

doi: 10.11720/wtyht.2018.1509

石春娟.重庆大足千手观音造像的电磁勘探和水文地质勘探[J].物探与化探,2018,42(6):1306-1310.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1509>
Shi C J. Research on electromagnetic prospecting and hydrogeological exploration for the statue of Thousand-Hand Avalokitesvara at Dazu, Chongqing[J].
Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1306-1310. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1509>

重庆大足千手观音造像的电磁勘探 和水文地质勘探

石 春 娟

(山东英才学院 建筑工程学院, 山东 济南 250104)

摘 要: 针对重庆大足千手观音中水文地质勘探问题, 采用了探地雷达和钻孔电磁波 CT 勘探方法对千手观音岩土地质工程进行勘探和分析, 并对该地区主要的水文地质条件进行了特征分析和三维动态模拟。结果表明探地雷达和钻孔电磁波 CT 无损检测方法可以很好地对千手观音等文物进行勘探, 具有很好的实际应用价值。

关键词: 千手观音; 探地雷达; 钻孔电磁波 CT; 水文地质

中图分类号: P208; P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2018)06-1306-05

0 引言

重庆大足千手观音经历了八百多年的洗礼, 受到过不同程度的破坏并出现风化问题^[1], 在国家文物局科研立项的推动下, 大足千手观音的各种保护工程已经展开或完成。对千手观音开展了岩土地质工程的勘察和统计分析, 为千手观音的保护和修缮提供了大量的实测数据和依据^[2-4]。

为了研究大足千手观音地区的水文地质特征, 采取现场调查统计、探地雷达和钻孔电磁波 CT 等多种勘探方法进行了现场勘察和综合分析^[5-7]。采用了实测统计的方法调查了维摩顶陡崖区的裂隙; 采用钻孔 CT 技术探测了 2 个千手观音造像区钻孔孔壁岩体之间的完整性; 通过探地雷达图像研究了该区域砂岩陡崖壁面、崖顶等区域下基岩裂隙的发育生长情况。文中选择了 3 个典型区段: 维摩顶北侧、千手观音造像所在陡崖砂岩裸露区以及它们之间的缓坡区^[8-9], 建立了三维动态模型^[10-12] 进行模拟计算, 为千手观音的保护和修缮提供理论依据。

1 工程地质勘探方法

根据历史地质填图调查及工程钻探, 可将研究区地层划分为人工堆填土、残坡积土、侏罗系中统遂宁组上段的紫红—褐红色粉砂质泥岩及青灰—灰紫色中细粒长石石英粉砂岩 4 个岩性段。粉砂质泥岩与砂岩呈不等厚的互层状。千手观音地区物探工程测线布置如图 1 所示。

1.1 探地雷达勘探方法

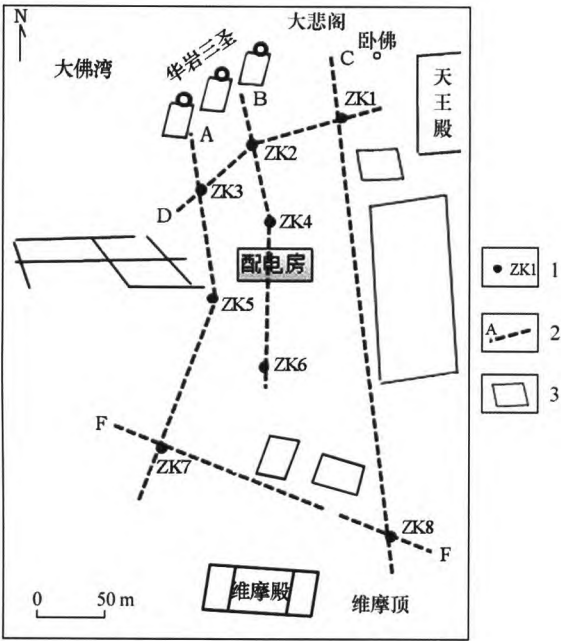
探地雷达是采用高频电磁波探测地下地质结构与特征的一种地球物理探测技术。它利用的主频为数十兆赫至千兆赫波段的电磁波, 以宽频带短脉冲的形式, 由地面通过天线发射器发送至地下, 经地下目标体或地层界面反射回地面, 由雷达天线接受器接收。通过对探地雷达剖面进行处理和解释, 便可获得测量剖面下方的地质信息(如地层界面起伏及埋深、地质结构特征等)。

