

中华人民共和国水利行业标准

SL 713—2015

水工混凝土结构缺陷检测技术规程

Technical code for defect detection of hydraulic
concrete structures

2015-05-04 发布

2015-08-04 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告
(水工混凝土结构缺陷检测技术规程)

2015 年第 32 号

中华人民共和国水利部批准《水工混凝土结构缺陷检测技术规程》(SL 713—2015)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工混凝土结构缺陷检测技术规程	SL 713—2015		2015.5.4	2015.8.4

水利部

2015 年 5 月 4 日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，编制本标准。

本标准共 11 章和 2 个附录，主要技术内容有：

- 混凝土外观缺陷调查；
- 混凝土内部缺陷检测；
- 混凝土裂缝深度检测；
- 混凝土强度检测；
- 混凝土结构厚度检测；
- 钢筋分布及锈蚀检测；
- 水下缺陷与渗漏检测；
- 检测报告。

本标准为全文推荐。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：长江勘测规划设计研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：王德库 高 垠 李艳萍 苏加林
郭学仲 李克绵 韩会生 徐小武
雷秀玲 马智法 杜国平 黄如卉
隋 伟 叶远胜 梁东业 李中田
马栋和 刘忠富 王 智 张喜武
张汶海 李小平 毛春华 张轶辉
王 锐 刘清利 王科峰 马玉华
吕小彬 刘润泽 李文忠

本标准审查会议技术负责人：马毓淦 张沁成

本标准体例格式审查人：牟广丞

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204565；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	混凝土外观缺陷调查	5
4.1	一般规定	5
4.2	内容与要求	5
5	混凝土内部缺陷检测	7
5.1	一般规定	7
5.2	超声波法	7
5.3	冲击-回波法	8
5.4	探地雷达法	12
6	混凝土裂缝深度检测	16
6.1	一般规定	16
6.2	超声波法	16
6.3	面波法	16
6.4	钻孔法	18
7	混凝土强度检测	20
7.1	一般规定	20
7.2	回弹法	20
7.3	超声波法	21
7.4	超声回弹综合法	21
7.5	钻芯法	22
8	混凝土结构厚度检测	24
8.1	一般规定	24
8.2	超声波法	24
8.3	冲击-回波法	26

8.4	探地雷达法	26
8.5	钻孔法	27
9	钢筋分布及锈蚀检测	28
9.1	一般规定	28
9.2	电磁感应法	28
9.3	探地雷达法	31
9.4	半电池电位法	32
10	水下缺陷与渗漏检测	35
10.1	一般规定	35
10.2	水下摄录法	35
10.3	声纳渗流矢量法	36
11	检测报告	39
附录 A	钢筋探测仪的校准方法	40
附录 B	探地雷达仪校准方法	42
	标准用词说明	44
	条文说明	45

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程混凝土结构缺陷检测方法和技术要求，保证检测结果的可靠性和提高检测结果的可比性，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于已建和在建水利水电工程混凝土结构质量和缺陷检测。

1.0.3 水工混凝土结构缺陷检测应综合工程实践经验和科学研究成果，积极、慎重采用国内外先进技术。

1.0.4 本标准主要引用下列标准：

GB 26123 空气潜水安全要求

GB 28396 混合气潜水安全要求

SL 326 水利水电工程物探规程

SL 352 水工混凝土试验规程

SL 436 堤防隐患探测规程

1.0.5 水工混凝土结构缺陷检测除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 外观缺陷 appearance defect

可能对混凝土外观质量和结构使用功能造成影响的蜂窝、麻面、孔洞、露筋、裂缝、疏松脱落等外在形式的欠缺或不完整。

2.0.2 内部缺陷 internal defect

混凝土结构内部存在的不密实区、低强度区、空洞、异物等缺陷。

2.0.3 换算强度 conversion value of concrete compressive strength

用无损方法在混凝土结构或构件上测得的物理特征值，通过事先建立的混凝土强度曲线转化成混凝土强度值。

2.0.4 推定强度 derived value of concrete strength

用无损方法求得的换算强度或用取芯法求得的混凝土强度值，经过换算成相当于边长 150mm 立方体标准混凝土的试件强度。

2.0.5 检验批 inspection lot

划分混凝土强度合格评定的基本单元。一个检验批应由混凝土强度等级相同、龄期相同以及生产工艺条件和配合比基本相同的混凝土结构或构件组成。

2.0.6 测区 testing zone

判定一个结构或构件的结构中混凝土强度的最小测量单元。

2.0.7 波阻抗 wave impedance

纵波波速和介质密度的乘积，用于计算应力波在边界反射特性。

2.0.8 振幅谱 vibration amplitude spectrum

采用快速傅里叶变换技术（FFT）将时域波形图转换成振幅与频率相关的频域曲线图谱。

2.0.9 时间采样间隔 temporal sampling interval

记录的反射波相邻采样点之间的时间间隔，为波形图上任意相邻两点之间的时差。

2.0.10 中心频率 central frequency

中心频率又称主频，是指雷达天线系统所产生的标准子波的振幅谱曲线上最大振幅值所对应的频率。

2.0.11 扫描速率 scan rate

雷达系统单位时间内所完成的采样道数。

3 基本规定

3.0.1 检测工作宜避免对结构造成损伤，如无法避免时，应采取相应措施不影响工程原有性能与指标。

3.0.2 检测工作应明确检测目的、检测范围和检测内容。

3.0.3 检测仪器、设备应完好、正常，精度应满足检验要求，并在检定或校准有效期内。

3.0.4 在施工过程中，为进一步验证混凝土结构施工质量或出现施工质量事故时，应按本标准开展检测工作。

3.0.5 对已建工程进行安全鉴定或改扩建时，根据工程需要可按本标准开展检测工作。

3.0.6 检测工作应包括工程调查、大纲编写、现场检测、检测结果分析、报告编写等。

3.0.7 应根据检测目的、结构类型、结构状态、环境条件等选用适宜的检测方法。

3.0.8 钻孔（芯）法形成的孔洞应及时封填，且强度不应低于原混凝土要求。

3.0.9 在检测资料整理、计算分析过程中，出现测试数据矛盾或异常情况时，应及时补充测试。

3.0.10 检测记录应包括工程名称、结构名称、测线和测点编号及其位置、测点布置图、检测方法、检测数据、有关图形图谱、检测及记录人员签字、检测日期等。当检测中出现可疑现象时，应填绘于简图中。

4 混凝土外观缺陷调查

4.1 一般规定

4.1.1 水工混凝土外观缺陷调查应根据其重要性和具体状况确定调查方案和调查项目。

4.1.2 水工混凝土外观缺陷调查方法宜采用资料调查、描述、目测、量测、摄录等。

4.1.3 水工混凝土外观缺陷的水下调查应遵循下列原则：

- 1 水下混凝土结构调查的潜水作业，应严格遵循国家有关规定。
- 2 水下调查应始终处于水上指导和监督之下。
- 3 水下调查宜目测与摄像相结合。

4.2 内容与要求

4.2.1 水工混凝土外观缺陷调查宜包括蜂窝麻面、孔洞、露筋、裂缝、疏松区的分布情况，裂缝性状，混凝土的剥蚀及冲蚀程度，混凝土渗漏情况，伸缩缝的状态及变形情况等内容。

4.2.2 应根据缺陷的性态、范围、数量做好详细调查记录，绘制缺陷分布图。

4.2.3 蜂窝、麻面、孔洞、露筋、疏松区等外观质量缺陷的调查内容见表 4.2.3。

表 4.2.3 外观质量缺陷调查内容

缺陷类别	调查内容
蜂窝、麻面	结构部位，蜂窝、麻面面积等
孔洞	结构部位，孔洞深度、大小等
露筋	结构部位、钢筋分布，外露钢筋数量、状态、锈蚀情况等
疏松	结构部位，疏松面积等

4.2.4 裂缝调查应包括下列内容：

- 1 裂缝宽度可用读数显微镜、塞尺和测缝计量测。
- 2 量测长度，并绘图标示裂缝的分布与走向。
- 3 裂缝开裂部位钢筋锈蚀、析出物以及表面状态。

4.2.5 混凝土剥蚀及冲蚀调查应包括面积、深度等。

4.2.6 渗漏调查宜按点状、线状、面状分别调查其位置、空间分布及渗漏状况。

4.2.7 伸缩缝调查内容应包括混凝土错位、嵌缝材料性状、渗漏等。

5 混凝土内部缺陷检测

5.1 一般规定

- 5.1.1** 混凝土内部缺陷检测宜采用超声波法、冲击-回波法、探地雷达法，必要时可钻取芯样试件进行验证。
- 5.1.2** 检测现场应避免环境噪声和电磁辐射对采集信号的干扰。
- 5.1.3** 重要工程或部位宜采用两种或以上的检测方法，以便检测结果相互印证，获得较准确的检测结果。
- 5.1.4** 批量或大面积混凝土结构缺陷的普查检测，宜先采用探地雷达法探测缺陷位置，后结合冲击-回波法或超声波法对缺陷进行定量识别。

5.2 超声波法

- 5.2.1** 超声波检测混凝土内部缺陷应按 SL 352 的有关规定执行。
- 5.2.2** 应根据结构形状和测试条件采用下列不同测试方法：
- 1** 具有两个相互平行测试面的混凝土结构应直接采用对测法、斜测法、汇交法。
 - 2** 具有一个测试面、测试距离较大或大体积混凝土结构应采用钻孔法。
 - 3** 埋入地下的混凝土结构应采用钻孔或预埋管法。
- 5.2.3** 钻孔或预埋管法宜采用跨孔（管）孔（管）间测量、单孔（管）孔（管）内测量、单孔（管）与测试面间测量，如图 5.2.3 所示。

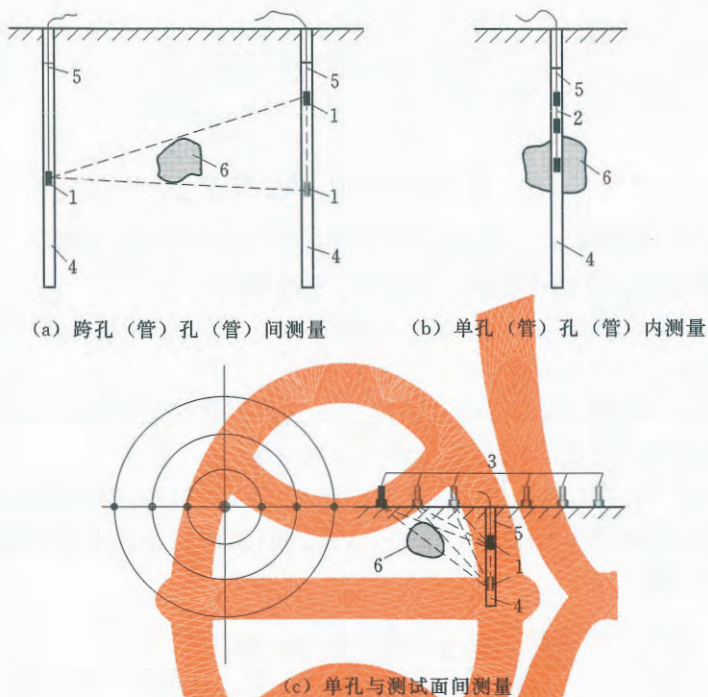


图 5.2.3 钻孔或预埋管法测量示意图

1—径向式换能器；2—发双收式换能器；3—厚度振动式换能器；
4—钻孔（预埋管）；5—耦合水；6—缺陷区域

5.3 冲击-回波法

5.3.1 本方法适用于仅具备单面测试条件混凝土结构的浅层缺陷检测。

5.3.2 主要检测仪器和设备应包括：冲击器、传感器、数据采集分析系统、游标卡尺、钢卷尺等。

5.3.3 检测仪器和设备应符合下列要求：

- 1 冲击头应根据检测缺陷深度选择并可更换。
- 2 传感器应采用具有接收表面垂直位移响应的宽带换能器，

应能够检测到由冲击产生的沿着表面传播的 P 波到达时的微小位移信号。

3 数据采集分析系统应具有功能查询、信号触发、数据采集、滤波、快速傅里叶变换 (FFT)。

4 采集系统应具有预触发功能, 触发信号到达前应能采集不少于 100 个数据记录。

5 接收器与数据采集仪的连接电缆应无电噪声干扰, 外表应屏蔽、密封, 与插头连接应牢固。

5.3.4 组成测试系统的精度要求应满足厚度测量相对误差不超过 5%。

5.3.5 应先进行被检测混凝土结构无缺陷部位的 P 波波速测试, 其波速值作为缺陷深度计算的基本参数。

5.3.6 P 波波速测试应符合下列要求:

1 被测试的混凝土应均匀、密实、无缺陷, 其 P 波波速值应具有代表性。当检测部位的混凝土材料及配比、施工方法等发生变化时, 应重新进行 P 波波速的测试。

2 宜采用“一发双收”式测试方法。冲击点、固定接收点、移动接收点应处在同一测线上。固定接收点与冲击点的间距宜为 (150 ± 10) mm。移动接收点不宜少于 4 个, 间距宜为 100mm。距离量测应精确到 1mm。

3 冲击操作时, 应有足够的能量产生表面位移响应, 其冲击持续时间宜为 (30 ± 10) μ s。冲击持续时间可从表面到达波的相应部分波形测量验证, 如图 5.3.6-1 所示。

4 应逐一测试每次激振时固定接收点和移动接收点的 P 波首波到达时间 t_{01} 、 t_{02} , 如图 5.3.6-2 所示。

5 P 波波速值宜通过各移动接收点到固定接收点的距离与弹性波在两点之间的传播时间回归关系获得, 如图 5.3.6-3 所示, 其直线斜率即为 P 波波速值。

5.3.7 混凝土缺陷检测应符合下列要求:

1 测点宜呈网状布置, 间排距不宜大于 30cm, 测试宜按某

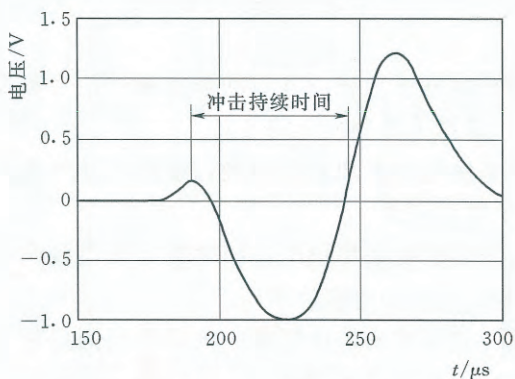


图 5.3.6-1 冲击时间估测示意图

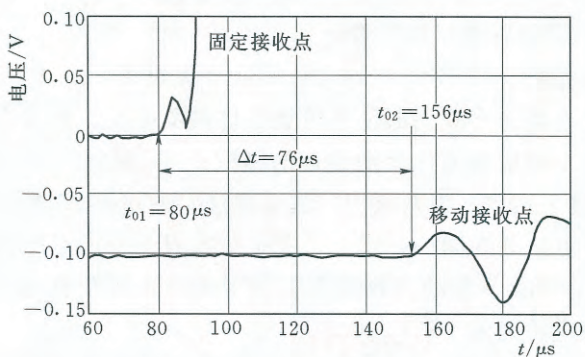


图 5.3.6-2 首波到达时间波形示意图

一方向逐点进行。

2 冲击点距接收点（测点）不宜大于 0.4 倍预估的缺陷深度。

3 冲击持续时间应小于 P 波往返传播时间，可按式 (5.3.7) 估算：

$$t_c < \frac{2h_c}{C_p} \quad (5.3.7)$$

式中 t_c ——冲击持续时间，s；

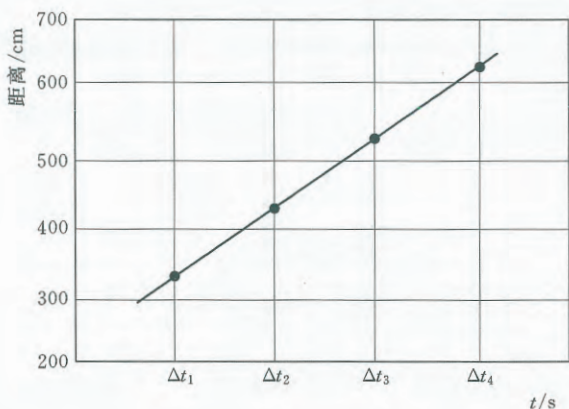


图 5.3.6-3 回归曲线示意图

C_p ——混凝土 P 波波速, m/s;

h_c ——被测部位混凝土结构缺陷预估深度, m。

4 每一测点应测试 2 次, 结果相同进行下一点测试, 否则应查明原因后复测。

5 应对采集的波形进行快速傅里叶变换, 当所得的振幅谱无明显峰值时, 应查明原因或改变激振球的大小重复测试; 当只有 1 个峰值时应判定混凝土无缺陷; 当有 2 个及以上的峰值时, 应判定混凝土存在缺陷, 并重复测试进行验证。

