

重庆市工程建设标准

高性能混凝土应用技术标准

Technical specification for high performance concrete

DBJ50/T-389-2021

主编单位:中冶建工集团有限公司

重庆市建筑科学研究院有限公司

批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期:2021年11月1日

2021 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2021〕15号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《高性能混凝土应用技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《高性能混凝土应用技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-389-2021,自2021年11月1日起施行。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,中冶建工集团有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2021年7月19日

重庆工程建设

前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2016 年度重庆市工程建设标准制定修订项目计划(第二批)的通知》(渝建[2016]378 号)文件要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国家标准,并在广泛充分征求意见的基础上,制定本标准。

本标准共分 8 章。主要技术内容:1 总则;2 术语;3 基本规定;4 原材料;5 性能要求;6 配合比设计;7 生产与施工;8 检验与验收。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,中冶建工集团有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈给中冶建工集团有限公司(地址:重庆市大渡口区西城大道 1 号,邮编:400084,电话:023-68825547,传真:023-68825547)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主编单位：中冶建工集团有限公司

重庆市建筑科学研究院有限公司

参编单位：重庆大学

重庆市住房和城乡建设工程质量总站

重庆市混凝土协会

重庆市建设工程质量检验检测中心

重庆市拓业建设工程质量检测有限公司

重庆建工建材物流有限公司

重庆交通大学

重庆中建西部建设有限公司

重庆富普新材料有限公司

重庆建工住宅建设有限公司

重庆矜磊混凝土有限公司

重庆建工第十一建筑工程有限责任公司

重庆建研科之杰新材料有限公司

重庆建设工程质量监督检测中心有限公司

重庆市轨道交通(集团)有限公司

重庆华力建设有限公司

主要起草人：刘从学 张京街 邓雄军 姜宝仁 叶建雄

常仕文 班克成 李志坤 宋开伟 张航

焦云义 石从黎 王明月 张意 高峰

黄小文 王镜尧 李文科 郑泽伟 成慧

李德胜 刘大超 任增洲 曹猛 向晓斌

王福龙 余林文 于泽东 潘群 郑华华

齐富贵 刘立 张智瑞 李健民 曾维军

主要审查人：杨长辉 王自强 王瑞燕 姜洪麟 龚文璞

邹时畅 尹飞云

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	原材料	4
4.1	水泥	4
4.2	矿物掺合料	4
4.3	细骨料	5
4.4	粗骨料	6
4.5	外加剂	8
4.6	纤维	8
4.7	水	8
5	性能要求	9
5.1	拌合物性能	9
5.2	力学性能	11
5.3	耐久性能	11
6	配合比设计	20
6.1	一般规定	20
6.2	高性能混凝土配合比设计	21
7	生产与施工	24
7.1	生产	24
7.2	施工	25
7.3	养护	27
8	检验与验收	29
8.1	检验	29

8.2 验收	33
本标准用词说明	34
引用标准名录	35
条文说明	37

重庆工程建筑

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Basic rules	3
4	Raw materials	4
4.1	Cements	4
4.2	Mineral admixtures	4
4.3	Fine aggregates	5
4.4	Coarse aggregates	6
4.5	Chemical admixtures	8
4.6	Fibers	8
4.7	Water	8
5	Performance requirements	9
5.1	Mixture performances	9
5.2	Mechanical properties	11
5.3	Durabilities	11
6	Mix design	20
6.1	Basic requirements	20
6.2	Mix design	21
7	Production and construction	24
7.1	Production	24
7.2	Construction	25
7.3	Curing	27
8	Inspection and acceptance	29
8.1	Inspection	29

8.2 Acceptance	33
Explanation of Wording in this code	34
List of quoted standards	35
Explanation of provisions	37

重庆工程建筑

1 总 则

1.0.1 为促进高性能混凝土在重庆市建设工程中的应用,做到技术先进、经济合理、安全适用,保证混凝土工程质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于高性能混凝土的原材料、配合比设计、生产、施工、检验和验收。

1.0.3 高性能混凝土在建设工程中的应用,除应符合本标准外,尚应符合国家和重庆市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,制成具有优异的拌合物性能、力学性能、耐久性能和长期性能的混凝土。

2.0.2 混凝土工作性能 workability of concrete

混凝土满足施工要求、适宜于施工操作的性能的总称。

2.0.3 混凝土耐久性 durability of concrete

混凝土在所处工作环境下,长期抵抗内、外环境介质的作用,保持其应有的结构性能和外观完整性的能力。

2.0.4 人工砂需水量比 water requirement of artificial sand

人工砂与中国 ISO 标准砂在规定水泥胶砂流动度偏差下的用水量之比,用于综合判定人工砂级配、粒形、吸水率和石粉吸附性能的指标。

2.0.5 粗骨料不规则颗粒 irregular particle in coarse aggregate

卵石、碎石颗粒最小一维尺寸小于该颗粒所属相应粒级的平均粒径 0.5 倍的颗粒。

3 基本规定

3.0.1 高性能混凝土的拌合物性能、力学性能、耐久性能与长期性能应满足设计要求。

3.0.2 高性能混凝土生产企业应建立健全质量保证体系,具备原材料、生产、运输等环节的质量控制能力。

3.0.3 高性能混凝土生产企业应符合《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 规定的绿色生产评价二星级及以上要求。

3.0.4 高性能混凝土强度等级不应低于 C30,耐久性设计至少应包含混凝土早期抗裂性、抗碳化性能、抗氯离子渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能。

3.0.5 生产企业在供应高性能混凝土前应提供原材料性能检验报告及混凝土配合比设计报告,且报告内容应符合本标准技术要求。

3.0.6 高性能混凝土所用原材料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 原材料

4.1 水泥

4.1.1 高性能混凝土宜采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,其质量应符合现行国家标准的规定。

4.1.2 用于高性能混凝土的水泥强度等级不应低于 42.5 级,生产厂家应注明水泥中的混合材品种和掺量及石膏品种和掺量。

4.1.3 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的比表面积不宜大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$,水泥熟料中的 C_3A 含量不宜大于 8%。

4.1.4 水泥使用温度不宜高于 60°C 。

4.2 矿物掺合料

4.2.1 高性能混凝土宜掺加粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、复合掺合料等矿物掺合料。

4.2.2 粉煤灰等级不应低于 II 级,其质量应满足现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定。

4.2.3 粒化高炉矿渣粉等级不宜低于 S95 级,其质量应满足现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定。

4.2.4 硅灰质量应满足现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的规定。

4.2.5 复合掺合料质量应满足现行行业标准《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 的规定。

4.3 细骨料

4.3.1 细骨料颗粒级配应符合表 4.3.1 的规定,且细度模数应为 2.3~3.2。

表 4.3.1 细骨料颗粒级配

方孔筛尺寸(mm)	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	筛底
人工砂分级筛余(%)	0~5	10~15	10~25	20~31	20~30	5~15	0~20
天然砂分级筛余(%)	0~10	10~15	10~25	20~31	20~30	5~15	0~10

4.3.2 细骨料按技术要求分为特级和 I 级,细骨料的其他技术要求应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 细骨料技术要求

项目	天然砂		人工砂	
	特级	I 级	特级	I 级
含泥量 _a (按质量计)(%)	≤1.0	≤2.0		
泥块含量(按质量计)(%)	0	≤0.5	0	≤0.5
片状颗粒含量(%)			≤10	≤15
人工砂需水量比 _b (%)			≤115	≤125
坚固性(质量损失)(%)	≤5	≤8	≤5	≤8
单级最大压碎指标(%)			≤20	≤25
表观密度(kg/m ³)	≥2500	≥2500	≥2600	≥2600
松散堆积空隙率(%)	≤41.0	≤43.0	≤41.0	≤43.0
饱和面干吸水率(%)	≤1.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0
云母含量(按质量计)(%)	≤1.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0
含水率(%)	供需双方协商确定		供需双方协商确定	
轻物质含量(按质量计)(%)	≤1.0		≤1.0	
有机物含量	合格		合格	

续表 4.3.2

项目	天然砂		人工砂	
	特级	I级	特级	I级
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO_3 按质量计) ^b (%)	≤ 0.5		≤ 0.5	
氯化物(以氯离子质量计)(%)	≤ 0.01	≤ 0.02	≤ 0.01	≤ 0.02
a 此指标为选择性指标,可由供需双方协商确定是否采用。 b 当细骨料中含有颗粒状的硫酸盐或硫化杂质时,应进行专门检验,确认能满足混凝土耐久性要求后,方能采用;当细骨料中含有黄铁矿时,硫化物及硫酸盐含量(按 SO_3 质量计)不得超过 0.25%。				

4.3.3 细骨料其他性能指标应满足现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 及现行地方标准《混凝土用机制砂质量及检验方法标准》DBJ50/T-150 的规定。

4.3.4 细骨料应进行碱活性检验,对于有预防混凝土碱-骨料反应要求的混凝土工程,不宜采用有碱活性的砂。

4.4 粗骨料

4.4.1 高性能混凝土用粗骨料颗粒级配应符合表 4.4.1 的规定。粗骨料最大粒径根据需要可放大。

表 4.4.1 粗骨料颗粒级配

公称粒径 (mm)	累计筛余(%)						
	方孔筛(mm)						
	2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5
5~19	95~100	80~100	0~15	0			
10~16		95~100	80~100	0~15			
10~20		95~100	85~100		0~15	0	
16~25			95~100	55~70	25~40	0~10	
16~31.5		95~100		85~100			0~10

