

上海市工程建设规范

轨道交通及隧道工程混凝土结构
耐久性设计施工技术标准

Standard for durability design and construction of concrete structures
in rail transport and tunnel engineering

DG/TJ 08—2128—2021

J 12444—2021

主编单位：上海市建筑科学研究院（集团）有限公司

批准部门：上海市住房和城乡建设管理委员会

施行日期：2021年11月1日

同济大学出版社

2021 上海

上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定〔2021〕352 号

上海市住房和城乡建设管理委员会
关于批准《轨道交通及隧道工程混凝土结构
耐久性设计施工技术标准》为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市建筑科学研究院(集团)有限公司主编的《轨道交通及隧道工程混凝土结构耐久性设计施工技术标准》，经我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为 DG/TJ 08—2128—2021，自 2021 年 11 月 1 日起实施。

本规范由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，上海市建筑科学研究院(集团)有限公司负责解释。

特此通知。

上海市住房和城乡建设管理委员会

二〇二一年五月三十一日

前 言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2018 年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划〉的通知》(沪建文〔2017〕898 号)的要求,本标准编制组在深入调研、认真总结实践经验、参考国外先进标准和广泛征求意见的基础上,对《轨道交通及隧道工程混凝土结构耐久性设计施工技术规范》(DG/TJ 08—2128—2013)进行了修订。

本标准共 7 章,主要内容有:总则、术语、基本规定、材料技术要求、耐久性设计及构造要求、生产、施工及验收、使用阶段维护与检测要求。

本标准主要结合轨道交通及隧道工程应用现状、原材料情况、现行技术措施及与现行标准的协调性等方面进行修订,修订的主要技术内容是:

1. 修改了混凝土原材料的技术要求。
2. 修改了混凝土保护层厚度指标。
3. 补充了混凝土配合比设计要求。
4. 增加了混凝土抗裂技术措施。
5. 增加了混凝土生产和施工的技术要求。
6. 修改了验收批次要求。
7. 更新了原材料和混凝土性能参数及其测试方法。

各单位及相关部门在执行本标准过程中,如有意见和建议,请反馈至上海市交通委员会(地址:上海市世博村路 300 号 1 号楼;邮编:200125; E-mail: shjtshzxh@126.com),上海市建筑科学研究院(集团)有限公司(地址:上海市宛平南路 75 号;邮编:200032; E-mail: jkyclg@srihs.com.cn),或上海市建筑建材业市场管理总站

(地址:上海市小木桥路 683 号;邮编:200032; E-mail: shgche@163.com),以供修订时参考。

主 编 单 位:上海市建筑科学研究院(集团)有限公司

参 编 单 位:上海申通地铁集团有限公司

上海市建科学研究院有限公司

上海市隧道工程轨道交通设计研究院

同济大学

上海申通轨道交通研究咨询有限公司

上海建科检验有限公司

上海城建物资有限公司

上海建工建材科技集团股份有限公司

武汉源锦建材科技有限公司

埃肯国际贸易(上海)有限公司

上海兆捷实业发展有限公司

上海申昆混凝土集团有限公司

上海钱鑫混凝土有限公司

上海文生新型建材有限公司

上海城投隧道建设有限公司

上海城投水务工程项目管理有限公司

上海市市政工程设计研究院集团

上海市城建设计研究院集团有限公司

上海陆家嘴金融贸易区开发股份有限公司

宁波科鑫钢铁控制工程有限公司

宁波中淳高科股份有限公司

主要起草人:俞海勇 王 琼 陆 明 刘 朝 陈嘉敏

李欢欢 朱敏涛 王秀志 鞠丽艳 蒋正武

吴 凯 张 贺 朱亚楠 刘朝明 苑立东

纪克坤 钱 平 蒋 鑫 余学良 程先海

周 渊 杨 磊 司家宁 王诗雨 孙艾薇

范 倩 刘 楠 汤 炼 吴 猛 顾 贤
韩凤兰 许 东 白占伟 黄 斌 董禹路
吴欣航 许国林 谢 明 包鹤立 陈铭辉
主要审查人:施惠生 朱祖夏 陈 兵 刘卫东 李珊珊
谷坤鹏 左俊卿

上海市建筑建材业市场管理总站

上海市住房和城乡建设管理委员会信息公开
浏览专用

上海市住房和城乡建设管理委员会信息公开
浏览专用

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	4
4	材料技术要求	7
4.1	一般规定	7
4.2	胶凝材料	7
4.3	骨 料	8
4.4	外加剂	9
4.5	其他材料	10
5	耐久性设计及构造要求	11
5.1	混凝土保护层厚度及强度等级	11
5.2	混凝土配合比设计要求	16
5.3	混凝土耐久性性能技术要求	20
5.4	构造要求	24
5.5	混凝土结构抗裂控制措施	24
5.6	耐久性设计附加措施	25
5.7	杂散电流预防附加措施	26
6	生产、施工及验收	28
6.1	一般规定	28
6.2	预制构件生产技术要求	29
6.3	混凝土施工技术要求	31
6.4	验 收	34
7	使用阶段维护与检测要求	36

