

某大型地下洞室群围岩稳定性分类研究^{*}

李攀峰¹ 张倬元¹ 陶连金^④

(¹ 成都理工大学工程地质研究所 成都 610059)

(^④北京工业大学 北京 100022)

摘 要 根据地下洞室群的特点,选取岩体质量综合级别、块体状况、开挖位移及破坏区、岩爆烈度四因素为分类指标,建立了大型地下洞室群围岩稳定性分类体系。针对不同稳定性等级,提供了相应的开挖方式和支护处理建议。最后,运用该分类体系对某地下洞室群的主厂房进行了分析评价。结果表明主厂房围岩以基本稳定的Ⅱ类为主,围岩的破坏型式以局部块体失稳和轻微~中等岩爆为主。

关键词 地下洞室群 围岩 稳定性 分类

中图分类号:TD264⁺.3 文献标识码:A

STABILITY RANKING SYSTEM OF ROCKMASS SURROUNDING A LARGE-SCALE UNDERGROUND CAVERN GROUP

LI Panfeng¹ ZHANG Zhuoyuan¹ TAO Lianjin^④

(¹ Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

(^④College of Architecture and Civil Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Abstract Considering the characteristics of underground cavern groups, a stability ranking system was introduced to denote the stability of rock masses surrounding the underground caverns. In this system four factors were used as indices including comprehensive quality level of rock mass, parameters of wedge (volume, shape and stability), displacement and failure zones, and intensity of rock burst. It also provided excavation schemes and supporting measures according to stability ranks. Then a case study was conducted using the ranking system to evaluate the surrounding rock mass stability of an underground cavern group at a planned hydropower station. The results showed that the stability rank of these caverns was classified as Grade II (In other words, the stability was good). The primary failure modes would be local wedge instability and light to moderate rock burst.

Key words Underground cavern group, Surrounding rock mass, Stability, Classification.

1 引 言

经验类比法是大型地下洞室群围岩稳定性评价的重要方法之一,尤其在勘探资料较少的可行性研究阶段,更能发挥其作用。而最常用的经验类比法

为围岩分类法,即在大量地质调查分析的基础上,综合已有工程经验、教训,对洞室群的围岩稳定性进行分类评价。尽管一些学者和工程人员曾开展过这方面的工作^[1~3],有关行业也编制出相应的规范^[4]。但这些工作的研究重点往往是针对单个洞室的情况,即未明确考虑到大型地下洞室群开挖时的群洞

* 收稿日期: 2003- 05- 15; 收到修改稿日期: 2003- 09- 26.

第一作者简介: 李攀峰(1976-), 男, 博士生, 从事地质工程研究工作. Email: lpf@geohp.com

效应。也有学者针对具体工程(二滩、小浪底地下厂房洞室群)进行了稳定性评价工作,但没有明确提出地下洞室群稳定性评价体系。然而随着西部大开发战略的实施,一批规模庞大、空间布置复杂的水工地下洞室群(如拉西瓦、溪洛渡、小湾水电工程地下洞室群)或即将开工建设,或进入深入研究阶段。在此背景下,如果能充分考虑地下洞室群的特点(尤其是群洞效应),发展适合大型地下洞室群稳定性评价的分类体系,无疑将具有较强的适用价值。基于此,本文以拟建的西北某大型水工地下洞室群为例,综合地质调查结果、块体分析结果、岩爆烈度、有限元开挖效应模拟结果,建立了适合地下洞室群的围岩稳定性分类体系,在此基础上提出了地下洞室群开挖方案和支护处理建议。

2 围岩稳定性分类体系的建立

2.1 分类指标选取

洞室群围岩稳定性分类旨在为洞群支护设计和围岩加固提供依据,是在围岩质量分类、块体分析、二次应力场、位移场、塑性破坏区特征分析基础上进行的。因此,分类指标的选取应遵循以下原则:分类指标应能反映出围岩的稳定状况;指标之间尽量相互独立;指标的物理意义明确,容易量化。

根据上述原则,参考其他工程经验,结合所研究的地下洞群具体情况,选取如下围岩稳定性分类指标:围岩综合质量分级;块体状况;开挖位移及破坏区;岩爆烈度。

2.2 分类指标描述

2.2.1 围岩综合质量分级^[4-5]

由于本文是以水工地下洞室群为例,这里除选用水利水电工程地质勘察规范提供的岩体质量分级方法(简称“规范法”)外,还选用了国际上比较通用岩体质量分级方法——Barton的Q系统、Bieniawski的RMR法。这三种方法均是多指标分级方法,但各方法考虑的因素有一定的差异,将三种方法综合考虑,则可以相互补充、相互验证,更客观可靠地反映工程岩体的质量级别。再具体分析是,以“规范法”为主,以RMR和Q系统作为校正,这也是目前一些大型水电工程所采用的做法。

