

备案号：J 1xxxx-2022

浙江省工程建设标准

DB

DB33 xxxxx-2022

装配式混凝土结构检测技术规程

Technical specification for inspection of
precast concrete structures

(报批稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

浙江省住房和城乡建设厅 发布

前 言

根据浙江省住房和城乡建设厅关于印发《2017年度浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准制修订计划》的通知（建设发[2018]3号）的要求，由浙江省建筑设计研究院会同省内有关高校、科研、设计、施工、质量检测等单位，编制了《装配式混凝土结构检测技术规程》。在编制过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了国内外已有科研成果和工程实践经验，经多方面征求意见、反复讨论和修改，最终经审查定稿。

规程共分7章，内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料检测、混凝土预制构件进场检测、现场安装与连接质量检测、结构整体性能检测及附录等。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位浙江省建筑设计研究院负责解释。在执行过程中，如有意见或建议，请寄交：浙江省建筑设计研究院总工程师办公室、浙江省工程建设标准《装配式混凝土结构检测技术规程》管理组（地址：杭州市安吉路18号，邮编310006，邮箱：yangxuelin@ziad.cn）。

主编单位：浙江省建筑设计研究院

浙江大学

参编单位：浙江省建筑科学设计研究院有限公司

上海市建筑科学研究院有限公司

浙江瑞邦检测有限公司

浙江省建工集团有限公司

浙江宝业现代建筑工业化建造有限公司

浙江宝业设计院

蓝城乐居建设管理集团有限公司

浙江中技建设工程检测有限公司
浙江元本检测技术股份有限公司
宁波三江检测有限公司

主要起草人： 杨学林 王奎华 叶甲淳 赵荣欣 李海波
吴为民 周平槐 余亚超 梅献忠 褚航
钱杰 金铭达 时柏江 蒋屹军 许清风
高润东 瞿浩川 祝文畏 沈米钢 焦俭
裘云丹 任涛
主要审查人： 钱晓倩 李宏伟 叶启军 章雪峰 郭丽
邬涛 朱敏

目 次

1	总 则	1
2	术语、符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	基本规定	5
3.1	一般规定	5
3.2	检测流程及要求	5
3.3	检测报告	7
4	材料进场检测	8
4.1	一般规定	8
4.2	原材料	8
4.3	连接材料	9
4.4	其他材料	10
5	预制混凝土构件进场检测	11
5.1	一般规定	11
5.2	尺寸偏差	11
5.3	构件缺陷	13
5.4	混凝土强度和钢筋配置	13
5.5	构件力学性能	14
6	现场安装与连接质量检测	15
6.1	一般规定	15
6.2	安装尺寸偏差	15
6.3	钢筋套筒灌浆连接和浆锚搭接连接质量	16

6.4	叠合构件结合面连接质量	17
6.5	预制剪力墙底部接缝灌浆质量	18
6.6	后浇混凝土质量	18
6.7	预制外墙板与主体结构的连接质量	18
7	结构整体性能检测	20
7.1	沉降和倾斜检测	20
7.2	动力检测	20
附录 A	预制构件粗糙度检测	22
附录 B	灌浆套筒及连接钢筋中心线位置偏差检测	24
附录 C	混凝土缺陷检测	26
附录 D	套筒灌浆饱满度检测	28
附录 E	钢筋套筒连接质量检测	33
附录 F	叠合构件结合面质量检测	39
	本规程用词说明	43
	引用标准名录	44
	附：条文说明	47

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
3.1	General Requirements	5
3.2	Program and Requirements of Inspection	5
3.3	Report of Inspection	7
4	Inspection for Materials	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Basic Material	8
4.3	Connection Materials	9
4.4	Other Materials	10
5	Approach Inspection for Precast Concrete Components	10
5.1	General Requirements	10
5.2	Dimensional deviation	10
5.3	Defects in Precast Concrete Components	13
5.4	Concrete Strength and Arrangement of Rebar	13
5.5	Structural Properties of Precast Concrete Components	14
6	Inspection for Installation and Connection	15
6.1	General Requirements	15
6.2	Dimension Deviation of Structural Members	15
6.3	Grouting Quality of Grout Sleeve and Grout-filled Hole	16

6. 4	Bonding Quality of Laminated Surface of Combined Slab	17
6. 5	Grouting Quality at Bottom of Pre-cast Shear Wall	18
6. 6	Quality of Late Poured Concrete	18
6. 7	Connecting Quality of Other Components with Main Structure	18
7	Inspection for Structural Properties	20
7. 1	Inspection for Sedimentation and Tilt	20
7. 2	Dynamically Loading Test	20
Appendix A	Roughness of Precast Concrete Component Testing	22
Appendix B	Tolerances of Central distance of Rebars and Grout Sleeves Testing	24
Appendix C	Defect of Concrete Testing	26
Appendix D	Grouting Plumpness of Sleeve Testing	28
Appendix E	Connecting Quality of Grout Sleeves Testing	33
Appendix F	Quality of Laminated Surface of Combined Components Testing	39
	Explanation of Wording in This Code	43
	List of Quoted Standards	44
	Addition; Explanation of Provisions	47

1 总 则

1.0.1 为规范建筑工程装配式混凝土结构的检测,提升装配式混凝土结构检测结果的可靠性,保证装配式混凝土结构工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省建筑工程装配式混凝土结构的检测。

1.0.3 装配式混凝土结构的检测除应符合本规程外,尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 装配式混凝土结构 precast concrete structure

由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构，包括装配整体式混凝土结构、全装配式混凝土结构等。

2.1.2 预埋传感器法 embedded sensor method

灌浆前在套筒出浆口预埋传感器，灌浆过程中或灌浆结束一定时间后，通过阻尼振动传感器数据采集系统获得的波形判断灌浆饱满度的方法。

2.1.3 预埋钢丝拉拔法 embedded steel wire drawing method

灌浆前在套筒出浆口预埋钢丝，灌浆料凝固一定时间后对预埋钢丝进行拉拔，通过拉拔荷载值判断灌浆饱满度的方法。

2.1.4 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受冲击弹性波信号，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，检测缺陷的方法。

2.1.5 X射线数字成像法 X-ray digital radiography method

用X射线透照预制混凝土构件，通过平板探测器接收图像信息并进行数字成像来判定套筒灌浆饱满度和灌浆密实性的方法。

2.1.6 内窥镜法 observation method using endoscopy

利用带尺寸测量功能的内窥镜，灌浆前可通过套筒灌浆口和出浆口观察判断灌浆通道是否有杂物和钢筋插入套筒内的长度；灌浆后可通过套筒灌浆口或出浆口、套筒壁钻孔、钢丝拉拔法遗留孔，对套筒内部进行观测来判断灌浆饱满度的方法。

2.1.7 结合面 laminated surface

预制混凝土构件与后浇混凝土或水泥基浆料连接的面。

2.1.8 结合面粗糙度 roughness of concrete interface

预制混凝土构件结合面上的凹凸程度。

2.1.9 钢筋套筒灌浆连接 grout sleeve splicing of rebars

在金属套筒中插入单根带肋钢筋并注入灌浆料拌合物，通过拌合物硬化形成整体并实现传力钢筋的对接连接方式。

2.1.10 钢筋浆锚搭接连接 rebar lapping in grout-filled hole

在预制混凝土构件中预留孔道，在孔道中插入需要搭接的钢筋，并灌注水泥基灌浆料而实现的钢筋搭接连接方式。

2.1.11 灌浆质量 grouting quality

钢筋套筒灌浆连接、钢筋浆锚搭接连接等关键连接部位灌浆的饱满度和密实性。

2.1.12 灌浆饱满度 grouting plumpness

钢筋套筒灌浆连接或浆锚搭接连接灌浆结束并稳定后，套筒或孔道内水泥基灌浆料上表面到达出浆口的程度。

2.1.13 直接冲击振动法 directly impact vibration method

通过直接冲击振动作用于套筒内钢筋产生的反馈时域信号，根据时域信号首次脉冲的峰宽比与灌浆体密实度之间的相关性，检测套筒灌浆密实度的方法。

2.1.14 声波透射法 ultrasonic transmitting method

利用超声波在介质中遇到异质界面波速异常的规律，检测叠合构件结合面质量的方法。

2.1.15 相控阵超声成像法 phased array ultrasonic imaging method

通过控制发射（或接收）脉冲的不同延迟时间，改变声波到达物体内部某点时的相位关系，实现超声波的波速扫描、偏转和聚焦，并以图像形式呈现非金属材料内部缺陷和结合面质量的方法。

2.2 符 号

2.2.1 预制混凝土构件结合面粗糙度评价参数

μ —— 预制构件结合面凹凸深度平均值；

$C \cdot V$ —— 预制构件结合面凹凸深度变异系数；

x_i —— 预制构件结合面各个测区所测有效凹凸深度数据。

2.2.2 坐标定位法参数

x_i 、 y_i —— 横坐标、纵坐标；

a_i 、 b_i —— 两点距离。

2.2.3 套筒灌浆参数

F —— 套筒灌浆饱满度；

b —— 套筒出浆口中心至套筒底部的高度；

h_1 —— 灌浆料上表面到侧视三维立体测量镜头拍摄端面的垂直距离；

h_2 —— 侧视三维立体测量镜头拍摄端面到套筒出浆口中心的垂直距离；

d —— 连接钢筋的公称直径；

D_2 —— 套筒出浆口直径。

2.2.4 直接冲击振动法评价参数

A_{Peak} —— 波峰幅值；

Δt_{FWHM} —— 半高宽；

RPt —— 峰宽比；

n —— 灌浆密实度。

2.2.5 声波透射法参数

T_{flaw} —— 缺陷厚度；

v_{wave} —— 波速；

ζ —— 波速系数；

μ —— 同条件下无缺陷被测构件声速均值。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 装配式混凝土结构检测内容可包括材料检测、预制混凝土构件进场检测、现场安装与连接质量检测、结构整体性能检测。检测项目可根据相关标准的规定及工程实际合理确定。

3.1.2 装配式混凝土结构的检测应分为施工及验收标准规定的检测和特殊情况下的第三方检测两类。

3.1.3 当遇到下列情况之一时,应进行装配式混凝土结构的第三方检测:

- 1 主体结构工程质量的材料、构件以及连接的检验数量不足;
- 2 材料与构件的驻厂检验或进场检验缺失,或对其检验结果存在争议;
- 3 建筑实体质量的抽样检测结果达不到设计要求或施工验收规范要求;
- 4 对建筑实体质量有争议;
- 5 发生工程质量事故,需要分析事故原因。

3.2 检测流程及要求

3.2.1 装配式混凝土结构检测工作(图 3.2.1)宜包括初步调查、检测方案制定、仪器设备选择、检测人员配备、检测样品标识、数据信息记录、补充检测或复检等方面。

3.2.2 初步调查应包括下列内容:

- 1 被检测项目的设计文件、施工文件和岩土工程勘察报告等资料;
- 2 场地和环境条件;

- 3 预制构件的生产制作状况；
 - 4 现场施工状况。
- 3.2.3 检测方案应包括下列内容：
- 1 工程概况；
 - 2 检测目的或委托方检测要求；
 - 3 检测依据；
 - 4 检测项目、检测方法以及检测数量；
 - 5 检测人员和仪器设备；
 - 6 检测工作进度计划及需要现场配合的工作；
 - 7 安全和环保措施等。

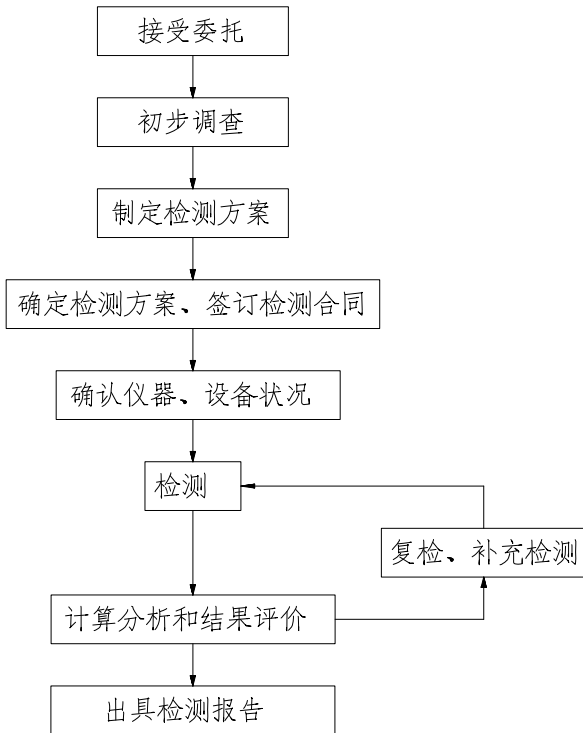


图 3.2.1 装配式混凝土结构检测工作程序框图

3.2.4 检测所用仪器、设备的适用范围和检测精度应满足检测项目的要求。检测时应确保所使用的仪器、设备在检定或校准周期内，并应处于正常工作状态。

3.2.5 现场检测获取的数据或信息应符合下列规定：

1 人工记录时，宜用专用表格，并应做到数据准确、字迹清晰、信息完整，不应追记、涂改，当有笔误时，应进行杠改并签字确认；

2 仪器自动记录的数据应妥善保存，宜打印输出后经现场检测人员校对、签字确认；

3 图像信息应标明获取信息的时间和位置；

4 原始记录应由检测人员和校核人员签字。

3.2.6 检测工作结束后，应修补检测造成的结构局部损伤。

3.3 检测报告

3.3.1 检测报告应结论明确、用词规范、文字简练，对于容易混淆的术语和概念应以文字解释或图例、图像说明。

3.3.2 检测报告宜包括下列内容：

1 委托方名称；

2 建筑工程概况，包括工程名称、地址、结构类型、规模、施工日期及现状等；

3 设计单位、施工单位、监理单位及相关构件生产厂家名称；

4 检测原因、检测目的，以往相关检测情况概述；

5 检测项目、检测方法及依据的标准；

6 检测仪器；

7 检验方式、抽样方法、检测数量与检测位置；

8 检测结果和检测结论；

9 检测日期和报告日期；

10 主检、审核和批准人员的签名；

11 检测机构的有效印章。

4 材料进场检测

4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于装配式混凝土结构工程现场施工过程中进场使用材料的检测。

4.1.2 检测的材料宜包括水泥、细骨料、粗骨料、钢筋、混凝土、灌浆料、座浆砂浆、封边砂浆、钢筋机械连接接头、钢筋浆锚连接用镀锌金属波纹管、钢筋锚固板、纤维增强塑料夹芯墙板连接件（FRP）、金属夹芯墙板连接件等。

4.2 原材料

4.2.1 水泥检测应包括凝结时间、安定性和强度，检测方法应按现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346 和《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 执行。

