

# Developmental Characteristics of Rock Mass Structure and Its Effect on Slope Stability in High Slope

Zheng Jiang, Duoxi Yao, Haifeng Lu, Yan Wang

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui  
Email: 1014971883@qq.com

Received: Sep. 12<sup>th</sup>, 2017; accepted: Sep. 25<sup>th</sup>, 2017; published: Sep. 29<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The development and distribution of structural facies in rock mass have an important influence on the stability of slope. Based on the example of high slope engineering in opencast mine, the structural surface of slope is measured and analyzed statistically. The preliminary qualitative evaluation of slope is made, which provides relevant reference for post-level quantitative evaluation of slope stability and analysis method. In this paper, the lateral line method is used to obtain the basic data of the structural surface of the rock mass. The pole plot, the equal density map and the joint roses are drawn and analyzed to obtain the dominant structural plane by Lize software. Using the matlab software to analyze the basic data, the corresponding probability distribution histogram and fitting curve are obtained, which is in good agreement with the probability model. The results show that the stability of the structural slope is relatively small and the slope is basically stable.

## Keywords

Rock Slope, Structural Plane, Probability Distribution, Stability Analysis

---

# 高边坡岩体结构面发育特征及其对边坡稳定性的影响

蒋 正, 姚多喜, 鲁海峰, 王 妍

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南  
Email: 1014971883@qq.com

收稿日期: 2017年9月12日; 录用日期: 2017年9月25日; 发布日期: 2017年9月29日

## 摘要

岩体中结构面发育与分布情况对边坡的稳定性有着重要的影响。结合露天矿高边坡工程实例,对边坡的结构面进行实测与合理的统计分析,对边坡做出初步定性评价,为边坡稳定性的后期定量评价以及分析方式提供相关的参考。文中采用测线法来获取岩体结构面的基础资料,通过理正软件画出极点图、等密度图与节理玫瑰花图并进行分析获取优势结构面。利用matlab软件对基础数据进行统计分析得出相应的概率分布直方图与拟合曲线,与概率模型较为吻合。将所得出的优势结构面通过极射赤平投影的方法对边坡进行稳定分析,得出结构面对边坡的稳定性影响较小,边坡基本稳定。

## 关键词

岩质边坡, 结构面, 概率分布, 稳定性分析

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

随着经济社会的快速发展,为满足各类基础设施以及工程建设的需要,对低山丘陵区的露天建筑石料的开采活动十分强烈,人们在获取所需资源的同时也破坏了该地区的生态环境与地应力的平衡,形成了高而陡的不稳定岩质边坡,对生产生活以及人们的生命财产安全带来了一定的威胁,因此科学的对露天矿山岩质高边坡的稳定性进行分析具有一定的现实意义[1]。

大量的工程经验表明,岩质边坡的稳定性与结构面的发育程度、发育位置、产状、组合特征及其工程性质有着十分密切的内在联系[2]。目前我国工程地质工作者对结构面的测量方法主要有典型露头测量,统计窗测量,现场全断面全元测量,现场数字摄像或三维激光扫描等方法[3]。根据大量野外实测研究表明,岩体结构面的分布特征符合一定的概率分布,通过计算机模拟可以得出相关研究区域的岩体结构面的分布情况进而解决工程实践问题[4]。对于岩体结构面的研究目前也有利用模糊综合评判的方法来进行研究,为我们提供了一种新的思路和方法[5]。在露天矿山开采的过程中往往伴随着爆破等一系列的人为作用的因素,从而导致岩体的不完整性进一步加强,岩质边坡的失稳破坏通常沿岩体结构面发生,结构面控制着边坡的变形、破坏和演化过程,因此对边坡岩体的结构面调查分析寻找边坡体的优势结构面是在边坡稳定分析中的重要环节[1][4][6]。

本文通过安徽省广德县石灰石矿对露天矿高边坡稳定性进行科学合理的分析与研究,为解决高边坡的实际工程问题提供了一种符合工程实际的边坡稳定分析方法,符合该项目的工程现实需要对解决相关问题具有一定的借鉴意义,有助于工程人员的指导与施工。

