桩、抗滑明洞、被动防护网等
	锚固结构	(预应力)锚索、锚杆
	支挡锚固结合结构	锚杆框架梁、预应力锚索桩
坡体及表面加固技术	植物防护	
	圪工防护	
	骨架植物防护	
	锚杆混凝土框架植物防护	
	锤面、抹面	

采取有效的手段对本露天矿边坡进行实时监测,主要针对矿山 I 区、II 区以及 IV 区边坡中有局部崩塌的边坡并对影响边坡稳定性的关键区域加强监测。采用实时监测技术对边坡的以下内容进行监测。

监测网点应覆盖整个边坡,沿边坡的高度方向,所有监测点应连成直线,以便对监测数据进行处理、分析和对比。边坡脚部、坡顶部以及岩体间的分层界限等处,都是边坡的重要部位,因此需要考虑监测人员的工作方便和安全问题,当边坡出现滑动且后缘张开的情况时,应对张裂缝的张开度、延伸长度等进行详细的观测和统计。

6. 结论

采用极射赤平投影来分析岩质边坡的稳定性,可以把边坡问题变得更加简单、直观。本文采用该方法分析了广德县新都矿的边坡的稳定情况,得出以下结论与认识:

1) 根据采场已揭露边坡情况,经综合分析研究,把整个采场边坡划分为 4 个工程地质区域: I 区、II 区、III 区和 IV,重点分析了 I、II 和 III 区边坡的稳定性。运用赤平投影方法,得出 III 区边坡层面和优势结构面 1 的组合对有发生楔体滑动失稳的可能性,采场其余各区边坡主要结构面组成的楔体发生滑动的可能性小。

2) 根据持平投影图分析可知,除 III 区边坡层面和优势结构面 1 的组合对其稳定性有一定的影响外,采场其余部位边坡岩体结构面不是控制边坡破坏的主要因素,根据岩体结构特征分析其破坏模式可为圆弧形破坏。

3) 加强对边坡的监测工作,特别是对 I 区边坡。结合岩体应力应变变化规律的认识以及不断开挖过程中所反映的地质情况,加强局部边坡稳定性的研究和分析,避免边坡灾害的发生。

基金项目

国家自然科学基金面上项目(51474008)。

参考文献 (References)

- [1] 汪磊,高玮,杨大勇. 岩质边坡稳定性分析方法研究[J]. 武汉工业学院学报, 1987, 27(1): 1-8.
- [2] 周德培. 基于坡体结构的岩质边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(4): 678-695.
- [3] 高丙丽,张路青,杨志法,等. 坐标投影作图法的计算机化及其在块体稳定分析中的应用[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 376-380.
- [4] 刘建东,邵长云,陈征宙,等. 裂隙岩体边坡稳定性分析方法[J]. 东华理工学院学报, 2004, 27(3): 255-259.
- [5] 吴绍强. 极射赤平投影法在岩质边坡稳定性分析中的应用[J]. 西部探矿工程, 2009(10): 117-118.
- [6] 郝生跃,张清,田盛丰,等. 专家系统在结构性岩质边坡稳定性分析中的应用研究[J]. 中国公路学报, 1995(2): 9-13.
- [7] 杜时贵. 岩体结构面的工程性质[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [8] 刘发祥,何鹏. 基于赤平极射投影法的岩质边坡破坏模式预测[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(20): 172-176.
- [9] 陈祖煜,汪小刚,杨健,等. 岩质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [10] 张金平,王松. 改进岩体优势结构面搜索方法及其应用[J]. 路基工程, 2010(3): 154-156.
- [11] GB 51016-2014 非煤露天矿边坡工程技术规范[S]. 北京: 标准出版社, 2014.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org