附录 A 混凝土耐久性检测评估方法	37
本标准用词说明	40
引用标准名录	41
条文说明	43

上海市住房和城乡建设管理委员会信息公开
浏览专用

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Basic requirements	4
4	Technical requirements of materials	7
4.1	General requirements	7
4.2	Cementing materials	7
4.3	Aggregates	8
4.4	Admixture	9
4.5	Other materials	10
5	Durability design and construction requirements	11
5.1	Cover thickness and strength grade of concrete	11
5.2	Mix proportion design requirements	16
5.3	Durability requirements	20
5.4	Construction requirements	24
5.5	Control measures for crack resistance of concrete structures	24
5.6	Additional measures for durability	25
5.7	Preventive measures of stray current	26
6	Production, construction and acceptance	28
6.1	General requirements	28
6.2	Technical requirements of production for prefabricated component	29
6.3	Technical requirements of concrete construction	31
6.4	Acceptance	34

7 Maintenance and detection requirements	36
Appendix A Methods for detection and evaluation of concrete durability	37
Explanation of wording in this standard	40
List of quoted standards	41
Explanation of provisions	48

上海市住房和城乡建设管理委员会信息公开
浏览专用

1 总 则

1.0.1 为规范本市轨道交通及隧道工程混凝土结构耐久性设计和施工要求,保证轨道交通及隧道工程混凝土结构质量,特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于本市轨道交通及隧道工程混凝土结构在一般环境或氯化物环境作用下的耐久性设计和施工。

1.0.3 本标准规定的耐久性设计和施工要求,为结构达到设计使用年限并具有必要保证率的最低要求。

1.0.4 轨道交通及隧道工程混凝土结构的耐久性设计与施工,除应符合本标准外,尚应符合国家、行业和本市现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 混凝土结构耐久性 durability of concrete structure

在环境作用和正常维护、使用条件下,混凝土结构或构件在设计使用年限内保持其适用性和安全性的能力。

2.0.2 环境作用 environmental action

温、湿度及其变化及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构的作用。

2.0.3 一般环境 atmospheric environment

无冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质作用的混凝土结构或构件的暴露环境。

2.0.4 氯化物环境 chloride environment

混凝土结构或构件受到氯盐侵入作用并引起内部钢筋锈蚀的暴露环境,具体包括海洋氯化物环境和除冰盐等其他氯化物环境。

2.0.5 设计使用年限 design working life

设计规定的结构或结构构件不需要进行大修即可按预定目的使用的年限。

2.0.6 混凝土保护层厚度 concrete cover to reinforcement

从混凝土表面到钢筋(包括纵向钢筋、箍筋和分布钢筋)公称直径外边缘之间的最小距离;对后张法预应力筋,为套管或孔道外边缘到混凝土表面的距离。

2.0.7 氯离子扩散系数 chloride diffusion coefficient

表示氯离子在混凝土中从高浓度区向低浓度区扩散速率的参数。

2.0.8 附加防腐蚀措施 additional protective measures

在改善混凝土密实性、增加保护层厚度和利用防排水措施等常规手段的基础上,为进一步提高混凝土结构耐久性所采取的补充措施,包括混凝土表面涂层、环氧涂层钢筋、钢筋阻锈剂和阴极保护等其他措施。

2.0.9 抗裂专项设计 special anti-cracking design

针对易开裂、有特殊要求的混凝土结构,从原材料、配合比设计、构造、施工等环节开展的混凝土抗裂性能提升专项举措。

3 基本规定

3.0.1 轨道交通及隧道工程混凝土结构的耐久性应在满足结构设计要求的前提下,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设计;同一混凝土结构的不同构件或同一构件中不同部位所处的局部环境条件有差异时,应分别进行设计。

3.0.2 混凝土结构应按照便于施工、检查和维护并能减少环境因素对结构的不利影响的原则进行耐久性设计。混凝土结构处于严重腐蚀环境时,应采取必要的附加防腐措施。

3.0.3 轨道交通及隧道工程混凝土结构的耐久性设计应包括下列内容:

- 1 结构的设计使用年限、环境类别及作用等级。
- 2 有利于减轻环境作用的构造形式、布置和构造。
- 3 结构耐久性要求的混凝土原材料品质、配合比参数限值以及耐久性指标要求。
- 4 结构耐久性要求的构造措施。
- 5 与结构耐久性有关的裂缝控制、主要施工控制及验收要求。
- 6 针对严酷环境作用的多重防护措施与防腐附加措施。
- 7 结构使用阶段的维护与检测要求。

3.0.4 厚度大于 800 mm 明挖车站的底板(含底梁)、暗挖车站的底梁和顶梁以及厚度大于 500 mm(含)的车站、区间(含折返线)的侧墙和顶板(或拱部衬砌),应按大体积混凝土的有关规定采取抗裂控制措施。

3.0.5 宜针对地下车站侧墙、顶板等易出现开裂、渗水现象的部位进行混凝土结构抗裂专项设计。抗裂专项设计宜包括抗裂构

造措施,混凝土的收缩及温度等引起开裂的控制措施。

3.0.6 大体积混凝土或有抗裂性要求的混凝土结构,可采用 60 d 或设计规定龄期的混凝土抗压强度值作为检验评定混凝土强度的依据。

3.0.7 轨道交通及隧道工程结构的设计使用年限应符合设计要求;若设计无要求,应符合下列规定:

1 轨道交通的地下结构、高架结构及隧道工程整体设计使用年限不应少于 100 年。

2 附属地面建筑结构的整体设计使用年限不应少于 50 年。

3.0.8 轨道交通及隧道工程混凝土结构所处的环境类别和环境作用等级的确定,应根据工程地质勘察报告和环境调查报告等相关资料,按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 执行。无相关环境调查资料时,可按表 3.0.8 执行。

表 3.0.8 混凝土结构所处的环境类别和环境作用等级划分

环境类别	作用等级	环境条件	结构构件示例
Ⅰ类环境	I-A	室内干燥环境	隧道内部、高架车站以及附属地面建筑结构内部处于常年干燥环境的构件
		长期潮湿环境	处于水下或长期浸渍型土体的隧道、道床构件、地下车站结构、长期接触型土体的高架结构与附属地面建筑结构的基础构件
	I-B	非干湿交替的室内潮湿环境	隧道内部、高架车站以及附属地面建筑结构内部处于中、高湿度环境中的构件
		非干湿交替的露天环境	高架、附属地面建筑和高架段道床结构中暴露于大气中,但不受雨淋、不接触水的构件
	I-C	干湿交替环境	隧道、道床结构中接触有干湿交替土体的构件、隧道一侧接触水、另一侧干燥的薄壁构件、高架、附属地面建筑结构中侧壁受雨淋和接触水的构件

续表 3.0.8

环境类别	作用等级	环境条件	结构构件示例
氯化物环境	B=C	较低氯离子浓度	处于含有氯化物的水下或接触含有较低浓度氯化物长期湿润土体的隧道、道床构件，接触含有较低浓度氯化物长期湿润土体的高架结构与附属地面建筑结构的基座构件
	B=D	较高氯离子浓度	处于含有氯化物的水下或长期接触含有较高浓度氯化物湿润土体的隧道、道床构件，长期接触含有较高浓度氯化物湿润土体的高架结构与附属地面建筑结构的基座构件
	B=E	高氯离子浓度、咸水或干湿交替引起氯离子积累	隧道、道床结构中接触含有高浓度氯化物的构件；隧道、道床结构中接触含有氯化物且有干湿交替土体的构件；隧道一面接触含有氯化物的水，另一面干燥的薄壁构件

注：①氯化物环境中氯离子浓度的高低以氯离子浓度为 $100\text{ mg/l} \sim 500\text{ mg/l}$ 为高为 $501\text{ mg/l} \sim 5000\text{ mg/l}$ ，高为大于 5000 mg/l ；②构件周围水、浸没水（或土）中不存在干湿交替或接触大气，可按环境作用等级 B=C 考虑。

3.0.9 轨道交通地下结构（含车站与区间）及隧道结构中壁厚小于 350 mm 的构件视为薄壁构件。对于壁厚大于 600 mm 、一面临水、另一面干燥的构件，可按照长期湿润环境考虑；对于壁厚 $350\text{ mm} \sim 600\text{ mm}$ 的构件，由设计人员根据具体情况确定作用等级。

3.0.10 对于存在冻融或其他化学腐蚀的环境，由设计人员根据具体情况确定作用等级。

3.0.11 在长期潮湿或接触水的环境条件下，轨道交通及隧道工程混凝土结构的耐久性设计应考虑混凝土可能发生的碱-骨料反应、钙矾石延迟反应和软水对混凝土的溶蚀，在设计中采取相应的措施。

3.0.12 存在杂散电流腐蚀的轨道交通及隧道工程结构，应综合考虑杂散电流腐蚀对耐久性的影响。

4 材料技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 所选用原材料除应符合国家现行相关标准的规定外,还应考虑环境条件的影响,具有所需的耐久性能,满足设计要求。

4.1.2 原材料在运输和存储过程中应设标识,按品种、规格分别堆放,不得混杂,并防止材料被污染。

4.2 胶凝材料

4.2.1 宜选用普通硅酸盐或硅酸盐水泥,其品质应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的规定,水泥熟料中 C_3A 含量不应大于 8%,水泥比表面积不应超过 $400\text{ m}^2/\text{kg}$,碱含量不应大于 0.60%。

4.2.2 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596)的规定,宜采用 F 类Ⅱ级或Ⅰ级。

4.2.3 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)的规定,应采用 S95 或更高级别。

4.2.4 硅粉应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》(GB/T 27690)的规定,且其二氧化硅含量不应小于 90%,比表面积(BET 法)不应小于 $18\text{ m}^2/\text{g}$,氯离子含量不应大于 0.08%。

4.2.5 若采用复合胶凝材料或复合掺合料,必须经过有资质的第三方认证。所选用的原材料种类较多时,宜采用工厂集中配制的方式进行生产。

4.3 骨 料

4.3.1 粗骨料应选用级配合理、粒形良好、质地坚固的洁净碎石。粒径宜为 5 mm—25 mm 连续级配。碎石除应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定外，还应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 粗骨料技术要求

项目	强度等级	
	≥C55	C50—C80
含泥量(%)	≤0.5	≤1.0
泥块含量(%)	≤0.5	≤0.3
针、片状颗粒含量(%)		≤10
坚固性指标(%)	≤5	≤8
氯离子含量(%)	≤0.02	
吸水率(%)	≤1	

4.3.2 细骨料应使用中砂，不得单独使用细砂和特细砂，不得使用海砂、山砂及风化严重的多孔砂。中砂除应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的要求外，还应符合表 4.3.2 的规定。细度模数应为 2.3—2.9，且符合Ⅱ区颗粒级配要求。

