

地质雷达在隧洞衬砌脱空检测中的应用

毛东辉

新疆水利水电勘测设计研究院勘测总队

DOI:10.12238/hwr.v6i2.4252

[摘要] 水利工程中的各种隧洞衬砌支护因多种因素会形成脱空的空腔隐患,这些脱空部位规模、位置的检测及处理是工程验收前的必要工作程序。混凝土内部缺陷检测根据《水工混凝土结构缺陷检测技术规程》SL713-2015和《水利水电工程物探规程》SL326-2020第4章4.14节的规定,检测混凝土与围岩接触面的脱空情况,检测混凝土衬砌厚度、强度和缺陷等可选用地质雷达法、声波法、声波CT和超声回弹综合法等。一般检测以地质雷达法为主,本文主要探讨地质雷达法在隧洞脱空检测中的应用。

[关键词] 雷达; 脱空; 检测

中图分类号: TN95 文献标识码: A

Application of Ground Penetrating Radar in Void Detection of Tunnel Lining

Donghui Mao

Survey Corps of Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute

[Abstract] Various tunnel lining supports in hydraulic engineering will form cavity hidden dangers due to various factors. The detection and treatment of the scale and position of these hollow parts are the necessary working procedures before the project acceptance. According to the "Provisions of Technical Specification for Defect Detection of Hydraulic Concrete Structures" SL713-2015 and section 4.14 of Chapter 4 of "Specification for Geophysical Exploration of Water Resources and Hydropower Engineering" SL326-2020, the void of the contact surface between concrete and surrounding rock can be detected, and the thickness, strength and defects of concrete lining can be detected by geological radar method, acoustic wave method, acoustic CT and ultrasonic rebound comprehensive method. The general detection method is mainly geological radar method. This paper mainly discusses the application of geological radar method in tunnel void detection.

[Key words] radar; void; detection

引言

地质雷达法在无损检测领域应用广泛,尤其是隧洞衬砌脱空检测等方面发挥着关键作用,为施工单位对衬砌、支护工程的缺陷处理提供依据。在混凝土衬砌与围岩之间及衬砌体内部因施工工艺等因素造成的空洞、不密实、离析等缺陷,空气、离析物或者钢筋与混凝土间必然存在着介电常数的差异,这就为采用地质雷达进行隧洞工程质量检测提供良好的地球物理基础。

1 地质雷达检测的方法及原理

地质雷达法测试成果可视化高,方便快捷,地质雷达检测方法的原理:利用高频电磁脉冲波的反射来探测隐蔽介质分布和目标物的位置,电磁波在介质中传播时,其路径和电磁场强度及波形将随所通过介质的电性质(如介电常数)及几何形态的变化差异,结合接收到波的双程走时、幅度、频率等参数,可以推断介质的内部结构以及目标的深度、形状等。地质雷达数据处理包括预处理和处理分析,其目的在于压制规则和随机干扰,以尽

可能高的分辨率在地质雷达图像剖面上显示反射波,突出有用的异常信息(包括电磁波速度,振幅和波形等)来帮助解释。雷达图形常以脉冲反射波的波形来记录,以波形或灰度来显示地质雷达的探测剖面图。

2 工程实例

2.1概况。某水库工程规模属中型,工程等别为III等,主要建筑物由拦河坝、导流泄洪冲沙洞、表孔溢洪洞组成。主要建筑物为3级,次要建筑物为4级,设计地震基本烈度为7度。坝型采用沥青砼心墙堆石坝,最大坝高71m,坝长121m,坝顶高程1902m。

物探采用地质雷达水库除险加固工程新建表孔溢洪洞顶拱开展雷达测试工作,本次测试工作的主要目的是了解新建表孔溢洪洞顶拱衬砌层后回填混凝土内是否存在脱空。

2.2工作布置。沿新建表孔溢洪洞0+006.149~0+254桩号段顶拱弧形段布置L1~L3三条雷达测试剖面,每条剖面为248m,具体L1测线位于顶拱轴线,L2测线位于顶拱轴线左侧60°处,L3测

