

**T/CECS XXX-202X**

**中国工程建设标准化协会标准**

**装配式混凝土结构检测技术标准**

Technical standard for inspection of prefabricated concrete structure

**（征求意见稿）**

2020年12月10日

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]015号）的要求，标准编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并广泛征求意见基础上，制订本标准。

本标准共分为9章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、预制构件质量检测技术、混凝土结合面连接质量检测技术、钢筋套筒灌浆连接质量检测技术、钢筋浆锚搭接质量检测技术、装配式混凝土外墙拼缝质量检测技术、装配式结构动力特性测试技术。

本标准由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送解释单位（地址：北京市朝阳区北三环东路30号，邮编：100013）。

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

参编单位：国家建筑工程质量监督检验中心

上海建科集团股份有限公司

昆山市建设工程质量检测中心

四川省建筑科学研究院有限公司

江苏省建筑工程质量检测中心有限公司

宁波大学

南京市建筑工程质量安全检测中心

安徽省建筑工程质量监督检测站

河北省建筑科学研究院有限公司

广西建筑科学研究设计院

湖北省建筑科学研究设计院股份有限公司

上海同济检测技术有限公司

上海利物宝建筑科技有限公司

广州建设工程质量安全检测中心有限公司

东南大学

同济大学

西安建筑科大工程技术有限公司

福建省建筑科学研究院有限责任公司

中国建筑第二工程局有限公司

北京智博联科技股份有限公司

四川升拓检测技术股份有限公司

武汉中岩科技股份有限公司

广西鼎恒工程质量检测有限公司

浙江宏业检测科技有限公司

安徽工业大学

建研科技股份有限公司

北京德朗检视科技有限公司

上海劳瑞仪器设备有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

[1 总则 1](#_Toc58746734)

[2 术语 2](#_Toc58746735)

[3 基本规定 5](#_Toc58746736)

[3.1 检测分类 5](#_Toc58746737)

[3.2 检测程序与要求 6](#_Toc58746738)

[3.3 抽样方法与判定规则 7](#_Toc58746739)

[3.4 检测报告 12](#_Toc58746740)

[4 预制构件质量检测技术 13](#_Toc58746741)

[4.1 一般规定 13](#_Toc58746742)

[4.2 预制构件混凝土抗压强度检测 13](#_Toc58746743)

[4.3 预制构件混凝土粗糙面质量检测 15](#_Toc58746744)

[4.4 预埋吊装件锚固承载力检测 18](#_Toc58746745)

[4.5 预埋保温连接件锚固性能检测 20](#_Toc58746746)

[5 混凝土结合面连接质量检测技术 25](#_Toc58746747)

[5.1 一般规定 25](#_Toc58746748)

[5.2 结合面混凝土正拉粘结强度检测 25](#_Toc58746749)

[5.3 混凝土内部结合面缺陷检测 28](#_Toc58746750)

[5.4 竖向构件底部接缝内部缺陷检测 29](#_Toc58746751)

[6 钢筋套筒灌浆连接质量检测技术 31](#_Toc58746752)

[6.1 一般规定 31](#_Toc58746753)

[6.2 灌浆料实体强度检测 32](#_Toc58746754)

[6.3 套筒灌浆饱满情况检测 33](#_Toc58746755)

[6.4 钢筋插入长度检测 34](#_Toc58746756)

[7 钢筋浆锚搭接质量检测技术 36](#_Toc58746757)

[7.1 一般规定 36](#_Toc58746758)

[7.2 浆锚搭接灌浆饱满度检测 36](#_Toc58746759)

[7.4 浆锚搭接钢筋插入长度检测 38](#_Toc58746760)

[8 装配式混凝土外墙拼缝质量检测技术 40](#_Toc58746761)

[8.1 一般规定 40](#_Toc58746762)

[8.2 嵌缝密封胶与混凝土粘结质量检测 40](#_Toc58746763)

[8.3 外墙拼缝防水质量的现场检测 41](#_Toc58746764)

[9 装配式混凝土结构动力测试技术 44](#_Toc58746765)

[9.1 一般规定 44](#_Toc58746766)

[9.2 装配式混凝土结构动力特性检测 46](#_Toc58746767)

[9.3 振源及振动响应检测 46](#_Toc58746768)

[附录A 直径50mm芯样钻芯法检测混凝土抗压强度 48](#_Toc58746769)

[附录B 阵列超声法检测混凝土内部缺陷 50](#_Toc58746770)

[附录C 现场原位取样检测钢筋套筒灌浆连接质量 52](#_Toc58746771)

[附录D 回弹法检测套筒灌浆料抗压强度 53](#_Toc58746772)

[D.1 一般规定 53](#_Toc58746773)

[D.2 回弹法检测套筒灌浆料抗压强度 54](#_Toc58746774)

[D.3 回弹法检测灌浆料抗压强度的测强曲线建立方法 56](#_Toc58746775)

[附录E 内窥法检测技术 59](#_Toc58746776)

[附录F X射线成像法检测技术 62](#_Toc58746777)

[附录G 压电阻抗法检测灌浆饱满性 66](#_Toc58746778)

[附录H 冲击回波法检测浆锚搭接灌浆饱满度 68](#_Toc58746779)

[本标准用词说明 70](#_Toc58746780)

[引用标准名录 71](#_Toc58746781)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc58746734)

[2 Terms 2](#_Toc58746735)

[3 General Requirements 5](#_Toc58746736)

[3.1 Classification of Inspection 5](#_Toc58746737)

[3.2 Process and Requirement for Inspection 6](#_Toc58746738)

[3.3 Sampling Methods and Evaluation Rules 7](#_Toc58746739)

[3.4 Inspection Report 12](#_Toc58746740)

[4 Inspection Technology for Quality of Precast Concrete Components 13](#_Toc58746741)

[4.1 General Requirements 13](#_Toc58746742)

[4.2 Inspection for Concrete Compression Strength of Precast Concrete Components 13](#_Toc58746743)

[4.3 Inspection for Rough Surface Quality of Precast Concrete Components 15](#_Toc58746744)

[4.4 Inspection for Anchorage Bearing Capacity of Embeded Hoisting Part 18](#_Toc58746745)

[4.5 Inspection for Anchorage Performance of Connector Using in Sandwich Insulation Walls 20](#_Toc58746746)

[5 Inspection Technology for Connection Quality of Concrete Interface 25](#_Toc58746747)

[5.1 General Requirements 25](#_Toc58746748)

[5.2 Inspection for Normal Tensile Bond Strength of Joint Surface 25](#_Toc58746749)

[5.3 Inspection for Defects of Joint Surface in Concrete 28](#_Toc58746750)

[5.4 Inspection for Internal Defects of Vertical Component Bottom Seams 29](#_Toc58746751)

[6 Inspection Technology for Quality of Grout Sleeve Splicing of Rebars 31](#_Toc58746752)

[6.1 General Requirements 31](#_Toc58746753)

[6.2 Inspection for Entity Strength of Grout 32](#_Toc58746754)

[6.3 Inspection for Grouting Status 33](#_Toc58746755)

[6.4 Inspection for Inserted Length of Rebars 34](#_Toc58746756)

[7 Inspection Technology for Quality of Rebar Lapping in Grout-Filled Hole 36](#_Toc58746757)

[7.1 General Requirements 36](#_Toc58746758)

[7.2 Inspection for Extent of Grouting Plumpness in Rebar Lapping Grout-Filled Holes 36](#_Toc58746759)

[7.4 Inspection for Inserted Length of Lapping Rebars in Grout-Filled Holes 38](#_Toc58746760)

[8 Inspection Technology for Quality of Precast Concrete Exterior Wall Joints 40](#_Toc58746761)

[8.1 General Requirements 40](#_Toc58746762)

[8.2 Inspection for Bonded Quality of Caulking Sealant and Concrete 40](#_Toc58746763)

[8.3 In-Situ Inspection for Waterproof Quality of Exterior Wall Joints 41](#_Toc58746764)

[9 Dynamic Testing Technology for Precast Structure 44](#_Toc58746765)

[9.1 General Requirements 44](#_Toc58746766)

[9.2 Inspection for Dynamic Characteristic of Precast Structure 46](#_Toc58746767)

[9.3 Inspection for Vibration Source and Response of Vibration 46](#_Toc58746768)

[Appendix A 50mm-Diameter Drilled Core Method Testing Compression Strength of Concrete 48](#_Toc58746769)

[Appendix B Arrayed Ultrasonic Method Testing Internal Defects of Concrete 50](#_Toc58746770)

[Appendix C In-Situ Sampling Method Testing the Quality of Grout Sleeve Splicing of Rebars 52](#_Toc58746771)

[Appendix D Rebound Method Testing Compression Strength of Grout for Sleeve 53](#_Toc58746772)

[D.1 General Requirements 53](#_Toc58746773)

[D.2 Rebound Method Testing Compression Strength of Grout for Sleeve 54](#_Toc58746774)

[D.3 Method of Formulating Testing Strength Curve for Grout 56](#_Toc58746775)

[Appendix E Endoscopy Inspection Technology 59](#_Toc58746776)

[Appendix F X-Ray Radiography Inspection Technology 62](#_Toc58746777)

[Appendix G Piezoelectric Impedance Method Testing Grout Plumpness 66](#_Toc58746778)

[Appendix H Impulse Echo Method Testing Extent of Grout Plumpness in Rebar Lapping Grout-Filled Holes 68](#_Toc58746779)

Explanation of Wording in This Standard [70](#_Toc58746780)

List of Quoted Standards [71](#_Toc58746781)

**1 总则**

**1.0.1** 为规范装配式混凝土结构的检测工作，合理选择检测方法，保证检测工作的质量，制定本标准。

【条文说明】随着国家大力推广装配式建筑，装配式混凝土结构得到了规模化的应用，预制混凝土构件质量和现场节点连接质量直接影响结构可靠性，尤其是钢筋套筒灌浆连接质量、混凝土结合面连接质量、钢筋浆锚搭接质量、构件拼缝防水质量等备受关注。检测作为工程质量管控的手段之一，随着工程质量问题的广泛关注，迫切需要检测技术标准的支持。装配式混凝土结构质量检测技术的科技研发已取得实质性进展，目前针对装配式混凝土结构的工程质量检测需求，已具备制订检测技术标准的基础，为规范检测技术、合理选择检测方法、保证检测准确性，编制本标准。

**1.0.2** 本标准适用于装配式混凝土结构用预制构件和结构实体的检测。

【条文说明】规定本标准的适用范围，检测对象涵盖装配式混凝土结构用预制构件和结构实体，既适用于新建工程质量检测，也适用于既有装配式混凝土结构建筑的质量检测。

**1.0.3** 装配式混凝土结构的现场检测除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术语**

**2.0.1** 装配式混凝土结构 precast concrete structure

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。

**2.0.2** 预制混凝土构件 precast concrete component

在工厂或现场预先生产成型的混凝土构件，简称预制构件。

**2.0.3** 工程质量检测 inspection of structural quality

为评定装配式混凝土结构工程质量与设计要求或与施工质量验收规范规定的符合性所实施的检测。

**2.0.4** 结构性能检测 inspection of structural performance

为评定装配式混凝土结构的可靠性和抗震性能与设计要求或与设计规范规定的符合性所实施的检测。

**2.0.5** 粗糙面 rough surface

预制构件结合面上的凹凸不平或骨料显露的表面。

**2.0.5** 粗糙面的凹凸深度 relative depth of rough surface

一定区域内粗糙面最高点与最低点的高度差。

**2.0.6** 结合面正拉粘结强度 normal tensile bond strength of joint surface

垂直于混凝土结合面施加外拉荷载，以极限外拉荷载与结合面破断面积之比计算的结合面抗拉强度。

**2.0.7** 灌浆饱满性 grouting plumpness

对于钢筋套筒灌浆连接或浆锚搭接，灌浆结束并稳定后，套筒或浆锚孔道内灌浆料界面相对出浆孔位置的状态。

**2.0.8** 灌浆饱满度 extent of grouting plumpness

对于钢筋套筒灌浆连接或浆锚搭接，灌浆结束并稳定后，定量评价套筒或浆锚孔道内灌浆料界面相对出浆孔位置的程度。

**2.0.9** 钢筋插入长度 inserted length of rebar

从套筒或浆锚孔道底部计算，钢筋伸入套筒或浆锚孔道内的长度。

**2.0.10** 钢筋锚固长度 anchorage length of rebar

灌浆结束且灌浆料凝结硬化后，综合套筒或浆锚孔道内灌浆料的界面高度以及钢筋插入长度计算得到的连接钢筋与灌浆料的粘结长度。

**2.0.11** 灌浆料实体强度 strength inspection of grouting material

灌浆结束且灌浆料凝结硬化后，从钢筋套筒灌浆连接或浆锚搭接处，通过原位抽样检测推定的灌浆料抗压强度。

**2.0.12** 高度50mm混凝土芯样 core specimen of concrete with 50mm height

在混凝土结构或构件中钻取混凝土芯样，加工制作成高度50mm、直径50mm的圆柱状混凝土试件。

**2.0.13** 探针法 method of measuring depth

透明多孔基准板紧贴预制构件粗糙面，采用探针穿过测试孔抵触凹坑或凹槽的底部获取其深度的方法。

**2.0.14** 三维扫描法 three dimensional scanning method

通过仪器扫描预制构件粗糙面的三维坐标并形成点云数据，通过数据分析计算凹坑或凹槽深度的方法。

**2.0.15** 内窥法 endoscopy method

利用内窥镜观测套筒或浆锚孔道的内部情况，根据观测结果判定套筒内钢筋插入情况及灌浆饱满情况的方法。

**2.0.16** 钻孔内窥法endoscopy method by drilling hole

通过在出浆口、灌浆口、套筒壁或浆锚孔道壁钻孔形成检测通道，采用内窥法检测判定套筒内钢筋插入情况及灌浆饱满情况的方法。

**2.0.17** 超声法 ultrasonic method

通过测定超声脉冲波的有关声学参数判定混凝土内部缺陷的方法。

**2.0.18** 阵列超声成像法 array ultrasonic imaging method

通过超声阵列探头实现超声波的发射与接收，并采用合成孔径聚焦等特定算法完成超声成像判定混凝土内部缺陷的方法。

**2.0.19** 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定混凝土结构的厚度或内部缺陷的方法。

**2.0.20** X射线成像法 X-ray radiography method

采用X射线透照预制混凝土构件，通过数字探测器或胶片接收射线，基于图像灰度差异判定套筒或浆锚孔道内钢筋插入情况及灌浆饱满情况的方法。

**2.0.21** 回弹法 rebound method

通过检测灌浆孔道或出浆孔道内灌浆料外端面的硬度值，再根据表面硬度与抗压强度的相关性推定灌浆料抗压强度的方法。

**3 基本规定**

**3.1 检测分类**

**3.1.1** 装配式混凝土结构检测可分为工程质量检测和结构性能检测两类，工程质量检测应对检测结果进行符合性判定，结构性能检测应为结构性能鉴定或评定提供检测数据结果。

【条文说明】工程质量检测的结论需要进行符合性判定，为了避免引发异议，其检测操作等应严格执行国家现行有关检测标准的规定。结构性能检测的结果主要用于结构鉴定或评定，一般无须对检测结果进行符合性判定。

**3.1.2** 当遇到下列情况之一时，应对装配式混凝土结构按工程质量进行检测：

**1** 国家现行有关标准规定的检测；

**2** 工程送样检验的数量不足或有关检验资料缺失；

**3** 施工质量送样检验或有关方自检的结果未达到设计要求；

**4** 对施工质量有怀疑或争议；

**5** 发生质量或安全事故；

**6** 工程质量保险要求实施的检测；

**7** 对既有建筑结构的工程质量有怀疑或争议；

**8** 未按规定进行施工质量验收的结构；

**9** 其他必要的情况。

【条文说明】本条给出了应作为结构工程质量检测的情况，包括在建工程质量检测和既有结构工程质量检测。第7款规定对既有结构的工程施工质量有争议时也要按照结构工程质量检测的规则进行检测。第8款是指没有按照有关法律和法规进行施工质量验收的建筑结构。

