

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局《关于印发<2017 年山东省工程建设标准制订、修订计划（第一批）>的通知》（鲁建标字〔2017〕17 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程经验，参考国内外相关标准，结合本省实际情况，并在广泛征求意见的基础上，制订了本规程。

本规程的主要技术内容是：总则，术语，基本规定，原材料要求，混凝土性能，混凝土配合比，混凝土质量控制，混凝土的质量检验、评定及验收。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东省建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。

各单位在使用过程中如有意见或建议，请寄送至山东省建筑科学研究院有限公司（地址：山东省济南市天桥区无影山路 29 号，邮政编码：250031，联系电话：0531-85982601，邮箱：sdjkjzcl@163.com）。

主编单位：山东省建筑科学研究院有限公司

山东建科建筑材料有限公司

参编单位：济南轨道交通集团有限公司

济南轨道中铁管片制造有限公司

济南城建集团有限公司

青建集团股份公司

威海建设集团股份有限公司

青岛金鑫商品混凝土有限公司

中交一航局第二工程有限公司预制分公司

青岛中航工程试验检测有限公司

主要起草人员：王勇威 蔡贵生 商金华 刘晓清 周 默 王 胜 王 奋 简 刚

李宝印 祝善鹏 郭 蕾 杨少伟 鲁统卫 李业龙 刘桂宾 张 洁

宋瑞旭 朱中华

主要审查人员：王成国 叶正茂 林定权 万成梅 杨宏飞 王 志 姜德利 张 坤

杨建兴

目 次

1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	3
4 原材料要求.....	4
4.1 水泥.....	4
4.2 矿物掺合料.....	5
4.3 细骨料.....	6
4.4 粗骨料.....	7
4.5 外加剂.....	8
4.6 拌合用水.....	11
4.7 其他.....	12
5 混凝土性能.....	13
5.1 混凝土拌合物性能.....	13
5.2 混凝土力学性能.....	13
5.3 混凝土长期性能和耐久性能.....	13
6 混凝土配合比.....	16
6.1 一般要求.....	16
6.2 配合比设计.....	16
6.3 有特殊要求的混凝土配合比.....	17
7 混凝土质量控制.....	19
7.1 一般规定.....	19
7.2 预制构件混凝土质量控制.....	19
7.3 现浇混凝土质量控制.....	20
7.4 冬期施工质量控制.....	20
7.5 雨暑期施工质量控制.....	21
7.6 有特殊要求的混凝土质量控制.....	21
8 混凝土的质量检验、评定及验收.....	22
8.1 混凝土拌合物性能检验.....	22
8.2 混凝土力学性能检验.....	22
8.3 混凝土长期性能与耐久性能检验.....	23
8.4 混凝土现场检验.....	23
8.5 混凝土质量评定及验收.....	24
本规程用词说明.....	26
引用标准目录.....	27
附：条文说明.....	29

Contents

1 General Provisions.....	1
2 Terms.....	2
3 Basic requirements.....	3
4 Materials requirements.....	4
4.1 Cement.....	4
4.2 Mineral admixture.....	5
4.3 Fine aggregate.....	6
4.4 Coarse aggregate.....	7
4.5 Chemical admixture.....	8
4.6 Water.....	11
4.7 Others.....	12
5 Technical properties of concrete.....	13
5.1 Properties of freshly mixed concrete.....	13
5.2 Mechanical properties.....	13
5.3 Long-term properties and durabilities.....	13
6 Mix proportion of concrete.....	16
6.1 General provisions.....	16
6.2 Mix design.....	16
6.3 Concrete with special requirements.....	17
7 Quality control of concrete.....	19
7.1 General provisions.....	19
7.2 Precast concrete.....	19
7.3 Cast-in-place concrete.....	20
7.4 Concreting in winter.....	20
7.5 Concreting in rainy summer.....	21
7.6 Concrete with special requirements.....	21
8 Quality inspection, assessment and acceptance of concrete.....	22
8.1 Properties inspection of freshly mixed concrete.....	22
8.2 Mechanical properties inspection of concrete.....	22
8.3 Long-term properties and durabilities inspection of concrete.....	23
8.4 Field inspection of concrete.....	23
8.5 Assessment and acceptance of concrete.....	24
Explanation of wording.....	26
List of quoted standards.....	27
Addition: Explanation of provisions.....	29

1 总则

1.0.1 为保证山东省城市轨道交通工程混凝土质量，加强轨道交通工程混凝土原材料选取、配合比设计、生产、施工和验收全过程的质量控制，确保混凝土的施工性能、力学性能、长期性能和耐久性能，做到技术先进、节约资源、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于城市轨道交通工程用结构混凝土，包括地下结构含围护结构、高架结构、道床结构与附属地面建筑结构的主体结构用现浇混凝土和预制构件混凝土。

1.0.3 城市轨道交通工程用混凝土，除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 天然砂 natural sand

自然形成的，经人工开采和筛分的粒径小于 4.75mm 的岩石颗粒，包括河砂、湖砂、山砂、淡化海砂，但不包括软质、风化的岩石颗粒。

2.0.2 机制砂 machine-made sand

岩石、卵石、矿山尾矿或工业废渣经除土、机械破碎、整形、粉控等工艺筛分制成的，粒径小于 4.75mm 的岩石颗粒，但不包括软质、风化的岩石颗粒。

2.0.3 试浇筑 trial casting

在混凝土正式浇筑前进行的浇筑，通过检验混凝土拌合物性能和力学性能来验证混凝土的施工配合比，保证混凝土正常浇筑。

2.0.4 日常检验 routine inspection

按照预定的频次和要求，对被测对象某些指标的周期性检验活动。

2.0.5 全项检验 full inspection

依据相关标准和要求，采用指定的方法对被测对象所有技术性能指标进行逐项检验的活动。

3 基本规定

3.0.1 轨道交通工程混凝土应满足设计、施工等综合性能要求。

3.0.2 混凝土应具有设计要求的强度等级，在设计工作年限内应满足结构承载和正常使用功能要求。

3.0.3 轨道交通工程主体结构使用年限应满足设计使用年限。混凝土的耐久性能应根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别及作用等级进行确定。混凝土的环境类别和作用等级应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定。当混凝土结构构件受到多种环境类别共同作用时，应分别满足每种环境类别单独作用下的耐久性要求。

3.0.4 轨道交通工程混凝土强度等级宜符合表 3.0.4 的规定。

表 3.0.4 混凝土主体结构设计强度等级

工程部位	桩基	地下连续墙	二衬	室内梁、板、柱	室外墩、柱、盖梁	预应力梁	盾构管片
高架结构	≥C30	/	/	≥C35	≥C40	≥C50	/
地下结构	≥C30	≥C35	≥C40	≥C40	/	≥C50	≥C50

4 原材料要求

4.1 水泥

4.1.1 水泥应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

4.1.2 水泥的性能指标应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

4.1.3 水泥比表面积宜控制在 $300\text{m}^2/\text{kg}$ ~ $350\text{m}^2/\text{kg}$ 。

4.1.4 水泥标准稠度用水量不宜大于 29%。

4.1.5 水泥的碱含量不应大于 0.80%。当骨料具有碱骨料反应活性时，采用的水泥碱含量不应大于 0.60%，C40 及以上强度等级混凝土用水泥的碱含量不宜大于 0.60%。

4.1.6 水泥熟料中铝酸三钙不应大于 8.0%。当混凝土结构所处硫酸盐化学腐蚀环境为 V-D 及以上时，宜选用熟料中铝酸三钙含量小于 5.0%的硅酸盐水泥。

4.1.7 当混凝土结构所处环境为氯盐环境时，水泥的氯离子含量不宜大于 0.06%，不宜采用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

4.1.8 水泥的进场温度不宜大于 60°C ，不宜使用温度超过 60°C 的水泥拌制混凝土。

4.1.9 水泥应按不同生产厂家、品种、强度等级分别存储在专用仓罐内，存贮时间不宜超过三个月，超出三个月应复检，复检合格后才能使用或降级使用。

4.1.10 不得使用有结块的水泥，不同生产厂家、不同品种和强度等级的水泥不得混用。

4.1.11 水泥的检验应符合表 4.1.11 的要求。

表 4.1.11 水泥的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	凝结时间	GB/T 1346	√	进场每批次必检	√	1、新货源； 2、同一厂家同品种、同规格的水泥达 3 个月，抽检不少于 1 次。
2	安定性		√		√	
3	标准稠度用水量		√		√	
4	强度	GB/T 17671	√		√	
5	细度	GB/T 1345	-		√	
6	碱含量	GB/T 176	-		√	
7	不溶物		-		√	
8	烧失量		-		√	
9	三氧化硫		-		√	
10	氧化镁		-		√	
11	氯离子	GB/T 176	-		√	
12	比表面积	GB/T 8074	√		√	
13	熟料中铝酸三钙含量	GB/T 176	-		√	

4.2 矿物掺合料

4.2.1 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 中Ⅱ级及以上的有关规定，宜选用 F 类粉煤灰。

4.2.2 粉煤灰的需水量比不应大于 100%。

4.2.3 粉煤灰的烧失量不应大于 5%。

4.2.4 配制 C50 及以上强度等级混凝土时，宜选用 F 类Ⅰ级粉煤灰。用于拌制大体积混凝土时，不得采用 C 类粉煤灰。

4.2.5 粉煤灰的氨释放量不应大于 0.1%。粉煤灰进场前应进行混凝土预拌试验，不得使用在搅拌及生产过程中释放强烈氨味的脱硝粉煤灰。

4.2.6 粉煤灰中的氧化钙含量不应大于 10%。

4.2.7 粉煤灰中的氯离子含量不应大于 0.02%。

4.2.8 粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的有关规定，应选用 S95 及以上级别的矿渣粉。

