

河南省工程建设标准

DBJ41/T137-xxxx
备案号: Jxxxxx-xxxx

防渗墙质量无损检测技术标准

Technical Specification for Nondestructive Inspection of Cutoff
Wall Quality

2025-xx-xx 发布

2025-xx-xx 实施

河南省住房和城乡建设厅 发布

河南省工程建设标准

防渗墙质量无损检测技术标准

Technical Specification for Nondestructive Inspection
of Cutoff Wall Quality

DBJ41/T137-xxxx

主编单位：河南黄科工程技术检测有限公司

批准单位：河南省住房和城乡建设厅

施行日期：2025 年 xx 月 xx 日

2025 郑 州

前 言

根据《河南省住房和城乡建设厅关于发布工程建设地方标准复审结果的通知》（豫建科[2024]31 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国家现行有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程主要技术内容有：总则，术语和符号，基本规定，直流电阻率法，探地雷达法，弹性波反射法，声波测试法，弹性波 CT 法，钻孔全景数字成像法，同位素示踪法。

本规程代替 DB J41/T 137-2014《防渗墙质量无损检测技术规程》，与 DB J41/T 137-2014 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

增加了直流电阻率法的三维成像方法；

增加了探地雷达法的三维探测方法；

调整了弹性波反射法、声波测试、弹性波 CT 和同位素示踪法的部分内容；

合并了钻孔电视和钻孔全景光学成像法的部分内容。

本文件及其代替文件的历次版本发布情况为：

——2014 年首次发布为 DB J41/T 137-2014；

——本次为第一次修订。

本规程由河南省住房和城乡建设厅负责管理，由河南黄科工程技术检测有限公司负责具体技术内容的解释。各单位执行过程中如有意见或建议，请寄送河南黄科工程技术检测有限公司（郑州市金水区顺河路 45 号，邮编 450003），以供今后修订时参考。

本规程主编单位：河南黄科工程技术检测有限公司

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	4
3	一般规定	5
3.1	检测内容、方法及要求	5
3.2	外业工作	6
3.3	资料解释	7
3.4	成果报告	7
4	直流电阻率法	9
4.1	一般规定	9
4.2	仪器与设备性能	9
4.3	外业工作	10
4.4	数据处理	11
4.5	资料解释	11
5	探地雷达法	13
5.1	一般规定	13
5.2	仪器与设备性能	13
5.3	外业工作	14
5.4	数据处理	15
5.5	资料解释	16
6	弹性波反射法	18
6.1	一般规定	18
6.2	仪器与设备性能	18
6.3	外业工作	19
6.4	数据处理	19
6.5	资料解释	20
7	声波测试法	22

7.1	一般规定	22
7.2	仪器与设备性能	22
7.3	外业工作	23
7.4	数据处理	24
7.5	资料解释	24
8	弹性波 CT 法	25
8.1	一般规定	25
8.2	仪器与设备性能	25
8.3	外业工作	26
8.4	数据处理	27
8.5	资料解释	27
9	钻孔全景数字成像法	29
9.1	一般规定	29
9.2	仪器与设备性能	29
9.3	外业工作	29
9.4	数据处理	30
9.5	资料解释	30
10	同位素示踪法	31
10.1	一般规定	31
10.2	仪器与设备性能	31
10.3	外业工作	31
10.4	数据处理	32
10.5	资料解释	32
附录 A	常用公式	33
本规程	用词说明	38
引用标准	名录	39
条文	说明	40

1 总 则

1.0.1 为规范防渗墙质量无损检测内容、方法和技术，保证防渗墙无损检测成果质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用无损检测方法对建设工程中的防渗墙及类似工程进行质量检测。

1.0.3 防渗墙无损检测工作除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关标准、规程的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 防渗墙 cut-off wall

采用普通混凝土、钢筋混凝土、塑性混凝土、灰浆等材料，利用专用机具施工形成的具有防渗性能的地下连续墙。

2.1.2 普通混凝土 ordinary concrete

以水泥、粉煤灰为胶凝材料拌制的适合在水下浇筑的高流动性混凝土。

2.1.3 塑性混凝土 plastic concrete

水泥用量较低，并掺加较多的膨润土、黏土等材料的高流动性混凝土，具有低强度、低弹性模量等特性。

2.1.4 固化灰浆 solidification slurry

以固壁泥浆为基本浆材，加入水泥、水玻璃、粉煤灰等固化材料以及砂和外加剂，经搅拌均匀后固化而成的一种低强度、低弹性模量的柔性墙体材料。

2.1.5 自凝灰浆 self-hardening slurry

以水泥、膨润土等材料拌制，可在槽孔建造时起固壁作用，能够自行凝结成一种低强度、低弹性模量的柔性墙体材料。

2.1.6 直流电阻率法 direct current resistivity method

利用正常墙体与周围介质及墙体缺陷的电阻率差异为物性基础，通过观测人工直流电场的变化和分布规律，判断目标体位置和性质的一种探测方法。

2.1.7 探地雷达法 ground penetrating radar

利用电磁波的反射原理，使用探地雷达仪器向地下发射和接收具有一定频率的高频脉冲电磁波，通过识别和分析电磁波反射信号，探测与周边防渗墙墙体存在一定电性差异的目标体的一种探测方法。

2.1.8 弹性波反射法 elastic-wave vertical reflection method

利用弹性波的反射原理，采用极小等偏移距观测方式，对具有波阻抗差异的分层介质或缺陷进行检测，根据反射信号的相位、振幅、频率等变化特征进行分析和解释的一种探测方法。

2.1.9 单孔声波法 single-hole acoustic-wave test

在钻孔中，利用声波探头测试孔壁介质的声波速度，并根据声波波速值判断防渗墙是否完好的一种探测方法。

2.1.10 跨孔声波法 cross-hole acoustic-wave test

在两个钻孔中，分别布置声波发射和接收探头，测试孔间介质的声波速度，并根据声波波速值判断防渗墙是否完好的一种探测方法。

2.1.11 弹性波 CT 法 Cross-hole elastic-wave tomography

在两个钻孔中，布置 CT 观测系统，测试弹性波初至时间，利用层析成像方法进行反演计算，重构钻孔间断面上的波速分布图像的弹性波方法。

2.1.12 钻孔全景数字成像法 panoramic digital imaging of borehole

利用光学成像与图像展开原理，通过对钻孔孔壁图像扫描，形成孔壁展开图像或虚拟岩芯图像的一种检测方法。

2.1.13 同位素示踪法 isotopes tracer technique

采用人工放射性同位素标记钻孔中的水流，用示踪或稀释原理检

测渗漏的放射性测量方法。

2.2 符 号

2.2.1 统计学参数

M —— 总均方相对误差

m —— 均方相对误差

Δ —— 绝对误差

$\bar{\Delta}$ —— 平均绝对误差

δ —— 相对误差

$\bar{\delta}$ —— 平均相对误差

2.2.2 电磁学参数

ρ —— 电阻率

ρ_s —— 视电阻率

ε —— 介质的介电常数

2.2.3 动力学参数

V_v —— 渗流垂向流速

V_f —— 渗流水平流速

3 一般规定

3.1 检测内容、方法及要求

3.1.1 防渗墙质量无损检测内容主要包括墙体的完整性、均匀性、深度、墙体与基岩接触情况等，检测的质量缺陷主要包括墙体架空、蜂窝、裂隙、墙体开叉、夹层、墙体深度不足、沉渣厚度超过要求等。

