

大掺量粉煤灰混凝土应用技术规程
Technical specification for the application of high volume fly ash
concrete

编制说明
(征求意见稿)

标准编制组
2024年7月

目录

一、 工作简况	2
(一) 任务来源	2
(二) 主要工作过程及工作分工情况	2
(三) 主要参加单位和工作组成员	4
二、 标准编制原则和主要内容	5
(一) 标准制定的原则	5
(二) 标准的主要内容(对照标准正文确认)	6
三、 主要试验(或验证)情况分析	15
四、 标准中如果涉及专利, 应有明确的知识产权说明	18
五、 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况	18
六、 采用国际标准和国外先进标准情况, 与国际、国外同类标准水平的对比情况, 国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况	22
七、 与现行相关法律、法规、规章及相关标准, 特别是强制性标准的协调性	23
八、 重大分歧意见的处理经过和依据	25
九、 标准性质的建议说明	25
十、 贯彻标准的要求和措施建议	26
十一、 废止现行相关标准的建议	27
十二、 其他应予说明的事项	27

一、工作简况

（一）任务来源

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定计划（第一批）的通知》（中制协字[2022]8 号）的要求，按照中国混凝土与水泥制品协会《协会标准工作管理规定》，中国混凝土与水泥制品协会组织成立了以北京建工新型建材有限责任公司作为主编单位的编制组，经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外技术标准和先进经验，在征求业内专家、研究机构和相关企业意见的基础上，制定团体标准《大掺量粉煤灰混凝土应用技术规程》，本项目计划号为 2022-24-xbjh。

（二）主要工作过程及工作分工情况

（1）2022 年 3 月 16 日~2022 年 4 月 8 日，项目编制组筹备及启动编制工作。

中国混凝土与水泥制品协会预拌混凝土分会在申请本标准前，已经对大掺量粉煤灰混凝土的行业状况和相关国内外标准文件进行了广泛调研和技术论证。2022 年 4 月 8 日，中国混凝土与水泥制品协会预拌混凝土分会在中国混凝土与水泥制品协会采用线上、线下结合的形式召开了团体标准《大掺量粉煤灰混凝土应用技术规程》编制组首次工作会议，来自各地科研院所、生产企业等负责起草与参编单位的领导和专家代表参加了会议，在本次会议上确定了本标准的工作计划、任务分工及编制注意事项。

工作分工情况：主编单位负责掌握工作总体进度，负责召开编制会议，形成会议纪要；具体承担编制组日常工作，负责收集编制组意见和试验数据，收集各类粉煤灰样品并安排进行材料试验和设计混凝土试验方案，实施试验计划；各参编单位参加编制会议，讨论试验结果及规程各项指标，根据会议精神进行各阶段试验结果的平行验证，各大学和研究机构根据试验仪器设备情况负责承担微观分析和部分耐久性试验验证，生产企业主要负责混凝土基本拌合物性能和力学性能验证。

(2) 2022年4月~2022年7月，按分工完成各部分的修订，形成初稿。

首次工作会后，标准编制组立即着手进行国内外技术查新和样品信息的征集工作，按照工作组讨论稿要求的试验项目和试验方法安排了试验验证，由北京建工新型建材有限责任公司旗下多个构件厂及混凝土分公司、中国矿业大学（北京）等单位进行了平行验证试验。在此基础上，标准编制工作组通过分析技术文献及试验数据结果，汇总标准条款编制内容和验证试验结果，经充分讨论，形成了《大掺量粉煤灰混凝土应用技术规程》团体标准初稿。

(3) 2022年7月~2024年6月，对初稿进行充分讨论和持续的试验验证，形成征求意见稿。

2022年11月3日，标准编制组在北京建工新型建材科技股份有

限公司采用线上、线下结合的形式召开了第二次工作会议。会议由中国混凝土与水泥制品协会预拌混凝土分会秘书长师海霞主持。清华大学覃维祖教授对粉煤灰的品质、掺量及粉煤灰混凝土的配合比设计等几个概念，从数据、应用实例等方面作出详细的解读；北京建工新材有限责任公司在前期对大掺量粉煤灰混凝土做了大量探索性试验，陈喜旺介绍采用两种不同的粉煤灰材料、四组试验的大掺量粉煤灰拌合物和混凝土性能等情况；田景松介绍了依托规程编制所做的大掺量粉煤灰混凝土研发课题成果，汇报了对新疆、内蒙古、天津、河北三河多家电厂粉煤灰的样品调查和试验情况以及在大体积承台和地下侧墙混凝土中的工程应用经验；中国矿业大学（北京）武逸群对粉煤灰微观分析和前期试验结果进行了汇报，随后介绍了《大掺量粉煤灰混凝土应用技术规程》的标准初稿，并根据现场专家提出的建议和意见进行修改。编制组对后续工作进行了讨论和安排。

