

云南某石灰岩体宏观力学参数确定与优化

文文明¹ 沈忠义^{2*}

1. 昆明冶金高等专科学校冶金与矿业学院 云南 昆明 650033
2. 中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司 云南 昆明 650051

摘要：为解决现场或室内试验条件下难以测量大尺度岩体并确定其宏观岩体力学参数的问题，本文以云南某灰岩矿为研究对象，结合室内岩石力学试验方法，综合考虑岩体中节理裂隙、边坡岩体结构、地下水和尺寸效应的影响，对露天矿场边坡岩石质量进行评价与分类，并且运用霍克-布朗（Hoek-Brown）强度准则将室内岩石力学参数进行计算折减修正转换成边坡宏观岩体力学参数，包括岩体的体积模量、剪切模量、内摩擦角、黏聚力、抗压强度和抗拉强度等，进而为后续边坡稳定性的计算提供参数条件，本文参数也可作为类似矿山工程设计以及岩体稳定性计算的推荐值。

关键词：岩石力学；霍克-布朗（Hoek-Brown）；岩体力学参数；岩体质量分级；RMR值

引言

在边坡工程稳定性分析中，计算机技术的使用促进了数值方法的发展。然而，这些方法的可靠性很大程度上取决于岩体力学参数的选择^[1-3]。目前，学者们已经研究了多种选取岩体力学参数的方法。例如，何满潮等通过室内实验和计算机模拟确定工程岩体力学参数；熊广德等结合试验数据和工程地质条件提出了一套取值方法；汪小刚利用Bayes方法和可靠度理论，结合数据库资料和工程试验确定岩体参数；刘先删通过正交试验和FLAC3D模拟分析巷道变形；周洋洋、王俊程、施雄斌、康健等分别基于不同的方法和准则确定岩体力学参数。本研究基于室内岩石力学试验，考虑节理裂隙、结构、

地下水和尺寸效应，对耿马河底岗灰岩露天矿段岩体质量进行分类评价，并运用霍克-布朗强度准则将室内参数转换为宏观岩体力学参数^[4-8]。

1 工程概况简介

本次研究的对象为云南某露天灰岩矿山，随着矿山开采规模的扩大，边坡结构参数优化设计、最终边坡角确定及最终边坡稳定性分析都成为亟需解决的问题，要解决这些问题都不可避免的要先确定矿山工程岩体的岩体力学参数，因此，开展矿山工程岩体确定工作就显得十分必要。

2 矿山岩石力学参数确定及岩体质量评价及分级

2.1 室内试验岩石参数确定



图1 试验过程图

经过相关力学试验后所得到的岩石物理力学性质结果见表1所示，包括各类岩石的密度或容重、单轴抗压强度、抗拉强度、变形试验(各类岩石的弹性模量、泊松比)、抗剪强度等值。

表1 矿岩石物理力学性质试验成果汇总表

取样位置	岩性	天然密度 (g/cm ³)	抗压强度(Mpa)		弹性模量 (GPa)	泊松比	粘聚力C (Mpa)	内摩擦角 φ(°)
			干燥	饱和				
矿区北部	灰岩	2.67	21.13	21.13	28.16	0.27	5.12	41.5

续表:

取样位置	岩性	天然密度 (g/cm ³)	抗压强度(Mpa)		弹性模量 (GPa)	泊松比	粘聚力C (Mpa)	内摩擦角 φ(°)
			干燥	饱和				
矿区东部	灰岩	2.67	36.00	36.00	22.02	0.28	6.04	41.9
平均值	灰岩	2.67	33.40	33.40	25.09	0.28	5.58	41.7

2.2 岩体质量分级综合确定

根据岩体结构调查结果,并结合露天灰岩矿山矿段所做岩石力学试验成果,采用普氏分级、RMR分级、岩

土规范分级、Q系统值对岩体质量进行详细分级,并对得出的岩体质量等级进行汇总,最终确定评价矿区边坡岩体的综合质量等级为Ⅳ级,如表2所示。

表2 岩体分级汇总对比表

岩性	RQD分级	RMR分级	普氏分级	Q系统分级	岩土规范法	综合分级
灰岩	Ⅳ	Ⅲ/Ⅳ	V a	差	Ⅳ	Ⅳ

2.3 岩体力学参数的初步确定

本文采用格吉 (Georgi) 法、经验折减法^[9-10]、节理

工程规范法理论分析和数值计算得到岩体力学参数值,进而得到本矿区评价边坡灰岩体的强度指标 c_m 、 φ_m 值的取值范围,如表3所示。

表3 本矿区岩体 c_m 、 φ_m 取值综合对比

岩性方法		格吉法	经验折减法	CSIR法	内摩擦角 换算法	工程规范法	综合考虑取值范围
灰岩	c_m (MPa)	0.113	0.162	0.1 ~ 0.2	—	0.2 ~ 0.7	0.1 ~ 0.7
	φ_m (°)	—	—	15 ~ 25	33.36	27 ~ 39	15 ~ 39

