

ICS 91.100.30

CCS Q 13

CBMF

中国建筑材料协会标准

T/CBMF XX—20XX
T/CCPA XX—20XX

大掺量粉煤灰在混凝土中应用技术规程

Technical specification for the application of high volume fly ash concrete
(征求意见稿)

20XX - XX - XX 发布

20XX - XX - XX 实施

中国建筑材料联合会
中国混凝土与水泥制品协会

发布

前 言

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2022 年第三批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发〔2022〕10 号）和中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2022 年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第一批）的通知》（中制协字〔2022〕8 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语和定义；3.基本规定；4.对于粉煤灰的技术要求；5.大掺量粉煤灰混凝土的配合比；6.大掺量粉煤灰混凝土的生产与施工；7.大掺量粉煤灰混凝土的质量验收；附录 A 温度匹配养护试验。

本规程由中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会共同归口管理，由北京建工新型建材有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请寄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）。

主 编 单 位：北京建工新型建材有限责任公司

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目 录

| | | |
|------|-------------------------|----|
| 1 | 总则 | 3 |
| 2 | 术语和定义 | 4 |
| 3 | 基本规定 | 5 |
| 4 | 技术要求 | 6 |
| 4.1 | 粉煤灰技术要求及检验方法 | 6 |
| 4.2 | 出厂、进场检验与运输储存 | 6 |
| 5 | 大掺量粉煤灰混凝土的配合比 | 8 |
| 5.1 | 材料要求 | 8 |
| 5.2 | 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计原则 | 8 |
| 5.3 | 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计 | 8 |
| 6 | 大掺量粉煤灰混凝土的生产与施工 | 10 |
| 6.1 | 大掺量粉煤灰混凝土的生产 | 10 |
| 6.2 | 大掺量粉煤灰混凝土的施工 | 10 |
| 7 | 大掺量粉煤灰混凝土的质量验收 | 11 |
| 附录 A | 温度匹配养护试验方法 | 12 |
| | 用词说明 | 14 |
| | 引用标准名录 | 15 |
| 附： | 条文说明 | 16 |

Contents

| | |
|--|----|
| 1 General provisions..... | 1 |
| 2 Terms and definitions..... | 2 |
| 3 Basic Rule..... | 3 |
| 4 Technical Requirements..... | 4 |
| 4.1 Fly ash technical requirements and test methods..... | 4 |
| 4.2 Delivery, inspection and transportation storage..... | 4 |
| 5 Mix ratio of high volume fly ash concrete..... | 6 |
| 5.1 Material Requirements..... | 6 |
| 5.2 Design principle of mix ratio of high volume fly ash concrete..... | 6 |
| 5.3 Mix ratio design of high volume fly ash concrete..... | 6 |
| 6 Production and construction of high volume fly ash concrete..... | 8 |
| 6.1 Production of high volume fly ash concrete..... | 8 |
| 6.2 Construction of high volume fly ash concrete..... | 8 |
| 7 Quality acceptance of high volume fly ash concrete..... | 9 |
| Appendix A Temperature matching curing test method..... | 10 |
| Explanation of wording..... | 12 |
| List of quoted Standards..... | 13 |
| List of quoted Standards..... | 14 |

1 总 则

- 1.0.1 为推动基础设施建设可持续发展，同时通过降低混凝土水化温升及其所带来的混凝土开裂风险，提高结构耐久性、延长使用寿命，规范大掺量粉煤灰混凝土的应用，保证工程质量，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于粉煤灰占胶凝材料的质量百分比大于 40%的混凝土。
- 1.0.3 大掺量粉煤灰混凝土的应用，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关强制性标准和条款的规定。

2 术语和定义

2.0.1 粉煤灰 fly ash

从电厂煤粉炉烟道中收集的粉末。

2.0.2 胶凝材料 binder

混凝土中水泥与掺合料的总称。

2.0.3 粉煤灰掺量 fly ash content

粉煤灰占胶凝材料的质量百分比。

2.0.4 水胶比 water-binder ratio

混凝土用水量与胶凝材料质量之比。

2.0.5 大掺量粉煤灰混凝土 high volume fly ash concrete

粉煤灰占胶凝材料的质量百分比大于40%，用水量低于 155 kg/m^3 的混凝土。

2.0.6 高性能大掺量粉煤灰混凝土 high performance and high volume fly ash concrete

粉煤灰占胶凝材料的质量百分比大于50%且用水量低于 130 kg/m^3 的混凝土。

3 基本规定

3.0.1 大掺量粉煤灰混凝土应具有满足工程要求的工作性和力学性能。同时应满足该混凝土应用环境下的耐久性要求。

3.0.2 大掺量粉煤灰混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制。采用其他品种的水泥时，应根据水泥中混合材料的品种和掺量，并通过试验确定粉煤灰的合理掺量。

