

探地雷达在黄衢高速公路 K29—K30 段溶洞探测中的应用

龙期华¹ 邓居智²

(1 核工业 270 研究所 江西南昌县 330200, 2 东华理工学院 江西抚州 344000)

【摘要】 探地雷达是利用电磁波在不同介质中的传播速度不相同的性质, 来确定不同的地层结构, 本文介绍了探地雷达的方法原理, 叙述了其在黄山至衢州高速公路 K29+100 ~ K29+800 段岩溶发育区的应用情况。

【关键词】 探地雷达 岩溶 探测

前言 黄山至衢州高速公路(浙江段) K29—K30 段位于浙江省开化县马金镇下明廉村南侧, 根据钻探资料表明该段冲积平原及马金溪河床上部为卵石层, 厚 2~6 m 不等, 下伏灰岩夹粉砂质页岩, 岩层倾角陡, 灰岩中溶洞发育。因而, 需要查明该路段范围内溶蚀裂隙和溶洞的发育情况, 为桥位及线路选址提供技术依据。

1 探地雷达工作原理

探地雷达方法是一种用于确定地下介质分布特征的广谱电磁波技术。利用发射天线向地下发射无载波电磁脉冲, 接收天线接收反射电磁波的行程时间和强度特征, 从而根据记录的波形特征来判定地下介质的介电性质及几何形态等物理性质, 判定深部地质体结构。其工作原理如图 1。

2 工作方法

2.1 工区地质概况

马金溪河横跨工作区, 河西侧为山间小盆地, 上覆地层主要为第四系冲、洪积的亚砂土、砂层、砾石层; 以东为中低山——丘陵地貌, 出露岩层主要为寒武系上统西阳山组, 岩性为灰黑色含灰岩透镜体泥质灰岩或泥灰岩、瘤状灰岩钙质页岩、炭质页岩。工程地质类型属碳酸岩建造, 为较坚硬、坚硬的薄—厚层状弱岩风化的杂质灰岩、砂岩、页岩岩组, 具有以下工程地质特征: (1) 岩体结构以

薄—厚层状为主; (2) 岩石强度和抗水性较低, 遇水易软化、膨胀, 从而使工程地质条件变差; (3) 岩石发生溶蚀现象, 岩溶形态一般以溶隙小溶洞, 漏斗为主, 仅局部可见较大洞穴。钻孔遇洞率多为(10~46)%, 线岩溶率为(0.24~3.68)%左右。根据 A3—K5、A3—K98—2、

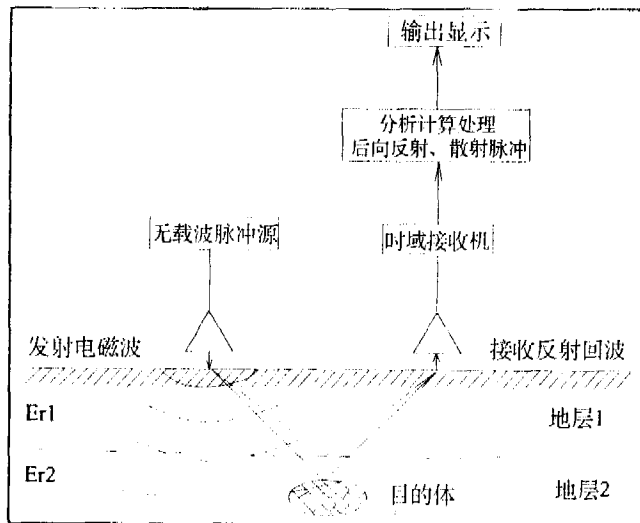


图1 探地雷达工作原理图

A3—K98—3、A2—K89、A2—K92 等已知钻孔的资料,测区地层可分为 4~6 个工程地质分层。现以钻孔 A3—89—3 为例,地层分布如下(自上而下):

- ① 杂填土:堆填土,层厚 1.6m;
- ② 卵石:层厚 3.2m;
- ③ 强风化页岩:层厚 3.8m;
- ④ 破碎带:层厚 3.8m;
- ⑤ 强风化灰岩:层厚 11.2m;

根据区域条件分析,区内灰岩岩溶富水性中等~丰富。

2.2 仪器及工作参数的选择

一、仪器

根据工作任务,选择美国“地球物理测量系统公司”生产的 SIR—2 型探地雷达,该雷达可以配置从 16MHZ 至 1.56GHZ 的天线以完成不同的探测目的。

二、天线

根据探测目的以及野外试验结果,本次探测选用主频为 40MHZ 的天线,天线距为 2m。中心频率可以由空间分辨率 X 及介质相对介电常数 ϵ_r 的大小利用下式确定:

$$f = \frac{150}{x\sqrt{\epsilon_r}} \text{MHZ}$$

当取 $X=1.2$ 米, $\epsilon_r=5$ 时,得 $f=56\text{MHZ}$,而 SIR—2 中与 56MHZ 最接近的天线是 40MHZ 的天线。