第二次工作会议后，编制组相继召开了多次线上、线下的集中和分组讨论。会议针对最新的试验结果进行分析研讨，讨论了粉煤灰的分类和指标，研究了大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计方法，交流了温度匹配养护方法的技术优势和合理性等。

编制组根据会议意见对标准内容进行认真核查、改进和修正，形成征求意见稿，并计划公开广泛征询业内专家的建议和意见。

（三）主要参加单位和工作组人员

(1) 主编单位：

北京建工新型建材有限公司

(2) 参编单位：

清华大学、西安高科新达混凝土有限责任公司、青岛建邦绿色建筑工程科技有限公司、浙江交工金筑交通建设有限公司、湖南凝英新材料科技有限公司、同济大学、中国矿业大学（北京）、内蒙古科技大学

(3) 主要起草人员：

张登平、陈喜旺、田景松、覃维祖、周杰、李晨硕、张华献、李稼睿、师海霞、张祖华、王栋民、武逸群、刘泽、杭美艳、侯永利

二、标准编制原则和主要内容

(一) 标准制定的原则

本标准按照《工程建设标准编写规定》建标[2008]182号给出的规则起草，遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则。标准制定贯彻执行国家的政策、法规，与现行其他国家标准协调一致；技术指标制定先进可行、规范合理；标准制定突出产品特性，促进行业健康发展和产品推广。标准制定过程中参考了各生产企业标准，试验方法主要采用现行的国家标准和行业标准，以保证标准中技术指标的准确性、科学性与可比性，各项指标值在满足工程要求的前

提下根据各生产企业试样试验验证结果确定。

制定团体标准，应当遵循开放、透明、公平的原则，保证各参与主体获取相关信息，反映各参与主体的共同需求，并应当组织对标准相关事项进行调查分析、试验、论证。

国务院标准化行政主管部门会同国务院有关行政主管部门对团体标准的制定进行规范、引导和监督。

本标准的制定参考和引用了《建筑材料放射性核素限量》GB 6566、《水泥化学分析方法》GB/T 176、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》GB/T 39701、《通用硅酸盐水泥》GB 175、《建设用砂》GB/T 14684、《建设用卵石、碎石》GB/T 14685、《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、《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119、《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、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 等相关标准和技术规范。

（二）标准的主要内容（对照标准正文确认）

标准内容包括：1 总则；2 规范性引用文件；3 术语和定义；4 基本规定；5 粉煤灰的技术要求；6 大掺量粉煤灰混凝土的配合比；7 大掺量粉煤灰混凝土的制备与施工；8 大掺量粉煤灰混凝土的质量检测；附录 A 温度匹配养护试验。

针对主要条款进行如下说明：

1 总则

本规程的主要目的是在现有技术条件下大幅度降低混凝土中的水泥用量，充分实现低碳、环保，改善地球人居环境，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。本规程适用于粉煤灰占胶凝材料的质量百分比不低于 40% 的混凝土。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

本章给出了大掺量粉煤灰混凝土相关术语的定义。

2.0.1 粉煤灰

从电厂煤粉炉烟道气体中收集的粉末。其中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 类粉煤灰氧化钙含量一般大于 10%，是由褐煤或次烟煤燃烧收集的粉煤灰。

2.0.2 胶凝材料

混凝土中水泥与掺合料的总称。

2.0.3 粉煤灰掺量

粉煤灰占胶凝材料的质量百分比。

2.0.4 水胶比

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

因为粉煤灰与水泥的密度特性，同等质量的粉煤灰取代水泥，净浆体积会增大，同等混凝土颗粒空隙条件下达到相同流动性，用水量将大幅降低，同时因为粉煤灰的滚珠效应，也可以降低用水量。本规程中规定粉煤灰占胶凝材料的质量百分比大于 40%，用水量低于 155 kg/m³ 的混凝土为大掺量粉煤灰混凝土。

