

住房和城乡建设部备案号：J15690-2021

DB64

宁夏回族自治区地方标准

DB64/T 1767—2021

高性能混凝土应用技术规程

Technical specification for application of
high performance concrete

2021 - 03 - 10 发布

2021 - 06 - 10 实施

宁夏回族自治区住房和城乡建设厅 发布
宁夏回族自治区市场监督管理厅 发布

宁夏回族自治区住房和城乡建设厅 公 告

(2021) 44 号

自治区住房和城乡建设厅关于发布 《城市生活垃圾分类及评价标准》等 2 项地方标准的公告

经我厅会同自治区市场监督管理厅组织审查,批准《城市生活垃圾分类及评价标准》《高性能混凝土应用技术规程》为宁夏回族自治区地方标准。《城市生活垃圾分类及评价标准》编号为 DB64/T 1766-2021,《高性能混凝土应用技术规程》编号为 DB64/T 1767—2021。

以上 2 项标准自 2021 年 6 月 10 日起实施。

宁夏回族自治区住房和城乡建设厅

2021 年 3 月 22 日

前 言

根据宁夏回族自治区住房和城乡建设厅《关于发布 2018 年度工程建设地方标准制订修订项目计划的通知》(宁建[科]发[2018]14 号)文件的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国家标准和行业先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

本标准的主要技术内容是:1.总则;2.术语;3.基本规定;4.原材料;5.配合比设计;6.性能要求;7.制备;8.施工;9.验收等。

本标准由宁夏回族自治区住房和城乡建设厅负责管理,由宁夏润宇泽节能环保有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请反馈至宁夏润宇泽节能环保有限公司(地址:宁夏永宁县望远镇创业谷·中小企业产业新城 8#6, 邮政编码:750101)。

本标准主编单位:宁夏润宇泽节能环保有限公司

本标准参编单位:中国建筑科学研究院建研建材研究所

中国建筑材料科学研究总院有限公司混凝土科学与工程研究所

宁夏大学土木与水利工程学院

宁夏建筑设计研究院有限公司

中国矿业大学银川学院

宁夏煤炭基本建设有限公司

本标准主要起草人：袁 芬 王怀义 郑 龙 芦向晶 熊 芳
王 晶 王振地 杨秋宁 曹浩鹏 曹鹤磊
王 涛 赵 鹏 李晓棠 黄金彪 王国兵
赵建新

本标准主要审查人：高宁泉 杨 瀛 张岩祥 邵海东 柴 宏
张 红

目 次

1 总 则.....	1
2 术 语.....	2
3 基本规定.....	4
4 原材料.....	5
4.1 水 泥.....	5
4.2 骨 料.....	5
4.3 矿物掺合料.....	6
4.4 外加剂.....	7
4.5 拌合用水.....	10
5 配合比设计.....	11
5.1 一般规定.....	11
5.2 高性能混凝土配合比设计.....	11
5.3 一般环境中配合比参数.....	14
5.4 冻融环境中配合比参数.....	14
5.5 氯化物环境中配合比参数.....	16
5.6 化学腐蚀环境中配合比参数.....	17
5.7 抑制碱骨料反应耐久性设计.....	19
5.8 降低混凝土开裂风险的配合比设计.....	19
6 性能要求.....	21
6.1 拌合物性能要求.....	21
6.2 力学性能要求.....	23
6.3 耐久性能和长期性能要求.....	24
6.4 收缩性能.....	27
7 制 备.....	28
7.1 一般规定.....	28
7.2 原材料贮存.....	28
7.3 计 量.....	29
7.4 搅 拌.....	30
7.5 运 输.....	31

8 施 工.....	33
8.1 一般规定.....	33
8.2 泵 送.....	33
8.3 浇筑与成型.....	33
8.4 振 捣.....	35
8.5 养 护.....	36
9 验 收.....	39
附录 A 混凝土抗氯离子渗透性试验方法.....	40
附录 B 水泥和混凝土抗硫酸盐侵蚀检测方法.....	54
附录 C 碱含量计算方法.....	59
附录 D 砂浆棒法快速检测骨料碱活性.....	61
附录 E 矿物掺合料抑制碱-硅反应效果.....	63
附录 F 硬化混凝土气泡参数试验（直线导线法）.....	68
附录 G 自收缩率测试方法.....	72
本标准用词说明.....	76
引用标准名录.....	77
条文说明.....	79

1 总 则

1.0.1 为指导高性能混凝土的生产与推广应用，提升混凝土行业技术水平，确保工程质量，降低混凝土工程全寿命周期的综合成本，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于宁夏回族自治区工业与民用建筑、市政、铁路、交通等建设工程用的高性能混凝土。

1.0.3 本规程规定的高性能混凝土应用技术，除应符合本规程外，尚应符合国家和宁夏回族自治区现行有关标准、规范的规定。

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,选用本地优质常规原材料,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,配制具有优异的工作性与均质性、力学性能、耐久性能和长期性能的混凝土。

2.0.2 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、外部劣化因素的作用,仍能维持其应有结构性能的能力。

2.0.3 劣化现象 deterioration phenomenon

由内、外部劣化因素引起的混凝土结构性能随时间逐渐衰减的现象。

2.0.4 外部劣化因素 external deterioration factors

导致混凝土和混凝土结构性能降低的外部环境原因。

2.0.5 内部劣化因素 internal deterioration factors

导致混凝土和混凝土结构性能降低的内在原因。

2.0.6 容许劣化状态 allowable deterioration state

随着混凝土结构性能降低而出现的劣化状态中,尚能满足结构正常使用要求的最低性能状况。

2.0.7 混凝土工作性 workability of concrete

混凝土适宜于施工操作、满足施工要求的性能的总称。

2.0.8 矿物掺合料 mineral admixtures

比表面积不小于 $400\text{m}^2/\text{kg}$, 具有潜在水硬性或火山灰活性的矿物质粉体材料。如: 粉煤灰、矿渣粉、硅灰等材料或这些材料两种或两种以上混合而成的材料。

2.0.9 抗侵蚀耐久性设计 corrosion resistance and durability design

根据混凝土所处地点土体或环境水中硫酸根离子浓度 (SO_4^{2-})、镁离子浓度 (Mg^{2+})、环境水中酸碱度 (PH 值)、环境水中侵蚀二氧化碳 (CO_2) 进行的混凝土耐久性设计。

3 基本规定

混凝土结构宜选用高性能混凝土,处于多种劣化因素综合作用下的混凝土结构应采用高性能混凝土,高性能混凝土应符合下列技术要求:

- 1 水胶比不宜超过 0.40;
- 2 掺加高性能减水剂;
- 3 掺加符合要求的矿物掺合料(粉煤灰、矿渣粉、硅灰等);
- 4 56d 龄期的 6h 电通量小于 1000C;
- 5 混凝土中可溶性碱总含量不应大于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$;
- 6 耐久性指标按照本规程第 6 章配合比设计中的耐久性设计指标执行;
- 7 高性能混凝土生产应按照《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 中的要求进行绿色生产,生产企业应最少满足绿色生产评价等级一星级或以上的要求;
- 8 高性能混凝土的施工应按照绿色施工的要求进行施工和现场管理。

4 原材料

4.1 水 泥

4.1.1 配制高性能混凝土用的水泥应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175、《中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥》GB/T 200、《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748、《硫铝酸盐水泥》GB 20472 的规定,宜选用标准稠度用水量相对较低的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,其比表面积不大于 $360\text{m}^2/\text{kg}$ 。

4.1.2 当混凝土结构所处的环境水中 SO_4^{2-} 浓度高于 20250mg/L 或环境土中 SO_4^{2-} 浓度高于 30000mg/kg 时,应选用高抗硫酸盐硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥,采用高性能混凝土配制技术配制混凝土。

4.1.3 对于水化热或绝热升温有明确要求的大体积高性能混凝土,宜选用中、低热硅酸盐水泥,或普通硅酸盐水泥结合大掺量掺合料胶凝体系。

4.1.4 当使用具有碱活性或具有潜在碱活性的骨料配置的混凝土,工作环境为潮湿或常与水接触时,宜选用低碱水泥。

4.2 骨 料

4.2.1 高性能混凝土采用的骨料应选择质地坚硬、级配良好,性能指标应符合《建设用砂》GB/T 14684、《建设用卵石、碎石》

GB/T 14685、《预拌混凝土》GB/T 14902 和《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 中原材料质量控制的规定，卵石、碎石的针、片状颗粒总含量不大于 10%。

4.2.2 配制强度等级小于 C60 的高性能混凝土时，粗骨料可选用卵石。

4.2.3 配制强度等级大于或等于 C60 高性能混凝土的粗骨料应选用破碎石。骨料粒径宜采用 5mm~20mm 连续级配，骨料最大粒径不宜大于 20mm。

4.2.4 对于长期处于潮湿环境的混凝土结构，其所使用的粗细骨料必须进行碱活性检验，可按本规程附录 D 进行。

4.3 矿物掺合料

4.3.1 高性能混凝土中所选用的矿物掺合料应符合下列质量要求：

1 选用粉煤灰应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 标准的 I 级、II 级粉煤灰技术要求或符合《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 标准中磨细粉煤灰技术要求；且粉煤灰的比表面积应不小于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ，烧失量不大于 5%，需水量不大于 100%，并按相关标准规范要求检测粉煤灰中的氨离子含量；

2 选用的矿渣粉应符合《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 标准中的技术要求或符合《高强高

性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 标准中 I 级和 II 级磨细矿渣的技术要求；且矿渣粉的比表面积应不小于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ；

3 选用的硅灰应符合《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 或《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 标准中硅灰的技术要求，且硅灰的比表面积应不小于 $15000\text{m}^2/\text{kg}$ ；

4 使用两种或两种以上矿物掺合料混合而成的复合型矿物掺合料时，应符合《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 标准中的相关技术要求，且复合型矿物掺合料的比表面积应不小于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ 。

4.3.2 高性能混凝土中矿物掺合料的用量占胶凝材料总量宜符合以下要求：

1 粉煤灰 $\geq 30\%$ ；矿渣粉 $\geq 40\%$ ；复合矿物掺合料 $\geq 35\%$ ；硅灰 $\leq 10\%$ ；

2 工程中选用的矿物掺合料的内外照射指数均应不大于 1.0。

4.4 外加剂

4.4.1 高耐久性混凝土矿物外加剂是指解决混凝土耐久性能为目的的矿物外加剂，其特点是利用物理、化学作用，优化混凝土微观孔结构，消除混凝土内部劣化因素，用于高性能混凝土的矿物外加剂应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 高耐久性矿物外加剂技术要求

项目		技术指标
比表面积 (m^2/kg)		≥ 2000
活性指数 (%)	28d	≥ 100
三氧化硫 (%)		≤ 3
流动度比 (%)		≥ 100
烧失量 (%)		≤ 6

4.4.2 高性能混凝土膨胀剂是指与水泥、水拌合后发生化学反应使混凝土产生体积膨胀的外加剂,应符合《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 相关规定。补偿收缩混凝土的限制膨胀率应符合表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 补偿收缩混凝土的限制膨胀率

用途		技术指标	
		水中 14d	水中 14d 转空气 28d
限制膨胀率 (%)	用于补偿混凝土收缩	≥ 0.015	≥ -0.030
	用于后浇带、膨胀加强带和工程接缝填充	≥ 0.025	≥ -0.020

4.4.3 高性能混凝土防腐阻锈剂是指掺入混凝土中用于抵抗硫酸盐对混凝土的侵蚀、抑制氯离子对钢筋锈蚀的外加剂,应符合《混凝土防腐阻锈剂》GB/T 31296 相关规定。受检混凝土性能指标应符合表 4.4.3 的要求。

表 4.4.3 受检混凝土性能指标

序号	试验项目		性能指标		
			A 型	B 型	AB 型
1	泌水率比 (min)		≤100		
2	凝结时间差 (min)	初凝	-90~+120		
		终凝			
3	抗压强度比 (%)	3d	≥90		
		7d	≥90		
		28d	≥100		
4	收缩比 (%)		≤110		
5	氯离子渗透系数比 (%)		≤85	≤100	≤85
6	硫酸盐侵蚀系数比 (%)		≥115	≥100	≥115
7	腐蚀电量比 (%)		≤80	≤50	≤50

4.4.4 高性能减水剂是高性能混凝土的必要组成成分之一，应符合《混凝土外加剂》GB 8076 相关规定。配制高性能混凝土所选用的高性能减水剂的品种与掺量，须用工程所选用的水泥和矿物掺合料，通过减水剂对水泥、减水剂对水泥加矿物掺合料或减水剂对混凝土拌合物适应性试验来选择确定，减水率不宜低于25%。水胶比≤0.30 或≥C60 高强混凝土宜选用收缩比小的高性能减水剂。

4.4.5 根据混凝土工程施工要求，高性能混凝土也可选用缓凝剂、引气剂、混凝土内养护剂等化学外加剂。但须通过相应适应

性试验选择确定。对于水胶比小于 0.30 的高性能混凝土可不使用引气剂。

4.5 拌合用水

4.5.1 高性能混凝土的拌合和养护用水，必须符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

4.5.2 再生水的应用应满足《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 的相关章节的要求。

5 配合比设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 高性能混凝土配合比设计应符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 相关规定。
- 5.1.2 高性能混凝土配合比耐久性设计应针对混凝土结构所处外部环境中的劣化因素,使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满足混凝土配制强度及其他力学性能、拌合物性能、长期性能和耐久性能的要求。

