

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.010

某露天矿岩质开挖边坡岩体力学参数获取及开挖稳定性分析

谭维佳^{1,2}, 魏云杰³, 王新刚², 刘 飞²

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074;
3. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 如何可靠的获取岩体的力学参数, 一直是岩体力学界研究的重要课题。本文采用 RMR 分类方法、Hoek-Brown 强度准则, 获得了边坡稳定性计算分析所用的摩尔库伦模型基本参数, 实现了室内岩石力学实验参数与野外现场实际岩体参数的过渡与衔接。并以某露天矿岩质开挖边坡典型剖面为例, 进行该边坡岩体力学参数获取及开挖稳定性分析, 计算结果表明: 对于所计算的剖面边坡, 应注意对露天采矿坑底、边坡坡脚处进行有针对性的治理工程, 以保障矿山的安全生产。

关键词: 岩体; RMR 分类方法; Hoek-Brown 强度准则; 开挖稳定性

中图分类号: TU457; TD164⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)01-0062-04

Acquisition of rocky excavation slope rock-mass mechanical parameters and analysis of excavation stability in an open pit

TAN Weijia^{1,2}, WEI Yunjie³, WANG Xingang², LIU Fei²

(1. Chang'an University School of Geology Engineering and Geomatics, Xi'an, Shanxi 710054, China;

2. Department of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

3. China Institute for Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Acquisition of reliable rock-mass mechanical parameters is always a key issue in the research of rock-mass mechanics. In this paper, we combined with rock mass rating (RMR) classification and Hoek-Brown Strength Criterion to acquire the basic Moore Coulomb model parameters for computation and analysis of slope stability. We also achieved the transition and connection between the indoor experimental mechanical parameters and the in-field actual parameters. With the typical sections in an open-pit rocky excavation slope as example, we acquired the rock-mass mechanical parameters and analyzed the excavation stability. The results show that in computation of sectional slopes, the targeted engineering treatment should be applied to the open-pit mining bottom and slope toes, thus guaranteeing the safety production in the mine.

Keywords: rock-mass; RMR classification; Hoek-Brown strength criterion; excavation stability

0 引言

获得岩体的力学参数对岩质边坡的稳定性分析有着重要的意义, 如何可靠的获取岩体的力学参数, 一直

是岩体力学界研究的重要课题^[1], 目前岩体的力学参数确定方法中更为符合实际的是现场原位试验法^[1], 但是现场原位试验耗时耗资, 且其结果离散性大^[2], 而 E. Hoek 等^[3-5]提出了 Hoek-Brown 强度准则, 能较

收稿日期: 2014-08-01; 修订日期: 2015-01-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41172281, 41172254)

第一作者: 谭维佳(1988-), 男, 地质工程专业, 在读博士, 主要从事边坡稳定性分析、数值模拟等研究。E-mail: 371422852@qq.com

通讯作者: 魏云杰(1973-), 男, 地质工程专业, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事岩体结构特性、地质灾害防治方面的科研工作。

E-mail: wyj1973@126.com

好的反映岩体的强度特性,并得到了广泛的应用,解决了一系列的工程实际问题^[6-11],如文献^[12]采用 Hoek-Brown 模型对松树南沟矿区节理岩质边坡开挖稳定性进行了分析,为指导矿山安全开采提供了可靠的依据。

本文结合某露天矿岩质开挖边坡的野外调查和室内实验成果,采用 RMR 分类方法、Hoek-Brown 强度准则,获得了边坡稳定性计算分析所用的摩尔库伦模型基本参数,实现了室内岩石力学实验参数与野外现场实际岩体参数的过渡与衔接,并对该露天矿岩质开挖边坡稳定性进行了评价,为指导矿山安全开采提供了可靠的依据。

1 工程概况

山西神达梁家碛煤矿位于河曲县城东北处,其采场开挖工作边帮最终边坡角度为 37°,台阶开挖边坡每级高度为 10 m,台阶坡面角为:土层 60°,煤和岩石 65°。考虑到采场边帮几何形态和地层岩性,将整个采矿边帮分成 6 个区段,区段从西北顶点开始到东北顶点,依次为 AB,BC,CD,DE,EF,FA(图 1),其中西帮区段 BC,南帮区段 CD 主要为岩质边坡,岩性主要为厚层砂岩和泥岩。

