

山东省工程建设标准



DB37/T 5150—2019

J 14945 — 2019

高性能混凝土应用技术规程

Technical specification for application of
high performance concrete

2019 - 12 - 09 发布

2020 - 02 - 01 实施



统一书号: 155160 · 1994
定 价: 30.00 元

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

山东省工程建设标准

高性能混凝土应用技术规程

Technical specification for application of
high performance concrete

DB37/T 5150 — 2019

住房和城乡建设部备案号：J 14945 — 2019

主编单位：山东省建筑科学研究院有限公司

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

实施日期：2020 年 2 月 1 日

中国建材工业出版社

2020 北 京

山东省工程建设标准
高性能混凝土应用技术规程
Technical specification for application of
high performance concrete
DB37/T 5150 — 2019

*

中国建材工业出版社出版(北京市海淀区三里河路1号)
北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

*

开本: 850mm × 1168mm 1/32 印张: 2.125 字数: 50千字
2020年5月第一版 2020年5月第一次印刷

印数: 1~500册

定价: **30.00**元

统一书号: 155160 · 1994

版权所有 翻印必究

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

鲁建标字〔2019〕29号

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局
关于发布山东省工程建设标准
《高性能混凝土应用技术规程》的通知

各市住房城乡建设局、市场监管局，各有关单位：

由山东省建筑科学研究院有限公司主编的《高性能混凝土应用技术规程》，业经审定通过，批准为山东省工程建设标准，编号为 DB37/T 5150-2019，现予以发布，自 2020 年 2 月 1 日起施行。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东省建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局
2019 年 12 月 9 日

前 言

据山东省住房和城乡建设厅《关于 2016 年山东省工程建设标准制订、修订计划项目（第二批）的公示》的要求，规程编制组在广泛调查研究，立足山东省实际，认真总结实践经验，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 材料要求；5. 配合比设计与优化；6. 生产与施工技术措施；7. 检验、评价与验收。

请各单位在执行本规程过程中，注意总结经验、积累资料，随时将有关的意见和建议反馈给山东省建筑科学研究院有限公司（地址：济南市天桥区无影山路 29 号，邮编：250031，E-mail: fangshuishi@163.com），以供今后修订时参考。

主 编 单 位：山东省建筑科学研究院有限公司

参 编 单 位：济南市工程质量与安全中心

济南东铁轨道交通建材有限公司

济南泉景建设工程检测有限公司

山东平安建设集团有限公司

山东聚力混凝土有限公司

青岛汇鑫混凝土有限公司

青岛汇聚德工贸有限公司

主要起草人员：王 伟 周庆刚 李宗才 沈文忠 边 琦
王 拓 王 宇 方 伟 孙立光 徐志平
徐国辉 殷鹏飞 马振明 张 坤

主要审查人员：张 鑫 王 琦 侯和涛 嵇 飙 李当生
高传印 林定权 邢庆毅 谢慧东 许 庚
刘巧玲 朱子聪

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	材料要求	6
4.1	水泥	6
4.2	矿物掺合料	7
4.3	骨料	8
4.4	外加剂	9
4.5	拌合用水	10
4.6	纤维	11
5	配合比设计与优化	12
5.1	一般规定	12
5.2	配合比设计	13
5.3	配合比试配与优化	15
6	生产与施工技术措施	18
6.1	生产设备设施及绿色生产要求	18
6.2	原材料进场与贮存	18
6.3	计量	19
6.4	搅拌	19
6.5	运输	20
6.6	浇筑	21
6.7	养护	22
6.8	特制品高性能混凝土的生产施工	23
7	检验、评价与验收	24
7.1	检验	24

7.2 评价与验收	26
本规程用词说明	28
引用标准名录	29
附：条文说明	31

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	3
4	Material Requirements	6
4.1	Cement	6
4.2	Mineral admixture	7
4.3	Aggregate	8
4.4	Chemical admixture	9
4.5	Mixing water	10
4.6	Fiber	11
5	Mix Design and Optimization	12
5.1	General provisions	12
5.2	Mix design	13
5.3	Mixing ratio matching and optimization	15
6	Production and Construction Technical Measures	18
6.1	Production equipment and facilities requirements	18
6.2	Entry and storage of raw materials	18
6.3	Measurement	19
6.4	Stirring	19
6.5	Transport	20
6.6	Pouring	21
6.7	Curing	22
6.8	Production and construction technical measures of special HPC ...	23
7	Inspection, Assessment and Acceptance	24
7.1	Inspection	24

7.2 Assessment and acceptance	26
Explanation of Wording in this Regulation	28
List of Quoted Standards	29
Addition; Explanation of Provisions	31

1 总 则

1.0.1 为促进山东省高性能混凝土在工程中的应用，规范高性能混凝土的生产、配合比设计、施工和验收，保证建筑工程质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑工程混凝土结构中高性能混凝土的原材料控制、配合比设计、性能控制、生产与施工技术、检验与验收；不适用于聚合物混凝土、沥青混凝土、水工大体积混凝土和有特殊要求的混凝土结构。

1.0.3 本规程规定的高性能混凝土应用技术，除应符合本规程要求外，尚应符合国家、行业和山东省现行标准的相关规定。

2 术 语

2.0.1 高性能混凝土 high performance concrete

以建设工程设计、施工和使用对混凝土性能特定要求为总体目标，选用优质常规原材料，合理掺加外加剂和矿物掺合料，采用较低水胶比并优化配合比，通过预拌和绿色生产方式以及严格的施工措施，制成的具有优异拌合物性能、力学性能、耐久性能和长期性能的混凝土。

2.0.2 特制品高性能混凝土 specialty high performance concrete

符合高性能混凝土技术要求的高强混凝土、自密实混凝土、纤维混凝土、轻骨料混凝土。

2.0.3 常规品高性能混凝土 conventional high performance concrete

除特制品高性能混凝土之外符合高性能混凝土技术要求并常规使用的混凝土。

2.0.4 再生水 recycled water

混凝土生产过程中清洗混凝土搅拌设备、运输设备及地面后，收集的经分级沉淀后的水，以及由压滤机处理废浆所压滤出的水。

3 基本规定

3.1 高性能混凝土的分类和标记

3.1.1 高性能混凝土分为常规品高性能混凝土和特制品高性能混凝土。

3.1.2 高性能混凝土标记代号应为 HPC，标记时，代号 HPC 应排在最前，其他标记部分应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定。

3.2 高性能混凝土拌合物性能要求

3.2.1 高性能混凝土拌合物的坍落度偏差、扩展度偏差、坍落度经时损失、拌合物中水溶性氯离子最大含量应满足现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的要求。

3.2.2 冻融环境下，引气高性能混凝土的含气量和气泡间隔系数应满足现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的要求，但含气量不宜大于 7%；对于无抗冻要求的一般环境条件，掺用引气剂或引气型外加剂高性能混凝土拌合物的含气量宜符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的要求。

3.2.3 高性能混凝土凝结时间应满足施工工艺的要求。

3.2.4 特制品高性能混凝土的拌合物性能应满足相应应用技术规程的要求。

3.3 高性能混凝土力学性能要求

3.3.1 高性能混凝土应具有设计要求的强度等级，在设计使用年限内必须满足结构承载和正常使用功能要求。

3.3.2 高性能混凝土的强度等级按照以下等级划分：

1 常规品高性能混凝土的强度等级按照立方体抗压强度标准值划分为 C30、C35、C40、C45、C50、C55。

2 自密实高性能混凝土、合成纤维高性能混凝土的强度等级划分与常规品相同。

3 高强高性能混凝土的强度等级按照立方体抗压强度标准值划分为 C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95、C100。

4 钢纤维高性能混凝土的强度等级按照立方体抗压强度标准值划分为 CF35、CF40、CF45、CF50、CF55、CF60、CF65、CF70、CF75、CF80。

5 轻骨料高性能混凝土的强度等级按照立方体抗压强度标准值划分为 LC25、LC30、LC35、LC40、LC45、LC50、LC55、LC60。LC25 轻骨料高性能混凝土的密度等级不宜大于 1400，其他强度等级轻骨料高性能混凝土的密度等级应控制在 1400 ~ 1900 范围内。

3.3.3 高性能混凝土的轴心抗压强度、静力受压弹性模量、抗折强度、抗拉强度、抗剪强度等其他力学性能应符合工程设计要求。

3.4 高性能混凝土的耐久性能和长期性能要求

3.4.1 高性能混凝土的耐久性能应根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别及作用等级进行确定。高性能混凝土的环境类别和作用等级按照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 划分。当混凝土结构构件受到多种环境类别共同作用时，混凝土应分别满足每种环境类别单独作用下的耐久性能要求。混凝土结构的设计使用年限应按照建筑物的合理使用年限确定。

3.4.2 高性能混凝土的耐久性等级，可依据现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193，对高性能混凝土的抗冻性能、抗水渗透性能、抗硫酸盐侵蚀性能、抗氯离子渗透性能、抗碳化性能和早期抗裂性能进行划分。

3.4.3 高性能混凝土的耐久性能和长期性能，应将工程设计文件规定的耐久性能指标和长期性能指标作为控制目标。工程设计文件未提出混凝土耐久性能设计指标时，须结合工程具体情况，以环境分类、结构构件部位及相应的耐久性能要求作为控制目标。除上述混凝土耐久性能控制项目外，如果工程设计文件还规定了混凝土长期性能指标作为控制目标，也应将其作为控制目标。

3.4.4 混凝土中碱含量宜小于 3.0kg/m^3 。

3.4.5 高性能混凝土宜采用非碱活性骨料。当采用的骨料快速砂浆棒法的测定结果高于 0.10% 时，应按照现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 采取措施并验证有效。

3.5 高性能混凝土结构设计

3.5.1 高性能混凝土结构设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 以及现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定。

3.5.2 轻骨料高性能混凝土结构设计应符合现行行业标准《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ 12 的规定。

3.5.3 纤维高性能混凝土的结构设计应符合现行协会标准《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 的规定。

