ICS 19.020
CCS P13/P14

团　　体　　标　　准

T/NAIC XXXX-202X

砂岩质石窟岩体裂隙探地雷达探测技术规程

Technical specification for ground penetrating radar detection of cracks in sandstone grottoes

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

202X－XX－XX 发布　　202X－XX－XX 实施

中国民族建筑研究会　发布

目 次

前　言 III
1 范围 4
2 规范性引用文件 4
3 术语和定义 4
4 基本规定 5
5 探测设备 6
6 探测方法 7
7 探测数据处理和解释 8
8 检测报告 10
附录 A（资料性附录） 11

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些的责任。

本文件由中国民族建筑研究会提出并归口。

本文件起草单位：吉林大学。

本文件参与起草单位：复旦大学、大足石刻研究院、同济大学、广州大学。

本文件主要起草人：冯晅、安娅菲、董泽君、周皓秋、张明贺、杨佳润、张英浩、王刘磊、王宇恒、王金华、赵永辉、孟旭。

本文件主要审查人员：

砂岩质石窟岩体裂隙探地雷达探测技术规程

1 范围

本文件规定了砂岩质石窟岩体裂隙探地雷达探测的基本规定、探测方法、探测数据处理、探测数据解释、检测报告的要求。

本文件适用于砂岩质石窟寺岩体由于自然和人为因素的影响，产生严重环境地质病害而形成不同形态的裂缝的探测。

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。

NB/T 10133-2019 水电工程探地雷达探测技术规程

TB 10223-2004 铁路隧道衬砌质量无损检测规程

DB35/T 957-2009 公路隧道地质雷达检测技术规程

DB52/T 1403-2019 公路隧道地质雷达检测技术规程

DT21/T 3217-2019 水工混凝土雷达法检测应用技术规程

DB61/T 1289-2019 公路隧道地质雷达监测技术规程

DB15/T 2617-2022 公路路基路面三维探地雷达检测规程

DB6501/T 033-2022 城市道路塌陷隐患雷达检测技术规范

DB37/T 5122-2018 探地雷达测定道路结构层厚度技术规程

T/CCES 42-2023 钢筋混凝土桥梁腐蚀状况探地雷达检测技术规程

WW/T 0063《石质文物保护工程勘察规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

探地雷达 ground penetrating radar

是一种利用浅层地球物理探测技术，通过发射天线向地下发射高频电磁波，接收天线接收反射回地面的电磁波，分析由不同电性差异的界面引起电磁波发生的波形、振幅、时间变化，从而确定地下结构的探测手段。

3.2

雷达天线 radar antenna

探地雷达辐射电磁波的装置，分为发射天线和接收天线两种。

3.3

中心频率 center frequency

天线通频带频率的算术平均值。

3.4

相对介电常数 relative dielectric constant

介质相对于真空的介电常数，用符号ε表示。

3.5

时窗 time window

探地雷达接收信号的时间范围。

3.6

采样率 sampling rate

单位时间内采样信号数量。

3.7

采样间隔 sampling interval

相邻采样点的时间间隔。

3.8

增益 gain

对探地雷达信号进行放大或补偿的处理方法。

3.9

滤波 wave filtering

根据干扰信号的频谱分布不同，选择合理的滤波器，尽可能地将干扰信号滤除，保留有效信号的处理过程。

3.10

偏移归位 migration

把探地雷达信号记录中的每个反射点移到其原来的位置。

3.11

连续测量 continuous measurement

天线在移动中进行数据采集，采集的数据在单位时间内为定量。

3.12

点测量 point measurement

通过人为控制主机或天线，以测点为单位进行移动和测量进行数据采集的方式。

3.13

同相轴 lineups

各道上相位相同的波峰或波谷的连线。

3.14

特征波 characteristic wave

强振幅、能长距离连续追踪且波形稳定的反射波。

4 基本规定

4.1 探测范围

针对砂岩质石窟岩体裂隙渗水病害特征开展的高精度探地雷达探测技术。

4.2 石质文物勘察工作基本原则

4.2.1 “最小干预”原则，具体要求如下:

在确定勘察技术路线时，应选择对文物本体及环境影响最小的技术手段，优先考虑无损检测技术。在确定勘察工作量时，在满足设计要求前提下，岩土工程勘察与石质文物病害勘察工作应有机结合，优化工作流程，严格控制勘探点和取样数量，避免重复工作。在确定勘探点和取样位置时，在满足设计要求前提下，应尽量避免在文物本体范围内布设。

