某电站大型地下洞室群主变洞确定性块体稳定性评 价

崔银祥 聂德新 陈 强

(成都理工大学工程地质研究所 成都 610059)

摘 要 以黄河上游某大型电站地下洞室群主变洞为例,通过在 AutoCAD软件中建立洞室与结构面的三维实体模型,借助自 编程序切割,展示这些结构面在主变洞边墙及拱顶的出露情况,在此基础上检索出组合块体 21个,最后对这 21个块体进行了 确定性块体稳定性评价,给出其在主变洞上下游边墙及拱顶的块体组合情况、滑动方式、出露桩号和高度、出露面积、分布深 度、体积、稳定性系数等。

关键词 主变洞 结构面空间展布 确定性块体稳定性评价 中图分类号: TD264⁺.3 文献标识码: A

STABL IIY ASSESSMENT OF DETERM IN ISTIC BLOCKS OF A MAIN -TRANSFORMED CAVERN IN A HUGE UNDERGROUND POWERHOUSE

CU I Yinxiang N IE Dexin CHEN Q iang

(Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract This paper presents a case study of stability analysis in a huge underground powerhouse. Solid models of caverns with fractures are created using AutoCAD2002/2004 software with programmed modules for excavations/ cutting, which specify arch crown, up stream side wall and downstream side wall as cross sectional planes Based on these fractures, 21 blocks are chosen as deterministic blocks and their stabilities are then assessed At last, assessment results are given for all deterministic blocks including following attributes: fractures jointed methods, sliding methods, area, depth, volume, safety factor, and location in caverns

Key words Main - transformed Cavern, Fractures Spatial Distribution, Stability assessment of deterministic blocks

1 引 言

大型地下洞室块体稳定性是大跨度地下洞室的 主要工程地质问题之一。目前由于结构面的空间展 布位置的不确定性以及计算方法的局限,往往洞室 块体稳定性评价主要以不确定(随机)块体稳定性 评价为主^[1,2]。国内外最具代表性的软件"Unwedge 就是不确定块体稳定性评价软件^[3,4]。但在 具体工程中,设计与施工人员最关心的是确定性块 体的分布及稳定性。从石根华等提出块体理论到现 在,确定性块体分析也得到了很好的发展,主要方法 有赤平投影法、坐标投影法、矢量分析法等,其中,赤 平投影法主要给出的是几何图形,坐标投影法能使

 ^{*} 收稿日期: 2004 - 07 - 14;收到修改稿日期: 2004 - 11 - 08
 基金项目:国家自然科学基金项目(编号: 40372127)资助.
 第一作者简介:崔银祥(1976 -),男,博士,主要研究方向为岩土体工程特性. Email: cyx2010@163. com

块体结构和坐标体系结合起来,矢量分析法则是通 过数学表达式来描述岩体结构,进而判断其稳定 性^[5~9]。但由于在这些确定性块体评价方法应用中 由于结构面较多且洞室尺寸较大,可视性差,操作起 来较繁琐,工作量一般都较大,所以目前大型地下洞 室块体稳定性评价中多数还是采用不确定(随机) 块体稳定性评价。作者在黄河上游某大型地下厂房 块体稳定性评价时对上述问题(确定性块体稳定性 评价方法)进行了较深地研究,获得了较好的效果。 主要研究内容为:结构面的现场调查、空间尺度的确 定、空间展布方程的建立、空间展布的可视性,在洞 室周边的分布位置确定;组合块体的检索;确定性块 体稳定性评价。

电站位于黄河河谷深切段,谷坡陡峻,谷深近 1000m,坝址处全为印支期(²/₅)花岗闪长岩。地下 厂房位于岩体质量整体较好的右岸山体中。主变洞 外边墙距岸坡最短距离为 219m,长 ×宽 ×高为 235m ×28 5m ×44.325m。中小结构面有一定数量 的分布,较长大的裂隙出现的频率较高。平缓结构 面有成组、成带分布的特点。这些结构面体系彼此 切割形成块体,当其分界面位于地下洞室群的拱顶 及边墙且为不稳定块体时,将会严重影响地下厂房 系统各洞室围岩的稳定性。如何利用勘探平洞资 料,进一步判定各主要结构面在规模庞大的地下厂 房区的展布位置和较可信的确定各个潜在不稳定块 体的边界及稳定性,为设计和施工提供准确可靠的 成果,为厂房发电系统长期安全可靠的运行提供技 术论证,是地下厂房大规模施工前需要认真做好的 工程地质工作。