3.0.3 当与其他掺合料复合掺用时，粉煤灰的合理掺量应通过试验确定。

4 技术要求

4.1 粉煤灰技术要求及检验方法

4.1.1 粉煤灰技术要求见表 4.1.1。

表 4.1.1 粉煤灰技术要求

| | |
|-------------------------------|-------------|
| 细度（45 μm 方孔筛筛余）/% | ≤ 45.0 |
| 需水量比/% | ≤ 100 |
| 烧失量/% | ≤ 5 |
| 含水量/% | ≤ 1.0 |
| 三氧化硫（ SO_3 ）质量分数/% | ≤ 3.0 |
| 游离氧化钙（f-CaO）质量分数/% | ≤ 4 |
| 密度/（ g/cm^3 ） | ≤ 2.4 |

注：1. 游离氧化钙含量高，会加剧混凝土水化温升，导致开裂。

2. 粉煤灰品质超出上表所列值时，通过试验证明使用效果满足技术要求后，仍然可以应用。

4.1.2 粉煤灰的放射性核素限量及检验方法应按现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB6566 中建筑主体材料的有关规定执行。

4.1.3 粉煤灰中铵离子含量不应大于 210 mg/kg。检测方法应按现行国家标准《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》GB/T 39701 执行。

4.2 出厂、进场检验与运输储存

4.2.1 出厂前应按现行国家标准及本规程要求对粉煤灰编号和取样。

4.2.2 粉煤灰应按批进行出厂检验，检验项目及结果应满足本规程 5.1 中的质量要求。粉煤灰出厂应具备产品合格证、出厂检验报告，内容应包括：出产厂名称、出厂日期、粉煤灰产地、种类、生产方式、出厂编号、出厂检验项目及结果，并按相关标准要求按期提供有效期内的型式检验报告。

4.2.3 粉煤灰进场时应以同一厂家连续供应的 200t 相同级别、相同种类的产品为一批（不足 200t，按一批计）。取样方法应符合以下规定：

- 1 散装粉煤灰：应从同一批次、任一罐体的 10 个以上不同部位各取等量样品，每份不少于 1.0kg，混合搅拌均匀，用四分法缩取比试验需要量大一倍的试样量；
 - 2 袋装粉煤灰：应从每批中任抽 10 袋，从每袋中各取等量试样一份，每份不少于 1.0kg，混合搅拌均匀，用四分法缩取比试验需要量大一倍的试样量。
- 4.2.4 粉煤灰进场检验项目应包括细度、需水量比、烧失量、含水量；可根据需要检验其他项目。
- 4.2.5 粉煤灰的验收规则应符合下列规定：
- 1 粉煤灰的验收应按批进行，符合本规程检验项目技术要求的方可使用；
 - 2 当检验结果不符合本规程要求时，应在同一批中重新加倍取样进行复检，以复检结果判定。复检后仍不符合要求时，该批粉煤灰应作不合格品处理。
- 4.2.6 当相关单位对粉煤灰产品质量存在争议时，应将认可的样品签封，送省级或省级以上国家认可的质量监督检验机构进行仲裁检验。
- 4.2.7 粉煤灰在运输和存储时应防止受潮、结块，不得混入杂物，不得将不同质量、不同来源的粉煤灰混杂运输和存储。在运输、存储和使用时，应防止污染环境。

5 大掺量粉煤灰混凝土的配合比

5.1 材料要求

- 5.1.1 所用粉煤灰应满足本规程 5.1 的规定。
- 5.1.2 水泥应优先选用强度等级为 42.5 或 42.5 以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其性能应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定。
- 5.1.3 所用细骨料的质量、性能及试验方法应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 和现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定，推荐优先选用符合《高性能混凝土用骨料》JG/T568 的细骨料。
- 5.1.4 所用粗骨料的质量、性能及试验方法应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 和现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定，推荐优先选用符合《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 的粗骨料。
- 5.1.5 拌合用水和养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 和《预拌混凝土生产企业废水回收利用规范》JC/T 2647 的规定。
- 5.1.6 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和现行行业标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定；除非在气温特别高的应用场合，需注意减少或去除里面的缓凝组分，粉煤灰与外加剂的适应性应通过试验确定。

