

ICS 45.040
S 05

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 3275—2011

铁路混凝土

Concrete for railway construction

2011-07-15 发布

2012-01-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

目 次

前 言 Ⅲ

1 范 围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 设计使用年限 2

 4.2 环境类别 3

 4.3 环境作用等级 3

5 技术要求 5

 5.1 原材料性能 5

 5.2 拌和物性能 12

 5.3 力学性能 13

 5.4 耐久性能 15

 5.5 长期性能 16

 5.6 实体混凝土质量 16

6 试验方法 16

 6.1 水 泥 16

 6.2 粉 煤 灰 16

 6.3 磨细矿渣粉 16

 6.4 硅 灰 16

 6.5 细 骨 料 16

 6.6 粗 骨 料 16

 6.7 高效减水剂 16

 6.8 聚羧酸系高效减水剂 17

 6.9 引 气 剂 17

 6.10 水 17

 6.11 拌和物性能 17

 6.12 力学性能 17

 6.13 耐久性能 17

 6.14 长期性能 17

 6.15 实体混凝土质量 17

7 配 合 比 17

 7.1 一般要求 17

 7.2 参数限值 18

 7.3 设计方法 21

8 施 工 23

 8.1 一般要求 23

8.2	配合比调整	23
8.3	质量控制要点	23
9	检 验	25
9.1	一般要求	25
9.2	施工前检验	25
9.3	施工过程检验	25
9.4	施工后检验	29
附录 A(规范性附录)	水泥或胶凝材料抗硫酸盐侵蚀性能快速检测方法	30
附录 B(规范性附录)	矿物掺合料及外加剂抑制碱—骨料反应有效性检测方法	32
附录 C(规范性附录)	粗骨料 Cl^- 含量试验方法	34
附录 D(规范性附录)	硬化混凝土气泡间距系数检测方法(直线导线法)	35
附录 E(规范性附录)	混凝土压力泌水率比试验方法	38
附录 F(规范性附录)	混凝土表面渗透性试验方法	40

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由铁道部标准计量研究所归口。

本标准起草单位：中国铁道科学研究院、清华大学、中铁十二局集团有限公司、中铁十七局集团有限公司。

本标准主要起草人：谢永江、朱长华、廉惠珍、仲新华、李化建、郑新国、黄直久、刘世安。

铁路混凝土

1 范 围

本标准规定了铁路混凝土的技术要求、试验方法、配制和施工要求以及质量检验。
本标准适用于铁路工程用混凝土。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 208 水泥密度测定方法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法
- GB/T 9142 混凝土搅拌机
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO)法
- GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB 18582 室内装饰装修材料内墙涂料中有害物质限量
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB/T 14684 建筑用砂
- GB/T 14685 建筑用卵石、碎石
- JGJ 63 混凝土用水标准
- TB/T 2922.1 铁路混凝土用骨料碱活性试验方法 岩相法
- TB/T 2922.4 铁路混凝土用骨料碱活性试验方法 岩石柱法
- TB/T 2922.5 铁路混凝土用骨料碱活性试验方法 快速砂浆棒法
- TB 10103 铁路工程岩土化学分析规程
- TB 10104 铁路工程水质分析规程
- TB 10425 铁路混凝土强度检验评定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设计使用年限 **design working life**

设计人员用以作为结构耐久性设计依据并具有足够安全度或保证率的目标使用年限。

3.2

胶凝材料 cementitious material, or binder

用于配制混凝土的水泥和矿物掺合料的总称。

3.3

水胶比 water to binder ratio

混凝土拌和物中总用水量与胶凝材料总量的质量比。

3.4

腐蚀 deterioration

材料与周围的环境因素发生物理、化学或电化学反应而受到的渐进性损伤与破坏。对钢材则称为锈蚀 (corrosion)。

3.5

胶凝材料抗蚀系数 resistance coefficient to sulfate attack of binder

水泥或胶凝材料的胶砂试体浸泡在一定浓度硫酸钠溶液中的抗折强度与浸泡在洁净饮用水中同龄期胶砂试体的抗折强度之比,用于评价水泥或胶凝材料抵抗硫酸盐化学侵蚀的能力。

3.6

电通量 passed electric charge

在一定条件下通过混凝土规定截面积的电荷总量,用于评价混凝土抵抗水和离子等介质向内渗透的能力。

3.7

氯离子扩散系数 chloride diffusion coefficient

描述混凝土孔隙水中氯离子从高浓度区向低浓度区扩散过程的参数,用于评价混凝土抵抗氯离子侵蚀的能力。

3.8

混凝土抗冻等级 resistance class to freezing - thawing of concrete

用快冻法测得的最大冻融循环次数来划分的混凝土抗冻性能的级别,用于评价混凝土抵抗冻融循环破坏的能力。

3.9

气泡间距 air bubble spacing

硬化混凝土中相邻气泡边缘之间距离的平均值。

3.10

抗硫酸盐结晶破坏等级 resistance class to sulphate physical attack of concrete

用抗硫酸盐侵蚀试验方法测得的最大干湿循环次数来划分的混凝土抗硫酸盐结晶破坏性能的级别,用于评价混凝土抵抗硫酸盐结晶破坏的能力。

4 基本规定

4.1 设计使用年限

铁路混凝土结构的设计使用年限应符合表1的规定。

表1 铁路混凝土结构设计使用年限

级 别	设计使用年限
一	100 年
二	60 年
三	30 年

4.2 环境类别

铁路混凝土结构所处的环境按其混凝土材料和钢筋的腐蚀机理分为6类,并按表2确定。

表2 环境类别

环境类别	腐 蚀 机 理
碳化环境	保护层混凝土碳化导致钢筋锈蚀
氯盐环境	氯盐渗入混凝土内导致钢筋锈蚀
化学侵蚀环境	硫酸盐等化学物质与水泥水化产物发生化学反应导致混凝土损伤
盐类结晶破坏环境	硫酸盐等化学物质在混凝土中结晶膨胀导致混凝土损伤
冻融破坏环境	反复冻融作用导致混凝土损伤
磨蚀环境	风沙、河水或泥砂在混凝土表面高速流动导致混凝土表面损伤

4.3 环境作用等级

4.3.1 碳化环境的作用等级应符合表3的规定。对于一侧干燥而另一侧湿润或饱水的薄型结构,其干燥一侧混凝土的作用等级应按T3考虑。

表3 碳化环境的作用等级

作用等级	环 境 条 件
T1	室内年平均相对湿度<60%
	长期在水下(不包括海水)或土中
T2	室内年平均相对湿度≥60%
	室外环境
T3	处于水位变动区
	处于干湿交替区

4.3.2 氯盐环境的作用等级应符合表4的规定。

表4 氯盐环境的作用等级

作用等级	环 境 条 件
L1	长期在海水、盐湖水的地下或土中
	高于平均水位15 m的海上大气区
	离涨潮岸线100 m~300 m的陆上近海区
	水中氯离子浓度≥100 mg/L且≤500 mg/L,并有干湿交替
	土中氯离子浓度≥150 mg/kg且≤750 mg/kg,并有干湿交替
L2	平均水位15 m以内(含15 m)的海上大气区
	离涨潮岸线100 m以内(含100 m)的陆上近海区
	海水潮汐区和浪溅区(非炎热地区)
	水中氯离子浓度>500 mg/L且≤5 000 mg/L,并有干湿交替
	土中氯离子浓度>750 mg/kg且≤7 500 mg/kg,并有干湿交替
L3	海水潮汐区和浪溅区(炎热地区)
	盐渍土地区露出地表的毛细吸附区
	水中氯离子浓度>5 000 mg/L,并有干湿交替
	土中氯离子浓度>7 500 mg/kg,并有干湿交替
注:炎热地区是指年平均气温高于20℃的地区。	

4.3.3 化学侵蚀环境的作用等级应符合表5的规定。

表5 化学侵蚀环境的作用等级

作用等级	环 境 条 件					
	水中 SO_4^{2-} mg/L	强透水性 土中 SO_4^{2-} (水溶值) mg/kg	弱透水性 土中 SO_4^{2-} (水溶值) mg/kg	酸性水 pH 值	水中侵蚀性 CO_2 mg/L	水中 Mg^{2+} mg/L
H1	≥ 200 $\leq 1\,000$	≥ 300 $\leq 1\,500$	$> 1\,500$ $\leq 6\,000$	≤ 6.5 ≥ 5.5	≥ 15 ≤ 40	≥ 300 $\leq 1\,000$
H2	$> 1\,000$ $\leq 4\,000$	$> 1\,500$ $\leq 6\,000$	$> 6\,000$ $\leq 15\,000$	< 5.5 ≥ 4.5	> 40 ≤ 100	$> 1\,000$ $\leq 3\,000$
H3	$> 4\,000$ $\leq 10\,000$	$> 6\,000$ $\geq 15\,000$	$> 15\,000$	< 4.5 ≥ 4.0	> 100	$> 3\,000$
H4	$> 10\,000$	$> 15\,000$	—	—	—	—
当混凝土结构处于高硫酸盐含量(水中 SO_4^{2-} 含量大于 $20\,000\text{ mg/L}$、土中 SO_4^{2-} 含量大于 $30\,000\text{ mg/kg}$)的环境时,其耐久性技术措施应通过专门的试验研究和论证确定。 当环境中存在酸雨时,按酸性水侵蚀考虑,但相应作用等级可降一级。 注:强透水性土是指碎石土和砂土,弱透水性土是指粉土和黏性土。						

4.3.4 盐类结晶破坏环境的作用等级应符合表6的规定。

表6 盐类结晶破坏环境的作用等级

作用等级	环 境 条 件	
	水中 SO_4^{2-} mg/L	土中 SO_4^{2-} (水溶值) mg/kg
Y1	≥ 200 ≤ 500	≥ 300 ≤ 750
Y2	> 500 $\leq 2\,000$	> 750 $\leq 3\,000$
Y3	$> 2\,000$ $\leq 5\,000$	$> 3\,000$ $\leq 7\,500$
Y4	$> 5\,000$	$> 7\,500$
对于盐渍土地区的混凝土结构,埋入土中的混凝土按遭受化学侵蚀环境作用考虑;当大气环境多风干燥时,露出地表的毛细吸附区内的混凝土按遭受盐类结晶破坏环境作用考虑。 对于一面接触含盐环境水(或土)而另一面临空且处于大气干燥或多风环境中的薄壁混凝土结构(如隧道衬砌),接触含盐环境水(或土)的混凝土按遭受化学侵蚀环境作用考虑,临空面的混凝土按遭受盐类结晶破坏环境作用考虑。 当混凝土结构处于高硫酸盐含量(环境水中 SO_4^{2-} 含量大于 $10\,000\text{ mg/L}$ 或环境土中 SO_4^{2-} 含量大于 $15\,000\text{ mg/kg}$)的地区,其耐久性技术措施应进行专门研究和论证。		

4.3.5 冻融破坏环境的作用等级应符合表 7 的规定。

表 7 冻融破坏环境的作用等级

作用等级	环 境 条 件
D1	微冻条件,且混凝土频繁接触水
D2	微冻条件,且混凝土处于水位变动区
	严寒和寒冷条件,且混凝土频繁接触水
	微冻条件,且混凝土频繁接触含氯盐水体
D3	严寒和寒冷条件,且混凝土处于水位变动区
	微冻条件,且混凝土处于含氯盐水体的水位变动区
	严寒和寒冷条件,且混凝土频繁接触含氯盐水体
D4	严寒和寒冷条件,且混凝土处于含氯盐水体的水位变动区
注1:严寒条件、寒冷条件和微冻条件下年最冷月的平均气温 <i>t</i> 分别为: $t\leq -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}<t<-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}\leq t\leq 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。	
注2:含氯盐水体包括海水、含有氯盐的地下水或盐湖水等。	