表 4.3.2 细骨料技术要求

项目	强度等级	
	≥C55	C50—C80
天然砂	含泥量(%)	≤2.0
	泥块含量(%)	≤0.5
	坚固性指标(%)	≤5

续表 4.3.2

项目		强度等级	≥C55	C50~C30
人工砂 或混合砂	石粉含量 (%)	MB<1.4 或合格	≤5.0	≤7.0
		MB≥1.4 或不合格	≤2.0	≤3.0
	泥块含量 (%)		≤0.5	≤1.0
	压碎值指标 (%)		≤5	

4.3.3 预应力混凝土、钢纤维混凝土、装配整体式混凝土结构、设计年限 100 年或以上的混凝土结构及其他有特殊要求的钢筋混凝土结构用细骨料的氯离子含量不应大于 0.01%。附属设施或设计年限小于 100 年的混凝土结构用细骨料的氯离子含量不应大于 0.02%。

4.3.4 宜选用不具有碱活性的骨料。当骨料存在潜在的碱-硅酸盐反应危害时,应控制混凝土中碱含量不超过 3.0 kg/m³,并采取能抑制碱-骨料反应的有效措施,经试验验证后使用;当骨料存在潜在的碱-碳酸盐反应危害时,不应应用该混凝土骨料。

4.4 外加剂

4.4.1 外加剂的质量和和使用要求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) 和其他国家及行业标准的规定。

4.4.2 应根据混凝土性能要求,合理选择与混凝土原材料相容的外加剂。

4.4.3 轨道交通及隧道工程混凝土宜采用有防收缩功能的聚羧酸高性能减水剂。

4.4.4 现浇混凝土用减水剂的混凝土减水率宜大于 18%,预制构件混凝土用减水剂的混凝土减水率宜大于 22%。

4.4.5 混凝土中采用的化学外加剂中的氯离子(按折固含量计)应小于 0.6%。

4.5 其他材料

4.5.1 混凝土拌和用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的要求。

4.5.2 纤维材料应具有与混凝土结合良好的性能,宜采用合成纤维或钢纤维,应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 及现行行业标准《混凝土用钢纤维》YB/T 131、《钢纤维混凝土》JG/T 472 和《纤维混凝土应用技术规程》JG/T 221 的规定。

4.5.3 环氧涂层钢筋应符合现行行业标准《环氧涂层钢筋》JG/T 502 的要求。

4.5.4 当采用具有抑制温升、微膨胀功能的防裂抗渗材料或其他材料时,应具有与混凝土良好的相容性能,且通过检验验证,相关性能符合国家和行业标准及设计要求。

5 耐久性设计及构造要求

5.1 混凝土保护层厚度及强度等级

5.1.1 一般环境或较低氯离子浓度环境条件下的混凝土结构保护层厚度应满足钢筋的防锈、耐火以及与混凝土之间粘结力传递要求,且其设计值不得小于钢筋的公称直径。最低混凝土强度等级及保护层最小厚度应符合表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 一般环境或较低氯离子浓度环境条件下最低混凝土强度等级及保护层最小厚度

结构类别				最低混凝土强度等级	保护层最小厚度 ^a (mm)	
混凝土结构	地下结构	基础	迎土/水面	C35	55	
			背土/水面		55	
		叠合墙	迎土/水面	C35	55	
			背土/水面		35	
		复合墙	迎土/水面	C35	55	
			背土/水面		55	
	板、梁、柱、桁架			C35	60	
	明挖法结构	顶、底板	迎土/水面	C35	40	
			背土/水面		35	
		侧墙	迎土/水面	C35	30	
			背土/水面		35	
			复合墙	迎土/水面	C35	40
				背土/水面		35

续表 5.1.1

结构类别				最低混凝土强度等级	保护层最小厚度 ^a (mm)
地下结构	明挖法结构	中板	上、下侧	C35	30
		顶、底梁	混凝土/水面	C35	40
			背土/水面		30
		中板梁	上、下侧	C35	30
		柱		C30	30
	盾构法结构	站台板	上、下侧	C30	30
		衬砌混凝土管片	混凝土/水面	C50(C50) ^b	35
			背土/水面		25
		连接通道	混凝土/水面	C30	40
			背土/水面		35
		道床	上、下侧	C30	30
	沉管法结构	顶、底板	混凝土/水面	C35	40
			背土/水面		35
		侧墙	混凝土/水面	C35	40
			背土/水面		35
		中隔墙	左、右侧	C35	30
	箱涵顶进法结构	衬砌混凝土管节	混凝土/水面	C50	35
			背土/水面		25
		顶、底板	混凝土/水面	C35	40
			背土/水面		35
		侧墙	混凝土/水面	C35	40
	沉井法结构	顶、底板	混凝土/水面	C35	40
			背土/水面		35
		侧墙	混凝土/水面	C35	40
			背土/水面		35
		中隔墙	左、右侧	C35	30

