

ICS 93.040

CCS P 28

团 体 标 准

T/JSTERA 55—2024

装配式混凝土桥梁施工 灌浆质量检测 冲击弹性波法

Construction of prefabricated concrete bridges—Grouting quality inspection
—Shock elastic wave method

2024 - 05 - 30 发布

2024 - 06 - 01 实施

江苏省交通经济研究会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
5 仪器	1
6 准备工作	2
6.1 基准调试	2
6.2 技术准备	3
7 现场检测	3
7.1 方法选择	3
7.2 测点布置	3
7.3 检测步骤	3
8 数据分析和检测报告	5
8.1 数据分析	5
8.2 检测报告	5
附录 A (资料性) 套筒灌浆密实性检测用表	6
附录 B (资料性) 冲击弹性波检测数据时域分析方法	7
B.1 时域分析法	7
B.2 分析方法	8
附录 C (资料性) 冲击弹性波法检测套筒灌浆密实性检测结果的影响因素	9
C.1 试件厚度	9
C.2 套筒布置方式	9
C.3 箍筋及钢筋网片	9

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。

本文件由江苏省交通经济研究会提出并归口。

本文件起草单位：中石化胜利建设工程有限公司、无锡市交通运输局、江苏省交通集团有限公司、中交第一航务工程局有限公司、中国建筑第七工程局有限公司、中铁十局集团第四工程有限公司、江苏镇江路桥工程有限公司、中铁十局集团有限公司、四川升拓检测技术股份有限公司、常州市交通运输综合行政执法支队、常州交通建设管理有限公司、江苏腾达工程检测有限公司、中交二公局第三工程有限公司、江苏森淼工程质量检测有限公司、中交一公局第二工程有限公司、溧阳市交通工程建设事业发展中心、华设检测科技有限公司、中铁大桥局集团有限公司（江苏广亚建设集团有限公司）、中铁四局集团有限公司。

本文件主要起草人：贾丽杰、王国明、孙劲英、赵书锋、孙超、王振滨、邵浩东、龚玉宇、崔振华、苏雷成、曹向浦、徐德民、包旭、孙明祥、周跃明、任永泉、施亮、朱蕊、丰荣良、庄云、尹发聪、任孝忠、鲁飞、毛安静、杨森、袁野、申军、赵宝根、张惠闵、孙乐泉、杨亚峻、曾腾腾、王成建、占卫国、俞科峰、陈光林、黄建科、杨磊、何雨、黄飞、邱俊彦、雷松、汤勤、韩辉、吴伟俊、李杰民、郭璩琴、贾云清、刘金涛、邹文军、廖波、张伟、魏赛赛、江铖、张亚楠、李毅、吴涛、黄志奕、陈锋、宋建强、董戈、汤彬伟、徐春风、陈晶晶、蒋蔚、王芮文。

装配式混凝土桥梁施工 灌浆质量检测 冲击弹性波法

1 范围

本文件规定了装配式混凝土桥梁下部结构冲击弹性波法灌浆密实性检测的基本规定、仪器、准备工作、检测、数据处理和检测报告等内容。

本文件适用于公路预制装配式桥梁套筒连接灌浆采用冲击弹性波法的质量检测。

2 规范性引用文件

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。

T/JSJTQX 20-2021 电磁感应法钢筋保护层厚度检测技术规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冲击弹性波法

一种无损检测技术，它利用冲击器产生瞬时冲击力，并通过传感器等接收器捕捉由这些冲击力引起的弹性波信号，并通过仪器进行信号的解析和输出。

注：冲击弹性波法的原理在于：当弹性波进入混凝土内部时，如果遇到缺陷，它会部分反射回来。通过记录反射波的到达时间和振幅，结合弹性波的传播速度公式，可以计算出缺陷的位置、形状和大小信息。这种方法不仅适用于检测混凝土表面的裂缝、空洞、风化和松散等缺陷，而且能够在不损害混凝土结构的前提下进行快速、准确的检测，提高了结构的可靠性和安全性。

3.2

灌浆密实性

钢筋采用套筒灌浆方式连接时，灌浆结束并稳定后，套筒内灌浆的充盈状态。

[来源：T/CECS 683-2020，2.0.1，有修改]