4.3.6 磨蚀环境的作用等级应符合表 8 的规定。

表 8 磨蚀环境的作用等级

作用等级	环 境 条 件
M1	风力等级 ≥ 7 级,且年累计刮风天数大于 90 d 的风沙地区
M2	风力等级 ≥ 9 级,且年累计刮风天数大于 90 d 的风沙地区
	有强烈流冰撞击的河道(冰层水位线下 0.5 m~冰层水位线上 1.0 m)
	汛期含砂量为 $200\text{ kg/m}^3\sim 1\,000\text{ kg/m}^3$ 的河道
M3	风力等级 ≥ 11 级,且年累计刮风天数大于 90 d 的风沙地区
	汛期含砂量 $>1\,000\text{ kg/m}^3$ 的河道
	西北戈壁荒漠区洪水期间夹杂大量粗颗粒砂石的河道

4.3.7 作用等级为 L3、H4、Y4、D4、和 M3 级的环境为严重腐蚀环境。

5 技术要求

5.1 原材料性能

5.1.1 一般要求

- 5.1.1.1 水泥应选用通用硅酸盐水泥,不宜使用早强水泥。C30 及以上混凝土应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,C30 以下混凝土可采用粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣粉硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。
- 5.1.1.2 粉煤灰、磨细矿渣粉和硅灰等矿物掺合料应选用性能稳定的产品。
- 5.1.1.3 细骨料应选用级配合理、质地坚固、吸水率低、孔隙率小的洁净天然中粗河砂,也可选用专门机组生产的人工砂,不应使用海砂。
- 5.1.1.4 粗骨料应选用粒形良好、质地坚固、线胀系数小的洁净碎石,无抗拉和抗疲劳要求的 C40 以下混凝土也可采用卵石。
- 5.1.1.5 外加剂应选用能明显提高混凝土耐久性能且品质稳定的产品。外加剂与水泥及矿物掺合料之间应具有良好的相容性,外加剂的品种和掺量应经试验确定。

5.1.1.6 拌和用水可采用饮用水,也可采用满足本标准要求的其他水源的水,不应采用海水。

5.1.1.7 养护用水不应采用海水。

5.1.2 水 泥

水泥的性能除应符合 GB 175 的规定外,还应满足表 9 的要求。

表 9 水泥的性能

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求
1	比表面积	300 m ² /kg ~ 350 m ² /kg
2	游离 CaO 含量	≤1.0%
3	碱含量	≤0.80%
4	熟料中的 C ₃ A 含量	≤8%

当混凝土结构所处环境为硫酸盐化学侵蚀环境时,混凝土应采用低 C₃A 含量的水泥,且胶凝材料的抗蚀系数(56 d)不应小于 0.8。抗蚀系数按附录 A 规定的方法检验。

当骨料具有碱—硅酸反应活性时,水泥的碱含量不应超过 0.6%。C40 及以上混凝土用水泥的碱含量不宜超过 0.60%。

当混凝土结构所处环境为氯盐环境时,混凝土宜采用低 Cl⁻ 含量的水泥,不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

5.1.3 粉 煤 灰

粉煤灰的性能应满足表 10 的要求。

表 10 粉煤灰的性能

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求	
		C50 及以上	C50 以下
1	细度	≤12.0%	≤25.0%
2	需水量比	≤95%	≤105%
3	烧失量	≤5.0%	≤8.0%
4	Cl ⁻ 含量	≤0.02%	
5	含水量	≤1.0% (对于排灰)	
6	SO ₃ 含量	≤3.0%	
7	CaO 含量	≤10%	
8	游离 CaO 含量	≤1.0%	

混凝土结构所处的环境为严重冻融破坏环境时,混凝土宜采用烧失量不大于 3.0% 的粉煤灰。

5.1.4 磨细矿渣粉

磨细矿渣粉的性能应满足表 11 的要求。

表 11 磨细矿渣粉的性能

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求
1	密度	≥2.8 g/cm ³
2	比表面积	350 m ² /kg ~ 500 m ² /kg
3	流动度比	≥95%
4	烧失量	≤3.0%

表 11(续)

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求
5	MgO 含量	≤14.0%
6	SO ₃ 含量	≤4.0%
7	Cl ⁻ 含量	≤0.06%
8	含水量	≤1.0%
9	7 d 活性指数	≥75%
	28 d 活性指数	≥95%

5.1.5 硅 灰

硅灰的性能应满足表 12 的要求。

表 12 硅灰的性能

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求
1	烧失量	≤6%
2	比表面积	≥18 000 m ² /kg
3	需水量比	≤125%
4	28 d 活性指数	≥85%
5	Cl ⁻ 含量	≤0.02%
6	SiO ₂ 含量	≥85%
7	含水量	≤3.0%

5.1.6 细 骨 料

细骨料的性能应满足表 13 ~ 表 15 的要求。

表 13 细骨料的性能

序 号	检 验 项 目		技 术 要 求		
			< C30	C30 ~ C45	≥ C50
1	颗粒级配		应符合表 14 的规定		
2	含泥量		≤3.0%	≤2.5%	≤2.0%
3	泥块含量		≤0.5%		
4	云母含量		≤0.5%		
5	轻物质含量		≤0.5%		
6	有机物含量		浅于标准色		
7	压碎指标(人工砂)		<25%		
8	石粉含量(人工砂)	MB < 1.40	≤10.0%	≤7.0%	≤5.0%
		MB ≥ 1.40	≤5.0%	≤3.0%	≤2.0%
9	吸水率		≤2% (冻融破坏环境下 ≤1%)		
10	坚固性		≤8%		

表 13(续)

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求		
		< C30	C30 ~ C45	≥ C50
11	硫化物及硫酸盐含量	≤0.5%		
12	Cl ⁻ 含量	≤0.02%		
13	碱活性	应符合表 15 的规定		
当河砂的含泥量超过本表规定时,应采用专用设备进行处理至符合要求。 当砂中含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质时,应进行专门试验研究,确认能满足混凝土耐久性要求后,方能采用。 冻融破坏环境下,细骨料的含泥量不应大于 2.0%。				

表 14 细骨料的累积筛余百分数

公称粒径 mm	级 配 区		
	I 区	Ⅱ 区	Ⅲ 区
10.0	0	0	0
5.00	10% ~ 0	10% ~ 0	10% ~ 0
2.50	35% ~ 5%	25% ~ 0	15% ~ 0
1.25	65% ~ 35%	50% ~ 10%	25% ~ 0
0.63	85% ~ 71%	70% ~ 41%	40% ~ 16%
0.315	95% ~ 80%	92% ~ 70%	85% ~ 55%
0.160	100% ~ 90%	100% ~ 90%	100% ~ 90%
除 5.00 mm 和 0.63 mm 筛档外,细骨料其他筛档的实际累计筛余百分率与本表相比允许稍有超出分界线,但超出总量不应大于 5%。			

表 15 细骨料的碱活性

序号	砂浆棒膨胀率(快速法)(ε_1)	使 用 要 求
1	<0.20%	混凝土的碱含量应符合表 32 的规定
2	$0.20\% \leq \varepsilon_1 < 0.30\%$	不应在梁体、轨道板、轨枕、接触网支柱等预制构件中使用 当用于其他混凝土结构时,混凝土的碱含量应符合表 32 的规定,且应对混凝土采取抑制碱—骨料反应的技术措施,并经试验证明抑制有效
3	$\varepsilon_1 \geq 0.30\%$	不应使用

5.1.7 粗 骨 料

粗骨料应采用二级或多级级配骨料混配而成,其性能应满足表 16 ~ 表 19 的要求。

表 16 粗骨料的性能

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求		
		< C30	C30 ~ C45	≥ C50
1	颗粒级配	应符合表 17 的规定		
2	压碎指标值	应符合表 18 的规定		
3	针片状颗粒总含量	≤10%	≤8%	≤5%

表 16(续)

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求		
		< C30	C30 ~ C45	≥ C50
4	含泥量	≤1.0%	≤1.0%	≤0.5%
5	泥块含量	≤0.2%		
6	岩石抗压强度	母岩抗压强度与混凝土强度等级之比不应小于 1.5		
7	吸水率	<2% (冻融破坏环境下 <1%)		
8	紧密空隙率	≤40%		
9	坚固性	≤8% (用于预应力混凝土结构时 ≤5%)		
10	硫化物及硫酸盐含量	≤0.5%		
11	Cl ⁻ 含量	≤0.02%		
12	有机物含量(卵石)	浅于标准色		
13	碱活性	应符合表 19 的规定		
注 1:当粗骨料为碎石时,碎石的强度用岩石抗压强度表示。				
注 2:施工过程中,粗骨料的强度可用压碎指标进行控制。				

表 17 碎石或卵石的累积筛余百分数

公称 粒径 mm	筛孔边长尺寸 mm								
	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53
5~10	95%~100%	80%~100%	0~15%	0	—	—	—	—	—
5~16	95%~100%	85%~100%	30%~60%	0~10%	0	—	—	—	—
5~20	95%~100%	90%~100%	40%~80%	—	0~10%	0	—	—	—
5~25	95%~100%	90%~100%	—	30%~70%	—	0~5%	0	—	—
5~31.5	95%~100%	90%~100%	70%~90%	—	15%~45%	—	0~5%	0	—
5~40	—	95%~100%	70%~90%	—	30%~65%	—	—	0~5%	0
粗骨料的公称粒径不宜超过钢筋的混凝土保护层厚度的2/3,在严重腐蚀环境条件下不宜超过1/2,且不应超过钢筋最小间距的3/4。									
配制强度等级C50及以上混凝土时,粗骨料最大公称粒径不应大于25mm。									

表 18 粗骨料的压碎指标

混凝土强度等级	< C30			≥ C30		
岩石种类	沉积岩	变质岩或深成的火成岩	喷出的火成岩	沉积岩	变质岩或深成的火成岩	喷出的火成岩
碎 石	≤16%	≤20%	≤30%	≤10%	≤12%	≤13%
卵 石	≤16%			≤12%		
注:沉积岩包括石灰岩、砂岩等,变质岩包括片麻岩、石英岩等,深成的火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等,喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。						

表 19 粗骨料的碱活性

序号	砂浆棒膨胀率(快速法)(ϵ_i)	使用要求
1	$<0.20\%$	混凝土的碱含量应满足表 32 的规定
2	$0.20\% \leq \epsilon_i < 0.30\%$	(1)不应在梁体、轨道板、轨枕、接触网支柱等预制构件中使用 (2)当用于其他混凝土结构时,混凝土的碱含量应满足表 32 的规定,且应对混凝土采取抑制碱—骨料反应的技术措施,并经试验证明抑制有效
3	$\epsilon_i \geq 0.30\%$	不应使用
不应使用具有碱—碳酸盐反应活性的骨料。		

5.1.8 高效减水剂

高效减水剂的性能应符合表 20 的规定,聚羧酸系高性能减水剂的性能应符合表 21 的规定,引气剂的性能应符合表 22 的规定。外加剂的匀质性应符合 GB 8076 的规定。当使用其他新型外加剂时,应经过试验论证并通过主管部门评审。

表 20 高效减水剂的性能

序 号	检 验 项 目		技 术 要 求	
			标准型	缓凝型
1	减水率		$\geq 20\%$	
2	含气量		$\leq 3.0\%$	
3	泌水率比		$\leq 20\%$	
4	压力泌水率比(用于配制泵送混凝土时)		$\leq 90\%$	
5	抗压强度比	1 d	$\geq 140\%$	—
		3 d	$\geq 130\%$	—
		7 d	$\geq 125\%$	$\geq 125\%$
		28 d	$\geq 120\%$	$\geq 120\%$
6	坍落度 1 h 经时变化量(用于配制泵送混凝土时)		—	$\leq 60\text{ mm}$
7	凝结时间之差	初 凝	$-90\text{ min} \sim +120\text{ min}$	$> +90\text{ min}$
		终 凝		—
8	硫酸钠含量(按折固含量计)		$\leq 10.0\%$	
9	Cl^- 含量(按折固含量计)		$\leq 0.6\%$	
10	碱含量(按折固含量计)		$\leq 10\%$	
11	收缩率比		$\leq 125\%$	