4.4.2 粗骨料按技术要求分为特级和Ⅰ级,粗骨料的技术要求应符合表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 粗骨料技术要求

项目	卵石		碎石	
	特级	Ⅰ级	特级	Ⅰ级
针、片状颗粒含量(%)	≤3	≤5	≤3	≤5
不规则颗粒含量(%)	≤5	≤10	≤5	≤10
表观密度(kg/m ³)	≥2600	≥2600	≥2600	≥2600
含泥量(按质量计)(%)	≤0.5	≤1.0	≤1.0	≤1.0
泥块含量(按质量计)(%)	0	≤0.2	0	≤0.2
有机物	合格		合格	
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO ₃ 质量计) ^a (%)	≤0.5	≤1.0	≤0.5	≤1.0
吸水率(%)	≤1.0	≤1.5	≤1.0	≤1.5
坚固性(质量损失)(%)	≤5	≤8	≤5	≤8
压碎指标 ^b (%)	≤10	≤15	≤10	≤15
氯化物(以氯离子质量计)(%)	≤0.01	≤0.02	≤0.01	≤0.02
岩石抗压强度	在水饱和状态下,其抗压强度火成岩不应小于 80MPa,变质岩应不小于 60MPa,水成岩应不低于 45MPa			
<p>a 当粗骨料中含有颗粒状的硫酸盐或硫化杂质时,应进行专门检验,确认能满足混凝土耐久性要求后,方能采用。</p> <p>b 当采用干法生产的石灰岩碎石配制 C40 及其以下强度等级大流态混凝土(坍落度大于 180mm)时,碎石的压碎指标可放宽至 20%。</p>				

4.4.3 粗骨料其他性能指标应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 及现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52、《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 的规定。

4.4.4 粗骨料应进行碱活性检验,对于有预防混凝土碱-骨料反

应要求的混凝土工程,不宜采用有碱活性的粗骨料。

4.5 外加剂

4.5.1 高性能混凝土宜采用聚羧酸系高性能减水剂,其性能指标应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。

4.5.2 外加剂掺量应采用工程实际使用的原材料和配合比,参照供方的推荐掺量经试验确定。高效减水剂或高性能减水剂使用前,应检验其与混凝土原材料的相容性,符合要求后再使用。

4.5.3 膨胀剂性能应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的规定。

4.6 纤维

4.6.1 钢纤维应符合现行行业标准《钢纤维混凝土》JG/T 472 和《混凝土用钢纤维》YB/T 151 的规定。

4.6.2 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。

4.7 水

4.7.1 混凝土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。

4.7.2 混凝土养护用水可不检验不溶物和可溶物,其他检验项目应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

5 性能要求

5.1 拌合物性能

5.1.1 混凝土拌合物稠度等级划分

混凝土拌合物坍落度和扩展度的等级划分应符合表 5.1.1-1 和表 5.1.1-2 的规定,施工设计可根据施工要求在稠度等级中选择控制目标值(即坍落度值和扩展度值)。

表 5.1.1-1 混凝土拌合物的坍落度等级划分(mm)

等级	坍落度
S1	10 ~ 40
S2	50 ~ 90
S3	100 ~ 150
S4	160 ~ 210
S5	≥220

表 5.1.1-2 混凝土拌合物的扩展度等级划分(mm)

等级	扩展度
F1	≤340
F2	350 ~ 410
F3	420 ~ 480
F4	490 ~ 550
F5	560 ~ 620
F6	≥630

5.1.2 混凝土拌合物稠度的允许偏差

混凝土稠度实测值应在控制目标值的允许偏差之内。高性能混凝土稠度允许偏差应满足表 5.1.2 的要求。

表 5.1.2 混凝土拌合物坍落度和扩展度的允许偏差 (mm)

项目	控制目标值	允许偏差
坍落度	≤ 40	+ 10
	50 ~ 90	+ 20
	100 ~ 150	+ 20
	≥ 160	+ 30
扩展度	≥ 500	+ 40

5.1.3 高性能混凝土拌合物应拌合均匀,具有良好的工作性和匀质性,不得有分层、离析和泌水现象。

5.1.4 对于具有泵送要求的高性能混凝土,其拌合物坍落度和坍落扩展度应满足结构设计要求和施工要求,坍落度控制目标值不宜大于 210mm,坍落扩展度设计值不宜小于 530mm,2h 坍落度经时损失不宜大于 30mm。

5.1.5 高性能混凝土拌合物的凝结时间应满足施工要求。

5.1.6 高性能混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量实测值应符合表 5.1.6 的要求。

表 5.1.6 高性能混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量
(水泥用量的质量百分比,%)

环境条件	水溶性氯离子最大含量	
	钢筋混凝土	预应力混凝土
干燥环境	0.30	0.06
潮湿但不含氯离子的环境	0.20	
潮湿而含有氯离子的环境、盐渍土环境	0.10	
除冰盐等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06	

5.1.7 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表 5.1.7 的要求。

表 5.1.7 高性能混凝土含气量

粗骨料最大公称粒径(mm)	混凝土含气量(%)
20	≤5.5
25	≤5.0
40	≤4.5

注:含气量从运至施工现场的新拌混凝土中取样用含气量测定仪(气压法)测定,允许误差不应大于+1.0%。

5.2 力学性能

5.2.1 高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值(MPa)划分为C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。高性能混凝土的力学性能应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010的要求。

5.2.2 高性能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。

5.3 耐久性能

5.3.1 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进行确定,高性能混凝土受到多种环境类别共同作用时,应分别满足每种环境类别单独作用下的耐久性要求。高性能混凝土的耐久性应满足设计要求。

5.3.2 高性能混凝土中最大碱含量不宜大于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.3.3 高性能混凝土耐久性能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。

5.3.4 混凝土耐久性能等级划分应符合下列要求:

1 混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能、抗水渗透性能和抗冻性能的等级划分应符合表5.3.4-1的规定。

表 5.3.4-1 混凝土抗硫酸盐侵蚀性能、抗水渗透性能和抗冻性能的等级划分

抗冻等级(快冻法)		抗冻标号(慢冻法)	抗渗等级	抗硫酸盐等级
F50	F250	D50	P4	KS30
F100	F300	D100	P6	KS60
F150	F350	D150	P8	KS90
F200	F400	D200	P10	KS120
>F400		>D200	P12	KS150
			>P12	>KS150

2 混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分应符合表 5.3.4-2 的规定。

- 1) 当采用氯离子迁移系数(RCM法)划分混凝土抗氯离子渗透性能等级时,应符合表 5.3.4-2-a 的规定,且混凝土测试龄期应为 84d。

表 5.3.4-2-a 混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分(RCM法)

等级	RCM-I	RCM-II	RCM-III	RCM-IV	RCM-V
氯离子迁移系数 D_{RCM} (RCM法) ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	$D_{RCM} \geq 4.5$	$3.5 \leq D_{RCM} < 4.5$	$2.5 \leq D_{RCM} < 3.5$	$1.5 \leq D_{RCM} < 2.5$	$D_{RCM} < 1.5$

- 2) 当采用电通量划分混凝土抗氯离子渗透性能等级时,应符合表 5.3.4-2-b 的规定,混凝土测试龄期宜为 28d。当混凝土中水泥混合材与矿物掺合料之和超过胶凝材料用量的 50%时,测试龄期可为 56d。

表 5.3.4-2-b 混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分(电通量法)

等级	Q-I	Q-II	Q-III	Q-IV	Q-V
电通量 Q_c (C)	$Q_c \geq 4000$	$2000 \leq Q_c < 4000$	$1000 \leq Q_c < 2000$	$500 \leq Q_c < 1000$	$Q_c < 500$

3 混凝土的抗碳化性能等级划分应符合表 5.3.4-3 的规定。

表 5.3.4-3 混凝土抗碳化性能的等级划分

等级	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
碳化深度 d (mm)	$d \geq 30$	$20 \leq d < 30$	$10 \leq d < 20$	$0.1 \leq d < 10$	$d < 0.1$

4 混凝土早期抗裂性能的等级划分应符合表 5.3.4-4 的规定。

表 5.3.4-4 混凝土早期抗裂性能的等级划分

等级	L-I	L-II	L-III	L-IV	L-V
单位面积上的 总开裂面积 c (mm^2/m^2)	$c \geq 1000$	$700 \leq c < 1000$	$400 \leq c < 700$	$100 \leq c < 400$	$c < 100$

5 对于表 5.3.4-2-a、表 5.3.4-2-b、表 5.3.4-3 和表 5.3.4-4，当设计提出的耐久性要求为等级时，实际控制值应不大于表中等级范围的上限值，当设计提出的耐久性要求为表中等级范围内的具体指标时，实际控制值应不大于这一具体指标。