2.0.6 高性能大掺量粉煤灰混凝土

当粉煤灰占胶凝材料的质量百分比大于 50%，同时配合其他原材料品质改善和配合比参数优化，用水量会降低更多，本规程规定用水量低于 130kg/m³ 的混凝土为高性能大掺量粉煤混凝土。

3 基本规定

大掺量粉煤灰混凝土应具有满足工程要求的工作性和强度；同时应满足该混凝土具体应用环境下的耐久性要求。大掺量粉煤灰混凝土的坍落度应适当减小，因为泵送和振实较容易，同时过大的坍落度易引起粉煤灰上浮导致混凝土均匀性不良。

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。

当与其他掺合料同时掺用时，粉煤灰的合理掺量应通过试验确定。

大掺量粉煤灰可与各类外加剂同时用于配制混凝土，因为粉煤灰取代部分水泥后混凝土中水泥颗粒浓度降低，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，需要注意除非在气温特别高的应用

场合确实需要增加部分缓凝组分，应降低或去除外加剂中的缓凝组分。粉煤灰与外加剂的适应性应通过试验确定。

4 粉煤灰的技术要求

4.1 技术要求及检验方法

本规程对于粉煤灰做所述要求。其中关于粉煤灰细度，粉煤灰在混凝土中主要起到填充作用和物理减水作用，不再单纯追求活性；参照现行标准中 III 级粉煤灰以上规定细度不小于 45% 时，其他指标符合本规程表 5 规定的粉煤灰经大量工程实践证明都可以大掺量应用混凝土中，并且工程效果良好。因此本规程规定细度不大于 45%。

需水量比对于大掺量粉煤灰混凝土的用水量至关重要，现行标准中规定 30% 掺量进行需水量比试验，经试验验证当需水量比超过 100% 时减水效果明显减弱，在使用实践中可以根据实际掺量进行需水量比试验，对粉煤灰进行合理评判，本规程中沿用常用需水量比试验方法进行检测，同时结合实践，参考 I 级粉煤灰需水量比指标，确定粉煤灰需水量比不宜大于 100%。

根据工程经验，当含水量超过 1.0% 时，输送和储存会出现堵塞管道和板结等情况。

由于 C 类粉煤灰中含有较高的游离氧化钙，在混凝土中水化速度较快，存在放热过程，不利于混凝土控制温升裂缝，因此在大体积混凝土结构中应当限制游离氧化钙的含量，避免温升裂缝产生。

经过调研国内不同煤种粉煤灰，通常密度都在 $2.1\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，极少有超过 $2.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，综合考虑因此本规程规定密度不超

过 2.4g/cm³。

表 4.1.1 粉煤灰技术要求

细度（45μm 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

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》GB 6566 中建筑主体材料的有关规定执行。

粉煤灰中铵离子含量应不大于 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

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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，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

所用粉煤灰应满足本规程 5.1 的规定。水泥应选用强度等级为 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》GB 175 的规定。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。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、《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 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。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。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。

需要特别说明的是因为大掺量粉煤灰混凝土掺入粉煤灰较多，可以降低用水量，对于骨料的颗粒形貌和级配也提出了一定的要求，选择骨料时应当优先考虑选用符合高性能混凝土用骨料标准中 I 级乃至特级标准的骨料。

5.2 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计原则

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。

大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计宜按体积法计算。

大掺量粉煤灰混凝土在成型后受环境温度、湿度影响较大；试验验证表明相对未掺粉煤灰或者低掺量粉煤灰混凝土，大掺量粉煤灰混凝土受到温度影响强度变化明显；不同于标准养护状态 20℃，在 40℃ ~ 80℃ 时，大掺量粉煤灰混凝土强度增长率明显高于未掺粉煤灰或者低掺量粉煤灰混凝土。大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计中各龄

期强度验证特别是 7d 之前的早龄期强度发展建议应充分考虑温度的影响作用，推荐参考实际应用混凝土结构中温度发展规律采取温度匹配养护验证混凝土强度；关于温度匹配养护的介绍和操作方法见附录。大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计、参数选择和验收龄期应根据实际应用工程结构类型、施工季节和承载时间确定。

