

ICS 03.220.20

CCS R 10

团 体 标 准

T/JSCTS XXXX—2026

雷达法检测混凝土空心板梁技术规程

Technical specification for testing of concrete hollow-core slab beams by radar method

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

江苏省综合交通运输学会 发 布

目 次

前 言 II

1 范 围 1

2 规范引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 基本规定 3

 5.1 检测环境 3

 5.2 参 数 3

6 检测仪器 4

 6.1 设备组成 4

 6.2 设备参数 4

 6.3 波速校正 4

7 底板厚度检测 5

 7.1 一般规定 5

 7.2 检测步骤 5

8 内部缺陷检测 7

 8.1 一般规定 7

 8.2 检测方法 7

9 钢筋配置检测 8

 9.1 一般规定 8

 9.2 检测方法 8

10 数据处理与检测报告 8

 10.1 原始数据处理 8

 10.2 检测报告 9

附录 A 电子文件记录表 10

附录 B 测线布置示意图 14

附录 C 混凝土结构厚度典型图谱 16

附录 D 混凝土结构缺陷典型图谱 17

附录 E 空心板梁混凝土结构配筋典型图谱 18

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专利的责任。

本文件由华设检测科技有限公司提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：江苏省交通运输综合行政执法监督局、常州市交通运输综合行政执法支队、华设检测科技有限公司。

本文件主要起草人：郑洲、张健、蔡远、杨洋、包旭、陶屹、吉同元、刘亚楼、刘九生、邱恒雅、姜永虎、李鹏飞、姚伟、景步军、郑鑫、张宏富、钱正华、马铁军、黄旭旭、朱义卓、张盼盼、叶方宁。

雷达法检测混凝土空心板梁技术规程

1 范 围

本文件规定了雷达法检测混凝土空心板梁的技术规程,主要包括术语和定义、基本规定、检测仪器、板梁底板厚度检测、混凝土缺陷检测、钢筋配置检测和检测报告等内容。

本文件适用于新建、改扩建以及在役桥梁混凝土空心板的检测。

2 规范引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

JGJ/T 456 雷达法检测混凝土结构技术标准
JGJ/T 152 混凝土中钢筋检测技术标准
DBJ50/T289 雷达法检测混凝土解雇质量技术标准
DGJ32/TJ79 雷达法检测建设工程质量技术规程
DB52/T 1403 公路隧道地质雷达检测技术规程
DB22/T 2574 地质雷达探测测绘技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

雷达法 radar method

通过发射和接收电磁波信号来判断不同介质波阻抗和几何形态的差异,根据反射电磁波振幅及频率随时间变化所构成的图像,并进行分析解译的方法。

3.2

雷达检测系统 radar detection system

由雷达主机、发射天线和接收天线、测距轮及电缆线等构成,采用电磁波对空心板梁内部进行探测,具有数据存储、显示、处理、分析功能的系统。

3.3

雷达主机 radar control unit

对采集信号进行控制、处理和存储的设备。

3.4

雷达天线 radar antenna

用来发射和接收雷达电磁波信号的设备。

3.5

雷达图像 radar profile

显示雷达扫描的电磁波信号组合成的图像。

3.6

频带 frequency bandwidth

发射或接收的电磁波信号最高频率与最低频率之间的频率范围。

3.7

中心频率 main frequency

频带的上限与下限频率的几何平均值。

3.8

时窗 range

雷达检测系统对反射信号取样的时间范围。

3.9

扫描道 scan channel

雷达图像上一个采样点的记录。

3.10

扫描速度 scans per second

单位时间内扫描移动的距离。

3.11

采样长度 sample length

垂直于检测方向上一次扫描采集的信号点数。

3.12

水平采样间隔 horizontal sample interval

测线方向上相邻两道数据的距离。

3.13

介电常数 dielectric constant

物质在外加电场下储存极化电荷的能力。

3.14

滤波 filter

利用频谱特征的不同压制干扰波，突出有效信号的处理。

3.15

增益 gain

对雷达波信号进行放大或补偿的处理。

3.16

探测深度 radar detecting depth

雷达所能探测到的有效目标体信号的位置。

3.17

混凝土缺陷 concrete defect

主要指混凝土中的孔洞、裂缝、不密实等问题，这些问题对于混凝土的连续性和完整性有着不同程度的影响，降低了混凝土的强度和耐久性。

3.18

钢筋配置 reinforcement positioning

混凝土中不同的钢筋直径、间距、保护层厚度和布置方式等情况。

4 符号

4.1 雷达检测系统性能参数符号：

f ——天线中心频率；

S_p ——采样长度；

ω ——时窗；

x ——垂直分辨率。

4.2 雷达检测系统计算参数符号：

c ——电磁波在真空中的传播速度；
 h ——探测深度；
 h_k ——已知目标深度；
 R_{\max} ——发射天线与接收天线的最大间距；
 T ——电磁波在结构体中的双程传播时间；
 v ——电磁波在介质中的传播速度；
 \bar{v} ——电磁波在介质中的平均传播速度；
 ϵ_r ——介质的相对介电常数；

5 基本规定

5.1 检测环境

- 5.1.1 空心板梁测区表面宜干燥、平整，并应能保证雷达天线平稳移动。
 5.1.2 测区内不应存在干扰检测结果的金属物或其他电磁波源。
 5.1.3 检测环境温度应控制在 $-10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 参 数

- 5.2.1 天线中心频率应满足探测深度要求，并适用较高分辨率的天线。天线中心频率的参考值应按式计算：

$$f = \frac{150}{x\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

- 5.2.2 为针对探测目标体以及提高分辨率，天线中心频率可按表 1 确定：

表 1 混凝土介质内目标探测深度或距离与中心频率关系

目标探测深度 (m)	中心频率 (MHz)
0~0.3	>2000
0.3~0.5	1000~2000
0.5~1.0	600~1600
1.0~1.5	400~900
1.5~2.5	400~600
2.5~5.0	200~400

