

DB

山东省工程建设标准

DB37/T 5122-2018

J 14319-2018

探地雷达测定道路结构层厚度技术规程

Code for Layer Thickness Measurement of Road Structures by GPR

2018-07-11 发布

2018-12-01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省质量技术监督局

联合发布

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅《2017 年山东省工程建设标准制定、修订计划（第一批）》，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关标准，在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 6 章，主要内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 测试参数的选择；5 现场检测；6 数据处理与检测报告。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东泉建工程检测有限公司公司负责具体技术内容的解释。

若执行过程中对本规程有任何意见和建议，请寄送山东泉建工程检测有限公司《探地雷达测定道路结构层厚度技术规程》编制管理组(地址：济南市历下区浆水泉路 22 号，邮编：250014，电话：0531-82979727，传真：0531-82970073，邮箱：jinnanquanjian@126.com)，以供今后修订时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查人员名单如下：

本规程主编单位： 山东泉建工程检测有限公司

本规程参编单位： 济南城建集团有限公司

济南市市政工程质量监督站

济南市建设工程质量监督站

济南市交通工程质量监督站

济南城市建设集团有限公司

济南城市建设投资集团有限公司

济南市市政公用设施配套建设服务中心

济南市城市道路桥梁管理处

山东城市建设职业学院

山东职业学院

高青县金典建设工程质量检测站

山东宜居物业管理有限公司

青岛城建集团有限公司

济南市市政工程建设集团有限公司

山东汇通建设集团有限公司

济南正诺建筑工程有限公司

山东百士基础工程有限公司

山东汇友市政园林集团有限公司

本规程主要起草人员：陈允泉 韩延礼 许 庚 孙 杰 吕 红 刘 锋 历建川

祝根全 黄智焱 郑 枫 郑光明 王明涛 王 志 李海滨

石建平 李素平 闫淑娟 韩永刚 周生展 于建欣 张连秀

曹永品 李晓东 庄兴博 郭来耀 刘智江 崔忠英 孟宪忠

李 斌 李 密 王恩国 宋 佳 郭亚妮 朱德保 王智慧

本规程主要审查人员：刘俊岩 连 峰 李 军 杨鲁生 王广洋 马连仲 韩玉珍

孙成山 任宗福

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	4
4 测试参数值的选取	5
5 现场检测	7
5.1 准备工作	7
5.2 现场检测要求	7
5.3 标定	7
5.4 检测	8
6 数据处理与检测报告	9
6.1 数据处理与解释	9
6.2 检测报告	10
附录 A 现场标定记录	12
附录 B 检测原始记录	Error! Bookmark not defined.
本规程用词说明	13
引用标准名录	14
附：条文说明	15

1 总 则

1.0.1 为规范探地雷达测定道路结构层厚度方法，保证检测质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于山东省行政区域内，应用探地雷达在旧路调查及工程验收阶段的道路结构层厚度测定。

1.0.3 按本规程进行道路结构层厚度测定时，除应符合本规程的要求外，尚应符合国家和省内现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 探地雷达 Ground Penetrating Radar