5.3 大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计

相较于普通混凝土，大掺量粉煤灰混凝土的配合比设计不可首先确定用水量。首先应选用合适的粗骨料并优化级配以充分降低体系空隙率，建议采用 5mm ~ 10mm 和 10mm 以上较大粒径石子搭配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）；细骨料填充在粗骨料骨架的空隙中，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。胶凝材料浆体进一步填充砂石空隙，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，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 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 。

最后用水量根据工作性所需浆体和外加剂用量确定。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流动性以保证混凝土拌合物良好的粘聚性。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 $130\text{kg}/\text{m}^3$ 。

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。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。低温时，粉煤灰混凝土因为低水泥用量，混凝土水化放热较少，强度发展较慢，易发生低温受冻情况；因此在低温环境条件（最低气温 $\leq 5^\circ\text{C}$ ）下浇筑施工时，应适当降低水胶比或者适当降低粉煤灰掺量、配合与矿渣粉等矿物掺合料复合配制混凝土，考虑掺用防冻剂，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 。

6 大掺量粉煤灰混凝土的制备与施工

6.1 大掺量粉煤灰混凝土的制备

大掺量粉煤灰混凝土拌合物应采用可以满足拌合物匀质性要求的强制式搅拌机搅拌，并应适当延长搅拌时间，不宜少于 30s ，具体应根据搅拌机类型，由现场试验确定以保证拌合物的匀质性。

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 $\pm 2\%$ 。

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、扒底以及非常黏稠的不良状态，在泵送过程也

不易出现堵泵等现象，为实现良好的施工质量提供了有利条件。

大掺量粉煤灰混凝土浇筑成型后，应进行保温、保湿养护和根据需要埋设测温装置，保湿养护应采用先覆盖透气织物如土工布，并及时喷雾保湿，控制喷水喷雾的温差满足要求，避免采取直接浇冷水的方式，推荐采取高分子节水保湿养护膜新技术进行保湿养护；保温养护持续时间和保温材料厚度应根据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。

7 大掺量粉煤灰混凝土的质量检测

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；必要时采取匹配温度养护强度进行评定验收。

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。

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。

三、主要试验（或验证）情况分析

为保证标准项目要求的合理性，编制工作组对大掺量粉煤灰混凝土进行了深入调研，结合生产企业进行了广泛的样品收集开展了验证试验。标准编制组本着实事求是、精益求精的精神，在原材料选取与处理、试样配制与试件制备、试验方法与处理条件等诸多方面加以论证、补充、细化、完善。

大掺量粉煤灰混凝土技术的发展是一个循序渐进的过程，在大掺

量粉煤灰混凝土的配合比设计理论研究和实践中，基于工程实践中遇到的热点和难点，编制组中各个参编单位开展了大量试验研究和工程实践。在编制规程的几年内甚至之前长时间积累中，技术创新和实践已经获得了长足的发展。首先大掺量粉煤灰混凝土的应用离不开优质的粉煤灰，选择的粉煤灰材料要求品质稳定，技术指标可以参照现行国家规范也可以在试验论证基础上获得突破，一切源于实践又归于实践。其次在配合比设计的理论研究和试验中要突破传统思维的误区，对于粉煤灰在混凝土中的作用机理有一个崭新的认识；对于标准养护状态和工程结构实际所处的温湿度条件进行辩证性清醒认识，打破专业藩篱，从材料科学延伸到结构施工实际中综合考虑评判大掺量粉煤灰混凝土的特性；采用大掺量粉煤灰降低单位用水量或同步降低胶凝材料用量等方法对配合比设计方案进行改进；结合在线温度传感器的检测手段，采用温度匹配养护方法对混凝土试件强度发展紧密贴近混凝土结构实际温度发展获得最接近同条件实体混凝土强度，从而更好指导混凝土配合比设计和粉煤灰掺量参数取值。