6 存在缺陷的混凝土部位应加密测点, 其间距不宜大于原测点间距的 1/2。

5.3.8 测试记录应符合下列要求:

1 接收的波形应全面完整, 波幅大小应适宜, 不应有削峰现象。

2 应记录测试系统所使用的采集参数, 包括采样间隔、电压范围、电压解析度, 在波形中点的数量以及在振幅谱中的频率间隔。

3 应记录每个测点的位置, 描述测试表面条件等。

5.3.9 测试成果及整理应符合下列要求:

- 1 应给出时间域的波形图和频率域的振幅谱。
- 2 应对振幅谱中各峰值进行分析,给出缺陷振幅峰值所对应的频率值。
- 3 混凝土结构缺陷深度应按式(5.3.9)计算:

$$h_c = \frac{\beta C_p}{2f} \quad (5.3.9)$$

- 式中 h_c ——混凝土结构缺陷顶部深度, m;
 f ——缺陷振幅峰值所对应的频率值, Hz;
 C_p ——混凝土 P 波波速, m/s;
 β ——结构截面的几何形状系数, 可取 0.96。
- 4 应根据测试结果所确定的缺陷位置绘制缺陷平面图。

5.4 探地雷达法

5.4.1 本方法适用于混凝土结构内部空洞、疏松区、脱空区等缺陷的平面位置和埋深检测。

5.4.2 主要检测仪器和设备应包括雷达主机、雷达天线、数据采集分析处理系统等。

5.4.3 雷达系统技术要求应符合 SL 326 的有关规定。

5.4.4 雷达天线的选择可采用不同频率或不同频率组合, 并应符合下列要求:

- 1 应具有屏蔽功能, 探测的最大深度应大于缺陷体埋深, 垂直分辨率宜优于 2cm。

- 2 应根据检测的缺陷深度和现场具体条件, 选择相应频率天线。在满足检测深度要求下, 宜使用中心频率较高的天线。

- 3 根据中心频率估算出的检测深度小于缺陷体埋深时, 应适当降低中心频率以获得适宜的探测深度。

5.4.5 检测前应对混凝土的相对介电常数或电磁波波速做现场标定, 标定方法应符合下列要求:

- 1 可采用在材料和工作环境相同的混凝土结构或钻取的芯样上进行测试。

- 2 测试的目标体已知厚度或长度应不小于 15cm。
- 3 记录中的雷达影像图界面反射信号应清楚、准确。
- 4 测值应不少于 3 次，单值与平均值的相对误差应小于 5%，其计算结果的平均值作为标定值。
- 5 相对介电常数应按式 (5.4.5-1) 计算：

$$\epsilon_r = \left(\frac{ct}{2h} \right)^2 \quad (5.4.5-1)$$

电磁波波速应按式 (5.4.5-2) 计算：

$$v = \frac{2h}{t} \quad (5.4.5-2)$$

式中 ϵ_r ——混凝土相对介电常数；
 v ——混凝土介质中的电磁波速，m/s；
 c ——真空中的电磁波速度， 3×10^8 m/s；
 t ——电磁波从顶面到达底面再返回双程走时时间，s；
 h ——已知的混凝土结构厚度，m。

5.4.6 测线和测点的布置应符合下列要求：

- 1 对于较大尺寸的混凝土结构，宜采用与结构物长度方向一致的平行测线布置，间距宜为 100~500cm。
- 2 较小尺寸的宜采用网格布置，网格间距宜为 10~100cm。
- 3 进行点测时，测点间距宜为 10~50cm，并应满足式 (5.4.6) 的要求。

$$\Delta X \leq \frac{c}{4f_T \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.4.6)$$

式中 ΔX ——相邻测点间距，m；
 c ——真空中的电磁波速度， 3×10^8 m/s；
 f_T ——天线中心频率，Hz；
 ϵ_r ——混凝土相对介电常数。

5.4.7 混凝土缺陷检测应符合下列要求：

- 1 应检查主机、雷达天线，使之处于正常状态。
- 2 应根据电缆、天线连接的测量方式，在主机上选择相应

的测量模式。

3 设置仪器参数，并应符合式 (5.4.7-1) ~ 式 (5.4.7-3) 的要求。

1) 时窗长度估算：

$$w = \alpha \frac{2h_{\max}}{v} \quad (5.4.7-1)$$

式中 w ——时窗长度，s；

h_{\max} ——拟检测目标体的最大深度，m；

v ——混凝土介质中电磁波速度，m/s；

α ——调整系数，混凝土介质电磁波速度与目标深度变化所留出的残余值，可取 1.3~2.0。

2) 每道雷达波形最小采样点数：

$$S_p \geq 10wf \quad (5.4.7-2)$$

式中 S_p ——雷达波形最小采样点数；

w ——时窗长度，s；

f ——天线中心频率，Hz。

3) 时间采样率：

$$\Delta t \leq \frac{1}{6 \times 10^6 f} \quad (5.4.7-3)$$

式中 Δt ——时间采样率，s；

f ——天线中心频率，MHz。

4 应标出被测结构表面反射波起始零点。雷达天线应与混凝土表面贴壁良好，并沿测线匀速、平稳滑行。移动速度宜符合式 (5.4.7-4) 的要求：

$$V_x \leq \frac{S_c d_{\min}}{20} \quad (5.4.7-4)$$

式中 V_x ——天线速度，m/s；

S_c ——天线扫描速率，Hz；

d_{\min} ——检测目标体最小尺度，m。

5 宜采用连续测量方式，特殊地段或条件不允许时可采用点测方式。

6 当需要分段测量时,相邻测量段接头重复长度不应小于1m。

5.4.8 记录应满足下列要求:

1 记录应包括记录测线号、方向、标记间隔以及天线中心频率等。

2 应随时记录可能对测量产生电磁影响的物体及其位置。

3 数据记录应完整,信号应清晰,里程标记应准确。

4 应准确标记测量位置。

5.4.9 检测数据处理应符合下列规定:

1 原始数据处理前应回放检验。

2 标记位置应准确无误。

3 单个雷达图谱应做下列特征分析:

1) 确定反射波组的界面特征。

2) 识别地表干扰反射波组。

3) 识别正常介质界面反射波组。

4) 确定反射层信息。

5.4.10 雷达图像数据的解释应在掌握测区内物性参数和混凝土结构的基础上,应按由已知到未知、定性指导定量的原则进行。

5.4.11 混凝土结构缺陷埋深应按式(5.4.11)确定:

$$h = \frac{1}{2}vt \quad (5.4.11)$$

式中 h ——混凝土结构缺陷埋深, m;

t ——电磁波自混凝土表面至目标体双程历时, s;

v ——混凝土介质中的电磁波波速, m/s。

5.4.12 混凝土缺陷初步判定特征如下:

1 密实。信号幅度较弱,甚至没有界面反射信号。

2 不密实。混凝土界面的强反射信号同向轴呈绕射弧形,且不连续、较分散。

3 空洞。混凝土界面反射信号强,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。

6 混凝土裂缝深度检测

6.1 一般规定

- 6.1.1 裂缝深度检测宜采用超声波法、面波法、钻孔法。
- 6.1.2 检测前应调查下列内容：
- 1 裂缝周围混凝土质量、裂缝长度及走向。
 - 2 裂缝内有无充填物和积水。
 - 3 构件尺寸和内部构造。
- 6.1.3 对于影响较大、问题复杂或重要工程的混凝土结构裂缝深度检测，宜采用两种以上的检测方法。

6.2 超声波法

- 6.2.1 超声波法检测混凝土裂缝深度应按 SL 352 的有关规定执行。
- 6.2.2 应根据裂缝的性状与结构物的形状选用单面平测法、双面斜测法、钻孔对测法。

6.3 面波法

- 6.3.1 本方法适用于检测形状规则、测试面较大的混凝土内部的深层裂缝。
- 6.3.2 主要检测仪器及技术要求应符合 5.3.2～5.3.4 条的规定。
- 6.3.3 测点布置应符合下列要求：
- 1 应避开混凝土表面蜂窝、结构缝位置。
 - 2 测线宜与裂缝走向正交。
- 6.3.4 裂缝深度检测应符合下列要求：
- 1 测点表面应平整，传感器应垂直于检测表面。
 - 2 应采用“一发双收”测试方式。接收点应跨缝等距离布

置，冲击点与一接收点应置于裂缝同侧。各点应处在同一测线上，如图 6.3.4 所示。

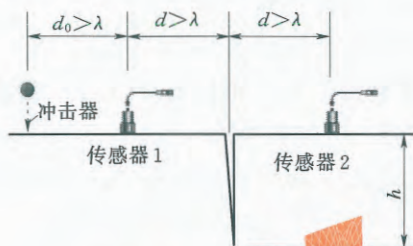


图 6.3.4 裂缝深度测定示意图

h —裂缝深度； d_0 —冲击点与传感器 1 距离； d —传感器裂缝距离

3 冲击点与接收点间距、接收点与裂缝间距应大于激发的面波波长 λ ，可取 1~2 倍 λ ， λ 值可按式 (6.3.4-1) 估算：

$$\lambda \approx 2t_c C_R \quad (6.3.4-1)$$

式中 t_c ——冲击持续时间，s；

C_R ——混凝土面波波速，m/s，估算时可取 2000m/s。

4 冲击产生的面波传递至裂缝另一侧传感器的振幅比应按式 (6.3.4-2) 计算：

$$x = \frac{A_2}{A_1} \sqrt{\frac{2d + d_0}{d_0}} \quad (6.3.4-2)$$

式中 x ——振幅比；

A_1 ——传感器 1 测试得到的面波最大振幅；

A_2 ——传感器 2 测试得到的面波最大振幅；

d_0 ——冲击点与传感器 1 距离，m；

d ——传感器 1 和 2 与裂缝距离，m。

5 当裂缝面穿过钢筋时，振幅比可按式 (6.3.4-3) 修正：

$$\hat{x} = x - n \quad (6.3.4-3)$$

式中 \hat{x} ——修正后振幅比；

n ——钢筋率。

6 裂缝深度应按式 (6.3.4-4) 计算：

$$h = -\zeta \lambda \ln \hat{x} \quad (6.3.4-4)$$

式中 h ——裂缝深度，m；

ζ ——常数，宜通过标定得出。

6.3.5 检测结果应按下列规定进行校核：

1 裂缝深度检测结果 h 不应大于 1.3 倍面波波长 λ ，否则应更换击振钢球的大小重复测试；

2 当 h 满足上述要求时，应按 6.3.6 条对面波波长 λ 进行复核，并按式 (6.3.4-4) 进行裂缝深度修正。

6.3.6 面波波长 λ 复核步骤应符合下列规定：

1 应选取与裂缝测线相近的、完整的混凝土结构。

2 应按照与裂缝深度测试相同的布点方式选取同样的冲击器。

3 冲击产生的面波波速 C_R 应按式 (6.3.6-1) 计算：

$$C_R = \frac{2d}{t_2 - t_1} \quad (6.3.6-1)$$

式中 t_1 ——面波到达传感器 1 的时间；

t_2 ——面波到达传感器 2 的时间。

4 面波波长应按式 (6.3.6-2) 计算：

$$\lambda = \frac{C_R}{f_1} \quad (6.3.6-2)$$

式中 f_1 ——在裂缝测试时传感器 1 测试面波的卓越频率，可通过快速傅里叶变换 (FFT) 得到。

6.4 钻 孔 法

6.4.1 本方法适用于裂缝预估深度大于 50cm 或需精确测量深度的裂缝，且该部位可钻孔的混凝土结构。

6.4.2 钻孔应避开结构内部埋件、仪器等。

6.4.3 钻孔法检测应符合下列规定：

1 根据裂缝宽度、走向，选择钻孔孔径与位置。

2 钻孔位置与孔径的选取应尽可能满足在取芯范围内包括

裂缝。

3 可取芯测量时，直接从芯样上量取裂缝深度值。

4 无法进行取芯测量时，可采用孔内电视进行测量，孔内电视探头大小视钻孔孔径大小选取。

7 混凝土强度检测

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土强度检测宜采用回弹法、超声波法、超声回弹综合法、钻芯法。

7.1.2 当需要准确测定混凝土强度，或对回弹法、超声波法、超声回弹综合法推定的混凝土强度进行校核时，宜采用钻芯法。

7.1.3 开展混凝土强度检测前，宜收集下列资料：

- 1 结构类型、尺寸及所处部位。
- 2 混凝土强度等级。
- 3 混凝土配合比。
- 4 混凝土拌和、运输、浇筑、养护等施工方法。

7.2 回弹法

7.2.1 回弹法检测混凝土抗压强度应按 SL 352 的有关规定执行。

7.2.2 测区布置除应满足 SL 352 的要求外，尚应满足下列要求：

- 1 每一结构或构件测区数不应少于 10 个，相邻两测区的间距不宜大于 2m。
- 2 测区应均匀分布，并应避开钢筋和铁制预埋件。
- 3 测区边缘距结构端部或结构缝不应小于 0.2m。
- 4 测区表面应清洁、平整、干燥，不应有饰面层、浮浆、蜂窝、麻面等。

5 在回弹值较小区域应适当增加测区，推定低强区域。

7.2.3 应根据推定的混凝土强度与设计强度标准值进行比较，确定混凝土结构的低强范围。

7.3 超声波法

7.3.1 超声波法检测混凝土抗压强度应按 SL 352 的有关规定执行。

7.3.2 应根据波速换算混凝土抗压强度，绘制混凝土强度图，确定混凝土结构的低强度范围。

7.4 超声回弹综合法

7.4.1 检测仪器设备应包括回弹仪、混凝土超声波检测仪等。

7.4.2 回弹仪和混凝土超声波检测仪的技术要求应符合 SL 352 的相关规定。

7.4.3 测区布置应满足 7.2.2 条及 SL 352 的要求。

7.4.4 测区声速平均值、测区回弹值的计算及修正应符合 SL 352 的相关规定。

7.4.5 利用修正后的测区声速平均值和回弹平均值换算测区混凝土强度时，应优先采用专用或地区测强曲线；当无专用测强曲线时，宜按下列规定进行强度换算：

1 当采用中型回弹仪检测普通混凝土强度时，应按式 (7.4.5-1) 换算，引气混凝土应按式 (7.4.5-2) 换算：

$$f_{cu,i}^c = 0.008v^{1.72}m_N^{1.57} \quad (7.4.5-1)$$

$$f_{cu,i}^c = 0.04v^{1.54}m_N^{1.30} \quad (7.4.5-2)$$

式中 $f_{cu,i}^c$ ——混凝土强度换算值，MPa；

v ——混凝土声速平均值，m/s；

m_N ——测区回弹平均值。

2 当采用重型回弹仪检测混凝土强度时，应按式 (7.4.5-3) 换算：

$$f_{cu,i}^c = 0.022v^{1.99}m_N^{1.19} \quad (7.4.5-3)$$

7.4.6 混凝土推定强度值应按式 (7.4.6) 计算：

$$f_{cu,e} = f_{cu,i}^c(1 - t\delta) \quad (7.4.6)$$

式中 $f_{cu,e}$ ——混凝土强度推定值, MPa;

t ——正态分布概率度, 采用混凝土强度专用曲线时,
 $t=0.5$; 采用混凝土强度通用曲线时, $t=1.0$;