5.2 高性能混凝土配合比设计

- 5.2.1 高性能混凝土配合比设计应包括初步设计计算和试验配制两个阶段。其中高性能混凝土配合比的设计计算宜采用体积法,且骨料计算时宜采用饱和面干表观密度。
- 5.2.2 进行高性能混凝土配合比初步设计时,应依据高性能混凝土配制强度和相应耐久性设计指标确定相对应的水胶比,选择水胶比最小值为所设计配合比的控制水胶比。参照本文件或工程经验资料选择矿物掺合料的掺量。
- 5.2.3 高性能混凝土的强度等级低于C60时,试配强度应按(5.2.3-1)确定:

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (5.2.3-1)$$

式中： $f_{cu,o}$ —混凝土试配强度(MPa)；

$f_{cu,k}$ —混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)；

σ —混凝土立方体抗压强度标准差(MPa)。

无统计数据时，混凝土强度小于 C30 的混凝土，混凝土立方体抗压强度标准差取 4MPa、混凝土强度大于等于 C30 且小于 C40 的混凝土，混凝土立方体抗压强度标准差取 5MPa、混凝土强度大于等于 C40 的混凝土，混凝土立方体抗压强度标准差取 6MPa。高性能混凝土的强度等级大于等于 C60 时，其试验强度按(5.2.3-2)确定：

$$f_{cu,o} \geq 1.15 f_{cu,k} \quad (5.2.3-2)$$

式中： $f_{cu,o}$ —混凝土试配强度(MPa)；

$f_{cu,k}$ —混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)。

强度等级大于 C60 的高性能混凝土配合比确定后，应采用该配合比进行不少于 3 盘混凝土的重复性试验，试验混凝土强度不应低于试配强度。

5.2.4 特殊要求的高性能混凝土配合比设计应符合如下规定：

1 高强混凝土配合比设计应符合《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281 的相关规定；

2 自密实混凝土配合比设计应符合《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的相关规定；

3 纤维混凝土配合比设计应符合《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的相关规定。

5.2.5 钢筋混凝土和预应力混凝土中矿物掺合料最大掺量宜分别符合表 5.2.5-1 和表 5.2.5-2 的规定。

表 5.2.5-1 钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量推荐性参数

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		采用硅酸盐水泥时	采用普通硅酸盐水泥时
粉煤灰	≤0.40	45	35
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	65	55
硅灰	—	10	10
复合掺合料	≤0.40	65	55

注：1、采用其他通用硅酸盐水泥时，应将水泥混合材掺量 20%以上的混合材量计入矿物掺合料；

2、复合掺合料各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量；

3、在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定；

4、采用硅酸盐水泥时，经混凝土耐久性和长期性能试验验证，复合掺合料最大掺量可放宽 5%。

表 5.2.5-2 预应力钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量推荐性参数

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		采用硅酸盐水泥时	采用普通硅酸盐水泥时
粉煤灰	≤0.40	35	30
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	55	45
硅灰	—	10	10
复合掺合料	≤0.40	55	45

5.2.6 用于预制制品的高性能混凝土配合比设计还应符合该类制品的相关标准要求。

5.3 一般环境中配合比参数

5.3.1 一般环境中高性能混凝土配合比基本要求应符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 一般环境中高性能混凝土配合比推荐性参数

控制项目	环境作用等级		
	50 年		100 年
	I-C	I-B	I-C
水胶比	≤0.45	≤0.42	≤0.40

5.3.2 高性能混凝土的用水量不宜大于 $160\text{kg}/\text{m}^3$ ；胶凝材料总量不宜大于 $550\text{kg}/\text{m}^3$ ，其中矿物掺合料用量不宜大于胶凝材料总量的 65%；砂率宜采用 37%~55%。高性能减水剂的适宜掺量应根据其与胶凝材料的适应性和拌合物坍落度要求确定。

5.4 冻融环境中配合比参数

5.4.1 冻融环境中高性能混凝土配合比宜符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 冻融环境中高性能混凝土推荐性参数(续)

控制项目	环境作用等级					
	50 年			100 年		
	II-C	II-D	II-E	II-C	II-D	II-E
水胶比	≤0.45	≤0.42	≤0.38	≤0.42	≤0.38	≤0.35
胶凝材用量 (kg/m^3)	≥350	≥380	≥400	≥380	≥400	≥420

5.4.2 复合矿物掺合料掺量宜符合表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 复合矿物掺合料最大掺量推荐性参数

水胶比	最大掺量 (%)	
	采用硅酸盐水泥时	采用普通硅酸盐水泥时
≤0.40	60	50

注：1、采用其他通用硅酸盐水泥时，可将水泥混合材掺量 20%以上的混合材量计入矿物掺合料；

2、复合矿物掺合料中各矿物掺合料组分的掺量不宜超过 5.3.2 中单掺时的限量；

3、采用硅酸盐水泥时，经混凝土耐久性和长期性能试验验证，复合掺合料最大掺量可放宽 5%。

5.4.3 当抗冻混凝土选择的水胶比 ≥ 0.30 时，应掺加优质引气剂，引气剂混凝土的含气量和平均气泡间距系数应符合表 5.4.3 的规定。含气量从运至施工现场的混凝土拌合物中取样检测，测定方法按《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080。气泡间距系数为从 28d 硬化混凝土中取芯样测得的数值，测定方法按附录 F 进行。当抗冻混凝土选择水胶比 < 0.30 或强度等级 $> C60$ 时，可不掺加引气剂。

表 5.4.3 引气混凝土含气量 (%) 与平均气泡间距系数

最大粒径 (mm)	混凝土含气量 (%)		
	混凝土高度饱水	混凝土中度饱水	盐或化学腐蚀下冻融
10	6.5	5.5	6.5
20	6.0	5.0	6.0

表 5.4.3 引气混凝土含气量 (%) 与平均气泡间距系数 (续)

最大粒径 (mm)	混凝土含气量 (%)		
	混凝土高度饱水	混凝土中度饱水	盐或化学腐蚀下冻融
25	6.0	4.5	6.0
40	5.5	4.0	5.5
平均气泡间距系数 (um)	≤250	≤300	≤200

5.5 氯化物环境中配合比参数

5.5.1 高性能混凝土抗氯离子渗透的配合比宜符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 氯化物环境中高性能混凝土配合比推荐性参数

控制项目	环境作用等级							
	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
水胶比	≤0.42	≤0.40	≤0.36	≤0.34	≤0.40	≤0.36	≤0.34	≤0.32
矿物掺合料掺量 (%)	≥35				≥40			

注：1、矿物掺合料掺量为采用普通硅酸盐水泥情况的掺量；

2、宜选用矿渣、硅灰等可相对有效降低混凝土氯离子迁移系数和电通量的矿物掺合料。

5.6 化学腐蚀环境中配合比参数

5.6.1 设计采取的环境作用等级、设计使用年限参照表 5.6.1 选择水胶比和矿物掺合料的掺量。

表 5.6.1 化学腐蚀环境中的高性能混凝土配合比推荐性参数

控制项目	环境作用等级					
	50 年			100 年		
	V-C	V-D	V-E	V-C	V-D	V-E
水胶比	≤ 0.42	≤ 0.39	≤ 0.36	≤ 0.39	≤ 0.36	≤ 0.33
矿物掺合料掺量 (%)	≥ 30			≥ 35		

注：1、矿物掺合料掺量为采用普通硅酸盐水泥情况的掺量；

2、矿物掺合料主要为矿渣粉和粉煤灰等，或复合采用。

5.6.2 根据混凝土所处地点土体或环境水中硫酸根离子浓度 (SO_4^{2-})，按表 5.6.2 判定侵蚀环境等级。

表 5.6.2 干旱地区硫酸盐环境作用等级

侵蚀环境	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(水溶液) SO_4^{2-} (mg/kg)
V-C (中度侵蚀)	200~500	300~750
V-D (严重侵蚀)	500~2000	750~3000
V-E (非常严重侵蚀)	2000~5000	3000~7500
V-F (极端严重侵蚀)	>5000	>7500

5.6.3 根据混凝土所处侵蚀环境等级，参照表 5.6.3 选择高性

能混凝土推荐性参数。

表 5.6.3 不同抗硫酸盐侵蚀性高性能混凝土推荐性参数

硫酸盐侵蚀等级	最大水胶比	矿物掺合料掺量 (%)
中度	0.40	≥ 30
严重	0.38	≥ 30
非常严重	0.35	≥ 35
极端严重	0.30	≥ 40

注：1、矿物掺合料掺量为采用普通硅酸盐水泥情况的掺量；

2、矿物掺合料主要为矿渣粉和粉煤灰等，或复合采用。

5.6.4 高性能混凝土配合比的抗硫酸盐侵蚀性验证采用本规程附录 B 中的方法，试件采用胶砂试件。

5.6.5 高性能混凝土抗其他化学腐蚀配合比宜符合表 5.6.5 的规定。

表 5.6.5 高性能混凝土抗其他化学腐蚀配合比推荐性参数

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
	5.5~4.5	0.39
	<4.5	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

5.7 抑制碱骨料反应耐久性设计

5.7.1 当高性能混凝土所采用的骨料中存在碱活性骨料，混凝土结构处于潮湿环境下时，高性能混凝土配合比应进行抑制碱骨料反应耐久性设计，混凝土中碱含量不宜大于 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 。混凝土碱含量计算应符合下列规定：

1 混凝土碱含量应为配合比中各原材料（水泥、矿物掺合料、外加剂、水）的碱含量之和；

2 水泥、水和外加剂中碱含量可用实测值计算；矿物掺合料为粉煤灰时，碱含量可用 $1/6$ 实测值计算，硅灰或矿渣粉碱含量可用 $1/2$ 实测值计算；复合矿物掺合料碱含量可用 $1/2$ 实测值计算；

3 骨料碱含量可不计入混凝土碱含量。

5.7.2 高性能混凝土中掺加大量矿物掺合料是预防碱-硅酸反应的有效措施。高性能混凝土矿物掺合料掺量同本规程 4.3.2 要求。

5.7.3 高性能混凝土抑制碱骨料反应试验方法宜采用《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中的“混凝土棱柱体法”；采用“抑制骨料碱-硅酸反应活性有效试验方法”时应按本规程附录 E 进行。

5.8 降低混凝土开裂风险的配合比设计

5.8.1 高性能混凝土在低水胶比下，宜采用大掺量矿物掺合料

的配制技术。

5.8.2 施工期限允许，混凝土强度技术性能设计龄期采用 60d 或 90d，在配合比设计时尽可能减少胶凝材料总量或加大矿物掺合料掺量。

5.8.3 混凝土周围环境温度较高时，宜掺加缓凝剂，以延缓或降低混凝土胶凝材料水化热的释放峰值。

5.8.4 施工时，宜采用大体积混凝土相配套的温度控制措施，如降低控制混凝土浇筑入仓温度、保温保湿、埋设冷却循环水管，减小混凝土与基底摩阻力等。

5.8.5 当工程要求需在拌合过程中加入冰块、冰片、冰屑时，应从拌合用水的总质量中扣除加入冰块、冰片、冰屑的质量，以确保水胶比不变。

5.8.6 高性能混凝土浇筑施工时，宜掺加混凝土内养护剂，以降低混凝土的收缩开裂风险。

6 性能要求

6.1 拌合物性能要求

6.1.1 高性能混凝土拌合物应具有优异的和易性，坍落度、扩展度、坍落度经时损失和凝结时间等拌合物性能应满足施工要求。

6.1.2 高性能混凝土拌合物坍落度、扩展度等级划分及允许偏差应符合《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。在满足施工工艺要求的前提下，宜采用较小的坍落度。

6.1.3 高性能混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 高性能混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量

环境条件	水溶性氯离子最大含量 (%，水泥用量的质量百分比)	
	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	
潮湿且含有氯离子的环境、盐渍土环境	0.10	
除冰盐等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06	

6.1.4 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应符合《混凝土质量控制标

准》GB 50164 的规定。在干旱、高寒硫酸盐环境和含盐大气环境中高性能混凝土应掺用引气剂，混凝土含气量不宜超过 5%。长期处于潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境、盐冻环境、受除冰盐作用环境的高性能混凝土应掺用引气剂，引气剂掺量应根据混凝土含气量要求经试验确定。高性能混凝土最小含气量应符合表 6.1.4 的规定，最大不宜超过 7.0%。

表 6.1.4 高性能混凝土最小含气量

粗骨料最大公称粒径 (mm)	混凝土最小含气量 (%)	
	潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境	受除冰盐作用、盐冻环境、海水冻融环境
40.0	4.5	5.0
25.0	5.0	5.5
20.0	5.5	6.0

注：含气量为气体占混凝土体积的百分比。

6.1.5 特殊要求的高性能混凝土的稠度以及其他性能控制应符合如下规定：

1 泵送高强高性能混凝土坍落度控制目标值不宜小于 180mm，经时 1h 坍落度应无损失，扩展度不宜小于 500mm，倒置坍落度筒排空时间宜控制在 5s~20s；

2 自密实混凝土扩展度不宜小于 600mm，经时 1h 扩展度应无损失；扩展时间 T500 不宜大于 8s；坍落扩展度与 J 环扩展度差值不宜大于 25mm；离析率不宜大于 15%；

3 泵送钢纤维混凝土坍落度控制目标值宜为 160mm~

210mm，坍落度经时损失不宜大于 30mm/h；泵送合成纤维混凝土坍落度控制目标值不宜大于 180mm，坍落度经时损失不宜大于 30mm/h；纤维混凝土拌合物中的纤维应分布均匀，不出现结团现象。

6.1.6 用于混凝土预制制品的高性能混凝土拌合物性能还应满足该制品制造工艺的要求。

6.2 力学性能要求

6.2.1 常规品高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为：C30、C35、C40、C45、C50、C55。