4.2.9 矿渣粉中的氧化镁含量不应大于 10%。

4.2.10 硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定。

4.2.11 其它矿物掺合料应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18376 的有关规定。

4.2.12 矿物掺合料的检验应符合表 4.2.12-1~表 4.2.12-3 的规定。其它矿物掺合料执行相应标准。

表 4.2.12-1 粉煤灰的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	细度	GB/T 1596	√	进场每批次必检	√	1、新货源； 2、同一厂家同规格产品达 3 个月，抽检不少于 1 次。
2	需水量比	GB/T 1596	√		√	
3	烧失量	GB/T 176	√		√	
4	含水量	GB/T 1596	√		√	
5	三氧化硫	GB/T 176	-		√	
6	氧化钙	GB/T 176	-		√	
7	游离氧化钙	GB/T 176	-		√	
8	二氧化硅、三氧化二铝和三氧化二铁总质量分数	GB/T 176	-		√	
9	氯离子含量	GB/T 176	-		√	
10	密度	GB/T 208	-		√	
11	安定性	GB/T 1346	-		√	
12	释放氨的量	GB 18588	-		√	
13	活性指数	GB/T 1596	-		√	
14	半水亚硫酸钙含量 ^①	GB/T 5484	-		√	
15	碱含量 ^②	GB/T 176	-		√	

注：①采用干法或半干法脱硫工艺排出的粉煤灰应测半水亚硫酸钙含量。

②碱含量值用于计算混凝土中的总碱含量。

表 4.2.12-2 矿渣粉的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	密度	GB/T 208	√	进场每批次 必检	√	1、新货源； 2、同一厂家 同规格产品 达 3 个月， 抽检不少于 1 次。
2	比表面积	GB/T 8074	√		√	
3	活性指数	GB/T 18046	√		√	
4	流动度比	GB/T 18046	√		√	
5	含水量	GB/T 18046	√		√	
6	三氧化硫	GB/T 176	-		√	
7	氧化镁	GB/T 176	-		√	
8	烧失量	GB/T 18046	-		√	
9	氯离子含量	GB/T 176	-		√	
10	玻璃体含量	GB/T 18046	-		√	
11	放射性	GB 6566	-		√	
12	碱含量 ^①	GB/T 176	-		√	

注：①碱含量值用于计算混凝土中的总碱含量。

表 4.2.12-3 硅灰的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	总碱量	GB/T 176	-	进场每批次 必检	√	1、新货源； 2、同一厂家 同规格产品 达 3 个月， 抽检不少于 1 次。
2	含水率	GB/T 176	√		√	
3	烧失量	GB/T 176	-		√	
4	二氧化硅含量	GB/T 27690	√		√	
5	氯离子含量	GB/T 176	-		√	
6	需水量比	GB/T 27690	√		√	
7	活性指数	GB/T 27690	√		√	
8	放射性	GB 6566	-		√	
9	抑制碱骨料反应性	GB/T 27690	-		√	
10	抗氯离子渗透性	GB/T 27690	-		√	

4.3 细骨料

4.3.1 细骨料宜选用细度模数为 2.3~3.0 的 2 区中砂，其性能指标应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 中 II 类砂及以上的有关规定。

4.3.2 细骨料应谨慎选用矿山尾矿、工业废渣生产的机制砂或者混合砂，不得使用山砂、海砂及风化严重的多孔砂。

4.3.3 细骨料的检验应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 细骨料的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	颗粒级配	GB/T 14684	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、同料源、同品种、同规格的骨料使用达 6 个月，抽检不少于 1 次。
2	含泥量	GB/T 14684	√		√	
3	泥块含量	GB/T 14684	√		√	
4	石粉含量	GB/T 14684	√		√	
5	云母含量	GB/T 14684	-		√	
6	轻物质含量	GB/T 14684	-		√	
7	有机物含量	GB/T 14684	-		√	
8	硫化物及硫酸盐含量	GB/T 14684	-		√	
9	氯化物含量	GB/T 14684	-		√	
10	坚固性	GB/T 14684	-		√	
11	表观密度	GB/T 14684	√		√	
12	松散堆积密度	GB/T 14684	√		√	
13	空隙率	GB/T 14684	√		√	
14	碱骨料反应	GB/T 14684	-		√	
15	放射性	GB/T 6566	-		√	
16	吸水率	GB/T 14684	-		√	
17	含水率	GB/T 14684	√		√	
18	机制砂压碎指标	GB/T 14684	-		√	

4.3.4 细骨料应符合我国环保和安全相关标准和规范的要求，不应对人体、生物、环境及混凝土、砂浆性能产生有害影响。

4.4 粗骨料

4.4.1 粗骨料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 中Ⅱ类及以上碎石的有关规定。

4.4.2 粗骨料应选用级配合理、粒形良好、质地坚硬的碎石。不宜选用单级配的粗骨料，宜采用二级配或多级配组合使用。

4.4.3 粗骨料的碱活性应符合现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 的有关规定。当骨料存在潜在的碱-硅酸盐反应危害时，应采取能抑制碱-硅酸盐反应的有效措施；当骨料存在潜在的碱-碳酸盐反应危害时，不应用作混凝土骨料。

4.4.4 粗骨料中不得混入烧结物等影响混凝土性能的有害物质，也不得混入粉煤灰、水泥和外加剂等粉状材料。冬季施工时不得含有冰、雪。

4.4.5 粗骨料应存放在封闭式大棚内，分类储存，不得混堆。高温季节，骨料使用温度不宜大于 28℃。

4.4.6 粗骨料的检验应符合表 4.4.6 的规定。

表 4.4.6 粗骨料的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	颗粒级配	GB/T 14685	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、同料源、 同品种、同 规格的骨料 使用达 6 个 月，抽检不 少于 1 次。
2	含泥量	GB/T 14685	√		√	
3	泥块含量	GB/T 14685	√		√	
4	针、片状颗粒总含量	GB/T 14685	√		√	
5	有机物含量	GB/T 14685	-		√	
6	硫化物及硫酸盐含量（以 SO ₃ 计）	GB/T 14685	-		√	
7	坚固性	GB/T 14685	-		√	
8	岩石抗压强度（碎石）	GB/T 14685	-		√	
9	压碎指标	GB/T 14685	√		√	
10	表观密度	GB/T 14685	√		√	
11	堆积密度	GB/T 14685	√		√	
12	松散堆积空隙率	GB/T 14685	√		√	
13	吸水率	GB/T 14685	-		√	
13	碱集料反应	GB/T 14685	-		√	
14	放射性	GB/T 14685	-		√	
15	含水率	GB/T 14685	√		√	
16	氯离子含量	TB/T 3275	-		√	

4.5 外加剂

4.5.1 减水剂宜选用聚羧酸系高性能减水剂。减水剂和引气剂的性能和使用应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定。

4.5.2 膨胀剂的品种和性能应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定。用于海水或有侵蚀性水的混凝土工程，不得使用含氧化钙类的膨胀剂。

4.5.3 防冻泵送剂的性能指标应符合现行行业标准《混凝土防冻泵送剂》JG/T 377 的有关规定。

4.5.4 防水剂的性能应符合现行行业标准《砂浆、混凝土防水剂》JC 474 中的有关规定。

4.5.5 防腐剂的性能应符合现行行业标准《混凝土抗硫酸盐侵蚀防腐剂》JC/T 1011 的有关规定。

4.5.6 钢筋混凝土阻锈剂的性能应符合现行行业标准《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537 的有关规定。

4.5.7 外加剂的性能检验应符合表 4.5.7-1~表 4.5.7-7 的规定。

表 4.5.7-1 减水剂的性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	减水率	GB 8076	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂 家、同品种 产品达 3 个 月，抽检不 少于 1 次。
2	泌水率比	GB 8076	√		√	
3	含气量	GB 8076	√		√	

表 4.5.7-1 减水剂的性能检验要求（续）

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
4	凝结时间之差	GB 8076	√		√	
5	坍落度 1h 经时变化量	GB 8076	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月，抽检不少于 1 次。
6	抗压强度比	GB 8076	√		√	
7	收缩率比	GB 8076	-		√	
8	氯离子含量	GB 8076	-		√	
9	总碱量	GB 8076	-		√	
10	含固量（液剂检）	GB 8076	√		√	
11	含水率（粉剂检）	GB 8076	√		√	
12	密度（液剂检）	GB 8076	√		√	
13	细度（粉剂检）	GB 8076	√		√	
14	pH 值	GB 8076	√		√	
15	硫酸钠含量	GB 8076	-		√	

表 4.5.7-2 引气剂的性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	减水率	GB 8076	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月，抽检不少于 1 次。
2	泌水率比	GB 8076	√		√	
3	含气量	GB 8076	√		√	
4	凝结时间之差	GB 8076	√		√	
5	含气量 1h 经时变化量	GB 8076	√		√	
6	抗压强度比	GB 8076	√		√	
7	收缩率比	GB 8076	-		√	
8	相对耐久性	GB 8076	-		√	
9	氯离子含量	GB 8076	-		√	
10	总碱量	GB 8076	-		√	
11	含固量（液剂检）	GB 8076	√		√	
12	含水率（粉剂检）	GB 8076	√		√	
13	密度（液剂检）	GB 8076	√		√	
14	细度（粉剂检）	GB 8076	-		√	
15	pH 值	GB 8076	√		√	
16	硫酸钠含量	GB 8076	-		√	

表 4.5.7-3 膨胀剂的性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	细度	GB/T 23439	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月，抽检不少于 1 次。
2	凝结时间	GB/T 23439	√		√	

表 4.5.7-3 膨胀剂的性能检验要求（续）

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
3	限制膨胀率	GB/T 23439	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月， 抽检不少于 1 次。
4	抗压强度	GB/T 23439	√		√	
5	氧化镁含量	GB/T 23439	-		√	
6	碱含量	GB/T 23439	-		√	