三、时窗

时窗的选择主要取决于最大探测深度 $d_{\max}$,通常可以依据下式大致地确定:

$$W \geq 1.3 \frac{2d_{\max}}{v}$$

式中 v 是地下介质的平均雷达波速(单位为 m/ns),由于要求的探测深度 $d_{\max}$ 不小于 25 m,因此取 $v=0.12\text{m/ns}$ 时,得 $w \geq 542\text{ns}$,现场探测时取 $W=600\text{ns}$,其有效探测深度约 30~36 m。

四、采样率

SIR—2 雷达系统的采样率是以记录道的样点数来表示的,并且建议采样率为天线中心频率的 6~10 倍,(我们采用 8 倍),其采样率根据 Nyquist 采样定律可由下式确定:

$$N = \frac{w}{\Delta t} \times n$$

式中 w 为时窗(已选定 $w=600\text{ns}$), $n=8$ $\Delta t = \frac{1000}{f}$,由此求得 $N=192$ 。

五、测线布置及测量方式

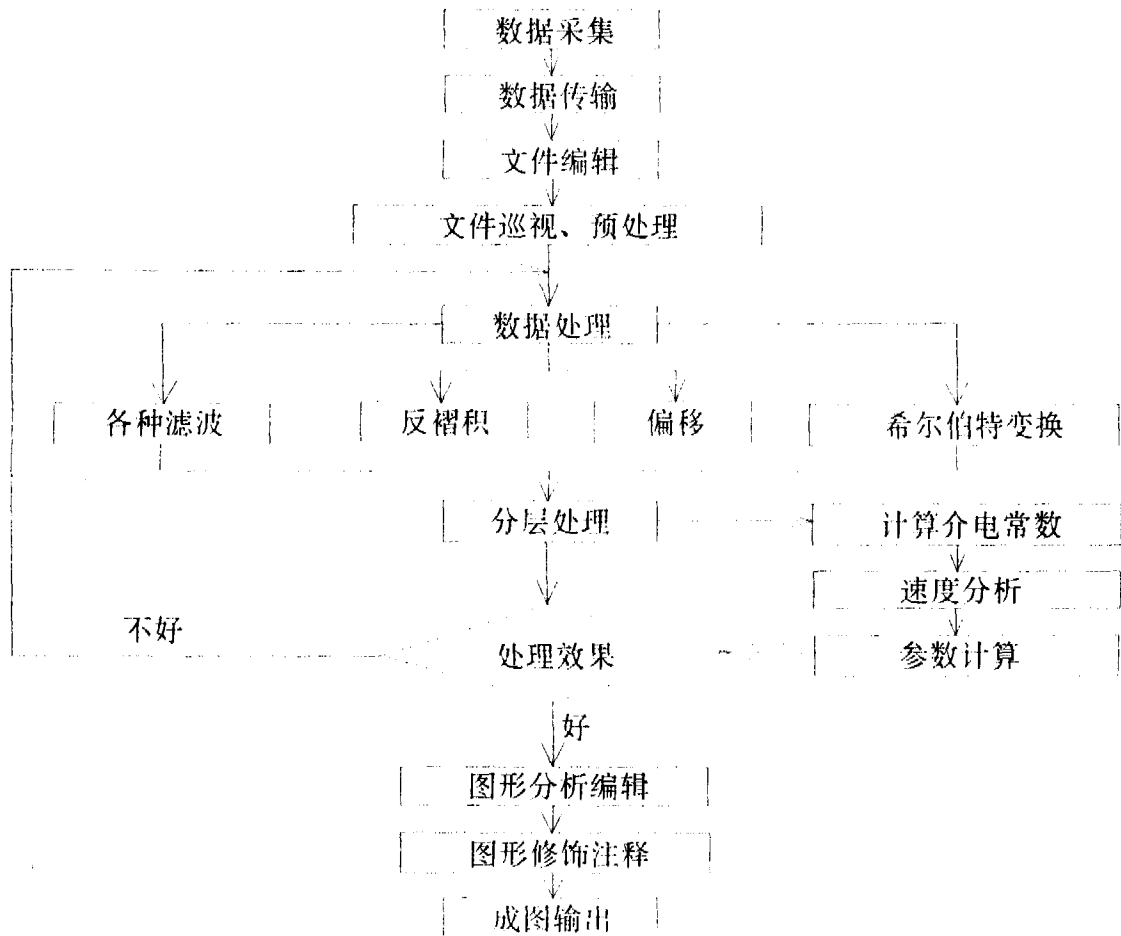


图2 探地雷达数据资料处理流程图

根据要求,测线均沿设计路线 A3 线 A2 线预测选线址进行,另外还布置了 3 条横测线,同时,为追索 A2 线 K29+450 附近的溶洞走向,在 A2 线以东 15 m 布置了一条长 46 m 的平行于 A2 线的测线。在地面上采取点测的测量方式,点距为 0.5 m,压制随机干扰,突出真实信息,每个点叠加 128 次;水面测量由于受客观条件的限制采用连续测量工作方式。

2.3 资料处理与解释

探地雷达数据处理的目的是压制随机的干扰以便最大限度地提取反射波中的各种有用参数,从而在雷达剖面图上能清晰地辨明反射界面的图像,本次所采用的数据处理所用软件是由东华理工学院开发的探地雷达资料处理软件系统。常规的探地雷达数据处理流程如图 2 所示,但是如果原始数据中已经可以分辨清界面的特征,那么尽可能地减少人为主观因素的干预,将是一种明智的选择,在本次工作中,仅对数据进行了常归的数字滤波处理(低通滤波)。目的是压制由于地面不平整所产生的高频干扰。

