

## 钢筋与混凝土工程新技术

### 1 高耐久性混凝土技术

#### 1.1 技术内容

高耐久性混凝土是通过对原材料的质量控制、优选及施工工艺的优化控制，合理掺加优质矿物掺合料或复合掺合料，采用高效（高性能）减水剂制成的具有良好工作性、满足结构所要求的各项力学性能、且耐久性优异的混凝土。

##### （1）原材料和配合比的要求

1) 水胶比（ $W/B \leq 0.38$ ）。

2) 水泥必须采用符合现行国家标准规定的水泥，如硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥等，不得选用立窑水泥；水泥比表面积宜小于  $350\text{m}^2/\text{kg}$ ，不应大于  $380\text{m}^2/\text{kg}$ 。

3) 粗骨料的压碎值  $\leq 10\%$ ，宜采用分级供料的连续级配，吸水率  $< 1.0\%$ ，且无潜在碱骨料反应危害。

4) 采用优质矿物掺合料或复合掺合料及高效（高性能）减水剂是配制高耐久性混凝土的特点之一。优质矿物掺合料主要包括硅灰、粉煤灰、磨细矿渣粉及天然沸石粉等，所用的矿物掺合料应符合国家现行有关标准，且宜达到优品级，对于沿海港口、滨海盐田、盐渍土地区，可添加防腐阻锈剂、防腐流变剂等。矿物掺合料等量取代水泥的最大量宜为：硅粉  $\leq 10\%$ ，粉煤灰  $\leq 30\%$ ，矿渣粉  $\leq 50\%$ ，天然沸石粉  $\leq 10\%$ ，复合掺合料  $\leq 50\%$ 。

5) 混凝土配制强度可按以下公式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$$

式中  $f_{cu,0}$  ——混凝土配制强度（MPa）；

$f_{cu,k}$  ——混凝土立方体抗压强度标准值（MPa）；

$\sigma$  ——强度标准差，无统计数据时，预拌混凝土可按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定取值。

## (2) 耐久性设计要求

对处于严酷环境的混凝土结构的耐久性，应根据工程所处环境条件，按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50467 进行耐久性设计，考虑的环境劣化因素及采取措施有：

1) 抗冻害耐久性要求：a) 根据不同冻害地区确定最大水胶比；b) 不同冻害地区的抗冻耐久性指数 DF 或抗冻等级；c) 受除冰盐冻融循环作用时，应满足单位面积剥蚀量的要求；d) 处于有冻害环境的，应掺入引气剂，引气量应达到 3%~5%。

2) 抗盐害耐久性要求：a) 根据不同盐害环境确定最大水胶比；b) 抗氯离子的渗透性、扩散性，宜以 56d 龄期电通量或 84d 氯离子迁移系数来确定。一般情况下，56d 电通量宜  $\leq 800C$ ，84d 氯离子迁移系数宜  $\leq 2.5 \times 10^{-2} m^2/s$ ；c) 混凝土表面裂缝宽度符合规范要求。

3) 抗硫酸盐腐蚀耐久性要求：a) 用于硫酸盐侵蚀较为严重的环境，水泥熟料中的  $C_3A$  不宜超过 5%，宜掺加优质的掺合料并降低单位用水量；b) 根据不同硫酸盐腐蚀环境，确定最大水胶比、混凝土抗硫酸盐侵蚀等级；c) 混凝土抗硫酸盐等级宜不低于 KS120。

4) 对于腐蚀环境中的水下灌注桩，为解决其耐久性和施工问题，宜掺入具有防腐和流变性能的矿物外加剂，如防腐流变剂等。

5) 抑制碱—骨料反应有害膨胀的要求：a) 混凝土中碱含量  $< 3.0kg/m^3$ ；b) 在含碱环境或高湿度条件下，应采用非碱活性骨料；c) 对于重要工程，应采取抑制碱骨料反应的技术措施。

