

水运工程混凝土结构冲击弹性波法 检测技术规程

Technical specification for concrete structure testing of water transport engineering
by impact echo method

地方标准信息服务平台

2019-12-20 发布

2020-01-20 实施

辽宁省市场监督管理局 发布

辽宁省地方标准

水运工程混凝土结构冲击弹性波法检测

技术规程

Technical specification for concrete structure testing of water transport engineering
by impact echo method

主编单位：辽宁省交通运输事业发展中心
参编单位：大连理工现代工程检测有限公司
中交天津港湾工程研究院有限公司

目 次

前言 II

1 总则 1

2 规范性引用标准 1

3 术语和符号 1

 3.1 术语 1

 3.2 符号 2

4 冲击弹性波检测仪 2

 4.1 技术要求 2

 4.2 校准及保养 3

5 现场检测及结果判定 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 混凝土结构构件厚度检测 4

 5.3 混凝土结构内部缺陷检测 5

 5.4 裂缝深度检测 5

 5.5 混凝土结合面质量检测 6

6 检测报告 6

附录 A 混凝土 P 波波速测试 8

附录 B 有效测试波形的判断 10

附录 C 冲击弹性波法检测混凝土厚度和内部缺陷记录表 11

附录 D 用词说明 13

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本规程由辽宁省交通运输厅提出并归口。

本规程主编单位：辽宁省交通运输事业发展中心。

本规程参编单位：大连理工现代工程检测有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司

本标准发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

归口管理部门通讯地址：沈阳市和平区十三纬路 19 号，联系电话：024—23867960。

标准起草单位通讯地址：大连市高新园区学子街 99 号，联系电话：0411—67856519。

本规程主要起草人员：喻永华、张佳运、任铮钺、鄂宇辉、刘军、闫福山、刘琳琳、尹波、刘洋、
张淼、孙丹、焦兴华、杨杰、万涛、冯琪、白雪娇、冯辉、侯玉杰、杨航、
朱熠、杨洋、王亮、李刚。

地方标准信息服务平台

水运工程混凝土结构冲击弹性波法检测技术规程

1 总则

- 1.1 为规范冲击弹性波法检测水运工程混凝土结构构件厚度、内部缺陷、裂缝深度以及混凝土结合面质量的方法和技术要求，保证检测可靠性，制定本规程。
- 1.2 本规程适用于采用冲击弹性波法检测水运工程混凝土结构，其他行业采用冲击弹性波法检测混凝土结构可参照本规程执行。
- 1.3 采用冲击弹性波检测水运工程混凝土结构时，除应执行本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 规范性引用标准

下列文件对于本规程的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本使用于本规程。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

- GB/T 50083 工程结构设计基本术语标准
JT/T 828 公路水运试验检测数据报告编制导则
JTS 257 水运工程质量检验标准
JTS 168 港口道路与堆场设计规范
JGJ/T 411 冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1

