

大岗山水电站拱坝建基岩体波速曲线类型及地质背景

赵勇¹, 许模¹, 赵红梅¹, 徐敬武², 邓忠文², 朱可俊²

(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. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要:在介绍大岗山水电站建基岩体的波速测试成果的基础上, 总结归纳出建基岩体变模检测孔波速测试曲线的3种类型, 即阶梯上升状曲线、波状曲线和近直线状曲线, 分析各波速曲线的形成机制及每种波速曲线所代表的地质背景。分析波速测试结果普遍较低的原因, 认为大岗山水电站拱坝建基岩体整体性状欠佳主要受诱因(建基面上部岩体以及岩体内部洞室的开挖卸荷作用)和内因(岩体结构特征)的综合作用, 二者相辅相成, 共同导致岩体松弛。

关键词:建基岩体; 波速测试; 岩体波速曲线; 岩体松弛; 地质背景; 大岗山水电站

中图分类号: TU452

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2012)05-0074-04

Curve styles of wave velocity and geologic setting in foundation rock mass of arch dam of Dagangshan Hydropower Station//ZHAO Yong¹, XU Mo¹, ZHAO Hongmei¹, XU Jingwu², DENG Zhongwen², ZHU Kejun² (1. State Key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Institute, Hydropower Consulting Group, Chengdu 610072, China)

Abstract: The test results of wave velocity of foundation rock in Dagangshan Hydropower Station are introduced. The curves of wave velocity of deformation modulus test holes in the foundation rock are classified into three categories: ladder-up shape curve, undulating curve and nearly straight-line curve. The forming mechanism of each wave velocity curve as well as the geologic setting represented by it is analyzed. The causes for commonly low results of wave velocity are investigated. It is concluded that the poor integrity of the foundation rock mass of arch dam of Dagangshan Hydropower Station is resulted from two factors, that is, the incentive-excavation unloading effect of upper rock mass and inner caverns, and the internal factors of structural properties of rock mass. They are correlated and cause the relaxation of rock mass together.

Key words: foundation rock; wave velocity test; velocity curve; rock mass relaxation; geologic setting; Dagangshan Hydropower Station

在水电工程建设中,波速测试已广泛应用于建基岩体的岩体质量检测中,如三峡工程^[1]、构皮滩电站^[2]、锦屏水电站^[3]等。张倬元等^[4]总结了有代表性的岩体质量分类系统,包括 Wickham 等^[5]提出的 RSR 系统、Bieniawski^[6]提出的 RMR 系统、Barton^[7]提出的 Q 系统,以及谷德振等^[8]提出的 Z 系统。从这些分类系统中可知,岩体质量主要受岩体赋存环境和自身地质条件的影响,如岩石强度特征、岩体结构特征、地下水状况等,这些因素是评价岩体质量的基础,需要通过详细的调查分析才能量化,工作量较大。而利用纵波波速值划分岩体质量类型比前述分类系统更简单方便,也更具针对性。更重要的是,由于岩体

内部结构特征无法被肉眼所见,利用岩体波速和钻孔岩芯是认识岩体特征的重要手段,波速曲线类型的多样性可以充分反映建基岩体地质背景条件的复杂性,是岩体结构特征综合作用的表现,故研究波速曲线类型对了解岩体内部的特征具有重要意义,对建基岩体的加固处理也具有一定的指导作用。

大岗山水电站是大渡河干流的大型水电工程之一,挡水工程为混凝土双曲拱坝,最大坝高为 210m。坝址区出露基岩主要为晋宁-澄江期的黑云二长花岗岩和穿插其中的浅成辉绿岩脉,坝区无区域断裂穿越,构造形式以沿脉岩发育的断层、挤压破碎带和节理裂隙为特征,岩脉内部裂隙发育整体较破碎。坝区

基金项目:地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金(SKLG2012K033)

作者简介:赵勇(1986—),男,四川遂宁人,博士研究生,主要从事地质工程研究。E-mail:zhaoyong888888@sina.com

通讯作者:许模(1963—),男,重庆涪陵人,教授,博士,主要从事工程地质和水文地质研究。E-mail:xm@cduet.edu.cn

主要发育4组裂隙,即 NNE-NE 组、NW 组、近 EW 组以及缓倾角裂隙密集带。本文在介绍大岗山水电站建基岩体变模检测孔的波速测试成果的基础上,归纳总结了波速曲线的3种主要类型以及各类型的特征,进而分析每种波速曲线所代表的地质背景,并对建基岩体波速测试结果普遍较低的现象进行解释。