δ ——剩余变异系数, 采用混凝土强度专用曲线时, 可
自行求得; 采用混凝土强度通用曲线时,
 $\delta=0.14$ 。

7.4.7 应根据推定的混凝土强度与设计强度标准值进行比较, 确定混凝土低强范围。

7.5 钻 芯 法

7.5.1 试验设备应包括钻芯机、锯切机和磨平机、补平装置(或研磨机)、探测钢筋位置的磁感仪。

7.5.2 钻芯法检测混凝土抗压强度应符合下列要求:

1 芯样宜采用标准芯样试件, 芯样直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍; 当采用小直径芯样试件时, 其芯样直径不应小于 70mm 且不应小于骨料最大粒径的 2 倍。

2 芯样应在结构或构件的下列部位钻取:

1) 结构或构件受力较小的部位。

2) 混凝土强度具有代表性的部位。

3) 避开主筋、预埋件和管线的位置。

4) 对非破损法检测的强度进行修正时, 钻芯位置应选在对应的测区。

5) 钻孔中心距结构或构件边缘不宜小于 150mm。

3 每个构件的芯样试件有效数量不应少于 3 个; 对于较小构件, 有效芯样试件的数量不得少于 2 个。

7.5.3 芯样的钻取应符合下列要求:

1 钻取芯样时应控制进钻的速度。

2 芯样应进行标记, 芯样高度和完整程度不满足试样要求时, 应重新钻取芯样。

3 芯样应采取保护措施, 避免在运输和贮存中损坏。

7.5.4 应视芯样侧面质量按芯样高度由上至下分区加工试样。

7.5.5 端面处理、测试应按 SL 352 的规定进行。

7.5.6 应根据钻芯取样、加工及芯样测试结果确定混凝土结构强度分区。

8 混凝土结构厚度检测

8.1 一般规定

8.1.1 厚度检测可采用超声波法、冲击-回波法、探地雷达法、钻孔法。

8.1.2 测区布置应具有代表性。

8.2 超声波法

8.2.1 本方法适用于检测混凝土表面损伤层厚度和结构厚度。

8.2.2 仪器设备及其技术要求应符合 SL 352 的有关规定。

8.2.3 表面损伤层厚度检测的测线和测点布置应符合下列要求：

1 被测区测线布置不少于 3 条，且不得穿过接缝。

2 测线投影不应与主钢筋重合。

3 测试表面应平整，且无饰面层。

4 一条测线内的测点不宜少于 10 个，且间距不宜大于 100mm。

8.2.4 表面损伤层厚度检测数据处理应按下列规定执行：

1 绘制时间—距离关系曲线图，如图 8.2.4 所示。

2 用回归分析方法分别求出损伤、未损伤混凝土测距 L 与声时 t 的回归直线方程。

损伤混凝土测距 L_f 按式 (8.2.4-1) 计算：

$$L_f = a_1 + b_1 t_f \quad (8.2.4-1)$$

未损伤混凝土测距 L_a 按式 (8.2.4-2) 计算：

$$L_a = a_2 + b_2 t_a \quad (8.2.4-2)$$

式中 L_f ——拐点前各测点的测距，mm，对应于图 8.2.4 中的

L_1 、 L_2 、 L_3 ；

t_f ——对应于图 8.2.4 中 L_1 、 L_2 、 L_3 的声时 t_1 、 t_2 、 t_3 ， μs ；

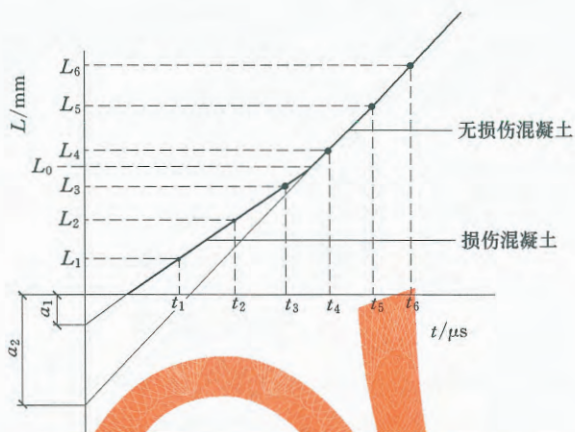


图 8.2.4 损伤层厚度检测时间—距离关系曲线图

L_a ——拐点后各测点的测距，mm，对应于图 8.2.4 中的 L_4 、 L_5 、 L_6 ；

t_a ——对应于测距 L_4 、 L_5 、 L_6 的声时 t_4 、 t_5 、 t_6 ， μs ；

a_1 、 b_1 ——回归系数，即图 8.2.4 中损伤混凝土直线的截距和斜率；

a_2 、 b_2 ——回归系数，即图 8.2.4 中未损伤混凝土直线的截距和斜率。

3 混凝土表面损伤层厚度应按式 (8.2.4-3) 和式 (8.2.4-4) 计算：

$$L_0 = \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{b_2 - b_1} \quad (8.2.4-3)$$

$$h_f = \frac{L_0}{2} \sqrt{\frac{b_2 - b_1}{b_2 + b_1}} \quad (8.2.4-4)$$

式中 L_0 ——拐点的测距，mm；

h_f ——损伤层厚度，mm。

8.2.5 结构厚度检测应符合下列要求：

- 1 具有一对相对平行的测试面。
- 2 在测试面上均匀划出网格线，网格边长宜为 200~1000mm。

8.2.6 结构厚度检测结果应按下列规定执行：

- 1 绘制图形及网格分布，将波速标于图中的各测点处。
- 2 结构厚度应按式（8.2.6）计算：

$$H = Vt \times 1000 \quad (8.2.6)$$

式中 H ——混凝土结构厚度，mm；

V ——混凝土声速值，m/s；

t ——超声波在混凝土结构上的传播时间，s。

8.3 冲击-回波法

8.3.1 冲击-回波法适用于检测混凝土结构厚度。

8.3.2 主要检测仪器和设备及其技术要求应符合 5.3.2~5.3.4 条的规定。

8.3.3 结构厚度检测应符合下列要求：

- 1 检测表面应平整干燥，测线宜与纵、横向钢筋成 45° 布设。
- 2 冲击点距传感器的距离应小于 0.4 倍被测混凝土结构厚度。
- 3 应重复测试以验证波形的再现性。

8.3.4 混凝土结构厚度确定应符合下列要求：

- 1 应通过快速傅里叶变换，确定频谱图中振幅峰值相对应的频率值。
- 2 低频振幅峰值应为结构厚度响应频率，结构厚度应按式（5.3.9）计算。

8.4 探地雷达法

8.4.1 探地雷达法适用于检测无筋或少筋的混凝土结构厚度。

8.4.2 主要检测仪器和设备及其技术要求应符合 5.4.2~5.4.4 条的规定。

8.4.3 雷达现场检测参数设置应符合下列要求：

- 1 雷达主机天线中心频率应根据混凝土结构预估厚度、介

质特性等因素综合确定。

2 仪器的信号增益应保持信号幅值不超出信号监视窗口的3/4, 天线静止时信号应稳定。

3 采样率宜为雷达天线中心频率的6~10倍。

8.4.4 雷达天线中心频率范围宜为100~1600MHz, 当满足检测要求时, 宜选择频率相对较高的天线。

8.4.5 测线宜均匀分布, 与构件外边缘距离不小于100mm, 线距为500~1000mm。

8.4.6 测试记录应符合5.4.8条的规定。

8.4.7 检测数据处理应符合下列要求:

1 混凝土材料相对介电常数的标定应符合5.4.5条的规定。

2 绘制雷达灰度图或色谱剖面图。

3 依据雷达剖面图确定混凝土结构厚度分层界面, 根据测定的电磁波在各结构层中的双程传播时间 t , 按式(8.4.7)计算混凝土结构厚度:

$$H = \frac{1}{2}vt \times 1000 \quad (8.4.7)$$

式中 H ——混凝土结构厚度, mm;

v ——电磁波在混凝土介质中的传播速度, m/s;

t ——电磁波在混凝土中的双程传播时间, s。

8.5 钻 孔 法

8.5.1 钻孔法适用于精确测量混凝土结构及其损伤层的厚度。

8.5.2 钻孔孔径应不破坏原结构安全且能满足测试要求; 当有其他钻孔检测项目时, 可与之结合进行厚度检测。

8.5.3 损伤层厚度检测时钻孔深度应穿越损伤层厚度, 并满足测试要求。

9 钢筋分布及锈蚀检测

9.1 一般规定

9.1.1 混凝土中钢筋布设检测宜采用电磁感应法、探地雷达法。

9.1.2 混凝土中钢筋锈蚀检测可采用半电池电位法。

9.2 电磁感应法

9.2.1 本方法适用于混凝土中钢筋的间距、直径和混凝土保护层厚度的检测。

9.2.2 检测仪器设备应包括钢筋探测仪、游标卡尺等。

9.2.3 钢筋探测仪检测前应采用保护层厚度为 10~50mm 的校准试件进行校准，校准方法见附录 A。

9.2.4 钢筋间距、混凝土保护层厚度检测应符合下列要求：

1 应根据检测区域内钢筋可能分布状况，选择适当的检测面。检测面应清洁、平整，并应避免金属预埋件。对于具有饰面层的结构及构件，应清除饰面层后在混凝土面上进行检测。

2 检测前首先应对钢筋探测仪探头校正调零，校正时探头应放置在空气中，远离金属等导磁介质干扰，校正完毕后方可进行检测。检测过程中当对结果有怀疑时应随时核查钢筋探测仪的零点状态，避免磁场干扰影响测试数据的准确性。

3 检测过程中应匀速移动探头，探头移动速度不应大于 20mm/s，在找到钢筋以前应避免往复移动探头，否则易造成误判。

4 应根据设计资料确定钢筋走向等布设状况，如无法确定，应在两个正交方向多点扫描，以确定钢筋位置。检测时应避开钢筋接头和绑丝，探头在检测面上移动，要找到钢筋正上方的位置，首先粗略扫描，听到仪器报警声后往回平移探头，放慢速度，如此往复直到钢筋探测仪保护层厚度示值最小，此时探头中心线与钢筋轴线应重合，在相应位置做好标记。按上述步骤将相

邻的其他钢筋位置标出。

5 确定钢筋位置后，应按下列方法检测混凝土保护层厚度：

- 1) 检测前应设定钢筋探测仪量程范围，并根据设计资料设定钢筋公称直径。检测时沿被测钢筋轴线选择相邻钢筋影响较小的位置，缓慢匀速移动探头，读取第一次检测的混凝土保护层厚度检测值。在被测钢筋的同一位置应重复检测一次，读取第二次检测的混凝土保护层厚度检测值。
- 2) 当同一处读取的两个混凝土保护层厚度检测值相差大于 1mm 时，该组检测数据无效，此时应查明钢筋位置准确性、探头零点状态、仪器电量等影响因素，然后在该处应重新进行检测。仍不满足要求时，应更换钢筋检测仪或采用钻孔、剔凿的方法验证。
- 3) 钢筋探测仪要求钢筋公称直径已知方能准确检测混凝土保护层厚度时，钢筋探测仪必须按照钢筋公称直径对应设置。

6 当混凝土实际保护层厚度小于钢筋探测仪最小示值时，应采用在探头下附加垫块的方法进行检测。垫块对钢筋探测仪检测结果不应产生干扰，表面应光滑平整，其各方向厚度值偏差不应大于 0.1mm。所加垫块厚度在计算时应予扣除。

7 钢筋间距检测应按 4 款的规定进行。应将检测范围内的设计间距相同的连续相邻钢筋逐一标出，并应逐个量测钢筋的间距。

9.2.5 当发生下列情况之一，必要时可采用钻孔、剔凿等方法验证。钻孔、剔凿时，不得损坏钢筋，实测时应采用游标卡尺。

- 1) 相邻钢筋对检测结果有影响。
- 2) 钢筋公称直径未知或有异议。
- 3) 钢筋实际根数、位置与设计有较大偏差。
- 4) 钢筋以及混凝土材质与校准试件有显著差异。

9.2.6 钢筋直径检测应符合下列要求：

1 钢筋直径检测面应符合 9.2.4 条 1 款的要求。

2 对于校准试件，钢筋探测仪对钢筋公称直径的检测允许误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

3 检测前应根据设计资料，确定被测结构及构件中钢筋的排列方向，并采用钢筋探测仪按 9.2.4 条的要求对被测结构及构件中钢筋及其相邻钢筋进行准确定位并做标记。

4 被测钢筋与相邻钢筋的间距应大于 100mm ，且其周边的其他钢筋不应影响检测结果，并应避开钢筋接头及绑丝。在定位的标记上记录钢筋探测仪显示的钢筋公称直径。每根钢筋重复检测 2 次，第二次检测时探头应旋转 180° ，每次读数应一致。

5 当需要通过钢筋混凝土保护层厚度值检测钢筋直径时，应事先钻孔确定钢筋的混凝土保护层厚度。

9.2.7 需要通过实物对钢筋直径检测结果进行验证时，应采取下列措施：

1 钢筋的直径检测宜结合钻孔、剔凿的方法进行，钻孔、剔凿的数量不应少于该规格已测钢筋的 30% 且不应少于 3 处，当实际检测数量不到 3 处时应全部选取。钻孔、剔凿时，不得损坏钢筋，实测应采用游标卡尺。