## 2. 工程背景

矿区交通便利,为低山丘陵区,地势总体上北西高东南低,最高海拔为330 m,最低海拔120 m,相对高差210 m。矿区经多年开采,已形成采坑,南北长约788 m,东西宽约287 m,采坑内主要有+130 m、+142 m、+168 m台阶组成。采坑北侧坡顶标高+300 m,按坡底采坑+130 m标高测算,已形成最高(300-130)170 m垂高的边坡。坡顶地形坡度+0°~16°左右。最高点大于+320 m,属高危边坡。

## 2.1. 矿区构造

矿区位于金山复式向斜之次级构造金山向斜东翼的北端，为一单斜构造。金山向斜轴向  $25^{\circ}$  左右，核部为三叠系下统南陵湖组，两翼为二叠系下统孤峰组至三叠系下统和龙山组。西翼地层产状较陡，局部地段发生倒转；东翼地层倾角  $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，为一正常-倒转向斜，地质构造简单。

## 2.2. 水文地质

矿区属低山丘陵地貌，年平均降水 1379.1 mm，地下水属基岩岩溶裂隙潜水型，地下水的补给主要来自大气降水，地下水对矿床开采影响较小。

矿体岩石主要为灰岩，均为弱含水层，矿体内裂隙发育一般，矿床充水主要为大气降水，南西有一水沟自中部北流出矿区外。未采矿体主要分布标高+110 米~+312 米，矿床最低开采标高+110 米，低于附近最低地平面+120 米，采场局部须机械排水。矿山水文地质条件为简单类型。

## 2.3. 工程地质

矿区出露地层有泥盆系五通组(D3w)，石炭系高骊山组(C1g)、黄龙组和船山组(C2+3)，第四系表土(Q)。该灰岩矿床直接出露地表，矿体是灰岩、顶板是灰岩，岩性较硬，岩石产状比较稳定，断裂构造不发育，裂隙、节理发育一般，岩石表面风化较弱，工程地质稳定性好；底板为石炭系高骊山组泥岩，地层倾角较陡，属不利于边坡稳定型；总体上矿区工程地质稳定性中等。

根据岩层的成因类型，岩体结构以及结构体形态，将矿区边坡岩体划分为三个工程地质岩组：第四系残积、坡积松散软弱工程地质岩组、石炭系高骊山组泥岩及砂质泥岩碎屑岩类较完整软弱工程地质岩组。

## 3. 结构面调查统计

在进行岩体结构面调查时，考虑到几种岩石在采场内分布情况，调查主要集中在采场南部的灰岩区。现场调查内容主要包括节理间距、节理倾向、倾角等[7]。

调查采用详细线观测法，在坡面(为方便操作，主要布置在靠近坡脚处)布置测线，测线法将结构面共分为 1、2A、2B、3A、3B、4A、4B、5 共 8 种类型[8]，如图 1 所示。测量时，测尺水平拉紧，基点设在开始调查点。将测线上下 1 m 的范围作为测带，调查工作在测带以内进行。本次调查总长度 132 m，共有节理 230 条。调查结果见表 1 所示。

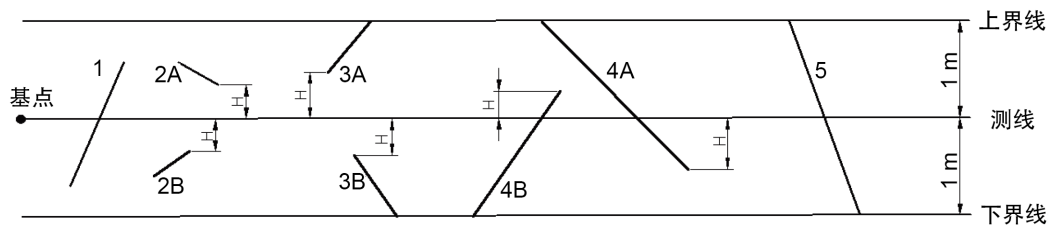


Figure 1. Surveying lines

图 1. 测线布置示意图

Table 1. Statistical table of measured rock structural plane

表 1. 实测岩体结构面统计表

岩性	调查长度(m)	调查宽度(m)	调查面积(m <sup>2</sup> )	节理数量(条)	节理平均间距(m)
灰岩	90	2	180	120	0.76
泥岩	42	2	84	110	0.38