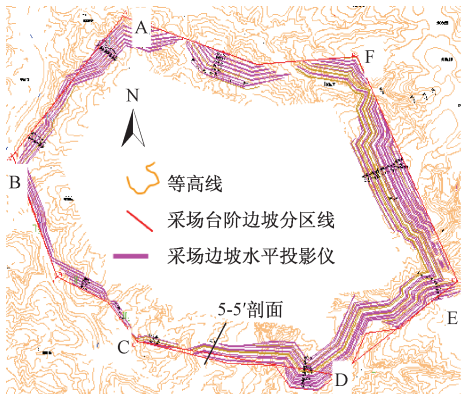


图 1 采场边帮分区图
Fig. 1 The partition map of mining slope

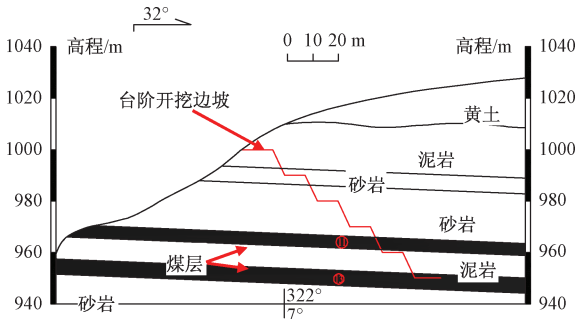


图 2 5-5'剖面图
Fig. 2 The profile map of 5-5'

以南帮区段 CD 的主剖面 5-5'剖面为例(图 2),进行露天矿岩质开挖边坡岩体力学获取及开挖稳定性分析,开挖最终边坡高度约 50 m,共 5 个台阶,坡面倾向为 32°。从组成坡体的岩性看,表层为黄土,往下依次为泥岩,砂岩,下伏 11#煤。

2 开挖边坡岩体力学参数获取

根据边坡稳定性评价的需要,考虑 5-5'剖面开挖边坡岩体的实际分布情况,对 5-5'剖面泥岩和砂岩的岩体参数做出估算。采用被工程地质界接受并流行的 RMR 分类方法,从岩体强度、RQD 值、节理间距、节理条件及地下水 5 类条件对泥岩和砂岩进行综合评价^[13-14]。根据这 5 类参数进行评分,将各类指标的评分数值求和得总分 RMR 值,按总评分值便可确定岩体级别,进行岩体质量评价。所研究岩体的 RMR 分类及质量评价列于下表(表 1)。

表 1 岩体评价表
Table 1 Rating form of rock mass

岩性	分类指标	泥岩	砂岩
岩块单轴抗压强度	MPa	9.6 ~ 12.4	21.5 ~ 23.4
岩石质量指标	评分	2	2
RQD	%	30 ~ 40	50 ~ 65
结构面间距	评分	8	13
结构面条件	cm	5 ~ 70	10 ~ 90
地下水条件	评分	9	10
RMR 总分及类型		强风化,节理面稍粗糙	弱风化,节理面稍粗糙
质量描述	条件	16	18
	评分	15	15
	条件	完全干燥	完全干燥
	评分	15	15
		50(Ⅲ)	58(Ⅲ)
		一般岩体	一般岩体

表 1 中的 RQD 值是通过野外钻探资料、结构面统计综合确定,岩体单轴抗压强度根据室内试验确定,其他指标根据野外地质调查给出。

根据上述岩体的分类,可以利用 RMR 估算不同岩体的变形模量,鉴于岩体变形模量这一参数的重要性和不易获取性,大量学者提出了利用 RMR 估算变形模量的经验公式,在实际工程中取得了广泛应用^[13-14]。

Bieniaski Z T^[15],研究了大量岩体变形模量实测资料,建立了分类指标 RMR 值和变形模量 E_m (GPa) 间的统计关系如下:

$$E_m = 2RMR - 100 \quad (RMR > 55) \tag{1}$$

$$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}} \quad (RMR \leq 55) \tag{2}$$

其中: E_m ——岩体变形模量 (GPa); RMR——岩体的变形模量估算值 (表 2)。

表 2 研究区域岩体变形模量估算值

Table 2 The estimates value of rock mass deformation modulus

岩性	RMR	E_m /GPa
泥岩	50	10
砂岩	58	16

Hoek、Brown^[3]根据岩石性质的理论和实践经验,用实验法导出岩块和岩体破坏的主应力之间的关系式为:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2} \text{ 或 } \tau = A\sigma_c(\sigma/\sigma_c - T)^B \quad (3)$$