## 1.2 技术指标

### (1) 工作性

根据工程特点和施工条件，确定合适的坍落度或扩展度指标；和易性良好；坍落度经时损失满足施工要求，具有良好的充填模板和通过钢筋间隙的性能。

### (2) 力学及变形性能

混凝土强度等级宜 $\geq$ C40；体积稳定性好，弹性模量与同强度等级的普通混凝土基本相同。

### (3) 耐久性

可根据具体工程情况，按照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50467、《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T193 及上述技术内容中的耐久性技术指标进行控制；对于极端严酷环境和重大工程，宜针对性地开展耐久性专题研究。

耐久性试验方法宜采用《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082和《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T50733规定的方法。

## 1.3 适用范围

高耐久性混凝土适用于对耐久性要求高的各类混凝土结构工程，如内陆港口与海港、地铁与隧道、滨海地区盐渍土环境工程等，包括桥梁及设计使用年限 100 年的混凝土结构，以及其他严酷环境中的工程。

## 2 高强高性能混凝土技术

### 1 技术内容

高强高性能混凝土（简称 HS-HP $\text{\textcircled{C}}$  是具有较高的强度（一般强度等级不低于 C60）且具有高工作性、高体积稳定性和高耐久性的混凝土（“四高”混凝土），属于高性能混凝土（HP $\text{\textcircled{C}}$  的一个类别。其特点是不仅具有更高的强度且具有良好的耐久性，多用于超高层建筑

底层柱、墙和大跨度梁，可以减小构件截面尺寸增大使用面积和空间，并达到更高的耐久性。

超高性能混凝土（UHPC）是一种超高强（抗压强度可达 150MPa 以上）、高韧性（抗折强度可达 16MPa 以上）、耐久性优异的新型超高强高性能混凝土，是一种组成材料颗粒的级配达到最佳的水泥基复合材料。用其制作的结构构件不仅截面尺寸小，而且单位强度消耗的水泥、砂、石等资源少，具有良好的环境效应。

HS-HPC 的水胶比一般不大于 0.34，胶凝材料用量一般为 480~600kg/m<sup>3</sup>，硅灰掺量不宜大于 10%，其他优质矿物掺合料掺量宜为 25%~40%，砂率宜为 35%~42%，宜采用聚羧酸系高性能减水剂。

UHPC 的水胶比一般不大于 0.22，胶凝材料用量一般为 700~1000kg/m<sup>3</sup>。超高性能混凝土宜掺加高强微细钢纤维，钢纤维的抗拉强度不宜小于 2000MPa 体积掺量不宜小于 1.0%，宜采用聚羧酸系高性能减水剂。

## 2 技术指标

### (1) 工作性

新拌 HS-HPC 最主要的特点是粘度大，为降低混凝土的粘性，宜掺入能够降低混凝土粘性且对混凝土强度无负面影响的外加剂，如降粘型外加剂、降粘增强剂等。UHPC 的水胶比更低，粘性更大，宜掺入能降低混凝土粘性的功能型外加剂，如降粘增强剂等。

混凝土拌合物的技术指标主要是坍落度、扩展度和倒坍落度筒混凝土流下时间（简称倒筒时间）等。对于 HS-HPC 混凝土坍落度不宜小于 220mm 扩展度不宜小于 500mm 倒置坍落度筒排空时间宜为 5~20s，混凝土经时损失不宜大于 30mm/h

(2) HS-HPC 的配制强度可按公式  $f_{cu,0} \geq 1.15f_{cu,k}$  计算；

UHPC的配制强度可按公式  $f_{cu,0} \geq 1.1f_{cu,k}$  计算；

(3) HS-HPC及 UHPC因其内部结构密实，孔结构更加合理，通常具有更好的耐久性，为满足抗硫酸盐腐蚀性，宜掺加优质的掺合料，或选择低 CA<sub>3</sub>含量 (<8%) 的水泥。

#### (4) 自收缩及其控制

##### 1) 自收缩与对策

当 HS-HPC浇筑成型并处于绝湿条件下，由于水泥继续水化，消耗毛细管中的水分，使毛细管失水，产生毛细管张力（负压），引起混凝土收缩，称之自收缩。通常水胶比越低，胶凝材料用量越大，自收缩会越严重。