线位于顶拱轴线右侧 60° 处,合计测试744m/3条。

2.3检测依据。《水利水电工程物探规程》SL/T291.1-2021;《水利工程质量检测技术规程》SL734-2016;《水工混凝土结构缺陷检测技术规程》SL713-2015;现行其它相关的国家或行业规范、规程和规定(包括工程地质手册、透地雷达操作规程)等。

2.4雷达检测的方法、原理及参数设置。工作方法采用探底雷达法,地质雷达技术实质就是一种高频电磁波发射与接收技术,通过发射天线直接向地下介质发射高频电磁波,接收天线接收反射回来的电磁波,进而探测介质结构的方法(图1为地质雷达原理图)。不同的介质,其电磁性质是有差异的,介电常数是不同的,这种电磁性质的差异决定了在不同介质中,电磁波的传播速度是不一样的。电磁波在介质内传播过程中,当遇到存在电性差异的介质(如裂缝、不密实区、空洞、材质不同等)时,便发生反射,通过对接收到的电磁波进行处理,根据波形、强度、双程走时等参数推断介质的空间位置、结构、电性特征及几何形态。自然界中每一种物质的电磁特性都不一样,即使同一种物质由于其含水量、颗粒空隙度的不同其电磁反射特性也不同。

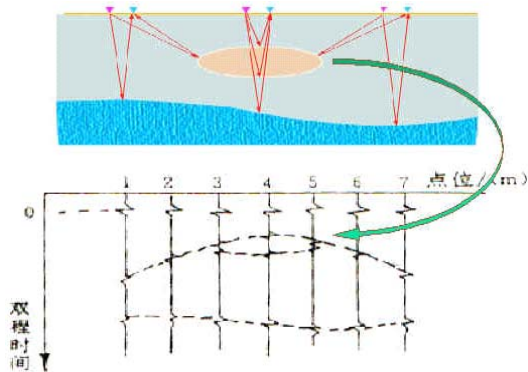


图1 地质雷达原理图

2.5资料分析与解释。地质雷达数据处理包括预处理和数据分析,其目的在于压制规则和随机干扰,以尽可能高的分辨率在地质雷达图像剖面上显示反射波,突出有用的异常信息(包括电磁波速度、振幅和波形等)来帮助解释。雷达图形常以脉冲反射波的波形来记录,以波形或灰度来显示地质雷达的探测剖面图。根据以往测试经验,正确识别隧洞混凝土脱空的雷达图像特征,并根据不同介质速度、时间计算出异常的位置和规模。

探测目标体的雷达反应图像:

混凝土密实电性差异很小,没有明显的反射界面,电磁波基本没有反射信号,电磁波信号幅度较弱,甚至没有界面反射信号;混凝土不密实,则在衬砌界面会产生强反射信号,同向轴呈绕射弧形,且不连续,较分散。

空洞在衬砌界面会产生很强的反射信号,三振相明显,在空洞下方仍有强反射界面信号,两组信号时程差较大。

钢架在雷达图像上呈分散的月牙形强反射信号;钢筋或钢筋网则形成连续的小双曲线形反射信号。

2.6顶拱L1测线部分测试结果分析。L1测线雷达测试成果图像显示,6.149~52.149m时间标尺5.32~5.76ns,深度标尺

0.32~0.33m处的蓝白(紫)色强反射亮点为钢筋网的雷达图像反应,时间标尺17.33~17.68ns,深度标尺0.98~1.0m处反射界面为混凝土衬砌层底界面雷达反应;52.149~243.795m时间标尺7.08~7.4ns,深度标尺0.4~0.42m处的蓝白色强反射亮点为钢筋网的雷达图像反应,时间标尺15.20~15.33ns,深度标尺0.86~0.87m处反射界面为混凝土衬砌层底界面雷达反应;243.795~254m时间标尺7.57~7.86ns,深度标尺0.43~0.44m处的蓝白(黄绿)色强反射亮点为钢筋网的雷达图像反应,时间标尺18.36~18.6ns,深度标尺1.03~1.05m处反射界面为混凝土衬砌层底界面雷达反应;其中剖面桩号99~103m时间标尺12.35~14.89ns,深度标尺0.60~0.90m范围内存在强反射相位,推测存在局部脱空或岩体局部不密实,其余测试段混凝土底界面反射波形清晰、层位明显,推测衬砌混凝土内部密实性较好;其下雷达反射波同相轴连续性良好,无明显的反射相位,未见脱空(详见图2)。