- 5.2.3 天线间距的确定应符合下列规定：

- a) 当采用收发分离式天线检测时，发射天线与接收天线的间距应按式计算：

$$R_{\max} = \frac{2h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

- b) 当采用收发一体式天线检测时，发射天线与接收天线的间距应是固定的，其间距同样应按下式：

$$R_{\max} = \frac{2h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

- 5.2.4 时窗应按式计算：

$$\omega = 1.3 \times \frac{2h}{v} \quad (4)$$

- 5.2.5 采样长度的选取应符合下列规定：

- a) 采样长度宜符合下式要求：

$$S_p \geq 3\omega f \times 10^{-2} \quad (5)$$

- b) 在保证天线垂直分辨率前提下，应经过对比试验，确定达到图像最清晰时的采样长度。

5.2.6 水平采样间隔不应大于目标物最小水平尺寸的 0.3 倍。

6 检测仪器

6.1 设备组成

6.1.1 雷达检测系统应具有产品合格证书，并应在其校准有效期限内使用。

6.1.2 雷达检测系统应具有图像显示功能，且应具有快速形成图像的功能。

6.1.3 雷达数据存储设备、雷达主机等的外接设备端口均应符合国家相关标准的规定；雷达检测系统正常工作时，应保持天线电磁波发射符合国家相关标准的规定。

6.1.4 雷达检测系统在使用、运输和保管过程中应防水、防潮、防爆晒和防剧烈振动等，并且应放置在干燥、通风、不受阳光直射的场所保存，具体如下：

- a) 环境温度：-10℃～50℃；
- b) 环境相对湿度：不大于 85%；
- c) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.1.5 雷达系统应进行定期保养、清洁维护。

6.2 设备参数

由雷达天线、雷达主机等组成的雷达检测系统，其性能应满足下列规定：

- a) 信噪比宜大于 110；
- b) 信号稳定性变化宜小于 1%；
- c) 系统时间校准因素的变化宜小于 2%；
- d) 长期稳定性变化宜小于 3%；
- e) 测距误差宜小于 0.3%；
- f) 时基精度值宜小于 0.02%；
- g) 系统动态范围宜大于 120dB；
- h) 主机分辨率不宜大于 5ps；
- i) 主机最大扫描速度不宜小于每秒 100 扫；
- j) 主机脉冲重复频率不宜小于 100kHz；
- k) 系统 A/D 转换的动态位数不应低于 16 位；
- l) 雷达设备外壳防护等级不应低于 IP54。