4.2.2 细骨料检测应包括颗粒级配、细度模数、含泥量、泥块含量、氯离子含量，检测方法应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 执行。当采用机制砂时，其质量标准 and 检测方法应按现行地方标准《混凝土用机制砂质量及检验方法标准》DBJ50/T-150 执行。

4.2.3 粗骨料检测应包括颗粒级配、含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、压碎指标，检测方法应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 执行。

4.2.4 混凝土中氯离子含量的检测应符合现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 的规定。

4.2.5 钢筋力学性能、工艺性能和重量偏差等项目的检测应符合

现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2、《冷轧带肋钢筋》GB/T 13788 等的规定。

4.2.6 钢筋焊接网应抽取试件进行屈服强度、抗拉强度、伸长率、弯曲、抗剪试验、重量偏差等检测，并应符合现行行业标准《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的规定。

4.2.7 预应力混凝土结构所用的热处理钢筋、钢绞线、碳素钢丝等材料应有出厂合格证及力学性能现场抽样检验报告，其技术性能和指标应符合设计要求及有关标准规范的规定。

4.3 连接材料

4.3.1 钢筋套筒灌浆连接用灌浆料性能检测应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 和现行浙江省标准《装配式混凝土结构钢筋套筒灌浆连接技术规程》DB33/T 1198 的规定。

4.3.2 间接搭接用预留孔孔道灌浆料的性能应满足现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50488 的规定；浆锚搭接灌浆料的性能应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的规定。

4.3.3 座浆砂浆、封边砂浆抗压强度检测应符合现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70 和浙江省标准《装配式混凝土结构钢筋套筒灌浆连接技术规程》DB33/T 1198 的规定。

4.3.4 用于钢筋机械连接的挤压套筒，其原材料及力学性能检测应符合《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

4.3.5 钢筋锚固板的检测应符合现行行业标准《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 的规定。

4.3.6 紧固件、焊接材料的检测应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

4.4 其他材料

4.4.1 硅酮、聚氨酯、聚硫建筑密封胶等材料检测应符合现行国家标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683、现行行业标准《聚氨酯建筑密封胶》JC/T 482 和《聚硫建筑密封胶》JC/T 483 等的规定。

4.4.2 外墙板接缝所用的防水密封材料应选用耐候性密封胶,其最大伸缩变形量、剪切变形性等均应满足设计要求,性能检测应满足现行行业标准《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881 的规定。当选用硅酮类密封胶时,性能检测应满足现行国家标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 的要求。

4.4.3 预制混凝土夹心保温外墙板中内外叶墙板间的拉结件检测应符合以下要求。

1 当采用纤维增强塑料(FRP)拉结件时,进场应核查检验报告。必要时应按现行国家标准《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB/T 1447、现行行业标准《预制保温墙体用纤维增强塑料连接件》JG/T 561 进行检测,其耐久性能应符合现行国家标准《纤维增强复合材料工程应用技术规范》GB 50608 或现行行业标准《预制保温墙体用纤维增强塑料连接件》JG/T 561 的有关规定。

2 当采用不锈钢拉结件时,进场应核查检验报告,必要时应按现行国家标准《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》GB/T 228.1 的规定进行检测。

5 预制混凝土构件进场检测

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于预制混凝土构件质量的进场检测。

5.1.2 预制混凝土构件进场检测应包括尺寸偏差、构件缺陷、混凝土强度、钢筋配置和构件力学性能等项目。

5.2 尺寸偏差

5.2.1 预制混凝土构件尺寸偏差检测应包括下列项目：

1 规格尺寸：长度、宽度、高度或厚度；

2 外形尺寸：表面平整度、侧向弯曲、挠度变形、扭翘和对角线差；

3 预埋件、预埋套管和预埋线盒；

4 预留插筋和预埋线管；

5 预留孔和预留洞位置；

6 键槽位置和尺寸；

7 粗糙面凹凸深度；

8 灌浆套筒及连接钢筋位置和尺寸；

9 吊件位置。

5.2.2 构件的规格尺寸应采用以下方法进行检测：

1 长度和宽度可采用钢尺或卷尺量测两端及中间位置，取其中偏差绝对值较大值；

2 高度和厚度可采用钢尺或卷尺量测板四角和四边中部位置共8处，取其中偏差绝对值较大值。

5.2.3 构件的外形尺寸应采用以下方法进行检测：

1 光面表面平整度可采用靠尺安放在构件表面上，用楔形塞

尺和钢尺或卷尺量测靠尺与表面之间的最大缝隙；

2 侧向弯曲和挠度变形可采用拉线,用钢尺或卷尺量测最大弯曲处；

3 扭翘可采用四对角拉两条对角线,量测两线交点之间的距离值,其值的2倍为扭翘值；

4 对角线差可采用在构件表面,用钢尺或卷尺量测两对角线的长度,取其绝对值的差值。

5.2.4 预埋件、预埋套管和预埋线盒应采用以下方法进行检测：

1 中心线位置偏差可采用钢尺或卷尺量测纵、横两个方向的中心线位置,取其中较大值；

2 平面高差可采用靠尺紧靠在预埋件上,用楔形塞尺和钢尺或卷尺量测预埋件平面与混凝土面的最大缝隙。

5.2.5 预留插筋和预埋线管应采用以下方法进行检测：

1 中心线位置偏差可采用钢尺或卷尺量测纵、横两个方向的中心线位置,取其中较大值；

2 外露长度可采用钢尺或卷尺量测。

5.2.6 预留孔和预留洞应采用以下方法进行检测：

1 中心线位置偏差可采用钢尺或卷尺量测纵、横两个方向的中心线位置,取其中较大值；

2 孔尺寸,洞口尺寸、深度可采用钢尺或卷尺量测纵、横两个方向尺寸,取其最大值。

5.2.7 键槽的中心线位置偏差可采用钢尺或卷尺量测纵、横两个方向的中心线位置,取其中较大值；其长度、宽度和深度采用钢尺或卷尺量测。

5.2.8 粗糙面凹凸深度和粗糙度检测方法可按本规程附录A执行；

5.2.9 灌浆套筒及连接钢筋中心线位置检测方法可按本规程附录B执行；

5.2.10 吊件的位置偏差可采用钢尺或卷尺量测纵、横两个方向的中心线位置,取其中较大值。留出高度采用钢尺或卷尺量测。

5.3 构件缺陷

5.3.1 预制构件质量缺陷检测应包括外观质量缺陷检测和内部质量缺陷检测。

5.3.2 外观缺陷检测应包括露筋、孔洞、夹渣、蜂窝、疏松、裂缝、连接部位缺陷、外形缺陷、外表缺陷等检测项目。各检测项目可根据实际需要采用以下方法检测：

- 1 露筋长度可用钢尺或卷尺量测；
- 2 孔洞直径可用钢尺或卷尺量测，孔洞深度可用游标卡尺量测；
- 3 夹渣深度可采用剔凿法或超声法检测；
- 4 蜂窝和疏松的位置和范围可用钢尺或卷尺量测，委托方有要求时，可通过剔凿、成孔等方法量测蜂窝深度；
- 5 表面裂缝的最大宽度可用裂缝专用测量仪器量测，表面裂缝长度可用钢尺或卷尺量测；
- 6 连接部位缺陷可用观察或剔凿法检测；
- 7 外形缺陷和外表缺陷的位置和范围可用钢尺或卷尺测量。

5.3.3 内部质量缺陷检测可采用超声法、冲击回波法、相控阵超声成像法等非破损方法，必要时可钻芯或剔凿验证。采用超声法时，应符合现行协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21 的规定；采用冲击回波法时，应符合现行行业标准《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JG/T 411 的规定；采用相控阵超声成像法时，可按本规程附录 C.1 执行。

5.4 混凝土强度和钢筋配置

5.4.1 预制构件混凝土抗压强度检测可采用回弹法、钻芯法等，并应符合现行有关标准的规定。

- 1 采用回弹法时，应符合现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 相关标准的规定；
- 2 采用超声回弹综合法时，应符合现行协会标准《超声回弹

综合法检测混凝土抗压强度技术规程》CECS 02 的规定；

3 采用钻芯法时，应符合现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的规定；

4 采用拉脱法时，应符合现行行业标准《拉脱法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 378 的规定。

5.4.2 预制构件混凝土劈裂抗拉强度检测应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定。

5.4.3 预制构件钢筋配置检测应包括下列项目：

- 1 钢筋数量和间距；
- 2 钢筋直径；
- 3 混凝土保护层厚度。

5.4.4 钢筋数量和间距及混凝土保护层厚度，宜采用非破损的雷达法或电磁感应法进行检测，钢筋公称直径可采用钢筋探测仪检测，必要时可凿开验证。

5.5 构件力学性能

5.5.1 梁板类简支受弯预制构件进场时应进行结构性能检验，检验方法按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 执行；对于叠合梁以及其他预制构件，可按设计要求进行相关检测。

5.5.2 预制构件饰面砖应进行粘结强度检测，并应符合现行行业标准《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ/T 110 的规定。

6 现场安装与连接质量检测

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于装配式混凝土结构的现场安装与连接质量的检测。

6.1.2 装配式混凝土结构的现场安装与连接质量的检测宜包括安装尺寸偏差、钢筋套筒灌浆连接和浆锚搭接连接质量、叠合构件结合面连接质量、预制剪力墙底部接缝灌浆质量、后浇混凝土质量、非结构构件与主体结构的连接质量等。

6.2 安装尺寸偏差

6.2.1 装配式混凝土结构安装施工后,构件安装尺寸偏差可采用下列方法检测:

- 1 构件中心线对轴线的位置偏差采用钢尺或卷尺量测;
- 2 构件标高采用水准仪或拉线法量测;
- 3 构件倾斜采用经纬仪、激光准直仪或吊锤法量测;
- 4 构件挠度采用水准仪或拉线法量测;
- 5 相邻构件平整度可用靠尺和塞尺量测;
- 6 构件搁置长度采用直尺量测;
- 7 支座、支垫中心位置采用直尺量测;
- 8 墙板接缝宽度和中心线位置采用直尺量测。

6.2.2 装配式混凝土结构施工后,预制构件与后浇部分连接部位的表面平整度可采用靠尺和塞尺量测。

6.2.3 混凝土中钢筋和灌浆套筒的数量、间距、保护层厚度的检测方法可按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784、现行行业标准《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152

等标准的规定执行。

6.3 钢筋套筒灌浆连接和浆锚搭接连接质量

6.3.1 装配式混凝土结构钢筋套筒灌浆连接质量检测可采用预埋传感器法、预埋钢丝拉拔法、X射线数字成像法、内窥镜法和直接冲击振动法。

6.3.2 装配式混凝土结构施工及验收阶段检测套筒灌浆质量时，应根据检测目的、结构状况和现场条件选择适宜的检测方法，检测方法可按表 6.3.2 选择。

6.3.3 装配式混凝土结构使用阶段检测套筒灌浆质量时，可采用 X 射线数字成像法、内窥镜法、直接冲击振动法检测灌浆饱满度和密实性。

6.3.4 采用预埋传感器法检测套筒灌浆饱满度时，应按本规程附录 D.1 执行。

表 6.3.2 钢筋套筒灌浆质量检测方法

序号	检测方法	检测指标	检测条件	备注
1	预埋传感器法	饱满度	事先预埋阻尼振动传感器，灌浆结束后 5min~8min 检测	当检测套筒灌浆不饱满时，应立即进行二次灌浆
2	预埋钢丝拉拔法	饱满度	事先预埋光圆高强不锈钢钢丝，灌浆结束后 3d 检测	钢丝拉拔前应避免受到扰动
3	X 射线数字成像法	饱满度	灌浆结束后不少于 7d 检测	现场应做好 X 射线防护工作
4	内窥镜法	饱满度	灌浆结束后不少于 3d 检测	钻孔时应避免损伤套筒内部钢筋
5	直接冲击振动法	饱满度	灌浆结束后不少于 3d 检测	钻孔时应避免损伤钢筋

6.3.5 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度时，应按本规程附录 D.2 执行。

6.3.6 采用 X 射线数字成像法检测套筒灌浆饱满度和密实性时，应按本规程附录 D.3 执行。

6.3.7 采用内窥镜法检测套筒灌浆饱满度时，应按本规程附录 E.1 执行。

6.3.8 采用直接冲击振动法检测套筒灌浆饱满度时，应按本规程附录 E.2 执行。

6.3.9 浆锚搭接连接灌浆质量检测可采用 X 射线数字成像法、内窥镜法和直接冲击振动法，检测要求可按本规程第 6.3.6 条、6.3.7 条或 6.3.8 条执行。

6.3.10 钢筋套筒灌浆连接钢筋锚固（插入）长度可采用内窥镜法、X 射线法进行检测，钢筋浆锚搭接连接的钢筋锚固长度可采用 X 射线法进行检测。

6.4 叠合构件结合面连接质量

6.4.1 叠合楼板、双面叠合剪力墙结合面连接质量的检测可采用相控阵超声成像法、冲击回波法及声波透射法；叠合梁结合面连接质量的检测可采用声波透射法。

6.4.2 叠合楼板应以自然间作为检测单元，双面叠合剪力墙应以每个楼层的单片墙为检测单元，叠合梁应以单根梁为检测单元，单元内测点布置应符合下列规定：

1 测点应在单元内基本均匀布置，叠合楼板和双面叠合剪力墙测点宜呈网格状布置，叠合梁测点宜呈直线状布置，并依次做好编号；

2 叠合楼板和双面叠合剪力墙采用阵列超声方法测试时，每个检测单元测点数应不少于 9 个，采用冲击回波法检测时，测点数不少于 20 个，采用声波透射法检测时，每个检测单元测点数应不少于 40 个。单元中部和距边缘附近 500mm 范围内宜布置测点；当叠合楼板面积大于 30m² 和双面叠合剪力墙面积大于 20m² 时，测点数量宜适当增加。

3 叠合梁每个检测单元测点数应不少于 20 个，当梁跨度大于 6m 时测点数量宜适当增加。

6.4.3 采用相控阵超声成像法对叠合构件结合面的连接质量进行检测时，应按本规程附录 C.1 执行。

6.4.4 采用叠合界面冲击回波法对叠合构件结合面的连接质量进行检测时，应按本规程附录 F.1 执行。

6.4.5 采用声波透射法对叠合构件结合面的连接质量进行检测时，应按本规程附录 F.2 执行。

6.5 预制剪力墙底部接缝灌浆质量

6.5.1 预制剪力墙底部接缝灌浆质量宜采用超声法检测，超声法所用换能器的辐射端直径不应超过 20.0mm。

6.5.2 采用超声法对预制剪力墙底部接缝灌浆质量进行检测时，灌浆龄期不应少于 7d，初次测量时测点间距宜选择 100mm~200mm，对有怀疑的点位可在附近加密测点，测点布置应避开机电管线穿过的区域。