4 材料要求

4.1 水 泥

4.1.1 高性能混凝土采用的水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的要求，不宜使用早强水泥。水泥品种与强度等级的选用应根据设计、施工要求以及工程所处环境确定，对于一般建筑结构或预制构件的常规品高性能混凝土，宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

4.1.2 应采用强度等级不低于 42.5 级的通用硅酸盐水泥，且其 28d 胶砂抗压强度不宜低于 48MPa。硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的比表面积不宜大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 。

4.1.3 宜使用均匀性和稳定性较好的水泥，其 28d 抗压强度均匀性标准偏差宜不大于 1.2MPa。

4.1.4 水泥实际使用温度不宜大于 60℃。

4.1.5 高性能混凝土采用的水泥，尚应满足下列规定：

1 高强混凝土和有抗冻要求的混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

2 有预防混凝土碱-骨料反应要求的混凝土工程宜采用碱含量低于 0.6% 的水泥。

3 大体积混凝土宜采用中、低热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥，也可使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥同时复合使用大掺量的矿物掺合料。

4 有抗硫酸盐侵蚀要求的混凝土，水泥中的铝酸三钙含量宜低于 8%，并应同时复合使用优质的矿物掺合料；当环境作用等级为严重及以上等级时，水泥中的铝酸三钙含量应低于 5%。

4.2 矿物掺合料

4.2.1 配制高性能混凝土的矿物掺合料，应符合相关国家或行业标准的要求；可采用两种或两种以上的矿物掺合料按一定比例混合使用。

4.2.2 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 中 F 类 I 级或Ⅱ级粉煤灰的有关规定，磨细粉煤灰符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 的规定。粉煤灰宜与矿渣粉等其他掺合料复合使用。

4.2.3 粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《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，其 28d 活性指数宜大于 95%。配制高强高性能混凝土时，粒化高炉矿渣粉的性能应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 的要求。

4.2.4 硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定。使用时宜选择比表面积大、二氧化硅含量高的硅灰，其二氧化硅含量宜大于 90%。

4.2.5 石灰石粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164 的有关规定，其碳酸钙含量宜不低于 80%，活性指数不低于 65%。掺用石灰石粉时，其掺量不宜大于 20%。

4.2.6 天然火山灰应符合现行行业标准《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》JG/T 315，其流动度比宜不小于 90%。

4.2.7 其他矿物掺合料应符合相关现行国家标准的规定并满足混凝土性能要求。

4.2.8 在高性能混凝土中使用复合掺合料，其性能应按照现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 规定的项目检验，性能指标符合表 4.2.8 的要求。使用前应进行复合掺合料与外加剂的相容性试验，并宜与硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥复合使用，当使用其他种类水泥时应适当降低复合掺合料的掺量。

表 4.2.8 高性能混凝土用复合掺合料的技术要求

项目		技术指标
比表面积 (m^2/kg)		≥ 400
细度 (0.045mm 方孔筛筛余) (%)		≤ 10
活性指数 (%)	7d	≥ 70
	28d	≥ 90
流动度比 (%)		≥ 100
含水量 (%)		≤ 1.0
三氧化硫含量 (%)		≤ 3.0
氯离子含量 (%)		≤ 0.02
安定性		合格
放射性		合格

4.2.9 矿物掺合料的放射性应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的有关规定。

4.3 骨 料

4.3.1 高性能混凝土用砂应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 中Ⅱ类砂或现行国家标准《铁尾矿砂》GB/T 31288 的规定，且应满足以下要求：

1 应选择质地坚硬、级配良好的中、粗河砂或人工砂，不得使用海砂；

2 砂的吸水率应低于 2%，抗冻混凝土用砂的吸水率应低于 1%；

3 对于高强混凝土，砂含泥量应不大于 2.0%，泥块含量应不大于 0.5%；

4 采用聚羧酸系高性能减水剂配制高性能混凝土时，砂的 MB 值不宜大于 2.0g/kg；

5 人工砂、尾矿砂宜与河砂混合掺用；当天然砂、人工砂或尾矿砂混合使用时，混合后的砂的性能应满足现行国家标准

《建设用砂》GB/T 14684 中Ⅱ类人工砂性能指标的要求。

4.3.2 高性能混凝土应采用碎石，其性能应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 中Ⅱ类碎石的规定，且应满足以下要求：

1 碎石应采用连续级配，其松散堆积空隙率应不大于 45%，吸水率应低于 2%；抗冻混凝土用碎石吸水率应低于 1%；

2 对于自密实高性能混凝土，碎石粒径不宜大于 20mm；

3 对于大体积混凝土，碎石最大公称粒径宜不小于 31.5mm；

4 配制 C60 以上强度等级高性能混凝土碎石，其压碎值宜小于 8%，最大粒径不宜大于 25mm，且宜采用 5mm ~ 20mm 或 5mm ~ 25mm 连续粒级。

5 碎石中针片状颗粒含量应小于 8%，且不得混入风化颗粒。

4.3.3 轻骨料高性能混凝土所用陶粒和陶砂应符合现行国家标准《轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料》GB/T 17431.1 中一等品的规定，陶砂的密度等级应在 500 ~ 1000 范围内，陶粒的密度等级应大于 500。

4.3.4 骨料的放射性按现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定执行。

4.4 外 加 剂

4.4.1 高性能混凝土中采用的外加剂，应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土膨胀剂》GB/T 23439、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 以及现行行业标准《聚羧酸系高性能减水剂》JG/T 223、《砂浆、混凝土防水剂》JC/T 474、《混凝土防冻剂》JC/T 475、《混凝土防冻泵送剂》JG/T 377 的规定，防冻剂应为无氯盐防冻剂。

4.4.2 外加剂使用前应考虑外加剂与胶凝材料的相容性，其掺量应根据外加剂的推荐掺量、环境温度、施工要求、运输距离、

停放时间等经试验确定。

4.4.3 需要将不同品种的外加剂共同使用时，应先经试验确定两种外加剂无相容性问题后再行使用。

4.4.4 高性能混凝土使用高效减水剂时，其收缩率比不宜大于125%。

4.4.5 高性能混凝土使用聚羧酸系高性能减水剂时，应注意高性能减水剂与骨料的适应性问题；减缩型高性能减水剂的收缩率比应不大于90%，普通型高性能减水剂的收缩率比应不大于110%；不得与萘系、氨基磺酸盐和三聚氰胺系高效减水剂混合使用；与其他品种外加剂同时使用时，宜分别掺加。

4.4.6 高性能混凝土宜掺入引气剂，其掺量应根据试验确定，并宜在使用前稀释，以降低计量误差；用于改善新拌混凝土的工作性时，新拌混凝土的含气量宜控制在3%~5%；有抗冻融要求的混凝土，其含气量应满足现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476的要求。

4.4.7 配制用于连续施工的超长结构、自防水结构、填充结构使用的高性能混凝土时，宜掺入膨胀剂；用于高性能混凝土的膨胀剂应满足现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 II型产品的要求；长期处于80℃以上环境的钢筋混凝土结构用混凝土，不得使用膨胀剂；使用膨胀剂的混凝土结构，应加强早期湿养护工作。

4.5 拌 合 用 水

4.5.1 高性能混凝土的拌合用水，应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

4.5.2 生产再生水不应单独用作高性能混凝土拌合用水，但可按一定比例掺用在正常用水中，其用量应经试验确定，但不宜超过15%。

4.6 纤维

4.6.1 高性能混凝土用钢纤维应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定；合成纤维应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定；玄武岩纤维应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用短切玄武岩纤维》GB/T 23265 的规定。

4.6.2 高性能混凝土需要掺入钢纤维时宜采用异型钢纤维品种，生产时宜配备纤维专用的计量和投料设备；为抑制混凝土塑性裂缝而在混凝土中掺入纤维时，宜选用聚丙烯纤维；需要掺入合成纤维时优先选用膜裂纤维；纤维混凝土的应用还应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的有关规定。

4.6.3 为保证纤维均匀分布在混凝土中，宜先将纤维和粗细骨料投入搅拌机中干拌，将纤维打散，然后加入水泥、矿物掺合料、水、外加剂搅拌，其搅拌时间应较普通混凝土适当延长。

5 配合比设计与优化

5.1 一般规定

5.1.1 高性能混凝土的配合比设计应根据混凝土结构工程的要求，对混凝土的工作性能，以及结构混凝土的力学性能和耐久性进行设计。

5.1.2 耐久性设计应针对混凝土结构所处外部环境中劣化因素的作用，保证结构在设计使用年限内不超过容许劣化状态。

5.1.3 高性能混凝土配合比设计应通过计算将试配工作压缩到一个较小的合理范围，减少试验量；通过试配、调整确定拌合物性能、力学性能和耐久性能等，使高性能混凝土性能满足工程设计和施工的要求，同时在技术和经济方面将配合比优化到最佳。

5.1.4 常规品高性能混凝土强度等级不低于 C30，水胶比不大于 0.45，胶凝材料用量不大于 $550\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.1.5 高强高性能混凝土的强度等级不低于 C60、C60、C65。高强高性能混凝土的胶凝材料用量不宜大于 $560\text{kg}/\text{m}^3$ ，C70、C75、C80 高强高性能混凝土的胶凝材料用量不宜大于 $580\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.1.6 自密实高性能混凝土的强度等级不低于 C30，水胶比不大于 0.45，自密实性能应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的规定，胶凝材料用量应不大于 $600\text{kg}/\text{m}^3$ ，扩展度控制目标值应不小于 550mm。

5.1.7 轻骨料混凝土的强度等级不低于 LC25，净水胶比不宜大于 0.48；泵送轻骨料高性能混凝土的胶凝材料用量不宜小于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料总量应不大于 $550\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.1.8 钢纤维高性能混凝土的强度等级不低于 CF35，胶凝材料用量宜不小于 $360\text{kg}/\text{m}^3$ ；合成纤维高性能混凝土胶凝材料用量宜不小于 $340\text{kg}/\text{m}^3$ 。预制制品用高性能混凝土的强度等级不低于 C40，水胶比不大于 0.45。

