

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2014年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2013]169号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考了有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规程。

本规程的主要技术内容是:1 总则;2 术语和符号;3 冲击回波仪;4 现场检测及结果判定。

本规程由住房和城乡建设部负责管理,由江苏金土木建设集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送江苏金土木建设集团有限公司(地址:江苏省常熟市东环路1号,邮编:215500)。

本 规 程 主 编 单 位:江苏金土木建设集团有限公司
河北建设集团有限公司

本 规 程 参 编 单 位:江苏省建筑工程质量检测中心有限
公司

国家建筑工程质量监督检验中心

江苏武进建工集团有限公司

福建省建筑科学研究院

深圳市莫尼特仪器设备有限公司

中南林业科技大学

河北犬博建设科技有限公司

石家庄铁道大学

安徽省水利部淮河水利委员会水利科
学研究院

上海苏科建筑技术发展有限公司

四川升拓检测技术有限责任公司
林芝市住房和城乡建设局
常熟市建设工程质量监督站
苏州市建设工程质量安全监督站
华煜建设集团有限公司

本规程主要起草人员：张亚挺 孙正华 崇金玲 温惠清
滕 斌 高秋利 史东库 魏晓斌
杨丙文 严 骏 王 艳 刘永奇
姚志玉 徐教宇 曹 旦 徐立强
胡晓泉 吴佳晔 钟嘉辉 王智丰
田党信 江厚权 刘尧军 林立军
陈 松 崔德密 张今阳 吴 俊
季 育 朱纪刚 朱传娣 朱 郁
张 余 顾文明 陈定方 刘加贝
本规程主要审查人员：陈 凡 郭正兴 傅 翔 赵荣欣
刘晓光 徐凯燕 吴 瑾 罗 斌
彭建和 王自福 费毕刚

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	冲击回波仪	4
3.1	技术要求	4
3.2	校准	4
4	现场检测及结果判定	5
4.1	一般规定	5
4.2	混凝土构件厚度及内部缺陷检测及结果判定	6
4.3	有粘结后张法预应力孔道灌浆缺陷检测及结果判定	8
4.4	隧道衬砌背后注浆缺陷检测及结果判定	8
4.5	混凝土结合面质量检测及结果判定	9
4.6	检测报告	9
附录 A	冲击回波仪校准方法	11
附录 B	混凝土表观波速测试	12
附录 C	冲击回波法检测混凝土厚度和缺陷记录表	15
	本规程用词说明	16

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Impact echo Instrument	4
3.1	Technical Requirements	4
3.2	Verification	4
4	Testing Technology and Test Results	5
4.1	General Requirements	5
4.2	Detecting Thickness and Internal Defects of Concrete Structures and Test Results	6
4.3	Detecting Grouting Quality of Tendon Ducts and Test Results	8
4.4	Detecting Grouting Quality of Tunnel Lining and Test Results	8
4.5	Detecting the Density of Concrete bonding Surface and Test Results	9
4.6	Test Report	9
Appendix A	Impact Echo Instrument Calibration Method	11
Appendix B	Measurement of Concrete Apparent Wave Speed	12
Appendix C	Testing Record of Concrete Thickness and Inner Flaw by Impact Echo	15
	Explanation of Wording in this Specification	16

1 总 则

1.0.1 为规范冲击回波法检测混凝土缺陷的技术方法，保证检测的准确性和可靠性，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于混凝土结构构件内部缺陷的冲击回波法检测。