6.5.3 采用超声法对预制剪力墙底部接缝灌浆质量进行检测后，必要时可采用局部破损法进行验证。

6.5.4 当预制剪力墙底部接缝采用坐浆施工时，坐浆质量的检测可按预制剪力墙底部接缝灌浆质量的检测方法执行。

6.6 后浇混凝土质量

6.6.1 后浇混凝土质量检测应满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

6.6.2 后浇混凝土制作试件应在浇筑地点随机抽取，数量应满足相关要求。

6.6.3 后浇混凝土内部缺陷的检测可采用声波透射法，检测时应满足本规程附录 C.2 的要求。

6.7 预制外墙板与主体结构的连接质量

6.7.1 预制外墙与主体结构采用点支承连接时，连接点数量、位

置及滑动孔尺寸应采用目测和尺量的方法全数检测。

6.7.2 预制外墙与主体结构采用线支承连接时,连接节点检测应符合下列规定:

1 预制外墙顶部与梁的连接位置及长度可采用目测和尺量,面外限位连接件的数量及位置可采用目测和尺量;

2 预制外墙顶部与梁的结合面的粗糙度可按本规程附录 A 进行检测,平整度可采用靠尺和塞尺量测;

3 预制外墙与梁结合面的键槽尺寸、间距和位置可采用直尺量测;

4 预制外墙与梁结合面的连接钢筋直径及尺寸偏差可采用直尺或卷尺量测。

6.7.3 预制外墙与主体结构的连接采用锚栓时,应对锚栓抗拉抗拔承载力进行检测,并应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的相关规定。

7 结构整体性能检测

7.1 沉降和倾斜检测

7.1.1 沉降检测应测定建筑的沉降量、沉降差及沉降速率，并应根据设计文件要求确定基础倾斜、局部倾斜、相对弯曲及构件倾斜。

7.1.2 沉降检测应根据建筑物的重要性、使用要求、基础类型、工程地质条件及预估沉降量等因素综合确定。沉降检测的精度等级应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 及现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

7.1.3 建筑施工过程中及竣工验收前，宜对建筑上部结构或竖向构件进行倾斜观测。建筑使用阶段，当发生倾斜时，应及时进行倾斜观测。

7.1.4 建筑倾斜观测精度应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 及现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

7.2 动力检测

7.2.1 动力检测应包括结构动力特性检测和结构动力反应检测。

7.2.2 结构动力检测，应根据现场调查、检测和计算分析的结果，预测检验过程中结构的性能，并应考虑相邻的结构构件、组件或整个结构之间的影响。

7.2.3 动力检测的测试系统所采用仪器的灵敏度、动态范围、幅频特性和幅值范围等技术指标应满足被测结构动力特性范围的要求。

7.2.4 动力特性检测宜选用脉动试验法；也可选用初位移等其他激振方法。

7.2.5 动力反应检测宜选用可稳定再现的动荷载作为检验荷载。当需确定桩基施工、设备运行等非标准荷载作用下的动力反应时，应对该动荷载的再现性进行约定。

7.2.6 结构动力特性测试时，测点布置应结合混凝土结构形式综合确定，并宜避开振型的节点。

7.2.7 检测结构振型及结构动力特性检测的数据处理，应满足现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 相关条文的要求。

附录 A 预制混凝土构件结合面粗糙度检测

A.0.1 本方法适用于预制构件粗糙面凹凸程度检测。

A.0.2 检测仪器和辅助工具应符合下列规定：

1 钢尺分度值应为 1mm。

2 测深尺可采用贯入深度测量表、深度尺或游标卡尺，测深尺量程不宜小于 20mm，精度不应低于 0.01mm。

3 基准板宜采用环形硬质透明塑料板，厚度应为 $5\pm 0.1\text{mm}$ ，中心孔径应为 $5\pm 0.1\text{mm}$ ，外环直径应为 $60\pm 0.1\text{mm}$ 或 $100\pm 0.1\text{mm}$ 。

A.0.3 粗糙面面积占结合面面积比例应通过计算确定，且应符合下列规定：

1 采用钢尺分别测量结合面和粗糙面边界边长，精确至 1mm。

2 分别计算结合面和粗糙面面积。

A.0.4 粗糙面凹凸深度检测的测区布置应符合下列规定：

1 测区应避免棱角明显突出区域且表面无颗粒杂物。

2 测区应分布均匀，测区中心距粗糙面边界不应大于 0.5m，相邻测区中心间距不应大于 1m。

3 测区形状应为圆形，当凹坑或凹槽间距无设计要求时，凹坑粗糙面测区直径可为 60mm，凹槽粗糙面测区直径可为 100mm；当凹坑或凹槽间距有明确设计要求时，测区直径宜为设计间距的 2 倍。

4 梁、柱端测区数量不应少于 5 个；叠合板面、叠合梁面、剪力墙顶部、底部及侧面测区数量不应少于 10 个。

5 测区应统一编号，注明位置，并描述其外观质量情况。

A.0.5 粗糙面凹凸深度检测应符合下列规定：

1 凹坑粗糙面应选用外环直径为 $60\pm 0.1\text{mm}$ 基准板，凹槽粗糙面应选用外环直径为 $100\pm 0.1\text{mm}$ 基准板。

2 测量时基准板应紧贴粗糙面，基准板中心孔不应超出测区范围；测深尺应紧贴基准板表面且保持测深探针垂直于基准板；测深探针应穿过基准板中心孔接触凹坑或凹槽底部。

3 可通过移动基准板对测区内凹坑或凹槽深度进行测量，每个测区不同位置测量次数不应少于 5 次，以保证测深尺探针能够测量到测区内凹坑或凹槽最低点深度。

4 测区内凹凸深度最大值减去基准板厚度即为该测区的凹凸深度。

A.0.6 需要计算粗糙面粗糙度时，测区数量不应少于 16 个，剔除 3 个最大值和 3 个最小值后的数据可视为有效数据。

A.0.7 预制混凝土构件粗糙面粗糙度评价指标应按下列公式计算：

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{A.0.7-1})$$

$$C \cdot V = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}}{\mu} \quad (\text{A.0.7-2})$$

式中： μ ——凹凸深度平均值（mm），计算应精确至 0.1mm；

$C \cdot V$ ——凹凸深度变异系数，计算应精确至 0.01；

x_i ——各个测区所测有效凹凸深度数据（mm）。

A.0.8 当凹凸深度平均值 μ 和凹凸深度变异系数 $C \cdot V$ 同时满足下列条件时，可评定预制混凝土构件结合面粗糙度合格：

1 对预制混凝土叠合楼板、预制混凝土叠合梁、预制混凝土叠合墙板：

$$\mu \geq 4.0\text{mm} \quad (\text{A.0.8-1})$$

$$C \cdot V \leq 0.40 \quad (\text{A.0.8-2})$$

2 对预制混凝土梁端、预制混凝土柱端、预制混凝土墙端：

$$\mu \geq 6.0\text{mm} \quad (\text{A.0.8-3})$$

$$C \cdot V \leq 0.40 \quad (\text{A.0.8-4})$$

附录 B 灌浆套筒及连接钢筋中心线位置偏差检测

B.0.1 本方法适用于预制墙板、柱的灌浆套筒和连接钢筋中心线位置偏差检测。

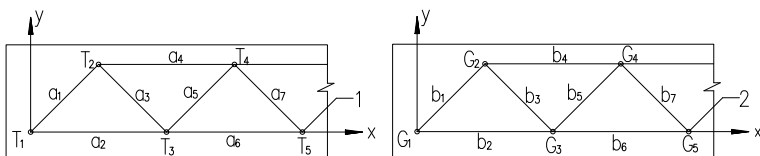
B.0.2 平面直角坐标系的建立应符合下列规定：

1 坐标原点宜选取位于预制墙板端部、预制柱角部灌浆套筒或连接钢筋截面圆心。

2 坐标原点与水平方向相邻灌浆套筒或连接钢筋截面圆心两点连线确定 x 轴，垂直 x 轴建立 y 轴。

B.0.3 坐标定位法量测灌浆套筒和插筋中心线位置应按下列步骤进行：

1 建立灌浆套筒、连接钢筋中心线位置平面直角坐标系(图 B.0.3)。



B.0.3 灌浆套筒与连接钢筋中心线位置坐标系及编号示意图

1—灌浆套筒；2—连接钢筋

2 分别量测灌浆套筒中心线间距 a_1 、 a_2 、 a_3 、.....，连接钢筋间距 b_1 、 b_2 、 b_3 、.....，灌浆套筒和连接钢筋中心线位置坐标均按下列公式计算：

$$x_1=0, y_1=0 \quad (\text{B.0.3-1})$$

$$x_2=(l_1^2+l_2^2-l_3^2)/(2l_2), y_2=l_1\sqrt{1-(x_2/l_1)^2} \quad (\text{B.0.3-2})$$

$$x_3=l_2, y_3=0 \quad (\text{B.0.3-3})$$

$$x_i = l_{2(i-2)} + x_{i-2}, \quad y_i = y_{i-1} + \sqrt{l_{2i-3}^2 - (l_{2i-4} + x_{i-2} - x_{i-1})^2} \quad (\text{B.0.3-4})$$

式中： x_i 、 y_i ——对应图B.0.3中点 T_i 、 G_i 横坐标、纵坐标；

l_i ——对应图B.0.3中 a_i 、 b_i 。

3 灌浆套筒与连接钢筋中心线位置偏差按下列公式计算：

$$l_{T-G} = \sqrt{(x_{T_i} - x_{G_i})^2 + (y_{T_i} - y_{G_i})^2} \quad (\text{B.0.3-5})$$

式中： x_{T_i} 、 y_{T_i} ——灌浆套筒第 i 点中心线位置坐标；

x_{G_i} 、 y_{G_i} ——连接钢筋第 i 点中心线位置坐标；

l_{T-G} ——灌浆套筒与连接钢筋中心线位置偏差。

附录 C 混凝土缺陷检测

C.1 相控阵超声成像法

C.1.1 相控阵超声成像法是利用脉冲回波技术对混凝土内部夹杂物、孔洞、分层、裂缝、蜂窝、预埋管道等情况成像的方法。

C.1.2 测试前,应充分收集被测物体的设计和建造信息,如混凝土强度、几何尺寸、钢筋分布、预埋配件位置、施工工艺等情况。

C.1.3 相控阵超声成像仪应符合下列规定:

1 应包含主机、探头、扫查装置和分析软件等,且均应具备产品出厂合格证明文件;

2 应具备对混凝土内部构造彩色成像的功能;

3 标称探测深度不宜小于 1000mm,探头应可用于单面测试;

4 脉冲发射频率范围宜为 10~500kHz,接收增益宜为 0~80dB,声时最小分辨率不宜大于 0.1 μ s,脉冲延时宜为 8~100ms 且可调节;

5 工作环境温度宜为-10~50 $^{\circ}$ C,且不宜在机械振动和高振幅电噪声干扰环境下使用;

6 仪器每年至少校准一次,并应出具符合国家规定、在有效期限内使用的校准证书;当仪器固件升级和配件更换后,应校准合格后方可继续使用。

C.1.4 检测构件及测区布置应符合以下要求:

1 被检构件表面应清洁、平整,构件测试面宜与超声波反射面平行;

2 测区应标识编号和位置,且宜连续布置,测区覆盖范围应大于预估缺陷的区域;

3 测区与被测构件边缘的距离、测试深度应符合仪器性能

的要求。

C.1.5 测时应首先按照仪器给出的方法测试构件的超声波脉冲速度，当构件厚度已知时，宜采用已知厚度对超声波脉冲波速进行标定。

C.1.6 被测物体最小厚度宜 $\geq 50\text{mm}$ 。当测试物体内存在圆柱形缺陷时，缺陷直径宜 $\geq 10\text{mm}$ ；对球形缺陷，缺陷直径宜 $\geq 25\text{mm}$ 。

C.1.7 检测过程中应根据成像结果分析缺陷的类型、大小、空间位置等情况，并存储成像。当对分析结果有怀疑时，可局部破损检测方法验证。

C.1.8 根据检测结果，应对被测构件的质量进行分级，给出措施建议，如表 C.1.8 所示。

表 C.1.8 混凝土构件质量分级及措施建议

等级	分级	措施建议
I	无明显缺陷	可不采取措施
II	有一般缺陷	由施工单位按技术处理方案进行处理，并重新验收
III	有严重缺陷	由施工单位提出技术处理方案，经监理单位认可，必要时尚应经设计单位认可，处理后重新验收。

C.2 声波透射法

C.2.1 混凝土结构缺陷检测应符合下列规定：

1 宜采用对测法和斜测法；

2 具体测试方法及数据处理与判断应按现行相关规范的有关规定执行；

3 声波透射法检测判断存在缺陷时，可采用钻芯法进行验证，具体测试方法可按《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T384 的相关规定执行。

附录 D 套筒灌浆饱满度检测

D.1 预埋传感器法

D.1.1 预埋传感器法可用于施工及验收阶段检测套筒灌浆饱满度。

D.1.2 灌浆饱满度检测仪应符合下列规定：

1 灌浆饱满度检测仪幅值线性度的偏差每 10.0dB 应不超过 1.0dB，频带宽度应在 10kHz~100kHz 之间；

2 灌浆饱满度检测仪每年应至少校准一次。

D.1.3 辅助工具及材料应符合下列规定：

1 传感器（图 D.1.3）宜为阻尼振动传感器，端头核心元件直径不应大于 10.0mm；

2 传感器和橡胶塞应集成设计，排气孔的孔径不应小于 3.0mm；

3 传感器在工作状态下的初读数不应小于 225。

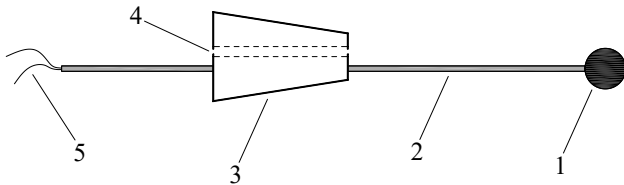


图 D.1.3 传感器示意图

1—端头核心元件；2—钢管；3—橡胶塞；4—排气孔；5—数据线

D.1.4 采用预埋传感器法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

1 安装时，应将传感器沿套筒出浆孔水平伸至套筒内靠近出浆孔一侧的钢筋表面位置，传感器端头核心元件应呈侧向状态，橡胶塞的排气孔应位于正上方并保持通畅，橡胶塞应在出浆孔紧

