

水库泄洪洞岩体力学参数研究

余志冲

(河南省水利勘测总队 河南 郑州 450003)

摘要 通过室内岩石力学性质试验 ,现场原位岩体抗剪、变形试验和波速测试等研究 ,分析了水库泄洪洞洞室岩体的力学特性和变形特性 .结合洞区岩体结构、构造特征及其风化程度 ,提出洞室区岩体力学性质基本参数 ,为洞室稳定性分析和工程设计施工提供了可靠依据 .经施工开挖验证 ,所采用的工程岩体参数客观合理 .

关键词 泄洪洞 ;岩体力学特性 ;工程参数选取 ;试验研究

中图分类号 :TU457 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2005)05-0580-04

水库泄洪洞一般布置于天然岩体中 ,而天然岩体结构较为复杂 ,岩体的自身特性(结构、构造特征、风化程度、力学特性等)决定着洞室围岩的稳定性 ,因此查明洞室区工程地质特征 ,合理选取符合工程实际的岩体力学参数对泄洪洞稳定性设计和施工具有重要意义 .

盘石头水库位于河南省鹤壁市西南 15 km 的卫河支流淇河中游 ,最大库容 60.8 亿 m³ ,拦河坝为混凝土面板堆石坝 ,是一座以防洪供水为主、兼顾农田灌溉发电的大型水利工程 .泄洪洞位于右岸单薄的鸡冠山下 ,洞轴线与山体走向近正交 ,洞长近 500 m ;采用城门洞形 ,成洞断面 9.46 m×7.0 m ;开挖洞径 11 m ,进口高程 215 m ,出口高程 206.7 m .山体相对高度达 300 m ,三面临河 ,底宽 360~520 m .山体地层为寒武系中、下统灰、页岩 ,岩层平缓 ,倾角 2°~6° .洞线上断层有 4 条 ,其走向与洞轴线夹角 55°~65° ,为高倾角正断层 ,断层破碎带宽度 1.5~3.0 m .节理发育有北西、北东向多组 .洞室侧壁、顶板及进、出口边坡中下部均位于^[1]层页岩中 .该层页岩属较软—较坚硬水平层状岩体 ,厚度 35~43 m .

鸡冠山山体上部为中寒武系近直立的灰岩陡壁 ,下部为下寒武系页岩 ,形成上硬下软的地层结构 ,因此其是否具备较大跨度洞室的成洞条件以及洞室稳定问题尤为突出 .笔者以盘石头水库泄洪洞工程为例 ,通过室内及现场原位岩体力学试验 ,分析研究了洞室岩体的力学特性及其影响因素 ,并结合岩体结构、构造特征、风化类别提出了比较客观、合理的岩体工程参数 .

1 岩体的力学特性

1.1 岩石(块)物理力学性质

页岩为泥质、粉砂质结构 ,页理发育 ,对试验平洞和钻孔典型岩样进行单轴干湿压缩试验、三轴压缩试验、双面直剪试验和劈裂法抗拉试验等物理力学试验 ,结果见表 1 和表 2 .试验结果表明 ,该页岩属较软—较坚硬岩 ,岩块浸水饱和、矿物成分、围压等因素对其力学性质有显著影响 .

1.2 岩体抗剪强度特性^[1~3]

根据洞区页岩层的结构特征和可能的剪切破坏机制 ,分别用岩体抗剪和层面抗剪 2 种方法进行了试验 ,结果见表 3 和表 4 .由表 3 和表 4 可知 ,岩体抗剪断强度较层面抗剪断强度大 ,即岩体抗剪强度 f' 值为层面值的 1.48 倍 , c' 值为层面值的 2.12 倍 ,说明沉积层面是岩体中相对软弱的结构面 .根据抗剪破坏机理分析 ,层面胶结状态对岩体抗剪断强度的影响较大 .在岩体的剪断破坏中 ,有沿层面追踪剪破坏或局部沿已开裂层面

表 1 岩石物理性试验结果

Table 1 Experimental result of physical characteristics of rockmass

取样位置	风化程度	湿密度/ (g·cm ⁻³)	吸水率/%	饱和吸水率/%
试验平洞	弱风化	2.58~2.62	3.23~3.26	3.37~3.38
	微风化	2.60	3.21	3.31
钻孔	弱风化	2.61	3.23	3.51
	微风化	2.62	3.20	3.34

剪滑破坏 2 种 ,说明相对应的岩体层面有起伏不大、局部已断开和胶结力很强的特点 ,其中剪滑破坏降低岩体抗剪性能最明显 .沿层面抗剪断试验岩体的破坏机理以剪滑为主 ,但又有局部剪断或出现剪切挤压破坏 .抗剪(摩擦)试验是在岩体抗剪断、层面抗剪断剪切破坏后进行的复剪 ,因此强度要小 .