表 4.5.7-4 防冻泵送剂的性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	减水率	JG/T 377	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月， 抽检不少于 1 次。
2	泌水率比	JG/T 377	√		√	
3	含气量	JG/T 377	√		√	
4	凝结时间之差	JG/T 377	√		√	
5	抗压强度比	JG/T 377	√		√	
6	坍落度 1h 经时变化量	JG/T 377	√		√	
7	28d 收缩率比	JG/T 377	-		√	
7	50 次冻融强度损失率比	JG/T 377	-		√	
8	氯离子含量	JG/T 377	√		√	
9	总碱量	JG/T 377	-		√	
10	含固量（液剂检）	JG/T 377	√		√	
11	含水率（粉剂检）	JG/T 377	√		√	
12	密度（液剂检）	JG/T 377	√		√	
13	细度（粉剂检）	JG/T 377	√		√	

表 4.5.7-5 防水剂的性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	泌水率比	JC 474	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月， 抽检不少于 1 次。
2	凝结时间差	JC 474	√		√	
3	渗透高度比	JC 474	-		√	
4	抗压强度比	JC 474	√		√	
5	吸水量比	JC 474	√		√	
6	收缩率比	JC 474	-		√	
7	密度（液剂检）	JC 474	√		√	
8	氯离子含量	JC 474	√		√	
9	总碱量	JC 474	√		√	
10	细度（粉剂检）	JC 474	√		√	
11	含水率（粉剂检）	JC 474	√		√	
12	固体含量（液剂检）	JC 474	√		√	

表 4.5.7-6 防腐剂的性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	凝结时间	JC/T 1011	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月，抽检不少于 1 次。
2	抗压强度比	JC/T 1011	√		√	
3	膨胀率	JC/T 1011	-		√	
4	抗蚀系数	JC/T 1011	-		√	
5	膨胀系数	JC/T 1011	-		√	
6	氧化镁	JC/T 1011	-		√	
7	氯离子	JC/T 1011	-		√	
8	比表面积	JC/T 1011	-		√	

表 4.5.7-7 阻锈剂性能检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求			
			日常检验	检验频率	全项检验	检验频率
1	含固量	JT/T 537	√	每批次抽检	√	1、新货源； 2、使用同厂家、同品种产品达 3 个月，抽检不少于 1 次。
2	含水率	JT/T 537	√		√	
3	密度	JT/T 537	√		√	
4	氯离子含量	JT/T 537	-		√	
5	水泥净浆流动度	JT/T 537	√		√	
6	pH 值	JT/T 537	√		√	
7	总碱量	JT/T 537	-		√	
8	硫酸钠含量	JT/T 537	-		√	
9	砂浆减水率	JT/T 537	√		√	
10	细度	JT/T 537	√		√	
11	钢筋的耐盐水浸渍性能	JT/T 537	√		√	
12	盐水干湿循环环境中钢筋锈蚀面积百分率比	JT/T 537	√		√	
13	钢筋在砂浆中的耐锈蚀性能	JT/T 537	√		√	
14	混凝土凝结时间差	JT/T 537	-		√	
15	混凝土抗压强度比	JT/T 537	-		√	
16	混凝土抗渗性	JT/T 537	-		√	
17	盐水浸烘环境下混凝土中钢筋的锈蚀面积百分率比	JT/T 537	√		√	
18	混凝土氯离子迁移系数比	JT/T 537	-		√	
19	混凝土渗透高度	JT/T 537	√		√	

4.5.8 其它外加剂应符合相应标准的有关规定。

4.6 拌合用水

4.6.1 混凝土拌合用水和养护用水均应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

- 4.6.2 未经处理的海水不得用于钢筋混凝土和预应力混凝土。
- 4.6.3 混凝土生产企业设备洗刷水、生产废水不宜用于预应力混凝土、装饰混凝土和暴露于腐蚀环境的混凝土；不得用于使用碱活性或潜在碱活性骨料的混凝土。
- 4.6.4 混凝土拌合用水的检验应符合表 4.6.4 的规定。

表 4.6.4 拌合用水的检验要求

序号	检验项目	检验方法	检验要求	
			全项检验	检验频率
1	pH 值	JGJ 63	√	1、新水源； 2、地表水每 6 个月 检验一次，地下水 每年检验一次。
2	不溶物	JGJ 63	√	
3	可溶物	JGJ 63	√	
4	Cl ⁻	JGJ 63	√	
5	SO ₄ ²⁻	JGJ 63	√	
6	碱含量	JGJ 63	√	
7	水泥凝结时间	JGJ 63	√	
8	水泥胶砂强度	JGJ 63	√	

4.7 其他

- 4.7.1 在多风、低湿、高温环境中施工的混凝土，宜在新浇筑混凝土表面喷洒水分抑制蒸发剂，其性能应符合现行行业标准《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》JG/T 477 的有关规定。
- 4.7.2 混凝土拆模后，可在硬化混凝土表面涂刷或喷洒养护剂，其性能应符合现行行业标准《水泥混凝土养护剂》JC 901 的有关规定。
- 4.7.3 混凝土脱模剂的性能应符合现行行业标准《混凝土制品用脱模剂》JC/T 949 的有关规定。
- 4.7.4 地下连续墙等开裂风险较大的混凝土结构宜使用合成纤维或钢纤维，纤维材料应有良好的分散性，且应符合国家现行标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 和《混凝土用钢纤维》YB/T 151 的有关规定。
- 4.7.5 在车站等高 CO₂ 浓度环境中服役的混凝土，拆模后可在混凝土表面喷涂抗碳化防护涂料，其性能应符合现行行业标准《混凝土结构用成膜型涂料》JG/T 335 的有关规定，且 28d 抗碳化深度比不应大于 20%。

5 混凝土性能

5.1 混凝土拌合物性能

- 5.1.1 混凝土拌合物应满足设计和施工要求。
- 5.1.2 混凝土拌合物应具有良好的和易性，泵送混凝土的压力泌水率不宜大于 40%。
- 5.1.3 混凝土的坍落度和坍落度经时变化量不应影响混凝土的正常施工。
- 5.1.4 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。
- 5.1.5 混凝土拌合物的含气量应符合设计要求和混凝土耐久性要求。当设计无明确要求时，混凝土入模时含气量宜为 2.0%~4.0%。
- 5.1.6 混凝土拌合物性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定。

5.2 混凝土力学性能

- 5.2.1 混凝土的力学性能应满足设计和施工要求。
- 5.2.2 混凝土强度等级划分为：C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。
- 5.2.3 混凝土力学性能试验方法应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

5.3 混凝土长期性能和耐久性能

- 5.3.1 混凝土的长期性能和耐久性能应满足结构和设计要求。
- 5.3.2 混凝土的耐久性能应根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别及作用等级进行确定。
- 5.3.3 混凝土结构部位对应的环境类别及环境作用等级最低要求应符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 混凝土结构的环境类别及环境作用等级

结构部位			环境类别	环境作用等级
高架结构	桩基		除冰盐等其他氯盐环境/一般环境	IV—C/I—B
	室内梁、板、柱		一般环境	I—B
	室外墩、柱、盖梁		化学腐蚀环境	V—D
	预应力梁		一般环境	I—B
地下结构	桩基		除冰盐等其他氯盐环境	IV—C
	地下连续墙	迎土/水面	除冰盐等其他氯盐环境	部分IV—C，局部IV—D
		背土/水面	一般环境	I—B
	二衬		一般环境	I—B
	室内梁、板、柱		一般环境	I—B

表 5.3.3 混凝土结构的环境类别及环境作用等级（续）

结构部位			环境类别	环境作用等级
地下结构	预应力梁		一般环境	I—B
	盾构管片	外弧面	除冰盐等其他氯盐环境	IV—C
		内弧面	一般环境	I—B

5.3.4 混凝土抗碳化性能的等级划分应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 混凝土抗碳化性能的等级划分

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

5.3.5 氯盐环境下，混凝土的氯离子迁移系数性能指标应符合表 5.3.5-1 的规定；不同强度等级混凝土的电通量性能指标应符合表 5.3.5-2 的规定。

表 5.3.5-1 氯盐环境下混凝土抗氯离子性能指标 ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)

设计使用年限	作用等级	氯离子扩散系数 (56d) DRCM
100 年	D	≤ 5
	E	≤ 3
50 年	D	≤ 8
	E	≤ 4

表 5.3.5-2 不同强度等级混凝土 56d 的电通量 (C)

设计使用年限	混凝土强度等级	电通量
100 年	C30	< 1500
	C30~C45	< 1200
	$\geq \text{C50}$	< 1000
50 年	C30	< 2000
	C30~C45	< 1500
	$\geq \text{C50}$	< 1200

5.3.6 应根据硫酸盐侵蚀环境的设计要求确定混凝土抗硫酸盐等级。处于硫酸盐侵蚀环境中的混凝土的抗硫酸盐侵蚀等级应符合表 5.3.6 的规定。

表 5.3.6 硫酸盐侵蚀环境下混凝土抗硫酸盐侵蚀性能等级

环境作用等级	抗硫酸盐侵蚀性能等级 56d
V-C	$\geq \text{KS90}$
V-D	$\geq \text{KS120}$
V-E	$\geq \text{KS150}$

5.3.7 应根据冻融环境确定混凝土的抗冻等级。冻融破坏环境下，混凝土抗冻等级（快冻法）应符合表 5.3.7 的规定。

表 5.3.7 冻融环境下混凝土抗冻性能指标

环境作用等级	抗冻融循环
II-C	≥F300
II-D	≥F350

5.3.8 应根据工程部位确定混凝土单位面积上的总开裂面积,混凝土早期抗裂性能指标应符合表 5.3.8 的规定。

表 5.3.8 混凝土早期抗裂性能指标

工程部位	地下连续墙	二衬	梁、板、柱、墩、盖梁
高架结构单位面积上的总开裂面积 (mm ² /m ²)			≤700
地下结构单位面积上的总开裂面积 (mm ² /m ²)	≤400	≤700	≤700