5.1.9 高性能混凝土的拌合物应具有良好的工作性和匀质性，无分层、离析和泌水现象。

5.1.10 高性能混凝土配合比的混凝土试配宜包括进行早期抗裂试验，其单位面积上的总开裂面积不宜大于 $700\text{mm}^2/\text{m}^2$ ，180d 干燥收缩率不宜超过 0.045%；抗裂试验和干燥收缩试验应按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 进行。

5.2 配合比设计

5.2.1 常规品高性能及高强高性能混凝土的配合比计算应按照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55，并应符合表 5.2.1 的要求。

表 5.2.1 一般环境高性能混凝土的要求

环境作用等级 控制项目	50 年	100 年	
	I - C	I - B	I - C
强度等级	$\geq \text{C30}$	$\geq \text{C35}$	$\geq \text{C40}$
水胶比	≤ 0.45	≤ 0.42	≤ 0.40
28d 碳化深度 (mm)	≤ 15	≤ 10	≤ 5
抗渗等级	$\geq \text{P12}$	$\geq \text{P12}$	$\geq \text{P12}$

5.2.2 冻融环境下，高性能混凝土中复合矿物掺合料最大掺量应比一般环境下的高性能混凝土降低 5%，其含气量应符合本规程 3.2 的要求，且气泡间距系数应小于 $300\mu\text{m}$ ；其他参数和性能应符合表 5.2.2 的要求。

表 5.2.2 冻融环境高性能混凝土的要求

环境作用等级 控制项目	50 年			100 年		
	II -C	II -D	II -E	II -C	II -D	II -E
强度等级	$\geq C_a30$	$\geq C_a35$	$\geq C_a40$	$\geq C_a35$	$\geq C_a40$	$\geq C_a45$
水胶比	≤ 0.45	≤ 0.42	≤ 0.38	≤ 0.42	≤ 0.38	≤ 0.35
胶凝材料用量 (kg/m^3)	≥ 350	≥ 380	≥ 400	≥ 380	≥ 400	≥ 420
抗冻耐久性指数 (%)	≥ 65	≥ 80	≥ 80	≥ 70	≥ 85	≥ 85

5.2.3 氯化物环境高性能混凝土宜合理选用矿渣粉、硅灰等能提高混凝土密实度，降低混凝土氯离子扩散系数和电通量的掺合料，且其掺量不低于 35%；当氯化物环境与冻融环境同时作用时，应采用引气混凝土。其配合比及性能应满足表 5.2.3 的要求。

表 5.2.3 氯化物环境高性能混凝土的要求

环境作用等级 控制项目	50 年				100 年			
	III -C IV -C	III -D IV -D	III -E IV -E	III -F	III -C IV -C	III -D IV -D	III -E IV -E	III -F
强度等级	$\geq C40$	$\geq C45$	$\geq C50$	$\geq C50$	$\geq C45$	$\geq C50$	$\geq C50$	$\geq C50$
水胶比	≤ 0.42	≤ 0.40	≤ 0.36	≤ 0.34	≤ 0.40	≤ 0.36	≤ 0.34	≤ 0.32
84d 氯离子迁移系数 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	< 3.0	< 2.5	< 2.0	< 1.5	< 2.5	< 2.0	< 1.5	< 1.2
矿物掺合料掺量 (%)	≥ 35				≥ 40			

5.2.4 化学腐蚀环境高性能混凝土配合比应满足表 5.2.4 的要求。

表 5.2.4 化学腐蚀环境高性能混凝土的要求

环境作用等级 控制项目	50 年			100 年		
	V -C	V -D	V -E	V -C	V -D	V -E
强度等级	$\geq C40$	$\geq C45$	$\geq C50$	$\geq C45$	$\geq C50$	$\geq C55$
对于非地下环境， 84d 氯离子迁移系数 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	≤ 4.0	≤ 2.5	≤ 2.0	≤ 3.5	≤ 2.0	< 1.5

续表 5. 2. 4

环境作用等级 控制项目	50 年			100 年		
	V -C	V -D	V -E	V -C	V -D	V -E
对于地下环境, 56d 电通量 (C)	≤ 2000	≤ 1500	≤ 100	≤ 1500	≤ 1000	≤ 800
对于硫酸盐环境, 抗硫酸盐等级	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS150}$
水胶比	≤ 0.42	≤ 0.39	≤ 0.36	≤ 0.39	≤ 0.36	≤ 0.33
矿物掺合料掺量 (%)	≥ 30			≥ 35		

5.2.5 高性能混凝土抗硫酸盐或镁盐侵蚀配合比应满足表 5.2.5 的要求。

表 5.2.5 高性能混凝土抗硫酸盐或镁盐侵蚀的要求

抗硫酸盐等级	KS120	KS150	> KS150
最大水胶比	0.42	0.38	0.33
矿物掺合料掺量 (%)	≥ 30	≥ 35	≥ 40

5.2.6 高性能混凝土抗其他化学腐蚀配合比基本要求应满足表 5.2.6 的要求。

表 5.2.6 高性能混凝土抗其他化学腐蚀的要求

环境条件	腐蚀介质指标	最大水胶比
水 (含酸雨等) 中酸碱度 (pH 值)	6.0 ~ 5.5	0.42
	5.5 ~ 5.0	0.39
	< 5.0	0.36
水中侵蚀性 CO ₂ 浓度 (mg/L)	15 ~ 30	0.42
	30 ~ 60	0.40
	60 ~ 100	0.38

5.3 配合比试配与优化

5.3.1 每盘混凝土的最小试配量应不小于搅拌机公称容量的1/4

且不小于 20L。

5.3.2 试拌按照以下步骤进行：

1 先按照计算的配合比进行称量，留出部分外加剂，将其余全部原材料倒入混凝土搅拌机中搅拌；

2 逐步加入留出的外加剂，将外加剂用量调整适度；

3 将拌合物倒出搅拌机，检测拌合物的工作性能否达到要求；可保持水胶比不变，适当增加或减少浆体量，调整混凝土工作性适度；

4 在计算配合比砂率基础上，分别增加和减少砂率，可选择 3~5 个砂率进行试拌，取拌合物流动性最好的砂率作为后续试验砂率；

5 修正计算配合比，提出试拌配合比。

5.3.3 选定配制强度，优化调整配比：

1 采用三个不同的配合比，其中一个应为上述确定的试拌配合比，另外两个配合比的水胶比分别较试拌配合比增加或减少 0.05，高强高性能混凝土可分别增加或减少 0.02，用水量与试拌配合比相同，砂率可分别增加 1%，调整外加剂用量使混凝土工作性满足设计要求。

2 进行混凝土强度试验，每个配合比至少制作一组试件，并标准养护到 28d 或设计规定龄期时试压。

3 用插值法或绘图法，选定略大于配制强度的水胶比，维持用水量不变，重新计算各相应材料的用量，同时根据混凝土调整外加剂用量。

5.3.4 根据配合比的实际表观密度和计算表观密度计算校正系数，对确定的混凝土配合比进行校正。

5.3.5 对混凝土拌合物水溶性氯离子含量和设计要求的混凝土耐久性能进行验证试验，试验结果应满足设计要求。当需方提出其他混凝土性能要求时，应按国家现行有关标准规定进行试验，无相应标准时应按合同规定进行试验。试验结果应满足标准及合同的要求。

5.3.6 宜通过复合使用人工砂、天然砂和尾矿砂、单粒级分别投料等方式优化高性能混凝土的骨料颗粒级配；通过添加引气剂优化高性能混凝土的孔隙体系，改善混凝土的工作性，其含气量宜控制在 3.0% ~ 5.0%；通过复合使用掺合料，优化分类颗粒群级配，优化高铝中钙、高钙、高硅类掺合料的异类组合。

6 生产与施工技术措施

6.1 生产设备设施及绿色生产要求

6.1.1 高性能混凝土生产设备应符合现行国家标准《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171、《混凝土搅拌机》GB/T 9142 和《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408 等的相应规定。

6.1.2 高性能混凝土生产企业的绿色生产管理应符合现行地方标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》DB37/T 5049 的规定，并应符合以下要求：

1 应具有完善的减少粉尘排放，限制噪声、废水、废浆排放，实现废弃物资源化利用以及场地绿化的综合方案并加以实施；

2 绿色生产相关设备装置应定期清理、维护，实现废水、废浆和固体废弃物资源化利用；

3 应定期委托有资质的第三方监测粉尘和噪声。

6.1.3 高性能混凝土生产质量管理宜采用全过程质量管理体系追溯。

6.1.4 高性能混凝土的生产应符合现行国家标准《职业健康安全管理体系 要求及使用指南》GB/T 45001 的规定。

6.1.5 高性能混凝土生产企业实验室应符合现行地方标准《预拌混凝土及砂浆企业试验室管理规范》DB37/T 5123 的要求。

6.2 原材料进场与贮存

6.2.1 混凝土原材料进场时，供方向需方提供质量证明文件。质量证明文件应包括型式检验报告、出厂检验报告与合格证等，外加剂、纤维等产品还应具有使用说明书。

6.2.2 原材料进场后，应进行进场检验，首次检验应按照本规程的项目全部检验，检验结果应达到本规程的指标要求。原材料进场检验批次和检验项目尚应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。对外加剂等关键材料更换生产厂家及品种时，应先进行水泥等原材料与外加剂的相容性试验。

6.2.3 不同原材料应按照品种、规格等级和生产厂家分别标志和贮存，并应采取相应措施防止其受潮、结块、变质、混杂、污染等；水泥、矿物掺合料等存储期超过 3 个月时，应进行复检，按复检结果处置。

6.3 计 量

6.3.1 高性能混凝土生产企业应建立计量设备管理制度，计量设备应在有效检定期内使用。强制检定计量设备应按有关规定由法定计量部门定期校验，并取得有效检定证书。高性能混凝土生产单位每月应至少自检计量设备一次；每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。

6.3.2 每盘混凝土原材料计量的允许偏差应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定，原材料计量偏差应每班检查 1 次。

