

文章编号:1001-4179(2012)05-0068-04

镶嵌-碎裂结构建基接触面抗剪强度试验研究

李 刚^{1,3}, 魏 伟¹, 张 勇², 赵其华¹

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065; 3. 成都理工大学 科技咨询部, 四川 成都 610059)

摘要:金沙江某水电站第 23、24 坝段, 在开挖至建基面时, 仍存在一定深度、一定范围质量较差的 III-IV 类镶嵌-碎裂结构岩体, 由于此类岩体影响着大坝的抗滑稳定性, 因此, 在现场通过原位大剪试验, 对原位镶嵌-碎裂结构岩体与混凝土接触面抗剪(断)强度进行了试验, 并运用优定斜率法确定了接触面的抗剪(断)强度的标准值。试验表明:镶嵌-碎裂结构岩体在原位状态下仍具有一定的力学性能;原位镶嵌-碎裂结构岩体与混凝土接触面具有较高的凝聚力 C 和摩擦阻力 f , 且都达到了 III 类岩体的标准;接触面的抗剪断强度仍然是大坝抗滑稳定的控制边界。

关键词:镶嵌-碎裂结构岩体; 原位直剪试验; 抗剪(断)强度; 接触面; 优定斜率法

中图分类号: TU459.2 **文献标志码:** A

大坝建基面岩体的抗剪强度作为大坝设计的重要参数, 它直接影响着坝基处理的工程量与工期, 甚至影响着坝体结构、建基面形状等^[1-2]。对于大坝建基岩体来说, 或多或少总会存在着各种各样的工程地质缺陷, 如断层破碎带、挤压带、节理密集带、浅埋的软弱夹层等等, 这些工程地质缺陷对于坝基岩体质量的影响是巨大的, 它甚至可以影响到大坝的抗滑稳定性。然而, 对于这些工程地质缺陷, 工程实践中常常是以混凝土置换、锚固、灌浆等方法加以处理^[3-8], 对这类工程地质缺陷的直接利用则相对较少, 只有为数不多的学者对此展开过专门的研究。如: 范围颂对百色水利枢纽坝基碎裂-镶嵌结构的辉绿岩脉进行的研究表明, 微风化辉绿岩的变形模量为 5.80 GPa, 弹性模量为 11.00 GPa^[9]; 蔡耀军等认为, 对于破碎岩体抗剪强度应采用现场试验的方法来获取其抗剪强度参数, 并指出, 随着岩体破碎程度的提高, 接触面抗剪强度与岩体抗剪强度之间的差别逐渐减小甚至超过岩体自身的抗剪强度^[2]; 崔银祥提出了“原位镶嵌-碎裂结构岩体”的概念, 并对裂面绿泥石化碎裂玄武岩体作为高混

土重力坝坝基的可能性进行了研究^[10]; 张勇针对金沙江某水电站“原位镶嵌-碎裂结构岩体”的玄武岩和正长斑岩, 提出了现场大剪试验的新方法^[11]。

为此, 本文结合金沙江某水电站第 23、24 坝段“原位镶嵌-碎裂结构岩体”, 对此二坝段建基镶嵌-碎裂结构岩体与混凝土接触面的抗剪(断)强度展开了试验研究, 并运用优定斜率法对试验参数进行选取, 为工程科学合理地利用质量较差岩体和建基面的选择提供科学、可靠的试验资料。

1 工程概况

金沙江某水电站是金沙江干流近期开发的大型水电工程之一, 设计为最大坝高约 119 m 的混凝土重力坝, 总库容约 5.44 亿 m^3 , 电站装机容量达 1 800 MW。该电站坝基岩体主要为二叠系致密块状玄武岩, 局部地段为透镜状或脉状产出的侵入型正长斑岩。根据该水电站坝基岩体分级标准(表 1), 基岩岩体质量普遍可划分为 III1-II 类, 局部地段因受不同工程地质缺陷影响, 岩级有所降低, 特别是在右岸第 23、24 坝段内,

收稿日期: 2011-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372127)

