

块体理论中关键块滑落的概率分析^①

赵 文

(东北大学土木工程系, 沈阳 110006)

摘 要 概要性地介绍了块体理论和岩体中节理迹长的测量和计算方法, 并对被节理切割的岩体中可能滑落的岩块——关键块进行了分析; 把概率理论引入节理迹长分布的研究之中, 对岩体中无限长的节理假定作出有限长的修正。采用概率分析的方法, 推导了多组节理切割岩体形成关键块体概率的计算公式, 从而使原来的一些关键块体转化为稳定块体, 减少了关键块的数量。着重对三组节理切割岩体形成的关键块体进行了详细的分析, 得到了关键块滑落的概率值, 并证明了体积愈小的关键块愈容易滑落。

关键词 块体理论 关键块 节理迹长

中图法分类号 TD313.5

岩体是一种非常复杂的材料, 其破坏有多种形式, 但对硬岩来说主要是脆性破坏和沿结构面剪切破坏。破坏的原因往往是岩体中含有节理及其本身的不均质性、各向异性和许多地质及工程因素的影响。目前, 以应力和位移作为主要研究目标的传统力学理论, 在研究岩体的破坏方面, 与工程实际尚有一定的差距; 而块体理论主要研究节理切割岩体后形成的块体的稳定性问题, 特别是对大断面开挖的地下工程, 有很大的实用价值。近年来, 国内外的不少学者对块体理论进行了多方面的研究^[1-3], 对地下工程的稳定性研究起到了很大地推动作用。本文将对块体理论存在的一些问题进行讨论和研究。

块体理论是在 70 年代中期由石根华先生提出的^[4, 5]。由于岩体被各类结构面和临空面(开挖面)切割后, 岩体中形成了形状各异的镶嵌块体, 块体理论就是研究这些块体的塌落和运动的规律^[1]。

块体理论分析的核心是寻找关键块体。关键块体是在工程和自重作用下, 由于滑动面上的抗剪强度不足以抵御滑动力, 若不施加工程

锚固措施, 必将失稳的岩体^[2]。根据块体理论的原理, 块体的可动准则为

$$JP \neq \Phi$$
$$EP \cap JP = \Phi$$

块体理论的基本假定有如下几条^[6]:

- (1) 结构面为平面并贯穿所研究的岩体;
- (2) 结构面为刚体, 不计块体的自身变形和结构面的压缩变形;
- (3) 岩体失稳是沿结构面产生剪切滑移。

从块体理论的假定可以看出, 切割块体的节理可以说是无限长的, 但实际的节理迹线长度是有限长的。这样一来, 用块体理论得出的关键块体是最极端的情况。实际上由于节理长度有限, 没有把块体完全切割下来, 有时无法构成裂隙块体, 所以原来关键块体的一部分要变成无限块体。即实际开挖体中的关键块体数量要有所减少。

1 节理长度(迹长)的确定

在岩体的露头面上, 测量节理迹长时, 由于露头面的尺寸限制, 看到的多是未见迹线两

① 收稿日期: 1997-05-29; 修回日期: 1998-02-25 赵 文, 男, 36 岁, 副教授, 博士

端点的删截部分迹长。如何根据看到的有限长度,即删截半迹线长度来推求节理的平均迹长,这是我们所研究的问题。

国外在这方面有一定的研究成果^[7, 8],可以推导出根据删截半迹长的期望值 $1/\mu_i$ 与删截长度 C 值来估计实际岩体中平均迹线长度的倒数 μ 。但这种方法误差较大,不如采用下述分析方法,即样本足够大时有:

$$H(c) = r/n$$

式中 r — 在删截半迹线的抽样总体中半迹线长度小于 C 值的样本数目, n — 在删截半迹线的抽样总体中交切的全部样本数, $H(c)$ — 大于 C 值的半迹线长的概率值。

节理迹长的分布规律可以通过统计方法获得。迹长的分布规律一般为负指数和对数正态分布,如 Cruden (1977) 和 Priest and Hudson (1976, 1981) 的统计都得出了负指数的分布规律。

负指数分布的概率密度函数为

$$f(l) = \mu e^{-\mu l}$$

式中 $f(l)$ — 迹线长度概率密度分布函数, μ — 平均迹线长度的倒数或迹长的期望值, l — 迹线长度。

于是有

$$H(c) = \int_0^c \mu e^{-\mu l} dl$$

$$r/n = 1 - e^{-\mu c}$$

从而求得

$$\mu = -\frac{1}{C} \ln \left[\frac{n-r}{n} \right]$$

由此可得到节理长度值 $(1/\mu)$ 。

2 关键块的滑落概率

岩体中的节理实际上并非贯穿于所研究的整个岩体,而是只有有限的长度,因此,当考虑节理的迹长函数时,原块体理论的关键块还能否成为名副其实的关键块呢?下面就进行这方面的分析。