5.3.9 混凝土 28d 干燥收缩率不宜大于 0.03%。

5.3.10 有防水要求的混凝土抗水渗等级不应小于 P8。

5.3.11 混凝土长期性能和耐久性能的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定。

6 混凝土配合比

6.1 一般要求

- 6.1.1 混凝土配合比应根据混凝土结构的设计使用年限、所处环境条件、环境作用等级和施工工艺等进行设计，并通过计算、试配、调整、检测和试浇筑后确定。
- 6.1.2 混凝土中应根据需要适量掺加能改善混凝土性能的优质粉煤灰、矿渣粉、硅灰等矿物掺合料或复合矿物掺合料。硅灰的掺量一般不宜超过胶凝材料总量的 8%，且宜与其它矿物掺合料复合使用。
- 6.1.3 混凝土的碱含量应符合设计要求。当无具体设计要求时，混凝土原材料中引入的碱含量不宜大于 3.0kg/m^3 。
- 6.1.4 混凝土原材料中引入的氯离子总量不应大于胶凝材料重量的 0.08%，预应力混凝土中引入的氯离子总量，不应大于胶凝材料重量的 0.06%，并应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定。

6.2 配合比设计

- 6.2.1 混凝土配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定。
- 6.2.2 自密实混凝土配合比设计应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的有关规定。
- 6.2.3 混凝土配合比设计应采用工程实际应用的原材料。
- 6.2.4 混凝土配合比设计和配制，在满足施工和易性和强度等级外，应将工程设计文件规定的混凝土耐久性能指标和长期性能指标作为控制目标。
- 6.2.5 混凝土配合比设计时，混凝土最小胶凝材料用量不应低于 300kg/m^3 ，其中最低水泥用量不应低于 220kg/m^3 。配制抗渗混凝土时，最低水泥用量不宜低于 260kg/m^3 。混凝土最大水胶比不应大于 0.55。
- 6.2.6 混凝土含气量和平均气泡间距系数应符合表 6.2.6 的规定，且含气量最大值不宜超过 6.5%。

表 6.2.6 混凝土含气量和气泡间距系数

环境条件	中度饱水环境	饱水环境	盐或化学腐蚀环境
含气量 (%)	≥ 4.5	≥ 6.0	≥ 6.0
平均气泡间距系数 (μm)	≤ 300	≤ 250	≤ 200

注：混凝土拌合物的含气量与粗骨料最大公称粒径有关，可视粗骨料最大公称粒径适量调整含气量限值。表中含气量对于 C50 混凝土可以降低 0.5%，对于 C60 混凝土可以降低 1%。

- 6.2.7 配制抗裂防渗混凝土宜选用具有较低收缩率比的聚羧酸类高性能减水剂，其掺量应通过试验确定并严格控制；采用膨胀剂配制抗裂防渗混凝土时，根据使用环境和结构部位，通过试验确定膨胀剂品种和掺量。

6.2.8 不同环境条件下混凝土中矿物掺合料掺量应按表 6.2.8 选择。

表 6.2.8 不同环境条件下混凝土中矿物掺合料掺量范围

环境类别	矿物掺合料种类	水胶比≤0.4	水胶比>0.4
碳化环境	粉煤灰	≤40%	≤30%
	矿渣粉	≤50%	≤40%
氯盐环境	粉煤灰	30%~50%	20%~40%
	矿渣粉	40%~60%	30%~50%
化学侵蚀环境	粉煤灰	30%~50%	20%~40%
	矿渣粉	40%~60%	30%~50%
盐类结晶破坏环境	粉煤灰	≤40%	≤30%
	矿渣粉	≤50%	≤40%
冻融破坏环境	粉煤灰	≤30%	≤20%
	矿渣粉	≤40%	≤30%
磨蚀环境	粉煤灰	≤30%	≤20%
	矿渣粉	≤40%	≤30%

注：1 本表规定的矿物掺合料掺量时指单掺一种矿物掺合料的适宜掺量范围。当采用多种掺合料复合掺用时，混凝土中掺合料总量不宜超过胶凝材料总量的 50%，不同矿物掺合料的掺量可参考本表并经试验确定。

2 本表规定的矿物掺合料的掺量范围仅限使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，对使用硅酸盐水泥的混凝土可取高限，对普通硅酸盐水泥的混凝土可取低限。

3 对于预应力混凝土结构，宜采用Ⅰ级粉煤灰，掺量不宜超过 30%。

4 严重氯盐环境与化学侵蚀环境下，粉煤灰的掺量应大于 30%，或矿渣粉的掺量大于 50%。

6.3 有特殊要求的混凝土配合比

6.3.1 补偿收缩混凝土的配合比设计除满足设计所要求的强度等级外，还应符合混凝土拌合物性能、限制膨胀率及耐久性能的要求。配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 和《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178 的有关规定。

6.3.2 防冻混凝土的配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55，此外还应符合下列要求：

- 1 防冻混凝土配合比设计应根据环境条件、结构类型和设计要求选择适当的防冻剂和掺量。
- 2 混凝土的受冻临界强度应满足应满足《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的要求。
- 3 在钢筋混凝土结构和预应力结构中，不得使用含有氯盐的防冻剂；含亚硝酸盐、碳酸盐的防冻剂严禁用于预应力混凝土结构。

6.3.3 防腐蚀混凝土的配合比设计应符合下列要求：

- 1 防腐蚀混凝土配合比设计应考虑环境条件、结构类型和设计要求选择适当的防腐剂种类、掺量及施工工艺。
- 2 在腐蚀环境下，结构混凝土的水胶比基本要求应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 腐蚀环境下结构混凝土的水胶比基本要求

设计使用年限	环境作用等级	混凝土强度等级	最大水胶比
100 年	V-C	C45	0.40
		≥C50	0.36
	V-D	C50	0.36
		≥C55	0.36
	V-E	C55	0.36
		C60	0.33
50 年	V-C	C40	0.45
		≥C45	0.40
	V-D	C45	0.40
		≥C50	0.36
	V-E	C50	0.36
		≥C55	0.36

3 配制防腐蚀混凝土的砂、石应致密，可采用花岗石、石英石或石灰石，但不得采用有碱骨料反应的活性骨料。

4 混凝土掺矿物掺合料、防腐剂时，应按产品的使用说明进行试验检验。

6.3.4 清水混凝土的配合比设计应符合下列要求：

1 清水混凝土的配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55、《清水混凝土应用技术规程》JGJ 169 的有关规定。

2 制备清水混凝土的外加剂，应与水泥有良好的适应性。

3 当配制清水混凝土时，宜采用矿物掺合料。

6.3.5 大体积混凝土的配合比设计应符合下列要求：

1 大体积混凝土的配合比设计应符合现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的规定。

2 大体积混凝土的配合比设计除应符合工程设计所规定的强度等级、耐久性、抗渗性、体积稳定性等要求外，尚应符合大体积混凝土施工工艺特性的要求，并应符合合理使用材料、降低混凝土绝热温升值的要求。

3 大体积混凝土的设计可采用混凝土 60d 或 90d 的强度作为混凝土配合比设计、混凝土强度评定及工程验收的依据。

4 在确定混凝土配合比时，应根据混凝土的绝热温升、温控施工方案的要求等，提出混凝土制备时粗、细骨料和拌合用水以及混凝土拌合物入模温度控制的技术措施。

6.3.6 纤维混凝土的配合比设计应符合下列要求：

1 纤维混凝土的配合比设计应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的有关规定。

2 钢纤维的掺量不宜小于 0.25% 体积率，合成纤维的体积率宜为 0.08%~0.50%。

3 钢纤维混凝土应采用连续级配粗骨料，其最大公称粒径不宜大于 25mm，且不宜大于钢纤维长度的 3/4。

7 混凝土质量控制

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土生产应符合现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 的有关规定。

7.1.2 混凝土坍落度和扩展度的允许偏差应符合表 7.1.2 的规定。

表 7.1.2 混凝土拌合物坍落度和扩展度的允许偏差

项目	控制指标值 (mm)	允许偏差 (mm)
坍落度	≤90	±10
	100~160	±20
	≥170	±30
扩展度	≥350	±30

7.1.3 混凝土拌合物出机后不宜加水。

7.1.4 混凝土生产计量、搅拌、运输、浇筑、拆模和养护应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

7.1.5 对首次使用的混凝土配合比应进行开盘鉴定，鉴定应包括以下内容：

- 1 混凝土生产使用的原材料应与配合比设计一致。
- 2 混凝土拌合物性能应满足施工要求。
- 3 混凝土强度应符合设计要求。
- 4 特殊要求的指标应符合设计要求。

7.1.6 施工现场混凝土应连续供应，做到不压车、不断车。

7.2 预制构件混凝土质量控制

7.2.1 预制构件混凝土原材料的品种及规格，必须符合混凝土施工配合比的要求。

7.2.2 预制构件混凝土的坍落度应合理控制，混凝土和易性应满足施工要求。

7.2.3 混凝土应连续浇筑，一次成型，浇筑自流时间不宜超过混凝土的初凝时间，间断时间不得超过终凝时间。

7.2.4 混凝土浇筑成型后，抹面处理应在初凝前进行。

7.2.5 预制梁混凝土浇筑时，应采用侧振并辅以插入式高频振捣棒振捣。振捣棒应垂直点振，不得平拉，不得触碰模板。

7.2.6 混凝土预制构件浇筑成型后，应覆盖保湿，可采用蒸汽养护或自然养护方式进行养护。

7.2.7 预制构件采用蒸汽养护时，应经试验确定养护制度，并应符合以下要求：

- 1 宜采用低温蒸汽养护制度，养护温度不宜超过 60℃，养护湿度宜控制在 95%以上；

2 静停时间不宜小于 2h，升温速度不宜超过 15°C/h，降温速度不宜超过 20°C/h。

3 在撤出养护间前，应进行温度测量。当混凝土构件表面温度与环境温度差不超过 20°C 时，方可撤出养护间。

7.2.8 预制构件拆模时的混凝土强度应符合设计要求。当设计无具体规定时，应达到设计强度的 60% 以上。

7.2.9 预制管片浇筑成型后应在同条件养护试件抗压强度达到设计强度的 45% 以后方可脱模、吊运，脱模起吊后，浸没入水中养护不得少于 7d。

7.2.10 浇筑混凝土的同时应留置试件。混凝土留置试件应具有代表性。

7.3 现浇混凝土质量控制

7.3.1 混凝土拌合物应满足施工要求。

7.3.2 混凝土搅拌运输车出厂时，应持有混凝土供应单位发货单。

7.3.3 混凝土浇筑前应检查发货单，核对混凝土配合比，确认混凝土强度等级，测定混凝土坍落度，必要时还应测定混凝土扩展度、含气量，在确认无误后再进行混凝土浇筑。

7.3.4 冬季施工时混凝土入模温度应不低于 5°C，大体积混凝土入模温度应为 5°C~30°C

7.3.5 浇筑混凝土前，应清除模板内或垫层上的杂物。表面干燥的地基、垫层、模板上应洒水湿润，现场环境温度高于 35°C 时宜对金属模板进行洒水降温，洒水后不得留有积水。