表 2 岩石力学性质试验结果

取样位置		单轴抗压(干)			单轴抗压(湿)			三轴剪		双面直剪		劈裂法	软化系数		波速
		峰值强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比 μ	峰值强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比 μ	摩擦系数	黏聚力/MPa	摩擦系数	黏聚力/MPa	抗拉强度/MPa	强度	变形	$V_p/(m \cdot s^{-1})$
试验平洞	弱风化	24.1 ~ 29.5	5.4 ~ 6.4	0.24 ~ 0.25	17.8 ~ 24.3	3.84 ~ 5.3	0.24 ~ 0.26			1.21 ~ 1.24	0.42 ~ 0.56	0.75	0.73 ~ 0.83	0.71 ~ 0.82	3 500
	微风化	36.5	8.0	0.24	31.0	6.7	0.24	1.34	1.28	1.30	0.65	1.40	0.85	0.84	3 662
钻孔	弱风化	25.5	5.3	0.25	20.4	4.18	0.26			1.20	0.50	0.69	0.81	0.79	
	微风化	34.3	6.7	0.24	28.5	5.42	0.25			1.25	0.62	1.26	0.83	0.81	

表 3 岩体抗剪试验结果

岩体风化类别		Table 3 Experimental result of shearing strength of rockmass			
试件号		抗剪断强度		抗剪(摩擦)强度	
		黏聚力 c'/MPa	内摩擦系数 f'	黏聚力 c/MPa	内摩擦系数 f
弱风化	10			0.12	0.75
	4			0.21	0.78
	9	0.53	1.2	0.22	0.83
	8			0.20	0.80
	7				

注 :岩体未浸水 .抗剪(摩擦)强度试验中 ,黏聚力 c 的平均值为 0.19 MPa ,内摩擦系数 f 平均值为 0.79 .

表 4 层面抗剪试验结果

岩体风化类别		Table 4 Experimental result of shearing strength of rock layers			
试件号		抗剪断强度		抗剪(摩擦)强度	
		黏聚力 c'/MPa	内摩擦系数 f'	黏聚力 c/MPa	内摩擦系数 f
弱风化	5			0.10	0.65
	6			0.16	0.75
	1	0.25	0.81	0.12	0.73
	2			0.10	0.71
	3				

注 :岩石未浸水 .抗剪(摩擦)强度试验中 ,黏聚力 c 的平均值为 0.12 MPa ,内摩擦系数 f 平均值为 0.71 .

1.3 岩体变形特性

根据岩体的风化、结构构造特征 ,在 75 m 长的试验平洞内 ,选取弱风化偏强、弱风化、微风化(结构面发育)、微风化(结构面不发育) 4 种岩体进行原位变形试验 ,试验结果见表 5 .同时对左岸该层进行了岩体变形流变试验 ,试验结果见表 6 .

表 5 岩体变形试验结果

Table 5 Experimental result of rockmass deformation				
岩体类别	加载方向	试件号	变形模量/GPa	弹性模量/GPa
弱风化偏强	水平方向	1	1.1	1.5
		3	1.1	1.6
	重力方向	2	1.1	1.8
		4	0.7	1.2
弱风化	水平方向	5	1.6	2.0
		8	1.1	1.8
	重力方向	6	0.3	1.0
		7	0.6	1.6
微风化(结构面发育)	水平方向	10	1.6	3.0
		12	1.5	3.9
	重力方向	9	1.2	2.1
		11	1.8	2.8
微风化(结构面不发育)	水平方向	14	3.5	6.0
		16	2.5	5.7
		18	2.8	4.1
		20	3.0	6.0
		13	3.3	7.3
		15	4.4	9.3
	重力方向	17	2.6	3.3
		19	2.2	3.8

注 (a) 结构面发育微风化岩体变形模量 ,水平方向平均值为 1.6 GPa ,重力方向平均值为 1.5 GPa ,弹性模量 ,水平方向平均值为 3.45 GPa ,垂直方向平均值为 2.45 GPa . (b) 结构面不发育微风化岩体变形模量 ,水平方向平均值为 2.96 GPa ,重力方向平均值为 3.13 GPa ,弹性模量 ,水平方向平均值为 5.46 GPa ,垂直方向为 5.93 GPa .