现场工作采用加拿大探头与软件公司生产的 EKKO PRO 型低频探地雷达系统。天线的中心频

收稿日期: 2017-11-08; 修回日期: 2018-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006055)

作者简介: 石春娟(1981-), 女, 副教授, 主要从事水文地质工程检测与教学工作。



1—钻孔;2—探地雷达测线;3—建筑物
图 1 勘探区域总体分布

率分别为 100 MHz、200 MHz,收发距分别为 1.0 m 或 0.5 m;点距分别为 0.5 m 或 0.2 m。

在千手观音南侧山坡地表进行探测,采用中心频率为 100 MHz 的天线,以探明第四系覆盖层厚度;在垂直贴近西侧的石刻壁面进行的探测工作,采用中心频率为 200 MHz 的天线,以查明各处岩壁内部是否有裂隙存在;为了查明千手观音造像区砂岩陡壁内部的岩体完整情况,探地雷达勘探自东向西进行垂直勘察,由上至下沿崖壁立面布置分层测线,勘探结果如图 2 所示。

由图 2 可知,造像区整体波形变化不大,受脚手架、房屋等环境因素影响,局部波形稍微变化,但未见由裂隙反射造成的异常回波信号。在测线 20 m 处的异常回波推测为地下管道。在造像区至卧佛脚部的雷达回波信号基本完整,仅在 72 m 与 83.5 m 处产生 2 个裂隙反射的异常回波信号,推测为地下掩埋构成的裂隙。结合钻探等资料分析,造像区的岩体完整性较好,不含隐伏的构造痕迹。

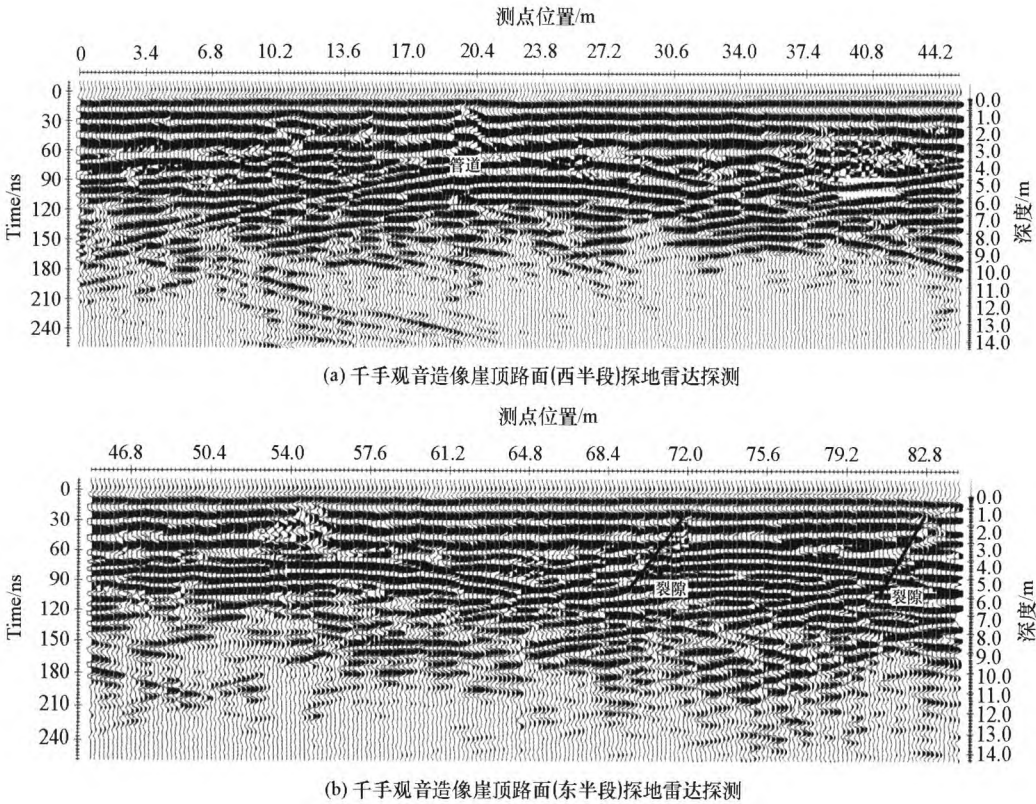


图 2 千手观音造像区探地雷达探测结果

1.2 钻孔 CT 勘探方法

钻孔电磁波 CT 法是利用无线电波(工作频率 0.5~32 MHz)分别在两个相邻钻孔中发射和接收,根据不同位置上接收的场强的大小,来确定地下不

同介质分布的一种勘探方法。当钻孔电磁波 CT 发出的无线电波在地下不同介质(比如破碎区域和各种不同的溶洞等)传播时,不同的岩体区域对电磁波的吸收系数(β)存在一定的差异。例如:围岩的