7.3.6 振捣应保证混凝土的充分密实，且应避免因过振产生的骨料下沉引起混凝土结构的质量差异，同时应避免混凝土跑模、漏浆。

7.3.7 在混凝土浇筑后的抹面处理工序中，不得向混凝土表面洒水。

7.3.8 现浇混凝土结构浇筑结束后应及时保湿养护，养护时间不应少于 7d。对于异型结构、竖向结构等部位宜采用喷涂养护剂或覆盖水能量养护膜的方式进行养护。

7.4 冬期施工质量控制

7.4.1 拌制混凝土所用的粗、细骨料不得含有冰、雪、冻块。

7.4.2 在掺用含有钾、钠离子的防冻剂的混凝土中，不得采用碱活性骨料。

7.4.3 提高混凝土拌合物的温度宜选用加热水的方式。当加热水仍不能满足要求时，可对骨料进行加热。水的加热温度不应超过 60°C，骨料的加热温度不应超过 40°C。

7.4.4 水加热宜采用蒸汽加热、电加热、汽水热交换罐或其它加热方法。水箱或水池容积及水温应能满足连续施工的要求。

7.4.5 骨料加热应在开盘前进行，加热应均匀。当采用保温加热料斗时，宜配备两个，交替加热使用。

7.4.6 水泥不得直接加热，袋装水泥使用前宜运入暖棚内存放。

7.4.7 混凝土搅拌时间应比常温下延长 15s~30s。

7.4.8 混凝土运输与输送机具应进行保温或具有加热装置。

7.4.9 混凝土浇筑前，应清除模板和钢筋上的冰雪和污垢。

7.4.10 模板外和混凝土表面覆盖的保温层，不应采用潮湿状态的材料，也不应将保温材料直接铺盖在潮湿的混凝土表面，新浇混凝土表面应铺一层塑料薄膜。

7.4.11 大体积混凝土分层浇筑时，已浇筑层的混凝土在未被上一层混凝土覆盖前，温度不应低于 2℃。采用加热法养护混凝土时，养护前的混凝土温度也不应低于 2℃。

7.5 暑期施工质量控制

7.5.1 雨暑期施工应优化混凝土施工配合比，调整掺合料的掺量，减少水泥用量，降低混凝土绝热温升。

7.5.2 当环境温度超过 35℃时，宜采用遮盖、洒水、拌冰屑等措施降低混凝土拌合物的温度。

7.5.3 混凝土浇筑前要注意对模板、钢筋的温度控制，以免温度过高影响混凝土入模的实际温度。对露天存放的模板和钢筋进行有效遮挡，避免阳光直射。

7.5.4 混凝土浇筑时间尽量避免正午时间，条件许可时，宜选择温度较低的晚间进行。应缩短浇筑时间，避免浇筑过程中混凝土温度变化过大。

7.5.5 混凝土浇筑后，应及时进行保湿养护。

7.5.6 大风天气浇筑混凝土时，在作业面应采取挡风措施，及时覆盖塑料薄膜和保温材料。

7.5.7 大雨和雷电天气不宜露天浇筑混凝土。

7.5.8 混凝土浇筑时应备足防雨设施，雨水不宜冲刷新浇筑的混凝土表面。

7.6 有特殊要求的混凝土质量控制

7.6.1 补偿收缩混凝土的质量控制应符合现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178 的有关规定。

7.6.2 清水混凝土坍落度不宜过大，入泵坍落度宜控制在 160~200mm。

7.6.3 清水混凝土在混凝土制备前，除进行常规混凝土配合比试验外，还应进行混凝土外观试验，确定混凝土表面颜色和表面状况。混凝土表面应色泽均一无色差、无明显气泡、无蜂窝麻面、无砂带和黑斑。

7.6.4 清水混凝土养护时，不宜使用对混凝土表面有污染的养护材料、养护剂。

7.6.5 大体积混凝土制备前，除应进行常规混凝土配合比试验外，并应进行水化热、泌水率、可泵性等对大体积混凝土裂缝控制所需的技术参数的试验。

7.6.6 大体积混凝土持续保湿养护时间不得少于 14d；

7.6.7 大体积混凝土保温覆盖层应分层逐步拆除，在混凝土表面温度与环境最大温差小于 20℃时，可全部拆除。

7.6.8 纤维混凝土投料顺序、搅拌方法和搅拌时间应通过现场匀质性试验确定。

8 混凝土的质量检验、评定及验收

8.1 混凝土拌合物性能检验

8.1.1 在混凝土生产和施工过程中,应在搅拌地点和浇筑地点分别对混凝土拌合物抽样,检验混凝土拌合物性能。

8.1.2 混凝土拌合物的取样应具有代表性,取样应随机从同一运输车的 1/4 至 3/4 之间抽取。

8.1.3 混凝土交货检验取样及坍落度试验应在混凝土运到交货地点时开始算起 20min 内完成,试件制作应在混凝土运到交货地点时开始算起 40min 内完成。

8.1.4 混凝土坍落度以及坍落度经时损失检验频率应与强度检验频率相同,当混凝土坍落度大于 200mm 时,应检验混凝土坍落扩展度。

8.1.5 同一工程、同一配合比混凝土拌合物凝结时间及含气量检验应各不少于 1 次。

8.2 混凝土力学性能检验

8.2.1 混凝土的强度等级必须符合设计要求,用于检测结构构件混凝土力学性能的试件,应在混凝土浇筑地点随机抽取。

8.2.2 标准条件养护试件的取样与留置应符合下列规定:

- 1 每拌制 100 盘且不超过 100m³ 的同配合比的混凝土,取样不得少于一次。
- 2 每工作班拌制的同一配合比的混凝土不超过 100 盘时,取样不得少于一次。
- 3 当一次连续浇筑超过 1000m³ 时,同一配合比的混凝土每 200m³ (不足也按 200 m³ 计) 取样不得少于一次。
- 4 现浇混凝土的每一结构部位,取样不得少于一次。
- 5 每次取样应至少留置一组试件。
- 6 盾构管片,每工作班拌制的同配合比的混凝土,取样不得少于一次。

8.2.3 同条件养护试件的取样与留置应符合下列规定:

- 1 涉及到混凝土结构安全的重要部位应留置同条件养护的抗压强度试件。
- 2 同一强度等级、同一批次的混凝土,每 500m³ (不足也按 500 m³ 计) 留置一组。同一工程、同一强度等级的同条件养护试件的留置数量不宜少于 10 组。
- 3 桥梁每片(孔)梁、每墩台,隧道每 200m 衬砌、每 500m 仰拱、每 500m 底板应按不同强度等级留置试件不少于 1 组。
- 4 每天拌制的同配合比的盾构管片应留置同条件养护试件至少 1 组。

8.2.4 当设计对混凝土的弹性模量有要求时,混凝土的弹性模量必须符合设计要求。弹性模量试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作,标准条件养护和随构件同条件养护的终张拉(放张)弹性模量

试件各不得少于一组，其它条件养护试件按设计要求、相关标准规定和实际需要确定。

8.3 混凝土长期性能与耐久性能检验

8.3.1 混凝土长期性能及耐久性能检验的项目包括抗碳化性能、抗冻性能、抗水渗透性能、抗氯离子渗透性能、抗硫酸盐侵蚀性能和早期抗裂性能。

8.3.2 对于需要进行耐久性检验评定的混凝土，其强度必须满足设计要求。

8.3.3 同一检验批混凝土的强度等级、龄期、生产工艺和配合比应相同。

8.3.4 对于同一工程、同一配合比的混凝土，检验批不应少于一个。

8.3.5 对于同一检验批，设计要求的各个检验项目应至少完成一组试验。

8.4 混凝土现场检验

8.4.1 混凝土现场检验项目包括结构混凝土抗压强度、碳化深度、缺陷以及外观质量等。

8.4.2 对结构混凝土抗压强度的检验，可根据合同规定，采用回弹法、超声-回弹综合法、后装拔出法以及后锚固法等间接方法进行现场检测。当具备钻芯法检测条件时，宜采用钻芯法对间接法检测结果进行修正或验证。

8.4.3 混凝土碳化深度的检验应符合现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 的有关规定。

8.4.4 如需对混凝土构件内部缺陷进行检测时，宜采用超声法进行双面对测，当仅有一个可测面时，可采用冲击回波法或电磁波反射法进行检测，对于判别困难的区域应进行钻芯验证或剔凿验证。

8.4.5 应对全部混凝土结构进行外观检查，根据其对结构性能和使用功能的影响，按表 8.4.5 的规定确定缺陷的种类及严重程度。

表 8.4.5 混凝土结构外观质量缺陷

名称	现象	严重缺陷	一般缺陷
漏筋	构件内钢筋未被混凝土包裹而外露	纵向受力钢筋有露筋	其它钢筋有少量漏筋
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	构件主要受力部位有蜂窝	其它部位有少量蜂窝
孔洞	混凝土中孔穴深度和长度均超过保护层厚度	构件主要受力部位有孔洞	其它部位有少量孔洞
夹渣	混凝土中夹有杂物且深度超过保护层厚度	构件主要受力部位有夹渣	其它部位有少量夹渣
疏松	混凝土中局部不密实	构件主要受力部位有疏松	其它部位有少量疏松
裂缝	缝隙从混凝土表面延伸至混凝土内部	构件主要受力部位有影响结构性能或使用功能的裂缝	其它部位有少量不影响结构性能或使用功能的裂缝
连接部位缺陷	构件连接处混凝土缺陷及连接钢筋、连接处松动	连接部位有影响结构传力性能的缺陷	连接部位有基本上不影响结构传力性能的缺陷
外形缺陷	缺棱掉角、棱角不直、翘曲不平、飞边凸肋等	清水混凝土构件有影响使用功能或装饰效果的外形缺陷	其它混凝土的构件有不影响使用功能的外形缺陷
外表缺陷	构件表面麻面、掉皮、起砂、沾污等	具有重要装饰效果的清水混凝土构件有外表缺陷	其它混凝土构件有不影响使用功能的外表缺陷

