

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 50784 – 202X

# 混凝土结构现场检测技术标准

Technical standard for in-situ inspection of concrete  
structure

（修订征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202X– XX –XX 发布

202X – XX –01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部

联合发布

中华人民共和国国家市场监督管理总局

## 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2024 年工程建设规范标准编制及相关工作计划的通知》（建标函〔2024〕41 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 混凝土力学性能检测；5. 混凝土长期性能和耐久性能检测；6. 有害物质含量及其作用效应检验；7. 混凝土构件缺陷检测；8. 构件布置、截面尺寸与变形检测；9. 混凝土中的钢筋检测；10. 混凝土构件损伤检测；11. 耐久性剩余工作年数推定；12. 结构性能检验与承载能力评定；13. 装配式混凝土结构连接缺陷检测；14. 混凝土结构加固工程检测。

本标准修订的主要内容是：1. 与《混凝土结构通用规范》GB 55008-2021 等全文强制性工程建设国家规范配套；2. 增加和调整了术语和符号；3. 增加和调整了基本规定；4. 针对间接检测方法普遍存在的不确定性，提出单独采用间接法检测时，验证检测结果的可接受性；5. 提出了融合既有信息和样本数据的推定方法；6. 调整了取样慢冻法和快冻法检测混凝土抗冻性能；7. 增加了取样检验氧化镁的危害性；8. 调整了超声法检测混凝土内部不密实和混凝土受影响层厚度的检测方法；9. 提出基于可靠指标的混凝土结构耐久性评价方法；10. 针对施工质量评价和结构性能评定的特点，完善不同检测类别的检测要求和检测结果表述方法；11. 增加了装配式混凝土结构连接缺陷检测方法；12. 增加混凝土结构加固工程检测方法等。

本标准由住房和城乡建设部负责管理。

本标准起草单位： 中国建筑科学研究院有限公司（地址：北京市北三环东路 30 号，邮编：100013）

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

# 目 次

|     |                     |    |
|-----|---------------------|----|
| 1   | 总则                  | 1  |
| 2   | 术语和符号               | 2  |
| 2.1 | 术语                  | 2  |
| 2.2 | 符号                  | 3  |
| 3   | 基本规定                | 5  |
| 3.1 | 检测范围和分类             | 5  |
| 3.2 | 检测工作的基本程序与要求        | 6  |
| 3.3 | 检测项目和检测方法           | 7  |
| 3.4 | 检测方式与抽样方法           | 8  |
| 3.5 | 检测报告                | 12 |
| 4   | 混凝土力学性能检测           | 13 |
| 4.1 | 一般规定                | 13 |
| 4.2 | 混凝土抗压强度检测           | 13 |
| 4.3 | 混凝土劈裂抗拉强度检测         | 15 |
| 4.4 | 混凝土抗折强度检测           | 16 |
| 4.5 | 混凝土静力受压弹性模量检测       | 17 |
| 4.6 | 缺陷与性能劣化区混凝土力学性能参数检测 | 18 |
| 5   | 混凝土长期性能和耐久性能检测      | 19 |
| 5.1 | 一般规定                | 19 |
| 5.2 | 取样法检测混凝土抗渗性能        | 19 |
| 5.3 | 取样慢冻法检测混凝土抗冻性能      | 20 |
| 5.4 | 取样快冻法检测混凝土的抗冻性能     | 21 |
| 5.5 | 氯离子渗透性能检测           | 23 |
| 5.6 | 抗硫酸盐侵蚀性能检测          | 24 |
| 6   | 有害物质含量及其作用效应检验      | 25 |
| 6.1 | 一般规定                | 25 |
| 6.2 | 氯离子含量检测             | 25 |
| 6.3 | 碱含量检测               | 26 |
| 6.4 | 取样检验碱骨料反应的危害性       | 27 |
| 6.5 | 取样检验游离氧化钙的危害性       | 28 |
| 6.6 | 取样检验氧化镁的危害性         | 29 |
| 7   | 混凝土构件缺陷检测           | 31 |
| 7.1 | 一般规定                | 31 |
| 7.2 | 外部缺陷检测              | 31 |
| 7.3 | 内部缺陷检测              | 31 |
| 8   | 构件布置、截面尺寸与变形检测      | 34 |
| 8.1 | 一般规定                | 34 |
| 8.2 | 构件布置检测              | 34 |
| 8.3 | 构件截面尺寸检测            | 34 |
| 8.4 | 构件倾斜检测              | 35 |
| 8.5 | 构件挠度检测              | 36 |

|      |                           |    |
|------|---------------------------|----|
| 8.6  | 构件裂缝检测 .....              | 36 |
| 9    | 混凝土中的钢筋检测 .....           | 38 |
| 9.1  | 一般规定 .....                | 38 |
| 9.2  | 钢筋数量和间距检测 .....           | 38 |
| 9.3  | 混凝土保护层厚度检测 .....          | 39 |
| 9.4  | 混凝土中钢筋直径检测 .....          | 40 |
| 9.5  | 构件中钢筋锈蚀状况检测 .....         | 41 |
| 9.6  | 钢筋力学性能检测 .....            | 42 |
| 9.7  | 钢筋连接检测 .....              | 42 |
| 9.8  | 钢筋应力状态检测 .....            | 43 |
| 10   | 混凝土构件损伤检测 .....           | 45 |
| 10.1 | 一般规定 .....                | 45 |
| 10.2 | 火灾损伤检测 .....              | 45 |
| 10.3 | 环境作用损伤检测 .....            | 46 |
| 11   | 耐久性剩余工作年数推定 .....         | 48 |
| 11.1 | 一般规定 .....                | 48 |
| 11.2 | 一般环境下剩余工作年数 .....         | 48 |
| 11.3 | 氯盐侵蚀环境下剩余工作年数 .....       | 51 |
| 12   | 结构性能检验与承载能力评定 .....       | 53 |
| 12.1 | 一般规定 .....                | 53 |
| 12.2 | 静载检验 .....                | 53 |
| 12.3 | 动力测试 .....                | 56 |
| 12.4 | 混凝土楼盖结构竖向振动舒适度检测与评定 ..... | 57 |
| 12.5 | 承载能力评定 .....              | 58 |
| 13   | 装配式混凝土结构连接缺陷检测 .....      | 60 |
| 13.1 | 一般规定 .....                | 60 |
| 13.2 | 灌浆饱满度和钢筋插入长度检测 .....      | 60 |
| 14   | 混凝土结构加固工程检测 .....         | 62 |
| 14.1 | 一般规定 .....                | 62 |
| 14.2 | 加固用材料检测 .....             | 63 |
| 14.3 | 直接加固工程检测 .....            | 63 |
| 14.4 | 间接加固工程检测 .....            | 63 |
| 14.5 | 其他加固技术检测 .....            | 64 |
| 附录 A | 检测结果可接受性检查方法 .....        | 65 |
| 附录 B | 基于点估计的分位数推定方法 .....       | 67 |
| 附录 C | 融合既有信息和样本数据的推定方法 .....    | 69 |
| 附录 D | 芯样混凝土抗压强度异常数据判别和处理 .....  | 72 |
| 附录 E | 混凝土换算抗压强度钻芯修正方法 .....     | 74 |
| 附录 F | 混凝土抗压强度变异系数置信上限推定方法 ..... | 76 |
| 附录 G | 混凝土外部缺陷数字图像检测方法 .....     | 77 |
| 附录 H | 混凝土内部不密实区超声检测方法 .....     | 79 |
| 附录 J | 混凝土裂缝深度超声单面平测方法 .....     | 85 |
| 附录 K | 混凝土构件内部缺陷相控阵超声成像方法 .....  | 87 |
| 附录 L | 混凝土性能受影响层厚度原位检测方法 .....   | 89 |

附录 M 混凝土性能受影响层厚度取样检测方法 ..... 92

附录 N 钻孔内窥法检测灌浆饱满度和钢筋插入情况 ..... 93

附录 P X 射线成像法检测灌浆饱满度和钢筋插入长度 ..... 95

本标准用词说明 ..... 97

引用标准名录 ..... 98

# Content

|     |                                                                                                                |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | General Provisions .....                                                                                       | 1  |
| 2   | Terms and Symbols .....                                                                                        | 2  |
| 2.1 | Terms .....                                                                                                    | 2  |
| 2.2 | Symbols .....                                                                                                  | 3  |
| 3   | General Requirements .....                                                                                     | 5  |
| 3.1 | Scope and Classification of Inspection .....                                                                   | 5  |
| 3.2 | Basic Procedures and Requirements for Inspection .....                                                         | 6  |
| 3.3 | Inspection Items and Method .....                                                                              | 7  |
| 3.4 | Inspection Mode and Sampling Scheme .....                                                                      | 8  |
| 3.5 | Inspection Report .....                                                                                        | 12 |
| 4   | Inspection of Mechanical Properties of Concrete .....                                                          | 13 |
| 4.1 | General Requirements .....                                                                                     | 13 |
| 4.2 | Inspection of Concrete Compressive Strength .....                                                              | 13 |
| 4.3 | Inspection of Concrete Splitting Tensile Strength .....                                                        | 15 |
| 4.4 | Inspection of Concrete Flexural Strength .....                                                                 | 16 |
| 4.5 | Inspection of Static Modulus of Elasticity of Concrete .....                                                   | 17 |
| 4.6 | Inspection of Mechanical Property Parameters of Concrete in Defective and Performance Deteriorated Areas ..... | 18 |
| 5   | Inspection of Long-Term Performance and Durability of Concrete .....                                           | 19 |
| 5.1 | General Requirements .....                                                                                     | 19 |
| 5.2 | Inspection of Impermeability of Concrete by Sampling Method .....                                              | 19 |
| 5.3 | Inspection of Frost Resistance of Concrete by Slow Freezing Method .....                                       | 20 |
| 5.4 | Inspection of Frost Resistance of Concrete by Rapid Freezing Method .....                                      | 21 |
| 5.5 | Inspection of Chloride Ion Penetration Resistance .....                                                        | 23 |
| 5.6 | Inspection of Sulfate Attack Resistance .....                                                                  | 24 |
| 6   | Inspection of Harmful Substance Content and Its Effect .....                                                   | 25 |
| 6.1 | General Requirements .....                                                                                     | 25 |
| 6.2 | Inspection of Chloride Ion Content .....                                                                       | 25 |
| 6.3 | Inspection of Alkali Content .....                                                                             | 26 |
| 6.4 | Inspection of Alkali-Aggregate Reaction .....                                                                  | 27 |
| 6.5 | Inspection of f-CaO Reaction .....                                                                             | 28 |
| 6.6 | Inspection of MgO Reaction .....                                                                               | 29 |
| 7   | Inspection of Defects in Concrete Members .....                                                                | 31 |
| 7.1 | General Requirements .....                                                                                     | 31 |
| 7.2 | Inspection of External Defects .....                                                                           | 31 |
| 7.3 | Inspection of Internal Defects .....                                                                           | 31 |
| 8   | Inspection of Member Layout, Section and Deformation .....                                                     | 34 |
| 8.1 | General Requirements .....                                                                                     | 34 |
| 8.2 | Inspection of Member Layout .....                                                                              | 34 |
| 8.3 | Inspection of Member Section Dimensions .....                                                                  | 34 |
| 8.4 | Inspection of Member Inclination .....                                                                         | 35 |
| 8.5 | Inspection of Member Deflection .....                                                                          | 36 |
| 8.6 | Inspection of Member Cracks .....                                                                              | 36 |

|            |                                                                                                                 |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9          | Inspection of Reinforcement in Concrete .....                                                                   | 38 |
| 9.1        | General Requirements .....                                                                                      | 38 |
| 9.2        | Inspection of Reinforcement Quantity and Spacing .....                                                          | 38 |
| 9.3        | Inspection of Concrete Cover Thickness .....                                                                    | 39 |
| 9.4        | Inspection of Reinforcement Diameter in Concrete .....                                                          | 40 |
| 9.5        | Inspection of Reinforcement Corrosion Condition in Members .....                                                | 41 |
| 9.6        | Inspection of Reinforcement Mechanical Properties .....                                                         | 42 |
| 9.7        | Inspection of Reinforcement Connections .....                                                                   | 42 |
| 9.8        | Inspection of Reinforcement Stress State .....                                                                  | 43 |
| 10         | Inspection of Damage to Concrete Members .....                                                                  | 45 |
| 10.1       | General Requirements .....                                                                                      | 45 |
| 10.2       | Inspection of Fire Damage .....                                                                                 | 45 |
| 10.3       | Inspection of Environmental Action Damage .....                                                                 | 46 |
| 11         | Assessment of Remaining Service Life for Durability .....                                                       | 48 |
| 11.1       | General Requirements .....                                                                                      | 48 |
| 11.2       | Assessment of Remaining Service Life on General Environment .....                                               | 48 |
| 11.3       | Assessment of Remaining Service Life on Chloride Salt Attack Environment .....                                  | 51 |
| 12         | Inspection of Structural Performance and Assessment of Load-Bearing Capacity .....                              | 53 |
| 12.1       | General Requirements .....                                                                                      | 53 |
| 12.2       | Static Load Test .....                                                                                          | 53 |
| 12.3       | Dynamic Load Test .....                                                                                         | 56 |
| 12.4       | Inspection and Assessment of Vertical Vibration Comfort of Concrete Floor Structures .....                      | 57 |
| 12.5       | Assessment of Load-Bearing Capacity .....                                                                       | 58 |
| 13         | Inspection of Connection Defects in Precast Concrete Structures .....                                           | 60 |
| 13.1       | General Requirements .....                                                                                      | 60 |
| 13.2       | Inspection of Grouting Fullness and Reinforcement Insertion Length .....                                        | 60 |
| 14         | Inspection of Strengthening Concrete Structure .....                                                            | 62 |
| 14.1       | General Requirements .....                                                                                      | 62 |
| 14.2       | Inspection of Strengthening Materials .....                                                                     | 63 |
| 14.3       | Inspection of Direct Strengthening .....                                                                        | 63 |
| 14.4       | Inspection of Indirect Strengthening .....                                                                      | 63 |
| 14.5       | Inspection of Other Strengthening Technologies .....                                                            | 64 |
| Appendix A | Method for Acceptability Check of Test Results .....                                                            | 65 |
| Appendix B | Assessment Method Based on Point Estimation .....                                                               | 67 |
| Appendix C | Assessment Method Integrating Existing Information and Sample Data .....                                        | 69 |
| Appendix D | Discrimination and Treatment of Abnormal Data of Core Sample Concrete Compressive Strength .....                | 72 |
| Appendix E | Core Drilling Correction Method for Converted Concrete Compressive Strength .....                               | 74 |
| Appendix F | Assessment Method for Upper Confidence Limit of Coefficient of Variation of Concrete Compressive Strength ..... | 76 |
| Appendix G | Digital Image Inspection Method for External Defects of Concrete .....                                          | 77 |
| Appendix H | Ultrasonic Inspection Method for Internal Incompact Areas of Concrete .....                                     | 79 |
| Appendix J | Ultrasonic Single-Side Flat Measurement Method for Concrete Crack Depth .....                                   | 85 |

|            |                                                                                             |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Appendix K | Phased Array Ultrasonic Imaging Method for Internal Defects of Concrete Members             | 87 |
| Appendix L | In-Situ Inspection Method for Thickness of Concrete Performance-Affected Layer              | 89 |
| Appendix M | Sampling Inspection Method for Thickness of Concrete Performance-Affected Layer             | 92 |
| Appendix N | Borehole Endoscopy Method for Inspection of Grouting Fullness and Reinforcement Insertion   | 93 |
| Appendix P | X-Ray Imaging Method for Inspection of Grouting Fullness and Reinforcement Insertion Length | 95 |
|            | Explanation of Words in This Standard                                                       | 97 |
|            | List of Quoted Standards                                                                    | 98 |

## 1 总 则

**1.0.1** 为规范混凝土结构现场检测工作程序，正确划分检验批，合理选择检测方法，准确表达检测结果，正确评价混凝土结构性能，保证检测工作质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于建设工程中混凝土结构的现场检测，不适用于轻骨料混凝土及特种混凝土结构的现场检测。

**1.0.3** 混凝土结构现场检测除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 混凝土结构现场检测 in-situ inspection of concrete structure

对混凝土结构实体实施的原位检查、检验和测试以及对从结构实体中取得的样品进行的检验和测试分析。

#### 2.1.2 工程质量检测 inspection of engineering quality

为评定混凝土结构工程质量与规定或约定要求的符合性所实施的检测。

#### 2.1.3 结构性能检测 inspection of structural performance

为评估混凝土结构安全性、适用性、耐久性或抗灾害能力所实施的检测。

#### 2.1.4 荷载检验 load test

通过施加作用力以检验构件的承载力、刚度、抗裂性或裂缝宽度等参数为目的的检测。

#### 2.1.5 复检 recheck

为验证检测数据的有效性，对已受检的对象所实施的现场检测。

#### 2.1.6 补充检测 additional test

为补充已获得的数据所实施的现场检测。

#### 2.1.7 重新检测 renewal test

不计入已有的检测数据和结果，以新的检测数据和结果为准的现场检测。

#### 2.1.8 直接测试方法 method of direct measurement

直接获得待测参数值的检测方法。

#### 2.1.9 间接测试方法 method of indirect measurement

利用间接的参数并经换算关系获得待测参数值的检测方法。

#### 2.1.10 检验批 inspection lot

由检测项目相同、质量要求和生产工艺等基本相同、环境条件或损伤程度相近的一定数量构件或区域构成的检测对象。

#### 2.1.11 个体 individual

可以单独取得一个检验或检测数据的区域、构件或区段。

#### 2.1.12 换算值 conversion value

在按认可的试验方法建立间接参数与待测参数之间或者非标准状态与标准状态待测参数之间的换算关系基础上获得的待测参数值。

#### 2.1.13 推定值 reference value

对样本中每个个体的检测值进行统计分析并应用一定的规则得到的代表检验批总体性能的统计值。

#### 2.1.14 随机抽样 random sampling

使检验批中每个个体具有相同被抽检概率的抽样方法。

#### 2.1.15 约定抽样 agreed sampling

由委托方指定且不满足随机抽样原则的样本抽取方法。

#### 2.1.16 批量检测 lot test

对同一检验批内的构件按抽样方案进行成批检测，用于判定该检验批整体质量。

#### 2.1.17 计数抽样检验 method of attributes

以样本中个体不合格数或不合格点的数量对检验批总体的符合性做出判定的检验方法。

#### 2.1.18 计量抽样检验 method of variables

以样本中各个体数据的统计量对检验批总体的符合性做出判定的检验方法。

#### 2.1.19 分层计量抽样 stratified sampling

首先在检验批中抽取区域、构件或区段，然后在抽取的区域、构件或区段上按规定布置测区或测点的抽样方法。

#### 2.1.20 统计推定 statistical estimation

以样本中各个体数据的统计量对检验批总体分位数的估计。

#### 2.1.21 分位数 quantile

与随机变量分布函数的某一概率相对应的值，常用的分位数有 0.5 分位和 0.05 分位数。

#### 2.1.22 特征值 characteristic value

总体中具有 95%保证率的值。

#### 2.1.23 结构性状 appearance character

结构所具有的、可以从外部观察到的确定的特性。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 材料性能

$f_{cu,e}$ ——混凝土抗压强度推定值；

$f_{cu,i}^c$ ——第*i*个测区或芯样部位混凝土抗压强度换算值；

$f_{cu,ai}^c$ ——检验批或构件第*i*个测区修正后混凝土抗压强度换算值；

$f_{cor,i}^c$ ——第*i*个芯样试件混凝土抗压强度换算值；

$f_{cor,m}^c$ ——样本中芯样试件混凝土抗压强度换算值的平均值；

$f_{cu,j,i}^c$ ——检验批第*j*个构件上第*i*个测区混凝土抗压强度换算值；

$f_{cu,u}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间上限值；

$f_{cu,l}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间下限值；

$f_{t,cor,i}$ ——第*i*个芯样试件劈裂抗拉强度；

$f_{fi}$ ——第*i*个试件抗折强度换算值。

### 2.2.2 统计参数

$m_{\Delta f}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间上限与下限均值；

$m_{f_{cu}^c}$ ——检验批测区混凝土抗压强度换算值的平均值；

$m_{f_{cu,j}^c}$ ——检验批第 $j$ 个构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值；

$s_{f_{cu}^c}$ ——检验批测区混凝土抗压强度换算值的标准差；

$k_{0.5}$ ——0.5分位数推定区间限值系数；

$k_{p,l}$ —— $p$ 分位数推定区间下限值系数；

$k_{p,u}$ —— $p$ 分位数推定区间上限值系数；

$k_\gamma$ ——由非中心 $t$ 分布函数导出的推定系数；

$l_{x,p}$ ——推定区间长度；

$m$ ——样本均值；

$m_{x,p}$ ——推定区间均值；

$N$ ——检验批容量或波形数据总数；

$n$ ——样本容量；

$n_j$ ——检验批第 $j$ 个构件上布置的测区数；

$s$ ——样本标准差；

$t_v$ ——由 $t$ 分布函数导出的推定系数；

$x_{p,u}$ —— $p$ 分位数推定区间的上限值；

$x_{p,l}$ —— $p$ 分位数推定区间的下限值；

$\delta_{f_{cu}^c}$ ——样本变异系数。

### 2.2.3 计算参数

$\Delta_{tot}$ ——总体修正量；

$\Delta_{loc}$ ——对应样本修正量；

$\eta_{loc}$ ——对应样本修正系数；

$\eta$ ——一一对应修正系数。

### 3 基本规定

#### 3.1 检测范围和分类

**3.1.1** 混凝土结构现场检测应分为工程质量检测和结构性能检测。

**3.1.2** 当遇到下列情况之一时，应进行工程质量的检测：

- 1 涉及结构工程质量的试块、试件以及有关材料检验数量不足或检测结果不合格；
- 2 对结构实体质量的抽测结果达不到设计要求或施工质量验收规范要求；
- 3 对结构实体质量有争议；
- 4 发生工程质量事故，需要分析事故原因；
- 5 相关标准规定进行的工程质量第三方检测；
- 6 相关行政主管部门要求进行的工程质量第三方检测。

**3.1.3** 当遇到下列情况之一时，宜进行结构性能检测：

- 1 混凝土结构改变用途、改造、加层或扩建；
- 2 混凝土结构达到设计工作年限要继续使用；
- 3 混凝土结构工作环境改变或受到环境侵蚀；
- 4 混凝土结构受偶然事件或其他灾害的影响；
- 5 相关法规、标准规定的结构工作期间的鉴定。

## 3.2 检测工作的基本程序与要求

3.2.1 混凝土结构现场检测工作宜按图 3.2.1 的程序进行。

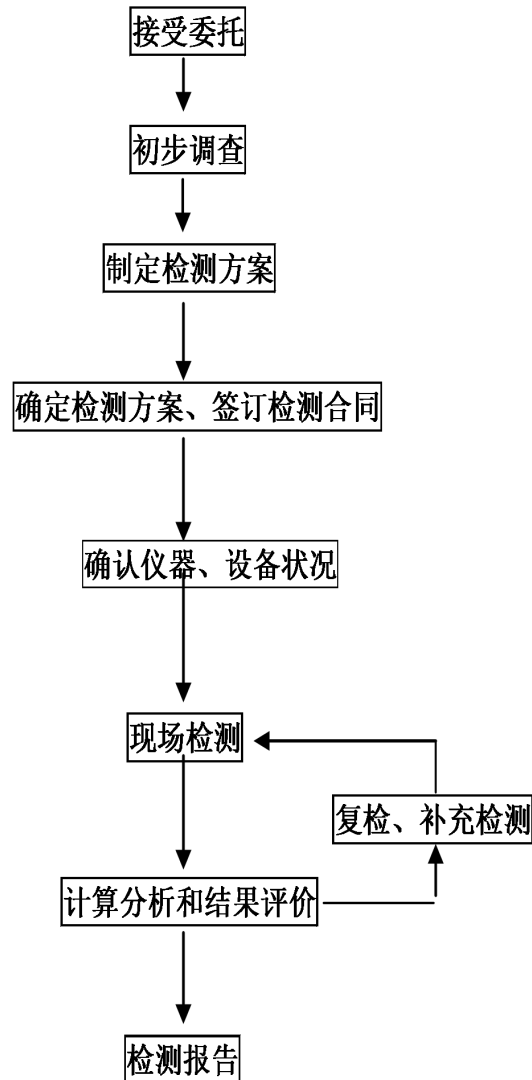


图 3.2.1 混凝土结构现场检测工作程序

3.2.2 混凝土结构现场检测工作可接受单方委托，存在质量争议时宜由当事各方共同委托，用于验收时应由建设单位委托。当检测结果作为问责依据时，宜由权威部门进行委托。

3.2.3 初步调查应以确认委托方的检测要求和制定有针对性的检测方案为目的。初步调查可采取踏勘现场、搜集和分析资料及询问有关人员等方法。

3.2.4 检测方案宜征询委托方意见。

3.2.5 混凝土结构现场检测方案宜包括下列主要内容：

1 工程或结构概况，包括结构类型、设计、施工及监理单位，建造年代、检测时的工程进度或结构性状等；

2 委托方的检测目的或检测要求；

- 3 检测的依据,包括检测所依据的标准及有关的技术资料等;
- 4 检测范围、检测项目和选用的检测方法;
- 5 检测的方式、检验批的划分、抽样方法和检测数量;
- 6 检测人员和仪器设备情况;
- 7 检测工作进度计划;
- 8 需要委托方配合的工作;
- 9 检测中的安全与环保措施。

**3.2.6** 现场检测所用仪器、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,所用仪器、设备应在检定或校准周期内,并应处于正常状态。

**3.2.7** 现场检测工作应由本机构不少于两名检测人员承担,所有进入现场的检测人员应经过培训。

**3.2.8** 现场检测的测区和测点应有明晰标注和编号,必要时标注和编号宜保留一定时间。

**3.2.9** 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,当有变更时,应对变更进行追溯确认;
- 2 计量单位应按符合现行国家标准《国际单位制及其应用》GB 3100 和《有关量、单位和符号的一般原则》GB/T 3101 的规定;
- 3 检测精度宜符合相关检测技术标准的规定,结构性能检测时可根据实际需要调整;
- 4 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确认;
- 5 图像信息应标明获取信息的位置;
- 6 应标注时间和环境条件;
- 7 涉及抽样时,尚应表述抽样过程。

**3.2.10** 现场取得的试样应及时标识并妥善保存,试验过程应留存影像,试验后的试样宜保留一定时间。

**3.2.11** 当发现检测数据数量不足或检测数据出现异常情况时,应进行补充检测或复检,补充检测或复检应有必要的说明。

**3.2.12** 混凝土结构现场检测工作结束后,应及时提出针对由于检测造成结构或构件局部损伤的修补建议。

### **3.3 检测项目和检测方法**

**3.3.1** 混凝土结构现场检测应依据委托方提出的检测目的合理确定检测项目。

**3.3.2** 混凝土结构现场检测可在下列项目中选取项目进行检测:

- 1 混凝土力学性能检测;
- 2 混凝土长期性能和耐久性能检测;
- 3 混凝土有害物质含量及其效应检测;
- 4 混凝土构件布置、尺寸与变形检测;

- 5 混凝土构件缺陷检测;
- 6 混凝土中钢筋检测;
- 7 混凝土构件损伤的识别与检测;
- 8 结构或构件剩余工作年数推定;
- 9 结构性能检验与承载能力评定;
- 10 其他特种参数的专项检测。

**3.3.3** 混凝土结构现场检测,应根据检测类别、检测目的、检测项目、结构实际状况和现场具体条件选择适用的检测方法。

**3.3.4** 混凝土结构现场检测,应优先选用直接法与间接法相结合的综合检测方法,单独采用间接法检测时宜按照本标准附录 A 进行验证检测结果的可接受性检查。

**3.3.5** 当将试验室对标准试件的试验技术用于现场取样检测时,应符合下列规定:

- 1 取样试件的尺寸应基本符合相应试验方法标准对试件的要求;
- 2 取样试件的数量不应少于标准试验方法要求的试件数量;
- 3 取样试件检验步骤应与试验方法标准的规定基本一致。

**3.3.6** 当采用检测单位自行开发或引进的检测方法时,应符合下列规定:

- 1 该方法应通过技术鉴定;
- 2 该方法应已与成熟的方法进行比对试验;
- 3 检测单位应有相应的检测细则,并提供测试误差或测试结果的不确定度;
- 4 在检测方案中应予以说明并经委托方同意。

### **3.4 检测方式与抽样方法**

**3.4.1** 混凝土结构现场检测可采取全数检测或抽样检测两种检测方式。抽样检测时,宜随机抽取样本;当不具备随机抽样条件时,可按约定方法抽取样本。约定抽样时,不宜进行批评价和批推定。

**3.4.2** 下列情况宜进行全数检测:

- 1 外观缺陷或表面损伤的检查;
- 2 受检范围较小或构件数量较少;
- 3 检验指标或参数变异性大或构件状况差异较大;
- 4 灾害发生后对结构受损情况的外观检查;
- 5 需减少结构的处理费用或处理范围;
- 6 委托方要求进行全数检测。

**3.4.3** 批量检测可根据检测项目的实际情况采取计数抽样检验、计量抽样检验进行符合性评价;当产品质量标准或施工质量验收标准的规定适用于现场检测时,也可按相应的规定进行符合性评价。当检验批不适宜进行符合性评价或符合性评价结果为不符合时,具备统计参数条件的检验批宜进行统计推定。

**3.4.4** 检验批的划分应符合下列规定:

1 设计资料齐全、施工资料完备时，可按产品质量标准或施工质量验收标准的规定划分检验批；

2 具有有效图纸资料、现状良好和无使用功能与结构变动或规划调整等情况时，除地面一层、结构转换层和顶层应按楼层的同类构件划分检验批外，可将不多于 3 个连续楼层中的同类构件划分为一个检验批；