续表 5.1.1

结构类别				最低混凝土强度等级	保护层最小厚度 ^a (mm)	
地上结构	高架车站 框架式结构	建筑梁、柱	—	C30	30	
		建筑板		C30	25	
		灌注桩		C35	60	
	高架车站 桥梁式结构及高架 区间结构	混凝土主梁	—	C40	≥40 ^b ,且≥50(梁面及侧面固定少钢筋区段); ≥30(普通钢筋)	
		盖梁		C30	35	
		立柱、桥台		C30	35	
		承台		C35	35	
					100	
		整体道床		C30	35	
		灌注桩		C35	60	
	设计年限 为 100 年 的 附 属 建筑	建筑梁、柱	—	C30	30	
		建筑板		C30	25	
		建筑基础		C35	60	
		浅基础		C35	60	
	设计年限 为 50 年 的 附 属 建筑	建筑梁、柱	—	C30	20	
		建筑板		C30	15	
		建筑基础		C30	50	
		浅基础			40	

注:^a 本表中的混凝土最小保护层厚度已包括施工误差。

^b 括号内的数值为双面配片的混凝土最低强度等级。

^c d 为预应力管径的直径。

^d 承台下表面混凝土保护层应设置钢筋网片。

5.1.2 较高或高氯离子浓度环境条件下最低混凝土强度等级及保护层最小厚度应符合表 5.1.2 的规定。

表 5.1.2 较高或高氯离子浓度环境条件下最低混凝土
强度等级及保护层最小厚度

结构类别				最低混凝土 强度等级	保护层最小 厚度 ^a (mm)	
地下 结构	地下 连续墙	单层墙	迎土/水面	C45	60	
			背土/水面		55	
		叠合墙	迎土/水面	C45	60	
			背土/水面		55	
		复合墙	迎土/水面	C40	60	
			背土/水面		55	
	锚杆灌注桩			C30	65	
	明挖结 构	顶、底板	迎土/水面	C45	45	
			背土/水面		35	
		侧墙	迎土/水面	C45	35	
			叠合墙		35	
			背土/水面		35	
			复合墙		45	
			背土/水面		35	
		中梁	上、下侧	C45	30	
		边、底梁	迎土/水面	C45	45	
			背土/水面		30	
		中梁梁	上、下侧	C45	30	
		柱			C30	30
		平台板	上、下侧	C30	20	
	盾构结 构	钢筋混凝土 管片	迎土/水面	C55(C50) ^b	40	
			背土/水面		25	
		连接通道	迎土/水面	C45	45	
			背土/水面		35	
		进车	上、下侧	C30	30	
	沉管结 构	顶、底板	迎土/水面	C45	45	
			背土/水面		35	

续表 6.1.2

结构类别				最低混凝土强度等级	保护层最小厚度 ^a (mm)
地下结构	沉管法结构	侧墙	迎土/水面	C45	45
			背土/水面		35
		中隔墙	左、右侧	C45	30
	顶管法结构	钢筋混凝土管节	迎土/水面	C50	40
			背土/水面		35
	箱涵顶进法结构	顶、底板	迎土/水面	C45	45
			背土/水面		35
		侧墙	迎土/水面	C45	45
			背土/水面		35
		中隔墙	左、右侧	C45	30
	沉井法结构	顶、底板	迎土/水面	C45	45
			背土/水面		35
		侧墙	迎土/水面	C45	45
			背土/水面		35
地上结构	高架车站、框架式结构	顶板梁、柱	—	C30	30
		建筑板		C30	25
		梁、柱板		C45	45
	高架车站、桥梁式结构及高架区间结构	钢筋混凝土主梁	—	C40	200 ^b ,且≥50%顶面及侧面预应力侧墙≥50%(底面预应力侧墙)35(普通侧墙)
		盖梁	—	C30	35
		立柱、桥台	—	C30	45
		承台	上表面、侧面	35	45
			下表面 ^c		100

续表 5.1.2

结构类别				最低混凝土强度等级	保护层最小厚度 ^a (mm)	
地上结构	高架车站桥墩式结构及高架区间结构	整体道床	—	C30	35	
		灌注桩		C35	65	
	设计年限为100年的附属建筑	建筑梁、柱	—	C30	30	
		建筑板		C30	30	
		建筑基础		桩基础 或基础	C35	65
						65
	设计年限为50年的附属建筑	建筑梁、柱	—	C30	20	
		建筑板		C30	15	
		建筑基础		灌注桩 或基础	C30	55
						45

注：^a 本表中的混凝土最小保护层厚度已包括施工层厚度。

^b 括号内的数据为双排管片的混凝土最低强度等级。

^c d 为预应力管径的直径。

^d 承台下表面混凝土保护层应设置垫层网片。

5.2 混凝土配合比设计要求

5.2.1 一般环境或较低氯离子浓度环境条件下不同结构构件的混凝土主要耐久性配合比参数应符合表 5.2.1 的要求。

表 5.2.1 一般环境或较低氯离子浓度环境条件下混凝土水胶比和胶凝材料用量^a

结构部位			最低强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 ^b (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 ^b (kg/m ³)
地下结构	明挖结构	地下连续墙、桩孔灌注桩	C35	0.50(0.45)	300(350)	400(420)