**3.1.3** 当遇到下列情况之一时，宜对装配式混凝土结构按结构性能进行检测：

**1** 建筑改变用途、改造、加层或扩建；

**2** 建筑结构达到设计使用年限要继续使用；

**3** 建筑结构使用环境改变或受到环境侵蚀作用；

**4** 建筑结构遭受偶然事件或其他灾害的影响；

**5** 相关法规、标准规定的结构使用期间的鉴定；

**6** 其他必要的情况。

【条文说明】本条规定了需要对装配式混凝土结构性能进行评定的一些情况，检测为结构性能评定提供数据。

**3.2 检测程序与要求**

**3.2.1** 装配式混凝土结构检测工作程序宜按图3.2.1的框图进行。



**图3.2.1 装配式混凝土结构现场检测工作流程图**

**3.2.2** 初步调查应包括下列内容：

**1** 收集结构设计图、构件连接安装记录与影像、验收资料、竣工图等资料；

**2** 预制构件深化设计图纸和构件制作、养护、翻转、出厂、进场、存放、吊装等相关资料。

**3** 节点连接产品的合格证明、产品信息资料；

**4** 收集建筑结构使用期间的维修、检测、评定、加固和改造等资料；

**5** 调查建筑结构的质量、缺陷、损伤、维修和加固等实际状况；

**6** 调查建筑结构的环境、用途或荷载等的实际状况；

**7** 向有关人员调查委托检测的原因以及资料调查和现场调查未能显现的问题。

【条文说明】初步调查非常重要，收集资料和现场调查，不仅有利于制定检测方案，更有助于确定检测的项目和重点。节点连接质量是装配式结构检测的重点，除了收集调查现浇混凝土相关的资料与信息外，还要收集装配式结构连接节点采用的连接技术、连接产品、连接安装过程等资料。

**3.2.3** 在初步调查的基础上编制检测方案，检测方案应征求委托方的意见，检测方案宜包括下列主要内容：

**1** 工程概况或结构概况；

**2** 检测目的或委托方的检测要求；

**3** 检测依据；

**4** 检测项目、检测方法和检测数量；

**5** 检测人员和仪器设备；

**6** 检测工作进度计划；

**7** 需要的配合工作；

**8** 检测中的安全措施和环保措施。

【条文说明】检测方案应根据检测目的、现场调查结果和图纸资料收集情况来制定，重点是检测项目、检测依据、抽样方法、抽样数量以及结果判定依据。

**3.2.4** 当发现检测数据数量不足或检测数据出现异常时，应补充检测或重新检测。

**3.2.5** 局部破损检测方法宜选择结构构件受力较小的部位，现场检测工作结束后，应及时修补因检测造成的结构或构件的局部损伤。

【条文说明】采用局部破损的检测方法时，不应对结构或构件的性能造成明显的影响，并应对受损部位进行及时修复。

**3.3 抽样方法与判定规则**

**3.3.1** 装配式混凝土结构可采用全数检测或抽样检测，抽样检测宜采用随机抽样，当不具备随机抽样条件时可按合同双方约定的方法抽样。

【条文说明】检测机构给出专业抽样方法建议，全数检测还是抽样检测最终根据现场情况与委托方协商确定，抽样方法应在检测方案和合同中明确。

**3.3.2** 遇到下列情况时宜采用全数检测：

**1** 外观缺陷或表面损伤的检查；

**2** 受检范围较小、构件数量较少或节点数量较少；

**3** 检测指标或参数的变异性大；

**4** 构件或节点的质量状况差异性较大；

**5** 灾害后的结构损伤检测；

**6** 结构性能评定或鉴定需要时。

【条文说明】本条给出了宜进行全数检测的情况，全数检测并不意味着对整个工程的全部构件或者区域进行检测，而是对检测批内的全部构件或者区域。一般对于外观质量和损伤，均需要全数检查。

**3.3.3** 批量检测可根据检测项目的实际情况采取计数抽样方法或计量抽样方法，检测项目抽样方法的选取应符合表3.3.3的规定。

【条文说明】本标准涉及批量检测的项目包括预制构件质量、混凝土结合面连接质量、钢筋套筒灌浆连接质量、钢筋浆锚搭接质量、装配式外墙拼缝质量，可参照表3.3.3中的划分确定检测类别。

**表3.3.3 检测项目适用的抽样方法分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检测项目 | 抽样方法 |
| 1 | 预制构件混凝土抗压强度 | 计量抽样 |
| 2 | 预埋吊装件锚固承载力 |
| 3 | 预埋保温连接件锚固性能 |
| 4 | 结合面混凝土正拉粘结强度 |
| 5 | 灌浆料实体强度 |
| 6 | 预制构件混凝土粗糙面面积 | 计数抽样 |
| 7 | 预制构件混凝土粗糙面凹凸深度 |
| 8 | 混凝土内部结合面缺陷 |
| 9 | 竖向构件底部接缝内部缺陷 |
| 10 | 灌浆饱满度 |
| 11 | 钢筋插入长度 |
| 12 | 装配式外墙拼缝质量 |

**3.3.4** 对于计量抽样检测的项目，检测批的抽样数量应满足检测方法要求的最小样本容量。

【条文说明】针对计量抽样检测项目，检测结果需要给出检测指标的推定值，各专项检测技术均有抽样数量的取值规定，故应根据各专项检测技术的要求确定检测批的抽样数量。

**3.3.5** 对于计数抽样检测的项目，当专项检测技术未规定具体抽样方法时，检测批的最小样本容量宜按表3.3.5规定的数量进行一次或二次随机抽样。

**表3.3.5 计数抽样检测的最小样本容量**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检测批  的容量 | 检测类别和样本最小容量 | | | 检测批  的容量 | 检测类别和样本最小容量 | | |
| A | B | C | A | B | C |
| 3~8  9~15  16~25  26~50  51~90  91~150  151~280 | 2  2  3  5  5  8  13 | 2  3  5  8  13  20  32 | 3  5  8  13  20  32  50 | 281~500  501~1200  1201~3200  3201~10000  10001~35000  35001~150000  150001~500000 | 20  32  50  80  125  200  315 | 50  80  125  200  315  500  800 | 80  125  200  315  500  800  1250 |
| 注1：检测类别A适用于一般项目施工质量的检测；可用于既有结构的一般项目检测；  注2：检测类别B适用于主控项目施工质量的检测；可用于既有结构的重要项目检测；  注3：检测类别C适用于结构工程施工的质量检测或复检；可用于存在问题较多既有结构的检测。 | | | | | | | |

【条文说明】本条规定了按检测批检测时计数检测项目随机抽样的最小样本容量，该容量不是最佳的样本容量，实际检测时可根据具体情况和相应技术规程的规定确定样本容量，但样本容量不宜小于表3.3.5的限定量。A类检测适用于建筑工程一般项目施工质量的自检(合格性检验)，B类检测适用于建筑工程主控项目施工质量的合格性检验。对于第三方检测机构所实施的检测，应根据具体情况取大于工程参建方合格检验的数量，例如，按照B类的最小样本容量对结构工程一般项目的施工质量进行检测，按照C类的最小样本容量对结构工程主控项目的施工质量进行检测。既有结构性能的检测虽然不需要进行符合性判定，但是采取表中规定的最小样本容量，有利于检测结论的合理使用。第三方检测机构所实施的检测通常可以采用一次性抽样的方案。既有结构的一般项目对应于施工质量的一般项目，重要项目对应于主控项目，存在问题较多时应加大抽查数量，必要时可以采取全数检测的方法。

**3.3.6** 计数抽样检测批的符合性判定应符合下列规定：

**1** 主控项目或重要项目计数抽样检测批的符合性判定应符合下列规定：

1）正常一次抽样应按表3.3.6-1的规定进行符合性判定；

**表3.3.6-1 主控项目正常一次性抽样的判定**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样本  容量 | 符合性  判定数 | 不符合  判定数 | 样本  容量 | 符合性  判定数 | 不符合  判定数 |
| 2~5  8~13  20  32  50 | 0  1  2  3  4 | 1  2  3  4  5 | 80  125  200  ＞315 | 7  10  15  22 | 8  11  16  23 |

2）正常二次抽样应按表3.3.6-2的规定进行符合性判定。

**表3.3.6-2 主控项目正常二次性抽样的判定**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 抽样次数与  样本容量 | 符合性  判定数 | 不符合判定数 | 抽样次数与  样本容量 | 符合性  判定数 | 不符合  判定数 |
| （1）2~6 | 0 | 1 | （1）50  （2）100 | 3  8 | 6  9 |
| （1）5  （2）10 | 0  1 | 2  2 | （1）80  （2）160 | 5  12 | 9  13 |
| （1）8  （2）16 | 0  1 | 2  2 | （1）125  （2）250 | 7  18 | 11  19 |
| （1）13  （2）26 | 0  3 | 3  4 | （1）200  （2）400 | 11  27 | 16  28 |
| （1）20  （2）40 | 1  3 | 3  4 | （1）315  （2）630 | 18  41 | 23  42 |
| （1）32  （2）64 | 2  5 | 4  6 | ----- | ------ | ----- |

注：（1）和（2）表示抽样次数，（2）对应的样本容量为两次抽样的累计数量。

**2** 一般项目计数抽样检测批的符合性判定应符合下列规定：

1）正常一次抽样应按表3.3.6-3的规定进行符合性判定;

**表3.3.6-3 一般项目正常一次性抽样的判定**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样本  容量 | 符合性  判定数 | 不符合  判定数 | 样本  容量 | 符合性  判定数 | 不符合  判定数 |
| 2~5  8  13  20 | 1  2  3  5 | 2  3  4  6 | 32  50  80  ≥125 | 7  10  14  21 | 8  11  15  22 |

2）正常二次抽样应按表3.3.6-4的规定进行符合性判定。

**表3.3.6-4 一般项目正常二次性抽样的判定**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 抽样次数 | 样本容量 | 符合性判定数 | 不符合  判定数 | 抽样  次数 | 样本容量 | 符合性判定数 | 不符合判定数 |
| (1)  (2) | 2  4 | 0  1 | 2  2 | (1)  (2) | 80  160 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 3  6 | 0  1 | 2  2 | (1)  (2) | 125  250 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 5  10 | 0  3 | 3  4 | (1)  (2) | 200  400 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 8  16 | 1  4 | 3  5 | (1)  (2) | 315  630 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 13  26 | 2  6 | 5  7 | (1)  (2) | 500  1000 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 20  40 | 3  9 | 6  10 | (1)  (2) | 800  1600 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 32  64 | 5  12 | 9  13 | (1)  (2) | 1250  2500 | 11  26 | 16  27 |
| (1)  (2) | 50  100 | 7  18 | 11  19 | (1)  (2) | 2000  4000 | 11  26 | 16  27 |

注：（1）和（2）表示抽样次数，（2）对应的样本容量为两次抽样的累计数量。

【条文说明】依据现行国家标准《计数抽样程序》GB/T 2828给出了工程质量检测计数抽样检测批的样本容量、正常一次抽样和正常二次抽样结果的符合性判定方法。表中符合性判定数，对于参加验收的各方可作为合格判定数，对于第三方检测机构可作为判定施工质量达到合格验收要求的判定数。以表3.3.6-3和表3.3.6-4为例说明使用方法：一般项目正常一次性抽取样本容量为20时，在20个样本中有5个或5个以下的样本被判为不符合验收标准的合格要求时，检测批可判为符合（合格）要求；当20个样本中有6个或6个以上的样本被判为不符合验收标准的合格要求时，则该检测批可判为不符合要求。对于一般项目正常二次抽样，第一次抽取样本容量为20时，在20个样本中有3个或3个以下样本被判为不符合验收标准的合格要求时，该检测批可判为符合（合格）要求，且无须进行二次抽样；当20个样本中有6个或6个以上的样本被判为不合格时，该检测批可判为不符合（合格）要求，也无须进行二次抽样。当20个样本中不符合（合格）要求的样本为4个和5个时，应进行第二次抽样。二次抽样的样本容量也为20个，两次抽样样本的容量为40个，当第一次的不合格样本与第二次的不合格样本之和为9个或小于9个时，该检测批可判为符合（合格）要求；当第一次的不合格样本与第二次的不合格样本之和为10或大于10时，该检测批可判为不符合（合格）要求。本标准中一般项目的允许不合格率为10%，主控项目的允许不合格率为5%。表中不符合判定数是考虑了样本不完备性造成的检测结果不定性，这种判定方法符合国际上通行的合格评定规则，现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300采用了本标准对一般项目的合格评定方法。

**3.3.7** 当为下列情况时，检测对象可以是单个构件、节点或部分构件、节点，但检测结论不得扩大到未检测的构件、节点或范围：

**1** 委托方指定检测对象或范围；

**2** 环境侵蚀或火灾、爆炸、高温以及人为因素等造成部分结构或构件的损伤。

【条文说明】检测数量与检测对象的确定可以有两种情况，一种为指定检测对象和范围，另一类是抽样的方法。当指定检测对象和范围时，其检测结果不能反映其他构件的情况，故检测结果的适用范围不能随意扩大。

**3.4 检测报告**

**3.4.1** 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。

【条文说明】当报告中出现容易混淆的术语和概念时，应以文字解释或图例、附图说明，避免引起歧义。

**3.4.2** 检测报告应至少包括下列内容：

**1** 委托方名称；

**2** 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、构件加工单位及监理单位名称；

**4** 检测原因、检测目的及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** 检验方式、抽样方法、检测数量与检测的位置；

**7** 检测项目的主要分类检测数据和汇总结果、检测结果、检测结论；

**8** 检测日期，报告完成日期；

**9** 主检、审核和批准人员的签名；

**10** 检测机构的有效印章。

【条文说明】本条规定了检测报告应包括的内容，以保证报告信息的完整性。

**4 预制构件质量检测技术**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 本章适用于预制构件的混凝土抗压强度、粗糙面凹凸深度、预埋吊装件及保温连接件锚固性能的检测。

【条文说明】因预制混凝土构件存在尺寸小、板厚薄等特点，与结构实体上的构件具有一定的差异，故需要针对不同构件分类规定混凝土强度的检测方法；预制构件粗糙面凹凸深度是影响结合面连接性能的重要指标，针对不同类型构件规定粗糙面凹凸深度的检测方法；预埋吊装件的锚固质量影响预制构件的翻转、运输和吊装；预埋保温连接件施工质量影响墙体保温性能和建筑使用安全。

**4.1.2** 对预制构件的混凝土强度、预埋吊装件承载能力、保温连接件锚固性能进行检测时，应符合下列规定：

**1** 当需要进行符合性判定时，检测时预制构件的养护龄期宜达到28天；

**2** 检测时预制构件的养护龄期未达到28天，当检测结果符合设计要求时，可进行符合性判定；当检测结果不符合设计要求时，可给出检测数据结果。

【条文说明】混凝土强度检测、预埋吊装件锚固性能检测与混凝土养护龄期有关，考虑到构件出厂时，混凝土养护龄期可能未达到28天，此时可不做符合性判定，仅给出检测数据结果。

**4.2 预制构件混凝土抗压强度检测**

**4.2.1** 预制构件混凝土抗压强度检测结果应给出等效于边长150mm混凝土立方体试件抗压强度特征值的推定值。

【条文说明】混凝土结构设计参数是采用混凝土设计强度等级，检测结果应提供相当于边长150mm混凝土立方体试件抗压强度且具有95%保证概率的特征值的推定值。

**4.2.2** 预制构件混凝土抗压强度检测应符合下列规定：

**1** 对于实心墙、夹心保温墙、柱、梁、楼梯等非薄壁预制构件，可采用回弹法、钻芯法、超声回弹综合法等进行检测；

**2** 对于叠合底板、叠合剪力墙等预制混凝土厚度不大于70mm且不小于50mm的薄壁构件，可采用钻芯法进行检测；

**3** 对于空心板剪力墙，可在孔肋处采用回弹法、钻芯法、超声回弹综合法等进行检测；在预制混凝土厚度不大于70mm且不小于50mm的部位，可采用钻芯法进行检测；

**4** 采用回弹法检测时，必要时应对预制构件进行固定，检测操作时构件不应有位置的移动或者转动；

**5** 对于弹击时易产生颤动的预制构件，采用回弹法检测时应采取防颤动的措施；

**6** 钻芯法宜选择在不影响构件使用的部位进行检测，并应避开主筋、预埋件和管线。

【条文说明】混凝土抗压强度的检测方法较多，基于预制混凝土构件的特点和现有检测方法的适用条件，分类规定了可采用的检测方法及其检测要求。回弹法检测时，预制构件易发生位置移动和转动，薄壁构件还易发生颤动，必要时应采取措施限制构件的移动、转动和颤动；还应了解预制混凝土构件的生产工艺（平模工艺或立模工艺），应准确识别混凝土的浇筑侧面、浇筑表面和浇筑底面。对于叠合底板、叠合剪力墙等厚度不大于70mm的预制墙、板类薄壁构件，不宜采用回弹法检测。

