

ICS

中国建筑业协会团体标准 **团体标准**

P

T/CCIAT xxxx— 20xx

# 防微振素混凝土基础施工技术规范

Technical specification for construction of

anti-microvibration plain concrete

(征求意见稿)

20xx— xx—xx 发布

20xx—xx —xx 实施

中国建筑业协会 发布

中国建筑业协会团体标准

# 防微振素混凝土基础施工技术规范

Technical specification for construction of  
anti-microvibration plain concrete

T/CCIAT xxxx— 20xx

批准部门：中国建筑业协会

施行日期：20xx 年 xx 月 xx 日

中国建筑工业出版社

20xx 北京

## 前言

根据中国建筑业协会《关于开展第五批团体标准编制工作的通知》（建协函[2021]1号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考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，制定（修订）本规程。

本标准规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 混凝土配合比设计与配制；5. 混凝土性能；6. 施工与监测；7. 检测与验收。

本标准规程修订的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 混凝土配合比设计与配制；5. 混凝土性能；6. 施工与监测；7. 检测与验收。

本规程由中国建筑业协会负责管理，由北京建工新型建材有新有限责任公司负责具体技术内容的解释。请各单位在执行过程中，总结实践经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给北京建工新型建材有限责任公司（地址：北京市朝阳区京顺东街6号院2号楼4单元；邮政编码：100015）

本标准主编单位：北京建工集团有限责任公司、北京建工新型建材有限公司、北京建工国际建设集团有限公司

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

# 目 次

1 总则 .....	5
2 术语 .....	6
3 基本规定 .....	8
4 混凝土配合比设计与配制 .....	9
4.1 一般规定 .....	9
4.2 混凝土原材料 .....	9
4.3 配合比设计 .....	11
4.4 制备及运输 .....	12
5 混凝土性能 .....	13
5.1 一般规定 .....	13
5.2 拌合物性能 .....	13
5.3 物理力学性能 .....	14
6 施工与监测 .....	15
6.1 一般规定 .....	15
6.2 模板工程 .....	15
6.3 混凝土浇筑 .....	16
6.4 混凝土养护 .....	17
6.5 温度监测与控制 .....	18
7 检测与验收 .....	21
7.1 一般规定 .....	21
7.2 施工质量验收 .....	21
7.3 检测 .....	22
附录 A 块体密度检测方法 .....	24
附录 B 单轴压缩变形试验方法 .....	27
附录 C 剪切波速测试 .....	32
附录 D 地质雷达法裂缝与均匀性探测方法 .....	34
附录 E 超声波法裂缝深度检测方法 .....	39
附录 F 超声波成像裂隙检测方法 .....	47
附录 G 微振动测试分析 .....	51
本标准（规范、规程）用词说明 .....	57
引用标准名录 .....	58
条文说明 .....	59

## Contents

1 general.....	5
2 terms.....	6
3 basic provisions.....	8
4 design and preparation of concrete mix proportion.....	9
4.1 general provisions.....	9
4.2 concrete raw materials.....	9
4.3 mix design .....	11
4.4 preparation and transportation .....	12
5 concrete performance.....	13
5.1 general provisions .....	13
5.2 mixture performance .....	13
5.3 physical and mechanical properties .....	14
6 construction and monitoring.....	15
6.1 general provisions .....	15
6.2 formwork works .....	15
6.3 concrete pouring .....	16
6.4 concrete curing .....	17
6.5 temperature monitoring and control.....	19
7 inspection and acceptance.....	21
7.1 general provisions .....	21
7.2 construction quality acceptance.....	21
7.3 detection.....	21
Appendix A block density test method.....	24
Appendix B uniaxial compression deformation test method.....	27
Appendix C shear wave velocity test.....	32
Appendix D geological radar crack and uniformity detection method.....	34
Appendix E ultrasonic crack depth detection method.....	39
Appendix F ultrasonic imaging crack detection method.....	47
Appendix G micro vibration test analysis.....	51
Description of words used in this standard (specifications, procedures).....	57
List of cited standards.....	58
Description of articles.....	59

# 1 总则

- 1.0.1 为确保防微振素混凝土基础的施工质量，降低微振动对建筑物使用功能的影响，做到安全适用、质量可靠、经济合理、技术先进，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于电子工业厂房、测试站（台）、大型科学装置等工程的防微振素混凝土基础的配制、施工及质量验收。（共性要求，或在“基本规定”章中）
- 1.0.3 本规程规定了防微振素混凝土的配制与施工的基本技术要求。当本规程与国家法律、行政法规的规定相抵触时，应按国家法律、行政法规的规定执行。
- 1.0.4 防微振素混凝土的配制与施工除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语

1.0.5 防微振素混凝土基础 anti-microvibration plain concrete foundation

有防微振要求的钢筋混凝土底板下的大体积素混凝土基础。

1.0.6 防微振素混凝土 anti-microvibration plain concrete

为达到某种微振动控制要求，以容重、剪切波速、弹性模量、泊松比等为主要评定指标的混凝土。

1.0.7 分仓法 alternative bay construction method

将超长的混凝土块体分为若干尺寸相同或相近的小块体间隔施工，经过短期的应力释放，再将若干小块体连成整体的技术方法。

1.0.8 微振动 micro-vibration

影响精密设备及仪器正常运行的振动幅值较低的环境振动。

1.0.9 振动响应 vibration response

建筑结构或隔振系统受振动作用时，其输出的振动位移、振动速度、振动加速度等。

1.0.10 环境振动 environment vibration

建筑场地或建筑物在内外各种振源影响下的振动。

1.0.11 常时微动 usual environmental micro vibration

无明确振源的场地或建筑物的微弱振动。

#### 1.0.12 大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小尺寸不小于 1m 的大体量混凝土，或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土。

### 3 基本规定

- 1.0.13 防微振素混凝土基础施工应符合国家标准《大体积混凝土施工标准》GB50496 的有关规定，并从原材料选用、配合比配制、施工等方面采取措施保证结构整体均匀性。
- 1.0.14 防微振素混凝土基础施工应编制施工组织设计或施工技术方案，并应有环境保护和安全施工的技术措施。
- 1.0.15 防微振大体积素混凝土基础宜采用混凝土 60d 或 90d 的强度作为混凝土配合比设计、混凝土强度评定及工程验收的依据。
- 1.0.16 防微振素混凝土基础施工前，应做好施工准备，并应与当地气象台、站联系，掌握近期气象情况。在冬期施工时，应符合有关混凝土冬期施工规定。
- 1.0.17 防微振素混凝土基础施工应采取节能、节材、节水、节地和环境保护措施，并应符合现行国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905 的有关规定。

## 4 混凝土配合比设计与配制

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 用于防微振基础的素混凝土除应符合工程设计所规定的强度等级、抗渗等级、耐久性及体积稳定性等要求外，应满足现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496的要求，并应符合经济合理、绿色环保的原则，尽可能减少水泥和胶凝材料用量，降低混凝土绝热温升值的要求。
- 4.1.2 防微振基础混凝土所用原材料产地统一、材料质量稳定。
- 4.1.3 防微振素混凝土对抗裂性能要求较高，在配合比设计时，应通过混凝土抗裂性和早期收缩性能试验优选配合比，以减少由于温度应力和水泥收缩导致的混凝土开裂。
- 4.1.4 防微振素混凝土性能及试验方法，应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50081、《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《普通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。

### 4.2 混凝土原材料

- 4.1.5 防微振素混凝土的水泥宜选用符合现行国家标准《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200 所规定的中、低热硅酸盐水泥，可使用 42.5 级普通硅酸盐水泥同时复合使用大掺量的矿物掺合料。

4.1.6 骨料选择，除应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 粗骨料粒径宜采用连续级配，最大公称粒径不宜小于31.5mm；

2 应采用非碱活性的粗骨料；

3 当采用非泵送混凝土施工时，粗骨料的粒径可适当增大；

4 碎石级配后的空隙率不应大于40%，松散堆积密度应大于1500kg/m<sup>3</sup>。

4.1.7 配制防微振素混凝土所用矿物掺合料宜选用粉煤灰和粒化高炉矿渣粉，除应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T1596和《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046的有关规定外，尚应符合下列规定：

4.1.8 防微振素混凝土的外加剂使用前应做适应性试验，不得有瑕疵、速凝、分层、离析现象，并应根据工程需要和施工要求，通过试验确定外加剂的品种和掺量。

4.1.9 为了预防碱骨料反应，防微振素混凝土的原材料应符合现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733的有关规定。

4.1.10 应保持原材料的来源和质量稳定，以保证拌合物稳定性。

### 4.3 配合比设计

- 4.1.11 防微振素混凝土应满足大体积混凝土施工工艺要求，合理使用材料、降低混凝土绝热温升值和干燥收缩率。
- 4.1.12 根据工程防微振设计指标，以容重、弹性模量、泊松比、剪切波速为指标进行配合比设计。
- 4.1.13 防微振素混凝土的配合比设计，混凝土性能应满足设计和施工要求。除符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55，还应符合下列规定：
- 1 用于防微振基础施工的素混凝土，浆体体积不应大于32%，骨料体积不应小于68%。
  - 2 混凝土拌合物的坍落度不应大于180mm；
  - 3 拌合水用量不宜大于 $170\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比宜为0.45~0.6。胶凝材料总量不宜大于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 。
  - 4 粉煤灰掺量不宜大于胶凝材料的50%，矿渣粉掺量不宜大于胶凝材料用量的40%；粉煤灰和矿渣粉掺量总和不宜大于胶凝材料总用量的70%。
- 4.1.14 混凝土制备前，宜进行绝热温升、干燥收缩率、泌水率、可泵性等对裂缝控制有影响的技术参数的试验。
- 4.1.15 在确定混凝土配合比时，应按照混凝土温控施工方案的要求等，提出混凝土拌合物入模温度控制的技术措施，严格控制原材料的质量。
- 4.1.16 防微振素混凝土配制强度等级不宜超出设计强度的

