



CECS 207 : 2006

中国工程建设标准化协会标准

高性能混凝土应用技术规程

**Technical specification for application of high
performance concrete**

中国工程建设标准化协会标准

高性能混凝土应用技术规程

Technical specification for application of high
performance concrete

CECS 207 : 2006

主编单位：清华大学老科技工作者协会
北京交通大学土建学院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2006年11月1日

2006 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会(2002)建标协字第 12 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2002 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本规程。

本规程所指的高性能混凝土是具有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的混凝土。

本规程是在广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准 and 国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上编制而成的。主要内容包括关于高性能混凝土的基本规定,原材料,配合比设计,施工及验收。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,现批准发布协会标准《高性能混凝土应用技术规程》,编号为 CECS 207 : 2006,推荐给工程建设设计、施工和使用单位采用。

本规程由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会 CECS/TC 5 归口管理,由清华大学老科技工作者协会(北京海淀区清华大学,邮编 100084)负责解释。在使用中如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

主编单位: 清华大学老科技工作者协会
北京交通大学土建学院

参编单位: 中建一局
中建三局
中国建筑科学研究院
中冶集团建筑研究总院

南京水利科学研究院
重庆交通大学
中国建筑材料科学研究院
辽宁省建设科学研究院
石家庄建工集团有限公司
山东恒建工程监理咨询有限公司
大连理工大学

主要起草人：冯乃谦 朋改非 石云兴 冷发光 郝挺宇
丁建彤 顾晴霞 邸小坛 杨德斌 王 玲
田 培 陈翠红 刘福生 张树河 牛全林
王立久

中国工程建设标准化协会
2006年10月8日

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	矿物微细粉	(6)
4.4	化学外加剂	(6)
4.5	拌合用水	(7)
5	配合比设计	(8)
5.1	一般规定	(8)
5.2	高性能混凝土配合比设计	(8)
5.3	抗碳化耐久性设计	(8)
5.4	抗冻害耐久性设计	(9)
5.5	抗盐害耐久性设计	(10)
5.6	抗硫酸盐腐蚀耐久性设计	(11)
5.7	抑制碱-骨料反应有害膨胀	(12)
6	施工及验收	(14)
6.1	原材料管理	(14)
6.2	高性能混凝土拌制	(14)
6.3	工作性检验	(15)
6.4	高性能混凝土运输	(15)
6.5	高性能混凝土浇注	(16)
6.6	高性能混凝土养护	(17)

6.7 质量验收	(17)
附录 A 混凝土抗除冰盐冻融试验方法	(18)
附录 B 混凝土抗氯离子渗透性试验方法	(20)
附录 C 水泥和混凝土抗硫酸盐腐蚀检测方法	(23)
附录 D 碱含量计算方法	(25)
附录 E 砂浆棒法快速检测骨料碱活性	(26)
附录 F 骨料碱-碳酸盐反应活性试验方法 (混凝土柱法)	(28)
附录 G 矿物微细粉抑制碱-硅反应效果检测方法 (玻璃砂浆棒法)	(31)
本规程用词说明	(33)

1 总 则

1.0.1 为了促进高性能混凝土在工程中合理应用,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于普通混凝土结构;不适用于轻骨料混凝土、聚合物混凝土、沥青混凝土、水工大体积混凝土和有特殊要求的混凝土结构。

1.0.3 高性能混凝土应用于建设工程时,除执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 高性能混凝土 **high performance concrete**

采用常规材料和工艺生产,具有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 **degradation phenomenon**

由内、外部劣化因素引起的混凝土结构性能随时间逐渐降低的现象。

2.0.4 外部劣化因素 **external worsening 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 worsening 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 **degradation allowance**

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 混凝土体积稳定性 **volume stability of concrete**

混凝土初凝后,能抵抗收缩或膨胀而保持原有体积的性能。

2.0.9 混凝土力学性能 **mechanical properties of concrete**

混凝土强度和受力变形性能的总称。

2.0.10 矿物微细粉 mineral micro-powders

平均粒径不大于 $10\mu\text{m}$, 具有潜在水硬性或火山灰活性的矿物质粉体材料。

3 基本规定

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

3.0.2 高性能混凝土应针对混凝土结构所处环境和预定功能进行耐久性设计。应选用适当的水泥品种、矿物微细粉,以及适当的水胶比,并采用适当的化学外加剂。

3.0.3 处于多种劣化因素综合作用下的混凝土结构宜采用高性能混凝土。根据混凝土结构所处的环境条件,高性能混凝土应满足下列一种或几种技术要求:

- 1 水胶比不大于 0.38;
- 2 56d 龄期的 6h 总导电量小于 1000C;
- 3 300 次冻融循环后相对动弹性模量大于 80%;
- 4 胶凝材料抗硫酸盐腐蚀试验的试件 15 周膨胀率小于 0.4%,混凝土最大水胶比不大于 0.45;
- 5 混凝土中可溶性碱总含量小于 3.0kg/m³。