作者简介: 李 刚, 男, 博士研究生, 研究方向为岩土体稳定分析与地质工程。E-mail: 32336847@qq.com

岩体受到断层 f_{72} 、 f_{77} 、 f_{80} 以及较多层内错动带的强烈影响,结构面较发育,岩体完整性较差,岩体质量为 III-IV 类。

在上述两个坝段内,质量较差的岩体主要有碎裂结构的正长斑岩和碎裂结构的玄武岩,其中正长斑岩主要沿着 3 条断层侵入,而靠近正长斑岩的玄武岩体由于受到断层和侵入正长斑岩的影响,一般都呈碎裂结构,且有轻度变质。

表 1 金沙江某水电站坝基岩体分级

岩级	定性指标	量化指标		
		岩体结构类型	纵波速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	岩体完整性系数
II	次块-块状结构微新及部分弱下风化玄武岩体,岩体较完整-完整,结构面不发育,完整性系数高,抗变形能力强,微透水,可直接利用的岩体	次块-块状	>5200	>0.68
III1	微新-弱下风化岩体,岩体完整性差-较完整,抗变形能力强,微-弱透水部分弱上风化玄武岩体,一定工程处理后可充分利用	次块状-紧密镶嵌结构	4200-5200	0.4-0.68
III2	弱上风化岩体,岩体完整性差-较破碎,结构面发育,抗变形能力不强,弱透水,经过工程加固后可部分利用	镶嵌结构	3800-4200	0.25-0.40
IV	弱上-强风化岩体,部分嵌和紧密的层内错动带,结构面发育且岩体松弛,抗变形能力弱	镶嵌-碎裂结构	2500-3800	0.15-0.25
V	层内错动带、凝灰岩夹层及挤压破碎带	碎裂结构	<2500	<0.15

2 试验内容

2.1 试点选择

为了研究大坝受破碎带严重影响的安全性、岩体与混凝土的抗剪强度参数,选择大坝高度相对较高、岩体块度较小的部位,对建基面镶嵌-碎裂结构岩体与混凝土接触面进行大剪试验,该区域受到几条大的断层及较多的层内错动带的强烈影响,结构面又比较发育,岩体的完整性也较差。大剪试验点分别布置于 23、24 坝段正长斑岩和玄武岩中(图 1)。

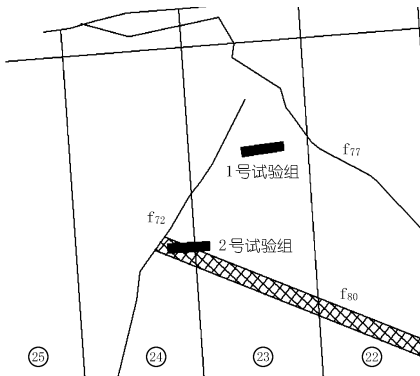


图 1 大剪试验组分布示意

如图 1 所示,1 号试验组岩体为玄武岩,此试验点两侧分别受到两条(f_{72} 和 f_{77}) 较大断层影响,结构面发

育,根据现场岩体中结构面的发育程度将其结构类型确定为镶嵌-碎裂结构,声波测试平均波速为 4 206 m/s,波速值达到了 III 1 级岩体的标准;2 号试验组岩体为正长斑岩,该试验点布置于沿断层 f_{80} 侵入的正长斑岩岩脉上,由于该试验点为两条断层(f_{72} 和 f_{80}) 的交汇处,因此,结构面十分发育,现场将其岩体结构定为镶嵌-碎裂结构,岩体平均波速为 3 848 m/s,波速值达到了 III 2 级岩体的标准。