6.3.4 当掺加纤维等特殊原材料时，应安排专人负责计量操作。

6.4 搅 拌

6.4.1 高性能混凝土搅拌应严格控制搅拌时间和投料顺序，并按生产季节控制拌合物温度。

6.4.2 搅拌应保证高性能混凝土拌合物质量均匀；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 的规定。

6.4.3 对于采用搅拌运输车运送混凝土的情况，从全部材料投完算起，混凝土在搅拌机中的搅拌时间应满足设备说明书的要

求，并且不应少于 30s，对于采用翻斗车运送混凝土的情况，可适当延长搅拌时间。在制备高强混凝土、纤维混凝土、轻骨料混凝土和自密实混凝土等特制品或掺用引气剂、膨胀剂和粉状外加剂的混凝土时，应适当延长搅拌时间。

6.4.4 冬期施工搅拌混凝土时，应按照现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定控制原材料温度和混凝土的温度。炎热季节施工搅拌混凝土时，宜优先采用掺加冰块的方法降低拌合物温度，应采用碎冰机制备较小粒径的冰块；也可采用骨料遮阳、风冷等措施，降低原料温度。

6.5 运 输

6.5.1 高性能混凝土的运输工具应满足以下要求：

1 搅拌运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408 的规定。

2 当需要较长距离运输时，应采用搅拌运输车，近距离运输也可采用搅拌运输车、翻斗车和吊斗等多种运输方式。翻斗车应仅限用于运送坍落度小于 80mm 的混凝土拌合物，且运输道路应平整。

3 运输车在运输时应能保证混凝土拌合物均匀并不产生分层、离析。

4 对于寒冷、严寒或炎热的天气情况，搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。

6.5.2 搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽，装料后严禁向搅拌罐内的混凝土拌合物中加水。

6.5.3 当卸料前需要在混凝土拌合物中掺入外加剂时，应在外加剂掺入后采用快档旋转搅拌罐进行搅拌；外加剂掺量和搅拌时间应有经试验确定的预案，严禁随意添加。

6.5.4 预拌混凝土从搅拌机卸入搅拌运输车至卸料时的运输时间不宜大于 90min，如需延长运送时间，则应采取相应的有效技术措施，并应通过试验验证；当采用翻斗车时，运输时间应不大

于45min。

6.5.5 当采用泵送施工工艺时，混凝土运输应保证混凝土连续泵送，并应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规范》JGJ/T 10 的有关规定。

6.5.6 预拌混凝土企业应制定运输管理制度，合理指挥调度车辆，并宜采用定位系统监控车辆运行。

6.6 浇 筑

6.6.1 浇筑高性能混凝土前，应根据工程特点、环境条件、施工工艺与施工条件制定浇筑方案，包括浇筑起点、浇筑方向和浇筑厚度等，在混凝土浇筑过程中不得无故更改浇筑方案。

6.6.2 当在相对湿度较小、风速较大的环境下浇筑混凝土时，应采取适当挡风措施，防止混凝土失水过快，并应避免浇筑较大暴露面积的构件。

6.6.3 混凝土浇筑应有效控制混凝土的均匀性、密实性和整体性，宜采用分层连续推移的方式进行，上层混凝土应在下层混凝土初凝之前浇筑完毕，不得随意留置施工缝。

6.6.4 对于轻骨料混凝土，不应过振，避免严重分层。振捣过程中应加强检查模板的稳定性和接缝密合性，以防漏浆。

6.6.5 不同强度等级混凝土现浇对接处应设在低强度等级混凝土构件中，与高强度等级构件间距不应小于500mm；现浇对接处可设置有效隔离措施拦截混凝土拌合物，浇筑时低强度等级混凝土不得流入高强度等级混凝土构件中。

6.6.6 高性能混凝土浇筑成型后，应及时对混凝土暴露面进行覆盖。梁板或道路等平面结构混凝土终凝前，应完成提浆、搓毛等工序，平整后再次覆盖。

6.6.7 混凝土构件成型后，在强度达到1.2MPa以前，不得在构件上面踩踏行走。

6.6.8 浇筑尚应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定，大体

积高性能混凝土的浇筑尚应符合现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的规定。

6.7 养 护

6.7.1 高性能混凝土的生产和施工单位应根据结构、构件或制品情况、环境条件、原材料情况以及对混凝土性能的要求等，编制详细的专项养护方案，经监理批准后严格执行，并详细记录。

6.7.2 高性能混凝土的养护方法应满足以下要求：

1 现场施工的高性能混凝土可采用浇水、覆盖保湿、喷涂养护剂、冬季蓄热养护等方法进行养护。

2 高性能混凝土构件或制品厂生产可采用蒸汽养护、湿热养护或潮湿自然养护等方法进行养护。

3 选择的养护方法应满足施工养护方案或生产养护制度的要求。

4 当采用混凝土养护剂进行养护时，养护剂的性能应符合现行行业标准《水泥混凝土养护剂》JC/T 901 的规定，其有效保水率应不小于 90%，7d 和 28d 抗压强度比均应不小于 95%。

5 对于竖向混凝土结构，养护时间宜适当延长。

6.7.3 混凝土构件或制品厂的高性能混凝土采用蒸汽养护或湿热养护时，养护时间和养护制度应满足混凝土及其制品性能的要求。

6.7.4 对于大体积高性能混凝土，养护过程应进行内部温度、表层温度和环境气温监测，根据混凝土温度和环境变化情况及时调整养护制度，控制混凝土中心和表面的温差不应超过 25℃，表面与大气的温差不宜大于 20℃，养护用水温度与混凝土表面温度之间的温差应不大于 15℃。

6.7.5 高性能混凝土的养护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 的规定，大体积高性能混凝土的养护尚应符合现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的规定。

6.8 特制品高性能混凝土的生产施工

6.8.1 特制品高性能混凝土的生产施工，尚应符合本规程 6.1 ~ 6.7 的相关规定。

6.8.2 轻骨料高性能混凝土的生产施工，尚应符合现行行业标准《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51 的相关规定。

6.8.3 高强高性能混凝土的生产施工，尚应符合现行行业标准《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281 的相关规定。

6.8.4 自密实高性能混凝土的生产施工，尚应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的相关规定。

6.8.5 纤维高性能混凝土的生产施工，尚应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的相关规定。

6.8.6 其他高性能混凝土的生产施工尚应符合相应标准的相关规定。

7 检验、评价与验收

7.1 检 验

7.1.1 高性能混凝土的绿色生产监测应按照现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 的规定执行。绿色生产监测应符合下列要求：

- 1 监测时间应选择满负荷生产时段；
- 2 监测频率最小限值应符合表 7.1.1 的要求。

表 7.1.1 废浆、生产废水、生产性粉尘和噪声的监测频率最小限值

监测对象	监测频率（次/年）		
	第三方监测	自我监测	总计
生产废水和废浆	1	—	1
噪声	1	2	3
生产性粉尘	1	1	2

7.1.2 高性能混凝土的原材料进场时应检查质量证明文件，并按检验批次随机取样进行原材料检验，检验结果应达到本规程的指标要求。检验批次和检验项目尚应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

7.1.3 高性能混凝土原材料的检验批量应符合下列规定：

1 散装水泥应按每 500t 为一个检验批，袋装水泥每 200t 为一个检验批；粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉、磷渣粉、石灰石粉、天然火山灰、天然沸石粉、复合矿物掺合料等矿物掺合料应按每 200t 为一个检验批；硅灰应按每 30t 为一个检验批；粗、细骨料应按每 400m³ 一个检验批；外加剂应按每 50t 为一个检验批；钢纤维应按每 20t 为一个检验批，合成纤维应按每 50t 为一

个检验批；水应按同一水源不少于一个检验批。

2 当符合下列条件之一时，可将检验批量扩大一倍：

- 1) 对经产品认证机构认证符合要求的产品；
- 2) 来源稳定且连续三次检验合格；
- 3) 同一厂家的同批出厂材料，用于同时施工且属于同一工程项目的多个单位工程；
- 4) 不同批次或非连续供应的不足一个检验批量的混凝土原材料应作为一个检验批。

7.1.4 高性能混凝土的性能检验应符合以下规定：

1 高性能混凝土质量检验分为出厂检验和交货检验。出厂检验的取样和试验工作应由供方承担；交货检验的取样和试验工作应由需方承担，当需方不具备试验和人员的技术资质时，供需双方可协商确定并委托有检验资质的单位承担；以交货检验作为验收依据。

2 出厂检验应在搅拌地点取样，混凝土交货检验应在交货地点取样，取样方法和数量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定，并应符合山东省见证取样的相关规定。

3 高性能混凝土轴心抗压强度、静力受压弹性模量、抗折强度、抗拉强度、抗剪强度等其他设计文件要求的力学性能应在混凝土出厂前进行验证。高性能混凝土出厂前，还应进行设计要求的混凝土耐久性能验证试验，试验结果符合要求方可出厂。

4 高性能混凝土耐久性能交货检验的取样应在浇筑地点进行。常规品高性能混凝土交货检验项目包括坍落度、氯离子含量、抗压强度及设计文件中包含的耐久性能，引气混凝土还包括拌合物的含气量，特制品高性能混凝土（高强混凝土、自密实混凝土、纤维混凝土、轻骨料混凝土、重混凝土）除应检验以上项目外，还应按相关标准和合同规定检验其他项目。

5 高性能混凝土的出厂检验频率须符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定；交货检验的取样频率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；

混凝土耐久性能检验的取样频率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。同一工程、同一配合比的混凝土的氯离子含量应至少检验 1 次；引气混凝土拌合物含气量检测频率与坍落度检验频率相同。

7.1.5 实体结构高性能混凝土质量检验应符合以下规定：

1 当需要检验实体结构高性能混凝土的力学性能时，可采用同条件养护试件进行力学性能检验，并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；当对强度产生争议时，可采用回弹、超声、钻芯法等方法进行检验，并应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

2 当需要检验实体结构高性能混凝土的耐久性能时，可采用同条件养护试件进行耐久性能检验，检验结果应符合设计文件、现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 以及现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

