

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1289—2019

公路隧道地质雷达检测技术规程

Code for Ground Penetrating Radar Detecting Technology of Highway Tunnel

2019 – 11 – 27 发布

2019 – 12 – 27 实施

陕西省市场监督管理局

发 布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和符号..... 1

4 一般规定..... 2

5 现场检测..... 3

6 结果整理..... 6

7 检测报告..... 7

附录 A（规范性附录） 隧道地质雷达检测原始记录表..... 2

附录 B（资料性附录） 隧道地质雷达检测结果汇总表..... 3

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由陕西省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：陕西省高速公路建设集团公司、陕西高速公路工程试验检测有限公司。

本标准主要起草人：张士兵、邵永军、王小雄、张建、张钊、李金华、刘媛媛、王心刚、田利军。

本标准由陕西高速公路工程试验检测有限公司负责解释。

本标准首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西高速公路工程试验检测有限公司

电话：029-84311811

地址：西安市丰产路57号

邮编：710086

公路隧道地质雷达监测技术规程

1 范围

本标准规定了公路工程隧道地质雷达检测的技术要求。
本标准适用于公路在建隧道和已建隧道衬砌、仰拱质量检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

3 术语和符号

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

地质雷达法 ground penetrating radar method

向被测物发射高频电磁波，根据接收到的电磁波波形、振幅强度和时间变化等特征，推断被测介质的空间位置、结构形态的一种方法。

3.1.2

介电常数 dielectric constant

物质在外加电场作用下储存极化电荷的能力，是一个点的电位移与电场强度的比值。

3.1.3

相对介电常数 relative dielectric constant

介质的介电常数与真空中介电常数的比值。

3.1.4

中心频率 center frequency

天线通频带频率的算术平均值。

3.1.5

道 trace

数据采集得到的一道波形。

3.1.6

道间距 trace interval

两道波形之间的距离。

3.1.7

采样率 sampling rate

单位时间内采样信号数量。

3.1.8

双程走时 two way travel time

天线电磁波信号由发射至反射接收所经历的时间。

3.1.9

时窗 time window

电磁波信号采集的时间范围。

3.1.10

电磁波波速 Electromagnetic wave velocity

电磁波在介质中的传播速度。

3.1.11

增益 gain

对电磁波波信号进行放大或补偿的处理。

3.2 符号

ε_r —相对介电常数；

λ —地质雷达天线发射信号主频的波长；

d —检测和标定目标体的厚度(或距离)；

f —天线中心频率；

S —采样率；

t —双程旅行时间；

v —电磁波速。

4 一般规定

4.1 基本要求

4.1.1 收集隧道设计、施工资料，结合隧道现场状况，编制检测大纲。

4.1.2 现场检测前应勘查现场工作条件和环境状况。

4.1.3 检测前应对衬砌混凝土的介电常数或电磁波波速进行现场标定。

4.1.4 已建隧道工程技术状况检查、专项检查，应根据检测目的布置测线。隧道病害检测时检测长度范围超出病害范围一般应不少于 10m。

4.1.5 纵向布设地质雷达测线时应采用连续测量方式，特殊地段或现场条件有限时可采用单点触发采集。

4.1.6 检测发现疑似缺陷时，应复测、验证，并进行标记。

4.2 仪器设备

4.2.1 地质雷达主机性能指标应符合下列要求：

- a) 系统增益大不低于 150dB；
- b) 信噪比不低于 60dB；
- c) 不低于 16 位的模数 (A/D) 转换器；
- d) 信号迭加次数可选择 128 次或 256 次；
- e) 具备较小的采样间隔，一般不大于 0.2ns，具备较高的采样点；
- f) 具有等时间测量模式、等距离测量模式和点测量模式；
- g) 具有手动和自动位置标记功能；
- h) 可选择不同频率的天线工作；
- i) 具有现场数据处理功能。

4.2.2 地质雷达天线技术指标应符合下列要求：

- a) 天线中心频率在 200MHz~1000MHz 之间，具有屏蔽功能；
- b) 最大探测深度应大于探测目标体厚度；
- c) 衬砌检测用天线垂直分辨率应高于 2cm，仰拱深度及回填层密实状况检测用天线垂直分辨率应高于 10cm。