一、雷达波速的确定

为了确定雷达反射波时间剖面中界面的深度,必须给出雷达波在介质中的速度,由于地下为非均匀介质,因此只能给出一个平均速度。我们考虑了各种综合因素,并在已知钻孔上作

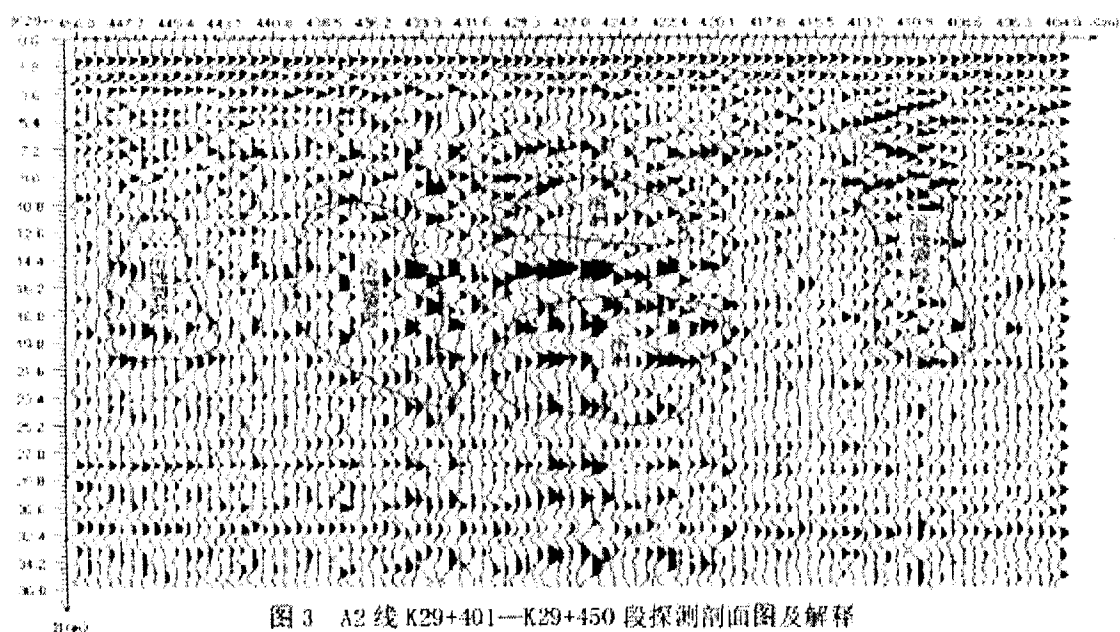


图 3 A2 线 K29+401—K29+450 段探测剖面图及解释

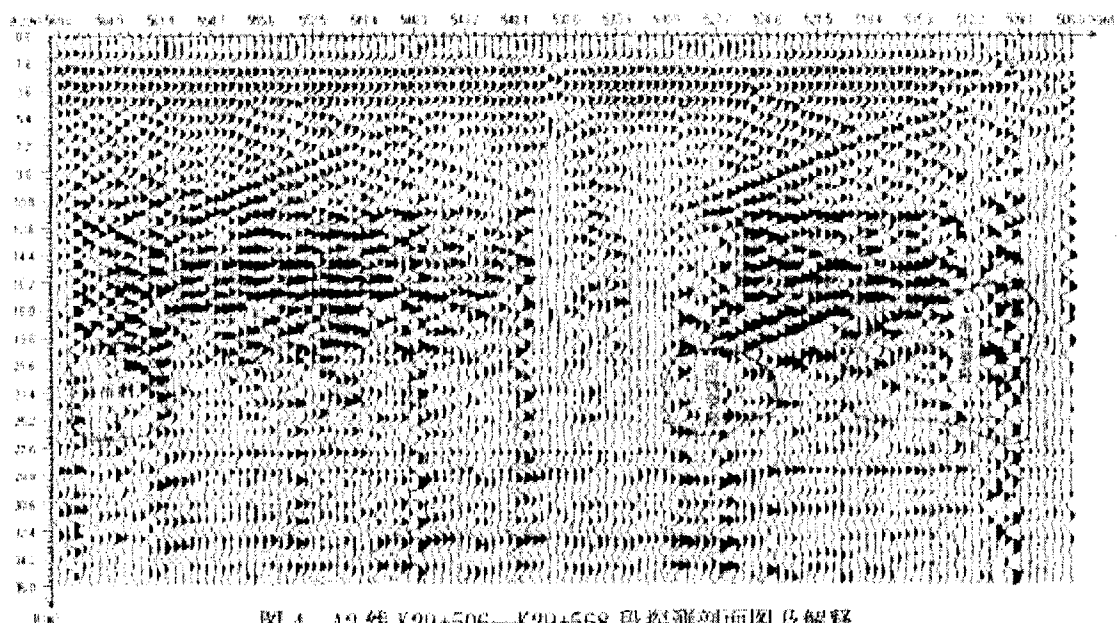


图 4 A2 线 K29+506—K29+568 段探测剖面图及解释

试验, 确定平均波速为 0.12m/ns , 此波速与实际波速不一定完全吻合, 使得由此波速计算出的深度与实际深度可能存在一定的误差。

二、工区各介质雷达反射波的特征

① 第四系覆盖层: 其主要成份为亚粘土、亚粘土, 浅层为耕植土, 雷达波同相轴呈连续、平行的条带状, 强度大, 周期短。在个别地方受下伏灰岩中溶蚀裂隙中地下水的浸蚀, 土体受到扰动, 其下界面同相轴便被错断。

② 灰岩: 致密灰岩的雷达图像特征是非常弱的反射, 其周期较粘土明显增大, 在灰岩内

的某些不规则强反射则是由于局部裂隙内充填的风化物导致的结果。根据这些波形特征还可以在正常地段划分出第四系与灰岩的分界面位置。

③ 溶洞：当溶洞为空洞或充水洞时，洞体内雷达波几乎是没有什么反射的，当溶洞充填物质时，则可见一组较短周期的强而细密的弱反射，这是由洞内土体所产生的。由于溶洞上方土体常被冲蚀，塌陷，所以溶洞上方土层雷达波出现不规则的强反射，同相轴明显被错断（如图 3、图 4）。此次雷达资料综合解释结果见图 5、图 6。