2 根据游标卡尺的测量结果，可通过钢筋产品标准查出对应的钢筋公称直径。

3 钢筋探测仪测得的钢筋直径与钢筋实际公称直径之差大于 1mm 时，应以实测结果为准。

9.2.8 检测数据处理应符合下列要求：

1 钢筋的混凝土保护层厚度平均检测值应按式 (9.2.8-1) 计算：

$$c_{m,i}^t = (c_1^t + c_2^t + 2c_c - 2c_0) / 2 \quad (9.2.8-1)$$

式中 $c_{m,i}^t$ ——第 i 测点混凝土保护层厚度平均检测值，精确至 1mm ；

c_1^t 、 c_2^t ——第一、第二次检测的混凝土保护层厚度检测值，精确至 1mm ；

c_c ——混凝土保护层厚度修正值，为同一规格钢筋的混凝土保护层厚度实测验证值减去检测值，精确至 0.1mm；

c_0 ——探头垫块厚度，精确至 0.1mm；不加垫块时 $c_0=0$ 。

2 检测钢筋间距时，可根据实际需要采用绘图方式给出结果。当同一构件检测钢筋不少于 7 根钢筋（6 个间隔）时，也可给出被测钢筋的最大间距、最小间距，并按式（9.2.8-2）计算钢筋平均间距：

$$S_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad (9.2.8-2)$$

式中 $S_{m,i}$ ——钢筋平均间距，精确至 1mm；

n ——钢筋间隔数；

S_i ——第 i 个钢筋间距，精确至 1mm。

9.3 探地雷达法

9.3.1 探地雷达法宜用于混凝土中钢筋间距的快速扫描检测，也可用于钢筋的混凝土保护层厚度检测。

9.3.2 雷达仪应符合 5.4.2 条、5.4.3 条的要求，并按附录 B 的规定进行校准。

9.3.3 雷达系统技术指标应符合 8.4.3 条的要求。

9.3.4 采用探地雷达法检测混凝土中钢筋间距和保护层厚度应符合下列要求：

1 检测前应根据设计资料结合现场试验，选择合适的雷达天线中心频率。

2 根据设计资料中被测混凝土中钢筋的排列方向，雷达仪天线应沿垂直于选定的被测钢筋轴线方向扫描，应根据钢筋的反射波位置确定钢筋间距和混凝土保护层厚度检测值。

9.3.5 遇到下列情况之一时，必要时可采用钻孔、剔凿等方法

验证：

- 1 相邻钢筋对检测结果有影响。
- 2 钢筋实际根数、位置与设计有较大偏差或无资料可供参考。
- 3 混凝土含水率较高。
- 4 钢筋及混凝土材质与校准试件有显著差异。

9.3.6 检测数据处理应按 9.2.8 条的规定执行。

9.4 半电池电位法

9.4.1 本方法适用于定性评估干燥或非饱水状态下钢筋混凝土结构中钢筋的锈蚀性状。

9.4.2 检测仪器设备应包括自制铜-硫酸铜参比电极、直流电压表、电瓶夹头、导线等。

9.4.3 试验采用的仪器设备除应符合 SL 352 的规定外，尚应符合下列要求：

- 1 试验结束后，应及时清洗刚性管、铜棒和多孔塞，并应密封盖好多孔塞。

- 2 先采用稀释的盐酸溶液轻轻擦洗铜棒，再用蒸馏水清洗干净。不得用钢毛刷擦洗铜棒及刚性管。

- 3 硫酸铜溶液应根据使用时间更换，更换后宜采用甘汞电极校准。在室温（ 22 ± 1 ） $^{\circ}\text{C}$ 时，铜-硫酸铜电极与甘汞电极之间的电位差应为（ 68 ± 10 ）mV。

9.4.4 试验步骤应按 SL 352 的规定进行。

9.4.5 检测过程中系统稳定性应符合下列要求：

- 1 在同一测点，用相同仪器重复 2 次测得该点的电位差值应小于 10mV。

- 2 在同一测点，用两只不同的仪器重复 2 次测得该点的电位差值应小于 20mV。

9.4.6 检测应注意下列事项：

- 1 应测量并记录环境温度。
- 2 应按测区编号，将仪器依次放在各电位测点上，检测并

记录各测点的电位值。

3 检测时,应及时清除电连接垫表面的吸附物,半电池多孔塞与混凝土表面应形成电通路。

4 在水平方向和垂直方向上检测时,应保证半电池刚性管中的饱和硫酸铜溶液同时与多孔塞和铜棒保持完全接触。

5 检测时应避免外界各种因素产生的电流影响。

9.4.7 当检测环境温度在 $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$ 之外时,应按式 (9.4.7-1) 和式 (9.4.7-2) 对测点的电位值进行温度修正:

$$T \geq 27^\circ\text{C}$$

$$E = k(T - 27.0) + E_R \quad (9.4.7-1)$$

$$0^\circ\text{C} < T \leq 17^\circ\text{C}$$

$$E = k(T - 17.0) + E_R \quad (9.4.7-2)$$

式中 E ——温度修正后电位值,精确至 1mV ;

E_R ——温度修正前电位值,精确至 1mV ;

T ——检测环境温度,精确至 1°C ;

k ——系数,取 $0.9\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。

9.4.8 半电池电位法检测结果评判应符合下列要求:

1 半电池电位检测结果可采用电位等值线图表示被测结构及构件中钢筋的锈蚀性状。

2 宜按合适比例在结构及构件图上标出各测点的半电池电位值,可通过数值相等的各点或内插等值的各点绘出电位等值线。电位等值线的最大间隔宜为 100mV ,如图 9.4.8 所示。

3 当采用半电池电位值评价钢筋锈蚀性状时,应根据表 9.4.8 进行判断。

表 9.4.8 半电池电位值评价钢筋锈蚀性状依据

电位水平/mV	钢筋锈蚀性状
> -200	发生锈蚀的概率 $< 10\%$
$-200 \sim -350$	锈蚀性状不确定
< -350	发生锈蚀的概率 $> 90\%$

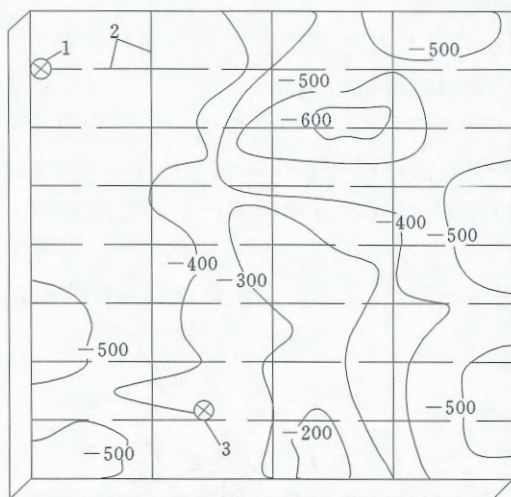


图 9.4.8 电位等值线示意图

1—检测仪与钢筋连接点；2—钢筋；3—铜-硫酸铜参比电极

9.4.9 钢筋的实际锈蚀状况宜进行剔凿实测验证。

10 水下缺陷与渗漏检测

10.1 一般规定

10.1.1 水下缺陷检测宜采用水下摄录法；渗漏检测宜采用自然电场法、拟流场法、温度场法、同位素示踪法和声纳渗流矢量法。

10.1.2 采用自然电场法、拟流场法、温度场法、同位素示踪法进行水下渗漏检测时，宜参照 SL 436 的有关规定执行。

10.1.3 宜先普查后详查。普查应能检测出缺陷或渗漏分布情况。详查应能检测出缺陷或渗漏的性质、具体位置和范围，渗漏流量和流速。

10.1.4 水下检测的潜水人员、设备和系统、作业程序等安全要求应按 GB 26123 和 GB 28396 的有关规定执行。

10.2 水下摄录法

10.2.1 本方法适用于水中能目视观察到的混凝土结构外观缺陷检测。

10.2.2 主要仪器设备应包括视频采集器、水下摄录机、水下照明灯具、水上与水下通信设备等。

10.2.3 检测准备应符合下列要求：

1 应了解检测区域的水质、水温、水流等水文条件和现场环境。

2 应清理检测区域障碍物和结构表面附着物。

3 宜根据现场条件制定摄录机拍摄方向、距离、路线、光照等摄录方案。

10.2.4 检测应符合下列要求：

1 检测时宜分条、块进行，条宽不宜大于摄录机最佳视角宽度，块长不宜大于一次水下作业长度。条、块应做醒目的刻度

标记，标记的起点位置应明确，标记的数字不宜重复出现，如图 10.2.4 所示。

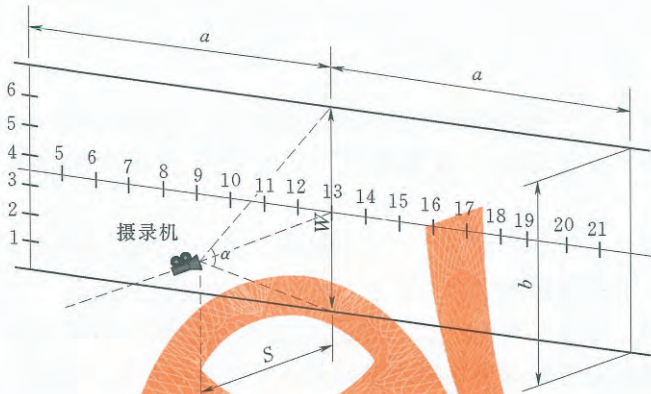


图 10.2.4 检测条、块划分示意图

a —块长； b —条宽； S —最佳视距； α —视角； W —最佳视角宽度

2 应选择最佳的摄录距离和角度，摄录的每帧图像应清晰，并包含标记数字。

3 应结合目视对缺陷范围，裂缝走向、宽度和长度进行量测，对缺陷和裂缝性质进行描述。

10.2.5 检测结果及整理应符合下列要求：

- 1 检测结果应包含整个检测区域，不应有遗漏。
- 2 离散的图像宜按相邻条或块拼接成整张图像。
- 3 拼接后的图像应附有刻度标记。

10.3 声纳渗流矢量法

10.3.1 本方法适用于水深大于 1m，水下混凝土结构破损渗漏、结构界面渗漏等位置、流速、渗漏方向、渗流量的检测。

10.3.2 主要检测仪器和设备应包括声纳渗流矢量测量探头、地面测量数据显示器、GPS 测量定位系统、水上测量船等。

10.3.3 仪器设备应符合下列要求：

1 GPS(X、Y 坐标) 定位允许误差为 $\pm 0.5\text{m}$ 。

2 Z 坐标水下深度测量允许误差为 $\pm 0.07\%$ 。

3 正常工作条件：环境温度 $-10\sim+40^{\circ}\text{C}$ 。

10.3.4 声纳流速矢量测量仪校验应采用标准水流试验槽进行标定。测量流速精度应达到 $1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ ，流向测量允许误差为 $\pm 0.4^{\circ}$ 。

10.3.5 检测时应避开水电站运行等声源影响，如无法避开，应做影响区内、外声源条件检测对比试验，并在数据处理时进行声源影响分析。

10.3.6 测线布置应符合下列要求：

1 在检测区域水面上平行和垂直建筑结构表面布置纵向和横向测线，测线布置宜兼顾结构缝位置，且间距不宜大于 5m 。

2 纵、横测线组成的渗漏检测网应大于被检测区域。

3 应对网格节点逐一编号，每一节点为测点。

10.3.7 渗漏区域检测应符合下列要求：

1 测量探头宜按网格节点垂直水面投放，在接触结构表面且水流平稳时开始测量。

2 测量时测量探头应保持铅锤状态。

3 当检测到有渗漏异常时，应加大测量点的密度。

4 检测到疑似渗漏点位置时应进行 3 次重复测量。

5 被测量到渗漏点位置流速应与同条件的正常位置对比，且对比点数不应小于 3 个。

10.3.8 渗流场流速应按式 (10.3.8) 计算：

$$U = -\frac{L^2}{2X} \left(\frac{1}{T_{B1}} - \frac{1}{T_{1B}} \right) \quad (10.3.8)$$

式中 U ——流体通过传感器 B 到传感器 1 或传感器 1 到传感器 B (图 10.3.8) 之间声道上平均流速， m/s ；

L ——声波在传感器 B 和 1 之间传播路径的长度， m ；

X ——传播路径的轴向分量， m ；

T_{B1} 、 T_{1B} ——从传感器 B 到传感器 1 或从传感器 1 到传感器 B 的传播时间，s。

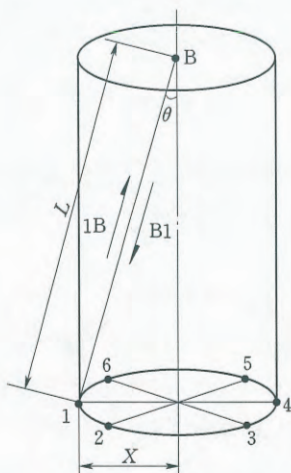


图 10.3.8 声纳测量原理示意图

B—传感器；1~6—传感器阵列

10.3.9 绘制流场流速等值线图，应区别各种流速区的界限位置。

10.3.10 当流速大于 0.5cm/s 时应重复巡回测量，并依据前一次测量的渗漏流速与流速方向，进行下一次更大渗漏流速与方向的测量，直到找出发生渗漏入水口的准确位置。

10.3.11 测区累计渗漏流量应按式 (10.3.11) 计算：

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i A_i \quad (10.3.11)$$

式中 Q ——总渗漏量， cm^3/s ；

U_i ——单元渗漏流速， cm/s ；

A_i ——单元有效面积， cm^2 。

11 检测报告

11.0.1 检测报告应结论明确、用词规范、文字简练，对于容易混淆的概念和术语应书面做出解释。

11.0.2 检测报告应包括下列内容：

- 工程名称、概况，结构类型及外观描述；
- 委托单位名称，任务来源和检测目的；
- 检测依据，检测项目和数量，检测方法；
- 检验仪器设备型号、特性参数、检定情况；
- 检测布置图，必要的工程照片；
- 检测结果，包括整理后的数据和图表及需要说明的事项；
- 检测结论。

附录 A 钢筋检测仪的校准方法

A.1 校准试件的制作

A.1.1 制作校准试件的材料不得对仪器产生电磁干扰，可采用混凝土、木材、塑料、环氧树脂等。宜优先采用混凝土材料，且在混凝土龄期达到 28d 后使用。

A.1.2 制作校准试件时，宜将钢筋预埋在校准试件中，钢筋埋置时两端应露出试件，长度宜为 50mm 以上。试件表面应平整，钢筋轴线应平行于试件表面，从试件 4 个侧面量测其钢筋的埋置深度应不相同，并且同一钢筋两外露端轴线至试件同一表面的垂直距离差应在 0.5mm 之内。

A.1.3 校准的试件尺寸、钢筋公称直径和钢筋保护层厚度可根据钢筋检测仪的量程进行设置，并应与工程中被检钢筋的实际参数基本相同。钢筋间距校准试件的制作可按附录 B.1.2 条进行。

A.2 校准项目及指标要求

A.2.1 应对钢筋间距、混凝土保护层厚度和钢筋公称直径 3 个检测项目进行校准。

A.2.2 钢筋间距校准的允许误差应为 $\pm 3\text{mm}$ ，混凝土保护层厚度校准的允许误差应为 $\pm 1\text{mm}$ ，钢筋公称直径校准的允许误差应为 $\pm 1\text{mm}$ 。

A.3 校准步骤

A.3.1 应在试件各测试表面标记出钢筋的实际轴线位置，用游标卡尺量测两外露钢筋在各测试面上的实际保护层厚度值，取其平均值，精确至 0.1mm。

A.3.2 应采用游标卡尺量测钢筋，精确至 0.1mm，并通过相关的钢筋产品标准查出其对应的公称直径。

A.3.3 校准时，钢筋探测仪探头应在试件上进行扫描，并标记出仪器所指定的钢筋轴线，应采用直尺量测试件表面钢筋探测仪所测定的钢筋轴线与实际钢筋轴线之间的最大偏差。记录钢筋探测仪指示的保护层厚度检测值。对于具有钢筋公称直径检测功能的钢筋探测仪，应进行钢筋公称直径检测。

A.3.4 钢筋探测仪检测值和实际量测值的对比结果均符合附录 A.2 节的要求时，应判定钢筋探测仪合格。当部分项目指标以及一定量程范围内符合附录 A.2 节的要求时，应判定其相应部分合格，但应限定钢筋探测仪的使用范围，并应指明其符合的项目和量程范围以及不符合的项目和量程范围。