岩体质量分级可反映地下厂区的地质条件。

2.2.2 块体状况

由一定规模的结构面互相交切形成的块体之失稳破坏是大型地下洞室群围岩破坏的主要型式之一。因此,有必要将块体分析结果作为稳定性分类因素加以考虑。

块体的几何形态及其稳定性可运用UNWEDGE软件^[6]或作图法(赤平投影和实体比例投影)进行分析。

块体分析结果可代表地下厂区岩体结构特征。

2.2.3 开挖位移及围岩破坏区

开挖效应(包括二次应力场、位移场和塑性破坏区特征)是决定围岩稳定性及支护方案的主要因素,因此应将其作为围岩稳定性分类的依据。这里将围岩的位移及破坏区单独列为一个评价因素,而将二次应力场合并到岩爆烈度指标中考虑。

开挖位移及围岩破坏区常通过数值模拟手段进行分析。

开挖模拟结果可综合反映岩体对开挖施工的响应。

2.2.4 岩爆烈度

所研究的地下洞室群处于一个中等偏高的地应力场环境中,有发生岩爆的可能性。因此,将岩爆烈度作为围岩稳定性分类的指标之一。考虑到地下厂区岩爆问题不可能很强烈,而且仅发生在某些特定部位,不会成为控制地下厂房洞室群围岩稳定的关键问题,故将其作为参考指标。

岩爆烈度可以通过地质宏观评价、岩石力学试验和数值模拟等方法进行分析。

岩爆分析结果则反映开挖效应和地质条件的综合效应。

2.3 分类体系

根据上述分类指标和原则,提出地下洞室群围岩稳定性初步分类体系如表1。表1中,围岩综合质量、块体状况、围岩位移与破坏区及岩爆烈度四指标是相互平行的。在运用此表进行稳定性分类时,分别依各指标进行单独分类,然后进行综合。由于各指标均能由某个角度反映洞室群的稳定性,因此多数情况下由各单指标得到的稳定性等级不会有明显的差异。当某一指标(指标A)得到的稳定性等级低于其它三个指标(指标B、C、D)得到的等级时,洞室群的稳定性等级可由指标B、C、D的等级降半级确定,或洞室群的稳定性等级不降(即采用B、C、D的等级),而仅对等级低的指标(指标A)采取其对应

的支护处理措施;当某两个指标(指标 A、B)得到的稳定性等级低于另外两个指标(指标 C、D)得到的等级时,洞室群的稳定性等级由稳定性等级差(指标 A、B)的指标确定;当三个指标确定的稳定性等级低于另外一个指标确定的稳定性等级时,洞室群的稳定性取低较低的等级。

表 1 地下洞室群围岩稳定性分类体系

Table 1 Stability rank system of rockmass surrounding in the underground caverns

围岩稳定 分 类	岩体结构 类 型	围岩综合 质 量	块体状况	围岩位移与破坏区	岩爆烈度	破坏机制	支护与开挖 方式建议
稳定	整体块状	I、II	无块体	各洞室边墙最大位移小于 2 cm, 破坏区仅限于洞周附近。	轻微~ 中等	劈裂	喷混凝土,加钢筋网,系统锚杆;大断面开挖
基本稳定	块状~ 次块状*	II、III	无不稳定块体;如 有块体,通过局部 加强支护可以控制	各洞室边墙最大位移 2~ 4 cm, 破坏区较大,间距较小的洞室之 间的破坏区局部互相贯通。	轻微~ 中等	块体塌滑 与劈裂	喷混凝土,加钢筋网,系统锚杆,块体单独加固;导洞开挖,危岩加锚
局部 不稳定	次块状~ 镶嵌	III	局部存在不稳定块 体	各洞室边墙最大位移 4~ 8 cm, 破坏区较大,间距较小的洞室之 间的破坏区互相贯通。	轻微	块体塌滑或 围岩屈服	加强喷锚,加网,混凝土衬砌,块体单独锚固;光爆,导洞扩挖,及时喷锚
不稳定	镶嵌~ 碎裂	IV	存在小方量块体	各洞室边墙最大位移超过 8 cm; 破坏区较大,洞室间已连通。	轻微~ 无	围岩屈服	复合支护,贯通的破坏区对拉锚索加固;光爆,导洞扩挖,及时喷锚