1.3.1 岩体变形试验结果分析

1.3.1.1 开挖试验洞的影响

为减少施工扰动影响 ,开挖中采用控制进尺、防震预裂孔保护以及成洞后再将洞壁、洞底手工分别扩挖 20 cm 等措施 ,但完全消除其影响是不可能的 .另一方面 ,开挖试验洞的后果等于解除洞壁的岩体约束 ,必然引起岩体回弹变形、应力释放 ,尤其是平缓岩层洞底板该情形更为突出 .从岩体原位变形试验实测结果看 ,试验洞表层至 0.7 m 深度范围内岩体变形量大 ,1 m 深以下变形量逐渐趋于稳定 ,说明试验洞浅层范围内岩体的松动情况和应力释放程度是由浅至深逐渐减弱直到完全消失的 ,而与此相关的岩体变形模量是由小到大逐步增加的 .

表 6 原位岩体流变试验结果

Table 6 In-situ experiment on creep of rockmass				
加载方向	测点至岩体表面之间的距离/cm	国际试验方法所得变形模量/GPa	国内试验方法所得变形模量/GPa	变形测试方法
重力方向	0	3.1	2.5	千分表
	20	4.9	3.7	多点位移计
	70	8.2	7.2	
	150	13.1	13.1	

1.3.1.2 岩性、岩体结构的影响

沉积岩力学一般具各向异性特征,且开挖后所出现的岩体松动及应力释放亦带有方向性.该层页岩岩层平缓,层面比较发育,测试结果顺层方向岩体变形模量值多明显高于重力方向,但有些差异不明显甚至出现反常现象,其原因是该处岩性及岩体结构反常.如在弱风化类型试件 6、7 承压板下 60~80 cm 深处有一层厚 1~2 cm 的泥化软弱夹层,使得重力方向变形模量值仅有 0.3~0.63 GPa,而在微风化(结构面不发育)试验段,重力方向承压板下有一厚 30~40 cm 的灰岩夹层,则明显提高了岩体的抗变能力,使得重力方向变模高于水平方向.

1.3.1.3 地质改造(构造)作用的影响

试验中地质构造的影响主要表现为节理裂隙对岩体的切割.节理以北东、北西向陡倾角为主,另有少量中倾角节理.节理的发育程度直接影响岩体的变形参数.在微风化(结构面发育)段,重力方向变形模量平均值为 1.5 GPa,而在微风化(结构面不发育)段,其变形模量平均值达 3.13 GPa.

1.3.2 岩体流变试验结果分析^[4,5]

承压板法岩体流变试验在加载方式上采用了 2 种方式:(a)国际岩石力学学会建议的方法,即把规定的最高荷载分为 4 级分级加载,并同时按规定的时间观察各级持续荷载作用下的岩体流变变形特点以及各级荷载卸荷后的岩体回弹情况.(b)国内所采用的最大荷载法,即首先将规定的最大荷载用常规试验的方法由零逐渐加压,直至规定的最大荷载为止,然后再观察岩体在最大荷载持续作用下岩体的流变规律.试验结果表明:该层页岩在规定的试验荷载作用下,岩体有微弱的流变出现,流变趋于稳定的时间与岩体扰动、应力释放和岩性有密切的关系.由此可知,岩体的流变模量与测点所在位置有一定的关系.在洞壁浅层,岩体的流变模量明显低于常规试验结果,两者的数量差随深度逐渐减少.

2 岩体工程参数建议

2.1 岩体工程参数分析^[6]

按文献[6]规定,采用定性和定量相结合的方法进行岩体分级,应用声波测试方法并结合岩石强度来确定岩体定量分级,BQ 分级以岩石坚硬程度和岩体完整程度来评价岩体基本质量,而岩石坚硬程度根据岩石单轴饱和抗压强度来划分,以岩体完整系数来表示.据试验洞揭示,洞区卸荷带水平深度不小于 50 m.卸荷带段岩体以弱风化为主,节理裂隙相对发育,试验洞所测洞壁纵波波速 V_p 为 1 500~2 000 m/s,横波波速 V_s 为 800~1 100 m/s,弱风化岩体完整性指数 K_v 平均值为 0.52,岩体基本质量指标 BQ 为 293,岩体基本质量级别初步定级应属Ⅳ级.卸荷带以里山体下部洞浅岩体为微风化类型,钻孔岩体纵波波速为 2 600~2 700 m/s,横波波速为 1 200~1 300 m/s,岩体完整性指数为 0.51~0.63,岩体基本质量指标为 291~320.山体下部钻孔未能涉及的岩体由于埋深大,估计质量会更好一些,故卸荷带以里洞线微风化岩体综合评价类别应属Ⅲ~Ⅳ级.

