

岩体高倾角结构面抗剪试验方法探讨

冯国栋

(国家电力公司成都勘测设计研究院, 成都, 610072)

摘要 岩体高倾角结构面抗剪试验较平缓倾角结构面抗剪试验而言, 无论在试体加工或试验技术方面, 其难度和复杂程度都将增加不少。笔者就福堂水电站、狮子坪水电站为满足地质要求所开展的、近 90° 高倾角岩体结构面的抗剪试验方法进行技术总结。试验表明: 其成果与平缓倾角结构面抗剪试验值类比无显著差异。反映了高倾角岩体结构面在一定的地质条件下特有的强度特性。

关键词 福堂水电站 狮子坪水电站 岩体 高倾角结构面 抗剪试验

1 前言

水工建筑物的坝基、坝肩、地下建筑物的围岩及岩质边坡的稳定与破坏, 控制因素不是岩体本身, 而是沿岩体软弱结构面发生的剪切破坏。随着岩体测试技术的发展, 人们认识的提高, 这个观点已被广泛接受并达成共识。因此, 了解和研究岩体软弱结构面的抗剪强度和破坏特性, 就显得非常重要。

岩体结构面抗剪试验一般多在平缓、中陡倾角岩体上进行布置。因高倾角岩体结构面抗剪试验无论在试体制备或试验技术上, 较之平缓倾角岩体情况, 无疑将增加不少的难度。由于工程和地质需要, 在 1997 年和 1998 年两年中, 我们分别在福堂水电站、狮子坪水电站开展了结构面倾角近 90° 的岩体抗剪试验。现就两电站所进行的岩体高倾角结构面抗剪试验做一初探和技术方法总结。试验表明: 其成果与平缓倾角结构面抗剪试验值类比无显著差异, 与高倾角结构面性质、地质条件相符。

2 两个电站的工程概况

2.1 福堂水电站

福堂水电站位于四川省阿坝藏族、羌族自治州汶川县境内。电站为引水式, 最大闸高 24.5 m。引水隧洞长 20 km, 装机容量 360 MW。工程区位于川西北龙门山构造体系九顶山系中段, 地处岷江上游干流高山峡谷中, 临江谷坡高 200 m 以上。工程区岩体为晋宁-澄江期第三期的闪长岩及第四期花岗岩, 岩体内有不同时期侵入的岩株、岩脉。

2.2 狮子坪水电站

狮子坪水电站位于四川省阿坝藏族、羌族自治州理县沙坝乡, 坝址距理县县城 45 km。该电站为混合式开发电站。电站首部拟建碎石土心墙堆石坝, 坝高 137 m。正常蓄水位 2 540 m, 设计总装机容量 95 MW。电站在区域上处于川西北高原山地向四川盆

地过渡的斜坡地带。境内山势陡峻, 海拔高程一般为 3 500~ 4 500 m, 相对高差 1 000~ 2 000 m。坝区基岩由上三迭统侏罗组 (T_{3zh}) 和新都桥组 (T_{3x}) 的浅变质岩组成, 坝区内无大断层通过。

3 试验方法及试体制备注意事项

3.1 试验方法

试验采用平推法。试验面积为 50 cm × 50 cm, 剪力距控制在 2 cm 以下。试验按部颁《水利水电工程岩石试验规程》(DLJ-204-81) 进行。标准试验结束后, 改变垂直载荷, 作重复剪切(单点法)试验, 目的是为获取更多的数据资料。试验在天然条件下进行。

3.2 试体制备注意事项

(1) 对抗剪试验需要扩帮的地段, 扩帮时应在距试体部位岩体适当的距离, 宜先切割开槽, 起防震、保护试体作用, 尽量减少人为对试体扰动的因素。岩体扩帮开挖应采用小药量、多循环的爆破方法。

(2) 制备试体时, 应先切割试体上方及两侧面, 而预留试体下方岩体。切割下方试体时, 则预留试体下方的两端岩体, 待试体下方中部岩体切割完毕, 经垫支处理后, 再加工两端的预留岩体。试体预留部分岩柱的这种切割加工程序, 可防止试体脱离母岩或引发坍塌等情况发生。

(3) 试体有倾倒现象时, 可预先施加一定的力或支撑。

制备近 90° 高倾角结构面的试体, 易引发试体滑移或倾倒, 有一定的技术难度。但是, 只要注意试体加工程序, 按技术要求及措施细致施工, 切割和岩体扩帮是可行的, 经福堂、狮子坪两电站的工程实践, 证明了高倾角岩体结构面抗剪试验开展的可能性。