3.0.4 高性能混凝土在脱模后,宜以塑料薄膜覆盖,保持表面潮湿,进行保湿养护。

4 原 材 料

4.1 水 泥

4.1.1 在一般情况下,高性能混凝土不得采用立窑水泥。高性能混凝土采用的水泥必须符合下列现行国家标准的规定:

- 1 《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175;
- 2 《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》GB 1344;
- 3 《复合硅酸盐水泥》GB 12958;
- 4 《中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥 低热矿渣硅酸盐水泥》GB 200;
- 5 《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748。

4.2 骨 料

4.2.1 高性能混凝土采用的细骨料应选择质地坚硬、级配良好的中、粗河砂或人工砂。其性能指标应符合现行行业标准《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》JGJ 52 的规定。

4.2.2 配制 C60 以上强度等级高性能混凝土的粗骨料,应选用级配良好的碎石或碎卵石。岩石的抗压强度与混凝土的抗压强度之比不宜低于 1.5,或其压碎值 Q_a 宜小于 10%。

粗骨料的粒径不宜大于 25mm。宜采用 15~25mm 和 5~15mm 两级粗骨料配合。

粗骨料中针片状颗粒含量应小于 10%,且不得混入风化颗粒。粗骨料的性能指标应符合现行行业标准《普通混凝土用碎石和卵石质量标准及检验方法》JGJ 53 的规定。

4.2.3 在一般情况下,不宜采用碱活性骨料。当骨料中含有潜在

的碱活性成分时,必须按附录 D、附录 E 的规定检验骨料的碱活性,并采取预防危害的措施。

4.3 矿物微细粉

4.3.1 矿物微细粉宜采用硅粉、粉煤灰、磨细矿渣粉、天然沸石粉、偏高岭土粉以及其复合微细粉等。

4.3.2 所选用的矿物微细粉必须对混凝土和钢材无害。

4.3.3 所选用的矿物微细粉应符合下列标准的质量要求:

1 《粉煤灰混凝土应用技术规程》GBJ 146,宜选用 I 级粉煤灰;当采用 II 级粉煤灰时,应先通过试验证明能达到所要求的性能指标,方可采用:

2 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596;

3 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046;

4 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736;

5 《混凝土与砂浆用天然沸石粉》JG/T 3048;

6 《天然沸石粉在混凝土和砂浆中应用技术规程》JGJ/112。

4.3.4 高性能混凝土中,矿物微细粉等量取代水泥的最大用量应符合下列要求:

1 硅粉不大于 10%;粉煤灰不大于 30%;磨细矿渣粉不大于 40%;天然沸石粉不大于 10%;偏高岭土粉不大于 15%;复合微细粉不大于 40%。

2 当粉煤灰超量取代水泥时,超量值不宜大于 25%。

4.4 化学外加剂

4.4.1 高性能混凝土中采用的外加剂,必须符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定,并应对混凝土和钢材无害。所采用的减水剂宜为高效减水剂,其减水率不宜低于 20%。

4.5 拌合用水

4.5.1 高性能混凝土的拌合和养护用水,必须符合现行行业标准《混凝土拌合用水标准》**JGJ 63** 的规定。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 高性能混凝土的配合比设计应根据混凝土结构工程的要求,确保其施工要求的工作性,以及结构混凝土的强度和耐久性。

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

5.2 高性能混凝土配合比设计

5.2.1 高性能混凝土的试配强度应按下式确定:

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (5.2.1)$$

式中 $f_{cu,o}$ ——混凝土试配强度(MPa);

$f_{cu,k}$ ——混凝土强度标准值(MPa);

σ ——混凝土强度标准差,当无统计数据时,对商品混凝土可取 4.5MPa。

5.2.2 高性能混凝土的单方用水量不宜大于 175kg/m³;胶凝材料总量宜采用 450~600kg/m³,其中矿物微细粉用量不宜大于胶凝材料总量的 40%;宜采用较低的水胶比;砂率宜采用 37%~44%;高效减水剂掺量应根据坍落度要求确定。

5.3 抗碳化耐久性设计

5.3.1 高性能混凝土的水胶比宜按下式确定:

$$\frac{W}{B} \leq \frac{5.83c}{\alpha \times \sqrt{t}} + 38.3 \quad (5.3.1)$$

式中 $\frac{W}{B}$ ——水胶比(%);

- c ——钢筋的混凝土保护层厚度(cm)；
- α ——碳化区分系数,室外取 1.0,室内取 1.7；
- t ——设计使用年限(年)。

5.4 抗冻害耐久性设计

5.4.1 冻害地区可分为微冻地区、寒冷地区、严寒地区。应根据冻害设计外部劣化因素的强弱,按表 5.4.1 的规定确定水胶比的最大值。

表 5.4.1 不同冻害地区或盐冻地区混凝土水胶比最大值

外部劣化因素	水胶比(W/B)最大值
微冻地区	0.50
寒冷地区	0.45
严寒地区	0.40

5.4.2 高性能混凝土的抗冻性(冻融循环次数)可采用现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GBJ 82 规定的快冻法测定。应根据混凝土的冻融循环次数按下式确定混凝土的抗冻耐久性指数,并符合表 5.4.2 的要求:

$$K_m = \frac{PN}{300} \quad (5.4.2)$$

式中 K_m ——混凝土的抗冻耐久性指数;