编制组调研了内蒙古、新疆、天津、河北、北京地区的粉煤灰质量情况，并进行试验分析，经过试验对比，各类粉煤灰掺量从 0-70% 增加，早期强度会逐渐降低。通过合理的配合比设计参数优化包括降低用水量来降低水胶比或者降低用水量同时也降低胶凝材料用量保证水胶比不变，采用多级配骨料降低骨料空隙率，优化减水剂中的缓凝成分等方法，可以使得大掺量粉煤灰混凝土早期强度满足最低限度混凝土施工需求或者对施工拆模时间进行合理调整适当延长等措施，

具备开展实际施工的条件，并率先在一些大体积工程中开展了实践性探索。从试验和实践的结论来看，大掺量粉煤灰混凝土在常温和高温季节可以大量使用，在低温季节可以考虑在保温条件较好的地下大体积混凝土结构中应用，也能获得良好的效果。编制组在北京地区冬季严寒季节曾开展大体积桥梁承台和地铁侧墙结构的大掺量粉煤灰混凝土施工，温升控制和强度发展获得了良好的表现；也在高温暑期季节，开展地铁侧墙结构的大体积混凝土施工，控温和保湿养护成为重点，温升控制和强度发展获得了良好的表现。

在低温季节，在北京某地铁明挖车站地下长墙结构中，配合掺入 10%的矿渣粉和 40%的粉煤灰配制的 C40 强度等级混凝土也获得了良好的低温环境下强度发展，满足施工需要，更重要的是较低的温升保证了拆模后裂缝几乎没有发生，粉煤灰在混凝土中降低温升的作用也获得了施工实践的验证，当然大掺量粉煤灰混凝土技术需要混凝土供应商、施工方和设计方都要紧密配合，互相沟通协调。有别于普通混凝土，需要在生产搅拌过程、施工振捣和最重要的养护环节进行措施改进，采取 3d 拆模和及时保湿保温养护对于低温混凝土是一项成功的经验总结，在结构中埋设温度传感器进行温度发展曲线的监测并同步采取保温措施以控制降温速率在 $2^{\circ}\text{C}/\text{d} \sim 3^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 也十分必要。

而高温季节掺用 50%粉煤灰混凝土的工程实践表明，大掺量粉煤灰混凝土对于早期（0d ~ 14d）养护比较敏感，28d 之后的后期强度发展超过高水泥用量混凝土的强度发展，耐久性方面除了优异的降低温升的作用，氯离子渗透性能与普通混凝土相比有低一个数量级的巨

大差别；通过合理引气剂的掺入提高混凝土含气量可以改善混凝土抗冻融性能。混凝土自收缩和干缩试验表明大掺量粉煤灰混凝土因为低胶凝材料高骨料用量的配合比特点，收缩性能明显改善。

大掺量粉煤灰混凝土技术的发展仍然依赖于施工各方的认识更新，同时也需要采取试验验证的方式进行论证和实践改进；在本规程中采取了相对宽松的规定，从粉煤灰原材料指标限制到混凝土配合比设计基本采取了一个开放的方式，最终以试验验证和工程实践效果为准，寄希望解决工程遇到的痛点、难点，推进工程技术的进步。

四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

本规程未涉及专利和相关知识产权。

五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况

（一）经济效益、社会效益、产业规模、推广应用、工程应用情况、预期达到的经济、社会效益；

当今世界是一个迫切要实现可持续发展的时代，混凝土行业面临的主要挑战是满足世界范围内快速工业化和城镇化所带来的巨大基础设施和住房需求。过去，混凝土行业很好地满足了这些需求，然而由于行业和技术不均衡发展，过度追求发展速度带来的弊端等各种原因，情况发生了很大变化。混凝土行业由于其巨大的规模，是天然骨料、水和水泥的最大消费者。混凝土产品的原料生产和供应消耗大量能源，产生较严重的污染水平。硅酸盐水泥是现代混凝土施工的首选胶凝材料，与此同时，人们也饱受其生产制造产生的高能耗与温室

气体排放的困扰。其次，由于规模庞大，混凝土行业无疑是经济且安全地处置固体废弃物和工业副产品例如粉煤灰的理想途径。粉煤灰由于其火山灰活性和体积效应，可以作为水泥替代品大量使用。大量工程案例表明，含有总胶凝材料质量 50%~60%粉煤灰的混凝土拌合物显示出较好工作性，后期强度和耐久性持续增强和改善。因此，从成本、经济、能源效率、耐久性和整体生态环境效益的角度来看，用粉煤灰这类工业副产品大规模替代混凝土中的水泥将具有极大的优势。水泥混凝土行业的未来将在很大程度上取决于我们将这些行业的增长与地球可持续发展联系起来的能力。