**4.2.3** 钻芯法检测叠合底板、叠合剪力墙等预制混凝土厚度不大于70mm且不小于50mm的薄壁构件混凝土抗压强度时，应按附录A的规定执行。

【条文说明】钻芯法作为检测混凝土抗压强度的直接方法被广泛应用，随着装配式建筑的推广应用，薄壁或小尺寸预制构件的强度检测面临难题。采用回弹法检测薄壁或小尺寸构件，面临弹击时构件颤动的能量损失会导致检测结果失真。国家现行标准《钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T384-2016中的钻芯法检测混凝土抗压强度要求的最小芯样直径：不应小于70mm且不得小于骨料最大粒径的2倍，这种钻芯法也很难用于装配式结构中采用的叠合板或其他小型构件进场时的强度检测。

相关资料表明，国外已采用直径为50mm的小直径芯样进行混凝土抗压强度的检测工作，例如英国、澳大利亚、意大利、前民主德国等。他们将小直径芯样与标准芯样等同对待，并认为只要芯样是从混凝土构件中取出的，不同直径的芯样强度没有本质的区别；但同时也提出了小直径芯样数量应较标准芯样有所增加。并对粗骨料的最大粒径会对芯样抗压强度有较大的影响达成了共识，认为在芯样的直径与骨料最大粒径之比不小于2时，用芯样获得的抗压强度值与真实值时比较接近的。

本条综合国外及国内的现有研究成果结合工程实际编写而成。

**4.2.4** 批量检测预制构件混凝土抗压强度时，宜根据构件类型、进场批次、混凝土龄期、设计强度等级等因素，依据现行相关检测技术标准的要求划分检测批。

【条文说明】预制构件在工厂根据构件类型、强度等级分批次制作、养护，现场批量检测预制构件混凝土抗压强度时，批量的划分与现浇混凝土结构不同，一般情况下，现浇混凝土结构同层构件可化为一批，装配式混凝土结构可能存在多层、同类型构件均为同批次生产的情况，因此，装配式混凝土结构的预制构件的混凝土抗压强度的批量检测，可根据实际情况来划分检测批次。

**4.3 预制构件混凝土粗糙面质量检测**

**4.3.1** 预制构件粗糙面质量的检测项目包括粗糙面的面积和凹凸深度。

【条文说明】设置混凝土粗糙面是保证装配式混凝土结构结合面连接质量的重要技术措施，现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1对各类构件和构件的不同部位均规定了粗糙面的面积和凹凸深度的具体设置要求。

**4.3.2** 预制构件粗糙面的长度和宽度可采用直尺或卷尺测量，根据测量结果计算粗糙面的面积。

**4.3.3** 预制构件混凝土粗糙面凹凸深度检测应符合下列规定：

**1** 预制混凝土叠合板的板面凹凸深度宜采用探针法检测，也可采用三维扫描法检测；

**2** 预制混凝土梁、柱和墙的粗糙面凹凸深度宜采用三维扫描法检测，也采用测探针法检测。

【条文说明】预制叠合板的粗糙面一般采用拉毛、压痕等成型工艺，粗糙面的凹凸特征存在一定的规律性，可根据峰谷凹凸的实际情况采用测深尺测量粗糙面凹凸深度。预制梁、柱和墙的粗糙面一般采用水洗冲毛露骨料的成型工艺，且均匀性较好，可对选定测区采用三维扫描检测。

**4.3.4** 预制构件混凝土粗糙面凹凸深度检测前应做好下列工作：

**1** 检查检测设备是否正常；

**2** 清理粗糙面表面的颗粒、杂物；

**3** 记录工程名称、楼号、楼层、构件编号、检测人员等信息。

**4.3.5** 粗糙面凹凸深度的测区布置应符合下列规定：

**1** 测区布置应避开预埋件、预留孔洞、桁架钢筋以及表面有明显凸出区域等容易产生干扰的部位；

**2** 混凝土梁、柱等杆类构件的两个端面应各布置不少于1个测区，混凝土叠合梁顶面宜布置不少于3个测区，混凝土剪力墙四个端面宜各布置不少于3个测区，混凝土叠合板面应布置不少于4个测区；

**3** 对于凹槽形粗糙面，每个测区的面积不宜小于300mm×300mm，且测区内应至少包含四条连续的凹槽；对于凹坑形粗糙面，设置于混凝土剪力墙四个端面时，每个测区的面积不宜小于150 mm×600mm，设置于其他部位时，每个测区的面积不宜小于300mm×300mm；

**4** 测区应编号和注明位置，并描述外观质量状况。

**4.3.6** 采用探针法检测混凝土粗糙面凹凸深度时，应符合下列规定：

**1** 测深尺可采用数显深度计或游标卡尺，测深量程不宜小于15mm，分辨力不应低于0.02mm；

**2** 钢尺最小分度值应为1mm；

**3** 基准板宜采用透明多孔的硬质塑料板（增加尺寸、孔数），厚度应为5.0mm±0.1mm（公差±0.5mm），孔径应为3.0mm±0.1mm（公差±0.5mm），孔距应为10.0mm±0.5mm；

**4** 当透明多孔基准板位于测区中心时，测区边缘到透明多孔基准板相应边缘的距离不应小于1倍透明多孔基准板孔距；

**5** 测量时基准板应紧贴粗糙面，测试孔不应超出测区范围，测深尺应紧贴基准板表面且保持探针与基准板垂直，探针穿过测试孔接触凹坑或凹槽的底部，读取并记录深度值，操作示意图见图4.3.6；

**6** 可通过移动基准板对测区内多个凹坑或凹槽深度进行测量，每个测区测量16个测点，测点应均匀布置，为保证更多凹面位于基准板测试孔的正下方，测点位置可适当调整；

**7** 测深尺的读数减去基准板的厚度即为实际凹凸深度值，16个测点凹凸深度值，剔除3个最大值和3个最小值，剩余10个为有效数据。

|  |
| --- |
| IMG_256 |
| 1-测深尺(局部)；2-透明多孔基准板；3-预制混凝土构件的粗糙面 |
| **图4.3.6 预制混凝土构件结合面粗糙度检测示意图** |

**4.3.7** 采用三维扫描法检测预制构件混凝土粗糙面凹凸深度时，应符合下列规定：

**1** 手持式三维扫描仪应具备获取三维点云数据的功能，测量精度不应低于0.1mm；

**2** 钢尺最小分度值应为1mm；

**3** 对于凹槽形粗糙面，采用图形处理软件截取凹槽选定区，凹槽选定区的长度为300mm，宽度方向不应少于四条连续的凹槽，将凹槽选定区在长度方向五等分，四个等分面与四条连续凹槽的交接处形成16个测点，以凹槽轮廓曲线上峰谷点的高差作为测点的凹凸深度，采用图形处理软件获得16个测点的凹凸深度数据；

**4** 对于凹坑粗糙面，采用图形处理软件在测区内截取凹坑选定区，对于混凝土剪力墙四个端面，凹坑选定区的长度为400mm，宽度为100，在凹坑选定区内划分两行八列共16个边长为50㎜的正方形凹槽单元格，对于其他部位，凹坑选定区的长宽均为200mm，在凹坑选定区内划分四行四列共16个边长为50㎜的正方形凹坑单元格，将每个凹坑单元格作为一个测点；以凹槽单元格中峰谷点的高差作为测点的凹凸深度，采用图形处理软件获得16个测点的凹凸深度数据；

**5** 将16个凹凸深度数据，剔除3个较大值和3个较小值，剩余10个有效数据。

[条文说明]拉毛法形成的凹槽粗糙面与水洗露骨料形成的凹坑粗糙面在形态特征上差异很大，因此在图形处理时其凹凸深度的检测方法也有所区别。凹坑粗糙面中的“凹坑”主要存在于粗骨料之间，据编制组广泛调研，预制混凝土构件的最大骨料粒径通常为25.0㎜~31.5㎜，而混凝土中的最大骨料及其余粗骨料与对应结合面之间通常为斜向相交，完全与结合面平行分布的情况很少。理论上，在边长为混凝土最大骨料粒径的1.5~2倍的正方形区域范围内，应该同时存在凸峰和凹谷，因此将凹坑单元格设定为边长为50㎜的正方形。凹槽选定区及凹坑选定区的截取由人工操作三维扫描仪配套的图形处理软件完成，凹槽选定区及凹坑选定区内的二次划区、测点生成、峰谷点识别及凹凸深度数据获取等环节可由三维扫描仪配套的图形处理软件根据预设程序自动完成。

**4.3.8** 混凝土粗糙面凹凸深度评价指标宜包括平均值和变异系数，并应按下列公式计算：

 （4.3.8-1）

 （4.3.8-2）

式中：*μ***——**平均值(mm)，计算时应精确至0.1mm；

*δ***——**变异系数，计算时应精确至0.01；

*xi***——**各个所测有效凹凸深度数据(mm)；

*N* **——**所测有效凹凸深度总数，等于测区的数量乘以每一测区内有效凹凸深度的数量。

**4.4 预埋吊装件锚固承载力检测**

**4.4.1** 预埋吊装件的锚固承载力应按抗拔承载力进行检测。

【条文说明】本条规定了预埋在混凝土构件中的吊装件锚固承载力应以抗拔承载力作为检测项目。

**4.4.2** 预埋吊装件锚固承载力检测可分为非破损性检测和破损性检测，并应符合下列规定：

**1** 当要求检测后不影响预制构件的使用时，应采用非破损性检测；

**2** 当要求确定预埋吊装件的极限锚固承载力时，应采用破损性检测；

**3** 采用非破损性检测时，检测荷载值应由设计图纸或者产品技术手册确定。

【条文说明】非破损性检测不影响预制构件的使用，通过检测来验证吊装件的锚固承载力是否满足设计要求。破损性检测是为了获得吊装件锚固承载力的极限值，通过一定的样本数来确定吊装件锚固承载力的标准值和设计值，吊装件锚固承载力设计值一般是由其标准值除以分项系数得到。

**4.4.3** 预埋吊装件锚固承载力检测的抽检规则应符合下列规定：

**1** 抽样检测应以同品种、同规格、同强度等级的吊装件安装于连接部位基本相同的同类构件作为一检测批；

**2** 进行极限承载力检测时，每一检测批应抽取不少于5个吊装件；

**3** 进行非破损性检测时，吊装件的抽样比例应符合表4.4.3的规定，当预埋吊装件的总量介于表4.4.3中两栏的数量之间时，可按线性内插法确定抽样数量；

**4** 吊装件应在检测批中随机抽取。

**表4.4.3非破损性检测预埋吊装件抽样数量**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检测批中预埋吊装件总数（件） | ≤100 | 500 | 1000 | 2500 | ≥5000 |
| 最小抽样数量（件） | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

【条文说明】抽检数量参照《预制混凝土构件质量检验标准》T/CECS 631的相关规定制订。对于完成极限承载力检验的构件，应根据破损情况确定构件的处置方案，未经修复不能作为正常构件使用。在表4.4.3中两栏的数量之间时，线性内插法按照取整数再加1的规则来确定抽样数量。

**4.4.4** 预埋吊装件的抗拔承载力检测的加载装置、加载设备与加载方式可依据《预制混凝土构件质量检验标准》T/CECS 631附录C的相关规定。

**4.4.5** 对于非破损性检测，当全部试件的试验结果均符合下列规定时，应判定为合格：

**1** 在持荷期间，试件无滑移、基材混凝土无裂缝或其他局部损坏迹象出现；

**2** 加载装置的荷载示值在2min内无下降或下降幅度不超过5%的检验荷载。

**4.4.6** 对于破损性检测，应计算预埋吊装件极限抗拔承载力标准值：

（4.4.6）

式中：——预埋吊装件极限抗拔承载力标准值，kN；

——预埋吊装件极限抗拔承载力平均值，kN；

——预埋吊装件极限抗拔承载力标准差，kN；

——推定系数取值与抽检数量有关，取值见表4.4.6。

**表4.4.6 推定系数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样本容量 | *k* | 样本容量 | *k* | 样本容量 | *k* |
| 5  6  7  8  9  10 | 3.39983  3.09188  2.89380  2.75428  2.64990  2.56837 | 16  17  18  19  20 | 2.29900  2.27240  2.24862  2.22720  2.20778 | 26  27  28  29  30 | 2.12037  2.10924  2.09881  2.08903  2.07982 |
| 11  12  13  14  15 | 2.50262  2.44825  2.40240  2.36311  2.32898 | 21  22  23  24  25 | 2.19007  2.17385  2.15891  2.14510  2.13229 | 31  32  33  34  35 | 2.07113  2.06292  2.05514  2.04776  2.04075 |

**4.5 预埋保温连接件锚固性能检测**

**4.5.1** 预埋保温连接件锚固性能检测适用于纤维复合材料连接件、不锈钢材料连接件以及钢筋桁架保温连接件。

【条文说明】目前预制混凝土夹心保温板连接件按照材料可分为纤维复合材料和不锈钢材料。纤维复合材料连接件主要分为片状和棒状两种，不锈钢材料连接件主要分为针式、板式和桁架式。

**4.5.2** 预制混凝土墙体预埋保温连接件的锚固性能检测项目包括单个连接件的抗拔承载力和整体群锚的抗剪承载力。

【条文说明】保温连接件主要承受平面外风荷载、外叶板自重和地震时内叶板与外叶板相对位移引起的荷载。整体群锚的抗剪承载力检测宜抽取实际生产的预制构件进行整体平面内抗剪承载力试验。

**4.5.3** 预制混凝土墙体单个保温连接件的抗拔承载力检测应符合下列规定：

**1** 纤维复合材料保温连接件和针式不锈钢材料保温连接件应进行单个连接件的抗拔承载力检测；

**2** 同种类型、规格、基材混凝土设计强度等级且锚固条件相同的连接件为一个检测批，每个检测批应抽取不少于5件；

**3** 在进行单个保温连接件的抗拔承载力检测时，混凝土抗压强度应达到设计要求；

**4** 以保温连接件所在位置作为圆柱体的轴心，钻取直径不宜小于150mm的圆柱体试件，在墙体厚度方向钻透，获得含有内叶板混凝土、保温材料、外叶板混凝土和保温连接件的组合体试件；

**5** 试件内不宜含有钢筋，连接件的位置距圆柱体侧面的最小距离不应小于45mm，且钻芯过程对连接件的锚固性能无明显扰动；

**6** 将试件的内叶板混凝土固定，加载的作用力方向沿着保温连接件的轴向，对外叶板混凝土施加连续荷载直至锚固破坏，加载速率宜控制在1kN/min~3kN/min，加载装置示意图见图4.5.3；



**图 4.5.3 单个保温连接件抗拔承载力试验示意图**

1—外叶板混凝土；2—保温连接件；3—内叶板混凝土

**7** 检测批的抗拔承载力平均值和标准差应按下列公式计算：

 （4.5.3-1）

 （4.5.3-2）

（4.5.3-3）

式中：——检测批抗拔承载力平均值，精确至0.1kN；

*n*——检测批的样本容量；

——抗拔承载力单个值，精确至0.1kN；

——检测批抗拔承载力标准差，精确至0.1kN；

——连接件抗拔承载力标准值，精确至0.1kN；

——推定系数取值与抽检数量有关，按表4.4.6取值。

【条文说明】片状或棒状纤维复合材料保温连接件、针式不锈钢连接件的锚固区域较小，可根据设计图纸并辅助无损检测手段，确定连接件的位置，通过取芯的方式获得含有单个保温连接件、内叶板混凝土和外叶板混凝土的组合体试件。为了减少钢筋对检测结果的影响，可通过钢筋探测仪确定钢筋位置，钻取芯样应避开钢筋。推定系数k按照《建筑结构检测技术标准》（GB/T 50344-2019）表3.5.11中0.05分位值，错判概率为0.1进行取值。