N ——混凝土试件冻融试验进行至相对弹性模量等于 60%时的冻融循环次数;

P ——参数,取 0.6。

表 5.4.2 高性能混凝土的抗冻耐久性指数要求

混凝土结构所处环境条件	冻融循环次数	抗冻耐久性指数 K_m
严寒地区	≥ 300	≥ 0.8
寒冷地区	≥ 300	0.60~0.79
微冻地区	所要求的冻融循环次数	< 0.60

5.4.3 高性能混凝土抗冻性也可按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GBJ 82 规定的慢冻法测定。

5.4.4 受海水作用的海港工程混凝土的抗冻性测定时,应以工程所在地的海水代替普通水制作混凝土试件。当无海水时,可用

3.5%的氯化钠溶液代替海水,并按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GBJ 82 规定的快冻法测定。抗冻耐久性指数可按式(5.4.2)确定,并应符合表 5.4.2 的要求。

5.4.5 受除冰盐冻融作用的高速公路混凝土和钢筋混凝土桥梁混凝土,其抗冻性的测定可按附录 A 的规定进行。测定盐冻前后试件单位面积质量的差值后,可按下式评价混凝土的抗盐冻性能:

$$Q_s = \frac{M}{A} \quad (5.4.5)$$

式中 Q_s ——单位面积剥蚀量(g/m^2);

M ——试件的总剥蚀量(g);

A ——试件受冻面积(m^2);

设计时,应确保混凝土在工程要求的冻融循环次数内,满足 $Q_s \leq 1500\text{g}/\text{m}^2$ 的要求。

5.4.6 高性能混凝土的骨料除应满足第 4.2 节的规定外,其品质尚应符合表 5.4.6 的要求。

表 5.4.6 骨料的品质要求

混凝土结构 所处环境	细骨料		粗骨料	
	吸水率(%)	坚固性试验质量损失 (%)	吸水率(%)	坚固性试验质量损失 (%)
微冻地区	≤ 3.5	≤ 10	3.0	≤ 12
寒冷地区	≤ 3.0		≤ 2.0	
严寒地区				

5.4.7 对抗冻性混凝土宜采用引气剂或引气型减水剂。当水胶比小于 0.30 时,可不掺引气剂;当水胶比不小于 0.30 时,宜掺入引气剂。经过试验检定,高性能混凝土的含气量应达到 4%~5% 的要求。

5.5 抗盐害耐久性设计

5.5.1 抗盐害耐久性设计时,对海岸盐害地区,可根据盐害外部

劣化因素分为：准盐害环境地区(离海岸 250~1000m)；一般盐害环境地区(离海岸 50~250m)；重盐害环境地区(离海岸 50m 以内)。盐湖周边 250m 以内范围也属重盐害环境地区。

5.5.2 高性能混凝土中氯离子含量宜小于胶凝材料用量的 0.06%，并应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

5.5.3 在盐害地区，高耐久性混凝土的表面裂缝宽度宜小于 $c/30$ (c —混凝土保护层厚度,mm)。

5.5.4 高性能混凝土抗氯离子渗透性、扩散性，应以 56d 龄期、6h 的总电量(C)确定，其测定方法应符合附录 B 的规定。根据混凝土电量和抗氯离子渗透性，可按表 5.5.4 进行混凝土定性分类。

表 5.5.4 根据混凝土电量试验结果对混凝土的分类

6h 电量(C)	氯离子渗透性	可采用的典型混凝土种类
2000~4000	中	中等水胶比(0.40~0.60)普通混凝土
1000~2000	低	低水胶比(<0.40)普通混凝土
500~1000	非常低	低水胶比(<0.38)含矿物微细粉混凝土
<500	可忽略不计	低水胶比(<0.30)含矿物微细粉混凝土

5.5.5 混凝土的水胶比应按混凝土结构所处环境条件采用(表 5.5.5)。

表 5.5.5 盐害环境中混凝土水胶比最大值

混凝土结构所处环境	水胶比最大值
准盐害环境地区	0.50
一般盐害环境地区	0.45
重盐害环境地区	0.40

5.6 抗硫酸盐腐蚀耐久性设计

5.6.1 抗硫酸盐腐蚀混凝土采用的水泥，其矿物组成应符合

C_3A 含量小于 5%、 C_3S 含量小于 50%的要求；其矿物微细粉应选用低钙粉煤灰、偏高岭土、矿渣、天然沸石粉或硅粉等。

5.6.2 胶凝材料的抗硫酸盐腐蚀性应按附录 C 规定的方法进行检测，并按表 5.6.2 评定。

表 5.6.2 胶砂膨胀率、抗蚀系数抗硫酸盐性能评定指标

试件膨胀率	抗蚀系数	抗硫酸盐等级	抗硫酸盐性能
>0.4%	<1.0	低	受腐蚀
0.4%~0.35%	1.0~1.1	中	耐腐蚀
0.34%~0.25%	1.2~1.3	高	抗腐蚀
≤0.25%	>1.4	很高	高抗腐蚀