30%。

#### 4.4 制备及运输

- 4.1.17 混凝土的制备量与运输能力满足混凝土浇筑工艺要求，预拌混凝土质量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定，并应满足施工工艺对坍落度损失、入模坍落度、入模温度等的技术要求。
- 4.1.18 混凝土生产前，应制订完整的技术方案，并应做好各项准备工作。
- 4.1.19 混凝土拌合物应搅拌均匀，混凝土最小搅拌时间和同一盘混凝土的搅拌匀质性应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。
- 4.1.20 对同时供应同一工程分项的预拌混凝土，配合比应一致。
- 4.1.21 混凝土入模温度不低于 5℃，不高于 30℃。
- 4.1.22 混凝土生产运输过程中，混凝土拌合物应保持均匀性，不应产生分层、离析现象，应控制混凝土拌合物性能满足施工要求。对每车混凝土应分别记录出机和出罐坍落度，形成测试记录。
- 4.1.23 混凝土拌合物从搅拌机卸出至施工现场接收的时间间隔不宜大于 90min。

## 5 混凝土性能

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 防微振素混凝土性能应满足设计和施工要求。
- 5.1.2 防微振素混凝土的长期性能和耐久性能应满足设计要求。混凝土长期性能和耐久性能的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。
- 5.1.3 防微振素混凝土耐久性等级划分，应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的有关规定。
- 5.1.4 防微振素混凝土的制备和运输，应根据预拌混凝土运输距离、运输设备、供应能力、材料变化、气象环境等调整预拌混凝土的有关参数。

### 5.2 拌合物性能

- 5.1.5 混凝土拌合物性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定。
- 5.1.6 防微振素混凝土拌合物坍落度、扩展度等级划分及允许偏差应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。泵送混凝土拌合物工作性能应根据强度等级、施工工艺要求和结构情况确定，应尽可能采用较小的坍落度。

5.1.7 防微振素混凝土拌合物的表观密度不宜小于  $2350\text{kg}/\text{m}^3$

5.1.8 混凝土拌合物应具有良好的流动性、粘聚性和保水性，不得离析。

### 5.3 物理力学性能

5.1.9 混凝土力学性能试验方法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。强度的评定应按照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 执行。

5.1.10 防微振素混凝土的最低弹性模量应符合表 5.3.2 规定

表 5.2.2 混凝土的最低弹性模量

混凝土强度等级	混凝土弹性模量 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
C15	$2.20 \times 10^4$
C20	$2.50 \times 10^4$
C25	$2.80 \times 10^4$
C30	$3.00 \times 10^4$
C35	$3.15 \times 10^4$

5.1.11 防微振素混凝土的泊松比应为  $0.16 \sim 0.24$  之间。

## 6 施工与监测

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 防微振素混凝土的施工应编制专项施工方案，进行图纸会审，计算混凝土温度应力和收缩应力，提出施工阶段的温控指标和综合抗裂指标。
- 6.1.2 防微振素混凝土施工应符合大体积混凝土施工标准，采用跳仓法施工时跳仓的最大分块单向尺寸应根据工程情况经过应力计算或者实验确定，具体计算方法应按《大体积混凝土施工标准》GB50496 附录 B 进行，且不宜大于 15m，跳仓间隔施工的时间不宜小于 7d，跳仓接缝处应按施工缝的要求设置和处置。
- 6.1.3 进行施工混凝土试配时，宜进行下列同条件养护试验：
- 1 混凝土立方体抗压强度；
  - 2 混凝土收缩量和收缩速率；
  - 3 混凝土抗裂性能；
  - 4 混凝土微膨胀性能。

### 6.2 模板工程

- 6.1.4 混凝土模板和支架应进行承载力、刚度和整体稳固性验算，并应根据混凝土采用的养护方法进行保温构造设计。
- 6.1.5 模板和支架系统安装、使用和拆除过程中，必须采取安

全稳定措施。

- 6.1.6 对后浇带或跳仓法施工时留置的竖向施工缝，宜采用钢板网、铁丝网或快易收口网等材料支挡；后浇带竖向支架系统宜与其他部位分开。
- 6.1.7 混凝土拆模时间应满足混凝土的强度要求，当模板作为保温养护措施的一部分时，其拆模时间应根据温控要求确定。
- 6.1.8 混凝土宜适当延迟拆模时间。拆模后，应采取预防寒流、突然降温和剧烈干燥等措施。

### 6.3 混凝土浇筑

- 6.1.9 防微振素混凝土的浇筑应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《大体积混凝土施工标准》GB50496 的有关规定。
- 6.1.10 混凝土浇筑应保证混凝土的均匀性和密实性。混凝土宜一次连续浇筑。
- 6.1.11 混凝土宜采用泵送方式和二次振捣工艺。
- 6.1.12 振捣应按照分段(块)分层放坡法或大斜坡推，每步错开不宜小于 3m，振捣时布设三道振捣点，分别设在混凝土的坡脚、坡道中间和表面。振捣必须充分，每个点振捣时间控制在 10s~20s 并及时排除泌水。

6.1.13 当采取分层间歇浇筑混凝土时，施工缝的处理应符合下列规定：

1 在已硬化的混凝土表面，应清除表面的浮浆、松动的石子及软弱混凝土层；

2 在混凝土浇筑前，应采用清水冲洗混凝土表面的污物，并应充分润湿，但不得有积水；

3 新浇筑混凝土应振捣密实，并应与先期浇筑的混凝土紧密结合。

6.1.14 特殊结构部位留设竖向施工缝应经设计单位确认。混凝土浇筑过程中，因特殊原因需临时设置施工缝时，施工缝留设应规整，并宜垂直于构件表面，必要时可采取增加插筋、事后修凿等技术措施。

6.1.15 墙体混凝土预留的水平施工缝和竖向施工缝应进行修补处理，可在浇筑混凝土时沿缝预留凹槽，也可在拆模后在施工缝位置开凿深 10mm、宽 100mm 的凹形槽。

6.1.16 应及时对大体积混凝土浇筑面进行多次抹压处理。

#### 6.4 混凝土养护

6.1.17 防微振素混凝土基础应采取保温保湿养护。在每次混凝土浇筑完毕后，除应按普通混凝土进行常规养护外，保温养护应符合下列规定，对已浇筑成型的混凝土，可单独或组合使用下列养护方法：

- 1 延长拆模时间；
- 2 在混凝土表面覆盖防水分蒸发薄膜；
- 3 使用保水保温覆盖物(湿麻袋或吸水性毛毡等)，持续保湿、保温；
- 4 在混凝土表面喷雾、喷水或蓄水；
- 5 采用蓄水养护时，蓄水厚度不宜小于 150mm；
- 6 经使用验证的其他养护方法。

- 6.1.18 应专人负责保温养护工作，进行养护记录。
- 6.1.19 在保温养护过程中应对混凝土浇筑体的里表温差和降温速率进行现场监测，当监测结果不满足温控指标的要求时，应调整保温养护措施。
- 6.1.20 保湿养护持续时间不宜少于 14d，应经常检查塑料薄膜或养护剂涂层的完整情况，并应保持混凝土表面湿润。
- 6.1.21 保温覆盖层拆除应分层逐步进行，当混凝土表面温度与环境最大温差小于 20℃时，可全部拆除。

## 6.5 温度监测与控制

- 6.1.22 防微振素混凝土浇筑体里表温差、降温速率及环境温度的测试，在混凝土浇筑后，每昼夜不应少于 4 次。
- 6.1.23 防微振素混凝土浇筑体内监测点布置，应反映混凝土浇筑体内最高温升、里表温差、降温速率及环境温度，可采用下列布置方式：

- 1 测试区可选混凝土浇筑体平面对称轴线的半条轴线，测试区内监测点应按平面分层布置；
  - 2 测试区内，监测点的位置与数量可根据混凝土浇筑体内温度场的分布情况及温控的规定确定；
  - 3 沿混凝土浇筑体厚度方向，应至少布置表层、底层和中心温度测点，测点间距不宜大于 500mm；
  - 4 保温养护效果及环境温度监测点数量应根据具体需要确定；
  - 5 混凝土浇筑体表层和底层温度，宜为混凝土浇筑体表面以内和底面以上 50mm 处的温度。
- 6.1.24 应变测试宜根据工程需要进行。
- 6.1.25 测试过程中宜描绘各点温度变化曲线和断面温度分布曲线，发现监测结果异常时应及时报警，并应采取相应的措施。
- 6.1.26 温控措施可根据下列原则或方法，结合监测数据实时调控：
- 1 控制混凝土出机温度，调控入模温度在合适区间；
  - 2 升温阶段可适当散热，降低温升峰值，当升温速率减缓时，应及时增加保温措施，避免表面温度快速下降；
  - 3 在降温阶段，根据温度监测结果调整保温层厚度，但应避免表面温度快速下降；
  - 4 在采用保温棚措施的工程中，当降温速率过慢时，可

