广西壮族自治区工程建设地方标准 **DB**

DBJ/TXX-XXX-201X

备案号：JXXXX-201X

盾构法隧道管片壁后注浆质量

地质雷达法检测技术规范

Code for Ground Penetrating Radar detection of Grouting quality behind shield tunnel segment

(报批稿)

201X-XX-X 发布 201X-XX-X 实施

广西壮族自治区住房和城乡建设厅 发布

广西壮族自治区工程建设地方标准

盾构法隧道管片壁后注浆质量

地质雷达法检测技术规范

Code for Ground Penetrating Radar detection of Grouting quality behind shield tunnel segment

DBJ/TXX-XXX -201X

备案号JXXXX-201X

批准部门：广西壮族自治区住房和城乡建设厅

主编单位：广西有色勘察设计研究院

施行日期：201X年XX月X日

201X 南宁

广西壮族自治区住房和城乡建设厅

关于批准发布广西工程建设地方标准《盾构法隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测技术规范》的通知

桂建标【201X】XX号

各设区市住房城乡建设委（局），各有关单位：

由我厅批复立项，广西有色勘察设计研究院主编的广西工程建设地方标准《盾构隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测技术规范》已获专家评审通过，现予批准发布。标准编号如下：

DBJ/TXX-XXX-201X盾构法施工隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测技术规范

该标准自201X年X月X日发布，201X年XX月X日 起实施。

该标准由广西壮族自治区住房和城乡建设厅负责管理，主编单位负责具体技术内容解释。

广西壮族自治区住房和城乡建设厅

201X年X月X日

**前 言**

根据广西壮族自治区住房和城乡建设厅《关于下达2016年度广西壮族自治区工程建设地方标准制(修)订项目第二批计划的通知》（桂建标[2016]43号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考了有关国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范共分8章，主要内容包括：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 仪器设备；5. 地质雷达仪器自校准；6. 介质参数测定；7. 现场检测；8. 数据处理与解释。

本规范由广西住房和城乡建设厅负责管理，广西有色勘察设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请将相关资料寄送广西有色勘察设计研究院（邮政编码 530031，南宁市江南区槎路262号），以供今后修订时参考。

本规范主编单位：广西有色勘察设计研究院

本规范参编单位：南宁市建筑管理处

南宁轨道交通集团有限责任公司

中国中铁隧道集团有限公司

南宁市建设工程质量安全协会

南宁祥明工程检测咨询有限公司

本规范主要起草人：闫清武 马富安 唐 甫 容继盘

翁敦贤 蒋玉柳 黄尚俊 韦益华 师虎峰 何 鎏

何其智 胡盛斌 陆仕勇 钟有信 徐志俊 蔡 聪

钱 强 黄甫堂 梁 峰 潘志明 纪学斌 孙会良

傅根根 李寿坤 唐高洪 滕 冰 潘玉东

本规范主要审查人：张玉池 罗吉智 周 东 林春伟

黄美玲

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc502657453)

[2 术语和符号 2](#_Toc502657454)

[2.1 术 语 2](#_Toc502657455)

[2.2 符 号 4](#_Toc502657456)

[3 基本规定 6](#_Toc502657457)

[4 仪器设备 8](#_Toc502657458)

[5 地质雷达仪器自校准 9](#_Toc502657459)

[5.1一般规定 9](#_Toc502657460)

[5.2地质雷达自校准方法 10](#_Toc502657461)

[6 介质参数测定 13](#_Toc502657462)

[6.1一般规定 13](#_Toc502657463)

[6.2介质参数测定 13](#_Toc502657464)

[7 现场检测 16](#_Toc502657465)

[7.1一般规定 16](#_Toc502657466)

[7.2检测前准备工作 17](#_Toc502657467)

[7.3测线布设及参数设置 17](#_Toc502657468)

[8 数据处理与解释 21](#_Toc502657469)

[8.1一般规定 21](#_Toc502657470)

[8.2数据处理 22](#_Toc502657471)

[8.3数据解释 23](#_Toc502657472)

[附录A 记录表格 26](#_Toc502657473)

[附录B 物性参数表 29](#_Toc502657474)

[本规程用词说明 32](#_Toc502657475)

[引用标准名录 33](#_Toc502657476)

[条文说明 34](#_Toc502657477)

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 4

3 Basic Requirements 6

4  Instruments 8

5 Self- calibration of GPR instrument 9

5.1 General Requirements 9

5.2 Self -calibration method for geological radar  10

6 Measurement of medium parameters  13

6.1 General Requirements 13

6.2 Measurement of medium parameters  13

7 Field Test 16

7.1 General Requirements 16

7.2 Preparation before Testing 17

7.3 Layout of Survey Line and Parameter Setting  17

8 Data Processing and Interpretation 21

8.1 General Requirements 21

8.2 Data Processing  22

8.3 Data Interpretation  23

Appendix A Record Form 26

Appendix B Physical Parameters List 29

[Explanation of Wording in This Code 32](#_Toc487964588)

List of Quoted Standards 33

Explanation of Provisions 34

# 1 总 则

**1.0.1**为统一广西盾构法施工隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测技术要求，规范检测行为，提高检测质量，制定本规范。

**1.0.2**本规范适用于广西盾构法施工新建或既有隧道管片壁后注浆质量控制、工程验收及管片壁后病害地质雷达法无损检测，检测内容包括盾构管片壁后注浆层厚度、密实情况、缺陷及管片壁后病害。

**1.0.3**盾构法施工隧道管片壁后注浆质量地质雷达检测除应符合本规范外，尚应符合国家、自治区现行的有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术 语

**2.1.1**盾构 shield

在刚壳体保护下完成隧道掘进、出渣、管片拼装等作业，由主机和后配套设备组成的全断面推进式隧道施工机械设备。根据开挖面的稳定方式，分为土压平衡式盾构、泥水平衡式盾构、敞开式盾构和气压平衡式盾构。

