

《工程测量基本术语标准 GB/T 50228-2011》

6.地下管线测量-6.3 地下管线探测

《岩土工程勘察术语标准 JGJ/T 84-2015》

7.3.16 探地雷达法 ground probing radar method(GPR) , georadar

通过雷达发射的高频电磁波在地下介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及接收的反射回波，解决相关问题的一种电磁波法。

《岩土工程基本术语标准 GB/T 50279-2014》

3.4.18 探地雷达法 ground penetrating radar method(GPR)

通过研究高频电磁波在地下介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等，解决相关问题的一种物探方法。

《城市工程地球物理探测标准 CJJ/T 7-2017》

5.5.1 ~ 5.5.11 对探地雷达法的适用范围、应用条件、仪器设备、现场工作布置及质量检查作了规定，并对资料解释提出要求。

1 功率反射系数  $p_r$  计算公式为：

$$p_r = \left( \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \right)^2 \quad (3)$$

式中： $\epsilon_{r1}$ ——围岩相对介电常数；

$\epsilon_{r2}$ ——目标体相对介电常数。

2 探地雷达法的工作方式目前主要有：

剖面法发射天线(T)和接收天线(R)以固定间距沿测线同步移动的一种测量方式。当发射天线与接收天线的间距为零，亦即发射天线与接收天线合二为一时，称为单元线形式，反之称为双天线形式。剖面法的测量结果常以时间剖面图像表示。该图像的横坐标表示天线在地表

的位置；纵坐标为反射波双程走时，表示雷达脉冲从发射天线出发经地下界面反射回到接收天线所需的时间。这种记录反映测线下方反射界面的形态。

为了原位测量地下介质的电磁波速度，还可以采用宽角法或共中心点法观测方式。一个天线固定在地面某一点上不动，而另一天线沿测线移动，记录地下各反射界面的双程走时，这种测量方式称为宽角法；也可以保持两个天线中心位置不变的情况下，改变两个天线之间距离，记录反射波双程走时，这种测量方式称为共中心点法。当地下界面平直时，两种方式都可以用；反之采用共中心点法。探地雷达还有透射法或钻孔雷达等工作方式。

3 分辨率是分辨最小异常体的能力。分辨率分为垂向分辨率与横向分辨率。通常将雷达剖面中能区分最薄地层的能力称为垂向分辨率，一般取波长的  $1/4$  作为垂向分辨率；探地雷达剖面中在水平方向上所能分辨的最小异常尺寸称为横向分辨率，通常取第一菲涅尔带半径作为横向分辨率。探测雷达能探测最深目标体的深度称为探测雷达的探测距离。探测距离与地下介质导电性、目标体几何形态及其与围岩的电性差异、探测雷达系统的性能、使用的天线频率有关。路面质量检测时一般选用频率为  $200\text{MHz} \sim 1.5\text{GHz}$  的天线；洞室衬砌质量检测时宜选用高频天线，频率范围一般选用  $400\text{MHz} \sim 1.2\text{GHz}$ ；探测混凝土内钢筋时多选用  $900\text{MHz} \sim 1.5\text{GHz}$  的天线；探测道路和地下管线周边病害体时多选用  $100\text{MHz} \sim 400\text{MHz}$  的天线；探测管线时应根据管线的埋深、材质和管径选用主频天线，一般选用  $100\text{MHz} \sim 400\text{MHz}$  的天线；孔中探测应根据探测任务要求选用  $100\text{MHz} \sim 200\text{MHz}$  的天线；探测时优先选择屏蔽天线测试，工作时根据实际采用多种中心频率天线组合。

4 探测深度估算：当探地雷达系统与使用的天线频率选定后，若地下介质的性质清楚，用雷达方程估算探测距离或深度。探地雷达方程如公式(4)：

$$Q = 10 \log \left( \frac{\eta_t \eta_r G_t G_r g \sigma \lambda^2 e^{-4\alpha r}}{64 \pi^3 \gamma^4} \right) \quad (4)$$

