

文章编号: 0451-0712(2001)03-0062-03

中图分类号: U456

文献标识码: B

# 地质雷达在隧道工程质量检测中的应用

杨 健<sup>1</sup>, 张 毅<sup>1</sup>, 陈建勋<sup>2</sup>

(1. 陕西省交通厅质监站; 2. 西安公路交通大学 西安市 710064)

**摘 要:** 用无损方法快速、简捷、准确检测隧道工程质量是一个研究方向。文中以地质雷达在我省几座隧道工程质量检测方面的应用为例, 论述了地质雷达在宏观控制隧道工程质量, 并有针对性地采取措施以及消除工程质量隐患等方面的应用可行性。

**关键词:** 地质雷达; 隧道检测; 应用探讨

随着高等级公路向山区发展, 公路隧道的数量、规模越来越大。此类地下工程由于地质条件复杂, 施工环境相对恶劣, 如果施工工艺不规范、工序不严格, 易产生隧道衬砌厚度不足、衬砌与围岩不密实、出现空洞、隧道渗漏水等质量通病, 如不能及时发现并纠正这些质量问题, 将会影响工程的交付使用和营运安全。目前的常规检测方法是钻孔或用激光断面仪进行检测。用钻孔探测衬砌厚度和空洞比较直观, 但易破坏隧道的防排水系统, 影响隧道的使用寿命, 且其检测速度慢, 人为操作判断感觉也易造成误差, 大量抽样不可能, 少量抽样的代表性就较差, 难以反映隧道整体及各部位质量; 用激光断面仪检测, 只能判断衬砌前后的轮廓断面, 即判断开挖轮廓和成型隧道净空是否符合规范要求, 而不能准确得出衬砌混凝土的实际厚度和是否存在空洞现象, 且检测时对桩号、同断面测量要求较高, 不直观又影响其它施工作业。

针对这些不足, 我省采用地质雷达技术对公路隧道进行质量检测, 实践证明, 该技术对探测、分析、判断隧道工程的质量缺陷可起到重要的参考作用。

## 1 地质雷达系统工作原理

地质雷达是一种利用高频脉冲电磁波探测混凝土及下覆介质分布形态的一种无损检测。由发射机通过天线向混凝土中发射高频宽带电磁波, 接收机接收来自介质的反射信号。电磁波在介质中传播时, 因介质电磁性变化或介质几何形状改变而

产生相位及回波能量、波形的变化。通过计算机使用不同的滤波程序对反射波运行时间、回波能量分布及波形进行处理和分析, 从而推断地下地质结构。地质雷达工作原理见图 1。

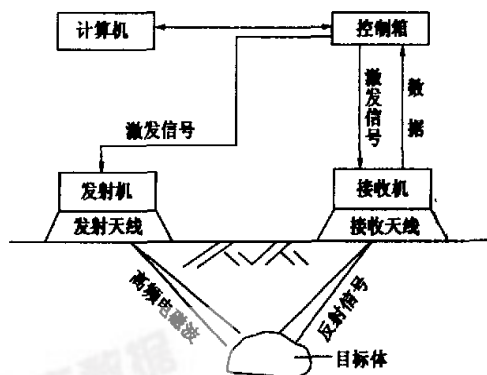


图 1 地质雷达工作原理

## 2 工程实例及图形分析

1999 年 9 月对 108 国道上一隧道混凝土衬砌质量实施地质雷达系统探测, 目的是查明拱顶混凝土衬砌厚度、隧道衬砌与围岩间有无空洞。

### 2.1 工程概况

该隧道全长 1 670 m, 隧道净宽为  $9+2 \times 0.75$  m (检修道), 净高 5.0 m, 隧道穿越的山体为单斜的变质岩层, 地质构造简单、地壳稳定性良好, 围岩类别多为 IV ~ V 类, 断层破裂带一般为 I ~ II 类, 隧道进出口带为 II 类围岩, 拱顶混凝土衬砌设计厚度为:

K12+920~K12+930 段 60 cm; K12+930~K12+955 段 50 cm; K12+955~K13+235 段 35 cm; K13+235~K13+250 段 50 cm; K13+250~K14+550 段 35 cm; K14+550~K14+570 段 50 cm; K14+575~K14+590 段 60 cm, 混凝土衬砌设计强度为 25 MPa。

## 2.2 检测仪器及性能

本次检测使用 RAMAC/GPR 地质雷达系统, 400 MHz 天线, 采用距离激发连续点测, 测点间距

0.2 m, 同时结合使用列支墩 TET2 工程电钻, 进一步验证雷达探测结果。

## 2.3 测线及钻孔布置

根据常规容易出现问题的部位, 本次检测仅在隧道拱顶部位布置两条测线, 一条测线布置于拱顶正中, 一条测线布置于拱顶中线东侧 2.5~3.0 m 的位置 (详见图 2), 钻孔按《公路工程质量检验评定标准》规定每 40 m 取钻孔一处, 全拱顶钻孔 40 多个。

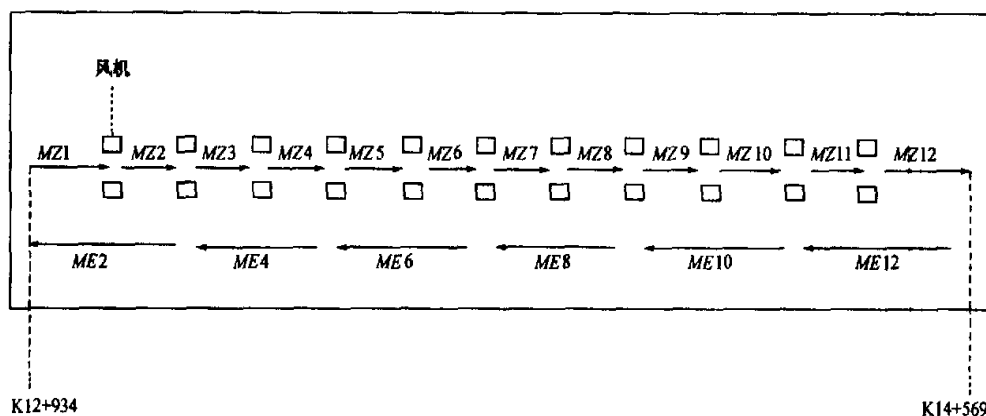


图2 隧道测线布置示意

## 2.4 地质雷达剖面图波形分析

由于受拱顶圆弧面的限制, 在探测中天线无法贴靠拱壁移动, 天线距混凝土表面有 10~20 cm 距

离, 因此, 剖面图中零点需相应下移 10~20 cm (详见地质雷达剖面图, 由于剖面图较多, 这里仅附一张为例见图 3)。

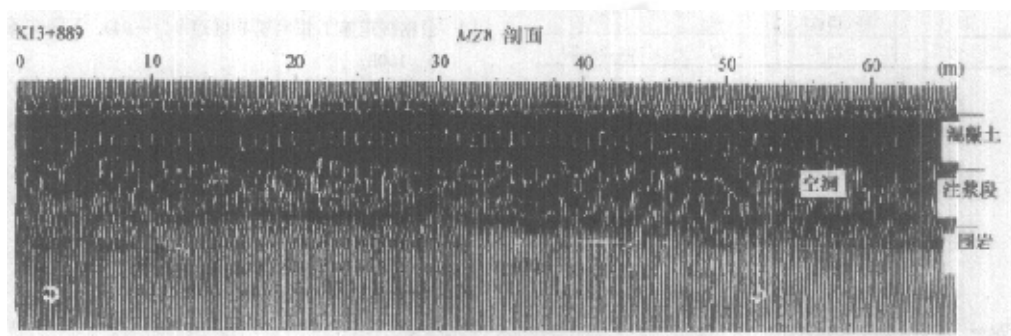


图3 地质雷达剖面图

剖面图可明显分出三个不同的水平层:

第一层反射波同相轴一致且平整, 但各处厚度不同, 显示为衬砌混凝土厚度。

第二层反射波同相轴多数不一致, 回波能量随介质密度减小而减小, 且有一定的异向杂波干扰, 显

示为混凝土与围岩交界的注浆充填段, 个别剖面中有空洞反射波形。

第三层回波能量减弱, 但反射波相轴基本一致, 显示为完整岩石段, 局部有杂波干扰, 为围岩裂隙带所致。

## 2.5 地质雷达检测与钻孔检测结果比较

在钻孔检测中,原则上拱顶每隔 40 m 钻芯一处。地质雷达系统则采用距离激发连续点测,测点间距 0.2 m,对每一个测线编号段进行统计,下面是地质雷达系统所测拱顶的厚度、空洞与电钻取样数值的对比,见表 1 和表 2。

表 1 地质雷达与电钻取样检测结果对比

测线 编号	电钻取样检测结果/cm		地质雷达检测结果/cm	
	衬砌平均厚	空洞深度	衬砌平均厚	空洞深度
MZ1	30	12	46	
MZ2	40		43	
MZ3	35	4	44	
MZ4	38	23.7	35	32
MZ5	38		35	
MZ6	40		36	
MZ7	35		34	34
MZ8	40		37	20
MZ9	32		36	
MZ10	36	5	36	34
MZ11	41		42	
MZ12	35.5	28	44	

表 2 几座隧道地质雷达与电钻取样检测结果对比

隧道 编号	电钻取样检测结果/cm		地质雷达检测结果/cm	
	衬砌平均厚度	空洞深度	衬砌平均厚度	空洞深度
A	24.3	50,39,12,8	25	20,20,22,23
B	28	6,20,62	26	28,43,151
C	30	30	28	30
D	32.4	16,45,12	34	30
E	27	13	27	26,25,23

## 3 结论

地质雷达系统检测隧道工程质量已在我省几座隧道中得到应用,其中既有黄土隧道、也有围岩较好的石质隧道,在此就不一一列举,通过这些数据对比分析,不难得出以下结论:

(1)随着公路隧道规模、数量的增加,对隧道工程质量的要求也会越来越高,迫切需要一种快速、简便、准确的科学手段检测隧道工程质量,而采用无损检测是一个研究方向,大势所趋,地质雷达系统只是其中的一种。

(2)地质雷达检测技术的关键在于数据的采集操作过程和剖面图波形的分析判断。

(3)地质雷达系统在检测隧道工程质量,特别是在判断隧道衬砌厚度、空洞等方面有一定的科学性、准确性,可作为建设者、决策者控制和评价工程质量的检测手段,宏观掌握施工质量,针对性地采取有效的措施,消灭工程质量隐患,保证工程质量。

(4)地质雷达系统检测隧道工程质量还处于探讨阶段,尚需作为专项课题进一步研究,以提高其检测成果的准确率。

## 参考文献:

- [1] 于书翰,杜漠远. 隧道施工. 人民交通出版社,1999.
- [2] 吕康成. 隧道工程试验检测技术. 人民交通出版社,1999.
- [3] 公路工程质量检验评定标准(JTJ 071-98). 人民交通出版社,1999.
- [4] 公路隧道施工技术规范(JTJ 042-94). 人民交通出版社,1995.

# Study on Application of Geology-Radar to Tunnel Engineering Quality Inspection

Yang Jian<sup>1</sup>, Zhang Yi<sup>2</sup>, Chen Jianxun<sup>3</sup>

(1. 2. Shanxi Provincial Quality Inspection Department, Xi'an, China; 3. Xi'an Highway Communications University, Xi'an 610064, China)

**Abstract:** It is a study direction that tunnel engineering quality is rapidly, simply and accurately inspected by a way of no-damage. Based on application of the geology-radar to several tunnel engineering quality inspections of Shanxi province, this paper discusses applications feasibility of the geology radar to controlling tunnel engineering quality and eliminating hidden engineering quality dangers.

**Key words:** Geology-radar; Tunnel inspection; Study on application