

Unwedge (2. 35) 程序在分析块体稳定性中的应用^{*}

刘 军^① 谢 晔^② 柴贺军^② 张倬元^② 陶连金^③

(^①清华大学水利系 北京 100084)
(^②成都理工学院工程地质研究所 成都 610059)
(^③北京工业大学 北京 100022)

摘 要 Unwedge (2. 35) 程序在原 Ver. 1. 0 的基础上做了改动, 程序的功能增强。根据作者使用该程序的经验, 结合工程实践介绍了 Unwedge (2. 35) 程序的基本原理方法、及该版本的缺陷。
关键词 Unwedge 程序 块体稳定性 地下厂房
中图分类号: TP311. 1 **文献标识码:** A

APPLICATION OF UNWEDGE (2. 35) PROGRAM TO ANALYSIS OF ROCKMASS BLOCK STABILITY

LIU Jun^① XIE Ye^② CHAI Hejun^② ZHANG Zhuoyuan^② TAO Lianjin^③

(^① Tsinghua University, Beijing 100084)
(^② Chengdu University of Technology, Chengdu 610059) (^③ Beijing Polytechnical University, Beijing 100022)

Abstract This paper introduces the fundamental principles and characteristics of the Unwedge program (2. 35) and its application to analysis of rockmass block stability around an underground workshop. It indicates that the Ver. 2. 35 is superior to Ver. 1. 0 because of its revision and improvement of its fundction. On the basis of our experience, the previous Unwedge program has its limitation.
Key words Unwedge program, Block stability, Uunderground workshop

引 言

大量实践表明, 人工开挖地下工程中, 岩体均以块体形式发生失稳破坏, 因此, 块体稳定性是研究地下开挖工程围岩整体稳定性的一项极为重要的内容。Unwedge 程序是加拿大 Toronto 大学 E. Hoek 等依据石根华块体理论开发研制的, 该程序是一种分析在坚硬岩体中开挖所形成的块体稳定性的应用分析软件, 具有友好的界面, 使用方便, 可进行交互式操作, 且功能强大, 既可以根据不连续

面组合出块体并进行稳定性分析, 直观地显示出其空间几何形状, 而且还可以对不稳定块体施加锚杆予以加固, 具有一定的应用价值。本文将对高版本 Unwedge (2. 35) 程序的基本原理及其主要功能作简要说明, 着重阐述其在西南某巨型水电站地下厂房顶拱围岩块体分析中的应用, 并进一步指出其应用中的应注意的问题及其缺陷。

1 Unwedge (2. 35) 程序简介

Unwedge (2. 35) 程序是基于石根华块体理

^{*} 收稿日期: 2001-01-20; 收到修改稿日期: 2001-04-24.
第一作者简介: 刘军 (1965-), 男, 博士, 研究方向岩土体稳定. Email: liu-jun@tsinghua.edu.cn
?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

论而开发的, 它假定结构面相切形成的块体为四边形, 即由三组结构面和开挖临空面组成, 仅考虑块体的重力及结构面的力学性质, 而不考虑地应力作用, 另外假定结构面为平面, 岩体的变形仅为结构面的变形, 结构体为刚体; 结构面贯穿研究区域, 且在保持产状不变的情况下可任意移动; 开挖断面沿轴线方向恒定不变; 每次参与组合的结构面最多为三组。块体的组合方式如图 1 所示, Unwedge 会自动生成最大可能的楔形块体, 并计算出其安全系数。用户可根据结构面的实际出露情况对所形成的块体进行筛选和进一步的分析。块体有三种破坏方式, 即直接垮落、沿单面滑动及沿双面滑动。用以表征块体稳定性的是安全系数 $F.S.$ (The factor of safety), 在不考虑地震和地下水作用时, 滑动力即为块体的重力。在滑动破坏时, 滑动力为重力沿滑动面的切向分力; 直接垮落破坏时, 滑动力为块体的重力; 当重力矢量超出块体的基底时, 块体将发生转动破坏, 但 Unwedge 仍将按滑动方式计算其安全系数。