3.1.2 检测方法包括直流电阻率法、探地雷达法、弹性波反射法、声波测试法、弹性波 CT 法、钻孔全景数字成像法、同位素示踪法。

3.1.3 检测工作实施前应编制检测方案，检测方案宜包括下列主要内容：

- 1 项目概况，工作任务来源、目的和工作量等；
- 2 地形、地质及地球物理条件，检测工作的难点、不利条件和因素等；

- 3 有关技术标准和要求；

- 4 项目组织和检测设备；

- 5 现场检测工作方法与技术；

- 6 质量目标及控制措施，现场配合和协调工作；

- 7 工作进度与工期安排；

- 8 项目危险源识别，现场保障人员安全和设备安全措施。

3.1.4 检测工作应根据各方法的适用范围、应用条件和防渗墙特点选择合适的检测方法。

3.1.5 检测设备应经检定/校准确认后，符合本标准规定的技术要求，仪器检定/校准周期不宜超过 1 年。

3.1.6 仪器采集的电子原始记录应保存并符合加密、加权、加备要求。电子记录和各阶段成果宜通过信息化手段进行管理。

3.2 外业工作

3.2.1 应详细调查收集被检测防渗墙工程的勘察、设计、施工等技术资料。

3.2.2 测线应根据方法特点布置,测点密度应根据防渗墙类型、墙体宽度和设计要求综合考虑。

3.2.3 检测时应填写检测记录,内容应包括墙体类型、墙体外观,墙体检测部位、检测日期,检测环境、天气、人员、仪器等情况。

3.2.4 每班检测前应核查仪器状态,并作相应记录。

3.2.5 分班检测时,不同班次的探测范围应重合衔接,重合范围应根据不同检测方法的特点确定。

3.2.6 检测过程中,发现异常点后应分析原因并进行重复观测,并记入现场工作记录。

3.2.7 检测过程中应进行检查观测,检查观测工作量不少于总工作量的 5%,检查点宜均匀分布在全测区,并按附录 A.1 有关公式计算误差。

3.2.8 检测资料应在当日做初步整理,内容宜包括将仪器内的资料备份至其他存储介质,检查不同测段之间是否有遗漏段,资料是否齐全等,可疑资料应在次日到现场查看或重测。

3.2.9 工作中应确保检测人员和设备安全。

3.3 资料解释

3.3.1 资料解释宜按下列步骤进行：

- 1 整理资料。
- 2 绘制中间图件。
- 3 分析检测资料，确定解释原则。
- 4 确定缺陷的性质、位置及埋深。
- 5 防渗墙质量评价。
- 6 成果图绘制与打印。
- 7 报告编写。

3.3.2 检测资料分析与解释应结合防渗墙工程的勘察、设计、施工、现场试验等资料进行，数据处理可按附录 A 中相关公式进行。

3.4 成果报告

3.4.1 检测成果报告宜包括概况、方法技术、现场作业、资料解释、结论与建议、有关附图附表等内容。

3.4.2 概况宜包括工程概况、检测任务、目的与要求、工作起止时间、以往工作情况、完成工作量、工程地质情况等内容。

3.4.3 方法技术宜包括方法选择、方法原理、仪器设备等内容。

3.4.4 现场作业宜包括测线布置、现场实施、工作参数及质量控制等内容。

3.4.5 资料解释宜包括原始资料评价、资料处理与解释方法选择、异常定性和定量分析、质量问题推断解释、成果分析等内容。

3.4.6 结论与建议宜包括防渗墙质量评价、质量问题处理建议等内

容。

3.4.7 检测成果报告应有附图、附表，附图宜包括方法原理图、测线布置图、典型成果图等；附表宜包括工作量统计表、物性参数表、仪器参数表、成果统计表等。

3.4.8 检测成果应经审核和批准后提交；成果报告提交后应及时归档，归档资料应包括纸质文件和相应的电子文档，宜包括任务书或项目合同、工作方案、现场记录、中间成果资料、成果报告及图件。

4 直流电阻率法

4.1 一般规定

4.1.1 直流电阻率法可用于塑性混凝土、固化灰浆、自凝灰浆等无钢筋防渗墙浅层部位的完整性、均匀性检测。

4.1.2 直流电阻率法可选用二维电阻率成像、三维电阻率成像方法。

4.1.3 采用直流电阻率法检测防渗墙，应符合下列条件：

- 1 测区内具有良好的接地条件，墙体上方无极高电阻屏蔽层。
- 2 正常墙体与周围介质及墙体缺陷的电阻率差异明显，并在设备和装置的检测范围内。
- 3 测区内不应存在较强的工业杂散电流、大地电流或电磁干扰。

4.2 仪器与设备性能

4.2.1 仪器与设备性能和指标，应符合下列要求：

- 1 输入阻抗不应小于 $10\text{M}\Omega$ ；
- 2 电压测量范围不应小于 $\pm 2.5\text{V}$ ，分辨率应优于 $10\mu\text{V}$ ，精度应优于 $\pm 1\%$ 。
- 3 最大供电电流不应小于 2A ，分辨率应优于 0.1mA ，精度应优于 $\pm 1\%$ 。
- 4 自由补偿范围不应小于 $\pm 2\text{V}$ 。
- 5 对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 40dB 。
- 6 仪器、供电导线与大地之间应绝缘，仪器外壳与电极间绝缘电阻应大于 $100\text{M}\Omega$ ；直流电阻率法电缆芯线电阻不应大于 $240\Omega/\text{km}$ ，

芯间绝缘电阻不应小于 $5\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

4.3 外业工作

4.3.1 探测装置可选择四极、偶极、三极等装置。

4.3.2 外业工作应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

1 宜根据墙体周围地质情况合理选择电极距和测点距；采用三维电阻率成像测试时，应根据探测区域合理设计观测系统。

2 应保证电极接地良好，接地电阻应满足仪器的技术要求。

3 电极应沿直线布置，弯曲墙体应分段检测。

4 电极埋设遇障碍物时，电极应优先垂直于测线方向移动，移动距离不宜大于电极距的 5%；当只能沿测线方向挪动时，挪动距离不宜大于电极距的 1%；无法按上述要求避开障碍时，应分段探测，分段间可不进行重复探测。

