

溪洛渡水电站地下厂房岩体结构特征及围岩分类

王明华¹, 冯文凯², 刘汉超², 白世伟¹

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071; 2. 成都理工大学工程地质研究所, 四川 成都 610059)

摘 要: 岩体结构特征研究是洞室稳定性分析的基础, 围岩分类实质就是应用工程地质类比法进行围岩稳定性评价。本文根据现场调查结果, 分析了溪洛渡水电站地下厂房区围岩岩体结构特征, 并建立了适合本工程的围岩分类体系。

关键词: 溪洛渡水电站; 岩体结构; 围岩分类

中图分类号: X641

文献标识码: A

1 工程概况和研究意义

近 20 年来, 我国规划建设了许多大型水电站, 受地形地貌条件和其他各种因素的影响, 这些水电站多选择了地下厂房型式。位于四川雷波与云南永善交界处的溪洛渡水电站, 其枢纽采用砼双曲拱坝, 最大坝高 273m, 设计装机 18 台, 总装机容量 1350MW。拟采用两岸库内地下厂房方案, 主厂房 436m × 33.8m × 78.2m, 主变室 353m × 17m × 31.6m, 尾调室 288m × 26m × 93.5m, 三者紧密布置在大坝上游两侧坝肩附近的狭小空间内, 纵横交错, 构成了一个结构极为复杂的地下建筑群。

岩体结构不仅可以反映岩体中结构面的发育程度和块体尺寸, 而且能表征岩体力学性质的优劣, 是地下工程岩体稳定性的主控因素。划分岩体结构类型时, 合理确定分类原则至关重要。我国建设部、铁道部和水利部等都制定了适合各自行业特点的岩体结构分类规范, 每种岩体结构类型均有明确的结构面间距指标, 并附有对应的工程地质特征描述。

围岩分类是进行地下工程设计和施工的基础, 是评价围岩稳定性、设计断面形状、施工方式和支撑、衬砌及编制材料消耗的重要依据。地下厂房跨度大、边墙高、结构复杂, 工程意义重大, 因此必须选择指标完整、方案成熟、结果可靠的围岩分类方案,

因为这不仅事关水电站能否顺利建成投产, 而且在很大程度上决定了工程的投资和工期。迄今为止, 国内外提出的围岩分类方法达百种之多, 目前使用较多的为 Bieniawski 的 RMR 分类、Barton 的 Q 分类^[1]。其中前者未考虑地应力的影响, 后者未直接考虑岩石单轴抗压强度和结构面方位的影响。

我国于 1995 年颁布了《工程岩体分级标准》, 以 BQ 公式作为各类工程岩体分级的国标。它采用定性和定量相结合、经验判断和测试计算相结合的办法, 首先按岩石坚硬程度和岩体完整程度来定义“岩体基本质量”, 然后针对各类型工程岩体的特点, 分别考虑其它因素进行修正, 最后确定工程岩体的级别。徐卫亚等利用《工程岩体分类标准》经过适当修正, 对清江水布垭水电站地下洞室围岩^[2]和清江隔河坝基岩体^[3]进行了岩体质量的评价研究。如何利用《工程岩体分级标准》, 建立适合不同工程的围岩质量分类体系, 值得深入探讨。

2 洞室区地质环境条件

2.1 基本地质条件

坝区主要地层为二叠系峨眉山玄武岩($P_2\beta$), 局部分布有二叠系茅口组灰岩(P_{1m})和二叠系宣威组砂页岩(P_{2x}), 湖沼相的泥页岩($P_2\beta_n$)位于玄武岩和灰岩之间, 第四系松散堆积物零星分布。峨眉山玄

收稿日期(Received date): 2002- 12- 27; 改回日期(Accepted): 2002- 01- 05。

作者简介(Biography): 王明华(1976-), 男, 中国科学院武汉岩土力学研究所博士研究生, 专业为岩土工程。[WANG Ming-hua(1976-), male, doctorate candidate, studying in Wuhan Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Science and majoring in geotechnics.]