大掺量粉煤灰混凝土系统提供了一种整体的方法，可以帮助我们实现以下目标：满足未来对高性能混凝土的需求，显著提高混凝土的耐久性以及对燃煤电厂和高炉产生的大量固体废弃物进行资源化处理。

在经济效益方面，单体地下混凝土工程开裂导致的修补防渗漏的费用动辄几百万元，全国混凝土建筑结构修补裂缝防渗漏费用高达数十亿、上百亿元不等，甚至修补裂缝已经形成了完整的产业链并且拥有丰厚的利润；混凝土结构开裂后混凝土全生命周期大幅缩短，引发的有害介质对钢筋锈蚀和渗透破坏，对建筑使用功能和人民生命财产安全产生严重威胁。

（二）本标准指标的技术先进性以及本标准的发布对行业及社会发展的促进作用，即与“宜业尚品造福人类”的相关性。

在中国及其他发展中国家，迫切需要大量的粉煤灰胶凝材料来建

造可持续的混凝土建筑和基础设施。中国拥有丰富的煤炭资源，用于热力发电和供热产生了大量的粉煤灰。粉煤灰在混凝土中的性能表现是受燃烧的煤种、粉煤灰收尘冷却方式和颗粒尺寸决定的。现代的燃煤火力发电厂通常会产出质量稳定的优质粉煤灰，其特点是低碳含量和高玻璃体含量，且75%以上的颗粒细于45 μm。对于高含碳量的粉煤灰，可采用一些选矿技术以改善其对水泥和混凝土行业的适用性。

大掺量粉煤灰混凝土的长龄期抗压和抗折强度高于普通硅酸盐水泥混凝土；但在过去的工程经验认识里，高掺量的粉煤灰特别是在寒冷的条件下和使用反应性较差的粉煤灰时往往导致早期的凝结和硬化速度较慢。这也曾是混凝土建筑行业强烈抵制在混凝土中大比例掺加粉煤灰的原因。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，而且粉煤灰活性低、不宜用于早期强度有要求的结构部位。其次是粉煤灰在国内使用之初的五十年代，产生粉煤灰的煤粉粉磨较粗、燃烧温度较低，存在大量未完全燃烧的颗粒；而当时水泥颗粒较粗、活性偏低，早强强度发展相对缓慢，没有再使用粉煤灰的迫切需要。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，采用收尘方式普遍是电收尘，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。更重要的是由于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。即使是中型结构件（即最小截面尺寸 600mm 厚的结构）也需要控制温升裂缝。现代混凝土中水泥粉磨较细、早期强度发展快、活性过高，满足现代施工速度同时带来了发展过快的弊端，开裂情况严重，产生了需要降低水化温升的迫切现实需要。

大掺量 50%~60%粉煤灰的混凝土在相对较早的龄期依然能有较好的工作性。关于早期强度的评价，采用本规程推荐的温度匹配养护方式可以结合工程结构温度变化获得不同于标准养护条件的真正同条件混凝土强度；大量温度匹配试验和实践表明，大掺量粉煤灰混凝土在匹配的结构温度条件下也能获得良好的早期强度性能，适用的关键是选择适宜的混凝土结构，确定结构最小截面尺寸不宜小于 600mm，以利于混凝土水化放热速率大于表面散热速率，形成足够的温度促进水化反应。使用这种新技术可以在制备混凝土时大大提高粉煤灰的掺量，既能保证混凝土适宜的早期的强度发展需求，又能满足降低温升裂缝的长期功能要求。因此大掺量粉煤灰混凝土早期的低弹性模量和高徐变是一个优势，而非劣势。

关于大掺量粉煤灰混凝土的耐久性，有一个常见的认识误区，即含有粉煤灰的钢筋混凝土在腐蚀性环境条件下的耐久性较差。基于大掺量粉煤灰混凝土整体设计方法，依托工程实践得到的大量评价数据表明，用超过 40%掺量粉煤灰掺入混凝土和良好的混凝土施工方法，对混凝土耐久性才是有利的。大掺量粉煤灰混凝土因为大幅降低混凝