3.3

基准调试

为保证检测结果与实际状态一致性，冲击回波仪在检测之前，对标准件进行检测，并将仪器检测结果与标准件情况进行对比，调节仪器相关参数，使其一致的过程。

4 基本规定

4.1 冲击弹性波法检测套筒灌浆密实性时，灌浆料应达到设计强度，且应在灌浆至少3d后进行检测。

4.2 在检测前，应对仪器设备进行基准调试。

5 仪器

5.1 冲击弹性波法检测灌浆质量的仪器为冲击回波仪，冲击回波仪符合下列规定：

- a) 应配置钢球型冲击器，冲击器根据不同测试条件配备两种直径，分别为 D17、D30；
 - b) 传感器采用加速度传感器，耦合方式为高阻尼传感器支座；
 - c) 数据采集仪应具备信号放大功能，且增益可调；宜配有不少于 2 通道的模/数转换器，转换精度应不低于 16 位，采样频率应不低于 100kHz 且采样点数可调；
 - d) 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。
- 5.2 仪器应具有对信号触发、数据采集、数据保存、数据分析等功能，其中数据分析功能包括快速傅里叶变换（FFT）和最大熵法（MEM）频谱分析，并可以绘制曲线图。
- 5.3 冲击回波仪工作环境温度宜为 0℃~40℃，不应在机械振动和高振幅电噪声干扰环境下使用。
- 5.4 仪器校准周期为一年。新购仪器、超过校准有效期限或校准有效期内有过系统维修时，应由法定计量检定机构进行校准。

6 准备工作

6.1 基准调试

- 6.1.1 基准调试应包括波速调试和缺陷区域验证两部分。波速调试和缺陷区域验证应事先分别制作标准件。
- 6.1.2 用于仪器读数矫正的标准件应满足下列要求：
- a) 校准试件混凝土抗压强度应与待测构件强度等级相一致；
 - b) 校准试件厚度应不小于 150mm，长宽尺寸均应不小于厚度的 6 倍；
 - c) 校准试件不应有内部缺陷。
- 6.1.3 用于缺陷区域验证的标准件满足下列要求：
- a) 人为设置套筒灌浆缺陷进行缺陷检测，检测套筒应不少于 3 组，每组 3 根；
 - b) 每组 3 根分别设计顶部灌浆缺陷，中部灌浆缺陷，顶部和中部灌浆缺陷 3 种缺陷类型，每处缺陷长 100mm，每种缺陷设计相同的 3 根套筒用来对比试验；
 - c) 人为设置缺陷时，宜采用羊皮、泡沫等吸波性良好的材料作为填充物进行，分别在螺纹钢筋的顶部和中部缠绕羊皮、泡沫等，并且记录羊皮的位置；
 - d) 把缠绕羊皮的钢筋进行套筒灌浆，待灌浆料凝固后进行检测。
- 6.1.4 波速调试应按如下步骤进行：
- a) 在构件测区内布置测点或测线，每测点应取 2 个有效波形，一个孔道所有测点数据采集完成后，即可对孔道位置测试数据与正常混凝土测试进行时域频谱解析，当被测孔道测点弹性波波速相较于正常混凝土测点弹性波波速有延迟时，可判断该测点处存在灌浆缺陷。
 - b) 标准件检测反射时间应按公式（1）计算。

$$T = \frac{2H}{v_p} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

T ——冲击弹性波反射时间，单位为毫秒（ms）；

V_p ——混凝土波速，单位为米/秒（m/s）；

H ——混凝土结构厚度，单位为米（m）。

- c) 标准件厚度还应满足公式（2）的规定：

$$\frac{B_h - h}{B_h} \times 100\% \leq 5\% \dots\dots\dots(2)$$

式中：

B_h ——标准厚度，单位为米（m）；

h ——直接量测的校准试件的实际厚度，单位为米（m）。

d) 调试时，每次选取的测点位置应一致；

e) 如读数不满足上述条件，应进行读数矫正。

6.1.5 缺陷区域验证方法如下：

a) 应在灌浆料凝固后达到设计强度后进行检测；

b) 在标准件的外壁每隔 20mm 竖向布置一处测点，每个套筒布置两列测点；

c) 对测点进行检测，每列测点检测 3 次；

d) 判断灌浆不密实区域；

e) 检测结果显示不密实区域与实际不密实区域进行偏差检查，位置偏差应不大于 10mm。

6.2 技术准备

6.2.1 检测前应调查、收集所检测构件的基本情况，包括套筒的型号、数量、布设位置、结构尺寸、保护层厚度等。

6.2.2 调查构件所处的环境条件。

6.2.3 应在同一工程套筒灌浆质量检测前，统一编制检测方案。包括工程概况、检测依据、检测人员和仪器、测区划分、测线布置、检测方法、检测步骤、检测数量、检测位置等。