对于 HS-HPC一般应控制粗细骨料的总量不宜过低，胶凝材料的总量不宜过高；通过掺加钢纤维可以补偿其韧性损失，但在氯盐环境中，钢纤维不太适用；采用外掺 5% 饱水超细沸石粉的方法，或者内掺吸水树脂类养护剂、外覆盖养护膜以及其他充分的养护措施等，可以有效地控制 HS-HPC的自收缩。

UHPC一般通过掺加钢纤维等控制收缩，提高韧性；胶凝材料的总量不宜过高。

##### 2) 收缩的测定方法

参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 进行。

##### 3 适用范围

HS-HPC适用于高层与超高层建筑的竖向构件、预应力结构、桥梁结构等混凝土强度要求较高的结构工程。

UHPC由于高强高韧性的特点，可用于装饰预制构件、人防工程、军事防爆工程、桥梁工程等。

### 3 自密实混凝土技术

#### 3.1 技术内容

自密实混凝土（Self-Compacting Concrete，简称 SCC）具有高流动性、均匀性和稳定性，浇筑时无需或仅需轻微外力振捣，能够在自重作用下流动并能充满模板空间的混凝土，属于高性能混凝土的一种。自密实混凝土技术主要包括：自密实混凝土的流动性、填充性、保塑性控制技术；自密实混凝土配合比设计；自密实混凝土早期收缩控制技术。

##### （1）自密实混凝土流动性、填充性、保塑性控制技术

自密实混凝土拌合物应具有良好的工作性，包括流动性、填充性和保水性等。通过骨料的级配控制、优选掺合料以及高效（高性能）减水剂来实现混凝土的高流动性、高填充性。其测试方法主要有坍落扩展度和扩展时间试验方法、J 环扩展度试验方法、离析率筛析试验方法、粗骨料振动离析率跳桌试验方法等。

##### （2）配合比设计

自密实混凝土配合比设计与普通混凝土有所不同，有全计算法、固定砂石法等。配合比设计时，应注意以下几点要求：

- 1) 单方混凝土用水量宜为 160kg~180kg；
- 2) 水胶比根据粉体的种类和掺量有所不同，不宜大于 0.45；
- 3) 根据单位体积用水量和水胶比计算得到单位体积粉体量，单位体积粉体量宜为 0.16~0.23；
- 4) 自密实混凝土单位体积浆体量宜为 0.32~0.40。

##### （3）自密实混凝土自收缩

由于自密实混凝土水胶比较低、胶凝材料用量较高，导致混凝土自收缩较大，应采取优化配合比，加强养护等措施，预防或减少自收

缩引起的裂缝。

### 3.2 技术指标

#### (1) 原材料的技术要求

##### 1) 胶凝材料

水泥选用较稳定的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；掺合料是自密实混凝土不可缺少的组分之一。一般常用的掺合料有粉煤灰、磨细矿渣、硅灰、粒化高炉矿渣粉、石灰石粉等，也可掺入复合掺合料，复合掺合料宜满足《混凝土用复合掺合料》JG/T486 中易流型或普通型 I 级的要求。胶凝材料总量宜控制在  $400 \text{ kg/m}^3 \sim 550 \text{ kg/m}^3$ 。

##### 2) 细骨料

细骨料质量控制应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 以及《混凝土质量控制标准》GB50164的要求。

##### 3) 粗骨料

粗骨料宜采用连续级配或 2 个及以上单粒级配搭配使用，粗骨料的~~最大~~粒径一般以小于 20mm 为宜，尽可能选用圆形且不含或少含针、片状颗粒的骨料；对于配筋密集的竖向构件、复杂形状的结构以及有特殊要求的工程，粗骨料的~~最大~~公称粒径不宜大于 16mm

