

大河口水电站坝址 岩体力学性质的试验研究

杨 建

(四川省水利水电勘测设计研究院,成都,610072)

摘 要 为研究大河口水电站推荐坝址基岩的变形特性和坝基抗滑稳定,在现场进行了岩体变形试验和混凝土与基岩及基岩本身的抗剪强度试验。基岩变形特性主要受到岩体内各结构面的影响,变形(弹性)模量值随厚层灰岩、薄层灰岩和断层破碎带的顺序递减。灰岩本身具有较高的抗剪强度。混凝土与灰岩的抗剪强度主要受混凝土与灰岩的胶结强度控制。因此,在坝基岩体不存在深层控制滑移面的情况下,混凝土与灰岩的接触面是主要的抗滑稳定控制面,最后提出了建议参数。

关键词 坝基 灰岩 变形试验 岩体结构面 抗剪试验 胶结强度

1 前 言

大河口水电站是黔江地区“八五”期间的重点建设项目。电站大坝位于酉阳县苍岭区浪坪乡境内的阿蓬江大滩河段上,坝高85m,坝顶长142m,坝底宽74.8m,水库总库容1.15亿 m^3 。初设阶段比较坝型为混凝土重力溢流坝和混凝土重力拱坝。

为研究基岩的变形特性和大坝的抗滑稳定特性,在大滩坝址所推荐的上坝线,进行了基岩的现场变形试验和混凝土与基岩以及基岩本身的抗剪强度试验。

2 工程地质简况

本区处于川鄂湘黔隆起褶皱带西北边缘,属于新华夏构造体系第三隆起带的一部份,位于咸丰背斜与天馆背斜之间的濯河坝向斜南端。区内断层规模较小。

区内为高山峡谷地貌。阿蓬江在桥岩至

大滩段,横穿岩层走向,使坝址河段岩层走向与河道近于正交,倾向上游,倾角 72° 。

坝址段出露地层主要为下奥陶统大湾组(O_{1d})、红花园组(O_{1h})、分乡组(O_{1f})等。岩性以灰岩为主,次为砂页岩,薄层灰岩夹页岩等。坝基坝肩均置于红花园组灰岩上。坝基右岸及河床段除灰岩夹页岩外,均为完整~较完整的整体、块体岩体。河床段的 $O_{1h}^{\text{②}}$ 及 $O_{1f}^{\text{③④}}$ 四层灰岩夹页岩,为较完整的软硬相间的层状岩体。左岸有平~逆冲断层 f_{306} ,组成物质主要为灰岩碎块及少量角砾,方解石胶结,胶结较紧密。断层破碎带和靠近断层上盘的岩石有溶蚀现象。 f_{306} 断层对岩体的变形有影响。坝基段岩体缓倾角裂隙不发育,不构成深层控制滑移面。

3 试验布置和试验方法

3.1 试验布置

试验点布置在大滩坝址上坝线的左岸 PD_1 、 PD_2 和右岸 PD_3 等三个平洞中。基

• 本试验研究得到陆恩施高级工程师的指导。钟成健、陈洪、廖文道、岳邦弼等同志参加了试验工作。

岩的地层有：O₁^①、O₂^②、O₃^③。按试点处基岩的实际情况，岩性可分类为：厚层~中厚层灰岩、薄层灰岩和 f₃₀₆ 断层破碎带。

根据需要，在一些试点处取岩样，作室内物理力学性试验。

3.2 试验方法

试验均按《水利水电工程岩石试验规程》进行。

1. 基岩的变形试验，采用圆形刚性承压板法，逐级一次循环加荷。考虑到岩体在混凝土重力坝和混凝土重力拱坝两种坝型下的实际受力状态，加荷方向分为垂直方向和沿拱坝轴线水平方向加荷。试面由人工凿平。

2. 混凝土与灰岩的抗剪强度试验，采用平推法，剪切力方向由上游向下游推剪。上试

件混凝土试体尺寸为：长×宽×高=50cm×50cm×35cm。下试件基岩面为：长×宽=50cm×50cm，由人工刻凿，起伏差多小于5~10mm。每组试验由五个试件构成。

3. 灰岩本身的抗剪强度试验，采用平推法，剪切力方向由上游向下游推剪。岩石试体由人工凿出，尺寸为：长×宽×高=50cm×50cm×25cm，外浇筑钢筋混凝土保护罩。每组试验由五个试件构成。