3 实体结构高性能混凝土裂缝及其他外观质量与缺陷的检验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。检验结果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。

4 钢筋保护层厚度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 的规定。检验结果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 的要求。

5 实体结构混凝土氯离子检验应符合现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 的规定。检验结果应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的要求。

7.2 评价与验收

7.2.1 高性能混凝土应按照现行行业标准《高性能混凝土评价

标准》JGJ/T 385 的要求进行评价。

7.2.2 高性能混凝土原材料、配合比、生产施工以及高性能混凝土工程质量的验收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。

7.2.3 自密实高性能混凝土的验收还应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的有关技术规定。

7.2.4 纤维高性能混凝土的验收还应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的有关技术规定。

7.2.5 轻骨料高性能混凝土的验收还应符合现行行业标准《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51 的有关技术规定。

本规程用词说明

1 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”。

2 条文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

1. 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
2. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
3. 《建筑材料放射性核素限量》 GB 6566
4. 《混凝土外加剂》 GB 8076
5. 《混凝土搅拌机》 GB/T 9142
6. 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》 GB/T 10171
7. 《建设用砂》 GB/T 14684
8. 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
9. 《预拌混凝土》 GB/T 14902
10. 《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》 GB/T 17431.1
11. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》
GB/T 18046
12. 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
13. 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》 GB/T 21120
14. 《水泥混凝土和砂浆用短切玄武岩纤维》 GB/T 23265
15. 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
16. 《混凝土搅拌运输车》 GB/T 26408
17. 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
18. 《职业健康安全管理体系 要求及使用指南》 GB/T 45001
19. 《铁尾矿砂》 GB/T 31288
20. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》 GB/T 35164
21. 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
22. 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
23. 《矿物掺合料应用技术规范》 GB/T 51003
24. 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107

25. 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
26. 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
27. 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
28. 《建筑结构检测技术标准》 GB/T 50344
29. 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
30. 《大体积混凝土施工标准》 GB 50496
31. 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
32. 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》 GB/T 50733
33. 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
34. 《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10
35. 《轻骨料混凝土应用技术标准》 JGJ 12
36. 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
37. 《混凝土用水标准》 JGJ 63
38. 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
39. 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221
40. 《聚羧酸系高性能减水剂》 JG/T 223
41. 《高强混凝土应用技术规程》 JGJ/T 281
42. 《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283
43. 《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》 JG/T 315
44. 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》 JGJ/T 322
45. 《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》 JGJ/T 328
46. 《混凝土防冻泵送剂》 JG/T 377
47. 《高性能混凝土评价标准》 JGJ/T 385
48. 《砂浆、混凝土防水剂》 JC/T 474
49. 《混凝土防冻剂》 JC/T 475
50. 《水泥混凝土养护剂》 JC/T 901
51. 《纤维混凝土结构技术规程》 CECS 38

山东省工程建设标准

高性能混凝土应用技术规程

DB37/T 5150—2019

条 文 说 明

目 次

1	总则	33
2	术语	34
3	基本规定	37
4	材料要求	40
4.1	水泥	40
4.2	矿物掺合料	41
4.3	骨料	43
4.4	外加剂	44
4.5	拌合用水	45
4.6	纤维	46
5	配合比设计	47
5.1	一般规定	47
5.2	配合比设计	47
5.3	配合比试配与优化	49
6	生产与施工技术措施	50
6.1	生产设备设施及绿色生产要求	50
6.2	原材料进场与贮存	51
6.3	计量	51
6.4	搅拌	51
6.5	运输	51
6.6	浇筑	52
6.7	养护	52
7	检验、评价与验收	54
7.1	检验	54
7.2	评价与验收	55

1 总 则

1.0.1 本条说明了本规程的编制目的。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围，在建筑工程和市政工程方面采用，其他建设行业也可参考采用。

1.0.3 本条明确了本规程与其他国家现行有关标准的关系。除应符合本规程要求外，尚应符合国家和行业现行标准的有关规定。

2 术 语

2.0.1 本定义来源于现行行业标准《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385。本规程中高性能混凝土是指针对工程具体要求，尤其是针对特定要求而制作的混凝土。例如针对特殊施工要求，需要采用免振捣施工的自密实性能要求制作的混凝土；针对特殊腐蚀环境要求而采用具有相应抗腐蚀性能的混凝土。

传统上，往往采用强度作为设计和施工的总体目标，而高性能混凝土则强调混凝土的综合性能，即不仅考虑混凝土的强度，还综合考虑混凝土的拌合物性能、力学性能、体积稳定性能、长期性能和耐久性能。例如修筑跨海大桥的海工混凝土结构，其强度可能和常规混凝土差异不大，但其拥有良好的抗海水侵蚀性能，其长期性能和耐久性能大大优于常规混凝土；又如用于抗震加固的超高韧性混凝土，其抗压强度仅与常规混凝土类似，但其韧性远远超过常规混凝土。

选用合理的原材料，不仅应满足标准的基本要求，还须达到较高的指标要求。例如用于高性能混凝土的粉煤灰应为Ⅱ级粉煤灰，而Ⅲ级粉煤灰虽然符合标准要求，但不宜用于高性能混凝土。

混凝土外加剂技术的发展，可视为混凝土技术发展的一次革命，因此被称为混凝土的第五组分；而矿物掺合料技术的发展，则视为混凝土技术的又一次革命；混凝土外加剂和掺合料，推动了混凝土技术的发展，也是高性能混凝土的基础。与常规混凝土不同的是，高性能混凝土宜采用高性能减水剂，以控制混凝土的拌合物和长期性能；通过控制矿物掺合料的合理掺量，来调整混凝土细粉料的颗粒级配以及达到化学组成的平衡。

采用较低水胶比，是配制高性能混凝土的技术关键之一。在不牺牲混凝土的拌合物性能和抗裂性能的前提下，低水胶比混凝土的综合性能相对较好。但混凝土的水胶比满足混凝土的性能目标即可，不必要一味追求低水胶比；水胶比的确定应综合考虑混凝土的施工性能、力学性能、长期性能、耐久性能和经济性。高性能混凝土水胶比的确定，应涵盖综合性能较好且应用面较广的混凝土，有利于提高混凝土行业的整体水平。

优化混凝土配合比，也是配制高性能混凝土的关键技术之一。优化配合比主要体现在试配阶段，通过试验、调整和验证，使混凝土的配合比可以实现高性能混凝土的性能要求，并且具有良好的经济性。配合比的优化，既有混凝土水胶比、用水量等基本参数的调整，也包含混凝土孔结构、混凝土粉料颗粒级配、混凝土骨料颗粒级配、混凝土化学组成的匹配等的优化，需要大量的试验和多次的调整验证。

高性能混凝土采用预拌混凝土生产方式，工厂化生产，可以使施工与生产分离，从而使混凝土的生产朝专业化方向发展，能够更好地提升质量控制水平，并满足不同工地的特殊的施工及环境要求。绿色生产内容主要包括节约资源和环境保护，是当今生产技术的基本要求。

严格施工措施，精心施工，严格管理，是实现高性能混凝土的重要手段，也是制作高性能混凝土的重要环节。由混凝土拌合站生产并运输至施工现场的高性能混凝土仍然为拌合物状态，其后期的泵送、浇筑、振捣、静停、脱模、养护等，均依赖于施工环节。通过精心施工、严格管理，才能有效预防混凝土结构会产生的蜂窝、麻面、过振、开裂等各种问题，使整个混凝土结构达到预期的性能和使用寿命。

2.0.2 特制品高性能混凝土与特制品混凝土的关系相对高性能混凝土与常规混凝土的关系是一致的。特制品混凝土包括高强混凝土、自密实混凝土、纤维混凝土等。

2.0.4 预拌混凝土在生产和设备维护过程中，会因地面和设备

冲洗、返厂混凝土的分离处理等产生较多的废浆，应经过沉淀或压滤处理后，可作为再生水重新用于罐车及路面冲洗，按照一定比例掺入正常水中作为混凝土拌合用水。

3 基本规定

3.1 高性能混凝土的分类和标记

3.1.2 高性能混凝土标记示例如下：

示例 1：采用通用硅酸盐水泥、河砂、石；矿物掺合料、外加剂和水配制的常规品高性能混凝土，强度等级为 C50，坍落度为 180mm，抗冻等级为 F250，电通量 QS 为 1000C，其标记为：

HPC-A-C50-180(S4)-F250Q-Ⅲ(1000)-GB/T 14902

示例 2：采用通用硅酸盐水泥、砂、陶粒、矿物掺合料、水、外加剂配制的特制品高性能混凝土，强度等级为 LC40，坍落度为 210mm，抗冻等级为 F250，其标记为：

HPC-B-L-LC40-210(S4)-F250-GB/T 14902

3.2 高性能混凝土拌合物的性能要求

3.2.1 常规品高性能混凝土与普通混凝土在拌合物性能上的要求是一致的，其在《预拌混凝土》GB/T 14902—2012 已做出详细规定，本规程引用其相应的规定。

混凝土的坍落度较大时，混凝土的干缩性一般较大，对于混凝土的体积稳定性不利，混凝土容易开裂；混凝土坍落度较小时，不易进行泵送施工。因此，混凝土的坍落度宜根据混凝土结构和施工工艺的要求确定，在满足施工工艺要求的前提下，宜尽可能采用较小的坍落度。

混凝土中的氯离子是引起混凝土性能劣化的重要因素。据现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 介绍，混凝土中的氯离子可以分为两大类：其中一类氯离子在混凝土的孔隙溶液中仍保持游离状态，称为自由氯离子，可溶于水；另一类氯离子是结合氯离子，包括与水化产物反应以化学结合方式固化的氯离子和被水泥带正电的水化物所吸附的氯离子。氯离

子的这些状态也是可以相互转化的。如以化学结合方式固化的氯离子只有在强碱性环境下才能生成和保持稳定，当混凝土的碱度降低时，以化学结合方式固化的氯离子转化为游离形式存在的自由氯离子，参与对钢筋的锈蚀反应。因此，酸溶性氯离子含量有时也称为氯离子总含量，包括水溶性氯离子和为物理化学吸附、化学结合等方式存在的固化氯离子。