表 5.3.4-5 耐久性等级代号与混凝土耐久性水平推荐意见

等级代号	I	II	III	IV	V
混凝土耐久性水平推荐意见	差	较差	较好	好	很好

5.3.5 环境类别和作用等级划分

1 在混凝土结构耐久性设计阶段，应对工程及构件所处的水质、土质、气候条件等进行勘察或调查，确定环境的类别及作用等级，为确定高性能混凝土耐久性能指标提供依据。

2 重庆地区结构及构件所处环境按其对钢筋和混凝土材料的腐蚀机理可分为 4 类，并按表 5.3.5-1 确定。

表 5.3.5-1 环境类别

环境类别	名称	腐蚀机理
I	一般环境	保护层混凝土碳化、渗水等引起钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤
III	氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
IV	化学腐蚀环境	硫酸盐、酸雨等化学物质对混凝土的腐蚀

注：一般环境系指无冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质作用。

3 环境对配筋混凝土结构及构件的作用程度应采用环境作用等级表达，并应符合表 5.3.5-2 的规定。

表 5.3.5-2 环境作用等级

环境类别 \ 环境作用等级	环境作用等级					
	A 轻微	B 轻度	C 中度	D 严重	E 非常严重	F 极端严重
一般环境	I-A	I-B	I-C			
冻融环境			II-C			
氯化物环境			III-C	III-D	III-E	
化学腐蚀环境			IV-C	IV-D	IV-E	

4 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要求。

5.3.6 一般环境作用等级及混凝土耐久性能要求

1 一般环境作用等级划分

一般环境对配筋混凝土结构的环境作用等级应根据具体情况按表 5.3.6-1 确定。

表 5.3.6-1 一般环境对配筋混凝土结构的环境作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
I-A	室内干燥环境	常年干燥、低湿度环境中的室内构件； 所有表面均永久处于静水下的构件。
	永久的静水浸没环境	

续表 5.3.6-1

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
I-B	非干湿交替的室内潮湿环境	中、高湿度环境中的室内构件； 不接触或偶尔接触雨水的室外构件； 长期稳定处于湿润土体中的构件。
	非干湿交替的露天环境	
	长期湿润环境	
I-C	干湿交替环境	与冷凝水、露水或与蒸汽时常接触的室内构件； 地下室顶板构件； 表面时常淋雨或时常与水接触的室外构件； 处于水位变动区的构件。

注：①环境条件系指混凝土表面的局部环境；②干燥、低湿度环境指年平均湿度低于60%，中、高湿度环境指年平均湿度大于60%；③干湿交替指混凝土表面经常交替接触到大气和水的环境条件。

配筋混凝土墙、板构件的一侧表面接触室内干燥空气、另一侧表面接触水或湿润土体时，接触空气一侧的环境作用等级宜按干湿交替环境确定。

2 一般环境作用等级下的混凝土耐久性能要求

一般环境下的高性能混凝土耐久性能，应控制在正常大气作用下混凝土碳化、渗水引起的内部钢筋锈蚀。一般环境中满足50年和100年设计使用年限的高性能混凝土耐久性能控制要求应按表5.3.6-2确定。

表 5.3.6-2 一般环境中的混凝土耐久性能要求

环境作用等级	设计使用年限		强度等级		抗渗等级		28d 碳化深度(mm)	
	100年	50年	100年	50年	100年	50年	100年	50年
I-A	≥C30	≥C30	≥P12	≥P12	≤15	≤20		
I-B	≥C35	≥C35	≥P12	≥P12	≤15	≤15		
I-C	≥C40	≥C35	≥P12	≥P12	≤5	≤15		

5.3.7 冻融环境中的环境作用等级及混凝土耐久性能要求

1 冻融环境中的环境作用等级划分

- 1) 长期与水体直接接触并会发生反复冻融的混凝土结构构件,应考虑冻融环境的作用。最冷月平均气温高于 2.5°C 的地区,混凝土结构可不考虑冻融环境作用。
- 2) 冻融环境对混凝土结构的环境作用等级应按表 5.3.7-1 确定。

表 5.3.7-1 冻融环境对混凝土结构的环境作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
II-C	微冻地区的无盐环境 混凝土高度饱水	微冻地区的水位变动区构件和频繁 受雨淋的构件水平表面
	严寒和寒冷地区的无盐环境 混凝土中度饱水	严寒和寒冷地区受雨淋构件的竖向表面

注:①冻融环境按当地最冷月平均气温划分为微冻地区、寒冷地区和严寒地区,其平均气温分别为: $-3^{\circ}\text{C}\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 、 $2.5^{\circ}\text{C}\sim -3^{\circ}\text{C}$ 和 -3°C 以下;②中度饱水指冰冻前偶受水或受潮,混凝土内饱水程度不高;高度饱水指冰冻前长期或频繁接触水或湿润上体,混凝土内高度水饱和;③无盐或有盐指冻结的水中是否含有盐类,包括氯盐、除冰盐或其他盐类。

2 冻融环境作用等级下的混凝土耐久性能要求

冻融环境中满足 50 年和 100 年设计使用年限的混凝土耐久性能控制要求应按表 5.3.7-2 确定。

表 5.3.7-2 冻融环境中的混凝土耐久性能要求

环境作用等级	设计使用年限	强度等级		抗冻等级	
		100 年	50 年	100 年	50 年
II-C		$\geq\text{C}40$	$\geq\text{C}35$	$\geq\text{F}250$	$\geq\text{F}200$

注:C_a35 表示强度等级为 C35 的引气混凝土。

5.3.8 氯化物环境中的环境作用等级及混凝土耐久性能要求

1 氯化物环境中的环境作用等级划分

- 1) 接触含有氯盐的地下水、土以及频繁接触含氯盐消毒剂的配筋混凝土结构的构件,应按除冰盐等其他氯化物环境确定混凝土耐久性指标。降雪地区新建的城市桥梁和停车库楼板,应按除冰盐氯化物环境作用确定混凝土耐久性指标。
- 2) 在确定氯化物环境对配筋混凝土结构构件的作用等级时,不应考虑混凝土表面普通防水层对氯化物的阻隔作用。

2 氯化物环境作用等级下的混凝土耐久性性能要求。

氯化物环境中满足 50 年和 100 年设计使用年限的混凝土耐久性能控制要求应按表 5.3.8-1 确定。

表 5.3.8-1 氯化物环境中的混凝土耐久性要求

设计使用 年限环境作用等级	强度等级		84d 氯离子迁移系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	
	100 年	50 年	100 年	50 年
Ⅲ-C	$\geq \text{C45}$	$\geq \text{C40}$	< 2.5	< 3.0
Ⅲ-D	$\geq \text{C50}$	$\geq \text{C45}$	< 2.5	< 2.5
Ⅲ-E	$\geq \text{C50}$	$\geq \text{C50}$	< 1.5	< 2.0

5.3.9 化学腐蚀环境中的环境作用等级划分及混凝土耐久性要求

1 化学腐蚀环境中的环境作用等级划分

- 1) 受水、土中的硫酸盐和酸类物质影响的混凝土结构构件可按表 5.3.9-1-a 确定环境作用等级,当有多种化学物质共同作用时,应取其中最高的作用等级作为设计的环境作用等级,如其中有两种及以上化学物质的作用等级相同且可能加重化学腐蚀时,其环境作用等级应再提高一级。当混凝土结构构件处于干旱地区,其环境作用等级应按表 5.3.9-1-b 确定。

表 5.3.9-1-a 水、土中硫酸盐和酸类物质环境作用等级

环境作用等级 \ 作用因素	水中硫酸根离子浓度 SO_4^{2-} (mg/L)	土中硫酸根离子浓度(水溶值) SO_4^{2-} (mg/kg)	水中镁离子浓度 (mg/L)	水中酸碱性度 (pH值)	水中侵蚀性二氧化碳浓度 (mg/L)
V-C	200~1000	300~1500	300~1000	6.5~5.5	15~30
V-D	1000~4000	1500~1600	1000~3000	5.5~4.5	30~60
V-E	4000~10000	6000~15000	≥ 3000	< 4.5	60~100

注:①表中与环境作用等级相应的硫酸根浓度,所对应的环境条件为非干旱地区的干湿交替环境;当无干湿交替(长期浸没于地表或地下水中)时,可按表中的作用等级降低一级,但不得低于 V-C 级;对于干旱地区的环境条件可按表 5.3.9-1-b 条确定;②当混凝土结构构件处于弱透水土体中时,土中硫酸根离子、水中镁离子、水中侵蚀性二氧化碳及水的 pH 值的作用等级可按相应的等级降低一级,但不低于 V-C 级;③对含有较高浓度氯盐的地下水、土,可不单独考虑硫酸盐的作用;④高水压条件下,应提高相应的环境作用等级;⑤表中硫酸根等含量的测定方法应符合本规程附录的规定。

表 5.3.9-1-b 干旱地区硫酸盐环境作用等级

环境作用等级 \ 作用因素	水中硫酸根离子浓度 SO_4^{2-} (mg/L)	土中硫酸根离子浓度(水溶值) SO_4^{2-} (mg/kg)
V-C	200~500	300~750
V-D	500~2000	750~3000
V-E	2000~5000	3000~7500

注:干旱区指干燥度系数大于 2.0 的地区。

2) 污水管道、厕所、化粪池等接触硫化氢气体或其他腐蚀性液体的混凝土结构构件,将环境作用确定为 V-E 级,当作用程度较轻时也可按 V-D 级确定。

3) 大气污染环境对混凝土结构的作用等级可按表 5.3.9-1-c 确定。

表 5.3.9-1-c 大气污染环境作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
V-C	汽车或机车废气	受废气直射的结构构件,处于封闭空间内受废气作用的车库或隧道构件
V-D	酸雨(雾、露)pH值 ≥ 4.5	遭酸雨频繁作用的构件
V-E	酸雨 pH 值 < 4.5	遭酸雨频繁作用的构件