5.2 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计原则

- 5.2.1 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计，应根据混凝土的强度等级、验收龄期、耐久性、拌合物的工作性以及施工要求等，采用工程实际使用的原材料，并满足国家现行标准的有关要求设计。
- 5.2.2 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计宜按体积法计算。
- 5.2.3 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计和验收龄期应根据实际应用工程结构类型和承载时间确定。
- 5.2.4 当混凝土强度发展受水化温升影响显著时，大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计，宜采用温度匹配养护方式进行评价。

5.3 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计

- 5.3.1 大掺量粉煤灰混凝土的配制，应首先根据用途及条件选用石子最大粒径并优化石子的级配，以减小其空隙率；建议采用 5mm~10mm 和 10mm 以上较大粒径石子组成二级配或三级配，石子总用量宜为 $1050\text{kg}/\text{m}^3 \sim 1200\text{kg}/\text{m}^3$ （可根据石子表观密度适当调整）。
- 5.3.2 胶凝材料用量和水泥用量宜根据混凝土应用场景、结构形式和耐久性要求等综合考虑，大掺量粉煤灰混凝土水泥用量和胶凝材料用量尽量降低。
- 5.3.3 砂子用量应通过混凝土试拌确定，根据砂子材料性能和混凝土拌合物工作状态选择适宜砂子用量和砂率。
- 5.3.4 最后确定混凝土用水量和外加剂掺量。大掺量粉煤灰混凝土的用水量宜低于 $155\text{kg}/\text{m}^3$ ；高性能大掺量粉煤灰混凝土的用水量宜低于 $130\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 5.3.5 大掺量粉煤灰混凝土的工作性应根据结构浇筑部位、施工方式等确定，满足施工要求前提下尽量降低混凝土坍落度以保证混凝土拌合物良好的工作性。
- 5.3.6 在高温季节，应适当提高粉煤灰掺量，根据温升验算情况控制混凝土入模温度。
- 5.3.7 在低气温环境条件（最低气温 $\leq 5^\circ\text{C}$ ）下浇筑施工时，应适当降低水胶比，控制大掺量粉煤灰混凝土用水量低于 $130\text{kg}/\text{m}^3$ ；或者与磨细矿渣粉等矿物掺合料复合配制混凝土；采取冬施保温措施，通过加热混凝土用水或者骨料保证必要的入模初始温度不低于 5°C 。
- 5.3.8 在负温下浇筑混凝土构件时，大掺量粉煤灰混凝土适用于最小断（截）面尺寸宜大于 600mm 的结构部位，或采用与矿渣粉等矿物掺合料复合使用的混凝土。

6 大掺量粉煤灰混凝土的生产与施工

6.1 大掺量粉煤灰混凝土的生产

6.1.1 大掺量粉煤灰混凝土拌合物应采用可以保证拌合物匀质性要求的高效率搅拌设备，并应适当延长搅拌时间。

6.1.2 原材料的计量宜采用电子计量设备，累计质量计量允许偏差不应超过±1%。

6.2 大掺量粉煤灰混凝土的施工

6.2.1 大掺量粉煤灰混凝土的振捣，建议采用带变频器的振捣设备，通过高频振捣使得大掺量粉煤灰混凝土振捣效果得到大幅度改善。

6.2.2 大掺量粉煤灰混凝土的拆模，应在混凝土水化温峰后择机拆模，并控制内外温差不宜大于 25℃；拆模后，应进行保湿保温养护，降温速率不宜大于 2.0℃/d；宜根据需要埋设测温装置，保温养护持续时间和保温材料厚度应根据环境气温和混凝土内外温差确定并随机调整，一般大气温度越低，保温养护持续时间越长；湿养护应采用先覆盖透气织物如土工布，并及时喷雾保湿，不应采取直接浇冷水的方式。鼓励采用新型节水高分子树脂保湿养护膜进行工程环境 5℃ 以上保湿养护。