8.4.6 盾构管片成品的外观质量应符合表 8.4.6 的规定。

表 8.4.6 外观质量要求

序号	项目	质量要求
1	贯穿裂缝	不允许
2	拼接面裂缝	拼接面方向长度不超过密封槽、且宽度小于 0.20mm
3	非贯穿裂缝	内表面不允许，外表面裂缝宽度不超过 0.20mm
4	内、外表面露筋	不允许
5	孔洞	不允许
6	麻面、粘皮、蜂窝	表面麻面、粘皮、蜂窝总面积不大于表面积 5%允许修补
7	疏松、夹渣	不允许
8	缺棱掉角、飞边	不应有，允许修补
9	环、纵向螺栓孔	畅通、内圆平整，不得有塌孔

8.4.7 普通混凝土结构表面的非受力裂缝宽度不得大于 0.20mm，预应力混凝土结构预应力区混凝土表面不得出现受力裂缝。

8.4.8 清水混凝土表面要做到色泽均一无色差、无明显气泡、无蜂窝麻面、无砂带和黑斑。

8.5 混凝土质量评定及验收

8.5.1 混凝土拌合物性能应满足设计及施工要求。

8.5.2 混凝土抗压强度的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 的有关规定，并应满足设计要求。

8.5.3 有设计要求时，混凝土的弹性模量应满足设计要求。

8.5.4 混凝土的长期性能及耐久性能应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的有关规定。

8.5.5 混凝土的耐久性应根据混凝土的各耐久性检验项目的检验结果，分项进行评定。对于同一检验批只进行一组试验的检验项目，应将试验结果作为检验结果。对于抗冻试验、抗水渗透试验和抗硫酸盐侵蚀试验，当同一检验批进行一组以上试验时，应取所有试验结果中的最小值作为检验结果。当检验结果介于相邻两个等级之间时，应取等级较低者作为试验结果。对于混凝土抗氯离子渗透试验、碳化试验、早期抗裂试验，当同一检验批进行一组以上试验时，应取所有组试验结果中的最大值作为检验结果。

8.5.6 同一检验批全部耐久性项目检验合格者，该检验批混凝土耐久性可评定为合格。对于某一检验批评定为不合格的耐久性检验项目，应进行专项评审并对该检验批的混凝土提出处理意见。

8.5.7 钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值，应符合表 8.5.7 的规定。

表 8.5.7 裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值

结构种类	强腐蚀	中腐蚀	弱腐蚀
钢筋混凝土结构	三级 0.15mm	三级 0.20mm	三级 0.20mm
预应力混凝土结构	一级	一级	二级

8.5.8 混凝土工程质量的验收宜符合现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的有关规定。

本规程用词说明

1 为便于在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，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

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用词，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（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准目录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《水泥密度测定方法》 GB/T 208
- 3 《水泥化学分析方法》 GB/T 176
- 4 《水泥细度检验方法 筛析法》 GB/T 1345
- 5 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》 GB/T 1346
- 6 《用于水泥砂浆和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 7 《石膏化学分析方法》 GB/T 5484
- 8 《建筑材料放射性核素限量》 GB 6566
- 9 《水泥比表面积测定方法 勃氏法》 GB/T 8074
- 10 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 11 《混凝土外加剂匀质性试验方法》 GB/T 8077
- 12 《建设用砂》 GB/T 14684
- 13 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 14 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 15 《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》 GB/T 17671
- 16 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 17 《混凝土外加剂中释放氨的限量》 GB 18588
- 18 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 19 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
- 20 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 21 《钢筋混凝土阻锈剂耐蚀应用技术规范》 GB/T 33803
- 22 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 23 《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 24 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 25 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 26 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 27 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 28 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 29 《大体积混凝土施工规范》 GB 50496
- 30 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》 GB/T 50733
- 31 《水泥原料中氯离子的化学分析方法》 JC/T 420

- 32 《砂浆、混凝土防水剂》JC 474
- 33 《混凝土防冻剂》JC 475
- 34 《水泥混凝土养护剂》JC 901
- 35 《混凝土制品用脱模剂》JC/T 949
- 36 《混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂》JC/T 1011
- 37 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23
- 38 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 39 《混凝土用水》JGJ 63
- 40 《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104
- 41 《清水混凝土应用技术规程》JGJ 169
- 42 《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178
- 43 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- 44 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 45 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
- 46 《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328
- 47 《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335
- 48 《混凝土防冻泵送剂》JG/T 377
- 49 《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》JG/T 477
- 50 《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537
- 51 《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424
- 52 《高速铁路隧道工程施工质量验收标准》TB 10753
- 53 《高性能混凝土应用技术规程》CECS 207
- 54 《高性能混凝土配合比设计规程》DBJ04/T 338
- 55 《轨道交通及隧道工程混凝土结构耐久性设计施工》DG/TJ 08
- 56 《城市轨道交通工程技术规范》DG/TJ 08-2232
- 57 《城市轨道交通工程高性能混凝土质量控制技术规程》DGJ32/TJ 206
- 58 《城市轨道交通清水混凝土施工技术规程》DB37/T 5099

山东省工程建设标准

城市轨道交通工程混凝土技术规程

Technical specification for concrete of urban rail transit project

DB××/T××××-20××

条 文 说 明

目 次

1 总则.....	31
2 术语.....	32
3 基本规定.....	33
4 原材料要求.....	34
4.1 水泥.....	34
4.2 矿物掺合料.....	34
4.3 细骨料.....	35
4.4 粗骨料.....	35
4.5 外加剂.....	35
4.6 拌合用水.....	35
4.7 其他.....	36
5 混凝土性能.....	37
5.1 混凝土拌合物性能.....	37
5.2 混凝土力学性能.....	37
5.3 混凝土长期性能和耐久性能.....	37
6 混凝土配合比.....	39
6.1 一般要求.....	39
6.2 配合比设计.....	39
6.3 有特殊要求的混凝土配合比.....	39
7 混凝土质量控制.....	41
7.1 一般规定.....	41
7.2 预制构件混凝土质量控制.....	41
7.3 现浇混凝土质量控制.....	41
7.4 冬期施工质量控制.....	42
7.5 雨暑期施工质量控制.....	42
7.6 有特殊要求的混凝土质量控制.....	42
8 混凝土的质量检验、评定及验收.....	44
8.1 混凝土拌合物性能检验.....	44
8.2 混凝土力学性能检验.....	44
8.3 混凝土长期性能与耐久性能检验.....	44
8.4 混凝土现场检验.....	44
8.5 混凝土质量评定及验收.....	45

1 总则

1.0.1 本条文明确了本规程的编写目的。山东省的轨道交通步入快速发展阶段，继青岛、济南相继开通地铁后，淄博、烟台、潍坊、济宁、临沂 5 个地级市也已提出地铁建设规划。目前，国内现行标准、规范涉及的工程范围更广，北京、上海等省市的地方标准不适于山东省的实际情况，为保证山东省城市轨道交通工程质量，规范轨道交通工程混凝土配合比设计、生产、施工和验收，制定本规程。

1.0.2 本条明确了本规程适用于山东省行政区域内城市轨道交通工程用结构混凝土，而不适用于轻骨料混凝土、聚合物混凝土和沥青混凝土等特殊混凝土。

1.0.3 本条明确了本规程与其它相关标准规范的关系。与本规程有关、难以详尽的技术内容，应符合国家现行标准的有关规定。

2 术语

2.0.1~2.0.2 分别对天然砂和机制砂进行了定义。

2.0.3 试浇筑是混凝土正式浇筑之前必须进行的工作，本条明确了其定义。

2.0.4~2.0.5 用于原材料和外加剂的两类常规检验。

3 基本规定

3.0.3 现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 对环境类别和作用等级的规定不一致, 现行《地铁设计规范》GB 50157 中第 11 章地下结构章节第 11.1.7 条规定“地下结构的耐久性设计宜按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定执行”, 因此本规程统一要求轨道交通工程采用现行《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 进行环境类别和作用等级判定。

3.0.4 按照一般环境耐久性的要求, 参照《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土强度检验评定标准》GB 50107 对轨道交通工程结构提出了最低强度等级要求。混凝土最大水胶比和混凝土原材料性能在满足现行国家标准的同时, 还须满足本规程要求。

4 原材料要求

4.1 水泥

4.1.3~4.1.5 本条为规范水泥质量，提出了水泥比表面积、标准稠度用水量和碱含量的指标要求。

4.1.6 本条规定了水泥熟料中铝酸三钙含量的要求。

4.1.7 本条针对混凝土结构所处环境为氯盐环境时，水泥氯离子含量作出了规定。

4.1.8 依据《混凝土质量控制标准》GB 50164、《预拌混凝土》GB/T 14902、山东省工程建设标准《预拌混凝土质量管理规范》DB37/T 5092，用于生产混凝土的水泥温度不宜高于 60℃。使用温度过高的水泥拌制混凝土，水化速率明显加快，不利于混凝土坍落度控制和早期水化热控制，应限制水泥拌合时的温度。