4) 处于含盐大气中的混凝土结构构件环境作用等级可按 V-C 级确定,对气候常年湿润的环境,可不考虑其环境作用。

2 化学腐蚀环境作用等级下的混凝土耐久性性能要求

1) 化学腐蚀环境下的混凝土不宜单独使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥作为胶凝材料,其原材料组成应根据环境类别和作用等级按照本规程中的原材料控制要求进行。

2) 在干旱硫酸盐环境和含盐大气环境中的混凝土结构,宜采用引气混凝土,引气要求不宜超过 5%。

3) 化学腐蚀环境中满足 50 年和 100 年设计使用年限的混凝土耐久性性能控制要求应按表 5.3.9-2 确定。

表 5.3.9-2 化学腐蚀环境中的混凝土耐久性要求

设计使用年限 环境作用等级	强度等级		对于非地下环境,84d 氯离子迁移系数 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)		对于地下环境, 56d 电通量 (C)		对于硫酸盐环境,抗硫酸盐等级	
	100 年	50 年	100 年	50 年	100 年	50 年	100 年	50 年
V-C	$\geq \text{C45}$	$\geq \text{C40}$	≤ 3.5	≤ 4.0	≤ 1500	≤ 2000	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS120}$
V-D	$\geq \text{C50}$	$\geq \text{C45}$	≤ 2.0	≤ 2.5	≤ 1000	≤ 1200	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS150}$
V-E	$\geq \text{C55}$	$\geq \text{C50}$	≤ 1.5	≤ 2.0	≤ 800	≤ 1000	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS150}$

注:①在干旱硫酸盐环境和含盐大气环境中的混凝土构件,宜采用引气混凝土。②表中 84d 氯离子迁移系数与 56d 电通量($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)不具有相关性,不可相互替代。

5.3.10 高性能混凝土 180d 干燥收缩率不宜超过 0.045%。

5.3.11 高性能混凝土早期抗裂性能不宜低于 I-III 级。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 高性能混凝土配合比设计时应考虑结构设计使用年限、环境条件、应用结构特点、施工工艺等因素,其拌合物性能、力学性能、变形性能和耐久性应满足工程设计和施工要求。

6.1.2 高性能混凝土力学性能设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定,耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

6.1.3 高性能混凝土用水量不宜大于 $170\text{kg}/\text{m}^3$,水胶比不应大于 0.45,胶凝材料总量宜采用 $330\text{kg}/\text{m}^3 \sim 580\text{kg}/\text{m}^3$ 。砂率宜采用 38%~42%,当采用机制砂时,砂率可适当增大。减水剂掺量应根据工作性要求确定。

6.1.4 应根据环境类别与水胶比确定高性能混凝土中矿物掺合料的种类和掺量。粉煤灰、矿渣粉及硅灰的最小掺量分别为 10%、10%和 3%,粉煤灰、矿渣粉、硅灰及复合掺合料最大掺量应符合表 6.1.4 的规定。选用其他矿物掺合料时,掺量应通过试验确定。

表 6.1.4 矿物掺合料的推荐掺量上限(以胶凝材料总质量的百分率计,%)

矿物掺合料种类	水胶比 ≤ 0.40	水胶比 > 0.40
粉煤灰	35	30
矿渣粉	55	45
硅灰	10	10
复合掺合料	55	45

注:复合掺合料中各组分的掺量不宜超过任一组分单掺时的上限掺量。

6.2 高性能混凝土配合比设计

6.2.1 高性能混凝土的试配强度应满足现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定。

6.2.2 一般环境下,高性能混凝土强度等级与最大水胶比应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 一般环境下高性能混凝土的最大水胶比

环境作用等级		混凝土强度等级	水胶比
50 年	I-B	$\geq C30$	0.45
	I-C		
100 年	I-B	$\geq C35$	0.42
	I-C	$\geq C40$	0.40

6.2.3 一般环境下,高性能混凝土 28 天碳化深度应符合表 5.3.4-3 的规定,28 天电通量应符合表 6.2.3 的规定。对矿物掺合料掺量大于 30% 的高性能混凝土,宜在 56 天龄期时进行碳化和电通量试验并予以评价。

表 6.2.3 一般环境下高性能混凝土电通量(C)

设计使用年限	混凝土强度等级	
	$\geq C30, < C60$	$\geq C60$
50 年	≤ 2000	≤ 1500
100 年	≤ 1500	≤ 1000

6.2.4 冻融环境、氯盐环境及硫酸盐环境下,高性能混凝土强度等级与最大水胶比应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定。

6.2.5 冻融环境下,当高性能混凝土的水胶比大于 0.30 时,应

掺入引气剂或引气型减水剂,使混凝土含气量达到 3%~5%。

6.2.6 高性能混凝土中氯离子含量应小于胶凝材料的 0.06%,矿物掺合料的掺量不宜低于 30%。

6.2.7 硫酸盐环境下高性能混凝土的配制宜选用抗硫酸盐水泥或 C_2S 含量小于 55%、 C_3A 含量小于 5% 的普通硅酸盐水泥,且宜提高矿物掺合料的掺量。

6.2.8 高性能混凝土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 规定进行,宜采用质量法计算混凝土中粗、细骨料用量。

6.2.9 配合比的试配、调整与确定应符合以下规定:

1 配合比的试配应采用工程实际使用的原材料,每盘混凝土试配用量应根据所需设计耐久性指标的项目最低试验量确定,但不应小于 20L。

2 在计算配合比的基础上应进行试拌。进行配合比试拌时,宜保持计算的水胶比不变,可调整混凝土配合比其他参数使拌合物性能满足设计与施工要求,然后修正计算配合比,得到初步确定各项配合比参数的试拌配合比。

3 应采用至少三个不同试配配合比进行混凝土强度和耐久性性能试验,其中一个为确定的试拌配合比,其他配合比的水胶比宜较试拌配合比分别增加和减少,调整幅度宜符合表 6.2.9 的规定,用水量应与试拌配合比相同,砂率 and 外加剂掺量可根据拌合物性能作相应增减。

表 6.2.9 试配配合比水胶比调整

混凝土强度等级	水胶比调整幅度
C30~C40	+ (0.015 ~ 0.050)
C45~C55	+ (0.010 ~ 0.030)
C60 及以上	+ (0.010 ~ 0.015)

4 根据试配配合比混凝土性能结果,选取混凝土工作性、

28d 抗压强度(大体积混凝土宜采用 60d 或 90d 抗压强度)、耐久性指标和经济性均能满足要求的配合比,作为设计配合比。

5 应对选定的设计配合比的每立方米原材料用量进行校正,校正方法宜按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定进行。

重庆工程集团

7 生产与施工

7.1 生产

7.1.1 生产、运输设备应符合现行国家标准《混凝土搅拌站(楼)》GB/T 10171、《混凝土搅拌机》GB/T 9142、《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408 和现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 的规定。

7.1.2 原材料进场时,应按批检查其规格、型号、外观和质量证明文件等。按批取样复验,检验合格后方可使用。

7.1.3 原材料应按材料名称、品种、等级、生产厂家或产地分别标识和贮存,不得混装,并采取防雨、防潮及防污染措施。原材料的存放、装卸和场内运输应采取防尘和降噪措施,满足环境保护要求。

7.1.4 混凝土生产时,应严格控制粉尘、废水、废浆和噪声排放,废水、废浆和废弃混凝土的处理应符合《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 的规定。

7.1.5 原材料计量允许偏差应符合表 7.1.5 的规定,原材料计量偏差应每班检查 1 次。

表 7.1.5 原材料允许计量偏差

原材料品种	水泥	骨料	水	外加剂	掺合料	纤维
每盘计量允许偏差,%	+2	+3	+1	+1	+2	+1
累计计量允许偏差,%	+1	+2	+1	+1	+1	+1

备注:累计计量偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量和的偏差。

7.1.6 搅拌应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902、《混

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。

7.1.7 混凝土运输应符合以下规定：

1 混凝土生产企业应制定运输管理制度，合理指挥调度车辆；

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；

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经试验确定；

4 寒冷或炎热天气情况下，搅拌运输车的搅拌罐宜有保温或隔热措施。

7.1.8 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。

7.2 施工

7.2.1 高性能混凝土浇筑前，施工单位应根据工程特点、环境条件、施工工艺与施工条件制定专项施工方案。

7.2.2 夏季天气炎热时，宜选择晚间或夜间浇筑混凝土，混凝土入模温度不宜大于 30℃。当冬期施工时，拌合物入模温度不应低于 5℃，并应有保温措施。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。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。

7.2.3 高性能混凝土泵送时，输送泵的泵压应与混凝土拌合物特性和泵送高度相匹配，输送管最小内径应符合表 7.2.3 的规定。输送管应支撑稳定，不漏浆，冬期应有保温措施，夏季施工现场气温高于 35℃时，应有隔热措施。