3 具有有效图纸资料但结构现状损伤严重或拟改变使用功能或拟加固改造的区域，应将所涉区域中每个楼层中的同类构件分别划分为一个检验批；

4 图纸资料不全或无有效图纸资料时，宜将每个楼层的同类构件分别划分为一个检验批；

5 存在施工条件明显变化的楼层不应划分为一个检验批；

6 可根据检测结果对检验批的划分进行调整；

7 其他工程行业检验批划分宜按照该行业规定执行。

3.4.5 计数抽样检验时检验批最小样本容量宜按表 3.4.5 的规定确定。

表 3.4.5 检验批最小样本容量

| 检验批的容量 | 检测类别和样本最小容量 |    |    | 检验批的容量   | 检测类别和样本最小容量 |     |     |
|--------|-------------|----|----|----------|-------------|-----|-----|
|        | A           | B  | C  |          | A           | B   | C   |
| 3~8    | 2           | 2  | 3  | 91~150   | 8           | 20  | 32  |
| 9~15   | 2           | 3  | 5  | 151~280  | 13          | 32  | 50  |
| 16~25  | 3           | 5  | 8  | 281~500  | 20          | 50  | 80  |
| 26~50  | 5           | 8  | 13 | 501~1200 | 32          | 80  | 125 |
| 51~90  | 5           | 13 | 20 | -----    | ---         | --- | --- |

注：1 检测类别应根据受检参数质量稳定性和既有资料的完备程度确定；

2 一般情况下，检测类别 A 适用于施工质量的检测，检测类别 B 适用于结构质量或性能的检测，检测类别 C 适用于结构质量或性能的严格检测；

3 无特别说明时，样本单位为单个构件。

3.4.6 计数抽样检验时检验批的符合性判定应符合下列规定：

1 检测的对象为主控项目时应按本标准表 3.4.6-1 的规定确定；

2 检测的对象为一般项目时应按本标准表 3.4.6-2 的规定确定；

3 主控项目和一般项目应按相关施工质量验收标准和鉴定标准的规定进行区分。

表 3.4.6-1 主控项目的判定

| 样本容量 | 合格判定数 | 不合格判定数 | 样本容量  | 合格判定数 | 不合格判定数 |
|------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 2~5  | 0     | 1      | 50    | 5     | 6      |
| 8~13 | 1     | 2      | 80    | 7     | 8      |
| 20   | 2     | 3      | 125   | 10    | 11     |
| 32   | 3     | 4      | ----- | ----- | -----  |

表 3.4.6-2 一般项目的判定

| 样本容量 | 合格判定数 | 不合格判定数 | 样本容量 | 合格判定数 | 不合格判定数 |
|------|-------|--------|------|-------|--------|
| 2~5  | 1     | 2      | 32   | 7     | 8      |
| 8    | 2     | 3      | 50   | 10    | 11     |

|    |   |   |     |    |    |
|----|---|---|-----|----|----|
| 13 | 3 | 4 | 80  | 14 | 15 |
| 20 | 5 | 6 | 125 | 21 | 22 |

**3.4.7** 验收资料齐全且未发现明显的材料性能退化和结构损伤时，可按相关产品标准或验收规范中的抽验方案进行符合性评价。

**3.4.8** 对符合正态分布的参数宜对该参数总体分位数进行推定，推定时应提供样本容量、样本均值、样本标准差和推定值并宜提供被推定值的推定区间，标准差未知时 0.5 和 0.05 分位数推定区间限值系数可按表 3.4.8 的规定确定。

表 3.4.8 标准差未知时计量抽样的推定区间限值系数

| 样本容量<br>$n$ | 标准差未知时推定区间上限值与下限值系数 |                    |                        |                        |                       |                       |
|-------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|             | 0.5 分位值             |                    | 0.05 分位值               |                        |                       |                       |
|             | $k_{0.5}$<br>(0.05) | $k_{0.5}$<br>(0.1) | $k_{0.05,u}$<br>(0.05) | $k_{0.05,l}$<br>(0.05) | $k_{0.05,u}$<br>(0.1) | $k_{0.05,l}$<br>(0.1) |
| 5           | 0.95339             | 0.68567            | 0.81778                | 4.20268                | 0.98218               | 3.39983               |
| 6           | 0.82264             | 0.60253            | 0.87477                | 3.70768                | 1.02822               | 3.09188               |
| 7           | 0.73445             | 0.54418            | 0.92037                | 3.39947                | 1.06516               | 2.89380               |
| 8           | 0.66983             | 0.50025            | 0.95803                | 3.18729                | 1.09570               | 2.75428               |
| 9           | 0.61985             | 0.46561            | 0.98987                | 3.03124                | 1.12153               | 2.64990               |
| 10          | 0.57968             | 0.43735            | 1.01730                | 2.91096                | 1.14378               | 2.56837               |
| 11          | 0.54648             | 0.41373            | 1.04127                | 2.81499                | 1.16322               | 2.50262               |
| 12          | 0.51843             | 0.39359            | 1.06247                | 2.73634                | 1.18041               | 2.44825               |
| 13          | 0.49432             | 0.37615            | 1.08141                | 2.67050                | 1.19576               | 2.40240               |
| 14          | 0.47330             | 0.36085            | 1.09848                | 2.61443                | 1.20958               | 2.36311               |
| 15          | 0.45477             | 0.34729            | 1.11397                | 2.56600                | 1.22213               | 2.32898               |
| 16          | 0.43826             | 0.33515            | 1.12812                | 2.52366                | 1.23358               | 2.29900               |
| 17          | 0.42344             | 0.32421            | 1.14112                | 2.48626                | 1.24409               | 2.27240               |
| 18          | 0.41003             | 0.31428            | 1.15311                | 2.45295                | 1.25379               | 2.24862               |
| 19          | 0.39782             | 0.30521            | 1.16423                | 2.42304                | 1.26277               | 2.22720               |
| 20          | 0.38665             | 0.29689            | 1.17458                | 2.39600                | 1.27113               | 2.20778               |
| 21          | 0.37636             | 0.28921            | 1.18425                | 2.37142                | 1.27893               | 2.19007               |
| 22          | 0.36686             | 0.28210            | 1.19330                | 2.34896                | 1.28624               | 2.17385               |
| 23          | 0.35805             | 0.27550            | 1.20181                | 2.32832                | 1.29310               | 2.15891               |
| 24          | 0.34984             | 0.26933            | 1.20982                | 2.30929                | 1.29956               | 2.14510               |
| 25          | 0.34218             | 0.26357            | 1.21739                | 2.29167                | 1.30566               | 2.13229               |
| 26          | 0.33499             | 0.25816            | 1.22455                | 2.27530                | 1.31143               | 2.12037               |
| 27          | 0.32825             | 0.25307            | 1.23135                | 2.26005                | 1.31690               | 2.10924               |
| 28          | 0.32189             | 0.24827            | 1.23780                | 2.24578                | 1.32209               | 2.09881               |
| 29          | 0.31589             | 0.24373            | 1.24395                | 2.23241                | 1.32704               | 2.08903               |
| 30          | 0.31022             | 0.23943            | 1.24981                | 2.21984                | 1.33175               | 2.07982               |

续表 3.4.8

| 样本容量<br>$n$ | 标准差未知时推定区间上限值与下限值系数 |                    |                        |                        |                       |                       |
|-------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|             | 0.5 分位值             |                    | 0.05 分位值               |                        |                       |                       |
|             | $k_{0.5}$<br>(0.05) | $k_{0.5}$<br>(0.1) | $k_{0.05,u}$<br>(0.05) | $k_{0.05,l}$<br>(0.05) | $k_{0.05,u}$<br>(0.1) | $k_{0.05,l}$<br>(0.1) |

|     |         |         |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 31  | 0.30484 | 0.23536 | 1.25540 | 2.20800 | 1.33625 | 2.07113 |
| 32  | 0.29973 | 0.23148 | 1.26075 | 2.19682 | 1.34055 | 2.06292 |
| 33  | 0.29487 | 0.22779 | 1.26588 | 2.18625 | 1.34467 | 2.05514 |
| 34  | 0.29024 | 0.22428 | 1.27079 | 2.17623 | 1.34862 | 2.04776 |
| 35  | 0.28582 | 0.22092 | 1.27551 | 2.16672 | 1.35241 | 2.04075 |
| 36  | 0.28160 | 0.21770 | 1.28004 | 2.15768 | 1.35605 | 2.03407 |
| 37  | 0.27755 | 0.21463 | 1.28441 | 2.14906 | 1.35955 | 2.02771 |
| 38  | 0.27368 | 0.21168 | 1.28861 | 2.14085 | 1.36292 | 2.02164 |
| 39  | 0.26997 | 0.20884 | 1.29266 | 2.13300 | 1.36617 | 2.01583 |
| 40  | 0.26640 | 0.20612 | 1.29657 | 2.12549 | 1.36931 | 2.01027 |
| 41  | 0.26297 | 0.20351 | 1.30035 | 2.11831 | 1.37233 | 2.00494 |
| 42  | 0.25967 | 0.20099 | 1.30399 | 2.11142 | 1.37526 | 1.99983 |
| 43  | 0.25650 | 0.19856 | 1.30752 | 2.10481 | 1.37809 | 1.99493 |
| 44  | 0.25343 | 0.19622 | 1.31094 | 2.09846 | 1.38083 | 1.99021 |
| 45  | 0.25047 | 0.19396 | 1.31425 | 2.09235 | 1.38348 | 1.98567 |
| 46  | 0.24762 | 0.19177 | 1.31746 | 2.08648 | 1.38605 | 1.98130 |
| 47  | 0.24486 | 0.18966 | 1.32058 | 2.08081 | 1.38854 | 1.97708 |
| 48  | 0.24219 | 0.18761 | 1.32360 | 2.07535 | 1.39096 | 1.97302 |
| 49  | 0.23960 | 0.18563 | 1.32653 | 2.07008 | 1.39331 | 1.96909 |
| 50  | 0.23710 | 0.18372 | 1.32939 | 2.06499 | 1.39559 | 1.96529 |
| 60  | 0.21574 | 0.16732 | 1.35412 | 2.02216 | 1.41536 | 1.93327 |
| 70  | 0.19927 | 0.15466 | 1.37364 | 1.98987 | 1.43095 | 1.90903 |
| 80  | 0.18608 | 0.14449 | 1.38959 | 1.96444 | 1.44366 | 1.88988 |
| 90  | 0.17521 | 0.13610 | 1.40294 | 1.94376 | 1.45429 | 1.87428 |
| 100 | 0.16604 | 0.12902 | 1.41433 | 1.92654 | 1.46335 | 1.86125 |
| 110 | 0.15818 | 0.12294 | 1.42421 | 1.91191 | 1.47121 | 1.85017 |
| 120 | 0.15133 | 0.11764 | 1.43289 | 1.89929 | 1.47810 | 1.84059 |
| 130 | 0.14531 | 0.11298 | 1.44060 | 1.88827 | 1.48421 | 1.83222 |
| 140 | 0.13995 | 0.10883 | 1.44750 | 1.87852 | 1.48969 | 1.82481 |
| 150 | 0.13514 | 0.10510 | 1.45372 | 1.86984 | 1.49462 | 1.81820 |
| 160 | 0.13080 | 0.10174 | 1.45938 | 1.86203 | 1.49911 | 1.81225 |
| 170 | 0.12685 | 0.09868 | 1.46456 | 1.85497 | 1.50321 | 1.80686 |
| 180 | 0.12324 | 0.09588 | 1.46931 | 1.84854 | 1.50697 | 1.80196 |
| 190 | 0.11992 | 0.09330 | 1.47370 | 1.84265 | 1.51044 | 1.79746 |
| 200 | 0.11685 | 0.09092 | 1.47777 | 1.83724 | 1.51366 | 1.79332 |
| 250 | 0.10442 | 0.08127 | 1.49443 | 1.81547 | 1.52683 | 1.77667 |
| 300 | 0.09526 | 0.07415 | 1.50687 | 1.79964 | 1.53665 | 1.76454 |
| 400 | 0.08243 | 0.06418 | 1.52453 | 1.77776 | 1.55057 | 1.74773 |
| 500 | 0.07370 | 0.05739 | 1.53671 | 1.76305 | 1.56017 | 1.73641 |

注：样本容量  $n$  应按参与统计的数据个数确定，当已知自由度  $v$  时， $n = v + 1$ 。

**3.4.9** 总体分位数推定区间的置信度宜为 0.90，并使总体分位数小于推定下限和大于推定上限的概率均为 0.05。特殊情况下，推定区间的置信度可为 0.85，总体分位数小于推定下限的概率为 0.10，总体分位数大于推定上限的概率仍为 0.05。推定上限值、下限值、推定区间长度可按下式计算：

1 当分位数  $p < 0.5$  时，推定上限值、下限值应按下式计算：

$$x_{p,u} = m - k_{p,u}s \quad (3.4.9-1)$$

$$x_{p,l} = m - k_{p,l}s \quad (3.4.9-2)$$

式中:  $x_{p,u}$ ——  $p$ 分位数推定区间的上限值;

$x_{p,l}$ ——  $p$ 分位数推定区间的下限值;

$m$ —— 样本均值;

$s$ —— 样本标准差。

2 当分位数 $p = 0.5$ 时, 推定上限值、下限值应按下式计算:

$$x_{p,u} = m + k_{p,u}s \quad (3.4.9-3)$$

$$x_{p,l} = m - k_{p,l}s \quad (3.4.9-4)$$

3 推定区间长度和均值应按下式计算:

$$l_{x,p} = x_{p,u} - x_{p,l} \quad (3.4.9-5)$$

$$m_{x,p} = (x_{p,u} + x_{p,l})/2 \quad (3.4.9-6)$$

式中:  $l_{x,p}$ —— 推定区间长度;

$m_{x,p}$ —— 推定区间均值。

**3.4.10** 推定区间长度不宜大于 0.1 倍推定区间均值; 当推定区间长度满足要求时, 宜结合工程实际情况取推定区间中的某个值作为分位数的推定值; 推定区间长度不满足要求时, 分位数可按本标准附录 B 的规定进行推定。

**3.4.11** 既有信息可靠且检测条件受限时, 可融合既有信息和样本数据进行推定, 推定应符合本标准附录 C 的规定。

### 3.5 检测报告

**3.5.1** 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。

**3.5.2** 检测报告应包括下列内容:

- 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。

**3.5.3** 检测机构应就委托方对检测报告提出的异议作出书面回复, 并宜对检测结果的应用提出建议和说明。

## 4 混凝土力学性能检测

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 混凝土力学性能检测可分为混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度和静力受压弹性模量等检测项目。

**4.1.2** 混凝土力学性能检测的测区或取样位置应布置在无缺陷、无损伤且具有代表性的部位；当发现构件存在缺陷、损伤或性能劣化现象时，应在检测报告中予以描述。

**4.1.3** 当委托方有特定要求时，可对存在缺陷、损伤或性能劣化现象的部位进行混凝土力学性能的专项检测；专项检测应提供每个受检部位的检测结果，需进行批评价时宜取最不利值。

### 4.2 混凝土抗压强度检测

**4.2.1** 混凝土抗压强度的现场检测结果应换算成在检测龄期相当于边长为 150mm 立方体试件抗压强度，并应根据不同的应用场景进行推定。

**4.2.2** 混凝土抗压强度可采用回弹法、后锚固法、拉脱法等间接法和钻芯法进行现场检测；当具备钻芯法检测条件时，宜采用钻芯法对间接法检测结果进行修正或验证。

**4.2.3** 混凝土抗压强度现场检测的操作和单个构件混凝土抗压强度的推定应按相应检测技术标准的规定执行。

**4.2.4** 当采取钻芯法对间接法检测结果进行修正时，芯样样本应按本标准附录 D 的规定进行异常值判别和处理；也可按现行国家标准《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 的规定进行异常值判别和处理。

**4.2.5** 采用钻芯法对间接法检测结果进行修正应按本标准附录 E 的规定执行。

**4.2.6** 批量检测混凝土抗压强度时，宜采取分层计量抽样方法。检验批的划分应符合本标准第 3.4.4 条的规定，检验批受检构件数量可按下列方法确定：

- 1 按相应的检测技术规程的规定确定；
- 2 按委托方的要求确定；
- 3 按本标准表 3.4.5 的规定确定。

**4.2.7** 检验批测区总数或芯样总数应满足推定区间限值要求，确定检验批测区数量时宜考虑受检混凝土抗压强度的变异性。当不能确定混凝土抗压强度变异性时，可取混凝土抗压强度变异系数为 0.15 来预估检验批测区数量。

**4.2.8** 当不需要提供每个受检构件混凝土强度推定值且总测区数满足推定区间限值要求时，每个构件布置的测区数量可适当减少，但不宜少于 3 个。

**4.2.9** 混凝土抗压强度的批量检测应符合下列规定：

- 1 将混凝土抗压强度和质量状况相近的同类构件划分为一个检验批；
- 2 按本标准第 4.2.6 条的规定确定受检构件数量；
- 3 在检验批中随机选取受检构件，按预先确定的测区数或芯样总数在每个构件上均匀布置测区或取样点，按选定的方法进行测试，得到每个测区或每个芯样的混凝土换算强度。

**4.2.10** 批量检测混凝土抗压强度时，应给出样本换算强度平均值、样本换算强度标准差和样本变异系数，宜按照本标准附录 F 给出检验批变异系数推定上限。样本换算强度平均值、样本换算强度标准差和样本变异系数应按下式计算；

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (4.2.10-1)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c - m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (4.2.10-2)$$

$$\delta_{f_{cu}^c} = s_{f_{cu}^c} / m_{f_{cu}^c} \quad (4.2.10-3)$$

式中：  $m_{f_{cu}^c}$ ——检验批测区混凝土抗压强度换算值的平均值，精确至 0.1MPa；

$n$ ——样本容量，取获得换算强度的测区总数或芯样总数；

$f_{cu,i}^c$ ——第  $i$  个测区或芯样部位混凝土抗压强度换算值，精确至 0.1MPa；

$s_{f_{cu}^c}$ ——检验批测区混凝土抗压强度换算值的标准差，精确至 0.01MPa；

$\delta_{f_{cu}^c}$ ——样本变异系数，精确至 0.01。

**4.2.11** 批量检测混凝土抗压强度时，检验批混凝土抗压强度推定区间上限值、下限值、上限与下限差值及其均值应按下式计算：

$$f_{cu,u} = m_{f_{cu}^c} - k_{0.05,u} s_{f_{cu}^c} \quad (4.2.11-1)$$

$$f_{cu,l} = m_{f_{cu}^c} - k_{0.05,l} s_{f_{cu}^c} \quad (4.2.11-2)$$

$$\Delta f_{cu,e} = f_{cu,u} - f_{cu,l} \quad (4.2.11-3)$$

$$m_{\Delta f} = \frac{f_{cu,u} + f_{cu,l}}{2} \quad (4.2.11-4)$$

式中：  $f_{cu,u}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间上限值，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,l}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间下限值，精确至 0.1MPa；

$\Delta f_{cu,e}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间上限与下限的差值，精确至 0.1MPa；

$m_{\Delta f}$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间上限与下限的均值，精确至 0.1MPa。

**4.2.12** 检验批混凝土抗压强度的推定应符合下列规定：

1 当推定区间上限与下限差值不大于 5.0MPa 和  $0.1m_{\Delta f}$  两者之间的较大值时，检验批混凝土抗压强度推定值可根据实际情况在推定区间内取值；

2 当推定区间上限与下限差值大于 5.0MPa 和  $0.1m_{\Delta f}$  两者之间的较大值时，宜采取下列措施之一进行处理，直至满足本条第 1 款的规定：

1) 增加样本容量，进行补充检测；

2) 细分检验批，进行补充检测或重新检测。

3 当推定区间上限与下限差值大于 5.0MPa 和  $0.1m_{\Delta f}$  两者之间的较大值且不具备本条第 2 款条件时，不宜进行批量检测推定；

4 工程质量检测时,当检验批混凝土抗压强度推定值不小于设计要求的混凝土抗压强度等级时,可判定检验批混凝土抗压强度符合设计要求;

5 结构性能检测时,当按结构设计表达式进行承载力评定时,可采用检验批混凝土抗压强度推定值;当需按抗力分项系数进行承载力评定时,可采用检验批混凝土抗压强度均值的推定值。

**4.2.13** 当推定区间上限与下限差值不满足要求但仍需批量检测推定时,推定值计算宜符合下列规定:

1 无可用既有信息时,可按下式计算:

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - k_{\gamma} s_{f_{cu}^c} \quad (4.2.13-1)$$

式中:  $f_{cu,e}$ ——混凝土抗压强度推定值;

$k_{\gamma}$ ——由非中心  $t$  分布函数导出的推定系数。

2 有可用既有信息时,可按下式计算:

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - t_{\nu} s_{f_{cu}^c} \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (4.2.13-2)$$

式中:  $f_{cu,e}$ ——推定值;

$t_{\nu}$ ——由  $t$  分布函数导出的推定系数。

**4.2.14** 当仅用于验证检验批混凝土抗压强度且采用钻芯法进行检测时,应符合下列规定:

1 芯样数量不少于 6 个;

2 芯样强度平均值不小于 1.15 倍设计强度等级对应的标准值,芯样强度最小值不小于 0.95 倍设计强度等级对应的标准值;

3 同时满足本条 1 款、2 款要求时,可建议采用设计值作为结构复核的依据。

### 4.3 混凝土劈裂抗拉强度检测

**4.3.1** 混凝土劈裂抗拉强度宜采用钻芯取样法进行检测。

**4.3.2** 混凝土劈裂抗拉强度的检测应符合下列规定:

1 芯样钻取、试件制作及试件试验状态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;

2 当检测结合面或施工缝粘结性能时,结合面或施工缝宜位于芯样直径剖面并贯穿试件长度,两条承压线彼此相对并应位于试件侧面的结合面或施工缝处,且承压线的不平整度应满足 100mm 长度范围内不大于 0.25mm;

3 劈裂试验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 的相关规定,且劈裂破坏面不应含有钢筋;

4 单个试件的劈裂抗拉强度应按下式计算:

$$f_{t,cor,i} = \frac{2F_i}{\pi \times d \times l} = 0.637 F_i / A_i \quad (4.3.2)$$

式中:  $f_{t,cor,i}$ ——第  $i$  个芯样试件劈裂抗拉强度,精确至 0.01MPa;

$F_i$ ——试件破坏荷载 (N);  
 $A_i$ ——试件劈裂面积 ( $\text{mm}^2$ );  
 $l$ ——试件高度 (mm);  
 $d$ ——劈裂面试件直径 (mm)。

**4.3.3** 单个构件混凝土劈裂抗拉强度应按下列规定进行检测和推定:

- 1 从构件上钻取芯样, 芯样位置宜均匀分布, 芯样数量不应少于 3 个;
- 2 应按本标准第 4.3.2 条的规定检测每个芯样试件的劈裂抗拉强度;
- 3 应分别给出芯样试件劈裂抗拉强度的平均值和最小值, 可用平均值作为该构件或区段混凝土劈裂抗拉强度的代表值, 宜用最小值作为该构件或区段混凝土劈裂抗拉强度的推定值。

**4.3.4** 批量检测混凝土劈裂抗拉强度宜符合现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的相关规定; 当已有混凝土抗压强度推定结果时, 可根据混凝土抗压强度推定值进行换算, 换算结果宜通过劈裂抗拉强度检测结果进行验证或修正。

**4.3.5** 当需要评价混凝土结合面或施工缝的粘结性能时, 应符合下列规定:

- 1 钻取 1 组不少于 3 个跨结合面或施工缝的试件作为检验组, 在对应位置的基体上钻取相同数量的试件作为对照组;
- 2 按本标准第 4.3.2 条的规定进行试验, 并应分组计算劈裂抗拉强度平均值;
- 3 应根据两组平均值的比较结果进行评价。

**4.3.6** 当无法取得跨结合面或施工缝试件当仍需评价混凝土结合面粘结性能时, 宜符合下列规定:

- 1 在基体上钻取 3 个试件, 按本标准第 4.3.2 条的规定进行试验, 计算劈裂抗拉强度平均值;
- 2 将劈开混凝土试件的一侧劈开面清洗干净并保持湿润状态, 并将该侧试件垂直放入圆柱体试模一侧, 试件光面紧贴试模壁;
- 3 拌制新混凝土, 浇入已放置混凝土试块的试模中并振实;
- 4 试件达到养护龄期时取出, 按本标准第 4.3.2 条的规定, 将粘结面作为劈裂面, 进行新老混凝土粘结强度的测试;
- 5 在 6 块试件测值中, 应剔除最大值和最小值, 以其余 4 个测值的平均值作为该组试件的粘结强度值;
- 6 可根据两组平均值的比较结果进行评价。

## **4.4 混凝土抗折强度检测**

**4.4.1** 混凝土抗折强度宜采用取样法检测, 取样法检测可分为钻芯劈裂法、钻芯试件法和切割试件法。

**4.4.2** 钻芯劈裂法检测混凝土抗折强度应符合下列规定:

- 1 应按本标准第 4.3 节的规定, 检测混凝土劈裂抗拉强度;
- 2 混凝土抗折强度宜按下式换算:

$$f_{f,i} = a f_{t,i}^b \quad (4.4.2)$$

式中:  $f_{f,i}$ ——第*i*个试件抗折强度换算值, 精确至 0.1MPa;

$f_{t,i}^b$ ——第*i*个试件劈裂抗拉强度检测值, 精确至 0.1MPa;

$a, b$ ——换算系数。

**4.4.3** 钻芯试件法检测混凝土抗折强度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。

**4.4.4** 切割试件法检测混凝土抗折强度应符合下列规定:

1 从混凝土实体中切割混凝土试样, 选择无缺陷的试样加工成截面为 100mm×100mm、长度为 400mm 的试件, 试件中不应含有纵向钢筋;

2 应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定进行抗折试验, 检测试件抗折破坏荷载;

3 当试件的下边缘断裂位置处于两个集中荷载作用线之间时, 试件的抗折强度应按下式计算:

$$f_{f,i} = \frac{\beta_i \times F_i \times l}{bh^2} \quad (4.4.4)$$

式中:  $f_{f,i}$ ——试件抗折强度, 精确至 0.1MPa;

$F_i$ ——试件破坏荷载 (N);

$\beta_i$ ——尺寸换算系数, 可取 0.85;

$l$ ——支座间跨度 (mm);

$b$ ——试件截面宽度 (mm);

$h$ ——试件截面高度 (mm)。

**4.4.5** 单个构件混凝土抗折强度应按下列规定进行检测和推定:

1 应在构件上切割或钻取试件, 试件数量不应少于 3 个;

2 应按本标准第 4.4.2 条~第 4.4.4 条的规定检测每个试件的抗折强度;

3 应分别给出混凝土抗折强度的平均值和最小值, 可用平均值作为该构件混凝土抗折强度的代表值, 宜用最小值作为该构件混凝土抗折强度的推定值。

**4.4.6** 检验批混凝土抗折强度可按本标准第 3.4.9 条的规定进行推定; 用于公路工程质量评价时, 应按现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1 进行评定。

## 4.5 混凝土静力受压弹性模量检测

**4.5.1** 结构性能检测时, 混凝土静力受压弹性模量应采用取样法进行检测。

**4.5.2** 混凝土静力受压弹性模量的取样法检测应符合下列规定:

1 应将混凝土强度等级相同、质量状况相近的构件划为一个检验批;

2 应在检验批中随机钻取芯样, 芯样数量不应少于 6 个, 芯样直径应不小于 100mm 且不宜小于骨料最大粒径 3 倍, 芯样高度与直径之比应大于 2;

3 应将芯样加工成试件, 试件加工精度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 的相关要求；

4 混凝土轴心抗压强度宜采用钻芯法检测，可采用混凝土抗压强度进行换算；

5 静力受压弹性模量和轴心抗压强度试验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 的相关规定。

**4.5.3** 钻芯法检测混凝土轴心抗压强度应符合下列规定：

1 应将芯样加工成试件，试件加工精度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 的相关要求；

2 有效试件数量应为 6 个；

3 轴心抗压强度值可按下列公式计算：

$$f_{cp} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 f_{c,i} \quad (4.5.3)$$

式中： $f_{cp}$ ——控制荷载的轴心抗压强度值，精确至 0.1MPa；

$f_{c,i}$ ——第*i*个试件轴心抗压强度值，精确至 0.1MPa。

**4.5.4** 采用混凝土抗压强度进行换算时，轴心抗压强度值可按下列公式计算：

$$f_{cp} = 0.76 m_{f_{cu}^c} \quad (4.5.4)$$

式中： $f_{cp}$ ——控制荷载的轴心抗压强度值，精确至 0.1MPa；

$m_{f_{cu}^c}$ ——换算强度平均值，精确至 0.1MPa。

**4.5.5** 混凝土在检测龄期受压弹性模量的推定应符合下列规定：

1 当试件的轴心抗压强度值与用以确定检验控制荷载的轴心抗压强度值相差超过后者的 20%时，剔除该试件的静力受压弹性模量；

2 计算余下全部试件静力受压弹性模量的平均值；

3 以此平均值作为混凝土在检测龄期静力受压弹性模量的推定值。

## 4.6 缺陷与性能劣化区混凝土力学性能参数检测

**4.6.1** 缺陷与性能劣化区混凝土力学性能参数应采用钻芯法进行检测。

**4.6.2** 应将缺陷与劣化进行归类并在每个类别中选取典型部位进行检测，应提供单一测位的测试值和所有测位测试值的平均值。

**4.6.3** 当需要确定缺陷与性能劣化区混凝土力学性能参数下降量时，可采取在正常区域取样比对的方法，可根据本标准附录 A 的规定进行评价。

## 5 混凝土长期性能和耐久性能检测

### 5.1 一般规定

5.1.1 混凝土抗渗性能、抗冻性能、抗氯离子渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能可采用取样法进行检测。

5.1.2 取样检测结构混凝土长期性能和耐久性能时，芯样最小直径应符合表5.1.2的规定：

表 5.1.2 芯样最小直径（mm）

|        |      |      |      |
|--------|------|------|------|
| 骨料最大粒径 | 31.5 | 40.0 | 63.0 |
| 最小直径   | 100  | 150  | 200  |

5.1.3 应按环境条件和构件性状进行归类，取样位置宜在受检区段内随机选取，取样点应布置在无缺陷的部位。当受检区域存在明显劣化迹象时，取样深度应考虑劣化层的厚度。

5.1.4 当委托方有要求时，可对特定部位的混凝土长期性能和耐久性能进行专项检测。

5.1.5 当检测结果用于施工质量评价时，应预先进行约定。

### 5.2 取样法检测混凝土抗渗性能

5.2.1 取样法检测混凝土抗渗性能可分为逐级加压法和渗水高度法，芯样钻取与处理应符合下列规定：

- 1 每个受检区段取样不宜少于1组，每组宜由不少于6个直径为150mm的芯样构成；
- 2 芯样的钻取方向宜与实际承受水压的方向一致；
- 3 宜将内部无明显缺陷的芯样加工成符合现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082有关规定的抗渗试件，每组抗渗试件为6个。