注：检验结果如出现试件膨胀率与抗蚀系数不一致的情况，应以试件的膨胀率为准。

5.6.3 抗硫酸盐腐蚀混凝土的最大水胶比应按表 5.6.3 确定。

表 5.6.3 抗硫酸盐腐蚀混凝土的最大水胶比

劣化环境条件	最大水胶比
水中或土中 SO_4^{2-} 含量大于 0.2% 的环境	0.45
除环境中含有 SO_4^{2-} 外，混凝土还采用含有 SO_4^{2-} 的化学外加剂	0.40

5.7 抑制碱-骨料反应有害膨胀

5.7.1 混凝土结构或构件在设计使用期限内，不应因发生碱-骨料反应而导致开裂和强度下降。

5.7.2 为预防碱-硅反应破坏，混凝土中碱含量不宜超过表 5.7.2 的要求，碱含量的计算应按附录 D 的规定进行。

表 5.7.2 预防碱-硅反应破坏的混凝土碱含量

环境条件	混凝土中最大碱含量(kg/m ³)		
	一般工程结构	重要工程结构	特殊工程结构
干燥环境	不限制	不限制	3.0
潮湿环境	3.5	3.0	2.1
含碱环境	3.0	采用非碱活性骨料	

5.7.3 检验骨料的碱活性，应按附录 E 和附录 F 的规定进行。

5.7.4 当骨料含有碱-硅反应活性时,应掺入矿物微细粉,并宜采用玻璃砂浆棒法(附录 G)确定各种微细粉的掺量及其抑制碱-硅反应的效果。

当骨料中含有碱-碳酸盐反应活性时,应掺入粉煤灰、沸石与粉煤灰复合粉、沸石与矿渣复合粉或沸石与硅复合粉等,并宜采用小混凝土柱法确定其掺量(附录 F)和检验其抑制效果。

6 施工及验收

6.1 原材料管理

6.1.1 原材料应按本规程第4章的质量要求采用。宜在相对固定的、具有一定规模的供应网点采购。进场材料应经材料管理人员和质量管理人员取样检验合格,并办理交验手续后方可使用。

6.1.2 各种原材料应在固定的堆放地点存放、并有明确的标志,标明材料名称、品种、生产厂家和生产(或进场)日期,避免误用。粗、细骨料应堆放在具有排水功能的硬质地面上,存放时间不宜超过半年。

6.1.3 使用砂、粗骨料时,应准确测定因天气变化引起砂、粗骨料含水量的变化。对袋装粉状材料(水泥、微细粉和粉状高效减水剂)应注意防潮;对液体外加剂应注意防止沉淀和分层。

6.2 高性能混凝土拌制

6.2.1 高性能混凝土必须采用强制式搅拌机拌制。

6.2.2 原材料计量应准确,应严格按设计配合比称量,其允许偏差应符合下列规定(按重量计):

- 1 胶凝材料(水泥、微细粉等)±1%;
- 2 化学外加剂(高效减水剂或其他化学添加剂±1%);
- 3 粗、细骨料±2%;
- 4 拌合用水±1%。

6.2.3 应严格测定粗、细骨料的含水率,宜每班抽测2次。使用露天堆放骨料时,应随时根据其含水量变化调整施工配合比。

6.2.4 化学外加剂可采用粉剂和液体外加剂。当采用液体外加剂时,应从混凝土用水量中扣除溶液中的水量;当采用粉剂时,应

适当延长搅拌时间,不宜少于 0.5min。

6.2.5 拌制第一盘混凝土时,可增加水泥和细骨料用量 10%,但保持水灰比不变。

6.2.6 原材料的投料顺序宜为:粗骨料、细骨料、水泥、微细粉投入(搅拌约 0.5min)→加入拌合水(搅拌约 1min)→加入减水剂(搅拌约 0.5min)→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。

搅拌的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、防水剂和其他添加剂时,应相应延长搅拌时间。

6.3 工作性检验

6.3.1 搅拌成的高性能混凝土拌合物应立即检验其工作性,包括测定坍落度、扩展度、坍落度损失;观察有无分层、离析、泌水,评定均质性;有抗冻性要求的混凝土尚应测定含气量。