2.2 试样制备

由于所选试验场地岩体结构面发育,岩体呈镶嵌-碎裂结构,试验场地凹凸不平,起伏较大,依据相关规范^[12],首先,采用人工手凿的方法平整两块试验场地,并清除掉表部轻动的岩体,要求平整后试验场地内少有松动岩体,且使整个试验组的起伏差控制在 3 cm 以内。其次,待各试验组场地平整后,分别在两个试验组场地上布置了 7 个大剪试验点,剪切面为 50 cm × 50 cm 的正方形,相邻试点间距 50 cm,并对试验区各试验点岩体进行第二次凿平,要求各试验点周围 10 cm 范围内的岩体表面平整,起伏差小于 1 cm。最后,清洗干净各试验点岩体表面,再按照工程设计采用的混凝土配合比浇筑试体。

2.3 试验方案

试验场地、试验条件等与工程的实际情况越一致,则试验成果就越具有可信度,也就越具有可利用的价值。因此,两个大剪试验组都直接布置在建基面岩体上,并将大剪试验的剪力方向设计为顺河流向下游方向。

正应力的计算如下式:

$$\sigma = \lambda h \tag{1}$$

式中, λ 为混凝土比重, h 为坝高。

经计算,坝基岩体所受的最大正应力约为 3 MPa,拟定试验最大正应力为 3 MPa,分为 6 级,试验时以 0.5 MPa 为第一级,每级递增 0.5 MPa。

在试验时,首先施加正应力,同时记录试块在垂向上的变形,待稳定后施加剪应力,获得试块在不同剪力下对应的剪位移,直至试样剪断,然后再卸除剪应力与正应力,将试块复位,重新施加相同的正应力,稳定后施加剪应力,开展接触面的抗剪强度试验(图 2)。

3 试验成果整理

抗剪断强度试验后,1 号玄武岩试验组和 2 号正长斑岩试验组各试验点的剪切面显示,各试验点都是沿镶嵌-碎裂结构岩体与混凝土的接触面剪断的,且各剪切面上部的混凝土试块与下部的镶嵌-碎裂结构岩体都没有发生破坏,表明镶嵌-碎裂结构的玄武岩

体、正长斑岩岩体与混凝土接触面的抗剪断强度仍然是大坝抗滑稳定的控制边界。

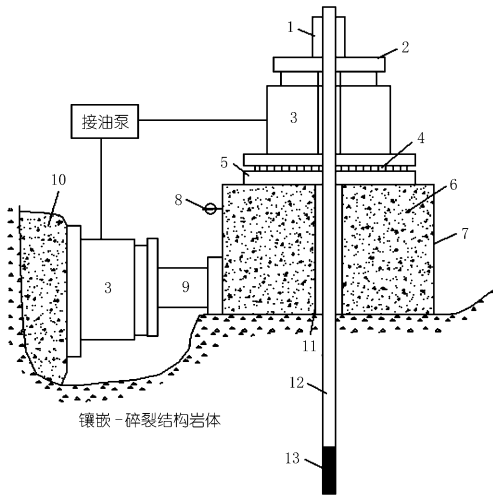


图2 自载式现场大剪试验示意

1. 夹具或螺帽;2. 钢垫板;3. 千斤顶;4. 滚轴排;5. 垫板;6. 混凝土试体;7. 试体保护罩;8. 百分表;9. 传力柱及钢垫板;10. 混凝土后座;11. PVC 套管;12. 拉杆;13. 锚头

根据每组试验结果分别绘制 1、2 号试验组剪应力 - 剪位移关系曲线图,典型曲线见图 3。

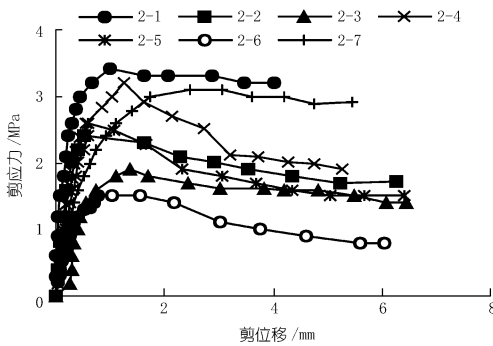


图3 2号试验组抗剪断试验剪位移 - 剪应力关系曲线

依据相关规范规定^[1],岩体抗剪断强度试验成果采用峰值强度进行整理,抗剪强度采用二次剪值强度。分别绘制抗剪断峰值剪应力 - 正应力关系曲线图和抗剪剪应力 - 正应力关系曲线图,典型曲线如图 4、5 所示。经回归分析,1、2 号试验组镶嵌 - 碎裂结构岩体与混凝土接触面的抗剪(断)强度回归公式见表 2,抗剪(断)强度参数见表 3。