2 厂房区各结构面与主变洞的交切关 系及在边墙和拱顶的出露位置

2.1 结构面几何模型的选择及对应的方程

一般情况下,结构面在空间各个方向上的性状 是不一样的,但由于通过勘探平洞一般很难查明它 们在各个方向的延伸情况,为了提高可操作性,可以 假设其在各方向上的延伸长度是一样的,结构面的 空间形状可以假设成空间的圆盘。

采用的圆盘方程如下;

$$\begin{cases} (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2 \\ Ax + By + Cz = D_0 \\ D_0 = Ax_0 + By_0 + Cz_0 \\ A = \sin \cdot \sin \\ B = \sin \cdot \cos \\ C = \cos \end{cases}$$
其中, (x_0, y_0, z_0) 为圆心坐标, R为半径, 为倾

向,为倾角。

2.2 结构面空间展布方程的建立

根据上面建立的结构面空间展布方程,就可对 地下厂房洞室群范围内的结构面建立方程,表1给 出部分结构面的空间展布方程。

伯日	圆心			半径 /	倾向 /	倾角 /	同由去田		
编 亏	X_0	Y_0	Z_0	m	()	()	圆盘力柱		
10 4 7	(722 (2	2202.00		200		(0	$(x - 6733, 62)^2 + (y - 3393, 08)^2 + (z - 2265, 21)^2 = 300^2$		
pd2 - 4 - f3	6733. 62	3393. 09	2265. 22	300	75	68	$0.\ 896\ x\ +0.\ 362\ y\ +0.\ 259\ z\ =7844.\ 614$		
pd2 - 4 - f4	6731.71	3387. 19	2265. 54	200	230	18	$(x - 6731, 7)^2 + (y - 3387, 18)^2 + (z - 2265, 54)^2 = 200^2$		
							-0.237 x - 0.729 y + -0.643 z = -5517.539		
pd2 - 4HL65m		5 3437. 78	2262.76	100	35	18	$(x - 6748, 14)^2 + (y - 3437, 78)^2 + (z - 2262, 75)^2 = 100^2$		
	6748. 15						0. 177 x + 0. 546 y + 0. 819 z = 4924. 941		

表 1 部分结构面的空间展布方程

Table 1 Spatial distribution	equations of parts of fractures
------------------------------	---------------------------------

2.3 主要结构面与洞室交切的图形展示

根据上述方法,地下厂房洞群范围内的每条较 大结构面都已经有了空间展布方程,为了能够直观 地表示各主要结构面与地下厂房洞室群的位置关系,开发了以AutoCAD为平台的三维立体模型软件,可以将主厂房、主变室、调压井用实体模型表示 (图 1),结构面用圆盘实体表示,把各实体放置于同 一张立体图中,这样就可以清晰地看出各主要结构 面与三大洞室的交切关系 (图 2)。

根据上面确定的各主要结构面在洞室群的空间 展布图,沿主变洞拱顶、上下游边墙对主变洞及所有 结构面实体的剖切,即可得到主变洞拱顶、上下游边



图 1 地下厂房洞群实体模型展示图

Fig 1 Spatial distribution map of a large group - cavern





墙的裂隙展布图。剖切过程中,上下游边墙选择平 行于边墙的一薄板(可为 0.1mm厚)来代替边墙; 拱顶用 1/2拱高处的一薄板来代替拱顶。通过程序 切割,可得到拱顶及上下游边墙的裂隙展布图(图 3)。





3 可能组合块体检索

块体检索是以各大结构面在主变洞拱顶、上下

游边墙的出露位置 (图 3)为基础,将可能滑动的块体 (主要为结构面在边墙及拱顶能围成封闭三角形)逐一用软件 Unwedge2 35 (拱顶块体,边墙块体)和软件 Swedge4.0 (边墙块体)进行检索,检索结