4 试验成果及分析

4.1 岩块的物理力学性质

岩块室内试验成果列于表1。

表 1 岩块室内试验成果

岩样编号	DY1-1	DY1-2	DY1-3	DY3-1	DY3-2	DY3-3	
取样地点	PD ₁ DM ₁ 试点	PD ₁ 大剪试段	PD ₁ DM ₃ 试点	PD ₁ 大剪试段	PD ₁ DM ₃ 试点	PD ₁ DM ₁ 试点	
基岩岩性	O ₁ 厚层灰岩	O ₂ 中厚层灰岩	O ₃ 薄层灰岩	O ₁ 缝合线发育灰岩	O ₁ 厚层灰岩	O ₃ 薄层灰岩	
比重	2.72	2.74	2.71	2.72	2.71	2.71	
干容重 N/m ³	26.59	26.59	26.39	26.49	26.49	26.49	
抗压强度 (MPa)	干	—	106.54	81.68 101.47 73.06	—	—	
	湿	100.96	—	67.09 38.70 105.53	—	100.16	
弹性模量 E ₅₀ GPa	45.1	43.1	27.3	39.2	5.6	166.1	
	191.8	338.8	35.8	256.8	19.2	17.2	
薄片鉴定简况	其含量 (%)	方解石91,白云石5,泥质物2,不透明金属矿物1,有机质物微,胶磷矿微。	方解石94,白云石3,石英3,有机质微	方解石82,硅质15,白云石2,有机质微。	方解石67,白云石25,硅质6,胶磷矿1,铁质微,有机质微。	方解石96,白云石3,有机质微,铁质微。	方解石92,石英4,白云石2,胶磷矿1,有机质及不透明金属矿物微。
	胶结类型	孔隙式为主,部分基底式。	孔隙式为主,少量为基底式。			孔隙式为主,少量为基底式。	孔隙式为主,基底式次。
	描述	岩石为灰色,致密,裂隙极发育,切割岩石为块状	岩石为灰色,致密状,见方解石脉呈断续分布	岩石由深灰色及灰色两部组成,深灰色部份为硅质条带,致密坚硬,其中裂隙发育。方解石呈脉状充填。	岩石为深灰色,粒屑分布不均匀。方解石大部份重结晶为中粗粒,少量为巨晶。白云石多为微晶集合体沿裂隙分布交代岩石,硅质主要为石英及玉髓集合体。	岩石为灰色,裂隙发育,方解石呈脉状充填。	岩石为深灰色及灰色互层状,两部份的主要矿物成份和类型及含量也基本相同。但在次要矿物和粒度的多少及粒径大小上有所不同。

试验成果可知：

1. 各组岩块的主要矿物成份和含量大致相同，因而物理性指标均较为接近，分散性小。

2. 岩样力学性指标较为分散，即使为同一组，力学指标也可能差别甚大。由于取样工具所限，无法取得含有层面、裂隙等宏观结构面的岩样，所以表1所列实际上代表的是完整岩石的性质。因此，岩石试件内部的微、隐裂隙的数量、分布和与试验应力方向的组合关系，是造成岩样力学指标分散的主要原因之一。另一个原因是岩样破坏形态，例如当试件顺受力方向呈纵向条状开裂时，其 E_{50} 的值明显增大，如 DY1-2、DY3-1 和 DY3-3。

4.2 基岩的变形特性

基岩的变形试验成果见表2。

表2成果表明：

1. 基岩模量值随厚层灰岩、薄层灰岩和 f_{306} 断层破碎带顺序递减。

2. 厚层灰岩与薄层灰岩模量值的递减量平均在5倍左右。比较表1中取自这两类灰岩的抗压强度和 E_{50} 值，差别既不明显，也不固定，亦即互有大小。反映了表2中薄层灰岩的模量值低于厚层灰岩，主要是由于岩体内层面、裂隙等宏观结构面造成的。因此，从表2中又可见：同一类岩性中，基岩模量值随层面、裂隙的增多而降低。

3. 由于坝型要求和坝址地质条件，在变形试验中，应力的施加①沿垂直方向观察与试点基岩倾向的组合关系，②沿拱坝轴线水平方向观察与试点基岩走向的组合关系，两种关系基本相同，因而各类灰岩在这两个方向上模量值的差别不大。