通过局部掀开保温棚调整环境温度。

## 7 检测与验收

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 防微振工程的质量验收应由建设单位负责组织实施、设计、监理等单位共同进行。防微振工程施工应按被批准的设计文件实施。需要修改设计时，应由原设计单位确认，并应经建设单位同意。
- 7.1.2 施工质量验收除应符合本规范外，尚应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300的有关规定。
- 7.1.3 对混凝土物理力学性能、拌合物性能的检测和评定除应符合本规范外，尚应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344、《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081、《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080的有关规定。
- 7.1.4 对防微振素混凝土地基基础质量的检测和评定应符合本规范外，尚应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ/340的有关规定。

### 7.2 施工质量验收

- 7.1.5 施工质量检验标准应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 防微振工程基础的施工质量检验标准

名称	序号	容许偏差或容许值	检验方法
主控项目	1	按设计要求	按现行国家标准《建筑基础工程施工质量验收规范》GB50202 规定的方法。
	2	按设计要求	

### 7.3 检测

7.1.6 检测工作程序宜包括接受委托、收集资料、制定方案、准备仪器设备、实施检测、出具报告等环节。

7.1.7 检测内容包括施工过程中为质量控制提供依据的检测，施工后为验收提供依据的检测。

7.1.8 资料收集宜包括下列内容：

- 1 委托方和相关单位的具体要求；
- 2 有关工程勘察、设计文件、施工资料及现场周边环境情况；
- 3 相关参数指标。

7.1.9 检测方案应包括下列内容：

- 1 工程概况、检测目的、设计及施工参数、主要仪器设备；
- 2 检测工作应包括检测项目、检测方法、抽检数量、检测工期及检测配合事项；
- 3 数据分析评价方法。

7.1.10 根据工程具体情况和检测目的，选择物理力学性质检测、

裂缝检测等多种方法综合检测。检测项目主要包括以下内容：

1 密度、弹性模量、泊松比、单轴抗压强度、剪切波速等物理力学性质检测。

2 裂缝与均匀性检测。

7.1.11 采用钻芯法采取岩芯加工试块，进行物理力学性质检测时，钻芯取样方法应符合现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T384 的规定。

7.1.12 密度的检测方法应符合本规程附录 A，弹性模量、泊松比、单轴抗压强度的检测方法应符合本规程附录 B，剪切波速检测方法应符合本规程附录 C，裂缝与均匀性的检测方法应符合本规程附录 D、附录 E、附录 F。

7.1.13 场地环境微振动测试方法应符合本规程附录 G。

## 附录 A 块体密度检测方法

A. 0. 1 试件制备应符合下列规定：

1 试件宜采用规则形状，在试件制备困难时可采用不规则形状。

2 规则试件尺寸应符合下列规定：

1) 圆柱体直径或方柱体边长宜为 48~54mm。

2) 含大颗粒岩石的试件直径或边长应大于最大颗粒尺寸的 10 倍。

3) 试件高度与直径或边长之比宜为 2.0~2.5。

3 不规则试件应符合下列规定：

1) 边长为 40~50mm 的浑圆形岩块或直径为 48~54mm 的圆柱体。

2) 试件质量宜为 150~200g。

4 每组试件块数不得少于 3 块。

5 试件高度、直径或边长的允许偏差为  $\pm 0.3\text{mm}$ 。

6 试件两端面的不平整度允许偏差为  $\pm 0.05\text{mm}$ 。

7 端面应垂直于试件轴线，允许偏差为  $\pm 0.25$ 。

8 方柱体或立方体试件相邻两面应互相垂直，允许偏差为  $\pm 0.25$ 。

9 长度测量精确至 0.01mm，称量精确至 0.01g。

A. 0. 2 进行块体干密度试验时每组试件数量不得少于 3 个，进行

块体湿密度试验时试件数量不宜少于 5 个。

A. 0. 3 主要仪器和设备应包括下列各项：

- 钻石机、切石机、磨石机和车床；
- 烘箱和干燥器；
- 天平（感量 0. 01g）；
- 测量平台。

A. 0. 4 量积法块体密度试验步骤应符合下列规定：

- 1 测量试件两端和中间三个断面上相互垂直的两个方向的直径或边长，按平均值计算截面积。
- 2 测量两端面周边上对称四点和中心点处的高度，计算高度平均值。
- 3 称试件在天然状态下的质量。
- 4 对于不含矿物结晶水的混凝土，应在 105~110℃ 的恒温下烘 24h。对于含有矿物结晶水的混凝土，应降低烘干温度，可在 40±5℃ 恒温下烘 24h。
- 5 将试件从烘箱中取出，放入干燥器内冷却至室温，称试件质量。
- 6 重复本条 4、5 款步骤，直到相邻两次称量之差不超过后一次称量的 0. 1%。
- 7 称量精确至 0. 01g。

A. 0. 5 试验成果整理应符合下列规定：

- 1 量积法岩石块体密度按下列公式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{AH}$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{AH}$$

$$\rho_d = \frac{m_d}{AH}$$

式中  $\rho_0$ ——天然密度，g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_0$ ——干密度，g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_s$ ——饱和密度，g/cm<sup>3</sup>；

A——试件截面积，cm<sup>2</sup>；

H——试件高度，cm。

计算值精确至 0.01g/cm<sup>3</sup>。

- A. 0. 6 试验记录应包括工程名称、混凝土标号、试件编号、试件描述、试验方法、试件在各种含水状态下的质量、试件尺寸、试验人员、试验日期。

## 附录 B 单轴压缩变形试验方法

B.0.1 单轴压缩变形试验用于检测混凝土芯样的泊松比、变形模量、弹性模量，单轴压缩变形试验采用电阻应变片法。

B.0.2 试件制备应符合下列规定：

- 1 试件可用钻芯法获取的混凝土岩芯加工制成，在采取、运输和制备过程中应避免扰动。
- 2 试件尺寸、试件加工精度、试件含水状态等条件应符合《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的规定，同一含水状态下每组试件数量不应少于 3 个。

B.0.3 试件描述应包括下列内容：

- 1 试件的层理、裂隙及其与加载方向的关系。
- 2 试件加工过程中出现的问题。
- 3 贴片位置。
- 4 含水状态。

B.0.4 主要仪器和设备应包括下列各项：

钻石机、锯石机、磨石机；

测量平台；

烘箱和饱和设备；

万用电表、兆欧表；

静态电阻应变仪；

材料试验机。

B.0.5 加载方法和稳定标准应符合下列规定：

- 1 加载方法宜采用逐级一次连续加载法，根据需要可采用逐级一次循环法或逐级多次循环法，每次循环退载至 0.2kN——0.5kN 的接触载荷。
- 2 最大循环载荷为预估极限载荷的 50%，宜等分五级施加，至最大循环载荷后再逐级加载直至破坏。
- 3 加载采用时间控制，施加一级载荷后立即读数，1min 后再读数一次，即可施加下一级载荷。

B.0.6 电阻应变片法试验步骤应符合下列规定：

- 1 选择电阻应变片。应变片栅长应大于岩石矿物最大颗粒粒径的 10 倍，小于试件半径。同一组试件的工作片与温度补偿片的规格和灵敏系数应相同，电阻值允许偏差为  $\pm 1\Omega$ 。
- 2 在试件中部选定互相垂直的两对面，以相对面为一组，分别为贴纵、横向应变片的位置，贴片位置应尽量避免开裂隙或斑晶。在互相垂直且与纵轴成  $45^\circ$  的方向上用零号砂纸将贴片位置打磨，并用酒精擦洗干净。
- 3 在贴片位置均匀涂抹一层防潮胶液，厚度不应大于 0.1mm，面积约为  $20\text{mm} \times 30\text{mm}$ 。
- 4 应变片应牢固地贴在试件上，纵、横向电阻应变片的数量均不应少于 2 片。

- 5 焊接导线。在应变片表面涂抹一层防潮胶液，厚约 2mm。系统绝缘电阻值应大于 200M $\Omega$ 。
- 6 将试件置于试验机承压板中心，上、下承压板与试件之间放置与试件相同直径的刚性垫块，垫块厚度与直径之比不应小于 0.5。
- 7 调整球形座，使刚性垫块与试验机上下承压板均匀接触，受力对中。在试件调平过程中，接触载荷范围内相对两纵向应变值之差不得大于一倍。
- 8 按规定的加载方式和载荷分级，以每秒 0.5~1.0MPa 的速率加载，逐级测读载荷与应变值，直至试件破坏。测值不宜少于 10 组，记录加载过程及破坏时出现的现象，对破坏后的试件进行描述。