表 21 聚羧酸系高性能减水剂的性能

序 号	检 验 项 目	技 术 要 求		
		早强型	标准型	缓凝型
1	减水率	$\geq 25\%$		
2	含气量	$\leq 3.0\%$		
3	泌水率比	$\leq 20\%$		

表 21(续)

序 号	检 验 项 目		技 术 要 求		
			早强型	标准型	缓凝型
4	压力泌水率比(用于配制泵送混凝土时)		≤90%		
5	抗压强度比	1 d	≥180%	≥170%	—
		3 d	≥170%	≥160%	—
		7 d	≥145%	≥150%	≥140%
		28 d	≥130%	≥140%	≥130%
6	坍落度 1 h 经时变化量(用于配制泵送混凝土时)		—	≤80 mm	≤60 mm
7	凝结时间之差	初 凝	- 90 min ~ + 90 min	- 90 min ~ + 120 min	> + 90 min
		终 凝			—
8	甲醛含量(按折固含量计)		≤0.05%		
9	硫酸钠含量(按折固含量计)		≤5.0%		
10	Cl ⁻ 含量(按折固含量计)		≤0.6%		
11	碱含量(按折固含量计)		≤10%		
12	收缩率比		≤110%		

表 22 引气剂的性能

序 号	检 验 项 目		技 术 要 求
1	减水率		≥6%
2	含气量		≥3.0%
3	泌水率比		≤70%
4	1 h 含气量经时变化量		-1.5% ~ +1.5%
5	抗压强度比	3 d	≥95%
		7 d	≥95%
		28 d	≥90%
6	凝结时间差	终 凝	-90 min ~ +120 min
		初 凝	
7	收缩率比		≤125%
8	相对耐久性指数(200 次)		≥80%
9	28 d 硬化体气泡间距系数		≤300 μm

5.1.9 水

5.1.9.1 拌和用水的性能应满足表 23 的要求。

表 23 拌和用水的性能

序号	检 验 项 目	技 术 要 求		
		预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
1	pH 值	> 6.5	> 6.5	> 6.5
2	不溶物含量	< 2 000 mg/L	< 2 000 mg/L	< 5 000 mg/L
3	可溶物含量	< 2 000 mg/L	< 5 000 mg/L	< 10 000 mg/L
4	氯化物含量	< 500 mg/L < 350 mg/L(用钢丝或热处理的钢筋)	< 1 000 mg/L	< 3 500 mg/L
		< 200 mg/L(混凝土处于氯盐环境下)		
5	硫酸盐含量	< 600 mg/L	< 2 000 mg/L	< 2 700 mg/L
6	碱含量	< 1 500 mg/L	< 1 500 mg/L	< 1 500 mg/L
7	抗压强度比(28 d)	≥ 90%		
8	凝结时间差	≤ 30 min		
对于钢筋配筋率低于最小配筋率的混凝土结构,其混凝土拌和用水性能应与本表中钢筋混凝土相同。				

5.1.9.2 养护用水除不溶物、可溶物不作要求外,其他性能应满足拌和水的要求。

5.2 拌和物性能

5.2.1 工 作 性

新拌混凝土的工作性应根据混凝土结构的类型和成型方式确定。一般情况下,混凝土的工作性能宜满足表 24 的要求。

表 24 混凝土的工作性

结构/构件类型	成型方式	工作性(入模时)	
		评价方法	指 标
轨 枕	振动台	增实因数法	1.05 ~ 1.40
接触网支柱(方)		维勃稠度	≥20 s
I 型轨道板	附着式振动	坍落度法	≤120 mm
II 型轨道板		坍落度法	≤160 mm
III 型轨道板		坍落度法	≤120 mm
电 杆	离心机	坍落度法	≤100 mm
接触网支柱(圆)		坍落度法	≤100 mm
桩、墩台、承台、T 梁、道床板、底座、涵洞、隧道衬砌、仰拱、路基 支挡等	振捣棒(斗送)	坍落度法	≤140 mm
桩、墩台、承台、箱梁、道床板、底座、涵洞、隧道衬砌、仰拱、路基 支挡等	振捣棒(泵送)	坍落度法	≤200 mm
桩	自密实	坍落度法	≤220 mm
充填层		扩展度法	≤600 mm
		扩展度法	≤750 mm

5.2.2 含 气 量

混凝土的含气量应满足设计要求。当设计无明确要求时,不同环境下混凝土的含气量最低限值应满足表 25 的要求。

表 25 混凝土的含气量最低限值

环境条件	冻融破坏环境			盐类结晶破坏环境	其他环境
	D1	D2、D3	D4	Y1、Y2、Y3、Y4	
含气量(入模时)	4.0%	5.0%	6.0%	4.0%	2.0%
梁、轨道板混凝土含气量应为 2.0% ~ 4.0%。					

5.2.3 温 度

混凝土的入模温度宜为 5℃ ~ 30℃。

5.2.4 凝结时间

混凝土的凝结时间应满足运输、浇筑和养护工艺的要求,并通过试验确定。

5.2.5 泌 水

混凝土拌和物不应泌水。

5.2.6 匀 质 性

混凝土中砂浆密度的相对偏差不大于 0.8%,粗骨料质量的相对偏差不大于 5%。

5.3 力学性能

5.3.1 不同环境下,桥梁灌注桩和隧道衬砌用混凝土的抗压强度应满足表 26 的要求。

表 26 桥梁灌注桩、隧道衬砌用混凝土的最低抗压强度等级

环境类别	环境作用等级	灌 注 桩		隧道衬砌	
		钢筋混凝土	素混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
碳化环境	T1	C30	C30	C30	C30
	T2	C35	C30	C35	C30
	T3	C40	C30	C40	C30
氯盐环境	L1	C40	C35	C40	C35
	L2	C45	C35	C45	C35
	L3	C50	C35	C50	C35
化学侵蚀环境	H1	C35	C35	C35	C35
	H2	C40	C40	C40	C40
	H3	C45	C45	C45	C45
	H4	C45	C45	C45	C45
盐类结晶破坏环境	Y1	—	—	C35	C35
	Y2	—	—	C40	C40
	Y3	—	—	C45	C45
	Y4	—	—	C45	C45
冻融破坏环境	D1	—	—	C35	C35
	D2	—	—	C40	C40
	D3	—	—	C45	C45
	D4	—	—	C45	C45
注 1:本表中的抗压强度等级是按混凝土在标准条件下制作并养护 56 d 时的抗压强度值确定的。					
注 2:本表所指灌注桩是指埋入土中或水中的桩体。					

5.3.2 除桥梁灌注桩、隧道衬砌和支承层外,不同环境下混凝土的抗压强度应满足表 27 的要求。

表 27 混凝土的最低抗压强度等级

环境类别	环境作用等级	设计使用年限					
		100 年		60 年		30 年	
		钢筋混凝土和 预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土和 预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土和 预应力混凝土	素混凝土
碳化环境	T1	C30	C30	C25	C25	C25	C25
	T2	C35	C30	C30	C25	C30	C25
	T3	C40	C30	C35	C25	C35	C25
氯盐环境	L1	C40	C35	C35	C30	C35	C30
	L2	C45	C35	C40	C30	C40	C30
	L3	C50	C35	C45	C30	C45	C30
化学侵蚀环境	H1	C35	C35	C30	C30	C30	C30
	H2	C40	*	C35	C35	C35	C35
	H3	C45	*	C40	*	C40	*
	H4	C50	*	C45	*	C45	*
盐类结晶破坏环境	Y1	C35	C35	C30	C30	C30	C30
	Y2	C40	*	C35	C35	C35	C35
	Y3	C45	*	C40	*	C40	*
	Y4	C50	*	C45	*	C45	*
冻融破坏环境	D1	C35	C35	C30	C30	C30	C30
	D2	C40	*	C35	C35	C35	C35
	D3	C45	*	C40	*	C40	*
	D4	C50	*	C45	*	C45	*
磨蚀环境	M1	C35	C35	C30	C30	C30	C30
	M2	C40	*	C35	C35	C35	C35
	M3	C45	*	C40	*	C40	*
对于钢筋的配筋率低于最小配筋率的混凝土结构,其混凝土的最低抗压强度等级要求应与本表中钢筋混凝土的要求相同。 “*”表示不宜使用素混凝土。如果不得不使用素混凝土,混凝土的最低强度等级与钢筋混凝土一致,且应采取有效的防裂措施。 注:对于钢筋混凝土和素混凝土,本表中的抗压强度等级是按混凝土在标准条件下制作并养护 56 d 时的抗压强度值确定的。							

5.4 耐久性能

5.4.1 不同强度等级混凝土的密实性(以 56 d 电通量表示)应满足表 28 的要求。

表 28 不同强度等级混凝土的密实性 单位为库仑

混凝土强度等级	设计使用年限		
	100 年	60 年	30 年
< C30	< 1 500	< 2 000	< 2 500
C30 ~ C45	< 1 200	< 1 500	< 2 000
≥ C50	< 1 000	< 1 200	< 1 500

5.4.2 氯盐环境下,混凝土抗氯离子渗透性能应满足表 29 的要求。

表 29 氯盐环境下混凝土抗氯离子渗透性能

评价指标	环境作用等级	设计使用年限	
		100 年	60 年
56 d 氯离子扩散系数 D_{RCM}	L1	$\leq 7 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$\leq 10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
	L2	$\leq 5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$\leq 8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
	L3	$\leq 3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$\leq 4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

5.4.3 盐类结晶破坏环境下,混凝土的气泡间距系数应小于 300 μm ,且混凝土抗盐类结晶破坏性能应满足表 30 的要求。

表 30 盐类结晶破坏环境下混凝土抗硫酸盐结晶破坏性能

评价指标	环境作用等级	设计使用年限		
		100 年	60 年	30 年
56 d 抗硫酸盐结晶破坏等级	Y1	$\geq \text{KS90}$	$\geq \text{KS60}$	$\geq \text{KS60}$
	Y2	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS90}$	$\geq \text{KS90}$
	Y3	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS120}$
	Y4	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS120}$

5.4.4 冻融破坏环境下,混凝土的气泡间距系数应小于 300 μm ,且混凝土的抗冻性能应满足表 31 的要求。

表 31 冻融破坏环境下混凝土的性能

评价指标	环境作用等级	设计使用年限		
		100 年	60 年	30 年
56 d 抗冻等级	D1	$\geq \text{F300}$	$\geq \text{F250}$	$\geq \text{F200}$
	D2	$\geq \text{F350}$	$\geq \text{F300}$	$\geq \text{F250}$
	D3	$\geq \text{F400}$	$\geq \text{F350}$	$\geq \text{F300}$
	D4	$\geq \text{F450}$	$\geq \text{F400}$	$\geq \text{F350}$
梁体混凝土的抗冻等级不应低于 F200,双块式轨枕和轨道板混凝土的抗冻等级不应低于 F300。				

5.4.5 氯盐腐蚀环境下,重要混凝土结构的混凝土护筋性技术要求应通过专门试验研究确定。

5.4.6 磨蚀环境下,混凝土的耐磨性技术要求应通过专门试验研究确定。

5.4.7 当设计有特殊要求时,混凝土的抗裂性技术要求应通过专门试验研究确定。

5.5 长期性能

5.5.1 无砟轨道底座混凝土、双块式轨枕道床板混凝土、自密实混凝土和预应力混凝土的56 d收缩率不应大于 400×10^{-6} 。

5.5.2 采用新材料、新工艺施工的预应力混凝土,其14 d龄期加载90 d的徐变系数不应大于1.0。

5.5.3 承受疲劳荷载作用的混凝土结构,混凝土的抗疲劳性能技术要求应通过专门的试验研究确定。

5.6 实体混凝土质量

5.6.1 普通混凝土结构表面非外力裂缝的最大宽度不应大于0.20 mm;预应力混凝土结构预应力区域混凝土表面不应出现裂缝。

5.6.2 混凝土结构表层混凝土的氯离子扩散系数不应低于实验室对比试验确定的设定值。

6 试验方法

6.1 水 泥

烧失量、氧化镁含量、三氧化硫含量、氧化钙含量、碱含量、游离氧化钙含量、氯离子含量按GB/T 176检验,熟料中的 C_3A 含量按GB/T 21372检验,比表面积按GB/T 8074检验,凝结时间和安定性按GB/T 1346检验,强度按GB/T 17671检验。

