

ICS 93.060

DB 14

P 21

山 西 省 地

方 标 准

DB 14/T 721—2012

---

公路隧道衬砌质量无损检测技术规程

2012 - 12 - 31 发布

2013 - 1 - 31 实施

---

山西省质量技术监督局

发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	3
5 地质雷达法 .....	3
6 声波反射法 .....	9
7 回弹法 .....	14
附录 A（资料性附录） .....	15
附录 B（资料性附录） .....	16
附录 C（资料性附录） .....	17
附录 D（资料性附录） .....	18
附录 E（资料性附录） .....	19
附录 F（资料性附录） .....	20
附录 G（资料性附录） .....	21
附录 H（资料性附录） .....	22
附录 I（资料性附录） .....	23
参考文献 .....	24

## 前 言

本标准依据GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。  
本标准由山西省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：山西省交通科学研究院。

本标准主要起草人：武军、李道欣、郝卫国、相兴华、刘国伟、杨振江、高辉、郭炳锜。

# 公路隧道衬砌质量无损检测技术规程

## 1 范围

本标准规定了公路隧道衬砌质量无损检测方法。

本标准适用于山西省境内公路隧道衬砌施工过程中、工程验收及运营维护的质量检测。

## 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 F60-2009 公路隧道施工技术规范

JGJ/T 23-2011 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

## 3 术语和定义

### 3.1

#### 地质雷达法

借助空间探测雷达原理，使用仪器向被探测物体（地质体、建筑物等）发射高频电磁波束，通过观测研究反射电磁波的时间滞后及强弱特征，来研究地质体的电磁勘探法。

### 3.2

#### 声波反射法

利用激振声波信号，实测加速度或速度响应曲线，依据波动理论进行分析，评价锚杆锚固质量的无损检测方法。

### 3.3

#### 介电常数

介质在外加电场时会产生感应电荷而削弱电场，在相同的原电场中某一介质中的电容率与真空中的电容率的比值即为介电常数。

### 3.4

#### 相对介电常数

介质相对于真空的介电常数。

### 3.5

#### 采样率

每个采样周期的采样点数。

3.6

**采样间隔**

相邻采样点间的采样时间间隔。

3.7

**时窗**

信号采集的时间范围。

3.8

**直达波**

由信号发射端直接传播到接收端的波。

3.9

**有效异常**

检测目标体产生的异常。

3.10

**干扰异常**

检测目标体以外的其他因素引起的异常。

3.11

**二度体**

具有一定走向，且沿走向方向变化不明显的目标体。

3.12

**三度体**

没有明显走向的不规则目标体，是三维空间函数。

3.13