5.2.2 逐级加压法检测混凝土抗渗性能应符合下列规定：

- 1 应将同组的6个抗渗试件置于抗渗仪上进行封闭；
- 2 应按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的逐级加压法对同组试件进行抗渗性能的检测；
- 3 当6个试件中的3个试件表面出现渗水或加至规定压力在8h内出现表面渗水的试样少于3个时可停止试验，并应记录此时的水压力 $H$ ，精确至0.1MPa。

5.2.3 混凝土在检测龄期实际抗渗等级的推定值可按下式计算：

1 当停止试验时，6个试件中有2个试件表面出现渗水，该组混凝土抗渗等级推定值可按下式计算：

$$P_e = 10H \quad (5.2.3-1)$$

2 当停止试验时，6个试件中有3个试件表面出现渗水，该组混凝土抗渗等级推定值可按下式计算：

$$P_e = 10H - 1 \quad (5.2.3-2)$$

3 当停止试验时，6个试件中少于2个试件表面出现渗水，该组混凝土抗渗等级推定值可

按下式计算：

$$P_e > 10H \quad (5.2.3-3)$$

式中：  $P_e$ ——结构混凝土在检测龄期实际抗渗等级的推定值；

$H$ ——停止试验时的水压力（MPa）。

4 可通过抗渗等级推定值与规定值的比较进行施工质量的符合性评价。

**5.2.4** 渗水高度法检测混凝土抗渗性能应符合下列规定：

1 应将同组的6个抗渗试件分别压入试模并进行可靠密封；

2 应按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的渗水高度法对同组试件进行抗渗性能的检测；

3 稳压过程中应随时注意观察试件端面的渗水情况；

4 当某一个试件端面出现渗水时，应停止该试件试验并记录时间，此时该试件的渗水高度应为试件高度；

5 当端面未出现渗水时，24h后应停止试验，取出试件。将试件沿纵断面对中劈裂为两半，用防水笔描出渗水轮廓线；并应在芯样劈裂面中线两侧各60mm的范围内，用钢尺沿渗水轮廓线等间距量测10点渗水高度，读数精确至1mm；当读数遇到某测点被骨料阻挡时，可将靠近骨料两端的渗水高度算术平均值作为该测点的渗水高度；

6 单个试件渗水高度应按下式计算：

$$\bar{h}_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} h_j}{10} \quad (5.2.4-1)$$

式中：  $h_j$ ——第*i*个试件第*j*个测点处的渗水高度（mm）；

$\bar{h}_i$ ——第*i*个试件平均渗水高度（mm）；当某一个试件端面出现渗水时，该试件的平均渗水高度为试件高度；

7 一组试件渗水高度检测值应按下式计算：

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^6 \bar{h}_i}{6} \quad (5.2.4-2)$$

8 相对渗透系数应按下式计算：

$$S_k = \frac{m\sqrt{\bar{h}}}{2HT} \quad (5.2.4-3)$$

式中：  $S_k$ ——相对渗透系数（mm/h）；

$H$ ——水压力，以水柱高度表示（mm）；

$T$ ——恒压经历的时间（h）；

$m$ ——混凝土吸水率，一般取0.03。

**5.2.5** 当委托方有要求时，可按上述方法对缺陷、疏松处混凝土的实际抗渗性能进行测试，每组抗渗试件可少于6个，但不应少于3个，并提供每个试件的检测结果。

### 5.3 取样慢冻法检测混凝土抗冻性能

**5.3.1** 取样慢冻法检测混凝土抗冻性能时，取样和试样的处理应符合下列规定：

1 在受检区段随机布置取样点,每个受检区段取样不应少于1组,每组应由不少于6个直径不小于100mm且长度不小于直径的芯样组成;

2 将无明显缺陷的芯样加工成高径比为1.0的抗冻试件,每组应由6个抗冻试件组成;

3 将6个试件同时放在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 水中,浸泡4天后取出3个试件开始慢冻试验,余下3个试件用于强度比对,继续在水中养护。

### 5.3.2 慢冻试验应符合下列规定:

1 应将浸泡好的试样用湿布擦除表面水分,编号并分别称取其质量;

2 应按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082慢冻法的有关规定进行冻融循环试验;

3 在每次循环时应注意观察试样的表面损伤情况,当发现损伤时应称量试样的质量;

4 当3个试件的质量损失率的算术平均值为 $5\%\pm 0.2\%$ 或冻融循环超过预期的次数时应停止试验,并应记录停止试验时的循环次数;

5 试件平均质量损失率应按下列式计算:

$$\Delta w = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{W_{0i} - W_{ni}}{W_{0i}} \times 100 \quad (5.3.2)$$

式中:  $\Delta w$ —— $N$ 次冻融循环后的平均质量损失率,精确至0.1%;

$W_{ni}$ —— $N$ 次冻融循环后第 $i$ 个芯样的质量(g);

$W_{0i}$ ——冻融循环试验前第 $i$ 个芯样的质量(g)。

### 5.3.3 抗压强度损失率应按下列规定检测:

1 应将3个冻融试件与3个对比试件晾干,同时进行端面修整,并使6个试件承压面的平整度、端面平行度及端面垂直度符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定;

2 检测试件的抗压强度,应分别计算3个冻融试件与3个对比试件的平均抗压强度;

3 冻融循环试件的抗压强度损失率应按下列式计算:

$$\lambda_f = (f_{\text{cor,d,m0}} - f_{\text{cor,d,m}}) / f_{\text{cor,d,m0}} \quad (5.3.3)$$

式中:  $\lambda_f$ —— $N_f$ 次冻融循环后的混凝土抗压强度损失率,精确至0.1%;

$f_{\text{cor,d,m0}}$ ——3个对比试件的平均抗压强度,精确至0.1MPa;

$f_{\text{cor,d,m}}$ —— $N_f$ 次冻融循环后3个冻融试件的平均抗压强度,精确至0.1MPa。

### 5.3.4 取样慢冻法混凝土抗冻性能可按下列规定进行评价:

1 当 $\lambda_f$ 不大于0.25时,可以停止冻融循环时的冻融循环次数 $N_d$ 作为结构混凝土在检测龄期实际抗冻性能的检测值 $N_{d,e}$ ;

2 当 $\lambda_f$ 大于0.25时, $N_{d,e}$ 可按下列式计算:

$$N_{d,e} = 0.25 N_d / \lambda_f \quad (5.3.4)$$

## 5.4 取样快冻法检测混凝土抗冻性能

### 5.4.1 取样快冻法检测混凝土抗冻性能时,取样和试样的处理应符合下列规定:

1 快冻法检测混凝土抗冻性能芯样试件直径不宜小于100mm,且按芯样高径比分为标

准和非标准芯样试件：标准芯样试件高径比不应小于4，非标准芯样试件高径比不应小于1、不应大于4；当最大骨料粒径大于25mm时，非标准芯样试件不应用于检测混凝土抗冻性能试验；

2 在受检区域随机布置取样点，每个受检区域钻取芯样数量不应少于3个，当采用非标准试件时应在受检区域加取直径75mm芯样作为对比试样，且不应少于3个；

3 将无明显缺陷的芯样加工成高径比不小于1的抗冻试件，每组应由3个抗冻试件组成；

4 测温试件应采用混凝土快冻法试验测温试件标准样品，测温试件的冻融介质应与试验试件的冻融介质一致；

5 应将3个抗冻试件浸泡4天后进行快冻试验。

#### 5.4.2 快冻试验应符合下列规定：

1 擦除浸泡好试件的表面水分，采用标准芯样试件时，应称取其质量和检测动弹性模量，采用非标准芯样试件时，应称取其质量；

2 应按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082快冻法的规定进行冻融循环试验、动弹模和质量损失率的检测；

3 若经冻融循环试验后的非标准芯样试件表面还未疏松剥落，尚应测定抗压强度损失率，测试方法应符合下列规定：

1) 将3个冻融试件晾干后钻取直径75mm芯样，与另外3个对比试件同时进行端面修整，并使6个试件符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定；

2) 检测试件的抗压强度，应分别计算3个冻融试件与3个对比试件的平均抗压强度；

3) 根据本标准公式(5.3.3)计算抗压强度损失率。

4 当出现下列情况之一时应停止试验：

1) 冻融循环次数超过预期次数；

2) 标准芯样试件相对动弹性模量小于60%；

3) 试件质量损失率达到5%；

4) 非标准芯样试件抗压强度损失率大于25%。

#### 5.4.3 试件相对动弹性模量应按下列公式计算：

$$P = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{f_{ni}^2}{f_{0i}^2} \times 100 \quad (5.4.3)$$

式中：P——经N次冻融循环后一组试件的相对动弹性模量（%），精确至0.1；

$f_{ni}$ ——经N次冻融循环后第i个芯样试件横向基频（Hz）；

$f_{0i}$ ——冻融循环试验前测得的第i个试件横向基频初始值（Hz）。

#### 5.4.4 试件质量损失率应按下列公式计算：

$$\Delta w = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{W_{0i} - W_{ni}}{W_{0i}} \times 100 \quad (5.4.4)$$

式中： $\Delta w$ ——经N次冻融循环后一组试件的平均质量损失率（%），精确至0.1；

$W_{ni}$ ——经N次冻融循环后第i个试件质量（g）；

$W_{0i}$ ——冻融循环试验前测得的第i个试件质量（g）。

**5.4.5** 混凝土在检测龄期实际抗冻性能的检测值可采取下列方法表示：

- 1 用符号 $F_e$ 后加停止冻融循环时对应的冻融循环次数表示；
- 2 用抗冻耐久性系数表示，抗冻耐久性系数推定值可按下式计算：

$$DF_e = P \times N_d / 300 \quad (5.4.5)$$

式中： $DF_e$ ——混凝土抗冻耐久性系数推定值；

$N_d$ ——停止试验时冻融循环的次数。

## 5.5 氯离子渗透性能检测

**5.5.1** 混凝土抗氯离子渗透性能可采用快速氯离子迁移系数法和电通量法检测。

**5.5.2** 采用快速检测氯离子迁移系数法时，取样与测试应符合下列规定：

- 1 在受检区域随机布置取样点，每个受检区域取样不应少于1组；每组应由3个直径100mm且长度不小于100mm的芯样组成；
- 2 将无明显缺陷的芯样从中间切成两半，加工成2个高度为 $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的试件，分别标记为内部试件和外部试件；将3个内部试件作为一组，对应的3个外部试件作为另一组；
- 3 按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的有关规定分别对两组试件进行试验，应将中间切割面作为暴露于氯离子溶液中的测试面；
- 4 以每组的均值作为该组氯离子迁移系数测定值；
- 5 当两组氯离子迁移系数测定值相差不超过15%时，应以两组平均值作为结构混凝土在检测龄期氯离子迁移系数推定值。
- 6 当两组氯离子迁移系数测定值相差超过15%时，应以分别给出两组氯离子迁移系数测定值，作为结构混凝土内部和外部在检测龄期氯离子迁移系数推定值。
- 7 可根据氯离子迁移系数推定值进行施工质量评价或耐久性能评定。

**5.5.3** 采用电通量法时，取样与测试应符合下列规定：

- 1 在受检区域随机布置取样点，每个受检区域取样不应少于1组；每组应由不少于3个直径100mm且长度不小于120mm的芯样组成；
- 2 应将无明显缺陷且无钢筋、无钢纤维等良导电材料的芯样从中间切成两半，加工成2个高度为 $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的试件，分别标记为内部试件和外部试件；将3个内部试件作为一组，对应的3个外部试件作为另一组；
- 3 应按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的有关规定分别对两组试件进行试验；
- 4 以每组的均值作为该组电通量测定值；
- 5 当两组电通量测定值相差不超过15%时，应以两组平均值作为结构混凝土在检测龄期电通量推定值。
- 6 当两组氯离子迁移系数测定值相差超过15%时，应以分别给出两组电通量测定值，作为结构混凝土内部和外部在检测龄期电通量推定值。
- 7 可根据电通量推定值进行施工质量评价或耐久性能评定。

## 5.6 抗硫酸盐侵蚀性能检测

5.6.1 取样检测抗硫酸盐侵蚀性能时，取样与测试应符合下列规定：

- 1 在受检区域随机布置取样点，每个受检区域取样不应少于1组；每组应由不少于6个直径不小于100mm且长度不小于直径的芯样组成；
- 2 应将无明显缺陷的芯样加工成6个高度为100mm±2mm的试件，取3个做抗硫酸盐侵蚀试验，另外3个作为抗压强度对比试件；
- 3 应按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082有关规定进行硫酸盐溶液干湿交替的试验；
- 4 当试件出现明显损伤或干湿交替次数超过预期的次数时，应停止试验，进行抗压强度检测，并应计算混凝土强度耐腐蚀系数。

5.6.2 抗压强度及抗压强度耐蚀系数应按下列规定检测：

- 1 将3个硫酸盐侵蚀试件与3个对比试件晾干，同时进行端面修整，使6个试件的承压面平整度、端面平行度及端面垂直度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的有关规定；
- 2 测试试件的抗压强度，应分别计算3个硫酸盐侵蚀试件和3个对比试件的抗压强度平均值；
- 3 抗压强度耐蚀系数应按下列公式计算：

$$K_f = \frac{f_{\text{cor,s,m}}}{f_{\text{cor,s,m0}}} \times 100 \quad (5.6.2)$$

式中： $K_f$ ——抗压强度耐蚀系数（%）；

$f_{\text{cor,s,m0}}$ ——3个对比试件的抗压强度平均值，精确至0.1MPa；

$f_{\text{cor,s,m}}$ ——3个硫酸盐侵蚀试件抗压强度平均值，精确至0.1MPa。

5.6.3 混凝土抗硫酸盐等级可按下列规定进行推定：

- 1 当抗压强度耐蚀系数在75%±5%范围内时，混凝土抗硫酸盐等级可用停止试验时的干湿循环次数表示；
- 2 当抗压强度耐蚀系数超过75%±5%范围时，混凝土抗硫酸盐等级可按下列公式计算：

$$N_{SR} = N_S \times K_f / 0.75 \quad (5.6.3)$$

式中： $N_{SR}$ ——推定的混凝土抗硫酸盐等级；

$N_S$ ——停止试验时的干湿循环次数。

- 3 可根据推定的混凝土抗硫酸盐等级进行施工质量评价或耐久性能评定。

## 6 有害物质含量及其作用效应检验

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 结构混凝土中的有害物质含量宜通过化学分析方法测定，有害物质或其反应产物的分布情况可通过岩相分析方法测定。

**6.1.2** 测定有害物质含量时，应将有害物质区分为混入和渗入两种类型。

**6.1.3** 受检区域应在现场查勘的基础上根据检测目的确定，受检区域中的构件应具有相同的环境类别、质量要求和相近的性状特征；当委托方有专门要求时，可由委托方指定。

**6.1.4** 工程质量检测时应在该区域中随机选取的构件上取样；结构性能检测时宜在该区域中重点选取的构件上取样。每个区域混凝土钻取芯样不应少于 3 个，芯样直径不应小于最大骨料粒径的两倍，且不宜小于 100mm，芯样长度宜贯穿整个构件，且不应小于 50mm。

**6.1.5** 当需要确定受检区域不同深度混凝土中有害物质含量时，可将钻取的芯样从外到里分层切割，分层厚度不宜大于 5mm，同一受检区域中的所有芯样分层切割规则应保持一致。

**6.1.6** 可按本标准附录 A 的规定对受检区域不同深度混凝土中有害物质含量的一致性进行检查。

**6.1.7** 对已确认存在有害物质时宜通过取样试验检验其对混凝土的作用效应，当确认存在的有害物质含量超过相关标准要求时，应通过取样试验确定其对混凝土的可能影响。通过取样检验有害物质对混凝土的作用效应时，宜在不怀疑存在有害物质的部位钻取芯样进行比对。

**6.1.8** 对某一特定部位进行评价时，宜在出现明显质量缺陷或损伤的位置取样，其检测结果不宜用于评价该部位以外的混凝土。

### 6.2 氯离子含量检测

**6.2.1** 混凝土中氯离子含量的检测宜区分为工程质量检测和结构性能检测。

**6.2.2** 工程质量检测应符合下列规定：

1 应确认实际采用的混凝土配合比；

2 应按本标准第 6.1.4 条的规定钻取芯样；

3 应将芯样以保护层厚度为中点切割成厚度不小于 40mm 的试样，去除试样中的石子，砸碎砂浆混合均匀，研磨至全部通过 0.075mm 的方孔筛，吸出试样中的金属铁屑，烘干后放入干燥器冷却至室温备用。

4 应按照现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 分别检测水溶性氯离子含量和酸溶性氯离子含量。

**6.2.3** 工程质量检测时检测结果的评定应符合下列规定：

1 水溶性氯离子含量宜按施工时有有效的国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 规

定的限值评定；

2 酸溶性氯离子含量宜按施工时有效的国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010规定的限值评定；

3 有约定时，可按现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 规定的限值评定；

4 存在争议时，应采用酸溶性氯离子含量评定结果。

**6.2.4** 结构性能检测应符合下列规定：

1 宜确认实际采用的混凝土配合比；

2 应按本标准第 6.1.4 条的规定钻取芯样；

3 应按本标准第 6.1.5 条的规定切割芯样，制成试样；

4 宜分别对每个试样制成砂浆粉末，可将同等深度的试样混合制成砂浆粉末，砂浆粉末的制备应符合本标准第 6.2.2 条的规定；

5 应按照现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 检测水溶性氯离子含量。

**6.2.5** 结构性能检测宜提供不同深度的检测结果，混凝土中氯离子含量的检测结果宜用混凝土中氯离子与胶凝材料质量百分比表示；可用混凝土中氯离子与胶凝材料质量百分比表示或单位体积中混凝土中氯离子含量表示。

**6.2.6** 混凝土中氯离子与胶凝材料的质量百分数可按下式计算：

$$P_{cl,t} = P_{cl,m} / \lambda_c \quad (6.2.6)$$

式中： $P_{cl,t}$ ——氯离子与胶凝材料的质量百分数；

$P_{cl,m}$ ——氯离子与试样的质量百分数；

$\lambda_c$ ——根据混凝土配合比确定的混凝土中胶凝材料与砂浆的质量比。

**6.2.7** 混凝土中氯离子与硅酸盐水泥的质量百分数可按下式计算：

$$P_{cl,t} = P_{cl,m} / \lambda_s \quad (6.2.7)$$

式中： $P_{cl,t}$ ——氯离子与胶凝材料的质量百分数；

$P_{cl,m}$ ——氯离子与试样的质量百分数；

$\lambda_s$ ——根据混凝土配合比确定的混凝土中硅酸盐水泥与砂浆的质量比。

### 6.3 碱含量检测

**6.3.1** 混凝土中碱含量的检测结果宜以单位体积混凝土中当量氧化钠含量表示。

**6.3.2** 混凝土碱含量测定所用试样的制备应符合本标准第 6.2.2 条的规定。

**6.3.3** 混凝土碱含量的检测应符合下列规定：

1 混凝土碱含量的检测操作应符合现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 的有关规定；

2 样品中氧化钾质量分数、氧化钠质量分数和氧化钠当量质量分数应按下式计算：

$$w_{K_2O} = \frac{m_{k_2o}}{m_s \times 1000} \times 100 \quad (6.3.3-1)$$

$$w_{Na_2O} = \frac{m_{Na_2O}}{m_s \times 1000} \times 100 \quad (6.3.3-2)$$

$$w_{Na_2Oeq} = w_{Na_2O} + 0.658w_{K_2O} \quad (6.3.3-3)$$

式中:  $w_{K_2O}$ ——样品中氧化钾的质量分数(%) ;

$w_{Na_2O}$ ——样品中氧化钠的质量分数(%) ;

$w_{Na_2O,eq}$ ——样品中当量氧化钠的质量分数,即样品的碱含量(%) ;

$m_{K_2O}$ ——100mL被检测溶液中氧化钾的含量(mg) ;

$m_{Na_2O}$ ——100mL被检测溶液中氧化钠的含量(mg) ;

$m_s$ ——样品的质量(g)。

3 样品中当量氧化钠质量分数的检测值应以3次测试结果的平均值表示;

4 单位体积混凝土中总碱含量应按下式计算:

$$m_{a,t} = \frac{\rho(m_{cor}-m_c)}{m_{cor}} \times \bar{w}_{Na_2Oeq} \quad (6.3.3-4)$$

式中:  $m_{a,t}$ ——单位体积混凝土中总碱含量(kg/m<sup>3</sup>) ;

$\rho$ ——芯样的密度(kg/m<sup>3</sup>),按实测值;无实测值时取2500 kg/m<sup>3</sup> ;

$m_{cor}$ ——芯样的质量(g) ;

$m_c$ ——芯样中骨料的质量(g) ;

$\bar{w}_{Na_2O,eq}$ ——样品中当量氧化钠质量分数的平均值(%)。

**6.3.4** 当混凝土中含有氯离子时,宜按本标准第6.2节的规定检测氯离子含量并对碱含量的检测值进行修正。

## 6.4 取样检验碱骨料反应的危害性

**6.4.1** 碱骨料反应的潜在危害性检测包括骨料碱活性检验法和试件膨胀率检验法。当发现混凝土存在碱骨料反应生成物、或混凝土碱含量超过相应限值、或对硬化混凝土中集料体积稳定性有异议时,宜采取骨料碱活性检验法或试件膨胀率检验法检验碱骨料反应引起的潜在危害。

**6.4.2** 骨料碱活性检验法应按下列步骤进行检验:

- 1 将钻取的芯样破碎后,挑出石子;
- 2 将3个芯样的石子充分混合后破碎,用筛筛取0.15mm~0.63mm的部分作试验用料;
- 3 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的有关规定检验骨料的膨胀率;
- 4 当骨料膨胀率小于0.1%时,可判定受检混凝土中骨料的膨胀率符合检验标准的规定;
- 5 当骨料膨胀率不小于0.1%时,宜取样检验试件膨胀率。

**6.4.3** 试件膨胀率检验法的取样及试样的加工应符合下列规定:

- 1 从受检区域随机钻取直径不小于75mm的芯样,芯样的长度不应小于275mm,芯样数量不应少于3个;

2 将无明显缺陷的芯样加工成长度为 $275\text{mm}\pm 3\text{mm}$ 的试样，并应在端面安装直径为 $5\text{mm}\sim 7\text{mm}$ 、长度为 $25\text{mm}$ 的不锈钢测头。

**6.4.4** 试件膨胀率应按下列规定检验：

1 按现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的有关规定进行检验；

2 单个试件的膨胀率可按下式计算：

$$\varepsilon_t = (L_t - L_0) / (L_0 - 2\Delta) \times 100 \quad (6.4.4)$$

式中： $\varepsilon_t$ ——试件在 $t$ 天的膨胀率，精确至 $0.001\%$ ；

$L_t$ ——试件在 $t$ 天的长度（mm）；

$L_0$ ——试件的基准长度（mm）；

$\Delta$ ——测头长度（mm）。

3 可以3个试件膨胀率的算术平均值作为该测试期的膨胀率检测值；

4 每次检测时应观察试件开裂、变形、渗出物和反应生成物及变化情况。

**6.4.5** 当检验周期超过52周且膨胀率小于 $0.04\%$ 时，可停止检验并判定受检混凝土未见碱骨料反应的潜在危害。

**6.4.6** 当出现下列情况之一且检验周期不超过52周时，可停止检验并判定受检混凝土存在碱骨料反应所引起的潜在危害。

1 混凝土试件膨胀率超过 $0.04\%$ ；

2 混凝土试件开裂或反应生成物大量增加。

## **6.5 取样检验游离氧化钙的危害性**

**6.5.1** 当安定性存在疑问的水泥用于混凝土结构后或混凝土外观质量检查发现可能存在游离氧化钙不良影响时，可采取取样检验的方法检验游离氧化钙引起的潜在危害。

**6.5.2** 检验所用试件的制备应符合下列规定：

1 按约定抽样方法在怀疑区域钻取混凝土芯样，芯样的直径为 $70\text{mm}\sim 100\text{mm}$ ，同一部位同时钻取两个芯样，同一受检区域应取得不少于3组混凝土芯样；

2 在每个芯样上截取一个无外观缺陷、厚度为 $10\text{mm}$ 的薄片试件，同时将芯样加工成高径比为1.0的抗压试件，抗压试件不应存在钢筋或明显的外观缺陷。

**6.5.3** 试件的检测应符合下列规定：

1 将所有薄片和取自同一部位的2个抗压试件中的1个放入沸煮箱的试架上，调整好沸煮箱内的水位，使能保证在整个沸煮过程中都超过试件，在 $30\text{min}\pm 5\text{min}$ 内加热至沸腾，恒沸6h，关闭沸煮箱自然降至室温，沸煮箱应符合现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间与安定性检验方法》GB/T 1346规定；

2 对沸煮过的试件进行外观检查；

3 将沸煮过的抗压试件晾置3d，并与对应的未沸煮的抗压试件同时进行抗压强度测试；

4 每组试件抗压强度变化率和所有试件抗压强度变化率的平均值应按下列式计算：

$$\xi_{\text{cor},i} = (f_{\text{cor},i}^* - f_{\text{cor},i}) / f_{\text{cor},i}^* \times 100 \quad (6.5.3-1)$$

$$\xi_{\text{cor},m} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \xi_{\text{cor},i} \quad (6.5.3-2)$$

式中： $\xi_{\text{cor},i}$ ——第*i*组试件抗压强度变化率（%）；

$f_{\text{cor},i}$ ——第*i*组沸煮试件抗压强度（MPa）；

$f_{\text{cor},i}^*$ ——第*i*组未沸煮芯样试件抗压强度（MPa）；

$\xi_{\text{cor},m}$ ——试件抗压强度变化率的平均值（%）。

**6.5.4** 当沸煮试件的粗骨料没有明显的膨胀迹象时，可按下列规定判定游离氧化钙对混凝土的潜在危害：

- 1 有两个或两个以上沸煮试件（包括薄片试件和芯样试件）出现开裂、疏松或崩溃等现象；
- 2 试件抗压强度变化率的平均值大于 30%；
- 3 仅有一个薄片试件出现开裂、疏松或崩溃等现象，并有一组试件抗压强度变化率大于 30%。

## 6.6 取样检验氧化镁的危害性

**6.6.1** 当混凝土外观质量检查发现可能存在氧化镁不良影响时，可采取取样检验的方法检验是否存在氧化镁引起的潜在危害。氧化镁潜在危害性检测包括试件测长法和薄片压蒸法，宜采用上述两种方法同时进行。

**6.6.2** 混凝土骨料中氧化镁含量检验应符合下列规定：

- 1 按本标准第 6.1.4 条的规定从受检区域钻取芯样，将钻取的芯样破碎后，挑出粗骨料；
- 2 将 3 个芯样的粗骨料充分混合，用蒸馏水将粗骨料表面砂浆冲洗干净后置于 105℃±5℃烘箱中烘干，待样品温度降至室温后，将试样缩分至 30g，研磨至全部通过 0.08mm 的筛后置于干燥箱备用；
- 3 称取约 0.1g 样品按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 的有关规定检验氧化镁含量，宜采用原子吸收分光光度法。

**6.6.3** 检验所用试件的制备应符合下列规定：

- 1 按约定抽样方法在怀疑区域钻取直径 75mm 混凝土芯样，同一部位同时钻取两个芯样，其中一个芯样的长度不应小于 275mm，另外一个芯样长度不应小于 100mm，取样部位不应少于 3 个；
- 2 将较长无明显缺陷的芯样加工成长度为 275mm±3mm 的试样，并应在端面安装直径为 5mm~7mm、长度为 25mm 的不锈钢测头，标记芯样测定方向及编号；
- 3 将较短芯样从其外表面沿不同深度依次截取厚度为 10mm 的薄片试件，每个芯样截取薄片数不应少于 6 个。

**6.6.4** 试件测长法应符合下列规定：

- 1 将粘上测头的芯样测长试件置于温度 20℃±2℃、相对湿度 60%±5%条件下养护 7d 后测其初长，试件在测长前应将钉头擦拭干净，且每次测量上下位置应一致，读数时应左右

旋转试件，待千分表指针稳定时读数  $L_0$ ，记录应精确至 0.001mm，测量前及完成后均应用校准杆校正比长仪千分表零读数，若有变动，试件应重新测量；

2 将测长试件置于沸煮箱的试架上，按照本标准第 6.5.3 条第 1 款的规定进行试验；

3 取出试件并观察表面是否出现开裂、疏松或崩溃等现象，将试件置于  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  水中养护；

4 待养护至 96h 后，将试件置于压蒸釜中，间距不应小于 10mm，釜内应加入足量蒸馏水，且不与试件接触，蒸馏水应符合现行国家标准《分析实验室用水规格和试验方法》GB/T 6682 三级水的规定；

5 打开压蒸釜排气阀和电热器以及压力控制系统，观察是否釜腔内热气从排气阀排出，直至有连续蒸汽排出后关闭排气阀；

6 打开压蒸釜升温装置，记录其升温升压过程，经 65min~95min 使釜内压力达到  $2.0\text{MPa} \pm 0.1\text{MPa}$ ，并在该压力下持续 6h 后关闭电加热器，打开散热孔，在 90min 内将釜内压力降低至 0.1MPa，然后打开排气阀排出釜内剩余蒸汽，压蒸釜操作还应符合现行国家标准《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750 规定；

7 打开压蒸釜取出试件后立即置于  $90^{\circ}\text{C}$  以上热水中，水槽高度应高于 3 倍的试件高度，然后在热水中注入常温水，且不应直接冲淋试件表面。在 15min 内使水温降至  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，恒温 1h 后取出试件，待表面水分干燥后观察表面是否出现开裂、疏松或崩溃等现象，测定试件长度  $L_1$ ，记录应精确至 0.001mm；

8 按本标准公式 (6.4.4) 计算试件膨胀率，取所有试件的平均值作为试验结果，精确至 0.001%；当有 1 个或 1 个以上膨胀率不小于 0.04%，取最大值作为试验结果。

#### 6.6.5 薄片压蒸法应符合下列规定：

1 将试件置于压蒸釜中，间距不应小于 10mm，釜内应加入足量蒸馏水，且不与试件接触，蒸馏水应符合现行国家标准《分析实验室用水规格和试验方法》GB/T 6682 三级水的规定；