式中： $\eta_t$ 、 $\eta_r$ ——发射与接收天线的效率；

$G_t$ 、 $G_r$ ——入射方向与接收方向上的方向增益；

$g$ ——目标体后向散射增益；

$\sigma$ ——目标体的散射截面( $m^2$ )；

$\alpha$ ——介质的吸收系数；

$\gamma$ ——天线到目的体的距离(m)；

$\lambda$ ——为雷达波在介质中的波长(m)；

$Q$ ——电磁波功率损耗。

5 电磁波速度的获得：利用介质电磁波速度  $V$  可用来把目标体双程走时  $t$  转换成目标体深度，介质电磁波速度有以下几种方法获得：

1)估算方法：若地下介质相对介电常数 $\epsilon_r$ 已知，则  $V = C / \sqrt{\epsilon_r}$ ，可取  $C = 0.3m / ns$ ；

2)用宽面法或共中心点法原位测量获得；

3)在已知地质剖面位置或通过钻孔剖面，用实测图像经标定获得；

4)当实测剖面穿过点状目标体，或剖面垂直通过管状目标体时，根据目标体形成双曲反射波同相轴经计算求得：

a.由双曲同相轴一侧，距离为  $x$  的两点分别读出同相轴双程走时  $t_1$  与  $t_2$ ，则目标体深度  $h$  可由式(5)计算：

$$h = x / \sqrt{(t_1/t_2)^2 - 1} \quad (5)$$

b.读取双曲线同相轴顶端的双程走时  $t_y$ ，则介质电磁波速度  $V$  可由式(6)计算：

$$V = 2h/t_y \quad (6)$$

5)利用穿透法测量地层电磁波速度。

《城镇道路养护技术规范 CJJ 36-2006》

7.3.4 水泥混凝土路面板块脱空，可采用弯沉仪、探地雷达等设备测定。其弯沉值超过0.2mm 时应确定为面板脱空。

#### 《城镇供水管网漏水探测技术规程 CJJ 159-2011》

- 9.2.1 探地雷达(GPR)法可用于已形成浸湿区域或脱空区域的管道漏水点的探测。
- 9.2.2 采用探地雷达法应具备下列条件：
  - 1 漏水点形成的浸湿区域或脱空区域与周围介质存在明显的电性差异；
  - 2 浸湿区域或脱空区域界面产生的异常能在干扰背景场中分辨。
- 9.2.3 探地雷达探测设备除应满足本规程第 3.0.7 条的规定外，还应符合下列规定：
  - 1 发射功率和抗干扰能力应满足探测要求；
  - 2 采用的天线频率应与管道埋深相匹配。
- 9.2.4 探测前应进行方法试验、确定探测方法的有效性，并确定外业最佳工作参数。
- 9.2.5 当采用探地雷达法探测时，测点和测线布置应符合下列规定：
  - 1 测线宜垂直于被探测管道走向进行布置，并应保证至少 3 条测线通过漏水异常区；
  - 2 测点间距选择应保证有效识别漏水异常区域的反射波异常及其分界面；
  - 3 在漏水异常区应加密布置测线，必要时可采用网格状布置测线并精确测定漏水浸湿区域或脱空区域的范围。
- 9.2.6 探测时，探地雷达系统应采用经方法试验确定的工作参数，并根据现场情况的变化及时调整工作参数。
- 9.2.7 根据外业记录数据质量，可选择必要的数据处理方法。
- 9.2.8 在分析各项参数资料的基础上进行资料解释时，应符合下列规定：
  - 1 应按照从已知到未知、先易后难、点面结合、定性指导定量的原则进行；
  - 2 应根据管道周围介质的情况、漏水可能的泄水通道及规模进行综合分析；

3 参与解释的雷达图像应清晰，解释成果资料应包括雷达剖面图像、管道的位置、深度及漏水形成的浸湿或脱空区域范围图。

《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准 JGJ/T 437-2018》

《[上海市]地下管线测绘规范 DG/TJ 08-85-2010》

6.3.9 本条规定对地质雷达应用前提提出了要求。

《公路工程物探规程 JTG/T C22-2009》

#### 5.4 探地雷达法

《有色金属工业岩土工程勘察规范 GB 51099-2015》

10.3.2 采用电磁法可根据工程要求和场地条件，选择甚低频电磁法、音频大地电磁法、瞬变电磁法、探地雷达法、电磁波层析成像等方法；采用各种方法时应选择适用的仪器和装置。