4.2.2 工程实践与科学研究相结合的原则。应针对石质文物病害及赋存环境特点，围绕设计要求开展必要的研究工作。

4.3 砂岩质石窟岩体裂隙探地雷达探测应遵循以下规定：

a)应及时对石窟寺岩体出现的渗水裂隙进行探测，进而制定相应的保护和防治措施。

b)检测前应收集探测区石质文物相关资料，结合现场状况，编制检测大纲。

c)检测前应充分收集地质资料，了解探测区周边环境及地质概况，结合石窟寺文物特点，配置合理的设备、人员，并注重不同类型裂隙探地雷达探测参数的设定。

d)检测前应对测区背景介电常数和电磁波波速进行现场标定。

e)现场工作环境温度宜处于-10 ℃～+40 ℃之间。

f)相对湿度不应大于 80%。

g)现场不宜存在探测设备信号干扰源，若无法避免应采取屏蔽措施或调整测线予以消除。

4.4 工作流程

砂岩质石窟岩体裂隙探地雷达探测工作流程应包括资料收集，野外踏勘，制定探测方案，布设野外测线，野外数据采集，野外数据处理，野外数据分析和成果编制。砂岩质石窟岩体裂隙探地雷达探测工作流程见图 1。

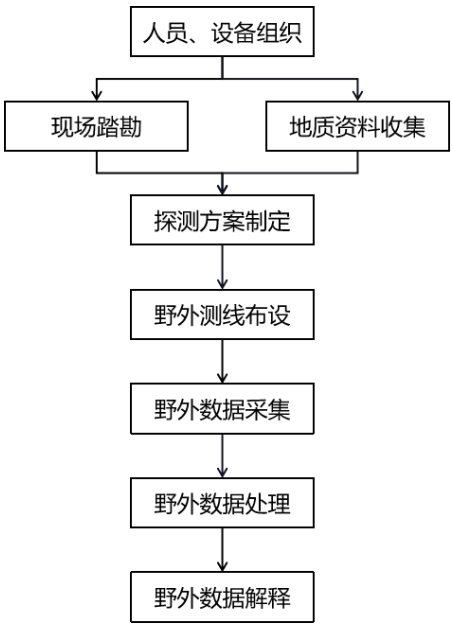

图 1 探地雷达法检测工作流程图

5 探测设备

5.1 探地雷达主机性能指标应符合以下要求：

a)系统增益大于等于150db；

b)信噪比大于等于60db；

c)不低于8位的采样分辨率；

d)不低于16位的模/数(AD)转换器；

e)可选择的信号迭加次数；

f)较小的采样间隔，一般不大于0.5ns (1ns=10-9s)；

g)点测和连续测量功能；

h)手动和自动位置标记功能；

i)可连接不同频率的天线。

5.2 探测系统应包括探测设备和数据软件。

5.3 探测设备应通过周期比对核查或校准，确保性能完好，方可投入使用。在使用、运输和保管过程中应防水、防潮、防尘、防高温、防寒。

5.4 探测设备在搬运和使用过程中应轻拿轻放，避免磕碰，以保证仪器安全。

5.5 探地雷达探测参数的选择

5.5.1 探测参数包括天线中心频率、时窗、采样率、测点点距。

5.5.2 探地雷达天线技术指标应符合以下要求：

a)雷达天线中心频率在100MHz~1600MHz之间，具有屏蔽功能。

b)探地雷达天线中心频率的选择，应满足分辨率和探测深度的要求，最大探测深度应大于探测目标的深度。

天线中心频率应符合以下公式：

$$f_c > \frac{75}{x\sqrt{\varepsilon_r}}$$

式中：

f_c……天线中心频率（MHz）

x……空间分辨率（m）

f_c……围岩相对介电常数。

常用天线中心频率与探测深度的关系宜参考表1。

表1 常用天线中心频率与探测深度的关系表

中心频率（MHz）	探测深度（m）
1600	0.2-0.5
1000	0.5-0.8
600	0.5-3
400	1-5
200	1-9
100	4-25

5.5.3 时窗选取应符合以下公式：

$$\mathrm{W} = 1.3\frac{2h_{max}}{v}$$

式中：

W……时窗（ns）

h_{max}……最大探测深度（m）

v……地层电磁波速度（m/ns）。

5.5.3.1 时窗的选用值应增大30%，为适应地速度与目标深度的变化。