2 按本标准第 6.6.4 条第 5、6 款的规定进行检验，待压蒸釜冷却至室温后，打开压蒸釜观察薄片表面是否出现骨料粉化、严重变形、反应环或薄片开裂等现象。

#### 6.6.6 当出现下列情况之一时，可判定氧化镁对混凝土质量存在潜在危害：

1 有两个或两个以上薄片试件压蒸过程中试件出现骨料出现粉化、严重变形、反应环或薄片开裂等现象；

2 有一个或一个以上测长试件在沸煮或压蒸过程中试件出现开裂、疏松或崩溃等现象；

3 测长试件膨胀率不小于 0.04%。

## 7 混凝土构件缺陷检测

### 7.1 一般规定

7.1.1 混凝土构件缺陷检测宜分为外部缺陷检测和内部缺陷检测。

7.1.2 混凝土缺陷检测应关注墙及柱的根部、梁柱节点区、施工缝及后浇带部位。

### 7.2 外部缺陷检测

7.2.1 外部缺陷宜按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定进行分类并判定其严重程度。

7.2.2 现场检测时，宜对受检范围内构件进行全数检查；当不具备全数检查条件时，应注明未检查的构件或区域。

7.2.3 外部缺陷的相关参数可根据缺陷类型和特点按下列方法检测：

- 1 露筋长度可用钢尺或卷尺量测；
- 2 孔洞直径可用钢尺量测，孔洞深度可用游标卡尺量测；
- 3 蜂窝、疏松和夹渣的位置和范围可用钢尺或卷尺量测，可通过剔凿、成孔等方法量测深度；
- 4 麻面、掉皮、起砂的位置和范围可用钢尺或卷尺测量；
- 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 缺棱掉角、翘曲不平等外形缺陷的位置和范围可用钢尺、塞尺、角度尺等测量；
- 7 可采用数字图像法对混凝土构件外部缺陷进行非接触检测，数字图像法检测外部缺陷宜按本标准附录G的规定进行。

7.2.4 外部缺陷应按缺陷类别进行分类汇总，汇总结果可用列表或图示的方式表述并宜反映外部缺陷在受检范围内的分布特征，典型缺陷宜用照片或图描述。

### 7.3 内部缺陷检测

7.3.1 对怀疑存在内部缺陷的构件或区域宜进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列构件或部位进行检测：

- 1 主要承重构件或部位；
- 2 外部缺陷严重的构件或部位。

7.3.2 混凝土构件内部缺陷可采用超声法、相控阵超声成像法、冲击回波法和雷达法进行现场检测，应根据现场检测条件、受检构件特点和内部缺陷形态选择检测方法，宜采用两种或两种以上的检测方法，对于判别困难的区域应进行钻芯验证或剔凿验证。

7.3.3 对混凝土内部缺陷进行无损检测时，混凝土测试表面应平整、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。

**7.3.4** 冲击回波法检测混凝土内部缺陷,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 的有关规定。

**7.3.5** 雷达法检测混凝土内部缺陷,应符合现行行业标准《雷达法检测混凝土结构技术标准》JGJ/T 456 的有关规定。

**7.3.6** 超声法检测混凝土构件内部缺陷应符合下列规定:

- 1 应根据检测要求和现场操作条件,确定缺陷测试部位;
- 2 混凝土内部缺陷检测宜选择厚度振动式换能器,换能器的标称频率宜为50kHz~250kHz;根据检测需要选择径向振动式换能器时,换能器的标称频率宜为20kHz~60kHz;
- 3 在满足接收首波可识别的条件下,应选择较高频率的换能器;
- 4 换能器应通过耦合剂与混凝土测试表面保持紧密结合,耦合层内不应夹杂泥沙或空气;
- 5 采用厚度振动式换能器时,测点应网格状布置,相邻测点水平、竖向间距宜为50mm~300mm;测点距构件边缘最小距离宜不小于100mm;采用径向振动式换能器时,测点在高度方向上相邻距离宜为100mm~500mm,在水平方向上相邻距离宜为500mm~3000mm;
- 6 检测时应避免超声传播路径与内部钢筋轴线平行,当无法避免时,应使测线与该钢筋的最小距离不小于超声测距的1/6;
- 7 应根据测距大小和混凝土外观质量,设置仪器发射电压、采样频率等参数,检测同一测位时,仪器参数宜保持不变;
- 8 应读取并记录首波完整波形、声时、波幅和主频值等声学参数;
- 9 检测中出现可疑数据时应及时查找原因,除复检和再次判定外,可通过钻芯取样或采用内窥镜检查验证。

**7.3.7** 超声法检测混凝土构件内部不密实区可按本标准附录 H 的规定进行。

**7.3.8** 超声法检测混凝土构件裂缝深度可按本标准附录 J 的规定进行。

**7.3.9** 相控阵超声成像法检测混凝土构件内部缺陷时,声学参数的测量应符合下列规定:

- 1 应根据检测要求和现场操作条件,确定测位;
- 2 测位混凝土表面应清洁、平整,必要时可用砂轮磨平或用高强度快凝砂浆抹平,抹平砂浆应与待测混凝土良好粘结;
- 3 在检测前,应对混凝土结构中超声波脉冲速度进行标定,并输入相控阵超声检测仪作为参考声速;
- 4 换能器应通过耦合剂与混凝土测试表面保持紧密结合,耦合层内不应夹杂泥沙或空气,干耦合换能器应与混凝土测试表面保持紧密结合;
- 5 应根据测距大小和混凝土外观质量,设置仪器发射电压、采样频率、增益等参数,检测同一测位时,仪器参数宜保持不变;
- 6 应读取并记录相控阵成像图;
- 7 检测中出现可疑数据时应及时查找原因,必要时应进行复测校核。

**7.3.10** 相控阵超声成像法检测混凝土内部缺陷可按本标准附录 K 的规定进行。

**7.3.11** 混凝土构件内部缺陷检测应提供有关测位的选择方式、位置、外观质量描述以及缺陷的性质和分布特征等信息。

## 8 构件布置、截面尺寸与变形检测

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 构件布置、截面尺寸与变形检测时，应采取避让、修正等措施消除构件表面局部缺陷或表面覆盖层等造成的影响；变形检测时应考虑设计要求的原始状态。

**8.1.2** 工程质量检测时，允许偏差和变形限值应符合施工时有效的国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定。

**8.1.3** 抽样和判别宜符合本标准第3.4.5条、第3.4.6条的规定；满足适用条件且有约定时，可根据施工时有效的国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204进行抽样和判别。

**8.1.4** 当怀疑变形与地基沉降存在相关性时，应进行地基沉降检测；地基沉降检测应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8的有关规定。

### 8.2 构件布置检测

**8.2.1** 构件位置检测前，应取得或测得定位轴线图。

**8.2.2** 单个构件位置检测应符合下列规定：

- 1 宜以构件截面形心位置作为水平位置代表值；
- 2 宜分别给出实测形心位置在纵、横两个方向与规定位置的偏差；
- 3 工程质量检测时，应将偏差较大者与偏差允许值进行比较并给出符合性评价。

**8.2.3** 构件位置偏差的批量检测应符合下列规定：

- 1 宜按楼层、结构缝或施工段划分检验批；
- 2 在检验批中随机选取构件，按本标准第3.4.5条的规定确定受检构件数量；
- 3 按本标准第8.2.2条的规定对每个受检构件进行检测，并逐个进行符合性评价
- 4 工程质量检测时，检验批构件位置宜按本标准第3.4.6条的规定进行符合性判定。

**8.2.4** 结构性能检测时，检测批构件位置的推定应符合下列规定：

- 1 当检验批判定为符合且受检构件位置偏差最大值不大于偏差允许值1.5倍时，可将设计位置作为该批构件位置的推定值；
- 2 当检验批判定为不符合或检验批判定为符合但受检构件的位置偏差最大值大于偏差允许值1.5倍时，宜全数检测或重新划分检验批进行检测；
- 3 当不具备全数检测或重新划分检验批检测条件时，宜以最不利检测值作为该批构件或区域位置偏差的推定值。

### 8.3 构件截面尺寸检测

**8.3.1** 单个构件截面尺寸的检测应符合下列规定：

1 对于等截面构件和截面尺寸均匀变化的变截面构件，应分别在构件的中部和两端量取截面尺寸；对于其他变截面构件，应选取构件端部、截面突变位置量取截面尺寸；

2 工程质量检测时，应将每个测点的尺寸实测值与设计图纸规定的尺寸进行比较，计算每个测点的尺寸偏差值；应将偏差较大者与偏差允许值进行比较并给出符合性评价；

3 结构性能检测时，应将构件尺寸实测值作为该构件截面尺寸的代表值。

**8.3.2** 构件截面尺寸的批量检测应符合下列规定：

1 宜将同一楼层、结构缝或施工段中的同类型构件划为同一检验批；

2 在检验批中随机选取构件，按本标准第3.4.5条的规定确定受检构件数量；

3 按本标准第8.3.1条的规定对每个受检构件进行检测，并逐个进行符合性评价；

4 工程质量检测时，检验批构件截面尺寸应按本标准第3.4.6条的规定进行符合性判定。

**8.3.3** 结构性能检测时，检验批构件截面尺寸的推定应符合下列规定：

1 当检验批判定为符合且受检构件的尺寸偏差最大值不大于偏差允许值1.5倍时，可将设计值作为该批构件的推定值；

2 当检验批判定为不符合或检验批判定为符合但受检构件的尺寸偏差最大值大于偏差允许值1.5倍时，宜全数检测或重新划分检验批进行检测；

3 当不具备全数检测或重新划分检验批检测条件时，宜以最不利检测值作为该批构件尺寸的推定值。

## **8.4 构件倾斜检测**

**8.4.1** 构件倾斜检测时宜对受检范围内存在目测倾斜变形的构件进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列构件进行检测：

1 主要承重构件；

2 轴压比较大的构件；

3 偏心受压构件；

4 目测倾斜较大的构件。

**8.4.2** 构件倾斜检测应符合下列规定：

1 构件倾斜可采用经纬仪、全站仪、激光准垂仪或悬挂吊锤的方法检测；

2 宜沿截面中点布设的同一竖直线分别布设顶部测点和底部对应点；当观测条件受限时，可宜沿截面中点布设的同一竖直线分别布设上部测点和下部对应点，应对局部倾斜检测结果按构件全高进行修正；

3 宜分别检测构件在垂直相交轴线方向的倾斜，并提供各个方向的倾斜值及倾斜率，必要时，应提供倾斜的矢量和及其方向。

**8.4.3** 工程质量检测时，应以各轴线方向倾斜值的较大值作为符合性判断的依据。

**8.4.4** 结构性能检测时，应在承载力验算时考虑各轴线方向倾斜的影响，或以各轴线方向倾斜的最大值作为构件性能评定依据。

**8.4.5** 结构整体倾斜检测应符合下列规定：

1 宜选取所有外墙阳角棱线，分别检测每条棱线两个轴线方向上的倾斜；

- 2 宜在结构平面示意图中标注各棱线顶部测点相对于底部对应的倾斜方向和倾斜值；
- 3 必要时宜给出棱线不同高度的倾斜值；
- 4 可采用水准测量，通过测定差异沉降来计算倾斜值及倾斜方向。

## 8.5 构件挠度检测

**8.5.1** 构件挠度检测时宜对受检范围存在挠度变形的构件进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列构件进行检测：

- 1 主要承重构件；
- 2 跨度较大的构件；
- 3 外观质量差或损伤严重的构件；
- 4 挠度较大的构件。

**8.5.2** 构件挠度检测应符合下列规定：

- 1 构件挠度可采用全站仪、水准仪或拉线的方法进行检测；
- 2 检测时应提供跨中最大挠度值和受检构件的计算跨度值；当需要得到受检构件挠度曲线时，应沿跨度方向等间距布置不少于5个测点。

**8.5.3** 结构性能检测时，应以构件实测挠度值作为构件性能评定依据。

## 8.6 构件裂缝检测

**8.6.1** 构件裂缝检测时宜对受检范围内存在裂缝的构件进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列构件进行检测：

- 1 主要承重构件；
- 2 裂缝较多或裂缝宽度较大的构件；
- 3 存在变形的构件。

**8.6.2** 单个构件裂缝检测应符合下列规定：

- 1 对构件上存在的裂缝宜进行全数检查，并记录裂缝的长度、走向和位置；当构件存在的裂缝较多时，可用照片或示意图表示裂缝的分布特征；
- 2 对于目视较宽的裂缝，宜检测裂缝宽度；
- 3 必要时可选择较宽的裂缝采用超声法检测裂缝深度；宜采用局部钻孔、取芯、剔凿等方式对超声法检测结果进行验证；
- 4 对于处于变化中的裂缝宜进行监测。

**8.6.3** 构件裂缝监测应符合下列规定：

- 1 在裂缝最宽处宜跨裂缝布置裂缝宽度变化的观测标志，在裂缝两端位置做裂缝长度变化的观测标志；
- 2 跨裂缝布置的观测标志，应能够分别反映垂直裂缝方向和平行裂缝方向的变化量；
- 3 裂缝两端位置的观测标志，应能够反映裂缝末端的变化量；
- 4 裂缝宽度变化分析时，应考虑环境温度变化的影响；
- 5 裂缝监测的周期，应根据裂缝变化速度确定；当同期进行建筑物沉降观测时，裂缝监

测周期不宜少于沉降观测的周期。

**8.6.4** 混凝土裂缝应区分为受力裂缝和非受力裂缝，裂缝性质判别应符合下列规定：

- 1 宜按梁、板、墙分别绘制裂缝分布图；
- 2 宜根据分布特征、分布形态、边缘约束条件、变形等进行裂缝性质的判别；
- 3 当有可靠证据证明存在超载、冲击、地基沉降、基础上浮时，可根据裂缝与上述现象的关联性进行裂缝性质的判别；
- 4 当同时存在非受力作用和受力作用时，宜进行计算分析；
- 5 宜对裂缝原因进行分析。

**8.6.5** 受力裂缝原因分析应符合下列规定：

- 1 当裂缝与已知的超载、冲击、地基沉降、基础上浮等现象相关时，可直接进行原因分析；
- 2 当既有信息不足以直接分析原因时，应符合下列规定：
  - 1) 应选取典型构件，调查其历经的最大荷载和当下的实际荷载并检测其截面尺寸、混凝土强度、钢筋配置等参数；
  - 2) 宜分别按原设计参数和实测参数进行复核，并给出受拉边缘应力或正截面裂缝宽度复核结果；
  - 3) 当按原设计参数未通过复核时，裂缝原因可推定为设计不满足要求；
  - 4) 当按原设计参数通过复核但按实测参数未通过复核时，裂缝原因可推定为施工不满足要求；
  - 5) 当按原设计参数和实测参数均通过复核时，裂缝原因可推定为支撑不足、早期受荷或历经过载。
- 3 宜根据不同的原因提出处理建议。

## 9 混凝土中的钢筋检测

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 混凝土中的钢筋检测可分为钢筋数量和间距、混凝土保护层厚度、钢筋直径、钢筋力学性能、钢筋锈蚀状况、钢筋连接质量和钢筋应力状态等检测项目。

**9.1.2** 混凝土中的钢筋可采用间接法检测；采用间接法检测时，宜通过原位实测法或取样实测法进行验证并可根据验证结果进行适当的修正。

### 9.2 钢筋数量和间距检测

**9.2.1** 混凝土中钢筋数量和间距可采用钢筋探测仪或雷达仪进行检测，仪器性能和操作要求应符合现行行业标准《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152 的有关规定。

**9.2.2** 当遇到下列情况之一时，应采取剔凿验证的措施：

- 1 相邻钢筋过密，钢筋间最小净距小于钢筋保护层厚度；
- 2 混凝土（包括饰面层）含有或存在可能造成误判的金属组分或金属件；
- 3 钢筋数量或间距的检测结果与设计要求有较大偏差；
- 4 缺少相关验收资料。

**9.2.3** 检测梁、柱类构件主筋数量和间距时应符合下列规定：

- 1 应根据需要选择测位，测位应避开其他金属材料及较强的铁磁性材料，表面应清洁、平整；
- 2 应将构件测试面一侧所有主筋逐一检出，并在构件表面标注出每个检出钢筋的相应位置；
- 3 应测量和记录每个检出钢筋的相对位置；
- 4 可根据第一根钢筋和最后一根钢筋的位置，计算出钢筋的平均间距。

**9.2.4** 检测墙、板类构件钢筋数量和间距时应符合下列规定：

- 1 应根据需要选择测位，测位应避开其他金属材料及较强的铁磁性材料，表面应清洁、平整；
- 2 在每个测位连续检出 7 根钢筋，少于 7 根钢筋时应全部检出，并宜在构件表面标注出每个检出钢筋的相应位置；
- 3 应测量和记录每个检出钢筋的相对位置；
- 4 可根据第一根钢筋和最后一根钢筋的位置，计算出钢筋的平均间距；
- 5 必要时应计算钢筋的数量。

**9.2.5** 梁、柱类构件的箍筋可按本标准第 9.2.4 条的规定检测，当存在箍筋加密区时，宜将加密区内的箍筋全部测出。

**9.2.6** 单个构件的符合性判定应符合下列规定：

- 1 梁、柱类构件主筋实测根数少于设计根数时，该构件配筋应判定为不符合设计要求；
- 2 梁、柱类构件主筋的平均间距与设计要求的偏差大于相关标准规定的允许偏差时，该

构件配筋应判定为不符合设计要求；

3 墙、板类构件钢筋的平均间距与设计要求的偏差大于相关标准规定的允许偏差时，该构件配筋应判定为不符合设计要求；

4 梁、柱类构件的箍筋可按墙、板类构件钢筋进行判定。

**9.2.7** 批量检测钢筋数量和间距时应符合下列规定：

- 1 将设计文件中的同类构件作为一个检验批；
- 2 按本标准表 3.4.5 的规定确定抽检构件的数量；
- 3 随机选取受检构件；
- 4 按本标准第 9.2.3 条或第 9.2.4 条的规定对单个构件进行检测；
- 5 按本标准第 9.2.6 条的规定对受检构件逐一进行符合性判定。

**9.2.8** 对检验批符合性判定应符合下列规定：

1 根据检验批中受检构件的数量和其中不符合构件的数量应按本标准第 3.4.6 条的规定进行检验批符合性判定；

2 对于梁、柱类构件，检验批中一个构件的主筋实测根数少于设计根数，该批应直接判为不符合设计要求；

3 对于墙、板类构件，检验批中一个构件的钢筋间距偏差大于偏差允许值 1.5 倍时，该批应直接判为不符合设计要求；

4 对于判定为符合设计要求的检验批，宜采用设计的钢筋数量和间距进行结构性能评定；对于判定为不符合设计要求的检验批，宜细分检验批后重新检测或进行全数检测。当不能进行重新检测或全数检测时，宜采用最不利检测值进行结构性能评定。

### **9.3 混凝土保护层厚度检测**

**9.3.1** 混凝土保护层厚度宜采用钢筋探测仪进行检测，也可通过原位检测进行验证。

**9.3.2** 原位检测混凝土保护层厚度应符合下列规定：

- 1 采用钢筋探测仪确定钢筋的位置；
- 2 在钢筋位置上垂直于混凝土表面成孔，直至被测钢筋直径方向完全暴露，且沿钢筋长度方向不宜小于 2 倍钢筋直径；
- 3 以钢筋表面至构件混凝土表面的垂直距离作为该测点的保护层厚度测试值。

**9.3.3** 采用剔凿原位检测法进行验证时，应符合下列规定：

- 1 应采用钢筋探测仪检测混凝土保护层厚度；
- 2 在已测定保护层厚度的钢筋上进行剔凿验证，验证点数不应少于本标准表 3.4.5 中 A 类且不应少于 3 点；构件上能直接量测混凝土保护层厚度的点可计为验证点；
- 3 应将剔凿原位检测结果与对应位置钢筋探测仪检测结果进行比较，当混凝土保护层厚度为 10mm~50mm 两者的差异不超过 $\pm 1\text{mm}$ ，混凝土保护层厚度大于 50mm 两者的差异不超过 $\pm 2\text{mm}$  时，判定两个测试结果无明显差异；
- 4 当检验批有明显差异校准点数在本标准表 3.4.6-2 控制的范围之内时，可直接采用钢筋探测仪检测结果；
- 5 当检验批有明显差异校准点数超过本标准表 3.4.6-2 控制的范围时，应对钢筋探测仪

量测的保护层厚度进行修正；当不能修正时应采取剔凿原位检测的措施。

**9.3.4** 工程质量检测时，混凝土保护层厚度的抽检数量及合格判定规则，宜按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定执行。

**9.3.5** 结构性能检测时，检验批混凝土保护层厚度检测应符合下列规定：

1 应将混凝土保护层厚度相同的同类构件作为一个检验批，按本标准表 3.4.5 中 A 类确定受检构件的数量；

2 随机抽取构件，对于梁、柱类应对全部纵向受力钢筋混凝土保护层厚度进行检测；对于墙、板类应抽取不少于 6 根受力钢筋，少于 6 根钢筋时应全部检测，进行混凝土保护层厚度检测；

3 将各受检钢筋混凝土保护层厚度检测值按本标准第 3.4.9 条的规定计算均值推定区间；

4 当均值推定区间上限值与下限值的差值不大于其均值的 10% 时，该批钢筋混凝土保护层厚度检测值可按推定区间上限值或下限值确定；

5 当均值推定区间上限值与下限值的差值大于其均值的 10% 时，宜补充检测或重新划分检验批进行检测。当不具备补充检测或重新检测条件时，应以最不利检测值作为该检验批混凝土保护层厚度检测值。

## 9.4 混凝土中钢筋直径检测

**9.4.1** 工程质量检测时，宜采取取样称量法进行检测。结构性能检测时，混凝土中钢筋直径宜采用原位实测法检测，具备条件时也可采用 X 射线法检测；当需要取得钢筋截面积精确值时，应采取取样称量法进行检测或采取取样称量法对原位实测法进行验证。

**9.4.2** 取样称量法检测钢筋直径应符合下列规定：

1 确定待检测的钢筋位置，沿钢筋走向凿开混凝土保护层，截除长度不宜小于 300mm 的钢筋试件；

2 清理钢筋表面的混凝土，用 12% 盐酸溶液进行酸洗，经清水漂净后，用石灰水中和，再以清水冲洗干净。擦干后在干燥器中至少存放 4h，待钢筋表面晾干后用天平称重；

3 钢筋实际直径按下式计算：

$$d = 12.74 \sqrt{w/l} \quad (9.4.2-1)$$

式中： $d$ ——钢筋实际直径，精确至 0.01mm；

$w$ ——钢筋试件重量，精确至 0.01g；

$l$ ——钢筋试件长度，精确至 0.1mm。

4 钢筋实际重量与理论重量的偏差按下式计算：

$$\eta = \frac{w - l \times g_0}{l \times g_0} \times 100 \quad (9.4.2-2)$$

式中： $\eta$ ——钢筋实际重量与理论重量的偏差（%）；

$g_0$ ——单位长度理论重量（g/mm）。

**9.4.3** 原位实测法检测混凝土中钢筋直径应符合下列规定：

1 采用钢筋探测仪确定待检钢筋位置，剔除混凝土保护层，露出钢筋，对于环氧涂层钢

筋，应清除环氧涂层；

2 用游标卡尺测量钢筋直径，测量精确到 0.01mm；

3 对于光圆钢筋，应测量直径；对于带肋钢筋，宜测量钢筋内径；

4 同一部位应在不同方向测量 3 次，将 3 次测量结果的平均值作为该测点钢筋直径检测值；

5 可根据直径检测值推定带肋钢筋的公称直径。

#### 9.4.4 检验批钢筋直径检测应符合下列规定：

1 检验批应按钢筋进场批次划分；当不能确定钢筋进场批次时，宜将同一楼层或同一施工段中相同规格的钢筋作为一个检验批；

2 应随机抽取 5 个构件，每个构件抽检 1 根；

3 应将各受检钢筋直径检测值与相应钢筋产品标准进行比较，确定该受检钢筋直径是否符合要求；

4 当检验批受检钢筋直径均符合要求时，应判定该检验批钢筋直径符合要求；当检验批存在 1 根或 1 根以上受检钢筋直径不符合要求时，应判定该检验批钢筋直径不符合要求；

5 对于判定为符合要求的检验批，可建议采用设计的钢筋直径参数进行结构性能评定；对于判定为不符合要求的检验批，宜补充检测或重新划分检验批进行检测。当不具备补充检测或重新检测条件时，应以最小检测值作为该批钢筋直径检测值进行结构性能评定。

### 9.5 构件中钢筋锈蚀状况检测

9.5.1 混凝土中钢筋锈蚀状况应在对使用环境和结构现状进行调查并分类的基础上，按约定抽样原则进行检测。

9.5.2 混凝土中钢筋锈蚀状况宜采用原位检测、取样检测等直接法进行检测，当采用混凝土电阻率、混凝土中钢筋电位、锈蚀电流、裂缝宽度等参数间接推定混凝土中钢筋锈蚀状况时，宜采用直接法进行验证。

9.5.3 原位检测可采用游标卡尺直接量测钢筋的剩余直径、蚀坑深度、长度及锈蚀物的厚度，推算钢筋的截面损失率。取样检测可通过截取钢筋，按本标准第 9.4.3 条的规定检测。

9.5.4 钢筋截面损失率应按下式进行计算，当钢筋的截面损失率大于 5%，宜按本标准第 9.6.1 条的规定取样检测锈蚀钢筋的力学性能。

$$l_{s,a} = [1 - (d/d_s)^2] \times 100\% \quad (9.5.4)$$

式中：d——钢筋直径实测值，精确至 0.1mm；

$d_s$ ——钢筋公称直径；

$l_{s,a}$ ——钢筋的截面损失率，精确至 0.1%。

9.5.5 混凝土中钢筋电位、混凝土电阻率的检测应符合现行行业标准《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152 的有关规定。

9.5.6 混凝土中钢筋锈蚀电流应采用专业的钢筋锈蚀电流测定仪及相应的数据采集分析设备，仪器的测试精度应能达到 0.1μA/cm<sup>2</sup>，检测时，应按相关仪器说明进行操作。

**9.5.7** 采用综合分析判定方法时，裂缝宽度、钢筋保护层厚度、混凝土强度、混凝土碳化深度、混凝土中有害物质含量等参数的检测应符合本标准的相关规定。

## **9.6 钢筋力学性能检测**

**9.6.1** 混凝土中钢筋力学性能，宜采用取样法进行检测，截取钢筋试件应符合下列规定：

- 1 截取钢筋时应采取必要措施，确保受检构件和结构的安全；
- 2 钢筋截取位置宜选在应力较小的部位；
- 3 钢筋试件的长度应满足钢筋力学性能试验方法的要求。

**9.6.2** 需要进行批量检测时，检验批应根据进场批次进行划分；当无法确定进场批次或无法确定进场批次与结构中位置的对应关系时，检验批可按同一楼层或同一施工段划分。

**9.6.3** 工程质量检测时，钢筋抽检数量和合格判定宜按相关产品标准的规定执行；经过约定后可采用本标准中的计数抽验方案。对于判定为符合要求的检验批，可采用设计规范规定的钢筋力学性能参数进行结构性能评定；对于判定为不符合要求的检验批，应提供每个受检钢筋力学性能的检测数据，宜进行结构性能检测。

**9.6.4** 结构性能检测时，检验批钢筋力学性能检测应符合下列规定：

- 1 将配置有同一规格钢筋的构件作为一个检验批，并按本标准表 3.4.5 条的规定确定受检构件的数量；
- 2 随机抽取构件，每个构件截取 1 根钢筋，截取钢筋总数不应少于 6 根；当检测结果仅用于验证时，可随机截取 2 根钢筋进行力学性能检验；
- 3 应将各受检钢筋力学性能检测值按本标准第 3.4.9 条的规定计算特征值推定区间；
- 4 当特征值推定区间上限值与下限值的差值不大于其均值的 10% 时，该批钢筋力学性能检测值可按推定区间下限值确定；当特征值推定区间上限值与下限值的差值大于其均值的 10% 时，宜补充检测或重新划分检验批进行检测。当不具备补充检测或重新检测条件时，宜以最小检测值和推定区间下限值中的较小值作为该批钢筋力学性能检测值；
- 5 当有可靠既有信息时，可按本标准附录 C 的规定进行推定。

**9.6.5** 受损钢筋的力学性能宜在损伤状况调查基础上分类进行检测，同一损伤类别中的钢筋应根据约定抽样原则选取，并宜取力学参数的最低检测值作为该类别受损钢筋力学性能的检测值。

## **9.7 钢筋连接检测**

**9.7.1** 混凝土中钢筋连接检测应根据连接类型分类进行检测。

**9.7.2** 受检构件选取应符合下列规定：

- 1 宜通过调查确定连接区段数量及位置；
- 2 受检构件或受检区域宜按约定抽样方法选取；
- 3 接头位置和搭接长度可采用钢筋探测仪检测，具备条件时宜采用 X 射线法检测，必要时应进行剔凿验证。

**9.7.3** 绑扎搭接连接的检测应符合下列规定：

- 1 每个连接区段应分别检测横向间距、搭接长度、搭接钢筋直径；对于梁、柱类构件尚应检测箍筋直径及间距；
- 2 应根据检测结果计算接头面积百分率；
- 3 应给出检测结果及相应的规定值并逐项进行符合性评价，当出现不符合项时，应判定该区段绑扎搭接连接质量为不符合；
- 4 批评价时，宜采用现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中的抽验方案，经过约定后可采用本标准中的计数抽验方案。

**9.7.4** 焊接连接的检测应符合下列规定：

- 1 每个连接区段应分别检测接头数量，并截取 1 个接头进行力学性能检测；
- 2 应根据检测结果计算接头面积百分率；
- 3 应给出检测结果及相应的规定值并逐项进行符合性评价，当出现不符合项时，应判定该受检构件焊接连接质量为不符合；
- 4 批评价时，宜采用现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中的抽验方案，经过约定后可采用本标准中的计数抽验方案；
- 5 批评价为不符合时，可根据本标准第 9.6.4 条的规定进行接头力学性能的推定。

**9.7.5** 机械连接的检测应符合下列规定：

- 1 宜按约定抽样方法选取受检构件；
- 2 宜通过调查确定连接区段数量及位置；
- 3 每个连接区段应分别检测接头数量，并截取 1 个接头进行力学性能试验；
- 4 应根据检测结果计算接头面积百分率；
- 5 应给出检测结果及相应的规定值并逐项进行符合性评价，当出现不符合项时，应判定该受检构件机械连接质量为不符合；
- 6 批评价时，宜采用现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中的抽验方案，经过约定后可采用本标准中的计数抽验方案；
- 7 批评价为不符合时，可根据本标准第 9.6.4 条的规定进行接头力学性能的推定。