**4.5.4** 预制混凝土墙体预埋保温连接件的整体群锚抗剪承载力检测应符合下列规定：

**1** 板式不锈钢保温连接和钢筋桁架式保温连接件应进行保温连接件整体群锚抗剪承载力检测；

**2**  宜按墙体在工程结构安装后的竖向方向和水平方向分别进行检测；

**3** 在进行整体群锚抗剪承载力检测时，混凝土抗压强度应达到设计要求；

**4** 整体群锚抗剪承载力检测可采用图4.5.4的试验装置；



（a）俯视图



（b）侧视图

图4.5.4 整体群锚抗剪承载力示意图

1—千斤顶；2—荷载传感器；3—分配梁；4—位移计；5—外叶板；

6—保温层；7—内叶板；8—保温连接件

**5** 对外叶板施加与墙板平面平行的均匀连续荷载，加载速率宜控制在1kN/min~3kN/min，直至试件破坏或外叶板与内叶板相对位移大于10mm，试验加载时内叶板不应有平面外位移；

**6** 若试件破坏时，外叶板与内叶板的相对位移不大于10mm，试件的极限荷载取破坏荷载；若外叶板与内叶板的相对位移大于10mm且试件未破坏，试件的极限荷载取相对位移达到10mm时的最大荷载；

**7** 单个连接件的抗剪承载力可按下列公式计算：

（4.5.4）

式中：——单个连接件的抗剪承载力，精确至0.1kN；

*V*——试件的极限荷载，精确至0.1kN；

*n*——试件内保温连接件的数量。

【条文说明】板式不锈钢保温连接件和钢筋桁架保温连接件的锚固区域较大，不适合进行单个连接件承载力的检测，可通过整体群锚抗剪承载力检测考察连接件的锚固性能。根据受力状态分析，在进行整体群锚抗剪承载力试验时，保温连接件处于拉剪复合受力状态，因此，整体群锚抗剪承载力检测既考察了连接件的抗拔承载力又考察了抗剪承载力。为了使检测时构件的受力状态更接近实际情况，设计了群锚整体抗剪承载力检测的专用试验装置。由于不锈钢连接件和钢筋桁架连接件的延性较好，通常加载至破坏时内叶板和外叶板之间的相对位移较大，超过了实际结构中的变形限值。为了简化加载过程，增加了以内叶板和外叶板的相对位移作为判别指标。相对位移的限值参考现行行业标准《预制保温墙体用纤维增强塑料连接件》JG/T 561-2019中的相关要求。

**5 混凝土结合面连接质量检测技术**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 本章适用于混凝土内部结合面缺陷检测、结合面粘结强度检测和竖向构件底部接缝内部缺陷检测。

**5.1.2** 对混凝土内部的结合面缺陷进行无损检测时，混凝土表面应平整、清洁、干燥，且不应有蜂窝、孔洞、疏松、浮浆、凸起等外观质量缺陷。

【条文说明】内部缺陷检测一般采用超声波、冲击回波、雷达波等无损检测方法，均要求混凝土表面平整、清洁、干燥；对于竖向构件底部20mm厚度的接缝处，封浆或者坐浆施工造成表面不平整、流淌的浆料或者斜坡凸起等表观缺陷均影响检测过程和检测结果。

**5.2 结合面混凝土正拉粘结强度检测**

**5.2.1** 结合面混凝土正拉粘结强度的现场检测适用于结合面与检测面平行的构件或结构部位。

【条文说明】结合面正拉粘结强度的现场检测主要针对叠合墙、叠合板，检测二次浇筑施工的混凝土与预制构件的粘结强度。

**5.2.2** 现场检测应在二次浇筑的混凝土龄期大于28天后进行。

**5.2.3** 结合面混凝土正拉粘结强度的检测装置应由钻芯机、金刚石钻头、拉拔仪等组成。

**5.2.4** 拉拔仪应符合下列规定：

**1**  应具有对试件自动调节径向夹紧力的功能；

**2** 应具有荷载实时显示和荷载峰值保持功能；

**3**  荷载的分辨率或最小示值宜为1N，满量程测试误差不应大于1.0%；

**4** 应有设备合格证和校准证书，并应在有效期内使用。

**5.2.5** 结合面混凝土正拉粘结强度检测的测点布置应符合下列规定：

**1** 检测面的选择应确保检测时拉拔仪的施力方向垂直于混凝土结合面；

**2** 测点选择应具有代表性；

**3** 检测部位应选择在结构或者构件受力较小处，且检测后不影响构件或结构的使用；

**4** 检测面应清洁、干燥、密实，不应有接缝，并应避开蜂窝、麻面等有外观质量缺陷的部位；

**5** 钻样时应避开钢筋、预埋件和预埋管线。

**5.2.6** 结合面混凝土正拉粘结强度检测应符合下列规定：

**1** 制样的直径宜为100mm，且不应小于70mm，制样深度宜大于结合面深度，且距离结合面不宜大于15mm；

**2** 制样完成后，应及时冲洗试件表面泥浆；

**3** 试验前制样应处于干燥状态，拉拔仪应先清零，调整三爪夹头夹紧试件端部；

**4** 连续均匀加荷，加荷速率宜为1500N/min～2000N/min，当试件断裂时，记录破坏时的荷载值和破坏形态；

**5** 若试件在混凝土结合面处断裂，采用游标卡尺测量结合面处试件在两个相互垂直方向的直径。

**6** 检测留下的孔洞应及时采用同强度等级或高一个强度等级的细石混凝土进行修补。

【条文说明】以混凝土叠合楼板为例，因芯样钻取深度未贯穿结合面或者芯样钻取深度过深造成预制混凝土贯穿性破坏的试验结果不能作为评定依据，其他三类正常的破坏形态见图5.3.6。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| （a）结合面混凝土破坏 | （b）后浇混凝土破坏 | （c）预制构件混凝土破坏 |
| **图5.2.6 混凝土结合面破坏形态示意图** | | |

**5.2.7** 结合面正拉粘结强度的检测结果可按下列规定确定：

**1** 芯样破断面位于非结合面处，可给出结合面正拉粘结强度不低于后浇混凝土、预制混凝土抗拉强度的结论；

**2** 芯样破断面位于结合面处，可按5.2.8条计算推定结合面正拉粘结强度。

**5.2.8** 芯样破断面位于结合面处时，正拉粘结强度值应按下式计算：

*f=*4*P/*π*D*2 （5.2.8）

式中：*f*—正拉粘结强度（MPa），精确至0.01 MPa；

*P*—芯样破坏时的极限荷载值（N），精确至0.01 kN；

*D*—芯样直径(mm)，精确至0.01mm。

**5.2.9** 按检测批推定结合面正拉粘结强度时，应符合下列规定：

**1** 按检测批推定结合面正拉粘结强度时，试件数量不宜低于15个；

**2** 检测批的结合面正拉粘结强度推定值应计算推定区间，推定区间的上限值和下限值应按下列公式计算：

 （5.2.9-1）

 （5.2.9-2）

 （5.2.9-3）

 （5.2.9-4）

式中：——结合面正拉粘结强度推定上限值（MPa），精确至0.1MPa；

——结合面正拉粘结强度推定下限值（MPa），精确至0.1MPa；

——结合面正拉粘结强度平均值（MPa），精确至0.1MPa；

——结合面正拉粘结强度标准差（MPa），精确至0.01MPa；

——第个结合面正拉粘结强度值（MPa），精确至0.1MPa；

、——推定系数，取值按现行标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344确定；

——结合面正拉粘结强度测点数。

**3** 和所构成推定区间的置信度宜为0.90，和之间的差值不宜大于0.15；

**4** 当和之间的差值大于0.15时，可适当增加样本容量或重新划分检测批进行补充检测，直至满足本条第3款规定；

**5** 当满足本条第3款规定时，宜以推定上限值作为检测批结合面正拉粘结强度推定值；

**6** 当不具备本条第4款条件时，不宜进行批量推定，仅给出各测点结合面正拉粘结强度值；

**5.2.10** 在确定检测批结合面正拉粘结强度推定值时，可剔除样本中的异常值。剔除规则应按现行国家标准《数据的统计处理和解释正态样本离群值的判断和处理》GB/T 4883的有关规定执行。

**5.3 混凝土内部结合面缺陷检测**

**5.3.1** 混凝土内部结合面缺陷包括脱粘、漏灌、不密实、空洞、夹杂等类型。

【条文说明】在混凝土叠合剪力墙、叠合梁、叠合板以及预制构件与现浇混凝土连接部位存在大量的混凝土结合面，其内部的结合面缺陷包括脱粘、漏灌、不密实、空洞、杂物等类型，尤其以竖向叠合剪力墙的内部脱粘较为常见，水平构件以夹有杂物较为常见。

**5.3.2**根据现场检测条件和内部钢筋配置情况，混凝土内部的结合面缺陷检测方法的选择应符合下列规定：

**1** 当具有两个相互平行的测试面时，可采用超声对测法、阵列超声法、冲击回波法或雷达法进行检测；

**2** 当仅具有一个可测面时，可采用阵列超声法、冲击回波法或雷达法进行单面检测；

**3** 当结构内部钢筋分布较密或存在电磁环境干扰时，可采用超声对测法、阵列超声法和冲击回波法进行检测；

**4** 对于重要的工程或部位，宜采用两种或两种以上的检测方法，当检测结果出现差异时，应采用破损方法进行验证；

【条文说明】根据超声波法、冲击回波法和雷达波法等对现场测试面的条件以及可识别缺陷的类型，给出了检测方法选择的依据。

**5.3.3** 当采用超声法进行混凝土内部的结合面缺陷检测时，应按现行标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21的相关规定执行。

**5.3.4** 当采用冲击回波法进行混凝土结合面内部缺陷检测时，应按现行标准《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411的相关规定执行。

**5.3.5** 当采用雷达法进行混凝土结合面内部缺陷检测时，应按现行标准《雷达法检测混凝土结构技术标准》JGJ/T 456的相关规定执行。

**5.3.6** 采用阵列超声法对混凝土结合面的缺陷进行检测时，可按附录B的有关规定执行。

【5.2.3-5.2.5条文说明】采用超声波法、冲击回波法和雷达法等检测混凝土内部缺陷，已有相应的应用经验和技术标准，可按现行相关标准进行检测操作和结果判定。

**5.4 竖向构件底部接缝内部缺陷检测**

**5.4.1** 竖向构件底部接缝内部缺陷可采用超声法检测，宜采用微破损方法进行验证。

**5.4.2** 当采用超声法对竖向构件底部接缝内部缺陷检测时，宜按下列规定：

**1** 宜选用超声对测法，所用换能器的辐射端直径不宜超过20mm，工作频率宜为250kHz～750kHz；

【条文说明】预制剪力墙底部接缝灌浆质量的检测主要是指灌浆不密实或者局部空腔区域的检测。底部接缝的构造具有以下特点：①底部接缝长度一般以一块预制剪力墙长度为单元，宽度等于预制剪力墙厚度，高度一般为20mm；②预制剪力墙大多采用连通腔灌浆，底部接缝中充填的灌浆料强度高，属高强无收缩水泥基材料；③底部接缝中除有钢筋穿过外，经常有机电管线穿过，同时还分布一定数量的用于定位底部接缝高度的垫块，周边则一般用高强砂浆封堵。分析以上底部接缝在几何空间、材料组成等方面的特点，用传规超声法检测底部接缝灌浆质量存在一定困难，主要表现在：①适用混凝土检测的常规换能器直径偏大，不能适应底部接缝较小的高度；②工作频率偏低，一般为50kHz，频率低会导致灵敏度和分辨力低，对缺陷的识别能力弱。本章超声检测采用小直径、高频率换能器，（换能器的直径不超过20mm，必要时辐射端可带有倾角，工作频率不低于250kHz）能较好地适应预制剪力墙底部接缝的构造特点。该方法适用于预制剪力墙底部接缝灌浆质量的检测，一般在灌浆3~7d后实施检测。

**2** 检测时座浆料或灌浆料的龄期不宜低于7d，并应避开有机电管线穿过的区域；

**3** 初次检测时的测点间距宜为100mm，经初次检测怀疑存在缺陷的点位，可在附近加密测点，必要时可采用局部破损的方式进行验证；

【条文说明】通常超声测点的间距为100~300mm，在预制剪力墙上的测点间距取较小值100mm是为了增大发现小缺陷的概率。测点布置时，先在预制剪力墙板的前后二面同步确定一个对称的起点，并且同向按序1~N编号；超声检测时应跳过有机电管线穿过区域等有明显区别的测点。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。

**4** 当接缝具有两对相互平行的测试面时，宜分别在两个方向分别进行检测；

【条文说明】框架柱具有两对相互平行的测试面。

**5** 当底部接缝为圆形时，测点可经圆心处作径向对测布置。

**5.4.3**  缺陷评定应按现行标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21的相关规定执行。

**6 钢筋套筒灌浆连接质量检测技术**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 钢筋套筒灌浆连接质量检测项目包括灌浆料实体强度、套筒灌浆饱满度和钢筋插入长度。

【条文说明】根据钢筋套筒灌浆连接的原理和接头性能的影响因素，钢筋有效锚固长度和灌浆料强度影响钢筋接头受力性能，其中，钢筋有效锚固长度取决于钢筋插入长度和套筒灌浆饱满度。

**6.1.2** 灌浆料实体强度检测宜按照计量抽样方法确定检测批抽检数量，灌浆饱满度和钢筋插入深度应按照计数抽样方法确定检测批抽检数量。

**6.1.3** 对于灌浆饱满度和钢筋插入深度的检测，在首层装配式施工部位应扩大抽检比例，构件抽样检测的最小样本容量不宜低于现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344中B类要求，其他楼层可按A类抽样。

【条文说明】工程检测实践表明，首层装配施工的质量问题更为突出，受现浇层标高控制精度和钢筋定位精度影响，钢筋插入深度的问题比较多，应加大首层装配的抽检力度。

**6.1.4** 同一位置套筒灌浆饱满度和钢筋插入长度检测后，可计算钢筋有效锚固长度。

【条文说明】当钢筋插入长度符合设计要求且灌浆饱满时，钢筋在套筒内的有效锚固长度才符合要求。当对同一位置套筒既进行了饱满度检测，又进行了钢筋插入长度检测，可通过计算钢筋被灌浆料包裹区域的长度得到钢筋有效锚固长度。

**6.1.5** 当不具备无损检测的条件或对无损检测的结果有疑义时，现场可抽取对结构安全性影响较小的钢筋套筒灌浆连接接头进行破损检查和检测，可按附录C的有关规定执行。

【条文说明】本条规定是破损检验，一般不推荐采用，当采用无损检测手段无法实施时，或者对无损检测结果有争议时，可采用原位截取钢筋接头，先做接头力学性能检验，再剖开检查内部灌浆质量和钢筋插入深度。

**6.2 灌浆料实体强度检测**

**6.2.1** 钢筋连接用套筒灌浆料实体强度可采用取样法、回弹法进行检测，并应符合下列规定：

**1** 当采用外接延长管施工工艺时，宜采用外接延长管取样法；

**2** 对采用PVC等硬质材料的灌浆管和排浆管且管长度大于50mm的钢筋套筒灌浆连接的结构实体，可采用钻芯取样法；

**3** 当构件灌浆口、出浆口为硬化的灌浆料原浆面且表面平整、光滑时，可采用回弹法。

【条文说明】回弹法是指通过测试灌浆孔道或出浆孔道内灌浆料外端面的硬度值，根据表面硬度与抗压强度的相关性，来推定灌浆料抗压强度的方法。由于灌浆孔道及出浆孔道内灌浆料与套筒内灌浆料是连续一体的，因此检测上述孔道内的灌浆料强度即可代表套筒内的灌浆料强度。经大量实验室和现场验证试验表明，灌浆料表面硬度与其抗压强度存在较好正相关性，通过表面硬度的检测，利用建立的测强曲线可推定其抗压强度。