6.2.2 特殊要求的高性能混凝土强度等级划分：

1 高强高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为 C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95、C100、C105、C110、C115、C120；

2 自密实高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为 C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80；

3 钢纤维高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为 CF35、CF40、CF45、CF50、CF55、CF60、CF65、CF70、CF75、CF80、CF85、CF90、CF95、CF100、CF105、CF110、CF115、CF120；合成纤维高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为 C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、

C75、C80。

6.2.3 用于预制制品的高性能混凝土强度等级不宜低于 C40，轻骨料高性能混凝土除外。

6.2.4 高性能混凝土抗压强度的评定应按《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 执行。

6.3 耐久性能和长期性能要求

6.3.1 高性能混凝土耐久性能等级划分：

1 高性能混凝土的抗冻性能、抗水渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能的等级划分应符合表 6.3.1-1 规定：

表 6.3.1-1 高性能混凝土抗冻性能、抗水渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能的等级划分

抗冻等级（快冻法）		抗冻标号（慢冻法）	抗渗等级	抗硫酸盐等级
F250	F400	D150	P12	KS120
F300	>F400	D200	>P12	KS150
F350	-	>D200	-	>KS150

2 高性能混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分应符合下列规定：

1) 当采用氯离子迁移系数（RCM 法）划分高性能混凝土抗氯离子渗透性能等级时，应符合表 6.3.1-2 的规定，且测试龄期宜为 84d；

表 6.3.1-2 高性能混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分
(RCM 法)

等级	RCM-III	RCM-IV	RCM-V
氯离子迁移系数 D_{RCM} (RCM 法) ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	$2.5 \leq D_{RCM} < 3.0$	$1.5 \leq D_{RCM} < 2.5$	$D_{RCM} < 1.5$

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 6.3.1-3 的规定,且高性能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 6.3.1-3 高性能混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分
(电通量法)

等级	Q-III	Q-IV	Q-V
电通量 Q_s (C)	$1000 \leq Q_s < 2000$	$500 \leq Q_s < 1000$	$Q_s < 500$

3 高性能混凝土的抗碳化性能等级划分应符合表 6.3.1-4 的规定,且测试龄期宜为 28d。

表 6.3.1-4 高性能混凝土抗碳化性能的等级划分

等级	T-III	T-IV	T-V
28d 碳化深度 d (mm)	$10 \leq d < 15$	$0.1 \leq d < 10$	$d < 0.1$

6.3.2 一般环境中高性能混凝土的耐久性能应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 一般环境中高性能混凝土耐久性能要求

控制项目	环境作用等级		
	50 年	100 年	
	I-C	I-B	I-C
28d 碳化深度 (mm)	≤15	≤10	≤5
抗渗等级	≥P12	≥P12	≥P12

6.3.3 冻融环境中高性能混凝土的耐久性能应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 冻融环境中高性能混凝土耐久性能要求

控制项目	环境作用等级					
	50 年			100 年		
	II-C	II-D	II-E	II-C	II-D	II-E
抗冻等级	≥F250	≥F300	≥F350	≥F300	≥F350	≥F400

6.3.4 氯化物环境中高性能混凝土的耐久性能应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 氯化物环境中高性能混凝土耐久性能要求

控制项目	环境作用等级							
	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
84d 氯离子 迁移系数 ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	<3.0	<2.5	<2.0	<1.5	<2.5	<2.0	<1.5	<1.2

6.3.5 化学腐蚀环境中高性能混凝土的耐久性能应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 化学腐蚀环境中的高性能混凝土耐久性能要求

控制项目	环境作用等级					
	50 年			100 年		
	V-C	V-D	V-E	V-C	V-D	V-E
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
56d 电通量 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	≤ 800
对于硫酸盐环境, 抗硫酸盐等级	\geq KS120	\geq KS150	\geq KS150	\geq KS150	\geq KS150	\geq KS150
抗蚀系数	≥ 0.9	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0

6.4 收缩性能

掺有混凝土内养护剂的混凝土, 28d 抗压强度比 $\geq 95\%$, 7d 自收缩率比 ≤ 0 。

7 制 备

7.1 一般规定

7.1.1 高性能混凝土宜采用集中搅拌方式生产,生产过程应《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的要求。

7.1.2 高性能混凝土制备应加强过程监控,并根据监控情况及时调整生产技术措施。

7.1.3 高性能混凝土生产应符合《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 中相关的规定要求。

7.2 原材料贮存

7.2.1 高性能混凝土应严格控制原材料进厂环节,控制生产时所用原材料质量,并采用科学的贮存方式以满足高性能混凝土生产要求。原材料进厂与贮存还要满足环境保护要求。

7.2.2 原材料进厂时,供方应向需方提供质量证明文件。质量证明文件应包括当年的型式检验报告、出厂检验报告与合格证等,外加剂等产品还应附有使用说明书。

7.2.3 水泥应按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存;应防止水泥受潮及污染,不得采用结块的水泥;水泥出厂超过 3 个月,应依据现行国家规范进行复检,复检合格后方可使用。水泥用于生产时的温度不宜高于 60℃。

7.2.4 矿物掺合料应按品种、质量等级和产地分别标识和贮存，不应与水泥等其他粉状料混杂，并应防潮、防雨。矿物掺合料的存储期超过3个月应依据现行国家规范进行复检，复检合格后方可使用。

7.2.5 不同品种、规格的骨料应分别标识，避免混杂或污染，骨料堆场应为能排水的硬质地面，并应建有骨料大棚等防雨、防尘、防晒设施。

7.2.6 外加剂应按品种和生产厂家分别标识和贮存；粉状外加剂应防止受潮结块，如有结块，应进行检验，合格后经粉碎并全部通过 $300\mu\text{m}$ 方孔筛孔后，方可使用；液态外加剂应贮存在密闭容器内，并应防晒和防冻。如有沉淀等异常现象，应经检验合格方可使用。

7.3 计 量

原材料计量应采用电子计量设备。计量设备应能连续计量不同混凝土配合比的各种原材料，应具有逐盘记录和贮存计量结果（数据）的功能，其精度应满足《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171的要求。计量设备应由法定计量部门定期检定，且搅拌站（楼）中的每个计量设备应分别进行检定并留存检定证书。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。混凝土原材料计量允许偏差应符合表7.3.1。

表 7.3.1 混凝土原材料计量允许偏差（单位：%）

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

注：累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量的偏差。

高性能混凝土用外加剂的计量宜采用精度更高的计量或其他的有效措施来提高外加剂计量精度，固体原材料应按质量进行计量。

7.4 搅 拌

7.4.1 高性能混凝土应采用强制搅拌机拌制，并应符合《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定。

7.4.2 应严格测定粗、细骨料的含水率，宜每班抽测 2 次。

7.4.3 预拌混凝土搅拌应符合下列规定：

1 原材料的投料顺序宜为：粗骨料、细骨料、水泥、矿物掺合料投入→加入搅拌水→加入减水剂→出料。当采用其他投料顺序时，应经试验确定其搅拌时间，保证搅拌均匀。

2 搅拌最短时间尚应符合设备说明书的规定。从全部材料投完算起的搅拌时间不得少于 1min。搅拌 C50 以上强度等级的混凝土或采用引气剂、膨胀剂和粉状外加剂的混凝土时，应适当延长搅拌时间。

7.4.4 高性能混凝土拌合物温度不应低于 5℃，并应符合下列

规定：

1 冬期施工搅拌混凝土时，宜优先采用加热水的方法提高拌合物温度，也可同时采用加热骨料的方法提高拌合物温度。当拌合用水和骨料加热时，拌合用水和骨料的加热温度不应超过表 7.4.4 的规定；当骨料不加热时，拌合用水可加热到 60℃ 以上，但不能将水泥与热水直接混合搅拌，应先投入骨料和热水进行搅拌，然后再投入水泥等胶凝材料共同搅拌；

表 7.4.4 拌合用水和骨料的最高加热温度（℃）

水泥强度等级	拌合用水	骨料
42.5、42.5R 及以上	60	40

2 炎热季节施工时，骨料宜适当采用喷淋措施；搅拌混凝土时可采用水中掺加冰块的方法降低拌合物温度。当掺加冰块时，应采用碎冰机制备较小粒径的冰片、冰屑。

7.5 运 输

7.5.1 混凝土搅拌运输车应符合相关标准的规定；翻斗车应仅限用于运送坍落度小于 80mm 的混凝土拌合物。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，对于寒冷、严寒炎热的气候情况，搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。

7.5.2 搅拌运输车出入厂区时宜采用循环水进行冲洗以保持卫生清洁，冲洗运输车产生的废水可进入废水回收利用设施。搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽，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 30s; 外加剂掺量和搅拌时间应有经试验确定的预案。

7.5.3 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, 如需要延长运输时间, 则应采取相应的有效技术措施, 并应通过试验验证。

7.5.4 运输应保证混凝土浇筑的连续性。

7.5.5 运输尚应符合《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

7.5.6 预拌混凝土从搅拌机卸入搅拌运输车至进入施工现场泵送、浇筑整个过程中严禁添加计量外用水。

8 施 工

8.1 一般规定

- 8.1.1 进入施工现场的混凝土拌合物必须符合设计要求和有关规定。
- 8.1.2 混凝土试件应在浇筑地点随时取样，同一工程、同一配合比的混凝土取样应按《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。留置组数可根据实际需要适当增加。

8.2 泵 送

- 8.2.1 高性能混凝土拌合物的泵送应符合《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 和《预拌混凝土》GB 14902 的要求。
- 8.2.2 当混凝土拌合物的坍落度不能满足施工要求时，应由混凝土供货单位的技术人员现场进行调整。

8.3 浇筑与成型

- 8.3.1 高性能混凝土浇筑包括模板支撑、泵管设置、振捣方式选择、振捣时间控制、不同等级混凝土的现浇对接和抹面等内容。
- 8.3.2 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。
- 8.3.3 浇筑前，应检查模板、钢筋、保护层和预埋件等的尺寸、

规格、数量和位置，其偏差值应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定，并应检查模板支撑的稳定性以及接缝的密合情况，保证模板在混凝土浇筑过程中不失稳、不跑模和不漏浆。

8.3.4 浇筑前，应清除模板内以及垫层上的杂物；表面干燥的地基土、垫层、胶合板应浇水湿润。

8.3.5 夏季天气炎热时，宜选择晚间或夜间浇筑混凝土，以避免模板和新浇筑混凝土直接受阳光曝晒；现场温度高于 35℃时，宜对金属模板进行浇水降温，但不得留有积水，并宜采取遮挡措施避免阳光照射金属模板。当在相对湿度较小，风速较大的环境下浇筑混凝土时，宜采取适当挡风措施，防止混凝土表面失水过快，并应避免浇筑较大暴露面积的构件。

8.3.6 高性能混凝土入模温度夏季不宜大于 35℃，冬季不宜小于 5℃。

8.3.7 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。润滑泵管的砂浆不得浇筑在重要结构上，也不得集中一处浇筑在非重要结构部位。

8.3.8 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，应用抹子搓压表面至少两遍，平整后再次覆盖。

8.3.9 混凝土浇筑成型后，在强度达到 1.2MPa 以前，不得在构

件上面踩踏行走。

8.3.10 浇筑混凝土时,混凝土坍落度检验试样的取样频率应与混凝土强度检验试样频率一致。

1 每拌制 100 盘且不超过 100m³ 相同配合比的混凝土,取样不得少于一次;

2 每工作班拌制的相同配合比的混凝土不足 100 盘(不大于 100m³时)取样不得少于一次;

3 当一次连续生产超过 1000m³时,同一配合比的混凝土每 200m³取样不得少于一次。

8.3.11 混凝土运送至指定浇筑地点时,应检测其坍落度,应在混凝土运到浇筑地点时 20min 内完成,试样的制作应在 40min 内完成,同时坍落度的允许偏差应符合表 8.3.11 的要求。

表 8.3.11 混凝土坍落度的允许偏差 (mm)

要求坍落度	允许偏差
>100	±30

8.3.12 对大体积混凝土必须采取措施控制其温度收缩裂缝,并按大体积混凝土施工方法和措施进行施工。

8.4 振捣

浇筑高性能混凝土应振捣密实,宜采用高频振捣器垂直点振。当混凝土较粘稠时,应加密振点分布。应特别注意二次振捣方法,确保有效地消除塑性阶段产生的沉缩和表面收缩裂缝。

8.5 养 护

8.5.1 生产和施工单位应根据结构、构件或制品情况、环境条件、原材料情况以及对高性能混凝土性能的要求等，提出施工养护方案或生产养护制度，并应严格执行，详细记录。

8.5.2 高性能混凝土施工养护可采用浇水、覆盖保湿、喷涂养护剂、冬期蓄热养护等方法进行；高性能混凝土预制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。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。

8.5.3 采用塑料薄膜覆盖养护时，高性能混凝土结构全部表面应覆盖严密，并应保持膜内有凝结水；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%，养护剂有效保水率和抗压强度比的试验方法应符合《公路工程混凝土养护剂》JT/T 522 的规定；当混凝土参加膨胀剂时，养护时间不得少于 14d；当混凝土参加内养护剂时，28d 抗压强度比不应小于 95%。

8.5.4 养护用水温度与混凝土表面温度之间的温差不宜大于 20℃。

8.5.5 高性能混凝土施工养护时间应符合下列规定：

1 对于采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配置的高性能混凝土，采用浇水和潮湿覆盖的养护时间不得少于 7d；