冲击弹性波 impact elastic wave

在冲击作用下，质点在弹性范围内产生的运动，并以波动形式传播。亦称为应力波。

3.1.2

主频 main frequency

在接收回波各频率成分的振幅分布中，振幅最大处对应的频率值。

3.1.3

P波 primary wave

质点的振动方向平行于波的传播方向，波传播时会产生应力（拉应力或压应力）；在本规程中特指弹性疏密波。

3.1.4

P波波速 apparent wave speed

纵波在半无限固体介质中传播时的速度，进行构件截面形状系数修正后求取。

3.1.5

阻抗 acoustic impedance

纵波速度和介质密度的乘积，用于计算冲击弹性波在边界处反射的特性。

3.1.6

R 波 Rayleigh wave

由 P 波和 SV 波合成，R 波是代表性的表面波，大部分能量集中在约 1 个波长深度范围内。

3.1.7

内部缺陷 internal defect

混凝土结构内部存在的空洞、不密实区等影响混凝土结构质量的缺陷。

3.2 符号

下列符号适用于本文：

V_p ——混凝土 P 波波速；

F ——振幅谱图中构件厚度对应的主频峰值；

T ——混凝土结构构件的厚度计算值；

hc ——被测部位混凝土结构缺陷预估深度；

t_c ——冲击持续时间；

β ——结构截面的几何形状系数；

λ ——面波波长；

$\hat{x}$ ——裂缝后/裂缝前的振幅比（须经几何衰减修正）；

H ——混凝土结构构件的实际厚度；

L ——两个接收传感器间的直线距离；

Δt ——两个接收装置所接收到信号的时间差；

κ ——截面形状系数；

C_R ——混凝土面波波速。

4 冲击弹性波检测仪

4.1 技术要求

4.1.1 冲击弹性波检测仪一般由冲击器、接收传感器、数据采集仪、分析软件、连接电缆等组成。

4.1.2 冲击弹性波检测仪一般分为以下两类：

1) 单点式：单点冲击、单点接收回波信号；

2) 扫描式：冲击器与接收传感器一体化设计，滚动扫描冲击、连续接收回波信号。

4.1.3 冲击弹性波检测仪应符合下列要求：

1) 冲击器应根据检测构件的厚度配备产生不同冲击频率的钢球型冲击器或电磁激振的圆柱形冲击器；

- 2) 接收传感器为能测量表面振动的高性能宽频带接收传感器, 可以采用位移传感器或加速度传感器, 工作频率带宽宜为 0.8kHz-100kHz;
 - 3) 数据采集仪应具备信号放大功能, 增益应可调;
 - 4) 数据采集仪配备的采集卡的通道数应不少于 2 通道, A/D 转换不低于 16 位, 采样频率不低于 100kHz 且采样点数可调;
 - 5) 数据采集仪应具有记录测试系统所使用的采集参数的功能;
 - 6) 采集及分析软件应可实时显示每次冲击时传感器的输出信号, 包括相对应的时间和电压的读数, 且具有时间域窗口选择、数字滤波、时域分析、频率幅值谱 (FFT) 分析功能。
- 4.1.4 冲击弹性波检测仪不应在有机机械振动和较大电噪音干扰环境下使用, 工作环境温度应为 (0-40)℃。

4.2 校准及保养

- 4.2.1 冲击弹性波检测仪应具有制造厂的产品合格证, 并经过检定\校准, 有效期宜为 1 年。
- 4.2.2 冲击弹性波检测仪有下列情况之一时, 应进行检定\校准后使用:
 - 1) 新仪器启用前;
 - 2) 超过校准有效期;
 - 3) 更换模块和传感器;
 - 4) 仪器维修后;
 - 5) 对仪器数据采集准确性存在疑问时。
- 4.2.3 冲击弹性波检测仪使用后, 应对冲击装置的冲击器和接收传感器及时清洁, 妥善保管。
- 4.2.4 冲击弹性波检测仪应定期保养, 仪器长时间不用时, 应将电池取出或给电池定期充电。

5 现场检测及结果判定

5.1 一般规定

- 5.1.1 检测前应进行下列准备工作:
 - 1) 调查、收集检测项目的相关资料;
 - 2) 制定检测方案;
 - 3) 核查仪器设备状态。
- 5.1.2 调查、收集的资料宜包含但不限于下列内容:
 - 1) 工程概况信息;
 - 2) 被检测结构或构件的名称、设计图纸、施工记录、施工验收等资料;
 - 3) 混凝土原材料品种和规格、混凝土配合比、混凝土浇筑和养护情况、混凝土设计强度等级等;
 - 4) 被测结构或构件其他检测资料;
 - 5) 构件、结构所处环境条件、使用期间的维修情况;
 - 6) 明确委托方检测目的和具体要求;
 - 7) 结构或构件外观质量及存在的问题。
- 5.1.3 检测方案宜包含但不限于下列内容:
 - 1) 工程概况、结构或构件设计及施工情况;
 - 2) 检测依据、目的及委托方要求;
 - 3) 检测人员及仪器设备;
 - 4) 具体测试方法、步骤、数量、位置及进度;
 - 5) 检测批划分, 测区、测线、测点布置等;