**6.2.2** 采用取样法检测灌浆料实体强度时，应符合现行标准《取样法检测钢筋连接用套筒灌浆料抗压强度技术规程》T/CECS 726的相关规定。

**6.2.3** 采用回弹法检测时，应符合下列规定：

**1** 灌浆料的养护龄期不应小于7d；

**2** 检测面不应有明显缺陷，表面应处于自然风干状态；

**3** 弹击时管内浆料应无位移；

**4** 抗压强度的检测范围应在40MPa~120MPa之间。

【条文说明】灌浆料为早强型水泥基胶凝材料，在0-7d龄期内，强度增长最快，要求3d龄期的抗压强度达到60MPa，7d龄期的抗压强度通常可达到设计强度的80%。此外，大量试验结果表明，达到7d龄期后，灌浆料的表面硬度数据的离散性显著减小，测试结果更为可靠。检测面应为灌浆料的原始浆料面，保证测试结果的真实性，检测面存在明显缺陷、潮湿或人为烘干处理等将对检测结果带来影响。抗压强度的检测范围基本涵盖了目前套筒连接灌浆料在3-28d的强度区间，以满足实际工程的需求。表面硬度法不受套筒布置方式及灌浆和出浆孔道形状的限制。

**6.2.4** 回弹法检测灌浆料实体强度应按附录D执行。

**6.2.5** 当灌浆料抗压强度推定值不小于设计要求时，可判定套筒灌浆料实体强度符合设计要求。

**6.3 套筒灌浆饱满情况检测**

**6.3.1** 套筒灌浆饱满性可采用预埋钢丝拉拔法、预埋传感器法以及压电阻抗法进行检测，灌浆饱满度可采用钻孔内窥法、X射线成像法进行检测，并应符合下列规定：

**1** 当出浆孔道为直线形且孔道长度小于100mm时，宜采用钻孔内窥法；

**2** 当X射线在混凝土中透射距离不大于250mm时，可采用X射线法；

**3** 当具备预埋的条件时，可采用预埋钢丝拉拔法和预埋传感器法；

**4** 当需要批量定性识别套筒内部灌浆是否饱满时，可采用压电阻抗法；

**5** 当对X射线法、预埋钢丝拉拔法、预埋传感器法和压电阻抗法检测结果有疑问时，应采用钻孔内窥法进行验证。

【条文说明】钻孔内窥法主要检查钢筋灌浆饱满情况，需要沿着排浆孔道钻孔至套筒出浆孔，或者直接在套筒内腔顶部钻孔，对套筒有局部微损伤。X射线法完全是无损检测方法，对可穿透的混凝土构件尺寸及检测环境有特殊要求。压电阻抗法时一种定性的缺陷识别方法，也是无损检测方法。

**6.3.2** 采用钻孔内窥法检测时，宜选用带尺寸测量功能的内窥镜，钻孔方式应符合下列规定：

**1** 当出浆孔道为直线形且孔道长度小于100mm时，应沿出浆孔道钻孔；

**2** 当出浆孔道为非直线形或者孔道长度大于100mm时，可在套筒壁上钻孔；

**3** 对套筒壁钻孔时，钻孔部位应与套筒的出浆口错开，不应与套筒出浆口在同一截面，钻孔直径不应大于10mm，检测完成后应对套筒壁钻孔部位进行修补。

【条文说明】在未灌满或者漏浆情况下，由于重力作用，流动灌浆料的液面会低于套筒出浆口，根据这一特征，在套筒出浆口高度位置制备内窥检测孔道，采用带测量功能的内窥镜可获得套筒顶部不饱满区的三维图像，通过数字化处理可定量确定不饱满的范围，进而计算出灌浆饱满度。当套筒的出浆孔道为直线形时，可在灌浆施工过程中通过预成孔装置形成孔道，也可通过后期沿着出浆孔道钻孔形成孔道；当套筒的出浆孔道为非直线形时，直接钻至套筒壁。可将套筒出浆口高度位置外侧的混凝土保护层剔除，在套筒壁上钻孔形成孔道，检测完成后，应对套筒壁钻孔部位进行修补。

**6.3.3** 采用X射线法检测时，应采用便携式X射线探伤仪，并应符合下列规定：

**1** 当被测构件受检区域的厚度不大于250mm且同一射线路径上只有一个套筒时，宜采用X射线法无损检测方法；

**2** 当不符合第1款的检测条件时，可采用X射线法微破损检测方法。

【条文说明】本条规定了X射线法的适用范围。目前，便携式X射线机的穿透能力有限，对混凝土材料而言，最大穿透厚度在250mm左右，为了保证检测质量，实际检测时的穿透厚度不宜大于250mm。剔除混凝土保护层，X射线穿透厚度变小，故X射线法的适用范围可适当扩大。

**6.3.4** 采用压电阻抗法识别灌浆饱满性时，测点应布置在混凝土表面与套筒表面的最短距离处，且同一检测路径上不应有两个或两个以上的套筒。

【条文说明】压电阻抗法的测点要求布置在套筒出浆孔下方的正对混凝土表面，由于构件表面出浆孔与套筒出浆口的位置并非完全对应，因此检测前应对预制构件内的套筒精确定位，以便在混凝土表面布置测点。

**6.3.5** 采用钻孔内窥法检测套筒灌浆饱满度时，应按附录E执行。

**6.3.6** 采用X射线法检测套筒灌浆饱满度时，应按附录F执行。

【条文说明】X射线法检测的关键是设置好管电压、管电流、曝光时间、射线源到胶片的距离等参数，需要事先通过试验确定，有时需根据现场实际情况进行调整。

**6.3.7** 采用预埋钢丝拉拔法和预埋传感器法检测套筒灌浆饱满性时，应符合现行标准《装配式混凝土结构套筒灌浆质量检测技术规程》T/CECS 683的相关规定。

**6.3.8** 采用压电阻抗法识别套筒灌浆饱满性时，应按附录G执行。

**6.4 钢筋插入长度检测**

**6.4.1** 套筒内钢筋插入长度可采用内窥法、X射线法进行检测，并应符合下列规定：

**1** 当符合6.3.3条要求时，宜采用X射线法检测套筒内钢筋插入长度；

**2** 当符合6.3.2条要求时，可采用钻孔内窥法检测套筒内钢筋插入长度；

**3** 当对钻孔内窥法检测结果存在争议时，可采用X射线法或者按附录C有关规定进行验证。

【条文说明】钢筋插入长度是指预留插筋进入套筒内的长度，钢筋套筒灌浆连接的钢筋锚固长度是由套筒内钢筋插入深度及灌浆饱满度共同决定的，因此钢筋插入深度也是影响钢筋套筒灌浆连接性能的重要因素。

**6.4.2** 采用内窥法检测套筒内钢筋插入长度时，应在预制构件现场安装完成后、套筒灌浆施工前进行，并应按附录E执行。

【条文说明】预制构件现场拼接完成后，套筒内的钢筋插入深度既已固定，套筒灌浆施工前，方便采用内窥镜从出浆孔道伸入进行检测。内窥镜法检测套筒内钢筋插入长度是利用套筒尺寸精度高的特点，将测量钢筋插入长度转化为测量钢筋插入段末端与套筒内已知参照点的相对距离，通过带测量功能的内窥镜准确测量上述相对距离，计算出钢筋插入长度。【考虑删除】

**6.4.3** 采用钻孔内窥法检测套筒内钢筋插入长度时，应按附录E执行。

**6.4.4** 采用X射线法检测套筒内钢筋插入长度时，应按附录F执行。

**7 钢筋浆锚搭接质量检测技术**

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 钢筋浆锚搭接质量的检测项目包括灌浆料实体强度、灌浆饱满度、钢筋插入长度。

【条文说明】钢筋有效锚固长度是影响钢筋连接性能的主要因素，有效锚固长度主要取决于钢筋插入长度和灌浆饱满度。

**7.1.2** 灌浆料实体强度检测宜按照计量抽样方法确定检测批抽检数量，灌浆饱满度和钢筋插入深度检测宜按照计数抽样方法确定检测批抽检数量。

**7.1.3** 浆锚搭接的灌浆料实体强度可采用取样法、回弹法进行检测，取样法检测可按现行标准《取样法检测钢筋连接用套筒灌浆料抗压强度技术规程》T/CECS 726的相关规定执行，回弹法检测可按附录D执行。

**7.2 浆锚搭接灌浆饱满度检测**

**7.2.1** 浆锚搭接灌浆饱满度可采用钻孔内窥法、超声法、冲击回波法、X射线法进行检测，并应符合下列规定：

**1** 宜采用钻孔内窥法；

**2** 对于无波纹管的浆锚搭接，可采用超声法；

**3** 对于孔道直径不小于80mm的浆锚搭接，可采用冲击回波法；

**4** 当被测构件受检区域的厚度不大于250mm且同一射线路径上只有一个浆锚孔道时，可采用X射线法；

**5** 宜采用钻孔内窥法对超声法、冲击回波法、X射线法等无损方法的检测结果进行验证。

【条文说明】本条列举了装配式混凝土结构中浆锚搭接灌浆质量的检测方法。现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231和现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1均要求灌浆应饱满、密实，因此，在满足强度要求的前提下，浆锚搭接灌浆质量可用饱满度和密实度来表征。饱满度主要是指浆锚管是否完全灌满，密实度主要是指浆锚管内部是否存在孔洞或夹杂。冲击回波法可实现浆锚搭接灌浆饱满度的定量检测。X射线工业CT法、X射线数字成像法和X射线胶片成像法可实现浆锚搭接灌浆饱满度的定量检测和密实度的定性检测。

【条文说明】相对常规低能X射线工业CT，高能X射线工业CT能够适应更大的扫描直径、扫描高度和样品重量，且具有高集成度、高效率、高一致性、高均匀性、低噪声、抗干扰性强等技术优点，采用线阵探测器和精确的后准直系统，大大降低了散射误差，检测效果更好。

**7.2.2** 采用钻孔内窥法检测时，宜选用带尺寸测量功能的内窥镜，钻孔方式应符合下列规定：

**1** 当出浆孔道为直线形且孔道长度小于100mm时，宜采用沿出浆孔道钻孔；

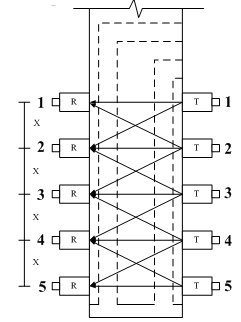
**2** 当出浆孔道为非直线形或者孔道长度大于100mm时，可采用在浆锚孔道顶部区域直接钻孔。

【条文说明】与套筒灌浆的套筒壁钻孔相比，钻孔对浆锚搭接的孔道受力性能影响极小，钻孔位置相对灵活，故没有规定具体的限制，可以根据工程实际情况选择钻孔位置。

**7.2.3** 当采用阵列式超声法检测时，应符合附录B的要求。

**7.2.4** 当采用非阵列式超声法检测时，测点宜采用对测法和斜侧法，测点范围应覆盖浆锚孔道，测点间距不应大于30mm，并应符合现行标准《超声法检测混凝土内部缺陷技术规程》CECS 02的相关规定。

【条文说明】通常深孔道浆锚的高度超过500mm，低孔道浆锚的高度约300mm左右；浆锚孔由厚度0.3mm、直径40mm~50mm的薄铁皮波纹管制作成型，两根波纹管的下端与构件的底面平行形成灌浆连通腔；其上端一根低、一根高弯成直角伸向构件的侧面，被分别形成注浆口和出浆口。布置超声测点上、下的间距设为x，深孔道x按需取50mm ~100mm、低孔道x取50mm，且布置在那根较低波纹管水平弯起端的下方，编号分别为1、2、3、4、5等。检测时可以仅水平方向超声波发射~接收对测，对浆锚灌浆质量有怀疑或者必要时可补充发射~接收交叉斜测的超声测点，以利判断是哪根波纹管漏灌或者饱满度不足。单排、 “梅花桩”或类似于套筒形式的浆锚搭接灌浆质量检测的超声测点的布置可参照图7.3.4。当采用形成浆锚孔的薄铁皮波纹管，其直径小于40mm、插入的钢筋大于16mm的场合，超声检测的灵敏度偏低。



**图7.2.4 双排灌浆孔道超声检测示意图**

**7.2.5** 采用冲击回波法检测时，宜采用多点连续测量设备，并应符合下列规定：

**1** 浆锚孔道直径与混凝土保护层厚度的比值应在1/3~3/2范围内；

**2** 测点布置前应先确定浆锚孔道的位置；

**3** 冲击回波法检测应按本标准附录H执行。

**7.2.6** 采用X射线法检测时，应按附录F执行。

**7.3 浆锚搭接钢筋插入长度检测**

**7.3.1** 浆锚搭接钢筋插入长度可采用钻孔内窥法、X射线法进行检测。

**7.3.2** 采用钻孔内窥法检测时，应符合下列规定：

**1** 在设计锚固长度的上端部钻孔至钢筋表面，钻孔时可考虑钢筋插入长度的允许负偏差，降低钻孔的位置；

**2** 若未观察到钢筋，可将钻孔测点下移，再次钻孔，若仍未见钢筋，判定钢筋插入深度未达到设计要求。

【条文说明】浆锚搭接的锚固长度设计富余量较大，且孔道可以局部破损，故内窥法检测时，可以直接对孔道钻孔，当未见钢筋时，可以重新再选择位置钻孔，实现对钢筋插入情况的检查。钻孔内窥法一般用来判定钢筋插入长度是否符合设计要求，若要定量检测钢筋插入长度，应采用X射线法。

**7.3.3** 采用X射线法检测浆锚搭接钢筋插入长度时，宜采用便携式X射线探伤仪，并应符合下列规定：

**1** 当浆锚孔道较长时，宜从上而下布置，分段照射，确保影像覆盖整个孔道范围；

**2** X射线法检测应按附录F执行。

**8 装配式混凝土外墙拼缝质量检测技术**

**8.1 一般规定**

**8.1.1** 本章适用于装配式混凝土外墙拼缝质量的现场检测。

**8.1.2** 装配式混凝土外墙拼缝质量的检测项目包括嵌缝密封胶与混凝土粘结质量和外墙拼缝防水质量。

**8.2 嵌缝密封胶与混凝土粘结质量检测**

**8.2.1** 采用剥离粘结试验的方法对嵌缝密封胶与混凝土粘结质量进行现场检测，应符合下列规定：

**1** 检测应在装配式混凝土外墙的嵌缝密封胶完全固化后进行；

**2** 每500m拼缝作为一个检测区，每个检测区应选取3处进行检测，且应至少包含1处横缝；

**3** 检测应在（5~35）℃的气温环境下进行；

**4** 检测过程中应采取必要的安全措施。

【条文说明】嵌缝密封胶完全固化后方能达到理想的粘结效果，因此，检测应在嵌缝材料完全固化后进行。

**8.2.2** 检测仪及辅助工具应符合下列规定：

**1** 刀具应锋利且长度大于嵌缝密封胶的注胶深度；

**2** 检测仪应具备能夹持嵌缝密封胶端头并能施加匀速拉力的功能；

**3** 测量嵌缝密封胶粘结破坏面积的工具可采用网格纸。

**8.2.3** 现场检测步骤应符合下列规定：

**1** 采用刀具沿混凝土构件与嵌缝密封胶的粘结处切割嵌缝密封胶，切割长度为75mm，嵌缝密封胶切割深度为注胶深度；

【条文说明】切割尺寸是为了保证检测设备对嵌缝密封胶能够有效的夹持。

**2** 检测仪夹持嵌缝密封胶75 mm长的一端，以90°方向沿缝剥离嵌缝密封胶，剥离的速度为100mm/min，剥离时间不宜小于1min。

**3** 采用网格纸测量嵌缝密封胶与混凝土构件之间粘结破坏面积，记录粘结破坏面积百分比，精确至1%。

【条文说明】粘结破坏形式包括内聚破坏和粘结破坏，内聚破坏指密封胶与混凝土粘结良好，在剥离测试时密封胶本体发生断裂、撕裂；粘结破坏指密封胶与混凝土构件脱粘。



**图8.2.3 嵌缝密封胶剥离测试示意图**

**8.2.4** 检测结果的判定应符合下列规定：

**1** 当检测点的粘结破坏百分比均小于等于20%时，判定该检测点嵌缝密封胶与混凝土粘结质量符合要求。

**2** 当检测过程中发生胶体脆性断裂或粘结破坏百分比大于20%时，判定该检测点嵌缝密封胶与混凝土粘结质量不符合要求。

**3** 当3处检测点嵌缝密封胶与混凝土粘结质量均符合要求，则判定该检测区的粘结质量符合要求；当有1处检测点嵌缝密封胶与混凝土粘结质量不符合要求时，应再增加2处检测点进行复检，若仍有1处不符合要求，则该检测区的粘结质量不符合要求；当有2处及以上检测点不符合要求时，则该检测区粘结质量不符合要求。