固到位；

2 灌浆前，应通过灌浆饱满度检测仪检测传感器在工作状态下的初读数，并做好记录；

3 灌浆结束时封堵灌浆孔应及时、快速；

4 灌浆结束后 5min~8min，应再次通过灌浆饱满度检测仪检测传感器的读数，并做好记录。

D.1.5 采用预埋传感器法检测套筒灌浆饱满度的判定准则应符合下列规定：

1 对受检套筒，当传感器振动能量值不小于 0 且不大于 150 时，应判定灌浆饱满；

2 当传感器振动能量值大于 150 且不大于 255 时，应判定灌浆不饱满。

D.1.6 对首次灌浆不饱满的套筒应立即进行二次灌浆，并进行复测。

D.2 预埋钢丝拉拔法

D.2.1 预埋钢丝拉拔法可用于施工及验收阶段检测套筒灌浆饱满度。

D.2.2 拉拔仪应符合下列规定：

1 拉拔仪量程不宜小于 5kN，不宜大于 15kN，最小分辨率单位不应高于 0.01kN；

2 拉拔仪每年应至少校准一次。

D.2.3 辅助工具及材料应符合下列规定：

1 钢丝（图 D.2.3）应采用光圆高强不锈钢钢丝，抗拉强度不应低于 600MPa，直径应为 $5.0\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$ ，钢丝应包括锚固段、隔离段和拉拔段；

2 钢丝锚固段长度应为 $30.0\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ；

3 钢丝隔离段应与灌浆料浆体有效隔离；

4 钢丝和橡胶塞应集成设计；

5 钢丝拉拔段长度应满足拉拔仪要求。

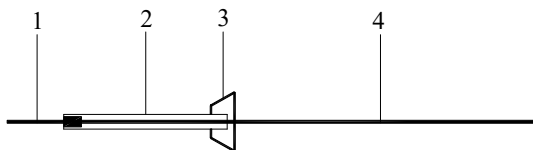


图 D. 2.3 钢丝示意图

1—钢丝锚固段；2—钢丝隔离段；3—橡胶塞；4—钢丝拉拔段

D. 2.4 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

1 应根据预制构件表面的出浆孔到套筒内靠近出浆孔一侧的钢筋表面的垂直距离，以及钢丝锚固段的长度，确定钢丝隔离段的长度和橡胶塞在钢丝上的位置；

2 将钢丝沿套筒出浆孔插入时，应在橡胶塞和出浆孔之间留有一定空隙，待灌浆料浆体流出时再用橡胶塞封堵出浆孔，封堵后应确保钢丝锚固长度符合要求；

3 灌浆结束时封堵灌浆孔应及时、快速；

4 灌浆结束后自然养护期间应做好现场防护工作，钢丝不应受到扰动；

5 灌浆结束后自然养护 3d，应对预埋钢丝实施拉拔；拉拔时，拉拔仪应与预埋钢丝对中连接，加载方向应与钢丝轴线方向重合，加载速度应控制在 0.15kN/s~0.50kN/s，应连续均匀施加荷载直至钢丝被完全拔出，并记录极限拉拔荷载值，精确至 0.1kN。

D. 2.5 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度的判定准则应符合下列规定：

1 取同一批测点极限拉拔荷载值中 3 个最大值的平均值，该平均值的 60%记为 a，该平均值的 40%记为 b；当测点极限拉拔荷载值大于 a 且不小于 1.5kN 时，应判定测点对应套筒灌浆饱满；当测点极限拉拔荷载值小于 b 或小于 1.0kN 时，应判定测点对应套筒灌浆不饱满；

2 其他情况应进一步结合内窥镜校核结果进行判定。

D.2.6 对预埋钢丝拉拔法检测灌浆不饱满的套筒，应进行注射补灌。

D.3 X 射线数字成像法

D.3.1 X 射线数字成像法检测时的防护要求应符合现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 中的有关规定。

D.3.2 X 射线数字成像法可用于施工及验收阶段、使用阶段检测套筒灌浆饱满度和灌浆密实性，检测时灌浆龄期不应少于 7d。

D.3.3 采用 X 射线数字成像法检测时，宜采用便携式 X 射线探伤仪。便携式 X 射线探伤仪的最大管电压宜为 250kV~300kV，平板探测器的分辨率不宜低于 2.5lp/mm，中央控制器可设置的最长延迟开启时间不应低于 180s。

D.3.4 采用 X 射线数字成像法检测套筒灌浆饱满度和灌浆密实性时（图 D.3.4）应符合下列规定：

1 对于未装修的建筑，可结合图纸或目测确定套筒、灌浆孔和出浆孔的位置；对于已装修的建筑，宜结合图纸并通过钢筋探测仪确定套筒位置；

2 平板探测器就位，位于预制构件的一侧，应紧贴构件的表面；

3 X 射线探伤仪就位，位于预制构件的另一侧，应根据事先试验确定的数值，调节 X 射线探伤仪的焦距符合检测规定；

4 应将 X 射线探伤仪与中央控制器相连；

5 应根据事先试验确定的数值设置管电压、管电流、曝光时间及延迟开启时间；

6 开始检测前，现场所有人员应退到安全距离以外，检测时人员所在处辐射剂量当量率不应大于 2.5 μ Sv/h；

7 开始检测时，X 射线探伤仪发射 X 射线，X 射线穿过预制构件应在平板探测器上实时成像；

8 图像采集时，宜通过平板探测器与计算机之间的有线或无线传输，实现计算机远程实时接收图像。

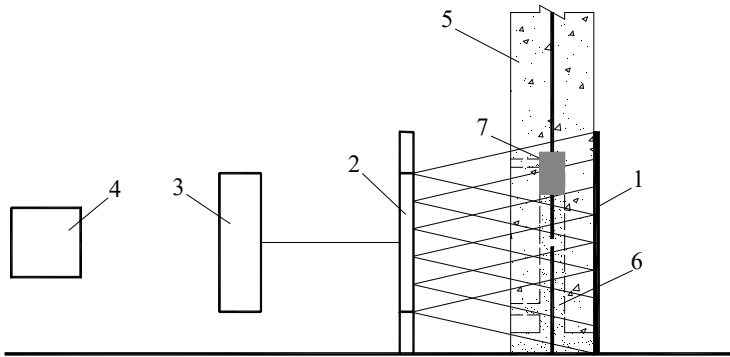


图 D.3.4 采用 X 射线数字成像法检测套筒灌浆饱满度的示意图

1—平板探测器；2—X 射线探伤仪；3—中央控制器；4—计算机；

5—预制构件；6—灌浆套筒；7—灌浆缺陷

D.3.5 对采用 X 射线数字成像法检测获得的图像宜进行归一化灰度分析。

D.3.6 采用 X 射线数字成像法检测套筒灌浆饱满度和灌浆密实性的判定准则应符合下列规定：

1 当套筒灌浆区归一化灰度值不小于 0 且不大于 0.65 时，应判定灌浆饱满度或灌浆密实性符合要求；

2 当套筒灌浆区归一化灰度值不小于 0.85 且不大于 1.0 时，应判定灌浆饱满度或灌浆密实性不符合要求；

3 当套筒灌浆区归一化灰度值介于 0.65 和 0.85 之间或对以上判定有疑问时，可结合其他检测方法综合判定，或通过局部破损法进行验证。

D.3.7 在 X 射线数字成像法检测获得的图像上测量灌浆缺陷区的尺寸时，应先通过已知尺寸标定 X 射线数字成像时的放大倍数。

D.3.8 对 X 射线数字成像法检测灌浆不饱满或灌浆不密实的套筒，应进行注射补灌。

附录 E 钢筋套筒连接质量检测

E.1 内窥镜法

I 灌浆前内窥镜法检测

E.1.1 钢筋套筒连接质量灌浆前检测内容应主要包括钢筋插入套筒深度、钢筋是否偏位、注浆通道是否通畅等。

E.1.2 检测设备及辅助工具应包括带尺寸测量功能的内窥镜、刚性套管、钻孔设备，采用预成孔内窥镜法检测时宜包括预成孔装置。内窥镜应具有产品合格证书和定期计量检定或校准证书且通过技术鉴定。

E.1.3 检测前应做好以下工作：

- 1 确定检测设备是否正常；
- 2 确定套筒的品种、规格和位置等。
- 3 根据检测要求及测试条件，确定待测钢筋套筒部位和测试方式。

E.1.4 内窥镜法检测灌浆前钢筋配置是否到位时，应符合下列要求：

- 1 检测应在现场拼接完成后进行；
- 2 内窥镜的相关参数应设置适当并保证影像显示清晰；
- 3 内窥镜探头的接线软管应分别送入注浆通道和溢浆通道，直至看到套筒内部的钢筋为止。送入的过程中应检查注浆通道和溢浆通道回传的影像是否清晰，通道是否通畅，若发现有堵塞或异物应进行通管处理；
- 4 观察内窥镜探头拍摄的套筒内部下构件预埋钢筋位置，判断钢筋是否按照规定要求插入套筒内足够长度。

II 灌浆后内窥镜法检测

E. 1.5 灌浆后内窥镜检测内容应主要包括套筒钢筋内注浆是否饱满，是否有气泡、孔洞等。

E. 1.6 检测仪器设备及检测前准备工作应符合 E.1.2 及 E.1.3 款之规定。

E. 1.7 灌浆后钢筋套筒连接质量内窥镜检测可采用出浆孔道钻孔内窥镜法、套筒壁钻孔内窥镜法进行检测，也可采用钢丝拉拔法检测后留下的通道进行检测。

E. 1.8 采用出浆孔道钻孔内窥镜法检测时，应按下列步骤进行：

1 每钻进 20mm-30mm 便暂停操作，使用清理设备清理检测孔道内的灌浆料碎屑和粉末；

2 钻至距套筒出浆口小于 20mm 时，应减缓钻进速度，每前进 3mm-5mm 便暂停操作，使用清理设备清理检测通道内的灌浆料碎屑和粉末，同时谨慎观察钻进情况直至检测孔道贯通；

3 从检测孔道将三维立体测量内窥镜的侧视测量镜头送入套筒内腔，并往下观测出灌浆缺陷区的长度，再根据灌浆缺陷区的长度换算得到灌浆饱满度，灌浆饱满度具体计算和判断方法，应按照 E.1.11 条执行。

E. 1.9 采用套筒壁钻孔内窥镜法，应按下列步骤进行：

1 检测前，可根据设计图纸并结合钢筋扫描仪的定位结果来确定套筒的位置；

2 局部剔除套筒出浆口高度对应位置外侧的混凝土保护层；

3 采用钻孔设备在套筒壁上开孔制作内窥镜检测孔道；

4 从检测孔道将内窥镜的侧视测量镜头送入套筒内腔，往下观测出灌浆缺陷区的长度，再根据灌浆缺陷区的长度换算得到灌浆饱满度，灌浆饱满度具体计算和判断方法，应照 E.1.11 条执行。

E. 1.10 采用钢丝拉拔法存留通道进行内窥镜检测，应检测通道壁是否存在其他孔洞、气泡等情况，同时应符合 E.1.4 条第 3 款

之有关规定。

E. 1.11 套筒灌浆饱满度可按下列公式进行计算：

1 半灌浆套筒灌浆饱满度可按式 E.1.11-1 计算：

$$F = (b - h_1 - h_2) / (8d) \times 100\% \quad (\text{E.1.11-1})$$

式中： F ——套筒灌浆饱满度（%），当 F 的计算结果大于100%时取100%；

b ——套筒出浆口中心至套筒底部的高度(mm)；

h_1 ——灌浆料上表面到侧视三维立体测量镜头拍摄端面的垂直距离(mm)；

h_2 ——侧视三维立体测量镜头拍摄端面到套筒出浆口中心的垂直距离(mm)；

d ——连接钢筋的公称直径(mm)。

2 全灌浆套筒灌浆饱满度可按式 E.1.11-2 计算：

$$F = [8d - (h_1 + h_2 + D_2/2)] / (8d) \times 100\% \quad (\text{E.1.11-2})$$

式中： F ——套筒灌浆饱满度（%），当 F 的计算结果小于0时取0；

h_1 ——灌浆料上表面到侧视三维立体测量镜头拍摄端面的垂直距离(mm)；

h_2 ——侧视三维立体测量镜头拍摄端面到套筒出浆口中心的垂直距离(mm)；

D_2 ——套筒出浆口直径(mm)；

d ——连接钢筋的公称直径(mm)。

3 如采用套筒壁钻孔内窥镜法检测，则公式 E.1.11-1 和 E.1.11-2 中原以套筒出浆口高度起算的相关参数值均需调整为以钻孔中心高度起算的相关参数值。

E. 2 直接冲击振动法

E. 2.1 本方法适用于从出浆孔位置对钢筋套筒灌浆密实度进行检测，采用该方法检测时连接钢筋插入套筒长度应超过或达到出

浆孔上缘位置；对于连接钢筋插入套筒长度未达到出浆孔上缘位置的情况，可从注浆孔进行检测，检测方法可参照本方法进行。检测通道可采用沿出浆孔或注浆孔钻孔的方法得到，具体要求可参照本规程附录 E.1 的规定。

E. 2. 2 检测仪器、辅助工具及材料应符合下列规定：

- 1 测试装置构成宜参照图 E.0.2.1 所示；
 - 1) 固定构件宜使用刚度大的材料，固定构件应固定于预制构件上，固定后的抗拔力宜大于 0.6 kN 以上；
 - 2) 传力棒宜对连接钢筋施加 250 N 以上的预压力；
 - 3) 锤子宜使用铁制或钢制材料；
 - 4) 小信号/低噪声放大器内的模拟滤波器不宜设置高通，低通宜设置在 3kHz 以上；模拟滤波器的带阻范围，宜设置在 45-55Hz；
 - 5) 信号采集仪的最大采样频率应不小于 100 kHz；
 - 6) 分析仪宜具有小波变换功能。
- 2 传力棒宜如图 E.0.2.2 所示，并应符合下列规定：
 - 1) 传力棒宜为实心刚性体，宜使用不锈钢等耐锈性强的材料制作；
 - 2) 光圆段与矩形面宜有渐变过渡面；
 - 3) 应变片应粘贴于平面上；
 - 4) 应变片的连接方式宜采用全桥惠斯通电路；

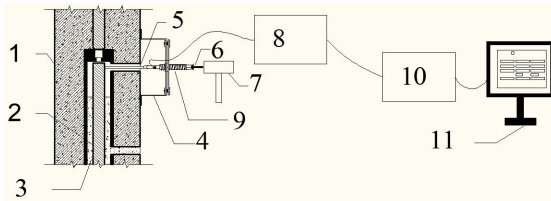


图 E. 0. 2. 1 直接冲击振动法的概念图

- 1—预制构件；2—连接钢筋；3—灌浆体；4—固定构件；5—出浆孔钻孔；
 6—脉冲力施加方向；7—锤子；8—小信号/低噪声放大器；9—传力棒；
 10—信号采集仪；11—上位机