**2.1.2**地质雷达仪器自校准self- calibration of GPR instrument

实验室使用经检定合格的标准器按照量值传递规定对地质雷达仪器进行自校准。

**2.1.3**壁后注浆层  back-fill grouting layer

盾构管片拼装完毕后，管片外壁与岩土体之间空隙，通过壁后注浆将该空隙填充密实，该填充层称之为壁后注浆层。

**2.1.4**地质雷达法 ground penetrating radar method

利用介质对电磁波的反射特性，对介质内部的构造和缺陷（或其他不均匀体）进行探测的方法。

**2.1.5**密实 closely knit

壁后注浆层胶结良好且与围岩之间无空隙，为壁后注浆层胶结情况的定性评定指标。

**2.1.6**注浆缺陷 grouting defects

壁后注浆层内产生空洞或壁后注浆层松散、缺失。

**2.1.7**介电常数 dielectric constant

在有外电场作用时，物质储存电荷能力的量度。是一个点上电位移和电场强度的比值。

**2.1.8**相对介电常数 relative dielectric constant

介质相对于真空的介电常数。

**2.1.9**中心频率 centre frequency

某频率范围的中间频率。

**2.1.10**采样率 sampling rate

每个采样周期的采样点数。

**2.1.11**采样间隔 sampling interval

相邻采样点间的时间间隔。

**2.1.12**采样时窗 sampling time window

信号采集的时间长度。

**2.1.13**电磁波速 velocity of electromagnetic wave

电磁波在介质中的传播速度。

**2.1.14**有效异常 effective anomaly

检测目标体产生的异常。

**2.1.15**干扰异常 interference anomaly

检测目标体以外的其他因素引起的异常。

**2.1.16**物性参数 physical property parameter

介质电磁波传播的参数，如相对介电常数、电导率。

**2.1.17**物性差异 difference of physical properties

影响介质电磁波传播的物理参数差异，如相对介电常数、电导率差异。

## 2.2 符 号

**2.2.1**盾构法施工隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测技术规范的符号应符合下列规定：

-----相对介电常数

σ-----电导率(S/m)

*t*-----电磁波双程旅行时间(s或ns)

*Cc*-----空气中电磁波速(m/s或m/ns)

*d* -----检测和标定目标体的厚度(或距离，m)

*d1*-----管片厚度(m)

*d2*-----注浆层厚度(m)

*f*----天线中心频率(MHz)

T----时窗长度(s或ns)

-----采样间隔(s或ns)



-----管片电磁波速(m/s或cm/ns)

-----壁后注浆层磁波速(m/s或cm/ns)

*t2 -----*壁后注浆层电磁波双程旅行时间（s或ns）

-----缺陷处电磁波双程旅行时间（s或ns）

-----壁后注浆层相对介电常数

D----天线至金属板之间的距离(m)