6.3 波速校正

6.3.1 雷达检测应对检测区域进行波速校正，现场波速标定宜根据需要选定 2～3 个区域。

6.3.2 波速校正宜采用已知目标深度法，并应符合下列规定：

a) 每个检测区域内的校正波速应为其内校正点测得波速的算术平均值，每个检测区域选取的校正点数不宜少于 3 个；

b) 针对不同尺寸空心板梁、不同钢筋保护层设计厚度应都进行波速校正。

6.3.3 电磁波在介质中的平均传播波速 \bar{v} 应按下列公式计算：

$$\bar{v} = \frac{2h_k}{t} \quad (6)$$

7 底板厚度检测

7.1 一般规定

7.1.1 底板厚度检测根据空心板梁结构进行，本文针对目前空心板梁结构为单腔圆底、方底，双腔圆底、方底的底板厚度检测，其它结构可参考进行检测。

7.1.2 混凝土空心板梁为单腔及双腔，其厚度为空心板梁横截面底部至空心腔底垂直方向的最小尺寸。如下图 1、2 所示。

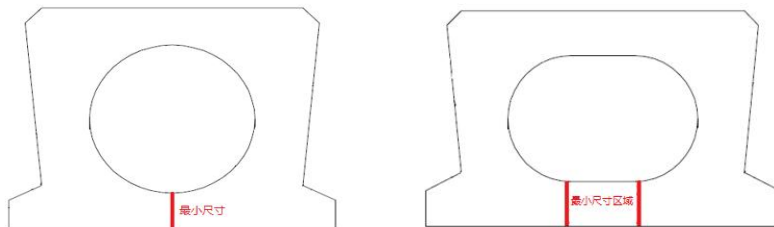


图 1 空心板梁单腔底板厚度示意图

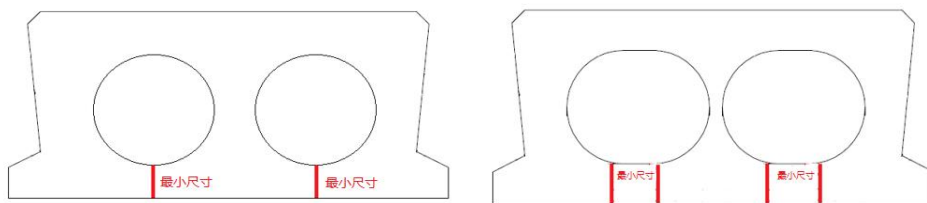


图 2 空心板梁双腔底板厚度示意图

7.1.3 现场仪器调试应符合下列规定：

- 1 应根据检测要求，确定合适的天线频率、通道个数；
- 2 应根据检测条件设置时窗、采样点数、水平间隔、增益等参数，雷达采集系统应处于正常工作状态。

7.1.4 采集系统正常工作后，应测试采集的数据是否可以正确存储到指定的设备中，确定数据储存后方可进行正式检测。

7.2 检测步骤

检测流程应包含以下内容，步骤流程图见图 3。

- a) 检测开始前，应收集图纸了解空心板梁结构，检测必要时需搭设平台并做好安全防护措施。
- b) 检测前应对空心板梁底板检测进行清理并进行外观检查。
- c) 确定底板厚度横向最低值位置：等间距布置 3 条横向测线，确定底板厚度最低值位置；测线位置宜分布在板梁两端及中间，测线间距易为 5m，根据空心板梁长度可适当调整。
- d) 确定纵向检测路径：将横向测线最低值点连接成一条线，并以此为雷达检测的纵向测线。数据采集过程中，天线应沿着测线方向匀速移动，不宜过快。
- e) 设备检测过程中应有专人进行记录，应记被测空心板梁的桥梁名称、板梁编号及测线编号等，确保检测对象与储存文件的对应性。
- f) 数据进行初步分析，对疑似缺陷位置进行复测，复测疑似缺陷依然存在，结束检测。

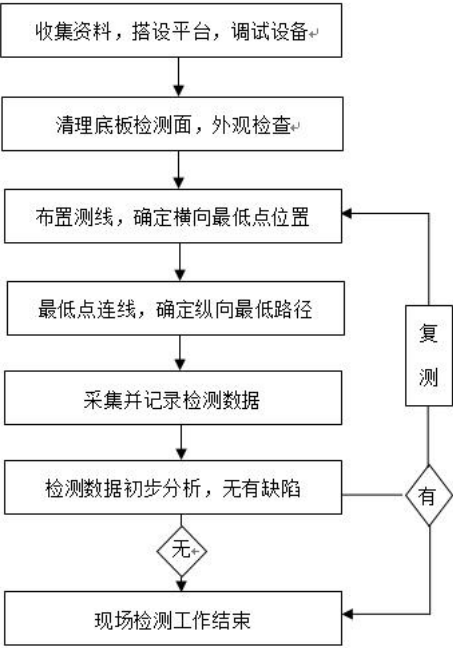


图 3 检测步骤流程图

空心板梁底板厚度检测测线布置示意图 4、图 5。

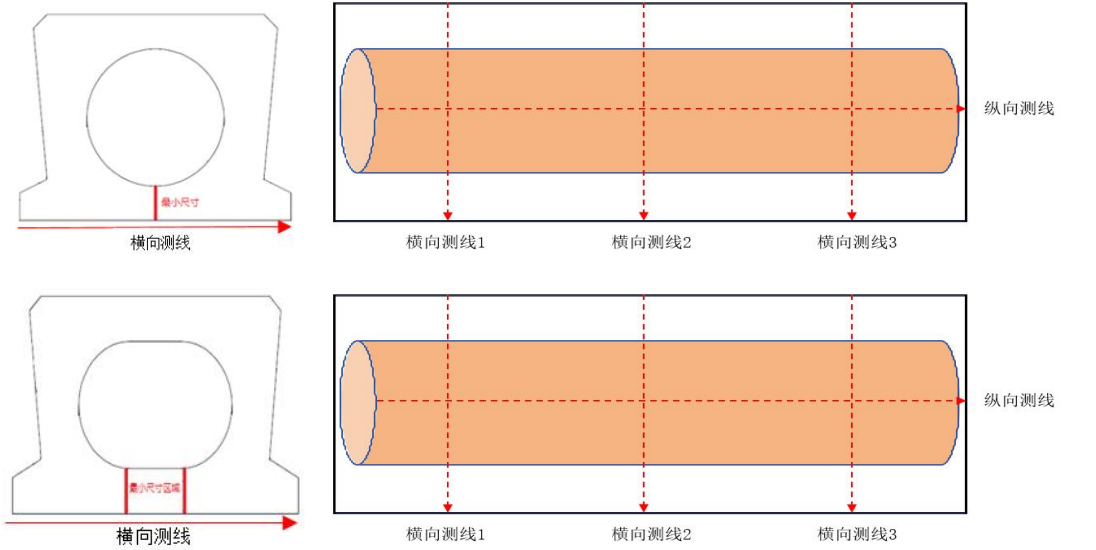
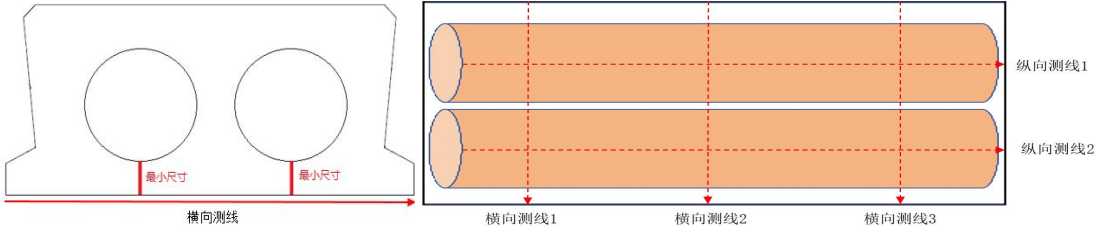