表 7.2.3 泵送高性能混凝土的输送管最小内径

粗骨料最大公称粒径(mm)	输送管最小内径(mm)
25	125
40	150

7.2.4 不同配合比或不同强度等级泵送混凝土在同一时间段交替浇筑时,输送管道中的混凝土不得混入其他不同配合比或不同强度等级混凝土。

7.2.5 高性能混凝土泵送自由倾落高度大于 3.0m 时,宜采用串筒、溜管或振动溜管等辅助设备,避免混凝土离析;浇筑竖向尺寸较大的结构物时,应分层浇筑,每层浇筑厚度宜控制在 300mm~350mm;浇筑大体积混凝土时,可利用自然流淌形成斜坡沿高度均匀上升,分层厚度不应大于 350mm;高性能混凝土分层浇筑的间隙时间不得超过 90min,并不得随意留置施工缝。

7.2.6 混凝土振捣宜采用机械振捣。当施工无特殊振捣要求时,可采用振捣棒进行捣实;当浇筑厚度不大于 200mm 的表面积较大的平面结构或构件时,宜采用表面振动成型;当采用干硬性混凝土拌合物浇筑混凝土制品时,宜采用振动台或表面加压振动成型。

7.2.7 高性能混凝土拌合物从搅拌机卸出后到浇筑完毕的延续时间不宜超过表 7.2.7 的规定。

表 7.2.7 高性能混凝土从搅拌机卸出后到浇筑完毕的延续时间(min)

混凝土生产地点	气温	
	≤25℃	>25℃
预拌混凝土搅拌站	150	120
施工现场	120	90
混凝土制品厂	90	60

7.2.8 混凝土试件应在浇筑地点随机取样,混凝土取样应按现

行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。

7.2.9 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宜小于 500mm;现浇对接处可设置密孔钢丝网拦截混凝土拌合物,浇筑时应先浇高强度等级混凝土,后浇低强度等级混凝土;低强度等级混凝土不得流入高强度等级混凝土构件中。

7.2.10 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。

7.3 养 护

7.3.1 现浇混凝土可采用浇水、覆盖保湿、喷涂养护剂、冬季蓄热养护等方法进行养护,施工现场应提前做好混凝土养护用材料及装置。混凝土构件或制品可采用蒸汽养护、湿热养护或潮湿自然养护等方法进行养护。

7.3.2 采用塑料薄膜覆盖养护时,混凝土全部表面应覆盖严密,并保持膜内有凝结水;当采用混凝土养护剂进行养护时,养护剂的有效保水率不应小于 90%,7d 和 28d 抗压强度比均不应小于 95%。

7.3.3 养护用水温度与混凝土表面温度之间的温差不应大于 20℃。

7.3.4 混凝土施工养护时间应符合下列规定:

1 采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土,浇水和潮湿覆盖的养护时间不得少于 7d;

2 采用粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥配制的混凝土,或掺加缓凝剂的混凝土以及大掺量矿物掺合料混凝土,浇水和潮湿覆盖的养护时间不得少于 14d;

3 竖向混凝土结构养护时间宜适当延长。

7.3.5 混凝土构件或制品的养护应符合下列规定：

1 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；

2 采用蒸汽养护时，应分为静停、升温、恒温和降温四个养护阶段；混凝土成型后的静停时间不宜少于 2h，升温速度不宜超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，降温速度不宜超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，最高和恒温温度不宜超过 65°C ；混凝土构件或制品在出池或撤除养护措施前，应进行温度测量，当表面与外界温差不大于 20°C 时，构件方可出池或撤除养护措施。

7.3.6 大体积混凝土养护应进行内部温度、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措施，控制混凝土内部和表面温差不宜超过 25°C ，表面与外界温差不宜大于 20°C 。

7.3.7 冬期施工混凝土养护应符合下列规定：

1 日均气温低于 5°C 时，不得采用浇水自然养护方法；

2 混凝土受冻前的强度不得低于 5MPa ；

3 模板和保温层应在混凝土冷却到 5°C 方可拆除，或在混凝土表面温度与外界温度相差不大于 20°C 时拆模，拆模后的混凝土应及时覆盖，使其缓慢冷却；

4 混凝土强度达到设计强度等级的 50% 时，方可撤除养护措施。

8 检验与验收

8.1 检验

8.1.1 原材料进场时,应按批检查其规格、型号、外观和质量证明文件等,并按批随机取样进行进场检验。检验批量应符合下列规定:

1 散装水泥按每 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、复合矿物掺合料等矿物掺合料按每 200t 为一个检验批,硅灰按每 30t 为一个检验批;粗、细骨料按每 400m³ 一个检验批;外加剂按每 50t 为一个检验批;钢纤维按每 20t 为一个检验批,合成纤维按每 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。

3 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。

8.1.2 高性能混凝土拌合物性能、力学性能应进行出厂检验和交货检验。

8.1.3 高性能混凝土拌合物性能检验应符合以下规定:

1 高性能混凝土拌合物检验应为抽样检验;出厂检验应在搅拌地点取样,试样应随机从同一运输车卸料抽取;混凝土交货检验应在交货地点取样;交货检验试样应随机从同一运输车卸料

量的 1/4 至 3/4 之间抽取；混凝土交货检验取样及试验应在混凝土运到交货地点时开始算起 20min 内完成；

2 高性能混凝土拌合物交货检验项目及其频率应符合下列要求：

- 1) 混凝土坍落度取样检验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；
- 2) 同一工程、同一配合比、采用同一批次水泥和外加剂的混凝土的凝结时间应至少检验 1 次；
- 3) 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；
- 4) 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。

3 高性能混凝土拌合物性能出厂检验项目及其频率除包括交货检验的检验项目及其频率的要求外，还应满足以下要求：

- 1) 泵送高性能混凝土拌合物应检验坍落度经时损失，检验频率一个工作班检验一次；
- 2) 大体积混凝土拌合物应检验入模温度，检验频率一个工作班检验一次。

8.1.4 高性能混凝土力学性能检验应符合以下规定：

1 高性能混凝土力学检验应为抽样检验。出厂检验应在搅拌地点取样，试样应随机从同一运输车卸料抽取；交货检验应在交货地点取样，试样应随机从同一运输车卸料量的 1/4 至 3/4 之间抽取；混凝土交货检验取样及试件制作应在混凝土运到交货地点时开始算起 30min 内完成；

2 高性能混凝土强度检验应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107 的规定；力学性能检验项目及其频率应符合下列要求：

- 1) 出厂检验时，每 100 盘相同配合比混凝土取样不应少于 1 次；每一个工作班相同配合比混凝土不能达到

100 盘时应按 100 盘计；交货检验的取样频率应符合 GB/T 50107 的规定；

- 2) 在拆除底模及支架、张拉或放张预应力筋、确定受冻临界强度等情况下，应制作同条件养护试件，并在设计要求的龄期进行试验；同条件养护试件取样和留置组数应根据实际情况确定；
- 3) 高性能混凝土轴向抗压强度、弹性模量、抗折强度、抗拉强度、抗剪强度等其它力学性能应在混凝土出厂前进行验证，交货检验应符合工程要求。

8.1.5 高性能混凝土耐久性能检验应符合以下规定：

1 高性能混凝土出厂前，应在混凝土配制过程中进行设计要求的混凝土耐久性能验证试验。交货检验应在浇筑地点随机抽取试件进行，结果应符合国家现行有关标准的规定和设计要求。

2 检验批及试验组数应符合以下要求：

- 1) 同一检验批混凝土的强度等级、龄期、生产工艺和配合比应相同；
- 2) 对于同一工程、同一配合比的混凝土，检验批不应少于一个；
- 3) 对于同一检验批，设计要求的各个检验项目应至少完成一组试验；

3 抗碳化性能、抗氯离子渗透性能、抗硫酸盐侵蚀性能试验取样应符合以下要求：

- 1) 取样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 的规定。
- 2) 取样应在施工现场进行，应随机从同一车（盘）中取样，并不宜在首车（盘）混凝土中取样。从车中取样时，应将混凝土搅拌均匀，并应在卸料量的 1/4~3/4 之间取样。

- 3) 取样数量应至少为计算试验用量的 1.5 倍。计算试验用量应根据现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GB/T50082 的规定计算。
 - 4) 每次取样应进行记录,取样记录应包括下列内容:
 - a. 耐久性检验项目;
 - b. 取样日期、时间和取样人;
 - c. 取样地点(实验室名称或工程名称、结构部位等);
 - d. 混凝土强度等级;
 - e. 混凝土拌合物工作性;
 - f. 取样方法;
 - g. 试样编号;
 - h. 试样数量;
 - i. 环境温度及取样的混凝土温度(现场取样还应记录取样时的天气状况);
 - g. 取样后的样品保存方法、运输方法以及从取样到制作成型的时间。
- 4 早期抗裂性能试验取样应按以下要求进行:
- 1) 用于早期抗裂性能试验的高性能混凝土拌合物,从加水至开始抗裂性能试验的时间间隔不应超过 2h,且坍落度损失不应大于 30mm。
 - 2) 在保证上述要求的前提下,可根据运输距离、天气等情况,选取以下两种方式中任一种进行高性能混凝土早期抗裂性能试验的取样或成型:
 - a. 在混凝土生产企业的料仓抽取同批次的相同原材料,按施工配合比成型高性能混凝土拌合物进行早期抗裂性能试验,各种原材料的取样数量不宜少于计算试验用量的 1.5 倍。
 - b. 在搅拌地点或浇筑地点取高性能混凝土拌合物进行早期抗裂性能试验,取样要求应符合现行国家标