6.3.2 高性能混凝土拌合物出厂前,应检验其工作性,包括测定其坍落度、扩展度;观察有无分层、离析,测定坍落度经时损失等,经检验合格后方可出厂。

6.3.3 高性能混凝土拌合物运送到现场后,应在工程项目有关三方见证取样的条件下,测定其工作性,经检验合格后方可使用。

6.4 高性能混凝土运输

6.4.1 高性能混凝土从搅拌结束到施工现场使用不宜超过 120min。在运输过程中,严禁添加计量外用水。当高性能混凝土运输到施工现场时,应抽检坍落度,每 100m³ 混凝土应随机抽检 3~5 次,检测结果应作为施工现场混凝土拌合物质量评定的依据。

6.4.2 高性能混凝土应使用搅拌运输车运送,运输车装料前应将筒内的积水排净。

6.4.3 混凝土的运送时间应满足合同规定,合同未作规定时,宜按 90min 控制(当最高气温低于 25℃时,运送时间可延长 30min)。当需延长运送时间时,应采取经过试验验证的技术措施。

6.4.4 当确有必要调整混凝土的坍落度时,严禁向运输车内添加计量外用水,而必须在专职技术人员指导下,在卸料前加入外加剂,且加入后采用快速转动料筒搅拌。外加剂的数量和搅拌时间应经试验确定。

6.5 高性能混凝土浇筑

6.5.1 高性能混凝土的浇筑应采用泵送施工,高频振捣器振动成型。

6.5.2 混凝土泵送施工应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的下列规定:

1 混凝土浇筑时应加强施工组织和调度,混凝土的供应必须确保在规定的施工区段内连续浇筑的需求量;

2 混凝土的自由倾落高度不宜超过 2m;在不出现分层离析的情况下,最大落料高度应控制在 4m 以内;

3 泵送混凝土应根据现场情况合理布管。在夏季高温时应采用湿草帘或湿麻袋覆盖降温,冬季施工时应采用保温材料覆盖;

4 混凝土搅拌后 120min 内应泵送完毕,如因运送时间不能满足要求或气候炎热,应采取经试验验证的技术措施,防止因坍落度损失影响泵送。

6.5.3 冬期浇筑混凝土时应遵照现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 和现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定,制定冬期施工措施。在施工环境的最低气温高于-5℃时,可采取混凝土正温入模,加盖塑料薄膜和保温材料,做好保湿蓄热养护。在寒冷地区和严寒地区冬期施工,应按高性能混凝土的要求,经试验确定掺加外加剂的品种和数量。

6.5.4 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和二次振捣的时机,确保有效地消除塑性阶段产生的沉缩和表面收缩裂缝。

6.6 高性能混凝土养护

6.6.1 高性能混凝土必须加强保湿养护,特别是底板、楼面板等大面积混凝土浇筑后,应立即用塑料薄膜严密覆盖。二次振捣和压抹表面时,可卷起覆盖物操作,然后及时覆盖,混凝土终凝后可用水养护。采用水养护时,水的温度应与混凝土的温度相适应,避免因温差过大而混凝土出现裂缝。保湿养护期不应少于 14d。

6.6.2 当高性能混凝土中胶凝材料用量较大时,应采取覆盖保温养护措施。保温养护期间应控制混凝土内部温度不超过 75℃;应采取措​​施确保混凝土内外温差不超过 25℃。可通过控制入模温度控制混凝土结构内部最高温度,可通过保湿蓄热养护控制结构内外温差;还应防止混凝土表面温度因环境影响(如暴晒、气温骤降等)而发生剧烈变化。

6.7 质量验收

6.7.1 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。

6.7.2 混凝土结构工程的施工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。

6.7.3 混凝土强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GBJ 107 的规定。

附录 A 混凝土抗除冰盐冻融试验方法

A. 0. 1 试验目的

检验混凝土在除冰盐作用下,抵抗冻融剥蚀的能力。

A. 0. 2 试验方法

1 试件

按工程采用的混凝土配合比,浇注成型 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的立方体试件 2 组共 6 个;24h 脱模,水中养护 6d,然后转移到温度 20°C 、相对湿度 65%的试验箱内养护至 28d 龄期,测定抗压强度;并将 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 试件切成 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 75\text{mm}$ 的半立方体,周边用橡胶铝箔或环氧树脂密封。

2 试验装置

抗除冰盐冻融试验应采用图 A. 0. 2 所示的装置。

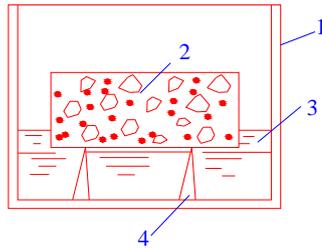


图 A. 0. 2 除冰盐冻融试验装置

1—不锈钢溶液箱 $250\text{mm} \times 250\text{mm} \times 200\text{mm}$,安置试件后用塑料盖盖上;

2—混凝土试件 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 75\text{mm}$;