《场地环境调查技术导则 HJ 25.1—2014》

#### 6.3.2 定位和探测

采样前，可采用卷尺、GPS 卫星定位仪、经纬仪和水准仪等工具在现场确定采样点的具体位置和地面标高，并在采样布点图中标出。可采用金属探测器或探地雷达等设备探测地下障碍物，确保采样位置避开地下电缆、管线、沟、槽等地下障碍物。采用水位仪测量地下水水位，采用油水界面仪探测地下水非水相液体。

《煤矿采空区岩土工程勘察规范 GB 51044-2014》

4.6.4 小窑采空区物探宜采用电法、地震、地质雷达等综合物探方法，物探有效范围应包括拟建工程范围及有影响地段，解译深度应能达到采空区底板以下 15m~25m。

《铁路工程不良地质勘察规程 TB 10027—2012》

10.4.1 在人为坑洞分布无规律、地面痕迹不明显，无法进入坑洞内进行调查和验证的地区，应采用直流电法、弹性波法及地质雷达等综合物探，并用物探结果指导钻探，必要时进行综合测井、跨孔弹性波层析成像，有条件时也可用触探等简易勘探方法。

《公路隧道施工技术细则 JTG/T F60—2009》

10.2.3 复杂地质的预测、预报应坚持隧道洞内探测与洞外地质勘探相结合，地质方法与物探方法相结合，辅助导坑与主洞探测相结合，并贯穿于施工全过程。不同地质灾害级别的预报方式可采用：

1 级预报可用于 A 级地质灾害。采用地质分析法、地震波反射法、超声波反射法、陆地声纳法、地质雷达法、瞬变电磁法、红外探测法、超前水平钻探法等进行综合预报。

2 级预报可用于 B 级地质灾害。采用地质分析法、地震波反射法、陆地声纳法、超声波反射法，辅以红外探测法、瞬变电磁法、地质雷达法，必要时进行超前水平钻孔。

3 级预报可用于 C 级地质灾害。以地质分析法为主。对重要地质层界面、断层或物探异常地段宜采用地震波反射法或超声波反射法进行探测，必要时采用红外探测和超前水平钻孔。

4 级预报可用于 D 级地质灾害。采用地质分析法。

《多年冻土地区公路设计与施工技术细则 JTG/T D31-04-2012》

4.4.7 多年冻土地区宜采用地质雷达进行物探，地质雷达勘测点间距不宜大于 10m，复杂场地和重点工程的间距宜为 2m，并查明横断面方向多年冻土基本特征及分布、地下冰厚度和分布等情况；季节冻土区以及融区的精度可按各勘察阶段要求确定。

《》

《城市地下管线探测技术规程 CJJ 61-2003》

电 磁 法	主 动 源	示踪电磁法	将能发射电磁信号的示踪探头或电缆送入非金属管道内,在地面上用仪器追踪信号	能用探测金属管道的仪器探查非金属管道,但必须有放置示踪器的出入口	用于探查有出入口的非金属管道	
	被动源	电磁波法(或地质雷达法)	利用脉冲雷达系统,连续向地下发射脉冲宽度为几毫微秒的视频率脉冲,接收反射回来的电磁波脉冲信号	既可探查金属管线,又可探查非金属管线,但仪器价格昂贵	在常规方法无法探查的情况下,可用来探查各种金属管线和非金属管线	

《煤矿床水文地质、工程地质及环境地质勘查评价标准 MT/T 1091-2008》

5.6.2 工作方法

5.6.2.1 地面物探

5.6.2.1.1 水文地质勘查工作中,地面物探方法主要有:电阻率法、自然电场法、充电法、频率测深法、激发极化法、大地电磁法及地震法等。

5.6.2.1.2 地面水文地质物探方法的选用,应根据勘查区具体情况选择。

5.6.2.2 井下物探

矿井井下应用的物探方法主要有直流电法(电阻率法)、电磁频率测深法、无线电波透视法、地质雷达法,以及浅层地震勘探、瑞利波勘探、槽波地震勘探方法等。

5.6.2.3 水文测井

在进行水文测井时,采用的技术要求按 DZ / T 0080 的规定执行。

《混凝土中钢筋检测技术标准 JGJ/T 152-2019》

- 4.5.1 雷达法宜用于结构或构件中钢筋间距和位置的大面积扫描检测以及多层钢筋的扫描检测;当检测精度符合本标准 4.3.1 条的规定时,也可用于混凝土保护层厚度检测。