## **9.8 钢筋应力状态检测**

**9.8.1** 混凝土中钢筋应力状态可采用释放应力法和分级加载法进行检测。

**9.8.2** 释放应力法检测混凝土中钢筋应力状态应符合下列规定：

- 1 应剔掉被测钢筋的混凝土保护层，钢筋暴露长度不宜小于 200mm；
- 2 宜在钢筋一端安装应变计，在另一端切断钢筋；
- 3 宜在切断钢筋 10min 后测定钢筋的收缩应变 $\varepsilon$ ；
- 4 应按式(9.8.2)计算钢筋应力：

$$\sigma = E_s \varepsilon \quad (9.8.2)$$

式中： $\sigma$ ——钢筋初始应力值（MPa）；

$E_s$ ——钢筋弹性模量（MPa）。

- 5 测试完毕后，应将切断钢筋进行补强加固处理。

**9.8.3** 分级加载法检测混凝土中钢筋应力状态应符合下列规定：

- 1 应在被测钢筋对应位置混凝土表面粘贴应变片；
- 2 应调查被测构件实际荷载，计算测点位置的初始弯矩；
- 3 应分级加载，计算弯矩增量和相应的应变增量；
- 4 宜回归弯矩和应变的关系曲线；
- 5 根据回归的关系曲线和初始弯矩得到混凝土表面的初始应变；
- 6 根据线性关系换算成受检钢筋的初始应变；
- 7 根据本标准公式(9.8.2)计算钢筋应力。

## 10 混凝土构件损伤检测

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 混凝土构件的损伤可分为火灾损伤、环境作用损伤和偶然作用损伤等。

**10.1.2** 混凝土构件的损伤检测应在损伤原因识别的基础上，根据损伤程度选择检测项目和相应的检测方法。

**10.1.3** 对损伤结构进行检测前，应检查可能出现的结构坍塌、构件或配件脱落等安全隐患，并应对检测现场可能存在的有毒、有害物质等进行调查。

**10.1.4** 对于碰撞等偶然作用造成的局部损伤，应通过外观检查确定受影响范围；应对受影响范围的损伤分布与损伤程度进行全面检查。

**10.1.5** 混凝土受损伤影响层厚度可按本标准附录 L、附录 M 的规定进行检测。

### 10.2 火灾损伤检测

**10.2.1** 混凝土结构的火灾损伤检测，应通过全面的外观检查将损伤识别为下列五种状态：

- 1 未受火灾影响；
- 2 表面或表层性能劣化；
- 3 构件损伤；
- 4 构件破坏；
- 5 局部坍塌。

**10.2.2** 未受火灾影响状态的识别特征应为装饰层完好或仅出现被熏黑现象。对该状态的区域可选取少量构件进行混凝土强度、构件尺寸和构件钢筋配置情况的抽查。

**10.2.3** 表面或表层性能劣化状态的识别特征应为装饰层脱落、构件混凝土被熏黑或混凝土表面颜色改变、锤击声音不响亮且留下明显痕迹。

**10.2.4** 对表面或表层性能劣化状态的区域，除应按本标准第 10.2.2 条的规定进行检测外，宜进行下列专项的检测：

- 1 受影响层厚度；
- 2 可能存在的空鼓区域；
- 3 受影响层的混凝土力学性能。

**10.2.5** 对构件损伤状态的识别特征应为混凝土出现龟裂、剥落、钢筋外露等，但构件不应有超过有关规范限值的位移与变形。

**10.2.6** 对构件损伤状态的区域除进行适量的常规检测外，宜进行下列项目的专项检测：

- 1 逐个记录损伤的位置或面积；
- 2 逐个检测损伤的程度，检测裂缝的宽度或深度，检测混凝土损伤层的厚度；
- 3 检测损伤层混凝土力学性能；
- 4 取样检测钢筋力学性能；

5 梁板类构件可能存在的挠度和墙柱类构件可能存在的倾斜。

**10.2.7** 对构件破坏状态的识别特征应为梁板类构件产生明显不可恢复性变形、严重开裂，墙柱类构件产生明显的倾斜和梁柱节点出现位移或破坏。

**10.2.8** 对构件破坏状态的区域应对构件逐个予以说明并取得现场的影像资料。

**10.2.9** 对于已坍塌部分，可进行范围的描述并取得现场情况的影像资料。

**10.2.10** 对于难以现场检测的性能参数，评估火场温度对其的影响可采取模拟试验的方法。

### **10.3 环境作用损伤检测**

**10.3.1** 遇到下列情况之一时，可对环境作用造成的构件损伤进行检测：

- 1 新拌混凝土遭受冻害影响；
- 2 硬化混凝土遭受冻融影响；
- 3 硫酸盐侵蚀的环境；
- 4 高温、高湿环境；
- 5 造成钢筋锈蚀的一般环境和氯盐侵蚀环境；
- 6 化学物质影响环境；
- 7 生物侵蚀环境；
- 8 气蚀和磨损条件。

**10.3.2** 环境作用损伤的检测，应通过外观检查将其识别成下列四种状态：

- 1 未见材料性能劣化；
- 2 存在材料性能劣化；
- 3 出现构件损伤；
- 4 构件结构性能受到严重影响。

**10.3.3** 现场检查时宜以下列现象或状况作为未见构件材料性能劣化状态的识别依据：

- 1 建筑装饰层完好无损；
- 2 构件抹灰层完好无损；
- 3 构件混凝土暴露但不存在遭受环境作用的条件。

**10.3.4** 现场检查时宜以下列现象或状况作为存在材料性能劣化状态的识别依据：

- 1 构件混凝土暴露在室外环境中且有附着的生物；
- 2 构件浸泡在水中；
- 3 出现渗水的构件；
- 4 直接与土壤接触的部分；
- 5 直接暴露在水流或高速气流的部分；
- 6 直接暴露在侵蚀性气体或液体中的构件；
- 7 受到摩擦影响的表面；
- 8 冬期施工且未采取蓄热养护措施构件的表层。

**10.3.5** 对存在材料性能劣化状态区域的检测应包括下列项目：

- 1 外观状态检查；
- 2 性能受影响层厚度检测；
- 3 影响层混凝土力学性能检测。

**10.3.6** 当需要推定碳化等造成的材料性能劣化区域剩余使用年限时，可按本标准第 11 章的规定进行检验。

**10.3.7** 现场检查时宜以下列现象或状况作为出现损伤构件状态的识别依据，出现损伤的构件应评定为达耐久性极限状态的构件。

1 构件出现贯通断面裂缝、大范围龟裂、沿主筋方向开裂且主筋有锈迹，或宽度超过现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 限值的裂缝；

- 2 混凝土保护层脱落；
- 3 构件混凝土出现起砂现象；
- 4 构件混凝土水泥石脱落；
- 5 裸露的钢筋出现锈蚀现象。

**10.3.8** 出现损伤构件的检测项目宜包括损伤的面积、深度和位置，必要时应提出进行构件承载力评定的建议。

**10.3.9** 现场检查时宜以下列现象或状况作为构件结构性能受到严重影响状态的识别依据；对于受到严重影响的构件应建议进行构件承载力评定。

- 1 混凝土大面积剥落；
- 2 钢筋明显锈蚀；
- 3 构件出现明显的不可恢复性变形。

**10.3.10** 对于受到严重影响的构件宜进行下列项目的检测：

- 1 钢筋锈蚀量及锈蚀钢筋的力学性能；
- 2 混凝土损伤深度、面积与位置；
- 3 构件变形的检测。

## 11 耐久性剩余工作年数推定

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 耐久性剩余工作年数推定宜提供自检测时刻起至出现耐久性极限状态标志时的工作年数推定值。

**11.1.2** 混凝土结构和构件的耐久性极限状态可分为下列三种：

- 1 钢筋开始锈蚀的极限状态；
- 2 钢筋适量锈蚀的极限状态；
- 3 混凝土表面轻微损伤的极限状态。

**11.1.3** 耐久性剩余工作年数推定应区分为下列环境类别：

- 1 一般大气环境；
- 2 氯盐侵蚀环境；
- 3 冻融环境；
- 4 硫酸盐侵蚀环境。

**11.1.4** 当同时存在受到多种类型环境作用时，应分别进行每类环境单独作用下的剩余工作年限推定，宜取各类环境最小剩余工作年数作为剩余工作年限推定值。

**11.1.5** 冻融环境下剩余工作年数和硫酸盐侵蚀环境下剩余工作年数推定应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的规定。

**11.1.6** 宜将结构中混凝土品种相同、所处的环境条件和防护措施基本相近的构件或区段进行归并分类，根据每个类别调查和检测得到的参数分别进行剩余工作年数推定；可在每个类别中选取典型构件或区段进行剩余工作年数推定；当需推定结构整体的剩余工作年数时，宜取各类别中最小剩余工作年数作为推定值。

**11.1.7** 当需要对既有混凝土结构进行耐久性评级时，应符合现行国家标准《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355 的规定。

### 11.2 一般环境下剩余工作年数

**11.2.1** 一般环境下剩余工作年数推定可用于推定自检测时刻起至钢筋开始锈蚀的剩余年数或检测时刻起至钢筋具备锈蚀条件的剩余年数。剩余年数推定应符合现行国家标准《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355 的相关规定。

**11.2.2** 剩余工作年数推定涉及的混凝土碳化系数宜通过实测数据直接进行推定，当具备可靠模型参数时可采用已有模型进行推定。

**11.2.3** 通过实测数据直接确定碳化系数应符合下列规定：

- 1 应选取不少于 20 个测位，检测测位的碳化深度；
- 2 应按下式计算各测位的碳化系数及其均值和标准差：

$$k_{c,i} = D_{0,i} / \sqrt{t_0} \quad (11.2.3-1)$$

$$\mu_{k_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{c,i} \quad (11.2.3-2)$$

$$\sigma_{k_c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_{c,i} - \mu_{k_c})^2}{n-1}} \quad (11.2.3-3)$$

$$\mu_{D_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_{0,i} \quad (11.2.3-4)$$

式中： $k_{c,i}$ ——第*i*个测位的碳化系数；

$D_{0,i}$ ——第*i*个测位的碳化深度；

$t_0$ ——结构建成至检测时刻的年数；

$n$ ——测位数量；

$\mu_{k_c}$ ——碳化系数均值；

$\sigma_{k_c}$ ——碳化系数标准差；

$\mu_{D_0}$ ——碳化深度均值。

3 当碳化深度均值推定区间上限值与下限值的差值不大于其均值的 10% 时，应以碳化深度均值作为该批混凝土碳化深度的代表值；

4 实测碳化系数代表值可按下式计算：

$$k_{c,e} = \mu_{k_c} = \mu_{D_0} / \sqrt{t_0} \quad (11.2.3-5)$$

式中： $k_{c,e}$ ——实测碳化系数代表值。

5 可根据实测碳化系数代表值对已有模型进行调整或直接采用实测碳化系数代表值。

**11.2.4** 利用已有模型推定碳化系数时，应通过资料调查和现场检测得到混凝土强度、水灰比、实际环境参数等相关模型参数。

**11.2.5** 采用已有模型推定的碳化系数宜进行验证，验证应符合下列规定：

- 1 应将混凝土实际碳化时间、推定的碳化系数带入选定的碳化模型，计算碳化深度；
- 2 应选取不少于 20 个测位，检测测位的碳化深度，计算其均值；
- 3 实测碳化深度与计算碳化深度之差的绝对值应按下式计算：

$$\Delta_D = |D_0 - D_{cal}| \quad (11.2.5)$$

式中： $\Delta_D$ ——实测碳化深度均值与计算碳化深度之差的绝对值，精确至 0.1mm；

$D_0$ ——实测碳化深度，精确至 0.1mm；

$D_{cal}$ ——计算碳化深度，精确至 0.1mm；

4 当满足  $\Delta_D$  不大于 2mm 或  $\Delta_D$  不大于 0.1 $D_0$  时，可利用该模型确定碳化系数；当两个条件均不能满足时，应采取调整模型参数的方法确定碳化系数。

**11.2.6** 确定碳化系数后，一般环境下剩余工作年数推定可采用下列方法：

- 1 扩展保护层厚度的推定方法；
- 2 基于可靠指标的推定方法；
- 3 现行国家标准《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355 规定的推定方法；
- 4 现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 规定的取样快测推定方法。

**11.2.7** 扩展保护层厚度的方法推定剩余工作年数应符合下列规定：

1 将实测或设计的混凝土保护层厚度 $C_0$ 可根据受力钢筋直径扩展为 $C_1$ ，扩展的幅度宜为受力钢筋直径的 2/3 且不应大于 10mm；对于较细的主筋（直径 $\leq 6\text{mm}$ ）、无特殊防护措施的预应力钢筋及存在氯盐等侵蚀性介质时不应进行扩展；应按下式计算碳化达到 $C_1$ 所需的时间：

$$t_c = C_1^2 / k_{c,e}^2 \quad (11.2.7-1)$$

式中： $k_{c,e}$ ——实测碳化系数代表值。

2 剩余工作年数应按下式计算：

$$t_e = t_c - t_0 \quad (11.2.7-2)$$

式中： $t_e$ ——剩余工作年数。

3 对于干湿交替环境或室外环境，宜以 $t_e$ 作为钢筋开始锈蚀的剩余年限；对于干燥环境，宜以 $t_e$ 作为钢筋具备锈蚀条件的剩余年限。

**11.2.8** 基于可靠指标的方法推定剩余工作年数应符合下列规定：

1 应根据本标准第 11.1.6 条的规定进行类别划分，在划分后的类别中选取代表性的构件或区段布置测位，同时检测混凝土保护层厚度 $C_{0,i}$ 和碳化深度 $D_{0,i}$ ，应按下式计算测位碳化系数 $k_{c,i}$ ：

$$k_{c,i} = D_{0,i} / \sqrt{t_0} \quad (11.2.8-1)$$

2 应根据钢筋直径将 $C_{0,i}$ 扩展为 $C_{1,i}$ ；

3 该类别保护层厚度和碳化系数的均值及标准差应按下式计算：

$$\mu_{C_1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{1,i} \quad (11.2.8-2)$$

$$\sigma_{C_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{1,i} - \mu_{C_1})^2}{n-1}} \quad (11.2.8-3)$$

$$\mu_{k_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{c,i} \quad (11.2.8-4)$$

$$\sigma_{k_c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_{c,i} - \mu_{k_c})^2}{n-1}} \quad (11.2.8-5)$$

4 可根据预期的可靠指标 $\beta$ 按下式计算碳化达到 $C_1$ 所需的时间：

$$\frac{\mu_{C_1} - \mu_{k_c} \sqrt{t_c}}{\sqrt{(\sigma_{C_1})^2 + (\sigma_{k_c})^2 t_c}} = \beta \quad (11.2.8-6)$$

式中： $\beta$ ——预期可靠指标，宜根据其可逆程度取 0~1.5，一般情况下取 1.0。

5 剩余工作年数应按下式计算：

$$t_e = t_c - t_0 \quad (11.2.8-7)$$

式中： $t_e$ ——剩余工作年数。

6 对于干湿交替环境或室外环境，以 $t_e$ 作为钢筋开始锈蚀的剩余年限；对于干燥环境，以 $t_e$ 作为钢筋具备锈蚀条件的剩余年限。

**11.2.9** 剩余工作年数推定结果宜进行合理性验证，合理性验证应符合下列规定：

1 选择不少于 5 处检查钢筋的锈蚀情况，当发现钢筋已存在明显锈蚀时，宜判定已达到耐久性性能极限状态并应审视是否存在其他引起锈蚀的因素；

2 当剩余工作年数推定结果超过设计工作年限时，宜将剩余工作年数推定结果调整到不超过设计工作年限。

### 11.3 氯盐侵蚀环境下剩余工作年数

11.3.1 氯盐侵蚀环境下剩余工作年数推定可用于推定自检测时刻起至钢筋开始锈蚀的剩余年数或检测时刻起至钢筋具备锈蚀条件的剩余年数。剩余工作年数的推定应按现行国家标准《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355 的相关规定执行。

11.3.2 剩余工作年数推定涉及的氯离子扩散系数宜通过实测数据直接进行推定，当具备可靠模型参数时可采用已有模型进行推定。

11.3.3 通过实测数据推定确定氯离子扩散系数应符合下列规定：

1 选择不同部位钻取芯样，芯样数量不宜少于 10 个，同时检测混凝土保护层厚度；

2 应将取得的芯样由外及里切割成相同厚度的薄饼状试件，厚度不宜大于 20mm；宜逐个检测各芯样表面段和指定深度段的氯离子含量；可先分别按表面段和同样指定深度段混合制样，再分别检测表面段和指定深度段的氯离子含量；指定深度应为试件厚度的中部与混凝土表面的距离。

3 逐个检测时，氯离子扩散系数可按下列式计算：

$$D_{cl,i} = \left[ \frac{x \times 10^{-3}}{2\sqrt{t_0} \operatorname{erf}^{-1}(1 - C_{cl,x,i}/C_{cl,0,i})} \right]^2 \quad (11.3.3-1)$$

$$D_{cl} = \frac{\sum_i^n D_{cl,i}}{n} \quad (11.3.3-2)$$

式中： $x$ ——指定深度（mm）；

$D_{cl,i}$ ——第*i*个芯样位置处氯离子扩散系数（ $\text{m}^2/\text{a}$ ）；

$C_{cl,x,i}$ ——第*i*个芯样 $x$ 深度处氯离子含量实测值（%）；

$C_{cl,0,i}$ ——第*i*个芯样混凝土表面氯离子含量实测值（%）；

$D_{cl}$ ——氯离子扩散系数（ $\text{m}^2/\text{a}$ ）；

$t_0$ ——已在氯盐环境中的服役时间。

4 先混和再检测时，氯离子扩散系数可按下列式计算：

$$D_{cl} = \left[ \frac{x \times 10^{-3}}{2\sqrt{t_0} \operatorname{erf}^{-1}(1 - C_{cl,x}/C_{cl,0})} \right]^2 \quad (11.3.3-3)$$

式中： $x$ ——指定深度（mm）；

$C_{cl,x}$ —— $x$ 深度处氯离子含量实测值（%）；

$C_{cl,0}$ ——混凝土表面氯离子含量实测值（%）。

5 可根据氯离子扩散系数实测值对已有模型进行调整或直接采用氯离子扩散系数实测值。

11.3.4 采用已有模型的方法验证应符合下列规定：

- 1 应将实际结构参数及环境参数带入选定的模型，计算指定深度处氯离子浓度；
- 2 钻取芯样数量不应少于 5 个，检测指定深度处氯离子浓度；
- 3 指定深度处氯离子浓度实测值与氯离子浓度计算值之差的绝对值应按下式计算：

$$\Delta_{C_{cl}} = |C_{cl,te} - C_{cl,cal}| \quad (11.3.4)$$

式中： $\Delta_{C_{cl}}$ ——实测氯离子浓度与计算氯离子浓度之差的绝对值；

$C_{cl,te}$ ——指定深度处氯离子浓度实测值的平均值；

$C_{cl,cal}$ ——指定深度处氯离子浓度计算值的平均值。

4 当满足 $\Delta_{C_{cl}}$ 不大于  $0.1C_{cl,te}$  时，可利用该模型确定氯离子扩散系数；当不能满足时，应采取调整模型参数的方法确定氯离子扩散系数。

**11.3.5** 当混凝土表面氯离子含量实测值不大于临界氯离子浓度时，剩余工作年数可根据本标准第 11.2 节的规定进行推定。

**11.3.6** 当混凝土表面氯离子含量实测值大于临界氯离子浓度时，剩余工作年数推定应符合下列规定：

- 1 钢筋表面氯离子浓度达到临界值所需时间应按下式计算：

$$t_{cl,cal} = \left[ \frac{C}{2\sqrt{D_{cl}} \operatorname{erf}^{-1}(1 - C_{cl,cr}/C_{cl,0})} \right]^2 \quad (11.3.6-1)$$

式中： $t_{cl,cal}$ ——钢筋表面氯离子浓度达到临界值所需时间；

$C$ ——混凝土保护层厚度；

$C_{cl,cr}$ ——临界氯离子浓度；

$D_{cl}$ ——氯离子扩散系数。

- 2 剩余工作年数应按下式计算：

$$t_e = t_{cl,cal} - t_0 \quad (11.3.6-2)$$

式中： $t_e$ ——剩余工作年数。

- 3 当实测数据充分时，可采用基于可靠指标的方法进行推定；
- 4 推定的剩余工作年数不宜大于一般环境下剩余工作年数推定值。

**11.3.7** 剩余工作年数推定结果宜按本标准第 11.2.9 条的规定进行合理性验证。

## 12 结构性能检验与承载能力评定

### 12.1 一般规定

12.1.1 结构性能宜根据调查和检测结果、通过模型计算并经综合分析后评定。

12.1.2 遇到下列情况之一时，应通过静载检验或动力测试进行结构性能检验：

- 1 存在明显缺陷或出现明显损伤尚不能定量评价其影响时；
- 2 原设计理念与现行设计标准存在显著差异时；
- 3 计算结果与实际表现存在较大差异时；
- 4 边界条件和导荷方式等难以准确模拟时；
- 5 其他需要准确评价的场景。

12.1.3 开展结构性能检验前，应对下列条件进行确认：

- 1 检验人员应具有相关的专业知识和从业经验；
- 2 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，并应考虑结构附属物、相邻的结构构件、组件或整个结构之间的影响；
- 3 受检构件应方便加载、布设仪表并可进行目视检查；
- 4 应采取有效措施，防止在试验和测试过程中出现突然且无法控制的破坏或坍塌。

12.1.4 结构性能检验结果宜与模型预测结果进行比较，当出现较大偏差时，应进行原因分析并得到合理解释；确认检验结果可靠后，可对计算模型进行适当的修正。

12.1.5 批量生产的预制构件性能检验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和相关产品标准的规定。

### 12.2 静载检验

12.2.1 静载检验可分为结构构件的适用性检验、安全性检验和极限承载力检验。

12.2.2 受检构件应按约定抽样原则从结构实体中选取。当检验结果作为其他同类构件的性能评价依据时，选取时应综合考虑下列因素：

- 1 该构件计算受力最不利；
- 2 该构件施工质量较差、缺陷较多；
- 3 该构件病害及损伤较严重。

12.2.3 静载检验所用仪器仪表的精度要求、安装调试以及数据的测读和记录应符合现行国家标准《混凝土结构试验方法标准》GB/T 50152 的有关规定。

12.2.4 静载检验所用荷载和加载图式宜符合设计计算简图，当采用等效荷载时，应对等效荷载产生的差别作适当修正。

12.2.5 检验荷载的确定应符合下列规定：

- 1 结构构件适用性检验荷载应根据正常使用极限状态荷载效应组合的设计值和加载图式经换算确定。荷载效应组合的设计值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009

的有关规定计算确定，或由设计文件提供；

2 结构构件安全性检验荷载应根据承载能力极限状态荷载效应组合的设计值和加载图式经换算确定。荷载效应组合的设计值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的有关规定计算确定，或由设计文件提供；

3 结构构件极限承载力检验荷载应根据承载能力极限状态荷载效应组合的设计值、加载图式和承载力标志对应的检验系数经换算确定；

4 当设计有专门要求时，宜采用设计要求的检验荷载值；

5 仅对受检构件进行性能评定时，构件自重可视为定值，实际施加的检验荷载应扣取构件自重项；

6 当按历经的最大值、检测时的最大值或预期最大值确定可变荷载取值时，应保留一定的裕度并作出特别说明。

#### 12.2.6 静载检验应选择下列基本观测项目进行观测：

- 1 构件的最大挠度；
- 2 支座处的位移；
- 3 控制截面应变；
- 4 裂缝的出现与扩展情况。

#### 12.2.7 进行结构构件适用性检验时，尚应根据委托方的要求选择下列参数进行观测：

- 1 装饰装修层的应变；
- 2 管线位移和变形；
- 3 设备的相对位移及运行情况。

#### 12.2.8 检验荷载应分级施加，每级荷载、累计荷载及其作用下的观测数据的数值应通过计算分析确定。

#### 12.2.9 检验荷载作用下的效应计算宜符合下列规定：

- 1 宜采用现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 规定的公式进行计算；
- 2 混凝土强度、截面尺寸、弹性模量宜采用实测值；
- 3 宜逐级给出与加载方案对应的效应计算值。

#### 12.2.10 静载检验时，可选择下列指标作为停止加载工作的标志：

- 1 控制测点变形达到或超过允许值；
- 2 出现裂缝或裂缝宽度超过允许值；
- 3 控制测点应变达到或超过计算值；
- 4 检验荷载超过约定值；
- 5 其他需要停止检验的情况。

#### 12.2.11 每级荷载施加后应稳定测读相应的测试数据并及时与计算值进行比较，观察构件、支承的表面情况，应观察相邻构件、附属设备与设施等的状态变化。

#### 12.2.12 全部荷载加完后或停止加载工作后应进行下列工作：

- 1 应分级卸载，测读数据，观察并记录构件表面情况；
- 2 卸除全部荷载并达到变形恢复持续时间后，应再次测读数据，观察并记录表面情况。

**12.2.13** 当按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 规定的挠度允许值进行检验时，挠度数据整理应符合下列规定：

1 消除支座沉降影响后跨中挠度实测值应按下式计算：

$$a_q^0 = u_m^0 - \frac{u_l^0 + u_r^0}{2} \quad (12.2.13-1)$$

式中：\$a\_q^0\$——消除支座沉降影响后的跨中挠度实测值；

\$u\_l^0\$——左端支座的沉降位移实测值；

\$u\_r^0\$——右端支座的沉降位移实测值；

\$u\_m^0\$——跨中挠度实测值。

2 考虑自重修正后的跨中挠度可按下式计算：

$$a_s^0 = (a_q^0 + a_g^c) \psi \quad (12.2.13-2)$$

式中：\$a\_s^0\$——考虑构件自重修正后的跨中挠度；

\$a\_g^c\$——构件自重等产生的跨中挠度值；

\$\psi\$——用等效集中荷载代替均布荷载时的修正系数，采用均布荷载时取 1.0。

3 自重产生的跨中挠度可按下列公式计算：

$$a_g^c = \frac{M_g}{M_b} a_b^0 \quad (12.2.13-3)$$

式中：\$M\_g\$——构件自重等产生的跨中弯矩值；

\$M\_b\$——弯矩—挠度曲线出现拐点的前一级荷载产生的跨中弯矩计算值；

\$a\_b^0\$——弯矩—挠度曲线出现拐点的前一级荷载产生的跨中挠度实测值。

4 可采用有限差分法确定受弯构件的弹性挠度曲线，此时测点数目不应少于 5 个。

**12.2.14** 挠度检验容许值应按下列公式计算：

对钢筋混凝土受弯构件：

$$[a_s] = [a_f] / \theta \quad (12.2.14-1)$$

对预应力混凝土受弯构件：

$$[a_s] = \frac{M_k}{M_q(\theta-1) + M_k} [a_f] \quad (12.2.14-2)$$

式中：\$[a\_s]\$——挠度检验容许值；

\$M\_k\$——按荷载标准组合计算的弯矩值，取计算区段内最大的弯矩值；

\$M\_q\$——按荷载准永久组合计算的弯矩值，取计算区段内最大的弯矩值；

\$\theta\$——考虑荷载长期效应对挠度增大的影响因素，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定取用；

\$[a\_f]\$——挠度设计限值，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定取用。

**12.2.15** 静载检验检测报告除应满足本标准第 3.5.2 条的规定要求外，还应提供下列内容：

- 1 检验过程描述；
- 2 测点布置、荷载简图；
- 3 主要测点相对残余变形；
- 4 主要测点实测变形与荷载的关系曲线；
- 5 主要测点实测变形与相应的理论计算值的对照表及关系曲线。

**12.2.16** 静载检验结果的评定可按下列规定进行：

1 在构件适用性检验荷载作用下，经修正后的实测挠度值和裂缝宽度不大于挠度检验容许值且附属设备、设施未出现影响正常使用状态时，受检构件适用性可评定为满足要求。

2 在构件安全性检验荷载作用下，当受检构件无明显破坏迹象，实测挠度值满足下列条件之一时，可评定受检构件安全性满足要求。

- 1) 实测挠度值小于相应的理论计算值；
- 2) 实测挠度与荷载基本保持线形关系；
- 3) 残余挠度不大于最大挠度的 20%。

**12.2.17** 当静载检验结果用于评定本工程非受检构件结构性能时，应符合下列规定：

- 1 被评价构件与受检构件应属于同一批中的同类构件；
- 2 被评价构件的结构性状不应劣于受检构件；
- 3 被评价构件应已取得混凝土强度、截面尺寸等参数的实测值；
- 4 应对受检构件效应观测值与计算值逐级进行比较并计算其比值的均值；
- 5 可利用比值的均值作为修正系数对效应计算结果进行修正；
- 6 可通过修正后的计算结果与容许值的比较进行评定。

**12.2.18** 结构构件极限承载力的荷载检验应按下列规定进行：

1 宜将受检构件从结构中移出，在场地附近按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定进行检验。

2 确有把握时，构件极限承载力的检验可在原位进行，完成检验目标后应迅速卸载。

3 构件极限状态承载能力荷载检验停止加载或合格性判定指标，应按现行国家标准《混凝土结构试验方法标准》GB/T 50152 中相应承载力极限状态的标志确定。

## **12.3 动力测试**

**12.3.1** 动力测试可适用于结构动力特性测试和结构动力反应的检测。

**12.3.2** 结构动力特性测试宜选用脉动试验法，在满足测试要求的前提下也可选用初位移等其他激振方法。

**12.3.3** 混凝土结构动力反应宜选用可稳定再现的动荷载作为检验荷载。当需确定基桩施工、设备运行等非标准动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。

**12.3.4** 动力测试的测试系统，可采用电磁式测试系统、压电式测试系统、电阻应变式测试系统或光电式测试系统。在选择测试系统时，应注意选择测振仪器的技术指标，使传感器、放大器、记录装置组成的测试系统的灵敏度、动态范围、幅频特性和幅值范围等技术指标满足被测结构动力特性范围的要求。

**12.3.5** 动力测试前，应对测试系统的灵敏度、幅频特性、相频特性线性度等进行标定，标定宜采用系统标定。

**12.3.6** 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。

**12.3.7** 检测结构振型时，可选用下列方法：

1 在所检测混凝土结构振型的峰、谷点上布设测振传感器，用放大特性相同的多路放大器和记录特性相同的多路记录仪，同时测记各测点的振动响应信号。

2 将结构分成若干段，选择某一分界点作为参考点，在参考点和各分界点分别布设测振传感器（拾振器），用放大特性相同的多路放大器和记录特性相同的多路记录仪，同时测记各测点的振动响应信号。