B.0.7 试验成果整理应符合下列规定：

- 1 各级应力按下式计算：

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

式中： $\sigma$ ——应力，MPa

P——，载荷，MPa

A——试件截面面积，mm<sup>2</sup>

- 2 千分表法纵向应变与横向应变按下式计算：

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^4 (U_{\lambda} - U_{b0})}{4L}$$

$$\varepsilon_d = \frac{\sum_1^4 (U_d - U_{d0})}{2D}$$

式中  $\varepsilon_b$ ——纵向应变；

$\varepsilon_d$ ——横向应变；

$U_b$ ——纵向测表读数，mm；

$U_d$ ——横向测表读数，mm；

$U_{h0}$ ——纵向测表初始读数，mm；

$U_{d0}$ ——横向测表初始读数，mm；

$\Delta U_h$ ——纵向测表读数差，mm；

$\Delta U_d$ ——横向测表读数差，mm；

$L$ ——纵向测量标距，mm；

$D$ ——试件直径、横向测量标距，mm。

绘制应力  $\sigma$  与应变  $\varepsilon$  关系曲线。

4 弹性模量、变形模量和泊松比按下式计算：

$$E_e = \frac{\sigma_k - \sigma_a}{\varepsilon_{hb} - \varepsilon_{ha}}$$

$$\mu_e = \frac{\varepsilon_{db} - \varepsilon_{da}}{\varepsilon_{hb} - \varepsilon_{ha}}$$

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}}{\varepsilon_{h50}}$$

$$\mu_{50} = \frac{\varepsilon_{d50}}{\varepsilon_{h50}}$$

式中  $E_e$ ——岩石弹性模量，MPa

$\mu_e$ ——岩石弹性泊松比；

$\sigma_a$ ——应力与纵向应变关系曲线上直线段起始点的应力

值, MPa;

$\sigma_b$ ——应力与纵向应变关系曲线直线段终点的应力值, MPa;

$\varepsilon_{ha}$ ——应力为  $\sigma_a$  时的纵向应变值;

$\varepsilon_{hb}$ ——应力为  $\sigma_b$  时的纵向应变值;

$\varepsilon_{da}$ ——应力为  $\sigma_a$  时的横向应变值;

$\varepsilon_{db}$ ——应力为  $\sigma_b$  时的横向应变值;

$E_{50}$ ——岩石变形模量, 即割线模量, MPa;

$\sigma_{50}$ ——抗压强度 50% 时的应力值, MPa;

$\varepsilon_{h50}$ ——应力为  $\sigma_{50}$  时的纵向应变值;

5 岩石应力、弹性模量和变形模量值取三位有效数, 泊松比计算值精确至 0.01。

B.0.8 试验记录应包括工程名称、混凝土标号、取样位置、试件编号、试件描述、试件尺寸、试验方法、载荷、纵横向应变值或测表读数、试验人员、试验日期。

## 附录 C 剪切波速测试

C.0.1 采用单孔法进行超大体量素混凝土防微振基础换填层剪切波测试。

### C.0.2 测试仪器

1 剪切波测试仪由激震源、剪切波信号接收器、信号采集设备组成。

2 激震源，可采用大锤击板法或弹簧激振法。

3 剪切波信号接收器，为速度型检波器（三分量检波器），有三个分量，一个垂直，两个水平。

4 信号采集设备，单通道或多通道，采样点数 512、1024 或更多，采样间隔最小  $30\ \mu\text{s}$ ，通频带  $0.5\text{Hz}\sim 4000\ \text{Hz}$ ，延时  $0\sim 500\text{ms}$ 。

### C.0.3 单孔法波速测试的技术要求应符合下列规定：

1 测试孔应垂直；

2 将三分量检波器固定在孔内预定深度处，并紧贴孔壁；

3 可采用地面激振或孔内激振；

4 应结合基础换填层厚度布置测点，测点的垂直间距宜取  $0.3\sim 1\text{m}$ 。换填层厚度较小时，应加密，并宜自下而上逐点测试。

### C.0.4 波速测试成果分析应包括下列内容：

1 在波形记录上识别压缩波和剪切波的初至时间；

- 2 计算由振源到达测点的距离；
- 3 根据波的传播时间和距离确定波速；

## 附录 D 地质雷达法裂缝与均匀性探测方法

D.0.1 地质雷达仪器主要性能和技术指标应符合下列规定：

- 1 主频天线频率应在 200~400MHz；
- 2 系统增益不应小于 150dB；
- 3 系统应具有可选的信号叠加、时窗、实时滤波、增益、点测或连续测量、位置标记等功能；
- 4 计时误差不应大于 1.0ns；
- 5 最小采样间隔应达到 0.5ns, A/D 转换不应低于 16bit；
- 6 实时监测与显示应具有多种可供选择的方式。

D.0.2 采用地质雷达法检测应符合下列条件：

- 1 功率反射系数应大于 0.01；
- 2 目标体在探测深度或距离范围内，其尺寸应满足探测分辨率的要求；
- 3 测区内不应存在大范围金属构件，或通过处理可以消除其干扰；
- 4 不应存在高导电屏蔽层。

D.0.3 地质雷达法的工作布置应符合下列规定：

- 1 测网密度、天线间距和天线移动速度应能反映探测对象的异常，点测时，点距选择应保证目标体异常至少有三个点；
- 2 测线宜穿过钻孔或与其他方法测线重合布设。

D.0.4 地质雷达法的天线选择应符合下列规定：

- 1 地面探测时宜选择频率为 200~400MHz 的天线，当多个频率的天线均能符合探测深度要求时，应选择频率相对较高的天线；
- 2 有条件时宜选择屏蔽天线。
- 3 地质雷达法检测可以选用剖面法。

D.0.5 地质雷达法的探测分辨率与探测距离或深度的估算应符合下列规定：

- 1 宜取波长的 1/4 作为垂向分辨率，取第一菲涅尔带半径  $r_f$  作为横向分辨率；第一菲涅尔带半径  $r_f$  应按照下方公式计算：

$$r_f = \sqrt{\lambda h/2}$$

式中  $\lambda$  —— 雷达波波长；

$h$  —— 目标体埋深。

- 2 在条件具备时，可用地质雷达方程估算探测距离或深度；
- 3 可利用获得的介质电磁波速度和目标体双程走时换算目标体深度。

D.0.6 地质雷达法的数据采集应符合下列规定：

- 1 应通过试验选择天线的工作频率，确定介电参数、电磁波在基础换填层中的传播速度等；当探测条件复杂时，应选择两种或两种以上不同频率的天线；

- 2 应选择合适的时间窗口和采样间隔，并在数据采集过程中根据干扰情况及图像效果及时调整工作参数；
- 3 连续测量时的天线移动速度应均匀，并应与仪器的扫描率相匹配；使用分离天线进行点测时，应通过调整天线距离使来自目标体的反射信号最强；使用偶极天线时，天线取向宜使电场的极化方向与目标体长轴或走向平行，当目标体长轴方向不明时，宜使用两组正交方向的天线分别进行观测；
- 4 遇有干扰影响或处在异常点位置应在记录中予以标注，重点异常区应重复观测，重复性较差时，应查明原因。

D.0.7 地质雷达法的质量检查和评价应符合下列规定：

- 1 提供检查和评价的雷达资料应经过初步编辑，编辑内容可包括测线号、里程桩号、剖面深度等；
- 2 检查观测的图像应与原始观测图像的形态与位置基本一致。

D.0.8 地质雷达法的数据处理应符合下列规定：

- 1 可根据需要选取删除无用道、水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、 $f$ - $K$  倾角滤波、反褶积、偏移归位、空间滤波、点平均等处理方法；
- 2 选择处理方法和处理步骤应根据外业记录数据质量及解释要求进行，当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积、偏移归位处理，在进行  $f$ - $K$  倾角滤波和偏移归

位处理前应删除无用地，并进行水平比例归一化和地形校正；

3 在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波；

4 用  $f$ - $K$  倾角滤波消除倾斜层干扰波的前提应是确定无同样倾角的有效层状的反射波；

5 可用反褶积来压制多次反射波，用于反褶积的反射子波宜是最小相位子波；

6 可采用时间偏移或深度偏移方法将倾斜层反射波界面归位，使绕射波收敛，在进行深度偏移处理时应选择可靠的介质电磁波速度；

7 可选用空间滤波的有效道叠加和道间差两种方法，使异常具有更好的连续性或独立性，提高数据图像的可解释性；改变反射信号的振幅特征应在其他方法处理完成后进行；

8 可用平滑数据的点平均法消除信号中的高频干扰，参与计算的点数宜为奇数，最大值宜小于采样率与低通频率之比。

#### D. 0. 9 地质雷达法的资料解释应符合下列规定：

1 参与解释的雷达图像应清晰；

2 应根据基础换填层情况、电性特征、被探测体的性质和规模进行综合分析，必要时，应考虑影响解释结果的各种

因素，制作雷达探测的正演和反演模型；

3 经过解释的成果资料应包括雷达剖面图像、雷达地质成果解释剖面图，雷达剖面图像上应标出目标反射波的位置或反射波组。

## 附录 E 超声波法裂缝深度检测方法

E. 0. 1 用于混凝土检测的超声波检测仪应满足下列要求：

- 1 具有波形清晰、显示稳定的示波装置；
- 2 声时最小分度为  $0.1 \mu\text{s}$ ；
- 3 具有最小分度为 1dB 的衰减系统；
- 4 接收放大器频响范围  $10 \sim 500\text{kHz}$ ，总增益不小于 80dB，接收灵敏度（在信噪比为 3：1 时）不大于  $50 \mu\text{V}$ ；
- 5 电源电压波动范围在标称值  $\pm 10\%$  的情况下能正常工作；
- 6 连续正常工作时间不小于 4h。