2.7检测结论。新建表孔溢流洞顶拱99~103m段0.60~0.90发现异常建议打孔验证,若存在局部脱空或岩体局部不密实,可进行处理,若不存在脱空,则整个洞子测试范围内衬砌混凝土内部密实性较好,未发现脱空。

2.8后续复灌检测对比。复灌前顶拱99~103m桩号时间标尺12.35~14.89ns,深度标尺0.60~0.90m范围内存在强反射相位,推测存在局部脱空或岩体局部不密实;经灌浆处理后该桩号段强反射相位消失,测试段反射波形清晰、层位明显,推测衬砌混凝土内部密实性较好(见图3)。

3 总结

3.1项目重点、难点的认识分析。(1)本工程结构变化检测难点:结构变化处会造成一次支护喷砼的表明不够平整的情况,这样会给天线跟结构面的贴合造成困难;结构变化处大多是地质条件复杂、围岩稳定性差、易存施工段塌方及岩块脱落部位,支护及衬砌也因此更易发生喷砼不均匀或者脱空情况,因此结构变化处检测的标的物识别难度也相对较大;结构变化如因多个脱空点聚集而对检测结果形成相互影响的情况也会给检测结果分析造成难度增加。(2)本工程结构设计复杂处检测难点:结构设计中有钢丝网、铆钉、锚杆、钢拱架、格栅拱架、喷砼、衬砌等多道工序,复杂的结构设计会给检测结果增加很多异常变化区,使得检测的标的物的判断难度增加,尤其是在施工过程中未能严格按照设计要求的数量、厚度、大小、间距来进行施工情况更是给很大程度地降低了标的物判断的准确性。

3.2解决项目重点、难点的关键技术。

3.2.1解决本工程结构变化检测难点的方案措施。(1)结构变化处天线跟结构面的贴合问题解决措施:天线底部放置海绵,弹性十足的海绵可以保证天线稳定地和测试面接触。(2)结构变化处支护及衬砌更易发生喷砼不均匀和脱空情况而增大检测的标的物识别难度问题与脱空点聚集而对检测结果形成相

