

引水发电隧洞安全检测技术及应用

蒋才洋

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司 贵州 贵阳 550081

【摘要】引水发电隧洞系统的安全稳定在水电站正常运营过程中至关重要，在水电站长期运营过程中，引水隧洞混凝土质量劣化、压力钢管脱空现象越来越多，对水电站有着极大的安全隐患。本文结合某水电站安全定检工程实例，介绍采用地质雷达、超声回弹综合法、脉冲回波法等综合物探方法在检测引水发电隧洞的应用效果。同时，利用三维全景数字可视化技术还原现场的优势，对引水发电隧洞进行三维实景建模，物探检测成果与实际情况紧密结合，达到了较好的检测效果。

【关键词】无损检测；水电站安全定检；综合物探技术

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.038

引言

引水隧洞在运营过程中长期受到水流冲刷、风化等影响，混凝土衬砌、围岩质量等随着时间发生劣化现象越来越多^[1]，及时定检是保障电站安全运营的重要举措。

国内水电站引水发电隧洞存在埋深大、检测面广等特点，且需在隧洞放空、搭设高空平台的条件下作业，缩短了检测时间，在高精度检测要求下，进一步增加了工作难度。本文以某运行 12 年的水电站引水发电隧洞定检项目为例，采用地质雷达、超声回弹综合法、脉冲回波法等综合物探方法检测隧洞、压力钢管等部位，同时通过三维全景数字成像技术建立三维模型，结合物探成果与实景模型，取得了较好应用效果。

1 工程概况

某水电站引水发电系统采用单洞单机供水方式，由岸塔式进水口、4 条引水隧洞和压力钢管组成，1#~3#内径 12.6m，4#内径 10m，四条引水隧洞长度分别为 233.80m、241.70m、249.59m 和 112.03m；4 条压力钢管内径 8.8m，1#~4#钢管为正向进厂，长度分别为 43.362m、43.362m、43.362m 和 56.924m。

流道衬砌混凝土厚度为 60~140cm，拟在机组放空检修期间，对 1#~4#流道系统分别开展专项安全检测。同时运用图像处理技术与数学理论，实现引水发电系统洞室的三维实景建模。

2 检测内容及工作布置

2.1 检测内容及目的

采用综合检测方式，即以普查和详查、外观检查与物探检测相结合的检测方式，主要包括：

(1) 外观调查：包括引水隧洞、压力钢管、蜗壳、尾水隧洞部位；实景建模及外观素描，引水隧洞竖井段做视频录像

检查和外观素描。

(2) 混凝土质量检测：包括引水隧洞（包括竖井段）和尾水隧洞。混凝土强度采用超声回弹综合法检测；混凝土厚度及脱空采用探地雷达检测，局部采用超声三维横波法进行复核。

(3) 钢管脱空检测：包括压力钢管、蜗壳、尾水锥管和肘管。采用脉冲回波法检测。

2.2 工作方法及测线布置

主要检测内容包括：引水隧洞外观质量检查，主要通过外观素描和三维全景数字成像检测；衬砌混凝土厚度、脱空及密实程度，通过地质雷达检测；混凝土强度通过超声回弹综合法检测；以及压力钢管钢衬与混凝土接触状况，通过脉冲回波检测。图 2-1 为隧洞地质雷达检测与压力钢管、超声回弹检测的测线布置示意图。

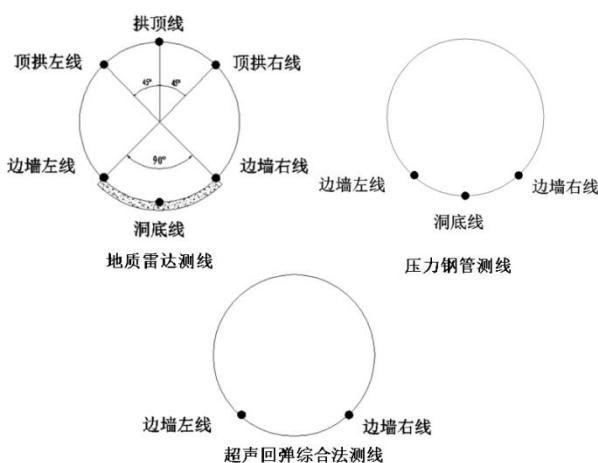


图 2-1 综合物探测线布置示意图

作者简介：蒋才洋，1987. 6. 6，男，汉族，江西吉安人，硕士，研究方向：水电工程健康诊治。

3 检测技术原理

三维全景摄像技术借鉴了可用于地面建筑(防空洞、平洞、洞室)三维全景建模的倾斜摄影测量技术,通过在同一移动平台搭载一个垂直相机和四个倾斜相机,可多角度拍摄地面物体,获得高分辨率、大视场角且含丰富侧面纹理信息的影像。三维模型通过Context Capture Center软件自动建模系统制作完成。