# 3 基本规定

**3.0.1**从事盾构法施工隧道管片壁后注浆质量及病害地质雷达法检测的单位及人员应具备相应的执业从业条件。

**3.0.2**检测前宜先测定介质参数，了解其物性特征，检测时间宜在注浆层电磁波参数稳定后进行。

**3.0.3** 地质雷达法检测壁后注浆层厚度、注浆缺陷和定性判定注浆层密实情况应符合下列要求：

**1** 壁后注浆层与围岩物性差异不明显时，地质雷达法可检测注缺陷和定性判定注浆层密实情况。

**2** 壁后注浆层与围岩物性差异明显时，地质雷达法可检测注浆层的厚度、注浆缺陷和定性判定注浆层密实情况。

**3.0.4**地质雷达法可定性评定隧道围岩注浆体基本特征，如松散、空洞、密实情况，评定深度范围应通过现场试验取得。

**3.0.5** 地质雷达现场检测工作应符合下列规定：

**1**现场检测时，应尽量避开或排除固定干扰源；

**2**在有效异常段，曲线的突变点和畸变线段、仪器参数或观测条件改变的情况下，应进行加密复测；

**3**操作员应现场查看每个记录，若不符合要求，应查明原因并及时重测。

**3.0.6**现场检测完成后应按下列要求进行检测质量自检：

**1**抽取不少于总工作量的5%进行重复检测，重复检测时位置及参数应与原始检测保持不变；

**2**重复检测的图像应与原始检测图像的形态与位置基本一致；

**3**重复检测时管片平均反射时间与原始检测管片平均反射时间之差的绝对值不得大于0.5ns；

**4** 重复检测不满足本条1～3点要求时应增加重复检测量；当重复检测量达到总工作量的20%，仍不符合要求时，应全部重测。

**3.0.7**数据处理与解释应遵循由已知到未知的原则，数字信号处理应在确保数据不失真的前提下提高数据分辨率。

**3.0.8**现场检测除应遵守施工现场安全规定外，还应充分考量检测安全风险，做好安全事故预案，配备必要的安全防护设备。

**3.0.9** 检测报告应包括以下主要内容：

**1** 工程概况，如检测范围、管片型号、注浆材料及配合比、注浆日期、检测日期、工作量等；

**2** 工程地质概况；

**3** 仪器设备情况、检测参数设置情况；

**4** 介质参数测定结果，包括管片、注浆层、围岩的介质参数测定结果；

**5** 注浆层厚度、密实度、缺陷及位置；

**6**测线布置图、注浆层及缺陷、病害等分布图(表)、解释成果图、雷达检测原始波形(影像)图；

**7** 结论与建议。

# 4 仪器设备

**4.0.1**检测仪器必须按规定定期检查、自校准和保养。

**4.0.2**检测仪器应具有防尘、防潮、防震性能，并应满足现场温度和湿度环境的要求。

**4.0.3**地质雷达主机技术指标应符合下列要求：

**1** 系统增益不低于150dB；

**2** 系统应具有可选的信号叠加、时窗、实时滤波、增益、点测或连测、位置标记等功能；

**3** 信噪比不低于60 dB；

**4** 数模转换不低于16位；

**5** 信号迭加次数可选择；

**6** 实时滤波功能可选择；

**7** 具有点测与连续测量功能；

**8** 具有手动或自动位置标记功能；

**9** 具有现场数据处理功能；

**10**最小采样间隔应达到0.5ns。

**4.0.4**天线中心频率应在200MHz～900MHz之间，可用单天线或组合天线，其技术指标应符合下列要求：

**1** 具有屏蔽功能；

**2** 最小探测深度应大于0.6m；

**3** 垂直分辨率应高于5cm。

# 5 地质雷达仪器自校准

## 5.1一般规定

**5.1.1**盾构法隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测前应按本规范要求进行自校准。

**5.1.2**仪器自校准人员和批准人员资格

**1**自校准人员

1）从事检测应具有相应专业中级及以上职称人员；

2）熟悉仪器操作、了解仪器原理和具有一定的分析判断能力；

3）经单位考核认定授权。

**2**批准人员

1）从事检测工作十年以上、具有相应专业副高级及以上职称人员；

2）经单位考核认定授权。

**5.1.3**自校准周期

**1**地质雷达自校准周期设置为一年。

**2**地质雷达仪器自校准周期内使用时出现故障，经维修后均应重新进行自校准，自校准合格方能使用，并把本次自校准时间设为该仪器自校准周期的起点。

**3**地质雷达仪器闲置一段时间未用，重新启用时应先进行自校准，并把本次自校准时间作为该仪器自校准周期的起点。

**5.1.4**标识化管理

地质雷达仪器仪器经自校准后，应实行标识化管理，帖上相应标识。

## 5.2地质雷达自校准方法

**5.2.1**地质雷达不同中心频率的天线应分别与仪器系统进行自校准。

**5.2.2**自校准项目和条件

地质雷达仪器自校准项目和自校准工具列于表5.2.1。

**表5.2.1 自校准项目和自校准工具**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检 验 项 目 | 主要校准工具 |
| 1 | 外观 | 目测 |
| 2 | 空气电磁波速度实测值 | 金属板、钢尺 |

**5.2.3**自校准用钢尺应通过省级及以上质量技术监督局检定合格，且在有效检定期内。

**5.2.4**地质雷达仪器自校准的环境温度应在仪器适用温度范围内，且自校准前受检仪器在该环境温度内放置时间不少于30min。

**5.2.5**自校准要求和方法

**1**外观

1) 要求：仪器清洁、干燥，各部位不应有碰伤、松动以及影响测量精度的其它外观缺陷。仪器上应标明产品名称、规格型号、编号、生产厂家和出厂日期等。

2) 自校准方法：目力观察

**2** 空气电磁波速度实测值

1) 实测空气电磁波速度值与空气电磁波速度标准值比较，其相对误差应≤3％。

2) 自校准方法

***a*** 选择一空旷处，其周围5m范围内应无金属导线、块体等良导体类物质，在1~2m范围置竖立放置不小于1m2方形金属板（如铁板、钢板等）。

***b*** 在金属板面中垂线方向的一定距离处设置地质雷达发射天线和接收天线。

***c*** 观测并记录电磁波通过空气遇金属板后反射的雷达波形图。

***d***由原始记录的雷达波形图，读取金属板反射的双程历时t(≥5次)，进而计算空气电磁波传播速度*Cci*：

**  （5.2.1）



式中：D----天线至金属板之间的距离。

***e*** 计算空气电磁波传播速度的平均值*Cc*

 （5.2.2）

式中 *i*=1,2,3，…，n n≥5

***f*** 根据空气电磁波速度标准值（*Co*=0.3m/ns），按下式计算空气电磁波速度标准值*Co*和空气电磁波速度测量值*Cc*之间的相对误差值*δ*。

 （5.2.3）

***g*** 判定标准：*δ*≤3%，即自校准合格。

**3**自校准结果

经自校准符合本规范要求的地质雷达仪应进行三色状态标识并出具自校准报告。

# 6 介质参数测定

## 6.1一般规定

**6.1.1**检测前应对管片、注浆材料以及隧道围岩岩土层进行介质参数的测定，如相对介电常数或电磁波速、电导率等参数。

**6.1.2**测定所使用的天线中心频率应与检测时使用的天线中心频率一致。

## 6.2介质参数测定

**6.2.1**管片介质参数测定

管片的相对介电常数或电磁波速做现场测定，应在单次检测段中选取各型管片各3片进行参数测定，取平均值为该型管片的相对介电常数或电磁波速。

**6.2.2**注浆材料介质参数测定

注浆材料进行相对介电常数或电磁波速、电导率等参数做现场测定，应将检测段所包括的各种配合比注浆材料分别进行测定，测定时应取得注浆层的清晰反射界面，且每种注浆材料不少于3组，取其平均值为该种注浆材料介质参数代表值。