E. 0. 2 超声波检测仪应在法定计量检定有效期内使用。

E. 0. 3 数字式超声波检测仪还应满足下列要求：

- 1 具有手动游标测读和自动测读方式。当自动测读时，在同一测试条件下，1h 内每隔 5min 测读一次声时的差异应不大于  $\pm 2$  个采样点；
- 2 波形显示幅度分辨率应不低于  $1/256$ ，并具有可显示、存储和输出打印数字化波形的功能，波形最大存储长度不宜小于 4k bytes；
- 3 自动测读方式下，在显示的波形上应有光标指示声时、波幅的测读位置；  
宜具有幅度谱分析功能（FFT 功能）。

#### E. 0. 4 换能器的技术要求:

1 常用换能器具有厚度振动方式和径向振动方式两种类型, 可根据不同测试需要选用。

2 厚度振动式换能器的频率宜采用 20~250kHz。径向振动式换能器的频率宜采用 20~60 kHz, 直径不宜大于 32mm。当接收信号较弱时, 宜选用带前置放大器的接收换能器。

3 换能器的实测主频与标称频率相差应不大于±10%。

对用于水中的换能器, 其水密性应在 1MPa 水压下不渗漏。

#### E. 0. 5 超声波检测仪的检定

1 超声仪声时计量检验应按“时—距”法测量空气声速的实测值  $V_s$ , 并与按下式计算的空气声速标准  $V_c$  相比较, 二者的相对误差应不大于±0.5%。

$$V_c = V_s \sqrt{1 + 0.00367Tk}$$

式中  $V_s$ ——0° C 时空气的声速 (m/s);

$V_c$ ——温度为  $T_k$  度的空气声速 (m/s);

$T_k$ ——被测空气的温度 (° C)。

2 超声仪波幅计量检验。可将屏幕显示的首波幅度调至一定高度, 然后把仪器衰减量增加或减少 6dB, 此时屏幕波幅高度应降低一半或升高一倍。

#### E. 0. 6 超声波检测准备工作

1 检测前应取得下列有关资料:

工程名称；  
检测目的与要求；  
混凝土原材料品种和规格；  
混凝土浇筑和养护情况；  
构件尺寸和配筋施工图或钢筋隐蔽图；  
构件外观质量及存在问题。

2 依据检测要求和测试操作条件，确定缺陷测试的部位（简称测位）。

3 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的快凝砂浆抹平。抹平砂浆必须与混凝土粘结良好。

4 在满足首波幅度测读精度的条件下，应选用较高频率的换能器。

5 换能器应通过耦合剂与混凝土测试表面保持紧密结合，耦合层不得夹杂泥沙或空气。

6 检测时应避免超声传播路径与附近钢筋轴线平行，如无法避免，应使两个换能器连线与钢筋的最短距离不小于超声测距的  $1/6$ 。

7 检测中出现可疑数据时及时查找原因，必要时进行复测校核或加密测点补测。

E.0.7 采用数字式超声波检测仪测量应按下列方法操作：

1 检测之前根据测距大小和混凝土外观质量情况，将仪

器的发射电压、采样频率等参数设置在某一档并保持不变。换能器与混凝土测试表面应始终保持良好的耦合状态；

2 声学参数自动测读：停止采样后即可自动读取声时、波幅、主频值。当声时自动测读光标所对应的位置与首波前沿基线弯曲的起始点有差异或者波幅自动测读光标所对应的位置与首波峰顶（或谷底）有差异时，应重新采样或改为手动游标读数；

3 声学参数手动测量：先将仪器设置为手动判读状态，停止采样后调节手动声时游标至首波前沿基线弯曲的起始位置，同时调节幅度游标使其与首波峰顶（或谷底）相切，读取声时和波幅值；再将声时光标分别调至首波及其邻波的波谷（或峰顶），读取声时差值 $\Delta t$ （ $\mu s$ ），取 $1000/\Delta t$ 即为首波的主频（kHz）；

4 波形记录：对于有分析价值的波形，应予以存储。

E.0.8 混凝土声时值应按下列式计算：

$$t_{ci}=t_i-t_0 \quad \text{或} \quad t_{ci}=t_i-t_{00}$$

式中  $t_{ci}$ —第  $i$  点混凝土声时值（ $\mu s$ ）；

$t_i$ —第  $i$  点测读声时值（ $\mu s$ ）；

$t_0$ 、 $t_{00}$ —声时初读数（ $\mu s$ ）。

当采用厚度振动式换能器时， $t_0$  参照仪器使用说明书的方法测点得；当采样径向振动式换能器时， $t_{00}$  应按中国

工程标准化协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》附录 B 规定的“时—距”法测得。

#### E. 0. 9 超声传播距离（简称测距）测量：

- 1 当采用厚度振动式换能器对测时，宜用钢卷尺测量 T、R 换能器辐射面之间的距离；
- 2 当采用厚度振动式换能器平测时，宜用钢卷尺测量 T、R 换能器内边缘之间的距离；
- 3 测距的测量误差应不大于±1%。

#### E. 0. 10 裂缝深度检测一般规定

- 1 当结构的裂缝部位只有一个可测表面，估计裂缝深度又不大于 500mm 时，可采用单面平测法测量混凝土裂缝深度。平测时，应在裂缝被测部位，以不同的测距，按跨缝和不跨缝布置测点（布置测点时应避开钢筋的影响）进行检测。
- 2 被测裂缝中不得有积水或泥浆等杂物。

#### E. 0. 11 不跨缝的声时测量：

将 T 和 R 换能器置于裂缝附近同一侧，以两个换能器内边缘间距（ $l_i$ ）等于 100mm、150 mm、200 mm、250 mm……分别读取声时值（ $t_i$ ），绘制“时—距”坐标图（图 3. 3. 11）或用回归分析的方法求出声时与测距之间的回归直线方程：

$$t_i = a + bt_i$$

每测点超声波实际传播距离  $l_i$  为：

$$l_i = l' + |a|$$

式中  $l_i$ —第  $i$  点的超声波实际传播距离 (mm)；

$l'$ —第  $i$  点的 T、R 换能器内边缘间距 (mm)；

$a$ —“时—距”图中  $l'$  轴的截距或回归直线方程的常数项 (mm)。

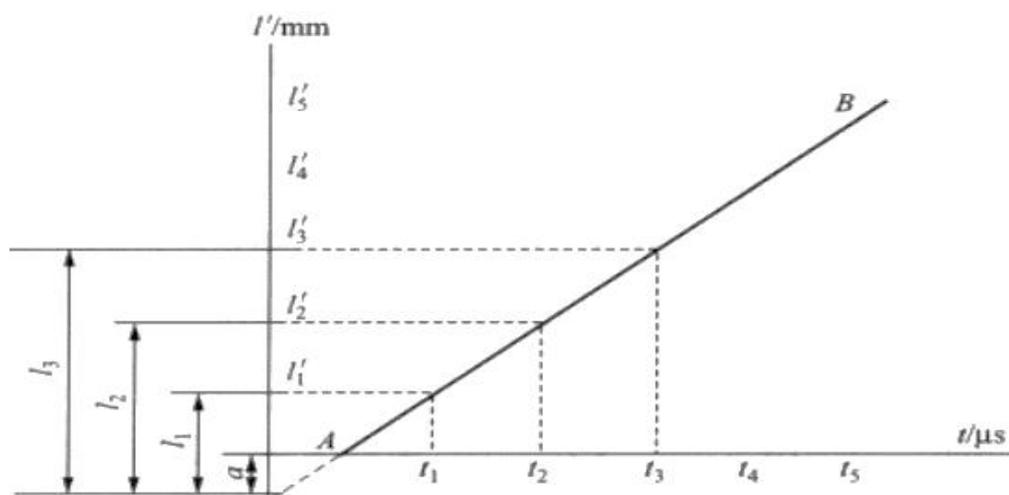


图 E. 0. 11 平测“时—距”图

不跨缝平测的混凝土声速值为：

$$v = (l_n' - l_1') / (t_n - t_1) \text{ (km/s)} \text{ 或 } v = b \text{ (km/s)}$$

式中  $l_n'$ 、 $l_1'$ —第  $n$  点和第 1 点的测距 (mm)；

$t_n$ 、 $t_1$ —第  $n$  点和第 1 点读取的声时值距 ( $\mu s$ )；

$b$ —回归系数。

E. 0. 12 跨缝的声时测量：

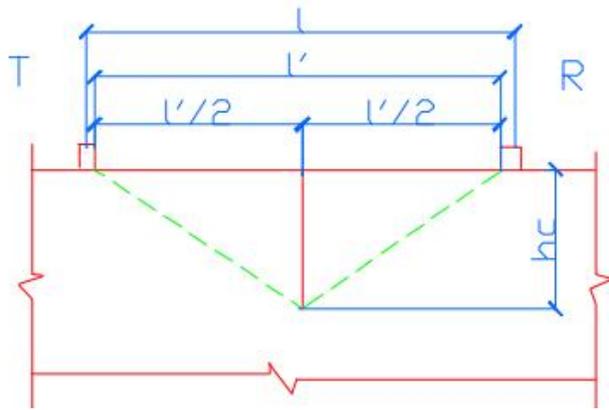


图 E. 0. 12 绕过裂缝示意图

如图 E. 0. 12 所示，将 T 和 R 换能器置于以裂缝为对称的两侧， $l'$  取 100mm、150 mm、200 mm、250 mm.....分别读取声时值 ( $t_i^0$ )，同时观察首波相位的变化。