5 最小电位差不宜小于 3mV ，最小电流强度不宜小于 3mA ，最高电位差和最大电流强度不应超过仪器量程。

6 每班开工和收工时，应进行漏电检查；检测时发现漏电后应停止检测，并查明原因，在消除漏电影响后，对可能受到影响的测点应重新检测。

4.3.3 重复观测应符合下列要求：

1 发现异常，应检查极距、接线和漏电情况，查看工作环境，排除干扰因素并进行重复观测，有关情况应在班报中记录。

2 重复观测时，宜改变供电电压或改善电极接地条件。

3 重复观测不应少于 3 次。重复观测的精度用视电阻率 ρ_s 值或

测试电流与电压的比值的相对误差 δ 衡量, δ 不应大于 3%。

4.3.4 检查观测应符合下列要求: 每 500m 测线应进行不少于 1 次检查观测; 系统检查观测精度用均方相对误差 m 衡量, m 不应大于 3.5%。

4.4 数据处理

4.4.1 数据处理前应进行资料整理, 内容包括整理检测记录、检查数据的正确性及完整性等。

4.4.2 数据格式整理、坏值剔除及格式转换、拼接等预处理应根据台班和仪器记录信息操作; 对地形起伏较大区域的检测数据, 应利用实测地形数据进行地形校正。

4.4.3 应利用专业软件进行数据处理、反演和成果图件绘制, 计算公式见附录 A.2; 剖面成像宜采用反演、目标相关算法等方法。

4.4.4 成果图件制作应符合下列要求:

- 1 曲线宜居于图幅中间;
- 2 同一测区宜统一图件比例、等值线间隔和色标设置;
- 3 图件应突出异常。

4.4.5 绘制视电阻率剖面图可采用数据圆滑技术, 并在报告中说明。

4.5 资料解释

4.5.1 资料解释应按本规程 3.3.1 规定的步骤执行, 并符合下列要求:

- 1 背景值宜根据视电阻率曲线平稳程度, 采用数理统计方法选取。
- 2 可靠异常幅度, 未圆滑的曲线, 宜取背景值的 30%; 圆滑过

的曲线，宜取背景值的 20%；背景值平稳的墙段，可降低 5%~10%。

3 资料对比解释宜结合已知地质剖面、钻孔等资料及其它探测方法成果。

4.5.2 成果图件可为二维电阻率等值线图、电阻率色谱图、相关系数成像图，三维电阻率分布图、切片图等；解释成果宜包括缺陷分布图、缺陷检测成果表等。

5 探地雷达法

5.1 一般规定

5.1.1 探地雷达法可用于塑性混凝土、固化灰浆混凝土、自凝灰浆等无钢筋防渗墙的浅层部位完整性、均匀性检测。

5.1.2 检测方式应根据检测目的、墙体特点和环境条件选择，可选用剖面法、宽角法、共中心点法、三维检测法等。

5.1.3 采用探地雷达法检测防渗墙，应符合下列条件：

1 正常墙体与周围介质及墙体缺陷的介电常数差异明显，电性相对稳定，电磁波反射信号明显。

2 相对于天线尺寸，探测表面宜平整，无障碍。

3 缺陷上部不应存在高电导率屏蔽层。

4 测区内不宜有大范围的金属构件或无线电射频等较强的电磁干扰，无法清除或避开时应做好记录。

5 缺陷规模及埋藏深度应在雷达设备的有效检测范围内；缺陷垂直方向上的厚度应大于检测时电磁波在周边介质中有效波长的 $1/4$ ，水平方向上的长度应大于电磁波在周边介质中的第一菲涅尔带直径的 $1/4$ ；区分两个水平相邻的缺陷时，缺陷间的最小水平距离应大于第一菲涅尔带直径。

6 三维雷达检测工作面应满足检测缺陷空间分布范围的要求。

5.2 仪器与设备性能

5.2.1 雷达主机应符合下列要求：

- 1 脉冲重复频率应大于 50kHz。
- 2 仪器增益不宜小于 150dB。
- 3 数据采集记录位数不应小于 24bit。
- 4 最小采样间隔不应大于 0.05ns。
- 5 应具有自动和手动增益调节功能，增益点数不应少于 3 个。
- 6 应具有 32 次以上信号静态叠加功能。
- 7 应具有滤波功能。

5.2.2 雷达天线应符合下列要求：

- 1 天线频率宜与墙体测深相适应，中心频率宜为 50MHz～1600MHz。
- 2 天线中心频率允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。
- 3 频带范围的低值应小于中心频率的 1/4，高值应大于中心频率的 2 倍。

5.3 外业工作

5.3.1 检测前应先对防渗墙介电常数或电磁波速度进行现场标定，同类型防渗墙应不小于 1 处，每处实测不少于 3 次，取平均值作为该防渗墙的介电常数或电磁波速。

5.3.2 二维雷达检测应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

- 1 点测时，测点距宜取 0.1m～0.2m；连续测量时，天线移动速率宜用较小值。
- 2 选择中心频率时，应兼顾检测深度和分辨率。
- 3 采样率宜为天线频率的 15 倍～20 倍。

4 发射天线与接收天线的间距可根据仪器要求选择，宜小于最大检测目标埋深的 20%。

5 根据墙体材料参数估算或利用透射法等试验方法确定介质电磁波速度。

5.3.3 三维雷达检测应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

- 1 应根据缺陷范围和埋深确定测网面积并标识。
- 2 网格密度应根据目标体大小确定，测线间距宜相等。
- 3 使用三维雷达矩阵天线检测时，相邻测带搭接宽度不宜小于矩阵宽度的 1/4。

4 现场检测应按事先标识的测网有序实施，各检测仪器工作参数应保持一致。

5 单条测线的检测工作应符合 5.3.1 条的规定。

5.3.4 检查观测应符合下列要求：

1 检查测试的雷达参数设置、测试方式、测线位置、测段桩号等应与原始测试时相一致；

2 提供检查和评价的雷达资料应经初步编辑，编辑内容含测线位置、测段桩号、剖面深度等；

3 检查观测的图像与原始图像的异常形态和位置应基本一致，且 2 次观测的同一异常水平位置在工作比例尺的平面图上应保持不大于 1mm，异常埋深位置相对误差不应大于 10%。