式中: σ_1 、 σ_3 为破坏时的最大和最小主应力/Pa; σ_c 为整岩块的单轴抗压强度/Pa; A 、 B 、 m 、 s 、 T 与岩体质量有关的系数,可根据 RMR 值估算出来。各类岩体经验参数见表 3。

岩体的单轴抗压强度:

$$\sigma_{mc} = \sqrt{s}\sigma_c \quad (4)$$

岩体的单轴抗拉强度:

$$\sigma_{mt} = \sigma_c(m - \sqrt{m^2 + 4s})/2 = T\sigma_c \quad (5)$$

进一步得出:

$$\varphi_m = \arctan[AB(\frac{\sigma}{\sigma_c} - T)^{B-1}] \quad (6)$$

$$C_m = A\sigma_c(\frac{\sigma}{\sigma_c} - T) - \sigma[AB(\frac{\sigma}{\sigma_c} - T)^{B-1}] \quad (7)$$

式中: φ_m 为岩体的内摩擦面, C_m 为岩体的黏聚力/Pa。

最终研究区域泥岩、砂岩的岩体力学参数估算结果见表 4。

表 3 岩体经验系数表

Table 3 Rock mass empirical coefficient

岩性	RMR	A	B	m	s	T
泥岩	50	0.289	0.677	0.429	0.0012	-0.0015
砂岩	58	0.363	0.680	0.733	0.0027	-0.0028

表 4 岩体力学参数表

Table 4 Rock mechanics parameter

岩性	密度 ρ (g/cm ³)	变形 模量 E_m / GPa	泊松 比	单轴抗 压强度 σ_{mc} / MPa	单轴抗 拉强度 σ_{mt} / MPa	剪切强度 ($\sigma = 1$ MPa) C_m /MPa Φ_m (°)
泥岩	2.48	10	0.28	0.4	0.02	0.22 24
砂岩	2.42	16	0.20	1.1	0.06	0.36 33

3 岩质开挖边坡稳定性分析

采用摩尔库伦模型,对矿区 5-5'剖面开挖边坡进行稳定性数值计算分析,岩体的计算模型参数采用表 4 中参数,其他岩土体参数采用室内试验值,模型底面采用固定约束,左右端面均法向约束,模型垂直与纸面的两面采用法向约束,坡顶面自由。

图 3 为 5-5'剖面边坡开挖后总位移云图,图中数据区的单位为 m,可以看出开挖后边坡处于基本稳定状态,不存在较大的位移变形,最大位移为 7.2 mm,出现在露天采矿坑底、边坡坡脚位置。

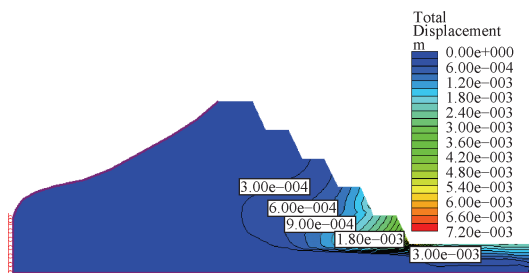


图 3 总位移云图

Fig. 3 The nephogram of total displacement

图 4 为 5-5'剖面边坡开挖后最大主应力云图,图中数据区的单位为 kPa,可以看出,5-5'剖面最大主应力为 2040kPa 左右,出现位置在矿坑坑底、边坡坡脚部位,说明边坡开挖后坡脚存在局部应力集中。主应力迹线为顺坡向,随着边坡高程增高最大主应力减小,在台阶坡面附近最大主应力大致为 0kPa。

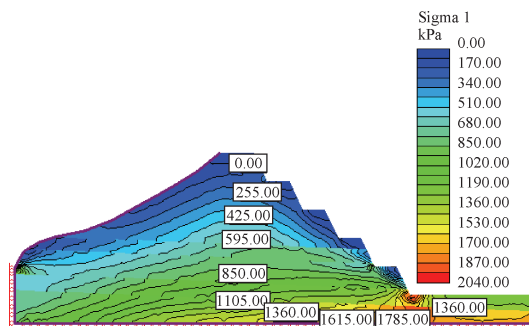


图 4 最大主应力云图

Fig. 4 The nephogram of maximum main stress

图 5 为 5-5'剖面边坡开挖后塑性区分布云图,可以看出,5-5'剖面存在局部塑性区,塑性区面积较小,位于露天采矿坑底、边坡坡脚处,边坡开挖后无大的贯通塑性区,边坡整体稳定,但应注意对露天采矿坑底、边坡坡脚处进行有针对性的治理工程,以保障矿山的安全生产。