7 大掺量粉煤灰混凝土的质量验收

7.0.1 大掺量粉煤灰混凝土的强度检验与评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定。

7.0.2 大掺量粉煤灰混凝土的结构进行回弹法推定强度时，应在现有规范回弹曲线基础上根据钻芯强度进行校正或者制定大掺量粉煤灰混凝土专用回弹曲线进行强度推定。

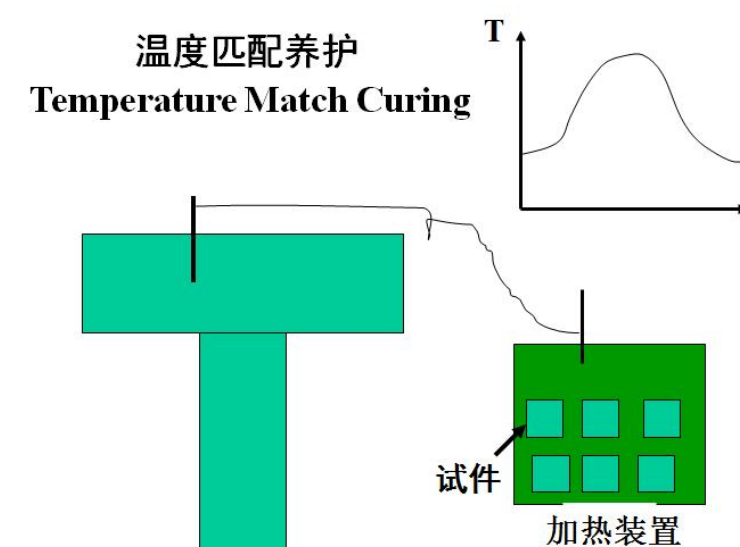
7.0.3 大掺量粉煤灰混凝土的施工质量与验收评定应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

7.0.4 大掺量粉煤灰混凝土的耐久性检验评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

附录 A 温度匹配养护试验方法

A.1 试验原理

在混凝土结构内埋设温度传感器，采集的温度数据通过导线传导到放置在结构外的发射器中，发射器通过有线或者无线网络实时传输网络云端，温度从网络云端下发至混凝土试件养护箱温度控制系统，来实现混凝土试件养护箱的温度与实体温度同步匹配变化。下图为原理示意简图，右上角为常规混凝土结构的随时间变化的测温曲线。



A.2 试验目的

指导混凝土配合比设计，用于预测混凝土实体强度发展和混凝土工程验收等。混凝土在浇筑后内部温度上升，由于混凝土内部温度的变化以及胶凝材料的水化历程不同，对抗压强度的增长有很大影响。

以往的做法是采取标准养护强度和所谓的“同条件养护”（试块放置在实体结构旁）来预测实体强度发展。两种方法都无法反映混凝土在凝结硬化期间由于内部温度升高所引起的强度增长率的变化；即使是将混凝土试件放在实体结构物旁进行“同条件养护”，也只是简单地模拟了实体混凝土结构表面的环境温度，并不能反映处于半绝热状态的混凝土内部的实际温升，总之现有两种试验检测评价方法都无法科学地评价实体混凝土结构的真实强度。行之有效的做法是采取温度匹配养护，通过温度传感器跟踪结构中混凝土温度变化，同步调整混凝土试件

的环境温度，则该试件抗压强度可用以准确地评价该检测龄期的结构内部的混凝土抗压强度。

A.3 温度匹配养护箱

采用无线或者有线传输方式，将预埋到混凝土结构中温度传感器检测到的温度实时传输到匹配养护箱接收装置，并实时控制养护箱温度使得养护箱内部温度与混凝土结构测到的温度相匹配，同步变化。温度传输可以采取有线传输也可采取先传到网络云端服务器，再下发到匹配养护箱的电脑端温度控制程序，设计目的是将养护箱中混凝土试件养护温度与混凝土结构实体中温度变化相匹配，研究混凝土结构中温度变化对混凝土强度的影响规律。

A.4 需要工地配合的注意事项

A. 4. 1 温度传感器的绑扎：在结构钢筋绑扎完成之后、模板闭合之前，在相应部位绑扎温度传感器，温度传感器宜绑扎在钢筋下方，传感器导线顺竖向钢筋向上引出，以避免受到施工浇筑振捣损坏。测温点应布置在墙体中轴线上，可按“上中下、里中外”布置。

A. 4. 2 温度传感器及发射装置应进行适当保护，混凝土浇筑过程中，下料时不得直接冲击温度传感器及其引出线；振捣时，振捣器不得触及温度传感器及引出线。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《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
- 《大体积混凝土施工标准》GB 50496
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《水泥化学分析方法》GB/T 176
- 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《建设用砂》GB/T 14684
- 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685
- 《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》GB/T 39701
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- 《现浇混凝土养护技术规范》JC/T 60018