图 4 空心板梁单腔测线布置示意图



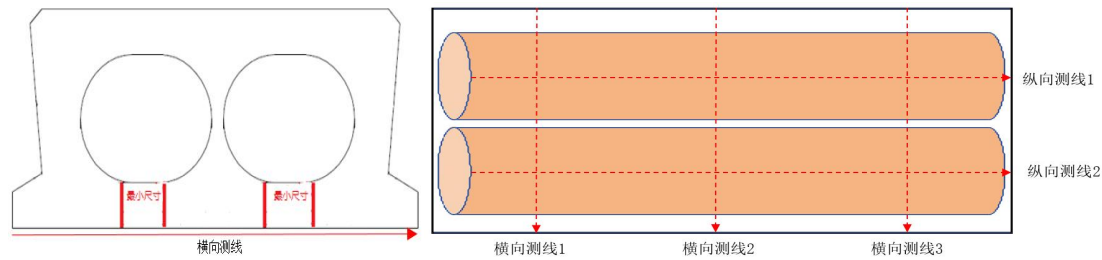


图5 空心板梁双腔底板测线布置示意图

8 内部缺陷检测

8.1 一般规定

- 内部缺陷检测应包括内部孔洞、不密实等缺陷的检测。
- 检测前应测出钢筋数量及间距。
- 测线布置应避开钢筋密集区，且测线布置应覆盖疑似缺陷区域。
- 对检测数据有疑问时，可采用多个中心频率天线进行复核检测。

8.2 检测方法

8.2.1 当检测区域存在钢筋干扰或情况较为复杂时，现场检测宜符合以下规定：

- 选取辐射角度较小的天线；
- 水平采样间隔距离宜为 50mm~80mm；
- 测线布置时应考虑钢筋干扰对检测结果的影响，避免测线的投影与干扰钢筋的走向重合；
- 扫描时天线的极化方向宜与干扰钢筋走向平行；
- 对疑似缺陷的检测区域应进行测线加密，重复检测，综合多条测线数据进行分析，必要时可使用三维成像技术进行网状扫描。

8.2.2 提高雷达图像的辨识度，可采用下列措施：

- 选取辐射角度较小的天线；
- 水平采样间隔设置适当；
- 扫描时天线的极化方向与干扰钢筋的走向平行；
- 使用高频率的雷达信号或多通道雷达进行检测。

8.2.3 单个雷达图像的缺陷识别宜符合下列规定：

- 宜根据孔洞缺陷典型雷达图像识别孔洞位置与分布；
- 宜根据不密实缺陷典型图像判断不密实区域；

8.2.4 缺陷判定应按下列方法进行：

- 将检测到缺陷的单剖面雷达图像和典型的经过验证的缺陷雷达图像进行比对分析，初步判断缺陷的性质、位置和埋深；
- 通过比对分析目标物上方多条相邻测线的雷达图像判定结果；
- 必要时选取部分待判定的缺陷部位采取钻孔方法进行验证。

8.2.5 对单张雷达图中钢筋和缺陷，可利用单道波形图与雷达剖面图结合的方法进行识别。

8.2.6 雷达法检测混凝土空心板梁内部缺陷时，宜符合以下规定：

- 现场检测记录宜按附录 A 的规定执行；
- 应绘制检测区域总平面图、雷达测线布置图及缺陷的位置、分布平面图或立面图；
- 宜在缺陷位置、分布平面图或立面图上标注缺陷性质、埋深等参数；

- d) 双腔之间由于振捣不到位存在缺陷可能性较大应加密测线进行检测。

9 钢筋配置检测

9.1 一般规定

9.1.1 钢筋配置检测应包括钢筋的位置、间距、保护层厚度等参数。

9.1.2 检测空心板梁混凝土结构中的钢筋配置时，测线宜垂直于被检测区域钢筋方向。

9.2 检测方法

a) 根据检测空心板梁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，使用较高分辨率的天线。

b) 根据检测空心板梁中钢筋的排列方向，雷达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。

c) 根据钢筋的反射回波在波幅及波形上的变化形成图像，通过分析解读图像信息，可得到钢筋位置、间距和保护层厚度等参数，并可对被检测区域内的钢筋进行三维立体显示。

d) 钢筋保护层厚度检测平均值应按式(7)计算，并记录钢筋保护层厚度检测结果：

$$c_{m,i} = \frac{(c_1 + c_2)}{2} \quad (7)$$

式中： $c_{m,i}$ ——钢筋保护层厚度检测平均值，精确到 1mm；

c_1 、 c_2 ——第 1、2 次检测的钢筋保护层厚度检测值，精确到 1mm。

10 数据处理与检测报告

10.1 原始数据处理

10.1.1 原始数据应确保完整可靠。

10.1.2 数据分析前宜根据检测参数需要对原始数据进行滤波处理，滤波应符合下列规定：

a) 应记录背景噪声信息，且进行背景去噪处理。

b) 根据天线中心频率初选滤波参数，对滤波数据进行频谱分析，获得较为准确的频率分布参数后，再细化滤波参数，重新对原始数据进行滤波处理。

c) 为消除周边物体反射干扰，可采用二维滤波处理。

10.1.3 对原始数据宜进行数据增益、增强处理；对检测多排钢筋原始数据宜有选择地进行反滤波处理（反褶积处理）、偏移处理等。

10.1.4 单个雷达图像分析应符合下列规定：

a) 根据反射波组的波形和强度特征对同相轴进行追踪，识别反射波组界面特征；

b) 根据检测面环境观察记录，了解检测面干扰源分布，估计干扰反射波组再雷达剖面图像的位置，并根据其具体特征进行识别；

c) 识别检测面干扰反射波；

d) 确定反射波组的同相性和相似性；

e) 从垂直走向的剖面开始，逐条剖面确定反射界面点，将剖面确定的反射界面点全部连接。

10.1.5 雷达图像数据解释，应符合下列规定：

a) 结合多个相邻剖面雷达图像，确定数据之间的相关性；

b) 结合现场实际情况，将检测区域表面情况和实际探测图像进行比对分析；

c) 将探测到的单张雷达图像和典型的经过验证的雷达图像进行比对分析。

10.2 检测报告

10.2.1 检测结束后应编写正式检测报告，检测报告应包括下列内容：

- a) 工程概况：工程的名称、桥梁名称、空心板梁编号、检测目的、检测范围、检测内容以及空心板梁结构断面图等；
- b) 检测技术措施：检测依据、检测仪器及检测方法；
- c) 现场检测情况：日期、天气、环境情况、检测人员及设备；
- d) 检测结果；
- e) 检测结论；
- f) 附图与附表。