5 现场检测

5.1 主要内容

地质雷达法适用公路隧道检测主要包括：

- a) 初期支护：厚度、密实状况、钢拱架分布；
- b) 二次衬砌：厚度、密实状况、钢筋及预埋管件分布；
- c) 仰拱：厚度、回填层密实状况、钢拱架分布。

5.2 检测频率

5.2.1 在建隧道施工阶段检测时，测线布置应以纵向布置为主，横向布置为辅。单洞两车道隧道应分别在隧道拱顶、左右拱腰、左右边墙布置不少于 5 条测线，单洞三车道隧道应在隧道拱腰部位增加不少于 2 条测线，遇到初期支护、二次衬砌有缺陷的位置应加密布设测线。

5.2.2 已建隧道检测频率根据检测目的确定。

5.2.3 交工验收阶段检测时，测线布置应以纵向布置为主，横向布置为辅。单洞两车道隧道应分别在隧道的拱顶、左右拱腰布置共 3 条测线，单洞三车道隧道应在隧道拱腰部位增加 2 条测线，遇到初期支护、二次衬砌有缺陷的位置应加密布设测线。

5.2.4 仰拱检测测线布置应以纵向布置为主，横向布置为辅。应分别在每车道布设不少于 1 条纵向测线，遇到有缺陷的位置应加密布设测线。

5.2.5 测线应布设在距离电线等电磁干扰源 2m 以外。

5.3 天线选型

公路隧道地质雷达天线频率选用宜符合表1规定。

表 1 公路隧道地质雷达天线频率选用参照表

单位为：MHz

检测内容		天线选用
初期支护	厚度	800~1000 频率
	密实状况	
	钢拱架分布	
二次衬砌	厚度	400~800 频率
	密实状况	
	钢筋及预埋管件分布	
仰拱厚度、回填层密实状况		200~400 频率

5.4 操作规定

5.4.1 准备内容

准备内容具体如下：

- a) 检测前现场查看隧道待测位置，了解检测作业条件及施工过程中出现的地质灾害情况和处置措施；
- b) 在边墙位置标记里程桩号，间距宜为 10m。

5.4.2 参数确定

5.4.2.1 隧道衬砌和仰拱地质雷达检测时窗宜符合表 2 的规定。

表 2 公路隧道地质雷达时窗选择参照表

单位为：ns

检测对象	时窗取值范围
初期支护	20~30
二次衬砌	30~40
仰拱及回填层	30~70

5.4.2.2 采样率和采样点数应符合下列要求：

- a) 纵向布设地质雷达测线，道间距不大于 2cm；单点触发采集时，点距不得大于 5cm。
- b) 采样点宜大于 6 倍天线中心频率与时窗的乘积；
- c) 采样率应大于反射波最高频率 2 倍，采用公式（1）计算：

$$S = 2 \cdot w \cdot f \cdot k \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S —采样率；

w —时窗长度（ns）；

k —调整系数，一般取6-10；

f —地质雷达天线的频率（MHz）。

5.4.2.3 地质雷达电磁波波速应按以下方法计算，现场可根据实际情况选择：

- a) 利用已知厚度目标体计算电磁波波速，目标体厚度应不小于 15cm，且厚度已知。界面反射信号清晰、准确。电磁波波速采用公式（2）计算：

$$v = \frac{2d}{t} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

v —电磁波波速 (m/ns)；
 d —目标体的厚度或距离 (m)；
 t —双程旅行时间 (ns)。

- b) 利用已知介质相对介电常数计算地质雷达电磁波波速，采用公式（3）计算：

$$v = \frac{d}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

v —电磁波波速 (m/ns)；
 d —目标体的厚度（埋深或距离） (m)；
 ϵ_r —相对介电常数。

- 5.4.2.4 介电常数确定方法是在检测位置上钻孔取芯，取得目标体厚度；在隧道已知厚度部位或混凝土材质相同的其他构件上测量，取得双程走时。相对介电常数采用公式（4）计算：

$$\epsilon_r = (0.3t/2d)^2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

t —地质雷达波双程走时 (ns)；
 d —目标体的厚度（埋深或距离） (m)；
 ϵ_r —相对介电常数。

- 5.4.2.5 垂直分辨率是地质雷达天线电磁波传播方向上的可分辨最小长度，理论上可把地质雷达天线主频波长的 1/8 作为垂直分辨率的极限，考虑外界干扰，可将波长的 1/4~1/8 作为其垂直分辨率。