土用水量，降低了浆骨比，经良好的养护后具有非常低的渗透性，同时因为降低了水化温升导致的温度裂缝，外部有害介质无法沿常见的混凝土裂缝渠道渗透进入结构内部，能够有效抑制碳化反应和钢筋锈蚀而导致的进一步破坏。

大掺量粉煤灰混凝土的应用，即充分利用固体废弃物又有效解决当今混凝土行业裂缝防治的顽疾，其产业的发展符合新时代建筑结构安全发展的要求，符合广大人民追求“好房子、好建筑”的迫切愿望；大掺量粉煤灰混凝土建材产品突破传统思维限制，通过新技术迭代同步，极大地适应混凝土行业抗裂防渗漏的市场需求；大掺量粉煤灰混凝土，在“宜业尚品”的基础上，通过发明、创造、创新，为人类提供更新、更好、更适用、更健康、更安全的建材产品，为科技进步做出开创性的贡献，从而为早日实现“双碳目标”，为建材行业高质量发展做出应有的贡献。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

在大多数国家，混凝土施工规范和混合硅酸盐水泥的规格都是“规定性的”，即规定了混合硅酸盐水泥中混合组分材料的最大允许限度。例如，美国材料试验学会 C595-混合水泥标准规范（ASTM C595 —Standard Specification for Blended Hydraulic Cements）将水泥中的火山灰材料比例限制在 40%。GB/T 50146《粉煤灰混凝土应用技术规程》中，对混凝土中用粉煤灰的技术要求和检验方法做了严格细

致的要求和划分，且限定了不同混凝土种类中粉煤灰混凝土的最大掺量。其他国家例如印度，也将粉煤灰或类似的火山灰材料的最大掺量限制在复合水泥的 35%。

在高效减水剂或超塑化剂出现后，配合粉煤灰的填充效应和体积效应和多级配骨料技术，大掺量粉煤灰混凝土能够显著降低用水量，降低水胶比改善混凝土强度发展，显著降低温升过高导致的严重开裂，大幅提升混凝土结构的耐久性，有效扭转现代混凝土结构因高早强、高水化温升带来的大量开裂的不利局面，因此依据现有规范或者片面认识来限制混凝土中粉煤灰用量已没有意义，必须做出现实地改变。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本规程为推荐性应用技术规程，大掺量粉煤灰混凝土的应用除满足本规程推荐性要求外，还必须满足现行国家规范特别是强制性标准规定的要求。本规程对粉煤灰的材料性能指标进行合理限定，粉煤灰细度参照三级灰细度最大不大于 45%，并经试验论证；在混凝土中粉煤灰掺量上作出了重大突破，规定大掺量粉煤灰混凝土最小掺量是 40%，同时规定了用水量的指标，在使用功能上未做任何降低性要求。

目前我国相关标准及规定中对混凝土中粉煤灰掺量的允许范围：

(1) 《地下防水工程质量验收规范》GB 50208-2011 中第 4.1.7 条第 2 款规定粉煤灰掺量宜为胶凝材料总量的 20%~30%。

(2) 《大体积混凝土施工标准》GB 50406-2018 中第 4.3.1 规定粉煤灰掺量不宜大于胶凝材料用量的 50%。

(3) 《超高粉煤灰掺量水工混凝土应用技术规范》DB52/T 1247—2017 中 5.2.1 规定使用普通硅酸盐水泥的混凝土重力坝常态混凝土掺量 50%~65%，拱坝常态混凝土 35%~50%，重力坝碾压混凝土 65%~75%，拱坝碾压混凝土 60%~70%。

(4)《水运工程混凝土施工规范》JTS 202-2011 中第 5.2.2 条规定，高性能混凝土的粉煤灰掺量为 25%~40%。

(5)《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTJ 275-2000 中第 5.1.5.5 款规定：对于普通混凝土