3—3%NaCl 溶液,浸入试件 1.5cm; 4——支架

3 试验

试件达到 28d 龄期时,将试件放入试验装置(图 A. 0. 2),并倒

入 3NaCl 溶液,浸渍试件 1.5cm。试验溶液被混凝土吸附 7d 后,开始进行试验。因此,冻融开始时龄期为 35d。

将安放好试件的试验装置放入冰箱中,在-20℃温度下冻 12h,然后在 20℃温度下融 12h,完成一次冻融循环。

A. 0. 3 抗除冰盐剥蚀程序评定

混凝土抗盐冻性以单位面积的剥蚀量 Q_s (kg/m²)定量评价。可按下式计算:

$$Q_s = M/A \quad (\text{A. 0. 3})$$

式中 M ——经 28 次盐冻循环后,试件的累计剥蚀量(g);

A ——混凝土试件受盐冻面积(m²)。

经 28 次冻融循环后,试件的质量损失应小于 1500g/m²,相应的剥落层厚度应小于 0.6cm。

附录 B 混凝土抗氯离子渗透性试验方法

B. 0. 1 试验目的

通过测定通过混凝土试件的电量,评价混凝土抵抗氯离子渗透的能力。

B. 0. 2 试件制作

1 根据施工配合比或设计研究的配合比配制混凝土试件,尺寸 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 或 $\phi 100\times 200\text{mm}$ 。经分别标养 28d、56d 或 90d;加工成 $\phi 100\times 50\text{mm}$ 的试件,一组 3 块。用 $\phi 100\times 200\text{mm}$ 的试件,将两端各切去 2.0cm,然后切成 $\phi 100\times 50\text{mm}$ 的试件 3 块。

2 对结构工程中的混凝土,可通过现场取芯,制成试件。

B. 0. 3 试验步骤

1 将 $\phi 100\times 200\text{mm}$ 的试件,在 80°C 下烘干 3~5h,然后将圆柱面用热蜡或密封胶封好。

2 将封好的试件放入 1000mL 烧杯中,然后一起放入真空干燥器中。干燥器一端与负压泵连接,另一端与冷却的开水连接。打开负压泵抽真空 3h,然后将冷却的开水(减少空气含量)抽入干燥器皿,直至淹没试件。对试件进行真空饱水,1h 后关闭负压泵,在负压下饱水 $18\pm 2\text{h}$ 。

3 将饱水试件取出,放入有机玻璃模具中(图 B. 0. 3-1、B. 0. 3-2),两端溶液池中分别加入 3%NaCl 和 0.3N NaOH 溶液。接通 60V 直流电源,正极连接 NaOH 溶液,负极连通 NaCl 溶液。

采用直流量法检测混凝土抗氯离子渗透性。利用 6h 内通过混凝土试件的电量评价其抗氯离子渗透等级。试验仪器见图

B. 0. 3-2。

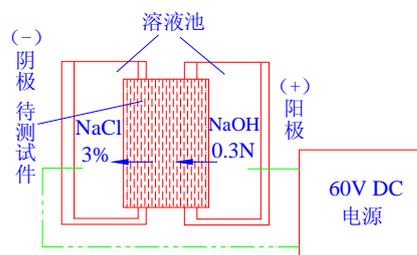


图 B. 0. 3-1 导电量检测试验示意

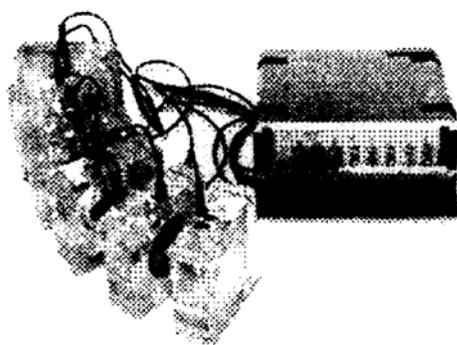


图 B. 0. 3-2 NEL-PER 混凝土渗透性电测仪

4 试件开始通电时,测量初始电流,以后每 0. 5h 测量一次,共测 6h。根据各次的电流测得值按下式计算 6h 通过试件的总电量 Q (C):

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_1 + 2I_2 + 2I_3 + \dots + 2I_{11} + I_{12}) \quad (\text{B. 0. 3})$$

式中 $I_1 \sim I_{12}$ 是 6h 内不同时间检测的电流(A)。

注: NEL-PER 混凝土渗透性电测仪,可直接得出 6h 的测试结果。

B. 0. 4 抗氯离子渗透性评估

根据 6h 导电量的测试结果,按表 B. 0. 4 评价混凝土抗氯离

子渗透性等级。

表 B.0.4 根据通过的电量定性评价混凝土 Cl⁻渗透性级别

6h 总导电量(C)	Cl ⁻ 渗透性级别	典型混凝土种类
>4000	高	水胶比>0.60 的普通混凝土
>2000~4000	中	中等水胶比 0.50~0.60 的普通混凝土
>1000~2000	低	低水胶比 0.40~0.50 的普通混凝土
100~1000	非常低	低水胶比 0.38 的含矿物微细粉混凝土
<100	可忽略不计	低水胶比<0.30 的含矿物微细粉混凝土