* 次块状结构——岩体较完整,呈次块状,结构面中等发育,间距一般 30~ 50cm(见文献[4]第 67 页)

应该说,围岩岩体结构和破坏机制已经包含于四个分类指标之中。但为了方便实际应用并突出各因素之间的内在联系,在建立围岩稳定性分类体系时,增加了岩体结构和围岩破坏机制作为围岩稳定性分类的依据。在综合考虑各因素的基础上,进行了围岩稳定性分类,进而提出了相关的支护措施。

3 围岩稳定性分类的应用

3.1 某地下洞室群概况

拟建的地下洞室群(自上游至下游依次)由主厂房、主变室、闸门操作室和尾调井四大洞室组成。各洞室尺寸为:厂房(包括副厂房) 316.75m × 29m × 74.9m(长×宽×高);主变室 235m × 27.5m × 42.88m;闸门操作室 188.5m × 8m × 76.04m;两个调压井位于闸门操作室后,单独成井。四大洞室轴线互相平行,均为 N25°E。其中主厂房与主变室之间间距为 50m,主变室与闸门操作室之间距离为 25m,闸门操作室与尾调井之间距离为 35.5m。

地下洞室群布置于印支期花岗岩中。该区地质构造简单,以断裂为主,褶皱不发育。断裂构造按其

走向可分为 NWW 向、NNW 向及 NE~ NEE 向三组,以前两组为主。规模最大为第一组,第二组次之,第三组最小。根据坝区地应力实测及模拟结果,地下洞室群处于中等偏高的地应力场中(最大主应力量值为 21.9MPa,方向 N10°W~ N10°E)。

3.2 围岩开挖位移及破坏区的确定

为了确定各类别围岩开挖位移及破坏区的界限值,针对所研究地下洞群的围岩条件,按四类不同的围岩条件(I、II、III、IV 类),分别用二维弹性有限元模型计算了围岩的位移和破坏区,得出洞室群围岩开挖位移和屈服区的初步结果(表 2 和图 1)。

不同类别稳定性界线值划分如表 3 所示。

3.3 围岩稳定性分类

基于上述分类体系,结合地下洞群围岩质量分类、块体分析、围岩变形与破坏分析结果以及岩爆烈度,对地下洞室群的围岩稳定性进行了分类,初步结果见表 4。鉴于目前的地质勘察程度主要集中在主厂房附近,其它部位地质情况尚不完全清楚,因此,本次分类主要针对主厂房地质资料进行的,在勘探资料丰富和完善或施工阶段,还可以进一步对各个工程部位的围岩进行稳定性分类。

表 2 不同质量级别各洞室特定部位位移量值表(单位: cm)

Table 2 Displacement values at special points of each cavern with different quality ranks

岩体质量	主厂房				主变室				闸门操作室				尾调井			
	顶拱	底板	上游边墙	下游边墙	顶拱	底板	上游边墙	下游边墙	顶拱	底板	上游边墙	下游边墙	顶拱	底板	上游边墙	下游边墙
I	0.28/ - 1.35	0.22/ 0.81	1.35/ - 0.44	- 0.64/ - 0.17	0.63/ - 1.49	0.63/ 0.78	0.67/ - 0.52	0.20/ - 0.89	- 0.15/ - 0.80	0.17/ 0.15	1.52/ - 0.20	- 1.13/ - 0.55	- 0.46/ - 1.46	- 0.12/ 0.90	- 0.35/ - 0.17	- 1.44/ - 0.49
II	0.41/ - 2.01	0.32/ 1.19	2.00/ - 0.66	- 0.94/ - 0.27	0.09/ - 2.22	0.94/ 1.15	0.10/ - 0.78	0.30/ - 1.32	- 0.22/ - 1.19	0.27/ 0.23	2.24/ - 0.30	- 1.67/ - 0.82	- 0.68/ - 2.18	- 0.18/ 1.32	- 0.57/ - 0.36	- 2.13/ - 0.75
III	1.13/ - 5.47	0.86/ 3.21	5.42/ - 1.80	- 2.55/ - 0.73	0.26/ - 6.03	2.52/ 3.09	2.69/ - 2.12	0.79/ - 3.59	- 0.60/ - 3.25	0.73/ 0.62	6.04/ - 0.84	- 4.49/ - 2.21	- 1.83/ - 5.91	- 0.51/ 3.57	- 1.52/ - 0.98	- 5.78/ - 1.98
IV	3.78/ - 18.34	2.88/ 10.69	18.08/ - 6.08	- 8.51/ - 2.45	0.88/ - 20.23	8.37/ 10.23	9.00/ - 7.17	2.61/ - 12.03	- 1.97/ - 11.0	2.43/ 2.12	20.1/ - 2.88	- 14.9/ - 7.40	- 6.11/ - 19.8	- 1.72/ 11.9	4.51/ - 2.45	- 19.3/ - 6.63