①用硅酸盐水泥拌制的混凝土不大于 25%；用普通硅酸盐水泥拌制的混凝土不大于 20%；

③用矿渣硅酸盐水泥拌制的混凝土不大于 10%；

④经试验论证，最大掺量可不受以上限制。

处于浪溅区的海工高性能混凝土第 6.2.2 规定粉煤灰掺量在 30%~50%。

(6) 《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/TF 30-2014 中第 4.2.12 条规定：“粉煤灰最大掺量，I 型硅酸盐水泥不宜大于 30%；D 型硅酸盐水泥不宜大于 25%；道路硅酸盐水泥不宜大于 20%。粉煤灰总掺量应通过试验最终确定。”

(7) 《公路工程结构耐久性设计规范》JTG/T 3310-2019 中第 5.3.4 规定水胶比小于 0.40 时，氯化物环境和化学腐蚀环境粉煤灰掺量范围 30%~50%。

(8) 铁道部《客运专线高性能混凝土暂行技术条件》科技基

(2005) 101 号规定：“不同矿物掺合料的掺量应根据混凝土的性能通过试验确定。混凝土中粉煤灰掺量大于 30%时，混凝土的水胶比不得大于 0.45。预应力混凝土及处于冻融环境的混凝土中粉煤灰的掺量不宜大于 30%”。

(9) TB/T 327-2018《铁路混凝土》中第 7.2.3 规定氯盐环境和化学侵蚀环境粉煤灰掺量为 30%~50%。

综上所述，铁路混凝土、水利工程混凝土和海工混凝土在不同环境中对于粉煤灰掺量都做出比普通混凝土结构更宽松的限制，在铁路工程氯盐环境和化学侵蚀环境规定 30%~50%；处于浪溅区的海工高性能混凝土规定粉煤灰掺量在 30%~50%；贵州地方标准水工混凝土重力坝常态混凝土 55%~70%，拱坝常态混凝土 40%~55%，碾压混凝土掺量更高。大体积混凝土施工技术标准中对于粉煤灰最大掺量规定为 50%。使用普通硅酸盐水泥的普通混凝土结构一般规定粉煤灰掺量为 20%~40%，本规程为区别于普通混凝土掺量限制，特规定了最小掺量为 40%的大掺量粉煤灰混凝土定义，以示区别。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

在标准的编制过程中，广泛征求了行业相关单位和业内专家的意见和建议，主要针对标准规定中各项技术指标的要求范围做了深入研讨，各家单位和行业专家结合自身的工作经验和试验验证提出了作为数据支撑的有力依据，最终对标准要求达成一致。

编制过程中对标准的主要内容并未产生重大意见分歧。

九、标准性质的建议说明

考虑到与现行规范的协调一致性，为了保持一定的技术先进性和解决地下结构抗裂防渗漏工程、水池构筑物特别是长墙结构的开裂问题，降低混凝土温升带来的开裂风险，建议《大掺量粉煤灰在混凝土中应用技术规程》作为推荐性工程建设类协会标准发布实施，供工程参建方根据设计要求和工程特点选择执行。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议在本标准正式出台后，各生产厂家、科研单位、检测机构以及地方管理部门能够依据本标准中的相关规定对大掺量粉煤灰混凝土进行统一的评价和管理。

具体实施措施建议如下：

(1) 加大标准宣传力度，提高认知度，建立信息公共平台，将有参考价值的案例、好的做法和经验等在行业内部公开发布，引起有关部门领导和相关企业单位的重视，使相关单位能够积极主动地购买标准和资料、参加培训、结合本单位实际情况学习研究标准并准备贯彻实施标准。

(2) 标准归口单位进行贯标指导，组织标准宣贯培训班，由标准制定人员主讲。设立专门的答疑或咨询部门或网站，为贯标企业排忧解难，组织有关人员积极参加行业协会组织的各项活动，培训班等。及时了解标准制修订信息。

(3) 鼓励行业相关企业成立标准贯彻实施小组，组员由标准化技术人员、产品主管设计人员、工艺主管设计人员、检验人员、车间技术人员等工作人员组成，进行明确的分工合作，适时组织标准宣贯

会，使有关人员拥有标准、了解标准、熟悉标准，执行标准。产品主管设计人员、工艺主管设计人员、检验人员、车间技术人员、操作人员均须按照细则要求进行相应工作。

(4) 标准化技术人员全面负责贯标实施工作，跟踪服务对贯标中出现的的技术问题进行协调处理做好贯标记录，并进行长期监督检查工作。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无。