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

3 对于竖向混凝土结构宜加混凝土养护剂覆膜养护,养护时间应适当延长。

8.5.6 高性能混凝土构件或制品厂的混凝土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 and 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 25℃/h,降温速度不宜超过 20℃/h,最高和恒温温度不宜超过 65℃;混凝土构件或制品在出库或撤除养护措施前,应进行温度测量,当表面与外界温差不大于 20℃时,构件方可出库或撤除养护措施。

3 构件未脱模前混凝土表面上的覆盖物不可揭开,以保证混凝土表面的温湿度,防止温湿度下降太快而产生裂纹。当采用吸盘脱模时混凝土强度应大于 15MPa,当采用其他脱模方式时混凝土强度应大于 20MPa。

8.5.7 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，控制混凝土内部和表面的温差不宜超过 25℃，表面与外界的温差不宜大于 20℃。

8.5.8 对于冬期施工的混凝土，养护应符合下列规定：

- 1 日均气温低于 5℃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 10MPa；

3 模板和保温层应在混凝土冷却到 5℃方可拆除，或在混凝土表面温度与外界温度相差不大于 20℃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 20MPa 时，方可撤除养护措施。

8.5.9 养护尚应符合《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119、《混凝土结构工程施工规范》GB/T 50666 和《建筑工程冬季施工规程》JGJ/T 104 的规定。

9 验收

9.0.1 混凝土质量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

9.0.2 混凝土结构工程的施工质量验收应符合国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

9.0.3 混凝土强度检测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。

9.0.4 混凝土耐久性检测评定应符合国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定。

附录 A 混凝土抗氯离子渗透性试验方法

A.1 快速氯离子迁移系数法（或称 RCM 法）

A.1.1 本方法适用于以测定氯离子在混凝土中非稳态迁移的迁移系数来确定混凝土抗氯离子渗透性能。

A.1.2 试验所用试剂、仪器设备、溶液和指示剂应符合下列规定：

1 试剂应符合下列规定：

- 1) 试剂应采用蒸馏水或去离子水。
- 2) 氢氧化钠应为化学纯。
- 3) 氯化钠应为为化学纯。
- 4) 硝酸银应为化学纯。
- 5) 氢氧化钙应为化学纯。

2 仪器设备应符合下列规定：

- 1) 切割试件的设备应采用水冷式金刚石锯或碳化硅锯。
- 2) 真空容器应至少能够容纳 3 个试件。
- 3) 真空泵应能保持容器内的气压处于（1~5）kPa。
- 4) RCM 试验装进（图 A.1.2）采用的有机硅橡胶套的内径和外径应分别为 100mm 和 115mm，长度应为 150mm。夹具应采用不锈钢环箍，其直径范围为（105~115）mm、宽度应为 20mm。阴极试验槽可采用尺寸为 370mm×270mm×280mm 的塑料箱。阴极

板应采用厚度为 (0.5 ± 0.1) mm、直径不小于100mm的不锈钢板。阳极板应采用厚度为0.5mm、直径为 (98 ± 1) mm的不锈钢网或带孔的不锈钢板。支架应由硬塑料板制成。处于试件和阴极板之间的支架头高度应为 $(15 \sim 20)$ mm。RCM 试验装置还应符合 JG/T 262 的有关规定。处于试件和阴极板之间的支架头高度应为 $(15 \sim 20)$ mm。RCM 试验装置还应符合 JG/T 262 的有关规定。

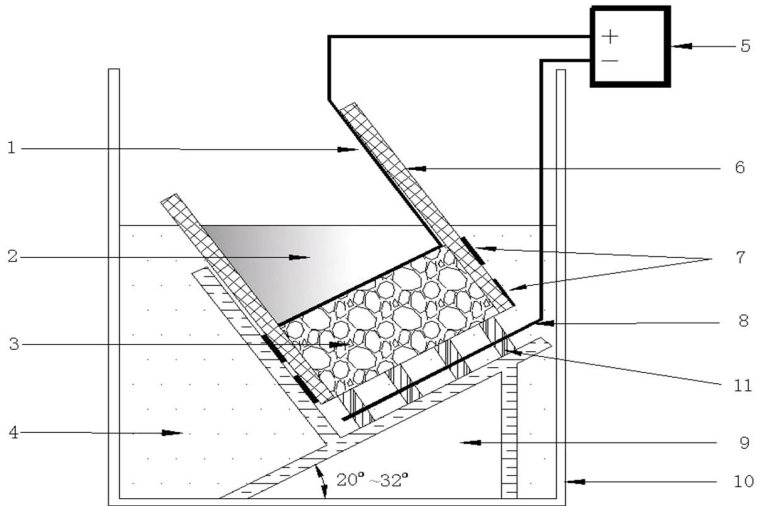


图 A. 1. 2 RCM 试验装置示意图

1—阳极板；2—阳极溶液；3—试件；4—阴极溶液；5—直流稳压电源；

6—有机硅橡胶套；7—环箍；8—阴极板；9—支架；10—阴极试验槽；11—支撑头

5) 电源应能稳定提供 $(0 \sim 60)$ V 的可调直流电，精度应为 ± 0.1 V，电流应为 $(0 \sim 10)$ A。

- 6) 电表的精度应为 $\pm 0.1\text{mA}$ 。
- 7) 温度计或热电偶的精度应为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。
- 8) 喷雾器应适合喷洒硝酸银溶液。
- 9) 游标卡尺的精度应为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- 10) 尺子的最小刻度应为 1mm 。
- 11) 水砂纸的规格后应为(200~600)号。
- 12) 细锉刀可为备用工具。
- 13) 扭矩扳手的扭矩范围应为(20~100) $\text{N}\cdot\text{m}$ ，测最允许误差为 $\pm 5\%$ 。
- 14) 电吹风的功率应为(1000~2000) W 。
- 15) 黄铜刷可为备用工具。
- 16) 真空表或压力计的精度应为 $\pm 665\text{Pa}$ (5mmHg柱)，量程应为(0~13300) Pa (0mm~100mmHg柱)。
- 17) 抽真空设备可由体积在1000mL以上的烧杯、真空干燥器、真空泵、分液装置、真空表等组合而成。

3 溶液和指示剂应符合下列规定：

1) 阴极溶液应为10%质量浓度的 NaCl 溶液，阳极溶液应为 0.3mol/L 摩尔浓度的 NaOH 溶液。溶液应至少提前24h配制，并应密封保存在温度为(20~25) $^\circ\text{C}$ 的环境中。

2) 显色指示剂应为 0.1mol/L 浓度的 AgNO_3 溶液。

A. 1.3 RCM 试验所处的试验室温度应控制在(20~25) $^\circ\text{C}$ 。

A. 1.4 试件制作应符合下列规定：

1 RCM 试验用试件应采用直径为 (100 ± 1) mm, 高度为 (50 ± 2) mm 的圆柱体试件。

2 在试验室制作试件时, 宜使用 $\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 或 $\phi 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ 试模。骨料最大公称粒径不宜大于 25mm。试件成型后应立即用塑料薄膜覆盖并移至标准养护室。试件应在 (24 ± 2) h 内拆模。然后应浸没于标准养护室的水池中。

3 试件的养护龄期宜为 28d。也可根据设计要求选用 56d 或 84d 养护龄期。

4 应在抗氯离子渗透试验前 7d 加工成标准尺寸的试件。当使用 $\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 试件时, 应从试件中部切取高度为 (50 ± 2) mm 圆柱体作为试验用试件, 并将靠近浇筑面的试件端面作为暴露于氯离子溶液中的测试面。当使 $\phi 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ 试件时, 应先将试件从正中间切成相同尺寸的两部分($\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$), 然后应从两部分中各切取一个高度为 (50 ± 2) mm 的试件, 并将将第一次的切口面作为暴露于氯离子溶液中的测试面。

5 试件加工后应采用水砂纸和细锉刀打磨光滑。

6 加工好的试件应继续浸没于水中养护至试验龄期。

A.1.5 RCM 法试验成按下列步骤进行:

1 首先应将试件从养护池中取出来, 并将试件表面的碎屑刷洗干净, 擦干试件表面多余的水分。然后采用游标卡尺测量试件的直径和高度, 应精确到 0.1mm。应将试件在饱和面干状态下置于真空容器中进行真空处理。应在 5min 内将真空容器中的绝

对压强减少至(1~5)kPa,并保持该真空度3h,然后在真空泵仍然运转的情况下,将用蒸馏水配制的饱和氢氧化钙溶液注入容器,溶液高度应保证将试件浸没。试件浸没1h后恢复常压,并应继续浸泡(18±2)h。

2 试件安装在RCM试验装置前应采用电吹风冷风档吹干,表面应该干净、无油污、灰砂和水珠。

3 RCM试验装置的试验槽在试验前应用室温凉开水冲洗干净。

4 试件和RCM试验装置(图A.1.2)准备好以后,应将试件装入橡胶套内的底部,应在与试件齐高的橡胶套外侧安装两个不锈钢环箍(图A.1.5),每个箍高度应为20mm,并应拧紧环箍上的螺栓至扭矩(30±2)N·m,使试件的圆柱侧面处于密封状态。当试件的圆柱曲面可能有造成液体渗漏的缺陷时,应以密封剂保持其密封性。

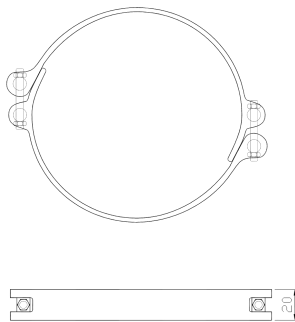


图 A.1.5 不锈钢环箍 (mm)

5 应将装有试件的橡胶套安装到试验槽中，并安装好阳极板。然后应在橡胶套中注入约 300mL 浓度为 0.3mol/L 的 NaOH 溶液，并使阳极板和试件表面均浸没于溶液中。应在阴极试验槽中注入 12L 质量浓度为 10% 的 NaCl 溶液，并应使其液面与橡胶套中的 NaOH 溶液的液面齐平。

6 试件安装完成后，应将电源的阳极（又称正极）用导线连至橡胶筒中阳极板，并将阴极（又称负极）用导线连至试验槽中的阴极板。

A. 1. 6 电迁移试验应按下列步骤进行：

1 首先应打开电源，将电电压调整到 $(30 \pm 0.2)V$ ，并应记录通过每个试件的初始流。

2 后续试验应施加的电压（表 A 第二列）应根据施加 30V 电压时测量得到的初始电流值所处的范围（表 A 第一列）决定。应根据实际施加的电压，记录新的初始电流。应按照新的初始电流值所处的范围（见表 A 第三列），确定试验应持续的时间（表 A 第四列）。

3 应按照源度计或者电热 f 属的显示读数记录每一个试件的阳极溶液的初始温度。

4 试验结束时，应测定阳极溶液的最终温度和最终电流。

5 试验结束后应及时排除试验溶液。应用黄铜刷清除试验槽的结垢或沉淀物，并应用饮用水和洗涤剂将试验槽和橡胶套冲洗干净。然后用电吹风的冷风挡吹干。

表 A 初始电流、电压与试验时间的关系

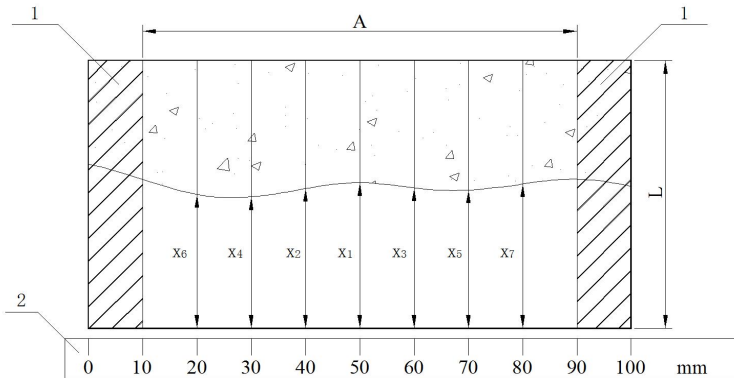
初始电流 I _{30V} (用 30V 电压) (mA)	施加的电压 U (调整后) (V)	可能的新初始电流 I ₀ (mA)	试验持续时间
I ₀ < 5	60	I ₀ < 10	96
5 ≤ I ₀ < 10	60	10 ≤ I ₀ < 20	48
10 ≤ I ₀ < 15	60	20 ≤ I ₀ < 30	24
15 ≤ I ₀ < 20	50	25 ≤ I ₀ < 35	24
20 ≤ I ₀ < 30	40	25 ≤ I ₀ < 40	24
30 ≤ I ₀ < 40	35	35 ≤ I ₀ < 50	24
40 ≤ I ₀ < 60	30	40 ≤ I ₀ < 60	24
60 ≤ I ₀ < 90	25	50 ≤ I ₀ < 75	24
90 ≤ I ₀ < 120	20	60 ≤ I ₀ < 80	24
120 ≤ I ₀ < 180	15	60 ≤ I ₀ < 90	24
180 ≤ I ₀ < 360	10	60 ≤ I ₀ < 120	24
I ₀ ≥ 360	10	I ₀ ≥ 120	6

A. 1.7 氯离子渗透深度测定院校下列步骤进行：

- 1 试验结束后，应及时切断电源。
- 2 切断电源后，应将试件从橡胶套中取出，并应立即用自来水将试件表面冲洗干净，然后应擦去试件表面多余水分。
- 3 试件表面冲洗干净后，应在压力试验机上沿轴向劈成两个半圆柱体，并应在劈开的试件断面立即喷涂浓度为 0.1mol/L 的 AgNO₃ 溶液显色指示剂。
- 4 指示剂喷洒约 15min 后，应沿试件直径断面将其分成 10 等份，并应用防水笔描渗透轮廓线。
- 5 然后应根据观察到的明显的颜色变化，测最显色分界线（图 A. 1.7）离试件底面的距离，精确直至 0.1mm。
- 6 当某一测点被骨科阻挡，可将此测点位置移动到最近未