5.4 数据处理

5.4.1 数据处理宜包括压制干扰信号、突出反射波、地形校正等，处

理方法可选用数字滤波、偏移绕射处理、图像增强等技术。

5.4.2 数据道密度的水平比例不一致、且存在位置标记时，应进行水平比例归一化。

5.4.3 频率滤波可选择低通滤波、高通滤波或带通滤波；低频截止频率宜取大于天线中心频率的 $1/4$ ，高频截止频率宜取小于天线中心频率的 2 倍。

5.4.4 对多次反射波宜采用反褶积处理方法压制；当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积处理。

5.4.5 点平均处理时，参与平均的点数宜为奇数，点数最大值宜小于采样率与低通频率的比值。

5.4.6 宽角法和共中心点法反射波波至读取前，应先根据目标反射界面深度和双曲线特征对反射波进行识别，波至读取宜选择波形起跳点、波峰、波谷等特征点位置；电磁波速度计算应符合附录 A.3 的规定。

5.4.7 三维探测各剖面数据处理完成后应形成三维图像；宜根据缺陷的三维尺寸设定层析切片间距，制作切片图、截面图、剖面图，并标记目标体空间位置。

5.5 资料解释

5.5.1 资料解释包括辨认和追踪有效波的同相轴、反射波的提取、有效异常的确定、缺陷分类原则等。

5.5.2 资料解释应按本规程 3.3.1 规定的步骤执行，并符合下列要求：

- 1 宜通过已知信息与雷达图像对比，建立测区探测对象的反射

波组特征，然后应用于其它剖面的识别解释；宜根据反射波组的波形和能量特征追踪同相轴，识别反射波组界面。

2 单个异常体可根据波形双曲线形态、能量和频率特征进行识别。

3 同一测区有多条测线时，应比较相邻测线的雷达剖面图，识别相似图像特征的反射信息，进行比对及综合分析。

4 三维雷达探测数据应进行振幅、频率以及相位等属性分析；并利用三维数据体显示功能进行缺陷的空间形态分析、三维建模。

5 应依据墙体的电磁波速度参数进行时深转换，确定缺陷埋深，缺陷的性质宜结合地质资料确定。

5.5.3 成果图件应包括工作布置图、雷达解释剖面图等，雷达解释剖面图上应标明缺陷性质、位置和埋深，宜标明现场干扰源的位置和类型。解释成果宜包括缺陷分布图、缺陷检测成果表等。

6 弹性波反射法

6.1 一般规定

6.1.1 弹性波反射法可用于混凝土防渗墙的完整性、均匀性检测。

6.1.2 采用弹性波反射法检测防渗墙质量，应符合下列条件：

- 1 正常墙体与周围介质及墙体缺陷的波阻抗差异明显且物性稳定。
- 2 缺陷埋深及规模应在反射法检测深度范围内。
- 3 入射波能在缺陷界面产生较规则的反射波。

6.2 仪器与设备性能

6.2.1 主机可选择地震仪和振动信号分析仪，应符合下列要求：

- 1 仪器通道数不应少于 12 道。
- 2 最小采样间隔应小于 0.05ms。
- 3 每道最少采样点数不应小于 1024 点。
- 4 模数转换精度不应低于 24bit。
- 5 放大器串音抑制比大于 80dB。
- 6 放大器各通道间相位时差应小于采样间隔的 1/2，振幅差应小于 5%。

6.2.2 检波器应符合下列要求：

- 1 各道检波器固有频率差不大于 10%，灵敏度相差不大于 10%，相位差不大于 1ms。
- 2 检波器绝缘电阻应大于 10M Ω ，且具有良好的防水性能。

6.2.3 震源主要采用锤击震源，震源应满足检测深度和分辨率的要求，操作方便、重复性好。

6.3 外业工作

6.3.1 外业工作应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

1 测试前应清理、整平工作面，去除松、裂部分，激振点和传感器安装部位应平整、光滑。

2 偏移距可通过试验确定，同一测线上，偏移距应保持一致，测试点距不宜过大。

3 检波器布设应位置准确，安置牢固，埋置条件一致，防止背景干扰。

4 仪器工作参数在一个测区或测段宜使用同一滤波档，因特殊需要改变滤波档时，应有对比记录。

5 当信噪比较低时，应分析干扰来源，采取降低放大倍数、增大激发能量等措施提高信噪比。

6 遇到局部测段记录质量变差时，应分析原因，重新选择仪器工作参数或改变工作方法。

6.4 数据处理

6.4.1 数字滤波应符合下列要求：

1 应在频谱分析的基础上选择滤波频率。

2 应调整滤波频带宽度，提高信噪比和分辨率。

6.4.2 速度分析应符合下列要求：

1 速度扫描时，应选取信噪比高的地震记录，并应采用较小的速度增量。

2 测段数量、长度应满足开展速度分析的要求，并应绘制速度展开图。

6.4.3 有效波对比分析应符合下列要求：

1 有效波振幅宜大于干扰波振幅的 2 倍，并应选择有效波的起始相位采用相位追踪对比分析。

2 对不同层位地震有效波应根据波形相似性、视周期相近性、振动连续性和同相性以及波的振幅远离震源点衰减的规律性等特征进行对比分析。

6.4.4 处理方法选择应符合下列要求：

1 有效反射波组之间振幅强弱悬殊的记录，应进行信号振幅归一处理。

2 深部反射信号与表层初始信号之间振幅强弱悬殊时，应进行剖面均衡处理。

3 当反射界面倾角较大时，可进行偏移叠加或叠加偏移。

6.5 资料解释

6.5.1 资料解释应按本规程 3.3.1 规定的步骤执行，并符合下列要求：

1 图上应注明防渗墙名称、测线编号及桩号、偏移距、检波点距。

2 时间剖面典型测段应附展开排列记录。

3 等偏移距剖面图应注明是否经动校正处理及动校正速度值。

4 墙体缺陷分布位置和性质应依据剖面成像基础图件确定，并应与地质和其它探测资料对比分析；对目标体应标注编号。

5 墙体缺陷性质、形态、位置可根据时间剖面图中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象分析确定。