大掺量粉煤灰混凝土应用技术规程

条文说明

目 录

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 1 | 总则 | 18 |
| 2 | 术语和定义 | 21 |
| 4 | 粉煤灰的技术要求 | 22 |
| 4.1 | 技术要求及检验方法 | 22 |
| 5 | 大掺量粉煤灰混凝土的配合比 | 23 |
| 5.1 | 材料要求 | 23 |
| 5.2 | 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计原则 | 23 |
| 5.3 | 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计 | 23 |
| 6 | 大掺量粉煤灰混凝土的制备与施工 | 25 |
| 6.2 | 大掺量粉煤灰混凝土的施工 | 25 |

Concents

| | |
|---|----|
| 1 General provisions | 17 |
| 2 Terms and definitions | 19 |
| 4 Technical requirements for fly ash | 20 |
| 4.1 Technical requirements and inspection methods | 20 |
| 5 Mix ratio of high volume fly ash concrete | 21 |
| 5.1 Material requirements | 21 |
| 5.2 Design principle of mix ratio of high volume fly ash concrete | 21 |
| 5.3 Mix ratio design of high volume fly ash concrete | 21 |
| 6 Preparation and construction of high volume fly ash concrete..... | 23 |
| 6.2 Construction of concrete with large amount of fly ash | 23 |

1 总 则

1.0.1 本条指出了制定本规范的目的。目前国内混凝土对于粉煤灰的使用已很普遍，但对于粉煤灰在混凝土中的作用仍存在许多过时的片面认识，直接影响着粉煤灰在混凝土中更好地应用。溯源粉煤灰的使用历史，首先粉煤灰最早在水利大坝工程中大量工程应用，给人们留下了一个最初错误的印象，并影响至今，即粉煤灰只适宜在水利大坝这样的大体积结构中应用，粉煤灰活性低、不宜用于早期强度有要求的结构部位。其次是粉煤灰在 50 年代国内使用之初，当时煤粉粉磨较粗、燃烧不完全，粉煤灰中存在大量未完全燃烧的颗粒。加上水泥颗粒较粗，活性较低，早期强度发展较慢。第三是当时电厂的粉煤灰收尘方式多为袋收尘，冷却过程缓慢。现代粉煤灰的形成条件发生了显著的变化，大型现代化电厂的煤粉粉磨得更细、燃烧温度更高、燃烧更充分，采用收尘方式是电收尘，粉煤灰能够快速冷却，这些变化都使得粉煤灰活性显著提高、品质更加稳定。

现代混凝土结构设计越来越趋向复杂化和大型化，混凝土强度等级越来越高，对混凝土早期强度的过度追求使得水泥强度更高、细度更大，混凝土水化温升较大，普遍出现了易开裂的严重现象。王铁梦指出，80%~90%的新建混凝土结构非受力开裂都是温升裂缝，而混凝土裂缝的存在可以使水分、氯离子等有害介质快速进入结构内部，引起钢筋锈蚀，加剧混凝土结构的破坏，裂缝是混凝土耐久性破坏的最大威胁。粉煤灰掺入混凝土中可以大幅度降低水化温升，延缓早期强度的过快发展，减少裂缝的产生，大幅提升混凝土耐久性。

分析水泥混凝土的水化历程是一个链式叠加的反应，水泥水化放热引起温度升高，温度升高又促进水泥水化速率，加速的水化反应又放出来更多的热量；这种链式的叠加效应导致水泥水化速率很快；在水泥中掺加粉煤灰后，粉煤灰早期不参加水化反应、后期与水泥水化产物发生二次水化反应时又基本不放热，大掺量粉煤灰的掺入可以有效降低水泥水化速率，降低因温升过高导致的温升开裂。

在混凝土中掺入粉煤灰，一是可利用粉煤灰的填充效应和体积效应，水泥和粉煤灰的密度比约为 3:2，相同质量的粉煤灰取代水泥后胶凝材料浆体体积增加，

同等流动度条件下填充混凝土内砂石空隙,可以降低用水量,提升混凝土耐久性;二是粉煤灰在混凝土中早期不参与水泥水化反应,后期与水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生二次水化反应,并且粉煤灰水化反应过程中基本不放热,是降低混凝土早期温升、后期水化反应放热的优良的矿物掺合料。大掺量地掺用粉煤灰可以将粉煤灰的优良作用充分利用,显著改善混凝土的耐久性。