1.0.3 采用冲击回波法检测混凝土缺陷，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

住房城乡建设部信息公开
浏览专用

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 冲击回波法 impact echo method

通过冲击方式产生瞬态冲击弹性波并接收冲击弹性波信号，通过分析冲击弹性波及其回波的波速、波形和主频频率等参数的变化，判断混凝土结构的厚度或内部缺陷的方法。

2.1.2 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。

2.1.3 冲击弹性波 impact elastic wave

冲击作用下的质点以波动形式传播在弹性范围内产生的运动，亦称应力波。

2.1.4 纵波 primary wave

质点的振动位移方向平行于波的传播方向，波传播时会产生拉应力或压应力。

2.1.5 测区 testing zone

可以进行冲击回波法施测的构件表面区域，一个构件可指定或随机布置一个或若干个测区。

2.1.6 测线 testing line

在被测构件表面按一定方向布置的测点组成的线。

2.1.7 测点 testing point

测区内或测线上的检测点。

2.1.8 表观波速 apparent wave speed

纵波在半无限固体介质中传播时的速度。

2.2 符 号

- f ——振幅谱图中构件厚度对应的主频；
- f_c ——根据无缺陷构件厚度计算对应的频域曲线主频；
- f_s ——孔道内灌浆密实时，可能出现的另一个高频峰值；
- f_v ——孔道内灌浆不密实时，可能出现的另一个高频峰值；
- Δf ——频率采样间隔；
- H ——混凝土结构构件的实际厚度；
- k ——截面形状系数；
- L ——两个接收传感器间的直线距离；
- T ——混凝土结构构件的厚度计算值；
- Δt ——两个接收装置所接收到信号的时间差；
- v_p ——混凝土表观波速。

3 冲击回波仪

3.1 技术要求

- 3.1.1 冲击回波法检测可采用单点式或扫描式冲击回波仪。
- 3.1.2 冲击回波仪应符合下列规定：
 - 1 应配置钢球型冲击器或电磁激振的圆柱型冲击器；
 - 2 应配置测量表面振动的宽频带接收传感器，可为位移传感器或加速度传感器，带宽宜为 800Hz~100kHz；
 - 3 数据采集仪应具备信号放大功能，且增益可调；
 - 4 数据采集仪宜配有不少于 2 通道的模/数转换器，转换精度不应低于 16 位，采样频率不应低于 100kHz 且采样点数可调；
 - 5 仪器应能实时显示冲击时传感器的输出时域信号，并应具有频率幅值谱分析功能。
- 3.1.3 冲击回波仪工作环境温度宜为 0℃~40℃，不宜在机械振动和高振幅电噪声干扰环境下使用。

3.2 校准

- 3.2.1 冲击回波仪应定期进行校准，周期不宜超过 1 年。
- 3.2.2 仪器更换配件或维修后，冲击回波仪应校准后方可使用。
- 3.2.3 冲击回波仪校准方法应符合本规程附录 A 的规定。

4 现场检测及结果判定

4.1 一般规定

- 4.1.1 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。
- 4.1.2 调查、收集的资料宜包括下列内容：
 - 1 工程名称及设计、施工、监理、建设和委托单位名称等；
 - 2 被检测结构构件的名称、设计图纸、设计变更、施工记录、施工验收等；
 - 3 混凝土原材料品种和规格、配合比、浇筑和养护情况、设计强度等级等；
 - 4 构件、结构所属环境条件、使用期间的加固情况；
 - 5 明确委托方检测目的和具体要求；
 - 6 结构构件外观质量及存在的问题。
- 4.1.3 检测方案应根据实际被测对象进行制定，可包括下列主要内容：
 - 1 工程概况、结构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 测区划分、测线布置；
 - 5 测试方法、步骤、数量、位置及进度；
 - 6 其他配合工作。
- 4.1.4 受检构件测区外缘距构件的变截面或侧表面的最小距离，应大于沿冲击方向的构件厚度。
- 4.1.5 检测部位混凝土表面应清洁、平整，且不应有蜂窝、孔