A.3.5 经过校准合格或部分合格的钢筋探测仪，应注明所采用的校准试件的钢筋牌号、规格以及校准试件材质。



附录 B 探地雷达仪校准方法

B.1 校准试件的制作

B.1.1 应选择当地常用的原材料及强度等级制作混凝土板，并宜采用同盘混凝土拌和物同时制作校正混凝土介电常数的素混凝土试块，其大小应参考雷达仪说明书的要求。当试件较多时，校准用混凝土板应和校正介电常数的试块逐一对应。

B.1.2 混凝土板应采用单层钢筋网，宜采用直径为 8~12mm 的圆钢制作，其间距宜为 100~150mm，钢筋的混凝土保护层厚度应覆盖 15mm、40mm、65mm、90mm 四个区段，每个混凝土保护层厚度的钢筋网至少应有 8 个间距。钢筋两端应外露，其两端混凝土保护层厚度差不应大于 0.5mm，两端的间距差不应大于 1mm，否则应重新制作试件。也可根据工程实际制作相应的试件。

B.1.3 制作混凝土试件的原材料均不得含有铁磁性物质，试件浇筑后 7d 内应洒水并覆盖养护，7d 后采用自然养护，试件龄期应达到 28d 后使用。

B.2 校准项目及指标要求

B.2.1 应对钢筋间距和混凝土保护层厚度 2 个项目进行校准。

B.2.2 钢筋间距校准的允许误差应为 $\pm 5\text{mm}$ ，混凝土保护层厚度校准的允许误差应为 $\pm 3\text{mm}$ 。

B.3 校准步骤

B.3.1 校准过程中应避免外界的电磁干扰。

B.3.2 应先校正试件的介电常数，然后再进行雷达仪校准。

B.3.3 在外露钢筋的两端，应采用钢卷尺量测 6 段钢筋间距内的总长度，取平均值，并作为钢筋的实际平均间距。同时用游标

卡尺量测钢筋两外露端实际混凝土保护层厚度值，取其平均值。

B.3.4 应根据雷达仪在试件上的扫描结果，标记出雷达仪所指定的钢筋轴线，并应根据扫描结果计算钢筋平均间距及混凝土保护层厚度检测值。

B.3.5 当雷达仪检测值和实际测量值的对比结果均符合附录 B.2 节的要求时，应判定雷达仪合格。当部分项目指标以及一定量程范围内符合附录 B.2 节的要求时，应判定其相应部分合格，但应限定雷达仪的使用范围，并应指明其符合的项目和量程范围以及不符合的项目和量程范围。

B.3.6 经过校准合格或部分合格的雷达仪，应注明所采用的校准试件的钢筋牌号、规格以及混凝土材质。

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

中华人民共和国水利行业标准

水工混凝土结构缺陷检测技术规程

SL 713—2015

条 文 说 明



目 次

1	总则	47
3	基本规定	48
4	混凝土外观缺陷调查	49
5	混凝土内部缺陷检测	50
6	混凝土裂缝深度检测	65
7	混凝土强度检测	67
8	混凝土结构厚度检测	70
9	钢筋分布及锈蚀检测	73
10	水下缺陷与渗漏检测	76

1 总 则

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。这里的混凝土结构缺陷是指混凝土强度和结构尺度不足，混凝土结构裂缝、蜂窝、空洞，钢筋分布和锈蚀，表层碳化，混凝土结构渗漏等。检测是指采用一定技术措施和方法对这些水工混凝土结构存在的问题进行查明，并提出定量或定性结论。因此，对于一般的结构尺度的表面量测等不在本标准规定的范围内。

1.0.3 由于科学技术的不断进步，检测仪器和检测方法不断推陈出新，为适应水利水电工程建设的需要，要结合工程实践经验和科学研究成果，积极采用国内外先进技术。

3 基本规定

3.0.1 检测工作优先考虑使用无损检测方法，避免对结构造成损伤。如果采用破损检测方法〔钻孔（取芯）法、拔出法等〕，要避免结构受力较大或对工程安全影响敏感部位。检测结束后及时对检测损伤部位进行修复。

3.0.2 本条规定检测人员在开展检测工作之前应掌握的有关基本情况，以便下一步开展现场调查、方案制定等工作。

3.0.4 一般情况下，混凝土结构工程质量按 GB 50300《建筑工程施工质量验收统一标准》和相应的工程施工质量验收规范进行验收。

3.0.6 本条规定了检测工作的基本程序，其中工程调查和工作大纲是检测工作的基础。

工程调查的内容主要是收集混凝土结构设计文件、施工记录、工程验收和有关勘察资料；调查混凝土结构工程的缺陷现状，环境条件，加固维修、运行、荷载变化情况；向设计、施工、监理、管理等有关人员进行调查等工作。

工作大纲主要包括工程概况、检测目的与要求、检测标准及有关技术资料、检测项目、检测方法、检测范围、检测人员和仪器设备情况、检测工作进度计划、所需要的配合工作、检测中的安全、环境保护措施等内容。

3.0.7 目前的检测方法很多，但每一种检测方法都有其适用性和局限性，因此，要根据检测目的、结构类型、结构状态、环境条件等选用适宜的检测方法。

3.0.8 采用钻孔等破损检测的混凝土结构，要进行不低于原结构物混凝土强度和性能的新混凝土回填，新老混凝土应结合良好。

3.0.10 本条规定了检测记录的基本要求以及应必备的信息。一般可疑现象与工程质量有关，记录这一信息有利于检测结果分析。

4 混凝土外观缺陷调查

4.1 一般规定

4.1.1 水工混凝土外观缺陷调查的目的是为将进行的专项检测项目提供翔实、可靠和有效的调查数据及基础资料。

4.1.3 本条规定水下调查应遵循的原则。目前水上检测在国内起步较早，技术设备也比较成熟。而水下检测要求人员或设备潜水作业，并且对检测设备的要求更高，这方面的检测工作起步较晚，但目前发展较快。

4.2 内容与要求

4.2.6 渗漏调查一般包括下列工作内容：

(1) 渗漏的规模及其在混凝土结构中的空间分布，检查结构物表面的渗漏点、渗漏裂缝和渗漏面，并进行相应编号，确定渗漏的位置，测量渗漏面的大小，测量每条渗漏裂缝的长度、宽度和倾角。按测量结果绘制渗漏分布图。

(2) 调查渗水来源和渗漏水途径，可以通过色水试验或钻孔压水、超声波方法或其他探测手段，检测渗水出口之间的相互连通性和裂缝在混凝土内部的走向等。

(3) 测定裂缝或蜂窝孔洞的渗漏水量、渗水压力和渗水流速；观测渗漏水量和水位、外界气温（或季节）变化的关系；收集水质资料，从离子、矿化度及 pH 值等判断渗水有无侵蚀性。

5 混凝土内部缺陷检测

5.1 一般规定

5.1.1 对于混凝土缺陷，无损检测方法很多。目前，比较成熟和实用的方法是超声波法、冲击-回波法、探地雷达法。前一种方法已经应用了二十几年，而后两种方法是近 10 年发展起来的，但也已广泛地应用在各行混凝土结构质量检测领域。三种方法实际应用均比较成熟，因此推荐采用这些方法。为了减少误判，必要时采用直观的少量的钻芯法验证。

5.1.2 弹性波的信号采集主要受环境噪声和振动影响，电磁波主要受电磁辐射影响。

5.1.3 影响较大、问题复杂或重要工程的混凝土结构因缺陷出现质量甚至安全事故时，所造成的危害和社会影响也很大。本条推荐两种或以上方法检测，主要是为提高检测结果的准确性和可靠性。

5.1.4 一般情况下，探地雷达法的优点是检测效率高，检测精度相对较低。冲击-回波法和超声波法检测效率低，检测精度相对较高。先采用探地雷达法，后结合冲击-回波法或超声波法可以提高效率，减少不必要的工作消耗。

5.2 超声波法

5.2.2 结构形状和测试条件决定了采用的测试方法。

(1) 一般梁、柱、墙体等具有两个相互平行自由面的混凝土结构，自由面自然成为测试面，可直接采用对测法、斜测法和汇交法进行测试。

(2) 水闸底板、隧洞衬砌等混凝土结构只有一个自由面，若将自由面作为测试面，显然收、发点之间的声波路径无法通过缺陷区域，需要钻孔才能实现测试。

(3) 测试距离大, 声波信号衰减也大, 当这种衰减使换能器发出的能量无法被另一只换能器接收到, 或者接受到的信号失真, 需要钻孔缩短测试距离, 使发射和接受具有较清晰的信号传递。

(4) 大体积混凝土结构, 如混凝土大坝, 其厚度和高度远远大于目前的仪器所能测试的距离, 测试时需要进行钻孔。

(5) 埋入地下的混凝土结构, 如桩基、地下连续墙等混凝土结构没有自由面, 需要通过钻孔才能进行测试。有时这些结构尺寸比较单薄, 钻孔对其性能可能产生较大影响, 一般在施工中预埋管待完工质量检查时测试。

5.2.3 本条规定了采用钻孔测试的基本方法, 执行过程中需根据实际情况采用适宜的方法, 最终, 既达到检测目的, 又使结构破坏程度最低。

5.3 冲击-回波法

5.3.1 由冲击产生的弹性波必须能够抵达到缺陷位置, 且在缺陷表面形成反射, 反射后使表面引起位移响应, 放置在表面的传感器才能接收到信号。如果缺陷位置过深, 或者探测的缺陷与混凝土的声阻抗差异很小, 反射的应力波很弱, 不能或者引起的表面位移很小, 以至于传感器接收不到信号, 或者波形振幅较低, 振幅谱中将没有在与缺陷对应的频率上的峰值, 本检测方法就不适用。目前, 已知的可测试深度范围约为 5~200cm。

5.3.3 冲击头是表面经过硬化处理的钢球或尖端球体, 一般由一套不同直径的钢球组成, 检测时根据情况选取不同直径的钢球。钢球直径大小决定了检测缺陷分辨率和深度, 直径小分辨率较高, 检测深度较小; 直径大分辨率较低, 检测深度较大。

某试验在用冲击-回波法检测混凝土质量的结构模型试验中得出钢球直径与能分辨出目标体(缺陷)的大小及其相应埋深之间的相关关系, 见表 1。

根据所检测的结构缺陷深度参考表 2 选择不同的冲击头直径。

表 1 冲击头直径与能分辨出目标体的大小及其相应埋深的关系

钢球直径 D/mm	冲击持续时间 $t_c/\mu\text{s}$	最大有用 频率 f_{\max} /Hz	波长 λ_{\min} /mm	可检测缺陷 最小平面 尺寸 L_{\min} /mm	可检测缺陷 最小埋深 h_{\min} /mm	可检测缺陷 最大埋深 h_{\max} /mm
2.0	10	125	32	32	16	128
4.0	18	70	57	57	28	228
5.0	22	57	70	70	35	280
6.5	29	43	93	93	47	372
8.0	35	36	111	111	56	444
9.5	42	30	133	133	66	532
12.5	55	23	175	175	88	700
15.0	66	19	210	210	105	840

表 2 冲击头直径选择参考值

单位: mm

结构厚度	10~20	20~30	30~50	50~100	>100
冲击头直径	5	6~8	8~9.5	9.5~20	>20

传感器必须具有较宽的频带范围, 以适应不同厚度混凝土结构的检测。传感器还必须有适宜的灵敏度, 使得有用信号突出, 干扰信号减少到最低限度, 从而提高信号质量, 使测试结果更精确。当采用 AD 转换设备时, 其分辨率不应小于 12Bit。分辨率为 12Bit 时, 单通道采样频率应在 500kHz 以上; 分辨率为 16Bit 或以上时, 采样频率应在 250kHz 以上。

为了能准确的记录 P 波到达时刻, 需要压电元件和混凝土表面之间接触面积小, 使用合适的材料使传感器和混凝土耦合。

触发前一般要能够采集大约 100 个记录点, 因为最初的部分波形可以提供冲击接触时间信息, 帮助识别由于耦合不好、电噪声或其他因素形成的无效波形。

设置正确的采集参数以便获取、记录和处理传感器的输出信号, 可以避免因波形幅度过大而削峰, 过小而识别困难。

采集数据的电压范围要使波形中的振幅充分, 可以用肉眼检

查其关键特性，如表面波信号和随后的振荡信号。电压范围过高，可能导致显示的波形图振幅过小，使检查困难。电压范围过小，可能导致接受传感器的信号削峰。

典型的采样频率一般在 250~500kHz，采样时间间隔在 2~4 μ s。在记录的波形中，典型的数据点的数量是 1024 或 2048。典型的波形记录持续时间是 4096 μ s 或 8192 μ s。

对于采集系统，设置触发点之前数据采集记录的数量是必要的，由于电子噪声，在 P 波达到之前可能引起信号波动，通过波形分析，这些数据记录信息可以评估波形基线值并知道这些波动的幅值，有助于识别 P 波的到时。

5.3.4 关于冲击-回波法厚度测量的误差要求实例列举如下：

(1) 同济大学声学研究所顾轶东等，在上海市龙水南路现场路面厚度检测，通过现场取芯来验证测试结果，测量的厚度误差不大于 3%。

(2) 南京水利科学研究院傅翔等，在板厚为 15cm、30cm、90cm 的混凝土试块上的冲击回波试验，测试厚度误差小于 5%。

(3) 北京交通大学土木建筑工程学院硕士研究生聂文龙，在室内大试块构件厚度试验，试块厚度 50cm，测量的厚度误差不大于 2%。

(4) 山东省交通运输厅公路局薛志超等，在梁板厚度检测中误差在 2%~3%。

(5) 南京水利科学研究院罗骥先等，在测量混凝土内部缺陷试验时，测量范围（深度）10~200cm，测量厚度误差可达 5%。

(6) 北京市康科瑞工程检测技术有限公司陈卫红等用冲击-回波法检测福建漳龙高速公路某段混凝土路面厚度的测试结果，与钻孔取芯实测相对误差仅为 2%。

以上检测的工程实例很多，所以本条规定组成测试系统厚度测量精度应不超过 5%是可以接受的。

5.3.5 P 波波速是计算缺陷深度的基本参数，首先知道 P 波波速后，才能根据振幅谱中对应的缺陷频率值计算其深度。

5.3.6 在实际应用中，P波波速的测量有下列几种可行方法：

(1) 直接用冲击-回波法测量P波波速来确定混凝土声速。

(2) 通过在一已知厚度的区域内用冲击回波法确定混凝土的波速，然后用该波速检测结构的其他部位。

(3) 用超声平测法测量混凝土的声速。

本标准规定采用的是第一种方法，主要是第一种方法直接测出P波波速，便于统一检测行为，其他方法可以作为第一种方法的验证方法。

冲击点和传感器间的距离。一般情况下，接收点尽量靠近冲击点。但是也不建议太近，否则纵波、剪切波、瑞利波堆积在一起不易区分，传感器的响应受表面波的影响很大。冲击点和传感器间的距离要大于10cm，一般为15cm。

由于混凝土材料及配比、施工方法等发生变化，P波波速也会发生变化，原测试的P波波速就不能再用于计算该部位的缺陷深度了，要测试相应的P波波速。

5.3.7 本条规定主要是为了减少漏测，使测试工作清晰、有条理，记录与实际现场情况对应。

对于缺陷检测，冲击点和传感器间的距离一般也不太大，因为随着距离的增大，纵波引起的垂直位移幅值减小，不易被接收，一般不能超过30cm。在测试混凝土结构厚度时，美国C1383-04标准规定这一距离应小于0.4倍结构厚度。