武岩是间歇性多期裂隙喷溢陆相基性火山岩流,厚 490~520 m,分为 14 个岩流层,各层下部为玄武质熔岩,上部为角砾(集块)熔岩。风化作用主要沿裂隙和错动带进行,具有典型的裂隙式和夹层式风化特征。玄武岩透水性多为 $L_u < 3$ 的弱偏微透水性为主,卸荷带和构造破碎带为弱—中等透水。

2.2 结构面发育特征

研究区位于雷波—永善构造盆地中的永盛向斜北西翼,构造破坏较弱,无规模较大的断层,主要构造形迹为层间、层内构造错动带和节理裂隙。

层间错动带长 150~400 m,破碎带宽 5~10 cm,影响带宽 40~60 cm。裂面起伏粗糙,其产状、厚度、物质组成和错动程度均表现出明显的空间变异性。区内出露有 C3、C4、C5、C6 共四条,其中 C6 为 $P_2\beta_6$ 顶部的有机质被 $P_2\beta_7$ 的熔岩流熔结而成,后期并未表现出明显的整体改造,仅局部显现裂隙型错动,其余三条错动带按工程类型均为裂隙型。

层内错动带多为缓倾角,长度一般 50~100 m,破碎带宽 5~10 cm,影响带宽约 50 cm。层内错动带集中分布在玄武质熔岩中,以第 5 层最为发育,4 层次之,6 层最少。错动带性状一般较好,错动程度不强烈,裂面起伏粗糙,微风化。其中工程类型为裂隙型的有 30 条,占 66.7%,工程类型为(含)岩屑角砾型和角砾型的有 15 条,占 33.3%,局部充填岩屑、角砾及石英绿帘石条带,见倾向或斜向擦痕。

节理裂隙较发育,受错动带的限制普遍延伸短小。裂面多平直粗糙,部分波状光滑,卸荷带内嵌合紧密,无充填,隙壁岩体较新鲜。产状较分散,以陡裂为主,优势方位共有 3 组:①近 EW/S $\angle 60^\circ \sim 70^\circ$; ②N $50^\circ \sim 70^\circ$ W/SW $\angle 65^\circ \sim 80^\circ$; ③N $55^\circ \sim 65^\circ$ W/NE $\angle 80^\circ \sim 90^\circ$ 。

3 洞室岩体结构类型划分

3.1 围岩工程地质分段

工程区布置的平硐 PD18 支 3 与主厂房纵轴线平行,高于顶拱 10.8 m,它所揭露的岩体结构特征是围岩稳定性分析的主要依据。平硐位于微新岩体中,而且沿硐深方向岩性特征和水文地质条件基本一致,因而其主要差异表现为结构面的发育程度不同。由于错动带多集中成带发育,节理裂隙随机分布,错动带对围岩稳定性的影响明显强于节理裂隙,因此先根据错动带的分布将洞室分段,然后对各段

岩体按结构面的发育特征进行类型划分。

3.2 岩体结构类型划分方案

参照水电部门行业规范^[4],根据本区地质环境条件,拟定如表 1 所示的岩体结构类型划分方案。上述岩体结构划分方案紧紧围绕错动带和节理裂隙的组数和间距这两个指标,并引入了声波纵波速,其结果能反映各类结构面的综合特征,因而是有效的,且与围岩分类体系保持了一致,使岩体结构类型合理而全面的表征了围岩的稳定性。

3.3 分类结果

根据上述的围岩工程地质分段原则和岩体结构类型划分方案,对地下洞室进行了岩体结构类型划分,按洞长进行统计分析的结果见图 1。由图可知,本工程地下洞室围岩总体较完整,岩体结构类型以块状和整体块状为主,占 42%,其次为次块状结构,占 24%,镶嵌结构占 18%,碎裂结构最少,仅占 16%。