节理迹长服从负指数分布,其概率密度为

$$f(x) = \mu e^{-\mu x} \quad (1)$$

式中 μ — 迹长的倒数,或节理迹线端点的密度; x — 节理迹线长度的取值。

迹长出现的累积概率为

$$F(x) = 1 - e^{-\mu x}$$

现以三棱锥为例分析关键块滑落的概率。

假定三棱锥某棱的长度为 a ,则构成棱锥且包含该棱的节理面的长度必须大于 a ,否则将不能构成棱锥。因此,我们可以把棱锥出现的概率看成是各节理面长度大于 a 同时出现的概率,也就是关键块体能真正滑落的概率应等于构成块体的各节理面长度大于块体棱长出现的概率的乘积。这就是说,原来按块体理论能冒落下来的关键块体,由于节理不贯穿于所研究的岩体,因此冒落的可能就出现了一个概率值。下面我们导出一个计算公式。

由式(1)计算出的是一个累积概率值,即为节理长度小于 x 的概率值,如果要计算迹线长度大于 x 的概率值 $F_1(x)$,有

$$F_1(x) = 1 - F(x) = 1 - (1 - e^{-\mu x})$$

于是:

$$F_1(x) = e^{-\mu x} \quad (2)$$

如果有三组节理构成一个已成为关键块体的三棱锥,设每组节理的迹线端点密度分别为 μ_1, μ_2, μ_3 ,则三组节理面构成的三棱锥的锥面长度分别大于 x_1, x_2, x_3 的概率值,也就是三条节理长度同时分别大于 x_1, x_2, x_3 的概率值应为

$$F_2(x) = e^{-\mu_1 x_1} e^{-\mu_2 x_2} e^{-\mu_3 x_3}$$

所以有:

$$F_2(x) = \exp[-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3)] \quad (3)$$

由式(3)可计算出关键块体滑落的概率值。我们可以根据块体理论的基本原理,把式(3)推广到更一般的情况,对四棱锥以及由更多的节理面组成的棱锥体,设每组节理迹线的端点密度分别为 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$,那么由 n 个面组成的棱锥每个棱面的长度分别为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的关键块真正滑落的概率为

$$F_2(x) = \exp[-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \dots + \mu_3 x_n)] \tag{4}$$

从式(4) 可看出, 当节理越长, 也就是 μ 越小, 则原关键块真正滑落的概率就越大; 如果 μ 不变, 即节理的迹线长度不变, 如块体越小, 即块体的棱长 x 越小, 则 $F_2(x)$ 的值就越大。这就说明, 体积小的关键块体要比体积大的关键块体容易滑落。另外, 从公式分析还可知道, 组成棱锥的面越少, 则关键块体滑落的概率越大。

为了说明上面推导的出公式的含义, 下面实际计算一下关键块体的滑落概率。

假定有三组节理切割岩体形成一个三棱锥的关键块, 且节理面的形状为一个等二维的圆盘, 为了计算方便, 研究的三棱锥取为正三棱锥, 即三个棱的长度相等。这样, 给定一个节理的长度(在实际应用中可量测和计算出节理的实际长度), 即可按式(4) 计算出不同棱长的三棱锥关键块体滑落的概率。表 1 中列出了节理长度从 2m 至 14m 的情况下, 三棱锥的棱长从 0.5m 到 6m 的关键块实际滑落的概率值。表中: l 为节理的长度, $l = 1/\mu$; I 为组成关

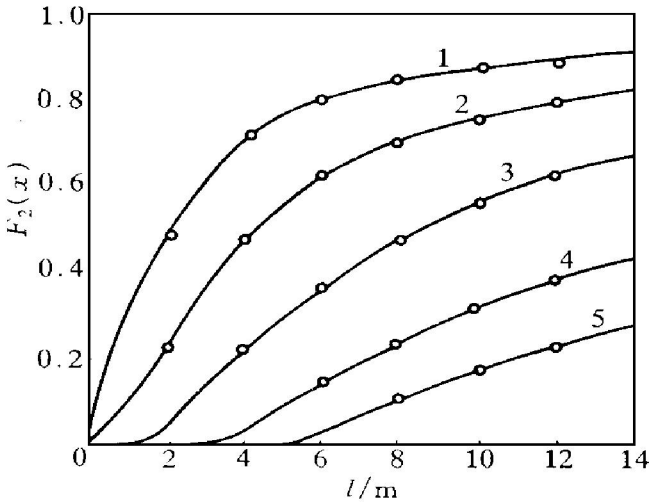


图 1 节理迹线长度 l 对关键块滑落概率 $F_2(x)$ 的影响

Fig. 1 Influence of joint trace length on sliding probability of key block
1— $I = 0.5\text{ m}$; 2— $I = 1.0\text{ m}$; 3— $I = 2.0\text{ m}$;
4— $I = 4.0\text{ m}$; 5— $I = 6.0\text{ m}$