6.5.2 成果图件应包括观测系统布置图、波速扫描分析图、叠加时间剖面图和色谱图，解释成果宜包括缺陷分布图、缺陷检测成果表等。

7 声波测试法

7.1 一般规定

7.1.1 声波测试可用于混凝土防渗墙的完整性、均匀性检测和墙体深度检测，跨孔声波测试还可用于缺陷深度定位。

7.1.2 声波测试可选用单孔声波法和跨孔声波法。

7.1.3 采用声波测试检测防渗墙，应符合下列条件：

- 1 单孔测试时，测孔中应无金属套管。
- 2 采用跨孔声波时，孔距应根据防渗墙墙体材料特点、仪器分辨率、激发能量确定。

7.2 仪器与设备性能

7.2.1 声波仪器设备应符合下列要求：

- 1 采样间隔可选，最小采样间隔应不大于 $0.1\mu\text{s}$ ；
- 2 采样长度可选，不小于 512 样点/道；
- 3 触发方式宜包括内、外、信号、稳态触发；
- 5 频率响应范围应为 $10\text{Hz}\sim 500\text{kHz}$ ；
- 6 声时测量精度应为 $\pm 0.1\mu\text{s}$ ；
- 7 发射电压可选，选择范围宜为 $100\text{V}\sim 1000\text{V}$ ；
- 8 发射脉宽可选，选择范围宜为 $1\mu\text{s}\sim 500\mu\text{s}$ 。

7.2.2 单孔声波法换能器应符合下列要求：

- 1 单孔声波测试宜使用一发双收声波换能器，主频范围宜为 $10\text{kHz}\sim 60\text{kHz}$ ，干孔测试应采用干孔换能器；

2 孔壁较破碎或钻孔较深时，宜采用具有前置放大功能的接收换能器。

7.2.3 跨孔声波法换能器应符合下列要求：

- 1 利用钻孔进行跨孔声波测试时，换能器主频范围宜为 2kHz～20kHz.
- 2 接收信号较弱时，宜采用具有前置放大功能的接收换能器。

7.3 外业工作

7.3.1 单孔声波法应符合下列要求：

- 1 测试前应检查测试钻孔畅通性。
- 2 测试宜从孔底向孔口方向进行，点距宜为 0.1m 或 0.2m，每测试 2m 应核对一次电缆深度。
- 3 在干孔中使用干孔声波探头测试时，保持探头与孔壁接触良好、仪器显示接收信号清晰后再进行采集。
- 4 测试电缆深度标识应准确明显。
- 5 出现异常点应重复检测。

7.3.2 跨孔声波法应符合下列要求：

- 1 测试前应检查测试钻孔畅通性。
- 2 测试前应测量孔口间距和孔斜。
- 3 测试宜从孔底向孔口方向进行，点距宜为 0.1m 或 0.2m，每测试 2m 应核对一次电缆深度。
- 4 跨孔声波可采用同步观测或斜同步观测，测试前应测定系统延时。

5 出现异常点应重复检测。

7.4 数据处理

7.4.1 测试成果数据在处理前，应作孔斜校正。

7.4.2 对同一测区单孔声波、跨孔声波应进行对比分析。

7.5 资料解释

7.5.1 资料解释应按本规程 3.3.1 规定的步骤执行，并符合下列要求：

1 声波速度应根据防渗墙特点结合地质条件进行综合分析。

2 单孔声波测试、跨孔声波测试应绘制深度-速度曲线。

3 当多个孔在同一剖面或断面时，波速曲线图宜绘制在同一剖面或断面上。

7.5.2 分析检测资料和成果图件，确定解释原则，对测试曲线进行解释，对墙体质量进行分析评价。

8 弹性波 CT 法

8.1 一般规定

8.1.1 弹性波 CT 可用于防渗墙的完整性、均匀性检测、缺陷定位和墙体深度检测。

8.1.2 弹性波 CT 可选用声波 CT 和地震波 CT。

8.1.3 采用声波 CT 检测防渗墙，应符合下列条件：

- 1 正常墙体与周围介质及墙体缺陷的声波速度差异明显。
- 2 钻孔孔距适中，保证声波初至信号清晰，宜小于防渗墙深度的 1/2。

3 测试孔中应有井液耦合。

4 测试时周边环境不宜存在较大的振动噪声干扰。

8.1.4 采用地震波 CT 检测防渗墙，应符合下列条件：

- 1 正常墙体与周围介质及墙体缺陷的地震波速度差异明显。
- 2 孔间距宜根据激发方式和能量大小选择。
- 3 测试孔中应有井液耦合。
- 4 测试时周边环境不宜存在较大的振动噪声干扰。

8.2 仪器与设备性能

8.2.1 声波 CT 仪器设备应符合下列要求：

- 1 宜采用非金属声波仪，最小采样间隔宜为 $0.1\mu\text{s}$ 。
- 2 单道采样长度可选且不小于 512 点/道。
- 3 触发方式宜包括内、外、信号、稳态触发。

4 频响范围宜为 10Hz~500kHz。

5 声时测量精度 $\pm 0.1\mu\text{s}$ 。

6 发射电压范围 100V~1000V。

7 发射脉宽可选，宜为 $1\mu\text{s}$ ~ $500\mu\text{s}$ 。

8.2.2 地震波 CT 仪器设备应符合下列要求：

1 宜采用多道浅层数字地震仪，采集道数不宜少于 12 道，具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波、A/D 转换等功能；

2 采样间隔可选，最小采样间隔不大于 0.05ms；

3 记录长度可选，每道样点不小于 1024 点；

4 模数转换精度不小于 12bit；

5 频带 2Hz~2000Hz；

6 动态范围大于 96dB；

7 检波器各道之间固有频率相差小于 10%，灵敏度相差小于 10%，相位差小于 1ms；

8 绝缘电阻大于 $10\text{M}\Omega$ 。

8.2.3 电火花震源的防护和使用应符合高压电器的要求。震源应能激发高频声波脉冲、能量可控，满足接收要求。计时信号起跳应尖锐、稳定，与接收仪器同步。

8.3 外业工作

8.3.1 外业工作应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

1 测试前应检查测试钻孔的畅通性和孔斜率。

2 宜采用一发多收的扇形观测系统。

- 3 声波 CT 点距宜为 0.5m~1m, 地震波 CT 点距宜为 1m~2m。
- 4 孔壁条件较差时, 可在观测前下套管进行护壁。
- 5 当发射点间距大于接收点间距时, 宜采用两孔互换的观测方式, 并保持一定数量的发射点与接收点互换。
- 6 采集过程中应及时对采集数据进行检查, 分析数据可靠程度。
- 7 收发互换的观测点可作为检查工作量, 重复观测相对误差应小于 3.5%, 检查观测的均方相对误差应小于 5%。

8.4 数据处理

- 8.4.1 应读取每条射线的初至时间, 识别触发信号并校正初至时间, 剔除坏值。
- 8.4.2 应根据检测资料建立二维坐标系, 将每条射线的激发点与接收点转换为成像剖面的二维坐标, 并与相应的走时形成数据文件。
- 8.4.3 应计算每条射线的平均速度, 初步判定异常位置和反演参数变化范围。
- 8.4.4 反演算法可选择联合迭代法、代数重建法、共轭梯度法、奇异值分解、最小二乘矩阵分解等, 反演迭代次数应根据射线路径和图像形态的稳定程度确定, 也可根据相邻两次迭代计算的波速方差确定。
- 8.4.5 宜采用克里金、反距离加权或最邻近点等插值法计算波速插值并绘制波速等值线分布图。