**锚杆**

锚固岩体、维护围岩稳定的杆系状结构物。本标准中所涉及的锚杆均指系统锚杆。

3.14

**频率域**

以频率作为变数对振动所进行的研究。

3. 15

### 锚固段

通过粘结材料或机械装置将锚杆与周围介质锚固的部分。

#### 3.16

### 自由段

利用弹性伸长将拉力传递给锚固体，且运行期内能够适应设计范围内的拉力变化以及伸缩和弯曲变形的杆体部分。

#### 3.17

### 锚固密实度

锚杆孔中填充粘结物的密实程度，一般用锚杆孔中有效锚固长度占锚杆设计长度的百分比来评价。

## 4 基本要求

### 4.1 仪器设备

4.1.1 检测仪器、设备应经国家质量技术监督部门授权的检定机构检定或校准合格。

4.1.2 检测仪器应按规定定期检查、标定和保养。

4.1.3 检测仪器应具有防尘、防潮、防震性能，并应满足现场测试环境的要求。

### 4.2 准备工作

4.2.1 收集隧道工程地质资料、施工图、设计变更资料和施工记录。

4.2.2 抽检频率参见附录 A。

4.2.3 进行现场调查，制定检测计划、检测方案，选定技术参数，准备现场记录表格，现场记录表样式参见附录 B~附录 D。

4.2.4 做好测量里程标记。

4.2.5 检测时应严格遵守有关安全规定，配备必要的安全防护人员及设备。

4.2.6 从事公路隧道衬砌质量无损检测人员应经过专业培训，并持有相应检测证书。

## 5 地质雷达法

### 5.1 检测内容

地质雷达法的主要检测内容包括：隧道初期支护喷射混凝土厚度、二次衬砌厚度、衬砌缺陷、钢架及钢筋分布情况。

### 5.2 设备要求

5.2.1 地质雷达法所用设备技术指标应符合下列要求：

- a) 系统增益不低于 150dB；
- b) 信噪比不低于 60dB；
- c) A/D 转换分辨率不低于 16bit；
- d) 信号迭加次数可选择；

- e) 具有逐点采集、连续采集和测量轮采集功能；
- f) 实时滤波功能可选择；
- g) 采样间隔一般不大于 0.5ns；
- h) 具有手动或自动位置标记功能；
- i) 具有现场数据处理功能。

5.2.2 地质雷达天线可根据不同探测目标选择不同频率天线组合，天线技术指标应满足探测内容所要求的探测深度和精度。

### 5.3 检测流程

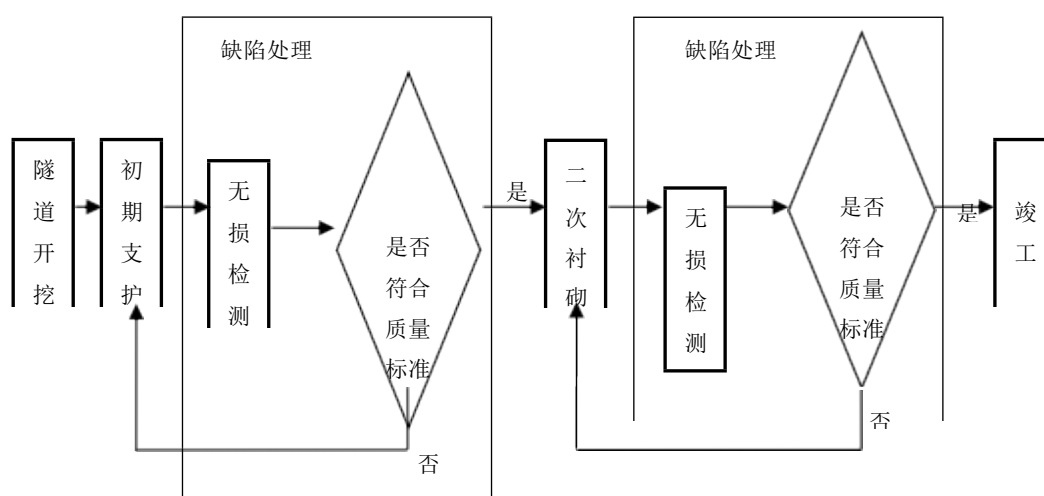


图 1 地质雷达法检测流程

### 5.4 现场检测

#### 5.4.1 探测要点：

- a) 探测目标类别；
- b) 探测目标深度；
- c) 探测目标水平尺度；
- d) 目标是二度体还是三度体；
- e) 要求的精确度；
- f) 目标与环境电磁向值差异的大小。

#### 5.4.2 测线布置：

- a) 针对二度体目标，测线应彼此平行且垂直于目标轴向布设；针对三度体目标，测线应按网格状布设。
- b) 初期支护与二次衬砌检测时，二车道隧道宜每单洞布设 5 条纵向主测线，必要时可横向布线。纵向测线分别位于隧道拱顶、左右拱腰及左右边墙，如图 2 中测线 1~5 位置；横向布线时可按

检测内容和要求布设线距，一般情况线距 10m~20m；当需要采用点测时，测点间距不宜大于 20cm；检测过程中如发现不合格位置，必要时采用网格状加密测线。三车道隧道除满足二车道隧道的测线布置要求外，应在拱顶两侧各增加 1 条测线，如图 3 中测线 6、7 位置。

