

土石坝混凝土面板脱空检测方法分析

彭雪松^{1,2} 姚国专^{1,2}

- (1. 遵义水利水电勘测设计研究院, 贵州 遵义 536000;
2. 遵义黔通达检测试验有限责任公司, 贵州 遵义 536000)

【摘要】 本文说明了面板堆石坝脱空的形态特点, 阐述了填料碾压、自重和水荷载作用、库水位变化和分期施工与材料分区欠合理等因素导致面板脱空的机理; 介绍了广泛使用的脱空检测方法, 即钻芯-电视成像测试法、地质雷达 (GRP) 和地震散射 C-Scan 法的原理及应用; 重点对比和分析了现有的面板脱空检测方法优缺点; 最后提出了 C-Scan 散射勘探技术改进方向和应用前景, 并指出利用综合物探方法检测识别面板脱空和应用动力学方法开辟路面板脱空检测新途径来解决面板脱空检测难题的必要性。

【关键词】 混凝土面板; 脱空检测; 方法分析

中图分类号: TV641.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)07-0063-05

Analysis on cavern detection of concrete facing of earth-rock dam

PENG Xuesong^{1,2}, YAO Guozhuan^{1,2}

- (1. Zunyi Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Zunyi 536000, China;
2. Zunyi Qiantongda Inspection and Test Co., Ltd., Zunyi 536000, China)

Abstract: In the paper, morphological characteristics of caverns in concrete faced rockfill dams are described. The mechanism of leading to face slab dislocation is described such as packing crushing, self-weight and water load function, reservoir water level change, installment construction, irrational material partition and other factors. Principles and applications of widely used cavern detection methods are introduced, including core-TV imaging test method, and geologic radar (GRP) and seismic scattering C-Scan method. Improvement direction and application prospects of C-Scan scattering exploration technology are proposed finally. The necessity of discovering new approaches for face slab dislocation detection and solving difficult face slab dislocation detection through utilizing comprehensive geophysical prospecting method to detect face slab dislocation and applying dynamics methods are proposed.

Key words: concrete panel; face slab dislocation; method analysis

土石坝是一种应用最广的坝型(见图1), 具有结构简单、较经济、施工简单方便、适应性强、抗震性能好、工作可靠、寿命长、管理简便等特点。

目前, 面板堆石坝的高度已发展到 200m 级甚至更高, 由于受分期施工等因素的影响, 使高面板堆石坝的坝体变形性状更加复杂, 出现了一些坝面难以发现的问题, 面板脱空就是其中之一。面板堆石坝是以支

撑在堆石体上的面板作为防渗体, 面板与垫层料之间出现脱空现象后, 面板失去紧贴的支撑而使面板工作状态恶化, 易产生裂缝, 当裂缝贯穿大量漏水时即会影响大坝安全。因此, 检测面板脱空区域及脱空值大小, 并及时有效治理面板脱空是面板坝急需解决的问题。



图1 土石坝

1 堆石坝混凝土面板脱空形成机理及原因

脱空的形态特点:面板堆石坝面板与垫层间发生“脱空”现象,愈靠近河床,脱空就愈严重,面板脱空最大脱空开口宽度可达10cm,长度可达数米,形成一条与面板平行的狭长脱空区(见图2)。

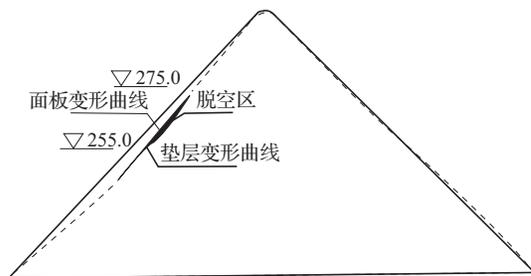


图2 土石坝脱空区形态特点

土石坝面板脱空形成的原因归纳起来有以下几方面。

填料碾压引起的脱空,由于混凝土面板堆石坝通过分层碾压的方法将填充材料逐步填筑大坝,因此,碾压过程的密实度和填料的颗粒级配都会影响到面板与坝体垫层过渡区的接触关系。坝体填充料在施工填筑过程中,碾压压实不充分,在填料自身固结作用下固结沉陷,发生局部脱空区;坝体填充料级配不良,坝体上部上、下游坡会产生向坝中的变形,体积收缩量较大,产生面板脱空问题。

堆石体变形过大使面板产生脱空,由于面板与堆石体的刚性差异较大,在自重和水荷载作用下,施工期及竣工期的大坝迎水面会产生下部外凸、上部凹陷的

变形,产生脱空。

库水位变化导致面板脱空,大坝蓄水后面板会受到水压力的作用,下部逐渐贴紧大坝坡面,上部出现翘起现象,并且逐渐脱离大坝坡面。在蓄水过程中,堆石体及垫层料的变形量逐渐增加,而面板量值较小。在退水过程中,面板变形会得到缓解,但坝体变形则很难恢复,就会形成面板脱空现象。