现有的国家标准或行业标准中，现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55、现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 以及《混凝土质量控制标准》GB 50164 均采用了水溶性氯离子含量作为控制指标；现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 以及现行行业标准《铁路混凝土》TB/T 3275 则以氯离子总含量即酸溶性氯离子含量作为控制指标。

测定混凝土拌合物中氯离子的方法，与测试硬化后混凝土中氯离子的方法相比，时间大大缩短，有利于混凝土质量控制。水溶性氯离子含量系相对混凝土中水泥用量的百分比，与酸溶性氯离子相对混凝土中胶凝材料用量的百分比相比，偏于安全。

因此，本规程采用水溶性氯离子含量作为此项性能的控制指标。

3.2.2 试验研究表明，混凝土适当引气，可显著提高其抗冻性能，因此对于抗冻要求高的高性能混凝土，宜掺加适量的引气剂，并且对其孔径分布和气泡间距提出了要求，其气泡间隔系数应能满足标准要求。然而，当混凝土中的含气量超过 5% 时，混凝土的强度会受到明显的影响，且混凝土强度的离散性会增大。因此，在满足抗冻性能的前提下，应控制高性能混凝土中的含气量上限值。

3.2.4 特制品高性能混凝土的拌合物性能，其相应的应用技术规程已做出详细规定，本规程引用其相应的规定。

3.3 高性能混凝土力学性能要求

3.3.2 本条规定了高性能混凝土必须保证混凝土配合比设计所要求的强度等级。

3.3.3 本条规定了高性能混凝土其他力学性能等级的划分。

3.4 高性能混凝土的耐久性能和长期性能要求

3.4.1 结构的使用年限是根据耐久性设计确定的，要保证混凝土结构物和混凝土在使用期限内有足够的性能。高性能混凝土能够提供结构设计所需要的强度等级和抵抗环境劣化作用的耐久性，这两方面是混凝土结构耐久性设计的基础。

3.4.2 本条规定了高性能混凝土耐久性能的划分依据。

3.4.3 本条规定了高性能混凝土耐久性能需要达到的目标。

3.4.4 混凝土中碱含量为水泥、矿物掺合料、外加剂及水的碱含量之和，以其中的可溶性碱计算。粉煤灰的可溶性碱量取粉煤灰总碱量的 $1/6$ ，矿渣的可溶性碱量取矿渣总碱量的 $1/2$ ，硅灰的可溶性碱量取硅灰总碱量的 $1/2$ 。

4 材料要求

4.1 水 泥

4.1.1 早强型水泥，一般 C_3A 或 C_3S 含量高，或粉磨细度大，用这种水泥制备的混凝土体积稳定性差，易收缩开裂，影响结构耐久性，因此在配制高性能混凝土时不宜使用早强型水泥。在现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007 中，水泥组分不是强制性条文，仅由生产者自行检验，缺乏监督和管理，一些水泥厂采用分别粉磨混合材和熟料的技术，大幅度提高水泥中混合材的掺加量。而高性能混凝土要求使用高品质原材料，且其品种纯净、来源清晰，制备的混凝土体积稳定性要好，不容易收缩开裂。因此，当地有合格的矿物掺合料时，鼓励采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，严格控制水泥中混合材掺量。没有合格掺合料时宜采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥。

4.1.2 同样强度等级的水泥，强度越高，在配制相同强度的混凝土时可以更多的掺入矿物掺合料。通用硅酸盐水泥生产时有一定的富裕系数，据统计，42.5 水泥的富裕系数平均为 1.16，所以其平均强度为 49.3MPa。本规程规定 42.5 水泥的 28d 胶砂强度宜不低于 48MPa，即不低于平均强度水平。现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007 没有对水泥细度的上限做规定，目前工程中使用的水泥普遍偏细，P·O 42.5 水泥比表面积约为 $380\text{m}^2/\text{kg} \sim 430\text{m}^2/\text{kg}$ ，水泥的放热速率快，后期强度增进率小，导致混凝土收缩开裂现象普遍，后期强度不增长，甚至倒缩，高性能混凝土不适合用这种细水泥。

4.1.3 控制水泥的稳定性和均匀性，可以更好地控制高性能混凝土的质量波动，更好地保证工程质量。

4.1.4 水泥进场温度过高，不仅影响新拌混凝土的工作性，而且会显著增高混凝土入模温度，增大混凝土结构开裂的风险，因此规定水泥温度不宜高于 60℃。

4.2 矿物掺合料

4.2.1 矿物掺合料是制备高性能混凝土的标志性材料。在配制混凝土时加入适宜量的矿物掺合料，可以降低温升，改善工作性，增进强度，并可以改善混凝土内部结构，提高抗腐蚀能力。

矿物掺合料不仅可以取代部分水泥、减少混凝土的水泥用量、降低成本，而且可以改善混凝土拌合物和硬化混凝土的性能。因此，混凝土中掺用矿物掺合料，其技术、经济和环境效益是十分显著的。

4.2.2 粉煤灰又称飞灰，是由燃煤电厂烟囱收集的粉体材料，含有大量的球状玻璃珠，有助于提高高性能混凝土的流动性能，降低混凝土的水胶比，是高性能混凝土最常使用的掺合料之一。高性能混凝土使用的粉煤灰，应满足Ⅱ级粉煤灰的技术要求，其需水量比是关键技术指标。但粉煤灰的大量掺入也会降低高性能混凝土的抗碳化性能和抗冻性能，因此在大掺量掺入粉煤灰时高性能混凝土应采用较小的水胶比，以增加混凝土的密实性进而增强其抗碳化能力。

在高性能混凝土中合理掺入优质粉煤灰，可以显著改善混凝土拌合物的和易性，降低混凝土水化热，提高硬化混凝土后期强度增长率，也有利于改善混凝土某些耐久性能。

4.2.3 粒化高炉矿渣是从炼铁高炉中排出的，以硅酸盐和铝酸盐为主要成分的熔融物，经淬冷成粒。其质量系数 K 是从化学成分方面反映其活性的一个指标，用于生产矿渣粉的矿渣，其质量系数 K 应该大于 1.2。此外，粒化高炉矿渣的活性，还与淬冷前熔融矿渣的温度、淬冷方法和淬冷速度有关。粒化高炉矿渣在水淬时除形成大量玻璃体外，还含有钙镁铝黄长石和很少的硅酸钙或硅酸二钙晶体，因此具有微弱的水硬性。矿渣粉的细度对

混凝土性能影响很大，直接影响其活性指数和流动度比。用于高性能混凝土的矿渣粉比表面积一般应超过 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ，等级不低于 S95；用于配制高强高性能混凝土的矿渣粉比表面积不低于 $600\text{m}^2/\text{kg}$ ，最佳掺量为 30% ~ 50%。

掺加矿渣粉会改善和提高混凝土的综合性能：一般会减少混凝土需水量，改善胶凝材料与外加剂的适应性，降低混凝土水化热，提高硬化混凝土后期强度增长率和耐腐蚀性能，改善抑制碱骨料反应的性能。重要的是，掺加矿渣粉对于混凝土强度的影响明显小于除硅灰外的其他矿物掺合料，非常有利于必须采用大掺量矿物掺合料的场合，例如海洋工程中的耐侵蚀混凝土等，可以提高混凝土的抗渗透性能和抗化学侵蚀性能，降低混凝土的电通量。

4.2.4 硅灰又称硅粉，是铁合金厂在冶炼铁合金或非金属硅时，从烟气净化装置中回收的工业烟尘，在袋滤器中搜集。硅灰的主要成分是无定型二氧化硅，平均粒径约 $0.1\mu\text{m} \sim 0.2\mu\text{m}$ ，比水泥颗粒细两个数量级，具有很强的火山灰活性，会加速胶凝材料系统的水化，可提高混凝土强度、抗渗性和耐化学腐蚀性，也具有抑制碱骨料反应的作用。但是硅灰会增加混凝土水化热，增大低水胶比混凝土自收缩，增大结构混凝土收缩开裂风险。目前一般的高性能混凝土多采用矿渣粉和粉煤灰双掺技术，很少使用硅灰。但在一些高强度等级混凝土如 C80 及其以上的混凝土中，出于提高强度目的会适当使用硅灰。硅灰与高效减水剂或高性能减水剂复合使用，可以改善混凝土的工作性，提高硅灰使用的复合效益。

4.2.5 用于磨细制作石灰石粉的石灰石需要具备一定的纯度，主要是 CaCO_3 的含量。石灰石粉应以 CaCO_3 为主要成分，要求其含量不低于 80%，主要是控制石灰石粉中的其他杂质。某些岩石粉的性能与石灰石粉有较大差别，如对水和外加剂的吸附等。

活性指数本身并不说明石灰石粉具有活性，但其作为混凝土

质量的控制目标是必要的。细度是影响石灰石粉主要性能的主要因素之一，石灰石粉磨得越细越有利，但粉磨能耗越大。流动度比是衡量石灰石粉在混凝土中应用是否具有技术价值的重要指标，该指标越高说明石灰石粉的减水效应越明显，对混凝土拌合物的和易性改善作用越明显。在掺加减水剂的情况下，石灰石粉与其他岩石粉的差别更为明显，石灰石粉对于水和外加剂的吸附小。亚甲蓝值是反映石灰石粉黏土含量的技术指标，是衡量石灰石粉能否用于高性能混凝土的关键指标。

4.2.6 火山灰质材料是水泥混凝土的主要矿物掺合料之一。掺用火山灰质材料可以改善混凝土的工作性、密实水化产物的微观结构，大幅度提高其耐久性，同时可以大量节省水泥用量，达到节能减排的目的。

4.2.8 为了充分发挥各种掺合料的技术优势，弥补单一矿物掺合料自身固有的某些缺陷，利用两种或两种以上矿物掺合料材料复合产生的超叠加效应可取得比单掺某一种矿物掺合料更好的效果。