从上述图表中可以看出:1 号试验组和 2 号试验组镶嵌 - 破裂结构岩体与混凝土接触面的抗剪(断)强度具有较好的线性相关性,其相关系数都大于 0.9;1 号玄武岩试验组接触面抗剪断强度参数略大于 2 号正长斑岩试验组,而抗剪强度参数则略小于 2 号正长斑岩试验组,且都达到了 III 类岩体的标准^[1]。

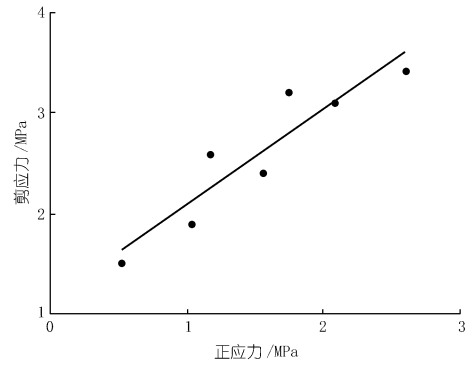


图4 2号试验组抗剪断试验正应力 - 剪应力关系曲线

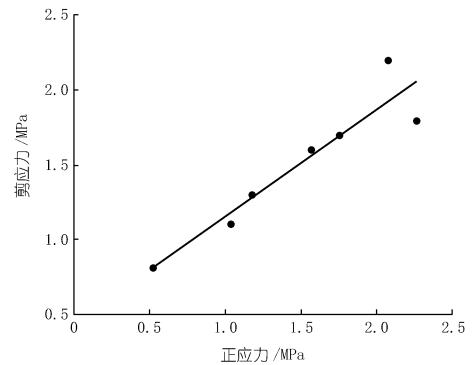


图5 2号试验组抗剪试验正应力 - 剪应力关系曲线

表2 抗剪(断)强度回归拟合公式

试验项目	回归拟合公式	相关系数 R
1 号试验组抗剪断强度	$\tau = 1.234 + 1.2045\sigma$	0.9284
2 号试验组抗剪断强度	$\tau = 1.1461 + 0.9396\sigma$	0.9114
1 号试验组抗剪强度	$\tau = 0.2526 + 0.8777\sigma$	0.9174
2 号试验组抗剪强度	$\tau = 0.4392 + 0.714\sigma$	0.9394
1 号试验组优定斜率法	$\tau = 0.841 + 1.2045\sigma$	
2 号试验组优定斜率法	$\tau = 0.816 + 0.9396\sigma$	

表3 抗剪(断)强度试验成果

试样编号	抗剪断强度		抗剪强度	
	f'	C'/MPa	f'	C'/MPa
1 号试验组	1.20	1.23	0.55	0.25
2 号试验组	0.94	1.15	0.71	0.44

据相关规范知^[13]:优定斜率法确定的下限值可作为岩体抗剪断强度的标准值。因此,经比较论证后,优定出 1 号试验组和 2 号试验组接触面抗剪断强度的斜率 f' ,然后根据点群范围,在剪应力 - 正应力关系曲线图上找出其上、下限值确定内聚力值范围,取下限值为标准值(图 4、表 4)。根据优定斜率法确定的 1 号试验组和 2 号试验组接触面抗剪断强度参数都达到了 III 类岩体的标准^[1]。