E. 0. 13 平测法检测，裂缝深度应按下列式计算：

$$h_{ci} = \frac{l_i}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{t_i^0 v}{l_i}\right)^2 - 1}$$

$$m_{hc} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n h_{ci}$$

式中  $l_i$ ——不跨缝平测时第  $i$  点的超声波实际传播距离 (mm)；

$h_{ci}$ ——第  $i$  点计算的裂缝深度值 (mm)；

$t_i^0$ ——第  $i$  点跨缝平测的声时值 ( $\mu s$ )；

$m_{hc}$ ——各测点计算裂缝深度的平均值 (mm)

$n$ ——测点数

E. 0. 14 裂缝深度的确定方法如下：

1 跨缝测量时，当在某测距发现首波反相时，可用该测距及两个相邻测距的测量值计算  $h_{ci}$ ，取此三点  $h_{ci}$  的平均值作为该裂缝的深度值 ( $h_c$ )；

2 跨缝测量中如难于发现首波反相，则以不同测距计算  $h_{ci}$  及其平均值。将各测距  $l_i^{\wedge}$  与  $m_{hc}$  相比较，凡测距  $l_i^{\wedge}$  小于  $m_{hc}$  和大于  $3m_{hc}$ ，应剔除改组数据，然后取余下  $h_{ci}$  的平均值，作为该裂缝的深度值 ( $h_c$ )。

## 附录 F 超声波成像裂隙检测方法

F.0.1 使用超声波成像仪对混凝土裂缝进行检测。用于混凝土检

测的超声波成像仪主要性能指标应符合下列规定：

- 1 中心频率：10-100kHz
- 2 相控阵天线：包含 48 个传感器（4×12 配置），
- 3 测试深度：50 - 2500mm
- 4 测试时间≤3s
- 5 最小缺陷识别尺寸（球形直径）：20mm
- 6 定位系统：设备自带定位装置
- 7 软件：三维层析功能的软件，提供多功能 2D 和 3D 成像模式
- 8 供电：不少于 5 个小时
- 9 工作时间（可充电电池）工作温度：-10° C 到 50° C

F.0.2 超声波成像仪裂缝检测准备工作

1 检测前应取得下列有关资料：

工程名称；

检测目的与要求；

混凝土原材料品种和规格；

混凝土浇筑和养护情况；

构件尺寸和配筋施工图或钢筋隐蔽图；

构件外观质量及存在问题。

2 依据检测要求和测试操作条件，确定缺陷测试的部位（简称测位）。

3 测位混凝土表面应清洁、平整。

#### F.0.3 超声波成像仪裂缝检测模式有如下三种：

1 ADJUSTMENT 模式。该模式是为设置设备参数，管理存储数据和设置扫描网格（扫描模式中用到）而设置的。系统可被设置为使用指定的剪切波速度，用以计算深度或在每个测点采集前测量剪切波速度。

2 EXPLORE 模式。该模式可以测区的任意表面进行初步试验。理想情况下，初步测试应在已知内部情况的位置进行，用以在进行实际测量前测试所设置的参数是否合适。根据获得的 B-SCAN 图像，可以推断设备设置是否是正确的。

3 SCAN 模式。到此，可在测区按照既定的网格，进行完整的数据采集了。该模式自动存储每个测点获得的 B-scan 数据。系统也会存储当前系统设置，在每个网格点也会存储 MIRA 显示屏当前显示的图像，用于此后的报告中。

#### F.0.4 超声波成像仪裂缝检测

1 先在测试表面设计一系列平行的测线，测线间的间距应与先前在 ADJUSTMENT 模式中设置的“horizontal step”一致。如果需要检测构件内部的全部情况，测线间距则不应超过 250mm。

2 另一组与测线垂直的线，这些线的间距应与“vertical

step”一致。如果需要检测构件内部全部情况，则这些线的间距不应超过 100mm。

3 天线的方向与测线垂直，沿着测线方向，以每个“vertical step”为间隔进行数据采集。

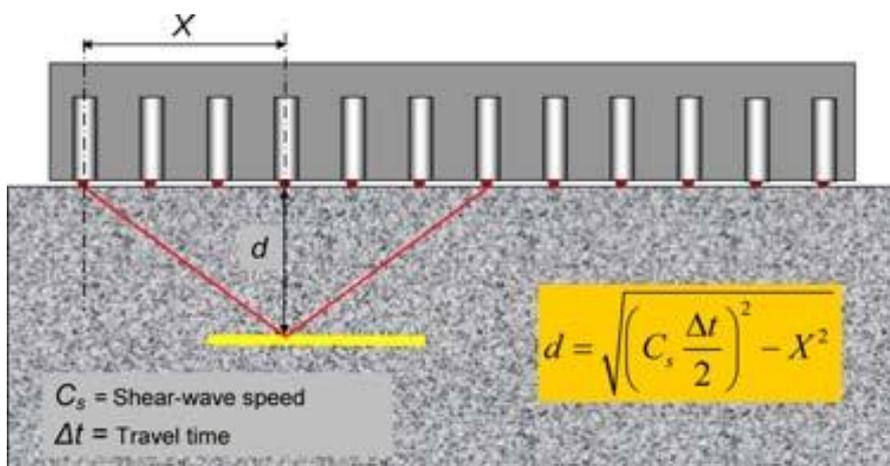
4 一条测线采集完毕后，将设备移至下一测线的起始点。

5 ADJUSTMENT 模式中输入的测线布局会被用作数据重建，确定每次测量中反射界面的位置。

#### F.0.5 数据分析

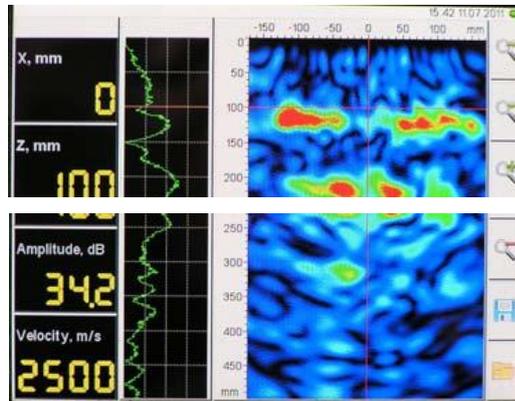
1 一个测点完成采集后，软件通过合成孔径聚焦技术重建混凝土构件内部的 2D 图像。

2 天线下方的区域被划分为一个个小单元。根据脉冲到达时间和已知的激发-接收端位置，可以确定发射界面的深度。因为射线路径是倾斜的，须采用直角三角形边长关系计算反射体的深度。



上图显示的公式中， $C_s$  是剪切波速度，它由仪器在测量开始时获得，或者在 ADJUSTMENT 模式中输入。与反射界

面有关的体积元在图像中的颜色代表了反射的强度。最终结果是天线下方区域的 2D 图像，显示了反射界面的位置。



F. 0. 5 3-D 图像重建

- 1 每个测点获得的 2D 图像被存储在仪器中被用户命名的文件夹内。
- 2 测试结束后，数据被转移到装有 IDEalviewer 3D 可视化软件的笔记本电脑中。软件将 2D 图像“缝合”成测试对象的 3D 模型。
- 3 用户可以在软件中旋转观察 3D 模型，也可从不同的正交方向以切片方式观察模型。
- 4 三个正交方向的视图都有正式的名称，一个 C-scan 表示不同深度与 Z 轴垂直的平面，即它表示反射体的水平视图；B-scan 是由仪器在测量时直接产生的图像，是与测线方向垂直的平面；D-scan 是与 B-scan 垂直的平面。用户可在 3D 模型特定的切片模式观察模型：沿 Z 轴观察 C-scan，沿 Y 轴观察 B-scan，沿 X 轴观察 D-scan。

# 附录 G 微振动测试分析

## G. 1 一般规定

### G. 1. 1 场地环境微振动测试应具备下列资料：

- 1 精密设备及仪器的容许振动值；
- 2 建筑场地工程地质勘察资料；
- 3 邻近现有建筑物及地下管道、电缆等有关资料；
- 4 场地及周围道路布置图，道路行车状况；
- 5 拟建场地及邻近的振源位置及运行状况；
- 6 拟建场地建筑物布置规划。

### G. 1. 2 建筑物微振动测试应具备下列资料：

- 1 精密设备及仪器的容许振动值；
- 2 建筑物的建筑、结构设计图；
- 3 安装精密设备及仪器的基础、台板设计图；
- 4 建筑物内振源位置及运行状况；
- 5 建筑物外邻近振源位置及运行状况。

