

高速公路路基病害探测研究

黄华林¹, 朱自强¹, 杨天春², 鲁光银¹

¹ 中南大学信息物理工程学院 (410083)

² 湖南大学土木工程学院 (410082)

E-mail: jxgahhl@yahoo.com.cn

摘要: 采用工程地质调查和水文条件分析、物探、钻探等综合的“信息化勘察”模式, 根据地下岩石和土体的物性差异, 来查明路基病害的空间分布形态及位置, 为路基病害的治理提供科学指导。

关键词: 地质雷达 高频电磁波 三极电测深

Research on Exploration of Defects under the Roadbed on Highway

Huang Hualin¹ Zhu Ziqiang¹ Yang Tianchun² Lu Guangyin¹

¹School of Info and Physics Engineering, Central South University, Changsha 410083;

²School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082;

Abstract: In this paper, the mode of “information-based investigation” adopted, which is integration of the engineering geology inquisition and hydrology condition analysis、Geophysical Exploration、drilling and others. According to the quality difference of the underground rock and the soil, we found out the appearance distributing in space and positions of the roadbed disease, it can provide science guidance for the processing of the roadbed disease.

Key words: Ground penetrating Radar; high cycle electromagnetic wave; Three poles Electrical Sounding

1. 引言

公路路基病害(如地下空洞、溶洞等不良地质现象)的存在常使路基失稳甚至塌陷, 如不完全探明并处理好, 极易造成路面、桥梁、涵洞等构筑物的破坏, 对公路工程危害极大, 是造成道路毁坏事故的重要隐患。邵怀高速公路第 33 合同段 K159+500~K160+000 范围内路基第四系地层中存在因开挖沙金遗留的老采空洞, 虽经路线工程地质勘察阶段, 勘察报告反映了采空区存在的事实, 但平面分布及深度情况不尽详细, 施工处治深感困惑。若处治措施不力, 不仅会造成工程投资浪费, 而且直接影响到工程施工进度及工程质量。鉴于此, 我们采

用地质雷达、电法勘探等多种方法的“信息化勘察”模式对工程地点进行勘察，多种方法相互验证、综合解释，以进一步查明采空区巷道平面、垂直分布情况和洞体规模，评价其对该段路基的工程影响，并提出处治建议。

2. 工程场地地质条件

该勘测区域覆盖层厚度较大，基岩上部主要为第四系全新统（Qh）冲洪积物，岩性上部以亚粘（砂）土为主，下部以卵石为主；在山坡上覆盖有第四系更新统（Qp）残坡积层，岩性上部为亚粘土，下部为角砾土层。下伏基岩系石炭系中、上统（C2+3）硅化灰岩。勘察区内水位埋深较深，随季节性变化较小，水量较丰富。

该勘察段路线主要属微丘区，其间跨越山间沟谷，原地形起伏，不良工程地质现象主要为岩溶及采空区。发育的岩溶类型均为埋藏型，岩溶形态主要以溶沟、溶洞及岩溶裂隙为主，地表未见灰岩出露。下覆石炭系硅化灰岩中溶洞发育的，大小一般为1~3m，以往工作资料显示最大深度为7.40m，亚粘土、亚砂土夹溶蚀灰岩角砾充填为主，少量溶洞无填充。根据详勘报告及现场踏勘情况，本合同段原始地形呈一定起伏，采空区主要分布于K159+500—K160+000段基岩上部第四系覆盖层中的亚粘土（含石英砂岩砾石）和角砾土层内，采空系当地老乡无序自发开挖黄金形成。

3. 工作基本方法和原理

本次补充勘察采取工程地质调查和水文条件分析、物探、钻探等综合的“信息化勘察”模式来查明采空洞（塌陷体）的空间分布形态及位置，为路基病害的处理提供科学依据。“信息化勘察”的基本原理是将物探、钻探、地质调查等看成一个互动过程，勘察信息互相反馈，以不断完善物探方法的综合应用效果，优化解释参数，并合理安排物探和钻探工作，最终达到节约勘察费用，改善勘察效果的目的。

3.1 测区工程地质调查

地表地质调查的主要目的是收集工作区及周围的详细地表地质资料，调查宏观地貌与微地貌特征，初步推测采空区可能的平面分布，作为综合性研究、调查的基础资料，并且作为地球物理探测方法和布置方案选择的依据。