10.2.2 检测报告的编写和技术成果的整理，应根据工程规模大小、实施方法及检繁简程度等情况确定。

10.2.3 检测报告应结论准确、用词规范、文字简练。

附录A

电子文件记录表

A. 1 空心板梁底板混凝土厚度检测记录应符合表 A. 1 的规定。

表 A. 1 空心板梁底板混凝土厚度检测记表

工程名称				检测日期		
天气				温度		
检测依据				桥梁名称		
检测仪器				仪器型号		
板梁编号	底板设计厚度（mm）	检测长度（m）	电子文件名称及编号		测线布置示意图	备注

检测：

记录：

复核：

A.2 空心板梁底板混凝土内部缺陷检测记录应符合表 A.2 的规定。

表 A.2 空心板梁底板混凝土内部缺陷检测记录

工程名称				检测日期		
天气				温度		
检测依据				桥梁名称		
检测仪器				仪器型号		
板梁编号	测线编号	检测长度 (m)	储存文件名称及编号		测线布置示意图	备注

检测：

记录：

复核：

A.3 钢筋保护层厚度检测记录应符合表 A.3 的规定。

表 A.3 钢筋保护层厚度检测记录

工程名称						检测日期		
天气						温度		
检测依据						桥梁名称		
检测仪器						仪器型号		
板梁编号	钢筋保护层厚度设计值	检测部位	保护层厚度检测值（mm）				测线布置示意图	备注
			第 1 次检测值	第 2 次检测值	平均值	验证值		

检测：

记录：

复核：

A.4 钢筋间距检测记录应符合表 A.4 的规定。

A.4 钢筋间距检测记录

工程名称					检测日期											
天气					温度											
检测依据					桥梁名称											
检测仪器					仪器型号											
板梁编号	轴线位置	钢筋间距 设计值（mm）	检测 部位	钢筋间距检测值（mm）										平均值	验证值	备注
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			