**6.2.3**岩土层物性参数测试

管片壁后岩土层应进行电导率参数测试，应将检测段所包括的各种岩性的围岩分别测试，且每种岩性不少于3组，取其平均值为该岩性电导率代表值。

**6.2.4**介质参数测定可采用下列方法：

**1** 管片介质参数测定应采用未安装的管片或在隧道现场直接测定；

**2** 注浆材料相对介电常数或电磁波速测定应在隧道内能直接测量注浆层厚度的地点，如洞口，联络通道等部位直接测定；如隧道内不能直接测定，应制作试块测定，试块的厚度不得小于30cm ,长度不小于100cm,宽度不小于50cm，测定应在试块相对介电常数趋于稳定之后进行，当隧道位于地下水位以下时，测定前应将试块于水中浸泡不少于24小时；电导率测试应通过试块用对称四级法小极距电阻率测试，电阻率的倒数即为电导率；

**3** 围岩电导率参数测定可利用地质勘察报告电阻率测井报告的数据；如无该数据则应通过地质钻孔进行井中电阻率测试或岩芯标本测定。

**6.2.5**测定结果应用下式计算：

（6.2.5-1）



（6.2.5-2）



（6.2.5-3）



式中 -----相对介电常数

*t*-----双程旅行时间(ns)

d-----标定目标体厚度或距离(m)

υ-----电磁波速(m/s)



σ-----电导率(S/m)

ρ-----电阻率(Ω·m)

# 7 现场检测

## 7.1一般规定

**7.1.1**检测前应试验各参数的优化组合，避免管片多次反射信号等各种干扰。

**7.1.2**地质雷达检测记录应符合下列规定：

**1** 记录包括：仪器自校准、检查和调试记录，原始记录；

**2** 原始记录应包括以下信息：工程名称、检测范围、天气、仪器名称、型号、仪器主要工作技术参数、测线号、测点号、工作单位和操作人员、校验人员等；检测数据电子记录文件号、仪器观测过程中的异常情况记录等。

**7.1.3**现场检测工作应符合下列要求：

**1** 检测天线移动应平稳、速度均匀，移动速度不大于3km/h；

**2** 记录应包括记录测线号、方向、标记间隔以及天线类型等；

**3** 单个数据文件记录里程不宜大于100m；

**4** 当需要分段测量时，相邻测量段接头重复长度不应小于0.5m；

**5** 应随时记录可能对测量产生电磁影响的物体（如渗水、电缆、铁架等）及其位置；

**6** 应准确标记测量位置。

**7.1.4**地质雷达检测原始数据质量应符合下列规定：

**1** 位置标记误差不大于0.3m/100m；

**2** 数据应平滑无毛刺干扰；

**3** 数据采集参数设置合理；

**4** 坏道率不大于3%且删除坏道后不影响数据判读。

## 7.2检测前准备工作

**7.2.1** 检测前应进行资料收集，主要包括：

**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；

**2**收集注浆材料配合比；

**3**干扰源调查，现场调查各固定干扰源的位置，并做好标记。

**7.2.2**检测前应进行仪器设备调试、检查，主要包括：

**1**检测前应调试主机、天线以及运行设备，使之均处于正常状态；

**2**检测前应进行仪器设备检测结果一致性检查，一致性检查可利用现场已知尺寸块构件(如管片、试块等)进行，检查时应由不同人员分别操作仪器,且采集参数相一致。不同人员一致性检查结果相差不得大于1cm，否则应重新调试仪器设备。

**3**地质雷达主机及天线应定期进行仪器性能比对试验，比对周期不得大于6个月。

## 7.3测线布设及参数设置

**7.3.1**测线布设应符合下列规定:

**1** 测线布设应以环向检测和纵(轴)向检测结合进行。环测线应布设在隧道上半环，每条测线长度不小于隧道周长的1/2，每环布设测线不少于1条，检测段布设环测线的环数不应少于总环数的1/3；纵(轴)测线沿隧道前进(或后退)方向进行，宜在上半环平均布设不少于5条测线，下半环不少于1条；

**2** 特殊地段施工的隧道，应加密布设测线；

**3** 既有隧道病害检测测线布设应符合本条第1、2点的要求；

**4** 检测过程中如遇到有效异常或追踪有效异常延伸方向，应适当加密测线或测点；

**5** 测线布设好后应将固定干扰源位置标示于测线布设图上；

**6**现场观测时应清除或避开测线附近的干扰源。

**7.3.2**测量方式宜按下列要求选择：

**1** 纵(轴)测线宜采用连续测量方式进行；

**2**环测线或加密测线宜采用点测方式进行，测量点距应根据所需探测异常尺寸试验选择。

**7.3.3**检测分辨率与距离或深度的估算应符合下列规定：

**1** 检测分辨率宜取波长的1/4作为垂向分辨率，取第一菲涅尔带半径作为横向分辨率，第一菲涅尔带半径应按下式计算：

 (7.3.3)

式中：

 -----电磁波波长

 -----目标体埋深

**2** 在条件具备时，可用探地雷达方程估算检测深度；

**3**可利用获得的介质电磁波速度和目的体双程走时换算目标体深度。

**7.3.4**测量时窗由下式确定：

（7.3.4）



式中 T -----时窗长度(s)

α-----时窗调整系数，一般取2.0～4.0

*d1* -----管片厚度(m)

*d2* -----注浆层厚度(m)

-----管片电磁波速(m/s)

-----壁后注浆层磁波速(m/s)

**7.3.5**采样时间间隔

每道(点)信号采样点数采样点数一般设置512或1024点，其采样时间间隔可按下式确定：

或 （7.3.5）



式中 -----采样时间间隔(s)