3.2 电法勘探

无论充水、坍塌与否，地下采空洞与其周围围岩具有明显的电性差异。在充气条件下，空洞的视电阻率与其周围围岩介质相比呈高阻异常；充水时（或充水坍塌），则其视电阻率与其周围介质相比呈低阻异常。电法探测就是通过视电阻率的异常去寻找地下空洞。

为了查清工作区地下采空洞的分布规律及分布范围，在勘查工作中根据实地的地形地貌情况，以三极测深作为主要观测方式，探测采空区埋深，提高探测精度，为地质雷达方法的

探测成果提供补充信息，由此提高解释的精度。

三极测深法的供电电极 AB 和测量电极 MN 是分开的，且所需导线很短，这在减弱游散电流或电磁感应作用引起的干扰方面，相对其它装置有明显的优越性。三极测深法是探测沿垂直深度方向介质电性变化的有效物探方法之一。它可用于研究覆盖层下的基岩起伏，为水文、工程地质提供有关疏松层中电性不均匀体的分布以及疏松层下的地质构造等，能比较可靠地确定工作区范围内空洞的位置以及其它路基不良地质体的存在。其工作方法原理图见图 2 所示，其中，A、B 为供电电极，电极 B 位于无穷远处，M、N 为测量电极，O 为测深点，AMN 排列在一条直线上；根据本次勘察工作的深度要求，MN=1m，AO=1.5m、2.5m、4m、6m、9m、15m、25m、40m、50m、60m。



图 1 三极测深法工作布置图

所采用的仪器是由重庆地质仪器厂研制的 DDC-5 电子自动补偿仪。该仪器克服了以往普通电法仪器笨重、精度低的缺点，具有快速轻便、工作效率高、精度高、准确性好等优点，是目前国内先进的电法设备之一。

3.3 地质雷达

地质雷达方法是 20 世纪 70 年代发展起来的一种用于确定地下介质分布的广谱电磁法，它系统地、高度地集中了现代高新技术领域的最新成就。地质雷达以其经济、无损、快速而直观的特点成为浅部地球物理勘察的最主要的工具之一。地质雷达方法是利用高频电磁波，以脉冲形式通过发射天线被定向地送入地下。雷达波在地下介质中传播过程中，当遇到存在电性差异的地下目标体（如空洞，或其它不连续界面）时，电磁波便发生反射，返回到地面时由接收天线所接收。在对接收天线接收到的雷达波进行处理和分析的基础上，根据接收到的雷达波波形、强度、双程走时等参数便可推断地下目标体的空间位置、结构、电性及几何形态，从而达到对地下隐蔽目标物的探测。它的探测基本原理与浅层地震相似，不同的是地质雷达向地下发送的是高频电磁波，它的物理前提是介质之间介电常数和电导率的差异（见表 1）。其原理见图 2、图 3 所示，其中，Tx 为发射天线，Rx 为接收天线。

工作区主要介质介电常数和电阻率 表 1

介质	电阻率 ($\Omega \cdot M$)	相对介电常数 (ϵ)
灰岩	$n \times 10^3 \sim n \times 10^4$	7.8~8.5
粘土	$n \times 10^1 \sim n \times 10^2$	7~43 (干~湿)
水	<100	81
空气	∞	1