检测：

记录：

复核：

附录B

测线布置示意图

B.1 空心板梁单腔圆底测线示意图

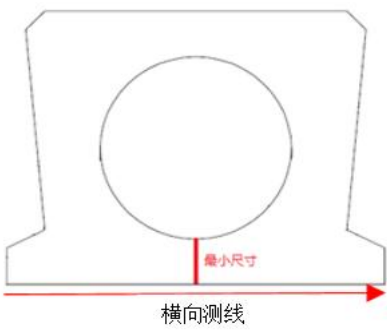


图 B.1 空心板梁单腔圆底横向测线示意图

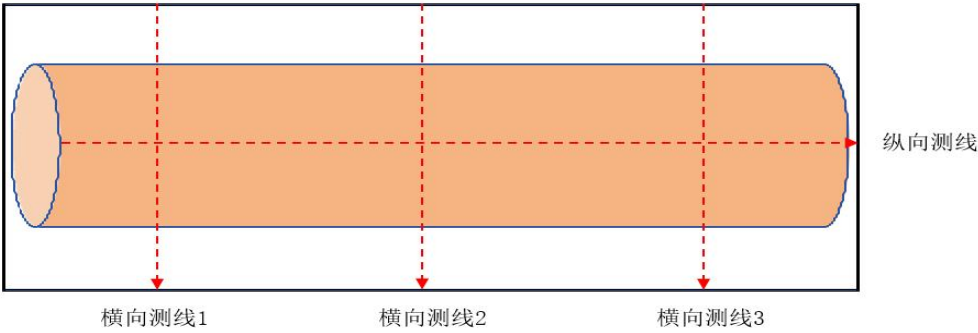


图 B.2 空心板梁单腔圆底底板测线布置示意图

B.2 空心板梁单腔方底测线示意图

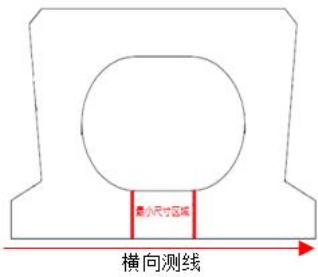


图 B.3 空心板梁单腔方底横向测线示意图

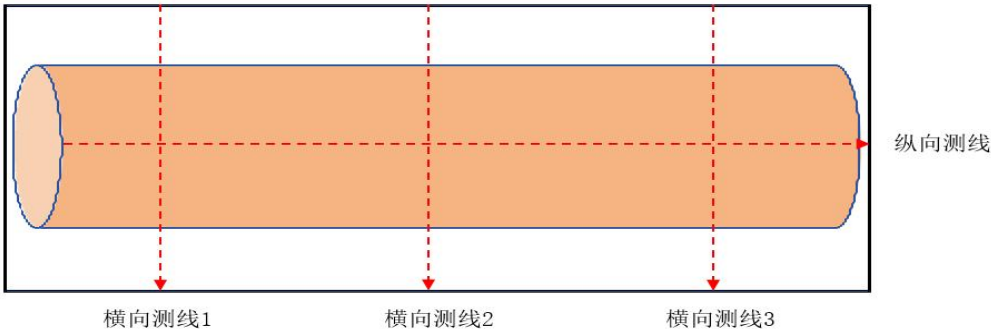


图 B.4 空心板梁单腔圆底底板测线布置示意图

B.3 空心板梁双腔圆底测线示意图

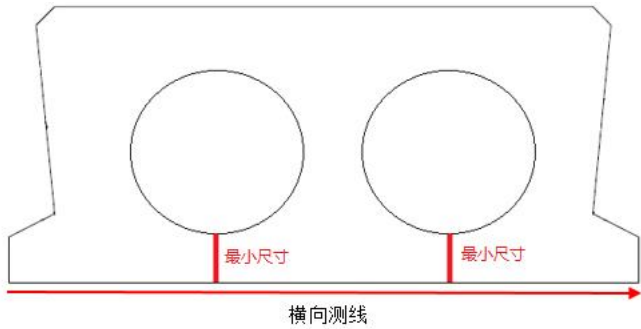


图 B.5 空心板梁双腔圆底横向测线示意图

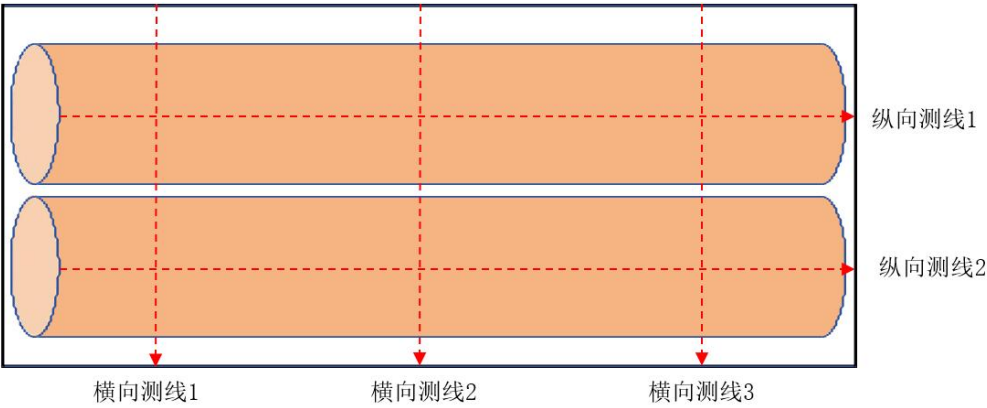


图 B.6 空心板梁双腔圆底底板测线布置示意图

B.4 空心板梁双腔方底测线示意图