6.2 粉 煤 灰

细度、需水量比、含水量按GB/T 1596检验,烧失量、三氧化硫含量、氧化钙含量、游离氧化钙含量、碱含量和氯离子含量按GB/T 176检验,安定性按GB/T 1346检验。

6.3 磨细矿渣粉

烧失量、流动度比、含水量、活性指数按GB/T 18046检验,比表面积按GB/T 8074检验,密度按GB/T 208检验,三氧化硫含量、碱含量、氧化镁含量和氯离子含量按GB/T 176检验。

6.4 硅 灰

烧失量、二氧化硅含量和氯离子含量按GB/T 176检验,比表面积、需水量比和活性指数按GB/T 18736检验,含水量按GB/T 1596检验。

6.5 细 骨 料

颗粒级配、吸水率、含泥量、泥块含量、坚固性、云母含量、轻物质含量、有机物含量、硫化物及硫酸盐含量和氯离子含量按GB/T 14684规定的方法检验,人工砂的石粉含量和压碎指标值按GB/T 14684规定的方法检验。

碱活性试验时,首先采用TB/T 2922.1对骨料的矿物组成和碱活性矿物类型进行检验,然后采用TB/T 2922.5对骨料的碱—硅酸反应膨胀率进行测定。

6.6 粗 骨 料

松散堆积密度、紧密空隙率、颗粒级配、含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、吸水率、压碎指标值、坚固性、硫化物及硫酸盐含量、有机物含量和岩石抗压强度按GB/T 14685规定的方法检验。氯离子含量按附录C检验。

碱活性试验时,首先采用TB/T 2922.1对骨料的矿物组成和碱活性矿物类型进行检验。若骨料含有碱—硅酸反应活性矿物,则采用TB/T 2922.5对骨料的碱—硅酸反应膨胀率进行检验;若骨料含有碱—碳酸盐反应活性矿物,则采用TB/T 2922.4对骨料的碱—碳酸盐反应膨胀率进行检验。

6.7 高效减水剂

减水率、含气量、常压泌水率比、抗压强度比、坍落度1 h经时变化量、凝结时间差和收缩率比按GB 8076检验,现场抽检检验用水泥宜为工程用水泥,硫酸钠含量、氯离子含量和碱含量按GB/T 8077

检验,压力泌水率比按附录 E 检验。

6.8 聚羧酸系高效减水剂

减水率、含气量、常压泌水率比、抗压强度比、坍落度 1 h 经时变化量、凝结时间差、收缩率比按 GB 8076 规定的方法检验,现场抽检检验用水泥宜为工程用水泥,硫酸钠含量、氯离子含量和碱含量按 GB/T 8077 检验,甲醛含量按 GB 18582 检验,压力泌水率比按附录 E 检验。检验减水率、含气量、泌水率比、抗压强度比、凝结时间之差、收缩率比时,混凝土的坍落度宜为 $80\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ 。

6.9 引气剂

减水率、含气量、常压泌水率比、1 h 含气量经时变化、抗压强度比、凝结时间差、收缩率比和相对耐久性指数按 GB 8076 规定的方法检验,28 d 硬化体气泡间距系数按附录 D 检验。

6.10 水

pH 值、不溶物含量、可溶物含量、氯化物含量、硫酸盐含量、凝结时间差、抗压强度比按 JGJ 63 规定的方法检验,碱含量按 GB/T 176 检验。

6.11 拌和物性能

坍落度、含气量、泌水率和凝结时间试验按 GB/T 50080 检验,匀质性按 GB/T 9142 检验。

6.12 力学性能

抗压强度、弹性模量试验按 GB/T 50081 检验。其中,施工控制试件应进行同条件养护。抽检试件应在现场同条件养护脱模后再转入标准条件养护至规定龄期时进行试验。标准试件成型后应在标准养护条件下养护至规定龄期时进行试验。

6.13 耐久性能

密实性、抗渗性能、抗冻性能、抗氯离子渗透性能和抗盐类结晶破坏性能按 GB/T 50082 检验,试验龄期为 56 d;胶凝材料抗硫酸盐侵蚀系数按附录 A 检验。矿物掺合料及外加剂抑制碱—骨料反应有效性按附录 B 检验。气泡间距系数按附录 D 检验。

当混凝土采用自然养护时,耐久性试件成型后应在标准养护条件下养护至规定龄期时进行试验。当混凝土采用蒸汽养护时,耐久性试件应在现场同条件下养护至脱模后再转入标准养护条件下养护至规定龄期时进行试验。

6.14 长期性能

收缩、徐变和疲劳性能按 GB/T 50082 检验。

6.15 实体混凝土质量

结构混凝土表面裂缝宽度检验采用肉眼或放大镜观察。

结构混凝土表层混凝土渗透性按附录 F 检验。

7 配合比

7.1 一般要求

7.1.1 混凝土的原材料和配合比参数应根据混凝土结构的设计使用年限、所处环境条件和作用等级确定。

7.1.2 混凝土中应适量掺加能够改善混凝土性能的粉煤灰、磨细矿渣粉或硅灰等矿物掺合料。

7.1.3 混凝土中应适量掺加能够提高混凝土性能的高效减水剂,尽量减少用水量和胶凝材料用量;含气量要求大于或等于 4.0% 的混凝土应同时掺加高效减水剂(或聚羧酸系高性能减水剂)和引气剂。

7.1.4 混凝土配合比应按最小浆骨体积比原则设计。

7.1.5 混凝土的碱含量应符合设计要求。当设计无要求时,混凝土的碱含量应满足表 32 的要求。

表 32 混凝土的碱含量最大限值 单位为千克每立方米

设计使用年限		100 年	60 年	30 年
环境条件	干燥环境	3.5	3.5	3.5
	潮湿环境	3.0	3.0	3.5
	含碱环境	2.1	3.0	3.0

对于含碱环境中的混凝土结构,当其设计使用年限为 100 年时,除了混凝土的碱含量应满足本表要求外,还应使用非碱活性骨料;当其设计使用年限为 60 年、30 年时,除了混凝土碱含量应满足本表要求外,还应对混凝土表面作防水、防碱涂层处理,否则应换用非碱活性骨料。

注 1:混凝土的碱含量是指混凝土中各种原材料的碱含量之和。其中,矿物掺合料的碱含量以其所含可溶性碱量计算。粉煤灰的可溶性碱量取粉煤灰总碱量的 1/6,磨细矿渣粉的可溶性碱量取磨细矿渣粉总碱量的 1/2,硅灰的可溶性碱量取硅灰总碱量的 1/2。

注 2:干燥环境是指不直接与水接触、年平均空气相对湿度长期不大于 75% 的环境;潮湿环境是指长期处于水下或潮湿土中、干湿交替区、水位变化区以及年平均相对湿度大于 75% 的环境;含碱环境是指与高含盐碱土体、海水、含碱工业废水或钠(钾)盐等直接接触的环境;干燥环境或潮湿环境与含碱环境交替作用时,均按含碱环境对待。

7.1.6 混凝土的氯离子含量应满足表 33 的要求。

表 33 混凝土的氯离子含量最大限值

混凝土类别	钢筋混凝土	预应力混凝土
氯离子含量	0.10%	0.06%

对于钢筋配筋率低于最小配筋率的混凝土结构,其混凝土的氯离子含量要求应与本表中钢筋混凝土的要求相同。

注:混凝土的氯离子含量是指混凝土中各种原材料的氯离子含量之和,以其与胶凝材料的重量比表示。

7.1.7 混凝土的三氧化硫含量不应超过胶凝材料总量的 4.0%。

7.2 参数限值

7.2.1 不同强度等级混凝土的胶凝材料最大用量宜满足表 34 的要求。

表 34 混凝土的胶凝材料最大用量 单位为千克每立方米

混凝土强度等级	成型方式	
	振动成型	自密实成型
< C30	360	—
C30 ~ C35	400	550
C40 ~ C45	450	600
C50	480	—
> C50	500	—

7.2.2 不同环境下,混凝土胶凝材料最小用量应满足表 35 的要求。

表 35 混凝土的胶凝材料最小用量 单位为千克每立方米

环境类别	作用等级	100 年	60 年	30 年
碳化环境	T1	280	260	260
	T2	300	280	280
	T3	320	300	300
氯盐环境	L1	320	300	300
	L2	340	320	320
	L3	360	340	340
化学侵蚀环境	H1	300	280	280
	H2	320	300	300
	H3	340	320	320
	H4	360	340	340
盐类结晶破坏环境	Y1	300	280	280
	Y2	320	300	300
	Y3	340	320	320
	Y4	360	340	340
冻融破坏环境	D1	300	280	280
	D2	320	300	300
	D3	340	320	320
	D4	360	340	340
磨蚀环境	M1	300	280	280
	M2	320	300	300
	M3	340	320	320
碳化环境下,素混凝土最大水胶比不应超过 0.60,最小胶凝材料用量不应低于 260 kg/m ³ ;氯盐环境下,素混凝土最大水胶比不应超过 0.55,最小胶凝材料用量不应低于 280 kg/m ³ 。				

7.2.3 不同环境下,矿物掺合料的掺量宜满足表 36 的要求。

表 36 不同环境下混凝土中矿物掺合料掺量范围

环境类别	矿物掺和料种类	水 胶 比	
		≤0.40	>0.40
碳化环境	粉煤灰	≤40%	≤30%
	磨细矿渣粉	≤50%	≤40%
氯盐环境	粉煤灰	30% ~ 50%	20% ~ 40%
	磨细矿渣粉	40% ~ 60%	30% ~ 50%
化学侵蚀环境	粉煤灰	30% ~ 50%	20% ~ 40%
	磨细矿渣粉	40% ~ 60%	30% ~ 50%
盐类结晶破坏环境	粉煤灰	≤40%	≤30%
	磨细矿渣粉	≤50%	≤40%

表 36(续)

环境类别	矿物掺和料种类	水 胶 比	
		≤0.40	>0.40
冻融破坏环境	粉煤灰	≤30%	≤20%
	磨细矿渣粉	≤40%	≤30%
磨蚀环境	粉煤灰	≤30%	≤20%
	磨细矿渣粉	≤40%	≤30%
对于预应力混凝土结构,混凝土中粉煤灰的掺量不宜超过30%。 严重氯盐环境与化学侵蚀环境下,混凝土中粉煤灰的掺量应大于30%,或磨细矿渣粉的掺量大于50%。 注1:本表中的掺量是指单掺一种矿物掺合料时的适宜范围。当采用多种矿物掺合料复掺时,不同矿物掺合料的掺量可参考本表,并经过试验确定。 注2:本表规定的矿物掺合料的掺量范围仅限于使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥的混凝土。			

7.2.4 不同环境下,混凝土的水胶比应满足表37的要求。

表 37 混凝土水胶比的最大值

环境类别	作用等级	100 年	60 年	30 年
碳化环境	T1	0.55	0.60	0.60
	T2	0.50	0.55	0.55
	T3	0.45	0.50	0.50
氯盐环境	L1	0.45	0.50	0.50
	L2	0.40	0.45	0.45
	L3	0.36	0.40	0.40
化学侵蚀环境	H1	0.50	0.55	0.55
	H2	0.45	0.50	0.50
	H3	0.40	0.45	0.45
	H4	0.36	0.40	0.40
盐类结晶破坏环境	Y1	0.50	0.55	0.55
	Y2	0.45	0.50	0.50
	Y3	0.40	0.45	0.45
	Y4	0.36	0.40	0.40
冻融破坏环境	D1	0.50	0.55	0.55
	D2	0.45	0.50	0.50
	D3	0.40	0.45	0.45
	D4	0.36	0.40	0.40
磨蚀环境	M1	0.50	0.55	0.55
	M2	0.45	0.50	0.50
	M3	0.40	0.45	0.45