#### 4. 优势结构面的确定

调查样区灰岩节理数为 120 条, 泥岩为 110 条, 共有节理 230 条, 总长度 132 m。结构面类型分别为 III、IV、V 级结构面。该矿灰岩岩体结构类型为层状结构, 泥岩区为碎裂结构。依据岩体完整程度的定性划分可知, 灰岩区岩体的完整程度为较破碎, 而泥岩区的岩体完整程度为破碎。

为了对结构面进行优势分组, 即为了确定数量上较多的几组结构面, 以方便研究优势结构面对边坡稳定性的影响, 通常绘制节理等密度图等图件[9]。根据调查结果, 采用理正 6.0 绘制出边坡岩体结构面极点图、等密图以及玫瑰花图, 如图 2 所示。

由结构面极点图、等密度图、玫瑰花图等, 可以得出本矿边坡岩体的优势结构面共有 2 组(除层面外)。如表 2 所示。

#### 5. 边坡岩体结构面发育概率分布

国内外众多研究表明: 岩体内结构面的发育具有随机性的特点, 可以用相应的概率分布来描述[10]。在某一岩体中, 除了有一些已经知道的断层、层面、大的断裂以及通过实际量测获得的有关节理的样本资料, 还包含有成千上万个节理面, 这些节理面对岩质边坡的稳定性有着重要的影响。因此通过样本资料总结获取节理面几何参数的统计分布特征和统计参数, 就可以通过计算机来生成一个符合这种统计特征的岩体节理网络, 就能够计算岩体一系列重要的物理学特性指标[11]。对于认识岩体中优势面的分布特征和规律, 分析边坡稳定性具有一定的指导意义[12]。

对数据的处理与分析采用软件 matlab, 对现场边坡面结构面调查数据进行统计分析, 得结构面倾向、倾角、间距频率直方图以及概率分布拟合图, 如图 3, 图 4 所示。由于篇幅所限, 文中仅给出灰岩第一组优势结构面倾向倾角、间距的统计分析图件, 泥岩组与灰岩组相类似。

由统计分析可知, 结构面倾角、倾向服从正态分布, 节理间距则服从负指数分布。统计所得数据如下表 3 所示, 表中所列为灰岩组第一组与第二组优势结构面几何参数统计结果。

#### 6. 边坡稳定性的极射赤平投影分析

岩质边坡破坏是否沿岩体结构面发生失稳, 与结构面分布、组合及其密度有密切关系。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[13]。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 5 所示, 由于泥岩分布只是在坡顶局部地段, 故本次主要分析组成边坡的主要岩性灰岩的结构面影响。

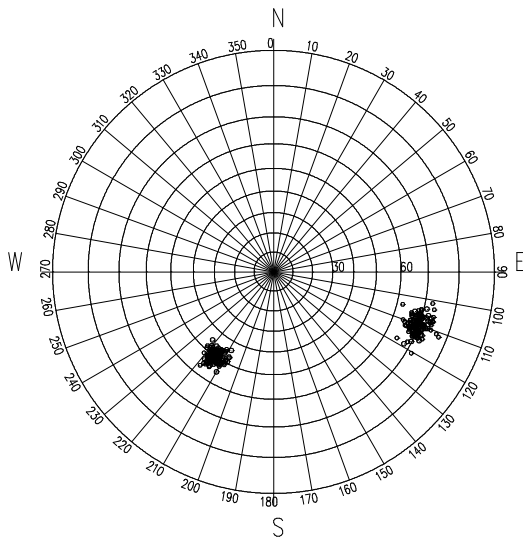
从图 5 可以看出, 优势结构面 1 与优势结构面 2 与边坡面相交, 单组与组合分析来说与边坡破面产状关系表征出基本稳定或稳定状态。边坡主要结构面组成的楔体发生滑动的可能性小, 说明本矿露天边坡稳定性不受结构面控制, 因此需要做进一步的分析。