8.5 资料解释

- 8.5.1 资料解释应按本规程 3.3.1 规定的步骤执行, 并符合下列要求:

1 应根据每条射线的波速，进行不同特征波速范围内的平均波速分布统计。

2 确定解释原则，主要是波速图像与正常墙体质量、缺陷的性质和结构的关系，对图像上的异常区域进行分析解释。

8.5.2 成果图件应包括工作布置图、CT 断面图、CT 成果解释图等，CT 断面图可采用等值线图、灰度图、色谱图等形式，解释成果宜包括缺陷分布图、缺陷检测成果表等。

9 钻孔全景数字成像法

9.1 一般规定

9.1.1 钻孔全景数字成像可用于观测防渗墙内部质量，检测钻孔孔壁的裂隙、夹泥、不密实区等。

9.1.2 钻孔全景数字成像宜在无套管的干孔或清水孔中开展；当孔中水质透明度不足时，应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清；在冲洗沉淀达不到观测效果时可采用玻璃套管。

9.2 仪器与设备性能

9.2.1 钻孔全景数字成像设备应符合下列要求：

- 1 摄像头分辨率不应低于 2000 万像素/cm²，图像采用速率应大于 20 帧/s。
- 2 钻孔内摄像角度应为 360°。
- 3 摄像探头应配置三维姿态传感器，方位角精度应达到 1°，倾角精度应达到 0.1°。
- 4 成像仪器深度或距离计数的相对误差不应大于 0.5%；探头电缆应设定位标记，标记间隔宜为 1m。
- 5 仪器应有同步自动拼接展开图功能，摄像仪器应具有同步录像及孔深、方位、时间等参数实时显示功能。

9.3 外业工作

9.3.1 外业工作应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

- 1 应现场记录工程名称、测试钻孔编号、检测日期等信息。
- 2 图像显示的深度相对误差不应大于 0.5%，与电缆标记的绝对误差不应大于 0.1m，应每隔 5m 进行一次深度校正。
- 3 记录图像应清晰可辨，且应显示图像的方位角和钻孔的倾角。
- 4 连续拍摄拼图成像时，探头移动速度不宜大于 3m/min。

9.4 数据处理

9.4.1 成果图像宜展开拼接成分段连续的图片；横向从左到右宜按北、东、南、西、北方向展开，并标注方位；垂向应标注深度或高程。

9.4.2 图像应清晰可辨，应对主要目标体进行追踪观察。

9.5 资料解释

9.5.1 资料解释应按本规程 3.3.1 规定的步骤执行，并符合下列要求：

- 1 裂隙、软弱夹层等的倾角、倾向及厚度应根据成果图像，按照附录 A.4 进行计算。
- 2 孔斜顶角大于 5° 时，应利用孔斜测量资料进行校正。

9.5.2 成果资料应包括编辑后的图像和图片，应对观测到的质量问题进行描述，包括裂隙、夹泥、不密实区等。

10 同位素示踪法

10.1 一般规定

10.1.1 同位素示踪法可用于防渗墙渗透流速、流向及渗透系数的测定。

10.1.2 同位素示踪法可选用单孔稀释法、单孔示踪法。

10.1.3 采用同位素示踪法时，孔中渗漏水流速应大于 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 。

10.2 仪器与设备性能

10.2.1 仪器设备应符合下列要求：

- 1 当垂向流速 $V_v > 0.1 \text{m/d}$ 时，垂向流速测试相对误差应小于 3%；当水平流速 $V_f > 0.01 \text{m/d}$ 时，水平流速测试相对误差应小于 5%。
- 2 水平流速测试范围为 $0.05 \text{m/d} \sim 100 \text{m/d}$ 。
- 3 垂向流速测试范围为 $0.10 \text{m/d} \sim 100 \text{m/d}$ 。

10.3 外业工作

10.3.1 外业工作应按本规程 3.2 的规定执行，并符合下列要求：

- 1 测试水文参数时，应选择合适的放射性同位素，宜选用 ^{131}I ，每次投放量应低于 $1 \times 10^8 \text{Bq}$ 。
- 2 现场检测时，应对检测仪器进行本底测量和置零，并进行检测方向校正。
- 3 垂直测点距离宜为 1m ，异常点应进行多次重复检测。

10.4 数据处理

10.4.1 钻孔中或井间进行同位素示踪检测时，应按 A.5 中各式计算各测点的渗透流速、流向及渗透系数。

10.5 资料解释

10.5.1 绘制渗透流速、渗透系数沿各孔的高程分布图，制作与图件相对应的渗透流速、渗透系数以及渗流方向统计表。

附录 A 常用公式

A.1 数据误差计算常用公式见式 (A.1-1) ~ 式 (A.1-7)。

绝对误差:

$$\Delta = |d_{aj} - d'_{aj}| \quad (\text{A.1-1})$$

平均绝对误差:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i \quad (\text{A.1-2})$$

相对误差:

$$\delta = \frac{|d_{aj} - d'_{aj}|}{d_{aj}} \times 100\% \quad (\text{A.1-3})$$

平均相对误差:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \delta_i \right) \times 100\% \quad (\text{A.1-4})$$

均方相对误差:

$$m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i^2} \times 100\% \quad (\text{A.1-5})$$

总均方相对误差:

$$M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i^2} \times 100\% \quad (\text{A.1-6})$$

极差系数:

$$K = \frac{2}{\sqrt{n-1}} \times \frac{d_{aj}^{\max} - d_{aj}^{\min}}{d_{aj}^{\max} + d_{aj}^{\min}} \quad (\text{A.1-7})$$