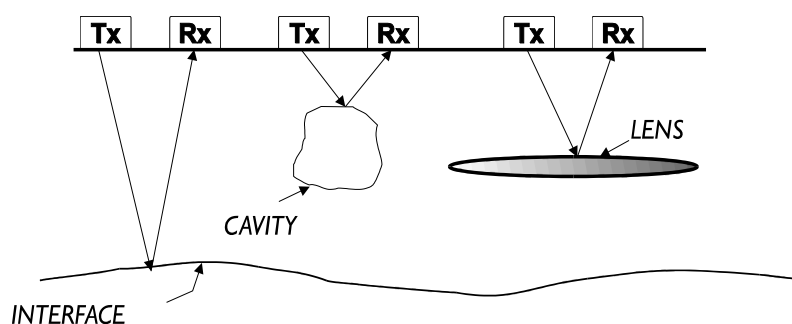


图 2 探地雷达探测地下空洞等目标物示意图

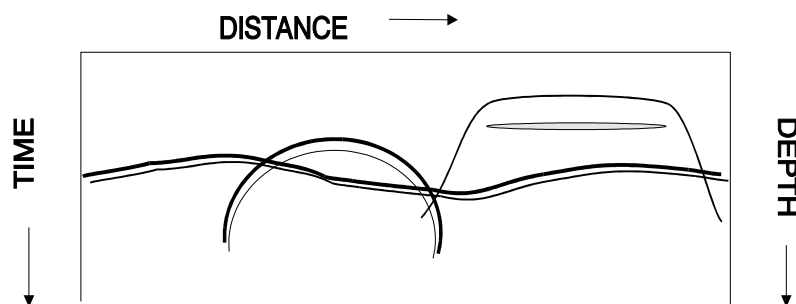


图 3 地下空洞等目标物探地雷达探测结果示意图

无论空洞含水或干枯,洞内物性与周围介质都存在着十分明显的差异。因为含水和干枯是电磁波传播的两种极端情况(即在水中和空气中)。地质雷达从问世至今在地基基岩面探测、岩溶地面沉陷、地下洞穴的工程地质调查中得到了广泛的应用。此次探测中,将地下采空洞作为探测的目标物,它与其周围的土壤介质具有明显不同的介电性质。如果采空洞保存完好且未被地下水充盈时,表现为高电阻率特征;反之则表现为低电阻率特征。当采空洞坍塌后,在洞内形成破碎、疏松的堆积物,与围岩的导电和介电性质同样具有差异,具有利用雷达进行识别的物性基础。

此次探测采用美国地球物理测量系统公司生产的 SIR-10H 型地质雷达系统,天线为 100M 天线和低频组合天线两种;资料处理采用中南大学自主开发的高分辨雷达解释系统软件。

3.4 钻探

钻探方法是一种比较直观可靠的工程勘察方法，但成本较高。本次采用钻探方法主要是为了验证物探异常，消除物探多解性可能的误判，查明洞体埋深、高度、充填情况并取样试验加深对物探成果的认识，提高物探解释成果的准确性。