- 4.5.2 钢筋检测应按下列步骤进行：
  - 1 根据检测构件的钢筋位置选定合适的天线中心频率。天线中心频率的选定应在满足探测深度的前提下，使用较高分辨率天线的雷达仪。
  - 2 根据检测构件中钢筋的排列方向，雷达仪探头或天线沿垂直于选定的被测钢筋轴线方向扫描采集数据。场地允许的情况下，宜使用天线阵雷达进行网格状扫描。
  - 3 根据钢筋的反射回波在波幅及波形上的变化形成图像，来确定钢筋间距、位置和混凝土保护层厚度检测值，并可对被检测区域的钢筋进行三维立体显示。
- 4.5.3 遇到下列情况之一时，宜采用直接法验证：
  - 1 认为相邻钢筋对检测结果有影响；
  - 2 无设计图纸时，需要确定钢筋根数和位置；
  - 3 当有设计图纸时，钢筋检测数量与设计不符或钢筋间距检测值超过相关标准允许的偏差；
  - 4 混凝土未达到表面风干状态；
  - 5 饰面层电磁性能与混凝土有较大差异。
- 4.5.4 当采用直接法验证时，应选取不少于 30%的已测钢筋且不应少于 7 根，当实际检测数量不到 7 根时应全部抽取。

**《岩溶地区建筑地基基础技术标准 GB/T 51238-2018》**

**《城镇道路养护技术规范 CJJ 36-2016》**

6.3.7 可采用弯沉仪或探地雷达等设备检测水泥混凝土路面板的脱空，并根据检测结果确定修补方案，修补方案应符合下列规定：

- 1 当板边实测弯沉值在 0.20mm ~ 1.00mm 时，应钻孔注浆处理，注浆后两相邻板间弯沉差宜控制在 0.06mm 以内；



2 当板边实测弯沉值大于 1.00mm 或整块水泥混凝土板面板破碎时，应拆除后铺筑混凝土面板，并应符合本规范第 6.4.1 条的规定。

#### 《沉管法隧道施工与质量验收规范 GB 51201-2016》

9.4.6 压浆法施工应符合下列规定：

- 1 在管节预制时预留压浆孔，并不得出现渗漏；
- 2 在管节沉放之前，应检查灌浆孔，灌浆孔应良好；
- 3 压浆前 应 在管节周边采取止浆措施；
- 4 压注材料粒径与配合比、灌注压力应满足设计要求或根据试验确定；5 注浆前，应先压水清孔，压通后再进行压浆；
- 6 注浆过程中应对沉管监测管节上抬量和横向水平偏移值，并满足设计要求；
- 7 注浆宜从管节下坡向上坡方向逐孔交错进行；
- 8 应根据注浆压力、注浆量、竖向千斤顶压力等控制灌浆充填程度，采用冲击影像法、表面波探测或探地雷达等手段检测灌浆充填率。

#### 《公路工程地质勘察规范 JTG C20—2011》

7.8.7 工程地质勘探测试应符合下列要求：

- 1 勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件、采空区的类型和规模、地表变形状况以及构筑物的类型、规模等确定。
- 2 当采空区的开采资料齐全，能说明采空区的位置、埋深、变形特征及其发展趋势和稳定条件时，宜布置物探、钻探进行验证。
- 3 对开采巷道或坑洞分布复杂，无法进入坑洞内进行调查的采空区，应根据地面塌陷变形情况，开展综合物探，结合挖探、钻探进行综合勘探。

4 勘探深度应至采空巷道底板以下稳定地层内不小于 5m。有多层采空巷道(或矿层)时,应至最下一层采空巷道底板的稳定地层内不小于 3m。

5 应分层采集岩土试样,并记录钻具自然下落情况及起止深度、孔内掉块、钻具跳动、进尺加快等情况。

6 宜采用地震勘探、地质雷达、高密度电法、孔间 CT 等与钻探结合进行综合勘探,物探测线宜垂直采空巷道的轴线方向布置。对开采资料匮乏或无规划开采的小型采空区,勘探线宜按网格状布置。

7 钻探遇地下水时,应量测地下水的初见水位和稳定水位,采取地下水做水质分析。地下水发育时,宜做抽水试验。

8 应结合采空区处治工程设计,对瓦斯等有害气体进行测试。

9 采空区的变形特征难以判明时,应进行地面变形观测和建筑物变形观测。

#### 《城市轨道交通岩土工程勘察规范 GB 50307-2012》

11.2.4 采空区地段勘探与测试应符合下列要求:

1 在采空区分布无规律、地面痕迹不明显、无法进入坑洞内进行调查和验证的地区,应采用电法、地震和地质雷达等综合物探,并用物探结果指导钻探,必要时进行综合测井。各种方法的勘探结果应得到相互补充和验证。

2 勘探线、勘探点应根据工程线路走向、敷设形式,并结合坑洞的埋藏深度、延伸方向布置,勘探孔数量和深度应满足稳定性评价与加固、治理工程设计的要求。

3 对上覆不同性质的岩土层应分别取代表性试样进行物理力学性质试验,提供稳定性验算及工程设计所需岩土参数;应分别取地下水和地表水试样进行水质分析;对可能储气部位,必要时应进行有害气体含量、压力的现场测试。

## 《公路隧道施工技术细则 JTG/T F60—2009》

### 10.2.5 超前地质预报可划分为：

1 长距离预报：对不良地质及特殊地质情况进行长距离宏观预测预报，预报距离一般在距掌子面前方 200m 以上，并根据揭示情况进行修正。

2 中距离预报：在长距离预报基础上，采用地震波反射法、超声波反射法、瞬变电磁法、深孔水平钻探等，对掌子面前方 30 ~ 200m 范围内地质情况较详细的预报。

3 短距离预报：在中长距离预报的基础上，采用红外探测、瞬变电磁法、地质雷达和超前钻孔，微观地探明掌子面前方 30m 范围内地下水出露、地层岩性及不良地质情况等。

## 《岩土工程勘察技术规范 YS 5202-2004》

- 6.3.1 本节规定仅适用于地质雷达和甚低频电磁法。
- 6.3.2 电磁法勘探可用于地质分层，划分岩性、探索基岩埋深、断层破碎带。
- 6.3.3 选用电磁法勘探应满足下列条件：
  - 1 探测目标相对周围介质呈低阻且埋深不大；
  - 2 电磁波干扰较小；
  - 3 地表覆盖层不能是含水多、含盐量高的松散介质。
- 6.3.4 电磁法勘探应根据设计要求和场地的适宜性选择手段和方法。探查电阻率的垂直变化应使用测深装置；研究电阻的横向变化应采用剖面装置。
- 6.3.5 电磁法勘探提交的资料应符合下列要求：
  - 1 对电磁法的资料应作定性解释和定量解释。解释的内容宜包括异常的空间分布及低阻体的几何参数，异常的平面形态特征及异常体的埋深。
  - 2 地质雷达测量，宜采用剖面法和宽角法两种方法。剖面图应提交地层的反射界面或地

下埋藏物的位置和形状资料。

3 甚低频电磁法应实测电磁波分量，并提供视电阻率，绘制甚低频电阻率等值线平面图，推断异常点。

### 《公路路基路面现场测试规程 JTG E60-2008》

- 0913.1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于采用短脉冲雷达无损检测路面面层厚度。

1.2 本方法的数据采集、传输、记录和数据处理分别由专用软件自动控制进行。

1.3 本方法适用于新建、改建路面工程质量验收和旧路加铺路面设计的厚度调查。

1.4 雷达发射的电磁波在路面层传播过程中会逐渐削弱、消散、层面反射。雷达最大探测深度是由雷达系统的参数以及路面材料的电磁属性决定的。对于材料过度潮湿或饱和以及有高含铁量矿渣集料的路面不适合用本方法测试。