果 (部分)列于表 2。在所有块体搜索的基础上,共确定了 21个块体,其中,拱顶确定了 11个块体,上

游边墙确定了 5个块体,下游边墙确定了 5块块体, 块体分布位置见图 4。



图 4 主变洞拱顶、上下游边墙确定性块体分布图 Fig 4 Spatial distribution map of deterministic blocks in the main - transformed cavemn

表 2 主变洞检索块体 (部分)一览表

Table 2 Results of searched blocks

检索	结构面组合	检索	检索方法	洞室部位	
号		结果			
4	pd2 - 4 - L7, pd2 - 4 - f2, pd2 - 4 - f4	无	Unwedge	拱顶	
5	pd2 - 4 - f10, pd2 - 2 - f4, pd2 - 2 - L35	有	Unwedge	拱顶	
60	pd2 - 2f4, pd14F164, pd2 - 2L84	无	Unwedge, Swedge	上游边墙	
62	pd2 - 2L36, pd2 - 2L84, pd14Hf8	有	Unwedge, Swedge	上游边墙	
83	pd2 - 4HL104m,pd2 - 4L7, pd2 - 4L8	无	Unwedge, Swedge	下游边墙	
84	pd2 - 4HL104m, pd2 - 4L7, pd2 - 4f2	有	Unwedge, Swedge	下游边墙	

in the main - transformed cavern

4 确定性块体稳定性评价

块体稳定性不仅与块体的形态特征有关(主要 是各类裂隙与洞室临空面的组合模式),各类结构 面的物理力学特性也是影响块体稳定性的重要因 素。根据试验资料,本次研究中依据结构面的发育 特征、规模等,在分析计算中对结构面参数做了如下 选取:(1)凡是断层 c值一般取 0.01~0.02MPa, 值取 22 ~26 ?(2)对贯通性较好的长大裂隙,尤其 是有滴水、渗水的情况时,均按断层参数选取;(3) 对于有一定胶结程度的一般性裂隙,c值一般取 0.1 ~0.15MPa, 值取 30 ~35 °。

在确定性块体稳定性评价中,首先要判断块体 运动形式:直接掉落、沿单面滑动和沿双面滑动;然 后再计算确定性块体的稳定性系数^[4]。

当块体沿单面 i滑动时,按下式计算块体稳定 性系数:

$$K = \frac{Q\cos_i \tan_i + c_i S_i}{Q\sin_i}$$

式中,Q为块体重量,_i为滑面倾角, S_i 为滑面 的面积, c_i 和 i分别为滑面上的内聚力和内摩擦角。

当块体沿双面 *i*和 *j*滑动时 ,按下式计算块体稳 定性系数 :

$$K = \frac{N_i \tan_i + N_j \tan_j + c_i S_i + c_j S_j}{O \sin}$$

式中,Q为块体重量, c_i 、;及 c_j 、;分别为滑面 i和 j上的内聚力及内摩擦角, S_i 和 S_i 分别为滑面 i和 j的

面积, 为滑面 *i*和 *j*交线棱的倾角, *N*, 和 *N*, 为作用 在二滑面上的法向力, 其值可由下式求得:

$$N_i = \frac{Q\cos \sin i}{\sin(i+i)} \quad N_j = \frac{Q\cos \sin i}{\sin(i+i)}$$

式中, *Q*为块体重量, 为滑面 *i*和 *j*交线棱的倾角, *i*和 *j*分别是滑动体的重量 *Q*对于二滑面交线的垂 直分量与滑面 *i*和 *i*向上单位法线矢量的夹角。

在上述计算公式中,由于为块体重量与滑面的 位置与面积都是确定的,所以其结果也是确定性的。 按照上面的参数与方法,对确定的 21个块块体用自 行开发的软件进行了确定性块体稳定性分析,部分 分析结果列于表 3。评价结果能给出了每一块体出 露面积、分布深度、体积、重量、安全系数及出露的桩 号及高度,这样每一块体的信息都是确定的,而非随 机的,这些确定的信息对于洞室的设计、施工具有很 强的指导价值。