##### 4) 外加剂

自密实混凝土具备的高流动性、抗离析性、间隙通过性和填充性这四个~~方面~~都需要以外加剂为主的手段来实现。减水剂宜优先采用高性能减水剂。对减水剂的主要要求为：与水泥的相容性好，减水率大，并具有缓凝、保塑的特性。

#### (2) 自密实性能主要技术指标

对于泵送浇筑施工的工程，应根据构件形状与尺寸、构件的配筋等情况确定混凝土坍落扩展度。对于从顶部浇筑的无配筋或配筋较少

的混凝土结构物(如平板)以及无需水平长距离流动的竖向结构物(如承台和一些深基础),混凝土坍落扩展度应满足 550~655mm 对于一般的普通钢筋混凝土结构以及混凝土结构坍落扩展度应满足 660~755mm 对于结构截面较小的竖向构件、形状复杂的结构等,混凝土坍落扩展度应满足 760m~850mm 对于配筋密集的结构或有较高混凝土外观性能要求的结构,扩展时间  $T_{500}$  (s) 应不大于 2s。其他技术指标应满足《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的要求。

### 3.3 适用范围

自密实混凝土适用于浇筑量大,浇筑深度和高度大的工程结构;配筋密集、结构复杂、薄壁、钢管混凝土等施工空间受限制的工程结构;工程进度紧、环境噪声受限制或普通混凝土不能实现的工程结构。

## 4 再生骨料混凝土技术

### 4.1 技术内容

掺用再生骨料配制而成的混凝土称为再生骨料混凝土,简称再生混凝土。科学合理地利利用建筑废弃物回收生产的再生骨料以制备再生骨料混凝土,一直是世界各国致力研究的方向,日本等国家已经基本形成完备的产业链。随着我国环境压力严峻、建材资源面临日益紧张的局势,如何寻求可用的非常规骨料作为工程建设混凝土用骨料的有效补充已迫在眉睫,再生骨料成为可行选择之一。

#### (1) 再生骨料质量控制技术

1) 再生骨料质量应符合国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 或《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T25176 的规定,制备混凝土用再生骨料应同时符合行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T240 相关规定。

2) 由于建筑废弃物来源的复杂性,各地技术及产业发达程度差异



和受加工处理的客观条件限制，部分再生骨料某些指标可能不能满足现行国家标准的要求，须经过试配验证后，可用于配制垫层等非结构混凝土或强度等级较低的结构混凝土。

## (2) 再生骨料普通混凝土配制技术

设计配制再生骨料普通混凝土时，可参照行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T240 相关规定进行。

### 4.2 技术指标

(1) 再生骨料混凝土的拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能、强度检验评定及耐久性检验评定等，应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

(2) 再生骨料普通混凝土进行设计取值时，可参照以下要求进行：

1) 再生骨料混凝土的轴心抗压强度标准值、轴心抗压强度设计值、轴心抗拉强度标准值、轴心抗拉强度设计值、剪切变形模量和泊松比均可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定取值。

2) 仅掺用 I 类再生粗骨料配制的混凝土，其受压和受拉弹性模量可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取值；其他类别再生骨料配制的再生骨料混凝土，其弹性模量宜通过试验确定，在缺乏试验条件或技术资料时，可按表 1 的规定取值。

表 1 再生骨料普通混凝土弹性模量

强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40
弹性模量 ( $\times 10^4$ N/mm)	1.83	08	27	42	53	63

3) 再生骨料混凝土的温度线膨胀系数、比热容和导热系数宜通过试验确定。当缺乏试验条件或技术资料时，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《民用建筑热工设计规范》GB 50176

### 4.3 适用范围

我国目前实际生产应用的再生骨料大部分为 II 类及以下再生骨料，宜用于配制 C40 及以下强度等级的非预应力普通混凝土。鼓励再生骨料混凝土大规模用于垫层等非结构混凝土。