冲击持续时间（钢球与混凝土表面的接触时间）决定了所产生的应力脉冲的频率成分，进而影响振幅谱中振幅峰值的大小，最终影响主频率的确定。要想获得高质量数据就要选择合适的冲击持续时间。对于直径为 D （单位：m）的钢球，从高度为 H 处自由下落到平直的混凝土板上，则冲击接触时间大约为

$$t_c = \frac{0.0043D}{H^{0.1}} \quad (1)$$

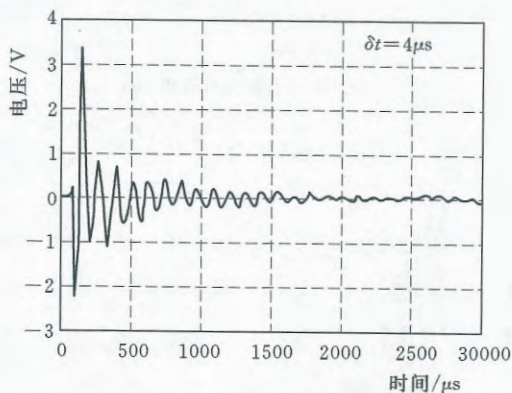
一般 H 为0.2~4m，所以 $H^{0.1}$ 等于0.85~1.15。可见冲击接触时间 t_c 与落高 H 的关系不大，可以忽略。从而导出冲击接

触时间与钢球直径之间简单的线性关系：

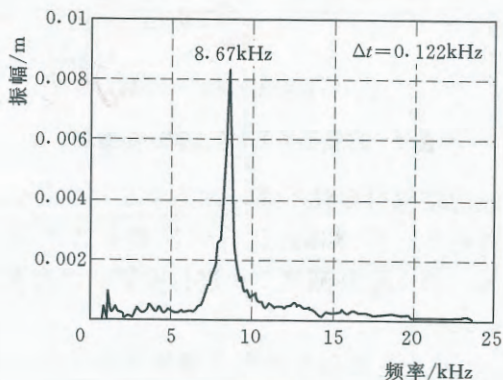
$$t_c = 0.0043D \quad (2)$$

由此，可以根据钢球直径估计冲击时间，换句话说根据要求的冲击时间选择合适的钢球直径。

有效波形的振幅谱会有一个对应结构厚度共振频率的峰值，如图 1 所示；或者有两个及以上的峰值，低频峰值对应结构厚度频率，高频峰值对应缺陷深度频率。无效的波形不显示周期性振荡，振幅谱也没有显著的主峰，如图 2 所示。



(a) 波形图



(b) 振幅谱

图 1 有效的冲击-回波测试示意图

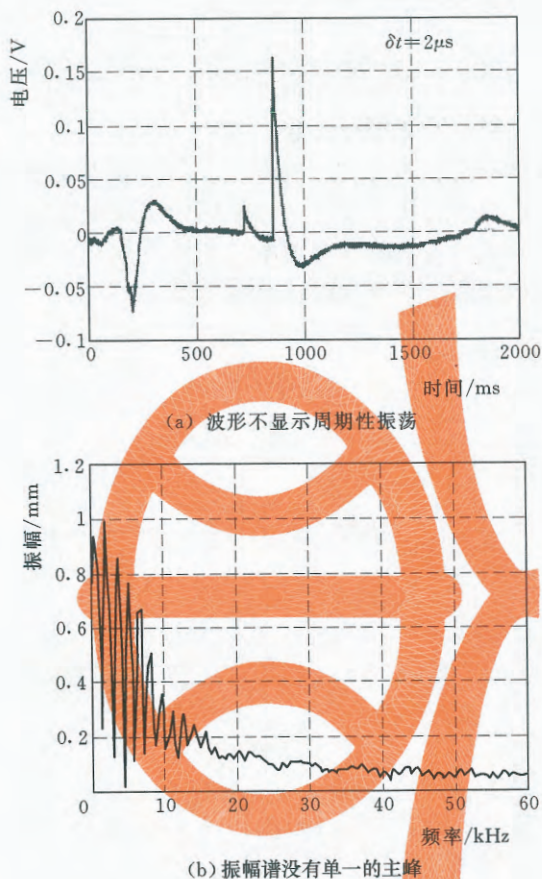


图2 无效的冲击-回波测试示意图

单次检测的结果可靠性不高，冲击源和接收传感器的位置变化，测试表面粉尘、传感器的耦合情况都会造成测试结果的影响，因此，每一测点重复测试2次进行验证，提高测试结果的准确性。

5.3.9 测试成果及整理基本步骤为原始波形回放，进行快速傅里叶变换（FFT），得到测点频谱图，根据频谱图频率主峰变化，确定是否存在缺陷，最后将缺陷范围、埋深标注在平面图上。

(1) 缺陷判别实例。北京航空航天大学宁建国与山东科技大学曲华等，在“冲击-回波法检测混凝土结构”研究中，根据振幅谱将混凝土结构分质量较好（VGB）、质量一般（FB）、质量低下（PB）、质量较差（VPB）。

如图 3 所示，在高频 6054Hz 处有一振幅峰值，这是应力波在内部缺陷和构件表面来回反射造成的。在低频 1172Hz 处有一峰值振幅，这是应力波在混凝土底部边界多次反射的结果。与结构厚度相应的振幅峰值远远小于与缺陷深度相应的振幅峰值，说明应力波能大部分被缺陷表面反射，只有一小部分波能到达底部边界，所以在该测点认为 VPB 区。

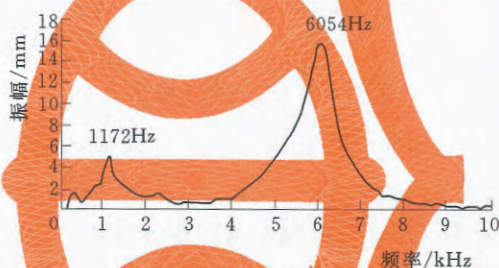


图 3 VPB 混凝土结构振幅谱

如图 4 所示，在低频 878Hz 处有一振幅峰值，这是应力波到达底部边界多次反射的结果。在高频 5100~7200Hz 之间有许多振幅峰值，振幅峰值大于低频部分的振幅峰值，表明在混凝土

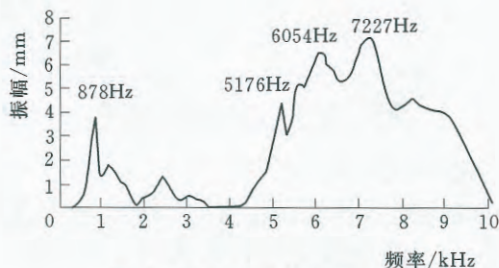


图 4 PB 混凝土结构振幅谱

结构中存在小的孔洞或蜂窝。所以在该测点认为 PB 区。

图 5 为 FB 混凝土结构冲击回波法检测的频谱图。图中在低频 1269Hz 处有一较大振幅峰值，这表明有大部分应力波能到达底部边界，在高频 5273Hz 处有一振幅峰值，这表明在结构中有缺陷存在。

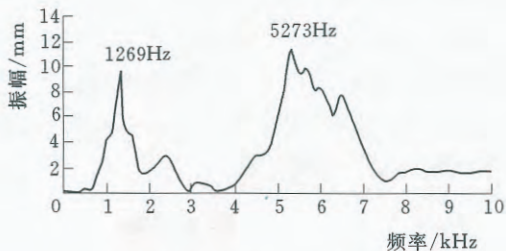


图 5 FB 混凝土结构振幅谱

图 6 为 VGB 混凝土结构冲击回波法检测的频谱图。图中在低频 1367Hz 处有一振幅峰值，在高频部分有一些小的振幅峰值，远远小于低频部分的振幅峰值，这表明几乎所有的应力波能传播到底部边界，在顶部表面和底部边界之间来回反射。

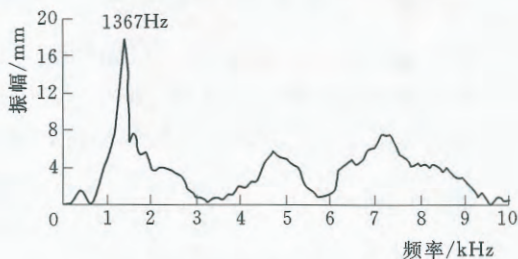


图 6 VGB 混凝土结构振幅谱

(2) 关于几何形状系数 β :

① 几何形状系数 β 与结构横截面的高宽比有关，北京工业大学张志清、刘晓姗、丛铖东等推荐 $\beta=0.8\sim 0.96$ 。

② 中南林业科技大学周先雁教授，在指导学生刘恩才完成

论文《基于冲击回波法无损检测技术的试验及工程应用》中，得出几何形状系数 β 与结构横截面的高宽比有关，如图 7 所示。

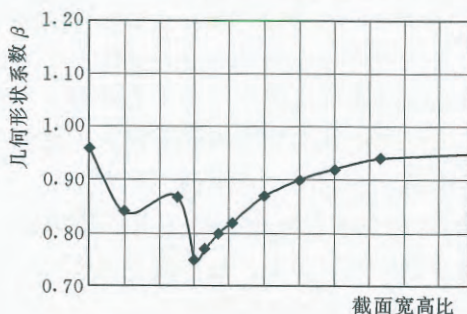


图 7 截面几何形状系数与宽高比关系

③ 北京航空航天大学土木工程系叶英华教授，在指导学生张绍兴对《L 型截面的钢筋混凝土柱几何形状系数进行试验研究》中，当几何形状系数 $\beta=0.98$ 或 0.99 时，测试的厚度误差最小。 $\beta=0.99$ 时，误差在 $\pm 1\%$ 以内。

对于几何形状系数 β 值，建议当高和宽两者尺寸相差 2 倍以上时，采用 $\beta=0.98$ 。否则，采用实测结果。即由已知的密实区结构厚度 h ，测试的 C_p 和振幅谱中的 f 计算 β 值。

5.4 探地雷达法

5.4.2 作为完整的雷达系统，主要由雷达主机、雷达天线（包含发射和接收天线）及数据采集分析处理系统三部分组成，三者缺一不可。

5.4.4 不同的雷达天线，因其天线主频不同，波在介质中的衰减不同，发射的功率也不同，其探测深度存在很大的差别。因此，天线中心频率的选择需要兼顾目标深度、目标最小尺寸及天线的尺寸是否符合检测场地需要。一般来说，在满足检测深度要求下，尽量使用中心频率较高的天线。为方便检测，表 3 给出了不同频率天线参考测深。

表 3 不同频率天线参考测深

天线中心频率/MHz	500	1200	1600	2000
可达深度/m	1~4.5	0.3~1	0.2~0.7	0.1~0.5
参考测深/m	2	0.8	0.6	0.4

对一般商业雷达所提供的每一种中心频率天线，均给出了参考探测深度值，由于使用的探测系统不同，其结果会有一些的差异，但该参考值是在探测时应考虑的。

5.4.5 介质的相对介电常数由介质的电性质决定，但往往同一种介质在不同地方的差别很大。如混凝土的介电常数主要受混凝土的湿度所影响，不同湿度的混凝土会有不同的介电常数。干混凝土的介电常数 $\epsilon_r = 4 \sim 10$ ，电磁波速 $v = 0.09 \sim 0.15 \text{m/ns}$ ；湿混凝土的介电常数 $\epsilon_r = 10 \sim 20$ ，电磁波速 $v = 0.07 \sim 0.09 \text{m/ns}$ 。所以，介电常数和电磁波速一般在现场实验标定较可靠。

(1) 介电常数标定。通常选择能够直接测量混凝土厚度的地方来标定介电常数。若已知混凝土厚度，同时，在雷达映像图上又能够分析出该厚度对应的雷达反射波的双程旅行时，就可以计算出该混凝土的相对介电常数。图 8 表示的是南京水利科学研究院胡少伟等根据雷达反射波图像来确定介电常数值的方法。

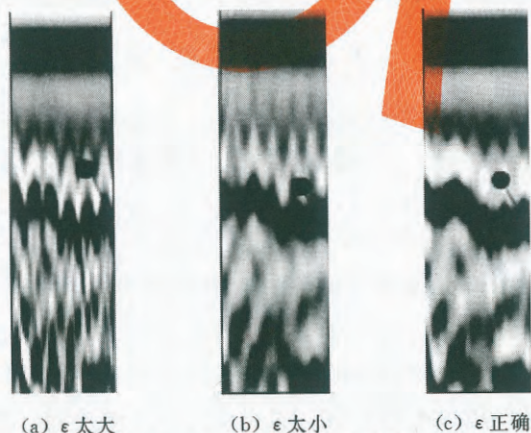


图 8 介电常数选取典型图

(2) 波速标定。要减少测量误差必须对波速进行精确标定，目前常用方法是采用钻芯取样的方法标定混凝土波速。如中国电波传播研究所施兴华等，在某工程检测中通过钻芯机得到水泥混凝土路面的厚度 $h=30\text{cm}$ ，并根据静态数据（见图 9）从雷达图谱上得到电磁波在混凝土中的双层走时 $t=6\text{ns}$ 就可以得到波速 $v=2h/t=10\text{cm/ns}$ 。

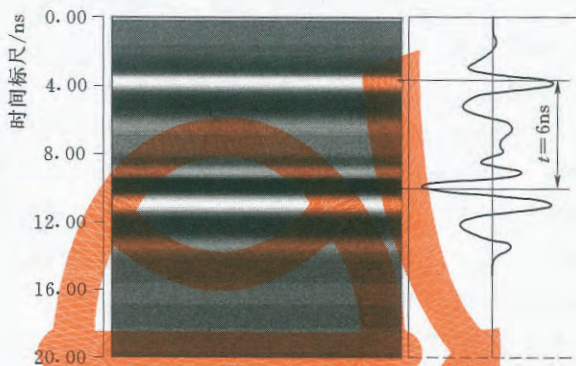


图 9 静态数据剖面及波形图

5.4.6 通过测线布置，使目标体位置准确，有利于检测结果与实际情况对照，同时也防止目标漏测。根据检测环境和检测目的应合理布置测线，如混凝土坝、面板堆石坝面板、地下洞室衬砌等较大水工混凝土结构检测，测线间距可按较大尺寸的混凝土结构布置，但当对某一具体部位有怀疑，或闸室、挡墙等较小混凝土结构检测时，测线间距应按较小尺寸的混凝土结构布置。测线和测点应依次编号。

离散测量条件下测点间距的选择同所用天线的中心频率及所涉及的被检测介质的介电性有密切关系。为了保证被检测结构响应不出现空间假频，空间采样间隔应小于尼奎斯特（Nyquist）采样间隔。Nyquist 采样间隔 ΔX 为被探测目标体周围介质中雷达波波长的 $1/4$ 。在实际探测中，测点间距的选取还应考虑被探测目标体的最小空间尺度，通常情况下，测点间距小于所要求探

测的最小目标体水平方向延伸长度的 $1/3$ 。

5.4.7 时窗长度决定了雷达系统对反射回来的雷达波信号取样的最大时间范围，决定了可显示于图像上的雷达探测范围。一般选取探测深度 h 为目标深度的 1.5 倍；时窗长度增大是为了考虑实际电磁波速度变化、目标体深度变化所留余量，多数时窗长度增大 30% ，即调整系数 $\alpha=1.3$ 。

采样点数指每道波形的扫描样点数。一般仪器均设置多种采样点数供实测选择（如每道波形可有 128 、 256 、 512 、 1024 、 2048 等五种采样点数）。为保证在一定条件下，每一个波形有 10 个采样点，扫描样点数应满足：扫描样点数 ≥ 10 时窗长度 (ns) \times 天线频率 (MHz)。例如对于 1000MHz 天线， 50ns 的时窗长度，要求扫描样点数应大于 500Samples/Scan ，可以选择 512 。