洞等外观质量缺陷。当表面不平时，应打磨平整。

4.1.6 当检测中出现可疑区域或测点时，应对其复测或加密检测；当仍不能确定时，可取芯验证。

4.1.7 结构构件缺陷及厚度测试所采用的表观波速值，可按本规程附录 B 的方法确定。

4.1.8 测区范围应大于预估缺陷的区域，并应有进行对比的同条件正常混凝土部位，测区应标明各自的编号和位置。

4.1.9 当采用单点式冲击回波仪检测时，应符合下列规定：

1 每个测区的测点，应按等间距网格状布置，且不应少于 20 个测点；

2 应标明测点的编号和位置；

3 传感器和混凝土测试表面应处于良好的耦合状态；

4 冲击点位置与传感器的间距应小于设计厚度的 0.4 倍；

5 当检测面有沟槽或表面裂纹时，传感器和冲击器应位于沟槽或表面裂纹同侧。

4.1.10 采用扫描式冲击回波仪检测时，应符合下列规定：

1 测线的位置和测线网格的疏密应根据预估缺陷的位置和大小确定。对于预应力混凝土构件孔道灌浆缺陷，宜垂直于预应力孔道的走向进行检测；对于隧道衬砌背后注浆缺陷，宜沿隧道纵向与环向分别布置测线进行检测。测线的布置不应横跨沟槽或表面裂纹。

2 扫描器应紧贴混凝土表面匀速滚动，移动速率不宜大于 0.1m/s。

4.1.11 检测时，应观察时域和频域的波形变化，可选择低通或高通滤波方式进行波形处理。当无法获得有效波形时应进行复测。

4.1.12 检测原始记录宜按本规程附录 C 填写。

4.2 混凝土构件厚度及内部缺陷检测及结果判定

4.2.1 非预应力混凝土构件及预应力构件中，无预应力孔道区

域的厚度与内部缺陷检测可分别根据实测频域曲线的主频和主频漂移情况判定。

4.2.2 当构件厚度已知时，应采用已知厚度对表观波速进行标定。

4.2.3 混凝土结构构件厚度检测应符合下列规定：

1 在构件测区内应按本规程第 4.1 节要求布置测点或测线，每测点应取 3 个有效波形，并应分析各有效的主频 (f)。主频 (f) 与平均值的差不应超过 $2\Delta f$ ，测点的振幅谱图中构件厚度对应的主频 (f) 应为 3 个有效主频的算术平均值。

2 结构构件厚度应按下式计算：

$$T = \frac{v_p}{2f} \quad (4.2.3)$$

式中： T ——结构构件的厚度计算值 (m)；

v_p ——混凝土表观波速 (m/s)；

f ——振幅谱图中构件厚度对应的主频 (Hz)。

4.2.4 混凝土结构构件内部缺陷判定应符合下列规定：

1 频域曲线主频 f_c 应根据对应的无缺陷构件厚度进行计算。

2 根据实测的波形频谱图，找出主频 f ，与计算主频 f_c 进行比较。对于主频 f 之外的频率应结合检测结构构件形状、钢筋直径、保护层厚度、管线布设、预埋件位置等情况进行综合分析判断，确定内部缺陷位置。

4.2.5 当冲击回波仪具备三维图、厚度-距离图分析功能时，可根据下列情况进行缺陷分析：

1 当振幅谱图中只有单峰形态且主频 f 与计算主频 f_c 差值不超过 $2\Delta f$ ，厚度-距离图显示构件厚度值随测试的距离无明显变化时，可判定混凝土密实。

2 当振幅谱图中主频 f 与计算主频 f_c 相差较大，振幅谱中频率峰呈多峰形态，且向低频漂移时，可判定混凝土内部有

缺陷。

3 实测波形信号复杂、振幅衰减缓慢、无法准确分析与评价时，宜结合其他检测方法进行综合测试。对于判别困难的区域可采取钻芯核实。

4 内部缺陷位置估算值可按本规程第 4.2.3 条计算确定，其中主频 f 值应取振幅谱缺陷波峰对应的频率值。

4.3 有粘结后张法预应力孔道灌浆缺陷检测及结果判定

4.3.1 测线宜垂直于预应力孔道走向布置；当有双层孔道时，宜从两个侧面进行检测。

4.3.2 测线上各测点的间距应小于 0.5 倍的孔道直径，冲击点和接收器间的距离宜小于测点的间距。

4.3.3 预应力孔道灌浆前，宜检测预应力孔道位置及混凝土构件的内部缺陷。

4.3.4 现场检测宜在灌浆 7d 后进行。

4.3.5 当测得的构件厚度频率峰值 f 与无预应力孔道部分的构件厚度频率峰值 f_s 基本相同，或向低频轻微漂移并出现另一个高频峰值 f_v ，可判断孔道内灌浆密实。