5.5.4 采样率应符合以下公式：

$$\Delta\mathrm{t} = \frac{1000}{6f_c}$$

式中：

Δt……采样率（ns）

f_c……天线中心频率（MHz）。

5.5.5 测点点距的选取应符合下列公式：

$$n_x = \frac{75}{f_c\sqrt{\varepsilon_r}}$$

n_x……采样间隔（m）

f_c……天线中心频率（MHz）

ε_r……围岩相对介电常数。

5.5.5.1 当介质的横向变化不大时，应适当放宽测量点距，以提高工作效率。

6 探测方法

6.1 现场踏勘

6.1.1 现场踏勘应符合以下要求：

a)现场踏勘内容应包括探测区域的地形地貌，气候条件等情况。

b)现场踏勘及现场检测时应为工作人员发放安全帽，安全标志服等，保证人员安全。

6.2 测线布置

6.2.1 测线布置应符合以下要求：

a)尽量规避测线附近的大范围金属构件和无线电射频源，根据现场状况合理布置测线。

b)探测工作进行前应建立测区坐标系统，以确定测线的平面位置。

c)测线布置方向应与探地雷达移动方向保持一致。

d)测线长度应能完全覆盖探测目标。

e)检测现场应根据测线位置，设置安全警告标识。

6.2.2 砂岩质石窟岩体裂隙探测工作测线布置应以垂直于裂隙方向的测线为主。

6.2.3 当探测的岩体表面是不规则面时，应在不破坏石窟文物本体的前提下，紧贴石窟文物表面进行探测。

6.3 数据采集

6.3.1 数据采集过程应符合以下要求：

a)采集前应先检查雷达主机、电脑、天线是否处于正常工作状态。

b)当探测垂直崖壁进行时，探地雷达数据采集时应尽量靠近崖壁进行。

c)采集时探地雷达天线的移动速度应均匀。

d)随时记录可能对检测产生异常影响的位置，如脚手架、渗水、电缆等，以便在分析时区分有效异常和干扰异常。

6.3.2 探地雷达有以下两种采集方式，应根据现场实际情况选择：

a)连续测量；

b)点测量。

6.4 三维雷达探测应符合以下要求：

a)应根据石窟岩体平面范围以及埋深确定测网的面积大小。

b)网格密度应根据石窟文物目标体的大小确定，测线间距应相等，应保证同一方向有三条测线经过目标体。

c)三维雷达探测天线应采用屏蔽天线，且同一测网应采用相同频率的天线。

d)现场工作前应对测线进行标识。

e)现场探测时应按照标识的测网有序进行，探测仪器参数应符合本规程第 5.1 条的规定。

7 探测数据处理和解释

7.1 一般规定

a)需探测目标的信号数据应已有效保存。

b)原数据处理前应检查，数据信号清晰，记录完整有效。发现问题时应及时补测。

c)工作总量应符合野外采集前所设计的测线、测点任务。

d)数据处理与解释应在采集数据后及时进行，原始数据解释结论不够充分时应做相应的补充采集工作。

7.2 数据处理

7.2.1 数据处理应包括以下内容：

a)去除直达波干扰。

b)进行零点校正。

c)信号幅值过大或过小时，应进行增益处理，增益处理可采用线性增益、指数增益或自动增益。

d)选择合适的滤波参数，采用滤波处理对信号进行滤波，消除明显的干扰信号和干扰频率信号。频率滤波可选择低通滤波、高通滤波或带通滤波，高通截止频率宜小于天线频率的1/4，低通截止频率宜大于天线频率的2倍。