备注: 位移量值 A/B 中, A 代表X 方向位移, B 代表 Y 方向位移

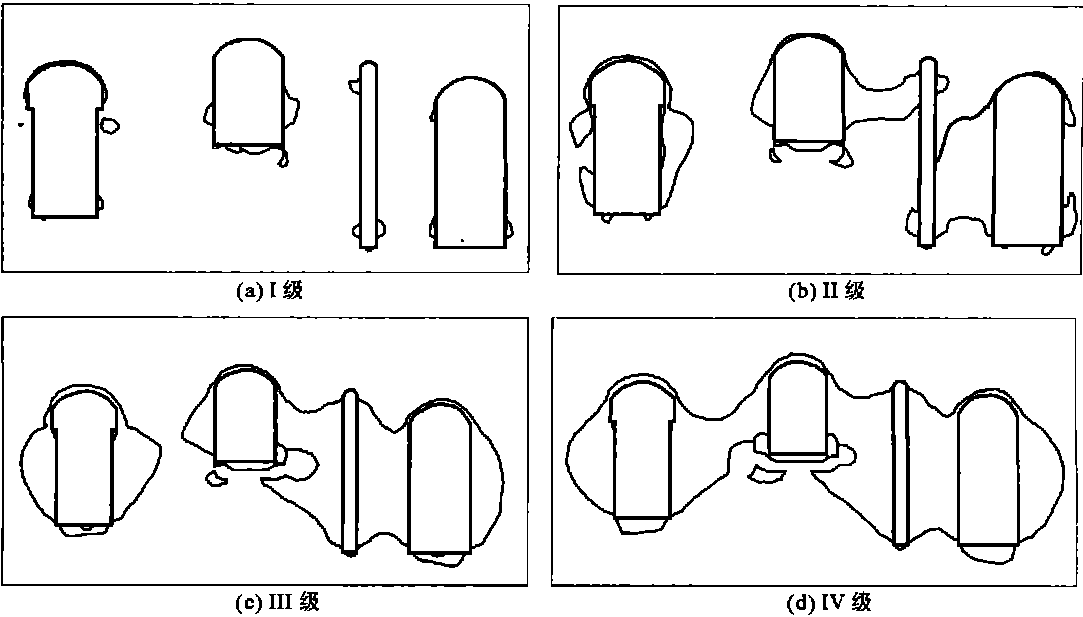


图 1 不同质量级别洞室群破坏区分布情况

Fig. 1 Distribution of failure zones around caverns with different quality ranks

表 3 不同稳定性类别位移和破坏区的界限值

Table 3 The critical values of displacement and failure zone with different stability ranks

稳定性类别	位移值/ cm	破坏区情况
I	<	破坏区仅限于洞周附近
II	2~ 4	破坏区较大, 间距较小的洞室之间的破坏区局部互相贯通
III	4~ 8	破坏区大, 间距较小的洞室之间的破坏区互相贯通
IV	> 8	破坏区相当大, 洞室间破坏区已连通

移及破坏区、岩爆烈度四因素作为基本指标, 建立了大型地下洞室群围岩稳定性分类体系, 并以西北某水电站工程地下厂房洞室群为例进行应用研究。通过以上研究, 得到一些基本认识:

- (1) 初步建立了大型地下洞室群围岩稳定性分类体系, 针对不同稳定性类别进一步提出了相应的开挖方式和支护处理建议。
- (2) 分类指标选取较为合理, 可以反映地下洞室群赋存的地质环境, 并能考虑不同洞室之间的相互影响——这是一般围岩分类(或岩体质量分级)中所未考虑的。

(3) 运用本分类体系, 对西北拟建某水电站的大型地下厂房洞室群进行了分析评价, 所得结果与现场地质调查结论吻合较好, 说明该分类体系有一定

4 结束语

作者选取围岩综合质量分级、块体状况、开挖位

的工程实用价值。进一步的工程检验和补充完善。
当然,作为探讨,该围岩稳定性分类体系尚有待

表 4 地下洞室群围岩稳定性分类结果
Table 4 Stability ranks of rockmass surrounding in the underground caverns