4.1.9 长期存放的水泥，会吸收空气中的水蒸气而降低活性甚至结块，性能发生改变，不宜继续使用。出厂时间超过三个月的水泥应进行复检，按复检的结果处置。

4.1.10 水泥受潮结块，可视为部分已发生水化反应，使用结块水泥会导致混凝土强度下降，造成严重的安全隐患，严禁用于主体工程。不同生产厂家、品种和强度等级的水泥原材料组成各有差异，从而造成水泥细度、标准稠度用水量、凝结时间、与外加剂适应性等性能的差异，水泥混合使用不利于混凝土质量控制，因此严禁混合使用。

4.1.11 本条规定了水泥检测项目、检验频率要求。水泥配方一般根据季节进行调整，因此规定每 3 个月必须进行一次全项检测。

4.2 矿物掺合料

4.2.1~4.2.2 II级以下的粉煤灰质量不稳定且需水量比大，掺入混凝土中不能起到改善性能的作用，不得用于城市轨道交通工程。掺外加剂时，粉煤灰的掺入不应降低混凝土拌合物流动性能。

4.2.3~4.2.4 本条对配制 C50 及以上强度等级混凝土用粉煤灰作出了规定。烧失量对混凝土性能有影响。

4.2.5 火电厂为降低 NO_x 的排放采取一定的脱硝工艺，过量的脱硝剂产生的氨气被粉煤灰吸附即为脱硝粉煤灰。脱硝粉煤灰与普通粉煤灰在外观上相似，但脱硝灰在混凝土的碱性环境中，所含的 NH₄⁺ 遇到 OH⁻ 会转化为 NH₃ 释放出来，产生强烈的刺鼻气味，不仅影响施工人员的身体健康，且导致混凝土在塑性阶段持续冒泡，硬化后混凝土表面及内部都残存大量气孔，混凝土外观差且强度显著降低。目前尚无标准界定脱硝灰，但试验室可通过混凝土搅拌过程中产生的氨味对脱硝灰进行鉴别。此外，本条规定了粉煤灰氨释放量的指标要求。

4.2.7 本条规定了粉煤灰中氯离子的含量要求。

4.2.8~4.2.9 本条对矿渣粉提出了要求，选用 S95 及以上级别矿渣粉，氧化镁含量太高会影响体积安

定性，因此规定不得超过 10%。

4.2.11 本条规定了粉煤灰、矿粉、硅粉的检验要求。

4.3 细骨料

4.3.1 粗砂因细颗粒不足、粗颗粒偏多，用来配制混凝土和易性差，易离析、泌水、可泵性差；用细砂配制混凝土则需水量大；中砂配制的混凝土具有良好的和易性、粘聚性和可泵性，施工性能好。

4.3.2 山砂含泥量较高、棱角多、粒形差，需水量大；未经淡化的海砂有害离子含量高，对混凝土耐久性危害极大；风化严重的多孔砂粒形差、需水量大，对混凝土的强度和耐久性都不利。轨道交通工程为百年工程，以上三种砂均不得使用。

4.3.3 本条规定了细骨料的检验要求。

4.3.4 本条规定了机制砂和混合砂使用时的要求。

4.4 粗骨料

4.4.1 粗骨料在混凝土中发挥着骨架支撑、传递应力和限制收缩的作用，其品质的优劣直接影响混凝土的力学性能和耐久性能。

4.4.2 选用二级配或多级配骨料，不同粒径的骨料相互填充，可降低骨料的空隙率。

4.4.3~4.4.5 规定了粗细骨料的碱活性要求、以及存放要求等。

4.4.6 本条规定了粗骨料的检验要求。

4.5 外加剂

4.5.1 外加剂满足相关的国家标准和规范是基本要求。

4.5.2 氧化钙类膨胀剂水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 极易溶蚀。有侵蚀性介质的地下工程，尤其海水工程，含有大量 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等离子。这些离子会与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应，形成 CaSO_4 膨胀相或置换产物，这是混凝土抗硫酸盐性能下降和耐久性差的原因之一。因此该类膨胀剂不得用于海水或有侵蚀性水的工程。

4.5.7 本条规定了减水剂、引气剂、膨胀剂、防冻剂、防水剂、防腐剂以及阻锈剂的性能检验要求。

4.6 拌合用水

4.6.2 《混凝土用水标准》JGJ 63 规定，未经处理的海水严禁用于钢筋混凝土和预应力混凝土。

4.6.3 《混凝土用水标准》JGJ 63 规定，混凝土生产企业设备洗刷水、生产废水不宜用于预应力混凝土、装饰混凝土、加气混凝土和暴露于腐蚀环境的混凝土；不得用于使用碱活性或潜在碱活性骨料的混凝土。

4.6.4 本条规定了混凝土拌合用水的检验要求。

4.7 其他

4.7.1~4.7.2 在干燥高温环境中施工的混凝土，宜在新浇筑混凝土表面喷洒水分抑制蒸发剂，其性能指标应符合《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》JG/T 477 的规定。混凝土拆模后，可在硬化混凝土表面喷洒养护剂，性能指标应符合《水泥混凝土养护剂》JC 901 的规定。

4.7.3 脱模剂的性指标应符合《混凝土制品用脱模剂》JC/T 949 的规定要求。

4.7.4 本条规定了地下连续墙等开裂风险较大的混凝土结构所使用合成纤维或钢纤维材料的要求。

4.7.5 本条规定了在车站等高 CO₂ 浓度环境中服役的混凝土表面喷涂抗碳化防护涂料的性能要求。

5 混凝土性能

5.1 混凝土拌合物性能

5.1.1 拌合物性能不仅关系到混凝土能否满足施工要求，而且对混凝土的匀质性、力学性能和耐久性能也有很大的影响，因此混凝土拌合物应满足设计和施工要求。

5.1.2~5.1.4 工程实践的经验总结。

5.1.5 本条规定了混凝土入模时含气量的要求。混凝土适量引气，不仅有利于提高混凝土拌合物的流动性、粘聚性和可泵性，而且可显著改善混凝土抗渗、抗冻融循环等耐久性能。混凝土含气量小会影响其可泵性，而混凝土含气量大时，对混凝土强度会有比较明显的影响，且混凝土强度的离散性会增大。因此对于无抗冻要求的一般环境条件，混凝土含气量不宜超过 4%。

5.1.5 本条规定了混凝土拌合物性能试验方法。

5.2 混凝土力学性能

5.2.1 混凝土的力学性能直接关系到混凝土结构的安全性，应满足设计和施工要求。

5.2.2 根据城市轨道交通混凝土设计要求，混凝土强度等级划分为：C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。

5.2.3 本条规定了混凝土力学性能试验方法。

5.2.4 本条规定了混凝土抗压强度检验评定。

5.3 混凝土长期性能和耐久性能

5.3.1 混凝土质量控制不仅是对混凝土拌合物性能和力学性能的控制，还应包括混凝土长期性能和耐久性能的控制。城市轨道交通工程设计为百年工程，对混凝土的长期性能和耐久性能提出了更高的要求。

5.3.2 混凝土工程的设计使用年限、结构所处的环境类别及作用等级不同，对混凝土耐久性的要求也不同，应按照要求分别确定。

5.3.3 城市轨道交通工程结构构件往往受到多种环境类别共同作用，特别是地下复杂环境中，因此混凝土应分别满足每种环境类别单独作用下的耐久性要求。

5.3.4 本条中碳化环境作用等级的划分依据《混凝土耐久检验评定标准》JGJ/T 193 中表 3.0.3 的规定。28d 碳化深度值相当于在正常大气条件下，即 CO_2 的体积浓度为 0.03%，温度为 $20^\circ\text{C}\pm 3^\circ\text{C}$ 环境条件下，自然碳化 50 年时的碳化深度。

5.3.5 本条中氯盐环境等级划分以及性能指标按照《混凝土结构耐久性设计标准》GB 50476 中的作用等级进行确定。

5.3.6 本条中抗硫酸盐作用等级的划分依据《混凝土结构耐久性设计标准》GB 50476。

5.3.7 抗冻等级的划分与我国的标准规范是协调的，山东省处于中国北方地区，每年最低气温低于0℃的日子超过3个月，对混凝土抗冻等级的要求较高，取F300为混凝土抗冻等级的下限。

其中冻融环境作用等级的划分依据《混凝土结构耐久性设计标准》GB 50476。

5.3.8 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193中将混凝土抗裂性能划分为5个等级。混凝土早期的抗裂性能试验研究表明，单位面积上的总开裂面积在 $100\text{mm}^2/\text{m}^2$ 以内的混凝土抗裂性能好，当单位面积上的总开裂面积超过 $1000\text{mm}^2/\text{m}^2$ 时，混凝土的抗裂性能较差。

5.3.9 本条规定了混凝土应具有较小的混凝土干燥收缩。

5.3.10 本条规定了混凝土的最低抗水渗等级。

5.3.12 本条规定了混凝土长期性能和耐久性能的试验方法。

6 混凝土配合比

6.1 一般要求

6.1.1 混凝土配合比设计时，要考虑混凝土使用年限、环境条件和施工工艺，通过原材料选择、实验室验证、试浇筑后确定符合要求的混凝土配合比。

6.1.2 本条规定了混凝土掺加硅灰的量，矿物掺合料可根据需要适当用于混凝土中，且硅灰可与其他掺合料复配使用。

6.1.3 本条规定了混凝土碱含量，主要依据《混凝土碱含量限制》CECS 53。

6.1.4 根据《混凝土结构设计规范》GB 50010 中对设计使用年限为 100 年混凝土结构氯离子的要求来提出本规定。

6.2 配合比设计

6.2.3 不同工程采用原材料的品种、规格和等级不尽相同，混凝土配合比的设计采用工程实际中应用的原材料，更具有针对性，符合工程实际。

6.2.4 混凝土配合比应满足混凝土耐久性和长期性能要求；未有明确规定混凝土耐久性能指标时，结合工程具体情况，以环境分类、结构构件部位及相应的耐久性能要求作为控制目标。通过配合比控制加强对混凝土耐久性能的控制。工程设计文件未提出混凝土耐久性能设计指标时，混凝土配合比设计应结合工程具体情况，以环境分类、结构构件部位及相应的耐久性能要求作为控制目标。