王瑞骏等人^[1]通过研究面板与坝体的分期施工高差对面板脱空变形的影响,得出分期施工与材料分区欠合理使面板产生脱空,在面板分期施工过程中,一期面板施工完成后,进行二期堆石坝体施工时,一期坝体堆石料受力将会发生变形,随着上部的二期坝体继续填筑,坝体变形也不断增大,垫层外表面将偏离原几何表面,一般表现为中下部位有“外凸”趋势,面板在中下部将受到堆石料外凸变形的推效应,致使一期面板上部离开垫层表面而产生脱空现象。

流变变形加大面板脱空,郑仲寿等人^[2]通过有限元计算分析得出,坝体流变变形会导致三期面板脱空现象,而且还会加大一期、二期面板的脱空。面板坝堆石体在高围压的作用下流变较大。

2 面板脱空检测方法及其分析

2.1 基于钻芯-电视成像测试法板底脱空检测

钻芯法是列入规范的一种微破损面板脱空检测方法,钻芯法在混凝土中用金刚石钻头采用回转钻进的方式钻取芯样,通过芯样上混凝土和过渡区接触区域的密实度和空隙大小来判断脱空的严重程度;钻芯法形成的钻孔可供钻孔电视成像仪探头进行摄像探测(见图3),先进的DSP图像采集与处理技术,系统高度集成,探头全景成像,剖面实时自动提取,图像清晰逼真,方位及深度自动准确校准,可对所有的观测孔全方位、全柱面观测成像,通过摄像的结果可清晰明了直观地判断出钻孔处面板脱空情况。

2.2 基于地质雷达(GRP)的板底脱空检测

地质雷达是目前广泛应用于工程检测方面的一种高效检测仪器。利用高频(几十兆至几千兆赫兹)短



(a) 主机



(b) 探头

图3 钻孔电视成像仪及探头

脉冲向目的体发射电磁波,经目标体反射至接收器,并以“时-深”剖面的彩色或波形显示,具有精度高、影像直观、探测效率高、现场工作灵活、方便等优点。在浅层、超浅层检测中广泛应用(工作原理如图4所示)。

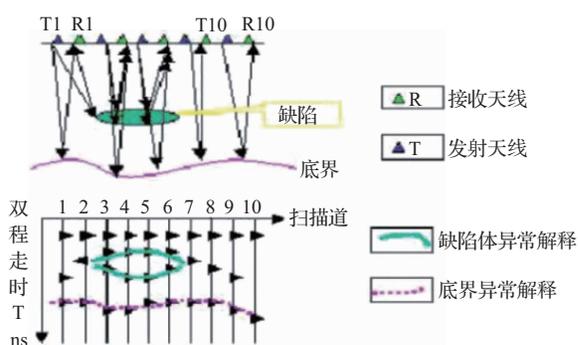


图4 面板脱空情况地质雷达检测原理

曾海等人^[3]选用天线400MHz的高频屏蔽天线,采样时窗选为40ns的地质雷达方法混凝土路面板下脱空的检测,为混凝土脱空缺陷快速检测的一种新的参考方法;周剑等人^[4]分别使用1.5GHz和900MHz的地质雷达天线,采用连续测量方法对剖面进行探测,探

测的雷达测试成果图发现有多处的脱空位置,并得出在脱空厚度小于1cm,而且探测深度小于1m时,采用1.5GHz的雷达天线进行探测的效果会更好的结论。

2.3 基于地震散射 C-Scan 的板底脱空检测

地震散射理论是非均匀地质体中地震波传播的普适理论,而地震反射波法用于层状地质结构的勘探地震反射波法用于层状地质结构的勘探(见图5),最早是由K. Aki确定。他在研究地震波在非均匀介质中传播时,发现介质的密度、弹性模量存在差异部位,会产生散射波,并建立了散射波产生与传播的控制方程。之后,BENEDETTO等^[5]用速度异常分布表征介质的非均匀性,给出了地震波的散射波方程(式1),形式比较简捷,物理含义明确。

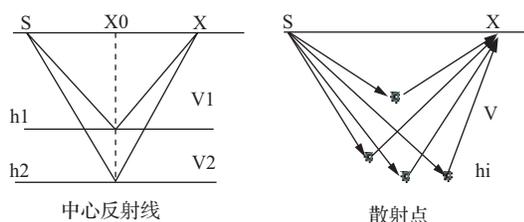


图5 地震发射与散射的区别

$$\nabla u_s - \frac{\partial^2 u_s}{\nu_0^2 \partial t^2} = -\frac{\alpha(r)}{\nu_0^2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \quad (1)$$