吸收系数(β_0)一般都比破碎带、溶洞等的吸收系数(β_s)要小很多,因此,电磁波在围岩背景的场强大,在破碎带和溶洞等区域的场强小,进而表现出负异常;可利用这一特性推断目标地质体的结构和形状,其探测原理与医学 CT 基本相似。本次勘探利用 CT 方法查明千手观音造像后侧崖壁岩体的完整性和裂隙分布规律。

针对千手观音造像区南侧山体,为了判断该区岩体是否完整,在靠近千手观音的 4 个钻孔 ZK1、ZK2、ZK3、ZK4 内,进行了 5 对钻孔 CT 探测。其中

ZK3-ZK4 剖面的钻孔 CT 勘探结果如图 3 所示。钻孔 ZK4 距离千手观音崖壁的水平距离 44.3 m,在配电房北面。由图 3 电磁波 CT 的 β 值分布特征经过解译后可以得知,地表以下深度 0.0 m~3.0 m 为第四系覆盖层,而深度 3.0 m 以下为弱风化的完整砂岩;图中还显示 ZK4 附近的岩体结构完整性较好,而 ZK3 附近的较差;另外,在深度 6.0 m 附近存在电磁波吸收系数局部异常,因此推断为砂岩裂隙并且被泥沙和水等物质充填满。

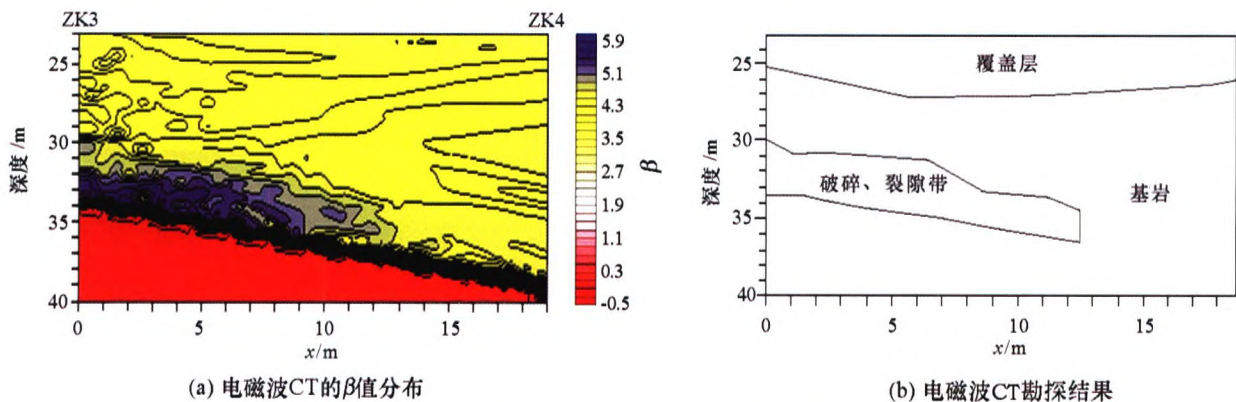


图 3 ZK3-ZK4 的电磁波 CT 探测分析结果

综合所有的钻孔 CT 结果可知,在千手观音崖壁区域,钻孔 ZK2 的岩体结构总体上是比较完整的,除了南侧部位存在一些破碎裂隙;然而,靠近泉水裂隙的钻孔 ZK1 中的岩体结构则比较破碎;同样,因为有裂隙通过钻孔 ZK3 附近,所以该区域岩体结构较差,但钻孔 ZK4 附近的岩体结构则比较好。于是可以得出千手观音崖壁区域的岩体结构总体较好,仅有裂隙通过的局部区域比较差。

2 地下水勘探与三维模拟

2.1 地下水分布特征

经过勘察分析千手观音石刻造像区的南侧基岩可得,该区域的地下水补给主要有两个来源:大气降水并渗流至地下水和寺庙及周围景区生活用水渗透至地下水,因此,该区域地下水的来源包括大气降水和生活用水对松散堆积层、风化基岩、石刻崖壁渗水的补给。对现场做进一步勘察分析可知,造像区所在区域的地下水类型为基岩裂隙水,千手观音造像区四周呈串珠状分布的台状残丘地形形成了区内高程约为 525~530 m 的地表分水岭。该区域沟底高程为 470~485 m,因此该区内地下水的补给主要是