- 6) 安全措施;
 - 7) 其他配合的工作。
- 5.1.4 检测部位混凝土表面应清洁,且不应有蜂窝、孔洞及疏松等外观质量缺陷。当表面不平整时,打磨处理后检测。
- 5.1.5 检测中出现可疑区域或测点时,应对其进行复测或加密检测,必要时采用取芯或其他方法进行验证。
- 5.1.6 检测时,传感器轴线应垂直于混凝土表面并与混凝土表面间处于良好的耦合状态。
- 5.1.7 被检混凝土的强度应达到设计强度的 70%以上。
- 5.1.8 采用扫描式冲击弹性波检测系统检测时,扫描器应紧贴混凝土表面,宜匀速滚动,移动速率不宜大于 0.1m/s。
- 5.1.9 冲击器的选取应参考下表执行:

表 5.1.9 选取冲击器参考表

被检构件厚度 (cm)	<20	20~60	>60
冲击器前段曲率半径 (mm)	<10	8~15	>15

- 5.1.10 检测时接收的波形应为有效测试波形,波形表示完整,不得有削峰现象。

5.2 混凝土结构构件厚度检测

- 5.2.1 混凝土结构构件厚度检测的抽查数量和抽检部位应符合下列要求:
- 1) 对于道路或堆场混凝土面层,应按面积划分测区,每 10000 平方米应不少于 10 个测区,测区面积应不小于 1 m²,且测区应具有代表性,相邻两测区间距应不小于 9m;
 - 2) 测点位置应根据结构重要程度选择在具有代表性的部位;
 - 3) 每一测区测点布置宜选取等间距方式布置测点,测点布置应不少于 10 个。
- 5.2.2 冲击点位置与传感器的间距宜为构件设计厚度的 0.4 倍;测点或测区中的测线距构件边缘应不小于所测构件实际厚度的 0.3 倍。
- 5.2.3 混凝土构件厚度应按下列方法确定:
- 1) 按本规程附录 A 进行混凝土 P 波波速的测定;
 - 2) 每测点应测试不少于 3 个有效波形,有效波形的判断应参考附录 B 进行判断,并分析出各有效波形的主频 (f),各有效波形主频与平均值的差应不超过 2 Δf (一阶二阶的频率差),振幅谱图中构件厚度对应的主频峰值 (f) 为各测点有效主频峰值的平均值 (Hz);
 - 3) 结构构件厚度应按下式计算:

$$T = \frac{V_p}{2f}$$

(公式 5.2.3)

式中 T——混凝土结构构件的厚度计算值 (m),精确至 0.001m;

V_p ——混凝土 P 波波速 (m/s);

f——振幅谱图中构件厚度对应的主频峰值 (Hz)。

- 5.2.4 混凝土厚度结果判定应符合下列规定:

表 5.2.1 混凝土厚度检测结果判定标准

构件类型	混凝土厚度合格判定标准
普通混凝土构件	单点厚度检测值与设计值偏差不得超过±5mm
道路、堆场混凝土面层厚度	检测的厚度平均值应不小于设计厚度,检测的厚度最小值不得比设计厚度小 15mm
沉箱等大型构件	单点厚度检测值与设计值偏差不得超过±10mm

5.3 混凝土结构内部缺陷检测

5.3.1 测区大小应不小于预估缺陷的区域；测点宜按网格状布置，间距不宜大于 30cm。

5.3.2 冲击点位置与传感器的间距按本规程 5.2.2 条规定执行。

5.3.3 混凝土结构内部缺陷检测应符合下列要求：

- 1) 按本规程附录 A 进行 P 波波速的测定，所测得波速值作为缺陷深度计算的基本参数；
- 2) 冲击持续时间应小于 P 波往返传播时间，可按下列式估算：

$$t_c < \frac{2h_c}{V_p} \quad (\text{公式 5.3.3})$$

式中 t_c ——冲击持续时间 (s)；

V_p ——混凝土 P 波波速 (m/s)；

h_c ——被测部位混凝土结构内部缺陷预估深度 (m)。

3) 检测过程中，若某测点测试波形出现异常，应查明原因后复测；

4) 对采集的波形进行频谱分析，当所得的振幅谱无明显峰值时，应查明原因或重新选取冲击器测试；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。