### G. 1. 3 防微振基台微振动测试应具备下列资料：

- 1 精密设备及仪器的容许振动值；
- 2 防微振基台设计图；
- 3 隔振装置参数
- 4 隔振计算资料；
- 5 防微振基台内振源、位置及运行状况；

6 防微振基台外邻近振源位置及运行状况。

G. 1. 4 测试前，应对现场进行实地踏勘，制订测试方案。测试方案应包括下列内容：

- 1 测试目的及要求；
- 2 测试内容及方法；
- 3 测点布置方案；
- 4 测试仪器配置；
- 5 数据分析处理方法。

G. 1. 5 室外测试时，应对测试仪器采取保护措施。

G. 1. 6 测试过程中应采取措施避免强电磁及交流电源对测试仪器产生干扰。

## G. 2 测试设备及仪器

G. 2. 1 测试系统宜包括振动传感器、滤波器、放大器、信号采集分析仪及激振装置。

G. 2. 2 传感器应根据测试需要，选用高灵敏度三向一体传感器，或采用单轴向传感器组成三向测量传感器。

G. 2. 3 传感器频响范围应根据测试要求选定，宜为  $0.5\text{Hz}\sim 120\text{Hz}$ ，消声水池和消声室宜为  $0.5\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$

G. 2. 4 放大器宜采用具有抗混滤波功能的多通道放大器，各通道在最大放大倍数时幅值一致性偏差应小于 2%，相位一致性偏差应小于 0.1ms。放大器应具有积分、微分等功能。

G. 2. 5 数据采集应采用带有模/数转换的数据采集仪，其模/数转

换器的精度不宜小于 16 位，动态范围不宜小于 80dB。

数据采集系统的幅值畸变应小于 1dB。

G. 2. 6 数据采集及分析软件应具有时域、频域多通道显示功能  
FFT 频谱分析等功能。

G. 2. 7 激振装置可采用电磁式或机械式。电磁式激振器推力不宜  
小于 2kN，工作频率宜为 0. 05Hz~1000Hz。机械式激振器  
激振力不宜小于 5kN，工作频率宜为 3Hz~60Hz

G. 2. 8 振动测试系统应在国家认定的计量单位进行校准，并应在  
校准的有效期内使用。

### G. 3 测试设备及仪器安装

G. 3. 1 传感器安装应符合下列要求：

- 1 测点应安装只同型号的单轴向传感器或三向一体传感器，测试方向应互相垂直，分别采集竖直向及水平向振动数据；
- 2 只单轴向压电型加速度传感器可固定在大于传感器质 20 倍且不小于 1kg 的金属块上，可用螺栓、胶粘或磁性吸附方法固定于测试点；
- 3 天然基础土场地应挖测试坑，去除虚土并旁实，测试坑底部应浇筑薄层混凝土；
- 4 测试坑上应有防护设施，防护设施不得干扰正常的振动数据采集。

G. 3. 2 电磁式激振器安装应符合下列要求：

1 竖直向安装时应采用坚固的支架，将激振器用柔性橡胶带悬吊于支架上，其固有振动频率应低于测试最低频率倍；

2 水平向安装时应采用坚固的型钢支架，激振器应呈水平向固定；

3 激振器与被测体之间应用推力杆连接。

G. 3. 3 机械式激振器应用螺栓与被测体进行连接。

G. 3. 4 仪器安装应采取接地措施。

#### G. 4 振动数据采集

G. 4. 1 数据采集前，同型号传感器应进行试采样及比对分析。

G. 4. 2 采样频率应大于数据分析截止频率的倍，每个样本数据不应少于 1024 个。

G. 4. 3 采样时间和次数应符合下列要求：

1 随机振动不应小于 20mGn；

2 稳态振动不应小于 5mGn；

3 同类移动振源不应少于振源通过次；

4 同类冲击振动不应少于次。

G. 4. 4 每次采样除规定的振源及振源组合外，其余振源应停止运行。

G. 4. 5 采用激振器激振时，应待激振频率及扰力幅值稳定时采样。

#### G. 5 场地环境振动测试

G. 5. 1 场地环境振动测试应根据工程规模、建筑场地面积、有防

微振要求的建筑物位置、周边道路及邻近干扰振源等因素确定测点位置。在一个场地上不宜少于个测点，测点间距不宜大 40m。

G. 5. 2 环境振动工况分类及组合应包括常时微动、固定干扰振源及移动干扰振源的分别作用及组合，采样时间和次数应符合本附录 G. 4. 的规定。

G. 5. 3 传感器周围 15m 范围内应避免人员行走影响。

G. 5. 4 测试应采取多测点同时采样，当传感器数量不足或不能使所有测点同时采样时，可分批采样，但应保持振动工况一致。

G. 5. 5 当场地内外道路无车辆行驶时，可采用车辆模拟移动干扰振源运行，车辆数量、载重量、行驶方向、行驶速度应根据测试方案要求确定。

## G. 6 振动数据分析

G. 6. 1 振动数据的预处理应符合下列要求：

- 1 微振动测试所采集的样本应与测试原始记录核对，应选择有效样本进行排序整理；
- 2 应对每一样本进行检查，并应除去零点漂移及干扰。

G. 6. 2 振动数据的时域分析应符合下列要求

- 1 对于时域振动位移、速度及加速度均方根值，采用平均方法求得，平均次数根据数据采样长度决定
- 2 对于时域振动位移、速度及加速度峰值，显示时域曲线

可直接判读。

G.6.3 振动数据的频域分析应符合下列要求

## 本标准（规范、规程）用词说明

1 为便于在执行本标准（规范、规程）条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明必须按其他标准、规范执行的写法为“按……执行”或“应符合……的规定”

## 引用标准名录

引用标准：

- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 《建设用砂》 GB/T 14684
- 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 《防辐射混凝土》 GB/T 34008
- 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 《建筑结构检测技术标准》 GB/T 50344
- 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 《防微振素混凝土施工规范》 GB 50496
- 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》 GB/T 50733
- 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193

中国建筑业协会团体标准  
防微振素混凝土基础施工技术规范

Technical specification for construction of  
anti-microvibration plain concrete

条文说明

## 制定说明

《防微振素混凝土基础施工技术规程》(T/CCIAT xxxx— 2022), 经中国建筑业协会 2022 年××月××日以第××号公告批准发布。

本标准规程制订过程中, 编制组对国内外防微振施工技术进行了广泛的调查研究, 总结了我国工程建设防微振施工的实践经验, 同时参考了国内外有关技术标准, 通过试验取得了防微振素混凝土基础的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定, 《防微振素混凝土基础施工技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 1 总则

- 1.0.1 本条阐述了本规范的指导思想，根据各类防微振工程对微振动控制的要求进行工程施工，以求使工程做到技术先进、经济适用及节约能源的效果。
- 1.0.2 本条明确了本规范的适用范围。有防微振要求的各类工程可参照本规范进行施工。

### 3 基本规定

- 3.0.1-3.0.2 素混凝土防微振基础处理属于超大体积混凝土施工，应符合大体积混凝土施工工艺特性的要求，符合国家标准《大体积混凝土施工标准》GB50496的有关规定。施工时，除满足普通混凝土施工所要求的力学性能及可施工性能外，还应控制有害裂缝的产生。为此，施工单位应预先制定满足上述要求的施工组织设计和施工技术方案，并进行技术交底，切实贯彻执行。为贯彻国家技术经济政策，保证工程质量，施工组织设计和施工技术方案中应包含环境保护和安全施工的技术措施。
- 3.0.3 冶金、电力、石化和建工等行业的施工经验表明，许多工程已经或可以考虑用 60d 或 90d 混凝土强度作为评定工程交工验收与设计的依据，这是一种有科学依据、工程实践，并可节能、降耗、有效减少有害裂缝产生的技术措施。
- 3.0.4 防微振素混凝土施工前、需了解掌握气候变化情况，并尽量避开特殊气候的影响，如大雨、大雪等天气，若无良好的防雨雪措施，将影响混凝土的施工质量。高温天气如不采取遮阳、降温措施，骨料的温度会直接影响混凝土拌合物的出机口温度和入模温度，而在寒冷季节施

工，会增加防微振素混凝土保温保湿养护措施的费用。

- 3.0.5 为贯彻国家绿色施工的相关政策，应保证工程质量、节能和施工安全。此外防微振素混凝土施工还应符合国家现行标准《建筑施工安全统一规范》GB 50870 和《建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准》JGJ 184 的有关规定。

## 4 混凝土配合比设计与配制

### 4.2 混凝土原材料

4.2.1 为降低素混凝土防微振基础工程在施工中因水泥水化热引起的温升，达到降低温度应力、节约保温养护费用的目的，对混凝土的原材料和配合比进行了规定。本条是根据目前水泥水化热的统计数据，以及多个大型重点工程的成功经验所拟定。

4.2.2 混凝土的骨料，特别是粗骨料，是混凝土内部阻抗水泥石收缩的主要组分，因此骨料的含量、粒径、级配、空隙率大小、杂质含量、骨料材质、品种都对混凝土收缩开裂有一定影响。

1 粗骨料应质地坚硬，连续级配，粒径 $5\sim 31.5\text{mm}$ 、空隙率不大于40%是粗骨料选用的一般原则。粗骨料粒径太小其限制混凝土变形作用也较小。控制骨料的空隙率能使混凝土在较低用水量时依然保持较好的可泵性。混凝土的收缩除了由于混凝土配合比的不当以及养护不足之外，骨料的总用量和骨灰比都对裂缝产生有直接影响。控制混凝土裂缝应重视混凝土单方骨料的数量，尽量不采用中、小粒径的骨料。试验表明粗骨料粒径对混凝土弹性模量有一定的影响，在满足施工工艺的前提下，使用粒径较大的粗骨料有利于获得较高的弹性模量。