大气降水。

勘探布置的 8 个钻孔均揭露了地下水,未见干孔。电视探头可以观察到各钻孔的稳定地下水位(图 4)。由勘察结果可知,在维摩顶附近的地下水位较高,且较平缓。在配电房附近地下水位坡降变大,在靠近陡崖一线地下水位高程接近崖底且变缓。这可以解释千手观音石刻造像区的地下水分布特征。

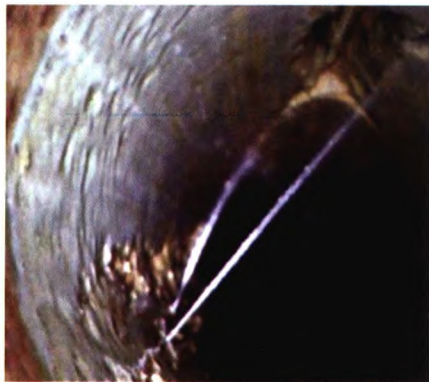


图 4 ZK8 中裂隙渗水(12.7 m 深)

2.2 地层的富水性与透水性

根据千手观音石刻造像区探地雷达探测和钻孔 CT 探测的成果,结合钻探资料和该区域覆盖层的厚

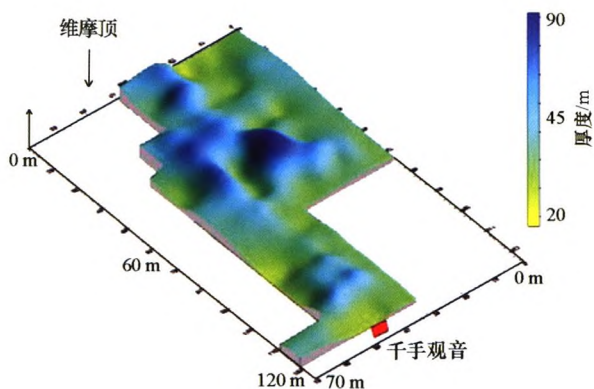


图5 覆盖层厚度的三维立体影像

度三维立体图(图5),综合分析可得,在该区域南至维摩顶段的覆盖层厚度在2.3~6.0 m之间;该区域覆盖层的平均厚度约为3.90 m,并且呈现中部覆盖层薄,两侧覆盖层相对较厚的特征。

物探、钻探及水文地质试验表明,区域地下水位高程为487.70~509.25 m,明显低于覆盖层底板(基岩顶板)496.17~519.30 m。由此可知,在千手观音南坡第四系覆盖层内部,除大气降水入渗形成的暂

时性上层滞水和包气带水外,不存在连续水体形式的地下水。该区域基岩表面存在一定厚度的强一中风化层,厚度大约为0.7~5.8 m。由于基岩风化层具有较好的富水性和透水性,这为降雨入渗提供了储存空间和渗流路径。另外,可以得出本区内泥岩的渗透系数为 $4.57\sim 4.68\times 10^{-7}$ cm/s,砂岩的渗透系数为 $2.83\sim 6.42\times 10^{-6}$ cm/s,岩石的渗透性非常差。

2.3 地下水的排泄特征

通过调查发现,大佛湾沟陡崖底部高程485 m左右为研究区内地下水排泄的基准面。该基准面在卧佛脚部泉水处、千手观音东侧构造裂隙部位和华严三圣西侧泥岩夹层区域出现3个渗水点。因此,在该区域进行了大气降雨及地下水径流模式的研究,并绘制了三维模型(图6)。

综合泥岩的分布特征和压水试验资料可知,该区域地下水的分水岭基本上是在千手观音至维摩顶区域,大气降水后继续垂直下渗,朝东、西两个方向各自渗流。千手观音造像区正位于该地下水分水岭的脊部,受地下水影响的可能性较小。