附录 C 水泥和混凝土抗硫酸盐腐蚀检测方法

C. 0.1 试验目的

1 检验水泥和胶凝材料抗硫酸盐腐蚀性能,评价其抗硫酸盐腐蚀性能是否合格。

2 根据选用的胶凝材料配制混凝土,确定相应的水灰(胶)比,确保混凝土具有所需的抗硫酸盐腐蚀性能。

C. 0.2 试验方法

1 检测水泥和胶凝材料抗硫酸盐腐蚀性能采用砂浆棒法。

2 试件尺寸和制作

砂浆棒试件尺寸 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 285\text{mm}$ 。

砂浆棒制作时,使用 $0.25 \sim 0.5\text{mm}$ 的细砂、水胶比 0.485 、胶砂比 $1 : 2.5$,在胶砂搅拌机中拌和均匀后,放入两端安放好测头的 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 285\text{mm}$ 的三联试模中,然后振捣成型。共制作测长试件 6 条,同时还制作 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ 试件 9 块。

3 试件养护

将成型好的测长试件和立方体试件放入 $35 \pm 3^\circ\text{C}$ 的养护箱,养护 24h 后脱模,然后将试件放入饱和的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中养护,3d 后将 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ 的立方体试件进行抗压试验,强度达到 20MPa 后,将 3 条 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 285\text{mm}$ 的测长试件和 3 块 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ 的立方体试件放入 $5\% \text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液中浸泡,剩余试件均放入水中养护。 Na_2SO_4 溶液和水的温度均为 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

4 测长

测长试件浸入 $5\% \text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液前,测定初始长度。浸入 5%

Na_2SO_4 溶液后,前四周,每隔一周测长一次,15 周时测定和计算试件的膨胀率。

C. 0. 3 抗硫酸盐腐蚀性能的评估

浸泡在 5% Na_2SO_4 溶液中 15 周时,如 6 条试件膨胀率的平均值小于 0. 4%,则该种砂浆试件的水泥或胶凝材料的抗硫酸盐腐蚀性能合格。

15 周时,水中和硫酸钠溶液中浸渍的立方体试件,两者的抗压强度比应大于 1. 0,可作为参考指标。

C. 0. 4 混凝土的抗硫酸盐腐蚀

1 可按第 C. 0. 3 条选择的水泥或胶凝材料配制抗硫酸盐混凝土。

2 抗硫酸盐腐蚀混凝土的最大水灰(胶)比应符合表 C. 0. 4 的规定。

表 C. 0. 4 抗硫酸盐腐蚀混凝土的最大水灰(胶)比

劣化环境	最大水灰(胶)比
水中或土中 SO_4^{2-} 含量大于 0. 2% 的环境	0. 45
除环境中含有 SO_4^{2-} 外,混凝土还采用含有 SO_4^{2-} 的化学外加剂	0. 40

附录 D 碱含量计算方法

D. 0. 1 试验目的

配制混凝土时,计算水泥、矿物质微细粉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 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。

D. 0. 2 试验方法

1 水泥和矿物质微细粉的碱含量,按国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176—1996 进行检验。

2 化学外加剂的碱含量,按国家标准《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077—2000 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 20% 为有效碱含量;
- 3) 矿渣微细粉中碱含量的 50% 为有效碱含量;
- 4) 硅粉中碱含量的 50% 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) 化学外加剂所带入的碱均为有效碱含量。

D. 0. 3 评价

混凝土中有效碱的总含量可按下式计算:

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

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 E 砂浆棒法快速检测骨料碱活性

E. 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。

E. 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 E. 0.2 规定的级配要求。

表 E. 0.2 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 20min15s 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。

E. 0. 3 试件养护和测量

将成型后的试件放入标准养护室中标养,24±2h 后脱模,测量初始长度,精确至 0. 02mm。

将全部试件放入 80±2. 0℃的水浴中。24h 后取出试件,应在 15±5s 内完成擦干和测长读数过程。

测完初长后,将试件浸泡在 80±1. 0℃的 1N NaOH 溶液中。

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。

E. 0. 4 评定标准

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;

当膨胀率为 0. 10%~0. 20%时,评为潜在碱活性骨料;

当膨胀率大于 0. 20%时,评为碱-硅反应活性骨料。

附录 F 骨料碱-碳酸盐反应活性试验方法 (混凝土柱法)

F. 0. 1 试验目的

1 通过测定混凝土柱长度变化,确定混凝土中碱(钾与钠)与某些钙质石灰岩与白云灰岩中的白云岩骨料对碱-碳酸盐膨胀反应的敏感性。

2 当骨料试样通过岩相分析或岩石柱试验方法分析,确定骨料中含有潜在的有害碱-碳酸盐反应成分时,使用本方法具有特别的价值。

3 本方法的结果可作为判断碱-碳酸盐反应产生的膨胀是否应采取预防措施的依据。可通过对某些特定的水泥-矿物掺合料进行试验,作出相应的对策。

F. 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粒径 4.75~9.5mm。

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,并将其碱含量(Na_2O)调至 1.5%。

3 试件制备:选用已备好的水泥和骨料,按水泥:骨料=1:1、水灰比=0.33,制备尺寸 40mm×40mm×160mm 的试件。一组 3 条试件使用的材料用量符合表 F. 0. 2 的规定。