复合掺合料的超叠加效应能够显著改善混凝土的工作性能、力学性能和耐久性能，同时取代部分水泥用量，也可在一定程度上降低高性能混凝土成本。复合掺合料性能也直接影响高性能混凝土的整体性能，出于对原材料控制和高性能混凝土技术的需要，本规程的要求高于现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 的规定。

4.3 骨 料

4.3.1 随着天然砂资源的日益枯竭，人工砂的应用日益增多。实践证明，只要制砂设备及工艺满足一定条件，在原料来源稳定的情况下，所生产的机制砂品质比天然砂更易控制，因此在天然砂较为匮乏的地区推荐采用机制砂。不宜单独使用细砂和特细砂配制高性能混凝土，细砂和特细砂应与中砂、粗砂或机制砂按适当比例混合使用配制高性能混凝土。

4.3.2 高性能混凝土用普通粗骨料的级配要求与现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 和现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 对连续级配的要求一致。未列入单粒级配，主要是因为单粒级配制高性能混凝土会加大水泥用量，对混凝土的收缩等性能造成不利影响，因此单粒级配不适用于配制高性能混凝土。Ⅱ类碎石用于配制 C30 ~ C60 常規品高性能混凝土，与现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 规定的用途一致。

4.3.3 陶砂和陶粒均为人造轻骨料，粒径不大于 4.75mm 属于陶砂。陶砂和陶粒均为烧结材料，烧结温度约 1100℃，具有良好的耐久性，适用于配制高性能混凝土。陶砂和陶粒用于高性能混凝土，有利于减轻混凝土自重，也有利于改善混凝土热工性能，使混凝土的性能明显区别于一般混凝土。

4.4 外 加 剂

4.4.1 用于配制高性能混凝土选择和使用的外加剂品种较多，采用高效减水剂、高性能减水剂、泵送剂、缓凝剂、引气剂、膨胀剂等，不同的外加剂对高性能混凝土的性能会带来不同的影响。

泵送剂一般为多种成分按照一定比例复合而成。高性能混凝土用泵送剂，一般应有较高的减水率，以适应高性能混凝土较低水胶比的要求。由于产品中复合了调凝剂、引气剂等多种组分，用泵送剂配制的高性能混凝土坍落度损失小、泌水率低、和易性好、抗离析性能好，泵送阻力小，便于输送；高性能混凝土表面无泌水线、无大气泡、色差小，特别适合于外观质量较高的混凝土。

4.4.5 用于高性能混凝土的聚羧酸系高性能减水剂掺量低、减水率高，增强效果好，收缩率低，厂家众多，易于生产和实施，各地配制高性能混凝土时有较大的范围可选择，可操作性强。

聚羧酸系高性能减水剂宜用于高性能混凝土、高强混凝土、

自密实混凝土、泵送混凝土、清水混凝土、预制构件混凝土、大体积混凝土和钢管混凝土；宜用于具有高耐久性和高工作性要求的混凝土，宜用于对抗裂性要求高的混凝土结构工程；对骨料的含泥量较为敏感，含泥量过大会降低其分散效果；此外，其减水效果还受混凝土原材料、配合比以及试验条件的影响；与萘系、氨基磺酸盐和三聚氰胺系高效减水剂混合使用；与其他品种外加剂同时使用时，宜分别掺加；必须复配时应关注两者的相容性。

4.4.6 引气剂在机械搅拌作用下，在混凝土中引入大量微小气泡。在混凝土拌合物中，气泡的引入可以增加浆体体积，改善混凝土的黏聚性，且气泡的滚珠轴承作用可增加浆体的润滑性，提高其泵送性能；在硬化混凝土中可细化孔径、降低气泡间距、优化气泡结构参数，从而有效改善和提高混凝土的抗渗、抗冻等耐久性能。

4.4.7 高性能混凝土应用膨胀剂的目的在于提高高性能混凝土的抗裂能力，减少并防止裂缝的出现；阻塞混凝土毛细孔渗水，提高混凝土的抗渗等级；使超长混凝土结构保持连续性，满足建筑设计要求；不设后浇带，加快工程进度，防止后浇带处理不好引起地下室渗水。膨胀剂的粒径与膨胀性能密切相关，大粗颗粒由于水化较慢，不加控制会造成后期破坏性膨胀。在补偿收缩混凝土和填充用膨胀混凝土中，要求混凝土前期在水样环境中产生可控制的膨胀，在干燥环境中体积收缩小。由于微膨胀低收缩的特性，可使高性能混凝土具有良好的体积稳定性，从而有效避免和减少裂缝的产生。

4.5 拌合用水

4.5.1 水是混凝土必不可少、不可替代的主要组分之一，它能够直接影响混凝土拌合物的工作性能和硬化混凝土的力学性能、耐久性能。

4.5.2 混凝土生产性废水的主要来源为混凝土运输车辆洗刷用水，在经过沉淀、压滤后，形成再生水，其主要性能与混凝土中

的间隙水接近，在满足标准要求的情况下完全可以用于高性能混凝土的生产。

4.6 纤维

4.6.2 钢纤维混凝土适用于对弯拉（抗折）强度、弯曲韧性、抗裂、抗冲击、抗疲劳等性能要求较高的混凝土工程、结构或构件。由于钢纤维混凝土基体破坏时，钢纤维基本上是从基体中拔出而不是拉断，因此，钢纤维的增强作用主要取决于钢纤维与混凝土基体的黏结性能。异型、表面粗糙的钢纤维品种黏结性能较好，适用于高性能混凝土。

合成纤维混凝土适用于要求改善早期抗裂、抗渗、抗冲击和抗疲劳等性能的混凝土工程、结构或构件。合成纤维的品种和规格繁多，主要有聚丙烯腈（PAN）纤维、聚丙烯（PP）纤维、聚酰胺（PA）纤维和聚乙烯醇（PVA）纤维等。掺纤维的混凝土的搅拌时间，可在普通混凝土搅拌时间的基础上适当延长，一般不低于普通混凝土搅拌时间的 150%。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土配合比是生产、施工的关键环节之一，对于保证混凝土质量和节约资源具有重要意义。混凝土配合比设计不仅应满足强度要求，还应满足施工性能、其他力学性能、长期性能和耐久性能的要求。

5.1.3 配合比设计是一门试验技术，试验才是混凝土配合比设计的关键，计算是为试验服务的，具有近似性，目的是将试验工作压缩到一个较小的合理范围，使试验工作更为简捷、准确和减少试验量。

5.1.4 ~ 5.1.8 高性能混凝土应符合现行行业标准《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385 对常规品和特制品高性能混凝土的要求。

5.1.9 高性能混凝土应保证良好的拌合物性能。

5.1.10 高性能混凝土应具有良好的长期性能和耐久性能，而混凝土的开裂将会严重破坏混凝土结构的耐久性。因此，在配合比试配时，宜进行早期抗裂性能的验证。

5.2 配合比设计

5.2.1 常规品高性能混凝土的试配应按照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定进行。特制品高性能混凝土的试配应按照各自的应用技术规程进行。

5.2.2 冻融环境中高性能混凝土配合比的基本要求主要针对混凝土的抗冻性能。提高混凝土抗冻性能的技术途径有两个方面：其一是提高混凝土的密实度，即降低混凝土的水胶比，适当提高试配强度；其二是适当引气，但引气需要在适量的范围内，太高

会降低混凝土强度。使用引气剂能在混凝土中产生大量均布的微小封闭气孔，有效缓解混凝土内部结冰造成的材料破坏。另外，混凝土的抗冻性能还与掺合料掺量有关，通常掺量越大对混凝土性能越不利。本规程以现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定作为冻融环境下耐久性设计要求，其抗冻耐久性指数可以转换为相应的抗冻等级。

5.2.3 环境中的氯化物以水溶性氯离子的形式通过扩散、渗透和吸附等途径从混凝土结构表面往内部迁移，可引起混凝土内钢筋的严重锈蚀。高性能混凝土抗氯离子渗透性能的要求与抗渗和抗碳化性能类似，都需要提高混凝土的密实性，但抗氯离子渗透对混凝土密实性的要求更高，因此水胶比要求更低。并且，与抗碳化性能不同的是，提高掺合料用量可以提高混凝土的抗氯离子渗透性能，但由于混凝土矿物掺合料的水化过程较慢，抗氯离子渗透性能的形成也需要较长的时间，为准确评定混凝土的抗氯离子渗透性能，本规程将测定氯离子扩散系数的时间定为 84d。

5.2.4 常见的对混凝土有腐蚀作用的化学物质包括土中、地下水中的硫酸盐和酸类等物质以及大气中的盐分、硫化物、氮氧化物等污染物质。这些物质对混凝土的腐蚀主要是化学腐蚀，但盐类侵入混凝土也有可能产生盐结晶的物理腐蚀。水、土中的硫酸盐对混凝土的腐蚀作用，除硫酸根离子的浓度外，还与硫酸盐阳离子的种类及浓度、混凝土表面的干湿交替程度、环境温度以及土的渗透性、地下水的流动性等因素有很大关系。

硫酸盐对混凝土的化学腐蚀是两种化学反应的结果：一是混凝土中的水化铝酸钙起反应形成硫铝酸钙即钙矾石；二是与混凝土中氢氧化钙结合形成硫酸钙即石膏，两种反应均会造成体积膨胀，使混凝土开裂。当含有镁离子时，同时还能和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应，生成疏松而无胶凝性的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ，这会降低混凝土的密实性和强度并加剧腐蚀。

高性能混凝土中适量的矿物掺合料对提高混凝土抵抗化学腐蚀的能力有良好的作用。高性能混凝土水胶比低、密实度高，可

提高抗化学腐蚀渗透的能力，含矿物掺合料的胶凝材料反应生成的水化产物也可提高混凝土抵抗水、酸和盐类物质腐蚀的能力。因此，在化学腐蚀环境下，不宜单独使用硅酸盐水泥作为胶凝材料。