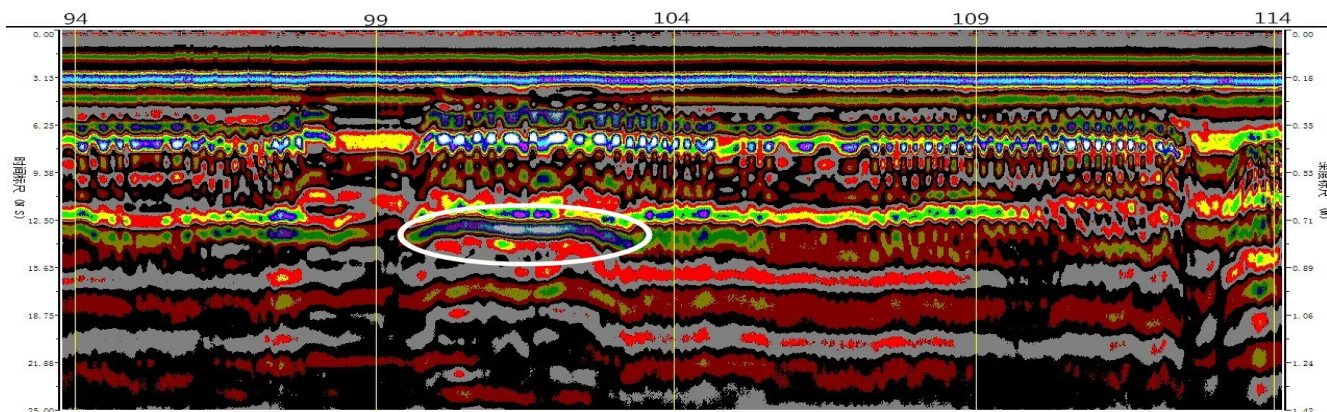


图 2 顶拱 L1(94~114m)测线雷达测试成果

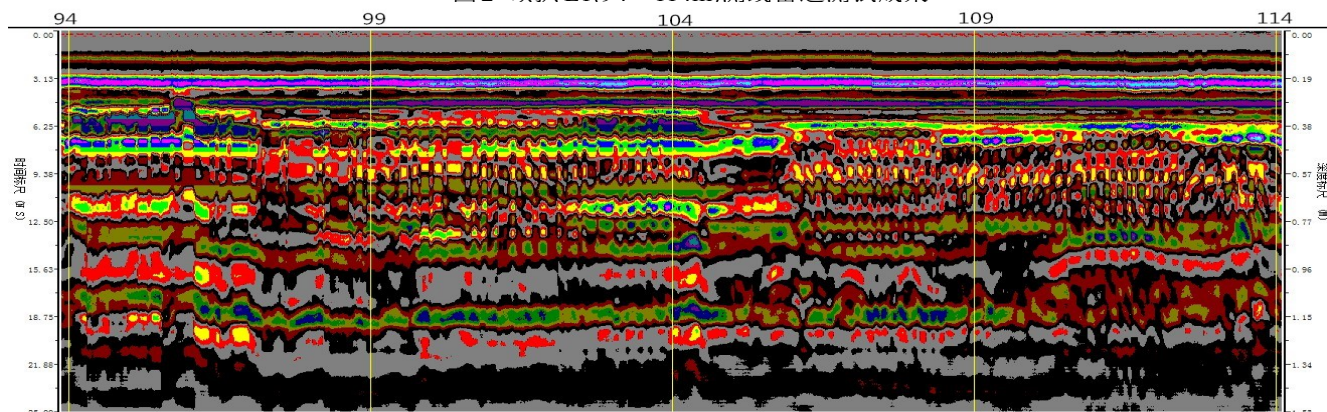


图 3 顶拱 L1(94~114m)测线雷达测试成果(复灌后)