4. 当有水作用时， f_{306} 断层破碎带的强度将进一步降低，模量值显著下降。

4.3 混凝土与灰岩的抗剪特性

混凝土与灰岩抗剪强度试验成果列于表

3。

表 2 基岩变形试验成果

分 类	岩 层	试 点 编 号	施 力 方 向	试 件 面 积 (cm^2)	试 验 最 大 应 力 (MPa)	变 形 模 量 (GPa)	弹 性 模 量 (GPa)	试 面 性 状
厚 层 灰 岩	O_{16}	PD_1DM_1	垂 直	2000	2.5	24.51	35.82	试面完整新鲜，仅边缘处有一层面线，声铿锵。
	O_{16}	PD_1DM_3	垂 直	2000	2.5	20.93	44.92	试面处有一层面穿过，声铿锵。
	O_{16}	PD_1DM_2	水 平	1500	6.0	50.63	112.13	试面坚实，未发现层面，仅有五条裂纹。
	O_{16}	PD_NDM_1	水 平	1500	5.0	11.77	23.68	中厚层灰岩，试面见二层面穿过，声铿锵，个别为坚实。
薄 层 灰 岩	O_{16}	PD_1DM_4	垂 直	2000	2.5	5.61	8.57	位于薄层灰岩间。试面有一炭质页岩层面将试面分割为两部份。除层面及其两侧，声铿锵。
	O_{16}	PD_1DM_7	垂 直	2000	2.5	4.97	22.04	位于薄层灰岩边缘部。两层面对穿过试面将其分割为三部份。试面中有一闭合缓倾裂隙。除层面及其附近，声坚实。
	O_{16}	PD_1DM_3	垂 直	2000	2.5	1.93	4.35	薄层密集，各层厚度不同，层次分明，强度不一。
灰 岩	O_{16}	PD_1DM_1	水 平	1500	2.5	9.28	19.41	试面见三层面穿过，内充填炭质页岩。另有一层厚约5cm页岩插入试面以下。
	O_{16}	PD_1DM_6	水 平	1500	2.5	6.84	12.19	层薄且闭合裂隙发育，互相呈棋盘状切割试面。
	O_{16}	PD_1DM_5	水 平	2000	2.5	2.42	7.24	层面与裂隙交错，灰岩层薄，在侧壁呈叠瓦状分布。
	O_{16}	PD_NDM_2	水 平	1500	2.5	1.60	2.30	受裂隙及方解石脉影响，层次分明，有水沿裂隙及灰岩薄层间活动。
f_{306} 断 层 破 碎 带	PD_1DM_8	垂 直	1000	2.5	0.159	0.834	似三合土，胶结成块，用力手可捣碎。	
	PD_1DM_2	垂 直	1000	2.5	0.060	0.411	有裂隙水浸入，锄铲可塑。方解石已部份溶蚀。	

表 3 混凝土与灰岩抗剪强度试验成果

试验位置	试验编号	混凝土抗压强度 (MPa)	下试件基岩面性状	剪断面破坏型式	抗剪断强度		抗剪强度		单点摩擦强度	
					f'	c'	f	c	f	c
					(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
PD _I	YJ ₆₋₁₀	25.4	O ₁₅ 厚层灰岩,色深灰,坚硬,结构致密,声铿锵,基岩面完整,仅在YJ ₇ 见一层面和四条裂隙(三条为闭合裂隙);YJ ₉ 方解石脉发育;YJ ₁₀ 个别处发育缝合线。起伏差小于0.5~0.8cm。	主要沿混凝土与基岩胶结面剪断。在方解石脉较发育的部位,有少许基岩中的方解石脉被剪断。剪断面一般较平直,起伏差不大,仅在层面,裂隙和缝合线处及其两侧,剪断后才出现凹坑,凹槽或少许灰岩被带离基岩的现象。	1.23	0.81	1.02	0.24	0.77	0.42
PD _{II}	YJ ₆₋₁₀	25.4	O ₁₅ 厚层灰岩,除YJ ₉ 基岩面中部发育缝合线外,均同上所述。	主要沿混凝土与基岩胶结面剪断。其余均同上所述。	1.55	0.87	1.27	0	0.82	0.35
混凝土与O ₁₅ 灰岩抗剪综合指标					1.34	0.84	1.07	0.19	0.80	0.39