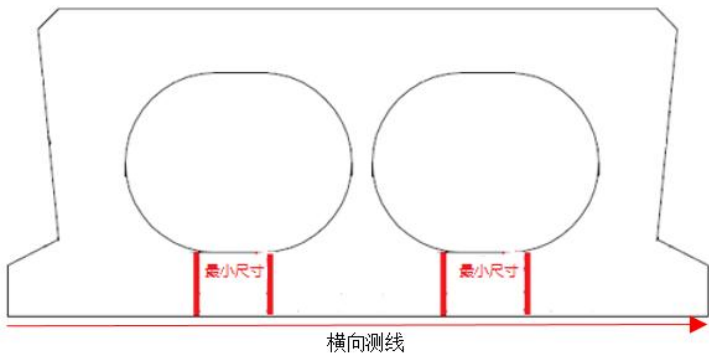


图 B.7 空心板梁双腔方底横向测线示意图

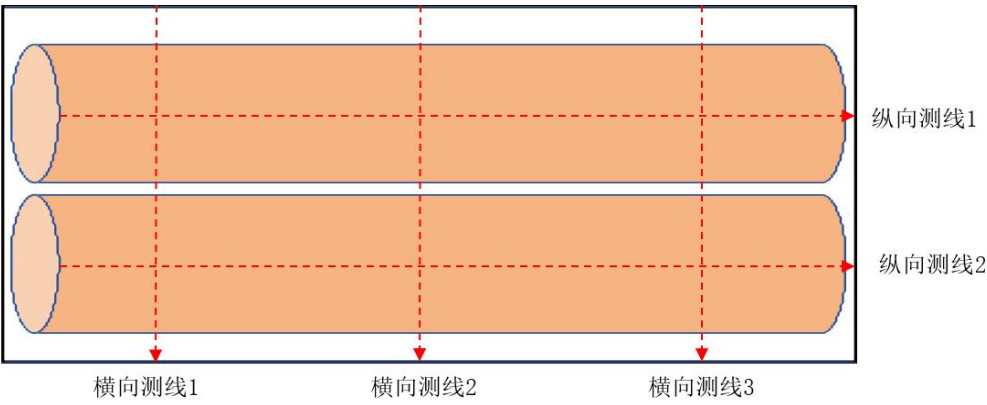


图 B.8 方底双腔空心板梁底板平面测线示意图

附录C

混凝土结构厚度典型图谱

混凝土结构分层厚度检测典型应用见图 C.1 ～图 C.3。

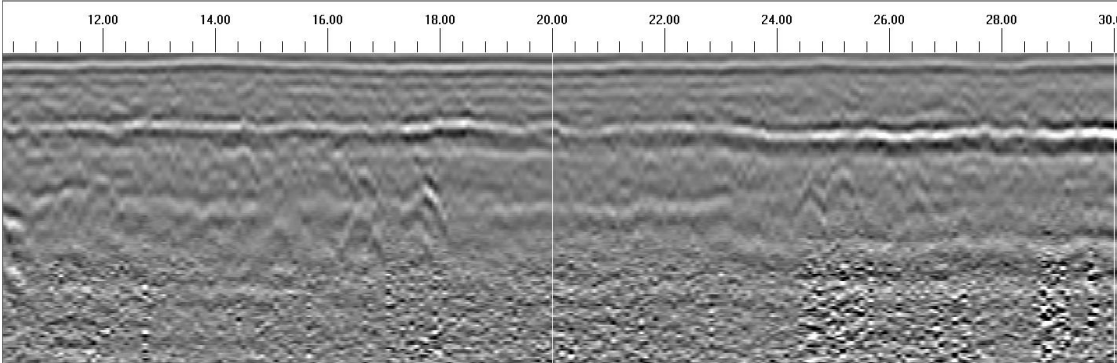


图 C.1 试验混凝土分层雷达灰度剖面图像

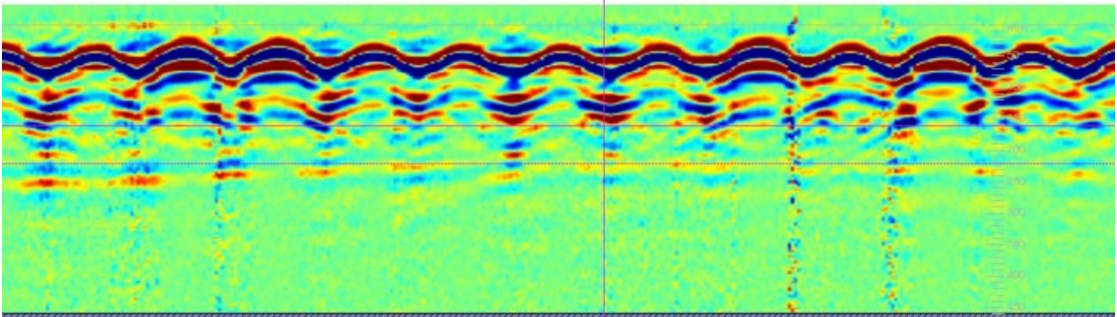


图 C.2 空心板梁混凝土底板厚度雷达剖面彩色图像

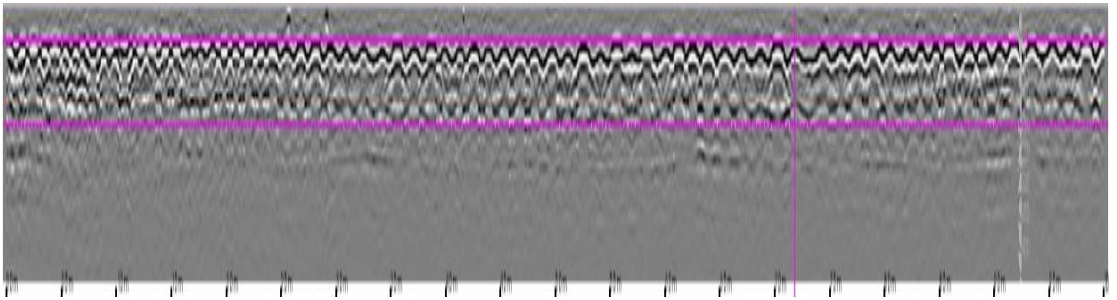


图 C.3 空心板梁混凝土底板厚度雷达剖面灰色图像

附录D

混凝土结构缺陷典型图谱

混凝土结构缺陷检测典型应用见图 D. 1～图 D. 4。

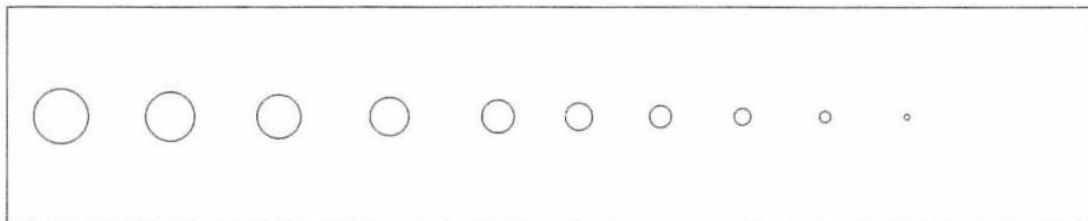
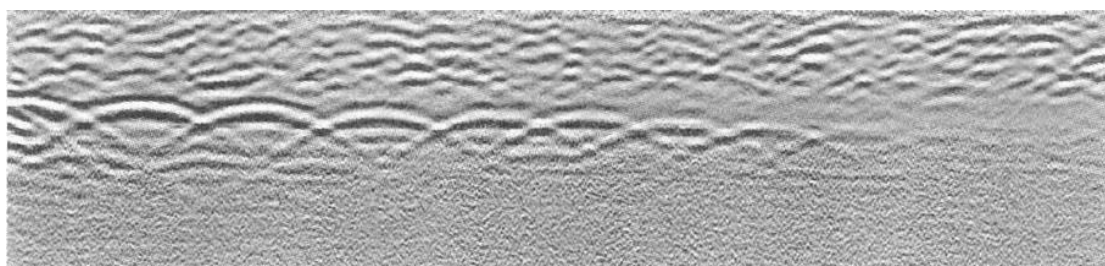