**12.3.8** 结构动力特性测试的数据处理，应符合下列规定：

1 时域数据处理：对记录的测试数据应进行零点漂移、记录波形和记录长度的检验；被测试结构的自振周期，可在记录曲线上比较规则的波形段内取有限个周期的平均值；被测试结构的阻尼比，可按自由衰减曲线求取，在采用稳态正弦波激振时，可根据实测的共振曲线采用半功率点法求取；被测试结构各测点的幅值，应采用记录信号幅值除以测试系统的增益，并按此求得振型。

2 频域数据处理：对频域中的数据应采用滤波、零均值化方法进行处理；被测试结构的自振频率，可采用自谱分析或傅里叶谱分析方法求取；被测试结构的阻尼比，宜采用自相关函数分析、曲线拟合法或半功率点法确定。被测试结构的振型，宜采用自谱分析、互谱分析或传递函数分析方法确定；对于复杂结构的测试数据，宜采用谱分析、相关分析或传递函数分析等方法进行分析。

**12.3.9** 评价在一定时段内的结构性能变化时，应采用相近条件下的动力特性测试结果；当两次结果出现较大差异时，应给出合理解释。

## **12.4 混凝土楼盖结构竖向振动舒适度检测与评定**

**12.4.1** 本节适用于既有混凝土楼盖结构竖向振动舒适度的检测和评定，振动包括频率范围为 1Hz~80Hz 的连续振动和重复性冲击振动。

**12.4.2** 建筑楼盖结构振动舒适度检测和评定时，宜取得下列资料：

- 1 建筑物的建筑图、结构图；
- 2 引起楼盖振动的典型工况。

**12.4.3** 应按约定抽样原则选取受检区域，测点选择和拾振器安装应符合下列规定：

1 对面积不大于 20m<sup>2</sup> 的区域，可选取 1 个测点，测点应选在人员主要活动区域地面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点宜选在区域中央；

2 对面积大于 20m<sup>2</sup> 的房间，应至少选取 3 个测点，测点应选在人员主要活动区域地面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点应在区域均匀分布；

3 测量拾振器应安装在平坦、坚实的地面上，且应安装牢固；不得置于地毯、地胶等松软或弹性地面上；

- 4 拾振器灵敏度主轴方向应为铅垂向。

**12.4.4** 测试系统应符合下列规定：

1 拾振器宜采用加速度型传感器，其频率范围宜为 0.8Hz~100Hz，动态范围不应小于 80dB；

2 放大器应采用带低通滤波功能的多通道放大器,其振幅一致性偏差应小于 3%,相位一致性偏差应小于 0.1ms;

3 采集仪应采用多通道,其动态范围不应小于 80dB,并应具有抗混叠滤波功能。数据采集与分析软件应具有多通道显示功能及频谱分析功能。

#### 12.4.5 测试及数据处理应符合下列规定:

1 采集数据前应对检测系统安装、连接以及参数设置进行检查,确保检测系统处于正常工作状态;

2 检测过程中,应保持建筑内外部振源处于正常工作状态,避免突发振源的干扰;

3 采样频率不应低于 256Hz;

4 连续振动的采样时间不宜少于 1000s,测量铁路或城市轨道交通振动时不宜少于 20 趟列车,冲击振动采集时不应少于 10 次;

5 应逐次、逐测点记录时域和频域曲线并提供自振频率、振动峰值加速度等检测结果;

6 当被测区域内仅布置 1 个测点时,应以同一测点测得的多次振动测量结果的平均值作为该区域的实测结果;

7 当被测区域内布置有多个测点时,应对每个测点测得的多次振动测量结果分别计算平均值,并应以各测点平均值中的最大值作为该区域的实测结果。

#### 12.4.6 受检区域楼盖结构竖向振动舒适度的评定应符合下列规定:

1 竖向振动加速度

$$a_p \leq [a_p] \quad (12.4.6-1)$$

式中:  $a_p$ ——竖向振动峰值加速度实测值 ( $\text{m/s}^2$ );

$[a_p]$ ——竖向振动加速度限值 ( $\text{m/s}^2$ )。

2 自振频率

$$f_1 \geq [f_1] \quad (12.4.6-2)$$

式中:  $f_1$ ——第 1 阶竖向自振频率实测值 (Hz);

$[f_1]$ ——第 1 阶竖向自振频率限值 (Hz)。

12.4.7 当需评价住宅建筑室内振动及结构噪音时,应符合现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 的有关规定。

### 12.5 承载能力评定

#### 12.5.1 承载能力可采用下列方法进行评定:

1 基于良好服役表现的评定方法;

2 基于计算分析的评定方法;

3 基于直接检验的评定方法。

12.5.2 满足下列条件时,根据早期规范设计和建造的混凝土结构,可评定为能够安全抵抗除偶然作用和地震作用以外的其他作用:

1 结构体系合理、传力途径明确、连接有效可靠;

2 在足够长的时间内服役表现良好,未发现任何重大损坏、损伤或明显劣化迹象;

3 后续工作年限内结构上的作用不会显著增加;

- 4 后续工作年限内影响耐久性的条件不会出现显著变化;
- 5 在预期的维护条件下, 后续工作年限内混凝土强度和钢筋状态具有足够的稳定性。

**12.5.3 基于计算分析的评定宜区分为下列应用场景:**

- 1 利用现场检测结果和规定的荷载条件评定后续工作年限内的构件性能;
- 2 利用现场检测结果和约定的荷载条件评定后续工作年限内的构件性能;
- 3 利用现场检测结果和历经的最大荷载评定服役期间内的构件性能。

**12.5.4 基于计算分析的评定, 可采用下列方法:**

- 1 基于设计规范的评定方法;
- 2 基于可靠指标调整抗力分项系数的评定方法;
- 3 基于可靠指标调整混凝土材料分项系数的评定方法。

**12.5.5 计算分析模型及模型参数取值, 应符合下列规定:**

- 1 结构构件验算采用的结构分析方法, 应符合现行国家设计规范的规定;
- 2 结构构件验算使用的计算模型, 应符合其实际受力与构造状况;
- 3 材料强度、弹性模量应按检测结果取值;
- 4 结构自重等恒载应按实际取值; 可变作用的取值应适应不同的应用场景;
- 5 作用的组合、作用的分项系数及组合值系数应适应不同的评定方法;
- 6 结构或构件的几何参数应采用实测值, 并应计入锈蚀、腐蚀、腐朽、虫蛀、风化、裂缝、缺陷、损伤以及施工偏差等的影响。

**12.5.6 基于设计规范的评定方法, 应符合现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 的规定。**

**12.5.7 基于可靠指标调整抗力分项系数的评定, 应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的规定。**

**12.5.8 基于可靠指标调整混凝土材料分项系数的评定, 宜符合下列规定:**

- 1 宜按本标准附录 F 给出混凝土强度变异系数上限, 单个构件可取混凝土强度变异系数检测值;
- 2 混凝土材料分项系数可按下式计算:

$$\gamma_m = \frac{1-1.645v_m}{1-\alpha\beta v_m} \quad (12.5.8)$$

式中:  $\gamma_m$ ——混凝土材料分项系数, 保留小数点后两位;

$v_m$ ——混凝土强度变异系数上限, 保留小数点后两位;

$\alpha$ ——灵敏度系数;

$\beta$ ——预期可靠指标。

- 3 混凝土材料分项系数调整幅度不宜超过 10%;
- 4 宜采用调整后的混凝土材料分项系数, 根据设计规范计算抗力作用效应比;
- 5 可根据计算得到的抗力作用效应比进行承载能力分级。

**12.5.9 基于直接检验的评定方法, 应符合本标准第 12.2 节的规定。**

## 13 装配式混凝土结构连接缺陷检测

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 装配式混凝土结构连接缺陷检测可分为混凝土结合面连接缺陷检测、钢筋套筒灌浆连接缺陷检测和钢筋浆锚搭接连接缺陷检测。钢筋套筒灌浆连接缺陷和钢筋浆锚搭接连接缺陷的检测项目宜包括灌浆饱满度和钢筋插入长度。

**13.1.2** 检测批的划分应符合下列规定：

- 1 对混凝土结合面连接缺陷进行检测时，可将同一楼层、同一施工条件、同类构件或同类部位划分为一个检测批；
- 2 对灌浆饱满度进行检测时，同一楼层、同类型构件、相同灌浆工艺的构件可划分为同一检测批；
- 3 对钢筋插入长度进行检测时，同一楼层、同类型构件可划分为同一检测批；
- 4 检测批的最小样本容量应符合本标准第 3.4.5 条的规定。

**13.1.3** 混凝土结合面连接缺陷检测宜按照本标准第 7.3 节的规定要求进行。

**13.1.4** 钢筋套筒灌浆连接缺陷检测的灌浆饱满度、钢筋插入长度的检测批最小样本容量的确定除应符合本标准第 3.4.5 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 在竖向构件装配式施工的首层，构件抽检最小样本容量不宜低于本标准表 3.4.5 中的 C 类要求；当检测批的构件数量少于 3 个时，构件应全数抽检；
- 2 对灌浆饱满度进行检测时，若存在外墙板时，外墙板抽检的数量不应低于墙板抽检总数的 30%；对于外墙板、柱，每个被抽检构件的套筒抽检比例不应少于 30%，且每个灌浆仓抽检不应少于 3 个套筒；对于内墙板，每个被抽检构件的套筒抽检比例不应少于 15%，且每个灌浆仓抽检不应少于 2 个套筒；
- 3 对钢筋插入长度进行检测时，每个被抽检构件中抽检不宜少于 3 个套筒。

**13.1.5** 钢筋浆锚搭接连接缺陷检测的灌浆饱满度、钢筋插入长度的检测批最小样本容量的确定除应符合本标准第 3.4.5 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 在竖向构件装配式施工的首层，构件抽检最小样本容量不宜低于本标准表 3.4.5 中的 C 类要求，当检测批的构件数量少于 3 个时，构件应全数抽检；
- 2 当对灌浆饱满度进行检测时，若存在外墙板时，外墙板抽检的数量不应低于墙板抽检总数的 30%；对于外墙板、柱，每个被抽检构件的浆锚孔道抽检比例不应少于 30%，且每个灌浆仓抽检不应少于 3 个孔道；对于内墙板，每个被抽检构件的浆锚孔道抽检比例不应低于 15%，且每个灌浆仓抽检不应少于 2 个孔道；
- 3 当对钢筋插入长度进行检测时，每个被抽检构件中抽检不宜少于 2 个浆锚孔道。

### 13.2 灌浆饱满度和钢筋插入长度检测

**13.2.1** 灌浆饱满度可采用钻孔内窥法和 X 射线成像法进行检测，并宜符合下列规定：

- 1 宜采用钻孔内窥法；

2 当 X 射线在混凝土中透射路径的长度不大于 250mm 且在透射路径上只有一个套筒或浆锚孔道时，可采用 X 射线成像法。

**13.2.2** 钢筋套筒灌浆连接的钢筋插入长度可采用钻孔内窥法和 X 射线成像法进行检测，并应符合下列规定：

1 当灌浆孔道、出浆孔道为直线形且孔道长度不大于 150mm 时，可采用钻孔内窥法检查，定性判断套筒或孔道内是否有钢筋；

2 当 X 射线在混凝土中透射路径的长度不大于 250mm 且在透射路径上只有一个套筒时，可采用 X 射线成像法；

3 当不具备本条第 2 款的检测条件时，可采用剔开混凝土保护层直接透射套筒的 X 射线成像法；

4 根据钻孔内窥法的检查结果，当有必要进一步深入检测时，应采用 X 射线成像法进行检测；

5 当怀疑套筒装配端的钢筋未与下部结构锚固时，应采用局部破损方法检查插入钢筋的连续性。

**13.2.3** 钢筋浆锚搭接连接的钢筋插入长度可按照本标准第 13.2.2 条第 2 款～第 5 款的规定进行。

**13.2.4** 钻孔内窥法检测灌浆饱满度和钢筋插入情况检测可按本标准附录 N 的规定进行。

**13.2.5** X 射线成像法检测灌浆饱满度和钢筋插入长度检测可按本标准附录 P 的规定进行。

## 14 混凝土结构加固工程检测

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 在下列情况下，应对混凝土结构加固工程进行检测：

- 1 加固工程质量存在怀疑或争议；
- 2 加固技术资料不齐全情况；
- 3 加固构件出现损伤、加固材料性能劣化或其他不利状态。

**14.1.2** 混凝土结构加固工程检测应区分原主体结构和加固后的结构工程。当只评定加固工程施工质量时，可只对加固工程进行检测；当需要对加固后的结构性能进行评定时，应分别对原主体结构和加固后的结构工程进行检测。

**14.1.3** 混凝土结构加固可采用直接加固、间接加固及其他加固技术，检测时根据具体加固技术选择适宜的检测项目及方法。

**14.1.4** 以混凝土材料为主的加固工程应按本标准第 4 章的规定进行选取检测项目；以钢材为主的加固工程宜选取以下检测项目：

- 1 钢材力学性能；
- 2 加固外观损伤；
- 3 加固连接质量；
- 4 加固节点构造；
- 5 加固构件尺寸与偏差；
- 6 涂装质量。

**14.1.5** 以结构胶粘剂为介质的加固工程宜选取以下检测项目：

- 1 胶粘材料力学性能；
- 2 被加固构件的基层外观；
- 3 胶粘尺寸；
- 4 表面硬度；
- 5 粘接饱满度；
- 6 防护面层。

**14.1.6** 植筋或锚栓法宜选取以下检测项目：

- 1 植筋或锚栓材料力学性能；
- 2 植筋或锚栓位置、孔径尺寸
- 3 植筋或锚栓外观损伤；
- 4 锚固承载力试验。

**14.1.7** 混凝土加固工程在设计上有特殊规定或委托方有特定的检测要求，可对加固工程进行专项检测，专项检测项目包括粘合加固材料与基材的正拉粘结强度试验、混凝土裂缝压力灌浆施工质量检测、锚固承载力试验等。

**14.1.8** 混凝土结构加固工程中安装偏差、尺寸偏差的检测应按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 相关章节执行。

**14.1.9** 混凝土结构加固工程的检测方法、抽样方式应符合本标准相应章节的规定，还应满足相关现行国家标准的规定。

## **14.2 加固用材料检测**

**14.2.1** 混凝土结构加固工程中原材料的质量存在异议时，应采取下列方式进行检测：

1 当工程留有与结构中同批、同等级的剩余原材料，应按现行国家有关标准的规定对剩余原材料进行检测；

2 当工程没有剩余原材料，应从现场原位取样对原材料的质量或性能进行检测。

**14.2.2** 加固用混凝土、钢筋材料检测应按本标准相关章节执行，钢材检测应按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 执行。

**14.2.3** 加固用结构胶粘剂，裂缝注浆料、水泥基灌浆料、改性混凝土和砂浆、钢纤维混凝土、钢丝绳等材料检测应按现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 执行。

**14.2.4** 植筋或锚栓法的材料检测应按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 与《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 执行；

## **14.3 直接加固工程检测**

**14.3.1** 增大截面加固工程、置换混凝土加固法的浇筑质量宜采用全数检查或重点部位检查，按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 进行检查与评定。

**14.3.2** 增大截面加固工程、置换混凝土加固工程的新浇筑混凝土及粘介面质量，新增钢筋、锚固件及连接宜采取抽样检查，检查有效部位不应小于总数量或总面积的 10%。

**14.3.3** 喷射混凝土喷射层厚度应采用钻孔法检测，每个加固构件每个面的检测点不宜小于 3 个，其偏差允许值为 $-5\text{mm}\sim+8\text{mm}$ ，其检测平均值不应小于设计厚度。

**14.3.4** 复合截面加固工程的浇筑质量宜全数检查或重点部位检查，根据复合截面的材料选取检测项目，并按本标准相关章节与现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 进行检查与评定。

**14.3.5** 复合截面加固工程中粘贴复合材或钢板与混凝土之间粘结质量可用锤击法或其他有效探测法进行抽样检查，检查有效粘结面积不应小于总粘结面积的 30%；当缺少相关施工验收资料时，应现场抽样进行正拉粘结强度试验，抽样数量及方法见本标准第 3 章的规定。

## **14.4 间接加固工程检测**

**14.4.1** 体外预应力加固工程应对撑杆及连接的布置进行全数检查，撑杆及连接的尺寸检测

应符合现行国家标准《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621 的规定。

**14.4.2** 当体外预应力加固工程缺少相关张拉施工验收资料时，应选择典型构件或连接进行现场荷载试验，试验方法应按本标准第 12 章的规定执行。

**14.4.3** 增设支点加固工程或增设抗震墙工程应对增设支点或抗震墙的布置进行全数检测，支点或抗震墙的检测应符合本标准和现行国家标准《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621 的相关规定。

**14.4.4** 增设耗能支撑法应对增设耗能支撑的布置进行全数检测，其节点或连接的检测应符合本标准和现行国家标准《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621 的相关规定。

### **14.5 其他加固技术检测**

**14.5.1** 裂缝修补技术有表面封闭法、注射法、压力注浆法与填充密封法等，检测时根据具体修补方法选择适宜的检测项目及方法。

**14.5.2** 采用胶液或注浆料进行裂缝修补工程的表面质量检测，宜采用全数检查或重点部位抽查，按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 进行检查与评定。

**14.5.3** 当植筋或锚栓法缺少相关施工验收资料时，应采用现场抽样进行锚固承载力试验，抽样数量及方法应符合本标准和现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的相关规定。

**14.5.4** 采用阻锈技术的加固工程质量检测宜抽样检测，检查有效部位不应小于总数量或总面积的 10%，阻锈剂使用效果的检测与评定应符合按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的相关规定。

## 附录 A 检测结果可接受性检查方法

### A.1 一般规定

**A.1.1** 当遇到下列情况之一时，宜采用检测结果可接受性检查方法对检测结果的可接受性进行检查：

- 1 现行检测方法标准偏离其适用条件时；
- 2 采用非标准检测方法时；
- 3 对间接法检测结果存疑时；
- 4 针对同一检测对象出现不同检测结果时。

**A.1.2** 进行可接受性检查的检测结果应源于同一检验批。

**A.1.3** 进行可接受性检查前，宜对检测结果中的异常数据进行判别和处理。

**A.1.4** 采用同一种检测方法时，可采用本方法对两个检验批参数的一致性进行评价。

**A.1.5** 本方法不适用于对检测方法标准的评价。

### A.2 间接法适用性验证

**A.2.1** 采用间接法开展检测时宜对其适用性进行验证。

**A.2.2** 被验证的间接法和验证用的直接法的测位宜布置在相同或相近部位，有效测位数量应为奇数，不宜少于 5 个且不应少于 3 个。

**A.2.3** 测位检测操作和检测结果定值方法应符合相关检测方法标准的规定。

**A.2.4** 应按下式计算统计量 $T$ ：

$$T = \frac{\left| \bar{X} - \bar{Y} \right|}{\sqrt{\frac{S_X^2 + S_Y^2}{n}}} \quad (\text{A.2.4})$$

式中： $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ——分别为间接法和直接法检测结果的样本均值，样本容量小于 10 时宜取中位数；

$S_X$ ,  $S_Y$ ——分别为间接法和直接法检测结果的样本标准差，样本容量小于 10 时宜由极差换算且不宜大于 0.15 倍样本均值；

$n$ ——为验证的样本量。

**A.2.5** 用极差估计标准差应符合下列规定：

- 1 标准差可按下列式计算：

$$s = \frac{R}{d_n} \quad (\text{A.2.5-1})$$

式中： $s$ ——标准差；

$R$ ——极差；

$d_n$ ——标准差换算系数。

2 极差可按下式计算：

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (\text{A.2.5-2})$$

式中：  $x_{\max}$ ——样本最大值；

$x_{\min}$ ——样本最小值。

3 标准差换算系数  $d_n$  可按表 A.2.5 取值；

表 A.2.5 标准差换算系数

| $n$   | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $d_n$ | 1.693 | 2.059 | 2.326 | 2.634 | 2.704 | 2.847 | 2.970 | 3.078 |

A.2.6 统计量  $T$  的临界值  $T_a$  宜按表 A.2.6 取值：

表 A.2.6 临界值  $T_a$

| $n$   | 3      | 5      | 7      | 9      | 11     |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $T_a$ | 2.1318 | 1.8595 | 1.7823 | 1.7459 | 1.7247 |

A.2.7 间接法适用性验证结果评价应符合下列规定：

- 1 当  $T \leq T_a$  时，宜判定间接法通过适用性验证，可采用间接法检测结果；
- 2 当  $T > T_a$  时，应判定间接法未通过适用性验证，宜对间接法检测结果进行修正；
- 3 当  $T > T_a$  且不做修正时，应对检测结果应用进行说明。

### A.3 检测结果的可接受性检查

A.3.1 针对同一检测对象出现不同检测结果时，宜采用本方法进行可接受性检查。

A.3.2 测位的检测操作和定值方法应符合相关检测方法标准的规定。

A.3.3 应按下式计算统计量  $T$ ：

$$T = \left| \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_w \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \right| \quad (\text{A.3.3-1})$$

$$S_w = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (\text{A.3.3-2})$$

式中：  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ ——分别为比较和被比较的检测结果的样本均值；

$S_1, S_2$ ——分别为比较和被比较的检测结果的样本标准差；

$n_1, n_2$ ——分别为比较和被比较的检测结果的样本量。

A.3.4 统计量  $T$  的临界值  $T_a$  宜取自由度  $n_1 + n_2 - 2$ ，显著性水平 0.05 的  $t$  分布分位数。

A.3.5 检测结果可接受性检查结果评价应符合下列规定：

1 当  $T \leq T_a$  时，应判定两个检测结果一致；当其中一个检测结果可接受性可预先确认时，另一个检测结果可接受性应予以确认，可采用其中任一个检测结果或两个检测结果的均值；当检测结果可接受性不能预先确认时，宜按本标准第 A.2 节的规定进行适用性验证；

2 当  $T > T_a$  时，应判定两个检测结果不一致；当其中一个检测结果可接受性可预先确认时，另一个检测结果可接受性不予确认；当检测结果可接受性不能预先确认时，宜由第三方重新检测，并以第三方检测结果作为可预先确认结果重新进行可接受性检查。

## 附录 B 基于点估计的分位数推定方法

**B.0.1** 当推定区间长度不满足要求时，可采用基于点估计的分位数推定方法对分位数进行推定。

**B.0.2** 标准差已知时，分位数的推定值应按下式计算：

$$x_{p,est} = \bar{x} \pm k_{\sigma}\sigma \quad (\text{B.0.2})$$

式中：  $x_{p,est}$ —— $p$ 分位数推定值；

$\bar{x}$ ——样本均值；

$\sigma$ ——总体标准差；

$k_{\sigma}$ ——推定系数，与样本容量  $n$ 、分位数  $p$  及置信水平  $\gamma$  有关。

**B.0.3** 标准差已知时 0.5 和 0.05 分位数推定系数可按表 B.0.3 取值：

表 B.0.3 标准差已知时 0.5 和 0.05 分位数推定系数

| 0.5 分位值              |              |      |              | 0.05 分位值 |              |      |              |
|----------------------|--------------|------|--------------|----------|--------------|------|--------------|
| 样本容量                 | $k_{\sigma}$ | 样本容量 | $k_{\sigma}$ | 样本容量     | $k_{\sigma}$ | 样本容量 | $k_{\sigma}$ |
| 5                    | 0.302        | 13   | 0.187        | 5        | 1.946        | 13   | 1.832        |
| 6                    | 0.275        | 14   | 0.180        | 6        | 1.920        | 14   | 1.825        |
| 7                    | 0.255        | 15   | 0.174        | 7        | 1.900        | 15   | 1.819        |
| 8                    | 0.238        | 16   | 0.169        | 8        | 1.883        | 16   | 1.814        |
| 9                    | 0.225        | 17   | 0.164        | 9        | 1.870        | 17   | 1.809        |
| 10                   | 0.213        | 18   | 0.159        | 10       | 1.858        | 18   | 1.804        |
| 11                   | 0.203        | 19   | 0.155        | 11       | 1.848        | 19   | 1.800        |
| 12                   | 0.195        | 20   | 0.151        | 12       | 1.840        | 20   | 1.796        |
| 注：置信水平 $\gamma=0.75$ |              |      |              |          |              |      |              |

**B.0.4** 当标准差未知时，分位数的推定值应按下式计算：

$$x_{p,est} = \bar{x} - k_s s \quad (\text{B.0.4})$$

式中：  $x_{p,est}$ —— $p$ 分位数推定值；

$\bar{x}$ ——样本均值；

$s$ ——样本标准差；

$k_s$ ——推定系数，与样本容量、分位数  $p$  及置信水平  $\gamma$  有关。

**B.0.5** 标准差未知时 0.05 分位数推定系数可按表 B.0.5 取值：

表 B.0.5 标准差未知时 0.05 分位数推定系数

| 样本容量                 | $k_s$ | 样本容量 | $k_s$ | 样本容量 | $k_s$ | 样本容量 | $k_s$ |
|----------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 3                    | 3.152 | 13   | 2.026 | 23   | 1.908 | 33   | 1.856 |
| 4                    | 2.681 | 14   | 2.007 | 24   | 1.901 | 34   | 1.853 |
| 5                    | 2.463 | 15   | 1.991 | 25   | 1.895 | 35   | 1.849 |
| 6                    | 2.336 | 16   | 1.976 | 26   | 1.889 | 36   | 1.846 |
| 7                    | 2.250 | 17   | 1.963 | 27   | 1.883 | 37   | 1.842 |
| 8                    | 2.188 | 18   | 1.952 | 28   | 1.878 | 38   | 1.839 |
| 9                    | 2.141 | 19   | 1.941 | 29   | 1.873 | 39   | 1.836 |
| 10                   | 2.104 | 20   | 1.932 | 30   | 1.869 | 40   | 1.834 |
| 11                   | 2.073 | 21   | 1.923 | 31   | 1.864 | 41   | 1.831 |
| 12                   | 2.048 | 22   | 1.915 | 32   | 1.860 | 42   | 1.828 |
| 注：置信水平 $\gamma=0.75$ |       |      |       |      |       |      |       |



## 附录 C 融合既有信息和样本数据的推定方法

### C.1 一般规定

**C.1.1** 当既有资料可供参考且不具备开展大样本检测条件时，可采用融合既有信息和样本数据的方法对检验批合格率和分位数进行推定。

**C.1.2** 本方法可用于合格率推定和分位数推定。

**C.1.3** 采信既有资料前，应对其完整性和有效性进行评价。

### C.2 合格率的推定

**C.2.1** 合格率的先验分布和后验分布均宜采用贝塔分布概率模型来表征。

**C.2.2** 确定先验分布参数时，应符合下列规定：

1 当既有资料中包含检测报告时，应按下式计算先验分布参数：

$$\alpha_0 + \beta_0 = n_0 \quad (\text{C.2.2-1})$$

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_0 + \beta_0} = \theta_0 \quad (\text{C.2.2-2})$$

式中： $\alpha_0$ 、 $\beta_0$ ——先验分布参数，取整数；

$\theta_0$ ——检测报告中的合格率；

$n_0$ ——检测报告中的测点数，可根据既有资料的可信程度适当减少且不应大于 20。

2 当既有资料已通过验收但无法提供检测报告时， $\alpha_0$ 宜取 5， $\beta_0$ 宜取 0；

3 当没有既有资料可供参考时， $\alpha_0$ 、 $\beta_0$ 均应取 1。

**C.2.3** 应按照本标准相关章节的规定进行检测，得到合格点数 $k$ 和测点数 $n$ ，测点数 $n$ 不宜小于 $\alpha_0$ 、 $\beta_0$ 之和的 50%且不应小于 5。

**C.2.4** 后验分布参数应按下式计算：

$$\alpha = \alpha_0 + k \quad (\text{C.2.4-1})$$

$$\beta = \beta_0 + n - k \quad (\text{C.2.4-2})$$

**C.2.5** 合格率推定应符合下列规定：

1 方差应按下式计算：

$$\text{Var}(\theta) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)} \quad (\text{C.2.5-1})$$

2 当 $\text{Var}(\theta) \leq 0.01$ 时，合格率的推定值宜按下式计算：

$$\theta_e = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \quad (\text{C.2.5-2})$$

3 当 $\text{Var}(\theta) > 0.01$ 时，应增加测点数，直至满足本条第 2 款要求。

**C.2.6** 合格率推定值的应用应符合下列规定：

1 当 $\theta_e \geq 0.9$ 时，可建议按照原设计取值；

2 当 $0.8 \leq \theta_e < 0.9$ 时，宜计算 $\theta \leq 0.8$ 的概率；当其不大于 0.1 时，可建议按原设计取值；当其大于 0.1 时，宜重新划分检验批或开展全数检测。

3 当 $\theta_e < 0.8$ 时, 应重新划分检验批或开展全数检测。

### C.3 分位数推定

C.3.1 结构参数的先验分布和后验分布均宜采用正态分布概率模型表征。

C.3.2 当既有资料中包含可用检测报告时, 先验分布参数的确定应符合下列规定:

- 1 先验均值 $m'$ 可采用检测报告中的样本均值;
- 2 先验标准差 $s'$ 可采用检测报告中的样本标准差;
- 3 先验样本容量 $n'$ 宜根据可信程度对检测报告中参与统计的数据个数进行折减, 且不宜大于 10;
- 4 先验自由度 $v'$ 可按式计算:

$$v' = n' - 1 \quad (\text{C.3.2})$$

C.3.3 当既有资料有验收结论但无可用检测报告时, 宜按验收规范中的规定确定先验分布参数。

C.3.4 应按照本标准相关章节的规定进行检测, 并按下式计算样本均值 $\bar{x}$ 和标准差  $s$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{C.3.4-1})$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{v} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{C.3.4-2})$$

$$v = n - 1 \quad (\text{C.3.4-3})$$

式中:  $n$ ——参与统计的数据个数;

$x_i$ ——参与统计的第 $i$ 个数据值。

C.3.5 后验分布参数应按式计算:

$$n'' = n' + n \quad (\text{C.3.5-1})$$

$$v'' = v' + \delta(n') + v \quad (\text{C.3.5-2})$$

$$m'' = \frac{m'n' + n\bar{x}}{n''} \quad (\text{C.3.5-3})$$

$$\beta_n = v'(s')^2 + vs^2 + \frac{nn'}{n''}(\bar{x} - m')^2 \quad (\text{C.3.5-4})$$

$$s'' = \sqrt{\frac{\beta_n}{v''}} \quad (\text{C.3.5-5})$$

式中:  $m''$ ——后验均值;