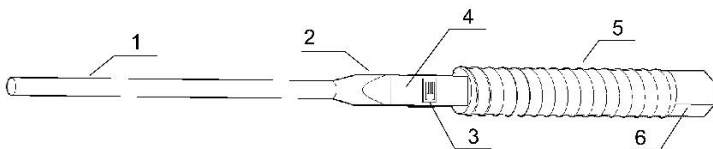


图 E.0.2.2 传力棒示意图

1—光圆段；2—变截过渡面；3—应变片；4—矩形面；5—螺纹段；6—六角型段

E.2.3 检测前应检查检测仪器状况，并应记录工程名称、楼号、楼层、检测项目所在构件编号、检测人员信息、设备参数（采样频率、激振方式、传感器型号）等。

E.2.4 固定构件安装部位附近混凝土表面应密实、平整。

E.2.5 采用直接冲击振动法进行检测时，应符合下列规定：

1 进行直接冲击振动法进行检测时，灌浆体的固化时间应不低于 72 小时；

2 进行直接冲击振动法检测前，应保证传力棒顶部与连接钢筋紧密贴合，并施加一定预压力；

3 安装仪器时，应保证传力棒的光圆端与出浆孔壁没有接触；

4 应对传力棒顶段施加轴向锤击力。

5 直接冲击振动法进行检测所采集到的力波时域图进行分析时，应使用第一个脉冲波计算峰宽比，如图 E.0.5.1 所示。峰宽比计算公式如下：

$$Rpt = \frac{A_{\text{peak}}}{\Delta t_{\text{FWHM}}} \quad (\text{E.0.5})$$

式中： A_{peak} 表示首次脉冲峰值高度（Amplitude Peak），单位：N；

Δt_{FWHM} 中， $FWHM$ 表示首次脉冲半峰高处脉冲宽度（Full Width At Half Maximum），单位：s；

Rpt 表示峰宽比（Ratio Between Peak And $FWHM$ ），单位： $\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

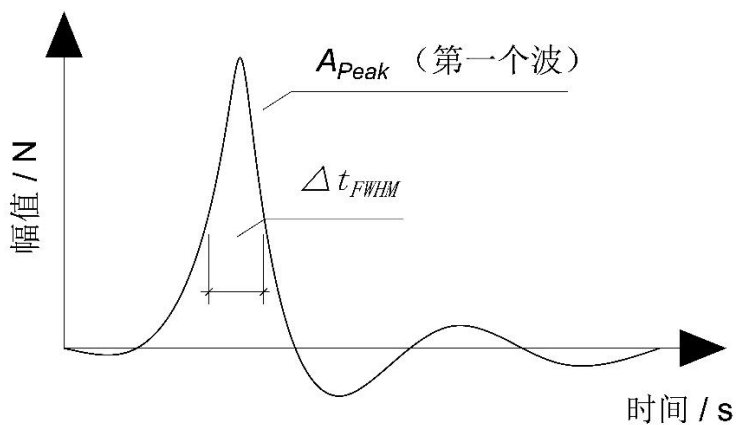


图 E. 0. 5. 1 检测结果时域图示意图

E. 2. 6 当采用峰宽比 RPt 对套筒灌浆密实度进行定量分析时，应根据现场制作的不同灌浆饱满度的钢筋套筒构件的实测标定结果进行确定。

附录 F 叠合构件结合面质量检测

F.1 冲击回波法

F.1.1 检测仪器、辅助工具及材料应符合下列规定：

1 仪器应能实时显示冲击时传感器的输出时域信号，并具有频率幅值谱分析功能。

2 冲击回波仪应配置测量表面振动的宽频带接收传感器，宜为加速度传感器，参数应满足检测要求。

3 冲击回波仪应配置钢球型冲击器或电磁激振的圆柱型激振器；

4 数据采集仪宜配有不少于 2 通道的模/数转换器，分辨率不应低于 16 位，采样频率不应低于 100kHz，且采样点数可调；

5 数据采集仪应具备信号放大功能，且增益可调。

F.1.2 检测前应检查仪器状况，并应记录工程名称、楼号、楼层、设备参数（采样频率、激振方式、传感器型号）及检测项目所在构件编号、检测人员信息等。

F.1.3 待检测部位混凝土表面应清洁、平整、密实。

F.1.4 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磁噪声干扰环境下使用。

F.1.5 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。

F.1.6 测区范围应大于预估缺陷的区域，并应有进行对比的同样条件正常混凝土部位。

F.1.7 用冲击回波法检测新老混凝土结合面的缺陷，应符合下列规定：

1 结合面上部混凝土层厚度应满足检测仪器规定的检测厚

度范围；

2 测试面宜平行于结合面；

3 瞬时应力波的反射时间明显短于无缺陷区域，或综合分析得出的测试构件厚度为表层结构厚度时，可判断结合面分层、空鼓。

F.1.8 当采用单点式冲击回波法检测时，应符合下列规定：

1 冲击点位置与传感器的间距应小于所测构件实际厚度的0.4倍；

2 采集信息和激振信息应根据结构尺寸和类型确定。

F.1.9 冲击回波法的应用除应符合本规程规定外，尚应符合现行行业标准《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411 的规定。

F.2 声波透射法

F.2.1 采用声波透射法检测叠合构件叠合面质量时，应主要依据声波速度、声波幅度及主频率等参数的变化来判断结合面是否存在缺陷。

F.2.2 检测仪器相关参数和功能应能满足混凝土构件叠合面质量检测的要求。

F.2.3 检测前应检查仪器状况，并应记录工程名称、楼号、楼层、检测项目所在构件编号、检测人员信息、设备参数（采样频率、激振方式、传感器型号）等。

F.2.4 检测部位的混凝土表面应清洁、平整，必要时可用砂轮磨平或用高强度的快凝砂浆抹平。抹平砂浆必须与混凝土粘结良好。

F.2.5 被测部位及测点的确定应满足下列要求：

1 检测前应查明结合面的位置及走向，明确被测部位及范围；

2 构件的被测部位应具有使声波垂直或斜穿叠合面的测试条件。

F.2.6 混凝土构件结合面的质量检测可采用对测法和斜测法，

如图 F.2.6 所示。

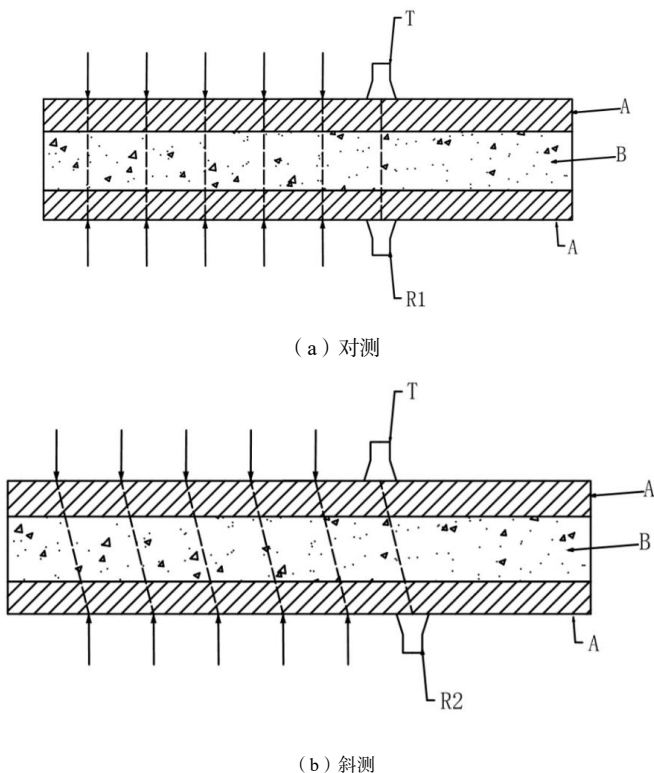


图 F.2.6 混凝土结合面质量检测示意图

T—超声波发射探头；R₁—对测超声波接收探头；R₂—斜测超声波接收探头；

A—预制构件；B—后浇区

F.2.7 布置测点时应符合下列规定：

- 1 使测试范围覆盖全部结合面或有怀疑的部位；
- 2 各对 T—R₁ (对测，图 F.2.6 (a)) 和 T—R₂ (斜测，图 F.2.6 (b)) 的测距应分别相等。

F.2.8 数据处理：

- 1 同一测区各测点声速、波幅和主频值可分别按现行相关

规范规定进行分析和判定；

2 当通过叠合构件结合面的某些测点的声速、波幅或主频等参数被判为异常，并查明无其他干扰因素影响时，可判定混凝土构件叠合面在该部位结合不良。

F.2.9 当使用混凝土纵波波速进行叠合面缺陷厚度定量分析时，应通过与确定厚度缺陷的构件叠合面模型的测试标定结果相对比的形式进行。

本规程用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区分对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的用词:

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用词:

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,在条件许可时首先应这样做的用词:

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用词,采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《工程测量标准》GB 50026
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《纤维增强复合材料工程应用技术规范》GB 50608
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB /T 1447
- 《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1
- 《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2
- 《冷轧带肋钢筋》GB/T 13788
- 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683
- 《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671
- 《金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1
- 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50488
- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784
- 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114
- 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
- 《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256
- 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23

《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70
《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ/T 110
《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152
《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322
《拉脱法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 378
《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384
《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411
《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408
《预制保温墙体用纤维增强塑料连接件》JG/T 561
《聚氨酯建筑密封胶》JC/T 482
《聚硫建筑密封胶》JC/T 483
《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881
《装配式混凝土结构钢筋套筒灌浆连接技术规程》DB33/T1198

浙江省工程建设标准

装配式混凝土结构检测技术规程

DB33 xxxx – 2021

条文说明

目 次

1	总 则	51
3	基本规定	52
3.1	一般规定	52
3.2	检测流程及要求	52
3.3	检测报告	52
5	预制混凝土构件进场检测	53
5.1	一般规定	53
5.2	尺寸偏差	53
5.3	构件缺陷	53
5.4	混凝土强度和钢筋配置	54
5.5	构件力学性能	54
6	现场安装与连接质量检测	55
6.1	一般规定	55
6.2	安装尺寸偏差	55
6.3	钢筋套筒灌浆连接和浆锚搭接连接质量	55
6.5	预制剪力墙底部接缝灌浆质量	55
6.6	后浇混凝土质量	55
7	结构整体性能检测	57
7.1	沉降和倾斜检测	57
附录 A	预制构件粗糙度检测	58
附录 C	混凝土缺陷检测	59
附录 D	套筒灌浆饱满度检测	61
附录 E	钢筋套筒连接质量检测	70
附录 F	叠合构件结合面质量检测	77

1 总 则

1.0.1 装配式混凝土结构的连接质量是确保结构安全的关键,但限于我国目前的施工水平,难以确保连接质量符合设计要求,因此对装配式混凝土进行合理检测是非常必要的。装配式混凝土结构检测涉及的面较广,检测方法众多,需要进行合理的规范化,确保检测的可靠性和保证工程质量。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.2 检测机构不应进行与委托方检测目的无关的检测或过度检测。

3.1.3 本条规定了进行装配整体式混凝土结构现场检测的 5 种主要情况。

3.2 检测流程及要求

3.2.2 本条规定了装配整体式混凝土结构检测工作的程序。检测工作自身的质量应该有一套程序来保证，对于一般装配整体式混凝土结构检测，程序框图中描述的从接受委托到检测报告各个阶段构成了一套比较完备的检测程序。对于特殊情况的检测，则应根据检测目的确定其检测程序和相应内容。

3.3 检测报告

3.3.2 本条提出了检测报告应包括的内容，保证信息的完整性。

5 预制混凝土构件进场检测

5.1 一般规定

5.1.2 现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 对进场后安装前的预制构件结构性能的检验做了具体规定，应严格执行。

5.2 尺寸偏差

5.2.4~5.2.6 混凝土预制构件上的预埋件、预留插筋、预留孔洞、预埋管线的位置及尺寸准确对于保证预制构件的顺利安装至关重要，应同时进行检测。

5.2.7 键槽是装配整体式混凝土建筑隐蔽工程验收的重要内容。现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 键槽应满足的要求做出了明确规定。

5.2.8 粗糙面是装配整体式混凝土建筑隐蔽工程验收的重要内容。现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 对粗糙面应满足的要求做出了明确规定。

5.2.10 本规程所指吊件包括包括吊环和吊钉等。

5.3 构件缺陷

5.3.2 本条列举了常见的混凝土预制构件外观缺陷的检测项目及其主要检测方法。对各外观缺陷的定义及分类可参考现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231。

5.3.3 本条列举了常见的混凝土预制构件内部缺陷的检测项目及其主要检测方法。

5.4 混凝土强度和钢筋配置

5.4.1 本条列举了常见的混凝土预制构件抗压强度的主要检测方法。

5.4.4 钢筋直径的检测宜优先采用游标卡尺直接测量外露钢筋的方法。

5.5 构件力学性能

5.5.2 本条规定了预制构件进场时的结构性能检验要求。叠合板在叠合之前，应进行结构性能试验，具体试验荷载和测试指标由设计单位提供。

6 现场安装与连接质量检测

6.1 一般规定

6.1.2 本条结构构件安装尺寸偏差属于安装质量检测范畴,其他检测项目属于连接质量检测范畴。

6.2 安装尺寸偏差

6.2.1 装配式混凝土结构构件的安装偏差是施工控制和验收的重要内容,安装偏差的允许范围应满足现行有关标准的规定。

6.2.3 这里的钢筋包括预制构件和后浇混凝土中的钢筋。双面叠合剪力墙内部钢筋的检测也可参照本条规定执行。

6.3 钢筋套筒灌浆连接和浆锚搭接连接质量

6.3.1 本条列举的各种检测方法,均经过大量实验室试验和实际工程验证,满足可靠性要求。各种检测方法均有不同的适用对象、适用阶段和工作要求,需要根据具体检测情形予以选用,必要时,可综合运用多种检测方法相互校核,或采用局部破损法进行验证。一般情况下,事中建议采用预埋传感器法,检测不饱满可随即进行二次灌浆;事后建议采用内窥镜法,检测不饱满可进行注射补灌。这里需要特别指出的是,预埋传感器法和预埋钢丝拉拔法主要适用于套筒出浆孔外接直管情况,对于套筒出浆孔外接弯管的情况,可用X射线数字成像法、内窥镜法或直接冲击振动法进行检测。