6.2.5 混凝土最大水胶比、最小胶凝材料用量、最低水泥用量是混凝土保证耐久性能和施工性能的重要参数。本条规定混凝土的最大水胶比、最小胶凝材料用量、最低水泥用量的要求。

6.2.6 对在冻融环境中服役的混凝土应采取掺加引气剂等措施，优化硬化混凝土气泡结构。本条参照《混凝土耐久性结构设计标准》GB/T 50476 给出了在冻融环境中服役的混凝土含气量和气泡间距系数的要求。

6.2.7 本条针对抗裂防渗混凝土配制过程需注意事项和要求作出了规定。

6.2.8 本条主要依据《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005，规定了不同环境条件下混凝土中矿物掺合料的掺量范围。

6.3 有特殊要求的混凝土配合比

6.3.2 防冻混凝土

1 防冻混凝土配合比设计首先应符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55，重点在防冻剂的选择和掺量上。

2 本条针对混凝土的受冻强度提出要求，需满足《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 要求。

3 根据《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 进行的规定。

6.3.3 防腐蚀混凝土

1 防腐蚀混凝土配合比设计首先应符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55，同时考虑环境条件、结构类型和设计要求选择适当的防腐剂种类、掺量及施工工艺等。

2 本条中的腐蚀等级符合《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 中的相关规定。

3 具有碱骨料反应的活性骨料极易引起混凝土膨胀开裂，进而造成混凝土腐蚀，应避免使用该类骨料，最大限度地保证混凝土自身密实完好，防止有害离子侵入。

4 混凝土中矿物掺合料，防腐剂或抗硫酸盐侵蚀的外加剂的使用，以满足混凝土的力学性能和耐久性能指标为主。

6.3.4 清水混凝土

1 清水混凝土配合比设计首先应符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55，同时满足《清水混凝土应用技术规程》JGJ 169。

2 本条对清水混凝土用外加剂提出要求。

3 为了增加浆体的粘聚性和保水性，且降低后期开裂风险，一般采用矿物掺合料。

6.3.5 大体积混凝土

1 大体积混凝土配合比设计尚应符合行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的要求。

2 大体积混凝土的配合比设计除应符合工程设计所规定的强度等级、耐久性、抗渗性、体积稳定性等要求外，尚应符合大体积混凝土施工工艺特性的要求并应符合合理使用材料、降低混凝土绝热温升值的要求。

3~4 根据《大体积混凝土施工规范》GB 50496 中配合比设计种的相关要求提出。

6.3.6 纤维混凝土

1 纤维混凝土配合比设计首先按照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55，尚应符合《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的要求。

2 本条对钢纤维的掺量以及合成纤维的体积率作出了规定。

3 本条参照《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 对钢纤维混凝土粗骨料和纤维长度作出了规定。

7 混凝土质量控制

7.1 一般规定

7.1.2 本条根据《预拌混凝土》GB/T 14902 规定了混凝土坍落度实测值与控制目标值的允许偏差范围。

7.1.3 在混凝土坍落度和扩展度不满足要求时，不可通过加水来改善混凝土状态，因为加水会严重影响混凝土强度的发展。本条对此作出了明确规定。

7.1.5 对首次使用的混凝土配合比，在使用前进行审核和校准是不可省略的。生产使用的原材料与配合比设计所使用的原材料一致是指原材料的品种、规格、强度等级等指标应相同。此外，混凝土出机工作性、混凝土强度以及有特殊要求的性能指标与配合比设计要求应一致。

7.1.6 本条对施工现场混凝土供应提出了要求。

7.2 预制构件混凝土质量控制

7.2.1~7.2.2 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 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等标准的有关规定，预制构件用混凝土工作性应根据产品类别和生产工艺确定。

7.2.3~7.2.4 为了防止施工缝的产生，为了进一步消除塑性裂缝，对混凝土浇筑自流时间、间断时间以及成型后的压面提出了规定。

7.2.5 本条对去浇筑时混凝土的振捣提出了规定。

7.2.6~7.2.7 预制构件浇筑完毕后应进行养护，并可根据预制构件特点和生产任务量选择自然养护、自然养护加养护剂或加热养护方式。此两条规定了具体的养护方式和养护制度，主要依据《混凝土质量控制》GB 50164 和《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 的有关规定。冬季气温低，可适当延长静停时间，降低升温和降温速度。

7.2.8 本条对混凝土强度要求做了明确规定，无视具体设计规定时，混凝土强度需达到一定值。

7.2.9 预制管片浇筑成型后同条件养护试件的抗压强度，以及在水中养护段时间作出了规定。

7.2.10 本条对留置试件作出了规定。

7.3 现浇混凝土质量控制

7.3.1~7.3.2 混凝土的制备与运输应满足混凝土浇筑工艺的要求，并应选用具有生产资质的预拌混凝土生产单位，其质量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。

7.3.3 浇筑前需确保混凝土性能。

7.3.4 混凝土拌合物入模温度过低，对水泥水化和混凝土强度发展不利，混凝土在冬期容易被冻伤；混凝土拌合物入模温度过高，对混凝土硬化过程有影响，加大了控制难度，因此避免高温条件浇筑混凝土是比较合理的。

7.3.5 表面干燥的地基、垫层、木模版具有吸水性，会造成混凝土表面失水过多，容易产生外观质量问题。

7.3.6~7.3.7 为了保证混凝土的质量，抑制混凝土表面裂缝的产生，提高表面质量。

7.3.8 混凝土养护是水泥水化及混凝土硬化正常发展的重要条件，混凝土养护不好往往会前功尽弃。养护应同时注意湿度和温度，原则是：湿度要充分，温度应适宜。本条规定了混凝土养护时间，对于难以潮湿覆盖的结构立面混凝土等，可采用养护剂进行养护，养护效果应通过试验验证。

7.4 冬期施工质量控制

7.4.1~7.4.2 参照现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104，对混凝土骨料提出了相关规定。为防止发生碱骨料反应，保证混凝土的耐久性。提高

7.4.3~7.4.6 参照现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104，提出了混凝土拌合物混温度方法，以及凝土用砂的加热与豹纹的规定；规定了水、砂的加热方式与水泥的储存要求。

7.4.7 本条规定了预拌混凝土冬季施工的搅拌时间。

7.4.8 为了防止混凝土在运输传输过程中上冻，规定了该过程中的保温要求。

7.4.9 为了混凝土保温，以及混凝土外观质量。

7.4.10 采用防水塑料布，是为了防风保水。

7.4.11 本条特别提出了对冬期大体积混凝土浇筑和养护时的温度要求，主要依据《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104。

7.5 雨暑期施工质量控制

7.5.1 降低水泥水化热，可减小混凝土水硬化过程中自身的放热，使混凝土内部温度降低。

7.5.2 本条提出了降低混凝土拌合物温度的方法。

7.5.3~7.5.5 对雨暑期混凝土浇筑前的注意事项，以及浇筑时间作了相关规定，为了防止模板、钢筋温度过高，使混凝土温度升高，造成开裂。此外雨暑期温度高，混凝土浇筑后水分极易散发，应及时进行保温保湿养护，防止裂缝的产生。

7.5.6 为了防止水分散失产生裂缝，影响混凝土质量。

7.5.7~7.5.8 大雨和雷电天气不宜露天浇筑混凝土。当需要施工时，应采取措施确保混凝土的施工质量，并随时做好防雨设施。

7.6 有特殊要求的混凝土质量控制

7.6.2 本条规定了清水混凝土的入泵坍落度

7.6.3~7.6.4 对清水混凝土来说，外观要求较高，本条规定了混凝土制备前需进行外观试验，并对清水混凝土养护作了要求。

7.6.5~7.6.7 本条根据《大体积混凝土施工规范》GB 50496 提出。

7.6.8 纤维混凝土的投料顺序、搅拌方法和搅拌时间应保证纤维分布的均匀和混凝土搅拌的均匀性。

8 混凝土的质量检验、评定及验收

8.1 混凝土拌合物性能检验

8.1.1 在搅拌地点检验为控制性自检，浇筑地点检验为验收检验。

8.1.2 本条参照《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定。

8.1.3 本条规定了混凝土交货检验取样与探路都试验以及试件制作的时间要求。

8.1.4 本条依据《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定提出。

8.1.5 水泥和外加剂及其相容性是影响混凝土凝结时间的主要因素，且不同批次的水泥和外加剂对混凝土凝结时间和含气量的影响可能有变化。

8.2 混凝土力学性能检验

8.2.1~8.2.2 参照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107，提出相应规定，并规定盾构管片取样与留置的要求。

8.2.3 本条根据《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 中的相关规定，提出了对同条件养护试件的取样与留置相应规定。

8.2.4 本条根据《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 中关于弹性模量的规定。

8.3 混凝土长期性能与耐久性能检验

8.3.2 对于需要进行耐久性检验评定的混凝土，其强度且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》GB/T 50107。

8.3.3~8.3.5 参照《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009，提出相应规定。

8.4 混凝土现场检验

8.4.2 本条提出了对结构混凝土抗压强度的检验方法。

8.4.3 本条提出对混凝土碳化深度的检验方法，按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 的规定执行。

8.4.4 本条提出混凝土构件内部缺陷采用的方法，即密实度的检测，主要依据《超声波检测混凝土缺陷》CECS 21。

8.4.5 本条依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204，规定了结构混凝土缺陷的种类及严重程度的规范。

8.4.6 本条主要依据《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082。

8.4.7 本条对普通混凝土结构表面以非受力裂缝宽度以及预应力混凝土结构预应力区混凝土表面的受力裂缝作出了明确要求。

8.4.8 本条针对清水混凝土表面不应存在的缺陷种类进行了说明。

8.5 混凝土质量评定及验收

8.5.5~8.5.6 混凝土的各耐久性检验项目的检验结果以及最终质量评定，仍按《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的检测结果和评定提出相应规定。

8.5.7 本条根据《工业建筑防腐设计规范》GB 50046 的相关规定。