表 1 不同棱长的关键块的滑落概率

Table 1 Sliding probability $F_2(x)$ of key block at different lengths of edges

I/m	l/m						
	2	4	6	8	10	12	14
0.5	0.47	0.69	0.78	0.83	0.86	0.88	0.90
1.0	0.22	0.47	0.61	0.69	0.74	0.78	0.81
2.0	0.05	0.22	0.37	0.47	0.55	0.61	0.65
4.0	0.002	0.05	0.14	0.22	0.30	0.37	0.42
4.0	0	0.01	0.05	0.11	0.17	0.22	0.28

键块的棱长, $F_2(x)$ 为关键块体真正滑落的概率。

计算的数据也可见图 1 和图 2, 图中直观地反映出节理迹线长度和关键块棱长对关键块体滑落概率的影响情况。

3 结论

- (1) 由于节理为有限长度, 因而原块体理论所确定的关键块体不能全部滑落, 一部分关键块体转为无限体。
- (2) 通过概率分析表明, 体积愈小的关键块体, 则愈容易滑落; 节理越长, 组成关键块

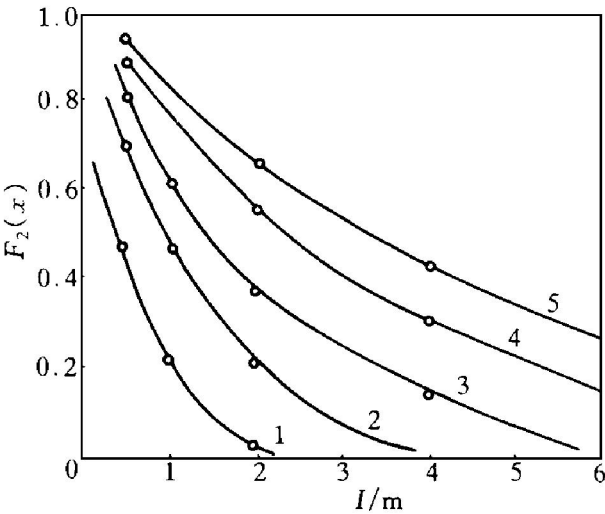


图 2 关键块棱长 I 对关键块滑落概率 $F_2(x)$ 的影响

Fig. 2 Influence of edges on sliding probability of key block
1— $l = 2\text{ m}$; 2— $l = 4\text{ m}$; 3— $l = 6\text{ m}$;
4— $l = 10\text{ m}$; 5— $l = 14\text{ m}$

体的面越少, 则关键块体滑落的概率越大。

按本文的研究结果, 一部分关键块体将不能产生滑落。但地下工程的岩体滑落是一个动态的发展过程, 其岩体可由受力而产生新的变形和破坏, 从而导致新的裂隙面及原结构面的开裂, 并使研究变得极为复杂。因而出现了解决块体不连续变形的新型的数值方法(简称DDA)^[9]。本文得到的只是一个初步结果, 以后可结合断裂力学、损伤理论等进一步深入地研究。

REFERENCES

- 1 Chen Naiming(陈乃明) and Liu Baochen(刘宝琛). Mining and Metallurgical Engineering(矿冶工程), 1991, 13(4): 15.
- 2 Liu Jinhua(刘锦华) and Lu Zuheng(吕祖珩). Block Theory and Its Application In Stability Analysis of Rock Masses. Beijing: Hydraulic and Electric Press, 1988.
- 3 Chen Douyong(陈斗勇), Jiang Xiaohuang(蒋晓晃) and He Dezhi(贺德志). Rock and Soil Mechanics, 1997, 18(3): 24.
- 4 Shi Genhua(石根华). Science in China(中国科学), 1977, 20(3): 260.
- 5 Shi Genhua(石根华). Science in China(中国科学), 1982, 25(4): 125.
- 6 Goodman R E and Shi Genhua. Block Theory and its Application to Rock Engineering. New Jersey: Englewood Cliffs, 1985: 9-12.
- 7 Priest S D and Hudson J A. Int J Rock Mech Min Sci and Geomech Abstr, 1981, 18(2): 183.
- 8 Shapiro A and Deepert J L. Int J Rock Mech Min Sci and Geomech Abstr, 1991, 28(2): 375.
- 9 Wang Rulu(王如路), Chen Naiming(陈乃明) and Liu Baochen(刘宝琛). Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering(岩石力学与工程学报), 1996, 15(3): 219.

PROBABILITY ANALYSIS FOR FALLING OF KEY BLOCKS IN BLOCK THEORY

Zhao Wen

*Department of Civil Engineering, Northeastern University,
Shenyang 110006, P. R. China*

ABSTRACT The measurement and calculation method of the joint trace length were introduced and the key blocks, which probably fall in the rockmass cut by joints, were analyzed. By using the probability theory, the joint was finite instead of infinite. The formula of probability that rockmass including several group of joints formed key blocks was deduced, which converted some original key blocks into stable blocks, so the key blocks' amount was reduced. Based on the detailed analysis for the key blocks formed by three group of joints, the probability value of the sliding of key blocks was obtained. It was proved that the smaller the volume is, the more easily the key blocks fall.

Key words block theory key block joint trace length

(编辑 何学锋)