6.2.4 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。

7 现场检测

7.1 方法选择

7.1.1 可采用扫描式检测和单点式检测方法。

7.1.2 扫描式检测适用于平整的大面混凝土表面，单点式检测适用于曲面、小接触面混凝土表面。

7.2 测点布置

7.2.1 根据图纸上套筒的数量和型号来布置测点。

7.2.2 测点应避免开灌浆口和出浆口，以免因结构和套筒主体不同而产生差异性的检测结果。

7.2.3 测点间距宜为 20mm。

7.2.4 沿套筒走向布设测线，测线数量或测点数量、测线或测点间距可根据套筒的尺寸确定，并应标明测线或者测点的编号和位置。

7.2.5 测线距构件外边缘或侧表面的最小距离，应大于沿冲击方向构件厚度的 0.3 倍；测区范围应大于预估缺陷的区域。

7.3 检测步骤

7.3.1 应根据图纸提前确定灌浆套筒在混凝土构件中的位置，如无图纸，应采用钢筋扫描仪进行套筒的定位检测。扫描方法按 T/JSJTQX 20—2021 执行。

7.3.2 在检测开始前将待检测套筒的参数输入检测仪器内。

7.3.3 连接仪器，安设传感器，并保证传感器与被测面良好粘结。

7.3.4 在被测面上无套筒的位置先进行基准波速的测量，并将基准波速输入至仪器，进行基准波速测量时，应选择较大的冲击锤作为冲击源。

7.3.5 按测线方向施测，见图1。先将传感器安设在1号测点，将激振点设置在2号测点或测线上其他位置，并应保证传感器与激振点之间的距离应不大于构件厚度的0.4倍，且宜在40mm~60mm之间。

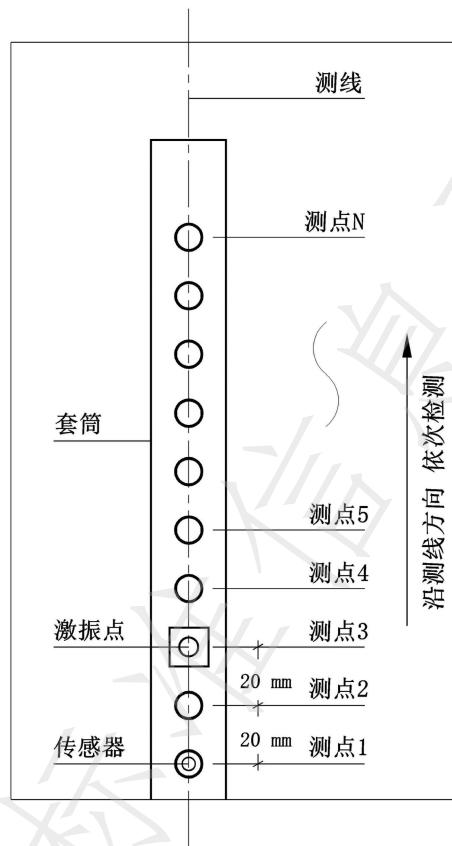


图1 测点布置图

7.3.6 使用激振锤对激振点进行激振，激振应符合以下要求：

- 应根据构件的厚度选择激振锤，当构件厚度在50mm~200mm之间时，应选择D10激振锤；当构件厚度在200mm~400mm之间时，应选择D17激振锤；当构件厚度在400mm以上时，应选择D30激振锤；
- 激振时，每个测点激振2次，每个套筒应检测3次以保证检测精度；
- 对灌浆套筒处混凝土外壁进行激振时，应避开灌浆口和出浆口处；
- 对构件表面激振时，宜1次性激振到位，让冲击器自动回弹。

7.3.7 激振后，冲击弹性波回波被传感器采集，并通过数据线传输给仪器主机进行数据初步处理。完成测点1的数据采集。

7.3.8 将传感器移至2号测点，将激振点设置在激振点设置在3号测定或测线上其他位置，重复上述步骤，完成测点2的数据采集，以此类推，直至完成整个套筒测点的数据采集。