采样率 Δt 是记录的单道反射波采样点之间的时间间隔。选取前提是保证天线较高的垂直分辨率。由尼奎斯特 (Nyquist) 采样定律，即采样频率至少要达到记录反射波中最高频率的 2 倍。对大多数雷达系统，频带与中心频率之比大致为 1 ，即发射脉冲能量覆盖的频率范围为 $0.5 \sim 1.5$ 倍中心频率。这就是说，反射波的最高频率大约为中心频率的 3 倍。为使记录波形更完整，建议采样频率为天线中心频率的 6 倍。

连续测量方式表示地质雷达系统每秒钟自动记录一定数目的扫描信息。表面测点的多少取决于天线在表面的移动速度。而天线移动速度主要受雷达主机性能、道间距、采样率等参数的影响，扫描速度一定程度上代表了天线的移动速度，一般情况下，扫描速度越大，在相同道间距和采样率设置下，雷达天线的移动速度可以越大，天线移动速度因不同型号雷达性能不同而有所差异。

扫描速率确定后，根据探测目标体尺度决定天线的移动速度，估算移动速度的原则是要保持最小探测目标内至少有 20 条扫描线。例如扫描速率为 64Scans/s ，最小探测目标尺度为 10cm ，天线移动速度要小于 32cm/s 。

5.4.9、5.4.10 数据处理是资料解释的基础，其结果直接反应了雷达测试工作的成果。数据处理工作包括基本处理和高级处理两部分。基本处理阶段主要采用调增益和一维滤波。高级处理包括反褶积、偏移归位、希尔伯特变换、速度分析及二维滤波处理。对数据处理的目的是最大限度地压制随机干扰，提高信噪比，突出目标信息，为反演解释工作提供成果图。

针对原始数据中可能出现的错误操作、遗漏或多余数据而进行的操作。数据处理前，剔除因天线未放好或天线移动过程中采集到的数据。

(1) 雷达图像数据解释即通过一系列分析比对方法，最终确定目标体特征。

a. 雷达图像解释应结合多个剖面的雷达数据，找到数据之间的相关性，即通过比较相邻测线的雷达灰度剖面图，找出不同雷达图上相似图像特征的反射信息，进行比对分析。

b. 结合现场的实际情况，综合被检测区域表面情况和实际探测图像，反复比对被检测表面情况和图像特征，进行分析。

c. 最后，将前面两步确定的雷达图像和经典的经过验证的雷达图进行比对分析，并最终确定目标体特征。混凝土中的雷达缺陷图像都具有一定的相似性，因此经过验证的雷达图像都具有一定的可参考性，可以作为经典图像进行参考。

(2) 单个雷达图像分析步骤可归纳如下：

a. 根据反射波组的波形和强度特征对同相轴进行追踪以识别反射波组界面特征。

b. 根据环境观察记录，初步了解干扰源分布，估计干扰反射波组在雷达剖面图像的位置，并根据其具体特征进行识别。

c. 识别出干扰反射波后，除直达波外的其他反射波组，一般都是检测区域介质反射波，可追踪性较好，大多呈较平缓的曲线形。

d. 反射波组的同相性、相似性为反射层追踪提供依据，确定具有一定形态特征的反射波组是识别反射体的基础。

e. 确定反射层界面的基本流程是：从垂直走向的剖面开始，逐条剖面确定反射界面点，然后将剖面确定的反射界面点全部连接起来。

5.4.12 在雷达数据记录资料中，根据相邻道上反射波的对比，把不同道上同一连续界面反射波相同相位连接起来的对比线称为同向轴。同向轴的时间、形态、强弱、方向正反等特征是数据解释最重要的基础，而反射波组的同向性与相似性也为反射层面的追踪提供依据。同向轴的形态与探测目标物的形态并非完全一致，由于边缘反射效应的存在，使得目标物波形的边缘形态有很大差异。对于孤立的目标体，其反射波的同向轴为开口向下的抛物线，有限平板界面反射的同向轴中部为平板，两端为半支开口向下的抛物线。



6 混凝土裂缝深度检测

6.3 面波法

6.3.1 由于纵波的波速明显大于面波，不同介质中面波、纵波波速与横波波速比变化规律如图 10 所示，当测试形状不规则或测试面较小时，从测试对象不规则边角与侧面反射回的纵波与面波发生叠加后对接收器产生干扰。因此，为准确接收面波信号，本条规定面波法适用于形状规则、测试面较大的混凝土内部的深层裂缝。

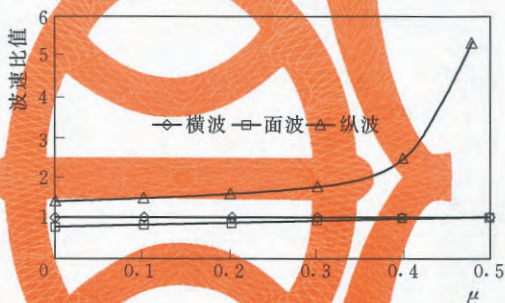
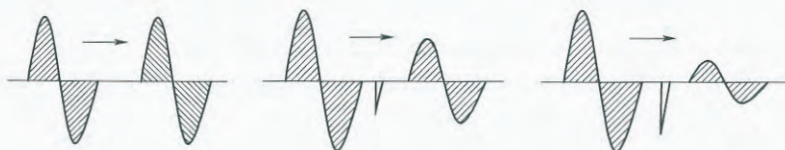


图 10 纵波、横波和面波波速与泊松比 μ 关系

6.3.4 面波在传播过程中所发生的几何衰减和材料衰减，可以通过系统修正，而保持其振幅不变。但是，瑞利波在遇到裂缝时，其传播在某种程度上被遮断，在通过裂缝以后波的能量和振幅会减少，如图 11 所示。



(a) 无裂缝时面波不衰减 (b) 浅裂缝时面波衰减小 (c) 深裂缝时面波衰减大

图 11 面波传播过程示意图

因此，根据裂缝前后波的振幅变化（振幅比），便可以推算其深度。根据试验资料和理论分析结果，获取裂缝深度与振幅比的关系：

$$h = -\zeta\lambda \ln \hat{x} \quad (3)$$

6.3.5 裂缝深度检测结果 h 不应大于 1.3 倍面波波长 λ 。不同泊松比时面波的水平、垂直位移振幅随深度的变化曲线如图 12 所示。对于不同介质，随着深度的增加，面波的水平位移振幅达到极值后迅速降低，其主要能量主要集中在 1.3λ 深度范围内，由此认为面波的穿透的最大深度约为 1.3λ 。

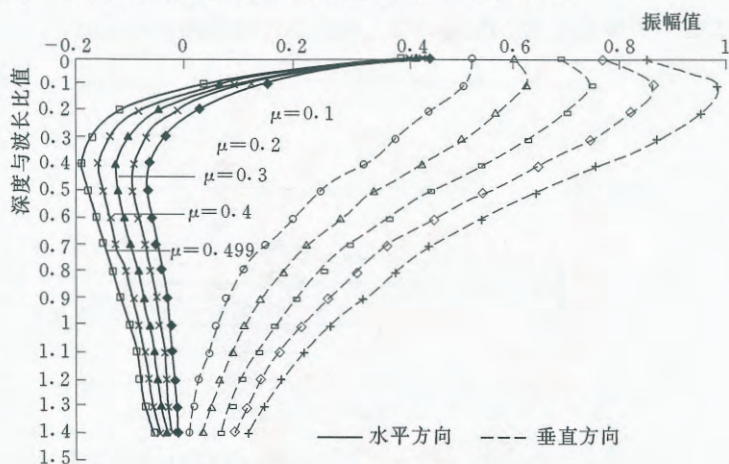


图 12 不同泊松比 μ 时振幅值与深度的变化关系

7 混凝土强度检测

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土强度检测除了常用的回弹法、超声波法、超声回弹综合法、钻芯法外，还有后装拔出法，该方法多用于建筑、铁路工程领域，因水利行业不常使用，故未列入本标准，如有需要时可按 TB 10426《铁路工程结构混凝土强度检测规程》的有关规定执行。

7.2 回弹法

7.2.1 回弹法检测混凝土抗压强度引用 SL 352。

7.3 超声波法

7.3.1 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度引用 SL 352。

7.4 超声回弹综合法

7.4.1 超声回弹综合法中采用的回弹法是通过回弹仪检测混凝土表面的硬度来推算混凝土强度的方法，因此测试的结构或构件的混凝土表面质量不得存在明显缺陷，对检测结果有争议或怀疑时，可用钻芯法进行验证。由于遭受冻害、化学腐蚀、火灾损伤及埋有块石的混凝土均会使混凝土声速发生变化，因而不能采用超声回弹法测试。

7.4.5 本条所指的普通混凝土是指未掺入引气剂的混凝土，而引气混凝土则是指在拌和过程中通过掺入引气剂引入大量均匀分布、稳定而封闭的微小气泡的混凝土。

7.4.5 采用中型回弹仪或重型回弹仪检测强度相关关系式参照 JTJ/T 272《港口工程混凝土非破损检测技术规程》。

7.5 钻 芯 法

7.5.1 钻芯机、锯切机等主要设备的技术性能直接影响到芯样的质量，影响到芯样试件抗压强度样本的标准差，因此，一般要求每台设备均有产品合格证并满足相应的要求。

(1) 混凝土钻芯机一般采用轻便型钻芯机，并满足下列要求：

a. 主轴空载转速宜具有 850r/min 和 480r/min 两挡，径向跳动不宜超过 0.1mm。

b. 具有水冷却系统。

c. 钻取芯样时一般采用人造金刚石薄壁钻头，钻头胎体不得有肉眼可见的裂缝、缺边、少角、倾斜和喇叭口变形。

d. 钻头胎体对刚体的同心度偏差不得大于 0.3mm，钻头的径向跳动一般不大于 1.5mm。

(2) 锯切机可采用手动或自动两种型式，并满足下列要求：

a. 线速度可控制在 0.7~0.8m/min。

b. 进刀速度可控制在 8~12m/min。

c. 水冷却系统，水压可保持在 0.01MPa。

d. 配套使用的人造金刚石圆锯片应有足够的刚度。

(3) 芯样试件端面磨平机，能保证处理芯样试件端面平整。

(4) 补平装置要保证芯样的端面平整、芯样端面与芯样轴线垂直。

(5) 探测钢筋位置的磁感仪，探测深度不小于 60mm，探测位置的偏差不大于±5mm。

7.5.2

1 根据国内试验研究结果，在抗压试验中，使用标准芯样试件样本的标准差相对较小，使用小直径芯样试件可能会造成样本的标准差增大，因此推荐使用标准芯样试件确定混凝土抗压强度值。在一定条件下，公称直径 70~75mm 芯样试件抗压强度值的平均值与标准试件抗压强度值的平均值基本相当。因此，允

许有条件地使用小直径芯样试件。

2 钻芯法属局部破损检测法，因此在选择钻芯位置时应尽量选择结构受力较小的部位，尤其对于正在工作中的结构更应特别注意，尽量避免对结构安全工作造成影响。

在混凝土结构中，由于受施工、养护或位置的影响，其各部位的强度并不是均匀一致的，因此在选择钻芯位置时要考虑这些因素，以使取芯位置的混凝土强度具有代表性和避免对结构造成过大损伤。

在钻芯过程中如果碰到钢筋、预埋件或管线，不仅容易损坏钻头，甚至取出的芯样不符合要求，而且也给修复工作带来困难。因此在取芯前，需根据结构图并借助探测钢筋位置的磁感应仪等查明这些物品的位置。

3 当构件体积或截面尺寸较大时，取芯数量不少于3个，取芯位置应尽量分散，以减少对结构强度的影响。

7.5.3

1 采用较高的进钻速度会加大芯样的损伤。因此，应控制进钻速度。

2 对芯样应进行标记，防止芯样位置出现混乱，对结构构件混凝土强度的评定造成影响。

3 钻取芯样后的构件应及时对孔洞进行修补，以保证结构的工作性能。

7.5.4 根据水工混凝土特点，一般在芯样长度足够的情况下，将芯样由表及里划分成表面区、中部区及内部区，这样可以根据检测结果确定混凝土结构强度缺陷深度，为工程除险加固设计提供依据。

7.5.5 芯样试件锯切后端面观感上比较平整，但一般不能符合抗压试件的要求。试验研究表明，锯切芯样的抗压强度比端面试件后芯样试件的抗压强度降低10%~30%。因而对试件的端面平整度误差提出了要求。

8 混凝土结构厚度检测

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土结构厚度的检测，可根据具体情况，选用厚度测定仪器量测或局部钻孔测定。

8.1.2 选取有代表性的部位进行检测，即可减少测试工作量，又使测试结果更符合混凝土实际情况。

8.2 超声波法

8.2.1 当混凝土遭受冻害、高温作用、化学物质侵蚀时，其表层会受到不同程度的损伤，产生裂缝或疏松从而降低对钢筋的保护作用，影响结构的承载能力和耐久性。用超声波检测表面损伤层厚度，既能反映混凝土被破损的程度，又为结构加固补强提供技术依据。

8.2.3 测线长度布置能探测到损伤层的最厚处。测试物表面尽可能干燥，因为水的声速比空气的声速大 4 倍多，如果受损伤而较疏松的表层混凝土潮湿，则其声速值偏高，与未损伤的内部混凝土声速差异减小，使检测结果产生较大误差。若测试部位表面有接缝或饰面层，也会使声速测值不能反映损伤层混凝土实际情况。为了提高检测结果的准确性和可靠性，可根据测试数据选取有代表性的部位，局部凿开或钻取芯样进行验证。

检测较薄的损伤层时，接收换能器（R）每次移动的距离不建议太大，为便于绘制时间—距离关系曲线图，同时为了确定表面损伤层厚度区域范围，每一测线的测点数一般不少于 10 点。

混凝土表面损伤层检测，一般进行单面平测，其接收信号较弱，为便于测读，确保接收信号具有一定首波幅度，一般选用较低低频的换能器。测试时，固定发射换能器（T）保持不动，将接收换能器（R）按 100mm 的等距离直线方向移动，如图 13 所示。

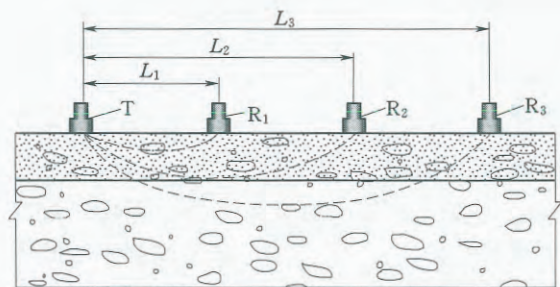


图 13 表面损伤层厚度测试示意图

8.2.4 用回归分析的方法分别求出损伤、未损伤混凝土的回归直线方程，再根据两个回归直线的拐点在纵轴上交点所对应距离为 L_0 ，回归系数 $b_1 = V_f$ 、 $b_2 = V_a$ ，按式 (8.2.4-4) 计算损伤层厚度。

8.2.5 选择具有一对平行测试面且不存在结合面、孔洞、裂缝的结构进行厚度检测。测点疏密视结构尺寸、质量优劣和测量精度而定。在数值偏低的部位，可根据情况加密测点，再行测试。

8.3 冲击-回波法

8.3.1 冲击-回波法是基于弹性波和物体内部结构相互作用产生共振，由共振频率来计算混凝土结构厚度的无损检测方法，具有可单面检测，精度高，测深大，受结构混凝土材料组分与结构状况差异影响小的优点，因此可广泛用于确定单层混凝土结构厚度。