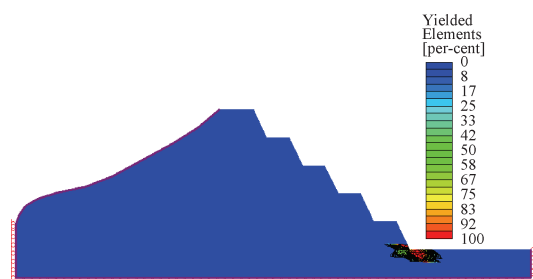


图 5 塑性区云图

Fig.5 The nephogram of plastic zone

4 结论

(1) 结合岩质边坡的野外调查和室内实验成果, 采用 RMR 分类方法、Hoek-Brown 强度准则, 可以获得边坡稳定性计算分析所用的摩尔库伦模型基本参数, 实现了室内岩石力学实验参数与野外现场实际岩体参数的过渡与衔接。该获取岩体参数的方法简便易行, 值得推广。

(2) 以某露天矿岩质开挖边坡典型剖面为例, 进行该边坡岩体力学获取及开挖稳定性分析, 计算结果表明: 边坡整体稳定, 边坡开采后的最大位移发生在露天采矿坑底、边坡坡脚位置处, 且该位置存在局部应力集中现象, 有小面积的塑性区。

(3) 对于所计算的剖面边坡, 应注意对露天采矿坑底、边坡坡脚处进行有针对性的治理工程, 以保障矿山的安全生产。

参考文献:

- [1] 苏永华, 封立志, 李志勇, 等. Hoek-Brown 准则中确定地质强度指标因素的量化[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(4): 679 - 686.
SU Yonghua, FENG Lizhi, LI Zhiyong, et al. Quantification of elements for geological strength index in Hoek-Brown criterion[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(4): 679 - 686.
- [2] 李建林, 王乐华. 卸荷岩体的尺寸效应研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(12): 2032 - 2036.
LI Jianlin, WANG Lehua. Study on size effect of unloaded rock mass [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(12): 2032 - 2036.
- [3] HOEK E, BROWN E T. Practical estimates of rock mass strength [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1997, 34(8): 1165 - 1186.
- [4] HOEK E, MARINOS P. BENISSI M. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1998, 57(2): 151 - 160.
- [5] HOEK E, CARRAN ZA-TORRES C, CORKUM B. Hoek-Brown failure criterion - 2002. edition [C]// Proceedings of NARMS-TAC 2002, Minging Innovation and Technology. Toronto: [s. n.], 2002: 267 - 273.
- [6] 王建峰, WILSON HT, 崔政权. 块状岩体边坡倾倒破坏稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(4): 1 - 8.
WANG Jianfeng, WILSON HT, CUI Zhengquan. Stability analysis of toppling failure of block rock slopes[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2001, 12(4): 1 - 8.
- [7] THOMAS B, RADU S, REGINA. A. K, et al. Hoek-Brown criterion with intrinsic material strength factorization[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2008, 45(2): 210 - 222.
- [8] JOHAN C, LARS D. An exact implementation of the Hoek-Brown criterion for elasto-plastic finite element calculations [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2008, 45(6): 831 - 847.
- [9] 宋琨, 晏鄂川, 毛伟, 等. 广义 Hoek-Brown 准则中强度折减系数的确定[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 106 - 112.
SONG Kun, YAN Erchuan, MAO Wei, et al. Determination of shear strength reduction factor for generalized Hoek-Brown criterion [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(1): 106 - 112.
- [10] 陈昌富, 翁敬良. 基于广义 Hoek-Brown 准则边坡稳定性分析强度折减法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 13 - 18.
CHEN Changfu, WENG Jingliang. Strength reduction method based on generalized Hoek-Brown criterion for slope stability analysis [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1): 13 - 18.
- [11] 王宇, 李晓. 基于 GH - B 准则的节理边坡模糊破坏概率研究[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(3): 41 - 47.
WANG Yu, LI Xiao. Research on the joint slope fully failure probability based on General Hoek Brown criterion [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40(3): 41 - 47.