7.3.9 检测过程中，应注意以下环节：

- 仪器的采样频率应大于10倍最高系统响应频率，并应满足检测精度要求；
- 应通过设定采用频率和采样点数来提高信号的检测精度，检测精度以分辨率表示。分辨率为采样频率与采样点数之比；
- 采用单点式检测时，应保证传感器与构件表面耦合良好。当检测面有表面裂纹时，传感器和激振点应位于表面裂纹同侧。

- d) 在测量时要保证外界声音在40分贝以下，不应因外部声音过大而干扰测量结果；
 - e) 当检测结果存在异常时，应复测或加密检测。
- 7.3.10 检测记录格式见附录 A。

8 数据分析和检测报告

8.1 数据分析

- 8.1.1 采集的数据通过仪器自带软件进行自动初步分析，分析方法为时域分析法，其原理和方法见附录 B。
- 8.1.2 初步分析后的数据如出现异常，异常数据分析方法可参照附录 B 进行分析处理。
- 8.1.3 初步分析的数据应经人工确认后再进行缺陷范围的确定。
- 8.1.4 对检测结果分析时，应考虑检测结果受多重因素的影响，其影响因素见附录 C。
- 8.1.5 数据分析时，还应注意以下事项：
 - a) 当测点距离边界小于5cm时，该点能量频谱受试验试件边界影响最大；
 - b) 当所检测件长度与试件内套筒长度相等时，存在明显的边界效应，分析时，应剔除上、下边缘处的影响；
 - c) 对于所测套筒在构件内居中布设时，构件是否有钢筋干扰都不会对冲击弹性波定性检测有影响，而对于定量检测结果会导致存在误差；

注：误差存在的原因可能是由于测点间距、测点接触面粗糙度和套筒壁厚与孔径比等不同而引起。部分套筒居中布置的构件的检测图谱中的密实区与不密实区间存在较为明显的过渡段，考虑到实际注浆条件（竖直灌浆、上部处于自由状态等），过渡段有浆料但浆料不够密实的可能性是存在的。

 - d) 对于双排梅花型布置和双排对称布置的套筒试件，检测结果准确性低。

8.2 检测报告

- 8.2.1 检测完成后应及时出具检测报告。
- 8.2.2 检测报告宜包括下列内容：
 - a) 委托单位名称；
 - b) 工程概况，包括工程名称、结构类型、施工日期等；
 - c) 检测方法及检测依据；
 - d) 采样方法、检测数量和检测位置；
 - e) 检测日期、报告完成日期；
 - f) 数据采集系统使用的参数；
 - g) 检测结论。

附 录 A
(资料性)
套筒灌浆密实性检测用表

表 A.1 套筒灌浆密实性检测记录表

工程名称：

第 页 共 页

工程部位				
执行标准		施工日期		
检测日期		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=	Hz；	采样点数= 点；滤波方式：
构件混凝土波速 (m/s)				
测区/测点/测线编号	计算/冲击回波测得的厚度值 T/m	直接测得的实际厚度值 H/m	结果图（振幅谱图等）编号	缺陷分析、描述（分布位置等情况）
检测部位（测区、测点/测线）分布示意图				

检测：

复核：

日期：

附录 B

(资料性)

冲击弹性波检测数据时域分析方法

B.1 时域分析法

B.1.1 应力波在混凝土中传播时，当在混凝土内部遇见空隙时，应力波的传播路径会发生改变，进而接收到应力波的声时和振幅都会有所改变，通过分析应力波的首波时间、回波时间、振幅的变化等信息，再和正常传播处对比后，可以因此确定缺陷的位置，该分析方法称为时域分析法。

B.1.2 应用冲击回波法检测结构内部缺陷首先需要利用激振锤激振待测结构表面，激振产生的纵波会在结构物内部传播，见图 B.1。

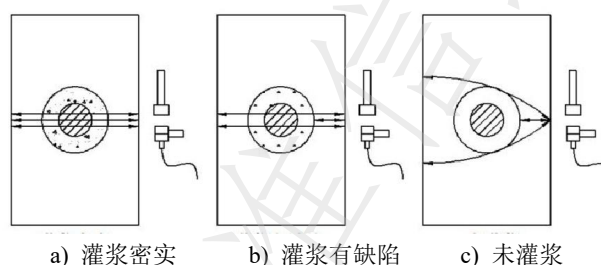
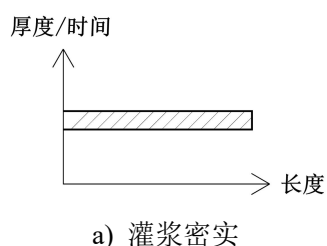