式中 N ——检查点、测点、测线个数；

d_{aj} ——基本观测值，重复观测时指有效数据的算术平均值；

d'_{aj} ——系统检查观测值，重复观测时是指有效数据的算术平均值；

$d_{aj}^{\max}$ ——参与计算的数据中的最大值；

$d_{aj}^{\min}$ ——参与计算的数据中的最小值；

n ——参与计算数据的个数。

A.2 直流电阻率法常用公式见式（A.2-1）。

相对异常值：

$$\delta_r = \frac{|d_0 - d_b|}{d_b} \times 100\% \quad (\text{A.2-1})$$

式中 δ_r ——相对异常值；

d_0 ——观测值；

d_b ——背景值。

A.3 探地雷达法常用公式见式（A.3-1）～式（A.3-2）。

混凝土中电磁波速度：

$$v = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (\text{A.3-1})$$

式中 v ——介质中电磁波近似波速，m/s；

C ——真空中电磁波波速，m/s；

ε_r ——介质的相对介电常数。

两种介质交界面的反射系数：

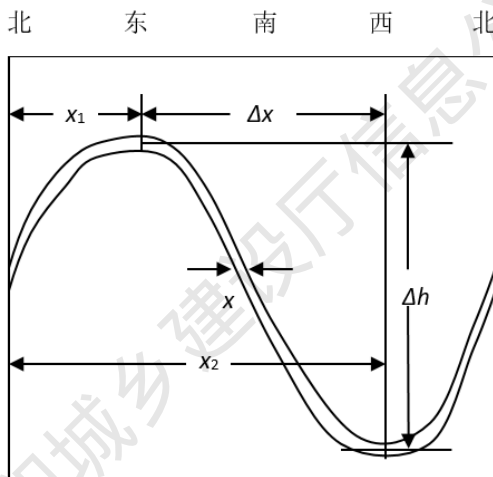
$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}} \quad (\text{A.3-2})$$

式中 R ——反射系数；

ε_1 ——上层介质相对介电常数；

ε_2 ——下层介质相对介电常数。

A.4 钻孔全景数字成像常用公式见式 (A.4-1) ~ 式 (A.4-2)。



图A.4-1 全孔壁数字成像典型产状示意图

产状计算公式：

$$\alpha = \frac{x_2}{2\pi d} \times 360^\circ \quad (\text{A.4-1})$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\Delta h}{x_2 - x_1} = \tan^{-1} \frac{\Delta h}{d} \quad (\text{A.4-2})$$

式中 α ——裂隙倾向, ($^\circ$)；

θ ——裂隙倾角, (°);

d ——钻孔直径, m;

x_1 ——裂隙顶点距正北方向所对应垂线的垂直距离, m;

x_2 ——裂隙底点距正北方向所对应垂线的垂直距离, m;

Δh ——裂隙顶点和裂隙底点的垂直高差, m。

A.5 同位素示踪法渗透系数计算公式见式 (A.5-1) ~ 式 (A.5-3)。

$$K = \frac{V_f}{J} \quad (\text{A.5-1})$$

$$V_f = \frac{\pi(r^2 - r_0^2)}{2\alpha t} \ln \frac{N_0 - N_b}{N_t - N_b} \quad (\text{A.5-2})$$

$$V_v = L / \Delta T \quad (\text{A.5-3})$$

式中 K ——渗透系数, m/d;

J ——测试孔附近的地下水水力坡度;

V_f ——水平流速, m/d;

r ——测试孔滤水管内半径, m;

r_0 ——探头半径, m;

t ——示踪剂浓度从 N_0 变化到 N_t 所需的时间, d;

N_0 ——同位素在孔中的初始浓度计数率;

N_b ——孔中的计数率本底值;

N_t ——同位素 t 时刻浓度计数率;

α ——流场畸变校正系数;

V_v ——垂向流速, m/d;

ΔT ——探头计数率时间曲线峰值间的时间，d；

L ——相邻探头距离，m。

河南省住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

本规程用词说明

1 为了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，在正常情况下均应这样做的用词：

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”。

2 规程中指明按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《岩土工程勘察规范》(GB50021)
- 2 《堤防工程设计规范》(GB50286)
- 3 《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL174)
- 4 《水利水电工程勘探标准 第1部分：物探》(SL/T 291.1)
- 5 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)
- 6 《水电水利工程混凝土防渗墙施工规范》(DL/T 5199)
- 7 《堤防隐患探测标准》(SL 436)
- 8 《水利工程质量检测技术标准》(SL 734)

河南省工程建设标准

防渗墙质量无损检测技术标准

DBJ41/T137-xxxx

条文说明

目 次

1	总 则	42
2	术语和符号	43
3	基本规定	44
3.1	检测内容、方法及要求	44
3.2	外业工作	44
4	直流电阻率法	46
5	探地雷达法	47
6	弹性波反射法	48
7	声波测试法	49
8	弹性波 CT 法	50
9	钻孔全景数字成像法	51
10	同位素示踪法	52

1 总 则

1.0.1 本规程是在《防渗墙质量无损检测技术标准》(DBJ41/T137-2014)基础上进行的修订。

1.0.2 本规程中所指的防渗墙,一般指采用专用设备,以开槽等施工方法建造的混凝土防渗墙。对于其他材料和工艺建造的防渗墙、截渗墙的质量无损检测工作,可参考本规程。与混凝土防渗墙材料、工程特点类似的构筑物,如基坑支护中采用的地下连续墙、水泥土墙等,其质量无损检测工作可参考本规程。

2 术语和符号

2.1.6 在国内的技术文章中，直流电阻率法也称为电阻率成像、高密度电阻率成像、高密度电阻率法等，都是指根据直流电阻率测试原理，利用地面的电极装置和测量、控制设备，自动完成剖面的电阻率分布测试工作的方法。

2.1.7 探地雷达法也称为地质雷达法。

3 基本规定

3.1 检测内容、方法及要求

3.1.1 防渗墙的完整性、连续性、均匀性是防渗墙工程质量水平的宏观评价指标。主要评价依据包括防渗墙的墙底高程、延伸范围等空间尺寸参数是否达到设计要求，墙身是否存在裂缝、开叉等质量问题；墙体的波速、电阻率等物理参数分布是否连续、均匀等。

3.1.2 各种检测方法均有其适用范围和特点，如直流电阻率法、探地雷达法工作效率高，但仅适用于无钢筋防渗墙的浅部质量检测；跨孔声波、弹性波 CT 检测成果精度高，但检测需要钻孔或预埋测管。

3.1.4 检测工作宜采用普查和详查相结合的方法。普查可采用直流电阻率法、探地雷达法、弹性波反射法检测，对于重要墙体或普查工作发现异常处，宜采用跨孔声波、弹性波 CT、钻孔全景光学成像、同位素示踪法进行检测。

3.2 外业工作

3.2.2 对于直流电阻率法、探地雷达法、反射法，其测线一般在防渗墙墙顶沿墙身走向布置。如果墙体有临空面，探地雷达法、反射法的测线也可以布设在临空面墙体上。钻孔声波测试、钻孔全景光学成像、同位素示踪法的测孔应布设在墙体中。弹性波 CT 的测孔可以布设在墙体中，也可以紧贴墙体布置，此时相邻的测孔应分别位于墙体两侧。测线（测点）应按照随机、均匀的原则布置。