5.3.4 检测结果及整理应符合下列规定：

- 1) 应对振幅谱中各峰值进行分析，给出缺陷振幅值所对应的频率值 f ；
- 2) 混凝土结构内部缺陷深度应按下列式计算：

$$h_c = \frac{\beta V_p}{2f} \quad (\text{公式 5.3.4})$$

式中 h_c ——被测部位混凝土结构内部缺陷深度 (m)；

f ——缺陷振幅峰值所对应的频率值 (Hz)；

V_p ——被测混凝土 P 波波速 (m/s)；

β ——结构构件截面的几何形状系数，可取 0.80~0.96。

3) 应根据测试结果所确定的缺陷位置绘制缺陷平面图。

5.4 裂缝深度检测

5.4.1 测点布置应符合下列要求：

- 1) 初步了解裂缝成因，测点的布置应具有代表性；
- 2) 每条裂缝测点布置应不少于 3 处，宜位于裂缝中部和两端；
- 3) 应避开混凝土表面蜂窝、结构缝位置。

5.4.2 裂缝深度检测应按下列步骤进行：

1) 1 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。各点应处在同一直线上，并与裂缝走向正交。如图 5.4.2 所示。

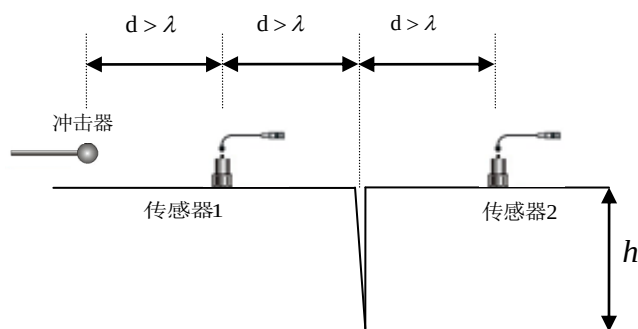


图 5.4.2 裂缝深度测定示意图

h ——裂缝深度； d ——冲击点与传感器的距离； λ ——传感器与裂缝的距离

2) 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 值可按下式估算：

$$\lambda = 2t_c C_R \quad (\text{公式 5.4.2-1})$$

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。

3) 裂缝深度按下式进行计算：

$$h = -\frac{1}{\zeta} \ln \hat{x} \quad (\text{公式 5.4.2-2})$$

式中 h ——裂缝深度 (m)；

ζ ——常数，宜通过标定得出；

$\hat{x}$ ——裂缝后/裂缝前的振幅比（须经几何衰减修正）。

5.4.3 裂缝深度检测结果 h 应不大于 1.3 倍面波波长 λ ，否则应更换冲击器的型号重新测试。

5.5 混凝土结合面质量检测

5.5.1 测区、测点的布置可参照 5.2 条中的相关规定执行。

5.5.2 冲击点位置与传感器的间距按本规程 5.2.2 条规定执行。

5.5.3 测试混凝土结合面质量时，测试面宜平行于结合面。

5.5.4 混凝土结合面质量检测应按照本规程 5.3.3 条规定执行。

5.5.5 混凝土结合面质量检测结果的处理可参照本规程 5.3.4 条规定执行。

6 检测报告

6.1 检测原始记录宜按本规程附录 C 填写，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，应标注于简图中。

6.2 报告编制方式参照《公路水运试验检测数据报告编制导则》JT/T828。

6.3 检测报告宜包括下列内容：

- 1) 工程建筑概况，工程名称及规模，结构类型及外观描述；
- 2) 委托单位名称，任务来源和检测目的；
- 3) 工程设计单位、施工单位及监理单位名称；
- 4) 检测规程，检测项目和数量，检测方法；

- 5) 检验仪器设备型号、特性参数、检定情况;
- 6) 检测布置图, 必要的工程照片;
- 7) 检测结果, 包括整理后的数据和图表及需要说明的事项;
- 8) 检测结论;
- 9) 相关人员签字, 报告完成日期。

地方标准信息服务平台

附录 A

(资料性附录)