图 B.1 冲击弹性波在不同结构物内传播图

B.1.3 时域分析法对接收的声信号采用时域分析法进行分析，纵波在结构内部传播过程中，如果遇到尺寸较大的缺陷或边界，就会因两种材料的波阻抗不同而发生反射和透射现象，且波阻抗相差越大，反射越明显。这样反射波就会在结构内部多次反射，最终就具备了形成瞬时类谐振的条件，且在结构冲击表面上的质点就会产生振动，这种振动就以位移、速度或者加速度的信号形式被相适应的传感器采集到，并经过信号放大器对信号进行放大，就可以得到周期位移时域信号，并可以根据缺陷会使厚度频率向低频漂移这一性质来定性和定量的判读缺陷，见图 B.2。图中未填充边框代表实测反射区域，斜线填充代表灌浆密实反射区域，当两者对应纵坐标基本相同时，则判断套筒灌浆密实，轻微压浆缺陷将会产生提前反射信号，严重压浆缺陷将会产生延后的绕射信号。

B.1.4 横坐标代表检测长度，检测方向从左往右，纵坐标中厚度代表试件厚度方向，时间代表接收到信号的时间。



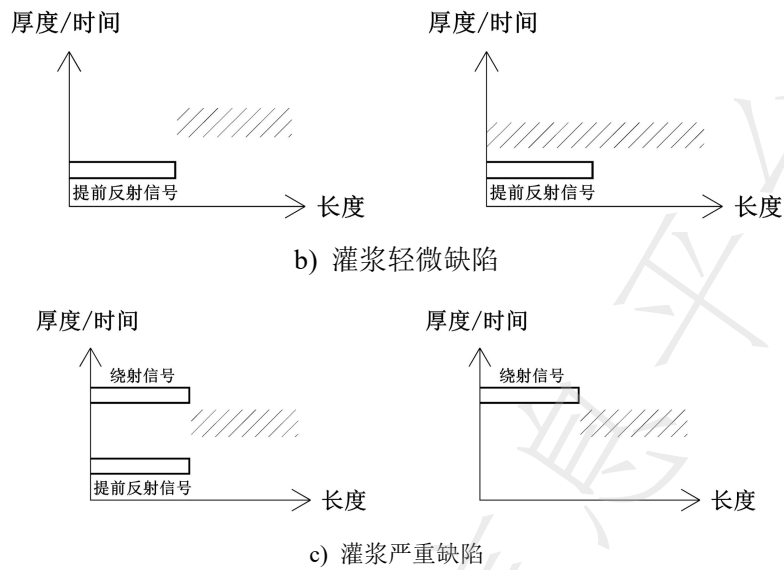


图 B.2 时间差分析法

B.1.5 时域分析法因混凝土表面粗糙不平，内部粗骨料和细骨料不能均匀分布，受混凝土试件厚度影响较大，因此得到的周期位移时域信号误差大于振动法，另外因为应力波经过混凝土和钢筋路径变化较小，周期位移时域信号变化不明显，因此无法检测出套筒内钢筋缺失。

B.2 分析方法

B.2.1 检测曲线信号区域，无频率延迟，测得的构件厚度卓越周期峰值 f （图 A.3 中红色反射区域）与无套筒部分的构件厚度卓越周期峰值 f 基本相同，或向低频轻微漂移并出现另一个低频峰值 f_s ，可判断孔道内压浆密实；卓越周期没有明显变化时，表明套筒灌浆密实。。

B.2.2 检测曲线信号区域有厚度卓越周期降低，测得的构件厚度卓越周期峰值明显小于无套筒部分的构件厚度频率值，或向低频明显漂移并出现另一个卓越周期峰值，可判断套筒内压浆不密实。即：云图 2 中蓝色线条位置为正常反射时刻，图 B.3 中实际反射位置接近正常反射位置，表明压浆质量较好，偏离正常反射位置则表示压浆存在缺陷；卓越周期有明显变化，表明套筒灌浆有缺陷。