- c) 仰拱检测时，二车道隧道宜在仰拱左、右幅各布设 1 条测线，如图 2 中测线 8、9 位置，三车道隧道宜在仰拱左、右幅各布设 2 条测线，如图 3 中测线 10~13 位置。
- d) 沿测线走向，每 5m~10m 应有一里程标记。

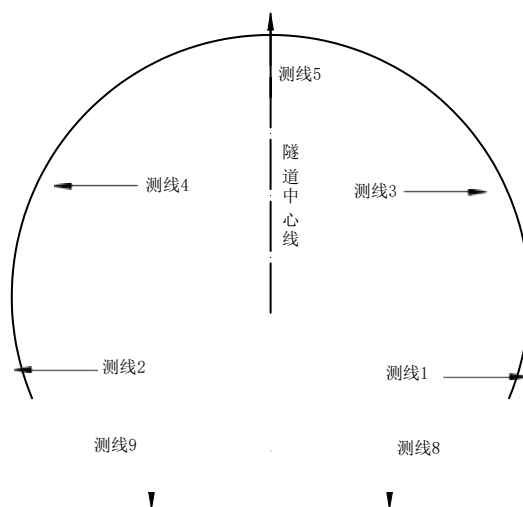


图2 二车道隧道测线布设示意图

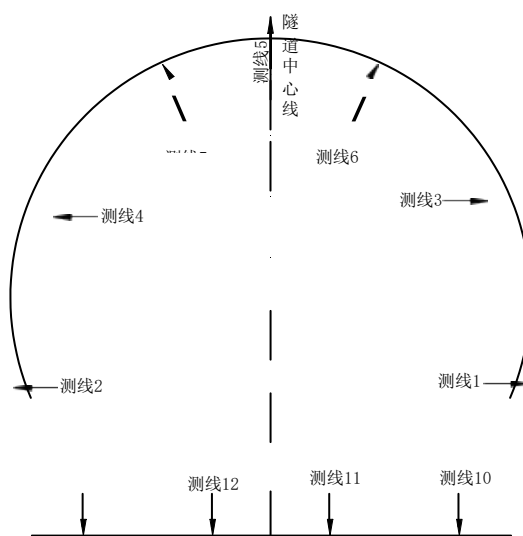


图3 三车道隧道测线布设示意图

#### 5.4.3 天线选择应符合下列要求：

- a) 所选天线应为屏蔽天线；
- b) 隧道施工过程中对初期支护检测时，探测深度较小，精度要求较高，宜选择高频天线；对二次衬砌检测时，宜采用中频天线组合；
- c) 隧道交/竣工验收检测时，探测深度多在 1m 以内，宜采用中频天线组合。

#### 5.4.4 介电常数标定应符合下列要求：

- a) 检测前应结合隧道长度、合同段划分、衬砌材料等因素对衬砌混凝土的介电常数或电磁波速做现场标定，且每座隧道应不少于 1 处，每处实测不少于 3 次，取平均值为该隧道的介电常数或电磁波速。当隧道长度大于 3km、衬砌材料或衬砌含水量变化较大时，应视不同介质分别标定并采用相应的标定值计算。
- b) 标定可采用下列方法：

- 1) 在已知厚度部位或材料与隧道相同的其他预制件上测量；
- 2) 钻孔直接测量。
- c) 求取参数时应具备以下条件：
  - 1) 标定部位的厚度一般不小于 15cm，且厚度已知；
  - 2) 标定数据中界面反射信号应清晰、准确。
- d) 标定结果应按下式计算：