续表 6.2.1

结构部位			最低强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 ^b (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 ^b (kg/m ³)
地下结构	明挖结构	顶板、中板、底板、侧墙、中纵梁、抗滑、侧墙	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e
		桩	C40	0.43(0.40) ^c	360(400) ^d	440(450) ^e
		站台板	C30	0.45	350	420
	盾构结构	管片	C55	0.35(0.33) ^c	380(400) ^d	520(520) ^e
		连接缝处	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e
		止水	C30	0.45	350	420
	沉管结构	顶板、侧板、侧墙、中纵梁	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e
	顶管结构	管节	C50	0.35(0.33) ^c	380(400) ^d	500(520) ^e
	箱涵顶进结构	顶板、侧板、侧墙、中纵梁	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e
	沉井结构	顶板、侧板、侧墙、中纵梁	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e
地上结构	高架车站结构	建筑梁、柱	C30	0.45	350	420
		建筑板	C30	0.45	350	420
		灌注桩	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e
	高架车站桥梁式结构及高架区间结构	钢筋混凝土梁	C40	0.43	360	440
		盖梁	C40	0.43	360	440
		立柱、桥台	C40	0.43	360	440
		承台	C35	0.45	350	420
		整体道床	C40	0.43	360	440
		灌注桩	C35	0.45(0.43) ^c	350(360) ^d	420(430) ^e

续表 5.2.1

结构部位			最低强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 ^a (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 ^b (kg/m ³)
地上结构	设计年限为 100 年的附属建筑	建筑梁、柱	C30	0.45	350	420
		建筑板	C30	0.45	350	420
		建筑基础	C35	0.45(0.43) ^c	350(C30) ^c	420(430) ^c
	设计年限为 50 年的附属建筑	建筑梁、柱	C30	0.45	350	420
		建筑板	C30	0.45	350	420
		建筑基础	C30	0.45	350	420

注：^a 水胶比和胶凝材料用量应以满足结构设计所需提出的各项指标为前提。

^b 最小和最大胶凝材料用量以强度等级 C30 的普通硅酸盐水泥为基准，若使用更高标号的水泥，可根据实际情况调整。

^c 括号内的数值为按氯离子浓度环境条件下混凝土所对应的最大水胶比、最小和最大胶凝材料的用量。

5.2.2 处于较高或高氯离子浓度环境条件下不同结构构件的混凝土主要耐久性配合比参数应符合表 5.2.2 的要求。

表 5.2.2 较高或高氯离子浓度环境条件下混凝土水胶比和胶凝材料用量^a

结构部位			最低强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 ^a (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 ^b (kg/m ³)
地下结构	地下连续墙	单层墙、叠合墙	C45	0.40	400	480
		复合墙	C40	0.43	380	440
	钻孔灌注桩		C40	0.43	380	440
	明挖法结构	顶板、中板、底板、侧墙、中板梁、底板梁、侧墙	C45	0.40	400	480
		柱	C40	0.43	380	440
		站台板	C30	0.45	350	420

续表 6.2.2

结构部位			最低强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 ¹ (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 ¹ (kg/m ³)
地下结构	盾构法结构	管片	C55	0.33	400	520
		连接通道	C45	0.40	400	480
		进车	C30	0.45	350	420
	沉管法结构	顶板、底板、侧墙、中隔壁	C45	0.40	400	480
		管节	C50	0.33	400	520
	隧道顶进法结构	顶板、底板、侧墙、中隔壁	C45	0.40	400	480
	沉井法结构	顶板、底板、侧墙、中隔壁	C45	0.40	400	480
		井壁	C30	0.45	350	420
地上结构	高架车站和架式结构	建筑梁、柱	C30	0.45	350	420
		建筑板	C30	0.45	350	420
		梁柱板	C45	0.40	400	480
	高架车站桥墩式结构及高架区间结构	钢筋混凝土主梁	C40~C50	0.43	380	440
		盖梁	C45~C50	0.43	380	440
		桥台、桥墩	C30	0.43	380	440
		承台	C35	0.45	350	420
		整体道床	C40	0.43	380	440
		梁柱板	C45	0.40	400	480
		建筑梁、柱	C30	0.45	350	420
	设计年限为100年的附属建筑	建筑板	C30	0.45	350	420
		建筑基础	C45	0.40	400	480
		建筑梁、柱	C30	0.45	350	420
		建筑板	C30	0.45	350	420
		建筑基础	C40	0.43	380	440

注:1° 水胶比和胶凝材料用量应以满足结构设计对混凝土的各项指标为前提。

2° 最小和最大胶凝材料用量以强度等级 42.5 的普通硅酸盐水泥为基准,若使用更高标号的水泥,可根据实际情况调整。

5.2.3 混凝土应按高性能混凝土的要求配制,并应在不同季节作相应调整。

5.2.4 混凝土中应掺用粉煤灰或矿粉等矿物掺和料或矿物复合掺和料,一般环境下的掺量总和不宜小于总胶凝材料的 30%,氯化物环境下的掺量不宜小于总胶凝材料的 40%。混凝土配合比中最小水泥用量宜为 220 kg/m^3 ,掺合比例在不同季节宜作调整。

5.2.5 混凝土配合比中胶凝材料水化热 3 d 不宜大于 220 kJ/kg ,水化热 7 d 不宜大于 280 kJ/kg 。

5.2.6 混凝土中氯离子含量应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010)、《预制混凝土衬砌管节》(GB/T 22082)的规定。

5.2.7 混凝土原材料引入的碱含量不宜大于 3.0 kg/m^3 。

5.2.8 混凝土的配合比设计和配制,在满足施工和易性及强度等级要求外,应以混凝土抗氯离子渗透性能、抗裂性能和抗碳化性能为主要控制指标。

5.2.9 当使用人工砂或混合砂时,应适当增加减水剂用量,降低混凝土单方用水量,调节混凝土拌合物性能,并符合现行行业标准《人工砂混凝土应用技术规程》(JGJ/T 241)和现行上海市工程建设规范《人工砂在混凝土中的应用技术规程》(DG/TJ 08—506)的规定。