1 岩体声波测试结果与波速曲线特征

大岗山水电站建基岩体的波速测试孔主要有3类,即爆破测试孔、变模检测孔、对穿测试孔,其中变模检测孔主要用于检测岩体质量和获取变形模量,本文重点分析变模检测孔的测试结果。同一高程每个梯段大致布置3个变模检测孔,分别分布于建基面各梯段的上、中、下游位置,部分变模检测孔布置如图1所示(变模检测孔编号中,L表示左岸,R表示右岸,数字表示高程)。

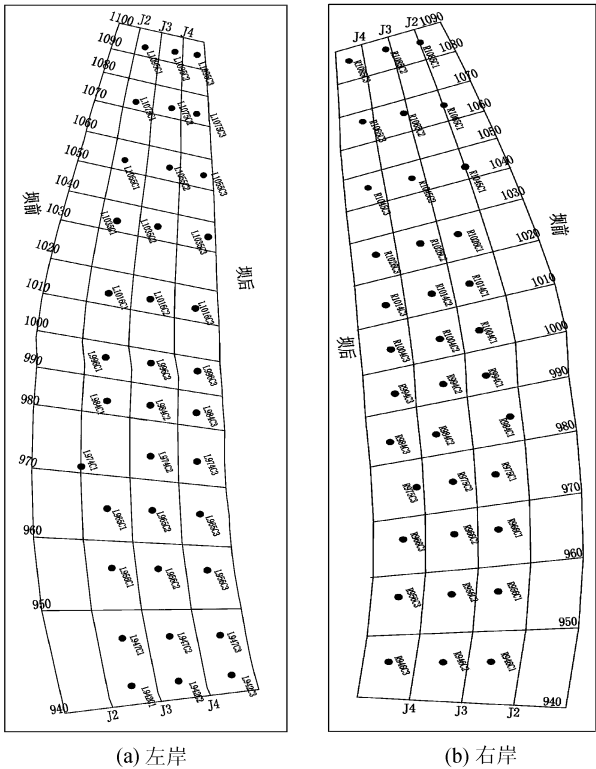


图1 变模检测孔布置

选取两岸建基面上同样位于微新岩体中的72个变模检测孔单孔声波测试结果进行分析,其中左岸36个,右岸36个。波速测试结果显示,左岸12个孔、右岸16个孔的全孔波速平均值大于或等于4500 m/s,达到Ⅱ类岩体的波速验收要求,各类岩体的波速划分方案见表1。左岸24个孔、右岸25个孔的全孔波速平均值大于或等于4000 m/s,达到Ⅲ₁类岩体的波速验收要求。以上测试成果表明,建基岩体的波速测试值普遍较低,反映出两岸建基岩体整体性状不是太好。

表1 波速值划分岩体质量类别方案

岩类	纵波波速 $v_p / (\text{km} \cdot \text{s}^{-1})$				
	Ⅱ类	Ⅲ ₁ 类	Ⅲ ₂ 类	Ⅳ类	Ⅴ类
花岗岩	≥ 4.5	[4.0, 4.5)	[3.5, 4.0)	[2.5, 3.5)	< 2.5
辉绿岩脉	≥ 5.0	[4.5, 5.0)	[4.0, 4.5)	[3.5, 4.0)	< 3.5

经过统计分析,建基岩体中的波速曲线可以分为3类:第Ⅰ类为阶梯上升状,典型曲线见图2,波速曲线孔口段有明显的低波速区间($v_p < 3000 \text{ m/s}$),随着钻孔深度 H 的增大,曲线在某一深度有较明显的跳跃,陡然上升后基本在某一波速值附近上下波动;第Ⅱ类为波状,典型曲线见图3,钻孔低波速值段较短,波速曲线在越过此段后呈不规则锯齿状起伏,忽高忽低,波速值一般变化较大;第Ⅲ类为近直线状,典型曲线见图4,孔口段低波速区间不明显,波速曲线整体近似为一条直线,波速值在某一数值附近波动,局部深度点有较小的起伏。