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

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

隧  
道  
中  
心  
线

式中： $\epsilon_r$ —相对介电常数；

$v$ —电磁波速（m/s）；

$t$ —双程走时（ns）；

$d$ —标定部位厚度（m）。

#### 5.4.5 采集参数的确定应符合下列要求：

- a) 一般选取探测深度  $H$  为目标深度的 1.5 倍，即  $H=1.5d$ ；  
时窗长度应按下式计算：

$$\Delta t = 2H(\epsilon_r)^{1/2} / 0.3(ns) \dots\dots\dots (3)$$

式中： $\Delta t$ —时窗长度（ns）。

表 1 时窗设置参考值

检测项目	天线频率 (MHz)	待测厚度 (cm)	时窗 (ns)	说明
初期支护厚度检测	800~1000	5~30	1.5~9	由于隧道掘进过程中常出现超挖现象，回填不密实，采用单一中高频天线，难以发现隐藏在深处的空洞，因此，初支背后回填检测建议采用中低频天线组合。
初支背后回填检测	400~900	>30	>9	
二次衬砌厚度检测	400~900	30~60	9~18	隧道边墙二衬往往较隧道其他部位偏厚，采用单一频率天线，较难探测到与初支分界面。因此，建议采用中低频天线组合。二次衬砌一般与初期支护之间结合比较紧密，采集到的雷达图像反射面不明显，加之二衬内钢筋、预埋件等干扰，较难分辨和判释二衬与初支之间的分层，更是无法透过二衬进行初支检测。
隔二衬检测初支	300~500	35~90	10.5~27	
钢架、钢筋及预埋件分布和数量	800~1000	10~60	3~18	采用中高频天线可以清楚的以抛物线形式反映出钢架、钢筋的位置及分布，数据采集时道间距不宜大于2cm。

注1：表1提供的设置参数仅为理论参考值，检测时可根据现场探测对象实际情况进行适当调整。

- b) 扫描样点数应满足下列关系：

$$S \geq 10^8 \cdot \Delta t \cdot F \dots\dots\dots (4)$$

式中： $S$ —扫描样点数；

$\Delta t$ —时窗长度（ns）；

$F$ —天线中心频率（Hz）。

- c) 扫描速率（扫描/秒）的设置应符合下列要求：

- 1) 在自由测量方式下，与扫描/秒有关的有：发射率、天线移动的测量速度、水平滤波器的类型和宽度。这些参数决定了测量剖面的扫描密度。
  - 2) 在测量轮方式下，相关的参数有：扫描/秒、发射频率、扫描/单位距离。这些参数决定了最大测量速度。
  - 3) 在隧道衬砌表面很不平整的情况下，要采用点测方式采集数据。这时，扫描/秒参数对数据采集没有影响，可不用设置。
- d) 增益设置应满足下列要求：

- 1) 使多数反射信号强度达到满度的 60%-70%;
- 2) 不出现反射信号削顶现象。

5.4.6 纵向布线应采用连续测量方式，扫描速度不得小于 30 道/s；特殊地段或条件不允许时可采用点测方式，测量点距不得大于 20cm。

5.4.7 现场检测工作除满足本标准 4.2 的要求外，还应符合下列要求：

- a) 检测前应检查地质雷达主机、天线及运行设备，使之均处于正常状态；
- b) 检测时应确保天线与衬砌表面密贴（空气耦合天线除外）；
- c) 检测时天线移动应平稳、速度均匀，且移动方向与天线轴向垂直，移动速度不宜过快；
- d) 现场记录应包括测线号、文件名、测线方向、标记间隔、检测量程及天线类型；
- e) 当需要分段检测时，相邻检测段接头重复长度不应小于 1m；
- f) 把现场产生反射干扰的异物记录下来，如照明装置、机动车、施工人员及施工设备等，并注明其与测线的距离及位置关系等。