被骨料阻挡的位置进行测量，当某测点数据不能得到，只要总测点数多于 5 个，可忽略此测点。

7 当某测点位置有一个明显的缺陷，使该点测量值远大于各测点的平均值，可忽略此测点数据，但应将这种情况在试验记录和报告中注明。



1 -试件边缘部分;2 -尺子;A -测量范围;L -试件高度

图 A. 1. 7 显色分界线位置编号

A. 1. 8 试验结果计算及处理成符合下列规定：

1 混凝土的非稳态氯离子迁移系数应按下列式进行计算：

$$D_{RCM} = \frac{0.0239 \times (273 + T)L}{(U - 2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}} \right) \quad (\text{A. 1. 8})$$

式中： D_{RCM} —混凝土的非稳态氯离子迁移系数，精确到 $0.1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ；

U —所用电压的绝对值 (V)；

T —阳极溶液的初始温度和结束温度的平均值 (°C)；

L —试件厚度(mm)，精确到 0.1mm；

X_d —氯离子渗透深度的平均值(mm)，精确到 0.1mm；

t —试验持续时间(h)

2 每组应以 3 个试样的氯离子迁移系数的算术平均值作为该组试件的氯离子迁移系数测定值。当最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15%时，应剔除此值，再取其余两值的平均值作为测定值；当最大值和最小值均超过中间值的 15%时，应取中间值作为测定值。

A. 2 电通量法

A. 2. 1 本方法适用于测定以通过混凝土试件的电通量为指标来确定混凝土抗氯离子渗透性能。本方法不适用于掺有亚硝酸盐和钢纤维等良导电材料的混凝土抗氯离子渗透试验。

A. 2. 2 采用的设备、试剂和用具应符合下列规定：

1 电通量试验装置应采用符合图 A. 2. 2-1 的要求，并应满足 JG/T 261 的有关规定。

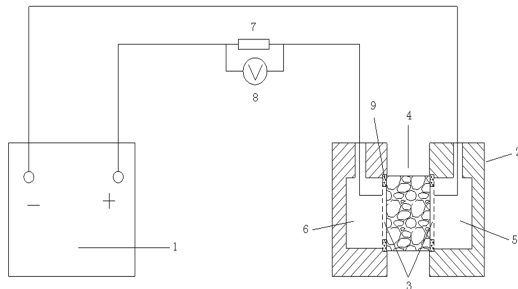


图 A. 2. 2-1 电通量试验装置示意图

1—直流稳压电源;2—试验槽;3—铜电极;4—混凝土试件;5—3.0%NaCl 溶液;

6—0.3mol/L NaOH 溶液;7—标准电阻;8—直流数字式电压表;

9—试件垫圈(硫化橡胶垫或硅橡胶垫)

2 仪器设备和化学试剂应符合以下要求:

1) 直流稳压电源的电压范围应为(0—80)V, 电流范围(0—10)A。并应能稳定输出60V直流电压, 精度应为 $\pm 0.1V$ 。

2) 耐热塑料或耐热有机玻璃试验槽(图A.2.2-2)的边长应为150mm, 总厚度不应小于51mm。试验槽中心的两个槽的直径应分别为89mm和112mm。两个槽的深度应分别为41mm和6.4mm。在试验槽的一边应开有直径为10mm的注液孔。

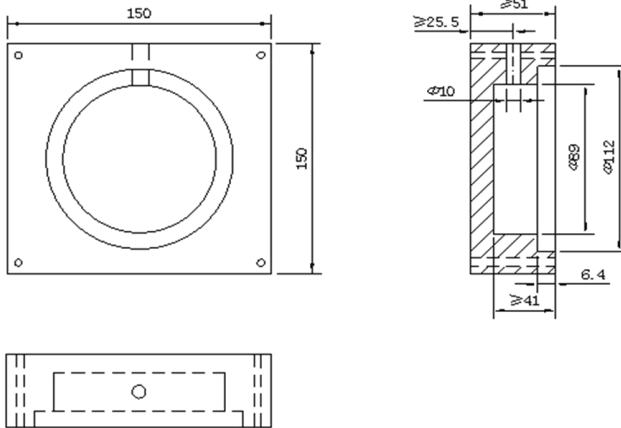


图 A. 2. 2-2 试验槽结构图

3) 紫铜垫板宽度应为 (12 ± 2) mm, 厚度应为 (0.50 ± 0.05) mm。铜网孔径应为0.95mm(64孔/cm²)或者20目。

4) 标准电阻精度 $\pm 0.1\%$; 直流数字电流表量程应为

(0-20)A, 精度 $\pm 0.1\%$ 。

5) 真空泵和真空表应符合本标准第 A.1.2 条的要求。

6) 真空容器的内径不应小于 250mm, 并应能至少容纳 3 个试件。

7) 阴极溶液应用化学纯试剂配制的质量浓度为 3.0% 的 NaCl 溶液。

8) 阳极溶液应用化学纯试剂配制的摩尔浓度为 0.3mol/L 的 NaOH 溶液。

9) 密封材料采用硅胶或树脂密封材料。

10) 硫化橡胶垫或硅橡胶圈的外径应为 100mm、内径应为 75mm、厚度应为 6mm。切割试件的设备应采用水冷式金刚锯或碳化硅锯。抽真空设备可由烧杯(体积在 1000mL 以上)、真空干燥器、真空泵、分液装置、真空表等组合而成。温度计的量程应为(0~120)℃, 精度应为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。电吹风的功率应为(1000~2000)W。

A.2.3 电通量试验应按下列步骤进行:

1 电通量试验应采用直径 $(100\pm 1)\text{mm}$, 高度 $(50\pm 2)\text{mm}$ 的圆柱体试件。试件的制作、养护应符合本标准第 A.1.3 条的规定。如试件表面有涂料等附加材料时, 应预先去除, 且试样内不得含有钢筋等导电材料。在试样移送试验室前, 应避免冻伤或其它物理伤害。

2 电通量试验一般应在试件养护到 28d 龄期进行, 对于掺

有大掺量矿物掺合料的混凝土,可在 56d 龄期进行试验。应先将养护到规定龄期的试件暴露于空气中至表面干燥,并应以硅胶或树脂密封材料涂刷试件圆柱侧面,还应填补涂层中的孔洞。

3 电通量试验前应将试件进行真空饱水。应先将试件放入真空容器中,然后启动真空泵,并应在 5min 内将真空容器中的绝对压强减少至(1~5)kPa,应保持该真空度 3h,然后在真空泵仍然运转的情况下,注入足够的蒸馏水或者去离子水,直至淹没试件,试件浸没 1h 后恢复常压,并继续浸泡(18±2)h。

4 从真空饱水结束后,应从水中取出试件,并抹掉多余水分,且保持试件所处环境的相对湿度在 95%以上。应将试件安装于试验槽内,并应采用螺杆将两试验槽和端面装有硫化橡胶垫的试件夹紧。试件安装好以后,应采用蒸馏水或者其他有效方式检查试件和试验槽之间的密封性能。

5 检查试件和试件槽之间的密封性后,应将质量浓度为 3.0%的 NaCl 溶液和摩尔浓度为 0.3mol/L 的 NaOH 溶液分别注入试件两侧的试验槽中,注入 NaCl 溶液的试验槽内的铜网应连接电源负极,注入 NaOH 溶液的试验槽中的铜网应连接电源正极。

6 在正确连接电源线后,应在保持试验槽中充满溶液的情况下接通电源,并应对上述两铜网施加(60±0.1)V 直流恒电压,且应记录电流初始读数 I_0 。开始时每隔 5min 记录一次电流值,当电流值变化不大时,每隔 10min 记录一次电流值;当电流变化很小时,每隔 30min 记录一次电流值,直至通电 6h。

7 当采用自动采集数据的测试装置时，记录电流的时间间隔可设定为(5~10)min，电流测量值应精确至±0.5mA。试验过程中宜同时监测试验槽中溶液的温度。

8 试验结束后，应及时排出试验溶液，并应用凉开水和洗涤剂冲洗试验槽 60s 以上，然后用蒸馏水洗净并用电吹风冷风档吹干。

9 试验应在(20~25)℃的室内进行。

A. 2. 4 试验结果计算及处理应符合下列规定：

1 试验过程中或试验结束后，应绘制电流与时间的关系图。应通过将各点数据以光滑曲线连接起来，对曲线作面积积分，或按梯形法进行面积积分，得到试验 6h 通过的电通量(C)。

2 每个试件的总电通量可采用下列简化公式计算：

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + \cdots + 2I_t + \cdots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{300}) \quad (\text{A. 2. 4-1})$$

式中：Q—通过试件的总电通量 (C)；

I_0 —初始电流 (A)，精确到 0.001A，

I_t —在时间 t (min) 的电流 (A)，精确到 0.001A。

3 计算得到的通过试件的总电通量应换算成直径为 95mm 试件的电通量值。应通过将计算的总电通量乘以一个直径为 95mm 的试件和实际试件横截面积的比值来换算，换算可按下式进行：

$$Q_s = Q_x \times (95/X)^2 \quad (\text{A. 2. 4-2})$$

式中： Q_s —通过直径为 95mm 的试件的电通量（C）；

Q_x —通过直径为 X mm 的试件的电通量（C）；

X —试件的实际直径（mm）。

4 每组应取 3 个试件电通量的算术平均值作为该组试件的电通量测定值。当某一个电通量值与中值的差值超过中值的 15% 时，则应取其余两个试件的电通量的算术平均值作为该组试件的试验结果测定值。当有两个测值与中值的差值都超过中值的 15%，应取中值作为该组试件的电通量试验结果测定值。

附录 B 水泥和混凝土抗硫酸盐侵蚀检测方法

B.0.1 水泥和混凝土抗硫酸盐侵蚀检测方法宜采用浸泡抗侵蚀性能试验方法（K法）。

B.0.2 本实验方法为将水泥胶砂试体分别浸泡在规定浓度的硫酸盐侵蚀溶液和水中养护到规定龄期，以抗折强度之比确定抗硫酸盐侵蚀系数。

B.0.3 仪器设备：

1 手动千斤顶压力机

手动千斤顶压力机，最大荷载大于 15kN，压力保持 5s 以上。上下压板须水平且中心部分在同一直线上，也可用其他压力设备代替。

2 小型抗折强度试验机

小型抗折强度试验机加荷速度 0.78N/s。应有一个能指示并保持试件破坏时载荷的指示器。载荷标尺准确至 0.01N。

3 试模

试模由三个平行的模槽组成，可同时成型三条截面为 10mm×10mm×60mm 的棱柱试体。其材质为不锈钢。隔板、端板及底座上表面须磨平。三联试模如图 B 所示，组装后内壁各接触面应互相垂直。

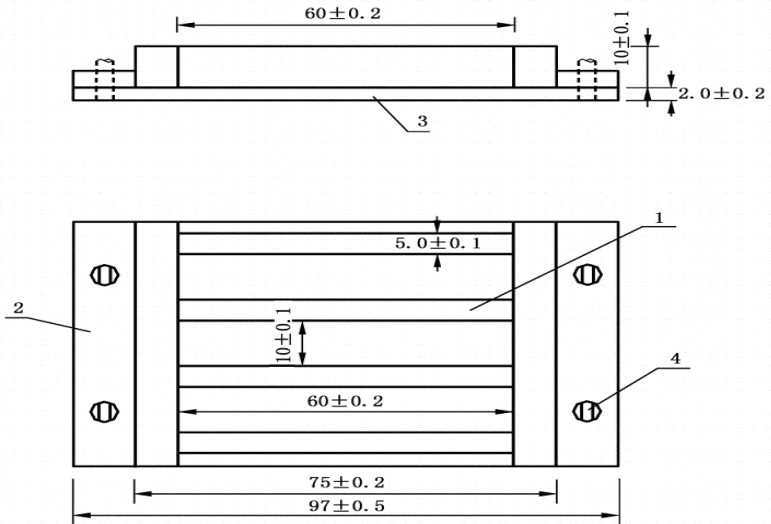


图 B 三联试模示意图

1—隔板;2—端板;3—底座;4—螺栓

4 夹具

两根支撑圆柱和中间一根加荷圆柱直径皆为 5mm。通过三根圆柱轴的三个竖向平面应平行,并在试验时继续保持平行和等距离。两支撑圆柱中心距 50mm。

5 拌和锅

拌和锅直径约 200mm,高 70mm,厚度(1~2)mm,材质为不锈钢。

6 天平

最大称量不小于 500g,分度值不大于 1g。

7 养护箱

20℃试件带模养护的养护箱和试验室满足 GB/T 17671 中 4.1 的要求。

B.0.4 试验应采用下列试验材料：

1 试验用砂

符合 GB/T 17671 规定的粒度范围在 (0.5~1.0) mm 的中级砂。

2 试验用水

洁净的饮用水，在有争议时采用《分析实验室用水规格和试验方法》GB/T 6682 的三级水。

3 硫酸盐侵蚀溶液

采用化学纯无水硫酸钠试剂配制浓度为 3%（质量分数）的硫酸盐溶液，温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

注：浸泡溶液可以采用天然环境水，也可按委托方要求的浸泡条件进行试验。所改变的养护条件需在报告中说明。

4 硫酸(1+5)

1 份体积的浓硫酸与 5 份体积的水混合。

5 酚酞指示剂溶液(10g/L)