6.3.9 浆锚搭接连接的出浆孔一般采用弯管形式,因此,不适宜采用预埋传感器法和预埋钢丝拉拔法进行检测。

6.5 预制剪力墙底部接缝灌浆质量

6.5.1 本规程建议采用小直径换能器,换能器的辐射端直径不超过 20.0mm,能较好地适应预制剪力墙底部接缝的构造特点。该方法主要适用于预制剪力墙底部接缝灌浆质量的检测,也适用于双面叠合剪力墙底部接缝后浇混凝土内部缺陷的检测,对于预制夹心保温剪力墙底部接缝灌浆质量检测的适用性,还需进一步研究。

6.5.2 现行团体标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21 建议测点间距为 100.0mm~300.0mm,这里取较小值是为了增大发现缺陷的概率。首轮测量后,对有怀疑的点位进一步加密测点,可大致确定缺陷的分布范围。

6.6 后浇混凝土质量

6.6.1 后浇混凝土质量检测主要包括后浇区混凝土抗压强度检测和后浇区混凝土缺陷检测,前者可采用回弹法、超声回弹综合法、拉应力法、钻芯法等方法进行检测,后者主要采用超声波法进行检测。检测时应满足国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 以及中国建设标准化协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21 等规程的要求。

6.6.2 后浇混凝土制作试件数量应满足下列要求:

1 同一配合比的混凝土,每工作班且建筑面积不超过 1000m²制作一组标准养护试件;

2 同一楼层应制作不少于 3 组标准养护试件。

6.6.3 超声法(声波透射法)是检测后浇区混凝土缺陷(主要是孔洞和蜂窝等混凝土不密实问题)较为有效的方法,具体可根据超声法测得的各测点的声速、波幅和主频率及其变化情况来判断混凝土内部缺陷情况,具体检测和判断方法在中国建设标准化协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21 中有较详细的规定,检测时可按其要求进行。

7 结构整体性能检测

7.1 沉降和倾斜检测

装配式混凝土结构的整体沉降和倾斜可以作为评判地基、基础和围护墙体接缝等工作状态的重要辅助信息，因此装配式混凝土结构的整体沉降和倾斜应作为必检项目。这里的沉降和倾斜检测是针对整体结构而言的，应注意与局部构件的沉降和倾斜相区分。

附录 A 预制构件粗糙度检测

A.0.8 分类评价标准是在现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 要求的基础上提出的。当平均值和变异系数同时满足要求时，可判定预制混凝土构件结合面的粗糙度合格。

附录 C 混凝土缺陷检测

工程应用实例：超声成像法的原理是采用多通道的脉冲回波技术。一个通道发送，其余通道接收回波，每个通道轮流发送。一个完整测量包含 $n * (n-1)$ 个 A-scan，这些 A-scan 用于计算 B-scan，并使用合成孔径聚焦技术(SAFT)实时显示 B-scan，如图 C.1 所示。测试设备如如 C.2、C.3 所示。某工程叠合板及双面剪力墙的检测结果如图 C.4、C.5 所示。

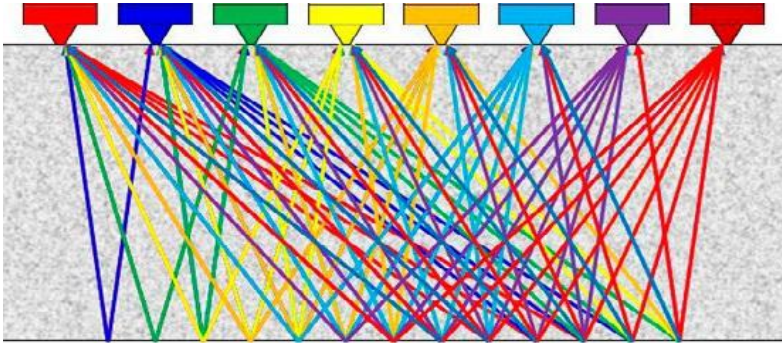


图 C.1 超声成像法检测原理



图 C.2 超声成像检测仪

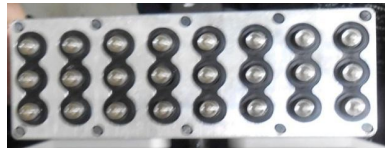


图 C.3 超声成像检测仪探测面



图 C.4(a) 叠合板检测现场

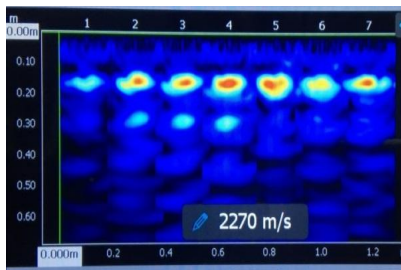


图 C.4(b) 叠合板检测结果(无缺陷)

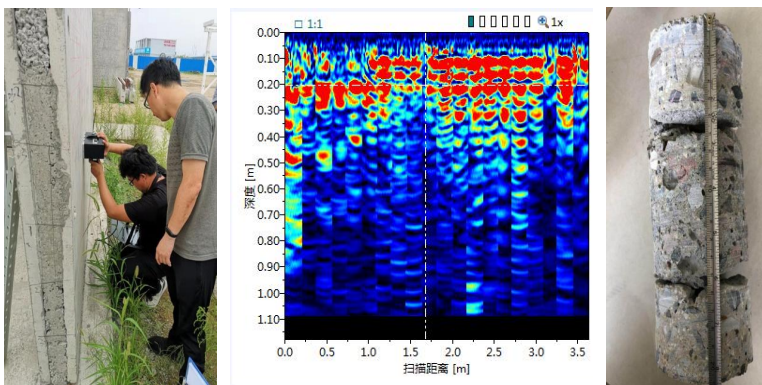


图 C.5 双面叠合剪力墙检测(存在缺陷)

C.2 声波透射法

C.2.1 对混凝土缺陷进行声波透射法检测时，对测法和斜测法是最常用的两种检测方法，相对于扇形扫测等检测方法，其检测数据分析及结果判定相对较为简单，因此将其作为推荐的检测方法。具体的测试方法及数据处理与判断可按现行中国工程建设标准化协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS:21 的相关规定执行。此外声波透射法检测判断存在缺陷时，往往难以直观了解缺陷的具体性质和程度，此时可采用钻芯法进行验证，以查明具体缺陷性质、程度和范围，为进一步采取补救措施提供依据。

附录 D 套筒灌浆饱满度检测

D.1 预埋传感器法

D.1.3 传感器在工作状态下的初读数是指传感器按要求在套筒出浆孔就位后的读数。传感器初读数一般为 255，如果检测人员将传感器端头核心元件紧紧抵到套筒内钢筋上，端头核心元件受到较大压力作用，初读数会有所降低，但不应小于 225。如果初读数小于 225，需调整传感器相对钢筋的位置并重新检测初读数；如果调整后仍不满足要求，需更换传感器并重新检测初读数。

D.1.4 采用连通腔灌浆或单独套筒灌浆时，要求灌浆结束时及时、快速封堵灌浆孔，主要是为了防止灌浆料浆体流失，从而导致套筒内浆体回落。为保证灌浆料浆体能够充分填充各类孔隙，从而达到充分稳定，要求必须在灌浆结束后 5min~8min 进行检测，不得提前检测，也不要延后检测。规定不要延后检测，一方面是为了确保检测不饱满时能及时得到补灌，另一方面则是因为预埋传感器法对于灌浆料凝固后的情形不适用，容易引起误判。另外，在灌浆过程中，也可以对预埋传感器的套筒实施连续监测。

D.1.5 预埋传感器法检测结果的判定准则充分考虑了全灌浆套筒和半灌浆套筒内部的构造特征、钢筋的锚固要求等因素，并经过大量实验室试验和工程实践验证得出。研究表明：当 $0 \leq$ 传感器振动能量值 ≤ 100 时，判定为 I 类，灌浆饱满； $100 <$ 传感器振动能量值 ≤ 150 时，判定为 II 类，灌浆基本饱满； $150 <$ 传感器振动能量值 ≤ 255 时，判定为 III 类，灌浆不饱满。一般情况下，I 类、II 类不需处理，III 类需要进行二次灌浆。本条对判定准则作了适当简化，直接以 150 为分界线划分灌浆饱满与不饱满，简单易行。

D.1.6 预埋传感器法的优点是检测套筒灌浆不饱满时，可及时

进行二次灌浆，从而实现了检测与质量管控的一体化，可有效提升施工质量。

采用连通腔灌浆时，宜优先从原连通腔灌浆孔进行二次灌浆，从原连通腔灌浆孔无法进行二次灌浆时，可从不饱满套筒的灌浆孔进行二次灌浆。采用单独套筒灌浆时，应从不饱满套筒的灌浆孔进行二次灌浆。二次灌浆应在从首次灌浆开始算起的 30min 内完成。

实际工程灌浆时，如果是封堵灌浆孔不及时导致漏浆较多，或者灌浆设备拔出前持压不充分导致套筒内浆体回落，可直接进行二次灌浆；如果是钢筋偏位过大，紧贴出浆孔导致出浆孔不出浆，可先用冲击钻适度冲击使钢筋回位，然后再进行二次灌浆；如果是连通腔密封不严导致轻微漏浆，须先用堵漏材料进行堵漏，然后再进行二次灌浆；如果是连通腔爆浆失效，须立即敲除封堵材料并冲洗，干燥后重新密封连通腔，满足养护龄期后再进行二次灌浆。

工程应用实例：某房开项目，总面积约 41 万 m^2 ，采用预制剪力墙结构形式，并以套筒灌浆连接为主，在灌浆过程中采用预埋传感器法检测套筒灌浆饱满度。综合参考现行国家标准《建筑工程施工质量统一验收标准》（GB 50300-2013）、《建筑结构检测技术标准》（GB/T 50344-2004）、《混凝土结构现场检测技术标准》（GB/T 50784-2013）等标准，依据划分的检测批确定抽样数量，抽样原则如下：

① 以每幢楼每个单元为一个检测批，检测类别按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》（GB/T 50784-2013）中表 3.4.4 规定的 C 类执行。

② 抽样位置涵盖每层，并尽量分散，首层增加抽样数量；每一构件上的测点布置在距灌浆孔较远的位置。

该项目测点数量约占总量的 20%，覆盖了绝大部分构件；对于不在抽样范围内的构件，检测小组也全程监督灌浆并协助施工

方进行影像拍摄。

采用预埋传感器法具体检测时，若灌浆正常，则直接检测，如图 D.1 所示。若灌浆过程中出现突发问题，则采取以下临时处理措施：钢筋偏位过大，紧贴出浆孔，用冲击钻适度冲击使钢筋回位，然后灌浆并检测；个别地方漏浆，用堵漏王封堵，处理后继续灌浆并检测，如图 D.2 所示。若连通腔爆浆，则立即敲除并冲洗，干燥后重新封堵，满足养护龄期后重新灌浆并检测，如图 D.3 所示。



(a) 预埋传感器后灌浆



(b) 灌浆后检测

图 D.1 灌浆正常直接检测



(a) 堵漏材料



(b) 机电管线穿过部位堵漏

图 D.2 个别地方漏浆用堵漏王封堵



(a) 用冲击钻敲除



(b) 用压力水冲洗浆体

图 D.3 连通腔爆浆后及时处理

以 A3-01C 地块套筒灌浆连接为例，截止到 2019 年 6 月 30 日，共对该地块中的 PC 构件套筒灌浆连接进行了 16 次检测（每次 1 天）。第 1 次、第 2 次检测时，一次性灌浆成功率不足 70%；根据检测方反馈，施工方对灌浆工艺进行改进，一次性灌浆成功率不断上升；最终一次性灌浆成功率已稳定在 90% 以上；所有一次性灌浆不成功的，经过二次灌浆能够达到 100% 满足要求。

采用钻孔内窥镜法对 A3-01C 地块中的套筒灌浆连接进行了检测复核。随机抽取了 6 个不同构件，每个构件抽取 1 个套筒，共 6 个套筒。其中 4 个套筒所在的构件均通过预埋传感器进行了灌浆质量控制，另有 2 个套筒所在的构件均没有通过预埋传感器进行灌浆质量控制。6 个套筒的灌浆质量复核结果均为饱满。

事中检测推荐采用预埋传感器法，检测套筒灌浆不饱满时，可及时进行二次灌浆，从而实现了检测与质量管控的一体化，显著提升施工质量。

D.2 预埋钢丝拉拔法

D.2.3 钢丝要求采用不锈钢，主要是为了排除钢丝锈蚀对钢丝锚固性能的影响。调查表明，不同型号套筒内靠近出浆孔一侧的钢筋表面到出浆孔外边缘的距离均为 30mm 左右，因而锚固长度选择 $30\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 比较符合套筒出浆孔的构造特征。考虑这段长

度范围内灌浆料浆体对钢丝的锚固作用，可以有效反映套筒内灌浆的饱满程度，而出浆孔外接 PVC 管内灌浆料浆体的锚固作用则不考虑，可用穿过钢丝的塑料管进行隔离。塑料管的内径一般较钢丝直径大 2.0mm 左右，塑料管一端应封堵以防止浆体进入塑料管内，另一端应插入开口橡胶塞内一定长度进行固定，插入长度宜为橡胶塞厚度的一半。采取以上措施，确保钢丝锚固长度不会太长，也是为了确保后续拉拔时钢丝能够被拔出，而不是被拉断，拔出后形成的孔道可为内窥镜校核创造条件。

D. 2. 5 同一批测点是指在同一批灌浆料、同一水灰比、同一灌浆工艺（同一灌浆方式、同一灌浆单位等）、同一养护条件下完成的测点。本条判定准则中的取值主要是基于采用现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 中规定的合格灌浆料，并经过大量实验室试验和工程实践验证得出。

用内窥镜进行校核，是指利用预埋钢丝拉拔后留下的孔道，将内窥镜的探头伸入套筒出浆孔观测是否存在灌浆缺陷。一般选用探头直径不超过 4.0mm 的内窥镜。

检测过程中有可能出现这种情况：测点数据低于 b 或低于 1.0kN，但内窥镜观测结果为饱满。这种情况很有可能是灌浆料强度不合格造成的，需要进一步检查灌浆施工记录及抗压强度试验报告。

D. 2. 6 对预埋钢丝拉拔法检测结果为灌浆不饱满的套筒，应首先在出浆孔沿钢丝拉拔预留的孔道采用适宜的钻孔设备进行扩孔，然后通过注射器外接细管进行注射补灌。注射补灌时，出浆孔扩孔孔道的内径与注射器外接细管的外径之差不应小于 4mm，注射器内灌浆料液面最低位置应高于套筒。具体注射补灌步骤为：①向注射器内倒入灌浆料；②将与注射器相连的细管放入扩孔孔道；③缓慢推动注射器活塞进行注浆，如果一次注射浆料不足，可重复以上步骤；④注射补灌至出浆孔出浆时，继续边注射边拔出注射器，并及时封堵出浆孔。实验室大量试验表明，按以上方