- 0913.2 仪器与材料技术要求

雷达测试系统由承载车、天线、雷达发射接收器和控制系统组成，设备部分如图 T 0913 所示。

2.1 设备承载车基本技术要求和参数

设备承载车车型应满足设备制造商的要求。

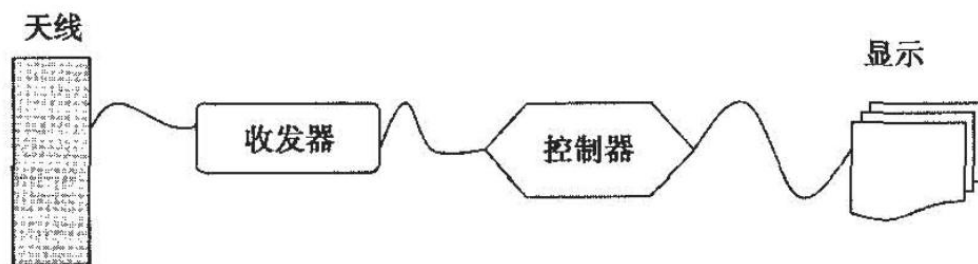


图 T 0913 雷达系统组成图

## 2.2 测试系统技术要求和参数

- (1)距离标定误差： $\leq 0.1\%$ 。
- (2)设备工作温度： $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。
- (3)最小分辨层厚： $\leq 40\text{mm}$ 。
- (4)系统测量精度要求：见表 T 0913。

表 T 0913 系统测量精度技术要求

测量深度(cm)	测量误差(mm)	测量深度(cm)	测量误差(mm)
< 10	$\pm 3$	> 25	$\pm 10$
10 ~ 25	$\pm 5$		

- (5)天线：喇叭形空气耦合天线，带宽能适应所选择的发射脉冲频率。
- (6)收发器：脉冲宽度 $\leq 1.0\text{ns}$ ，时间信号处理能力可以适应所需的测试深度。

- 0913.3 方法与步骤

### 3.1 准备工作

- (1)距离标定：承载车行驶超过 20 000km，更换轮胎，或使用超过 1 年的情形下需要进行距离标定。距离标定方法根据厂商提供的使用说明进行。
- (2)安装雷达天线：将雷达天线按照厂商提供的安装方法牢固安装好，并将天线与主机的连线连接好。
- (3)检查连接线安装无误后开机预热，预热时间不得少于厂商规定的时间。
- (4)将金属板放置在天线正下方，启动控制软件的标定程序，获取相应参数。
- (5)打开控制软件参数设置界面，根据不同的检测目的，设置采样间隔、时间窗、增益等参数。

### 3.2 测试步骤

(1)将承载车停在起点，开启安全警示灯，启动软件测试程序，令驾驶员缓慢加速车辆到正常检测速度。

(2)检测过程中，操作人员应记录测试线路所遇到的桥梁、涵洞、隧道等构造物的起终点。

(3)当测试车辆到达测试终点后，操作人员停止采集程序。

(4)芯样标定：为了准确反算出路面厚度，必须知道路面材料的介电常数，通常采用在路面上钻芯取样方法以获取路面材料的介电常数。做法是首先令雷达天线在需要标定芯样点的上方采样，然后钻芯，最后将芯样的真实厚度数据输入到计算程序中，反算出路面材料的介电常数或者雷达波在材料中的传播速度；路面材料的介电常数会随集料类型、沥青产地、密度、湿度等而不同。测试过程中应根据实际情况增加芯样钻取数量，以保证测试厚度的准确性。

(5)操作人员检查数据文件，文件应完整，内容应正常，否则应重新测试。

(6)关闭测试系统电源，结束测试。

- 0913.4 计算

4.1 计算原理：由于地下介质具有不同的介电常数，造成各种介质具有不同的电导性，电导性的差异影响了电磁波的传播速度。一般用下面公式计算电磁波在不同介质中的传播速度。

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (T 0913-1)$$

式中：v——电磁波在介质中的传播速度(mm / ns)；

c——电磁波在空气中的传播速度，取 300mm / ns；

$\epsilon_r$ ——介质的相对介电常数。

根据雷达波在路面面层中的双程走时以及材料的相对介电常数，用下式确定面层厚度。

$$T = \frac{\Delta t \times c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{T 0913-2})$$

式中：T——面层厚度(mm)；

c——电磁波在空气中的传播速度，取 300mm / ns；

$\epsilon_r$ ——相对介电常数；

$\Delta t$ ——雷达波在路面面层中的双程走时(ns)。

4.2 路面材料的相对介电常数 $\epsilon_r$ 可以通过路面芯样获得。路面厚度的计算通常先由雷达波识别软件自动识别各层分界线，得到雷达波在各层中的双程走时，然后计算各层厚度。

- 0913.5 报告

路面厚度测试报告应包括检测路段的厚度平均值、标准差、厚度代表值。

**《公路工程质量检验评定标准第一册 土建工程 JTGF 80/1-2004》**