## 5.5 数据处理

5.5.1 数据处理前应对原始数据进行回放检验，数据记录应完整、信号清晰、里程标记准确。不合格的原始数据不得进行处理与解释。

5.5.2 数据处理应使用仪器设备自带的配套软件或经鉴定合格的软件。

5.5.3 检验合格的原始数据解释前应进行首波位置调整、修正介电常数、滤波、反褶积、偏移等基本处理。

5.5.4 数据处理与解释可采用图 4 所示流程。

5.5.5 数据处理应符合下列要求：

- a) 进行滤波、反褶积及偏移处理时，应合理设置参数，确保信号不失真；
- b) 确保位置标记准确、无误。

5.5.6 数据解释工作应符合下列要求：

- a) 解释前应熟悉隧道衬砌结构和介质电磁特性，以利于资料解释；
- b) 解释工作应在掌握检测范围内物性参数和衬砌结构的基础上，按由已知到未知和定性指导定量的原则进行；
- c) 根据现场记录，分析可能存在的干扰源与数据记录中异常的位置关系，准确区分有效异常与干扰异常；
- d) 找准首波位置，以准确读取电磁波双程走时；
- e) 解释结果和成果图应能清晰、准确反映隧道施工的实际情况，满足质量评价的需要。

5.5.7 分析软件不具有厚度自动转换功能时，衬砌厚度由下式确定：

$$d = \frac{0.3t}{2\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (5)$$

或 
$$d = \frac{1}{2}v \cdot t \cdot 10^{-9} \dots\dots\dots (6)$$

式中  $d$  — 衬砌厚度 (m) ；

$\epsilon_r$  — 相对介电常数；

$t$  — 电磁波双程走时 (ns) ；

$v$  — 电磁波速 (m/s) 。

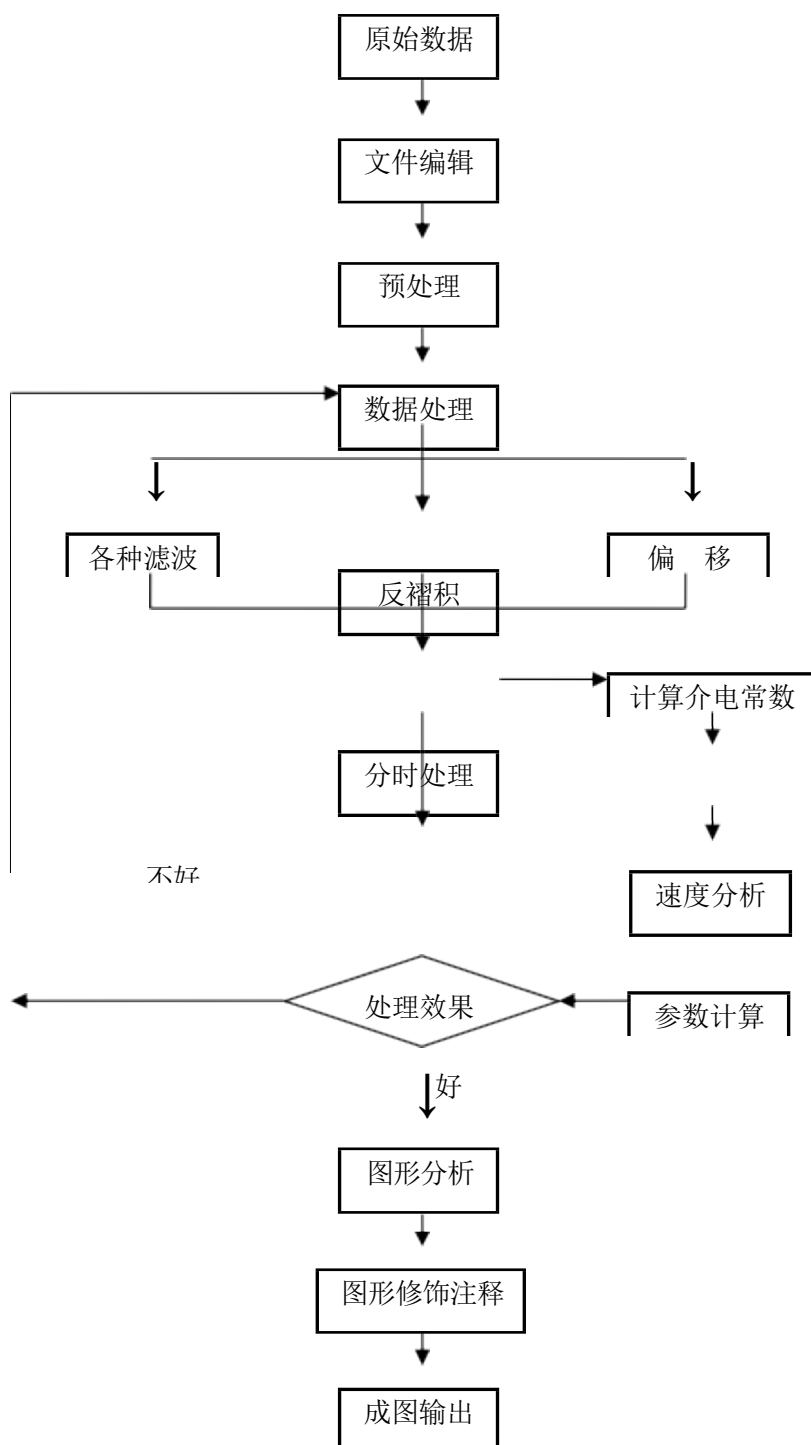


图 4 地质雷达数据处理与解释流程

## 5.5.8 衬砌背后回填密实度的主要判释特征:

- a) 密实: 信号反射幅度较弱, 甚至没有界面反射信号;
- b) 不密实: 衬砌界面的强反射信号同相轴呈绕射弧形, 且不连续, 较分散;

- c) 空洞：电磁波界面反射信号强，三振相明显，在其下部仍有强反射界面信号，两组信号时程差较大。