## 5 混凝土裂缝控制技术

### 5.1 技术内容

混凝土裂缝控制与结构设计、材料选择和施工工艺等多个环节相关。结构设计主要涉及结构形式、配筋、构造措施及超长混凝土结构的裂缝控制技术；材料方面主要涉及混凝土原材料控制和优选、配合比设计优化；施工方面主要涉及施工缝与后浇带、混凝土浇筑、水化热温升控制、综合养护技术等。

#### (1) 结构设计对超长结构混凝土的裂缝控制要求

超长混凝土结构如不在结构与工程施工阶段采取有效措施，将会引起不可控制的非结构性裂缝，严重影响结构外观、使用功能和结构的耐久性。超长结构产生非结构性裂缝的主要原因是混凝土收缩、环境温度变化在结构上引起的温差变形与下部竖向结构的水平约束刚度的影响。

为控制超长结构的裂缝，应在结构设计阶段采取有效的技术措施。主要应考虑以下几点：

1) 对超长结构宜进行温度应力验算，温度应力验算时应考虑下部结构水平刚度对变形的约束作用、结构合拢后的最大温升与温降及混凝土收缩带来的不利影响，并应考虑混凝土结构徐变对减少结构裂缝的有利因素与混凝土开裂对结构截面刚度的折减影响。

2) 为有效减少超长结构的裂缝，对大柱网公共建筑可考虑在楼

楼盖结构的框架梁应采用有粘接预应力技术，也可在楼板内配置构造无粘接预应力钢筋，建立预压力，以减小由于温度降温引起的拉应力，对裂缝进行有效控制。除了施加预应力以外，还可适当加强构造配筋、采用纤维混凝土等用于减小超长结构裂缝的技术措施。

3) 设计时应应对混凝土结构施工提出要求，如对大面积底板混凝土浇筑时采用分仓法施工、对超长结构采用设置后浇带与加强带，以减少混凝土收缩对超长结构裂缝的影响。当大体积混凝土置于岩石地基上时，宜在混凝土垫层上设置滑动层，以达到减少岩石地基对大体积混凝土的约束作用。

## (2) 原材料要求

1) 水泥宜采用符合现行国家标准规定的普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥；大体积混凝土宜采用低热矿渣硅酸盐水泥或中、低热硅酸盐水泥，也可使用硅酸盐水泥同时复合大掺量的矿物掺合料。水泥比表面积宜小于  $350\text{m}^2/\text{kg}$ ，水泥碱含量应小于 0.6%；用于生产混凝土的水泥温度不宜高于  $60^\circ\text{C}$ ，不应使用温度高于  $60^\circ\text{C}$  的水泥拌制混凝土。

2) 应采用二级或多级级配粗骨料，粗骨料的堆积密度宜大于  $1500\text{kg}/\text{m}^3$ ，紧密堆积密度的空隙率宜小于 40%。骨料不宜直接露天堆放、暴晒，宜分级堆放，堆场上方宜设罩棚。高温季节，骨料使用温度不宜高于  $28^\circ\text{C}$ 。

3) 根据需要，可掺加短钢纤维或合成纤维的混凝土裂缝控制技术措施。合成纤维主要是抑制混凝土早期塑性裂缝的发展，钢纤维的掺入能显著提高混凝土的抗拉强度、抗弯强度、抗疲劳特性及耐久性；纤维的长度、长径比、表面性状、截面性能和力学性能等应符合国家有关标准的规定，并根据工程特点和制备混凝土的性能选择不同的纤

4) 宜采用高性能减水剂，并根据不同季节和不同施工工艺分别选用标准型、缓凝型或防冻型产品。高性能减水剂引入混凝土中的碱含量（以  $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$  计）应小于  $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ ；引入混凝土中的氯离子含量应小于  $0.02\text{kg}/\text{m}^3$ ；引入混凝土中的硫酸盐含量（以  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  计）应小于  $0.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5) 采用的粉煤灰矿物掺合料，应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB1596的规定。粉煤灰的级别不宜低于Ⅱ级，且粉煤灰的需水量比不宜大于 100%，烧失量宜小于 5%。