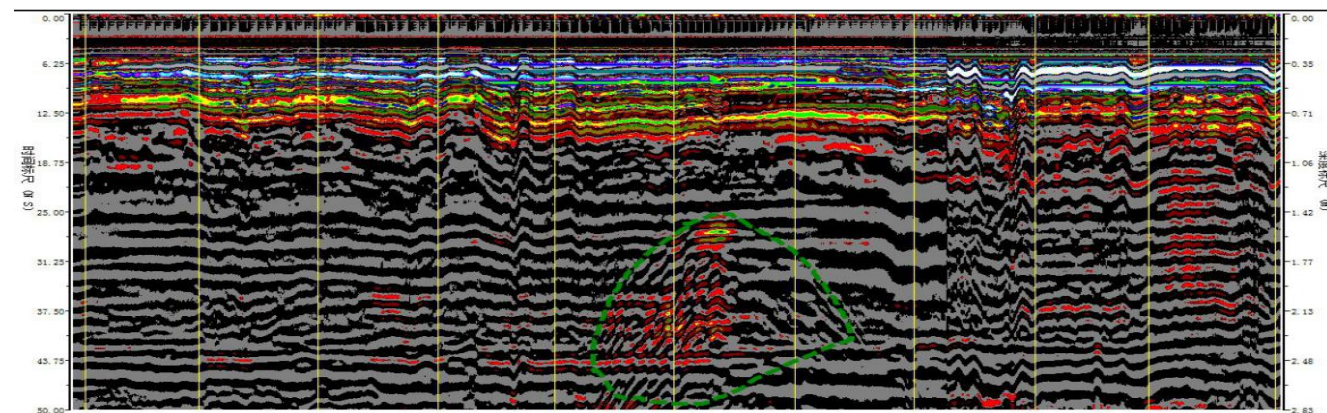


图 6 某水库溢洪洞围岩内部脱空检测成果

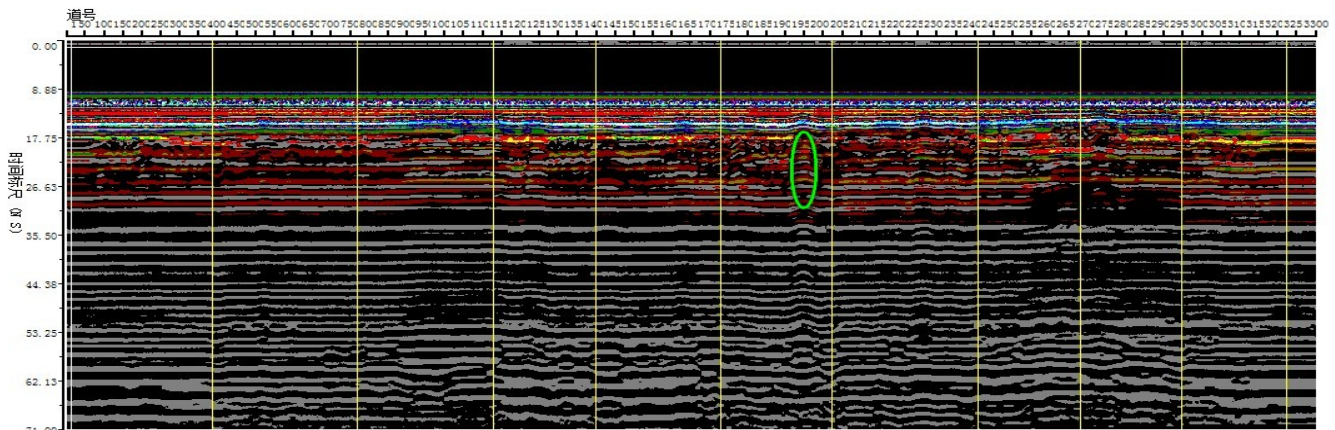


图 7 某引水工程引水隧洞洞顶钢筋接头雷达测试图

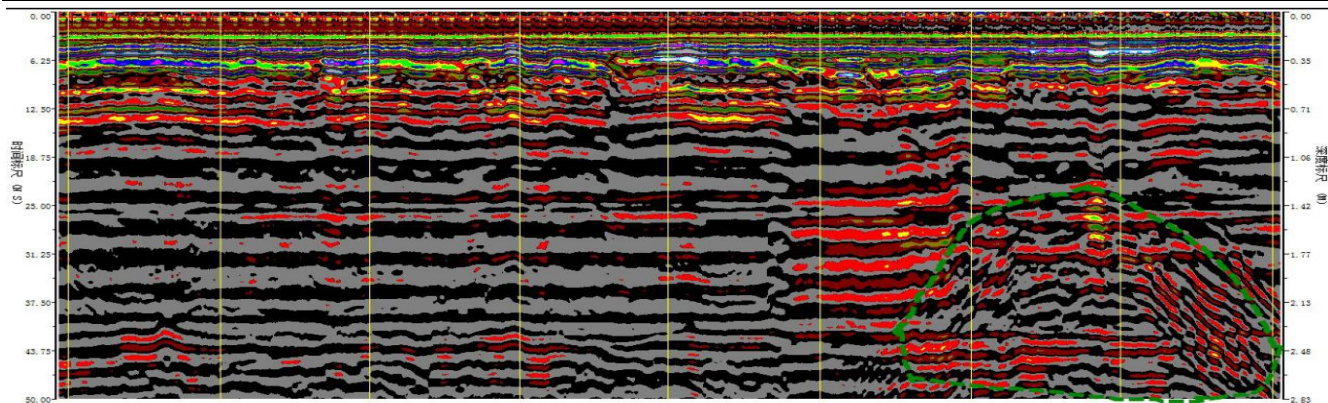


图8 某水库导流洞拱顶衬砌层后围岩内部脱空检测成果

互影响的情况解决措施:在雷达测试时,首先需根据现场条件进行试验,结合以往所测雷达图像特征得出测试区完整混凝土的雷达图像特征,其后通过分析雷达所接收到的电磁波的相位变化来判断结构变化区和空腔(如果衬砌下存在空腔,并达到一定规模)等各种异常雷达图像特征,并通过对所测雷达图像的合理解释,从而正确识别混凝土内部异常区的特征,根据不同介质速度、时间计算出缺陷的规模。