4.3.6 当测得的构件厚度频率峰值 f 明显小于无预应力孔道部分的构件厚度频率值，或向低频明显漂移并出现另一个高频峰值 f_v ， f_v 约为 2 倍 f_s ，可判断孔道内灌浆不密实。

4.4 隧道衬砌背后注浆缺陷检测及结果判定

4.4.1 对隧道管片、二次衬砌背后的注浆不密实缺陷，可根据检测部位测得的相对振幅与相对振幅阈值作比较后进行判定。

4.4.2 检测前宜通过计算或现场敲击试验确定最优的弹性波频率及相应的激振锤。注浆完全密实和完全脱空条件下的相对振幅阈值应通过现场试验确定。

4.4.3 检测区域可布置网格状测点，检测数据应采用频谱分析进行处理，并应根据不同频率绘制检测区域不同深度的相对振幅

图。根据测点测得的相对振幅，绘制检测区域平面内的相对振幅平面成像图。

4.4.4 注浆情况宜根据不同深度的相对振幅图，并结合相对振幅平面成像图，综合分析后判定。当检测部位的相对振幅大于或等于完全脱空条件下的相对振幅阈值时，可判定该部位存在明显的注浆缺陷；当检测部位的相对振幅小于完全脱空条件下的相对振幅阈值但大于完全密实条件下的相对振幅阈值时，可判定该部位为注浆缺陷疑似部位。