6) 采用的矿渣粉矿物掺合料，应符合《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046 的规定。矿渣粉的比表面积宜小于  $450\text{m}^2/\text{kg}$ ，流动度比应大于 95%，28d 活性指数不宜小于 95%。

### (3) 配合比要求

1) 混凝土配合比应根据原材料品质、混凝土强度等级、混凝土耐久性以及施工工艺对工作性的要求，通过计算、试配、调整等步骤选定。

2) 配合比设计中应控制胶凝材料用量，C60 以下混凝土最大胶凝材料用量不宜大于  $550\text{kg}/\text{m}^3$ ，C60、C65 混凝土胶凝材料用量不宜大于  $560\text{kg}/\text{m}^3$ ，C70、C75、C80 混凝土胶凝材料用量不宜大于  $580\text{kg}/\text{m}^3$ ，自密实混凝土胶凝材料用量不宜大于  $600\text{kg}/\text{m}^3$ ；混凝土最大水胶比不宜大于 0.45。

3) 对于大体积混凝土，应采用大掺量矿物掺合料技术，矿渣粉和粉煤灰宜复合使用。

4) 纤维混凝土的配合比设计应满足《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T221 的要求。

)配制的混凝土除满足抗压强度、抗渗等级等常规设计指标外,还应考虑满足抗裂性指标要求。

#### (4) 大体积混凝土设计龄期

大体积混凝土宜采用长龄期强度作为配合比设计、强度评定和验收的依据。基础大体积混凝土强度龄期可取为 60d(56d)或 90d;柱、墙大体积混凝土强度等级不低于 C80时,强度龄期可取为 60d(56d)。

#### (5) 施工要求

1) 大体积混凝土施工前,宜对施工阶段混凝土浇筑体的温度、温度应力和收缩应力进行计算,确定施工阶段混凝土浇筑体的温升峰值、里表温差及降温速率的控制指标,制定相应的温控技术措施。

一般情况下,温控指标宜符合下列要求:夏(热)期施工时,混凝土入模前模板和钢筋的温度以及附近的局部气温不宜高于 40℃,混凝土入模温度不宜高于 30℃,混凝土浇筑体最大温升值不宜大于 50℃;在覆盖养护期间,混凝土浇筑体的表面以内(40~100mm)位置处温度与浇筑体表面的温度差值不应大于 25℃;结束覆盖养护后,混凝土浇筑体表面以内(40-100mm)位置处温度与环境温度差值不应大于 25℃;浇筑体养护期间内部相邻二点的温度差值不应大于 25℃;混凝土浇筑体的降温速率不宜大于 0℃/d。

基础大体积混凝土测温点设置和柱、墙、梁大体积混凝土测温点设置及测温要求应符合《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的要求。

2) 超长混凝土结构施工前,应按设计要求采取减少混凝土收缩的技术措施,当设计无规定时,宜采用下列方法:

分仓法施工:对大面积、大厚度的底板可采用留设施工缝分仓浇筑,分仓区段长度不宜大于 40m,地下室侧墙分段长度不宜大于 16m,

7d，跳仓接缝处按施工缝的要求设置和处理。

后浇带施工：对超长结构一般应每隔 40~60m 设一宽度为 700~1000mm 的后浇带，缝内钢筋可采用直通或搭接连接；后浇带的封闭时间不宜少于 45d；后浇带封闭施工时应清除缝内杂物，采用强度提高一个等级的无收缩或微膨胀混凝土进行浇筑。

3) 在高温季节浇筑混凝土时，混凝土入模温度应低于 30℃，应避免模板和新浇筑的混凝土直接受阳光照射；混凝土入模前模板和钢筋的温度以及附近的局部气温均不应超过 40℃；混凝土成型后应及时覆盖，并应尽可能避开炎热的白天浇筑混凝土。

4) 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，防止混凝土表面失水过快，此时应避免浇筑有较大暴露面积的构件；雨期施工时，必须有防雨措施。