- 5.4.2.6 水平分辨率是地质雷达在水平方向上所能分辨的最小长度。水平分辨率为 $d_F/4$ ， d_F 为第一 Fresnel 带直径，采用公式（5）计算：

$$d_F = \sqrt{\lambda d/2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

d_F —第一 Fresnel 带直径 (m)；
 λ —地质雷达天线的中心波长 (m)；
 d —目标体厚度（埋深或距离） (m)。

5.4.3 操作要点

- 5.4.3.1 检查主机、天线状态，使之均处于正常状态。

- 5.4.3.2 介电常数或电磁波波速现场标定每座隧道不应少于 1 处，每处实测不少于 3 次，取其平均值作为该隧道的介电常数或电磁波波速。当衬砌材料发生变化时，需增加标定点数。现场标定可在衬砌裸露端头测量其混凝土厚度，或在地质雷达测线上钻取衬砌混凝土芯样，测量芯样厚度，从地质雷达图像上读出裸露位置或钻芯混凝土反射层的双程旅行时间，计算介电常数或电磁波波速。

- 5.4.3.3 地质雷达天线与被测面紧密贴合，天线移动速度宜为 3km/h~5km/h，记录天线移动距离和标记点对应关系，每隔 100m 进行一次距离校准。

5.4.3.4 连续检测时优先采用距离触发采集，时间采集应保持匀速行进。

5.4.3.5 在被测物表面标记天线移动轨迹。

5.4.3.6 分段检测时，相邻段落搭接长度不小于 1m。

5.4.3.7 隧道检测作业应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5.5 数据处理与解译

5.5.1 数据处理与解译应符合图 1 的规定。

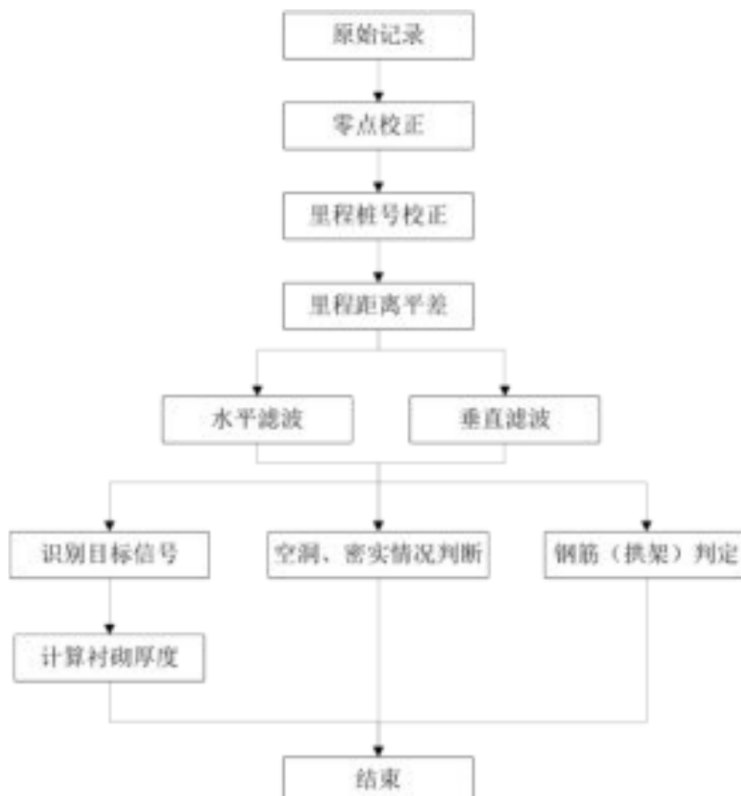


图 1 数据处理与解译流程图

5.5.2 数据处理时应结合具体数据特点，遵循压制干扰信号、突出有效信号的原则。

6 结果整理

6.1 数据判释

6.1.1 衬砌及仰拱密实程度主要判译特征如下：

- a) 密实：信号幅度较弱，界面反射信号不明显；
- b) 不密实：界面反射信号强，同相轴不连续，错断，杂乱；
- c) 空洞：界面反射信号强，三振相明显，下部反射界面信较强。