将 1g 酚酞溶于 100mL 乙醇中。

B.0.5 胶砂制备

水泥与标准砂的质量比需根据工程实际配合比确定。水胶比也同样根据工程实际配合比确定。

B.0.6 试体成型

将成型用模套装在三联试模上，然后将制备好的胶砂分两层

装入 6 个试模内。第一层胶砂装到模套高度的约 1/2 处，装模时用 小刀插实、挤压，操作时应注意试体两端多插几次，然后将胶砂装满，再用小刀插实、挤压，用小刀刮平，编号，放入 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 养护箱养护 $(24 \pm 2)\text{h}$ ，脱模。

B. 0. 7 试体的养护与侵蚀浸泡

脱模后的试块放入 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 养护箱中装有养护 3d，取出。分成两组，每组九条。一组放入纯净水的容器中继续养护，一组放入相应浓度硫酸盐侵蚀溶液的容器中浸泡（浓度由实验或工程实际情况确定），试体在容器中浸泡时，每条试体需有 200mL 的侵蚀溶液，液面至少高出试体顶面 10mm。为避免蒸发，容器加盖。

试件在浸泡过程中，每天一次用硫酸(1+5)滴定硫酸盐侵蚀溶液，以中和试体在溶液中放出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，边滴定边搅拌使侵蚀溶液的 pH 保持在 7.0 左右，指示剂可采用酚酞指示剂溶液。两组试体养护至规定龄期后取出。

注：侵蚀龄期可根据实际情况调整，但需在试验报告中说明，通常作为判定其实验龄期应大于 120 天，条件允许的情况下应将试验龄期延长至一年。

B. 0. 8 试体破型

破型前，擦去试体表面的水分和砂粒，清除夹具圆柱表面粘着的杂物，试体放入抗折夹具上时，试体侧面与圆柱接触。

1 试验结果的计算

试体的抗折强度按式(B. 0. 8-1)进行计算。

$$R = 0.075 \times F \quad (\text{B. 0. 8-1})$$

式中： R —试体抗折强度，单位为兆帕(MPa)；

F —折断时施加于棱柱体中部的荷载，单位为牛顿(N)；

0.075—与小型抗折试验机夹具力臂及小试体截面积有关的
换算常数。

2 试验结果处理

九条试体的破坏荷载剔除最大值和最小值，以其余七块平均值为试体抗折强度，计算精确到 0.01MPa。分别计算水中养护和侵蚀溶液中养护的试体抗折强度 R 值，得到 $R_{液}$ 、 $R_{水}$ 。

3 试样抗蚀系数的计算

抗蚀系数按式(B.0.8-2)计算，结果保留到 0.01。

$$K = \frac{R_{液}}{R_{水}} \quad (\text{B.0.8-2})$$

式中： K —抗蚀系数；

$R_{液}$ —试体在侵蚀溶液中浸泡 28d 抗折强度，单位为兆帕
(MPa)；

$R_{水}$ —试体在 20℃ 水中养护同龄期抗折强度，单位为兆帕
(MPa)

附录 C 碱含量计算方法

C.0.1 试验目的

使用本方法配制混凝土时，计算水泥、矿物掺合料和化学外加剂所带进的碱中，能参与碱骨料反应的有效碱，控制混凝土中总碱量小于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。

C.0.2 试验方法

1 水泥和矿物掺合料的碱含量，按《水泥化学分析方法》GB/T 176 进行检验。

2 化学外加剂的碱含量，按《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077 进行检验。

3 混凝土组成材料中的有效碱含量按下列规定计算：

- 1) 水泥中所含的碱均为有效碱含量；
- 2) 粉煤灰中碱含量的 $1/6$ 为有效碱含量；
- 3) 矿渣微细粉中碱含量的 $1/2$ 为有效碱含量；
- 4) 硅粉中碱含量的 $1/2$ 为有效碱含量；
- 5) 天然沸石中的碱含量均为非有效碱含量；
- 6) 复合矿物掺合料中碱含量的 $1/2$ 为有效碱含量；
- 7) 化学外加剂所带入的碱均为有效碱含量。

C.0.3 评价

混凝土中有效碱的总含量可按式 (C.0.3) 计算：

$$A_{tot} = A_1 + A_2 + A_3 \quad (\text{C. 0. 3})$$

式中： A_{tot} —混凝土中的有效碱总含量；

A_1 —水泥带入的有效碱含量；

A_2 —矿物质微粉带入的有效碱含量；

A_3 —化学外加剂带入的有效碱含量。

附录 D 砂浆棒法快速检测骨料碱活性

D.0.1 试验目的

1 如采用碱活性骨料配制混凝土，将引发碱-硅酸反应，产生有害的膨胀。本方法是快速测定骨料碱活性的试验方法，特别适用于碱-硅酸反应缓慢或只在反应后期才产生膨胀的骨料。

2 试件浸泡于 NaOH 溶液中，水泥的含碱量对测定的膨胀值可忽略不计。

D.0.2 取样和试件制备

1 骨料选取：将需要检测的骨料破碎成细骨料，并符合表 D 规定的级配要求。

表 D 骨料的级配要求

筛孔尺寸		质量 (%)
颗粒通过 (mm)	颗粒残留 (mm)	
4.75	2.36	10
2.36	1.18	25
1.18	0.60	25
0.60	0.30	25
0.30	0.15	15

2 水泥选取：选用符合国家标准中强度为 42.5 的硅酸盐水泥。使用前应剔除水泥中的结块。

3 试件制备：试验用砂浆干料应按 1 份水泥：2.25 份符合级配要求的细骨料来配制。一次搅拌的砂浆干料量应为水泥 440g、细骨料 990g，水灰比 0.47，制备 25mm×25mm×285mm 的

试件 3 个。在完成一批砂浆搅拌后,应在不超过 135s 的时间内成型试件。将砂浆分成大致相等的 2 层填入模内,每层分别用捣棒捣实,并沿模具表面振捣,使试件均匀密实,然后用抹刀切除多余的砂浆。

D.0.3 试件养护和测量

1 将成型后的试件放入标准养护室中标养, 24 ± 2 h 后脱模,测量初始长度,精确至 0.02mm。

2 将全部试件放入 $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水浴中。24h 后取出试件,应在 15 ± 5 s 内完成擦干和测长读数过程。

3 测完初长后,将试件浸泡在 $80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的 1mol/LNaOH 溶液中。

4 试件在浸泡的 14d 内,至少测长 3 次。16d 时,测量三个试件的平均膨胀值(精确到 0.01%)作为该组材料在给定龄期的膨胀值。

D.0.4 评定标准

1 当砂浆棒试件 16d 膨胀率平均值小于 0.10%时,评为非活性骨料。

2 当膨胀率为 0.10%-0.20%时,评为潜在碱活性骨料。

3 当膨胀率大于 0.20%时,评为碱-硅酸反应活性骨料。

附录 E 矿物掺合料抑制碱-硅反应效果

E.0.1 范围

本试验方法适用于评估采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰和矿物掺合料抑制骨料碱-硅酸反应活性的有效性。

E.0.2 试验应采用下列仪器设备：

- 1 烘箱-温度控制范围为 $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- 2 天平-称量 1000g，感量 1g；
- 3 试验筛-筛孔公称直径为 5.00mm、2.50mm、1.25mm、630 μm 、315 μm 、160 μm 的方孔筛各一只；
- 4 测长仪-测量范围 280mm~300mm，精度 0.01mm；
- 5 水泥胶砂搅拌机-应符合《行星式水泥胶砂搅拌机》JC/T 681 的规定；
- 6 恒温养护箱或水浴-温度控制范围为 $(80 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ；
- 7 养护筒-由耐酸耐高温的材料制成，不漏水，密封，防止容器内湿度下降，筒的容积可以保证试件全部浸没在水中；筒内设有试件架，试件垂直于试件架放置；
- 8 试模-金属试模，尺寸为 25mm×25mm×280mm，试模两端正中有小孔，装有不锈钢测头；
- 9 抹子、捣棒、量筒、干燥器等。

E.0.3 试验用胶凝材料应符合下列规定：

- 1 水泥应采用硅酸盐水泥，并应符合《通用硅酸盐水泥》

GB 175 的规定；

2 矿物掺合料应为工程实际采用的矿物掺合料；粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰及复合型矿物掺合料均应满足本规程 5.3 节的要求。

E.0.4 矿物掺合料掺量应符合下列规定：

- 1 单独掺用粉煤灰时，粉煤灰掺量应为 30%；
- 2 单独掺用粒化高炉矿渣粉时，粒化高炉矿渣粉掺量应为 40%；
- 3 当掺加复合型矿物掺合料时，其掺量应为 40%；
- 4 单独掺用硅灰时，硅灰掺量应为 10%。

E.0.5 试验用骨料应符合下列规定：

- 1 骨料应与混凝土工程实际采用的骨料相同；
- 2 骨料 14d 膨胀率不应小于 0.10%，试验方法应为快速砂浆棒法，并应符合《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 中快速碱硅酸反应试验方法的规定；

3 应将骨料制成砂样并缩分成约 5kg，按表 E 中所示级配及比例组合成试验用料，并将试样洗净烘干或晾干备用。

表 E 砂级配表

公称粒级	5.00mm~ 2.50mm	2.50mm~ 1.25mm	1.25mm~ 630 μ m	630 μ m~ 315 μ m	315 μ m~ 160 μ m
分级质量 (%)	10	25	25	25	15

E.0.6 试件制作应符合下列规定：

1 成型前 24h, 应将试验所用材料放入 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的试验室中;

2 胶凝材料与砂的质量比应为 1: 2.25, 水灰比应为 0.47; 称取一组试件所需胶凝材料 440g 和砂 990g;

3 当胶砂变稠难以成型时, 可维持用水量不变而掺加适量非引气型的减水剂, 调整胶砂稠度利于成型;

4 将称好的水泥与砂倒入搅拌锅, 应按《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》GB/T 17671 的规定进行搅拌;

5 搅拌完成后, 应将砂浆分两层装入试模内, 每层捣 20 次; 测头周围应填实, 浇捣完毕后用抹子刮除多余砂浆, 抹平表面, 并标明测定方向及编号;

6 每组应制作三条试件。

E.0.7 试验应按下列步骤进行:

1 将试件成型完毕后, 应带模放入标准养护室, 养护 $24\text{h} \pm 4\text{h}$ 后脱模。

2 脱模后, 应将试件浸泡在装有自来水的养护筒中, 同种骨料制成的试件放在同一个养护筒中, 然后将养护筒放入温度 $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的烘箱或水浴箱中养护 24h。

3 然后将养护筒逐个取出, 每次从养护筒中取出一个试件, 用抹布擦干表面, 立即用测长仪测试件的基长(L_0), 测试时环境温度应为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 每个试件至少重复测试两次, 取差值在仪器精度范围内的两个读数的平均值作为长度测定值(精确至

0.02mm)，每次每个试件的测量方向应一致；从取出试件擦干到读数完成应在 $15\text{s} \pm 5\text{s}$ 内结束，读完数后的试件应用湿毛巾覆盖。全部试件测完基准长度后，把试件放入装有浓度为 1mol/L 氢氧化钠溶液的养护筒中，并确保试件被完全浸泡。溶液温度应保持在 $80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，将养护筒放回烘箱或水浴箱中。

4 自测定基准长度之日起，第 3d、7d、10d、14d 应再分别测其长度 (L_t)。测长方法与测基长方法相同。每次测量完毕后，应将试件调头放入原有氢氧化钠溶液养护筒，盖好筒盖，放回 $80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 的烘箱或水浴箱中，继续养护到下一个测试龄期。操作时防止氢氧化钠溶液溢溅，避免烧伤皮肤。

5 在测量时应观察试件的变形、裂缝、渗出物等，特别应观察有无胶体物质，并作详细记录。

E.0.8 每个试件的膨胀率应按下式计算，并应精确至 0.001% ：

$$\varepsilon_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2\Delta} \quad (\text{E.0.8})$$

式中： ε_t —试件在 t 天龄期的膨胀率(%)；

L_t —试件在 t 天龄期的长度(mm)；

L_0 —试件的基长(mm)；

Δ —测头长度(mm)。

E.0.9 某一龄期膨胀率的测定值应为三个试件膨胀率的平均值；任一试件膨胀率与平均值均应符合下列规定：

1 当平均值小于或等于 0.05% 时，其差值均应小于 0.01%；

2 当平均值大于 0.05% 时，单个测值与平均值的差值均应小于平均值的 20%；

3 当三个试件的膨胀率均大于 0.10% 时，可无精度要求；

4 当不符合上述要求时，应去掉膨胀率最小的，用其余两个试件的平均值作为该龄期的膨胀率。

E.0.10 试验结果应为三个试件 14d 膨胀率的平均值；当试验结果小于 0.03% 时，可判定抑制骨料碱-硅酸反应活性有效。

附录 F 硬化混凝土气泡参数试验（直线导线法）

F.0.1 本方法适用于测定硬化混凝土中气泡的数量、大小和间距，用来计算混凝土的含气量、气泡比表面积和间距系数等气泡参数，以研究混凝土的抗冻性能和鉴定外加剂的引气性能等。也适用于实际建筑物抗冻性调查。

F.0.2 仪器设备

1 测量显微镜：放大 80~128 倍，具有目镜测微尺和物镜测微尺（非固定附件，用以率定目镜测微尺）。目镜测微尺最小读数为 10 μ m。载物台能纵、横向移动，移动范围分别不小于 50mm 和 100mm。

2 显微镜照明灯：聚光型灯；

3 切片机、磨片机、抛光机。

F.0.3 试验方法

1 每组至少三个试件、试件的观测面应与浇筑面相垂直。

2 观测总面积和导线总长度应符合表 F 的规定。

表 F 最小观测总面积及最小导线总长度

骨料最大粒径	最小观测总面积	最小导线总长度
80	50000	3000
40	17000	2600
30	11000	2500
20	7000	2300
10	6000	1900