4.2.3 掺合料选用了矿粉与粉煤灰两种，主要有以下原因：

1 混凝土掺加粉煤灰可减少水泥用量，降低水化热，减缓早强速率，减少混凝土早期裂缝。与基准混凝土相比，掺加粉煤灰可以改善混凝土拌合物的和易性，减少混凝土的泌水性。

2 矿渣粉和优质超细矿渣粉活性均高于粉煤灰，且需水量较低，改善了絮凝情况，改善均匀性，但其水化反应较粉煤灰快，措施不当易产生表面裂缝。细度较大的矿粉表现更甚，故对矿粉的比表面积上限进行了规定。

### 4.3 配合比设计

4.2.6 混凝土碱骨料，直接危害混凝土工程耐久性和安全性。解决混凝土碱骨料反应问题的最好方法就是采取预防措施。

4.3.2 防微振素混凝土的核心是混凝土裂缝控制，混凝土裂缝直接影响隔振基础的防微振效果。混凝土的强度等级是指建筑物完成后的使用状态，建设过程构部件荷载增加速度是一个较漫长的过程，因此利用混凝土后期强度有着很大潜力。尤其是粉煤灰混凝土早期强度增长较慢（早期水化热低），后期强度增长较大，能够防止混凝土裂缝的产生。利用 60d、90d 强度等级还能节约水泥，减少碳排放，保护环境。本条文依据现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定，吸取了混凝土搅拌站多年来确定的混凝土成分参数的成熟经验，结合

大体积素混凝土施工的经验，本规程提出了水胶比、浆骨比、砂石比、掺合料的相关参数规定，不仅是单纯从混凝土强度等级考虑，而且高度重视了混凝土的长期耐久性和前期的防裂性，以及混凝土的可操作性。坍落度过大，易产生泌水、离析等现象。本条文中对用水量不应大于  $170\text{kg}/\text{m}^3$ 、混凝土坍落度不大于  $180\text{mm}$  是通过上百次的试验结果所得出的，比较适应此类工程的实际情况。在满足施工泵送要求的前提下，尽可能采用较小的坍落度。

- 4.3.5 混凝土实际强度等级大幅超过设计强度等级是混凝土结构裂缝的原因之一，因此本规程规定了混凝土配制强度上限不应超过 30%。

## 5 混凝土性能

### 5.1 一般规定

5.1.2 本条明确了防微振素混凝土长期性能的参数，同时也强调现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 等规范同样适用于防微振素混凝土。

5.1.3 本条明确了防微振素混凝土耐久性能的参数，同时也强调现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 等规范有关混凝土耐久性能的规定同样适用于防微振素混凝土。

### 5.2 拌合物性能

5.2.1 防微振素混凝土拌合物工作性能的好坏是影响决定施工效果的重要因素之一，因此，在配制防微振素混凝土时应重点调整拌合物的粘聚性、保水性以及流动性，确保不离析、不泌水。为避免混凝土早期失水速率快、收缩变形大等因素导致产生微裂缝，提高混凝土耐久性、控制防微振素混凝土拌合物早期抗裂性能是较为重要的。

### 5.3 物理力学性能

5.3.1 本条文明确了现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50081、《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50170 等有关混凝土

土力学性能的规定也同样适用于防微振素混凝土。

5.3.2-5.3.3 混凝土弹性模量和泊松比是影响防微振性能的重要参数，因此对其进行了规定。自振频率受其自身刚度变化影响较大，刚度的降低会导致一阶自振频率的降低，响应幅值增加。

## 6 施工与监测

### 6.1 一般规定

6.1.2 对超长(大于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中伸缩缝的要求)大体积混凝土施工,可留置变形缝、后浇带或跳仓方法分段施工,并规定了设置的一般要求。在一定程度上减轻外部约束程度,减少每次浇筑段的蓄热量,防止水化热的积聚,减少温度应力。

《大体积混凝土施工标准》GB50496 中介绍的应力场与收缩应力的计算方法,是目前众多计算大体积混凝土温度场和温度应力方法中的一种,可以在施工前对施工对象在现有条件下(包括材料和工艺)的温升峰值、降温速率、里表温差等参数及开裂情况做出合理估算,依据估算结果对拟采用材料和工艺进行调整。计算过程中需要的参数,应尽量采用实际试验结果。

### 6.2 模板工程

6.2.1 为防止防微振素混凝土工程中模板和支架系统出现倒塌或倾覆现象,确保人员安全,避免重大经济损失,规定了防微振素混凝土工程模板和支架系统在设计时需开展承载力、刚度和稳定性验算,保证其整体稳固性。一般在防微振素混凝土施工中,模板主要采用钢模、木模或胶合板,支架主要采用钢支撑体系。采用钢模对保温不利,应根据保温养护的需要再增加保温措施;采用木模

或胶合板时，保温性能较好，可将其直接作为保温材料考虑。

6.2.2 模板和支架系统在安装、使用和拆卸时需采取措施保障安全，这对避免重大工程事故非常重要。在安装时，模板和支架系统还未形成可靠的结构体系，应采取临时措施，保证在搭设过程中的安全；在混凝土施工时应加强现场检查，必要时应加固；在拆卸时应注意混凝土的强度和拆除的顺序，在混凝土结构有可能未形成设计要求的受力体系前，应加设临时支撑系统。

6.2.3 本条文规定了采用后浇带或跳仓方法施工时施工缝支挡和竖向支撑体系的要求。

6.2.4、6.2.5 规定了拆模时间的要求和应采取的措施，国内外的工程实践证明，早期因水泥水化热使混凝土内部温度较高，过早拆模会导致混凝土内外温差增大，产生较大的拉应力，极易出现裂缝。因此有条件时，应延迟拆模时间，缓慢降温，充分发挥混凝土的应力松弛效应，增加对防微振素混凝土的保温保湿养护时间。

### 6.3 混凝土浇筑

6.3.1 本条文是防微振素混凝土施工过程中，拌合物浇筑成型过程应遵循的技术依据。

6.3.2 混凝土浇筑均匀性是为了保证混凝土各部位浇筑后具有

相类同的物理和力学性能；混凝土浇筑密实性是为了保证混凝土浇筑后具有相应的强度等级。对于每一块连续区域的混凝土，建议采用一次连续浇筑的方法；若混凝土方量过大或因设计施工要求而需留设施工缝或后浇带，则分隔后的每块连续区域应该采用一次连续浇筑的方法。混凝土连续浇筑是为了保证每个混凝土浇筑段成为连续均匀的整体。

- 6.3.4 防微振素混凝土采用二次振捣工艺，即在混凝土浇筑后即将凝固前，在适当的时间和位置给予再次振捣，以排除混凝土因泌水在粗骨料生成的水分和孔隙，增加混凝土的密实度，减少内部微裂缝，改善混凝土强度，提高抗裂性。振捣时间长短应根据混凝土的流动性大小确定。
- 6.3.5 本条对分层间歇浇筑混凝土时，施工缝的处理作了一般规定。
- 6.3.8 在混凝土初凝前在表面采用二次抹压处理工艺，并及时用塑料薄膜覆盖，可有效避免混凝土表面水分过快散失出现干缩裂缝，控制混凝土表面非结构性细小裂缝的出现和开展，必要时，可在混凝土终凝前 1h~2h 进行多次抹压处理，在混凝土表层配置抗裂钢筋网片。

#### 6.4 混凝土养护

- 6.4.1 本条规定了应采用在防微振素混凝土养护中已广泛使用且效果明显的保温保湿养护方法。根据以往的施工经验，

在防微振素混凝土养护过程中采用强制或不均匀的冷却降温措施不仅成本相对较高，而且管理不善还易使防微振素混凝土产生贯穿性裂缝。保温养护是防微振素混凝土施工的关键环节。保温养护的主要目的是通过减少混凝土表面的热扩散，从而降低防微振素混凝土浇筑体的里表温差值，降低混凝土浇筑体的自约束应力，其次是降低防微振素混凝土浇筑体的降温速率，延长散热时间，充分发挥混凝土强度的潜力和材料的松弛特性，利用混凝土的抗拉强度，以提高混凝土的抗裂能力，达到防止温度裂缝的目的。同时，在养护过程中保持良好温度和防风条件，使混凝土在适宜的温度和湿度环境下养护。

对混凝土蓄水养护时，规定的蓄水厚度有利于调节混凝土表面与空气的温差，防止表面龟裂。掺矿物掺合料混凝土的湿养护应比基准混凝土长，养护时间长短与水泥品种、环境温度、湿度关系较大，考虑我国实际情况，本规范规定一般情况下不宜少于 14d，在条件允许时，尽量延长养护时间。保温养护应使混凝土内外温差不超过 20℃，可通过控制混凝土的入模温度和优选配合比控制水化温升来控制混凝土内部最高温度不超过限值，提高混凝土结构的耐久性。

## 7 检测与验收

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 由于防微振工程的特殊性，工程应按设计文件施工，按设计文件施工是质量验收最基本的条件，本条规定修改设计应由原设计单位进行，这对保证工程质量有重要作用。
- 7.1.2 本规范验收部分编制的依据是现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300。在执行本规范时，强调应与现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 配套使用。