

****工程**
地质雷达隧道初衬

检测报告

工程名称: _____

工程地点: _____

委托单位: _____

报告编号: _____

报告页数: _____

****检测有限公司**

二〇一五年十一月十六日

****工程**
地质雷达隧道初衬报告

检测人员：

报告编写：

校 核：

审 核：

批 准：

声明：

1. 报告无计量认证章、资质专用章无效；
2. 报告无报告人、审核人、批批准人签章无效；
3. 报告涂改、换页、错页无效，无骑缝章无效；
- 4 未经书面同意不得复制或作为他用；

因抽样方法不当或检测数量不足等非检测方原因导致检测结果不满足相应技术标准或设计要求及由此产生的后果，检测方不承担相应责任；

5. 如对本检测报告有异议或需要说明之处，可在报告发出后 15 日内向本检测单位提出书面意见，本单位将于 5 日内给予答复。

地址：
电话：

邮政编码：
联系人：

目录

一、工程概况	1
二、工作原理	1
1、雷达探测原理	1
2、地球物理特性	2
三、工作方法及技术.....	2
1、仪器设备及参数选择.....	2
2、测线布置	2
3、雷达探测有效性分析.....	3
四、资料处理及判断.....	4
五、成果分析解释.....	5
六、检测结论	6

一、工程概况

****高速公路位于**省**市境内，是**省高速公路规划网中的省级干线公路**至**高速公路的重要一段，也是**省西北部通往**的主要出口道路之一。

路线全长**km，所经区域主要为侵蚀堆积山间河谷和侵蚀剥蚀低山丘陵地貌。侵蚀剥蚀低山丘陵区分布于本路段除河流两岸以外地区，岩性主要为砂岩、砾岩、粉砂岩、泥岩、泥质粉砂岩等，节理发育，风化较严重。

高速*合同段起止桩号为K41+500~K43+300，全长1.8公里。**隧道进口属侵蚀剥蚀低山丘陵区（Ⅱ），山体走向近东西向。隧道穿越低山丘陵区，地形起伏较大。隧道区地下水水量贫乏，主要为基岩裂隙水和松散岩类空隙水，水文地质条件较简单。隧道区围岩为粉砂质泥岩、砂岩及未胶结的砾岩，抗风化能力较弱。左线（*****~*****）全长960米，Ⅳ级围岩820米，Ⅴ级围岩140米，右线（*****~*****）全长1080米，Ⅳ级围岩840米，Ⅴ级围岩240米，属混合交通。

二、工作原理

1、雷达探测原理

探地雷达法的工作原理是用无载波高速脉冲作为探测地下目标的信号源，其脉冲参数因目标探测要求而定。用宽带天线将高速脉冲换成脉冲电磁波进行辐射，一部分经发射天线直接到达接收天线形成直达波，可用作地下目标深度的参考；一部分进入地下传播，当遇到地下目标或不同媒质界面时产生反射，反射的电磁波经地表到接收天线形成反射波，反射波相对地表反射的直达波出现的时间是电磁波从地表到目标再从目标到地表传播所需的时间。当电磁波在地下传播的速度已知时，即可求出地下目标或地下界面的深度，并且反射波带有地下目标和地下媒质的性质信息，对反射波进行分析，可以确定地下目标的性质。当发射天线和接收天线在地表的相对位置固定，而共同移动时可以得到一组反射波，将这一组反射波表现出来，就可得到地下目标相对地表的位置信息，从而发现地下目标。由于电磁波在不同电性，不同形态的介质中传播时，其路径、强度、波形均随之变化，因而可根据测得的波的传播时间、幅度、波形来判断介质的结构与深度。雷达图形以脉冲反射波形展示，正负峰以黑、白色区分，其同相轴可形象地表示地

下目标体的反射面。

2、地球物理特性

探地雷达是通过脉冲电磁波在地下的辐射、散射和反射所携带的地下电磁参数来判断地下目标的分布与存在，探测地下目标实质就是测量地下电磁参数。现将与隧道有关媒质的电磁参数列于表 1。