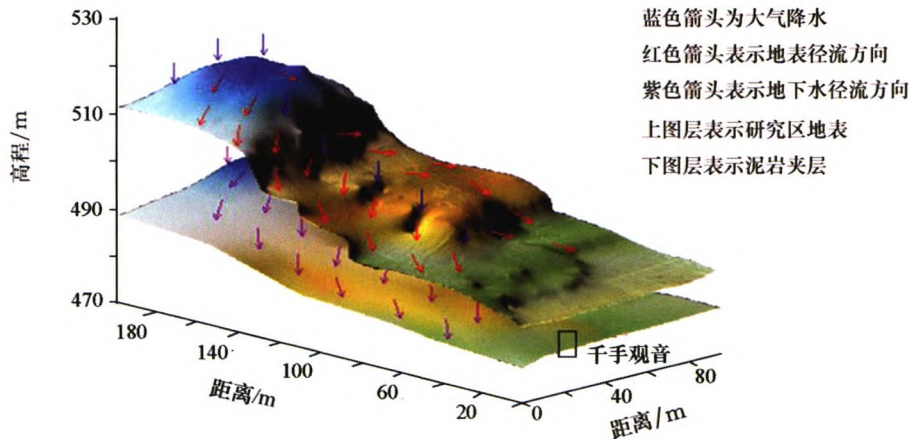


图6 研究区大气降雨及地下水径流模式的三维模型

3 结论

根据千手观音等文物不可再生的特点,分别采用了探地雷达勘探方法和钻孔CT勘探方法两种无损探测方法在大足千手观音的岩土工程中进行了勘察,结合水文地质条件研究,认为勘探区域内砂岩的透水性很弱,裂隙和破碎带构成了地下水的储存空间和渗流通道;指出了勘探区域内构造裂、发育的层面裂隙及平行于陡壁的卸荷裂隙;卸荷裂隙、构造裂隙、层面裂隙相互交切,构成了区内的渗水裂隙网络系统,成为地下水的渗流通道和储存空间。

参考文献:

- [1] 方芳,方云,燕学锋,等. 重庆大足石刻千手观音造像区地下水渗流机制分析[J]. 文物保护与考古科学, 2009, 21(4): 1-4.
- [2] 周华,杨森,高峰,等. 重庆大足千手观音便携X探伤调查及初步研究[J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(4): 45-54.
- [3] 陈文强,赵宇飞,赵发辉,等. 岩体工程特性现场测试方法及其成果相关性研究[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(6): 55-61.
- [4] 方云,乔梁,燕学峰,等. 地球物理探测技术在大足石刻保护中的应用[J]. 物探与化探, 2009, 21(4): 1-4.
- [5] 田兴玲,李志林,马清林,等. 重庆大足千手观音金箔表面变色原因探讨[J]. 稀有金属材料与工程, 2010, 39(z1): 311-315.
- [6] 詹长法,徐琪歆,张可,等. 从千手观音造像修复看传统工艺与

现代科技的结合与运用[J]. 东南文化, 2014, 238(2): 17 – 24.

[7] 周双林,陈卉丽. 从一片大足石刻千手观音表面金箔分析获得的信息[J]. 电子显微学报, 2013, 32(1): 90 – 93.

[8] 陈卉丽,段修业,冯太彬,等. 千手观音造像石质本体修复研究[J]. 中国文物科学研究, 2013, (3): 15 – 19.

[9] 梁艳坤,隋旺华. 地下松散层内疏放水钻孔溃砂量模拟试验[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(3): 14 – 18.

[10] 王娟,张彭义,向丽,等. 不可移动文物保存环境研究——以千手观音造像环境监测与维护方案为例[J]. 中国文物科学研究, 2013, (3): 37 – 41.

[11] 宋欢,邹先坚,石春娟. 水下模型地形超声成像分析与实时测量[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(5): 28 – 32, 47.

[12] 吴育华,王金华,侯妙乐,等. 三维激光扫描技术在岩土文物保护中的应用[J]. 文物保护与考古科学, 2011, 23(4): 104 – 110.

Research on electromagnetic prospecting and hydrogeological exploration
for the statue of Thousand-Hand Avalokitesvara at Dazu, Chongqing

SHI Chun-Juan

(School of Architectural Engineering, Shandong Yingcai University, Jinan 250104, China)

Abstract: Faced with the problems of hydrogeological exploration at the Thousand-Hand Avalokitesvara in Dazu county of Chongqing, this paper adopted ground penetrating radar and drilling electromagnetic wave CT to measure and analyze the rock and soil engineering for the Avalokitesvara, and went on the characteristics analysis and 3D dynamic simulation of main hydrogeological conditions in the region. Results show that nondestructive testing methods of ground penetrating radar and drilling electromagnetic wave CT are good at exploration for cultural relics, such as Thousand-Hand Avalokitesvara. They have many well practical application values.

Key words: Thousand-Hand Avalokitesvara; ground penetrating radar; drilling electromagnetic wave CT; hydrogeology

(本文编辑:沈效群)