**7.3.6**天线收发间距

**1** 使用分体天线进行点测时，应通过调整天线距离使来自目的体的反射信号最强，可选取二倍临界角为接收天线与发射天线相对探测目的体的张角，也可选取探测对象最大深度的1/5作为天线间距；

**2** 使用偶极天线时，天线的取向宜使电场的极化方向与探测目标体的长轴或走向平行，当探测目的体的长轴方向不明确时，宜使用两组正交方向的天线分别进行观测。

# 8 数据处理与解释

## 8.1一般规定

**8.1.1**原始数据处理前应回放检验，数据记录应完整、信号清晰，数据质量应满足满足3.0.4条及7.1.4条要求。不满足此要求的始数据不得进行处理与解释并应重新检测。

**8.1.2**数据处理与解释软件应使用正式认证的软件或经鉴定合格的软件。

**8.1.3**数据处理与解释可采用下列流程：

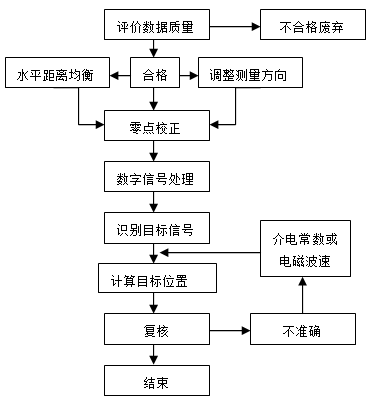


图8-1 数据处理与解释流程图

## 8.2数据处理

**8.2.1**数据处理应符合下列规定：

**1** 确保位置标记准确、无误；

**2** 确保信号不失真，有利于提高信噪比；

**3**可根据需要选取删除无用道、水平比例归一化、增益调整、频率滤波，*f-k*倾角滤波、反褶积、偏移归位、空间滤波、点平均等处理方法；

**4**选择处理方法应根据外业记录、数据质量及解释要求进行，当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积，在进行*f-k*倾角滤波和偏移归位处理前应删除无用道，并进行水平比例归一化；

**5**在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波。

**8.2.2**数字信号处理应符合下列规定：

**1**用*f-k*倾角滤波消除倾斜层干扰波的前提应是确定无同样倾角的有效层状的反射波；

**2**可用反褶积来压制多次反射波，用于反褶积的反射子波宜是最小相位子波；

**3**可采用时间偏移或深度偏移方法将倾斜层反射波界面归位，使绕射波收敛，在进行深度偏移处理时应选择可靠的介质电磁波速度；

**4**可选用空间滤波的有效道叠加和道间差两种方法，使异常具有更好的连续性或独立性，提高数据图像的可解释性；改变反射信号的振幅特征应在其他方法处理完成后进行；

**5**可用平滑数据的点平均法消除信号中的高频干扰，参与计算的点数宜为奇数，最大值宜小于采样率与低通频率之比。

## 8.3数据解释

**8.3.1**解释工作应符合下列规定：

**1** 参与解释的雷达图像应清晰；

**2**解释应在掌握测区内物性参数、隧道结构的基础上，按由已知到未知和定性指导定量的原则进行；

**3**根据现场记录，分析可能存在的干扰体位置与雷达记录中异常的关系，准确区分有效异常与干扰异常；

**4** 应准确读取各目标层及有效异常双程旅行时间；

**5**应根据地质情况、电性特征、被探测体的性质和规模进行综合分析；必要时应考虑影响解释结果的各种因素，制作雷达检测的正演和反演模型；

**6**经过解释的成果资料应包括雷达剖面图像、雷达地质成果解释剖面图，雷达剖面图像上应标出目标反射波的位置或反射波组。

**8.3.2**壁后注浆层界面应根据反射信号的强弱、频率变化及延伸情况确定。

**8.3.3**注浆层厚度，主要信号判定特征应符合下列要求：

**1** 壁后注浆层与管片界面反射波同相轴连续，频率无突变，可明显观测到管片界面反射波；

**2** 壁后注浆层与围岩界面反射波同相轴连续，频率无突变，可追踪延伸情况。

**8.3.4**壁后注浆层厚度应由下式确定：

（8.3.4-1）



或 （8.3.4-2）



式中: *d2*-----壁后注浆层厚度(m)

*t2*-----壁后注浆层双程旅行时间(s)

-----壁后注浆层电磁波速(m/s)

-----壁后注浆层相对介电常数



**8.3.5**壁后注浆层缺陷的主要信号判定特征应符合下列要求之一：

**1** 壁后注浆层内反射波同相轴杂乱、呈漫反射、频率突变，或同相轴错段、不连续、较分散。

**2** 壁后注浆层内反射波呈双曲线反射、频率突变。

**8.3.6**壁后注浆层缺陷中心位置深度定位应由下式确定：

（8.3.6）



式中 -----缺陷中心位置深度(m)

-----管片厚度(m)



-----壁后注浆层缺陷处双程旅行时间(s)，当注浆层缺失时该值为0



**8.3.7**壁后注浆层密实情况定性评定按每环管片长度为最小评定单位，其主要信号特征应符合下列要求：

**1** 密实：壁后注浆层与围岩介质参数差异不明显时，其与管片界面、围岩界面反射信号弱，甚至没有界面反射信号；壁后注浆层与围岩介质参数差异明显时，其与管片界面、围岩界面反射信号明显，反射波频率无突变，同相轴连续；

**2**不密实：壁后注浆层与围岩介质参数差异不明显时，壁后注浆层与管片界面或围岩界面反射信号强，同相轴呈绕射弧形，且不连续，较分散；壁后注浆层与围岩介质参数差异明显时，壁后注浆层内反射波同相轴杂乱、错断、呈漫反射、频率突变，不能追踪壁后注浆层与围岩界面的延伸情况。