在中国,徐明才等人^[6]从研究复杂波场条件下的地震波理论入手,结合山东邹平铜等矿区实际地震勘探资料,研究了金属矿地震勘探数据采集、处理和综合解释的方法技术。北京某公司研发团队^[7]从20世纪90年代就致力于基于地震散射的TST隧道超前预报技术和C-Scan散射勘探技术研发,包括数据采集、数据处理、地质解释等完整的软硬件系统。该团队并于2017年初与笔者所在企业开展基于C-Scan散射勘探技术的堆石坝面板检测的应用探索(见图6),在遵义怀仁市大沙坝面板堆石坝水库开展了C-Scan散射勘探技术试验,该试验采集器32通道,最高采样频率1MHz,16位A/D。检波器拖缆频带为20~16KHz,道距10cm,激发采用电磁冲击枪或刚性锤。

该方法成功检测出面板脱空的位置和大小(该水



图6 散射勘探技术的堆石坝面板脱空检测

库其中一块面板脱空分析结果如图7所示), C-Scan 检测的图像是声波散射相干频率成像结果, 图像中红色表示散射最强的部位, 反映界面上介质力学性状的差异最大; 黄色为中等强度的散射界面, 绿色为弱散射界面, 蓝色为背景色, 表明区内散射微弱, 介质均匀。从图7中可以看出, 测线 L3 上, 距离坝底 13m、18m 处存在两处不密实区域; 测线 L4 上, 距离坝底 22m、27m 处存在两处不密实区域; 测线 L5 上, 距离坝底 5m 处存在一处不密实区域; 测线 L6 上, 距离坝底 8m、24m 处存在两处不密实区域; 测线 L7 上, 距离坝底 10m、21m 处存在两处不密实区域。

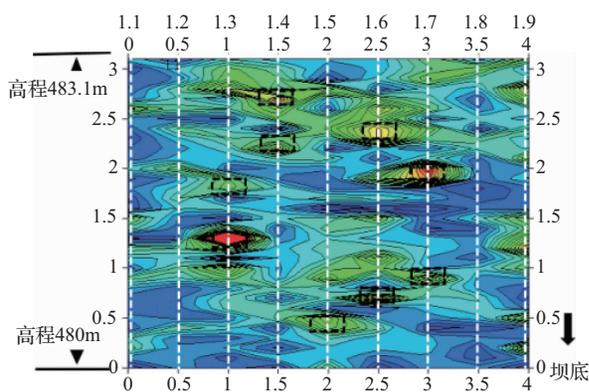


图7 散射勘探技术检测面板脱空区域

3 几种检测方法的比对分析

现有脱空检测方法中, 从结果判断的准确性和便利性来说, 钻孔取芯和钻孔电视法是最直接、最准确的

方法, 但由于钻孔破坏了大坝结构, 且钻孔法只是局部点上的结果, 不能有效反映整个面板的脱空情况, 存在局限性。

上述的无损检测方法均能有效检测面板脱空的缺陷, 但分辨率随着检测波的频率和波长的不同而产生区别(见下表)。地质雷达能快速对整个面板进行快速探测扫描, 操作简便、检测效率高, 比较容易采用, 但大坝面板混凝土强度等级一般为 C20 ~ C30, 为了增强面板的抗拉性能并保持面板的柔性, 一般对面板配置单层双向钢筋, 分别在顺坡向配筋和水平方向配间距为 15cm 层面是 $\phi 15\text{cm}$ 和 $\phi 22$ 的钢筋, 接缝部位增设抗挤压钢筋。面板上密集分布的钢筋对地质雷达天线发射的电磁干扰很大, 对脱空结果精度带来不良影响。

C-Scan 散射勘探技术中采用的地震波对环境的适应性强, 面板分布的钢筋对其干扰较小, 但为了保证高精度需要在每个检波器点上激振放炮, 现场的工作量很大, 产生需要分析的数据量也很大, 对于上千平方米的面板, 该方法效率较低, 时间成本较高。

面板脱空无损检测方法分辨率
与检测波的频率和波长的关系表

技术类型	频率/Hz	波长/m	分辨率/m	探测深度/m
反射地震	50 ~ 100	10 ~ 20	5 ~ 10	100 ~ 200
	100M	1.2	0.6	5
地质雷达	400M	0.3	0.15	3
	1 ~ 4K	0.25 ~ 1	0.13 ~ 0.5	30 ~ 60