洞室	块体	裂隙组	1合	滑移	》的位于	出露面	分布深	方量 /	重量 /	安全	出露位	置
部位	编号	裂隙编号	产状	方式		积 $/m^2$	度 /m	m ³	t	系数	桩号 /m	高度 /m
拱顶	ZBD01	pd2 - 2f4 pd2 - 4f5 pd2 - 4HL36m	142 55 92 75 35 18	转动	pd2 - 4f5	76.81	3. 40	76. 91	199. 96	0. 47	65	
拱顶	ZBD03	pd2 - 2f4 pd2 - 4f9 pd2 - 4HL104m	142 55 280 74 35 18	直接 掉落		93. 31	3. 16	88. 22	229. 37	0	72	
上游 边墙	ZB S1	pd2 - 4f3 pd2 - 4f2 pd14f11	75 68 223 38 85 37	双滑 面	pd2 - 4f3 pd2 - 4f2	181. 02	113.82	6142.97	15913. 2	2. 91	53	21
上游 边墙	ZB \$4	pd2 - 2L136 pd2 - 2L84 pd14Hf81	30 84345 65200 20	双滑 面	pd2 - 2L136 pd2 - 2L84	41. 08	2. 62	33. 60	87. 98	11.94	180	28
下游 边墙	Zbx4	pd2 - 2f5 pd14Hf8 pd14F164	78 36 200 20 90 76	双滑 面	pd14F164 pd2 - 2f5	29. 58	6. 32	60. 20	156. 95	11.99	215	7
下游 边墙	Zbx5	pd2 - 4f7 pd2 - 4f6 pd2 - 4f8	78 36 200 20 90 76	双滑	pd2 - 4f7 pd2 - 4f8	20. 16	16. 97	113. 94	296. 24	4. 42	148	27

表 3 主变洞确定性块体稳定性分析成果汇总表 (部分资料)

Table 2 Results of stability assessment of deterministic blocks in the main - transformed cavern

注:表中块体桩号为块体从0桩号开始算起的中心点桩号,高度系指块体出露于边墙时块体中心距离底板的高度。

5 结 论

(1)通过建立洞室与结构面三维模型,能可视 化展示各条结构面与洞室的交切关系,准确的确定 了各结构面在洞室边墙及拱顶的出露位置,这是确 定性块体稳定性评价的基础;

(2)对洞室确定的组合块体进行了确定性块体 稳定性评价,给出了组合块体在主变洞上下游边墙 及拱顶的块体组合、滑动方式、出露桩号和高度、出 露面积、分布深度、体积、稳定性系数等。

(3)通过本研究得出的确定性块体稳定性评价 结果是地下洞室设计和施工准确可靠的地质资料, 本文的研究思路与方法对其他大型地下洞室确定性 块体稳定性评价有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 盛谦,黄正加,邬爱清. 三峡工程地下厂房随机块体稳定性分析[J]. 岩土力学,2002,23(6):747~749.
 Sheng Qian, Huang Zhengjia, Wu Aiqing Stability analysis for random key block of underground power house of Three Gorges Project Rock and Soil Mechanics, 2002,23(6):747~749.
- [2] 巨能攀,黄润秋,许模.某水电站地下洞室随机块体稳定性评价及系统锚固设计[J].工程地质学报,2004,12(2):208~214 Ju Nengpan, HUANG Runqiu, XU Mo Stability evaluation of ran-

dom blocks and design of systematic anchoring for the underground cavems in a hydropower station Journal of Engineering Geology, 2004, 12(2): 208 ~ 214.