【条文说明】脆性断裂是指密封胶在剥离过程中，被牵拉10s内发生断裂。

**8.3 外墙拼缝防水质量的现场检测**

**8.3.1** 外墙拼缝防水质量的现场检测应采用淋水试验的方式，并应符合下列规定：

**1** 检测宜在防水系统完工后进行，应关闭窗户，封闭各种预留洞口；

**2** 每1000 m2外墙应划分为一个检测批，不足1000 m2时，也应划分为一个检测批，每个检测批应至少选取一个检测区。

**3** 检测区应选取最不利部位，每个检测区覆盖的拼缝不应少于3条，且“十”字形拼缝不应少于1处，并应包含一个完整的混凝土墙板。

**4** 检测时应记录大气压和气温，当温度、风速、降雨等环境条件影响检测结果时，应排除干扰因素后再检测，并在报告中注明。

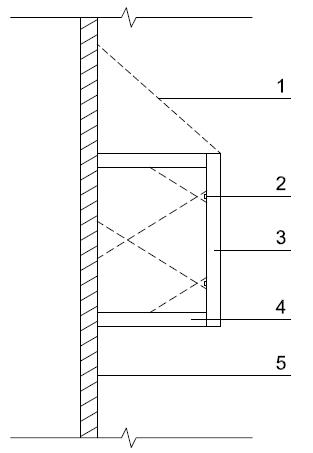
**5** 检测过程中应采取必要的安全防护措施。

**8.3.2** 检测装置及其布置应符合下列规定：

**1** 淋水试验装置应安装在被检区域外墙的室外侧，喷水水嘴离外墙的距离不应小于530mm，并应在被检外墙表面形成连续水幕；

**2** 每一检测区域喷淋面积应为1800mm×1800mm，喷水量不应小于4L/（m2·min），喷淋时间应持续15min；

**3** 在检测区域范围内，单个喷嘴在外墙上的喷淋直径应为1060mm，4个喷嘴在外墙上的累计喷淋面积应为3.53m2，淋水速率不应小于14L/min；



1—悬挂链；2—喷嘴；3—框架；4—撑杆；5—外墙

**图8.3.2 外墙淋水试验装置安装示意图**

**4** 喷嘴应安装在框架上，框架应采用撑杆与被测外墙连接，水管应与喷嘴连接并引至水源，当水压不足时，应采用增压泵增压，水流量的监测可采用转子流量计或压力表。

**8.3.3** 淋水试验结束后，应及时检查有无渗漏，若存在渗漏现象，应记录渗漏的部位。

**8.3.4** 对墙面隐性渗漏部位，可采用红外热像仪进行检查，检测方法应符合JGJ/T 299《建筑防水工程现场检测技术规范》相关要求。

**8.3.5** 对怀疑有渗漏的部位，可延长淋水时间。

**8.3.6** 对渗漏的部位应进行修复，修补后应重新进行淋水试验。

**9 装配式混凝土结构动力测试技术**

**9.1 一般规定**

**9.1.1** 下列情况宜进行结构动力测试：

**1** 竣工验收前的装配式建筑；

**2** 对质量有怀疑和争议的结构；

**3** 有振感需要处理的结构；

**4** 其他需要振动检测的结构。

【条文说明】本条规定了振动检测的适用对象。根据《装配式混凝土结构技术规程》（JGJ 1-2014）规定，在各种设计状况下，装配式整体结构可采用与现浇结构混凝土相同的方法进行结构分析。但由于节点连接方式、构造措施以及施工工艺等方面的差异，因此本规程提出在竣工验收前对工业化建筑结构进行振动检测，考虑与现浇混凝土结构的不同，后期建议每隔10年进行一次动力特性测试，并与之前测试结果进行比较。这些测试应与工程竣工验收完成使用后的动力测试相比较，以确定建筑结构是否存在损伤及其损伤范围，为是否需要进行详细检测提供依据。对于存在质量怀疑和争议的结构，振动检测可作为一种手段。当结构存在振感时，应及时进行振动检测，查明原因针对性及时处理。

**9.1.2** 动力测试包括动力特性检测、振源与振动响应检测，检测参数可为加速度、速度、位移及应变。

【条文说明】振动检测参数一般为时程、最大振幅、最小振幅、频率范围及环境温度等。

**9.1.3** 动力测试前应进行结构振动分析，宜根据振动实测结果修正结构振动分析模型，并存档备案。

【条文说明】首次振动检测前应进行结构动力分析，并采用实测结果对理论模型进行修正，以得到最真实的动力模型，并作为后期检测对比分析的初始模型。

**9.1.4** 动力测试方法可分为相对测量法和绝对测量法。

【条文说明】相对测量法适用于位移振幅大、振动周期长的振动位移检测，绝对测量法适用于绝对位移、速度、加速度等动态参数的检测。

**9.1.5** 相对测量法检测结构振动位移应符合下列规定：

**1** 检测中应设置有一个相对于被测工程结构的固定参考点；

**2** 被检测对象上应牢固地设置有靶、反光镜等测点标志；

**3** 测量仪器可选择自动跟踪的全站仪、激光测振仪、图像识别仪。

**9.1.6** 绝对测量法宜采用惯性式传感器，以空间不动点为参考坐标，可测量工程结构的绝对振动位移、速度和加速度，并应符合下列规定：

**1** 加速度量测可选用力平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、压电加速度传感器、压阻加速度传感器；速度量测可选用电动位移摆速度传感器，也可通过加速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得速度值；位移测量可选用电动位移摆速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得位移值；

**2** 结构在振动荷载作用下产生的振动位移、速度和加速度，应测定一定时间段内的时间历程。

**9.1.7** 动力测试数据采集与处理应符合下列规定：

**1** 应根据结构形式及检测目的选择相应采样频率，振动信号的采样频率与截止频率的比值宜为2.5~6.0；

**2** 应根据检测参数选择滤波器；

**3** 应选择合适的窗函数对数据进行处理。

【条文说明】采样频率选择，当只作频域分析时，采样频率不宜低于被测结构关注最高频率的4倍；只作时域分析时，采样频率不宜低于被测结构关注最高频率的2．56倍；作频域分析又作时域分析时，采样频率不宜低于被测结构关注最高频率的8倍～10倍；作失真度测试时，采样频率不宜小于被测结构关注最高频率的28倍。窗函数选择应考虑被分析信号的性质与处理要求，如果采样包含了非整数周期，分析时宜发生泄漏。

**9.1.8** 传感器的布置应遵循以下原则：

**1** 振动测试点应设置在振动控制点或振动敏感处，振动传感器的测试方向应与所需测试振动方向一致，测试过程中不应产生倾斜或附加振动；

**2** 平动测点应在每层结构的质心附近布置传感器，扭转测点应在楼层平面上对称布置。层数较多时可以隔层布置，且尽量布置在可以避开人为干扰的位置；

**3** 测点布置应尽量避开振型节点，并可以充分显示结构的模态振型；

**4** 传感器布置的数量与拟测振型相关，试验前宜根据理论计算的振型合理设置测点；

**5** 当因测试仪器数量不足或其它因素而需要作多次测试时，可采用移动测点法测试。每次测试中应至少保留一个共同的参考点。

**9.2 装配式混凝土结构动力特性检测**

**9.2.1** 装配式建筑在竣工验收前宜进行结构动力特性检测，后期宜每隔10年进行一次动力特性检测，并与之前测试结果进行对比分析。

【条文说明】结构存在较大质量缺陷或发生损伤后，其刚度（或质量）将发生改变，从而引起结构动力特性参数的变化，因此可通过结构动力特性参数的变化识别结构的质量缺陷与损伤。每隔10年进行一次动力特性检测，并与初始动力特性进行对比分析，判别结构整体性能的变化，识别是否存在改造及损伤。

**9.2.2** 动力特性检测可采用环境激励法，对模态密集的结构可采用稳态正弦激励法。

【条文说明】结构动力特性测试主要用于掌握结构动力特性(包括振型、频率、阻尼比等)及初始状态。动力特性测试数据的分析处理可采用频域分析法或时域分析法。对环境激励下的非平稳随机过程，也可同时在时、频两域进行联合分析。

**9.2.3** 动力特性应分析时程、频谱、自振频率、阻尼比、振型及最大动力响应。

**9.2.4** 实测自振频率不应低于设计要求。

【条文说明】被测试结构的自振频率结果不应低于设计要求结构自振频率。

**9.3 振源及振动响应检测**

**9.3.1** 当结构存在受迫振动时应进行振源及振动响应检测。

**9.3.2** 振源检测时应根据结构周边环境及内部振动环境布设测点；当振源来自室外时，可根据距离，由远及近布设多个测点；振源来自室内时，应在振源附近振动最大处布置测点；振动响应测点应选在振动敏感处；当进行动力特性分析时，振动测点宜布置在需识别的振型关键点上，且宜覆盖结构整体，也可根据需求对结构局部增加测点；测点布置数量较多时，可进行优化布置。

【条文说明】传感器布置一般指加速度传感器的优化布置。在振动检测中，应变传感器可以通过有限元分析确定极值处和关键控制位置，测点的布置应能使其实测值的连线勾画出其空间(沿横剖面和纵剖面)的反应规律。测点数量多于5个时，可考虑优化布置。

**9.3.3** 动应变检测设备量程不应低于量测估计值的2倍～3倍，检测设备的分辨率应满足最小应变值的量测要求，确保较高的信噪比。振动位移、速度及加速度检测的精度应根据振动频率及幅度、检测目的等因素确定。

**9.3.4** 动应变检测应符合下列规定：

**1** 动应变检测可选用电阻应变计或光纤类应变计；

**2** 动态检测设备使用前应进行静态校准。检测较高频率的动态应变时，宜增加动态校准。

**附录A 直径50mm芯样钻芯法检测混凝土抗压强度**

**A.0.1** 本方法适用于钻取直径50mm芯样对薄壁或小尺寸构件的混凝土抗压强度进行检测，并应满足下列要求：

**1** 粗骨料的粒径不应大于20mm；

**2** 芯样高度范围在40mm～60mm之间；

**3** 芯样高径比宜为1:1；

**4** 混凝土设计强度等级宜在C20~C50之间。

**A.0.2** 除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的相关规定外，尚应符合下列规定：

**1** 芯样钻取时，钻芯机应平稳运行，应避免芯样缩颈；

**2** 在构件上钻取通孔芯样时，应有防坠落措施；

**3** 在构件上钻取多个芯样时，应取自不同部位；

**4** 芯样试件内不应含有钢筋；

**5** 芯样不应有裂缝或其他缺陷；

**6** 芯样试件的端面可采用磨平处理，也可采用硫磺胶泥补平处理，补平层厚度不宜大于2mm。

**A.0.3** 混凝土芯样抗压强度换算值可按式（A.0.3）计算：

 （A.0.3）

式中：——芯样试件混凝土抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

*Fc* ——芯样试件抗压试验测得的最大压力（N）；

*A* ——芯样试件抗压截面面积(mm2)；

*β*——芯样试件强度换算系数，取1.15。

【条文说明】

**A.0.4** 直径50mm芯样钻芯法检测应按检测批推定混凝土强度，不宜按单个构件推定混凝土强度。

**A.0.5** 按检测批推定混凝土强度时，应符合下列规定：

**1** 当设计强度等级不大于C50时，芯样数量不应少于30个；当设计强度等级大于C50时，芯样数量不应少于21个。

**2** 抗压强度上限值*f*cu,e1和抗压强度下限值*f*cu,e2所构成推定区间的置信度可为0.85。

**3** *f*cu,e1和*f*cu,e2之间的差值不宜大于5.0MPa和0.10两者的较大值。

**4** 当*fcu,e1*和*fcu,e2*之间的差值大于5.0MPa和0.10两者的较大值时，可适当增加样本容量，或重新划分检测批，直至满足前述要求。

**附录B 阵列超声法检测混凝土内部缺陷**

**B.0.1** 本附录适用于采用阵列式多探头超声设备检测混凝土内部缺陷，可包括下列缺陷类型：

**1** 现浇混凝土内部的空洞、不密实区、裂缝等缺陷；

**2** 混凝土结合面的剥离、脱粘；

**3** 无波纹管钢筋浆锚搭接的灌浆饱满性；

**4** 通过超声波动特性可以发现的其他内部缺陷。

**B.0.2** 阵列式多探头超声设备宜符合下列规定：

**1** 设备应由主机、阵列式排布探头和分析软件等组成；

**2** 仪器应具备扫描成像、波形及图像实时查看、原始数据保存和导出等功能；

**3** 探头宜采用干耦合式换能器，探头数量不宜少于24个；

**4** 探头主频10kHz~100kHz，且换能器的实测主频与标称频率之差应不大于10%；

**5** 接收放大器频率响应范围应覆盖10kHz~500kHz，增益不宜小于40dB；

**6** 脉冲延时宜为0ms~100ms，且可调节；

**7** 仪器的采样频率不宜小于1MHz，分辨率12位。

**B.0.3** 测区及测点布置应符合下列规定**：**

**1** 清除待测混凝土表面的浮灰；

**2** 根据被测区域的范围、测试条件和测试精度，设置水平及垂直测线间距，在混凝土表面绘制测点网格，测点网格应覆盖怀疑存在缺陷的全部范围，并确定合适的检测路径；

**3** 测区及测点应标识编号和位置，测点宜连续布置；

**4** 测区与被测构件边缘的距离、测试深度应符合仪器设备的性能要求。

**B.0.4** 阵列式超声检测应遵循下列步骤：

**1** 对所测试的混凝土进行波速标定；

**2** 对被测区域进行试测，根据背面反射的位置和成像效果，调试仪器的工作频率、彩色增益、波速等参数；

**3** 沿测试路径对每个测点依次进行扫描成像，并记录测点位置，保存超声测试数据；

**4** 检测中出现可疑数据时应及时查找原因，必要时应进行复测或测点加密补测。

**B.0.5** 混凝土内部缺陷的判定应符合下列规则：

**1** 采用单点测试时，当B扫面显示存在反射信号的位置位于背面反射之前时，该测点判定为存在疑似缺陷；

**2** 采用网格测试时，当所合成的三维图像中存在反射信号的位置位于背面反射之前时，该区域判定为存在疑似缺陷；

**3** 根据设计图纸或剔凿验证，当存在疑似缺陷的位置未见钢筋或预埋管线的反射时，可判定该位置存在缺陷；

**4** 根据异常的反射点位置和反射区域大小，确定缺陷的位置和大小。

**B.0.6** 混凝土内部缺陷检测结果应包括测点位置、网格布置、外观质量、缺陷性质、缺陷的位置与大小等信息。

**附录C 现场原位取样检测钢筋套筒灌浆连接质量**

**C.0.1** 现场原位取样检测钢筋套筒灌浆连接质量的设备包括电锤、切割工具、卷尺、钢直尺等。

**C.0.2** 取样位置应由设计单位根据构件重要程度和接头受力大小情况等因素综合确定，取样工作应符合下列规定：

**1** 采用电锤剔除钢筋套筒灌浆连接接头周围的混凝土，剔凿范围应覆盖接头的长度范围，保证取出的接头样品尺寸满足质量检查和检测的要求；

**2** 采用切割工具对钢筋套筒灌浆接头进行切割，取出完整的灌浆套筒样品，当需要检验接头力学性能时，接头样品长度应满足试验要求；

**3** 对接头样品进行标记，并记录好取样部位；

**4** 取样完成后，应及时对剔凿切割部位的钢筋进行补焊连接和混凝土修复。

**C.0.3** 钢筋套筒灌浆接头样品剖切应符合下列规定：

**1** 将钢筋套筒在固定台钳上夹持稳固；

**2** 使用手持式砂轮切割机沿套筒侧面纵向轴线对称方向分别切割套筒壁，直至将套筒切成两半，露出套筒内的灌浆料部分；

**3** 切割过程中应注意避免破坏灌浆料。

**C.0.4** 钢筋插入深度和灌浆料高度的测量应符合下列规定：

**1** 采用钢直尺量测套筒内钢筋插入深度，测量三次，取最小值；

**2** 采用钢直尺量测套筒内密实饱满的灌浆料高度，量测三处，取最小值；

**3** 钢筋有效锚固长度即插入套筒内的钢筋与灌浆料重叠部分的长度。

# 附录D 回弹法检测套筒灌浆料抗压强度

**D.1 一般规定**

**D.1.1** 灌浆料回弹仪应符合下列规定：

**1** 水平弹击时冲击能量应为11mJ，冲击体质量应为7.2g，球头直径应为3mm，冲击装置直径不宜大于6mm。

**2** 支承环宜包括手持段和抵接段，抵接段应能伸入灌浆孔道或出浆孔道并与灌浆料表面抵接。

**3** 在里氏硬度HDL为878的标准块上率定值应为878±30，分度值不应大于1。

【条文说明】灌浆料回弹仪具有细长的冲击装置，便于在狭小的孔道内获得多个硬度数据。支承环的主要作用是辅助冲击装置定位和保证冲击装置能与检测面垂直抵接。建议规定回弹仪宜有内窥观察功能，以便观察孔道和测点位置。由于测点位置的观察及控制，需要在回弹过程中完成，可利用支承环的抵接段与内窥观察镜相配合，通过观察抵接面是否覆盖原有测点来控制测点间距（这也是一个创新、亮点），因此需要将内窥镜与支承环的相对位置预先固定。单纯的另外拿一个内窥镜在傍边观察，效果不佳。