图 D. 1 混凝土缺陷布置示意



注：上图给出的是圆形孔洞的雷达典型图像。

图 D. 2 混凝土结构孔洞缺陷图谱



图 D. 3 混凝土试件不规则孔洞

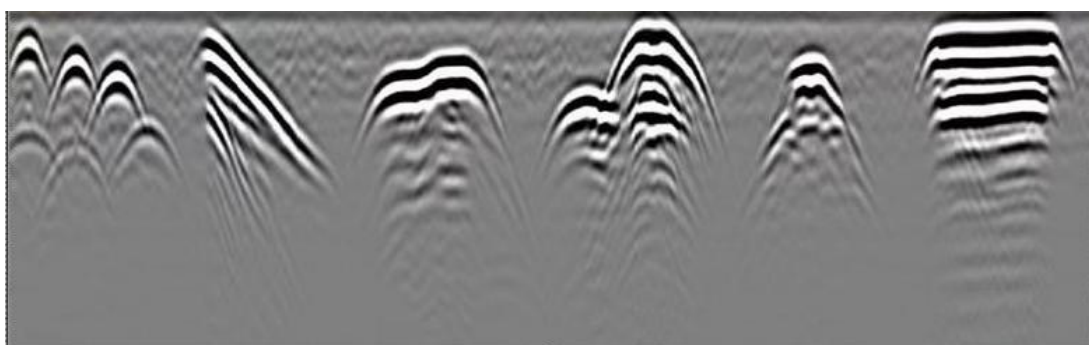


图 D. 4 混凝土不规则试件孔洞缺陷图谱

附录E

空心板梁混凝土结构配筋典型图谱

空心板梁混凝土结构钢筋检测典型应用见图 E.1 ～图 E.3。

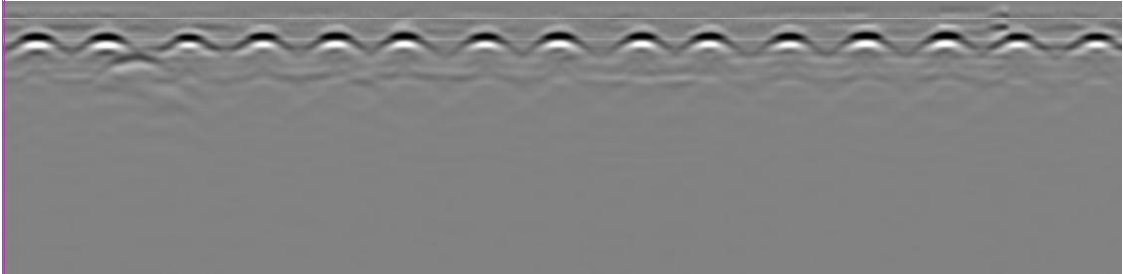


图 E.1 空心板梁检测钢筋剖面图

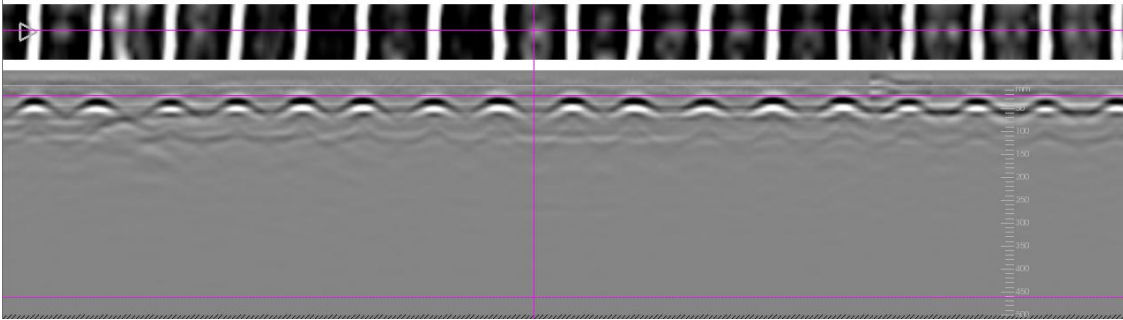


图 E.2 空心板梁检测钢筋平面及剖面图

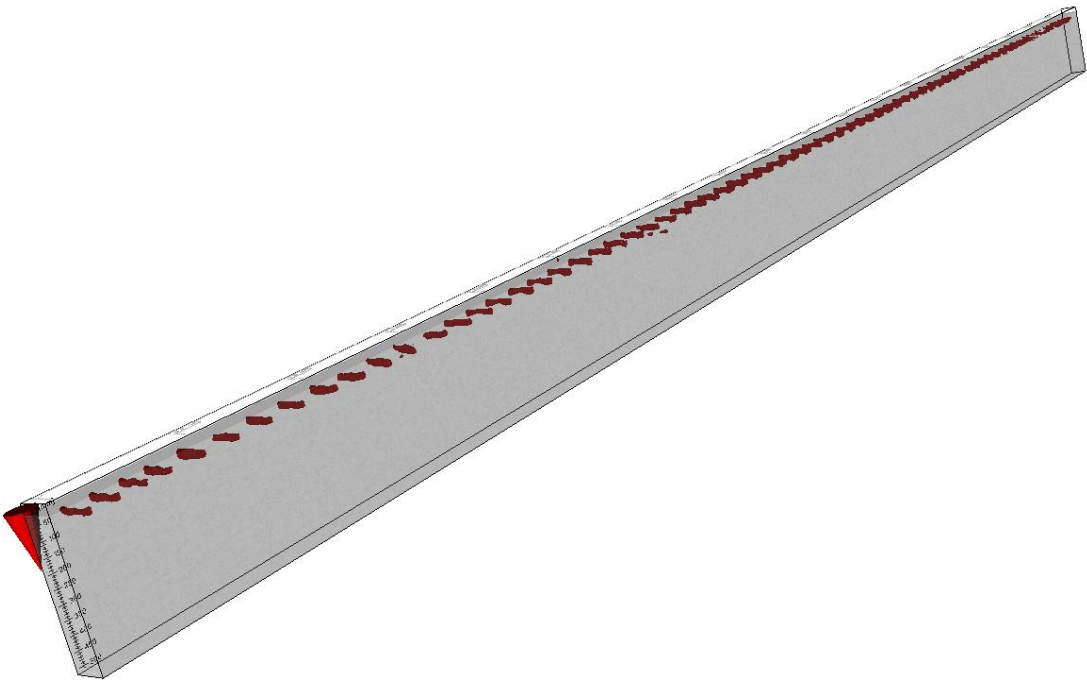


图 E.3 空心板梁检测配筋三维成像技术图例