注：如混凝土内骨料或大孔隙分布很不均匀，应适当增大观测面积，当在一个混凝土试样中取几个加工表面时，两加工表面的间距应大于骨料最大粒径的 1/2。

3 从试样上锯下试件后，洗刷干净，将观测面分别采用 400 号和 800 号金刚砂仔细研磨。每次磨完后应洗刷干净，再进行下次研磨。最后在抛光机转盘的呢料上涂刷氧化铬，进行抛光，再洗刷干净，在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干，然后置于显微镜下试测。当强光低入射角照射在观测面上，观测到表面除了气泡截面和骨料孔隙外，基本是平的，气泡边缘清晰，并能测出尺寸为 $10\ \mu\text{m}$ 的气泡截面，即可认为该观测截面已加工合格。

4 观测前用物镜测微尺校准目镜测微尺刻度。在观测面两端，附贴导线间距标志，使选定的导线长度均匀地分布在观测范围内。调整观测面的位置，使十字丝的横丝与导线重合，然后用目镜测微尺进行定量测量。从第一条导线起点开始观察，分别测量并记录视域中气泡个数及测微尺所截取的每个气泡的弦长刻度值。根据工作需要，也可增测气泡截面直径。第一条导线测试完后再按顺序进入第二、三、四……条导线，直至测完规定的导线长度。

F. 0. 4 试验结果处理

1 气泡平均弦长按式(F. 0. 4-1)计算：

$$\bar{l} = \frac{\sum l}{n} \quad (\text{F. 0. 4-1})$$

2 气泡比表面积按式(F. 0. 4-2)计算:

$$\alpha = \frac{4}{l} \quad (\text{F. 0. 4-2})$$

3 气泡平均半径按式(F. 0. 4-3)计算:

$$r = \frac{3}{4}\bar{l} \quad (\text{F. 0. 4-3})$$

4 硬化混凝土中的空气含量按式(F. 0. 4-4)计算:

$$A = \frac{\Sigma l}{T} \quad (\text{F. 0. 4-4})$$

5 1000mm³ 混凝土的气泡个数按式(F. 0. 4-5)计算:

$$n_v = \frac{3A}{4\pi r^3} \quad (\text{F. 0. 4-5})$$

6 每 cm 导线切割的气泡个数按公式(F. 0. 4-6)计算:

$$n_l = \frac{N}{T} \quad (\text{F. 0. 4-6})$$

7 气泡间距系数按式(F. 0. 4-7)、式(F. 0. 4-8)计算(计算结果取三位有效数字):

当混凝土中浆气比 P/A 大于 4.33 时:

$$\bar{L} = \frac{3A}{4n_l} \left[1.4 \left(\frac{P}{A} + 1 \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (\text{F. 0. 4-7})$$

当混凝土中浆气比 P/A 小于 4.33 时:

$$\bar{L} = \frac{P}{4n_l} \quad (\text{F. 0. 4-8})$$

式中: l —气泡: 平均弦长, mm;

Σl —全导线所切割的气泡弦长总和, mm;

n —全导线所切割的气泡总个数；

α —气泡比表面积， mm^2/mm^3 ；

r —气泡平均半径， mm ；

n_v — 1000mm^3 混凝土中的气泡个数；

A —硬化混凝土的空气含量(体积比)；

T —导线总长， mm ；

n_l —平均每 1cm 导线切割的气泡个数；

P —混凝土中水泥净浆含量(体积比，不包括空气含量)；

\bar{L} —气泡间距系数， mm 。

附录 G 自收缩率测试方法

G.0.1 本方法适用于净浆、砂浆自收缩率的测试。

G.0.2 本方法主要将净浆或砂浆密封在波纹管内，通过位移传感器监测波纹管试件长度变化，来测量其自收缩率。

G.0.3 仪器设备

1 模具

采用低密度聚乙烯波纹管，波纹管长 (420 ± 5) mm，外径 (29 ± 0.5) mm，厚度 (0.5 ± 0.2) mm。每组应为3个试件。

2 测试装置应符合以下规定：

1) 自收缩率测试仪结构如图G所示，波纹管试件平放在测试支架上，试件一端采用连接部件固定在测试支架上（如通过螺纹或磁力吸附），试件另一端为自由端，朝向位移传感器。位移传感器需固定在测试支架上，并保证试件固定端与位移传感器探头，在整个测量过程中位置相对支架保持固定不变。整个测试装置应放置在具有避震功能的固定式实验台面上。

2) 位移传感器采用非接触式（如电涡流探头或激光位移传感器），测试量程不应小于1mm，测试精度不低于0.002mm。

3) 应有可靠方式将波纹管两端完全密封（如四氟塞或不锈钢螺帽）。

4) 应保证支撑试件的支架干净、平滑，不限制试件的变形。

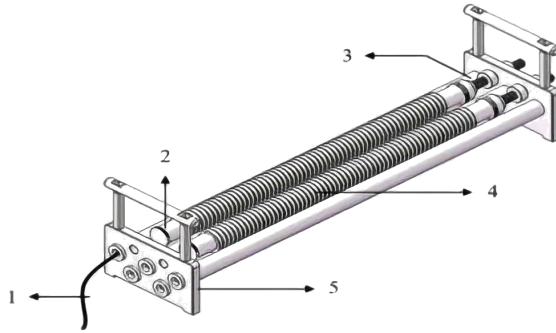


图 G 自收缩率测试仪示意图

1—位移传感器;2—试件自由端;3—连接部件;4—波纹管试件;5—测试支架

G.0.4 自收缩率试验方法

1 试验应在温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(60 \pm 5)\%$ 的恒温恒湿条件下进行。

2 准备波纹管：将砂浆拌合物浇筑入波纹管内，尽量排出波纹管内的气泡，密封后立即将试件安放在自收缩率测试仪上，试件一端固定在测试支架上，调整位移传感器与试件自由端距离，使其在传感器量程范围内。

3 优选使用自动数据采集系统，数据采集间隔不超过5min或按照设定的时间间隔测试试件的变形读数；当采取人工读数时，应在初凝时开始读数，此后每隔10min读数至终凝，终凝后读数间隔不超过24h。

4 同一锅砂浆或同样配合比的砂浆，采用贯入阻力仪进行凝结时间测试，测试过程及与判定方法按照《混凝土外加剂》GB 8076 进行。

自收缩率应按照式(G. 0. 4-1)计算：

$$\varepsilon = \frac{L_t - L_0}{L} \quad (\text{G. 0. 4-1})$$

式中： ε —规定龄期时砂浆自收缩率；

L_t —规定龄期时数据采集器的读数，单位为毫米（mm）；

L_0 —砂浆初凝时数据采集器的读数，单位为毫米（mm）；

L —初凝时试件长度，单位为毫米（mm）。

自收缩率比用 7d 龄期时受检砂浆与基准砂浆自收缩率之比表示，按式（G. 0. 4-2）计算，并精确至 1%。

$$R_s = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_r} \times 100 \quad (\text{G. 0. 4-2})$$

式中： R_s —自收缩率比，%；

ε_t —受检砂浆 7d 的自收缩率；

ε_r —基准砂浆 7d 的自收缩率。

试件收缩时，计算结果为正值；试件膨胀时，计算结果为负值。

应取 3 个试件测试结果的算术平均值作为该组试件的自收

缩率测试结果，计算应精确到 1×10^{-6} 。如果一个试件自收缩率超过中间值 15% 时，取剩余两个测试结果均值作为试件的自收缩率测试结果，当有两个试件超过中间值 15% 时应重新试验。

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 《水泥化学分析方法》 GB/T 176
- 3 《中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥》 GB/T 200
- 4 《抗硫酸盐硅酸盐水泥》 GB/T 748
- 5 《水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法》 GB/T 749
- 6 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 7 《分析实验室用水规格和试验方法》 GB/T 6682
- 8 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 9 《混凝土外加剂匀质性试验方法》 GB/T 8077
- 10 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》 GB/T 10171
- 11 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 12 《建设用砂》 GB/T 14684
- 13 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 14 《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》 GB/T 17671
- 15 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 16 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 17 《硫铝酸盐水泥》 GB 20472
- 18 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
- 19 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 20 《混凝土防腐阻锈剂》 GB/T 31296
- 21 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 22 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T

50082

- 23 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 24 《混凝土外加剂应用技术规范》GB/T 50119
- 25 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 26 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 27 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 28 《大体积混凝土施工标准》GB 50496
- 29 《混凝土结构工程施工规范》GB/T 50666
- 30 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733
- 31 《混凝土高吸水性树脂内养护剂》JC/T 2551
- 32 《混凝土用复合掺合料》JG/T 486
- 33 《高性能混凝土用骨料》JG/T 568
- 34 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 35 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 36 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 37 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10
- 38 《建筑工程冬季施工规程》JGJ/T 104
- 39 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 40 《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281
- 41 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
- 42 《高抛免振捣混凝土应用技术规程》JGJ/T 296
- 43 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322
- 44 《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328
- 45 《公路工程混凝土养护剂》JT/T 522
- 46 《高性能混凝土应用技术规程》CECS 207

宁夏回族自治区地方标准

高性能混凝土应用技术规程

DB64/T1767-2021

Technical specification for application of high performance concrete

条文说明

DB64/T 1767-2021

目 次

1	总则.....	82
2	术语.....	83
3	基本规定.....	85
4	原材料.....	86
4.1	水泥.....	86
4.2	骨料.....	86
4.3	矿物掺合料.....	86
4.4	外加剂.....	88
5	配合比设计.....	90
5.1	一般规定.....	90
5.2	高性能混凝土配合比设计.....	90
5.3	一般环境中配合比参数.....	91
5.4	冻融环境中配合比参数.....	91
5.5	化学腐蚀环境中配合比参数.....	92
5.6	抑制碱骨料反应耐久性设计.....	94
6	性能要求.....	95
6.3	收缩性能.....	95
7	制备.....	96
7.1	计量.....	96
7.2	搅拌.....	96
8	施工.....	97
8.1	一般规定.....	97
8.2	泵送.....	97
8.3	浇筑与成型.....	97

1 总 则

1.0.1、1.0.2 主要对本规程的内容和适用范围做了规定。高性能混凝土应用技术规程的适用范围与普通混凝土和高强混凝土基本相同,高性能混凝土的制备和施工方法很多也与上述两种混凝土相同。所以,使用本规程时应注意与相关标准的衔接。

2 术 语

2.0.1 高性能混凝土应保证混凝土结构所要求的各项力学性能，且具有高耐久性、高工作性和高体积稳定性。要满足高性能混凝土的这些性能要求，关键是按照耐久性的要求设计混凝土。应根据混凝土结构所处的环境条件，考虑其外部和内部劣化因素和结构要求的使用年限，进行耐久性设计，保证结构在使用期限内的性能要求。在高性能混凝土的组成材料中，必须含有矿物掺合料和高性能减水剂。

为了获得高耐久性的混凝土，在组成材料方面，高性能混凝土常含有一种或同时含有多种细度超细的矿物掺合料，而普通混凝土中仅含一般的混合材或者掺合料，其细度较粗。其次，高性能混凝土粗骨料的粒径一般不大于 20mm，因为较小骨料颗粒的强度比大颗粒强度高，可消除了岩石破碎时控制强度的最大裂隙，用以改善骨料与水泥的界面结构提高界面强度。

矿物掺合料与高性能减水剂双掺是高性能混凝土组成材料的最大特点。双掺能够最好的实现矿物掺合料的微集料填充效应、二次水化效应以及界面结构优化效应，提高了强度和耐久性。同时，使高性能混凝土具有更好的流动性。

2.0.2 混凝土结构在所处工作环境下，长期抵抗外部劣化因素及内部劣化因素作用的能力。所处环境的外部劣化因素，如中性化(或碳化)、盐害、冻害以及侵蚀等。此外，还有由于胶凝材料

体系中含有一定数量的碱和骨料具有破活性,所造成的碱骨料反应的内部劣化因素作用,引起的劣化损伤与失效。

混凝土的耐久性是指混凝土结构在工作环境下,抵抗其中一种或多种外部劣化因素的作用,在结构设计使用的期限或维修管理期限内,不致损伤破坏,以至失效。混凝土结构的耐久性,由混凝土的耐久性和钢筋的耐久性两部分组成。本规程所述仅有关混凝土耐久性方面。

2.0.3 使混凝土结构性能降低的外部环境作用有:大气中的 CO_2 、 SO_3 、 NO_2 等因素使混凝土产生中性化;盐湖地区的氯化物侵入混凝土使钢筋锈蚀;寒冷地区使混凝土受冻融作用;盐碱地的侵蚀性盐类使混凝土侵蚀等。

2.0.4 混凝土配制时,由各种材料带入了有害氯离子,当达到定数量时会使钢筋锈蚀;混入的碱活性骨料,会引起碱骨料反应;过高的水灰比,过大的单方混凝土用水量,混凝土的保护层厚度不够,以及混凝土浇筑的缺陷等,均会成为混凝土的劣化内因。

2.0.5 矿物掺合料是平均粒径不大于 $22\ \mu\text{m}$ 的矿物粉体,如粉煤灰、矿渣、硅粉以及天然沸石粉等。它们在高性能混凝土中起到微集料填充、二次水化以及界面结构优化的作用,可增大混凝土流动性能、提高强度和耐久性,是高性能混凝土不可缺少的组分。