桩号/m	0~ 15	15~ 42	42~ 61	61~ 94	94~ 99	99~ 127	27~ 144	144~ 157	157~ 221
岩体结构	块状	整体块状	块状	整体块状	次块状	整体块状	次块状	块状	块状
综合围岩类别	㊦	㊦	㊦	㊦	㊤	㊦	㊤	㊦	㊦
块 体 状 况	数量 ¹	无块体	无块体	2/ 2	3/ 1	无块体	3/ 1	无块体	2/ 1
	出露部位 ^④			下游边墙/ 42	下游边墙/ 22		顶拱/ 4		顶拱/ 2
	体积/ m ³			13696	5540		53		18
	破坏方式			双面滑动	双面滑动		直接掉落		单面滑动
	安全系数			1. 9	1. 73		0		1. 76
围岩位移/ cm	2. 4	2. 4	2. 4	2. 4	6. 0	2. 4	6. 0	2. 4	2. 4
围岩破坏区	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通	间距较小洞室之间的破坏区互相贯通	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通	间距较小洞室之间的破坏区互相贯通	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通	间距较小洞室之间的破坏区局部贯通
岩爆烈度	轻微~ 中等	轻微~ 中等	轻微~ 中等	轻微~ 中等	轻微	轻微~ 中等	轻微	轻微~ 中等	轻微~ 中等
破坏机制	劈裂	劈裂	劈裂、块体滑落	劈裂、块体滑落	围岩屈服	劈裂、块体滑落	围岩屈服	劈裂	劈裂、块体滑落
稳定性分类结果	基本稳定	基本稳定	局部不稳定	局部不稳定	局部不稳定	局部不稳定	局部不稳定	基本稳定	局部不稳定
支护建议	喷混凝土,加钢筋网,系统锚杆;大断面开挖,危岩加锚	喷混凝土,加钢筋网,系统锚杆;大断面开挖,危岩加锚	加强喷锚,加网,混凝土衬砌,块体单独锚固;光爆,大断面开挖,及时喷锚	加强喷锚,加网,混凝土衬砌,块体单独锚固;光爆,大断面开挖,及时喷锚	加强喷锚,加网,混凝土衬砌;光爆,导洞扩挖,及时喷锚	加强喷锚,加网,混凝土衬砌,块体单独锚固;光爆,大断面开挖,及时喷锚	加强喷锚,加网,混凝土衬砌;光爆,导洞扩挖,及时喷锚	喷混凝土,加钢筋网,系统锚杆;大断面开挖,危岩加锚	加强喷锚,加网,混凝土衬砌,块体单独锚固;光爆,大断面开挖,及时喷锚

备注: ¹ 块体数量栏中 A/B 的意义 ——A 代表块体的总数, B 代表不稳定块体数量;
^④如有多个不稳定块体,表中所列的体积、破坏方式及安全系数为体积最大的块体之参数;
^⑤出露位置 C/D, C 代表出露的具体部位,如顶拱、边墙等; D 代表块体在围岩内的最大深度;
^{1/4} 安全系数< 2 的块体视为不稳定块体.

参 考 文 献

[1] 李世辉. 典型类比分析法的原理与实践 [J]. 工程地质学报, 1993, 1(2): 52~ 61.
Li Shihui. Theory and practice on typical analogical analysis method. Journal of Engineering geology, 1993, 1(2): 52~ 61.
[2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994, 409~ 412.
Zhang Zhuoyuan, Wang Shitian, Wang Lansheng. Fundamentals of engineering geological analysis(2nd edition). Beijing: Geological Publishing House, 1994, 409~ 412.
[3] 张斌. 二滩水电站地下厂房系统工程地质研究[J]. 工程地质学报, 1999, 7(增): 86~ 101.
Zhang Bin. Engineering- geological study of underground building system of eitan hydroelectric power station. Journal of Engi-

neering geology, 1999, 7(suppl): 86~ 101.
[4] 水利水电工程地质勘察规范(GB50287- 99)[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999, 78~ 81.
Code for water resources and hydropower engineering geological investigation (GB50287- 99). Beijing: Chinese Planning Publishing House, 1999, 78~ 81.
[5] 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, 44~ 51.
Tao Lianjin, Zhang Zhuoyuan, Jiang Deyi. Method and practice of complicated engineering rockmass stability assessment. Chengdu: Publishing House of Chengdu University of Technology and Science, 1998, 44~ 51.
[6] Unwedge User's Guide, 3D visualization of potentially unstable wedges in the rock surrounding underground excavation and calculation of factors of safety and support requirements for these wedges, 1992~ 1999, rocscience, inc.