$s''$ ——后验标准差;

$v''$ ——后验自由度;

$n''$ ——后验样本容量。

C.3.6 分位数的推定应符合下列规定:

- 1 宜按下式进行推定:

$$x_p = m'' - t_v'' s'' \sqrt{1 + \frac{1}{n''}} \quad (\text{C.3.6})$$

式中:  $t_v''$ ——是与 $v''$ 和 $p$ 有关的推定系数, 由 $t$ 分布函数导出。

- 2 可采用后验分布参数依据本标准第 3.4.8 条~第 3.4.9 条的规定进行推定。



## 附录 D 芯样混凝土抗压强度异常数据判别和处理

### D.1 一般规定

**D.1.1** 本方法适用于芯样混凝土抗压强度异常数据的判别和处理。

**D.1.2** 采用钻芯法修正或验证其他无损检测方法时，宜对芯样混凝土抗压强度异常值进行判别或处理；采用钻芯法检测时，应对芯样混凝土抗压强度异常值进行判别或处理。

**D.1.3** 本方法可在双侧情形判断样本中的异常值。

**D.1.4** 本方法规定在样本中检出异常值的个数的上限不应超过 2 个，当超过了 2 个时，对此样本的代表性，应作慎重的研究和处理。

### D.2 异常值检验

**D.2.1** 样本统计量应按下式计算：

$$t = \left| \frac{m_x - x_k}{s_x} \sqrt{\frac{n-1}{n}} \right| \quad (\text{D.2.1})$$

式中： $t$ ——样本统计量；

$x_k$ ——样本中芯样强度最大值或最小值；

$m_x$ ——余下的  $n-1$  个芯样强度平均值， $n < 10$  时可采用中位数；

$s_x$ ——余下的  $n-1$  个芯样强度标准差， $n < 10$  时可根据极差换算；当计算的标准差大于 0.15 倍均值时，可取 0.15 倍均值；

$n$ ——芯样数量。

**D.2.2** 当计算统计量  $t$  大于临界值  $t_\alpha$  时，可判定  $x_k$  系粗大误差构成的异常值。

**D.2.3** 临界值  $t_\alpha$  可按表 D.2.3 取值。

表 D.2.3 临界值  $t_\alpha$

| 芯样数量（个）    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| $t_\alpha$ | 2.92 | 2.35 | 2.13 | 2.02 | 1.94 | 1.89 |
| 芯样数量（个）    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| $t_\alpha$ | 1.86 | 1.83 | 1.81 | 1.80 | 1.78 | 1.77 |

### D.3 异常值处理

**D.3.1** 对检出的异常值，应寻找产生异常值的原因，作为处理异常值的依据。

**D.3.2** 异常值剔除应符合下列规定：

- 1 高端异常值可直接剔除；
- 2 在有充分理由说明其异常原因时，可剔除低端异常值；
- 3 当无充分理由说明其异常原因时，应在低端异常值芯样邻近位置重新取样复测，根据

复测结果，判断是否剔除。

**D.3.3** 芯样剔除应由主检签字认可，并应记录剔除的理由和必要的说明。

## 附录 E 混凝土换算抗压强度钻芯修正方法

**E.0.1** 本方法适用于混凝土换算抗压强度的钻芯修正。

**E.0.2** 钻芯修正可采用总体修正量、对应样本修正量、对应样本修正系数或一一对应修正系数等修正方法，并宜优先采用总体修正量方法。

**E.0.3** 钻芯修正时，芯样试件的数量和取芯位置应符合下列规定：

1 芯样数量可按式预估：

$$n_{\text{cor},r} = 400\delta^2 \quad (\text{E.0.3})$$

式中：  $n_{\text{cor},r}$ ——芯样数量；

$\delta$ ——混凝土抗压强度变异系数。

对于直径 100mm 的芯样，芯样数量尚不应少于 6 个；对于小直径芯样，芯样数量尚不应少于 9 个。

2 芯样应从间接法受检构件中随机抽取；

3 当采用的间接法为无损检测方法时，取芯位置应与间接法相应的测区重合；

4 当采用的间接法对结构有损伤时，取芯位置应布置在间接法相应的测区附近。

**E.0.4** 当采用总体修正量法时，芯样抗压强度应按本标准第 3.4.7 条的规定确定均值推定区间，推定区间上限与下限差值不应大于其均值的 10%。总体修正量和相应的修正可按式计算：

$$\Delta_{\text{tot}} = f_{\text{cor},m} - f_{\text{cu},m}^c \quad (\text{E.0.4-1})$$

$$f_{\text{cu},ai}^c = f_{\text{cu},i}^c + \Delta_{\text{tot}} \quad (\text{E.0.4-2})$$

式中：  $\Delta_{\text{tot}}$ ——总体修正量(MPa)；

$f_{\text{cor},m}$ ——芯样抗压强度的平均值(MPa)；

$f_{\text{cu},m}^c$ ——测区混凝土换算强度的平均值(MPa)；

$f_{\text{cu},ai}^c$ ——修正后测区混凝土换算强度(MPa)；

$f_{\text{cu},i}^c$ ——修正前测区混凝土换算强度(MPa)。

**E.0.5** 当采用对应样本修正量法时，修正量和相应的修正可按式计算：

$$\Delta_{\text{loc}} = f_{\text{cor},m} - f_{\text{cu},r,m}^c \quad (\text{E.0.5-1})$$

$$f_{\text{cu},ai}^c = f_{\text{cu},i}^c + \Delta_{\text{loc}} \quad (\text{E.0.5-2})$$

式中：  $\Delta_{\text{loc}}$ ——对应样本修正量(MPa)；

$f_{\text{cu},r,m}^c$ ——与芯样对应的测区换算强度均值(MPa)。

**E.0.6** 当采用对应样本修正系数方法时，修正系数和相应的修正可按式计算：

$$\eta_{\text{loc}} = f_{\text{cor},m} / f_{\text{cu},r,m}^c \quad (\text{E.0.6-1})$$

$$f_{\text{cu},ai}^c = \eta_{\text{loc}} \times f_{\text{cu},i}^c \quad (\text{E.0.6-2})$$

式中：  $\eta_{\text{loc}}$ ——对应样本修正系数。

**E.0.7** 当采用一一对应修正系数方法时，修正系数和相应的修正可按下式计算：

$$\eta = \frac{1}{n_{\text{cor},r}} \sum_{i=1}^{n_{\text{cor},r}} f_{\text{cor},i} / f_{\text{cu},r,i}^c \quad (\text{E.0.7-1})$$

$$f_{\text{cu},ai}^c = \eta \times f_{\text{cu},i}^c \quad (\text{E.0.7-2})$$

式中： $\eta$ ——一一对应修正系数；

$f_{\text{cor},i}$ ——第*i*个芯样试件混凝土立方体抗压强度换算值(MPa)；

$f_{\text{cu},r,i}^c$ ——与芯样对应的第*i*个测区被修正方法的换算抗压强度(MPa)。

**E.0.8** 对单个构件或检验批混凝土抗压强度进行推定时，应以修正后测区混凝土换算强度进行计算。

## 附录 F 混凝土抗压强度变异系数置信上限推定方法

**F.0.1** 本方法适用于混凝土抗压强度变异系数置信上限的推定。

**F.0.2** 混凝土抗压强度总体变异系数置信上限应按下列式计算：

$$\delta_u = \left[ \frac{\chi_{0.1}^2(n-1) \left( 1 + \delta_s^2 \frac{n-1}{n} \right)}{(n-1)\delta_s^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{F.0.2})$$

式中：  $\delta_u$ ——总体变异系数置信上限，保留两位有效数字；

$\delta_s$ ——样本变异系数，  $\delta_s = s/\bar{x}$ ，保留两位有效数字；

$n$ ——样本容量；

$\chi_{0.1}^2(n-1)$ ——自由度为  $n-1$  的  $\chi^2$  分布的 0.1 分位数。

**F.0.3**  $\chi^2$  分布的 0.1 分位数可按表 F.0.3 取值。

表 F.0.3  $\chi^2$  分布的 0.1 分位数

| $n$ | $\chi_{0.1}^2(n-1)$ | $n$ | $\chi_{0.1}^2(n-1)$ | $n$ | $\chi_{0.1}^2(n-1)$ |
|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|
| 6   | 1.6103              | 18  | 10.0852             | 30  | 19.7677             |
| 8   | 2.8331              | 20  | 11.6509             | 32  | 21.4336             |
| 10  | 4.1682              | 22  | 13.2396             | 34  | 23.1102             |
| 12  | 5.5778              | 24  | 14.8480             | 36  | 24.7967             |
| 14  | 7.0415              | 26  | 16.4734             | 38  | 26.4921             |
| 16  | 8.5468              | 28  | 18.1139             | 40  | 28.1958             |

**F.0.4** 当总体变异系数置信上限大于 0.2 时，应审查检验批划分的合理性或检测方法的适用性；当总体变异系数置信上限介于 0.15~0.2 之间时，宜根据工程具体情况采用混凝土抗压强度推定区间内的值作为混凝土抗压强度推定值；当总体变异系数置信上限小于 0.15 时，宜采用混凝土抗压强度推定区间上限值作为混凝土抗压强度推定值并可对混凝土材料分项系数进行适当的调整。

**F.0.5** 混凝土材料分项系数可按下列式计算，材料分项系数调整的幅度不宜超过 10%。

$$\gamma_M = \frac{1 - 1.645\delta_u}{1 - \alpha\beta\delta_u} \quad (\text{F.0.5})$$

式中：  $\gamma_M$ ——混凝土材料分项系数计算值，保留两位有效数字；

$\alpha$ ——灵敏度系数，可取 0.962；

$\beta$ ——预期结构可靠指标，可取 3.2。

## 附录 G 混凝土外部缺陷数字图像检测方法

**G.0.1** 混凝土构件或区域外部缺陷可采用数字图像法进行检测，检测程序宜按图 G.0.1 执行。

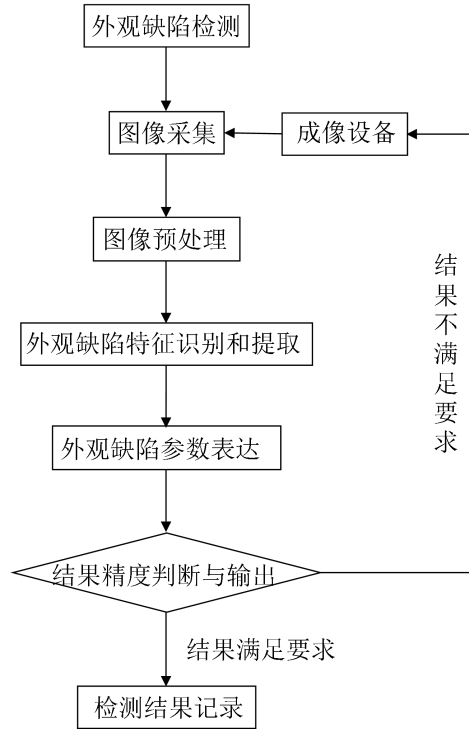


图 G.0.1 混凝土外部缺陷数字图像法检测流程示意

**G.0.2** 成像设备可选择手持相机摄影、三脚架固定相机摄影、无人机搭载相机摄影等，图像获取前应根据检测指标和精度要求选择相机、镜头等成像设备，成像设备使用前应进行标定，标定质量宜按现行国家标准《工程摄影测量规范》GB 50167 等有关规定执行。

**G.0.3** 图像采集应符合下列规定：

- 1 图像采集时应选择光线柔和、亮度均匀的视觉场景，应避免逆光拍摄。拍摄站点应保证检测精度和有效的摄影覆盖，避免屏障及盲区；
- 2 图像拍摄前应排除外部缺陷表面填充与覆盖等影响成像的因素；
- 3 图像中的外部缺陷应清晰可辨；
- 4 使用长焦镜头进行远距离拍摄，或进行大场景外部缺陷检测时，宜采用图像拼接或三维场景重建对外部缺陷进行定位。

**G.0.4** 图像预处理可根据需要选择性执行几何校正、色彩增强、降噪增强和尺寸调整等操作流程。

**G.0.5** 外部缺陷识别宜包括外部缺陷图像的判断和图像中外部缺陷的识别，外部缺陷提取应包括图像中外部缺陷的提取和背景区域的排除。外部缺陷识别与提取宜采用阈值分割、形态学操作等数字图像处理或人工智能方法，并结合人工方法辅助。

**G.0.6** 外部缺陷参数表达应根据外部缺陷类型的不同选取相应的参数，宜包括位置、形状、

数量、分布等信息。

**G.0.7** 外部缺陷检测结果可在原始照片、二维效果图或三维模型中表达，应标记外部缺陷的位置、形状、数量、分布等信息。

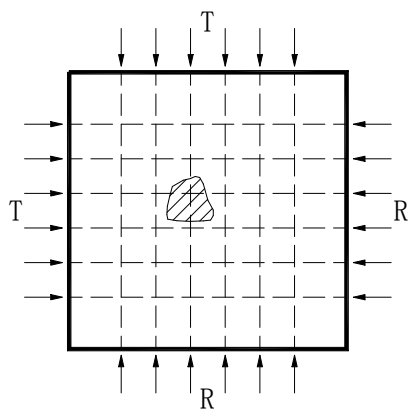
## 附录 H 混凝土内部不密实区超声检测方法

**H.0.1** 超声法检测混凝土内部缺陷时检测部位应满足下列规定：

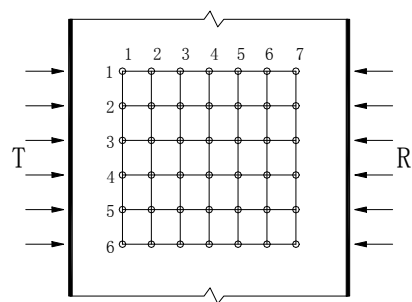
- 1 检测部位应具有可进行检测的测试面，并保证测线能垂直或斜穿检测区域；
- 2 检测范围应大于有怀疑的区域，使检测范围内具有同条件的正常混凝土，并可划分为若干测区；
- 3 除混凝土结合面检测外，每个测区内同条件总测点数不宜少于 30 个，当测点布置受限时不应少于 20 个，且其中正常混凝土的对比用测点数不应少于总测点数的 1/2，且不少于 10 个；
- 4 混凝土结合面质量检测时，每个测区内宜使穿过结合面的测点连线不应少于 3 条，不穿过结合面的测点连线不应少于 2 条；
- 5 对于梁柱节点等钢筋密集部位检测，除应符合本节有关规定外，应保证同条件测点的测试距离、角度和距构件边缘距离相同，测点连线通过钢筋密集的部位宜一致。

**H.0.2** 超声法检测混凝土内部缺陷应符合下列规定：

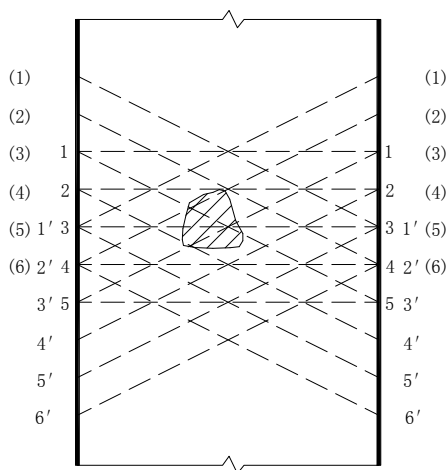
- 1 当构件具有一对或两对相互平行的测试面时，宜采用对测法、斜测法或上述两种方法相结合的方法布置测点（图 H.0.2-1）。
- 2 当构件只具有一个测试面时，宜采用钻孔和表面测试相结合的方法，应在测试面中心钻孔，孔中放置径向振动式换能器作为发射点，以钻孔为中心不同半径的圆周上布置厚度振动换能器的接收测点，同一圆周上测点间距一般为 100mm~300mm，不同圆周的半径相差 100mm~300mm，同一圆周上的测点作为同一测区数据进行分析（图 H.0.2-2）。
- 3 当测距较大时，可采用钻孔或预埋声测管法，应用两个径向振动式换能器分别置于平行的测孔或声测管中进行测试，可采用双孔平测、双孔斜测、扇形扫测的检测方式（图 H.0.2-3）。
- 4 当测距较大时，也可采用钻孔与构件表面对测相结合的方法，钻孔中径向振动式换能器发射，构件表面的厚度振动换能器接收。可采用对测、斜测、扇形扫描的检测方式（图 H.0.2-4）。
- 5 当构件仅有两个相邻的检测面时，宜采用角测法布置网格测点；角测法可分为平行角测和扇形角测（图 H.0.2-5）。
- 6 混凝土结合面质量检测时换能器连线应垂直或斜穿过结合面，对发生畸变的波形应存储或记录（图 H.0.2-6）。
- 7 对同一测区在测试时应保证测试系统以及工作参数的一致性，并尽可能保证测距和测线倾斜角度的一致性。



(a) 对测、斜测平面图



(b) 对测立面图



(c) 对测、斜测立面图

图 H.0.2-1 对测法或斜测法示意图

T—发射换能器；R—接收换能器

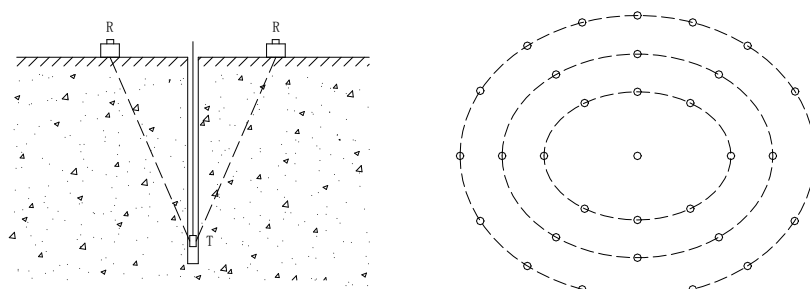


图 H.0.2-2 钻孔法与表面测试相结合示意图

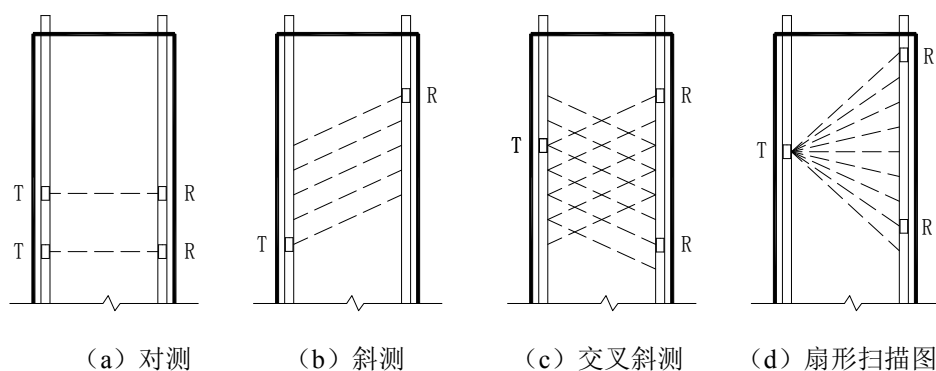


图 H.0.2-3 钻孔法示意图

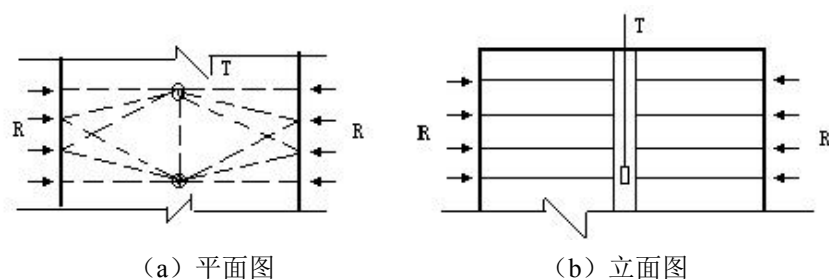


图 H.0.2-4 钻孔法与表面对测结合法示意图

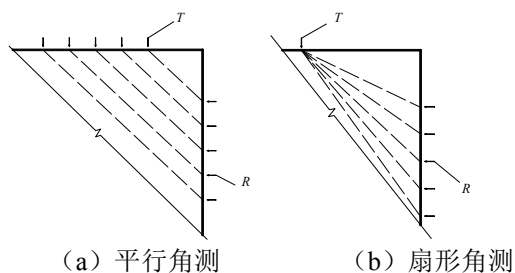


图 H.0.2-5 角测法平面或立面图示意图

T—发射换能器；R—接收换能器

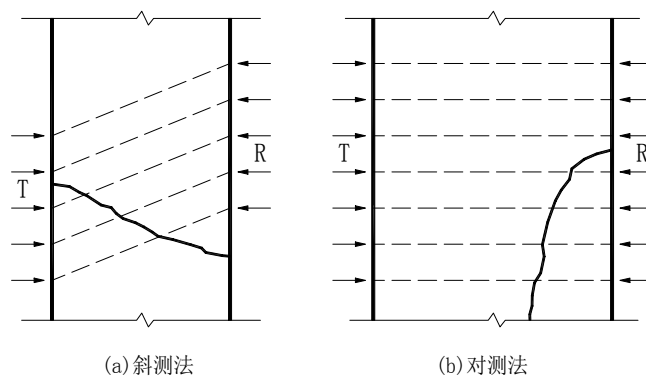


图 H.0.2-6 结合面质量对测或斜测法示意图

**H.0.3** 混凝土内部缺陷检测应记录首波完整波形、声时、波幅和主频值等声学参数，并应进行声速、波形不相似系数计算。

1 声速应按下式计算：

$$v_i = l_i / t_i \quad (\text{H.0.3-1})$$

式中： $v_i$ ——第  $i$  测点混凝土声速 ( $\text{km/s}$ )，精确至  $0.01 \text{ km/s}$ ；

$l_i$ ——第  $i$  测点测距，取换能器辐射面内边缘间距和测点间距离中的较小值，精确至  $1\text{mm}$ ；

$t_i$ ——第  $i$  测点混凝土声时 ( $\mu\text{s}$ )，应扣除仪器声时初始度数 (零声时)。

2 波形不相似系数应按下列式计算：

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^N \left( \frac{a_{ij} - \bar{a}_i}{s_i} - \frac{a_{0j} - \bar{a}_0}{s_0} \right)^2} \quad (\text{H.0.3-2})$$

$$\bar{a}_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{0j} \quad (\text{H.0.3-3})$$

$$\bar{a}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad (\text{H.0.3-4})$$

$$s_0 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (a_{0j} - \bar{a}_0)^2} \quad (\text{H.0.3-5})$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (a_{ij} - \bar{a}_i)^2} \quad (\text{H.0.3-6})$$

$$N = t_s / \Delta t \quad (\text{H.0.3-7})$$

式中： $D_i$ ——第  $i$  测点波形不相似系数，即第  $i$  测点相对于基准测点波形数据，采用标准化欧氏距离公式计算的无量纲数值， $D_i \geq 0$ ，精确至  $0.0001$ ；

$N$ ——波形数据总数 (个)，取整数；

$t_s$ ——波形长度 ( $\mu\text{s}$ )，第  $i$  测点波形长度应与基准测点波形长度相等；

$\Delta t$ ——采样间隔 ( $\mu\text{s}$ )；

$a_{0,1}$ 、 $a_{i,1}$ ——分别为基准测点、第  $i$  测点波形数据序列中第 1 项数据，即首波起跳点的波形数据；

$a_{0,j}$ 、 $a_{i,j}$ ——分别为基准测点、第  $i$  测点波形数据序列中第  $j$  项波形数据；

$a_{0,N}$ 、 $a_{i,N}$ ——分别为基准测点、第  $i$  测点波形数据序列中第  $N$  项数据，即波形长度  $t_s$  对应的波形数据；

$\bar{a}_0$ 、 $\bar{a}_i$ ——分别为基准测点、第  $i$  测点波形数据的平均值；

$s_0$ 、 $s_i$ ——分别为基准测点、第  $i$  测点波形数据的标准差。

**H.0.4** 声学参数异常值的判定应符合下列规定：

1 异常值判定可采用对比法和概率法，当测试范围内的测点数据少于 20 个时宜采用对比法，不少于 20 个时应优先采用概率法，必要时可结合对比法进行综合判定；

2 测点数据异常值判定应优先以波形不相似系数为主要判定参数，并结合声时、声速和波幅等参数；

3 采用波形不相似系数判定测点异常值时，波形长度应根据接收信号遇混凝土缺陷可能产生的波形变化范围确定；当难以确定波形长度时，宜取首波起跳点起不少于 1 个完整周期的波形长度。

**H.0.5** 对比法判定声学参数异常值应符合下列规定：

1 每个测区内测点总数不应少于 5 个，其中基准点数不应少于总点数的 1/3，且不应少于 2 个；

2 将各测点数据与基准点数据比较，若与基准点数据存在明显差异时，可直接判定测点数据为异常值；

3 当发现某测点数据与基准点数据存在差异但难以判定时,可使用系统聚类法(离差平方和法等)将同条件所有测点数据分成较大、较小两类或两组,当某测点数据与基准点不属一类时,可判定该测点数据为异常值。

**H.0.6 概率法判定声学参数异常值应符合下列规定:**

1 测点异常判定值计算应符合下列规定:

采用声时、波形不相似系数等声学参数应按式(1)计算:

$$x_l = m_x + k_{0.05}s \quad (\text{H.0.6-1})$$

采用声速、波幅和主频等声学参数应按式(2)计算:

$$x_u = m_x - k_{0.05}s \quad (\text{H.0.6-2})$$

式中:  $x_l$ 、 $x_u$ ——声学参数异常判定值;

$m_x$ ——各测点的声学参数平均值;

$s_x$ ——各测点的声学参数标准差;

$k_{0.05}$ ——声学参数异常判定系数,按表 H.0.6-1 采用。

表 H.0.6-1 声学参数异常值判定系数

| 参与测点数<br>$n'$ | 判定系数<br>$k_{0.05}$ | 参与测点数<br>$n'$ | 判定系数<br>$k_{0.05}$ | 参与测点数<br>$n'$ | 判定系数<br>$k_{0.05}$ |
|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| ≤5            | 1.074              | 23            | 1.492              | 41            | 1.601              |
| 6             | 1.136              | 24            | 1.501              | 42            | 1.605              |
| 7             | 1.185              | 25            | 1.509              | 43            | 1.609              |
| 8             | 1.226              | 26            | 1.517              | 44            | 1.612              |
| 9             | 1.260              | 27            | 1.524              | 45            | 1.616              |
| 10            | 1.290              | 28            | 1.531              | 46            | 1.620              |
| 11            | 1.316              | 29            | 1.538              | 47            | 1.623              |
| 12            | 1.339              | 30            | 1.545              | 48            | 1.626              |
| 13            | 1.360              | 31            | 1.551              | 49            | 1.630              |
| 14            | 1.378              | 32            | 1.557              | 50            | 1.633              |
| 15            | 1.395              | 33            | 1.562              | 60            | 1.660              |
| 16            | 1.411              | 34            | 1.568              | 70            | 1.682              |
| 17            | 1.425              | 35            | 1.573              | 80            | 1.700              |
| 18            | 1.438              | 36            | 1.578              | 90            | 1.715              |
| 19            | 1.451              | 37            | 1.583              | 100           | 1.727              |
| 20            | 1.462              | 38            | 1.588              | 110           | 1.738              |
| 21            | 1.473              | 39            | 1.592              | ≥120          | 1.748              |
| 22            | 1.482              | 40            | 1.596              | —             | —                  |

2 异常值判定方法应符合下列规定:

1) 将每个测区内  $n$  个测点的声学参数数据由小到大顺序排列 ( $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n$ ),并按表 H.0.6-2 对数据进行预处理;

表 H.0.6-2 数据预处理和统计量计算

| 声学参数       | 数据预处理和统计量计算                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 声时、波形不相似系数 | 测点数据未发现明显偏大数据时,直接计算 $m_x$ 和 $s_x$ ;发现时,宜将明显偏大或第95%分位数之后对应的测点数据假定为异常,去除后再计算 $m_x$ 和 $s_x$ |
| 声速、波幅和主频   | 测点数据未发现明显偏小数据时,直接计算 $m_x$ 和 $s_x$ ;发现时,宜将明显偏小或第5%分位数之前对应的测点数据假定为异常,去除后再计算 $m_x$ 和 $s_x$  |

2) 将表 H.0.6-2 确定的 $m_x$ 和 $s_x$ 以及由表 H.0.6-1 确定的 $k_{0.05}$ 代入式(H.0.6-1)或式

(H.0.6-2)可计算出初次异常值判定值, 记作 $x_{l, 1}$ 或 $x_{u, 1}$ ; 参与初次异常值判定的测点数 $n'$ 等于该测区测点总数  $n$ ;