式注射补灌后接头性能满足现行国家行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的要求，破型后发现注射补灌可保证套筒内灌浆饱满密实。注射补灌后可根据需要采用内窥镜法进行复测。

工程应用实例：某工程为预制夹心保温剪力墙结构，内叶墙厚度为 200mm，套筒全部布置在内叶墙，墙体中间单排居中布置，墙体两端双排对称布置，连通腔灌浆。现场照片如图 D.4、D.5 所示。测试结果如表 D.2.6 所示，采用内窥镜法校核结果如图 D.6 所示。



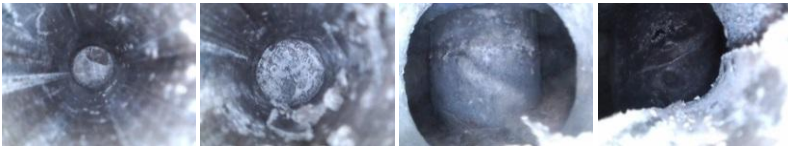
图 D.4 预埋钢丝并灌浆



图 D.5 现场拉拔

表 D.2.6 预埋钢丝拉拔法测试结果

测点	1	2	3	4	5	6	7
拉拔力 (kN)	2.134	2.054	0.109	0.556	2.054	2.167	3.465
饱满度判别	高于 60%	高于 60%	低于 40%	低于 40%	高于 60%	高于 60%	高于 60%



测点 1

测点 2

测点 3

测点 4

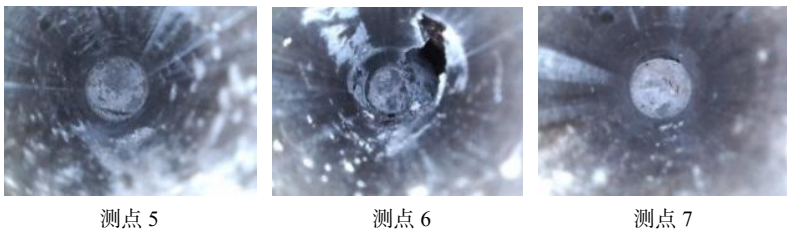


图 D.6 内窥镜校核结果

D.3 X 射线数字成像法

D.3.2 X 射线数字成像法可以透照套筒全貌，因此，既可检测套筒出浆孔处的灌浆饱满度，也可检测套筒内部的灌浆密实性。另外，还可以通过 X 射线数字成像结果来了解套筒内的钢筋锚固长度，钢筋锚固长度满足标准要求是后续进行套筒灌浆饱满度和灌浆密实性检测的基本前提，须从严要求。X 射线数字成像法适用的预制构件一般为预制剪力墙（200mm 厚左右）或预制夹心保温剪力墙（300mm 厚左右），且构件内套筒为单排布置或梅花形布置。

D.3.3 现行国家标准《无损检测 X 射线数字成像检测 导则》GB/T 35389、《无损检测 X 射线数字成像检测 检测方法》GB/T 35388、《无损检测 X 射线数字成像检测 系统特性》GB/T 35394 对 X 射线数字成像的检测设备、检测方法、系统特性、图像质量（使用归一化信噪比、图像分辨率和图像灵敏度来评价）等均有明确的规定，采用 X 射线数字成像法检测套筒灌浆饱满度和灌浆密实性时，应首先满足这些基本规定，在此基础上，针对套筒灌浆饱满度和灌浆密实性检测的固有特点，再满足本附录提出的相应检测要求。

D.3.5 为消除量纲因素的影响，对采用 X 射线数字成像法检测获得的图像宜进行图像灰度归一化分析，可通过 X 射线数字成像系统的配套软件完成，基本步骤包括：①获取区域灰度值；②制

作灰度映射表 LUT (Look-UP-Table); ③进行灰度转换。本规程要求采用 X 射线数字成像后的正像图进行分析,正像图是 X 射线穿过被检物体后的剩余射线形成的图像,直接反应了被检物体的结构及对射线的吸收情况。

D.3.6 X 射线数字成像法检测套筒灌浆缺陷的识别标准是基于实验室大量标准试件检测数据及大量实际工程实测数据得出的,其中,标准试件检测结果已经过 X 射线工业 CT 法验证,实际工程实测结果已经过内窥镜法验证。当灌浆区归一化灰度值介于 0.65 和 0.85 之间时,可能受到水平箍筋或套筒内横隔的影响,需要综合判定该处是否存在灌浆缺陷,必要时也可通过局部破损法进行验证。

D.3.7 根据灌浆缺陷识别标准确定灌浆缺陷区的范围后,可以通过 X 射线数字成像系统的配套软件测量缺陷区的尺寸。但 X 射线数字成像具有放大效应,计算灌浆缺陷区的尺寸时,必须消除放大效应的影响,需要通过与缺陷区平行的套筒某部位的已知尺寸标定放大倍数,标定可通过 X 射线数字成像系统的配套软件完成。

D.3.8 具体注射补灌方法可参照 E.0.6 条及其条文说明执行。

工程应用实例:某工程为预制夹心保温剪力墙结构,内叶墙厚度为 200mm,套筒全部布置在内叶墙,墙体中间单排居中布置,连通腔灌浆。现场测试照片如图 D.7~D.12 所示。



图 D.7 射线源



图 D.8 平板探测器



图 D.9 中央控制器

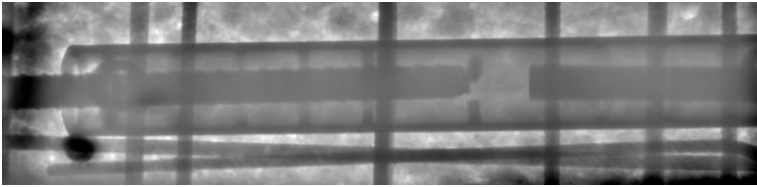


图 D.10 灌浆饱满

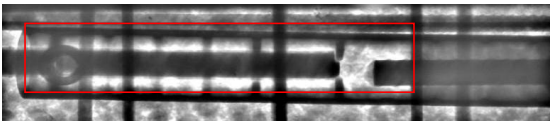


图 D.11 灌浆不饱满

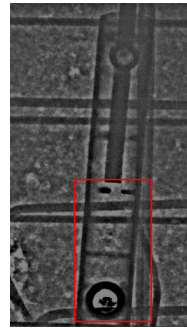


图 D.12 钢筋截断

附录 E 套筒连接质量检测

E.1 内窥镜法

I 灌浆前内窥镜法检测

E.1.1 预制构件现场连接节点的质量是影响装配式建筑质量的重要因素，现场连接常用后注浆套筒插入钢筋式连接方式，该连接方式在保证施工质量的情况下固然可以实现预制构件的牢固连接，但考虑到施工过程中可能出现的钢筋未能按照规定要求足长插入套筒内，或在套筒通道内存有异物影响注浆效果，因此需要在注浆前采用内窥镜法对钢筋插入长度、是否存在偏位及通道是否通畅等情况进行检测。

E.1.2 本条介绍了内窥镜法检测所需要的设备及工具。预成孔内窥镜法需要通过预留的检测孔道，将内窥镜镜头送至套筒内腔便于直观清晰地观察套筒内腔的情况，因此在多数情况下预成孔装置是必不可少的。带有刻度的内窥镜是检测钢筋插入长度所必须的，仪器设备应当定期检定或校准以保证检测结果的准确性。

E.1.3 采用内窥镜法进行检测前，必须明确检测要求和检测方式，并在确认设备、工具正常工作情况进行检测。

E.1.4 通过注浆使得套筒和钢筋两者紧密连接起来的方式尽管可靠，但是在施工过程中可能出现种种问题导致本应该插入套筒内的钢筋被截断或者钢筋没有按照规定要求足长的插入钢筋套筒内，或者钢筋上夹带了异物，从而影响预制构件现场连接节点的质量，使组装完成的装配式建筑存在一定的安全隐患。因此，采用内窥镜法探查套筒内钢筋是否到位以及是否存在异物是至关重要的。本条规定了在较常见情况下检测套筒内钢筋的要求。

II 灌浆后内窥镜法检测

E. 1.5 后注浆钢筋套筒连接质量的好坏，直接关系到整个装配式建筑质量。因此对于注浆后，钢筋套筒内灌浆质量的检测是至关重要的。后注浆钢筋套筒连接中常见问题主要是注浆不饱满、注浆区域出现气泡和孔洞，因此注浆后检测的重点应放在这些问题上。

E. 1.7 如果出浆孔道比较平直，可以采用出浆孔道钻孔内窥镜法或钢丝拉拔法检测留下的通道进行检测，否则只能采用套筒壁钻孔内窥镜法进行检测。

E. 1.8 在室内试验和工程实践基础上，提出出浆孔道钻孔结合内窥镜法检测套筒灌浆饱满度。该法在套筒出浆孔管道钻孔，然后沿孔道底部伸入内窥镜观测套筒顶部灌浆是否饱满。钻孔时应当及时清理孔道内的粉末，保证检测孔道的通畅。

E. 1.9 本条及上条分别介绍了采用出浆孔道钻孔和套筒壁钻孔的内窥镜法，根据相关操作要求进行检测后均可准确得到灌浆饱满度，并可以此作为依据判断灌浆质量是否合格。在实际情况中，可酌情选择合适的方法进行检测。

工程应用实例：某产业区住房项目总建筑面积约为 25.9 万 m²，采用预制剪力墙结构形式，并以套筒灌浆连接为主。每栋楼每层的套筒灌浆结束后不少于 3d，采用钻孔内窥镜法检测套筒灌浆饱满度。

根据委托方要求，按每栋楼的每一层划分检测批，参照现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》（GB/T 50784-2013）表 3.4.4 中的检测类别 A 确定检测数量，具体见表 E.1.9 所列。每栋楼每一层的具体检测位置由委托方或监理单位指定，或经委托方、监理单位授权后由检测单位随机选取。在检测过程中，通过速报的方式及时向委托方、监理单位、施工单位汇报检测结果，并建议对存在套筒灌浆不饱满的楼层及时进行整改。所有检测工作完成以后，给出检测结果及相关建议，并撰写检测咨询报告。

表 E.1.9 检测数量

房型	栋号	3~18 层每层套筒数量/个	3~18 层每层抽样数量/个
A-单	3、4、19、20、12、24	76	5
A-双	1、2、15、16、10、13、14、26、27、28	128	8
B-单	5、7、18、23	60	5
B-双	8、11、22、25	108	8
C	6、9、17、21	65	5

注：各楼栋均为 18 层，各楼栋的 1~2 层均为现浇结构。

3 检测结果分析

钻孔内窥镜法现场检测如图 E.1 所示，检测结果如图 E.2 所示。

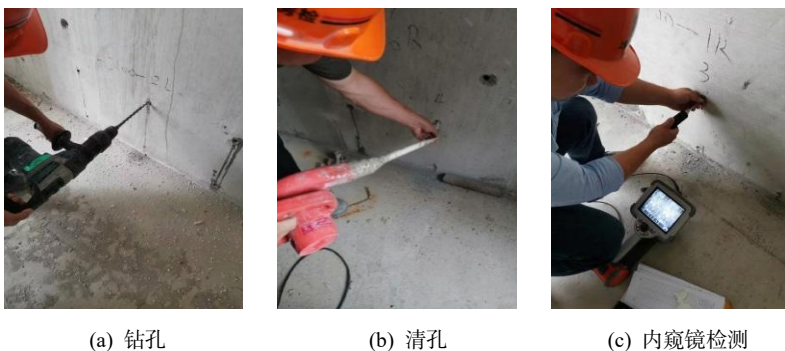


图 E.1 钻孔内窥镜法现场检测

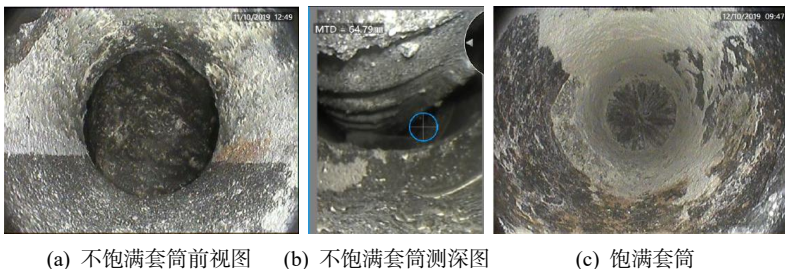


图 E.2 钻孔内窥镜法检测结果

该项目前期灌浆少许楼层后，采用钻孔内窥镜法进行首次检测，灌浆饱满套筒占比 60%~70%。首次检测后，召集参建各方研讨，分析灌浆存在的问题，提出了针对性的解决方案，并向灌浆施工方进行了详细交底。交底后，灌浆施工方开展第二阶段灌浆，随后开展第二阶段检测，灌浆饱满套筒占比超过 85%。根据第二阶段检测结果，持续改进提升，之后灌浆饱满套筒占比稳定在 90% 以上。特别是最后一个阶段共检测 230 个套筒，其中，226 个灌浆饱满，只有 4 个不饱满，灌浆饱满套筒占比达到 98.3%。

对灌浆不饱满的套筒提出了通过出浆孔道注射补灌修复灌浆缺陷方案。补灌后在出浆孔（图 EE.3(a)、(b)）、中部靠近原灌浆缺陷底部的位置（图 E.3(c)、(d)）再次用钻孔内窥镜法检测，检测结果证实了补灌饱满密实。



(a) 在出浆孔钻孔



(b) 出浆孔钻孔检测结果



(c) 在中部钻孔



(d) 中部钻孔检测结果

图 E.3 钻孔注射补灌后检测结果

事后检测推荐采用出浆孔道钻孔内窥镜法或套筒壁钻孔内窥镜法，钻孔孔道可为后续注射补灌修复灌浆缺陷创造了条件，从而可以实现检测与缺陷修复的一体化。另外，事后采用钻孔内窥镜法进行检测，检测位置随机抽取，对灌浆施工方形成了更为强烈的监督作用，非常有利于提升责任心。

E. 1. 11 本条规定的计算公式 E 1.11-1 和 E 1.11-2，均是按照从出浆口通道钻孔后进行检测的结果计算的，如果是采用套筒壁钻孔内窥镜法检测，则公式 E 1.11-1 和 E 1.11-2 中原以套筒出浆口高度起算的相关参数值均需调整为以钻孔中心高度起算的相关参数值。

E. 2 直接冲击振动法

E. 2. 1 本条规定直接冲击振动法的适用条件，对于注浆或出浆通道平直连接到构件表面的情况可直接沿上述通道钻孔形成检测通道；而对于通道弯曲的情况，只能通过套筒壁钻孔的方式形成检测通道，钻孔的具体做法和相关要求可按 E1.8 和 E1.9 的相关规定执行。