**D.1.2** 灌浆料回弹仪的率定试验应符合下列规定：

**1** 率定试验应在室温为（5~35）℃的条件下进行；

**2** 标准块表面应干燥、清洁，并应稳固地平放在刚度大的物体上；

**3** 回弹值应取连续向下弹击三次的稳定回弹结果的平均值。

**D.1.3** 灌浆料抗压强度检测的抽样原则宜符合下列要求：

**1** 按单个构件进行检测，应在该构件上随机选取不少于4个连续灌浆施工的套筒。

**2** 对于采用同一批灌浆料、同一水灰比、同一灌浆工艺、同一养护龄期且连续灌浆施工或灌浆间隔相近的构件宜划分为同一检测批。

【条文说明】经编制组调研，目前工程中采用钢筋套筒灌浆连接的竖向预制构件，单个构件上的套筒数量一般不少于4个，对于套筒数量为3个的构件，当测点数量能够达到16个，也可按单个构件进行检测。

**D.2 回弹法检测套筒灌浆料抗压强度**

**D.2.1** 回弹法检测灌浆料抗压强度应符合下列规定：

**1** 检测面应为灌浆饱满、平整、光洁的原浆面；

**2** 检测前应记录工程名称、楼号、楼层、套筒所在构件编号和套筒位置等信息；

**3** 测点应在检测面内均匀分布，同一测点只能回弹1次，任意两压痕中心之间的距离以及任一压痕中心距检测面边缘的距离均不宜小于3mm。

**4** 每个套筒宜采集4个回弹值，每一测点的回弹值应精确至1，每个预制构件测试16个点，共计16个回弹值；

**5** 对灌浆料进行表面回弹检测，向下推动加载套锁住冲击体，在支承环的辅助定位下，将冲击装置冲击头紧压在灌浆料表面，平稳的按动冲击装置释放按钮，读取并记录回弹值。

**[条文说明]** 若出浆孔道内灌浆料表面外观质量不符合检测面要求，可仅选择灌浆孔道测试；若两个孔道均不满足检测面要求，则应更换选择其他套筒。

灌浆施工时，应采用带平整塞入端面的橡胶塞对灌浆孔道和出浆孔道进行封堵并塞正，以在灌浆料凝结硬化后获得光滑、平整的回弹检测面。橡胶塞应在灌浆结束1d～2d后取出。

经调研，套筒灌浆孔道的内径一般为17mm~23mm，测点数可达3~4个；出浆孔道内径一般为13mm~17mm，测点数可达2~3个。本条规定每个套筒采集3~6个回弹值，是考虑到出浆孔道内检测面状态不一定满足要求，仅通过灌浆孔道进行检测也可保证具有3个测点。检测面进行回弹测试前后，宜采用内窥观察设备或其他设备对表面状态和测点进行观察，查看表观质量和测点分布是否符合要求。

**D.2.2** 从同一个预制构件16个回弹值中依次剔除3个较大值和3个较小值，其余的10个值按下式计算平均值：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （**D.2.2**） |

式中：——单个预制构件套筒灌浆料的回弹平均值，精确至1；

——单个预制构件第i个测点套筒灌浆料的回弹值，精确至1。

**D.2.3** 单个构件的灌浆料抗压强度换算值可按下式进行计算：

 （**D.2.3**）

式中：——灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确到0.1（MPa）。

【条文说明】由于不同品牌套筒灌浆料的组分存在一定差异，按统一的测强曲线进行强度换算时可能会存在较大差别，因此宜建立专用测强曲线进行计算。本规程在大量试验的基础上，提供基于江苏地区多种常用品牌套筒灌浆料的测强曲线，测强曲线的回归公式为，相关系数0.871，平均相对误差，相对标准差。

**D.2.4** 按批检测时，同批构件套筒灌浆料抗压强度换算值应按下式计算其平均值、标准差和变异系数：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.2.4-1） |
|  | （D.2.4-2） |
|  | （D.2.4-3） |

式中：*——*同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的平均值（MPa），精确至0.1MPa；

*——*第j个预制构件的套筒灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

*——*同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的标准差（MPa），精确至0.01MPa；

*——*同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的变异系数，精确至0.1。

**D.2.5** 套筒灌浆料抗压强度推定值应符合下列规定：

**1** 当按单个预制构件检测时，该构件的套筒灌浆料抗压强度推定值应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.2.5-1） |

式中：——灌浆料抗压强度推定值（MPa），精确至0.1MPa；

——第j个预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa。

**2** 当按批抽检时，该构件的套筒灌浆料抗压强度的推定区间应按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.2.5-2） |
|  | （D.2.5-3） |

式中：——套筒灌浆料抗压强度推定区间上限（MPa），精确至0.1MPa；

——套筒灌浆料抗压强度推定区间下限（MPa），精确至0.1MPa；

——推定系数，应符合现行国家标准GB/T 50344的相关规定。

**3** 对于按批抽检的预制构件，当该检测批构件样本数量小于10个或套筒灌浆料抗压强度换算值变异系数大于等于0.3时，则该批构件应全部按单个预制构件检测。

**D.2.6** 在下列情况下应按本规程D.3制定专用的抗压强度换算曲线：

**1** 灌浆料中骨料最大粒径大于2.36mm；

**2** 特种工艺制作的灌浆料；

**3** 当对抗压强度检测结果存在争议时。

**D.3 回弹法检测灌浆料抗压强度的测强曲线建立方法**

**D.3.1** 制定测强曲线的灌浆料试件应与实际检测工程使用的灌浆料品牌型号、掺水量、灌浆工艺等条件相同。

**D.3.2** 制定测强曲线采用的回弹设备应与实际检测工程中采用的设备规格型号相同。

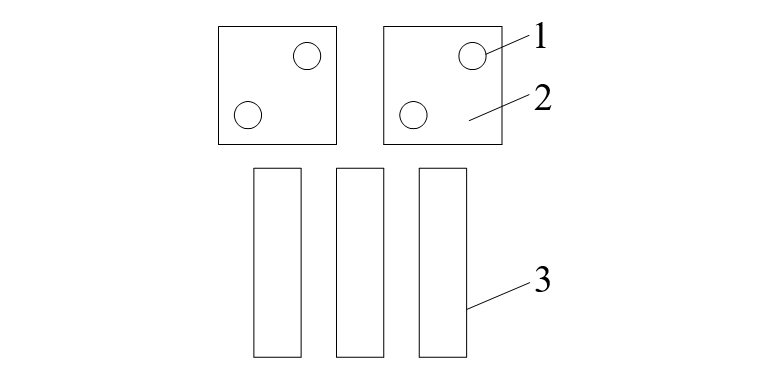
**D.3.3** 试件的制作、养护应符合下列规定：

**1** 采用与实际灌浆施工相同的灌浆料品牌、规格型号；

**2** 按照产品说明书要求的掺水量，制作不少于6批试件，每批试件的强度试验龄期不应少于3个，且应包含3d、7d、和28d；

**3** 每个龄期分别制作3个平行试件对，每个试件对包括2块中部穿有2根PVC管的混凝土试件（100mm×100mm×100mm）和1组灌浆料标准试件（40mm×40mm×160mm），试件示意图如图D.3.3所示；用于回弹值测试的试件是先制作完成达到设计强度的混凝土试件，再在PVC管的一端塞入橡胶塞，从PVC管的另一端灌入灌浆料，各灌浆料试件对均应为同一锅搅拌分别成型；

**4** 试件对均应在相同养护条件下养护到相同龄期再进行回弹值测试和抗压强度试验，养护1d~2d后拔出橡胶塞。



3

2

1-PVC管；2-混凝土立方体100mm×100mm×100mm；3-灌浆料标准试件40mm×40mm×160mm

**图D.3.3 试件示意图**

**D.3.4** 试件的测试应按下列步骤进行：

**1** 将PVC管内充满灌浆料的混凝土立方体试件置于压力试验机承压板间，并保证PVC管水平且塞入橡胶塞一端朝向试验操作方向，施加压力用于固定混凝土立方体块；

**2** 采用回弹设备对PVC管内的灌浆料检测面进行回弹测试，每根PVC管采集4个回弹值，共采集16个值，依次剔除3个较大值和3个较小值，计算其余10个回弹值的平均值作为平均回弹值。

**3** 根据现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671对棱柱体试件的抗压强度进行测试，每组获得6个抗压强度试验值，并计算试件抗压强度平均值。

**D.3.5** 测强曲线的计算应符合下列规定：

**1** 将各试件对的PVC管灌浆料试件平均回弹值和标准试件抗压强度平均值汇总，采用最小二乘法原理进行回归分析。

**2** 回归方程式宜采用以下函数关系式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.3.5-1） |

式中：——标准试件灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

——PVC管灌浆料试件回弹值，精确至1；

——测强公式回归系数（MPa）；

——测强公式回归系数（无量纲）。

**3** 回归方程式的强度平均相对误差不应大于12%，相对标准差不应大于15%。平均相对误差和相对标准差应按如下公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （D.3.5-2） |
|  | （D.3.5-3） |

式中：——回归方程式的强度平均相对误差（%），精确至0.1%；

——回归方程式的强度相对标准差（%），精确至0.1%；

——第个试件对中灌浆料标准试件抗压强度实测值（MPa），精确至0.1MPa；

——第个试件对中PVC管灌浆料试件按回归方程式计算出的灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

——制定回归方程式的试件对数量。

**附录E 内窥法检测技术**

**E.0.1** 本方法适用于钢筋套筒灌浆连接和钢筋浆锚搭接的灌浆饱满度和钢筋插入长度的现场检测。

**E.0.2** 钻孔内窥法的检测设备及辅助工具包括内窥镜、钻孔设备、毛刷和气吹等，并应符合下列规定：

**1** 内窥镜应符合现行标准《无损检测仪器工业电子内窥镜检测仪》GB/T 33886的相关要求；

**2** 内窥镜宜具有尺寸测量功能，可测量镜头与被测物表面选定点之间的距离以及测量选定点与选定平面之间的距离，测量允许误差应为量程的±5%；

**3** 内窥镜的镜头及导线最大外径不宜大于6mm，镜头应包括前视观察镜头和侧视测量镜头，侧视测量镜头的量程不宜小于60mm；

**4** 钻孔设备的钻头直径应保证所形成的检测孔道直径比内窥镜的镜头及导线外径大2mm以上，宜配备石工钻头和金工钻头。

【条文说明】内窥镜在伸入套筒内部时需要一定的转动空间，因此对最小钻孔直径进行了限制。

**E.0.3** 沿出浆孔道钻孔形成灌浆饱满度检测通道时，应符合下列规定：

**1** 钻孔前应确认出浆管走向，应使用石工钻头在出浆管内钻孔，钻孔方向应与出浆管走向保持一致；

**2** 检测孔道应能贯通至套筒或浆锚管的内部，宜钻至套筒内或浆锚孔道内的钢筋表面；

**3** 钻孔后应采用毛刷、气吹等工具对孔道进行清理，确保检测通道内无浮灰。

【条文说明】当出浆孔道平直，应采用沿出浆孔道钻孔形成内窥法的检测通道。钻孔时应根据设计尺寸或其他检测手段，确定钻孔长度。当无法准确确定钻孔长度时，可结合内窥镜观察，当能看到套筒内钢筋表面时，可判断已钻入套筒内部，若对于半灌浆套筒，从出浆孔钻入后未见钢筋，也可钻至套筒对侧表面。钻孔后通道内会积存浮灰，若检测前不进行清理，内窥镜镜头易被浮灰包裹，降低检测精度。

**E.0.4** 钻透混凝土保护层和套筒壁形成灌浆饱满度检测通道时，应符合下列规定：

**1** 宜采用钢筋扫描仪并结合设计图纸确定灌浆套筒的位置；

**2** 检测通道中心距灌浆套筒出浆口下边缘或浆锚孔道顶部距离不宜大于3mm，不应大于5 mm；

**3** 钻头直径不应大于6 mm，内窥镜的镜头和导线直径不宜大于4 mm；

**4** 先使用石工钻头从混凝土表面钻至混凝土保护层，然后更换为金工钻头钻透套筒壁，再换为石工钻头继续钻至套筒内部，宜钻至钢筋表面或对侧内壁。

**5** 同一套筒的同一高度截面上钻孔数量不应超过1个；

**6** 钻孔后应采用毛刷、气吹等工具对孔道进行清理，确保检测通道内无浮灰。

【条文说明】当出浆孔道不平直时，无法采用沿出浆孔道钻孔形成内窥法的检测通道，此时考虑直接钻透混凝土保护层，在套筒壁上钻孔，形成检测孔道。此方法对套筒壁造成一定的损伤，削弱了套筒的截面面积，因此，应限制钻孔的数量和直径。钻孔高度距出浆口的距离不应过大，以免因灌浆料顶部界面位于钻孔位置和出浆口之间，造成检测结果的漏判。

**E.0.5** 内窥法灌浆饱满度检测结果的判定，应符合下列规定：

**1** 当灌浆料顶部界面不低于出浆口时，应判定灌浆饱满；

**2** 当灌浆料顶部界面低于出浆口时，应判定灌浆不饱满，宜测量灌浆料顶部界面距出浆口的高度。



图E.0.6 内窥镜测量灌浆缺陷深度示意

1. 预制构件；2—灌浆套筒；3—检测通道下沿；

4—内窥镜；5—测量镜头；x—灌浆料顶部界面距出浆口高度

**E.0.6** 内窥法检测钢筋插入长度应符合下列规定：

**1** 当在预制构件现场拼接完成后套筒灌浆施工前检测钢筋插入长度时，可通过测量钢筋端部与已知高度参照物的相对距离，计算钢筋插入长度；

**2** 当在灌浆施工后检测钢筋插入长度时，对于半灌浆套筒，宜沿出浆孔道钻孔形成钢筋插入长度检测通道，并应符合E.0.3的规定；对于全灌浆套筒，可钻透混凝土保护层和套筒壁形成钢筋插入长度检测通道。

**E.0.7** 钻透混凝土保护层和套筒壁形成钢筋插入长度检测通道，应符合下列规定：

**1** 钻孔高度应根据钢筋设计插入长度确定，当检测装配端钢筋插入长度时，钻孔高度应从预制构件底部算起；当检测预制端钢筋插入长度时，钻孔位置应以出浆口为起始向下算起；

**2** 钻头直径不应大于6 mm，内窥镜的镜头和导线直径不宜大于4 mm；

**3** 先使用石工钻头从混凝土表面钻至混凝土保护层，然后更换为金工钻头钻透套筒壁，再换为石工钻头继续钻至套筒内部，宜钻至套筒内钢筋表面或对侧套筒内壁。

**4** 同一套筒的同一高度截面上钻孔数量不应超过1个；

**5** 钻孔后应采用毛刷、气吹等工具对孔道进行清理。

**E.0.8** 内窥法钢筋插入长度检测结果的判定，应符合下列规定：

**1** 当装配端钢筋端部不低于检测通道或预制端钢筋端部不高于检测通道时，应判定钢筋插入长度符合设计要求；

**2** 当装配端钢筋端部低于检测通道或预制端钢筋端部高于检测通道时，应判定钢筋插入长度不符合设计要求；

**3** 当计算钢筋插入长度不小于设计插入长度时，应判定钢筋插入长度符合设计要求；

**4** 当计算钢筋插入长度小于设计插入长度时，应判定钢筋插入长度不符合设计要求。

**附录F X射线成像法检测技术**

**F.0.1** 本方法适用于对套筒灌浆连接和浆锚搭接灌浆饱满度和钢筋插入长度的检测。

**F.0.2** X射线检测作业时应采取辐射防护措施，除符合现行标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871和《工业X射线探伤放射防护要求》GBZ 117的有关规定外，尚应符合下列要求：