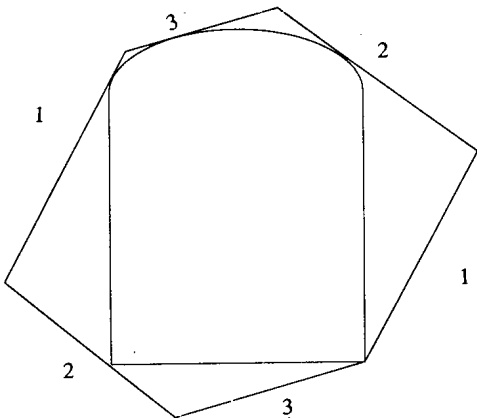


图 1 三组结构面在拱形巷道周围组合形式

Fig. 1 The configuration of three structural discontinuities around an arch excavation

块体滑动可能沿单一滑面, 也可能有两个滑面。不同的破坏方式下, 块体的安全系数按下面的公式求出:

(1) 直接垮落块体

$$F.S = \frac{\sum_{i=1}^n [T_g^1 \cdot eff^1] + C_g}{W_g} \tag{1}$$

(2) 沿单滑面滑动块体

$$F.S = \frac{N_i \cdot \tan \varphi_i + A_i c_i}{S_i}$$

$$+ \frac{\sum_{i=1}^n [(Tn_i^1 \cdot \tan \varphi_i + Ts^1_i) \cdot eff^1]}{S_i} + \frac{Cn_i \cdot \tan \varphi_i + Cs_i}{S_i} \tag{2}$$

(3) 沿双滑面滑动块体

$$F.S = \frac{N_i \cdot \tan \varphi_i + N_j \cdot \tan \varphi_j + A_i c_i + S_i + A_j \cdot c_j}{S_{ij}} + \frac{\sum_{i=1}^n [(Tn_i^1 \cdot \tan \varphi_i + Tn_j^1 \cdot \tan \varphi_j + Ts_{ij}^1) \cdot eff^1]}{S_{ij}} + \frac{Cn_i \cdot \tan \varphi_i + Cn_j \cdot \tan \varphi_j + Cs_i + Cs_j}{S_{ij}} \tag{3}$$

(3) 式中, n 为锚杆数, g 为重力方向, N_i —块体重力(W)沿平面 i 的法向分量; S_i —块体重力(W)沿平面(滑面) i 的切向分量; S_{ij} —块体重力(W)沿平面 i 和 j 确定的边的分量; T_g^1 —沿重力 g 方向的抗滑力; Tn_i —锚杆锚固力(T)沿平面 i 的法向分量; Ts_i —锚杆锚固力(T)沿平面 i 的切向分量(沿滑面); Ts_{ij} —锚杆锚固力(T)沿平面 i 和 j 确定的边的分量; eff —锚固效率(由锚杆的锚固方向和块体的破坏形式决定); C_g —重力 g 方向内聚力; Cn_i —喷射混凝土强度(C)沿平面 i 的法向分量; $C = L \cdot t \cdot \tau_{all} L$ —底滑面的周长; t —喷射混凝土厚度; τ_{all} —喷射混凝土的抗剪强度。 Cs_i —喷射混凝土强度(C)沿平面 i 的切向分量(沿滑面); Cs_{ij} —喷射混凝土强度(C)沿平面 i 和 j 确定的边的分量; W_g —块体自重; A_i —平面 i 的面积; c_i —平面 i 的内聚力; φ_i —平面 i 的摩擦角。

一般建议安全系数应大于 1.5~2。临时性的巷道应大于 1.5, 永久性巷道则应大于 2.0。满足不了上述要求的块体, 就应对其进行支护加固。Unwedge 程序提供的加固方式有四种, 即摩擦性的锚杆、一端固定的锚杆、喷射混凝土及喷射混凝土与锚杆的组合。