5.3 混凝土耐久性性能技术要求

5.3.1 一般环境或较低氯离子浓度环境条件下混凝土耐久性性能指标要求应符合表 5.3.1 的要求。

5.3.2 处于较高或高氯离子浓度环境条件下混凝土耐久性性能指标要求应符合表 5.3.2 的要求。

表 5.3.1 一般环境或较低氯离子浓度环境条件下混凝土耐久性性能指标

结构部位			混凝土抗离子渗透性能			抗碳化性能	抗裂性能
			电通量 (C)	氯离子扩散 系数($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)		快速碳化深度 (mm)	抗裂等级
				自然扩散 法指标值	RCM 法 指标值		
地下结构	明挖结构	地下连续墙、 桩孔、灌注桩	≤ 2000	—	—	—	L·Ⅲ
		梁、板	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L·Ⅲ
		侧墙	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L·Ⅲ
		柱	≤ 2000	—	—	—	L·Ⅲ
		顶板、井	≤ 2000	—	—	≤ 20	L·Ⅲ
	盾构结构	管片	≤ 3000	—	≤ 3	≤ 10	L·Ⅴ
		连接通道	≤ 2000	—	—	—	L·Ⅲ
		止水	≤ 2000	—	—	—	L·Ⅲ
	沉管结构	板、侧墙	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L·Ⅲ
	顶管结构	管节	≤ 3000	≤ 1.8	≤ 3	≤ 10	L·Ⅴ
	箱涵顶进 结构	管、侧墙	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L·Ⅲ
	沉井结构	板、侧墙	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L·Ⅲ
地上结构	高架车站 框架式结构	建筑梁、柱	≤ 2000	—	—	—	L·Ⅲ
		建筑板	—	—	—		
		灌注桩	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4		
	高架车站 桥梁式结构及高架 区间结构	混凝土主梁	≤ 2000	—	—	—	L·Ⅲ
		盖梁					
		立柱、桥台					
		整体道床					
		承台					
	灌注桩	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4			

续表 5.3.1

结构部位			混凝土抗离子渗透性能		抗碳化性能	抗裂性能	
			电通量 (C)	氯离子扩散 系数($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)		快速碳化 深度 (mm)	抗裂 等级
				自然扩散 法指标值	RCM法 指标值		
地上结构	设计年限 为 100 年的 附属建筑	建筑梁、柱	≤ 2000	—	—	L·B	
		建筑板					
		建筑基础	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4		
	设计年限 为 50 年的 附属建筑	建筑梁、柱	≤ 2400	—	—	L·B	
		建筑板					
		建筑基础					

表 5.3.2 较高或高氯离子浓度环境条件下氯化物环境下
混凝土耐久性性能指标

结构部位		混凝土抗离子渗透性能		抗碳化性能	抗裂性能		
		电通量 (C)	氯离子扩散系数($10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$) 自然扩散法指标值RCM法指标值	快速碳化深度 (mm)	抗裂等级		
地下结构	明挖结构	地下连续墙、钻孔灌注桩	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L·B
		梁、板	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L·B
		侧墙	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L·B
		柱	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L·B
		排风井	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	≤ 20	L·B
		管沟	≤ 1000	≤ 1.2	≤ 3	≤ 10	L·B
	盾构结构	联络通道	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L·B
		道床	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L·B

续表 5.3.2

结构部位			混凝土抗离子渗透性能			抗碳化性能	抗裂性能
			电通量 (C)	氯离子扩散系数 ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)		快速碳化深度 (mm)	抗裂等级
				自然扩散法指标值	RCM 法指标值		
地下结构	顶管结构	板、侧墙	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B
	顶管结构	管节	≤ 1000	≤ 1.2	≤ 3	≤ 1.0	L~V
	船舶渠进法结构	板、侧墙	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B
	沉井结构	板、侧墙	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B
地上结构	高架车站框架式结构	建筑梁、柱	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L~B
		建筑板	—	—	—	—	—
		灌注桩	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B
	高架车站桥墩式结构及高架区间结构	混凝土主梁	—	—	—	—	—
		盖梁	—	—	—	—	—
		立柱、桥墩	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L~B
		桥面	—	—	—	—	—
		桥体连梁	—	—	—	—	—
	设计年限为 100 年的附属建筑	灌注桩	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B
		建筑梁、柱	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L~B
		建筑板	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 4	—	L~B
		建筑基础	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B
	设计年限为 50 年的附属建筑	建筑梁、柱	≤ 2000	≤ 1.8	≤ 5	—	L~B
		建筑板	—	—	—	—	—
		建筑基础	≤ 1500	≤ 1.5	≤ 3.5	—	L~B