混凝土 P 波波速测试

A.1 用于测试混凝土 P 波波速的构件，应与被测结构构件的技术参数基本一致。

A.2 可直接测量构件厚度值，或可采用钻孔获取被测构件（区域）厚度 H 时，采用一个接收传感器进行测试，具体步骤如下：

a) 获取构件被测区域的实际厚度值；

b) 用接收传感器在平整混凝土表面进行检测，观察数据采集系统中时域图和振幅谱图的波形变动情况，当出现与厚度值 H 对应的一个有效波形的振幅谱且只有单主峰值时，读取频域曲线图中主频率峰值 f ；

c) 采用下式计算混凝土 P 波波速值：

$$V_p = 2Hf \quad (\text{公式 A.0.2})$$

式中 V_p ——混凝土 P 波波速 (m/s)，精确至 1m/s；

H ——混凝土结构构件的实际厚度 (m)，精确至 0.001 m；

f ——频域曲线图中主频率峰值 (Hz)，精确至 0.1 Hz。

d) 混凝土 P 波波速测试不宜少于 3 次，每个 P 波波速与平均值的差不超过平均值的 5%，取多次测试的 P 波波速的平均值作为待测构件的混凝土 P 波波速值。

A.3 当构件所测区域厚度不能量测或不便获取构件所测区域厚度时，采用两个接收传感器（图 A.3）进行 P 波波速测试，具体步骤如下：

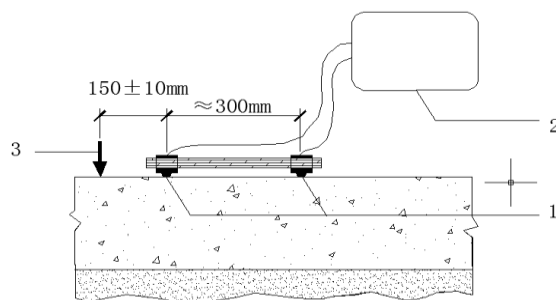


图 A.3 冲击回波法测试结构或构件混凝土 P 波波速

1—接收传感器；2—数据采集和分析系统；3—冲击源（器）

a) 按图 A.3 将冲击弹性波检测仪的两个接收传感器置于结构或构件表面，在两传感器连线的外侧激发冲击弹性波。

b) 安装好仪器，检查获取的波形。如果从两个传感器获取的波形都有效，则存储以便后期分析。当纵波无法分辨，应在同一点重复进行测试，或者在传感器和混凝土接触良好的另一个位置重新进行测试。

c) 数据采集系统屏幕上应在同一时间坐标中显示从两个传感器分别接收到的两段时域波形。

d) 确定纵波平直段的时间。在时间坐标上分别读取并记录第一个和第二个传感器接收的波段上电压基准线数值开始变化点的时间数值 t_1 和 t_2 。计算纵波到达的时间差 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，该时间差即为传播时间。

e) 该方法测试纵波在混凝土中传播的 P 波波速值可采用下式计算：

$$V_p = \frac{10^6 L}{\Delta t} \kappa \quad (\text{公式 A.3})$$

式中 V_p ——混凝土 P 波波速 (m/s)；精确至 1m/s；

L ——两个接收传感器间的直线距离(m); 精确至 0.001m;

Δt ——两个接收装置所接收到信号的时间差 (μs);

κ ——截面形状系数, 对于板(混凝土板、墙等), 可取 0.96, 对其他截面几何形式可通过现场试验确定;

f) 每次测试选取一个测点, 每个测点应通过改变采样时间间隔重复进行两次测试, 当该测点上两次测得的传播时间相近, 则可进行其他测点的测试。若两次传播时间不同, 应进行第三次测试, 直至测得的传播时间数值相近为止, 相近的时间值作为传播时间的真实值。若三次测试中任何两个数据都不吻合, 应检查传感器与混凝土表面连接是否良好后再继续进行测试。

g) 混凝土 P 波波速测试不宜少于 3 个测点, 每个 P 波波速与平均值的差不超过平均值的 5%, 取多次测试的平均值作为待测构件的混凝土 P 波波速值。

地方标准信息服务平台

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/738030141022006034>