2 Unwedge (2. 35) 程序的应用

西南某拟建的水电站为仅次于三峡水电站的我国第二个巨型水电站, 采用全地下式厂房方案, 分左右两岸布置, 厂房为椭圆顶拱, 直立边墙。厂房长度 436m, 宽 33.8m, 高 78m, 为一高边墙、大跨度地下厂房, 且坝区地震烈度高达 8 度, 这在国内外都罕见。地下厂房区无断裂构造发育, 出露的

地层为玄武岩，可划分为若干岩流层，厂房在 3 ~ 6 层内，层间发育层间错动带，为厂房区控制性结构面，层内随机分布有缓倾的层内错动带，为次一级结构面，另外层内还随机发育分布有陡倾的基体裂隙。地下厂房区围岩受到层内错动带、层间错动带和基体裂隙的切割，容易形成块体边界，特别是高边墙和大跨度的开挖临空面，使得地下厂房顶拱块体稳定性极为突出。从理论上讲，块体可分为如图 2 所示的几类。

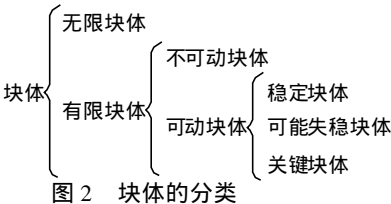


Fig. 2 Classification of blocks

要分析研究的就是关键块体。关键块体为在各种力的作用下，由于滑动面上的抗剪强度不足于抵御滑动力，若不加工程锚固措施，必将失稳的块体。根据目前对地下厂房围岩结构面的调查和研究结果，构成关键块体边界的结构面有 3 类，即层间

错动带 C、层内错动带 LC 和基体裂隙 J。按目前的勘探程度和研究结果，层间错动带、层内错动带及长大基体裂隙的产状和在主厂房硐的出露位置可以基本确定。

在进行分析计算前，首先要考虑以下原则搜索块体：(1) 按岩体结构分段：先按主厂房的围岩质量分级的分段，然后再考虑 Lc 的交切关系及地质现象进行细分。(2) 在块体稳定性分析时，考虑到各种结构面的组合与切割方式时，按结构面的性质及延展情况，将结构体分为两类：①由层内错动带相互切割组成；②由基体裂隙与 Lc 组成的块体。(3) 对所有搜索到的块体进行稳定性评价。

2. 1 块体的搜索与分析结果

根据上述研究思路及分析基本原则，采用的 Unwedge (2. 35) 程序对地下主厂房的顶拱部位块体进行了搜索与分析。

在此基础上，通过已掌握的野外勘探资料进行初步校核，对块体可能出露的位置、大小、安全系数 (F. S.) 进行了初步分析。表 1 是搜索与分段结果，表 2 为块体分析成果。

表 1 地下厂房块体搜索分段与结果

Table 1 The segmentation of rockmass and result of searching for blocks in underground workshop

分段编号	位置/ m	结构面编号
第一段	0 ~ 70	Lc6-1 (3), Lc6-2 (3), 基体裂隙 J11
第二段	70 ~ 199	Lc6-3 (3), Lc6-4 (3), Lc6-5 (3), Lc6-3 (5), Lc6-1 (5), Lc6-1 (6) 基体裂隙 J16、J18、J19
第三段	199 ~ 286	Lc6-6 (3), 基体裂隙 J21、J22
第四段	286 ~ 355	Lc6-10 (3), Lc6-11 (3), Lc6-13 (3), Lc6-15 (3), Lc6-18 (3)
第五段	356 ~ 436	Lc6-21 (3), Lc6-22 (3), Lc6-23 (3)

2. 2 典型块体特征分析

从表 2 可以看出，形成的关键块体总共有 6 个，块体的边界为层间错动带 Lc 和基体裂隙 J，块体的安全系数均小于 2，块体破坏形式有直接掉落及沿单面下滑。在 Lc 比较发育部位块体出露较多。典型块体的基本特征如下 (依次见图 3a、图 3b、图 3c 及图 3d)：第二段存在三个由 Lc 与基体裂隙构成的不稳定块体，其中由 Lc6-3、Lc6-4、Lc6-1 (6) 组成的