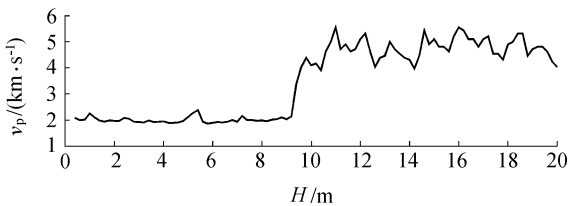


图2 第Ⅰ类阶梯上升状典型波速曲线(L956C1)

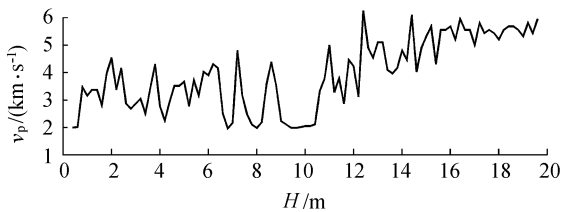


图3 第Ⅱ类波状典型波速曲线(R1004C3)

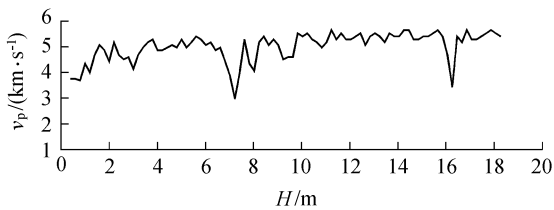


图4 第Ⅲ类近直线状典型波速曲线(R1075C1)

两岸波速平均值随高程的变化见图5。从图5可以看出,左岸各高程的波速期望值随高程的降低整体变化不大,多数大于4000 m/s,而右岸各高程的波速期望值随高程的降低整体呈减小的趋势。曲线类型与高程的变化规律不明显,无集中于某高程段分布的特征。

2 岩体声波特征的地质背景分析

大岗山水电站建基岩体的钻孔波速期望值普遍

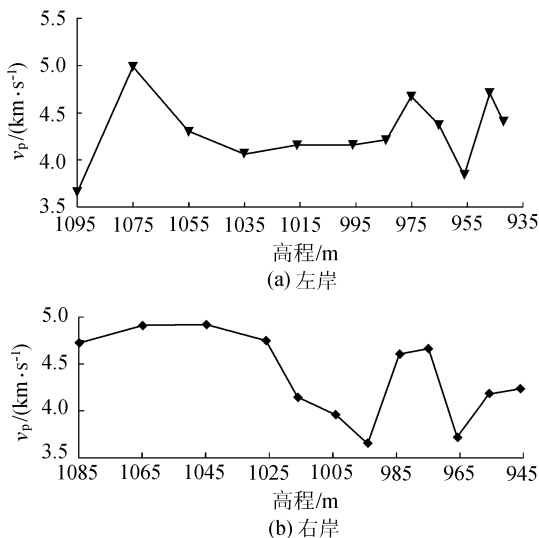


图5 两岸波速平均值随高程的变化

偏低,异于正常情况下的测试结果。测试结果反映了岩体内部所包含的丰富的地质信息,在排除测试过程中的人为因素外,岩体自身的特性决定了声波测试结果,故结合坝址区的地质环境条件,对建基岩体中3种典型波速曲线的形成机制及其所包含的地质信息进行探讨。

a. 阶梯上升状——浅表层松弛型。左岸13个孔的波速期望值为4336 m/s,右岸6个孔的波速期望值为4508 m/s,左岸低于右岸。此类曲线孔口段一般有1.0~4.0 m的低波速带,个别钻孔可达5.4~9.6 m,本区间波速期望值一般小于2500 m/s。通过分析,这种波速曲线为建基面上部岩体开挖卸荷与岩体结构特征二者共同作用造成。钻孔岩芯及孔内电视摄像表明,该类钻孔的孔口段中缓倾角裂隙较发育,多形成裂隙密集段;部分钻孔孔口段还穿越断层破碎带或者辉绿岩脉,岩体破碎。工程开挖相当于对岩体进行瞬时卸载,岩体发生弹塑性变形,岩体内部储存的应变能得到释放,岩体的这种能量释放总会沿最佳的释放途径进行,岩体中发育的缓倾角裂隙正好作为应力调整和应变能释放的窗口^[9-10],原有裂隙张开,岩体松弛,造成这些区段内的波速值较低。