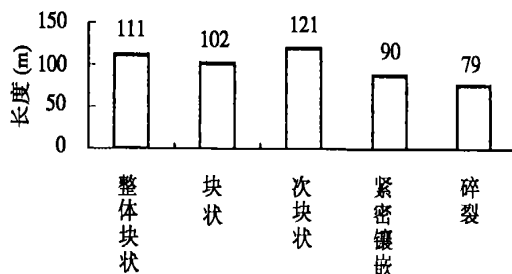


图 1 岩体结构类型统计结果

Fig. 1 Type statistic result of rock mass structure

4 适合本工程的围岩分类方案研究

虽然《工程岩体分级标准》具有普适性,但如何合理引入层间、层内错动带,并考虑地下水、地应力等因素的影响,建立适合本工程的围岩质量分类体系,值得深入探讨。

地应力和地下水是影响围岩稳定性的重要条件。对同一工程岩体而言,其应力状态不同,岩体质量就会受到不同程度的影响。当应力值较小或最大主应力平行于洞室轴线时,应力对围岩稳定性的影响较小,在以剪应力为主的地区,则要着重考虑平行于剪应力方向的结构面性状。实测结果表明,溪洛渡水电站坝区总体处于中等应力状态,河床谷底及岸坡局部有岩芯饼裂迹象,但并不显著, σ_1 为 15~

表 1 溪洛渡水电站地下洞室岩体结构类型划分方案

Table 1 Rock mass structure type of underground excavation for Xiluodu hydroelectric power station

岩体结构类型	岩体结构特征描述	结构面发育情况	裂隙组数	裂面间距 (cm)	声波纵波速 (m/s)
整体块状结构	岩体坚硬完整呈巨块状, 新鲜, 局部微风化。结构面闭合, 多属硬质结构面, 延伸不长。	无	1	> 100	> 5400
块状结构	岩体坚硬较完整呈块状, 新鲜~ 微风化。结构面闭合或充填少量石英、钙质, 延伸不长。	少量	1~ 2	50~ 100	> 5000
次块状结构	微风化~ 弱风化下段, 岩体坚硬较完整呈次块状。结构面除充填石英、钙质外, 还充填少量岩屑, 岩块间彼此咬合紧密。	少量	2~ 3	30~ 50	4500~ 5000
镶嵌结构	紧密 围压较高状态下的影响带、裂隙密集带岩体, 咬合紧密, 完整性差。结构面闭合, 起伏粗糙, 多呈刚性接触, 少量夹岩屑。	较多	多于 3 组	10~ 30	3500~ 4500
	松弛 弱风化卸荷带内的影响带、裂隙密集带岩体, 咬合较松弛, 完整性差。结构面闭合, 起伏粗糙, 部分充填岩屑和角砾。	较多	多于 4 组	10~ 30	3000~ 3500
碎裂结构	紧密 围压较高状态下的错动带岩体, 咬合较紧密, 岩体破碎。结构面延伸较长, 普遍充填岩屑、角砾, 整体强度低。	密集	多于 4 组	< 10	2500~ 3000
	松弛 强风化及弱风化上段卸荷带岩体, 咬合松弛, 透水性强, 岩体破碎。结构面延伸较长, 普遍充填岩屑、角砾或泥质物, 整体强度低。	密集	多于 4 组	< 10	2000~ 2500
散体结构	分布局限, 仅为强风化夹层, 岩体极其破碎, 结构松散, 强度极低。碎块间充填大量岩屑, 部分充填次生泥。	/	/	/	< 2000

20MPa, 方向为 NW50°~ EW, 与厂房纵轴线成 26°~ 66°角, 倾角< 30°。岩体整体干燥, 地下水沿裂隙呈脉状分布, 即使错动带发育地段也少见明显潮湿或滴水状, 对稳定性的影响不显著。

