

等效数值法在围岩稳定性评价中的应用

高 科,李夕兵

(中南大学 资源与安全工程学院,湖南 长沙 410083)

摘 要:提出了一种新的围岩的稳定性评价方法——等效数值法,建立了基于等效数值方法的围岩稳定性评价新模型.该方法将样本指标值与围岩稳定性各指标分类标准对比来确定权重,客观性强,计算简捷.对 5 个典型的围岩作为评价样本进行了评价研究,并将得到的评价结果与模糊识别法、可拓方法与模糊可变集合工程方法结果进行比较.研究结果表明,等效数值法成功率高、客观性强,为围岩稳定性的评价研究提供了一条新思路.

关键词:等效数值;围岩;稳定性;评价

中图分类号:TU457

文献标识码:B

Evaluation on Stability of Surrounding Rock Mass Based on Equivalent Numerical Method

GAO Ke, LI Xi-bing

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract: In this paper, a new stability evaluation method on surrounding rock mass by using equivalent numerical method is presented. The stability assessment model for the Surrounding Rock Mass based on an equivalent numerical method is established. 5 actual samples were used to verify the effectiveness of this method. Compared with Fuzzy Pattern Recognition, extension method and engineering method of variable fuzzy set, equivalent numerical method has a practical performance in evaluating the stability of surrounding rock mass. This paper provides a new way for evaluation on stability of surrounding rock mass.

Key words: surrounding rock mass; surrounding rock mass; stability; evaluation

0 引言

围岩作为地下工程的一类特殊岩体,其稳定

性直接影响生产和安全.围岩是否稳定,直接关系到工程设计及施工管理,因此围岩稳定性评价对地下工程有着十分重要的现实意义.从目前文献

收稿日期:2008-11-25

作者简介:高 科(1985-),男,山东莱芜人,中南大学硕士研究生.主要研究方向:岩石冲击动力学与岩土灾害控制.

中可知,围岩稳定分析方法主要有以下 5 种方法:

1)经验方法或工程类比方法^[1]:这是人们通过对实践的总结,进行归类指导的方法.

2)解析方法:解析法具有精度高、分析速度快和易于进行规律性研究等优点.但解析法分析围岩应力和变形目前多限于深埋地下工程,对于受地表边界和地面荷载影响的浅埋隧道围岩分析在数学处理上存在一定的困难,对工程实际中经常遇到的多孔、不均质及各向异性等问题,现今的解析方法几乎是无法解决的^[2].

3)数值计算方法:这是当前发展最快的方法之一,已经成为解决岩石地下工程稳定性的重要工具^[1].目前工程计算中常用的数值分析方法有^[2]:有限单元法、不连续变形分析(DDA)方法、关键块理论(KBT)、离散单元法(DEM)、块体单元法、FLAC(Fast Lagrangion Analysis of Continuum)数值分析方法、边界元法、块体-弹簧元分析法.

4)实验方法^[1]:包括实验室工作和现场监测与反馈,是直接面对工程问题的有效手段,已越来越受到重视.

5)不确定性方法:现在的岩石力学正在从确定性研究转向非确定性方法研究的过程中^[3].影响地下洞室围岩稳定性因素主要为地层岩性及其产状、构造结构面组合形态、地应力状态,以及水的赋存情况等^[4],这些因素具有很大的不确定性,概率和可靠度分析方法在不确定性越严重的问题中越能显示出其活力来.

6)其他方法:除了上述常用的方法外,还有一些新的理论和方法也在围岩稳定分析中得到应用,例如:模糊数学理论的综合评判法^[5]、灰色系统理论^[6-7]、神经网络理论^[8]、分形理论^[9]、模糊物元评价^[10]以及可拓方法^[11]等.

本文在上述研究的基础上应用等效数值法进行围岩稳定性的评价,建立理论基础和相应的分析手段,为设计和施工提供合理的参考依据.

1 等效数值法模型

等效数值法^[12]是将不同性质质量纲的指标无因次化,转化为某种标准形式,转化后的指标值均在(0,1)之间,这些实数为“等效数值”.

在围岩稳定性判别中设 m 项评价指标, n 个围岩样本, h 级围岩分级标准,则共有 $m \times n \times h$ 个指标 f_{ijt} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, h$),这些指标值均为大于等于 0 的实数.采用下式可将其转化为等效数值 f_{ijt}^* ^[13]:

$$f_{ijt}^* = f_{it}/(|f_{jt} - f_{it}| + f_{it}) \tag{1}$$

式中: f_{ijt}^* ——第 j 个围岩样本对第 t 级围岩等级在第 i 个评价指标下等效数值;

f_{it} ——第 t 级围岩等级中第 i 个指标值;

f_{jt} ——第 j 个围岩样本的第 i 个评价指标值.