7.2.5 混凝土的砂率应根据骨料的粒径和混凝土的水胶比确定,一般情况下宜满足表 38 的要求。

表 38 混凝土砂率的要求

骨料最大粒径 mm	水 胶 比			
	0.30	0.40	0.50	0.60
10	38% ~ 42%	40% ~ 44%	42% ~ 46%	46% ~ 50%
20	34% ~ 38%	36% ~ 40%	38% ~ 42%	42% ~ 46%
40	—	34% ~ 38%	36% ~ 40%	40% ~ 44%
砂的细度模数每增减 0.1,砂率相应增减 0.5% ~ 1.0%。 当使用卵石时,砂率可减少 2% ~ 4%。 当使用人工砂时,砂率可增加 2% ~ 4%。 注 1:砂率为质量比。 注 2:本表适用于采用碎石、细度模数为 2.6 ~ 3.0 的天然中砂拌制的坍落度为 80 mm ~ 120 mm 的混凝土。				

7.2.6 混凝土的浆体比应满足表 39 的要求。

表 39 不同等级混凝土最大浆体比

强度等级	浆体体积比
C30 ~ C50(不含 C50)	≤0.32
C50 ~ C60(含 C60)	≤0.35
C60 以上(不含 C60)	≤0.38
注:浆体比即混凝土中胶凝材料和水的体积之和与混凝土总体积的体积之比。	

7.3 设计方法

7.3.1 根据混凝土工作性、设计强度和耐久性指标要求,结合工程上所选水泥的性能、外加剂的性能以及 7.2 的规定,初步确定胶凝材料总用量、矿物掺合料的种类及掺量、外加剂的掺量、水胶比和砂率,并计算出单位体积混凝土的水泥用量、矿物掺合料用量、用水量以及外加剂的用量。

7.3.2 采用体积法按式(1)、式(2)和式(3)计算砂、石用量,确定基准配合比。

$$V_{s,g} = 1 - \left[\frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{p1}}{\rho_{p1}} + \frac{m_{p2}}{\rho_{p2}} + \frac{m_a}{\rho_a} + \alpha \right] \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $V_{s,g}$ ——每立方米混凝土中砂、石的绝对体积,单位为立方米(m^3);
- m_w ——每立方米混凝土用水量,单位为千克(kg);
- m_c ——每立方米混凝土水泥用量,单位为千克(kg);
- m_{p1} ——每立方米混凝土掺合料 1 用量,单位为千克(kg);
- m_{p2} ——每立方米混凝土掺合料 2 用量,单位为千克(kg);
- m_a ——每立方米混凝土外加剂用量,单位为千克(kg);
- α ——混凝土含气量,单位为立方米(m^3);
- ρ_w ——水的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- ρ_c ——水泥的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- ρ_{p1} ——掺合料 1 的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- ρ_{p2} ——掺合料 2 的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- ρ_a ——外加剂的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

$$m_s = V_{s,g} S_v \rho_s \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- m_s ——每立方米混凝土砂子用量,单位为千克(kg);
- S_v ——体积砂率;
- ρ_s ——砂子饱和面干的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

$$m_g = V_{s,g} (1 - S_v) \rho_g \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- m_g ——每立方米混凝土石子用量,单位为千克(kg);
- ρ_g ——石子饱和面干的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

7.3.3 核算单方混凝土的碱含量、氯离子含量和三氧化硫含量是否符合 7.1 的规定,核算浆体比是否符合表 39 的规定。否则,应重新选择原材料或调整基准配合比,直至满足要求为止。

7.3.4 按上述确定的配合比拌和混凝土,测试混凝土的坍落度(或增实因数)、泌水率、凝结时间和含气量等。若试验值与要求值存在差别,可适当调整砂率 and 外加剂用量,直至调配出拌和物性能、碱含量、氯离子含量和三氧化硫含量满足设计或本标准要求的混凝土。试拌时,每盘混凝土的最小搅拌量应在 20 L 以上,且不少于搅拌机容量的 1/3。

7.3.5 将上述确定的混凝土配合比的胶凝材料用量、矿物掺合料掺量、砂率和水胶比略作调整,重新按上述步骤计算并调整出 3 个满足设计要求或本标准要求的混凝土配合比。按表 40 规定的项目对这些混凝土的力学性能、耐久性能和长期性能进行检验。

表 40 混凝土配合比设计力学性能、耐久性能和长期性能检验项目

序 号	检 验 项 目	备 注
1	抗压强度	—
2	电通量	—
3	弹性模量	仅对预应力混凝土
4	抗冻等极	仅对处于冻融破坏环境的混凝土或对耐久性有特殊要求的混凝土
5	气泡间距系数	仅对冻融破坏、盐类结晶破坏环境的混凝土
6	氯离子扩散系数	仅对氯盐环境的混凝土
7	56 d 抗硫酸盐结晶破坏等级	仅对盐类结晶破坏环境的混凝土
8	胶凝材料抗蚀系数	仅对硫酸盐化学侵蚀环境的混凝土
9	抗渗等级	仅对隧道衬砌混凝土
10	收 缩	仅对无砟轨道底座板混凝土、双块式轨枕道床板混凝土、自密实混凝土和采用新材料、新工艺施工的预应力混凝土
11	徐 变	仅对采用新材料、新工艺施工的预应力混凝土

7.3.6 按照工作性能优良、强度和耐久性满足要求、经济合理的原则,从上述试验结果满足要求的配合比中选择合适的配合比作为试验室理论配合比。

7.3.7 采用工程实际使用的原材料和搅拌方式搅拌混凝土,测定混凝土的表观密度。根据实测混凝土拌和物的表观密度,求出校正系数,以便对试验室理论配合比进行校正(即以理论配合比中每项材料用量乘以校正系数),即得到混凝土的理论配合比。校正系数按式(4)计算:

校正系数 = 实测拌和物表观密度 / 试验室理论配合比拌和物表观密度
..... (4)

8 施 工

8.1 一般要求

8.1.1 混凝土应采用拌和站集中搅拌,混凝土制品应实行工厂化生产。

8.1.2 拌和站正式启用之前应进行拌和工艺试验和混凝土匀质性测试。

8.1.3 混凝土结构施工前宜通过混凝土的试浇筑,对混凝土的配合比、施工工艺、施工机具的适应性进行检验;对于重要的混凝土结构,应进行有代表性的模拟试浇筑试验,测定其内部温升和内外温差,发现问题及时调整。

8.1.4 当粗、细骨料的含泥量或泥块含量超过本标准规定时,应采用专用设备进行处理。

8.1.5 当混凝土施工经历不同季节时,应根据气候条件选定不同的配合比,并制定相应的施工技术措施。

8.2 配合比调整

8.2.1 混凝土施工前,应根据粗、细骨料的实际含水量与理论配合比的差值调整拌和物的用水量,确定混凝土的施工配合比。

8.2.2 混凝土施工过程中,当施工工艺及环境条件未发生明显变化,原材料的品质在合格的基础上发生波动时,可对混凝土减水剂和引气剂掺量、粗骨料分级比例、砂率进行适当调整,调整后的混凝土拌和物性能应与原配合比相同。

8.2.3 混凝土施工过程中,当原材料品质、施工工艺等发生较大变化时,应重新进行混凝土配合比选定试验。

8.3 质量控制要点

8.3.1 混凝土原材料储存应满足如下要求:

- a) 水泥、矿物掺合料在储运过程中应采取防潮措施,避免受潮。
- b) 散装水泥储存过程中,应采取降低水泥的温度或防止水泥升温的措施。
- c) 袋装水泥和矿物掺合料的仓库应设在地势较高处,周围应设排水沟。
- d) 外加剂应采用仓库储存,冬期应采取保温措施以防止外加剂受冻或出现低温结晶现象。
- e) 骨料的储料间应具有防晒、防水和防污染的功能。
- f) 不同原材料应有固定的堆放地点和明确的标识,标明材料名称、品种、生产厂家、生产日期和进场日期。原材料堆放时应有堆放分界标识、以免误用。
- g) 原材料进场后,应及时建立原材料管理台账,台账内容应包括材料的名称、生产日期、进货日期、品种、规格、数量、生产单位、供货单位、质量证明书编号、试验检验报告编号及检验结果等。原材料管理台账应填写正确、真实,项目齐全。

8.3.2 混凝土的搅拌应满足如下要求:

- a) 应采用强制式搅拌机搅拌,搅拌机的性能及维护应满足 GB/T 9142 的要求。
- b) 各种原材料计量设备的最大允许偏差应符合下列规定(按重量计):胶凝材料(水泥、矿物掺和料等) $\pm 1\%$;外加剂 $\pm 1\%$;粗、细骨料 $\pm 2\%$;拌和用水 $\pm 1\%$ 。
- c) 搅拌时的投料顺序宜为:先投入骨料、水泥和矿物掺合料,搅拌均匀后,加水和液体外加剂(粉体外加剂应与矿物掺合料同时加入),直至搅拌均匀为止。水泥的人机温度不应高于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- d) 搅拌时间应以自全部材料装入搅拌机开始搅拌至搅拌结束开始卸料所用时间计,混凝土连续搅拌时间应根据配合比和搅拌设备情况通过试验确定,但最短搅拌时间不宜少于 2 min 。混凝土的匀质性应符合 5.2.6 的规定。

8.3.3 混凝土的运输应满足如下要求:

- a) 运输设备的运输能力应适应混凝土凝结时间和浇筑速度的需要,保证浇筑过程连续进行。
- b) 运输设备应具备防止混凝土发生离析、漏浆、泌水以及防晒及防冻等功能。

8.3.4 混凝土的浇筑应满足如下要求：

- a) 浇筑宜连续进行,尽量避免出现间歇和留置施工缝。
- b) 混凝土的入模温度不宜超过 30℃。冬期施工时,混凝土的入模温度不宜低于 5℃,且应对混凝土采取适当的保温养护措施。
- c) 冬季施工时,与混凝土接触的介质温度不宜低于 2℃;夏季施工时,与混凝土接触的介质温度不宜超过 40℃。
- d) 新浇混凝土入模温度与邻接的已硬化混凝土或岩土、钢筋、模板等介质间的温差不应大于 15℃。

8.3.5 混凝土的振捣应满足如下要求：

- a) 振捣设备的类型、振捣频率和振捣强度应与混凝土的结构类型和工作性能相适应。
- b) 振捣时间和振捣半径应以混凝土振捣密实为原则确定,避免过振或漏振。

8.3.6 混凝土的养护应满足如下要求：

- a) 养护应及时进行,一般情况下,混凝土浇筑完毕后 1 h 内应对新浇筑混凝土进行覆盖或喷雾等保温保湿养护。
- b) 养护期间,混凝土芯部温度与表面温度、表面温度与环境温度之差均不应大于 20℃(梁体混凝土、轨道板混凝土和轨枕混凝土不应大于 15℃)。混凝土表面温度与养护水温度之差不应大于 15℃。混凝土芯部温度不宜超过 60℃,个别点最大不应超过 65℃(轨枕和轨道板的芯部温度不宜大于 55℃)。
- c) 自然养护时,混凝土浇筑完毕后的保温保湿养护时间应满足表 41 的要求。

表 41 混凝土保温保湿养护最短时间

水胶比	大气潮湿(RH≥50%), 无风,无阳光直射		大气干燥(20%≤RH<50%), 有风,或阳光直射		大气极端干燥(RH<20%), 大风,大温差	
	日平均气温 T ℃	养护时间 d	日平均气温 T ℃	养护时间 d	日平均气温 T ℃	养护时间 d
>0.45	5≤T<10	21	5≤T<10	28	5≤T<10	56
	10≤T<20	14	10≤T<20	21	10≤T<20	45
	T≥20	10	T≥20	14	T≥20	35
≤0.45	5≤T<10	14	5≤T<10	21	5≤T<10	45
	10≤T<20	10	10≤T<20	14	10≤T<20	35
	T≥20	7	T≥20	10	T≥20	28