为使人们充分理解粉煤灰多方面的优点和特性,使其在混凝土中得到更加科学、广泛的应用,规范大掺量粉煤灰混凝土的工程应用,特制定本规程。

1.0.2 根据国内外大量研究成果和工程应用实践,本规程对于大掺量粉煤灰混凝土的定义规定粉煤灰掺量为40%以上,以有别于现行规范对粉煤灰的限制。

2 术语和定义

粉煤灰按煤种和氧化钙含量分为 F 类和 C 类。F 类粉煤灰是由无烟煤或烟煤燃烧收集的粉煤灰。C 类粉煤灰具备胶凝性质和火山灰性质，是由褐煤或次烟煤燃烧收集的粉煤灰。本章给出了大掺量粉煤灰混凝土相关术语的定义。

4 粉煤灰的技术要求

4.1 技术要求及检验方法

4.1.1 本规程对于粉煤灰做所述要求。其中需水量比对于大掺量粉煤灰混凝土的用水量至关重要，经实验验证当需水量比超过 100%时无法起到减水效果。根据工程经验，当含水量超过 1.0%时，输送和储存会出现板结情况。密度不超过 $2.4\text{g}/\text{cm}^3$ 以控制粉煤灰中掺入石粉等杂质的影响。

5 大掺量粉煤灰混凝土的配合比

5.1 材料要求

5.1.6 相较于一般混凝土，由于大幅降低了胶凝材料中的水泥用量，大掺量粉煤灰混凝土的早期水化程度减缓，凝结时间相应延长，除非在气温特别高的应用场合，否则应相应降低外加剂中缓凝组分含量。

5.2 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计原则

5.2.4 大掺量粉煤灰混凝土的强度发展，当因混凝土结构体积较大或者受水化热影响较大时，结构中混凝土强度发展与标准养护状态强度发展差异较大，建议采取温度匹配养护手段监测强度发展，为配合比设计提供更科学的依据；关于温度匹配养护的介绍和操作方法见附录。

5.3 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计

5.3.1 相较于普通混凝土，大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计，首先应选用合适的石子并优化级配以充分降低体系空隙率，砂子填充在石子骨架的空隙中，胶凝材料浆体进一步填充砂石空隙，用水量根据工作性所需浆体和外加剂用量确定。

5.3.2 胶凝材料用量和水泥用量宜根据混凝土应用场景、结构形式和耐久性要求等综合考虑；简单按照强度等级划分，一般 C30 强度等级水泥用量宜低于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料用量宜低于 $360\text{kg}/\text{m}^3$ ；一般 C40 强度等级水泥用量宜低于 $240\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料用量宜低于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ ；对于 C50 及以上强度等级混凝土，水泥用量宜低于 $260\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料用量宜低于 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.3.4 因大量粉煤灰的掺入，可大幅度降低混凝土用水量，为规范大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计与使用，规定大掺量粉煤灰混凝土的用水量应低于 $155\text{kg}/\text{m}^3$ ；高性能大掺量粉煤灰混凝土的用水量应低于 $130\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.3.6 大掺量粉煤灰混凝土因为低用水量、掺入大量粉煤灰，混凝土和易性良好，在较低流动性下也可以实现泵送和振捣密实，应根据施工需要适当降低混凝土拌合物坍落度，避免沿用普通混凝土拌合物施工经验采用较大坍落度进行施工，过度振捣造成粉煤灰上浮，避免混凝土和易性不良现象发生。

5.3.8~5.3.9 对于大掺量粉煤灰混凝土在低温条件下的施工应用做出区分,明确了低温下大掺量粉煤灰混凝土的注意事项。

6 大掺量粉煤灰混凝土的制备与施工

6.2 大掺量粉煤灰混凝土的施工

大掺量粉煤灰混凝土由于水泥用量显著降低，凝结时间会有所延长，外加剂中没有缓凝组分存在时，混凝土工作状态表现良好，且不容易出现泌水、离析以及非常黏稠的不良状态，在泵送过程也不容易出现堵泵等现象，为实现良好的施工质量提供了有利条件，要总结不同于普通混凝土的施工振捣方案，避免施工混凝土坍落度过大、振捣时过振造成粉煤灰上浮，引起混凝土均匀性不良问题。

大掺量粉煤灰混凝土的拆模、养护应参照大体积混凝土施工规范进行，因为大掺量粉煤灰混凝土早期强度发展较慢，强调应加强拆模时间、早期混凝土的保温、保湿养护等措施管理，鼓励采用新型节水高分子树脂保湿养护膜进行工程环境 5℃ 以上时拆模后结构保湿养护，保证养护质量和效率。