**8.3.8**对既有隧道病害检测时，应结合注浆层电磁波信号特征，对围岩情况进行分析解释，解释深度应通过现场试验确定。

**8.3.9**当地质雷达法检测不足以全面评价管片壁后注浆情况时，应结合其它方法如钻芯法、浅层地震法等方法进行综合评价。

# 附录A 记录表格

表A.1地质雷达自校准记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校验温度℃ ： 相对湿度%： 日期：  仪器型号： 天线型号及频率： 金属板距离（mm）: | | | | | | | | | |
| 校准  项目 | 校 准 次 数 | | | | | | | | 相对误差(%) |
| 一 | 二 | | 三 | 四 | | 五 | 六 |
| 金属板反射的双程历时t(ns) |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 电磁波传播速度Cc (m/ns) |  |  | |  |  | |  |  |
| 外观描述 |  | | | | | | | | |
| 溯源器具 | 名称 | | 型号 | | | 编号 | | | |
|  | |  | | |  | | | |
| 精度 | | 检定单位 | | | 检定报告  及编号 | | | 有效期 |
|  | |  | | |  | | |  |

批准人员： 校准人员：

表A.2盾构法施工隧道管片壁后注浆质量地质雷达法检测现场记录表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程  名称 |  | | | | 日期 |  |
| 雷达  型号 |  | 天线中心频率 |  | | 天气 |  |
| 文件名 | 测线编号 | 测线里程 | 管片环号 | 注浆日期 | |  |
|  |  |  |  | 采样参数 | | |
|  |  |  |  |  | | |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  | 测线示意图 | | |
| 现场说明 | | | |  | | |
|  | | | |
| 操作： 记录： 复核： | | | | | | |

表A.3地质雷达一致性检查记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程  名称 |  | | | | | 日期 | |  |
| 雷达型号 |  | 天线中  心频率 | |  | | 天气 | |  |
| 构件1  尺寸 | 长： 宽： 厚度(高)： (cm) | | | | | | | |
| 构件2  尺寸 | 长： 宽： 厚度(高)： (cm) | | | | | | | |
| 采样参数 |  | | | | | | | |
| 操作员 |  | 构件  1厚度 | cm | | 反射时间/  测试厚度 | | ns  cm | |
| 操作员 |  | 构件  1厚度 | cm | | 反射时间/  测试厚度 | | ns  cm | |
| 采样参数 |  | | | | | | | |
| 操作员 |  | 构件  2厚度 | cm | | 反射时间/  测试厚度 | | ns  cm | |
| 操作员 |  | 构件  2厚度 | cm | | 反射时间/  测试厚度 | | ns  cm | |

# 附录B 物性参数表

表B.1常见介质电阻率参考表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类　别 | 名　称 | 电阻率 |
| 松  散  层 | 粘　土 | 1.0×100～2×102 |
| 含水黏土 | 2.0×10-1～1.0×101 |
| 亚黏土 | 1.0×101～1.0×102 |
| 砾石加黏土 | 2.2×102～7.0×103 |
| 亚黏土含砾石 | 8.0×101～2.4×102 |
| 卵　石 | 3.0×102～6.0×103 |
| 含水卵石 | 1.0×102～8.0×102 |
| 沉  积  岩 | 泥质页岩 | 6.0×101～1.0×103 |
| 砂　岩 | 1.0×101～1.0×103 |
| 泥　岩 | 1.0×101～1.0×102 |
| 砾　岩 | 1.0×101～1.0×104 |
| 石灰岩 | 6.0×102～6.0×103 |
| 泥灰岩 | 1.0×100～1.0×102 |
| 白云岩 | 5.0×101～6.0×103 |
| 破碎含水白云岩 | 1.7×102～6.0×102 |
| 硬石膏 | 1.0×104～1.0×106 |
| 岩　盐 | 1.0×104～1.0×106 |
| 变质岩 | 片麻岩 | 6.0×102～1.0×104 |
| 大理岩 | 1.0×102～1.0×105 |
| 石英岩 | 2.0×102～1.0×105 |

表B.1常见介质电阻率参考表（续）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类　别 | 名　称 | 电阻率 |
| 变质岩 | 片　岩 | 2.0×102～5.0×104 |
| 板　岩 | 1.0×101～1.0×102 |
| 岩  浆  岩 | 花岗岩 | 6.0×102～1.0×105 |
| 正长岩 | 1.0×102～1.0×105 |
| 闪长岩 | 1.0×102～1.0×105 |
| 辉绿岩 | 1.0×102～1.0×105 |
| 辉长岩 | 1.0×102～1.0×105 |
| 玄武岩 | 1.0×102～1.0×105 |
| 矿  物 | 石　英 | 1.0×1012～1.0×1014 |
| 长　石 | 4.0×1011 |
| 白云母 | 4.0×1011 |
| 方解石 | 5.0×107～5.0×1012 |
| 磁铁矿 | 1.0×10-6～1.0×10-3 |
| 黄铜矿 | 1.0×10-3～1.0×100 |
| 石　油 | 1.0×109～1.0×1010 |
| 其  它 | 地下水 | ＜1.0×102 |
| 河　水 | 1.0×10-1～1.0×102 |
| 冰 | 1.0×104～1.0×108 |
| 岩溶水 | 1.5×101～3.0×101 |
| 海　水 | 1.0×10-1～1.0×100 |