- d) 蒸汽养护时,混凝土应有适当的静停养护时间,静停环境温度不应低于 5℃,静停时间不宜小于 4 h,蒸汽的升、降温速度不宜大于 10℃/h。预制梁脱模后的保温保湿养护时间不少于 14 d。其他预制构件(轨道板、轨枕、接触网支柱和管桩)脱模后的保湿保湿养护时间不少于 10 d。
- e) 当环境最低温度低于 0℃时,不应混凝土表面进行洒水养护。

8.3.7 混凝土的拆模应满足如下要求：

- a) 混凝土拆模时,混凝土应具有足够的强度以确保其表面和棱角不受损伤或塌陷。当拆除承重模板时,混凝土的强度应满足设计要求;当拆除非承重模板时,混凝土的强度不应低于 5 MPa。
- b) 混凝土拆模时,混凝土结构的芯部与表面、表面与环境之间的温差均不应大于 20℃;轨枕、轨道板、梁体芯部混凝土与表面混凝土之间、表面混凝土与环境之间以及箱梁腹板内外侧混凝土

土之间的温差均不应大于 15 ℃。

- c) 混凝土拆模后,混凝土的强度未达到设计强度 75% 时,不应与直接流动的水接触。
- d) 混凝土拆模后,混凝土的强度未达到设计强度且养护时间不足 6 周时,不应与海水或盐渍土直接接触。

9 检 验

9.1 一般要求

- 9.1.1 混凝土的质量检验分施工前检验、施工过程检验、施工后检验。
- 9.1.2 混凝土施工前检验项目应全部合格后方可施工;施工过程检验项目出现不合格时,应分析原因,及时调整,待合格后方可继续施工;施工后检验项目应和施工前、施工过程检验项目共同作为质量评定和验收的依据。
- 9.1.3 对用于施工过程控制或质量检验的混凝土强度和耐久性抽检试件,应从同一盘混凝土或同一车运送的混凝土中取出。

9.2 施工前检验

- 9.2.1 混凝土施工前,应按 5.1 的要求对混凝土用水泥、骨料、矿物掺合料、外加剂、水等主要原材料的全部性能进行检验,检验结果应满足相关要求。
- 9.2.2 混凝土施工前,应按 5.2 ~ 5.5 的要求对混凝土拌和物性能、力学性能、耐久性能以及长期性能进行检验,检验结果应满足相关要求。

9.3 施工过程检验

- 9.3.1 混凝土施工过程中,应按表 42 的要求对混凝土用水泥、骨料、外加剂、矿物掺合料、拌和水等主要原材料的品质进行日常检验和复检,检验结果应满足本标准的相关要求。

表 42 混凝土原材料性能施工过程检验要求

检 验 项 目		日 常 检 验		复 检	
		项 目	频 次	项 目	频 次
水 泥	烧失量		(1)同厂家、同出厂编号、同出厂日期且连续进场的散装水泥每 500 t(袋装水泥每 200 t)为一批,不足上述数量时也按一批计 (2)出厂日期达 3 个月	√	使用同厂家、同品种、同规格的水泥达 6 个月
	氧化镁含量			√	
	三氧化硫含量			√	
	凝结时间	√		√	
	安定性	√		√	
	强 度	√		√	
	碱含量			√	
	比表面积	√		√	
	氯离子含量			√	
细 骨 料	筛 分	√	连续进场的同料源、同品种、同规格的细骨料每 400 m ³ (或 600 t)为一批,不足上述数量时也按一批计	√	连续使用同料源、同品种、同规格的细骨料达一年
	吸水率			√	
	细度模数	√		√	
	含泥量	√		√	
	泥块含量	√		√	
	坚固性			√	

表 42(续)

检 验 项 目		日 常 检 验		复 检	
		项 目	频 次	项 目	频 次
细 骨 料	云母含量	✓	连续进场的同料源、同品种、同规格的细骨料每400 m ³ (或600 t)为一批,不足上述数量时也按一批计	✓	连续使用同料源、同品种、同规格的细骨料达一年
	轻物质含量	✓		✓	
	石粉含量(人工砂)	✓		✓	
	有机物含量	✓		✓	
	压碎指标值(人工砂)	✓		✓	
	硫化物及硫酸盐含量			✓	
	氯离子含量			✓	
	碱活性			✓	
粗 骨 料	颗粒级配	✓	连续进场的同料源、同品种、同规格的粗骨料每400 m ³ (或600 t)为一批,不足上述数量时也按一批计	✓	连续使用同料源、同品种、同规格的粗骨料达一年
	岩石抗压强度			✓	
	吸水率			✓	
	紧密空隙率	✓		✓	
	压碎指标值	✓		✓	
	坚固性			✓	
	针片状颗粒含量	✓		✓	
	含泥量	✓		✓	
	泥块含量	✓		✓	
	氯离子含量			✓	
	硫化物及硫酸盐含量			✓	
	有机物含量(卵石)			✓	
	碱活性			✓	
水	pH 值	✓	同一水源的涨水季节检验一次	✓	同一水源的水使用达一年
	不溶物含量	✓		✓	
	可溶物含量	✓		✓	
	氯化物含量	✓		✓	
	硫酸盐含量	✓		✓	
	碱含量	✓		✓	
	凝结时间差			✓	
	抗压强度比			✓	

表 42(续)

检 验 项 目		日 常 检 验		复 检	
		项 目	频 次	项 目	频 次
聚 羧 酸 系 高 性 能 减 水 剂	减水率	✓	同厂家、同编号、同出厂日期的产品每 50 t 为一批,不足 50 t 时也按一批计	✓	使用同厂家、同品种的产品达 6 个月及出厂日期达 6 个月
	含气量	✓		✓	
	常压泌水率比	✓		✓	
	压力泌水率比(用于配制泵送混凝土时)	✓		✓	
	抗压强度比	✓		✓	
	坍落度 1 h 经时变化量(用于配制泵送混凝土时)			✓	
	凝结时间差			✓	
	甲醛含量(按折固含量计)			✓	
	硫酸钠含量(按折固含量计)			✓	
	氯离子含量(按折固含量计)			✓	
	碱含量(按折固含量计)			✓	
	收缩率比			✓	
高 效 减 水 剂	减水率	✓	同上	✓	同上
	含气量	✓		✓	
	常压泌水率比	✓		✓	
	压力泌水率比(用于配制泵送混凝土时)	✓		✓	
	抗压强度比	✓		✓	
	坍落度 1 h 经时变化量(用于配制泵送混凝土时)			✓	
	凝结时间差			✓	
	硫酸钠含量(按折固含量计)			✓	
	氯离子含量(按折固含量计)			✓	
	碱含量(按折固含量计)			✓	
	收缩率比			✓	
引 气 剂	减水率	✓	同厂家、同编号、同出厂日期的产品每 5 t 为一批,不足 5 t 时也按一批计	✓	同上
	含气量	✓		✓	
	常压泌水率比	✓		✓	
	1 h 含气量经时变化	✓		✓	
	抗压强度比	✓		✓	
	凝结时间差			✓	
	收缩率比			✓	
	相对耐久性指数,200 次			✓	
	新拌混凝土与硬化混凝土含气量之差			✓	

表 42(续)

检 验 项 目		日 常 检 验		复 检	
		项 目	频 次	项 目	频 次
粉 煤 灰	细 度	√	(1)同厂家、同编号、同出厂日期的产品每 200 t 为一批,不足 200 t 时也按一批计 (2)出厂日期达 3 个月	√	使用同厂家、同规格的产品达 6 个月
	烧失量	√		√	
	含水量			√	
	需水量比	√		√	
	三氧化硫含量			√	
	碱含量			√	
	氯离子含量			√	
	氧化钙含量			√	
	游离氧化钙含量	√		√	
	安定性	√		√	
磨 细 矿 渣 粉	密 度	√	同上	√	同上
	比表面积	√		√	
	烧失量	√		√	
	氧化镁含量			√	
	三氧化硫含量			√	
	氯离子含量			√	
	含水量			√	
	流动度比	√		√	
	碱含量			√	
	活性指数			√	
硅 灰	烧失量	√	(1)同厂家、同编号、同出厂日期的产品每 30 t 为一批,不足 30 t 时也按一批计 (2)出厂日期达 3 个月	√	同上
	氯离子含量			√	
	SiO ₂ 含量			√	
	比表面积	√		√	
	需水量比	√		√	
	含水量			√	
	活性指数	√		√	

9.3.2 混凝土施工过程中,应按表 43 的要求对混凝土拌和物性能进行检验,检验结果应满足设计、施工以及经批准的施工配合比的要求。

表 43 混凝土拌和物性能施工过程检验要求

检 验 项 目	频 次
坍实因数(干硬性混凝土)	每拌制 50 m ³ 混凝土或每工作班至少取样检验 1 次
坍落度	
含气量	
入模温度	每工作班至少测试 3 次
泌水率	每班至少取样检验 1 次
匀质性	搅拌站首次使用时取样检验 1 次 使用周期达一年时取样检验 1 次

9.3.3 混凝土施工过程中,应根据设计、施工和相关专业标准要求,对混凝土的力学性能进行检验,检验结果应满足设计和施工要求。

9.3.4 混凝土施工过程中,应按表 44 的要求对混凝土的耐久性能进行检验,检验结果应满足设计的要求;当设计无要求时,应满足 5.5 的要求。

表 44 混凝土耐久性能检验要求

检 验 项 目	频 次
电通量	同标段、同施工工艺、同配合比混凝土至少取样检验一次 每 20 000 m ³ 混凝土至少取样检验一次
56 d 抗冻等级(冻融破坏环境)	
56 d 氯离子扩散系数(氯盐环境)	
56 d 抗硫酸盐结晶破坏等级(盐类结晶破坏环境)	

9.3.5 混凝土施工过程中,混凝土的主要原材料,如水泥、外加剂、矿物掺合料等发生变化时,应重新进行混凝土配合比选定试验。

9.4 施工后检验

9.4.1 混凝土施工后,应按表 45 的要求对实体混凝土结构表面是否存在非外力裂缝和实体结构表层混凝土的渗透性能进行检验,检验结果应满足设计要求。当设计无要求时,应满足 5.6 的要求。

表 45 实体混凝土质量抽检要求

检 验 项 目	频 次
表面裂缝宽度	每一构件不少于 20 个点 混凝土用量小于 1.0 m ³ 的构件随机抽取 5% 进行检测,单个构件不少于 5 个点
表层混凝土的渗透性能	当对实体结构混凝土质量有疑义时

附录 A (规范性附录)

水泥或胶凝材料抗硫酸盐侵蚀性能快速检测方法

A.1 本方法适用于快速评定水泥或胶凝材料抗硫酸盐侵蚀的性能。

A.2 本方法是通过测定浸泡在硫酸钠溶液中的水泥或胶凝材料的胶砂试体的抗折强度及浸泡在洁净饮用水中同龄期试体的抗折强度,计算抗蚀系数,以比较水泥或胶凝材料抗硫酸盐侵蚀的性能。

A.3 试验设备及材料应符合下列规定:

- a) 加压成型机:小型千斤顶压力机,最大荷重应在 15 kN 以上。
- b) 抗折机:小型电动抗折机,加荷速度 0.78 N/s。
- c) 模型:能成型尺寸为:10 mm × 10 mm × 60 mm 的胶砂试体的不锈钢制试模。
- d) 球形拌和锅:直径 200 mm,高 70 mm,厚度 1 mm ~ 2 mm。
- e) 标准砂:应符合 GB 178 的规定。
- f) 拌和水:蒸馏水。
- g) 养护水:饮用水。

A.4 实验室、原材料、养护箱、养护水和侵蚀液的温度和湿度应符合下列规定:

- a) 实验室温度为 17 ℃ ~ 25 ℃,相对湿度大于 50%,所用试验原材料温度应与试验室温度相同。
- b) 养护箱温度为 20 ℃ ± 3 ℃,相对湿度大于 90%。
- c) 浸泡前养护水的温度为 50 ℃ ± 1 ℃。
- d) 浸泡水和浸泡液温度为 20 ℃ ± 3 ℃。