在求得 f_{ijt}^* 后,由下式计算综合等效数值:

$$f_{jt} = \sum_{i=1}^m w_{ij} f_{ijt}^* \tag{2}$$

式中 w_{ij} ——第 j 个围岩样本对第 i 个评价指标的权值,采用指标超标法按下式计算:

$$w_{ij} = \frac{f_{jt}/[\frac{1}{h} \sum_{i=1}^h f_{it}]}{\sum_{i=1}^m [f_{jt}/\frac{1}{h} \sum_{i=1}^h f_{it}]} \tag{3}$$

采用等效数值法模型评价时,对于第 j 个围岩样本,如果 f_{jt} 为最大,则第 j 个围岩样本就判定为 t 级.

2 围岩稳定性等效数值评价模型

2.1 评价指标的选取

在目前的围岩稳定性分类中,作为评价的独立因素只有围岩质量、围岩的完整性和地下水的影响^[11].根据相关地质资料及实践经验^[14],本文主要采用如下 5 项指标:岩体质量指标 D 、单轴抗压强度 R_c 、岩体完整性指数 K_v 、地下水渗水量 W 和节理状况(表 1^[11])等 5 个因素作为评价的指标,并采用 5 级分类,各指标的分类标准列于表 2.

表 1 节理状况分类标准

Table 1 Standard for joint condition classification

节理状况	分值
节理面很粗糙,节理宽度为零,节理面岩石坚硬,节理不连续	9~10
节理面稍粗糙,节理宽度 < 1 mm,节理面岩石坚硬	7~9
节理面稍粗糙,节理宽度 < 1 mm,节理面岩石软弱	4~7
节理面光滑或含厚度 < 5 mm 的软弱夹层,节理开口宽度 1~5 mm,节理连续	2~4
含厚度 > 5 mm 的软弱夹层,节理宽度 > 5 mm,节理连续	0~2

2.2 工程应用

引用连建发等^[11]研究的实例,对辽宁锦州天桥 LPG 洞库场地地下工程围岩稳定性进行评价,各指标的实测值如表 3 所示.利用等效数值法对上述 5 个样本进行计算,可得结果如表 4.

表 2 围岩稳定性各指标分类标准
Table 2 Standard for index classification of surrounding rock stability

围岩稳定性类别	围岩质量指标 D	单轴抗压强度 R_c/MPa	岩体完整性指数 K_v	地下水渗水量 $10W/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	节理状况
稳定(Ⅰ)	0~0.10	200~300	0.75~1.0	0~5	9~10
较稳定(Ⅱ)	0.10~0.25	100~200	0.55~0.75	5~10	7~9
基本稳定(Ⅲ)	0.25~0.40	50~100	0.30~0.55	10~25	4~7
不稳定(Ⅳ)	0.40~0.60	25~50	0.15~0.30	25~125	2~4
极不稳定(Ⅴ)	0.60~1.0	0~25	0~0.15	125~250	0~2

表 3 各评价指标实测值
Table 3 Measurement results of index

编号	围岩质量指标 D	单轴抗压强度 R_c/MPa	岩体完整性指数 K_v	地下水渗水量 $10W/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	节理状况
1	0.12	185.5	0.89	6	8
2	0.27	176.4	0.80	8	7
3	0.08	158.2	0.94	6	7
4	0.04	201.1	0.97	5	9
5	0.24	181.9	0.92	9	8

2.3 等效数值方法的求解步骤

现以样本(1)为例,对求解过程作一简要说明:

1)将样本(1)的数据组成数列 $f_{i1}(i=1,2,3,4,5)$,即

$f_{i1}=(0.12,185.5,0.89,6,8)$

2)围岩稳定性各指标分类标准值(取区间的中间值)组成被比较数列

$f_{it}(i=1,2,3,4,5;t=\text{I、II、III、IV、V})$ 即:

$f_{i1}=(0.05,250,0.875,2.5,9.5)$

$f_{i2}=(0.175,150,0.625,7.5,8)$

$f_{i3}=(0.325,75,0.425,17.5,5.5)$

$f_{i4}=(0.5,37.5,0.225,75,3)$

$f_{i5}=(0.8,12.5,0.075,184.5,1)$

3)由式(1)可计算出等效数值

$f_{i1}^*(i=1,2,3,4,5;t=\text{I、II、III、IV、V})$

$f_{i1}^*=(0.417,0.795,0.983,0.417,0.864)$

$f_{i2}^*=(0.761,0.809,0.702,0.833,1)$

$f_{i3}^*=(0.643,0.404,0.477,0.603,0.688)$

$f_{i4}^*=(0.568,0.202,0.253,0.521,0.375)$

$f_{i5}^*=(0.541,0.067,0.084,0.508,0.125)$

4)采用线性加权法即公式(3)求得权重 $w_{i1}(i=1,2,3,4,5)$

$w_{11}=0.0467;$

$w_{21}=0.3236;$

$w_{31}=0.3663;$

$w_{41}=0.0191;$

$w_{51}=0.2443;$

5)根据公式(2)计算综合等效数值 $f_{i1}(t=\text{I、II、III、IV、V})$

$f_{11}=0.8557;$

$f_{12}=0.8146;$

$f_{13}=0.5139;$

$f_{14}=0.2861;$

$f_{15}=0.1182;$

f_{11} 最大,则判定围岩样本(1)为Ⅰ级,即稳定。

表 4 围岩样本判别结果
Table 4 The results of the samples

编号	等效数值法	模糊识别法 ^[15]	可拓方法 ^[11]	模糊可变集合工程方法 ^[16]
1	稳定	稳定	较稳定	较稳定
2	较稳定	较稳定	较稳定	较稳定
3	稳定	稳定	较稳定	较稳定
4	稳定	稳定	稳定	稳定
5	较稳定	较稳定	较稳定	较稳定

2.4 结果讨论

从表 4 可以看出,采用等效数值判别的结果和文献[15]采用的模糊模式识别直接法评价的结果是相同的.而和文献[11]与文献[16]采用的可拓方法和模糊可变集合工程方法相比存在差异.

例如,对第1个围岩样本,等效数值方法与模糊模式识别方法评价的结果是级,可拓方法评价的结果为级偏向级(1.9级)^[16]。等效数值方法是根据各指标实测值与的分类标准值区间(见表2)之间的关系求得权重,用等效数值评价的结果显得更为合理。

3 结论

1)通过5个实际围岩样本资料的验证表明,等效数值方法对围岩稳定性的判别成功率高,显示出本文方法对围岩稳定性评价十分有效。

2)用简单的线性加权方法确定权重,避免了专家打分等主观因素所造成的影响。

3)将等效数值方法运用于围岩稳定性评价,其评价模型与现有评价模型相比,方法使用简便,评价结果直观、准确可靠,具有信息利用率高优点,便于推广采用,为围岩评价提供了一条新的、有效的途径。

参考文献:

- [1] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [2] 张继勋,刘秋生. 地下工程稳定性分析方法现状与不足[J]. 现代隧道技术, 2005, 42(1): 1-5.
- [3] 于学馥. 岩石力学的数学描述与计算试验技术[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 26(1): 93-96.
- [4] 陶振宇. 岩石力学理论与实践[M]. 北京:水利出版社, 1979.
- [5] 盛继亮. 地下工程围岩稳定性模糊综合评价模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(1): 2418-2421.
- [6] 赵卫国. 灰色关联分析法在围岩分类中的应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(12): 100-101.
- [7] 李俊宏,何淑媛,袁文秀. 地下围岩稳定分级的灰色关联优化模型[J]. 水利水电科技进步, 2007, 27(6): 21-23.
- [8] 饶运章,侯运炳. 神经网络方法在围岩稳定性分级评价中的应用[J]. 黄金, 2001, 22(10): 15-17.
- [9] 彭振华,丁浩. 分形理论在地下工程岩体质量评价中的应用[J]. 隧道建设, 2003, 23(1): 7-10.
- [10] 王广月,刘健. 围岩稳定性的模糊物元评价方法[J]. 水利学报, 2004(5): 21-24.
- [11] 连建发,慎乃齐,张杰坤. 基于可拓方法的地下工程围岩评价研究[J]. 岩石力学与工程学院, 2004, 23(9): 1450-1453.
- [12] 纪桂霞. 大气环境质量的等效数值评价法[J]. 环境工程, 1999, 17(6): 58-60.
- [13] 李明山. 等效数值法在地下水环境质量评价中的应用[J]. 工程勘察, 1998(6): 36-38.
- [14] 杨振茂. 郑州市地下空间开发利用的岩土工程安全问题[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(2): 12-16.
- [15] 彭振华. 锦州天桥 LPG 洞库场地岩体质量评价研究[D]. 北京:中国地质大学, 2002.
- [16] 陈守煜,韩晓军. 围岩稳定性评价的模糊可变集合工程方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(9): 1857-1861.