是一种向被探测目标体发射高频电磁波束,通过观测反射电磁波的时间滞后及强弱特征以达到研究目标体特性的电磁勘探设备。

2.1.2 分辨率 Resolution

分辨最小异常体的能力。

2.1.3 相对介电常数 Relative Dielectric Constant

介质相对于真空的介电常数,以字母 ϵ_r 表示。

2.1.4 中心频率 Central Frequency

探地雷达天线发射和接收信号中能量最大的频点。

2.1.5 探地雷达天线 Radar Antenna

探地雷达发射和接收电磁波的装置,分为发射天线及接收天线。

2.1.6 时窗 Time Window

又称时窗宽度,是指探地雷达接收数据的时间范围。

2.1.7 扫描率 Scan Rate

单位时间或距离内的扫描次数。

2.1.8 测距轮 Distance Measurement Instrument

一种通过转动来测量距离的装置,每转动一圈产生固定的脉冲数,实际测距时,根据脉冲数和测量轮的周长可以确定距离。

2.1.9 增益 Gain

对探地雷达波信号进行放大或补偿的处理方法。

2.1.10 同相轴 Events

探地雷达数据中相邻道振动相位相同的极值(波峰或波谷)的连线。

2.1.11 信噪比 Signal-Noise-Ratio

有效信号功率与干扰信号(噪声)功率之比。

2.2 符号

f_c —天线中心频率；

w —时窗宽度；

x —分辨率；

c —电磁波在真空中的传播速度；

v —电磁波在介质中的传播速度；

ε_r —相对介电常数；

$d_{\max}$ —最大探测深度；

t —双程旅行时；

s_r —扫描率；

$v_{\max}$ —天线最大移动速度；

w_a —天线宽度；

w_o —目标体大小；

κ —扫描样点数调整系数；

α —时窗调整系数。

3 基本规定

3.0.1 探地雷达法检测应委托具有相应资格的法定检测机构实施，检测人员应进行专业技术培训并应具有相应的检测能力。

3.0.2 探地雷达应定期检查、校准和保养。

3.0.3 探地雷达硬件应满足以下要求：

1 系统性能稳定、结构合理、构件牢固可靠，满足防潮、防尘、防震和绝缘性良好的要求，应定期检查、校准和保养；

2 功率反射系数应大于 0.01；

3 应配备测距装置，系统距离标定误差应不大于 0.1%；

4 工作电源宜选用可充电电池，续航能力应在 4h 以上，续航能力不足时，应配备备用电源；

5 数据采集模式应采用测距轮触发模式；

6 信号增益控制应具有指数增益功能；

7 A/D 转换位数不应小于 16bit；

8 计时间隔不应大于 1.0ns。

3.0.4 探地雷达数据采集与处理软件应满足下列要求：

1 应包含波形图、变面积图和灰度图等显示方式；

2 应具有自动设置和参数设置记忆功能；

3 应具有自动或手动添加标记功能；

4 应具有数据自动实时保存及回放功能；

5 应具有桩号修正功能。

3.0.5 探地雷达尚应满足行业标准《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》JT/T 940 中的相关规定。

4 测试参数值的选取

4.0.1 天线中心频率的选取应满足下列要求：

1 宜根据探测深度及精度确定，可按下式计算：

$$f_c = \frac{150}{x\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (4.0.1)$$

式中： f_c —天线中心频率（MHz）

x —分辨率（m）；

ε_r —相对介电常数。

2 当相对介电常数不宜确定时，天线中心频率宜符合表 4.0.1 的规定。

表 4.0.1 天线中心频率与探测深度对应关系表

探测深度（m）	中心频率（MHz）
<0.3	1600~2000
0.3~0.6	1000~1600
0.6~0.8	600~1000

注：在满足探测深度的前提下，宜选取高频天线。

4.0.2 时窗宽度可按下式确定：

$$w = \alpha \times \frac{2d_{\max}}{v} \quad (4.0.2)$$

式中： w —时窗宽度（ns）

$d_{\max}$ —最大探测深度（m）；

v —电磁波在介质中的传播速度（m/ns）；

α —时窗调整系数，一般取 1.5~2.0。

电磁波在介质中的传播速度应通过现场标定确定，常见介质相对介电常数或电磁波传播速度可参考表 4.0.2。

表 4.0.2 常见介质相对介电常数、电磁波传播速度参考值

介质	相对介电常数	电磁波速(m/ns)	介质	相对介电常数	电磁波速(m/ns)
空气	1	0.300	干砂	2-6	0.122-0.212
干沥青	2-4	0.150-0.212	湿砂	10-30	0.055-0.095
湿沥青	6-12	0.087-0.122	粘性干土	4-10	0.095-0.150
干粘土	2-6	0.122-0.212	粘性湿土	10-30	0.055-0.095

续表 4.0.2

介质	相对介电常数	电磁波速 (m/ns)	介质	相对介电常数	电磁波速 (m/ns)
湿粘土	5-40	0.047-0.134	干壤土	4-10	0.095-0.150
干混凝土	4-40	0.047-0.150	湿壤土	10-30	0.055-0.095
湿混凝土	10-20	0.067-0.095	干沙土	4-10	0.095-0.150
淡水	81	0.033	湿沙土	10-30	0.055-0.095