E. 2. 2 由于目前尚无商用标准化的检测设备，故本条对直接冲击振动法所采用的测试装置作出了一些原则性规定，供设备厂家和检测单位参考。相关要求说明如下：a.固定构件应牢固，避免出现因施加的冲击力过大导致固定构件脱落的情况，保证测试结果稳定可靠。b.激振时因施加的冲击力较大，钢筋会对传力棒产生较大的反冲力，如果没有足够的预压力，传力棒与钢筋将脱离，安装在传力棒上的应变测试装置将不能充分反映钢筋嵌固的状态。c.不同材质的锤子所测出的峰宽比结果可能有所不同，为使检测结果具有可对比性，同一个工程应采用同一个锤子进行检测。d.模拟滤波的低通可设置在 3kHz 以下，其原因在于使用铁锤进行直接冲击法所测出的主要振动信号基本都在 3 kHz 范围内；如无 3kHz 的低通模拟滤波，可使用数字滤波方式进行滤波；如果现场

无工频干扰，可不设带阻滤波。e.因使用铁锤进行直接冲击法所测出的主要振动信息均落在 3 kHz 内，根据采样定理的要求，采样频率不应小于 6kHz，这是最低要求，实际设置采样频率时可更高一些。f.小波变换后的图像更便于检测人员观察。g.在耐腐蚀性强的材料安装上应变片，应变片可以有效地与传力棒接触。如果在易生锈的材料上安装应变片，会因为因传力棒受腐蚀而导致应变片和接触不牢固，最后影响测量结果的精度。h.为了使应变片稳定性更高，使用了矩形或方形截面作为安装应变片的位置。而使用过渡面安装则会降低动态测试信号的质量。i.应变片粘贴于光圆面上极有可能导致应变片内的电阻丝塑性变形，最后导致应变片受损。j.使用全桥惠斯通电路，灵敏度较高，且可进行温度补偿，并可一定程度上消除锤击偏心的影响。

E. 2. 4 构件表面混凝土密实和平整可有效增加直接冲击法的安装效率，并可保证其安装的牢固程度，以免在测试过程中固定构件脱落情况的发生。

E. 2. 5 1.灌浆体的强度在前 48 小时变化大，以后逐渐趋于稳定，故在灌浆后 72 小时以后进行检测，检测数据已比较稳定。2.使用直接冲击法进行检测，目的是能够直接得出钢筋振动特征与灌浆饱满度的关系。如果传力棒只是与钢筋表面灌浆体接触，测出来的结果将会有所不同，因此一般需用手电钻钻除钢筋表面的固化浆液层，以保证传力棒与钢筋表面直接紧密的接触。3.如果传力棒的光圆端与出浆孔壁有接触，将会影响直接冲击法得出的动态信号结果。4.锤击时应保证锤击力方向尽量沿着传力棒轴线方向，否则如倾斜锤击必然会影响检测结果的稳定性和准确性。5.检测时，对传力棒顶端施加锤击脉冲后，通过数据采集器采集得到传力棒力波时域信号后，可对其进行首脉冲特征分析，得到峰宽比等参数，也可对时域数字信号进行频谱分析和小波变换分析，根据分析结果可得到钢筋套筒灌浆密实度的相关结果。

E. 2. 6 由于每个工程的情况不一样，当采用峰宽比 RP_t 值定量

确定灌浆饱满度时，必须在现场制作多个不同灌浆饱满度的钢筋套筒进行检测标定，根据峰宽比与饱满度的标定曲线结果进行判断，而不能采用其他工程项目的标定曲线。且用于标定的钢筋套筒除灌浆饱满度不同外，其他所有条件应当与需要检测的钢筋套筒的条件相同。

下述为某一现场试验所得出的拟合曲线和经验公式，可供参考。由于峰宽比 RPt 得出的值较大，故对 RPt 取对数之后形成 $\log\left(\frac{RPt}{N \cdot s^{-1}}\right)$ 。为了去量纲化的目的，将 RPt 除以自身的单位后取对数，简化后得到如图 E.4 中表示 $\log(RPt)$ 所对应的无量纲对数拟合值。根据拟合曲线及公式，使用实测的宽峰比 RPt 利用标定曲线即可计算求得待测钢筋套筒灌浆饱满度 n 。

根据浙江大学和宝业集团的试验结果，当 $RPt < 0.27 \text{ MN} \cdot \text{s}^{-1}$ ，灌浆体饱满度 $n = 0\%$ ；当 $RPt > 1.70 \text{ MN} \cdot \text{s}^{-1}$ ，灌浆体饱满度 $n = 100\%$ ；当 $RPt \in [0.27, 1.70] \text{ MN} \cdot \text{s}^{-1}$ ，峰宽比 RPt 与灌浆体饱满度 n （单位：%）的拟合经验公式为：

$$n = [0.976 \cdot \log(RPt) - 4.194] \cdot 100\% \quad (\text{E2.6-1})$$

式中， n 表示灌浆饱满度，当按上式计算结果小于 0 时其值取 0，大于 100% 时取 100%。

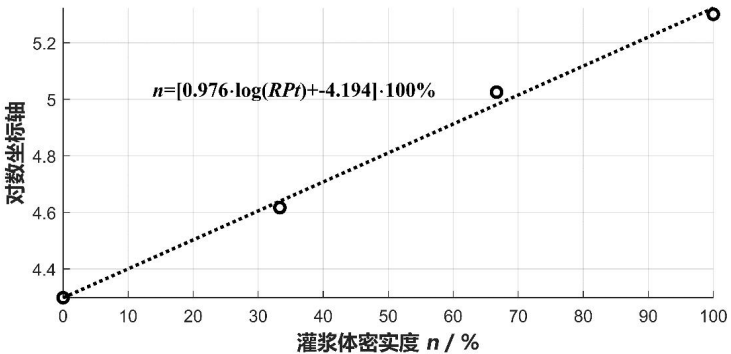


图 E.4 RPt 与 n 的关系图

附录 F 叠合构件结合面质量检测

F.1 冲击回波法

F.1.1 冲击回波法是采用冲击应力波来检测混凝土结构中缺陷的一种方法。在检测过程中，会通过提前放在激发点周围的加速度传感器接收振动信号。该信号是时域信号，一般采用快速傅里叶变换将其转换为频域信号，然后根据变换得到的频域信号来对叠合构件内部的缺陷情况及密实度进行评价，当时域信号的缺陷特征明显时，也可根据时域特征进行。

F.1.3 冲击回波法需要在结构表面施加瞬间法向激振，使其结构内部产生瞬时应力波，激振部位的平整度、密实度将直接影响激振效果，因此要求检测部位混凝土表面平整密实。

F.1.4 精密仪器较易受到环境影响，过高或过低的温度条件及机械振动和电磁噪声将会干扰机器正常运行，需尽量避免在环境恶劣的情况下使用冲击回波仪。

F.1.5 冲击回波法通过施加瞬时冲击波于测区表面，这一弹性波遇见不同阻抗介质时就会发生明显的反射信号。若测区外缘至构件变截面或侧表面的距离小于沿冲击方向的构件厚度，则表面波信号将对反射信号造成巨大干扰，需要避免这种情况出现。

F.1.6 为了不遗漏缺陷，测区的范围应当大于预估缺陷的区域范围。此外，瞬态机械冲击产生的应力波在构件表面、内部缺陷表面及构件表面底部边界之间来回反射产生瞬时叠加从而导致回波曲线的频谱图相对于无缺陷混凝土部位发生变化，因此可通过与正常无缺陷部位混凝土测得的频谱图的比对来判断混凝土构件内部是否存在缺陷。

F.1.7 冲击回波法是一种利用瞬时冲击所产生的应力波，并通

通过分析其传递给传感器的冲击回波信号来判断内部缺陷的方法。如结合面上部混凝土厚度过薄将造成回波信号与激振信号叠加重叠导致判断困难甚至无法判断缺陷。此外需保证测试面平行于结合面，避免路径差异对测试信号的影响。

F.1.8 采用单点式冲击回波法时，若冲击点位置与传感器间距离过大时，所接收到的信号不明显，生成的振幅谱无明显的幅值波峰，难以判断内部缺陷情况，故需要对冲击点位置与传感器的间距做出限制 此外，构件尺寸大小也会对检测结果产生影响，一般而言，构件尺寸越小，所需要激发的脉冲应当越窄。

F.2 声波透射法

F.2.1 叠合混凝土构件结合面存在缺陷时，一般会导致声波速度及声波幅度下降、声波信号主频率也会有所降低，因此可以通过比较所测试的区域混凝土声波声学参数即声速、声幅、主频的变化来判定叠合混凝土构件之间结合面的结合质量。

F.2.2 用于混凝土缺陷检测的超声波仪器的主要技术参数，如仪器采样频率、动态范围、换能器谐振频率等参数均需满足一定要求，其配套的分析程序也应具有相应的功能，具体应符合现行协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21 第 3 章的有关规定。

F.2.4 声波透射法主要利用超声波传播时声学变化的特性，检测部位是否平整密实将直接影响声波发射和接收效果，因此检测部位混凝土表面需清洁平整，减少粗糙表面空隙对超声波传播路径的影响，以保证超声波传播途径能够顺利经过预定的路径。

F.2.5 采用声波透射法检测混凝土结合面质量时，应事先了解结合面的分布及走向，合理确定检测区域和部位，选择合适的测试方式，做到有的放矢，这样才能保证测试结果的有效性和可靠性。

F.2.6 在条件允许的情况下，应当结合使用平测法和斜测法。通常先以平测法检测结合面是否存在缺陷，当遇到缺陷或可疑区

域时可采用斜测法进一步检测验证，以进一步判定缺陷类型、位置及程度。

F.2.7 使用声波透射法检测混凝土质量时，应当保证声波尽可能在所有结合面或怀疑区域内传播以尽量全面准确检测结合面缺陷情况。分别采用平测法或斜测法时应当保证换能器连线的倾斜角及测距相等，以控制声波传播路径相同，便于后续测试结果分析。

F.2.8 本条说明了声波透射法数据处理及分析。通常情况下，各测点的声速、波幅及主频幅可按照现行协会标准《超声法检测混凝土缺陷规程》CECS 21 第六章第 3 节有关条款要求进行统计分析和判断。当对测法和斜测法的测点数无法满足统计法判断时，可将 $T-R_2$ 及 $T-R_1$ 的各测点的声波波速、波幅参数进行比较，若发现某些测点处波速、波幅值明显低于其他测点的对应数值时，则这些测点可判为异常测点。

工程应用实例：某装配整体式混凝土剪力墙结构工程，墙体厚度为 200mm，套筒呈梅花形布置，采用连通腔灌浆，灌浆后形成的底部接缝高度为 20mm。现场测试照片如图 F.1~F.3 所示。测试结果如表 F2.8.1 所示。



图 F.1 现场检测



图 F.2 内墙底部接缝

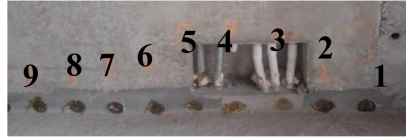


图 F.3 内墙底部接缝管道穿过情况

表 2.8.1 超声法检测结果

测点序号	测距 (mm)	声时 (μs)	波速 (km/s)
1	200	61.00	3.279
2	200	47.00	4.255
3	200	58.60	3.413
4	200	53.60	3.731
5	200	52.20	3.831
6	200	46.60	4.292
7	200	45.80	4.367
8	200	45.80	4.367
9	200	45.20	4.425
10	200	46.60	4.292

根据《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21:2000)的判断标准,可判断1、3、4、5号点位存在缺陷。其中,1号点位是预制墙体和现浇墙体交接处,根据施工经验,存在缺陷的可能性很大,3、4、5号点位有PVC管道穿过(管道直径20mm)。

F.2.9 根据浙江大学和宝业集团的试验研究成果,在特定混凝土强度等级和特定配筋率及构件尺寸条件下,缺陷厚度与混凝土波速具有良好的线性相关性,由此可以建立经验公式如下:

$$T_{flaw} = \frac{1}{-7.7 \times 10^{-3}} \cdot \ln\left(\frac{v_{wave} - 340}{\zeta}\right) \quad (F2.9-1)$$

$$\zeta = \mu - 340 \quad (F2.9-2)$$

式中, T_{flaw} 为缺陷(空洞)厚度(单位: mm); v_{wave} 为波速

(单位: ms^{-1}); ζ 为波速系数, μ 为同条件下无缺陷被测构件声速均值 (单位: ms^{-1})。

当 $W_{\text{bar}} = 0 \sim 39.3 \text{ mm}$ 时 (W_{bar} 表示从发射传感器到接收传感器之间的钢筋最大厚度), 对预埋不同厚度的缺陷进行声波透射法的波速测定, 结果见图 F.4, 缺陷厚度 T_{flaw} 与 v_{wave} 波速关系的拟合经验公式为:

$$v_{\text{wave}} = \zeta \cdot e^{-7.7 \times 10^{-3} \cdot T_{\text{flaw}}} + 340 \quad (\text{F2.9-3})$$

当公式 (F2.9-3) 的 T_{flaw} 趋向于无限大时, $v_{\text{wave}} = 340 \text{ ms}^{-1}$, 接近于声波在空气中传播的速度。根据上式即可得到公式 (F2.9-1)。

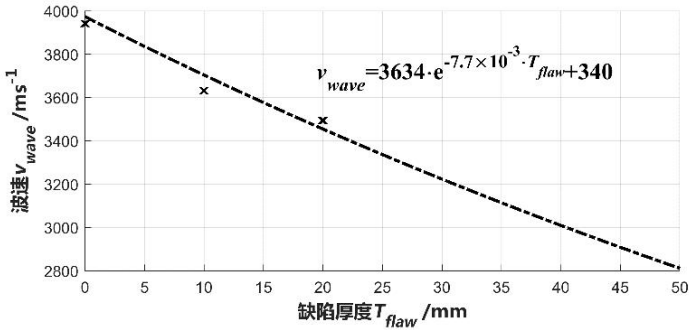


图 F.4 $W_{\text{bar}} = 0 \sim 39.3 \text{ mm}$ 时, v_{wave} 与 T_{flaw} 的关系图

采用超声波透射法测试混凝土波速时, 混凝土强度等级、叠合构件尺寸与缺陷尺寸比例、钢筋的厚度 (配筋率) 均会在一定程度上影响测试声速大小。所以对于不同强度等级、不同配筋率及不同构件尺寸的混凝土构件结合面缺陷厚度的定量判定, 应采用现场标定的方式确定。