准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定,取样数量不宜少于计算试验用量的 1.5 倍。

- 5 试件制作与养护应符合以下要求:
- 1) 试件制作应在现场取样后 30min 内完成;
 - 2) 当需要检验实体结构混凝土的耐久性能时,应制作要求数量的同条件养护试件。
 - 3) 试件制作和养护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 和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GB/T 50082 的有关规定。
- 6 试验结果处理应符合以下要求:
- 1) 对于同一检验批只进行一组试验的检验项目,应将试验结果作为检验结果;对于抗冻试验、抗水渗透试验和抗硫酸盐侵蚀试验,当同一检验批进行一组以上试验时,应取所有组试验结果中的最小值作为检验结果。
 - 2) 对于抗氯离子渗透试验、碳化试验、早期抗裂试验、180d 收缩率试验,当同一检验批进行一组以上试验时,应取所有组试验结果中的最大值作为检验结果。

8.2 验收

8.2.1 高性能混凝土原材料、配合比、生产施工以及高性能混凝土结构工程质量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。

8.2.2 高性能混凝土预制制品质量检验与验收应符合该制品的国家标准规定及合同约定。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 3 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 4 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 5 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 6 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 7 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
- 8 《森林土壤水溶性盐分分析》GB 7871
- 9 《混凝土外加剂》GB 8076
- 10 《混凝土搅拌站(楼)》GB/T 10171
- 11 《水质硫酸盐的测定重量法》GB/T 11899
- 12 《建设用砂》GB/T 14684
- 13 《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685
- 14 《预拌混凝土》GB/T 14902
- 15 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 16 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 17 《水泥密度测试方法》GB/T 208
- 18 《混凝土膨胀剂》GB/T 23439
- 19 《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408
- 20 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 21 《石灰石粉混凝土》GB/T 30190
- 22 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 23 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 24 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》

GB/T50082

- 25 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 26 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344
- 27 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476
- 28 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733
- 29 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784
- 30 《混凝土搅拌机》GB/T 9142
- 31 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 32 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55
- 33 《混凝土用水标准》JGJ63
- 34 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T193
- 35 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T223
- 36 《石灰石粉在混凝土中应用技术规范》JGJ/T 318
- 37 《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328
- 38 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T384
- 39 《高性能混凝土评价标准》JGJ/T385
- 40 《钢纤维混凝土》JG/T 472
- 41 《混凝土中复合掺合料》JG/T486
- 42 《公路工程混凝土养护剂》JT/T 522
- 43 《公路水泥混凝土纤维材料聚丙烯纤维和聚丙烯腈纤维》JT/T 525
- 44 《混凝土用钢纤维》YB/T 151
- 45 《高性能混凝土应用技术规程》CECS207:2006
- 46 《混合砂混凝土应用技术规程》DBJ50 T-169
- 47 《石灰石粉在水泥混凝土中应用技术规程》DBJ50/T-179

重庆市工程建设标准

高性能混凝土应用技术标准

DBJ50/T-389-2021

条文说明

2021 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	41
2	术语	42
3	基本规定	43
4	原材料	44
4.2	矿物掺合料	44
4.3	细骨料	45
4.4	粗骨料	45
4.5	外加剂	46
4.6	纤维	46
4.7	水	46
5	性能要求	47
5.1	拌合物性能	47
5.2	力学性能	48
5.3	耐久性能	48
6	配合比设计	53
6.1	一般规定	53
6.2	高性能混凝土配合比设计	54
7	生产与施工	56
7.1	生产	56
7.2	施工	57
7.3	养护	58
8	检验与验收	59
8.1	检验	59

重庆工程建设

1 总 则

1.0.2 对制定本标准的目的、适用范围作了规定。

1.0.3 高性能混凝土的制备和施工方法在很多方面与普通混凝土或高强混凝土基本相同,在使用本标准时应注意与相关标准的衔接。

2 术 语

2.0.1 高性能混凝土应满足混凝土结构所要求的各项力学性能且具有高工作性、高耐久性和高体积稳定性,为获得高性能混凝土,应根据混凝土结构所处的环境条件,选择优质的原材料、合理的矿物微细粉和高效减水剂。

3 基本规定

3.0.3 本条规定了高性能混凝土生产企业应满足绿色生产的要求。

3.0.4 本条规定了重庆市高性能混凝土强度等级不低于 C30,主要考虑到 C30 混凝土量大面广,将强度等级放宽至 C30,更有利于高性能混凝土在重庆地区积累经验和推广使用;高性能混凝土耐久性指标包含众多,本条规定了重庆市高性能混凝土必须具备的四个耐久性指标,寒冷地区还应检测抗冻性能,其他耐久性指标应根据设计文件和工程环境类别确定。

4 原材料

4.1.1 高性能混凝土宜采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,当选用其它水泥时,还需符合现行国家标准。

4.1.2 用于高性能混凝土的水泥强度不应低于 42.5 级,混凝土生产企业在计算活性掺合料掺量时,通常不考虑所用的水泥中已经掺加了混合材料,在混凝土中就会出现混合材料超掺的问题,现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 规定了必须明示水泥中混合材料的品种和掺量。

4.1.3 现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175-2007 中,对于硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥规定的细度是比表面积不小于 $300\text{m}^2/\text{kg}$,该标准没有对水泥细度的上限做规定。水泥比表面积过大,水泥的放热速率快,后期强度增长率小,抗裂性差,因此对高性能混凝土用水泥细度上限需要进行限制。铁路、公路工程耐久性混凝土用水泥的比表面积上限限值为 $350\text{m}^2/\text{kg}$,本条对高性能混凝土用水泥的比表面积规定不宜大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 。

4.1.4 水泥使用温度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。

4.2 矿物掺合料

4.2.2~4.2.5 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 的有关规定,粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的有关规定,硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的规定,复合掺和料应符合现行行业标准《混

凝土用复合掺合料》JG/T 486 的规定。

4.3 细骨料

4.3.1 细骨料颗粒级配允许一个粒级(不含 4.75mm 和筛底)的分计筛余可略有超出,但不应大于 5%。

4.3.3 目前,重庆市原材料市场机制砂的应用日益增多,天然砂资源日益枯竭,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人工砂。

4.3.4 用于高性能混凝土的骨料应进行碱活性检验,当判断细骨料存在碱活性时,不宜作高性能混凝土骨料。

4.4 粗骨料

4.4.1 采用单粒级粗骨料配制高性能混凝土,会加大水泥用量,对混凝土的收缩等性能造成不利影响,因此应尽量采用连续粒级的碎石。配制高性能混凝土时对粗骨料的要求比普通混凝土的要求更高,应根据粗骨料粒级范围分级使用。

4.4.3 高性能混凝土用普通粗骨料的级配要求与《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685 及《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52、《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 对连续级配的要求一致。

4.4.4 用于高性能混凝土的骨料应进行碱活性检验,当骨料具有潜在碱活性时,应按《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 的规定采取技术措施进行预防,当判断粗骨料存在碱活性时,不宜作高性能混凝土骨料。

4.5 外加剂

4.5.2 高性能减水剂应符合《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。高性能减水剂使用前应考虑减水剂与胶凝材料的相容性。

4.5.3 用于高性能混凝土的膨胀剂应符合现行国家标准的相关规定。

4.6 纤维

4.6.2 高性能混凝土用钢纤维和合成纤维应符合现行行业标准《钢纤维混凝土》JG/T 472、《混凝土用钢纤维》YB/T 151 和《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的相关规定。

4.7 水

4.7.2 高性能混凝土拌合用水包括：饮用水、地表水、地下水、再生水、混凝土企业设备洗刷水等。高性能混凝土拌和用水和养护用水应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

5 性能要求

5.1 拌合物性能

5.1.7 混凝土拌合物的坍落度、扩展度的等级划分以及稠度允许偏差参照 2015 年版高性能混凝土推广应用技术指导组编制的《高性能混凝土应用技术指南》和《预拌混凝土》GB/T 14902-2012 的要求。

混凝土的坍落度较大时,混凝土的干缩性一般较大,对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,不易泵送施工,因此,混凝土的坍落度宜根据结构的情况和施工工艺要求确定,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。考虑到重庆地区夏季持续时间长、气温高,混凝土入模时温度较高,坍落度不宜太小,坍落度经时损失较难控制,在 2015 版指南的基础上调整泵送混凝土拌合物坍落度设计值不宜大于 210mm(2015 版为 180),调整 2h 坍落度经时损失不宜大于 30mm,增加坍落扩展度设计值不宜小于 530mm(2015 版未提要求)。

混凝土坍落度经时损失是混凝土拌合物性能的重要方面,在《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 中规定了标准的试验方法,该标准中规定以测定经过 1h 的坍落度损失为标准做法。如果工程需要,也可参照此方法测定经过不同时间的坍落度损失。

各类环境条件下的混凝土中氯离子最大含量参照《预拌混凝土》GB/T 14902-2012 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的要求。