b. 波状——岩体表层与内部共同松弛型。左岸21个孔的波速期望值为4214 m/s,右岸27个孔的波速期望值为4271 m/s,左右岸大体相当。一般孔口约有1.0~2.0 m的显著低波速带,与第I类曲线的形成过程类似,为建基面开挖后岩体应力二次调整造成原有裂隙张开所致。此类钻孔的波速期望值均不是很高,仅少数孔平均波速值能达到4500 m/s。结合钻孔岩芯和孔内电视摄像分析,部分钻孔穿越岩脉,由于岩脉内部破碎,在进行钻孔施

工时孔壁部分塌落形成空腔;部分钻孔揭露了辉绿岩脉置换洞中的回填混凝土,表明钻孔所在位置内部岩体受到了内部洞室开挖的影响,围岩应力二次分布造成岩体内部出现松弛。结合图3与R1004C3钻孔的电视摄像(图6),9.0~10.0 m段的岩体缓倾角裂隙发育,甚至可见空腔,波速测试结果中的低波速值点(段)与钻孔摄像中的裂隙分布是大体对应的。由以上分析可知,此类曲线的形成主要受建基岩体上部开挖和内部洞室开挖双重扰动的影响,是岩体结构特征和岩体表层卸荷与内部洞室开挖扰动共同作用导致。



图6 R1004C3钻孔9.0~10.0 m段孔壁岩体状况

c. 近直线状——无松弛型。左岸2个孔的波速期望值为4851 m/s,右岸2个孔的波速期望值为5263 m/s。孔口无显著松弛带,孔内波速曲线也无明显低波速区段,虽然电视摄像显示孔内仍然有裂隙发育,但是裂隙几乎无张开,闭合紧密,无松弛现象发生。以上分析表明,钻孔所在位置岩体整体性状较好。

综上所述,通过对建基面上72个钻孔的分析,可以得到钻孔波速曲线的主要类型为波状,占68%,其次为阶梯状,占26%,近直线状最少,仅占6%。建基岩体的整体性状欠佳,主要受到诱因(建基面上部岩体以及岩体内部洞室的开挖卸荷作用)与内因(岩体结构特征)的综合作用。波速曲线中的低波速值点(段)与钻孔中的裂隙位置总体是对应的,正是这样的对应关系,说明岩体的卸载引起了内部的应力调整,导致岩体内部原来闭合的裂隙张开或产生新裂隙,并最终引起岩体波速值降低。

通过对建基岩体各类波速曲线成因的分析,得出影响大岗山水电站建基岩体波速测试成果的主要

因素有:①建基岩体上部工程开挖造成的岩体卸荷;②坝基内部洞室(包括排水洞、灌浆洞以及岩脉置换洞)开挖造成岩体内部的二次应力调整;③构造作用造成岩石内部的损伤,以矿物中透入性裂隙为微观表现形式,以普遍发育的缓倾角裂隙为宏观表现形式;④断层和规模较大且破碎的辉绿岩脉相互切割构成的控制性岩体结构,岩脉与断层纵横交错,劣化了建基岩体质量;同时,在岩体开挖以后,岩脉与断层成为应力释放的主要通道,自身张开或者诱发周围花岗岩体内部裂隙张开。

总之,建基岩体结构特征控制着岩体的应力调整方式,作为岩体结构主体的缓倾角裂隙和较大规模岩脉断层附近主要分布第Ⅱ类和第Ⅰ类波速曲线,可以看出,结构面是应力释放的“窗口”。当某一部位岩体附近结构面发育时,该部位岩体松弛明显;无结构面时,岩体则需要寻找更远的应力释放途径,该部位岩体松弛不明显。大岗山水电站建基岩体为古老的花岗岩,经历了多期次的构造活动作用,岩体内结构面发育,卸荷回弹便于进行,这一内因与诱因相辅相成的关系最终通过波速测试成果体现出来。