e)采用反褶积的方法消除多次波的干扰，使探地雷达信号更加清晰。

f)进行速度扫描分析，确定偏移成像处理的输入参数。

g)进行偏移成像处理，消除地下局部异常体产生的绕射波叠加干扰，确定探测目标的位置。

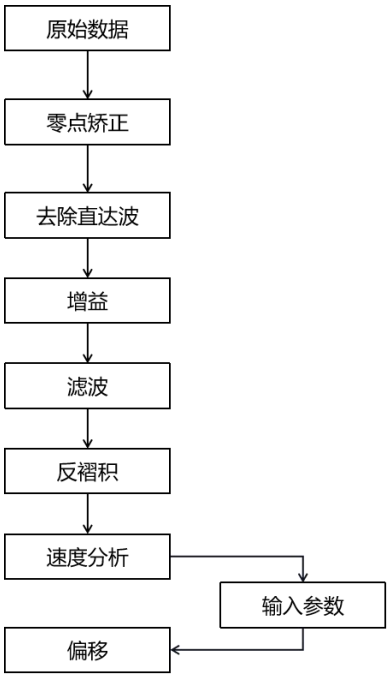

图 2 探地雷达数据处理流程图

7.3 探地雷达数据解释应符合以下要求：

a)用于成果解释的雷达图像清晰、信噪比高，解释成果应采用专业语言描述。

b)根据信号的同相轴及振幅、相位和频率等属性特征提取异常信号。

c)探地雷达数据解释应结合地质资料及探测时周边的实际条件进行分析研究。

d)应在原始图像上通过反射波波形及能量强度等特征判断、识别和筛选异常。

e)结论应明确并符合客观地质规律，应与其他地球物理探测方法的解释相互印证，相互补充。

f)雷达剖面上应标明异常信号的位置。

7.4 探地雷达数据解释应包括以下方面：

a)反射裂缝的拾取。

b)目标响应分析与推断。

c)综合解释。

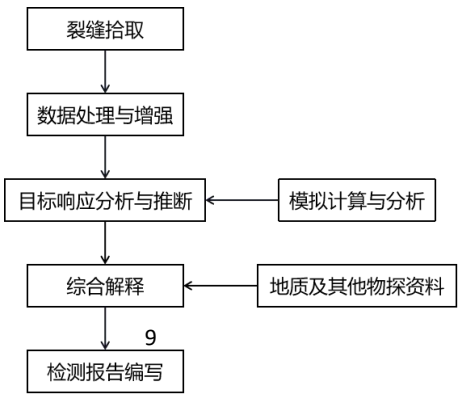

图3 探地雷达数据解释流程图

7.5 三维雷达探测数据处理和解释

7.5.1 三维雷达数据处理应符合以下要求：

a)单个剖面的数据处理应符合本规程第 7.1 和第 7.2.1 条的规定。

b)单个剖面数据处理完成后应利用三维处理软件形成三维数据体。

c)应根据实测目标体的三维尺寸设定切片间距，输出三维图像。

7.5.2 三维雷达数据解释应符合以下要求：

a)单个剖面的数据解释应符合本规程第 7.3 和第 7.4 条的规定。

b)应对三维数据体开展振幅、频率、相位等属性分析。

c)应利用三维数据体显示功能进行目标体的空间形态分析和三维建模。

8 检测报告

8.1一般规定

a)检测报告编写应根据任务书、设计书、检测大纲及有关文件进行。

b)检测报告应包含项目名称、委托单位、检验地点、合同编号、检测类别、检测项目、检测日期、检测方法和依据标准、使用仪器及设备编号、检测结果和备注。

c)报告内容应准确、清晰、明确和客观。

d)报告应具有唯一性标识，以及签发（批准）人姓名、签字或等效标识。

e)当需要提供不同语种的版本时，应以中文版本为准，保持各版本结构和内容上的一致性。

8.2 报告附件

检测报告附件应包含结果说明、意见和解释、图表、图片等相关资料。

附录 A（资料性附录）

检测报告示例

A.0.1 检测报告封面宜按图A.0.1的样式制定。

图A.0.1检测报告封面样例

XXXXXXXXXXXXX

检测报告

项目名称：_____

委托单位：_____

检测类别：_____

报告日期：_____

检测机构名称

A.0.2 检测报告的声明页宜按图A.0.2的样式制定。

图 A.0.2 检测报告声明页样例

声明事项

1. 检测报告无编写人、审核人、批准人签字无效。
2. 检测报告涂改无效
3. 对检测报告若有异议，应于收到报告之日起xx日内向本机构提出。

地址：
电话：
邮政编码：

A.0.3 检测报告的首页宜按图 A.0.3 的样式制定。

图 A.0.3 检测报告首页样例

xxx

检测报告

项目名称			
委托单位			
检测地点			
合同编号		检测类别	
检测项目		检测日期	
检测方法和依据标准			
使用仪器及设备编号			
检测结果	日期：		
备注			

批准： 审核： 编制：

A.0.4 检测报告的数据页宜按图 A.0.4 的样式制定。

图 A.0.4 检测报告数据页样例

xxx

检测报告

序号	检测项目	检测方法	检测数据、结果	备注
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
…				

A.0.5 检测报告的附件页宜按图 A.0.5 的样式制定。

图 A.0.5 检测报告附件页样例

xxx

检测报告

结果说明、意见和解释、图表、图片等相关资料