块体重量达 1845t，次之为 658t，块体沿单面形式运动。该段由 Lc6-3、Lc6-4、Lc6-1 (6) 组成的块体影响最大，应做进一步的工作。

第三段仅存在一个由 Lc6-6 及基体裂隙 J21、J23 组成的块体，块体重量为 42. 35t，沿单面滑动，安全系数为 0. 63。

第四段有五条 Lc，根据相互关系仅 Lc6-10、Lc6-11、Lc6-13 能构成块体。重量达 82. 45t，沿单面滑动，安全系数为 1. 24。

表 2 地下厂房块体稳定性分析成果表

Table 2 Result of block stability analysis of underground workshop

段号	结构面	组合	块体特征				备注
			底滑面	重量/t	安全系数	出露位置/m	
一	Lc6-1 (3), Lc6-2 (3), 基体裂隙 J11	Lc6-1 (3), Lc6-2 (3), J11	J11	30. 41	1. 24	60	基体裂隙与挤压破碎带不能穿过 Lc6-1
二	Lc6-3 (3), Lc6-4 (3),	Lc6-3 (3), Lc6-4 (3), Lc6-1 (6)	Lc6-1 (6)	1845. 88	1. 36	160	其余组合形成了块体或形成的块体不符合实际
	Lc6-5 (3), Lc6-3 (5), Lc6-1 (5), Lc6-1 (6)	Lc6-5 (3), Lc6-4 (3), Lc6-1 (6)	Lc6-4 (3)	658. 12	0. 89	200	
	基体裂隙 J16、J18、J19	Lc6-3 (3), J18, J19	直接掉落	9. 57	0. 00	130	
三	Lc6-6 (3), 基体裂隙 J21、J22	Lc6-6 (3), J21, J22	J22	42. 35	0. 63	240	
四	Lc6-10 (3), Lc6-11 (3), Lc6-13 (3), Lc6-15 (3), Lc6-18 (3)	Lc6-10 (3),, Lc6-11 (3), Lc6-13 (3)	Lc6-13 (3)	82. 54	0. 6	310	
五	Lc6-21 (3), Lc6-22 (3), Lc6-23 (3)	无					被 C5 限制延伸不到顶拱