3 结 论

- a. 大岗山水电站建基岩体的波速测试结果普遍较低,表明两岸建基岩体的整体性状欠佳。
- b. 大岗山水电站拱坝建基岩体的波速曲线可以归纳为3种类型:第Ⅰ类,阶梯上升状,对应浅表层松弛型;第Ⅱ类,波状,对应岩体表层与内部共同松弛型;第Ⅲ类,近直线状,对应无松弛型。
- c. 通过钻孔岩芯和孔内电视摄像的分析,建基岩体整体性状欠佳主要受诱因(建基面上部岩体以及岩体内部洞室的开挖卸荷作用)和内因(岩体结构特征)的综合作用,二者相辅相成,共同导致岩体松弛。

参考文献:

[1] 聂运钧,肖国强,王法刚. 声波法在三峡坝基岩石力学试验中的应用[J]. 岩土力学,2003,24(增刊1):175-177.

[2] 王法刚,尹健民,李维树. 某水电站坝基岩体变形模量与波速相关性研究[J]. 地下空间与工程学报,2006,2(6):903-906.

[3] 赵如雄. 锦屏一级水电站建基岩体质量评价[D]. 成都:成都理工大学,2010.

[4] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,2002:10-13.

[5] WICKHAM G E, TIEDEMANN H R, SKINNER E H. Support determination based on geologic predictions[C]//LANE K S, GARFIELD L A. Proc of North American

Rapid Excavtunneling Conf. New York; Soe Min Engrs, 1972:43-64.

[6] BIENIAWSKI Z T. Rock mass classification in rock engineering [C]//BIENIAWSKI Z T. Proc of the Exploration for Rock Engineering. Cape Town; Balkema, 1976: 97-106.

[7] BARTON N R. A review of the shear strength of filled discontinuities in rock[J]. Norwegian Geotech,1974(105):1-38.

[8] 谷德振,黄鼎成. 岩体结构的分类及其质量系数的确定[J]. 水文地质工程地质,1972(2):8-13.

[9] 黄润秋,王士天,张倬元,等. 中国西南地壳浅表层动力学过程与工程环境效应研究[M]. 成都:四川大学出版社,2002.

[10] 覃礼貌. 大岗山拱坝坝基(肩)控制性岩体结构的系统工程地质研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.

(收稿日期:2011-11-10 编辑:骆超)

(上接第73页)

①水泥宜采用质量合格的P. O42.5水泥;②元明粉采用Ⅰ类一等品,即无水硫酸钠的质量分数大于99.0%,白色细粒结晶或粉末,易溶于水,有吸湿性,无臭,无毒,应预防受潮;③土质成型含水率应为最佳含水率,避免土质含水率的不稳定引起水泥土强度的变化。

参考文献:

[1] 黄新,杨晓刚,胡同安. 低温对水泥加固土强度发展的影响[J]. 工业建筑,1994(9):11-15.

[2] 宁宝宽,陈四利,刘斌. 冻融循环对水泥土力学性质影响的研究[J]. 低温建筑技术,2004(5):8-13.

[3] 陈帮建,李瑞,陈美芳. 水泥土强度试验主要影响因素的探讨[J]. 岩矿测试,2005,24(2):25-30.

[4] 李志斌,叶观宝,徐超. 水泥土添加剂室内配比试验的模糊正交分析[J]. 水文地质工程地质,2005,32(4):6-10.

[5] 兰凯,黄汉盛,鄢泰宁. 掺入矿渣的水泥土强度模型试验研究及其配方优化[J]. 水文地质工程地质,2007,34(5):17-23.

[6] 周辉峰,王贵和,储江生. 夯实水泥土桩的加固机理与影响其加固强度的主要因素[J]. 探矿工程:岩土钻掘工程,2001(增刊1):25-30.

[7] TB10102—2004 铁路工程土工试验规程[S].

[8] JC/480—1992 建筑生石灰粉[S].

[9] GB175—1999 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥[S].

[10] JC/T478.2—1992 建筑石灰试验方法/化学分析方法[S].

[11] TB10751—2010 高速铁路路基工程施工质量验收标准[S].

(收稿日期:2011-12-21 编辑:熊水斌)