虽然洞室区出露的错动带大部分无错动或错动轻微, 性状较好, 但由于构造运动及浅表生改造作用的综合影响, 层间、层内错动带岩体破碎, 力学强度低, 亲水性强, 抗风化能力弱, 相对于上下盘岩体性状有显著差别, 为岩体中力学强度相对的部位, 对围岩稳定影响显著。研究表明^[5], 含夹层岩体受力后, 由于夹层和围岩间的协调变形, 整个系统中的软弱部分首先发生破坏。夹层与围岩的强度差异越大, 夹层- 围岩系统越容易发生非稳定性破坏, 这对岩体工程是极其不利的。由于层内错动带具有集中成带发育的特征, 而且局部地段性状较差, 仅通过完整性系数很难反映其影响错动带对各段岩体稳定性的影响, 必须考虑错动带的强度参数。试验结果显示, 错动带岩体内聚力极低, 因而摩擦系数在整个系统中发挥着极其重要的作用。根据溪洛渡水电站地下厂房洞室群的实际条件, 特提出以下公式作为洞室围岩岩体质量的分类指标:

$$K_{2+K_3}-100K_4 \tag{1}$$

式中 BQ_{XLD} : 洞室围岩质量指标;
 K_1 : 地下水状态修正系数;
 K_2 : 初始应力状态修正系数;
 K_3 : 工程轴线与主要软弱结构面方位修正系数;
 K_4 : 缓倾角错动带强度修正系数。

用错动带与围岩的摩擦系数之间的差异程度来考虑缓倾角错动带的影响, 故 K_4 定义为

$$K_4=1-f_c/f_R \tag{2}$$

式中 f_c 、 f_R 分别为错动带和岩体的摩擦系数。

4.2 分类结果分析和比较

根据野外资料, 按照各指标的评分标准分段进行了围岩分类, 由表 2 可知, 在错动带出露的洞段, 考虑其性状和产状进行修正后, 岩体质量指标降低 48~ 114 分, 级别降低 1~ 2 级, 而无错动带出露的部位岩体质量基本无变化。通过对上述分析以及与 RMR 分类的比较可以发现, 两种分类方案所得结果基本一致, 仅局部略有差异。由于本区处于中等地应力区, 地下水的影响很小, 所以这种差异的主要来源是两种分类体系对岩体结构特征的各因素的处理方法的不同。分类结果表明: 地下厂房区洞室围

表 2 洞室围岩分类结果
Table 2 Result of surrounding rock ranking

桩 号(m)	饱和单轴抗压 强度 R_c (MPa)	岩体完整性 系数 K_v	岩体基本 质量指标	岩体质量 修正指标	修正岩体 质量级别	RMR 分 类结果
0~ 32	146	0. 716	552. 3	445. 3	III	III
32~ 43	146	0. 761	575. 7	461. 7	II	III
43~ 88	146	0. 716	552. 3	552. 3	I	II
88~ 103	146	0. 695	541. 5	445. 5	III	III
103~ 120	146	0. 520	450. 6	341. 6	IV	III
120~ 134	146	0. 690	538. 8	538. 8	II	II
134~ 156	146	0. 657	521. 7	521. 7	II	I
156~ 216	146	0. 680	533. 6	533. 6	II	II
216~ 235	146	0. 592	487. 8	391. 8	III	III
235~ 263	146	0. 711	549. 7	549. 7	II	II
263~ 291	146	0. 647	516. 5	420. 5	III	III
291~ 323	146	0. 758	574. 2	574. 2	I	I
323~ 341	146	0. 625	505. 1	409. 1	III	III
341~ 365	146	0. 604	494. 0	398. 0	III	III
365~ 420	146	0. 690	538. 8	442. 8	III	III
420~ 447	146	0. 758	574. 2	574. 2	I	II
447~ 473	146	0. 729	559. 1	455. 1	II	II
473~ 503. 6	146	0. 726	557. 6	557. 6	I	I