表 4 灰岩本身抗剪强度试验成果

试验位置	试验编号	基岩性状	剪断面破坏型式	抗剪断强度		抗剪强度		单点摩擦强度	
				f'	c'	f	c	f	c
				(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
PD _I	YJ ₁₋₅	O ₁₅ 中厚层灰岩,色深灰,锤击声铿锵,各试件均见有一条3~15mm缝合线横贯试件面中部~中下部,内夹有炭质页岩;裂隙,闭合裂隙0~10条,个别试件非常发育。	剪断面多沿层面、裂隙面和缝合线发生,或剪断面的发展受它们的制约。剪断面起伏较大,且多有剪切破碎带生成。	2.09	2.45	1.36	0.40	1.06	0.57
PD _{II}	YJ ₁₋₅	O ₁₅ 缝合线发育厚层灰岩,色深灰。锤击声坚实~铿锵。缝合线条带很发育,色深黑,含炭质。裂隙、闭合裂隙0~数条。	剪断破坏面除具上述特征外,当岩体中分布有较集中的鲕状结构物或似云母状亮晶片物质时,剪断面也易产生于其中。	1.12	3.87	0.92	2.10	0.84	1.52
O ₁₅ 灰岩本身抗剪综合指标				1.59	3.19	—	—	0.99	1.00

表3成果可见:

1. 两组试件在剪切破坏形态上是一致的,沿混凝土与灰岩的胶结面剪断,剪断面较平直。
2. 两组试件强度指标的总水平基本相同,抗剪断的强度均高于抗剪和单点摩擦的强度。
3. 混凝土上试件采用彭水425[#]硅酸盐

水泥,经混凝土配比试验,标号达不到要求,因而使两组试件的 c' 值都偏低。

4.4 灰岩本身的抗剪特性

灰岩本身的抗剪强度试验成果见表4。

表4成果可见:

1. 试件剪切破坏多沿岩体中的弱面——层面、裂隙面和缝合线发生,且剪断面的发展也受它们的制约。

2. 两组试件抗剪断强度指标的总水平基本一致,并且高于混凝土与灰岩的抗剪断强度指标约一倍左右,也高于各自的抗剪及单点摩擦强度。两组试件中, PD_1 YJ₁₋₅为中厚层灰岩, PD_4 YJ₁₋₅为厚层灰岩。但由于后者岩体内缝合线条带发育,且多有鲕状结构物和似云母状亮晶片物质分布,使其抗剪断强度明显下降。

5 结 论

1. 岩性的差异、各种结构面及其数量、产状以及它们与施力方向的组合关系,是影响基岩变形特性的主要原因。变形模量和弹性模量,总体上依厚层灰岩、薄层灰岩和 f_{306} 断层破碎带的顺序递减,并且施力方向为垂直方向、或为拱轴水平方向,对模量值的影响不很显著。水对 f_{306} 断层破碎带强度的影响明显。基岩变形特性建议指标列于表5。

2. 地质条件证实,坝基段岩体缓倾角裂隙不发育,不构成深层控制滑移面。抗剪试验

成果指出,灰岩本身的抗剪强度明显高于混凝土与灰岩的胶结强度。因此,混凝土与灰岩的胶结面是主要的抗滑稳定控制面。抗剪特性建议指标列于表6。

表 5 基岩变形特性建议指标

类 别		受力方向	变形模量 E_0 (GPa)	弹性模量 E (GPa)
厚 层 灰 岩		⊥	22.0	35.0
		//	25.0	40.0
薄层灰岩	单层厚20~30cm左右	⊥	5.0	9.0
		//	6.0	12.0
	薄层密集,单层厚5cm左右	⊥	1.8	3.5
		//	1.6	2.3
断层破碎带	有 溶 蚀	⊥	0.06	0.30
	无 溶 蚀	⊥	0.15	0.60

表 6 抗剪特性建议指标

类 别	抗 剪 断		抗 剪	
	f'	C' (MPa)	f	c (MPa)
混凝土与灰岩	1.0	0.8~1.0	0.70	0
灰岩本身	1.2	1.2	0.75	0

(收稿日期:19941231)

Experimental Research on Characteristics of Rock Mechanics at Dam Site of Dahekou Hydropower Station

Yang Jian

(Sichuan Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

Abstract To analyze deformation characteristics of bed rock and stability against sliding of dam foundation at proposed dam site in Dahekou Hydropower Station, deformation test for rock mass and shearing test for concrete and bed rock and bed rock itself were conducted in site. Deformation features of bed are mainly affected by various discontinuities in rock. Deformation (elastic) module becomes less and less in turn of thick limestone, thin limestone and zone of fault fracture. The shearing strength of limestone is higher. Shearing strength of concrete and limestone and limestone is mostly controlled by cementation strength for concrete and limestone. Therefore, if there is no control sliding plane deep in the dam foundation rock, interface between concrete and limestone will be the main control plane against sliding. The proposed parameters are presented.

Key Words dam foundation limestone deformation test discontinuities in rock shearing strength cementation strength