4.0.3 扫描样点数可按式确定：

$$S = \frac{w \cdot f_c \cdot \kappa}{500} \quad (4.0.3)$$

式中： s —扫描样点数；

w —时窗宽度 (ns) ；

f_c —天线中心频率 (MHz) ；

κ —扫描样点数调整系数，一般取 6~10。

5 现场检测

5.1 准备工作

5.1.1 检测前，应检查探地雷达是否正常。

5.1.2 应进行测距轮距离标定。

5.2 现场检测要求

5.2.1 检测环境应满足下列要求：

1 环境温度宜为 $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ ；

2 相对湿度不应大于 80%；

3 结构层应保持干燥，上下界面应具有明显的介电性差异，并可作为探地雷达判别的标志层；

4 待测场地应平整、无障碍物，不应存放可干扰检测信号的金属构件。当有不可移动金属构件时，可通过改变测线位置消除其干扰。

5.2.2 现场检测前应满足下列要求：

1 根据检测任务要求及检测环境，能合理布置检测测线；

2 检测现场应根据测线位置，设置安全警告标识。

3 检测现场工作人员必须穿戴交通安全标志服，并佩戴安全警示标志。

4 采集参数应设置正确；

5 地面反射波起始零点应选择正确；

5.3 标定

5.3.1 现场检测时，应对道路结构层的相对介电常数或电磁波传播速度进行标定，标定方法包括预埋金属薄板法和钻孔实测法，每条道路不应少于 3 点。当道路结构层材料或含水量变化较大时，应适当增加标定点数。

5.3.2 标定相对介电常数或电磁波传播速度时，采集模式应采用测距轮触发模式或点测模式。

5.3.3 相对介电常数标定应满足下列条件：

1 标定记录中界面反射信号应清晰、准确；

2 标定目标体的厚度不宜小于 5cm，宜与检测结构层厚度相一致。

5.3.4 标定结果应按下列公式计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2 \quad (5.3.4-1)$$

$$v = \frac{2d}{t} \times 10^9 \quad (5.3.4-2)$$

式中： ε_r — 相对介电常数；

v — 电磁波在介质中的传播速度（m/s）；

t — 双程旅行时（ns）；

d — 标定目标体的厚度（m）。

5.3.5 应及时填写现场标定记录，表格格式及内容应符合附录 A 的规定。

5.4 检测

5.4.1 测试时宜采用连续检测方式，检测时天线应移动平稳、速度均匀。非空气耦合天线应紧贴被测结构层表面。

5.4.2 采用空气耦合天线车载检测时，天线的移动速度应控制在计算的最大移动速度之内。最大移动速度按下式计算：

$$v_{\max} < \frac{s_r}{20} \times (w_a + w_o) \quad (5.4.3)$$

式中： $v_{\max}$ — 天线最大移动速度（m/s）；

s_r — 扫描率（scan/s）

w_a — 天线宽度（m）；

w_o — 目标体大小（m）。

5.4.3 检测过程中，应准确标记检测位置及桩号，随时记录可能对检测产生电磁影响的物体及位置，并绘制测线平面位置示意图。

5.4.4 应及时填写检测原始记录，表格格式及内容应符合附录 B 的规定；

5.4.5 测试完毕后，应及时将检测数据导出或备份。

6 数据处理与检测报告

6.1 数据处理与解释

6.1.1 处理原始数据之前，应进行回放检查，原始数据应符合下列要求：

- 1 数据应完整、信号清晰；
- 2 里程标记应准确；
- 3 不合格的原始数据不得参与处理与解释。

6.1.2 数据处理应符合下列规定：

- 1 位置标记应准确、无误；
- 2 处理后的信号不应失真；
- 3 处理后的检测图像应与原始观测图像的形态与位置基本保持一致；
- 4 处理后的目标层位同相轴清晰，具有较高的信噪比，应能正确反映相邻层位间的关系。