表 F. 0. 2 一组试件各种材料的用量

材料	胶凝材料	骨料	水	备 注
用量	1000g	1000g	330mL	用 NaOH 调整碱含量(Na_2O)达 1.5%

将计量好的材料放入水泥砂浆搅拌机中拌和均匀,然后分成大致相等的 2 层填入模内,每层分别用捣棒捣实,并沿试件表面振捣,使试件均匀密实,然后用抹刀切除多余的混凝土。

F. 0. 3 试件养护

将成型好的试件放入标准养护箱中标准养护。24h 后脱模,测量初始长度 L_1 。放入温度为 80℃的 1N NaOH 溶液中养护。

F. 0. 4 测长

在养护龄期 1d、3d、7d、14d、21d 和 30d 时分别测长;30d 龄期时试件的长度为 L_2 。

F. 0. 5 结果计算和判定

1 根据测得的初长和终长,按下式计算膨胀率:

$$e=100(L_2-L_1)/(160-2b) \quad (\text{F. 0. 5})$$

式中 e ——试件膨胀率;

L_2 ——试件最终长度;

L_1 ——试件初始长度;

b ——测头埋入混凝土柱的长度。

取 6 个试件的平均膨胀率为该配合比的膨胀率。当膨胀率大于 0.10%时,可判定为碳酸盐活性骨料。

2 结果正确性判断

当 6 个试件的膨胀率都大于 0.10%时,或都小于 0.08%时,可取平均膨胀率作为判定依据。

当 6 个试件的膨胀率在 0.10%左右波动时,各试件的相对变形值不得超过平均值的 15%,否则应重做试验。

F. 0. 6 矿物质掺合料抑制碱-碳酸盐反应(ACR)的效果

1 将试验中所用的水泥改为含有不同矿物质掺合料的胶凝材料,以 NaOH 调整胶凝材料中的碱含量为 1.5%。

2 胶凝材料中能参与碱-骨料反应的有效碱含量,可按下列规定计算:

- 1)水泥中所含的碱均为有效碱含量;
- 2)粉煤灰中碱含量的 20%为有效碱含量;
- 3)矿渣中碱含量的 50%为有效碱含量;
- 4)硅粉中碱含量的 50%为有效碱含量;

- 5)沸石粉中的碱含量均为非有效碱含量；
- 6)外加剂中所含的碱均为有效碱含量；
- 7)混凝土试件总碱量应为水泥带入的碱量+外加剂带入的碱量+掺合料中的有效碱量。

3 以配制的胶凝材料代替水泥,按表 E.0.2 规定的材料用量配制试件。其他步骤同水泥试件。

附录 G 矿物微细粉抑制碱-硅 反应效果检测方法 (玻璃砂浆棒法)

G. 0.1 试验目的

检验不同矿物微细粉抑制碱-硅反应(ASR)的效果,选择优质的矿物微细粉抑制混凝土的碱-硅反应。

G. 0.2 试验方法

1 以 10% 粒径 0.15~5.0mm 的高活性石英玻璃砂,等量取代标准砂作为骨料。

2 选取符合国家标准 42.5 硅酸盐水泥,以 NaOH 加入水泥中,调整碱含量达到 $1.0 \pm 0.5\%$;NaOH 与 Na_2O 的质量转换关系是 $\text{NaOH}\% = \text{Na}_2\text{O}\% \times (2 \times 40/62) = 1.29\text{Na}_2\text{O}$ 。

3 选用不同的矿物微细粉取代部分水泥,按水胶比 0.47、胶骨比 1:2.25 制备 25mm×25mm×285mm 的试件 3 条。

4 将试件放入标养室中养护,24±3h 后脱模,测量初始长度,然后放入温度 38℃、相对湿度 100% 的养护箱中养护,并分别测定养护龄期 1d、3d、7d、10d 和 14d 时试件的长度。

G. 0.3 评价标准

1 以砂浆棒 14d 膨胀率衡量各种矿物微细粉抑制 ASR 膨胀的效果。

2 为对比不同矿物微细粉对 ASR 的抑制效果,采用膨胀率的降低程度指标评价。降低程度越大,抑制效果越好。

试件膨胀率降低率可按式计算:

$$e = (e_0 - e_a) / e_0 \quad (\text{G. 0.3})$$

式中 e ——膨胀降低率;

e_0 ——基准试件的膨胀率;

e_a ——含掺合料试件的膨胀率。

当降低率大于 75%时,可认为该矿物微细粉能够有效抑制碱-硅反应。

本规程用词说明

1 为了便于执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的:

正面词采用:“可”;

反面词采用:“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……要求(或规定)”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时,写法为“可参照……执行”。