3 岩体力学参数确定

在运用Hoek-Brown法计算岩体力学参数时,关键是选择 σ_3 的范围,其最好范围: $0 < \sigma_3 < 0.25\sigma_c$,对于边坡工程,选取 σ_3 从0, 1, 2、3, 逐渐增大到 $[0.125\sigma_3]$ (其中 $[0.125\sigma_3]$ 代表的是取 $0.125\sigma_3$ 的整数)。 σ_3 最大取值

$[0.125\sigma_3]$,在 $0 < \sigma_3 < 0.25\sigma_c$ 范围之内。由耿马河底岗露天灰岩矿山岩体质量分级结果,根据式(7)~(20)计算出的岩体力学参数见表4和表5所示。此表提供的岩体力学参数可作为该矿工程设计以及岩体稳定性计算的推荐值。

表4 岩体力学参数确定结果 (顺倾边坡)

岩性	密度 ρ (g/cm ³)	单轴抗拉强度 σ_{mt} /MPa	弹性模量Em/GPa	凝聚力c/MPa	内摩擦角 φ /°	泊松比
灰岩	2.67	0.1804	6.261	0.1674	33.36	0.28

表5 岩体力学参数确定结果 (切向边坡)

岩性	密度 ρ (g/cm ³)	单轴抗拉强度 σ_{mt} /MPa	弹性模量Em/GPa	凝聚力c/MPa	内摩擦角 φ /°	泊松比
灰岩	2.67	0.2014	7.552	0.1953	35.45	0.28

4 结论

(1) 根据现场地质资料、室内岩石力学试验,获取矿岩物理力学试验参数,并且采用普氏分级、RMR分级、岩土规范分级、Q系统值对岩体质量进行详细分级,最终确定评价矿区边坡岩体的综合质量等级为Ⅳ级。

(2) 采用格吉 (Georgi) 法、经验折减法、节理岩体的CSIR工程地质分类法、岩体内摩擦角的换算法、工程规范法理论分析和数值计算初步确定岩体力学参数值,进而得到本矿区评价边坡灰岩体的强度指标 c_m 、 φ_m 值的取值范围。

(3) 根据岩体质量评价结果,通过国际通用的Hoek-Brown经验方程实现了岩石力学参数向岩体力学参数的转化,从而求解得出了灰岩岩体力学参数最终取值,此方法为矿山下一步的岩土工程稳定性及变形分析研究奠定基础。

参考文献

[1]高玉坤,刘阜鑫,黄志安,等.鹿鸣钼矿岩体宏观力学参数确定与优化[J].金属矿山,2017,46(4):27-30.

[2]王树仁,周洪彬,武崇福,等.采用综合评判方法确定工程岩体力学参数研究[J].岩土力学,2007,28(S1):202-206.

- [3]刘婷婷,李闯闯,黄文旭,等.基于块体体积和岩体波速的岩体力学参数估算方法[J].湖南大学学报(自然科学版),2023,50(5):204-213.
- [4]何满潮,薛廷河,彭延飞.工程岩体力学参数确定方法的研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(2):225-229.
- [5]熊广德,刘腾.岩土工程中岩土体参数确定与取值方法研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(10):0187-0190.
- [6]汪小刚.岩体工程力学参数取值方法研究Ⅰ:原位试验与定量类比[J].水利学报,2023,54(1):13-23.
- [7]汪小刚.岩体工程力学参数取值方法研究Ⅱ:数值仿真试验[J].水利学报,2023,54(2):129-138.
- [8]刘先珊,乔士豪,李俊平,等.鸡冠咀矿区岩体力学参数的确定及数值模拟反演分析[J].安全与环境学报,2023,23(7):2254-2263.
- [9]Guéry AAC, Cormery F, Shao JF. A comparative micromechanical analysis of the effective properties of a geomaterial: Effect of mineralogical compositions. Comput Geotech. 2010;37(5):585-593.
- [10]高颖,杜春雪,张高青.基于Hoek-Brown准则的岩体力学参数确定[J].粉煤灰综合利用,2023,37(5):7-1219