说明: Lc6-3 (3) 表示 3 号支硎第六层玄武岩中的第三条层间错动带, 其余意义相同。

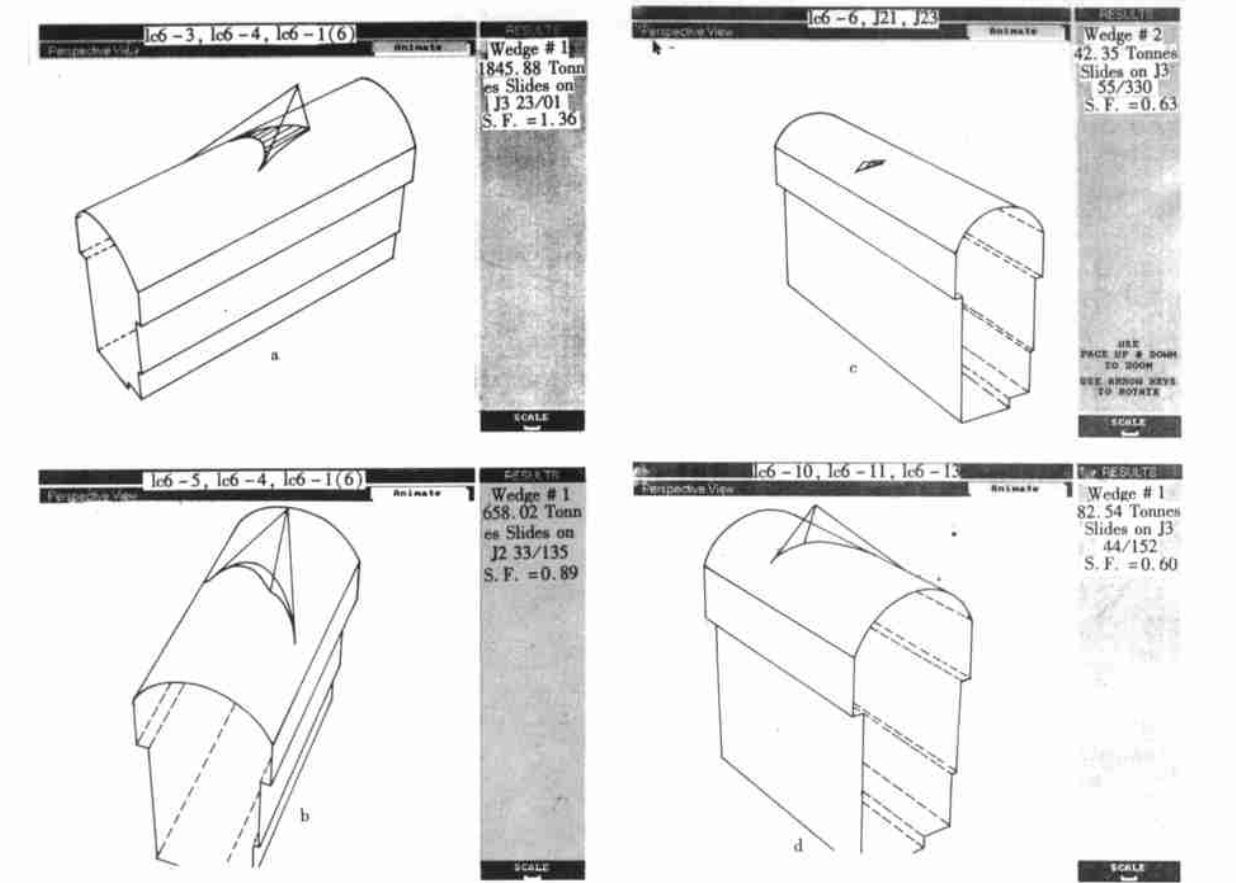


图 3 块体分析成果图

Fig. 3 The results of blocks analysis

伸长度) 达 40—50m, 块体的重量几千吨, 这显然与野外调查不符。调查结果表明基体裂隙一般延伸长 3 ~ 5m, 最长可达 25m, 在计算中采用上限 20m。通过修改 J21、J22 的延伸长度使其与实际吻合, 便可重新计算块体的大小、安全系数等, 这是高版本 Unwedge 程序的一个显著的优点 (Ver. 1. 0 不具这一功能)。

3 结 论

Unwedge (2. 35) 程序功能较为强大, 该程序虽然界面友好, 操作简单, 但由于仅考虑块体的重力作用, 不考虑地应力场及地震、爆破等作用对块体稳定性的影响, 且考虑的块体形态简单, 使得该程序的应用受到较大的限制, 只能粗略地进行块体稳定性的评价的影响, 所得结果较为保守; 在工程实践中, 所遇到的块体不都是四面体, 还有五面体甚至六面体, 虽然五面体、六面体可拆分成若干四面体, 但这增加了分析难度; Unwedge (2. 35)

程序不能准确地确定块体的出露位置, 而只能定出相对出露位置。由于 Unwedge 程序存在以上缺陷, 在应用中特别要注意将结构面进行分段研究, 并仔细分析结构面之间的相互交切关系, 在野外还需对所得的块体进行校对。

参 考 文 献

- [1] Unwedge User' s Guide. 3D visualization of potentially unstable wedges in the rock surrounding underground excavations and calculation of factors of safety and support requirements for these wedges. 1992—1999 Rocscience, Inc.
- [2] 陶连金, 张倬元, 姜德义. 复杂工程岩体稳定性评价 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998, 35 ~ 76.
Tao Lianjin, Zhang Zhuoyuan, Jiang Deyi. Method And Practice of Complicated Engineering Rockmass Stability Assessment, 1998, 35 ~ 76
- [3] 刘锦华, 吕祖珩. 块体理论在工程岩体稳定性分析中的应用 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1986, 9 ~ 54.
Liu Jinghua, Lu Zuhang Block Theory And Its Application to Stability Analysis of Engineering Rockmass, 1986, 9 ~ 54.