岩以 I 类和 II 类为主, 占 50% 以上, III类岩体不到 50%, IV类岩体仅分布于第 5 洞段, 长度仅有 17m。

5 结论

根据以上分析, 可以得出以下初步认识和结论:

1. 层间错动带、层内错动带和节理裂隙共同决定了本区的岩体结构特征。区内层间错动带性状较好, 无错动或错动轻微; 层内错动带错动均不强烈, 以裂隙型为主; 节理裂隙随机发育, 普遍延伸短小。

2. 洞室围岩总体较完整, 岩体结构类型以块状和整体块状为主, 其次为次块状和紧密镶嵌结构, 碎裂结构极少。

3. 溪洛渡水电站地下洞室岩体质量整体较好, I 类和 II 类岩体占 50% 以上, III类岩体不到 50%, IV类岩体极少, 无岩体质量极差的部位, 因而具备修建大型地下洞室的地质条件。

参考文献(References):

[1] Edited by Z. T. Bieniawski. translated by WU Lixin. Ranking of Engineering Rock. Beijing: Press of China University Mining and Technology. 1993. [Z. T. Bieniawski(吴立新, 等译). 工程岩体分类[M]. 北京: 中国矿业大学出版社. 1993]

[2] XU Weiya, XIE Shouyi, JIANG Han. Quality assessment of rock mass and feedback design for underground buildings of Shuibuya Hydropower Plant *Engineering Geology Journal*. 2000. 8(2): 191~ 196. [徐卫亚, 谢守益, 蒋晗, 等. 清江水布垭水电站地下厂房岩体质量评价及反馈设计研究[M]. 工程地质学报. 2000. 8(2): 191~ 196]

[3] XU Weiya, YU Heping, XIE Shouyi. Study on rock mass quality assessment at dam foundation of Geheyan Hydropower Project on Qingjiang River. *Engineering Geology Journal*. 1999. 7(2): 105~ 111. [徐卫亚, 喻和平, 谢守益. 清江隔河岩坝基工程岩体质量评价研究[J]. 工程地质学报. 1999. 7(2): 105~ 111]

[4] GB50287- 99. Engineering geology exploration standard for hydroelectric project[S]. Beijing: China Planning Press. 1999. [GB50287- 99. 水利水电工程地质勘察规范[S]. 北京: 中国计划出版社. 1999]

[5] ZHANG Dingli, WANG Yuehan, QU Tianzhi. Influence analysis of interband on stability of stratified rock mass *Chinese Journal of Rock Mechanics and engineering*. 2000. 19(2): 140~ 144. [张顶立, 王悦汉, 曲天智. 夹层对层状岩体稳定性的影响分析[J]. 岩石力学与工程学报. 2000. 19(2): 140~ 144]

[6] LIN Yunmei. Theory and practice of rock ranking. Beijing: Metallurgy Press. 1996. [林韵梅. 岩石分级的理论与实践[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1996]

A Study on Rock Mass Structure Feature and Surrounding Rock Ranking for Xiluodu Hydroelectric Power Station

WANG Ming-hua¹, FENG Wen-kai², LIU Han-chao², and BAI Shi-wei¹

(1. *Wuhan Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071 China;*

2. *Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 China*)

Abstract: Study on rock mass structure feature is the basis of excavation stability analysis, while surrounding rock classification is basically analyzing excavation stability by engineering geology analogy method. Based on field data, the paper studies excavation rock mass structure feature of Xiluodu hydroelectric power station and sets up surrounding rock ranking system which fits this project according to Engineering Rock Mass Classification Standard. It is proved that shearing belts actually control stability of the project. Due to the fact that the rock mass are damaged slightly, it is advisable to construct a hydraulic-electric power station in the research region.

Key words: Xiluodu hydroelectric power station; rock mass structure; surrounding rock ranking