3 基本规定

当遇到与现行标准要求不符的情况,应在实验试配取得可靠数据的基础上,在采取可靠措施并能确保混凝土质量的条件下,研究协商解决。

4 原材料

4.1 水 泥

4.1.1 配制 C80 及其以上强度的高性能混凝土,宜选用强度等级不低于 52.5MPa 的水泥。

4.1.2 此处水中硫酸根离子浓度选择为 20250mg/L,此浓度为常温下硫酸盐不结晶的极限浓度。

4.2 骨 料

4.2.1 配制高性能混凝土时对原材料的要求与普通混凝土的要求差别不大。凡符合普通混凝土有关标准要求的原材料,基本上都能用来配制高性能混凝土,但高性能混凝土对原材料的要求更严格一些。例如,粗骨料的粒径不宜大于 20mm,并宜采用 5mm~10mm 和 10mm~20mm 两级配的粗骨料,颗粒级配应符合最大密度曲线。

4.2.2 进行碱活性检验时,首先应采用岩相法检验碱活性骨料的品质、类型和数量。当检验出骨料中含有潜在碱-硅酸盐反应物质时,应采用混凝土棱柱体试验方法,时间不允许时也可用快速砂浆棒法替代;当检验出骨料中含有潜在碱-碳酸盐反应物质时,应采用棱柱体法进行碱活性检验。

4.3 矿物掺合料

4.3.1 本条对矿物掺合料的品种、质量要求作出了规定。高性

能混凝土的原材料中必须有矿物掺合料,它是一种改善混凝土微观结构、界面结构,提高性能的重要成分。

4.3.2 本条对矿物掺合料的掺量作出了规定。但是,矿物掺合料的掺量需要经过系统的课题进行详细的论证。对于粉煤灰,在国内现行标准如《粉煤灰混凝土应用技术规范》GBJ 46 中规定,在钢筋混凝土中掺量不大于 30%;在《矿物掺合料应用技术规程》规定,当水胶比大于 0.40 时,在硅酸盐水泥混凝土中掺量不大于 40%,在普通硅酸盐水泥混凝土中掺量不大于 30%,与本规程规定的掺量有冲突,这是因为本规范是在《绿色混凝土技术开发应用研究》数据的支持下提出的全新理念,矿物掺合料的大掺量是在低水胶比(0.40 以下)和高效、高性能减水剂配合使用下共同实现的。同时在现行标准《建筑材料放射性核素限量》GB 656 中规定了建筑物主体材料中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40 的放射性比活动度应同时满足 I_{Ra} (内照射指数) ≤ 1.0 和 I_T (外照射指数) ≤ 1.0 。

矿物掺合料在高性能混凝土中具有填充、微集(骨)料和较强的火山灰效应,可改善混凝土水泥石、水泥与骨料界面两个微结构,是提高混凝土密实度、匀质性、耐久性、强度、适用性等不可缺少的组成材料之一。矿物掺合料的品质是高性能混凝土科学合理地利用这些超细矿物掺合料的重要前提条件。

由上述矿渣粉、粉煤灰、硅灰等掺合料按适当组合比例,经加工而成的复合型矿物掺合料,优势互补,改性混凝土效果更佳。

矿物掺合料的适宜掺量应依据实际工程项目要求,在进行全面混凝土配合比设计试验研究的基础上确定。

4.4 外加剂

4.4.1 本条对混凝土矿物外加剂的品种、质量要求、具体技术指标作出了规定。高性能混凝土在遇到抗硫酸盐侵蚀、抑制碱骨料反应、抗冻融等问题时,可掺入高耐久性矿物外加剂来解决。这是在高性能混凝土微观级配理论上的进一步发展和升华。水泥和辅助胶凝材料的比表面积均在百位级别,而高耐久性矿物外加剂的比表面积则在千位甚至万位级别,提高了一个到两个数量级,这对于优化水泥石和界面过渡区等微观结构来说具有十分重大的意义。一方面,由于微集料填充效应的进一步加强使得各类孔隙得到了极大的优化,即多害孔、有害孔向少害孔、无害孔的转化;另一方面,由于颗粒的细度提高,使得高耐久性矿物外加剂中的活性物质与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 接触面积更大,反应更有效、更充分,产生的水化产物更多。不仅消耗了界面过渡区中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,还产生了大量的水化产物,明显改善了界面过渡区的结构形式,从而提高了混凝土的强度和耐久性。以上两个方面的效果叠加起来就使得混凝土获得了极好的抗侵蚀、抗冻、抗渗及抑制碱骨料的性能。

4.4.2 掺加膨胀剂的高性能混凝土需在有筋和临位因素的约束下进行施工。同时,抗裂防水剂在使用时,厂家提供的推荐掺量只予以参考,实际使用掺量需根据现实测的限制膨胀率来确定。

4.4.3 高性能混凝土必须掺加高性能减水剂,这是实现采用低水胶比,减少用水量、降低混凝土胶凝材料总量又能较多掺加辅

助胶凝材料而改善和提高混凝土密实度的有效配制技术措施。要求其减水率高，控制塌落度损失性能好，对混凝土耐久性无有害成分。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土结构的外部劣化因素有一般的和特殊的两种。温度、湿度太阳辐射热和混凝土中性化等为一般的外部劣化因素,是混凝土结构耐久性设计中必须考虑的。盐害、冻害、化学侵蚀(如硫酸盐侵蚀)等为特殊的外部劣化因素,应按混凝土结构所处环境条件考虑。

5.2 高性能混凝土配合比设计

5.2.1 本条规定混凝土配合比的试配强度按公式 $f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$ 计算。即试配强度 $f_{cu,o}$ 不小于强度标准值加 1.645σ 。

我国混凝土强度的配合比设计,均按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JCJ 55 执行。对强度标准值($f_{cu,k}$)保证率是 95%。

近年来对结构耐久性的要求越来越高,由于耐久性方面的要求,使混凝土抗压强度超过结构因素所需的值。因此,对于重要结构除了按强度设计要求考虑混凝土的抗压强度外,还需要考虑耐久性要求,保证所需要的强度。

5.3 一般环境中配合比参数

5.3.1 高性能混凝土的配合比设计应满足:施工要求的工作性、结构要求的力学性能和混凝土结构在所处环境条件下要求的耐久性。高性能混凝土属高耐久性混凝土。参照日本有关规定,结合宁夏当地的材料,本规程中高耐久性混凝土单方用水量小于 $160\text{kg}/\text{m}^3$;胶凝材料用量应不大于 $550\text{kg}/\text{m}^3$ 。高性能混凝土施工时要求的工作性包括坍落度、坍落度流动值、坍落度损失以及流动快慢(反映结构粘度)。调节并保证高性能混凝土的工作性,除了正确选择水泥品种和水泥用量以外,辅助胶凝材料的品种和数量对工作性能影响也很大,性能优良的辅助胶凝材料能增大高性能混凝土的流动性和降低拌合物的粘性。高性能混凝土中掺入氨基磺酸系高效减水剂或聚羧酸高性能减水剂能有效降低混凝土单方用水量,增大混凝土坍落度,并能控制混凝土坍落度损失;而系高效减水剂在减水率、控制坍落度损失及耐久性方面,均较前述两大类减水剂差一些。

5.4 冻融环境中配合比参数

5.4.1 对水中冻融及盐水中冻融,混凝土均可用冻融循环次数及耐久性系数来评价其抗冻耐久性系数与混凝土的水灰比、含气量及气泡间隔系数有关。水胶比 <0.30 的高性能混凝土可以不掺引气剂。水胶比 ≥ 0.30 的混凝土,应接入引气剂,使混凝土中含气量达4%-5%。而且在盐水中冻融比水中冻融的含气量要求高

一个等级,即含气量要达到 5%-6%才能实现 300 次快速冻融循环。关于气泡间隔系数 $<0.25\text{mm}$,在宏观上是难以确认的,如果引气剂质量好,在适当引气范围内,混凝土中的气泡间隔系数会在要求的范围内。

5.5 化学腐蚀环境中配合比参数

5.5.1 宁夏是典型的干旱区,自然环境中的土体和地下水富含硫酸盐。硫酸盐对硅酸盐水泥熟料中硅酸三钙(C_3S)、铝酸三钙(C_3A)两种矿物成分水化产物氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、水化铝酸钙(C_3AH_6)会产生侵蚀;而我国水泥主要生产和混凝土中普通使用的又都是以硅酸盐水泥熟料为主的通用硅酸盐水泥。因此,新疆地区土体和地下水中的硫酸盐对混凝土的侵蚀破坏是另一大危害。尤其是地下工程、高层建筑基础工程的混凝土结构。

5.6.2 胶凝材料中的矿物组成应符合 C_3A 含量小于 3%、 C_3S 含量小于 50%、 C_3A 含量与 C_4AF 含量之和不能大于 22%的要求;可参照本规程中表 5.6.3 选择水胶比。

5.6.3 抗硫酸盐水泥的抗侵蚀性高于普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥,但其抗硫酸盐侵蚀能力大小有局限性,因为这类水泥仍属硅酸类水泥,不能完全有效解决硫酸盐浓度较高地区的侵蚀问题。

混凝土发生侵蚀破坏是因为外界的硫酸盐侵蚀介质通过孔隙进入混凝土内部,与混凝土内部的侵蚀内因发生反应造成的。

因此,区别于传统单纯降低侵蚀内因的方法,采用降低侵蚀内因同时,提高密实度、杜绝渗透途径的方法来解决侵蚀问题效果更佳。因此本规范建议使用普通硅酸盐水泥辅以高耐久性混凝土矿物外加剂的方法来解决这一向题。

高性能混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能,取决于水胶比、辅助胶凝材料掺量以及水泥的品种。抗硫酸盐侵蚀的设计劣化因素,应根据混凝土结构和大气、土壤、水中含有酸性介质的浓度确定。许多国家在制定混凝土抗侵蚀标准时,都以 SO_4^{2-} 的含量作为判定混凝土将遭受硫酸盐侵蚀的程度。我国《混凝土结构耐久性设计》GB/T 50476 规定,当水中含 SO_4^{2-} 量达 200mg/L-500mg/L 时,混凝土进入受侵蚀范围、当土中含 SO_4^{2-} 量达 300mg/kg-750mg/kg 时,混凝土进入受侵蚀范围。

硫酸盐对混凝土的侵蚀,主要是由于 SO_4^{2-} 聚集到一定浓度后与水泥水化时生成的氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、水化铝酸钙(C_3AH_6)产生反应,生成水化硫铝酸钙(钙矾石)。因其体积增大造成混凝土开裂,使混凝土结构的耐久性劣化。

混凝土的抗硫酸盐侵蚀取决于其中水泥的 C_3A 含量、混凝土的水灰比和辅助胶凝材料的品种、质量和数量,且与介质中 SO_4^{2-} 的浓度有关。

检验混凝土抗硫酸盐侵蚀性首先是检验所使用水泥(或胶凝材料)的抗硫酸盐侵蚀性能。本规程选用 K 法,如果浸泡在侵蚀溶液中一年的 9 个试件的平均抗折值,与同龄期淡水中 9 个试件

的平均抗折值的比值大于 1.0,则认为该种水泥(或胶凝材料)的抗硫酸盐性能合格。然后,用这种水泥(或胶凝材料)配制混凝土,并根据混凝土结构所处环境条件,控制混凝土的最大水胶比,因为混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能除与胶凝材料有关外,还与水胶比有关。

5.6 抑制碱骨料反应耐久性设计

5.6.1 混凝土发生碱骨料反应的必要条件是存在碱活性骨料、混凝土中碱含量超出安全范($3.0\text{kg}/\text{m}^3$)、有水分,三个条件缺一不可。根据对银川周边骨料的快速法检测发现砂石料或多或少的含有潜在的碱-硅酸反应的活性骨料;另外,宁夏各地生产的水泥大多属高碱水泥($R_{20}>0.6\%$)。

5.6.2 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082的“混凝土棱柱体法”这种试验方法与工程实际最为接近,且可科学评价其效果,唯一不足是试验周期长,《预防混凝土碱骨料反应技术规范》CB/T50733中附录A“抑制骨料破一硅酸反应活性有效试验方法”实际上仍属“快速砂浆棒法”。掺加大量辅助胶凝材料,会影响混凝土的抗冻性能和抗碳化性能,掺加引气剂可以改善混凝土的耐久性,同时还能对缓解碱骨料反应早期膨胀起一定作用,利于抑制混凝土碱骨料反应。

6 性能要求

6.3 收缩性能

由于高性能混凝土采用低水胶比,其塑性收缩比普通混凝土发生快而早,使用内养护剂可以有效的防止这一问题的产生。混凝土内养护剂采用内掺的掺入方式,在使用时根据厂家提供的推荐掺量使用。

7 制 备

7.1 计 量

7.1.1 计量是高性能混凝土生产的核心环节，精准的计量对于生产高性能混凝土具有重要意义。计量过程中还应注意控制噪声和粉尘的排放。

7.2 搅 拌

7.2.1 搅拌时间应延长 30s~60s。

8 施 工

8.1 一般规定

8.1.1 在这方面与普通混凝土相类似，但高性能混凝土有其不同的特点，如混凝土拌合物水灰比小，结构粘度大，塌落度损失快，早期自收缩大等。

8.2 泵 送

8.2.1 高性能混凝土施工中要注意使其具有高流动性，塌落度不小于 20cm，且 0.1h~1.5h 内基本上无塌落度损失；要注意早期养护，防止在塑性阶段就发生自收缩开裂。高性能混凝土的湿养护时间要比普通混凝土长。

8.3 浇筑与成型

混凝土的运送时间是指从混凝土由搅拌机卸入运输车开始至运输车开始卸料为止。