4.5 混凝土结合面质量检测及结果判定

4.5.1 板状构件新旧混凝土和钢-混组合结构构件的结合面分层空鼓检测，可根据时域信号分析判定。

4.5.2 混凝土结合面缺陷测试时，测试面宜平行于结合面。

4.5.3 有下列情况之一，可判断结合面分层、空鼓：

1 冲击弹性波的反射时间明显长于无空鼓区域时。

2 通过厚度-距离图、三维图、振幅谱图的综合分析得出的测试构件厚度为表层结构厚度时。

4.5.4 混凝土结合面缺陷判定，应标识典型空鼓部位，绘制空鼓分布示意图，计算空鼓区域比例。

4.6 检测报告

4.6.1 检测工作完成应出具检测报告，宜包括下列主要内容：

1 委托单位名称；

2 工程概况，包括工程名称、结构类型、规模、施工日期及现状等；

3 建设单位、设计单位、施工单位及监理单位名称；

4 检测原因、检测目的；

5 检测项目、检测方法及检测依据；

6 仪器设备名称、型号、校准日期；

7 抽样方法、检测数量与检测的位置；

- 8 检测日期，报告完成日期；
- 9 数据采集系统使用的参数；
- 10 检测数据分析；
- 11 检测结论。

住房城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 A 冲击回波仪校准方法

A.0.1 校准试件应按下列要求制备：

- 1 混凝土抗压强度不应小于 20MPa；
- 2 厚度不应小于 150mm，长宽尺寸均不应小于厚度的 6 倍；
- 3 不得有内部缺陷。

A.0.2 校准时，每次选取的测点位置应一致。

A.0.3 校准试件的测试厚度，应按本规程第 4.2.3 条的规定进行测试，且应满足下式要求：

$$\left| \frac{T-H}{H} \right| \times 100\% \leq 5\% \quad (\text{A.0.3})$$

式中： H ——直接量测的校准试件的实际厚度（m）；

T ——校准试件测试厚度的算术平均值（m）。

附录 B 混凝土表观波速测试

B.0.1 当构件所测区域厚度不能量测时，可采用两个接收传感器（图 B.0.1）进行表观波速测试。表观波速测试步骤进行应符合下列规定：

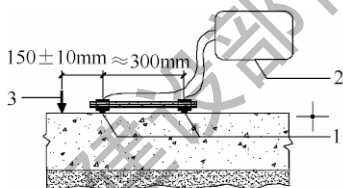


图 B.0.1 冲击回波法测试结构构件混凝土表观波速示意图

1—接收传感器；2—数据采集和分析系统；3—冲击源（器）

1 应将冲击回波仪的两个接收传感器置于结构构件表面，在两个传感器连线的外侧激发冲击弹性波。

2 当从两个传感器获取的波形都有效时，可存储波形，进行分析。当纵波无法分辨时，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。

3 从两个传感器分别接收到的两个时域波形应在同一时间坐标中显示。

4 应分别读取并记录第一个和第二个传感器接收信号在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 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

5 混凝土构件纵波传播的表观波速值可按式计算：

$$v_p = \frac{10^6 L}{\Delta t} k \quad (\text{B.0.1})$$

式中： v_p ——混凝土表观波速（m/s）；

L ——两个接收传感器间的直线距离（m）；

Δt ——两个接收传感器所接收到信号的时间差 (μs);

k ——截面形状系数, 可通过现场试验确定。

6 应通过改变采样时间间隔对同一测点重复进行两次测试, 当该测点上两次测得的传播时间相同时, 则可进行其他测点的测试。当两次测试的信号时间差不同时, 应进行第三次测试, 取与前两次值相同的值作为传播时间的测试值。当三个数据都不同时, 应检查原因, 排除故障后再继续进行测试。

7 混凝土表观波速测试不宜少于 3 个测点, 测试结果与平均值的差不超过平均值的 5%, 取多次测试的表观波速平均值作为待测构件的混凝土表观波速值。

B.0.2 在能直接测量构件厚度值及采用钻孔取芯直接测量被测试构件 (区域) 厚度值的情况下, 可采用一个接收传感器, 测试步骤应符合下列规定:

1 应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只有单主峰值时, 读取频域曲线图中主频值 f ;

2 混凝土表观波速值可按下列公式计算:

$$v_p = 2Hf \quad (\text{B.0.2})$$

式中: v_p ——混凝土表观波速 (m/s);

H ——混凝土结构构件直接量测的实际厚度 (m);

f ——振幅谱中构件厚度对应的频率值 (Hz)。

3 混凝土表观波速测试不宜少于 3 个测点, 测试结果与平均值的差不应超过平均值的 5%, 可取多次测试的表观波速平均值作为待测构件的混凝土表观波速值。

B.0.3 检测原始记录宜按表 B.0.3 填写。

表 B.0.3 混凝土表面波速测试记录表

委托编号			工程名称				
测试日期			检测依据				
施工日期			设计强度等级				
构件名称			检测环境/构件表面状态				
仪器设备	型号:		编号:				
	参数	采样频率= kHz; 采样点数= 点; 滤波方式:					
<input type="checkbox"/> 方法一 (B.0.1)	$v_p = \frac{10^6 L}{\Delta t} k$						
	次数	第1次(点)		第2次(点)		第3次(点)	第 <i>i</i> 次(点)
		1	2	1	2	1	2
	<i>L</i>						
	$t_2; t_1; \Delta t$						
	<i>k</i>						
	v_p						
	构件的混凝土表面波速值 (m/s):						
<input type="checkbox"/> 方法二 (B.0.2)	$v_p = 2Hf$						
	次数	第1次(点)	第2次(点)	第3次(点)	第 <i>i</i> 次
	<i>H</i>						
	<i>f</i>						
	v_p						
	构件的混凝土表面波速值 (m/s):						
测试位置示意图:							

测试:

记录:

第 页 共 页

本规程用词说明

1 为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：
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：
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，在条件许可时首先这样做的：
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，可采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。