化学腐蚀环境，高性能混凝土除应提高混凝土的密实性外，尚应减少混凝土中参与化学反应和易溶出的成分，在低水胶比、胶凝材料比较充分的情况下，宜掺入较多矿物掺合料。混凝土的密实性评价，传统上采用混凝土的抗水渗透性能来评价，但实践证明，其难以用来评价高性能混凝土的密实性。从 20 世纪 80 年代开始，各国不断探索各种新方法来评价混凝土抵抗外界各种有害物质侵蚀的能力，其中发展较快的方法是电通量法和 RCM 法。本规程采用 56d 电通量和 84d 氯离子扩散系数来评价混凝土的密实性和抗外界有害物质侵蚀性能。

5.3 配合比试配与优化

5.3.2 ~ 5.3.4 高性能混凝土的试配与优化，其过程与普通混凝土配合比设计时的试配与优化步骤相同。在试拌调整过程中，尽量采用较少的胶凝材料用量，以节约胶凝材料为原则，通过调整外加剂用量和砂率，使混凝土拌合物的和易性满足施工要求。

5.3.5 验证试验，主要是试验验证混凝土耐久性是否符合设计要求，例如设计规定的混凝土氯离子含量、抗水渗透、抗氯离子渗透、抗冻、抗碳化和抗硫酸盐侵蚀等耐久性能要求。除混凝土氯离子含量外，对于设计文件中没有规定要求的混凝土耐久性性能，可以不做验证。

5.3.6 可以通过调整骨料颗粒群级配、粉料颗粒群级配的方法，提高混凝土的密实性，并可过添加引气剂优化高性能混凝土的孔隙体系。掺用不同的矿物掺合料，应注意高铝中钙、高钙、高硅类掺合料的异类组合，从而优化胶凝材料的化学组成。

6 生产与施工技术措施

6.1 生产设备设施及绿色生产要求

6.1.1 高性能混凝土生产设备设施包括搅拌站（楼）、装载机、运输车、砂石分离机、封闭式骨料堆场、粉料仓、配料地仓和沉淀池等。搅拌站（楼）是高性能混凝土生产的核心生产要素，它通常包括搅拌站（楼）配套主机、供料系统、储料仓、配料装置、混凝土贮斗、电气系统、气路系统、液压系统、润滑系统等。混凝土搅拌运输车是将混凝土由生产企业运输到施工现场的最重要工具，也是继续均匀搅拌并满足混凝土质量控制的关键手段。混凝土生产主要生产设备执行标准包括现行国家标准《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171、《混凝土搅拌机》GB/T 9142 和《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408，现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 则对上述设备设施提出了环保要求。

6.1.2 高性能混凝土绿色生产包括生产性粉尘控制、噪声控制、生产再生和废浆利用等内容。绿色生产的根本目标是保证混凝土质量并满足节地、节材、节水、节能和环保要求。混凝土生产企业的绿色生产评价等级不同，要求其生产性粉尘和噪声控制水平、生产再生水和废浆利用水平存在差异。预拌混凝土绿色生产的执行标准为现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328。

6.1.3 生产质量管理采用计算机信息管理系统是混凝土行业发展的趋势，采用全过程资料管理体系追溯，有利于对高性能混凝土的生产过程进行监控，更好地保证混凝土的质量。

6.1.4 本条文明确了保障工作人员安全，实现预拌混凝土企业安全生产的具体措施。

6.2 原材料进场与贮存

6.2.1 高性能混凝土原材料包括水泥、矿物掺合料、砂石骨料、外加剂和水，当生产高强混凝土、轻骨料混凝土、纤维混凝土和自密实混凝土等特制品时，还包括轻骨料、纤维和硅灰等。加强原材料进场和贮存管理是混凝土质量控制和绿色生产的关键环节之一。

6.2.2、6.2.3 原材料进场和贮存过程应注意抽检的随机性，保证样品的代表性，避免大小样品的差异；要注意原料贮存过程中的稳定性，避免外界雨雪、阳光等对原料性能、质量的影响。

6.3 计 量

6.3.1 准确计量是生产高性能混凝土的基本要求。提高计量准确性的技术措施包括每月设备自检、每工作班的计量设备零点校准、设备允许偏差控制、高性能混凝土外加剂的高精度计量、纤维等原材料的专人计量等。

6.4 搅 拌

6.4.1 搅拌时间和投料顺序是影响高性能混凝土搅拌质量的主要因素。搅拌时间长短主要取决于运输设备类型、混凝土种类和配合比设计。一般而言，制备特制品混凝土、掺加引气剂或膨胀剂、采用翻斗车运输等情况下均应适当延长搅拌时间。当制备纤维混凝土时，合理安排投料顺序对于搅拌质量控制至关重要。此外，控制拌合物温度也是搅拌环节的重要内容。对于典型的冬期或炎热季节施工而言，采用加热水或加热骨料，以及掺加冰块等方式控制拌合物温度满足 $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 要求，不仅有利于组织施工，而且有利于混凝土性能的发展。

6.5 运 输

6.5.1 ~ 6.5.6 因地制宜地选用运输工具并保证混凝土运输过程

的质量稳定是运输环节的基本要求。对于不同的混凝土坍落度，以及不同的运输道路，应从搅拌运输车、翻斗车和吊斗等运输工具中选择适宜的运输方式。高性能混凝土最主要的运输方式是搅拌运输车。要利用混凝土搅拌运输车高效运输混凝土，除了搅拌运输车性能满足现行行业标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408 外，还要在混凝土运输过程中考虑寒冷、严寒或炎热天气时的保温或隔热措施，装料前排空积水，装料后严禁加水，运输时间控制，以及运输和施工之间衔接等问题。此外，在高性能混凝土运输过程中，还应利用定位系统监控车辆运行。

6.6 浇 筑

6.6.1 高性能混凝土浇筑涉及浇筑方案制定、模板工程设置和钢筋工程安装等内容。进行混凝土浇筑的前提条件是模板工程和钢筋工程均已完成，对于特制品混凝土来说，进行模板和支架设计时还要考虑密度或坍落度不同对其产生的影响。高性能混凝土浇筑之前，应因地制宜地来制定合理的浇筑方案，并严格实施以保证浇筑质量。浇筑方案要包括施工前准备、施工过程操作和施工结束后处理等环节。

6.6.3 在施工过程中，应控制分层浇筑的间隔时间或厚度，控制浇筑持续时间，防止混凝土表面快速失水，控制不同混凝土同时段交替浇筑，选择合适的振捣方式和振动时间，制作各种混凝土试件，根据纤维混凝土、大体积混凝土、清水混凝土和自密实混凝土的特殊浇筑需要，采取相关技术措施。

6.7 养 护

6.7.1 养护对于高性能混凝土持续水化至关重要，也只有有效养护才能保证浇筑后混凝土强度和耐久性满足设计要求。混凝土浇筑前应制定合理的养护方案或生产养护制度，并应严格执行。针对不同混凝土品种、不同生产或施工工艺，可采取不同的有效养护措施。一般来说，矿物掺合料用量越多则养护时间宜越长，

潮湿环境下养护时间可以适当缩短。

6.7.2 加强早期养护是控制高性能混凝土裂缝的措施之一，主要目的就是减少早期混凝土的表面水分损失。混凝土成型后立即用塑料薄膜覆盖可以预防混凝土早期失水，是较好的养护方式。对于难以潮湿覆盖的结构里面的混凝土，可以采用喷洒养护剂的方式养护，但养护效果应经过验证。

6.7.4 对于大体积混凝土，养护时还应注意到混凝土内外的温差，保证混凝土不因为内外温差造成混凝土裂缝。

7 检验、评定与验收

7.1 检 验

7.1.1 生产绿色化是高性能混凝土的重要特征，对高性能混凝土生产过程所产生的废浆、生产废水、生产性粉尘和噪声按规定频率进行监测是确保绿色生产持续有效运行的手段，也是评价绿色生产等级的重要条件。第三方监测机构要具备法定授权的粉尘、噪声和水检测资格，其提供的绿色生产监测结果应具有客观公正性。自我监测具有较大灵活性，即可根据生产季节不同、重要原材料或生产工艺变化，以及生产过程出现粉尘或噪声异常等现象，及时监测并根据监测结果采取改善措施，以保证绿色生产具有动态稳定性。

7.1.2、7.1.3 高性能混凝土原材料进场检验与普通混凝土相同。原材料进场时，审核质量证明文件和采用随机取样检验复验原材料性能均是有效的质量控制手段。高性能混凝土的水泥、矿物掺合料、砂石等原材料检验批量与预拌混凝土相同。对符合规定条件的检验批量进行放大，既能保证原材料的质量、降低检验综合成本，又能促进生产企业采用更先进的质量管理制度，并可通过第三方产品认证提高产品质量。

7.1.4 在生产施工过程中，出厂检验和交货检验的实施主体和作用不同。出厂检验为厂家自我质量控制，检验结果不作为混凝土工程质量验收的依据。交货检验为第三方检验，检验结果用来判定质量合格与否。

高性能混凝土性能检验与普通混凝土相同。高性能混凝土拌合物的交货检验要按规定检验频率进行随机抽样检验。当需要制作同条件养护试件时，应根据工程实际情况确定试件留置组数，并按设计龄期进行试验。当需要检验轴压、弹模、抗折、抗拉、

抗剪等其他力学性能时，同样需要按规定检验频率进行出厂检验和交货检验。耐久性能交货检验的检验批更大，整体试验组数更少。制作耐久性能试件时，应按规定进行取样，制作后应进行标准养护。

7.1.5 实体结构高性能混凝土质量检验要求与普通混凝土相同，可选用同条件养护试件、钻取芯样、回弹、超声等方法来检验结构实体混凝土强度，也可选用同条件养护试件检验耐久性能，混凝土裂缝、其他外观质量与缺陷、钢筋保护层厚度以及氯离子含量均应按相关标准检验。

7.2 评价与验收

7.2.1 高性能混凝土应按照现行行业标准《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385 的要求进行评价。

7.2.2 高性能混凝土验收要求与普通混凝土相同，分为原材料、配合比、生产施工以及高性能混凝土工程质量的验收，除应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定，特制品高性能混凝土还应满足相应应用技术规程的要求。