A.5 试验应按下列步骤进行:

- a) 试体成型:称取水泥或胶凝材料共 100 g(工程水泥和矿物掺合料用量应按照配合比进行计算),标准砂 250 g,加入球形拌和锅拌和均匀后,再加入 50 g 蒸馏水,湿拌 3 min 结束。将拌好的胶砂分别装入试模内。将带有模芯、模套的试模放到小型千斤顶压力机上加压到 7.8 MPa 压力下保持 5 s,然后取出试模,刮平,编号,放入养护箱养护 24 h ± 2 h,脱模。
- b) 试体的养护:将脱模后的试体放入 50 ℃ 水中养护 7 d。
- c) 试体的浸泡:将试体分成两组,一组 9 块放入 20 ℃ 饮用水中养护,一组 9 块放入 3% 的 Na₂SO₄ 浸泡液中浸泡。试体在浸泡过程中,每天一次用 0.5 mol/L H₂SO₄ 溶液滴定以中和试体在溶液中释放出的 Ca(OH)₂,边滴定边搅拌,以保持溶液的 pH 值在 7.0 左右。

试体在 Na₂SO₄ 溶液中浸泡时,每条试体需对应有 200 mL 的浸泡液,液面至少高出试体顶面 10 mm。为避免蒸发,容器应加盖。

- d) 试体破型:试体在浸泡液中浸泡 56 d,以及在饮用水中养护 56 d 后,取出并用小型抗折机进行抗折试验。其中,试体支点跨距为 50 mm,支撑圆柱直径 5 mm,加荷速度控制在 0.78 N/s。

破型前,应擦去试体表面的水和砂粒,清除支点圆柱表面黏着的杂物。试体放入抗折支点上时,应使侧面与圆柱接触。

A.6 试验结果计算与处理应符合下列规定:

- a) 试体的极限抗折强度(MPa)系由破坏荷载乘以 0.075 得到,抗折强度计算到 0.01 MPa。
- b) 剔去 9 块试体抗折强度的最大值和最小值,以其余 7 个试体抗折强度的平均值作为该组试体的抗折强度。
- c) 抗蚀系数以同龄期胶砂试体分别在浸泡液中浸泡 56 d 和在饮用水中养护 56 d 后的抗折强度

之比表示,计算精确到 0.01。

A.7 抗蚀系数大于 0.80 时,判定水泥或胶凝材料胶砂抗硫酸盐侵蚀性能合格。

附 录 B
(规范性附录)

矿物掺合料及外加剂抑制碱—骨料反应有效性检测方法

- B.1** 本方法适用于评定矿物掺合料和外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应的有效性。
- B.2** 本方法是将具有碱—硅酸反应活性的骨料与硅酸盐水泥、工程实际使用的矿物掺合料或外加剂制成砂浆试件,在 80 ℃、1 mol/L NaOH 溶液中养护 28 d。若砂浆试件的长度膨胀率不大于 0.10%,则评定该矿物掺合料或外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应有效。
- B.3** 试验设备及材料应符合下列规定:
- a) 比长仪:量程 275 mm~300 mm,精度 0.01 mm。
 - b) 模型:试体尺寸为 25 mm×25 mm×280 mm,试模由不锈钢材制成。
 - c) 恒温水浴或烘箱:温度为 80 ℃±2 ℃。
 - d) 硅酸盐水泥:42.5 级 P·I 型硅酸盐水泥,碱含量为 0.80%。当试验水泥的碱含量小于 0.80% 时,应通过外加 NaOH(分析纯)的方式使水泥的碱含量达到 0.80%。
- B.4** 实验室温度和湿度应符合下列规定:
实验室温度为 20 ℃±2 ℃(特别说明的除外),相对湿度大于 50%。
- B.5** 试验应按照下列步骤进行:
- a) 试样的制备:对粗骨料,应将试样全部破碎至 5 mm 以下;对细骨料,应先将大于 5 mm 的部分试样破碎至 5 mm 以下,然后与小于 5 mm 的部分试样混合。
 - b) 筛分:将制得的试样按表 B.5 的分级要求进行筛分,然后按级洗净,并在 105 ℃下烘干备用。
 - c) 称料:将烘干的试样连同水泥、矿物掺合料和外加剂等置于 20 ℃±2 ℃环境中存放 24 h 后,按骨灰比为 2.25:1 的比例进行称料(一组三个试件应称取试样 900 g,水泥、矿物掺合料和外加剂共计 400 g),其中矿物掺合料与外加剂的用量应参照工程配合比进行计算,试样的各级用量应按表 B.1 进行称取,用水量应以 10 次/6 s 时砂浆流动度为 105 mm~120 mm 为准试验确定。

表 B.1 试样级配表

筛孔尺寸 mm	5.0~2.5	2.5~1.25	1.25~0.63	0.63~0.315	0.315~0.16
分级质量 %	10	25	25	25	15
分级质量 g	90	225	225	225	135

- d) 搅拌:按 GB/T 17671 规定的程序搅拌砂浆。
- e) 成型:将砂浆分两层装入试模内,用小刀来回划匀胶砂(装入第二层砂浆时,划入深度应透过第一层砂浆的表面),然后用捣棒在试模内顺序往返各捣压 20 次。捣压完毕,将试件表面抹平、编号并标明测定方向。
每组试件按上述方法制作 3 条试件。
当工程中仅是粗骨料具有碱—硅酸反应活性时,只取粗骨料按上述要求成型一组试件;当工程中仅是细骨料具有碱—硅酸反应活性时,只取细骨料按上述要求成型一组试件;当工程用粗、细骨料均具有碱—硅酸反应活性时,应分别取粗、细骨料按上述要求成型二组试件。
- f) 静停:试件成型后,应将试件连同试模一起放入标准养护室养护 24 h±2 h。

- g) 预养护:静停结束后,将试件拆模,并迅速将试件放入 80 ℃ 的水中预养 24 h ± 2 h。
- h) 养护与测长:测量经过预养护试件的初长,并迅速将试件放入 80 ℃、1mol 的 NaOH 养护液中进行养护(养护容器中试件养护液的体积与试件的体积比应为 4:1)。分别在 3 d、7 d、14 d、21 d、28 d 龄期时测量试件的长度。测量试件长度的过程(从养护液中取出起计)应控制在 15 s 以内。每次测量时,应仔细观察试件表面的变化情况,包括变形、裂缝、表面沉积物或渗出物等。

B.6 试验结果计算与处理如下:

- a) 试件长度膨胀率按式(B.1)计算:

$$\varepsilon_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2\Delta} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

ε_t ——试件在第 t 天龄期时的长度膨胀率,用百分数表示(%),精确至 0.01%;

L_t ——试件在第 t 天龄期时的长度,单位为毫米(mm);

L_0 ——试件的初长,单位为毫米(mm);

Δ ——测头的长度,单位为毫米(mm)。

- b) 当单个试件的长度膨胀率与同组 3 个试件长度膨胀率的算术平均值之差符合下述两种情况之一的要求时,取 3 个试件长度膨胀率的算术平均值作为试件长度膨胀率。

- 1) 当 3 个试件长度膨胀率的平均值小于或等于 0.05% 时,单个试件长度膨胀率与平均值之差的绝对值均小于 0.01%;
- 2) 当平均值大于 0.05% 时,单个试件长度膨胀率与平均值之差均小于平均值的 20%。

- c) 当单个试件的长度膨胀率与 3 个试件长度膨胀率的算术平均值之差不符合上述要求时,去掉 3 个试件中的最小值,取剩余 2 个试件长度膨胀率的算术平均值作为该组试件的长度膨胀率。

B.7 试验结果按下列要求评定:

- a) 若工程中仅是粗骨料具有碱—硅酸反应活性,且取该粗骨料按本方法测定的 28 d 龄期试件长度膨胀率小于 0.10%,则将矿物掺合料或外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应评定为有效。
- b) 若工程中仅是细骨料具有碱—硅酸反应活性,且取该细骨料按本方法测定的 28 d 龄期试件长度膨胀率小于 0.10%,则将矿物掺合料或外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应评定为有效。
- c) 若工程中粗、细骨料均具有碱—硅酸反应活性时,且分别取粗、细骨料按本方法测定的 28 d 龄期试件长度膨胀率均小于 0.10%,则将矿物掺合料或外加剂抑制混凝土碱—硅酸反应评定为有效。

附 录 C
(规范性附录)

粗骨料 Cl^- 含量试验方法

C.1 仪器设备如下:

- 天平:称量 2 kg,感量 2 g;称量 100 g,感量 0.01 g;
- 带塞磨口瓶:1 000 mL;
- 烧杯:1 000 mL;
- 三角瓶:300 mL;
- 移液管:50 mL;2 mL;
- 滴定管:10 mL,或 25 mL;
- 容量瓶:500 mL。

C.2 试剂如下:

- 5% 铬酸钾指示剂溶液;
- 0.01 mol/L 氯化钠标准溶液;
- 0.01 mol/L 硝酸银标准溶液。

以上三种溶液配制及标定方法按 GB 601、GB 602 的规定进行。

C.3 试验步骤如下:

- a) 将试样四分法缩分至约 1 500 g 的样品后,放在 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至恒量,冷却至室温,用天平准确称取 500 g,共两份,分别装入容量 1 000 mL 的带塞磨口瓶中,加入 500 mL 蒸馏水,加上盖子,摇动一次后,放置 24 h,然后每隔 5 min 摇动一次,共摇动 3 次,便于氯盐充分溢出。将磨口瓶上部已澄清的溶液用滤纸经漏斗流入到 1 000 mL 烧杯中,然后用移液管吸取 50 mL 滤液,注入到三角瓶中。向三角瓶中加入 5% 铬酸钾指示剂 1 mL,再用 0.01 mol/L 硝酸银标准溶液滴定至呈现砖红色为终点。记录消耗的硝酸银标准溶液的毫升数(A)。
- b) 空白试验:用移液管准确吸取 50 mL 蒸馏水到三角瓶内,加入 5% 铬酸钾指示剂 1 mL,并用 0.01 mol/L 硝酸银标准溶液滴定至溶液呈现砖红色为止,记录此点消耗的硝酸银标准溶液的毫升数(B)。

C.4 结果计算与评定方法如下:

Cl^- 含量(以 NaCl)按式(C.1)计算,准确至 0.01%:

$$Q_4 = \frac{N(A - B) \times 0.058\ 5 \times 10}{G_9} \times 100 \quad \dots\dots\dots(\text{C.1})$$

式中:

- Q_4 ——氯化物含量,用百分数表示(%);
- N ——硝酸银标准溶液的浓度,单位为摩尔每升(mol/L);
- A ——样品滴定时消耗的硝酸银标准溶液的体积,单位为毫升(mL);
- B ——空白试验时消耗的硝酸银标准溶液的体积,单位为毫升(mL);
- G_9 ——试样质量,单位为克(g);

0.058 5——换算成 NaCl 系数;

10——全部试样溶液与所分取试样溶液的体积比。

取两次试验测定值的算术平均值作为试验结果。若两次试验测定值相差大于 0.01%,应重新试验。

附录 D
(规范性附录)

硬化混凝土气泡间距系数检测方法(直线导线法)

- D.1 本方法适用于检验混凝土的气泡参数,也适用于对引气剂品质进行评定。
- D.2 本方法是在硬化混凝土中取任意直线,某一组分在此直线上所截取的线段长度总和与此直线全长的比值,即为该组分在混凝土中的体积含量。通过测定硬化混凝土中气泡的数量、体积含量,计算混凝土的气泡比表面积、含气量和气泡间距系数等。
- D.3 试验设备如下:
- a) 测量显微镜:具有目镜测微尺和物镜测微尺,放大倍数为 80 倍~128 倍。目镜测微尺最小读数为 10 μm 。载物台能纵、横向移动,移动范围分别不小于 50 mm 和 100 mm。
 - b) 显微镜照明灯:聚光型灯。
 - c) 切片机、磨片机、抛光机。
- D.4 试验数量应符合下列规定:
- 每组至少 3 个试件。每组试件的观测总面积和导线总长度应符合表 D.1 的规定。