现场工作布置图见图 4 所示。

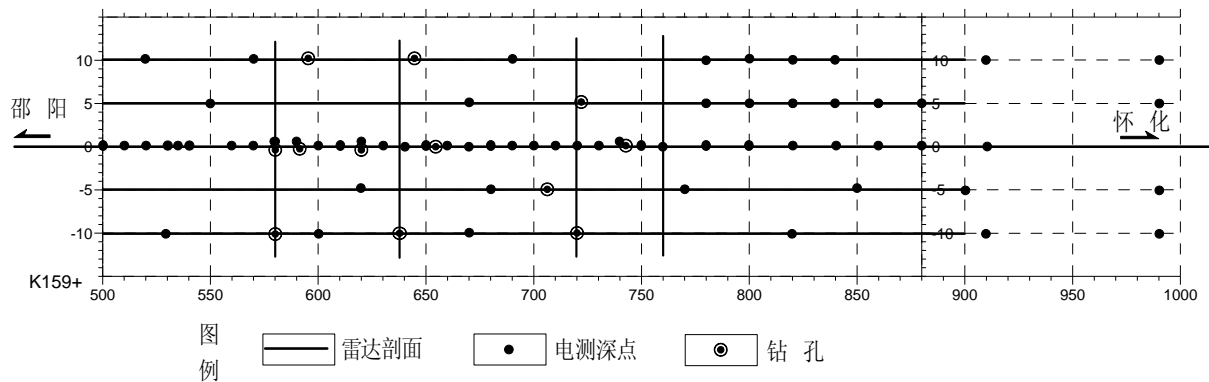


图 4 补充勘察现场工作布置简图

4 勘察成果及资料解释

根据实地钻孔资料的结果可知，原来的采空洞基本上都被充填或坍塌，充填物质主要为粉质填土，很潮湿，呈淤泥状，用物探方法对其进行勘测时应表现为低阻异常。

以下是典型的雷达和三极电测深的探测成果图：

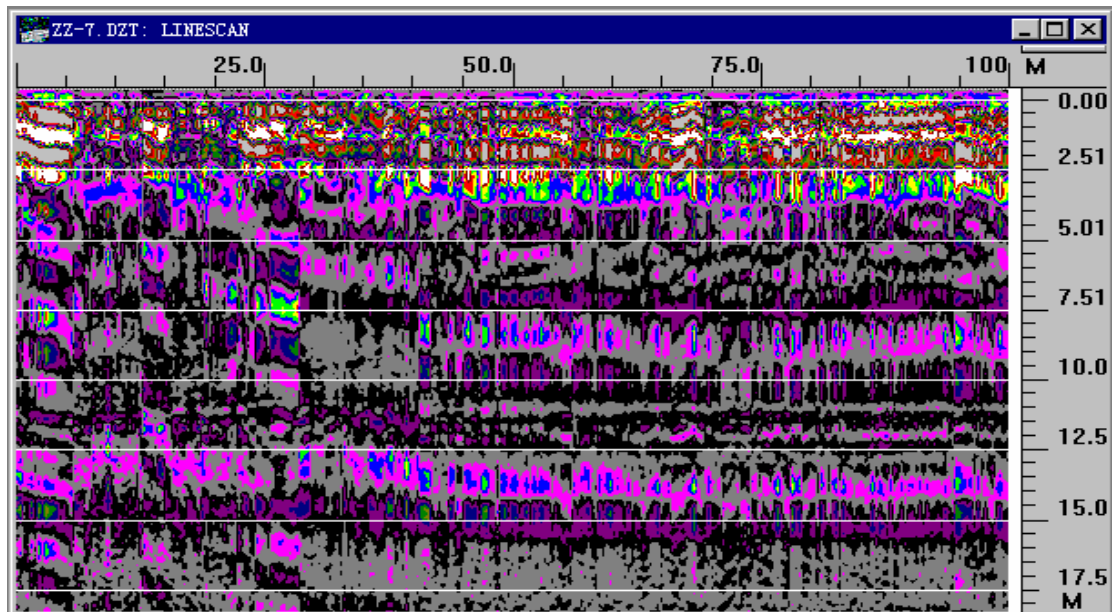


图 5 邵怀高速(左 10m)K159+500~K159+600 雷达探测图像(20MHz)

由图 5 可知：K159+530 附近为涵洞异常；K159+563~K159+564 不密实；K159+570~

K159+575 也有填充不密实反映; K159+597~K159+599 埋深约 3m 处, 存在双曲绕射现象, 估计是局部充填不密实反映。

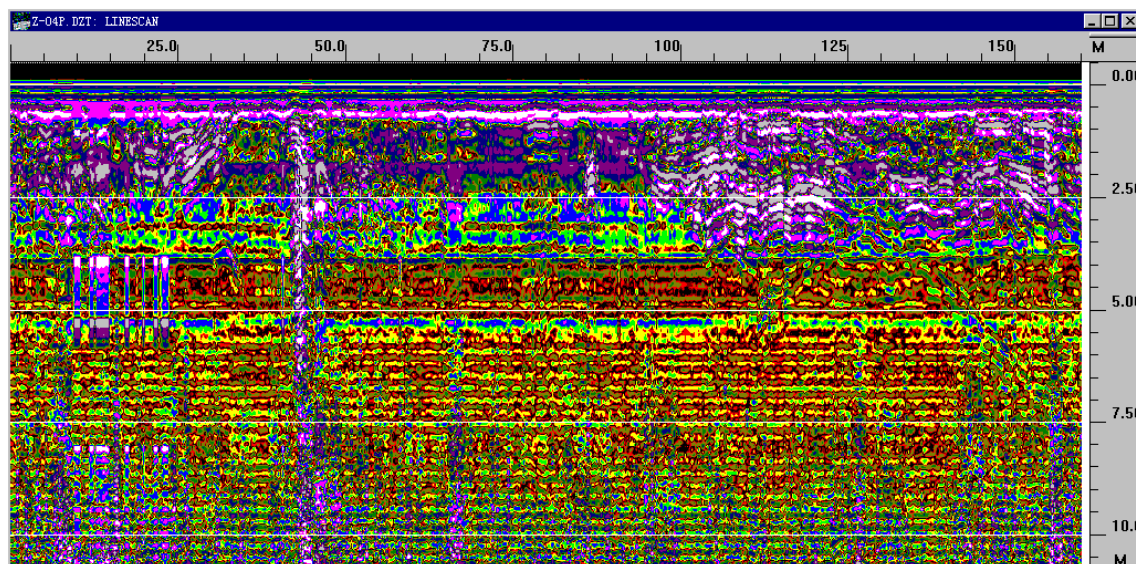


图 6 邵怀高速 (右 5m) K159+600~K159+760 雷达探测图像 (100MHz)

由图 6 可知: K159+613~K159+615 处, 埋深约 4.5m 存在双曲绕射; K159+642~K159+647 埋深约 6m 处存在采空洞; K159+665~K159+667 埋深约 3m 处存在采空洞; K159+710~K159+713 处, 埋深约 4.5m 存在绕射; K159+725~K159+727 埋深约 4m 处存在采空洞; K159+743~K159+749 处, 埋深约 3m 存在绕射现象。