含气量规定是针对一般环境条件下混凝土而言。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混凝土,宜掺加适量的引气剂。然而,当混凝土中的含气量超过 5% 时,混凝土强度会受到比较明显的影响,且混凝土强度离散性会增大,因此在满足抗冻性能的前提下,应控制混凝土中的含气量上限值。

5.2 力学性能

5.2.1 目前重庆地区工程应用中 C30 混凝土所占比例最大,高性能混凝土的最低强度等级定为 C30,最高强度等级定为 C80,超过 C80 以上的混凝土参照现行国家相关标准。高性能混凝土的力学性能应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求。

5.3 耐久性能

5.3.1 高性能混凝土的耐久性能应满足具体工程的耐久性能要求,混凝土的耐久性能指标确定需要考虑某一具体工程的结构设计使用年限、结构部位、结构构件所处的环境类别及作用等级。同一个结构物的不同结构部位(如混凝土工程结构的桩、承台、基础、梁、柱等构件)所处的环境类别和作用等级不同时,其耐久性要求也应有所差别,甚至同一构件的不同部位,如承台的下部与水接触部位和上部相对干燥部位,也会有不同的耐久性要求。耐久性设计时应充分考到这种情况。

5.3.2 混凝土的最大碱含量包括水泥、矿物掺合料、外加剂及水的碱含量之和,其中,矿物掺合料的碱含量以其所含可溶性碱计算,粉煤灰的可溶性碱量取粉煤灰总碱量的 1/6,矿渣粉的可溶性碱量取矿渣粉总碱量的 1/2。

5.3.4 各耐久性指标的性能等级按照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2019 要求进行划分。与 I ~ V 级对应的混凝土

土耐久性水平推荐意见见表 5.3.4-5,该表定性地描述了等级代号所代表的混凝土耐久性性能的高低。

5.3.5 工程环境类别和作用等级是确定具体工程混凝土耐久性性能指标的考虑因素之一,在混凝土耐久性性能指标确定之前的工程勘察阶段,应对工程的水质、土质进行取样分析,并调研工程地区的历史气象资料,根据工程结构构件部位及所处的运营环境条件,确定结构的环境类别及作用等级。

环境类别和作用等级的划分参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2019,重庆地处内陆,冬冷夏热,无冰冻季节,因此取消了海洋氯化物环境类别和 D 级冻融环境作用等级。

一般环境(I类)是指仅有正常的大气(二氧化碳、氧气等)和温、湿度(水分)作用,不存在冻融、氯化物和其它化学腐蚀物质的影响。一般环境对混凝土结构的腐蚀主要是碳化、渗水引起的钢筋锈蚀。所有混凝土结构都会受到大气和温湿度作用,所以在确定混凝土耐久性性能指标时都应予以考虑。

冻融环境(II类)主要会引起混凝土的冻蚀。冰冻地区与雨、水接触的露天混凝土构件应按冻融环境考虑。

氯化物环境(III类)中的氯离子可从混凝土表面迁移到混凝土内部。当到达钢筋表面的氯离子积累到一定浓度(临界浓度)后,也能引发钢筋的锈蚀。氯离子引起的钢筋锈蚀程度要比一般环境(I类)下单纯由碳化引起的锈蚀严重得多,对混凝土的耐久性性能要求很高。

化学腐蚀环境(IV类)中混凝土的劣化主要是土、水中的硫酸盐、酸等化学物质和大气中的硫化物、氮氧化物等对混凝土的化学作用,同时也有盐结晶等物理作用所引起的破坏。重庆地区地质条件复杂(含硫矿物较多),酸雨较多,对混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能要求较高。

一般环境(I类)的作用是所有结构构件都会遇到和需要考虑的。当同时受到两类或两类以上的环境作用时,通常由作用程

度较高的环境类别决定或控制混凝土构件的耐久性要求,但对作用等级为严重的环境类别下,在混凝土原材料选择、结构构造、混凝土施工养护等方面也有特殊要求。所以当结构构件同时受到多种类别的环境作用时,原则上均应考虑,需满足各自单独作用下的耐久性能要求。

5.3.6 一般环境作用等级划分参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008。表 5.3.6-2 规定了不同设计年限和不同环境作用等级下,混凝土的最低强度等级、28d 碳化深度值和水压力抗渗等级指标。一般环境下耐久性控制指标参照了 2015 年版高性能混凝土推广应用技术指导组编制的《高性能混凝土应用技术指南》和《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385-2015,并在指南的基础上进行了部分增加或调整:(1)增加了 I-A 类环境和设计使用年限 50 年的 I-B 类环境等级的耐久性能要求;(2)提高了 I-C 类环境等级碳化性能要求。28d 碳化深度指标是反映混凝土在一般环境中抗碳化能力最直接的指标,受混混凝土材、施工养护和气候条件的影响,重庆地区实际工程中混凝土碳化现象较为普遍,因此提高了 I-C 类环境等级的碳化性能指标。

5.3.7 冻融环境中的环境作用等级划分参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008。冻融环境作用等级下的混凝土耐久性能要求参照了 2015 年版高性能混凝土推广应用技术指导组编制的《高性能混凝土应用技术指南》和《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385-2015,并在指南的基础上进行了部分调整:(1)取消了 II-D、II-E 类环境等级;(2)降低了 II-C 类环境等级抗冻性能要求。重庆有冰冻季节的地区少,部分微冻地区的最冷月平均气温也介于 2.5℃左右,因此取消了 II-D、II-E 类环境等级,降低了 II-C 类环境等级抗冻性能要求。

5.3.8 氯化物环境中的环境作用等级划分参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008。氯化物环境作用等级下的混凝土耐久性能要求参照了 2015 年版高性能混凝土推广应用技术

指导组编制的《高性能混凝土应用技术指南》和《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385-2015 的要求。

5.3.9 化学腐蚀环境中的环境作用等级划分参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008。本标准考虑的常见腐蚀性化学物质包括土中和地表、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、氮氧化合物等污染物质。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。本条的化学腐蚀环境不包括氯化物。

化学腐蚀环境作用等级下的混凝土耐久性能要求参照了2015年版高性能混凝土推广应用技术指导组编制的《高性能混凝土应用技术指南》和《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385 的要求。并在指南的基础上进行了部分调整:重庆地区地下水、土中含矿物成分较多,大气中硫化物、氮氧化合物较多,因此提高了 V-C、V-D 类环境等级电通量要求。

5.3.10 收缩性能要求参照了2015年版高性能混凝土推广应用技术指导组编制的《高性能混凝土应用技术指南》的要求。收缩是引起混凝土开裂的一个关键因素,混凝土收缩是指因内部或外部湿度的变化、化学反应等因素而引起的宏观体积变形。根据《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082-2009,混凝土的收缩测试方法分为非接触法和接触法,非接触法主要测试混凝土的前72h的早龄期收缩,接触法主要测试硬化后混凝土的收缩变形性能,测试龄期自混凝土3d龄期起。本条所规定的混凝土收缩率指标是指采用接触法测试的硬化后混凝土的长期收缩率值。对于高性能混凝土而言,宜通过掺加矿物掺合料,采用较小的水胶比减小混凝土长期收缩率,混凝土的长期收缩率不宜超过0.045%。

5.3.11 目前建筑设计对高性能混凝土的抗裂性要求较高,而工程实际中混凝土的早期开裂现象普遍原因复杂,混凝土的收缩率只能反映收缩对混凝土开裂趋势的影响,而《普通混凝土长

期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中早期抗裂试验模拟了工程中钢筋限制混凝土的状态,更加贴近工程现场的实际情况,更加直观的评价了混凝土的抗裂性能,因此规定了高性能混凝土早期抗裂性能不宜低于 L-III 级。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中有规定,不同的设计使用年限及使用环境,混凝土的最大水胶比、强度等级及耐久性能规定也不同,故设计高性能混凝土配合比应考虑设计年限和环境条件。

6.1.2 对混凝土结构作用的劣化作用分为一般劣化作用和特殊劣化作用。一般劣化作用包括温度、湿度、太阳辐射热及混凝土碳化等,是高性能混凝土结构耐久性设计必须考虑的因素。特殊劣化作用包括冻害以及腐蚀性物质等,取决于混凝土结构所处环境条件,应重点考虑混凝土的特殊耐久性能。

6.1.3 高性能混凝土属于高耐久性能的混凝土,此条规定参考了日本标准的高耐久性混凝土配合比参数的设计以及现行国家配合比设计标准中“有特殊要求的混凝土”的设计原则。基于高性能混凝土耐久性的要求,单方混凝土胶凝材料用量不能过少,但过大会加大混凝土的收缩,抗裂性能降低,因此控制高性能混凝土中胶凝材料的用量是关键,本条款规定参考现行行业标准《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385 规定的胶凝材料用量,主要针对常规品和高强高性能混凝土。

6.1.4 矿物掺合料能够改善混凝土的工作性、耐久和力学等性能,不同矿物掺合料复掺具有叠加效应。配制高性能混凝土应正确合理选用矿物掺合料,不同矿物掺合料的掺量可根据表 6.1.4 并经过试验确定,本条款的规定是按照国家现行标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 和《高性能混凝土评价标准》JGJ/

T 385 的规定执行。

6.2 高性能混凝土配合比设计

6.2.1 高性能混凝土按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 对强度标准值取 95% 的保证率是合理的。