3) 声时、波形不相似系数等参数异常值判定应符合下列规定:

i. 将 $x_{l, 1}$ 与声学参数数据排序靠后的某测点数据比较, 包含预处理假定为异常测点数据; 当 $x_n < x_{l, 1}$ , 应判定该测区  $n$  个测点无异常值; 当 $x_{i+1} \geq x_{l, 1}$ , 应判定 $x_{i+1} \sim x_n$ 测点数据为异常值。

ii. 将 $x_{i+1} \sim x_n$ 去除后利用 $x_1 \sim x_i$ 测点数据计算 $m_x$ 和 $s_x$ , 查表 H.0.6-1 确定 $k_{0.05}$ , 代入式 (H.0.6-1)得到二次异常值判定值, 记作 $x_{l, 2}$ ; 参与二次判定的测点数 $n' = i$ 。

iii. 将 $x_{l, 2}$ 与 $x_1 \sim x_i$ 排序靠后的测点数据再次比较, 重复以上操作, 直至最后判不出异常值为止。

4) 声速、波幅和主频等参数异常值判定应符合下列规定:

i. 将 $x_{u, 1}$ 与声学参数数据排序靠前的某测点数据比较, 包含预处理假定为异常测点数据; 当 $x_1 > x_{u, 1}$ , 应判定该测区  $n$  个测点无异常值; 当 $x_i \leq x_{u, 1}$ , 应判定 $x_1 \sim x_i$ 测点数据为异常值。

ii. 将 $x_1 \sim x_i$ 去除后利用 $x_{i+1} \sim x_n$ 测点数据计算 $m_x$ 和 $s_x$ , 查表 H.0.6-1 确定 $k_{0.05}$ , 代入式 (H.0.6-2)得到二次异常值判定值, 记作 $x_{u, 2}$ ; 参与二次判定的测点数 $n' = n - i$ 。

iii. 将 $x_{u, 2}$ 与 $x_{i+1} \sim x_n$ 排序靠前的测点数据再次比较, 重复以上操作, 直至最后判不出异常值为止。

**H.0.7** 混凝土结合面质量检测宜采用对比法判定测点声学参数异常值。

**H.0.8** 混凝土内部缺陷的位置和范围应结合声参数异常点的分布及波形状况进行综合判定。

## 附录 J 混凝土裂缝深度超声单面平测方法

**J.0.1** 单面平测法检测混凝土裂缝深度应符合下列规定：

- 1 检测前应根据现场和资料调查结果预估混凝土裂缝深度；
- 2 被测裂缝在结构构件一个检测面，且裂缝深度预先估计值不大于 500mm 时，可利用一个检测面检测混凝土裂缝深度；
- 3 被测裂缝内部不得积水，不得含泥浆及其他填充物；
- 4 采用不同测距按跨缝、不跨缝分别布置测点，跨缝、不跨缝的测点数均不得少于 5 个，当测点布置受限时测点数均不得少于 3 个；测点平距的最大值不宜大于 1000mm；测点平距的最小值宜为裂缝预估深度的  $1/3 \sim 1/2$ ，且不大于 100mm；
- 5 不跨缝测点发、收换能器位于裂缝同侧，跨缝测点发、收换能器位于裂缝两侧，跨缝与不跨缝测距应保持一一对应；
- 6 测点布置应使测点连线与钢筋中心线保持一定夹角，并应避开测试部位其他细小裂缝和外观缺陷；
- 7 跨缝测点连线宜与裂缝无错位、裂缝宽度较大的位置相交；裂缝长度较短时宜与缝长  $1/2$  位置相交。

**J.0.2** 单面平测法检测裂缝深度应按下列步骤进行：

1 应将 T 和 R 换能器置于裂缝附近同侧和两侧，以两个换能器内边缘间距 ( $l_i'$ ) 等于 100mm、150mm、200mm……分别测读跨缝声时  $t_{11}$ 、 $t_{12}$ 、...、 $t_{1i}$ 、...、 $t_{1n}$  和不跨缝声时  $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 、...、 $t_{2i}$ 、...、 $t_{2n}$ 。

2 根据不跨缝各测点内边缘间距和声时，得出声时与测距之间的回归直线方程：

$$l = a + bt \quad (\text{J.0.2-1})$$

式中： $l$ ——测距(mm)；

$t$ ——与测距 $l$ 对应的声时值 ( $\mu\text{s}$ )；

$a$ ——回归直线方程的常数项(mm)；

$b$ ——回归系数即平测法声速  $v$  (km/s)。

3 单面平测法裂缝深度应按式计算 (图 J.0.2)：

$$h_i = \frac{1}{2} \sqrt{l_{1i}^2 - l_{2i}^2} \quad (\text{J.0.2-2})$$

式中： $h_i$ ——第  $i$  点裂缝计算深度 (mm)；

$l_{1i}$ ——第  $i$  点跨缝裂测距估计值 (mm)，按式 (J.0.2-1)， $t$  取  $t_{1i}$  时， $l_{1i}$  为  $a + bt_{1i}$ ；

$l_{2i}$ ——第  $i$  点不跨缝裂测距估计值 (mm)，按式 (J.0.2-1)， $t$  取  $t_{2i}$  时， $l_{2i}$  为  $a + bt_{2i}$ 。

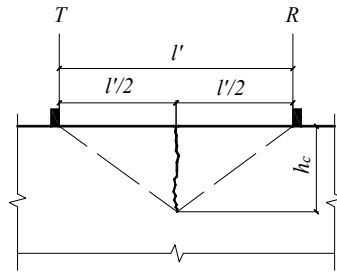


图 J.0.2 跨缝检测超声波传播路径示意图

T—发射换能器；R—接收换能器

4 裂缝深度平均值应按下列式计算

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{J.0.2-3})$$

式中： $\bar{h}$ ——裂缝深度平均值（mm）；

$n$ ——测点总数。

**J.0.3 数据处理和裂缝深度检测值 $h_c$ 确定应符合下列规定：**

1 跨缝检测未发现首波反相时，剔除测距 $l'_i < \bar{h}$ 和 $l'_i > 3\bar{h}$ 对应测点的裂缝计算深度，按照第 H.0.5 条的有关规定，将剩余测点裂缝计算深度可分成较大、较小两组，取较大一组数据的平均值作为 $h_c$ ；当不可以分成两组时，取剩余测点裂缝计算深度的平均值作为 $h_c$ ；

2 跨缝检测当发现第  $i$  点测距首波反相时，可初步确定 $h_c$ 为  $0.5l'_i \sim l'_i$ 。根据反相点的相邻测点 $t_{1(i-1)}$ 、 $t_{1(i+1)}$ 和 $t_{2(i-1)}$ 、 $t_{2(i+1)}$ 分别按式（J.0.2-1）和式（J.0.2-2），求得 $h_{i-1}$ 和 $h_{i+1}$ 并取平均值 $\bar{h}$ ，当 $\bar{h}$ 满足  $0.5l'_i < \bar{h} < l'_i$ 时， $h_c = \bar{h}$ ；当 $\bar{h} \leq 0.5l'_i$ 时， $h_c = 0.5l'_i$ ；当 $\bar{h} \geq l'_i$ 时， $h_c = l'_i$ 。

3 当对判定结果怀疑时，应补充检测或重新检测，或通过局部钻芯取样检查验证。

## 附录 K 混凝土构件内部缺陷相控阵超声成像方法

**K.0.1** 相控阵超声成像法检测混凝土内部缺陷时被测部位应满足下列规定：

- 1 被测部位混凝土龄期不宜小于 7d；
- 2 混凝土内部钢筋间距不宜小于 150mm；
- 3 测区表面宜为混凝土原浆面，表面平整度允许偏差应为 3mm，且不应有蜂窝、孔洞等外观质量缺陷，必要时可用砂轮磨平或用高强度快凝砂浆抹平；
- 4 测区表面不应有积水、积雪、污渍等。

**K.0.2** 结构测区划分与测线、测点布置应满足下列规定：

- 1 测线宜沿测区长度方向布置，测线和测点间距宜均匀（图 K.0.2-1）；
- 2 测区内相邻两条测线的间距不宜大于探头区宽度与探头列距之差，测线上相邻两个测点的间距不宜大于探头区长度与探头列距之差，最外侧探头与被测构件边缘的距离不宜小于 40mm（图 K.0.2-2）；
- 3 测区、测线和测点应编号清晰、准确。

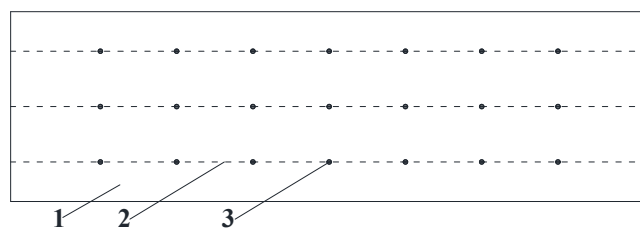


图 K.0.2-1 测区划分与测线、测点布置示意图

1—测区；2—测线；3—测点

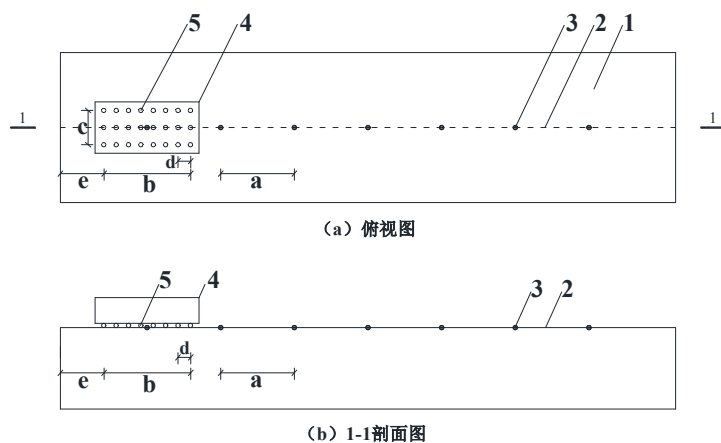


图 K.0.2-2 探头区相关参数示意图

1—测区；2—测线；3—测点；4—扫描装置；5—探头；a—测点间距；b—探头区长度；  
c—探头区宽度；d—探头列距；e—最外侧探头与被测构件边缘的距离，不小于 40mm

**K.0.3** 现场检测应符合下列规定：

- 1 检测前首先应按照仪器规定的方法标定结构的超声波脉冲速度，当结构厚度已知时，应采用已知厚度对超声波脉冲速度进行标定，且应至少选取 3 个不同测点进行标定并取平

均值；当结构厚度未知时，应采用单面平测法对超声波脉冲速度进行标定，且应至少选取 5 个不同测点进行标定并取平均值；

2 检测时应将仪器探头区中心对准测点，各探头应紧贴结构表面，再启动仪器进行 A 扫描；当结构质量较差、密度较小或厚度较大时，应放大增益再进行 A 扫描直至得到清晰的波形图；

3 第一个测点的 A 扫描测试结束后，应沿测线的单一方向，对其余测点依次进行测试；当完成某一测线上全部测点的 A 扫描后，可通过仪器的 B 扫描功能得到该测线的纵截面超声图像；

4 宜从测区的一侧开始，按顺序完成每一条测线的扫描；

5 检测过程中如出现可疑数据应及时查找原因，必要时应进行复测或加密测点。

**K.0.4** 现场检测获得的数据应符合下列规定：

1 数据丢失量不应超过全部扫描数据量的 5%，且不应有相邻数据丢失；

2 若数据无效，应检查仪器后重新进行扫描。

**K.0.5** 检测结果判定应符合下列规定：

1 应通过对测线的纵截面超声图像中不同颜色显示的区域进行分析，判定该测线对应结构内部是否存在缺陷。

2 应通过集成测区内各条测线的判定结果，判定测区内结构内部缺陷的位置及范围。

3 必要时应采用局部破损法对相控阵超声法检测结果进行校核。

# 附录 L 混凝土性能受影响层厚度原位检测方法

## L.1 一般规定

- L.1.1** 本附录适用于遭受冻伤、火灾或化学腐蚀后混凝土性能受影响层厚度的原位检测。
- L.1.2** 开展原位检测前，应对现场进行初步调查，根据调查结果预先估计受影响层厚度。
- L.1.3** 混凝土性能受影响层厚度应根据受影响层混凝土物理性质或化学性质的可能变化选择碳化深度法或超声法进行原位检测。
- L.1.4** 根据表面损伤状况进行分类，将表面损伤状况相近的构件作为一个损伤类别；对每个损伤类别按约定抽样方法选择受检构件或受检区域。
- L.1.5** 原位检测宜进行取样验证，混凝土性能受影响层厚度的取样检测可按本标准附录 M 的规定进行。

## L.2 碳化深度测试方法

- L.2.1** 碳化深度法检测表面损伤层厚度应符合下列规定：
- 1 表面损伤层厚度预先估计值不宜大于 50mm；
  - 2 每个损伤类别布置不应少于 6 个测区，测区宜布置在有代表性的部位；
  - 3 每个测区应布置 3 个测孔，取 3 个测孔碳化深度的平均值作为该测区碳化深度的代表值；
  - 4 提供每个测区的碳化深度检测值；
  - 5 以每个类别中最大的碳化深度作为该类别混凝土性能受影响层的厚度。
- L.2.2** 单个测区碳化深度的测试可按下列步骤操作：
- 1 在混凝土表面布置测孔，根据预估的碳化深度选择测孔直径；
  - 2 清扫孔内碎屑和粉末；
  - 3 向孔内喷洒浓度为 1% 的酚酞试液，喷洒量以表面均匀湿润但不流淌；
  - 4 当已碳化和未碳化界限清楚时，测量已碳化和未碳化交界面至混凝土表面的垂直距离即为碳化深度，测量不应少于 3 次，取其平均值，精确至 0.1mm；

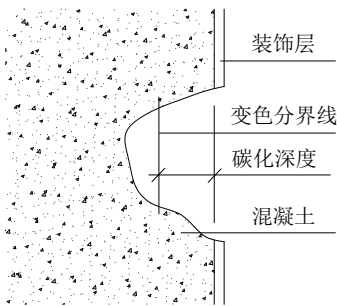


图 L.2.2 碳化深度测孔示意图

### L.3 表面损伤层厚度超声检测方法

L.3.1 超声法检测表面损伤层厚度应符合下列规定：

- 1 表面损伤层厚度预先估计值不宜大于 100mm；
- 2 每个损伤类别布置不宜少于 3 个测区，测区宜布置在有代表性的部位，当表面损伤层厚度分布不均匀或检测数据异常、无效时，应增加测试部位；
- 3 测区表面应平整并处于干燥状态，且无接缝和饰面层；
- 4 以每个类别中最大的损伤深度作为该类别混凝土性能受影响层的厚度；
- 5 当测试部位损伤厚度太小或检测数据无效时，应对测点进行碳化深度或取样检测受影响层厚度。

L.3.2 单个测区表面损伤层厚度的检测应符合下列规定：

- 1 表面损伤层厚度检测宜选用频率为 100kHz 的厚度振动式换能器；
- 2 测试时，T 换能器应保持不动；将 R 换能器依次耦合在以平距 30mm 起，按 30mm 整数倍依次置于 1、2、3、……测点位置上，读取相应的声时值  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、……，并测量每次 T、R 换能器内边缘之间的距离  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 、……（图 L.3.2）。

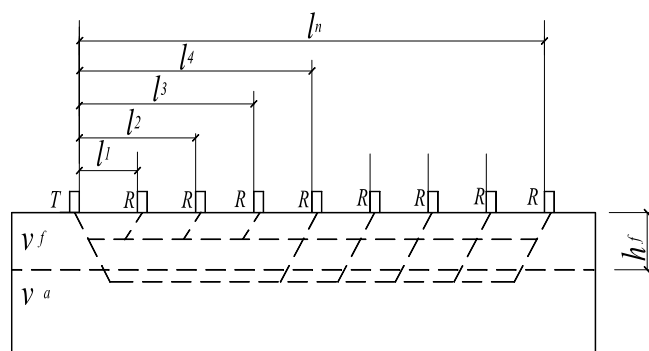


图 L.3.2 超声检测损伤层厚度示意图

- 3 每个测区布置的测点数  $n$  不应少于 6 个，其中基准测点数据不应少于该测区总点数的 1/3，基准测点宜为同一测区下正常混凝土测点；损伤层较厚或不均匀时，应适当增加测点数。

L.3.3 测点数据有效性判定应符合下列规定：

- 1 相邻测点平均声速估算值应按式 (L.3.3) 进行计算：

$$v'_i = (l_{i+1} - l_i) / (t_{i+1} - t_i) \quad (\text{L.3.3})$$

式中： $v'_i$  ——第  $i$  个相邻测点平均声速估算值(km/s)， $i$  取 1~ $n-1$ ；

- 2 测点数据有效性判定应符合下列规定：

- 1) 将每个测区内  $n-1$  个相邻测点平均声速估算值组由小到大顺序排列；
- 2) 按照本标准 H.0.5 条的规定，当邻测点平均声速估算值组可分成较大、较小两组，且各组测点数均不少于 3 点，可判定测点数据有效。

3) 当邻测点平均声速估算值组不能分成较大、较小两组，或存在分组现象但每组对应的测点数少于 3 点，且经增加测点补测仍不能满足本款 2) 项要求，可判定测试部位损伤厚度太小，或该部位检测数据无效。

**L.3.4** 表面损伤层厚度计算应符合下列规定：

1 当测点数据有效时，可根据两组数据对应的距离 $l_i$ 和声时 $t_i$ ，绘制“时-距”图(图 L.3.4)。分别用图中转折点前、后数据求出损伤和未损伤混凝土的“ $l$ - $t$ ”回归直线方程：

损伤混凝土：

$$l_f = a_1 + b_1 t_f \quad (\text{L.3.4-1})$$

未损伤混凝土：

$$l_a = a_2 + b_2 t_a \quad (\text{L.3.4-2})$$

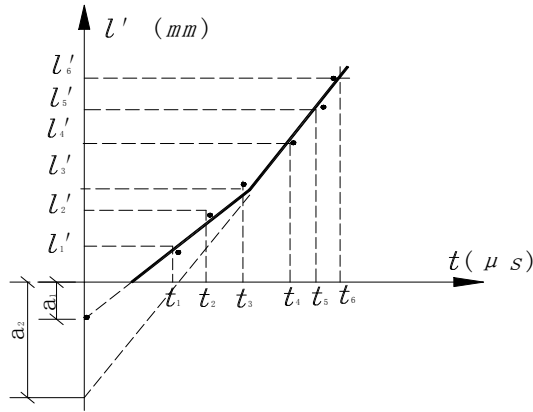


图 L.3.4 超声检测损伤层“时-距”图

2 测区损伤层厚度应按下列公式计算：

$$l_0 = \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{b_2 - b_1} \quad (\text{L.3.4-3})$$

$$h_f = \frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{b_2 - b_1}{b_2 + b_1}} \quad (\text{L.3.4-4})$$

## 附录 M 混凝土性能受影响层厚度取样检测方法

**M.0.1** 本附录适用于混凝土性能受影响层厚度的取样检测。

**M.0.2** 混凝土性能受影响层厚度可根据造成影响因素的特点，通过湿润深度、里氏硬度和碳化深度的测试结果进行判定。

**M.0.3** 湿润深度法测试应符合下列规定：

- 1 将混凝土芯样进行冲洗后，放入干净水中浸泡 2h；
- 2 将芯样从水中取出，表面朝上直立放置在通风阴凉处；
- 3 定时观察芯样侧面湿润程度的情况变化，当芯样侧面出现明显的湿润分界线时，测量两个相互垂直直径对应的 4 个测点湿润分界线至芯样上表面的垂直距离，读数精确至 0.1mm；
- 4 取 4 个测点测值的平均值作为该芯样湿润深度的代表值；
- 5 湿润深度的代表值可作为该芯样所在部位混凝土性能受影响层厚度的判定值。

**M.0.4** 里氏硬度法测试应符合下列规定：

- 1 将混凝土芯样冲洗后、擦干并晾置面干；
- 2 沿两个相互垂直直径对应的 4 个测点在芯样侧面画出 4 条平行于芯样轴线的测试线；
- 3 沿每条测试线分别从芯样上表面开始以 5mm 的间距，连续测试里氏硬度；当连续 3 个测试数据相差不超过 5 时，停止测试。
- 4 将测点离上表面的距离与对应的里氏硬度值进行数据分析，得到里氏硬度值突变时的测点位置参数。
- 5 4 个测线位置参数测值的算术平均值可作为该芯样所在部位混凝土性能受影响层厚度的判定值。

**M.0.5** 碳化深度法测试应符合下列规定：

- 1 将混凝土芯样冲洗后晾干；
- 2 将芯样对中劈开，在两个新劈开面的中间部位喷洒浓度为 1% 的酚酞试液，喷洒量以表面均匀湿润但不流淌；
- 3 测量每个劈开面的中间及两侧各 1/4 半径对应部位的碳化深度读数精确至 0.1mm；
- 4 取两个新劈开面共 6 个测点的碳化深度平均值作为该芯样碳化深度的代表值；
- 5 碳化深度的代表值可作为该芯样所在部位混凝土性能受影响层厚度的判定值。

## 附录 N 钻孔内窥法检测灌浆饱满度和钢筋插入情况

**N.0.1** 采用钻孔内窥法检测时，钻孔部位的选择应符合下列规定：

- 1 当出浆孔道为直线形且孔道长度不大于 150mm 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 150mm 时，可在套筒壁上钻孔或在浆锚孔道顶部区域直接钻孔。

**N.0.2** 沿着出浆孔道或灌浆孔道进行钻孔形成检测通道时，钻孔前应确认出浆管或灌浆管的走向，钻孔方向应与出浆管或灌浆管的走向一致。

**N.0.3** 钻透混凝土保护层和套筒壁形成检测通道时，同一个套筒上钻孔数量不应超过 2 个，在套筒同一横截面上钻孔数量不应超过 1 个；钻透混凝土保护层和浆锚孔道壁形成检测通道时，在浆锚孔道同一横截面上钻孔数量不宜超过 1 个。

**N.0.4** 钻孔形成的检测通道应贯通至套筒或浆锚孔道的内部，并应符合下列规定：

- 1 检测灌浆饱满度时，宜通过控制钻孔深度避免对钢筋造成损伤；
- 2 在钻孔过程中，应至少中断两次并进行清孔检查，当钻头触碰到套筒内或浆锚孔道内的钢筋发出异响时，应立即停止钻孔，钢筋表面最大损伤深度不应大于 1.0mm；
- 3 检测钢筋插入情况时，当通过内窥镜可以观察到套筒内或浆锚孔道内的钢筋或金属体，或钻孔深度达到最大限值时，应立即停止钻孔，钻孔深度最大限值的确定应符合下列规定：

- 1) 当钻孔方向与混凝土表面垂直时，钻孔深度最大限值应按下列公式计算：

$$L_{\max} = c + \frac{d_1 + d_2}{2} - 6 \quad (\text{N.0.4})$$

式中： $L_{\max}$ ——钻孔深度最大限值，应精确至 1mm；

$c$ ——套筒部位混凝土保护层厚度实测值，应精确至 1mm；

$d_1$ 、 $d_2$ ——灌浆套筒外径、最小内径，应精确至 0.1mm。

- 2) 当钻孔方向与混凝土表面不垂直时，钻孔深度最大限值应根据几何角度对本标准公式（N.0.4）进行换算。

4 在钻孔深度达到最大限值的情况下，若未见套筒内的钢筋或金属体，宜采用更大直径的钻头对套筒内部浆料进行扩孔；

- 5 钻孔完成后，应采用毛刷、气吹等工具对孔道进行清理。

**N.0.5** 灌浆饱满度的检测应符合下列规定：

- 1 沿检测通道伸入内窥镜头，观察内部饱满情况，若灌浆不饱满，应测量不饱满的缺陷长度，并应精确至 0.1mm；
- 2 当灌浆料顶部界面不低于套筒出浆孔时，应判定为灌浆饱满；
- 3 当灌浆料顶部界面低于套筒出浆孔时，应判定为灌浆不饱满，并应给出灌浆不饱满的缺陷长度（图 N.0.5）。

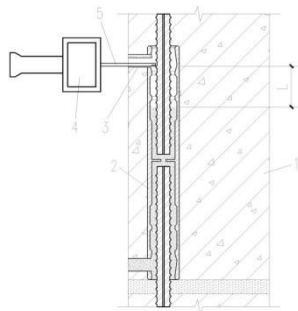


图 N.0.5 内窥镜检测套筒灌浆饱满度示意

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；L—灌浆料顶部界面距套筒出浆孔高度

**N.0.6** 半灌浆套筒钢筋插入情况的检测应符合下列规定：

1 应先沿出浆孔道进行钻孔检测，若出浆孔道处判定为套筒内未见钢筋，则应再沿灌浆孔道进行钻孔检测；

2 沿检测通道伸入内窥镜头，当可以直接观察到套筒内的钢筋时，应判定为套筒内可见钢筋；

3 当通过内窥镜无法判断套筒内所见金属体是否为钢筋时，应通过测量钻孔深度确定所见金属体距混凝土表面的垂直距离，再按下列规定进行判定：

1) 若根据套筒内所见金属体距混凝土表面的垂直距离判断套筒内所见金属体不是套筒内壁，则可判定为套筒内有钢筋；

2) 若根据套筒内所见金属体距混凝土表面的垂直距离判断套筒内所见金属体是套筒内壁，则应判定为套筒内未见钢筋；

3) 若根据测量钻孔深度不能判断套筒内所见金属体是否为套筒内壁时，应采用 X 射线成像法或其他方法进行检测。

4 当通过内窥镜未观察到套筒内有钢筋或金属体时，应判定为套筒内未见钢筋；

5 当对检测结果有异议时，可采用 X 射线成像法或其他方法进行验证。

**N.0.7** 全灌浆套筒的装配端钢筋插入情况的检测应符合下列规定：

1 应先沿灌浆孔道进行钻孔检测，若灌浆孔道处可见钢筋或判定为套筒内有钢筋，则可通过钻透混凝土保护层和套筒壁对钢筋插入情况做进一步检测；

2 检测判定应按本标准第 N.0.6 条第 2 款～第 5 款的规定执行。

**N.0.8** 采用钻孔内窥法检测浆锚搭接的钢筋插入长度时，应符合下列规定：

1 应在钢筋设计锚固段的上端部钻孔至钢筋表面，钻孔时可按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 10mm 后再次钻孔，若仍未见钢筋，可判定钢筋插入长度未达到设计要求。

**N.0.9** 采用钻孔内窥法检测钢筋插入情况时，可只给出钻孔部位有无钢筋的结论，不宜对装配端钢筋插入长度的符合性进行判定。

**N.0.10** 检测工作完成后，应对钻孔部位的出浆孔道、灌浆孔道或混凝土保护层进行封闭修复处理。

## 附录 P X 射线成像法检测灌浆饱满度和钢筋插入长度

**P.0.1** 现场检测应采取辐射防护措施，除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 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 对从事 X 射线操作的人员应进行现场安全和辐射防护培训；
- 2 现场检测人员应配备辐射剂量计，现场人员均应处于辐射安全区域。

**P.0.2** 检测系统应符合下列规定：

- 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，中央控制器可设置的最长延迟开启时间不应低于 180s；
- 3 宜采用数字成像系统，并应符合现行国家标准《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 和《无损检测 X 射线数字成像检测 系统特性》GB/T 35394 的有关规定；
- 4 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在 2.0~3.0 之间。

**P.0.3** 检测前的准备工作应符合下列规定：

- 1 当检测灌浆饱满度时，灌浆料龄期不宜低于 7d；
- 2 应对检测设备及辐射报警装置的运转状态进行检查确认；
- 3 对相关信息应进行记录，宜包括工程名称、构件位置、套筒或浆锚孔道的具体位置、检测人员信息等。

**P.0.4** 现场检测应符合下列规定：

- 1 选择合适的透照工艺，并可通过试验确定各项参数；
- 2 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；
- 3 透照时 X 射线束应指向透照区中心，并宜选择有利于发现缺陷的方向透照；
- 4 应调节 X 射线机的焦距并设置管电压、管电流、曝光时间和延迟开启时间；
- 5 应确保现场人员均处于安全区域后开启透照曝光，曝光完成后，应立即关闭射线机高压并确认检测区域处于安全状态后取下成像装置；
- 6 应记录管电压、管电流、焦距等检测信息和数据，并应存储检测结果图像。

**P.0.5** 当结构实体不满足无损检测的条件时，可采用剔除混凝土保护层的局部破损方法进行检测（图 P.0.5），检测完成后，应对破损区域进行修复处理。

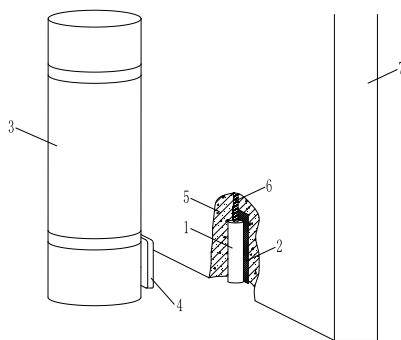


图 P.0.5 局部破损检测示意

1—灌浆套筒；2—成像装置；3—射线机；4—射线机窗口；5—剔凿区域；  
6—钢筋；7—预制构件

**P.0.6** 当需要对检测结果进行尺寸测量时，应根据透射照相的投影关系通过已知尺寸对测量数值进行修正。

**P.0.7** 套筒灌浆饱满度的检测应符合下列规定：

- 1 宜结合黑度值或灰度值识别灌浆料顶部界面及连接钢筋的轮廓；
- 2 当套筒内部出现除钢筋轮廓以外的灰度差或黑度差时，若灰度差或黑度差分界线不低于套筒出浆孔，则可判定灌浆饱满；若灰度差或黑度差分界线低于套筒出浆孔，则应判定灌浆不饱满；
- 3 当套筒内未识别出灌浆料顶部界面时，应采取钻孔内窥法等其他手段进行检测；
- 4 当判断为灌浆不饱满时，应给出灌浆不饱满的缺陷长度。

**P.0.8** 钢筋插入长度的检测应符合下列规定：

- 1 当图像中完整呈现插入钢筋的轮廓时，应测量钢筋插入长度，当检测结果不小于设计要求时，应判定钢筋插入长度符合设计要求；
- 2 当图像中未完整呈现插入钢筋的轮廓时，应给出所检部位是否有钢筋的结论，并应给出钢筋端部与套筒关键特征点的距离，不宜对钢筋插入长度的符合性进行判定；
- 3 当发现插入钢筋未与下部生根构件锚固时，应判定钢筋插入长度不符合设计要求。

## 本标准用词说明

- 1 为了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“不宜”。
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：  
正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 标准中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021
- 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
- 《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068
- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083
- 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144
- 《混凝土结构试验方法标准》GB/T 50152
- 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 《工程摄影测量规范》GB 50167
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292
- 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344
- 《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355
- 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550
- 《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621
- 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
- 《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355
- 《计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》GB/T 2828.1
- 《计数抽样检验程序 第2部分：按极限质量(LQ)检索的孤立批检验抽样方案》GB/T 2828.2
- 《国际单位制及其应用》GB 3100
- 《有关量、单位和符号的一般原则》GB/T 3101
- 《统计分布数值表  $t$  分布》GB/T 4086.3
- 《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
- 《正态分布分位数与变异系数的置信限》GB/T 10094
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871
- 《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
- 《水泥化学分析方法》GB/T 176
- 《分析实验室用水规格和试验方法》GB/T 6682

《钢渣稳定性试验方法》GB/T 24175  
《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750  
《通用硅酸盐水泥》GB 175  
《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  
《水工混凝土试验规程》DL/T 5150  
《水工混凝土应用钢渣骨料技术规范》DL/T 5877  
《建筑变形测量规范》JGJ 8  
《回弹法检测混凝土抗压强度技术标准》JGJ/T 23  
《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52  
《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145  
《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152  
《后锚固法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 208  
《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322  
《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  
《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441  
《雷达法检测混凝土结构技术标准》JGJ/T 456  
《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30  
《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1