4 抗剪强度公式与试验成果分析

4.1 抗剪强度公式

在极限平衡状态下, 强度判据仍采用库仑公式表达:

$$\tau = \sigma f + c$$

式中 τ ——作用于剪切面上的剪应力;
 σ ——作用于剪切面上的法向应力;
 f ——剪切面上的摩擦系数;
 c ——剪切面上的粘结力。

4.2 试验成果及分析

(1) 福堂水电站岩体结构面抗剪试验, 结构面倾角近 90° ; 布置在厂区平硐花岗岩和断层带上, 共两组。

花岗岩结构面抗剪试验

结构面呈紧密闭合状态。面较新鲜, 无填充物, 属刚性结构面。抗剪破坏沿结构面进行, 剪切面具有一定的糙度, 试验代表岩性为粗粒花岗岩, 试验成果如下并参见表 1。

$$\tau_{ck} = 1.30\sigma + 0.9 (\text{MPa})$$

$$\tau = 1.07\sigma + 0.3 (\text{MPa})$$

该试验成果低于岩体本身的抗剪试验值, 高于光面试验值, 是符合岩石试验规律的。见表 1、表 2。

表 1 高倾角结构面岩体抗剪试验值表

工程名称	代表岩性	抗剪参数				备注
		f	c/MPa	f	c/MPa	
福堂水电站	花岗岩	1.54	3.2	1.42	2.4	岩体本身直剪倾角近 90° ; 结构面闭合紧密, 剪切面粗糙 倾角近 90° ; 岩块、岩屑及泥组成
	花岗岩(粗粒)	1.30	0.9	1.07	0.3	
	断层带	0.70	0.24	0.52	0.05	
狮子坪水电站	板岩			0.73	0.10	倾角近 90° ; 结构面风化锈染, 局部有钙膜填充

表 2 平缓倾角结构面岩体抗剪试验值表

名称	代表岩性	抗剪参数				备注
		f	c/MPa	f	c/MPa	
岩石力学参数手册	花岗岩			0.70	0.023	金钢砂磨面、光面
	花岗岩			0.72	0.58	缓节理、饱水
	板岩			0.83	0.16	
	断层带			0.55	0.02	岩块、岩屑及泥组成
杨村水电站	砂质板岩			0.73	0.16	中型剪
西藏直孔水电站	板岩	0.80	0.21	0.68	0	板岩与砂岩界面
	断层	0.53	0.23	0.47	0.03	

但与其它工程花岗岩结构面抗剪试验值类比相对较高, 见表 2。这与岩性和结构面类型、性质有关。具体到该组试验而言, 颗粒啮合, 嵌入和突起效应是实际存在的影响因素。抗剪破坏只有在克服剪切面上的嵌入效应和突起被剪断后, 试体才有可能产生位移,

从而发生滑动渐变破坏。这种剪切面上粗糙不平所导致的啮合、嵌入和突起效应, 有效地增加了结构面的摩擦系数和粘结力, 上述分析表明: 试验成果与结构面性状相符。

断层带抗剪试验

试验布置在断层带上, 断层面倾角近 90° 。填充物由不规则岩块、岩屑及泥组成, 易剥落和坍塌, 呈松散状。破坏沿预定剪切面进行。试验结果如下见表 1。

$$\tau_{ck} = 0.70\sigma + 0.24 (\text{MPa})$$

$$\tau = 0.52\sigma + 0.05 (\text{MPa})$$

该试验体应列属于散体结构, 破坏受填充物的性质及其强度所控制。福堂水电站断层带抗剪试验值与表 2 列出的其它工程性质类似的断层带试验值相比较, 摩擦试验值与对比值较为接近, 通过类比可以认为, 其试验成果反映了断层带的地质特征和强度特性。

(2) 狮子坪水电站抗剪试验布置在坝址右岸 PD1 号平硐共 1 组。结构面岩性为板岩, 倾角近 90° ; 加工切割试体时, 若试体下方掏空, 试体将自行脱落。该组剪切面呈弧形曲面状, 因此剪切荷载难以按同一方向布置。故 τ_{1-1} 、 τ_{1-2} 、 τ_{1-3} 试体的剪切方向, 按垂直硐轴线布置, τ_{1-4} 、 τ_{1-5} 试体的剪切方向, 按平行硐轴线布置。剪切方向的不同, 造成试体数量不足, 采用单点法补充解决。试体沿结构面发生破坏, 剪切面平整, 擦痕明显。剪切面上可观察到沿裂隙风化的锈染面和局部有钙膜填充等情况。考虑该组结构面性状和使用了单点法, 因此, 只提出抗剪强度参数。试验成果如下, 见表 1。

$$\tau = 0.73\sigma + 0.10 (\text{MPa})$$

该组试验尽管剪力方向不同, 但试验资料整理后其抗剪参数基本接近。参照表 2 所列的同类岩体抗剪试验值进行类比, 抗剪参数无显著差异。表明该试验成果反映了在一定地质环境下特有的强度特征。

5 小结

(1) 采用合理的加工程序和预留岩柱的方法, 防止试体滑移或倾倒, 是保证高倾角结构面抗剪强度试验成功的一种有效手段。

(2) 采用预留岩柱取得的高倾角岩体结构面抗剪试验值, 与其它工程同类岩体平缓倾角的抗剪试验值进行类比无显著差异。表明岩体高倾角结构面抗剪试验成果是一定地质条件下特有的强度特性。

作者简介

冯国栋 男 国家电力公司成都勘测设计研究院科学研究所 工程师

(收稿日期: 1998-12-28)