表B.2常见介质的介质参数参考表(100MHz)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 介　质 | 相对介电常数 | 电导率（mS/m） | 电磁波速度（m/ns） | 衰减（dB/m） |
| 空 气 | 1 | 0 | 0.3 | 0 |
| 蒸馏水 | 80 | 0.01 | 0.033 | 2×103 |
| 淡 水 | 80 | 0.5 | 0.033 | 0.1 |
| 海 水 | 80 | 3×103 | 0.1 | 103 |
| 干 砂 | 3～5 | 0.01 | 0.15 | 0.01 |
| 饱和砂 | 23～30 | 0.1～1.0 | 0.06 | 0.03～0.3 |
| 灰 岩 | 4～8 | 0.5～2.0 | 0.11～0.13 | 0.4～1 |
| 页 岩 | 5～15 | 1～100 | 0.09～0.15 | 1～100 |
| 石 英 | 5～30 | 1～100 | 0.07 | 1～100 |
| 粘 土 | 5～40 | 2～1 000 | 0.05～0.07 | 1～300 |
| 花岗岩 | 4～6 | 0.01～1 | 0.12～0.14 | 0.01～1 |
| 盐 岩 | 5～6 | 0.01～1 | 0.13 | 0.01～1 |
| 冰 | 3～4 | 0.01 | 0.16 | 0.01 |

# 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，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

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用词：

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用词，采用“可”。

1. 本规程中指明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. 《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》TB/10223—2004
2. 《广西工程物探规范》（DB 45 /T 983—2014）
3. 《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446—2017）

广西壮族自治区工程建设地方标准

盾构法隧道管片壁后注浆质量

地质雷达法检测技术规范

DBJ/TXX-XXX-201X

# 条文说明

**目 次**

[1 总 则 36](#_Toc502656878)

[2 术语和符号 37](#_Toc502656879)

[3 基本规定 38](#_Toc502656882)

[4 仪器设备 40](#_Toc502656883)

[5 地质雷达仪器自校准 41](#_Toc502656884)

[5.1一般规定 41](#_Toc502656885)

[5.2地质雷达自校准方法 41](#_Toc502656886)

[6 介质参数测定 42](#_Toc502656887)

[6.1一般规定 42](#_Toc502656888)

[6.2介质参数测定 42](#_Toc502656889)

[7 现场检测 43](#_Toc502656890)

[7.1一般规定 43](#_Toc502656891)

[7.2检测前准备工作 43](#_Toc502656892)

[7.3测线布设及参数设置 44](#_Toc502656893)

[8 数据处理与解释 45](#_Toc502656894)

[8.1一般规定 45](#_Toc502656895)

[8.2数据处理 45](#_Toc502656896)

[8.3数据解释 45](#_Toc502656897)

# 1 总 则

**1.0.1** 盾构隧道管片壁后注浆是隐蔽工程，用传统的目测或钻孔对其质量进行检测有较大的局限性，应用地质雷达方法对管片壁后注浆进行无破损性的检测，可取得快速、安全、可靠的效果；国内多家检测机构、科研院校都对运用地质雷达检测盾构隧道管片壁后注浆质量进行理论研究并运用到各地工程实际检测中，然而国内目前无专门针该方法的规范、规程出台，这也制约了该方法的发展；为此制定本规范以规范我区运用地质雷达法对管片壁后注浆质量检测行为，提高检测质量。

**1.0.3** 与本规范相关的技术标准有：《盾构法隧道施工与验收规范》（GB50446-2008）、《铁路工程物理勘探规程》（TB10013-2010）、《广西工程物探规范》（DB 45 /T 983—2014）、《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB 50911-2013）、《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652-2011、《地下铁道工程施工及验收规范(2003年版)》（GB 50299-1999）等。

# 2 术语和符号

本章给出了本规范有关章节引用的17条术语，目前地质雷达检测在人员的专业性和使用习惯上存在差异，通过本规范进行统一地质雷达法检测的相关术语。

**2.1.4** 密实

本规范着重点是对管片壁后注浆层浆液胶结情况及与围岩的结合情况在某一区段范围内的定性评价结果。

**2.1.5** 注浆缺陷

本规范着重点是对单个缺陷的定性与定量解释结果。

# 3 基本规定

**3.0.1** 由于进行检测的人员技术水平参差不齐，使用的仪器设备良莠不分，对检测技术和方法不熟悉，忽略壁后注浆质量的要求以及地质雷达的局限性，因而造成检测成果资料应用价值低，影响无损检测的效果。因此，除制定本规范，对壁后注浆施工过程的质量控制和竣工验收质量评定提供有效的手段外，还应选择具备相应执业从业条件的检测单位及人员对壁后注浆质量进行检测。

**3.0.2**根据广西有色勘察设计研究院《南宁轨道交通工程富水圆砾层盾构管片壁后注浆效果雷达探测技术最优化研究》课题对表3-1注浆层电磁波物性参数的研究：

表3-1 注浆砂浆配合比材料用量（kg）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | 水泥 | 砂 | 掺合料1 | 掺合料2 | 水 |
| 规 格 | 广西武鸣锦龙P.042.5 | 南宁  河石砂 | 田东电厂  粉煤灰 | 泥浆用  膨润土 | 自来水 |
| 每m3混凝土 | 170 | 980 | 420 | 60 | 350 |
| 重量配合比 | 1.00 | 5.76 | 2.47 | 0.3 | 2.06 |
| 每盘混凝土 | 50 | 288 | 123 | 18 | 102 |
| 注：强度等级为1.0 MPa | | | | | |

表3-2注浆层不同龄期相对介电常数表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间  频率 | 3h | 1D | 7D | 14D | 28D |
| 200M | 21.3 | 14.8 | 13.1 | 12.4 | 12.2 |
| 400M | 17.4 | 13.4 | 10.6 | 9.37 | 8.65 |

虽然不同频率天线测试结果有一定偏差，但浆液总体的物性参数在7天后趋于稳定，但考虑到浆液材料配合比的变化，具体检测时还应结合现场试验来确定检测时间，以便取得好的检测效果。