8.3.3 检测表面要干燥并清除其上的污垢和碎屑。正在养护的混凝土不布置测试点。在混凝土结构表面选择接收传感器及敲击点位置，避开混凝土表面蜂窝、接缝、裂缝等缺陷。

通过敲锤敲击混凝土结构的测试面，冲击荷载在结构内产生波动并传播。当结构内部存在声阻抗不同界面时，P波在界面和检测面之间出现多次反复反射的现象，此时，会稳定出现以多重反射波周期为基础的驻波，分析此驻波的频率可以确定其周期，

有效波形的频谱图将有一个占主导地位的峰值，这一主导峰值处在对应混凝土板的频率上。一个无效的冲击回波的波形为非周期振荡，频谱图没有单一的主峰。

测试结果有效时应进行下一点的测试。如果波形无效，应检查测试面的清洁、平整情况及冲击器选择是否准确。

8.3.4 知道了混凝土结构内部纵向 P 波的速度，就可以根据频率与 P 波波速的关系按式 (5.3.9) 计算混凝土的厚度，求得深度 h_c 即为混凝土结构厚度。

8.4 探地雷达法

8.4.3 受天线分辨率和探测深度关系的影响，探地雷达法检测混凝土厚度时，应选取适当的横向采样点间距和主频天线，并采用合理参数对数据进行处理。

8.4.4 混凝土结构厚度检测时，探地雷达天线中心频率范围宜为 100~1600MHz，通常情况下雷达天线中心频率为 100MHz 时，可以检测低标号（如 C20）混凝土或厚度约为 1m 的混凝土；天线中心频率为 1600MHz 时，可以检测高标号混凝土或厚度约为 0.5m 的混凝土。当多个频率的天线均能符合探测深度要求时，一般选用频率相对较高的天线，以提高测试精度。

8.4.7 检测数据一般是需经数字滤波、背景去除、反褶积、增益恢复、时差校正和偏移等处理后绘制的雷达灰度图或色谱剖面图。

8.5 钻孔法

8.5.1 当难以用超声、雷达等方法精确测量混凝土结构厚度时，或混凝土结构允许钻孔且有其他要求时可采用钻孔法进行混凝土构件厚度检测。

8.5.2 不需要钻取芯样时，钻孔孔径在不破坏原结构安全且能满足测试要求时，越小越好；当有其他检测项目时，可与之结合进行厚度检测。

9 钢筋分布及锈蚀检测

9.2 电磁感应法

9.2.3 GB 50204—2002《混凝土结构工程施工质量验收规范》附录 E“结构实体保护层厚度检测”中，对钢筋保护层厚度的检测误差规定不应大于 1mm，考虑到通常混凝土保护层厚度设计值以及现行验收规范所允许的实际施工误差，因此提出 10～50mm 范围内其检测允许误差为 1mm，多数钢筋探测仪在此量程范围内时可以满足要求的。需要指出的是，本条规定的是校准时的允许误差，在工程检测中的误差有时会更大一点。

校准是为了保证仪器的正常工作状态和检测精度。仪器的主要零配件包括探头、天线等。

9.2.4 钢筋间距、混凝土保护层厚度检测要注意下列事项：

(1) 在对既有建筑进行检测时，构件通常具有饰面层，将饰面层清除后进行检测。

(2) 铁磁性物质会对仪器造成干扰，对于混凝土保护层厚度的检测具有很大的影响。仪器使用中难免受到各种干扰导致读数漂移，为保证钢筋探测仪读数的准确，要时常检查钢筋探测仪是否偏离调零时的零点状态。

(3) 钢筋在混凝土结构中属于隐蔽工程，为取得准确的检测结果，检测前应根据设计图纸或者结构知识，了解所检测结构及构件中可能的钢筋品种、排列方式，比如框架柱一般有纵筋、箍筋，然后用钢筋探测仪探头在构件上预先扫描检测，了解其大概的位置，以便于在进一步的检测中尽可能避开钢筋间的相互干扰。在尽可能避开钢筋相互干扰并大致了解所检钢筋分布状况的前提下，即可根据钢筋探测仪显示的最小保护层厚度检测值来判断钢筋轴线，此步骤便完成了钢筋的定位。

(4) 当混凝土保护层厚度值过小时，有些钢筋探测仪无法进

行检测或示值偏差较大,可采用在探头下附加垫块来人为增大保护层厚度的检测值。

9.2.6 对于钢筋探测仪,其基本原理是根据钢筋对仪器探头所发出的电磁场的感应强度来判定钢筋的大小和深度,而钢筋公称直径和深度是相互关联的,对于同样强度的感应信号,当钢筋公称直径较大时,其混凝土保护层厚度较深,因此,为了准确得到钢筋的混凝土保护层厚度值,应该按照钢筋实际公称直径进行设定。当2次检测的误差超过允许值时,要检查零点是否出现漂移并采取相应的处理措施。一般建筑结构常用的钢筋公称直径最小也是以2mm递增的,因此对于钢筋公称直径的检测,如果误差超过2mm则失去了检测意义。由于钢筋探测仪容易受到邻近钢筋的干扰而导致检测误差的增大,因此当误差较大时,以剔凿实测结果为准。

9.2.7 当需要通过实物对钢筋直径检测结果进行验证时,一般需要注意下列事项:

(1) 对于结构及构件来说,其钢筋即使仅仅相差一个规格,都会对结构安全带来重大影响,因此必须慎重对待。当前的技术手段还不能完全满足对钢筋公称直径进行非破损检测的要求,采用局部剔凿实测相结合的办法是很有必要的。

(2) 在用游标卡尺进行钢筋直径实测时,根据相关的钢筋产品标准如GB 1499.2《钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋》等来确定量测部位,并根据量测结果通过产品标准查出其对应的公称直径。

9.2.8 当混凝土保护层厚度很小时,例如混凝土保护层厚度检测值只有1~2mm,而混凝土保护层厚度修正值也为1~2mm时,式(9.2.8-1)的计算结果有可能会出现负值。但在混凝土保护层厚度很小时,一般是不需要修正的。

9.3 探地雷达法

9.3.1 探地雷达法的特点是一次扫描后能形成被测部位的断面

图像，因此可以进行快速、大面积的扫描。因为雷达法需要利用雷达波（电磁波的一种）在混凝土中的传播速度来推算其传播距离，而雷达波在混凝土中的传播速度和其介电常数有关，故为达到检测所需的精度要求，要根据被检结构及构件所采用的素混凝土，对雷达仪进行介电常数的校正。

9.4 半电池电位法

9.4.1 半电池电位法是一种电化学法。考虑到在一般的建筑物中，混凝土结构及构件中钢筋腐蚀通常是由于自然电化学腐蚀引起的，因此采用测量电化学参数来进行判断。在本方法中，规定了一种半电池，即铜-硫酸铜半电池；同时将混凝土与混凝土中的钢筋看作是另一个半电池。测量时，将铜-硫酸铜半电池与钢筋混凝土相连接检测钢筋的电位。混凝土中钢筋半电池电位是测点处钢筋表面微阳极和微阴极的混合电位。当构件中钢筋表面阴极极化性能变化不大时，钢筋半电池电位主要取决于阳极性状：阳极钝化，电位偏正；阳极活化，电位偏负。根据研究积累的经验来判断钢筋的锈蚀性状。所以这种方法适用于已硬化混凝土中钢筋的半电池电位的检测，它不受混凝土构件尺寸和钢筋保护层厚度的限制，但已饱水或接近饱水的构件不适用本方法进行检测。

9.4.3 多孔塞一般为软木塞，一旦干燥收缩，将会产生很大变形，影响其使用寿命。

9.4.8 采用电位等值线图后，可以较直观地反映不同锈蚀性状的钢筋分布情况。

10 水下缺陷与渗漏检测

10.1 一般规定

10.1.1 水下混凝土缺陷检测方法还有近几年发展起来的多波束声纳成像法等。多波束声纳成像法分辨率较高，不受水质和照明影响，可在中短距离实时成像，但限于目前所取得的工程经验较少，没有列入本标准。

10.1.3 水下检测工程难度大，技术问题复杂，工作效率低。规定先普查后详查，既对水下混凝土结构有一个全面的了解，又对所关注的问题不会产生遗漏。

10.2 水下摄录法

10.2.1 潜水员携带水下摄录机进行水下结构缺陷检测是通常的做法，但对水的清晰程度和光照条件有一定要求。浑水和光照条件较差难以达到检测目的。

10.2.3 鉴于水下检测工作的复杂性和危险性，检测前必须做好充分的准备工作，包括对水情和环境的了解、清理水下障碍物和附着物、制定有关方案，最大限度地降低水下工作难度和杜绝风险。

10.2.4 水下结构的缺陷具体位置对后续分析和处理工作很重要，而工程实践中经常被忽略，造成缺陷位置的盲目性，使得检测人员重复检测工作。进行检测区域分条、分块，做好刻度标记可以有效杜绝此类事件的发生。

10.3 声纳渗流矢量法

10.3.1 声纳流速矢量检测对象为混凝土重力坝、面板堆石坝上游坝面，消力池底板，闸底板和引水建筑物结构破损部位或结构缝等水下部位渗漏。通过检测，可确定渗漏位置、渗漏方向、渗

漏流速和流量。检测仪探头长度约为 0.7m，若将探头全部置入水中，水深必须大于这一长度，因此，要求测量水深大于 1m。小于 1m 水深下的渗漏可通过巡视检查发现。

10.3.2 声纳渗流矢量测量探头含有声纳探测器列阵、航空定向器、水压力传感器。

10.3.3、10.3.4 规定了声纳流速矢量测量仪的主要技术指标和校验要求。

(1) GPS 定位误差。水下定位受测绳、水体流动、水面波浪、船体移动等影响误差较大，考虑这些因素，0.5m 的误差即符合工程实际，也满足对测量异常判别需要。

(2) 流速精度。目前的测试仪器和手段均能达到这一精度要求，同时，对探测微小的渗漏提供保障。

(3) 流速方向。渗漏异常的关键特征是大流速和流速指向。根据测得的流速方向指向，引导下一个测量点的正确位置，确保快速找到渗漏流场入水口的确切位置。

(4) 在已知流速、流量与过水断面面积的同时，标定声纳测量仪器的流速和流向。

10.3.5 仪器对噪声干扰反应灵敏，检测过程中最好避开环境中的声源影响，如发电机组的声源干扰等。否则，可通过影响区内、外的检测数据对比，在后期数据分析处理时消除声源的影响，使检测成果真实可靠。

10.3.6 建筑物结构的纵、横结构缝由于施工和环境等原因，容易产生渗漏。5m 网格的确定是依据测量探头的最小有效测量范围来设定的。

10.3.7 检测人员按照网格编号顺序，将测量探头垂直放到水下建筑物的表面，测量仪器界面上显示和记录 GPS 坐标、测量探头所在的水下测量深度。声纳探测器阵列采集水下渗漏流速的大小与方向。为了准确测量渗漏流速的方向，保持测量探头铅垂状态。

10.3.8 声纳渗流探测技术，是利用声波在水中的优异传播特

性，实现对水流速度场的测量。如果水下结构存在渗漏，则必然产生渗漏声场，声纳探测器阵列能够精细地测量出声波在流体中能量传递的大小与分布，依据声纳阵列测量声波的时空分布，即可显示出渗流声源发出的方向和强度。利用复合传感器探测最大渗漏方向，由该渗漏方向上的底部和顶部传感器之间的距离和时差，建立连续的渗流场的水流质点流速方程。

声波在静止水体中的传播速度为一常数 C ，逆流从传感器 B (图 10.3.8) 传送到传感器 1 的传播速度被流体流速 U 所减慢，其流速方程式：

$$\frac{L}{T_{1B}} = C - U \frac{X}{L} \quad (4)$$

反之，声波顺流从传感器 1 传送到传感器 B 的传播速度则被流体流速加快，为：

$$\frac{L}{T_{1B}} = C + U \frac{X}{L} \quad (5)$$

式 (4) 减式 (5)，整理后得：

$$U = -\frac{L^2}{2X} \left(\frac{1}{T_{B1}} - \frac{1}{T_{1B}} \right) \quad (6)$$

10.3.9 利用测量区域的完整数据制作流速测量统计表，依据统计表中的数据自动生成渗漏流速等值线图。

10.3.10 水下渗漏隐患检测目的是快速准确地找到发生渗漏的入水口位置。一般按流速 $U \geq 0.5 \text{ cm/s}$ 、 $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s} < U < 0.5 \text{ cm/s}$ 、 $U \leq 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 划分 I 类、II 类、III 类流速区，如图 14 所示。渗漏通道多发生在 I 类流速区，即流速大于 0.5 cm/s 的区域。在该区需要进行多次测量，每次依据上次测量的流速大小与方向，指导下次测量的位置，直至找到发生最大渗漏流速的入水口。

10.3.11 利用渗漏流速的测量结果乘以检测单元的有效控制面积，可以累计得出各区域渗漏流量数据。

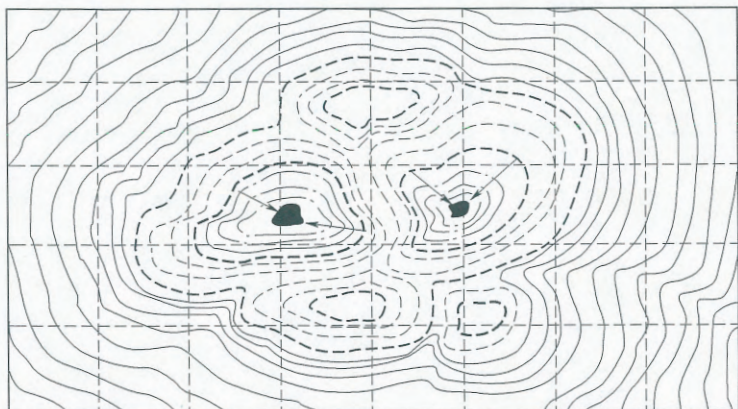




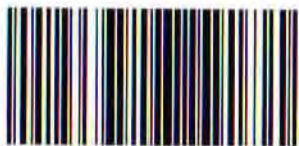


图 14 渗漏入水口方向追踪示意图

- | | |
|--|---|
|  渗漏入水口 |  I类流速区 |
|  II类流速区 |  III类流速区 |



155170.231

SL 713—2015

中华人民共和国水利行业标准
水工混凝土结构缺陷检测技术规程
SL 713—2015

*

中国水利水电出版社出版发行
(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)
网址: www.waterpub.com.cn
E-mail: sales@waterpub.com.cn
电话: (010) 68367658 (发行部)
北京科水图书销售中心(零售)
电话: (010) 88383994、63202643、68545874
全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售
北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

*

140mm×203mm 32开本 2.75印张 74千字
2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

*

书号 155170·231
定价 30.00元

凡购买我社规程,如有缺页、倒页、脱页的,
本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

水利水电技术标准
咨询服务中心



微信二维码,扫一扫
信息更多,服务更快

水利水电技术标准咨询服务中心 简介

中国水利水电出版社标准化出版分社

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近三万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版、发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

主 任：王德鸿 010—68545951 wdh@waterpub.com.cn
副 主 任：陈 昊 010—68545981 hero@waterpub.com.cn
主任助理：王 启 010—68545982 wqi@waterpub.com.cn
责任编辑：王丹阳 010—68545974 wdy@waterpub.com.cn
章思洁 010—68545995 zsj@waterpub.com.cn
覃 薇 010—68545889 qwei@waterpub.com.cn
刘媛媛 010—68545948 lyuan@waterpub.com.cn
传 真：010—68317913