4 结论与展望

混凝土面板堆石坝是目前分布最多的坝型, 面板脱空检测的需求越来越大、要求也会越来越高。对于无损检测方法中, 几种方法都能对面板脱空进行识别, 但均存在局限性, 难以完全满足目前面板脱空检测的要求。无论是脱空检测的理论还是脱空检测技术都是今后一个时期内的重要攻关课题, 笔者认为目前运用的几种面板脱空检测理论和方法需要进一步改善与研究。

a. 有关混凝土面板脱空评定应当是堆石坝结

构评价与修复的重要研究内容,对脱空识别,应该进一步定义出脱空边界和进行脱空的严重程度的定量合理划分。

b. 目前某种单一的方法难以准确无误地检测识别面板脱空区,几种方法联合检测,扬长避短、相互验证避免出现单一方法的局限性带来的错误。因此,开展综合物探的方法检测识别面板脱空将是目前较好解决面板脱空检测不准的方法。

c. 基于地震散射 C-Scan 的板底脱空检测是堆石坝面板脱空检测的新方法,目前虽然存在工作效率低的局限性,但可通过对检波器和检测方法进行改进,提高工作效率后,该方法有着较好的应用前景。

d. 应用动力学方法将开辟路面板脱空检测新的途径,如瞬态信号法和模态分析法,虽然目前只得到了定性结果,但面板作为较刚性结构,开展激振作用下面板上振动特性的差异性来分析和识别潜在的脱空区域会成为面板脱空检测新方向。◆

参考文献

[1] 王瑞骏,薛一峰,杜鑫. 面板与坝体的分期施工高差对

板脱空变形的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014(10):205-210+217.

- [2] 郑仲寿,李俊杰. 基于有限元仿真面板脱空分析[J]. 东北水利水电,2005(8):1-3,55.
- [3] 曾海,张东长. 地质雷达在混凝土路面板脱空检测中的应用探讨[J]. 公路交通技术,2005(03):72-74.
- [4] 周剑,胡志根,刘全. 堆石坝临时断面度汛下游护坡非均匀石料的稳定性分析[J]. 水动力学研究与进展 A 辑,2014(06):723-732.
- [5] BENEDETTO A, DE BLASIS M R. Road pavement diagnosis [J]. Quarry Construct., 2001(6):93-111.
- [6] 徐德才,高景华,荣立新,等. 散射波地震法在蔡家营多金属矿区的试验研究[J]. 物探与化探,2003(01):49-54.
- [7] 赵永贵,蒋辉,赵晓鹏. TST 隧道地震 CT 地质超前预报技术及应用(英文)[J]. Applied Geophysics, 2006(02):69-74+130.
- [8] 陆元成,程高晖. 智能水质连续监测传感器网络系统[J]. 水资源开发与管理,2016(02):79-81.
- [9] 刘晓俊. 水库水文无线数据监测及自动监测技术研究[J]. 水利建设与管理,2014(12):66-68+65.
- [10] 刘六宴,张国栋. 关于加强水库大坝安全监测管理工作的思考[J]. 水利建设与管理,2013(07):51-54.
- [11] 孙楷洪. 基于 DSP 的电能质量监测分析装置的研究[J]. 中国水能及电气化,2013(07):28-32.

(上接第 17 页)

较小,仅发育一条区域性次级断裂,且位于库尾回水线外。岩体透水性主要受风化程度、断层及贯通性节理发育程度控制,坝址区岩体透水率无明显 10Lu 界线。本文针对工程地质存在的水库渗漏和库岸稳定问题进行分析。

依据水文、地质条件分析结论,选定坝址位于博尔斯台河出山口上游 0.9km 处,坝址处山体雄厚,部分基岩裸露,坝轴线坐标:左坝肩 $X = 741568.86$, $Y = 5202821.14$;右坝肩 $X = 741470.43$, $Y = 5202907.75$ 。从施工条件、枢纽布置、环境影响、工程投资等方面综合分析,选定整体稳定性强、投资最低的混凝土重力坝

为推荐坝型。并对挡水建筑物、泄洪建筑物等重要构筑物进行了详细阐述,给定其对应的设计参数。◆

参考文献

- [1] 赵祺,许静,于丹. 玉皇庙水库设计洪水合理性分析[J]. 黄河水利职业技术学院学报,2010,22(4):7-9.
- [2] 梁恒. 双阳水库设计洪水合理性分析[J]. 科技信息,2012(3):511.
- [3] 任锋,胡建虎. 三教寺水库设计洪水推求合理性分析[J]. 黑龙江水利科技,2012,40(3):99-101.
- [4] 王华立,李志成,蔡志建,等. 虎山水库设计洪水成果的合理性分析[J]. 河南水利与南水北调,2003(5):5-5