对于 I 区的逆层边坡, 边坡坡向与岩层面倾向相反。对于此类顺层边坡, 由前所述, 除层面和优势结构面 2 组合可能致其产生局部楔体滑动外, 也有可能当其破坏模式由层面对其控制时, 一般容易发生滑移-弯曲破坏; 如层面不能控制边坡破坏时, 根据《非煤露天矿边坡工程技术规范》(GB51016-2014)中表 A.0.3 可知, 其破坏模式转为圆弧形破坏。

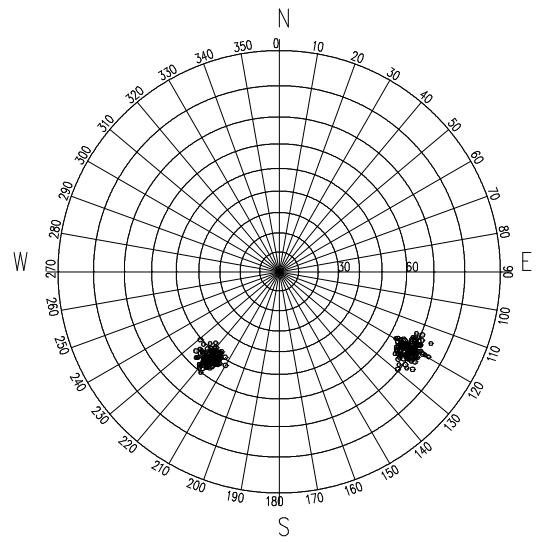
#### 7. 结论

边坡岩体结构面的分布特征对边坡的稳定性有着很大的影响, 也是开展岩质边坡稳定性分析的前提。通过对露天矿区结构面实测统计分析可知:

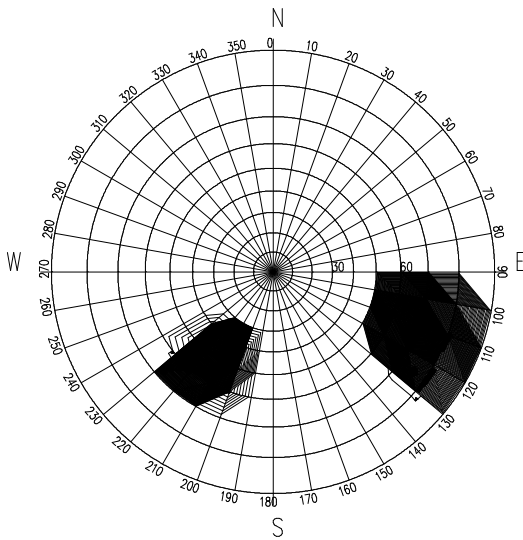
- 1) 由边坡结构面极点图、等密度图等获取了边坡的两组优势结构面, 该边坡为一顺层岩质边坡, 边



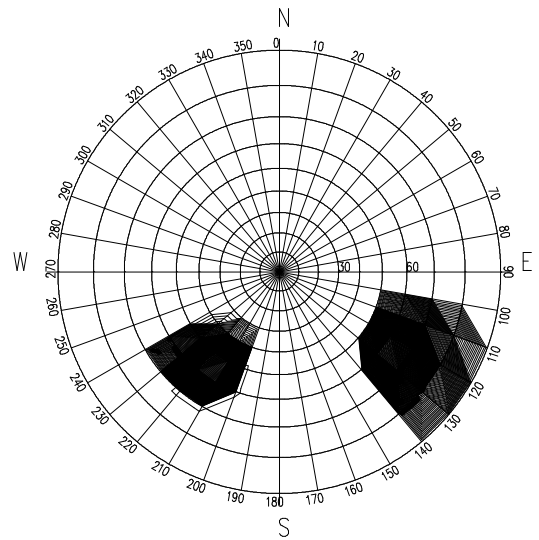
(a) Limestone structure surface pole diagram  
(a) 灰岩结构面极点图



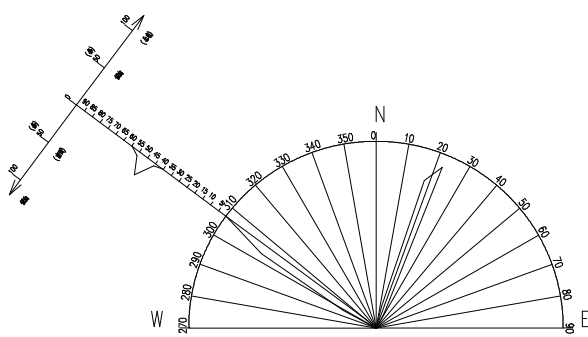
(b) Mudstone structure surface pole diagram  
(b) 泥岩结构面极点图