3.2.3 检测班报宜包括日期、检测方法、仪器、人员、工区范围等内容，对检测工作中的人员、设备、工作布置、方法参数和工作开展情况进行记录。

4 直流电阻率法

4.1.2 与原标准比较增加了三维电阻率成像方法。

4.1.3 采用直流电阻率法检测时，防渗墙墙体宽度宜大于 300mm，电极应布置在防渗墙墙顶，打入防渗墙墙体。电极应与墙体接触良好、稳定、无晃动。对于深部测点，该方法检测到的视电阻率值受墙体周围介质影响较大，不能反映墙体本身的质量，应予以判别并剔除，不能作为墙体质量评价依据。

4.3 电极布设后、正式检测前，应利用仪器的接地电阻测试功能测试各电极的接地电阻。接地电阻大小应满足所用仪器设备的要求。如果接地电阻过大，可通过浇水、压土等方式改善电极与墙体的接触条件，降低接地电阻。

4.4 利用测试结果反演地下电阻率图像时，宜利用已知模型的测试数据检验反演软件的有效性，反演结果应与视电阻率图像进行对比分析，避免因反演多解性造成的虚假异常影响评价结论。

5 探地雷达法

5.1 与原标准比较增加了三维雷达检测方法。

5.1.2 剖面法是将发射天线和接收天线以固定间距沿测线同步移动的一种检测方式；宽角法是固定发射（或接收）天线，使接收（或发射）天线沿测线移动而不断改变两个天线之间的距离（增大或减小）进行测量的一种方式；共中心点法是在保证发射和接收两天线中心点位置不动的情况下，不断改变两个天线之间的距离（增大或减小）进行测量的一种方式；三维雷达天线是采用多组阵列天线同时探测，一次采集一个面域数据的探测方法，目前三维雷达探测主要是高频屏蔽天线，一般阵列天线中心频率 $\geq 200\text{MHz}$ 。

5.1.3 用于防渗墙质量检测的雷达天线应为屏蔽天线，测线布置在墙顶时，天线尺寸不宜大于墙体宽度。正常墙体与周围介质及墙体缺陷的介电常数差异越大，检测效果越好。

5.2 目前不同厂家的探地雷达系统原理、效果、数据处理方法均很相似，仪器的主要技术指标既有共性，也有各自的特点，可根据实际工作效果合理选用。

5.3 本条规定了探地雷达工作的基本要求。实际探测时，要兼顾工作效率和分辨率，合理选择工作模式、天线种类、测线布置。一般而言，中心频率越高，检测深度越小、分辨率越高。在满足检测深度要求的前提下，宜优先选择中心频率高的天线，保证检测工作的分辨率。

6 弹性波反射法

7.1.1 在墙体深度较小、墙底反射波明显的情况下，弹性波反射法也可以用于墙体深度检测。

7.1.3 影响弹性波反射法检测深度的因素主要包括震源能量、检波器灵敏度、环境噪声等。

6.2.3 锤击震源宜配合钢板使用，保证锤击能量和频率成分满足要求。检波器布设宜采用石膏等作为耦合剂。偏移距可为 $0.2\text{m}\sim 0.4\text{m}$ ，测试点距可为 $0.2\text{m}\sim 1\text{m}$ 。

6.5 在时间剖面图上，完整性、均匀性较好的墙体，其记录应具有波形规则、同相轴连续等特点。对于存在缺陷的墙体，一般存在波形杂乱，同相轴断裂、错位等现象。

7 声波测试法

7.1.1 需要检测墙体深度时，应保证测孔深度大于墙体深度。

7.1.3 跨孔声波测试所用的测孔，其间距不宜过大，应保证接收到的声波信号清晰可辨。

7.3.1 声波测试中，孔内宜有清水等耦合液。在干孔中测试时应选用干孔探头，且保证贴壁装置有效工作。

7.3.2 孔斜测量宜选用测斜仪等设备。从孔底开始测试有利于减少卡孔等事故的发生。

7.5 声波测试得到的是墙体声波波速，利用声波测试结果判断墙体质量前，应先确定判别标准，一般以设计指标为判别标准。设计指标中没有波速指标时，可利用混凝土试件的波速测试结果修正后确定判别标准。

8 弹性波 CT 法

8.1.2 需要检测墙体深度时，应保证测孔深度大于墙体深度。

8.1.3 钻孔孔距大于墙体深度时，CT 成像的断面不利于保证观测系统的射线密度，影响成像效果。

8.3.1 检测前应用测斜仪等设备检测孔斜率，用于校正测孔间距。

8.5 确定解释原则的关键内容为波速指标的确定，设计指标中有波速指标的，应以设计指标为准，设计指标中没有波速指标的，应根据 CT 检测成果、钻孔取样检测成果、混凝土试样的波速测试结果等综合确定波速指标。

9 钻孔全景数字成像法

9.1.2 测试前，应利用清水洗孔。

10 同位素示踪法

10.1.1 常用的同位素示踪剂包括 ^{82}Br 、 ^{131}I 、 ^{198}Au 等。采用单孔示踪法测试渗透水流向时可采用 ^{131}I 和 ^{198}Au ，采用单孔稀释法测定渗透流速时可采用 ^{131}I 和 ^{82}Br 。 ^{198}Au 一般作为标记颗粒介质的示踪剂选入水文地质研究，在地下水研究中要考虑吸附问题。 ^{131}I 的半衰期适合于 2 个月的现场研究，为避免受有机物质吸附的影响，使用中要采取减少吸附的措施。

10.1.2 单孔稀释法是在井中无垂向流的情况下，示踪剂浓度在有滤管的井水中的变化满足稀释定理，可以通过初始浓度、稀释后浓度、测量时间、井半径等参数计算得到渗透流速，也可以利用累计照射量值计算地下水渗透流速。单孔示踪法是将放射性示踪剂投入井中，同位素与水流一起运动，被带出测孔，同位素示踪剂在孔中逐渐呈不对称分布，水流补给方向最低，沿水流运动方向浓度最高，可以通过测量示踪剂浓度计算流速流向。

10.1.3 同位素示踪法测试渗透流速时，其测量流速的下限主要受分子扩散影响，一般为 $0.01\text{m/d} \sim 0.005\text{m/d}$ 。利用同位素示踪法测试渗透流速和计算渗透系数时，应注意所用检测设备、示踪剂和检测方法的测量下限，避免出现测孔中的渗透水流流速低于同位素示踪法有效检测范围的情况。如果出现这种情况，测出的渗透水流速及计算得到的渗透系数不能代表墙体的防渗性能。该方法除了用于测定防渗墙的渗透流速和渗透系数外，还可以利用测孔中的水流流速流向判断裂缝等缺陷的位置和影响。