6.1.3 资料解释应在掌握测区内物性参数的基础上，按下列原则进行：

- 1 参与解释的探地雷达图像应清晰；
- 2 应根据现场记录分析可能存在的干扰体位置与探地雷达剖面中异常的对应关系，准确区分有效异常与干扰异常；
- 3 应准确读取目标层位的双程旅行时间。

6.1.4 检测结构层厚度应由下式确定：

$$d = \frac{0.3t}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (6.1.4-1)$$

或

$$d = \frac{1}{2}v \cdot t \cdot 10^{-9} \quad (6.1.4-2)$$

式中： d —结构层厚度（m）；

ε_r —相对介电常数；

t —双程旅行时（ns）；

v —电磁波在介质中的传播速度（m/s）。

6.2 检测报告

6.2.1 检测报告宜包括下列内容：

- 1 概况应包括工程概况、任务、工作时间和工作量完成情况等；
- 2 检测依据应执行检测任务时所依据的检测标准或规程；
- 3 工作方法与技术应包括方法原理简述、测线布置、现场工作方法与技术 and 仪器设备和工作参数；
- 4 检测结果应包括雷达测线布置图、雷达剖面图像、每条测线测点数及被检测路段的结构层厚度平均值等。

6.2.2 检测报告中的插图可包括方法原理图、典型剖面图等，插表可包括工作量表、测试成果表等。

附录 A 现场标定记录

项目名称:

仪器名称及编号:

[illegible]

标定日期: 年 月 日

附录 B 检测原始记录

工程名称:

项目名称:

第 页 共 页

检测依据:

仪器名称及编号:

测线号	里程		设计厚度值 (mm)	检测部位	记录文件名	采集参数			备注
	起点里程	终点里程				时窗 (ns)	扫描率	样点数	

检测:

记录:

审核:

检测日期:

年

月

日

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《公路路基路面现场测试规程》 JTG E60
- 2 《城市工程地球物理探测规范》 CJJ/T 7
- 3 《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》 JT/T 940
- 4 《公路工程质量检验评定标准》（第一册 土建工程） JTG F80/1

附件

《探地雷达测定道路结构层厚度技术规程》

(DB37/T xxxx-2018)

条文说明

1 总 则

1.0.1 当前工程中，对道路结构层厚度的确定，通常采用的是挖坑法或取芯法，这些方法确定的厚度虽然直观，但有其缺点，会对面路造成破损。随着探地雷达等无损检测仪器在工程中的广泛应用，探地雷达法以其超高的工作效率，无损的检测方式，可靠的检测结果，成为道路结构层厚度无损检测的新手段。为规范探地雷达在道路结构层厚度探测中的程序及方法，提高检测结果的可靠性，制定本规程。

1.0.2 本条规定了探地雷达法在道路结构层厚度探测中的应用范围。探地雷达法可用在旧路调查及工程验收阶段的结构层厚度检测。

1.0.3 本条阐述了本规程与其他规程相互之间的关系，应采取协调一致，互相补充的原则。无论是本规程，还是其它的国家或行业标准、规程，在进行探地雷达法无损检测时，都应遵守。

2 术语和符号

本章给出的术语及符号，是本规程有关章节所应用的。

在编写本章术语时，参考了《城市工程地球物理探测规范》CJJ/T 7、《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》JT/T 940 等行业标准的相关术语。

本规程的术语是从本规程的角度赋予其涵义的，但涵义不一定是术语的定义。同时还分别给出了相应的推荐性英文。

3 基本规定

3.0.1 本条规定了对探地雷达法检测道路结构层厚度的机构及检测人员的要求。

3.0.3 本条规定了对探地雷达对硬件的要求，探地雷达仪器通常由发射天线、接收天线、信号处理器及终端设备组成。

3.0.4 本条规定了对探地雷达的软件要求。

3.0.5 本条规定了对探地雷达除满足本规范的要求外，还应该满足《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》JT/T940 的相关要求。

4 测试参数的选择

4.0.1 本条规定了天线中心频率选择的基本原则。

2 不同频率天线的探测深度、分辨率也不相同，中心频率选择正确与否直接影响到工程探测的效果。天线频率越高，探测分辨率越高，探测深度越浅，反之亦然。中心频率的选择应根据探测深度及分辨率确定。