#### 5.5.9 衬砌内部钢拱架、钢筋及预埋管件的主要判释特征：

- a) 钢架、预埋管件：反射信号较强，呈分散的抛物线型；
- b) 钢筋：反射信号较强，呈连续的小抛物线型。

### 5.6 结果判定

5.6.1 初期支护厚度检测结果判定按 JTG F60-2009 中的 8.9.1 执行。

5.6.2 钢架间距检测结果判定按 JTG F60-2009 中的 8.9.4 执行。

5.6.3 二次衬砌厚度检测结果判定按 JTG F60-2009 中的 8.9.6 执行。

#### 5.6.4 衬砌钢筋主筋间距检测结果判定按 JTG F60-2009 中的 8.9.8 执行。

注：交工验收检测时，二次衬砌厚度检测结果质量标准在满足本标准 5.6.3 的基础上，应以工程划分为单位，先对每条测线单独评价，然后进行整体评价。

### 5.7 检测报告

检测报告内容应包括：项目概况、检测目的、检测内容、检测方法、采用的仪器和设备、检测原理、检测工作量、资料处理和解释、结论及相关问题处理建议、检测结果汇总表格和衬砌厚度纵剖面图，表格样式参见附录 E~附录 H。

## 6 声波反射法

### 6.1 检测内容

锚杆锚固质量无损检测内容应包括各种全长粘结型锚杆杆体长度检测和锚固密实度检测。

### 6.2 设备要求

锚杆锚固质量无损检测仪器设备应符合下列要求：

- a) 检测仪器的采集器应具有现场显示、输入、保存实测波形信号、检测参数的功能，宜具有对现场检测信号进行分析处理、与计算机进行数据通信的功能，一屏应能显示不少于三条波形。
- b) 采集器模拟放大的频率带宽不宜小于 10Hz，应具有滤波频率可调功能，A/D 不应小于 16 位，采样间隔应小于 25  $\mu$ s。
- c) 检测资料的分析软件应具有数字滤波、幅频谱分析、瞬时相位谱分析、能量计算等信号处理功能，以及锚杆杆长计算、缺陷位置计算和密实度分析功能，可将检测波形、计算参数、分析结果导入相应电子文档。
- d) 接收传感器宜采用加速度型，且感应面直径应小于锚杆直径，可通过强力磁座或其他方式与杆头耦合。
- e) 激振器应具有瞬态激发功能，激发能量能满足检测需要，且应与仪器设备匹配。

### 6.3 检测流程

现场检测