2.2 岩体工程参数综合选定^[7]

根据 ϵ_1^{I4} 层页岩岩体的强度、变形力学特性,结合洞区工程岩体的结构、构造特征及其风化类别,通过定性定量分析,提出了泄洪洞区岩体力学参数建议值,见表 7.由表 7 可见, ϵ_1^{I4} 层页岩属较软—较坚硬水平层状岩体.施工开挖验证结果表明, ϵ_1^{I4} 层页岩成洞条件相对较好,开挖中除卸荷风化带内有局部小型坍塌、掉块外,一般较为稳定.这说明本文所建议的岩体参数比较客观、合理.

表 7 岩体力学参数建议值

岩体类别	允许承载力/MPa	变形模量/GPa	弹性模量/GPa	泊松比 μ	岩体剪摩		岩体纯摩		层面剪摩		层面纯摩	
					内摩擦系数	黏聚力 c' /MPa	内摩擦系数	黏聚力 c' /MPa	内摩擦系数	黏聚力 c' /MPa	内摩擦系数	黏聚力 c' /MPa
弱风化岩体	2.5	1.5~2.5	2.5~3.0	0.35	0.73	0.07	0.45~0.50	0	0.65	0.01	0.5	0
微风化岩体	3.0	3.0~3.5	3.5~4.5	0.33	0.80	0.08	0.50~0.55	0	0.70	0.03	0.55	0

3 结 语

水库泄洪洞区岩层较为复杂,其岩体力学参数决定了洞室的稳定性和成洞条件.本文以具体水库泄洪洞为例,根据较系统的室内岩石试验及现场原位岩体抗剪、变形试验结果,分析了洞室围岩的强度和抗变形能力,研究了岩体结构、构造差异对变形值的影响,并在分析评价页岩力学特性的基础上,结合洞线岩体结构、构造特征及其风化类别,提出了相应的岩体力学参数.盘石头水库工程实践表明,本文所建议的岩体参数客观、合理,可供类似工程参考.

参考文献:

[1] 王生维, 张明. 东胜煤田补连塔矿煤物理力学特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(4): 390—394.
[2] 万志军, 李学华, 刘长友. 加载速率对岩石声发射活动的影响[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2001, 20(4): 469—471.
[3] 蔡斌, 黄志鹏, 刘元坤. 江口水电站岩石力学试验研究[J]. 人民长江, 2001, 32(3): 53—55.
[4] 赵中波. 某水电坝基工程岩石物理力学试验及探讨[J]. 江西有色金属, 1998, 12(4): 4—6.
[5] 黄英娣. 圆柱体岩块变角板试验结果分析[J]. 桂林工学院学报, 1997, 17(2): 170—172.
[6] GB 50218—94 工程岩体分级标准[S].
[7] 巫德斌, 徐卫亚. 基于 Hoek-Brown 准则的边坡开挖岩体力学参数研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(1): 89—93.

Study on rockmass mechanical parameters for reservoir spillway tunnel

YU Zhi-chong

(Henan General Prospecting Team of Water Conservancy , Zhengzhou 450003 , China)

Abstract Based on laboratory experiments on rockmass mechanical properties and in-situ experimental results of shearing strength and deformation of rockmass and velocity of wave propagation in it , the mechanical properties and deformation characteristics of rockmass in the spillway tunnel were analyzed. In combination with a comprehensive analysis on the structural characteristics and the degree of weathering of rockmass in the spillway tunnel , the fundamental mechanical parameters for rockmass of the spillway tunnel were put forward. The research result provides a basis for stability analysis and reasonable design and construction of spillway tunnels. The excavation and construction of the spillway tunnel in a practical project verifies that the mechanical parameters of rockmass adopted are reasonable and reliable.

Key words spillway tunnel ; mechanical property of rockmass ; determination of engineering parameter ; experimental study