**3.0.3**根据地球物理探测原理，只有两种介质存在电磁波物性参数有差异时，才可分辨；如壁后注浆层与围岩岩土层无物性差异或差异不明显，则只能检测到壁后注浆缺陷和定性评定密实情况。一般情况下泥岩、泥质粉砂岩、粉质粘土电磁波物性参数与壁后注浆层相近，而圆砾、粘土、灰岩、石英砂岩等电磁波物性参数与壁后注浆层差异明显，具体差异程度应通过现场测定。

**3.0.4**地质雷达对管片壁后岩土层的检测距离一般不应大于3m，主要是考虑到天线的发射功率、信号的衰减速度及全空间内雷达天线上方电磁波反射信号的干扰等因素。具体检测距离考虑到管片壁后岩土层物性差异并不一致，应根据现场试验确定。

**3.0.5** 在有效异常段、曲线的突变点和畸变线段、仪器参数或观测条件改变的情况下，进行加密复测，以排除因仪器、人员、现场干扰等因素的影响，确保数据采集质量可靠。

# 4 仪器设备

**4.0.4** 运用组合天线检测可兼顾分辨率和检测深度；相对低频的天线对管片钢筋的分辨率降低，此时对注浆层整体定性检测效果却相对更加突出。

# 5 地质雷达仪器自校准

## 5.1一般规定

**5.1.1** 现有地质雷达仪器没有列入《中华人民共和国强制检定的工作计量器具目录》中，在法定或授权计量检定机构中没有相应的资质，无法进行相应的检定/校准，亦无政府部门、仪器厂家、有关单位相应文件可借鉴或引用，因此，针地质雷达开展自校准，编制这部分仪器的自校方法来实现量值的溯源性是十分必要的。

量值溯源关系见下图：

质量技术监督局

钢尺

测量范围：0m～1m

示值误差：±3%

地质雷达仪

测量范围：50ps～2×106ns

示值误差：A/D转换位数不小于16bit

## 5.2地质雷达自校准方法

**5.2.5** 因空气电磁波速相对稳定且已知（*Co*=0.3m/ns），在自校准时用受检仪器所测试的空气电磁波速值与空气标准电磁波速值比较可有效判定仪器系统性能情况。

# 6 介质参数测定

## 6.1一般规定

**6.1.1** 介质参数的测定需要对围岩岩土层、管片及注浆层分别测定，目的是了解其物性差异情况，只有当三者之间物性差异明显，地质雷达才能在检测过程中将其分辨出来，反之则不能；因不同中心频率天线在实际检测中其在同一种介质中的传播速度、相对介电常数是不一致的，故要求标定参数的天线中心频率要与检测所使用的天线一致。同时在资料定量解释时也需运用标定结果参与计算，现场应力求标定结果的准确性而确保定量解释精度。

## 6.2介质参数测定

**6.2.4**试块尺寸主要考虑地质雷达天线的尺寸，为便于测试，试块尺寸应比天线大；地层的电导率参数一般都是通过电阻率测试计算得来，注浆层电导率测试也采用电阻率测试计算。

# 7 现场检测

## 7.1一般规定

**7.1.1**根据广西有色勘察设计研究院《南宁轨道交通工程富水圆砾层盾构管片壁后注浆效果雷达探测技术最优化研究》课题对南宁轨道交通工程盾构管片电磁波特性的研究，发现管片的二次反射信号与壁后注浆层反射信号相互干扰现象，造成不能准确检测到管片壁后注浆层性状；现场检测前除各参数设置要合理外，还需对各参数的优化组合方式进行试验。

## 7.2检测前准备工作

**7.2.1**资料收集旨在提前了解测区基本情况，对注浆层、围岩岩性有初步认识，预研究其电磁波特性。

**7.2.2** 仪器设备调试、一致性检查的主要目的是确认仪器的稳定性、数据的重现性，确保检测结果准确；为判断仪器设备性能是否正常，需定期进行比对试验。

## 7.3测线布设及参数设置

**7.3.1** 由于浆液的重力作用，其最有可能产生缺陷的地方在隧道的上半环，而重叠隧道在其重叠段又是相对薄弱的地段，故在对壁后注浆质量检测时重点部位为隧道上半环和重叠隧道重叠段。

环测线比纵测线所受的固定干扰要少，如管片接缝、螺杆、以及钢筋方向影响，故环测线检测效果要优于纵测线，但检测效率低。综合考量对有效异常延伸方向追踪的需要，故现场检测需要环、纵测线结合进行。

特殊地段施工的隧道可参见《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446—2017）。

**7.3.3** 地质雷达方程：

式中、分别为雷达接收和发射功率，、分别为雷达接收和发射增益，此处为雷达目标的散射截面，R是检测目标距离。

**7.3.6** 调整天线收发参数可有效提高接受天线所接收到较强的一次反射信号，而压制多次反射干扰。

# 8 数据处理与解释

## 8.1一般规定

**8.1.3** 数据处理与解释部分工作应视现场检测情况和数据采集质量而定，如水平距离均衡、调整测量方向、数字滤波等。

## 8.2数据处理

**8.2.2** 数字信号处理应选择合适的处理方法，方法选择不当或进行过度的处理均有可能造成数据失真，对资料解释时误判检测结果。

## 8.3数据解释

**8.3.1** 数据处理与解释工作强调充分利用管片的已知尺寸反算参数设置情况是否合理，遵循从已知到未知的解释原则。

**8.3.8** 既有隧道发生病害有可能是围岩岩土性状发生变化，故应对其进行分析解释，但解释深度应当在合理范围内，不得超过仪器检测深度。

**8.3.9** 受仪器性能和电磁波原理的限制，当地质雷达法不足以全面评价管片壁后注浆情况时，应结合其它方法综合评价。