3.2.2解决本工程结构设计复杂处检测难点的方案措施。结构设计中的多道工序,复杂的结构设计会给检测结果增加很多异常变化区,使得检测的标的物的判断难度增加,尤其是在施工过程中未能严格按照设计要求的数量、厚度、大小、间距来进行施工情况,针对该难点,在雷达测试时,首先根据其设计方案确认本工程的内部结构顺序,在结构条件良好部位进行试验测试,从而确认不同结构物质对应的雷达图像,再结合以往所测雷达图像特征分析出测试区完整混凝土的雷达图像特征,其后通过分析雷达所接收到的电磁波的相位变化来判断钢筋或钢筋网雷达图像特征,并通过对所测雷达图像的合理解释,从而正确识别混凝土内部钢筋或钢筋网的特征,根据不同介质速度、时间计算出钢筋数量、间距和保护层厚度。

3.3雷达检测图像识别总结。根据多年检测经验积累验证,识别隧洞工程中的多种结构的雷达图像特征,并根据不同介质速度、时间计算出异常的位置和规模,总结了在该领域具有指导性的成果资料,现将本次主要探测目标体的雷达反应图像特征简介如下:

(1)完整的岩体(均一岩体),电性差异很小,没有明显的反射界面,电磁波基本没有反射信号。但往往由于风化及含水率等影响,在岩体内部就会有些微弱的信号反射,其表现出来的特征就是有一些中高频的反射信号。(2)混凝土密实,电性差异很小,没有明显的反射界面,电磁波基本没有反射信号,电磁波信号幅度较弱,甚至没有界面反射信号;混凝土不密实,则在衬砌界面会产生强反射信号,同向轴呈绕射弧形,且不连续,较分散。(3)空洞,衬砌界面会产生很强的反射信号,三振相明显,在空洞下方仍有强反射界面信号,两组信号时程差较大。(4)钢架在雷达图像上

呈分散的月牙形强反射信号;钢筋或钢筋网则形成连续的小双曲线形反射信号。具体的工程典型检测图像列举如(图4-图8):

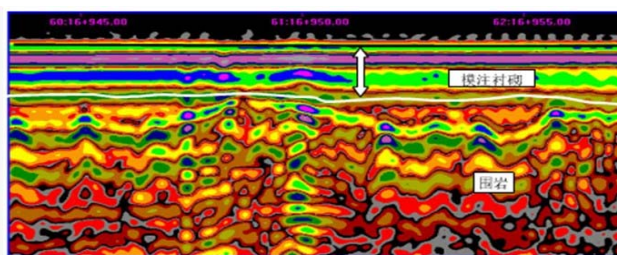


图4 某水库引水隧洞衬砌层和围岩雷达测试图

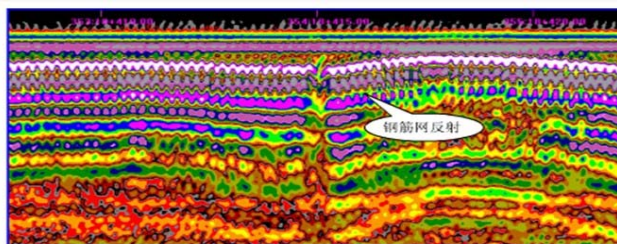


图5 某水库引水隧洞洞顶衬砌钢筋网雷达测试图

4 结束语

地质雷达法测试成果直观、可靠,精度高,在隧洞脱空检测工程中得到广泛应用和认可。地质雷达法不光在隧洞检测方面得到广泛应用,在地下硐室探测和公路、桥梁无损检测等多个方面也发挥着积极作用。精度高是地质雷达的优势,但是也存在探测精度随着探测深度增大而降低的局限性,有效探测深度不大,这种方法更适合浅部高精度的检测项目。

[参考文献]

- [1]中国水利电力物探科技信息网.工程物探手册[M].北京:中国水利水电出版社,2011.
- [2]杨峰.地质雷达探测原理与方法研究[M].科学出版社,2015.
- [3]杨晓华,温世儒,郭元术.岩溶区公路隧道地质雷达超前探测技术[M].人民交通出版社,2020.
- [4]钟诚昌.水利水电工程物探的可持续发展[J].水力发电,2000(02):40-42.

作者简介:

毛东辉(1989--),男,汉族,河南孟州市人,本科,工程师,研究方向:工程物探、工程地质等。