探地雷达是一种短距快速高效的物探仪器。它工作时向地面发射高频电磁波,经地层界面反射返回地面,接收高频脉冲反射电磁波,通过识别和分析反射电磁波来达到探查目的。

超声回弹综合法检测混凝土强度是采用超声仪和回弹仪,在结构混凝土同一测区分别测量声时值和回弹值,然后用建立的测强公式推算该测区混凝土强度的方法。

检测过程中采用窄脉冲、高频震源,通过长余振、高频率接收换能器接收反射回波信号,对仪器所接收的信号进行回波分析^[2]。回波法依据回波频率和波速进行定量换算,对于材质一定的钢板,其厚度、波速一定 h_1 、 V_1 ,对于由钢板和空气组成的阻抗层,其厚度、波速也可定 h_2 、 V_2 。

4 典型成果分析

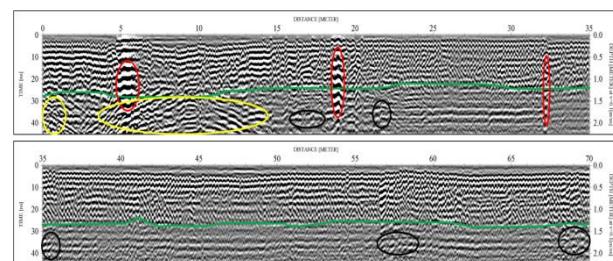
4.1 引水发电隧洞(4#0+030~4#0+100)段检测成果

4.1.1 混凝土脱空和厚度检测

地质雷达检测混凝土脱空和厚度是根据空腔、围岩与混凝土间存在电磁差异进行的。混凝土与围岩胶结密实,雷达信号幅度较弱,甚至没有界面反射信号;胶结不密实,砌界面的强反射信号同相轴呈绕射弧形,且不连续,较分散;脱空则衬砌界面反射信号强甚至产生多次波^[3-5]。

测试采用瑞典 impulseradar 系列雷达 600MHz 天线,图 4-1 为隧洞左壁边墙 4#0+030~4#0+70 段检测成果,隧洞边墙衬砌厚度(图中绿色线)在 120.5cm~146.3cm 之间,钢筋清晰可见,布设规则,无缺筋现象。在桩号 0~1.5m、3.8~14.2m,深度 1.5m 以下(桩号 0 对应实际设计图 4#0+030),雷达信号较强,出

现明显反射弧(图中黄色区域),系现场闸门及钢管脚手架的干扰所致;桩号 5~5.5m、18.6~19m、30~30.3m,深度 0.3~1.8m 区域,雷达信号强、多次波明显(图中红色区域)反射界面在衬砌面以上甚至出现在浅部,结合设计及现场情况,推断为工字钢或锚杆所致。14~18m、21.4~22m、35~35.9m、56.5~59.1m、68.3~70m,深度 1.45~1.85m 之间,在衬砌面以下,出现强反射信号同相轴呈绕射弧形,且不连续,较分散现象,判断为混凝土欠密实。



绿色-衬砌厚度分界线、黄色-干扰信号(铁闸门、脚手架)、黑色-欠密实区域、红色-工字钢或锚杆

图 4-1 左壁边墙地质雷达探

4.1.2 超声回弹综合法

(1) 超声波与回弹值测试

测试时,采取单发-单收方式,收发距离分别为 10cm、20cm,通过两次测量,测试出 10cm 距离内超声波传播时差,根据距离与声时差计算出测区表面波速。

在超声波测区,使用回弹仪均匀获取 16 个回弹值,测试时,保证仪器探头与墙面垂直。

(2) 测区抗压强度值计算

在求得测区的回弹代表值和波速代表值后,推定构件混凝土抗压强度。桩号 4#0+30~0+100 段混凝土型号为 C20,左、右壁超声-回弹强度测试成果表明:该洞壁换算混凝土抗压强度值在 35.9~48.8MPa 之间,平均抗压强度值为 31.2MPa;混凝土超声波波速在 3.58~4.23km/s 之间,平均波速值为 3.85km/s;标准差为 2.47MPa,构件推定混凝土抗压强度为 27.2MPa,满足设计要求。具体结果见表 4-1 所示。