表 D.1 最小观测总面积及最小导线总长度

骨料最大粒径 mm	最小观测总面积 mm^2	最小导线长度 mm
80	50 000	3 000
40	17 000	2 600
30	11 000	2 500
20	7 000	2 300
10	6 000	1 900

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。

- D.5 试验应按下列步骤进行:
- a) 从硬化混凝土试件上沿垂直于浇筑面方向锯下试样后,洗刷干净,分别采用 400 号和 800 号金刚砂将试样观测面仔细研磨。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,并再次洗刷干净后,在 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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时,若观测到表面除了气泡截面和骨料孔隙外,视域基本平整,气泡边缘清晰,并能测出尺寸为 10 μm 的气泡截面,即可认为该观测截面已加工合格。
 - b) 正式观测前,用物镜测微尺校准目镜测微尺刻度,并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面范围内。调整观测面的位置,使十字丝的横线与导线重合,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对第二、三、四条……导线进行观测,直至测完规定的导线长度。

D.6 试验结果计算与处理如下:

根据直线导线法观测的数据,按式(D.1)~式(D.8)计算各参数,计算结果取3位有效数字。

a) 气泡平均弦长按式(D.1)计算:

$$\bar{l} = \frac{\sum l}{N} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$\bar{l}$ ——气泡平均弦长,单位为厘米(cm);

$\sum l$ ——全导线所切割气泡弦长总和,单位为厘米(cm);

N ——全导线所切割的气泡总个数。

b) 气泡比表面积按式(D.2)计算:

$$a = \frac{4}{\bar{l}} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

a ——气泡比表面积,单位为平方厘米每立方厘米(cm^2/cm^3)。

c) 气泡平均半径按式(D.3)计算:

$$r = \frac{3}{4} \bar{l} \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

r ——气泡平均半径,单位为厘米(cm)。

d) 硬化混凝土中的空气含量按式(D.4)计算:

$$A = \frac{\sum l}{T} \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

A ——硬化混凝土中的空气含量(体积比);

T ——全导线总长,单位为厘米(cm)。

e) 1 000 mm^3 混凝土气泡个数按式(D.5)计算:

$$n_v = \frac{3A}{4\pi r^3} \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

n_v ——1 cm^3 混凝土中的气泡个数。

f) 每1 cm 导线切割的气泡个数按式(D.6)计算:

$$n_l = \frac{N}{T} \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

式中:

n_l ——平均每1 cm 导线切割的气泡个数。

g) 气泡间距系数按式(D.7)、式(D.8)计算:

当混凝土中浆气比 P/A 大于4.33时:

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

式中：

P ——混凝土中水泥净浆含量(体积比,不包含空气含量)；

$\bar{L}$ ——气泡间距系数,单位为厘米(cm)。

当混凝土中浆气比 P/A 小于 4.33 时：

$$\bar{L} = \frac{P}{4n_1} \dots\dots\dots (D.8)$$

附录 E
(规范性附录)

混凝土压力泌水率比试验方法

E.1 适用范围

本方法适用于检测泵送混凝土的压力泌水率及压力泌水率比。

E.2 仪 器

压力泌水仪主要由压力表、活节螺栓、筛网等部件构成,见图 E.1。其活塞的工作压强为 3.0 MPa,工作活塞公称直径为 125 mm,混凝土容积为 1.66 L,筛网孔径为 0.335 mm。

E.3 试验步骤

将混凝土拌和物装入试筒内,用捣棒由外围向中心均匀插捣 25 次,将仪器按规定安装完毕。尽快给混凝土加压至 3.0 MPa,立即打开泌水管阀门,同时开始计时,并保持恒压,泌出的水接入量筒内。加压 10 s 后读取泌水量 V_{10} ,加压 140 s 后读取泌水量 V_{140} 。

E.4 结果计算与评定

E.4.1 压力泌水率按式(E.1)计算:

$$B_p = \frac{V_{10}}{V_{140}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- B_p ——压力泌水率,用百分数表示(%);
- V_{10} ——加压 10 s 时的泌水量,单位为毫升(mL);
- V_{140} ——加压 140 s 时的泌水量,单位为(mL)。

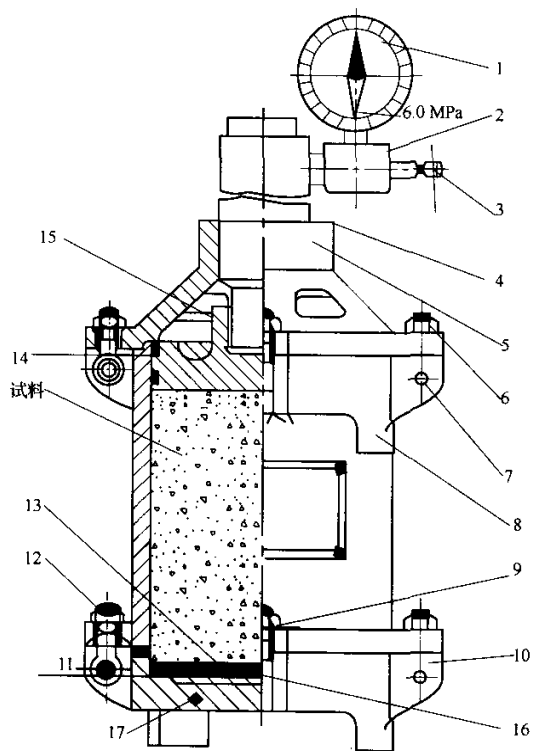
结果以三次试验的平均值表示,精确至 0.1%。

E.4.2 压力泌水率比按式(E.2)计算,精确到 1%:

$$R_b = \frac{B_{PA}}{B_{PO}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

- R_b ——压力泌水率比,百分数表示(%);
- B_{PO} ——基准混凝土压力泌水率,百分数表示(%);
- B_{PA} ——受检混凝土压力泌水率,百分数表示(%)。



- 1——压力表；
- 2——液压三通；
- 3——（接手动油泵）快速接头；
- 4——千斤顶；
- 5——上盖；
- 6——活节螺栓；
- 7——螺栓销钉；
- 8——缸体；
- 9——活节螺栓；
- 10——底座；
- 11——筛板；
- 12——O形密封圈；
- 13——筛板；
- 14——活塞密封圈；
- 15——活塞；
- 16——孔径为 0.335 mm 筛网；
- 17——泌水管阀门（M10 × 1 t 水阀孔，接 DP-5 型放水阀）。

图 E. 1 混凝土压力泌水仪

附录 F
(规范性附录)

混凝土表面渗透性试验方法

F.1 本方法适用于检测实体结构表层混凝土抵抗氯离子和其他侵蚀性离子向内渗透的能力。

F.2 仪器设备如下：

- a) 离子渗透性试验装置：应具备电子控制系统、阴极室（容积为 425 mL）、阳极室（容积为 650 mL）、温度传感器、电导率传感器和止动环等；
- b) 固定装置的配件：3 个 M6 的螺钉；
- c) 电源：220 V 交流电，当无交流电时；可采用 12 V 蓄电池，但需要逆变器等升压装置。

F.3 试剂如下：

- a) 蒸馏水或去离子水；
- b) 0.55 mol/L 氯化钠溶液，溶液的配制及标定方法按 GB 601 和 GB 602 规定进行，密封保存在温度为 20℃～25℃的环境中。

F.4 试验步骤如下：

- a) 工作表面的选择：应选择表面平整的混凝土水平表面或立面作为工作面。
- b) 钻孔：将离子渗透性试验装置贴紧混凝土表面，用记号笔画出钻孔的位置，用电钻进行钻孔，若为钢筋混凝土结构，钻孔时应尽量避开结构内钢筋，钻孔的深度根据固定螺钉的长度而定。
- c) 饱水：将离子渗透性试验装置固定在混凝土结构表面上，依次拧紧 3 个方位的固定螺钉，利用虹吸原理用导管向内、外室注入蒸馏水或去离子水，观察有无漏水现象。若出现漏水，应加紧相应位置的螺钉（不宜过分用力以免损坏装置）至不漏水为止。当采取上述措施仍无法解决渗透时，说明工作面不平，应更换工作面重新试验。为了减小漏水的可能性，必要时可在密封圈上涂一层黄油。对于一般混凝土，饱水处理的时间为 16 h 以上；对于渗透性低的混凝土，饱水处理的时间应适当延长，一般宜为 20 h～24 h。
- d) 排水与加入氯化钠溶液：饱水完成后，将内、外室的水排尽，向外室注入蒸馏水或去离子水，向内室注入 0.55 mol/L 的氯化钠溶液，均以注满为止。
- e) 试验参数设置：正确连接电源线，将控制器的电压旋钮调至 60 V，打开电源，设置日期和采样时间间隔，开始进行试验。
- f) 电迁移试验：试验开始后，应注意控制器显示屏上电流的前 10 次读数，并根据初始电流的平均值和表 F.1 的要求改变所施加的电压。当离子达到稳态扩散后便可终止试验，试验时间一般为 6 h～10 h。

表 F.1 根据初始电流选择测试电压

初始电流平均值 mA	测试电压 V
< 100	60
100～200	30
> 200	15

- g) 卸下试验装置，用蒸馏水清洗内、外室，必要时应使用稀盐酸对阳极进行除锈处理。

F.5 试验结果计算方法如下：

a) 浓度变化率:

将稳态扩散后外室溶液的电导率对施加工作电压的时间进行作图,求出电导率随时间的变化率, d_s/d_t ,稳态后外室中氯离子的浓度变化率按式(F.1)计算:

$$d_c/d_t = K \times d_s/d_t \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

d_c/d_t ——在阳极电解液中的浓度变化率,单位为摩尔每立方米秒 $\text{mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$;

d_s/d_t ——电导率随时间的变化率,单位为西门子每米秒 $\text{S}/(\text{m} \cdot \text{s})$;

K 值为经验常数,与所用仪器的电导率传感器有关。若无相关记录,应对 K 值进行预先测定,即从试验达到稳态后每隔一定时间 t_0 (如 15 min) 至少 3 次从外室各取出 5 mL 左右的溶液,测试试样中氯离子浓度 c_1, c_2, c_3 (mol/m^3),同时记录外室溶液的电导率 S_1, S_2, S_3 ,采用线性回归法分别计算出 d_c/d_t 和 d_s/d_t ,代入式(F.1)即可求出 K 值。

b) 混凝土表面氯离子扩散系数 D_{mig} 按式(F.2)计算:

$$D_{\text{mig}} = - \left(\frac{d_c}{d_t} T \right) \left(\frac{R}{ZCFE} \right) \left(V \frac{L}{A} \right) \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

D_{mig} ——氯离子迁移系数,单位为平方米每秒 (m^2/s);

T ——稳态后外室溶液的平均温度的绝对温度,单位为开尔文(K);

R ——通用气体常数, $8.31 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$;

Z ——离子的原子价(氯离子为 -1);

C ——离子源溶液的浓度, $0.55 \times 10^3 \text{ mol}/\text{m}^3$;

F ——法拉第常数 ($9.65 \times 10^4 \text{ C}/\text{mol}$);

E ——正负极间的电势差, 60 V (或 30 V, 15 V);

V ——阳极电解液的体积, $6.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$;

V/A ——流动长度与外部面积的比值, 3.74 m^{-1} 。

中 华 人 民 共 和 国
铁道行业标准
铁路混凝土
Concrete for railway construction
TB/T 3275—2011

*

中国铁道出版社出版、发行
(100054,北京市西城区右安门西街8号)
读者服务部电话:市电(010)51873174,路电(021)73174
中国铁道出版社印刷厂印刷
版权专有 侵权必究

*

开本:880 mm × 1 230 mm 1/16 印张:3 字数:80 千字
2011年9月第1版 2012年3月第3次印刷

*



定 价: 30.00 元