介质电磁参数				表 1	
媒质	相对介电常数 ϵ_r	电导率 σ (ms*m-1)	电磁波速 $V(m*ns^{-1})$	衰减系数 α (db* m ⁻¹)	电阻率 ρ ($\Omega * m$)
空气	1	0	0.3	0	
淡水	80	0.5	0.033	0.1	10000
湿砂	20~30	0.1~1	0.06	0.03~0.3	200~1000
泥砂	5~30	1~100	0.07	1~100	
混凝土	4~6 (16)				

由上述隧道围岩的电磁波速参数分布特征可见，检测初支厚度具备运用探地雷达法的地球物理前提。当隧道衬砌层内具有空洞或不密实隐患时相应部位的电磁波速会产生明显的变化，因此采用探地雷达检测隧道工程质量具备地球物理前提。

三、工作方法及技术

1 、仪器设备及参数选择

本次雷达检测采用上海岩联工程技术有限公司研制的 YL-GPR 无线一体化探地雷达。天线频率 400MHz，使用测距轮自动记录、连续采集方式，采集时窗口为 30ns。

- 1) 天线中心频率选择：通常雷达垂直分辨率用 1/4 波长表示。当天线中心频率为 400MHz， $V=0.1m/ns$ 时，垂直分辨率可达 0.06m。
- 2) 时窗选择：时窗是指用时间 (ns) 数表示的探测深度的范围。如当最大探测深度为 3m，电磁波速为 0.10m/ns 时，最小时窗 $t_w=60ns$ 。
- 3) 增益选择：自动增益。

2 、测线布置

根据检测方案，隧道初期支护厚度及背后空洞检测分别沿隧道纵向连续检测和沿隧

道环向断面检测。沿隧道纵向连续检测时，在隧道断面上布设 7 条测线，测线如图 1 所示。

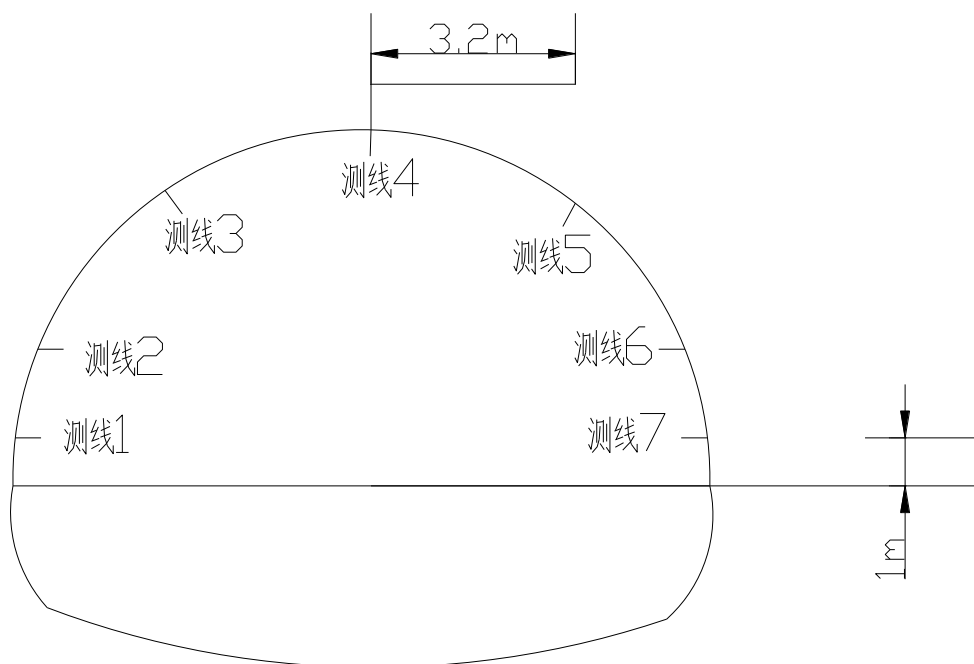


图 1 沿隧道纵向连续检测雷达测线布置图

本次检测，根据现场实际施工情况，左线纵向连续检测里程***+650

3 、雷达探测有效性分析

1) 雷达探测分辨力：

探地雷达的垂直分辨力是指对地下目标的垂直定位准确度，它与发射脉冲的前沿和宽度有关。由于直达波的存在，探地雷达在直达波的区域中反射波无法分辨或很难分辨，减少盲区则要减少发射脉冲的宽度；分辨的准确度在于接收波形的时间分辨力，它由接收系统的有效带宽决定。地下目标的垂直分辨力可由下式计算： $\Delta L = V * \Delta t / 2$ 其中 Δt 由接收系统的有效带宽决定。