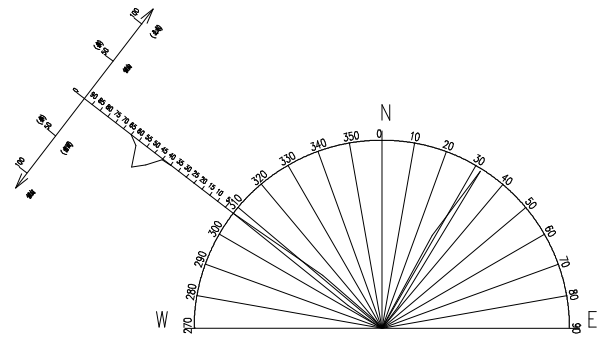
(c) Limestone structural plane and other density map  
(c) 灰岩结构面等密度图



(d) Mudstone structural plane and other density map  
(d) 泥岩结构面等密度图



(e) Limestone structural surface to rosette  
(e) 灰岩结构面走向玫瑰花图



(f) Mudstone structural plane to roses  
(f) 泥岩结构面走向玫瑰花图

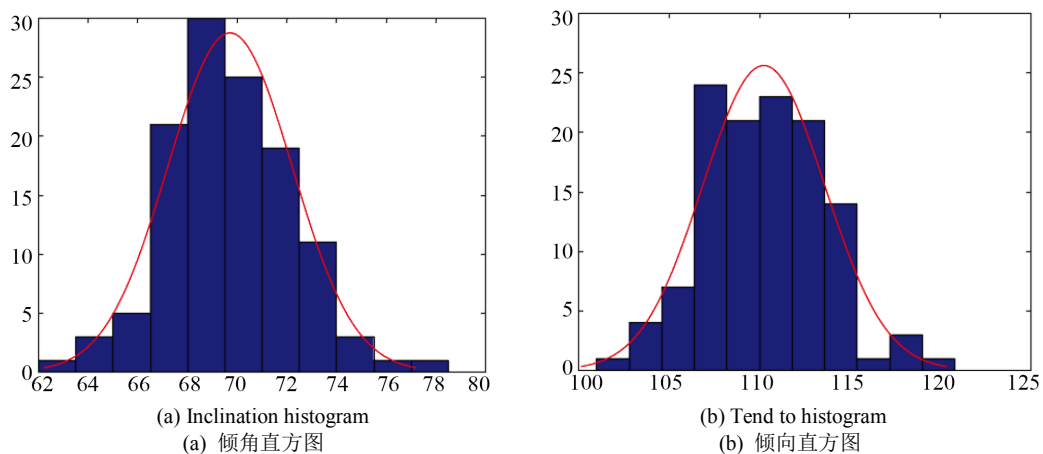
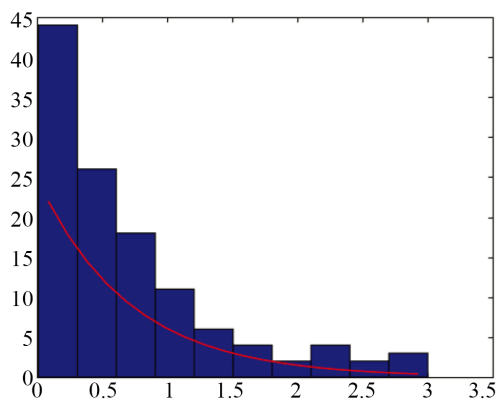
**Figure 2. Limestone and mudstone structural plane**  
**图 2. 灰岩和泥岩结构面统计图**

**Table 2.** Dominant structure surface production**表 2.** 优势结构面产状

岩性	产状	层面	优势组 1	优势组 2
灰岩	倾向	345°	110°	215°
	倾角	35°	70°	50°
泥岩	倾向	340°	121°	218°
	倾角	36°	69°	53°