6.2.5 提高混凝土抗冻性能有两个方面,其一是提高混凝土的密实度,减小水胶比,合理提高试配强度,其二是通过引气剂引入大量均匀微小气泡,从而有效缓解混凝土内部结冰所导致的结构破坏,但引气应保持在适当的范围内,太高会导致混凝土强度降低。

6.2.6 大量研究结果显示,矿物掺合料的掺入能改善混凝土内部孔结构,故提高矿物掺合料掺量有利于提高混凝土抗氯离子渗透能力。

6.2.7 混凝土的抗硫酸盐侵蚀性取决于水泥中的 C_3A 、 C_2S 含量,混凝土水胶比以及矿物掺合料的种类、用量等。因此本条文对水泥成分和矿物掺合料掺量进行了规定。

6.2.8 质量法计算配合比较简易和准确,绝对体积法计算配合比虽更为精确但过程中需提供各种材料的密度数据,增加试验时间和难度;同时,高性能混凝土配合比过程需要在计算得出的设计配合比基础上进行反复调整和试配验证,故采用质量法足以满足计算要求精度。

6.2.9

(1) 每盘试配混凝土量太少会影响试验结果的准确性,且混凝土各种耐久性指标进行试验时所需的混凝土用量差异较大。

(2) 进行试配的初步试探,首先调试混凝土拌合物性能,如能满足设计与施工要求,即可据此开展进一步试配,如不可行,则需分析材料原因。调试混凝土拌合物性能是对混凝土配合比可行性做出的基本判断。

(3) 一般情况下,随着强度等级的增大,计算得出的配合比水

胶比越小。大量实验数据显示,水胶比越小,相同变化幅度会造成强度性能及其他性能变化越显著,并且将工作性调整至同一水平的难度也随之增大,故考虑到试配混凝土的合理性与可操作性,针对不同强度等级,水胶比调整幅度有所差异。如有必要,可进一步细化调整幅度增加试验组数进行试验,在有工程经验和技术资料的情况下,试验组合也可简化。

(4)结果出来并分析后,可根据试验结果考虑是否进行进一步压缩范围调整完善,包括调整矿物掺合料。

(5)当条文中规定的水胶比幅度范围内无法选定满足要求的水胶比时,可根据强度和耐久性结果偏差程度进一步扩大水胶比调整幅度,建议在原幅度基础上增加 $0.01\sim 0.03$ 。当仍不能选取同时满足强度与耐久性能的混凝土配合比时,应重新调整配合比参数、原材料组分与性能等因素,重新设计配合比后再行调整试配。

7 生产与施工

7.1 生产

7.1.1 高性能混凝土生产设备设施包括搅拌站(楼)、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。高性能混凝土生产应优先采购技术先进、节能、绿色环保的各种设备。

7.1.2 原材料质量证明文件应包括:出厂合格证、出厂检验报告,其中合格证和检验报告中应包含原材料名称、品种、等级、性能指标等,外加剂等产品还应提供使用说明书。

7.1.4 高性能混凝土生产应满足《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 关于节能、节材、节水和环境保护的要求,做到技术先进、经济合理。

7.1.5 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、设备允许偏差控制等。

7.1.6 搅拌时间长短主要取决于搅拌机种类、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。在混凝土搅拌过程同样伴随噪音和粉尘排放,因此控制搅拌环节粉尘排放或降低噪音同样是高性能混凝土绿色生产的重要内容。

7.1.7 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运输方式。另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。当混凝土拌合物坍落度损失过大会导致搅拌运输车卸料困难的问题,向搅拌罐内掺加适量减水剂并搅拌均匀可改善拌合物稠度将混凝土拌合物卸出。保持车辆出入卫生、回收利用洗车用水以及确保运输车机动车污染物排放达标,不仅提高废水利用率,而且有利于环保。

7.1.8 随着混凝土外加剂技术的发展,调整混凝土拌合物的可操作时间并满足硬化混凝土性能要求比较容易实现,因此,控制混凝土出机至现场接收不超过 90min 是可行的。

7.2 施 工

7.2.1 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,在浇筑之前,应因地制宜地来制定合理浇筑方案,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。

7.2.2 夏季施工时,宜选择晚间或夜间浇筑混凝土,以避免模板和新浇混凝土直接受阳光曝晒;降低拌合物温度的常用方法是采用加冰的拌合水。冬期施工拌合物入模温度不应低于 5℃,提高拌合物温度的常用方法是采用加热拌合水,拌和用水可加热到 60℃ 以上,应先投入骨料和热水搅拌,再投入胶凝材料等共同搅拌。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。

7.2.6 采用振捣棒捣实时,插入间距不应大于振捣棒振动作用半径的一倍,连续多层浇筑时,振捣棒应插入下层混凝土拌合物约 50mm 振捣。宽度较小的梁、墙混凝土宜采用插入式振捣器振捣(如果可以插入)并辅以附壁式振捣。振捣过程中应检查模板稳定性和接缝密合性。

7.2.8 留置组数可根据实际需要适当增加。同时,应按设计和

施工要求制作供结构或构件出池、拆模、吊装、张拉、放张、强度和耐久性能合格评定用的同条件养护试件。

7.2.10 对强度低于 1.2MPa 混凝土构件踩踏行走则会导致硬化混凝土结构破坏。

7.3 养 护

7.3.1 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。现浇高性能混凝土浇筑成型后,应根据环境情况覆盖混凝土表面并进行保湿养护。在高温季节或大风、日照较强的环境中,浇筑成型后应立即覆盖或采用其他保湿措施。

7.3.2 对于竖向结构的混凝土立面,采用混凝土养护剂比较有利。养护剂有效保水率和抗压强度比的试验方法应符合现行行业标准《公路工程混凝土养护剂》JT/T 522 的规定。

7.3.5 混凝土成型后蒸汽养护前的静停时间长一些有利于减少混凝土在蒸养过程中的内部损伤;控制升温速度和降温速度慢一些,可减小温度应力对混凝土内部结构的不利影响;如果生产效率和时间允许,控制最高和恒温温度不超过 65℃比较合适。

7.3.6 对于大体积混凝土,通常采用保温措施控制混凝土内部、表面和外界的温差。

7.3.7 冬期施工时,混凝土结构带模养护比较有利,易于采取保温措施,保湿效果也可以。

8 检验与验收

8.1 检验

8.1.1 高性能混凝土原材料进场检验与普通混凝土相同。不同外加剂的检验批量各有差异：减水剂的检验批量为 50t；缓凝剂、速凝剂和膨胀剂等外加剂的检验批量应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。对符合规定条件的检验批量进行放大，既能保证原材料质量、降低检验综合成本，又能促进生产企业采用更先进质量管理体系，并可通过第三方产品认证提高产品质量。原材料检验执行标准包括现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164。

8.1.2 出厂检验在搅拌地点由企业进行，交货检验在浇筑地点进行。

8.1.3 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。

高性能混凝土拌合物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。对于常规品高性能混凝土拌合物性能来讲，坍落度、凝结时间和氯离子含量是交货检验必检项目，引气混凝土还要检验含气量。

高性能混凝土拌合物性能的出厂检验同样应按规定检验频率进行随机抽样检验。拌合物性能出厂检验项目除包括交货检验的检验项目要求外，还应包括泵送高性能混凝土的坍落度经时损失、大体积混凝土的入模温度等。

高性能混凝土拌合物性能检验执行标准包括现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164。

8.1.4 高性能混凝土力学性能检验与普通混凝土相同,包括出厂检验和交货检验。标准养护试件抗压强度应按规定取样频率进行出厂检验和交货检验。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。当需要检验轴向抗压强度、弹性模量、抗折强度、抗拉强度、抗剪强度等其它力学性能时,同样需要按规定检验频率进行出厂检验和交货检验。高性能混凝土力学性能检验执行标准包括现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107、《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164。

8.1.5 耐久性能是高性能混凝土的最主要技术指标之一。高性能混凝土耐久性能检验与普通混凝土相同,包括设计阶段验证试验和交货检验。配合比设计阶段应进行耐久性能验证试验并满足设计要求。与力学性能交货检验相比,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。当需要检验实体结构混凝土的耐久性能时,应按实际情况留置同条件养护试件。对同一检验比的一组或多组耐久性检验结果进行处理时,规定检验结果最差的那组耐久性能指标代表了该检验批所有组耐久性能检验结果,此规定偏于安全。高性能混凝土耐久性能检验执行标准包括国家现行标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193、《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164。

混凝土抗裂性能好坏主要与混凝土原材料组分、配合比相关,但由于混凝土拌合物会随着时间的延长而影响混凝土的工作性能,一般情况下,停留时间越长混凝土坍落度和扩展度减少的程度越大,从而影响混凝土抗裂性能测试的结果,导致不能真实反应被测混凝土的抗裂性能,因此,测试该指标时应控制在合理的时间范围内。混凝土抗裂性能试验时,当采用混凝土用原材料

样品取样后检验时,应在监理见证下取样,保证送检样品与工程应用的材料一致。当采用拌合物现场取样应随机从同一车(盘)中取样,并不宜在首车(盘)混凝土中取样;从车中取样时,应将混凝土搅拌均匀,并应在卸料量的 $1/4 \sim 3/4$ 之间取样;开始试验时应保证混凝土拌合物均匀且并不产生分层离析。

重庆工程职业学院