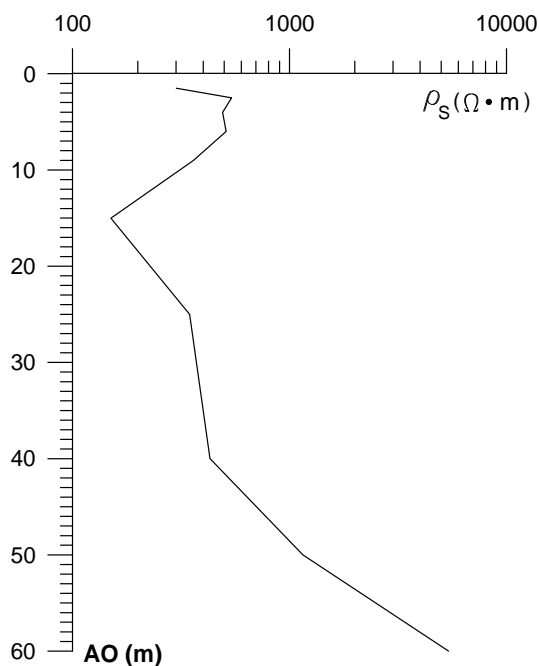


图 7 K159+535 三极电测深视电阻率曲线图

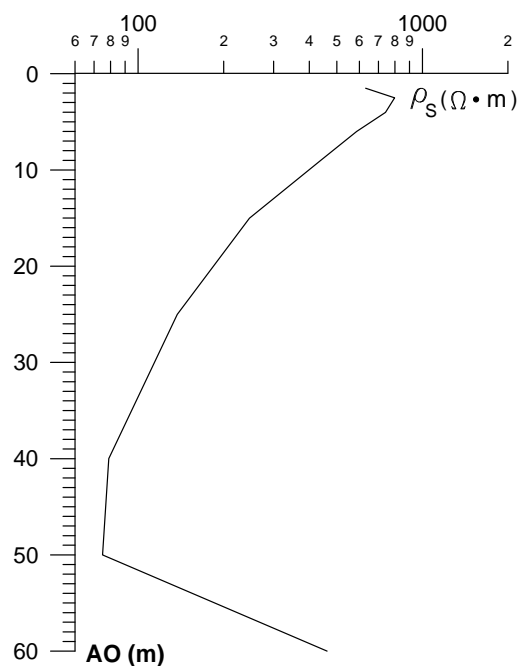


图 8 K159+820 三极电测深视电阻率曲线图

K159+535 测深点位于涵洞的上方,在浅部 $A0 < 10\text{m}$ 内出现了明显高阻,这是涵洞的明显反映。

K159+820 左 10m 处的视电阻率曲线,在 $A0 = 40 \sim 50\text{m}$ 附近出现了明显的低阻异常,可能为充水的溶洞引起,估计其埋深在 15m 左右。

经最后钻孔资料显示,根据雷达和三极电测深方法分析判断的成果和实际情况比较吻合。

5 结语

路基质量是决定高等级公路质量的关键之一。本次勘察采用工程地质分析、地球物理探测与钻探相结合的信息化勘察模式,基本查明了 K159+500~K160+000 路段采空洞(塌陷体)的平面分布位置和空间分布形态。在该路段路基中心线两侧各 15m 范围内,隐伏采空洞(塌陷体)达 19 个,埋深最大达 10.0m,最长 9.0m,宽 $1.2 \sim 2.0\text{m}$,高 $0.5 \sim 2.0\text{m}$,大部分已经被垮塌角砾土、亚粘土和粉渣充填。

实际应用效果表明,应用综合勘察方法对路基工程进行指导,使施工能做到有的放矢,不仅节省大量资金,而且大大加快了施工进度。

参考文献:

- [1] 中南大学.邵怀高速公路第 33B 合同段(K159+500~K160+000)采空区补充工程物探勘察报告.2005, 4
- [2] 李大心.探地雷达方法与应用.北京:地质出版社,1994
- [3] 赵建三,郭云开,唐平英等.探地雷达在公路路基质量检测中的应用研究.长沙交通学院学报. 2003, 3:25-30

作者简介:黄华林,男,1979 年生,现在中南大学攻读地球探测与信息技术硕士学位,主要从事工程物探检测技术、地质灾害等方面的学习研究