6.1.2 衬砌内部钢拱架、钢筋位置分布主要判定特征如下：

- a) 钢拱架：反射信号强，呈月牙形，波幅较宽；
- b) 钢筋：反射信号强，呈双曲线形。

6.2 数据整理

- 6.2.1 初期支护、二次衬砌及仰拱厚度宜沿纵向测线以 1m~3m 为间距提取，环向测线宜以 1m 为间距提取。
- 6.2.2 初期支护、二次衬砌、仰拱的密实状况按范围整理。
- 6.2.3 按检测段落提供钢架和钢筋数量及分布情况。

7 检测报告

7.1 检测报告

应包含以下内容：

- a) 工程概况及任务来源：路线等级、隧道长度、工程地质状况、水文地质状况、隧道基本设计参数、承建单位、任务来源等；
- b) 检测依据：技术规程、设计文件；
- c) 检测内容、频率；
- d) 现场检测：检测方法、仪器设备、测线布置；
- e) 检测结果；
- f) 建议。

7.2 报告附件

衬砌厚度检测结果统计表、汇总表、缺陷统计表、汇总表、检测机构资质证书及检测技术人员资格证书。

附 录 A
(规范性附录)
隧道地质雷达检测原始记录表

隧道地质雷达检测原始记录表如表A. 1所示。

表 A. 1 隧道地质雷达监测原始记录表

项目名称					合同段		
隧道名称					衬砌类型	☐ 初支 ☐ 二衬 ☐ 其它	
检测依据							
检测仪器	地质雷达主机型号、管理编号：				叠加次数/采用点距		
	天线频率、管理编号：				时窗长度/采样间隔		
检测段落							
测线编号	测线位置	行进方向	围岩类别	设计厚度(cm)	数据文件名	检测情况	
备注：							
检测：					记录：		时间： 年 月 日

附 录 B
(资料性附录)
隧道地质雷达检测结果汇总表

B.1 检测结果

B.1.1 隧道（初期支护或二次衬砌）内部空洞及不密实区域检测结果汇总表如表B.1所示。

表 B.1 隧道（初期支护或二次衬砌）内部空洞及不密实区域检测结果汇总表

项目名称:						检测日期:							
序号	合同段	隧道名称	位置	桩号	缺陷类型	围岩 级别	设计厚度 (cm)	缺陷分布情况			混凝土 厚度(cm)	厚度偏差 (cm)	备注
								深度 (cm)	纵向长度(m)	横向宽度 (m)			
检测:						复核:							

B. 1. 3 隧道（初期支护或二次衬砌）厚度监测结果汇总表如表B. 3所示。

表 B. 3 隧道（初期支护或二次衬砌）厚度检测结果汇总表

项目名称:				检测日期:									
序号	合同段	隧道名称	桩号	左边墙 初支/衬砌 厚度（cm）		左拱腰 初支/衬砌 厚度（cm）		拱顶 初支/衬砌 厚度（cm）		右拱腰 初支/衬砌 厚度（cm）		右边墙 初支/衬砌 厚度（cm）	
				设计	实测	设计	实测	设计	实测	设计	实测	设计	实测
检测:						复核:							

B. 1. 4 隧道初期支护拱架间距监测结果汇总表如表B. 4所示。

表 B. 4 隧道初期支护拱架间距检测结果汇总表

项目名称:			检测日期:												
序号	合同段	隧道名称	里程范围	初期支护拱架间距（cm）											备注
				设计值	实测值										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
检测:				复合:											