**Table 3.** Geometric parameter statistics of the dominant structural planes**表 3.** 边坡优势结构面几何参数统计结果

组号	统计指标	概率分布类型	均值	标准差
一组	倾向	正态	110°	8.6
	倾角	正态	70°	6.7
	间距	负指数	0.76	0.69
二组	倾向	正态	215°	9.7
	倾角	正态	50°	7.3
	间距	负指数	0.71	0.66

**Figure 3.** The inclination, tendency histogram and normal distribution fit of Limestone**图 3.** 灰岩倾角、倾向直方图和正态分布拟合**Figure 4.** Joint pitch histogram and negative exponential distribution fit**图 4.** 节理间距直方图和负指数分布拟合



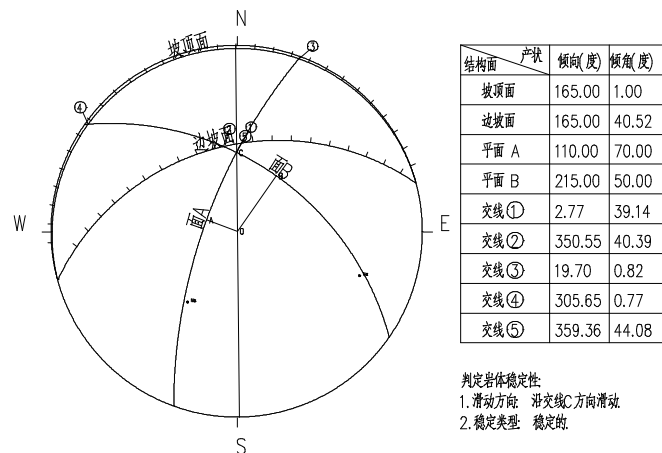


Figure 5. Stereographic projection of dominant structural planes  
图 5. 优势结构面赤平投影图

坡坡向与岩层面倾向相反。岩体中主要发育有两组优势结构面，且结构面的分布服从相应的概率分布。

2) 通过赤平投影分析可知，两组优势结构面与边坡面相交，边坡稳定性受结构面影响相对较小，需要进一步从岩层面角度进行分析。

3) 边坡的稳定性往往受到多种因素的影响，而基于结构面理论的边坡稳定性分析评价是边坡稳定性分析的基础，能够定性的对边坡的稳定性做出一定的评价，如果需要更为准确的定量的分析与评价，则需要进一步的研究与分析。

## 基金项目

国家自然科学基金面上项目(51474008)。

## 参考文献 (References)

- [1] 朱婷, 黄宜胜, 郭建. 基于优势结构面的高陡岩质边坡稳定性分析[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(2): 83-86.
- [2] 杜时贵. 岩体结构面的工程性质[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [3] 聂德新. 岩体结构理论在中国的广泛、成功应用及进展[J]. 工程地质学报, 2014, 22(4): 625-637.
- [4] 刘佑荣, 唐辉明. 岩体力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2012.
- [5] 王羽, 刘会, 等. 基于模糊综合评判的路基易滑岩层优势结构面研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(4): 1169-1174.
- [6] 陈剑平, 石丙飞, 王清. 工程岩体随机结构面优势方向的表示法初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(2): 241-245.
- [7] 王家臣, 常来山, 夏成华, 等. 露天矿节理岩体边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(18): 3350-3354.
- [8] 杜俊, 侯克鹏, 肖慧. 某露天矿高边坡结构面发育特征及其对边坡稳定性的影响[J]. 地质灾害与环境保护, 2013, 24(2): 77-81.
- [9] 徐大威. 用计算机对地质结构面进行统计的算法[J]. 有色金属, 1989, 41(1): 17-20.
- [10] 贾洪虎, 唐辉明, 刘佑荣, 等. 岩体结构面三维网络模拟理论与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [11] 陈祖煜, 汪小刚, 杨建, 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.
- [12] 杨时业, 侯克鹏, 杨会明. 基于结构面的岩质边坡稳定性分析[J]. 有色金属, 2011, 63(4): 49-63.
- [13] 刘洪, 陈福春. 基于极射赤平投影的岩质边坡稳定性评价和防治措施[J]. 地质灾害与环境保护, 2012, 23(3): 93-98.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱：[me@hanspub.org](mailto:me@hanspub.org)