4.0.2 时窗选择主要取决于最大探测深度 $d_{\max}$ 与地层电磁波传播速度 v ，公式

4.0.2 中的时窗调整系数取值一般在 1.5~2.0 之间，为的是使界面信号位于记录中部。

4.0.3 扫描样点数决定了每次扫描的样点数量，数值越大，表示每次扫描的信息量越大，反映地下介质的信息越丰富，但过大的样点数会占用较多的系统空间。一般情况下，扫描样点数调整系数，在使用高频天线时选低值，使用低频天线时选高值，且经计算后的结果应落到常用的样点数范围内。

5 现场检测

5.1 设备检查与调试

5.1.2 受测距轮使用时间的影晌，测距轮周长会逐渐减小，为保证距离测量的准确性，在检测前，应进行测距轮距离标定。

5.2 现场检测条件

5.2.1 本条规定了现场检测环境要求。

4 当待测场地有干扰检测信号的金属构件时，对于可移动构件，应将其移至测线范围之外；对于不可移动构件，可适当调整测线位置，避开其影响，并在报告中注明。

5.3 标定

5.3.1 在计算结构层厚度时，需要电磁波在各结构层中的传播时间与传播速度，传播时间可从资料中读取，因此，传播速度的选择至关重要。不同探地雷达仪器对于速度的输入也各不相同，有些仪器需要输入电磁波传播速度，有些仪器则需要输入相对介电常数。无论是输入电磁波传播速度还是输入地下介质的相对介电常数，均需对待测场地进行标定。

介质的相对介电常数或电磁波传播速度的标定主要采用预埋金属薄板法和钻孔实测法。预埋金属薄板法是在待测道路上预埋金属薄板，利用预埋的金属板的双程旅行时及该处的厚度求取电磁波的传播速度或相对介电常数。钻孔实测法是利用钻孔取芯的方法实测结构层厚度，通过与探地雷达时间剖面上的双程旅行时进行电磁波传播速度或相对介电常数的计算。

对预埋金属薄板法，每处实测不宜少于3次，取平均值计算该道路结构层的相对介电常数或电磁波传播速度。

对钻芯法，每条道路不应少于3点。每个芯样分别用钢板尺或卡尺沿芯样圆周对称的十字方向四处量取表面至底界面的高度，取其平均值作为该层的厚度，并求取该点处道路结构层的相对介电常数或电磁波传播速度，3点的平均值作为该路结构层的相对介电常数或电磁波传播速度。

5.3.3 本条规定了参数标定应满足的基本条件。

5.3.4 本条规定了标定参数的计算方法。

5.4 检测

5.4.2 本条规定了车载检测时，天线移动的最大速度。天线的移动速度不宜过快，在一般情况下，欲查清目标体，至少应保证有 20 次扫描通过被扫描体，限制天线的最大移动速度，可以避免因车速过快导致的信息丢失。扫描率越大，对地下被探测体的扫描次数越多，对被探测体的形态查明就越清楚，但过大的扫描率会严重影响系统响应。

5.4.5 随着便携式存储设备的应用及互联网的普及，计算机感染病毒或其它有害程序的机率增加。为避免数据丢失或损坏，测试结束后，应及时将测试数据导出备份。

6 数据处理与检测报告

6.1 数据处理与解释

6.1.1 本条规定了处理原始数据之前对数据的基本要求，只有合格的原始数据才能参与数据处理与解释，不符合本条前 2 款的数据均视为不合格数据。

6.1.2 本条规定了对数据处理的基本要求。

6.1.3 资料解释是对处理后的数据进行人机交互解释的过程，本条规定了资料解释的基本原则。

6.2 检测报告

6.2.1 本条规定了检测报告应包含的基本内容。

4 根据《公路工程质量检验评定标准》（第一册 土建工程）JTG F80/1 的相关要求，对于使用探地雷达测定道路结构层厚度的快速、高效的无损检测方法，检波频率可适当提高，仍按《公路工程质量检验评定标准》（第一册 土建工程）JTG F80/1 进行评定。

6.2.2 本条规定了检测报告中可添加的插图、插表等。