**1** 从事X射线操作的人员在上岗前应进行安全和防护的培训；

**2**  X射线检测时现场人员应配备辐射剂量计，确保人员均已处于安全区域。

【条文说明】为保证检测工作的安全性，本条对辐射防护、检测单位及人员的资质及进行了规定。X射线有损人体健康，必须做好防护措施。根据《中华人民共和国放射性污染防治法》第二十八条规定：“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当按照国务院有关放射性同位素与射线装置放射防护的规定申请领取辐射安全许可证，办理登记手续。”

**F.0.3** 检测设备应符合下列规定：

**1** 便携式X射线机的最大管电压不宜低于300kV；

**2** 当无远程启动装置时，控制器（箱）最长延迟开启时间不应低于180s；

**3** 当采用胶片成像时，曝光后胶片上检测部位本体的黑度值应控制在2.0~3.0之间。

【条文说明】检测设备及材料包括便携式X射线机、控制器、连接电缆、工业胶片、增感屏、JP板、数字探测器等，检测所用设备的相关要求应参照《工业X射线探伤放射防护要求》GBZ 117、《无损检测工业射线照相胶片》GB/T 19348、《承压设备无损检测第11部分：X射线数字成像检测》NB/T47013.11、《承压设备无损检测第14部分：X射线计算机辅助成像检测》NB/T 47013.14等标准中的规定。针对装配整体式混凝土结构实体连接节点质量检测的特点，本条对设备进行了相应规定。

**F.0.4** 检测前的准备工作应符合下列规定：

**1** 套筒灌浆连接及浆锚搭接的灌浆料龄期不宜低于7d；

**2** 对检测设备及辐射报警装置应进行检查，确保所有设备运转正常；

**3** 对相关信息应进行记录，包括工程名称、构件位置、套筒或浆锚管具体位置、检测人员信息等。

【条文说明】本条对检测前的准备工作进行了规定。

**F.0.5** 检测操作应符合下列规定：

**1** 根据设备参数及检测工况要求选择合适的透照工艺，必要时可通过试验事先确定各项参数的数值；

**2** 根据透照工艺放置检测装置，成像装置宜贴紧构件表面，且有效成像区域应覆盖待检测的部位；射线机放置应满足透照时X射线束垂直指向透照区中心，根据现场实际需要可选用有利于发现缺陷的方向透照；

**3** 确保现场人员处于安全区域后，开启透照曝光，待曝光完成后，关闭射线机高压，确认检测区域处于安全状态后，取下成像装置；

**4** 应按照现场操作的实际情况详细记录管电压、电流、焦距等检测信息和数据。

【条文说明】透照工艺包括管电流、管电压、曝光时间、透照几何参数等，这些参数的选取直接影响成像效果的好坏。针对某一固定的检测工况，可通过试验事先确定各项参数的数值，以保证检测质量。目前，X射线技术的成像方式可分为胶片成像、CR成像（Computed Radiography）和DR成像（Digital Radiography），所对应的成像装置分别为工业胶片、IP板（Image Plate信号板）和数字探测器。合理放置射线机及成像装置可减小成像畸变。检测人员防护应遵循辐射防护的三种基本方式，即距离防护、屏蔽防护和时间防护。

**F.0.6** 当所检测构件成像有困难时，可结合局部破损的方法进行检测，剔凿方式可参照图F.0.6，检测完成后，应对破损区进行修补。

****

1—节点连接件；2—成像装置（工业胶片或JP板）；3—发射机；

4—发射机窗口；5—剔凿区域；6—钢筋；7—预制构件

**图F.0.6 局部破损检测示意图**

【条文说明】局部破损是指对被测构件局部区域的混凝土进行剔除，以减小X射线穿透厚度或将成像装置放置在利于成像的位置。局部破损应选择构件受力较小的部位进行，不应截断受力钢筋，不宜截断分布钢筋，且不应扰动待检节点连接件。当需要减小射线穿透厚度时，可仅对节点连接件表面或周围混凝土进行剔凿；当需要将成像装置放置在利于成像的位置时，可参考图F.0.6所示方式进行剔凿，剔凿区大小及深度应满足放置成像装置的要求，但剔凿面积不宜过大，剔凿完毕应进行清理，不得有碎屑或尖锐凸起，以免损伤成像装置。

**F.0.7** 图像处理应符合下列规定：

**1** 采用工业胶片成像，暗室处理参数应通过试验确定，并通过专业观片灯观测检测结果；

**2** 采用CR成像或DR成像，应通过专业设备软件进行图像处理，并存储检测结果图像。

【条文说明】暗室处理参数包含显影时间、定影时间、停影时间、环境温度等等，暗室处理的好坏直接影响工业胶片的成像质量，对同一检测工况的工业胶片进行处理前，应通过试验确定适宜的暗室处理参数。目前主流的CR成像或DR成像系统均有配套的专业设备软件，采用软件进行图像处理时，原始的图像参数如灰度值等应保留。

**F.0.8** 灌浆饱满度检测结果的评定，应符合下列规定：

**1** 宜优先识别出灌浆料固化液面及锚固钢筋轮廓，必要时可结合黑度值或灰度值进行评价；

**2** 当套筒内部出现除钢筋轮廓以外的黑度差时，若黑度差分界线位于出浆口下边缘以下，则可判定灌浆不饱满；若黑度差分界线位于出浆口下边缘以上，则可判定灌浆饱满；

**3** 当套筒内未见平行于套筒横截面黑度差时，宜采取内窥法等其他手段验证套筒内是否灌浆饱满；

**4** 进行尺寸测量时，还应考虑透射照相的投影关系，通过已知尺寸对测量数值进行修正。

**F.0.9** 钢筋插入长度检测结果的判定，应符合下列规定：

**1** 应考虑透射照相的投影关系，根据已知尺寸对测量数值进行修正；

**2** 当图像中可完整呈现套筒内钢筋轮廓时，应根据比例关系测量钢筋插入长度；

**3** 当图像中不能完整呈现套筒内钢筋轮廓时，宜根据钢筋端部与已知高度的参照物位置关系，计算钢筋插入长度；

**4** 当钢筋插入长度检测结果不小于设计值时，判定符合设计要求；

**5** 当钢筋插入长度检测结果小于设计值时，判定不符合设计要求。

【条文说明】射线评片具有一定程度上的主观性，为保证检测结果的客观公正性，评片人员应具备相应执业资格。有效识别灌浆料固化液面及锚固钢筋轮廓，即可分别推导出灌浆饱满度及钢筋锚固长度。一般而言，锚固钢筋轮廓较易识别，而在部分情况下，灌浆料固化液面可能存在无法清晰成像的情况，这个时候可固定透照工艺及暗室处理参数，通过试验分别得出特定工况下浆料部分和空腔部分的黑度值范围或灰度值范围，作为检测结果评价的参考。根据投影关系，成像结果相较于实际尺寸会有一定程度的放大，当需要进行尺寸测量时，必须考虑到这种效应。可将射线发射源视作点光源，并根据焦距f（射线源与目标物的距离）及焦距F（射线源与成像装置的距离），通过比例关系对测量数值进行修正，如图F.0.9。



**图F.0.9 投影修正示意图**

**附录G 压电阻抗法检测灌浆饱满性**

**G.0.1** 本方法检测设备应包括压电片（压电传感器）、阻抗分析仪、测试夹具、数据连接电缆等，并应符合下列规定：

**1** 压电片的电容值宜大于2.45nF，机电耦合系数宜大于0.48；

**2** 阻抗仪的测试频率宜在20 Hz～5MHz之间，最大测试电压不宜小于1V。

【条文说明】影响压电材料性能的参数有很多，包括压电系数、介电常数、机电耦合系数等，当压电材料形状大小一定时，其固有电容与介电常数有关，介电常数越大，固有电容也越大，压电元件储存电荷的能力越大，灵敏度越高。机电耦合系数描述的是压电材料能量相互转换的程度，取值范围在0～1之间，越大表示压电材料能量转换程度越高，性能也越好。压电阻抗技术对测试频段的选择要求较高。如果选择的频段过低，外界常规振动和噪声对测试结果影响较大。如果选择的频段过高，粘结层或压电片自身特性对测试结果也会有影响。压电阻抗技术的测试频段一般在30kHz～500kHz 之间选取，在这个频段内筛选出信号曲线变化比较明显的敏感频段。测试电压对测试灵敏度造成影响，适当提高激励电压可以提高测试灵敏度。

**G.0.2** 压电阻抗检测法测点分类及测点布置应符合下列规定：

**1** 应根据构件的截面尺寸、套筒在构件截面上的分布、套筒外混凝土保护层厚度确定测点分类，构件截面尺寸相同、套筒在构件截面上相对位置一致、套筒外混凝土保护层厚度相等的测点可归为同一类测点，同一类测点的测点数不少于10个；

**2** 根据设计图纸以及现场验证确定套筒位置，压电片距套筒表面不应大于100mm；

**3** 测点布置在套筒外侧混凝土表面，布置位置位于套筒出浆口下方1.5cm～2.0cm处，同类测点布置位置须保持一致。

**G.0.3** 压电阻抗检测操作应遵守所使用检测仪器的操作规定，并应按下列步骤进行：

**1** 选用合适的压电片并进行电导信号自检，保证同类测点测试中压电片性能基本一致；

**2** 选择待测测点并分类，对同类测点按顺序编号；

**3** 用丙酮清洁测点混凝土表面，使其无浮浆、污物或尘土等，画好测点网格线；

**4** 将压电片粘贴在测点网格线上；

**5** 将压电片连接至阻抗分析仪，通过数据连接电缆连接阻抗分析仪与电脑；

**6** 选择测试频段、测试电压和采集信号点数；

**7** 采集各测点在所选频段上的电导纳信号，获取电导-频率曲线。

**G.0.4** 压电阻抗检测法的数据处理可按如下方式进行:

**1** 将同批次测点压电片电导信号的平均值为基准，计算各测点电导信号与平均电导信号的均方根偏差*RMSD*，具体计算公式为：

 (G.0.4-1)

式中：*xi*为同类测点第次采点时电导信号的平均值，*yi*为编号为*y*的测点第次采点时的电导信号值，*n*为采集信号点数。

**2** 计算同批次测点*RMSD*平均值，具体计算公式为：

 (G.0.4-2)

**3** 计算各测点*RMSD*值与所有测点*RMSD*平均值的相对值，具体计算公式为：

(G.0.4-3)

**G.0.5** 压电阻抗检测结果可按表G.0.5中要求进行判定。

**表G.0.5 套筒灌浆饱满度等级划分**

|  |  |
| --- | --- |
| 等级划分 |  |
| 正常状态 | ＜0.5 |
| 轻度缺陷 | 0.5≤≤1.0 |
| 重度缺陷 | ＞1.0 |

**附录H 冲击回波法检测浆锚搭接灌浆饱满度**

**H.0.1** 本方法适用于检测浆锚管直径大于80mm的浆锚搭接灌浆饱满度。

**H.0.2** 冲击回波仪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有关规定。

【条文说明】本条针对装配整体式混凝土结构实体连接节点质量检测的特点对设备进行了相应规定。检测所用设备的相关要求还应参照《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411等标准中的规定。

**H.0.3** 检测前的准备工作应符合下列规定：

**1** 检测时灌浆料龄期不宜低于7d；

**2** 应进行现场调查和资料收集；

**3** 应检查仪器的工作状况；

**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，当表面不平整时，应打磨平整；

**5** 应记录浆锚搭接所在构件编号、构件位置、浆锚搭接位置等。

【条文说明】现场调查和资料收集包括工程设计图纸、深化设计图纸、浆锚搭接施工工艺等相关信息。

**H.0.4** 采用冲击回波法检测浆锚搭接灌浆饱满度应符合下列规定：

**1** 在构件无浆锚管且已知厚度处对表观波速进行标定；

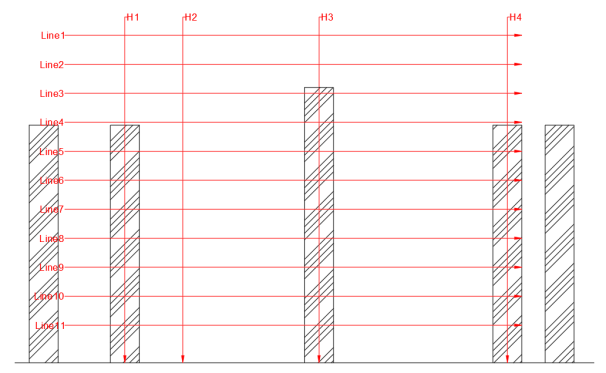
**2** 在浆锚管长度范围内布置垂直于浆锚管走向的测线，必要时可沿浆锚管走向布置测线，测线数或测点数、测线或测点间距可根据浆锚管的尺寸确定，并应标明测线或者测点的编号和位置。

**3** 采用扫描式冲击回波仪时，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** 采用单点式冲击回波仪时，应保证传感器与构件表面耦合良好，冲击点位置与传感器的间距应小于构件厚度的0.4倍。当检测面有表面裂纹时，传感器和冲击器应位于表面裂纹同侧。

**5** 当对检测结果存在疑问时，应复测或加密检测。

【条文说明】测线布置可参考图H.0.4,波速标定可选择如图中H2、Line1、Line2测线位置处。扫描仪的冲击器与接收器应与测试面接触良好，确保冲击器紧贴混凝土表面连续向前滚动。如果一个或者多个轮脱离表面，或者压力过小，测得的信号都可能失真。对于单点式冲击回波仪，为保证传感器与混凝土测点表面紧贴，根据传感器与混凝土表面紧贴情况可采用耦合剂粘贴，在实际测试时，传感器与混凝土之间的耦合剂应当尽量薄。耦合剂同时有一定的滤波作用，选择耦合剂时不宜选用有很强滤波作用的材料。



**图H.0.4 扫描式冲击回波法检测浆锚搭接灌浆饱满度**

**H.0.5** 冲击回波法检测结果的计算和评价应符合下列规定：

**1** 可采用厚度偏移系数φ结合频谱分析判断浆锚管灌浆是否饱满，φ按下列公式计算：

(H.0.5-1)

式中： *T*—构件厚度实际值；

*T’*—名义厚度测试值，按下式计：

(H.0.5-2)

式中：*vp*—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）。

**2** 宜通过平行试件试验确定灌浆饱满的厚度偏移系数临界值，当厚度偏移系数不超过临界值时，认为灌浆饱满，必要时可采用局部破损法进行校核。

【条文说明】为了更为直观的判断灌浆质量及其缺陷分布，检测结果宜提供波速数据和三维成像图。

**本标准用词说明**

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，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，在条件许可时首先应这样做的：

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，采用“可”。

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

**引用标准名录**

1 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081

2 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784

3 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1

4 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23

5 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384

6 《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》T/CECS 02

7 《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411

8 《数显示粘结强度检测仪》JG/T 507

9 《雷达法检测混凝土结构技术标准》JGJ/T 456

10 《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21

11 《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881

12 《聚氨酯建筑密封胶》JC/T 482

13 《聚硫建筑密封膏》JC/T 483

14 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683