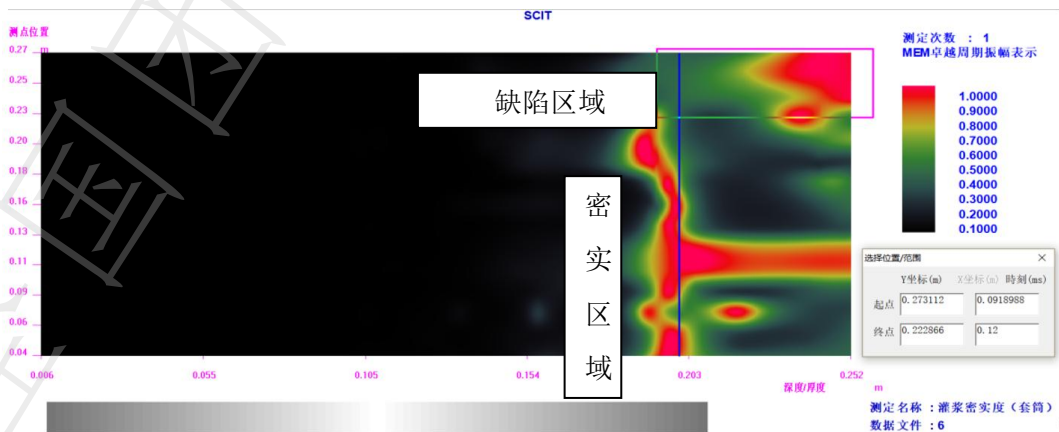


图 B.3 数据处理云图

附录 C

(资料性)

冲击弹性波法检测套筒灌浆密实性检测结果的影响因素

C.1 试件厚度

C.1.1 采用冲击回波法来检测混凝土试件内灌浆套筒的灌浆情况和检测的厚度有关，当信号产生处和信号接收处在 0.8m 以下时，通常信号接收处放在信号产生处同面，简称冲击回波法，弹性波信号经过混凝土试件反射后传达接收器内部。

C.1.2 当信号产生处和信号接收处厚度在 0.8m 以上时，通常信号接收处放在信号产生处对侧，简称对测法，通常运用在桥墩内套筒的检测中，由于试件厚度的增加，势必会对检测精度差生影响，信号接收器接收弹性波在经过混凝土试件后传达接收器内部的声音。

C.1.3 当试件厚度超过 0.8m 时，将不能采用时间差法检测，只能采用振动法检测，试件厚度的增加将对冲击回波法检测带来极大影响。

C.2 套筒布置方式

C.2.1 通常套筒的布置方式分为单排，双排，梅花式布置，双排布置会对检测结果造成影响，对于布置在混凝土墙壁中的双排套筒，由于套筒间距过小，如果两个套筒中存在病害，通常只能检测出这两个套筒存在病害，但无法具体判断哪个套筒有病害。同理，对于布置在桥墩四角处的套筒，也很难检测出具体病害。

C.2.2 套筒的布置方式还要考虑套筒间的净距和保护层的厚度，两个套筒间的净距不宜小于下 3 者中的最大值：

- a) 25.4mm;
- b) 骨料最大粒径的 1.33 倍;
- c) 被连接的纵向钢筋直径。

C.2.3 纵向钢筋之间的中心距离宜小于 200mm，对于保护层的厚度不宜小于 30mm，但对于桥梁上应用的套筒，保护层厚度不宜小于 30mm 的要求有些薄了，可以参考桥梁钢筋的保护层厚度。

C.3 箍筋及钢筋网片

C.3.1 对于竖向布置的套筒，套筒间横向必然有箍筋进行控制，甚至在保护层厚度超过 50mm 处，还会布置钢筋网片防止混凝土外表层开裂，这些都会对冲击回波法检测套筒灌浆的情况带来影响，箍筋的直径和钢筋网片的厚度，甚至可能会超过套筒内空隙的厚度。

C.3.2 测点布置及混凝土表面情况测点的间距不可避免地带来误差，如果测点间距 20mm，那么冲击回波法的测量精度一定会低于 20mm，而且在灌浆口和出浆口处不能布置测点，这势必会对测量结果产生影响。因为是人为敲击小锤，混凝土的表面情况会对测量精度产生影响，甚至信号接收器和混凝土表面的接触情况也会产生影响，所以在测量时要对同一列测点测量三遍，以保证测量结果的准确性。