探地雷达的水平分辨力是指对两个同等深度的地下目标的分辨程度，它取决于脉冲电磁波在地下的扩散程度，即束宽。当收发天线一体时，水平分辨力与地下媒质衰减常数和地下目标深度有关。一般为： $\Delta X = 4D \left(\frac{\ln 2}{2 + \alpha * D} \right)^{1/2}$ 。

2) 探测深度评估：探测深度是指对目标体顶界面埋藏深度的探测能力。当目标体埋藏深度超过探测深度 50%时，雷达探测法不应被采用。由理论公式与实践统计，由媒质的视电阻率估算探测深度如表 2：

视电阻率与探测深度关系表 2

视电阻率/ $\Omega\text{ m}$	10000	1000	500	100
探测深度/m	20	6.3	4.5	2

根据隧道煤质的视电阻率，要求探测 1.5m 的有效深度是可以实现的。本次测试时窗采用 30ns，电磁波速取为 0.10m/ns，最大探测深度为 1.5m。

3) 目标体与围岩电性差异评估：雷达探测要求目标体与围岩的相对介电常数和视电阻率的差异明显。电性差异越大，界面反射系数越大，探测效果越好。由理论公式估算，要求目标体的功率反射系数大于 0.01。当围岩或混凝土内含有空洞时，其功率反射系数可达 1.14，满足理论上的要求。

4) 现场数据采集

采用连续扫描探测法。以隧道内里程桩号为基准，纵向连续检测时，断面测线上每 10 米作一标志，以便确认异常位置。

四、资料处理及判断

雷达数据的处理流程如图 2。

除图中所述一般处理外，雷达数据尚有一些特殊处理：

水平及垂直高通滤波——消除平直横跳的系统噪音。

水平及垂直低通滤波——消除高频噪音。

反褶积滤波——消除多次波。

偏移滤波——消除饶射波和倾斜干扰波。

空间域滤波——增加倾斜界面信号。

本次采集的雷达数据经零点校正、剖面距离校正及增益调整后，根据雷达波形构成的同相轴，以人机交互方式进行资料解释，勾画出初支与围岩的界面。



图 2 雷达数据的处理流程

五、成果分析解释

初期支护厚度的数据以里程桩号为顺序，纵向连续检测从起始桩号开始，按每间隔 5m 将隧道初支厚度以成果表的形式给出，如表3：

隧道初期支护厚度统计表 表 3

里程桩号	围岩类型	设计厚度 (cm)	检测厚度 (cm)		
			最大值	最小值	平均值
****~****	IV	20	24	22	23
****~****	IV	20	25	22	23
****~****	IV	20	22	20	21
****~****	IV	20	23	21	22
****~****	IV	20	22	21	22
****~****	IV	20	22	20	21
****~****	IV	20	23	21	22
****~****	IV	20	21	20	21

****~****	IV	20	22	20	21
****~****	IV	20	24	22	23

由雷达剖面经数据处理后确定的隧道病害情况，如下表：

测线位置	桩号	长度（m）	病害描述
右下边墙	****~****	0.7	不密实
	****~****	0.5	空洞
左边墙	****~****	1.0	不密实
左下边墙	****~****	0.8	不密实

六、检测结论

本次检测采用以探地雷达法，通过纵向连续检测以及环向断面检测对初支实际厚度和背后空洞情况作了详细调查，取得了较好的效果。从初次支护厚度统计表可以看出，初支实际厚度与设计厚度相比，各段初支检测厚度的平均值略高于设计厚度，本次检测里程段内的初支厚度总体已基本达到设计要求。

但部分地段通过检测发现初支背后存在空洞和喷射混凝土不密实，建议压浆处理。