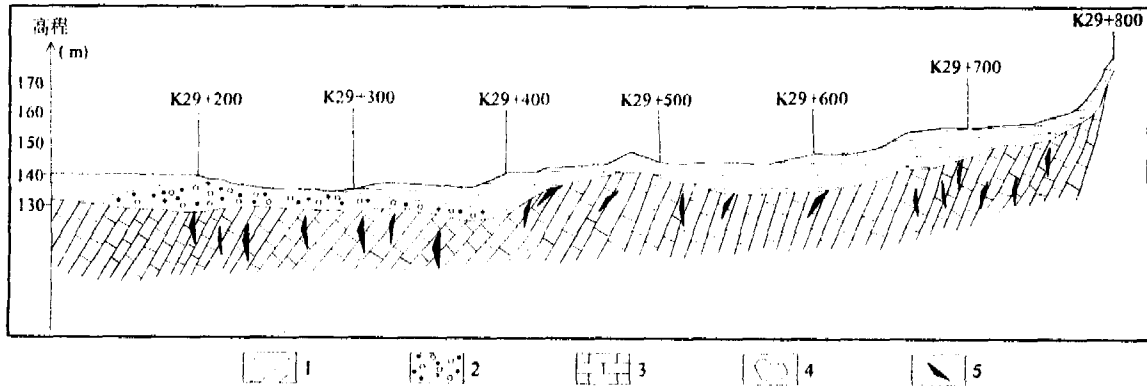


图5 A3线综合推断解释图

1. 亚砂土、亚粘土；2. 砾砂；3. 灰岩；4. 溶蚀；5. 溶蚀裂隙

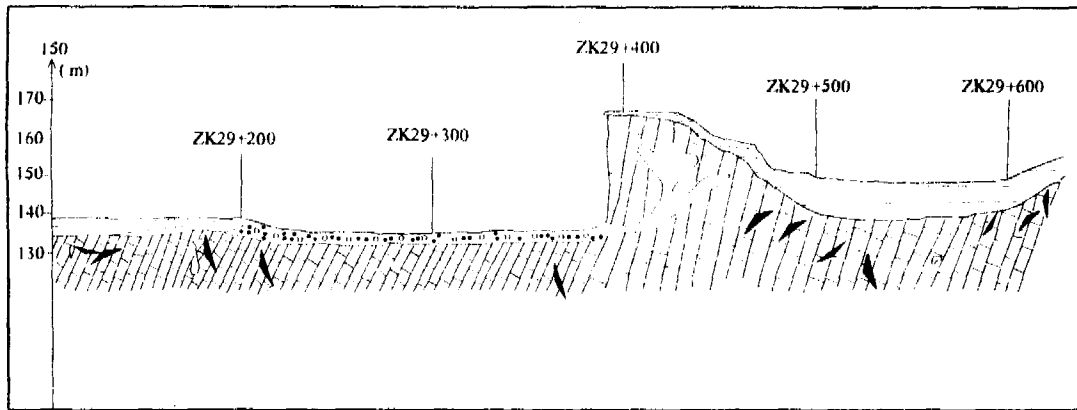


图6 A2线综合推断解释图

3、结论和建议

① 由于在探地雷达野外作业过程中，受到诸如植被发育、地形变化、高空电线、以及水域等众多影响因素的影响，使得雷达探测的深度与实际深度之间可能存在一定的误差，因此在重点地段应开展钻探等其它方法进行佐证。

② A3 线中轴线上共发现溶蚀裂隙 21 处，在 K29+398 的西侧还发现一处溶蚀发育点，具体位置见表二，综合整个 A3 线路的雷达探测结果可以看出，该路线溶蚀裂隙比较发育，但未见有溶洞存在，溶蚀裂隙中均被强风化页岩或第四系所填充。

③ A2 线的中轴位置除发现存在大量的溶蚀裂隙外，在 K29+567 ~ K29+561、K29+439.5 ~

K29+420、K29+184 ~ K29+178.5、K29+113.5 ~ K29+108 等四处的还发现有规模不等的溶洞存在,另 21 号测线的测量结果表明 A2 线中 ZK89 钻孔(里程 ZK29+180)中发现的溶洞没有向两侧扩大的趋势。

④ 18 号测线测量结果表明已知溶洞有向北侧延伸的趋势。根据现场踏勘和雷达探测结果,推断 K29+439.5 ~ K29+420 处的岩洞裂隙群与 K29+388 处的已知溶洞是连通的。

参 考 文 献

[1] 李大心,探地雷达方法与应用[M],北京,地质出版社,1994.

李局长、张总来我所指导铀矿地质工作并调研华东铀矿田

2005 年 4 月 19 至 26 日,核工业地质局局长李德连同志和总工程师张金带同志来我所指导铀矿地质工作并调研华东铀矿田。

4 月 19 日上午,李局长和张总在会议室首先听取了我所副所长兼总工程师邵飞同志关于《华东铀矿地质勘查成果及深入找矿》的专题汇报,之后冒雨参观了我所“华东铀矿实物档案库”和“核工业放射性勘查华东计量站”。下午李局长和张总在邹所长、邵总陪同下,直奔江西境内的盛源铀矿田进行实地考察,而后调研了相山、桃山、河草坑和白面石等铀矿田。李局长和张总每到一个矿田,都对其主要铀矿床进行了实地踏勘,并对矿床的规模、控矿因素、经济技术指标以及扩大的可能性等问题进行了认真深入的调研。

在考察相山矿田期间,李局长、张总一行还专程对“江西省乐安县山南铀矿接替资源勘查”项目进行了工作指导,在肯定了我所为该项目所做的开钻前期准备工作的同时,对该项目的下一步工作做了重要指示:一要有吃大苦、耐大劳的精神,加强技术准备工作,希望技术上要精益求精,组织上要严细周密,真正把该项目完成好;二要增强竞争意识,积极培养竞争能力;三要正确处理找矿与多种经营之间的关系,两项工作都要抓紧抓好,不可偏废。

总工办