表 4-1 2#引水发电系统引水隧洞渐变段~上平段超声-回弹测试成果表

位置	桩号 (m)	速度(km/s)	回弹值	换算抗压强度 (MPa)	标准差	构件推定抗压强度 (MPa)
右侧腰线	4#0+030	3.9	38	30.6	2.47	27.2
	4#0+040	4.23	36	34.6		
	4#0+050	3.73	47.3	33.5		
	4#0+060	3.73	45.5	30.7		
	4#0+070	3.62	43.6	34.6		
	4#0+080	4.06	35.9	27.4		
	4#0+090	3.92	38	29.6		
	4#0+100	3.7	48.4	28.3		

左侧腰线	4#0+030	4.11	36.3	29.0	
	4#0+040	3.68	48.8	32.1	
	4#0+050	3.83	44.4	34.1	
	4#0+060	3.58	46.2	32.7	
	4#0+070	4.04	41.5	29.3	
	4#0+080	3.87	36.7	29.5	
	#0+090	3.93	38.1	29.4	
	4#0+100	3.63	42	34.6	

4.1.3 表观调查及三维实景建模

通过素描发现,左壁及左顶发育 11 条较多分布于 0+050~0+70m 段; 右壁及右顶发育 14 条较多集中于 0+050~0+70m 段, 共 25 条且均有渗水现象。共发现渗水点 25 个, 左壁渗水点 10 个, 顶部渗水点 2 个, 右壁渗水点 13 个。1 处较严重钙化现象, 位于左壁偏底部 0+050m 位置; 1 处掉块现象, 位于右壁 0+90m 位置。

通过对该洞段采用外观素描与洞壁三维数字成像的方法对混凝土外观进行清晰、直观的检查。图 4-2 为该洞段洞壁三维全景数字成像成果图。



图 4-2 洞壁三维全景数字成像成果图(正视)

4.2 引水发电隧洞蜗壳及压力钢管脱空检测成果

压力钢管接触灌浆脱空检测桩号段为 0+240.147~0+285.147m, 沿洞轴向底拱 90° 范围布置 3 条测线, 成果表面: 共发现 26 处脱空, 脱空面积在 0.11~0.78m², 其中脱空面积小

于 0.5m² 有 18 处, 0.5~0.78m² 有 2 处。脱空部位主要分布在 0+256.413~0+281.736m 之间。详见图 4-3。

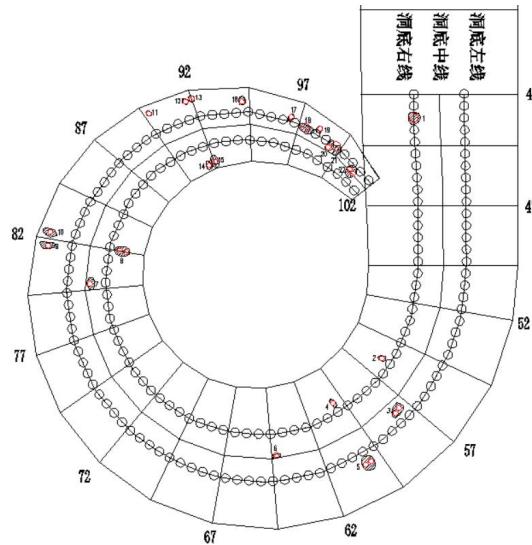


图 4-3 压力钢管脱空检测成果图

5 结语

采用外观检查与综合物探检测相结合的检测方式对运营时间较长水电站进行安全检测工作中, 得出以下结论:

(1) 结合相关设计及地质资料进, 检测结果与实际情况吻合, 表明综合物探检测方法对水电站引水隧洞安全定检的工作具有高效、可靠、无损的优点。

(2) 采用三维全景数字成像技术建立对应部位的三维全景数字可视化模型, 三维模型对引水隧洞各部位还原度极高, 做到物探检测成果与实际情况相结合。

参考文献:

- [1] 张建清, 陈敏, 陆二男, 等. 水电工程施工质量物探检测方法综述[J]. 水利技术监督, 2009(1): 42-44.
- [2] 刘俊青, 殷振兴. 脉冲回波法在水闸底板脱空检测中的应用[J]. 江苏水利, 2020(03): 34-36+42.
- [3] 袁景花, 杜松, 许煜东. 物探检测在某水电站引水发电系统安检中的应用效果[C]. 2005 年中国地球物理学会地下工程地球物理勘探技术方法研讨会. 2005.
- [4] 许煜东, 沈云发, 王军平. 引水发电隧洞物探综合检测方法与应用[J]. 贵州水力发电, 2010, 24(05): 24-27.
- [5] 杜松, 王凡. 地质雷达在引水隧洞复合式衬砌厚度检测中的应用研究[J]. 红水河, 2016, 35(05): 65-70+85.