- [3] 刘军,谢晔,柴贺军等. Unwedge (2 35)程序在分析块体稳定 性中的应用 [J]. 工程地质学报, 2002, 10 (1): 78~82
 Liu Jun, Xie Ye, Chai Hejun, et al. Application of unwedge (2 35) program to analysis of rockmass block stability, Journal of Engineering Geology, 2002, 10 (1): 78~82.
- [4] Unwedge User s Guide, 3D visualization of potentially unstable wedges in the tock surrounding underground excavation and calculation of factors of safety and support requirements for these wedges ,1992 ~1999, rocscience, inc
- [5] 石根华. 岩体稳定分析的赤平投影法 [J]. 中国科学, 1977,
 (3): 269~271.
 Shi Genhua Stereographic projection method of rockmass stabilization in rockmass stability analisys Science in China, 1977, (3): 267~271

 [6] 石根华.岩体稳定分析的几何方法 [J].中国科学,1978,(4): 487~495.
 Shi Genhua Geometrical approach of rockmass stabilization in

rockmass stability analisys Science in China, 1978, (4): 487 ~ 495.

- [7] Goodman R. E , Shi Genhua Block theory and its application to rock engineering[M]. Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 1985.
- [8] 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,1988
 Liu Jinghua, Lv zuhang Block theory and its application to stabilityanalysis of engineering rock mass Beijing: Water resources and electricpower press, 1988.
- [9] 王思敬,杨志法,刘竹华.地下工程岩体稳定性[M].北京:科 学出版社,1984.

Wang Sijing, Yang Zhifa, Liu Zhuhua Stability of underground rockmass Beijing: Scienc Press, 1984.

关于编辑出版《中国典型滑坡及防治画册》照片征集启示

为了迎接 2008年国际滑坡大会在西安召开,展示我国 滑坡发育分布特征和防治成果,受大会筹备组的委托,由中 国地质调查局、中国科学院地球物理与地质研究所、中国工 程地质专业委员会等单位将共同编辑出版《中国典型滑坡 及防治画册》。现将有关事宜通知如下:

1、请广大从事滑坡减灾防灾的同事积极提供有关我国 典型滑坡资料。主要提供人员将被邀请为本专集的编委, 并注明资料作者。

2.典型滑坡资料包括:滑坡全景和典型部位照片,滑坡 遥感图像,滑坡平面和剖面图,监测曲线。并提供 1000字 以下的中文文字说明。并由编委会统一翻译成英文。

3.资料主要以电子文档格式,必须清晰;同时,也可以 纸介质形式提交。为保证出版效果,若用数码相机拍摄,请 采用 500万像素以上的分辨率,如照片文件为扫描版,请采 用 600dpi以上的精度,亦可提供原照片。如用电子邮件发

送,请提供照片电子文档 jpg格式,以保证照片精度。

4、资料应于 2005年 9月 30日前提交编委会。

5、联系人:

殷跃平 (yyueping@mail cgs gov cn; 010 - 51632891; 13901178830)

张作辰 (zzuochen@mail cgs gov. cn; 010 - 51632898; 13701078516)

张开军 (zkaijun@mail, cgs gov. cn; 010 - 51632898)

通信地址:中国地质调查局水文地质环境地质部(北 京黄寺大街 24号,100011)

6、《中国典型滑坡及防治画册》成立指导委员会和编 辑委员会

《中国典型滑坡及防治》指导委员会

主 任:王思敬

副主任:方鸿琪 王恭先 卢耀如 刘广润 孙广忠 陈成宗 张在明 张苏民 张宗祜 张倬元 李焯芬 邹德慈 陈梦熊 陈德基 林在贯 罗国煜 郑哲敏 郑颖人 钱七虎 顾宝和 崔正权 黄润秋 黄鼎成 谢和平 成员:王 清 王治华 王恩志 王建峰 田廷山 乔建平 刘传正 许 兵 何满潮 吴树仁 李 晓 李广诚 李世海 肖树芳 陈祖煜 尚岳全 岳中琦 罗元华 柳 源 胡世友 胡卸文 赵 越 施 斌 唐辉明 殷坤龙 贾家麟 黄学斌 韩子夜

《中国典型滑坡及防治》编辑委员会:

主 编:殷跃平

副主编:伍法权 张作辰 周平根 许 强 彭轩明 彭建兵 郑万模 张茂省 胡瑞林 苏爱军 彭光泽 耿 弘 徐志文 郭 强 刘 真 常务编委:张开军李 媛 孟 晖 陈红旗 杨旭东 李耀辉 宋玉环

编 委:(由照片主要提供人员构成)