因此,原位镶嵌 - 破裂结构岩体,及其与混凝土接触面都具有较高的抗剪(断)强度,且都达到了 III 类岩体的标准,基本上都能够满足建基岩体的要求,这为工

程的设计、施工及运行提供了可靠的依据。

表4 优定斜率法确定的抗剪断强度试验标准值

试样编号	f'/MPa	C'/MPa
1号试验组	1.20	0.84
2号试验组	0.94	0.92

4 结论

(1) 原位镶嵌-碎裂结构岩体具有较好的波动性,其中,1号试验组和2号试验组平均纵波波速分别为4 206 m/s和3 848 m/s,岩体完整系数大于0.25,且都达到了Ⅲ类岩体标准。

(2) 原位直剪试验方案的设计,较真实地反映了大坝在运行时的环境状态,提高了试验参数的可信性、可靠性。

(3) 镶嵌-碎裂结构岩体在原位状态下仍具有一定的力学性能,其与混凝土接触面的抗剪断强度仍然是大坝抗滑稳定的控制边界。

(4) 原位镶嵌-碎裂结构的玄武岩、正长斑岩与混凝土接触面的抗剪(断)强度均达到了Ⅲ类岩体标准。

(5) 优定斜率法确定的标准值,较客观地反映了原位镶嵌-碎裂结构岩体与混凝土接触面抗剪断强度性质的总体趋势。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准编写组. SL319-2005 混凝土重力坝设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 蔡耀军,徐福兴. 大坝建基岩体抗剪强度取值[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(7):1040-1044.
- [3] 李开伟,萧峰,廖声林,等. 小湾水电站坝肩不良地质体及工程处理[J]. 云南地理环境研究,2008,20(5):44-58.
- [4] 刘墅辉,何泽山. 左岸抗力体不良地质带置换平洞开挖支护施工[J]. 人民长江,2009,40(18):42-44.
- [5] 沈兴华,尚全信,姜维,等. 香肠构造岩体上熊渡拱坝基础处理设计[J]. 人民长江,2010,41(11):27-29.
- [6] 赵武生,郑会春,潘晓红. 混凝土碉塞置换在后河水库基础处理中的运用[J]. 人民黄河,2004,26(2):40-41.
- [7] 李锡均. 碎裂岩体中高压灌浆能否形成有效防渗帷幕的研究[J]. 西部探矿工程,2004,16(3):17-18.
- [8] 吴德海,曾祥勇,邓安福,等. 单锚锚杆加固碎裂结构岩体模型试验研究[J]. 地下空间,2003,23(2):158-161.
- [9] 范国颂. 百色水利枢纽大坝基础岩体变形试验研究[J]. 广西水利水电,2004,(1):36-39.
- [10] 崔银祥. 碎裂岩体用作高混凝土重力坝坝基的可能性评价——以金沙江金安桥水电站为例[D]. 成都:成都理工大学,2005.
- [11] 张勇. 高混凝土重力坝建基岩体超前信息分析及优化研究[D]. 成都:成都理工大学,2010.
- [12] 中华人民共和国行业标准编写组. SL264-2001 水利水电工程岩石试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [13] 中华人民共和国国家标准编写组. GB50287-2006 水利发电工程地质勘察规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

(编辑:赵凤超)

Experimental study on shear strength of foundation interface with inlaying - fragmentation structure

LI Gang^{1,3}, WEI Wei¹, ZHANG Yong², ZHAO Qihua¹

(1. National Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. School of Water Resources and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 3. Technology Consulting Department, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: At the foundation surface of No. 23 and No. 24 dam sections of a hydropower station on Jinsha River, there is class III-IV rock mass characterized by inlaying fragmentation structure with a certain depth and poor quality. Because the rock mass influences the stability against sliding of the dam, the shear strength of the contact interface between rock mass with inlaying fragmentation structure and the concrete are tested through in-situ shear test. The standard values of the interface shear strength are identified by predominant slope method. The tests indicate that the rock mass with inlaying fragmentation structure still has certain mechanical properties under in-situ conditions; the rock mass of inlaying fragmentation structure and the concrete contact surface have large cohesion and frictional resistance, meeting the standard of class III rock; the shear strength of contact surface is still the control boundary of stability against sliding of dam.

Key words: rock mass with inlaying fragmentation structure; in-situ direct shear test; shear strength; interface; predominant slope method