6) 混凝土的拆模时间除考虑拆模时的混凝土强度外，还应考虑拆模时的混凝土温度不能过高，以免混凝土表面接触空气时降温过快而开裂，更不能在此时浇凉水养护；混凝土内部开始降温以前以及混凝土内部温度最高时不得拆模。

一般情况下，结构或构件混凝土的里表温差大于 25℃、混凝土表面与大气温差大于 20℃ 时不宜拆模；大风或气温急剧变化时不宜拆模；在炎热和大风干燥季节，应采取逐段拆模、边拆边盖的拆模工艺。

7) 混凝土综合养护技术措施。对于高强混凝土，由于水胶比较低，可采用混凝土内掺养护剂的技术措施；对于竖向等结构，为避免间断浇水导致混凝土表面干湿交替对混凝土的不利影响，可采取外包节水养护膜的技术措施，保证混凝土表面的持续湿润。

) 纤维混凝土的施工应满足《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T221 的规定。

## 5.2 技术指标

混凝土的工作性、强度、耐久性等应满足设计要求，关于混凝土抗裂性能的检测评价方法主要方法如下：

(1) 圆环抗裂试验，见《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES01附录 A1；

(2) 平板诱导试验，见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082

(3) 混凝土收缩试验，见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082。

## 5.3 适用范围

适用于各种混凝土结构工程，特别是超长混凝土结构，如工业与民用建筑、隧道、码头、桥梁及高层、超高层混凝土结构等。

# 6 超高泵送混凝土技术

## 6.1 技术内容

超高泵送混凝土技术，一般是指泵送高度超过 200m 的现代混凝土泵送技术。近年来，随着经济和社会发展，超高泵送混凝土的建筑工程越来越多，因而超高泵送混凝土技术已成为现代建筑施工中的关键技术之一。超高泵送混凝土技术是一项综合技术，包含混凝土制备技术、泵送参数计算、泵送设备选定与调试、泵管布设和泵送过程控制等内容。

### (1) 原材料的选择

宜选择  $C_2$  含量高的水泥，对于提高混凝土的流动性和减少坍塌度损失有显著的效果；粗骨料宜选用连续级配，应控制针片状含量，

而且要考虑最大粒径与泵送管径之比，对于高强混凝土，应控制最大粒径范围；细骨料宜选用中砂，因为细砂会使混凝土变得粘稠，而粗砂容易使混凝土离析；采用性能优良的矿物掺合料，如矿粉、I级粉煤灰、I级复合掺合料或易流型复合掺合料、硅灰等，高强泵送混凝土宜优先选用能降低混凝土粘性的矿物外加剂和化学外加剂，矿物外加剂可选用降粘增强剂等，化学外加剂可选用降粘型减水剂，可使混凝土获得良好的工作性；减水剂应优先选用减水率高、保塑时间长的聚羧酸系减水剂，必要时掺加引气剂，减水剂应与水泥和掺合料有良好的相容性。

## （2）混凝土的制备

通过原材料优选、配合比优化设计和工艺措施，使制备的混凝土具有较好的和易性，流动性高，虽粘度较小，但无离析泌水现象，因而有较小的流动阻力，易于泵送。

## （3）泵送设备的选择和泵管的布设

泵送设备的选定应参照《混凝土泵送施工技术规范》JGJ/T10中规定的技术要求，首先要进行泵送参数的验算，包括混凝土输送泵的型号和泵送能力，水平管压力损失、垂直管压力损失、特殊管的压力损失和泵送效率等。对泵送设备与泵管的要求为：

- 1) 宜选用大功率、超高压的 S 阀结构混凝土泵，其混凝土出口压力满足超高层混凝土泵送阻力要求；
- 2) 应选配耐高压、高耐磨的混凝土输送管道；
- 3) 应选配耐高压管卡及其密封件；
- 4) 应采用高耐磨的 S 管阀与眼镜板等配件；
- 5) 混凝土泵基础必须浇筑坚固并固定牢固，以承受巨大的反作用力，混凝土出口布管应有利于减轻泵头承载；



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/135343110234012013>