5.3.3 掺纤维混凝土的抗氯离子渗透性能应采用自然扩散法进行测试。

5.3.4 混凝土抗氯离子渗透性能发生争议时以自然扩散法为准。

5.4 构造要求

5.4.1 所有结构接缝处应采取抗裂防渗的加强措施。

5.4.2 当工程的设计使用年限为 100 年时,不得使用冷加工钢筋和直径小于或等于 6 mm 的钢筋作为受力钢筋。

5.4.3 钢筋混凝土构件中有部分长期暴露在外的吊环或紧固件、连接件等金属部件,应采取可在使用阶段与外部环境有效隔离的附加防护措施。

5.4.4 地下结构各层楼板与侧墙交界处(设置钢筋连接器处)的竖向钢筋净距不应小于 50 mm。

5.4.5 施工缝、变形缝、诱导缝与各种连接缝的位置应尽量避免处于最不利环境作用的部位,并应有专项的接缝防水设计。

5.4.6 叠合墙的内衬施工应预先对钢支撑部位采取防水构造措施并有专项设计。

5.5 混凝土结构抗裂控制措施

5.5.1 对于有抗裂、防渗等特殊要求的混凝土结构,应进行抗裂专项设计,宜进行混凝土结构的裂缝控制专项咨询或论证,并采用本标工程用的原材料及配合比进行必要的试验验证。

5.5.2 超长、大体积结构以及具有特殊控制要求的结构,应控制非荷载裂缝发生,采取裂缝控制综合技术降低混凝土结构开裂风险。

5.5.3 对有非荷载裂缝控制要求的混凝土结构,应结合抗裂专项设计在混凝土配合比设计时采用补偿收缩混凝土技术、纤维阻裂技术、水化热调控技术等裂缝控制综合技术措施,改善混凝土结构抗裂性。

5.5.4 开展专项设计的混凝土结构,应根据混凝土的地热温升、温控等施工方案的要求,提出混凝土制备时粗细骨料、拌和用水及入模温度控制的技术措施;混凝土制备前,应进行常规配合比试验,并应进行水化热、泌水率、可泵性等对混凝土控制裂缝有影响的技术参数的试验;必要时,其配合比设计应通过试泵送。

5.5.5 有特殊要求时,混凝土内应预留测温孔或埋设温度传感器,监测混凝土浇筑温度、内部最高温度、环境温度等参数,同时监控内表温差和降温速率,及时记录监测数据,并从混凝土原材料的温度、入模温度、缓凝措施、掺合料的掺量和保温养护等方面及时调整和优化温控措施。

5.5.6 明挖车站采用叠合墙体系时,应注意分缝、分段施工缝的位置、浇筑顺序和后浇带的设置,减小新浇混凝土硬化收缩过程中的约束拉应力,减少混凝土收缩开裂。

5.5.7 宜控制横向施工缝上下混凝土、侧墙与施工缝的浇筑时间间隔。

5.6 耐久性设计附加措施

5.6.1 混凝土结构耐久性的设计附加措施选择应根据其使用环境条件的特殊要求、使用部位以及工程技术经济要求进行。

5.6.2 混凝土结构受氯离子和 CO_2 等侵蚀影响较大的部位应采取涂覆有防腐特性的表面涂层或硅烷浸渍等附加措施。

5.6.3 公路隧道排风井内侧混凝土表面宜采取涂抗碳化涂层的附加措施。抗碳化涂层宜为硅烷或硅氧烷类材料。

5.6.4 对结构裂缝渗水应按结构补强、止水和耐久性要求,采用亲水性环氧等材料进行注浆补强、止渗处理;聚氨酯一般用于非结构裂缝堵漏处理;当结构裂缝渗水量较大时,宜先采用聚氨酯浆液做止水处理,然后再用亲水性环氧做补强处理。

5.6.5 混凝土结构破损需要修复补强时,宜采用结构胶粘剂、快

速修补材料等做修补处理,管片破损时,宜采用高强环氧胶泥修补。

5.6.6 当单层衬砌喷射防水混凝土作为衬砌内侧防水加强层时,混凝土中宜掺加合成纤维;对于工作井吊袋孔等填孔混凝土也宜掺加合成纤维。当结构顶板开设直径大于5m的圆孔或面积大于 24 m^2 的方孔,且孔口永久、直接暴露于大气环境时,孔周边混凝土宜添加钢纤维材料。

5.6.7 位于承压水层和微承压水层的盾构法隧道的联络通道结构层与支护层之间可不设置防水层,其拱顶与侧墙宜采用预拌自密实混凝土,并与结构内表面防水砂浆组合施用。非承压水层的联络通道结构层与支护层之间应设置塑料防水板与土工布组成的复合防水层。

5.6.8 盾构法隧道管片混凝土有特殊要求时,应在管片的外弧面涂刷防水、防腐涂层。

5.6.9 轨道交通及隧道工程的集水和雨水系统的集水池底板、侧墙内表面宜使用聚合物水泥防水砂浆。

5.6.10 对存在化学腐蚀环境下的混凝土结构构件,应结合当地环境条件,必要时可在混凝土表面施加环氧树脂涂层、设置水溶性树脂砂浆抹面层或铺设其他防腐面层。

5.7 杂散电流预防附加措施

5.7.1 在道床内设立杂散电流主排流网,排流网截面积应满足杂散电流防护设计要求。

5.7.2 隧道内的结构钢筋应连接成一个整体,建立杂散电流辅助收集网。

5.7.3 针对变电所杂散电流回流点附近(极化电压的正向偏移峰值点),应采取下列防范措施:

1 排流网的钢筋总截面面积应大于钢筋钝化电流密度所要

求的面积,并同时提高排流网本身的抗电化学腐蚀能力。

2 回流点附近 1 m 范围内的局部混凝土结构增强外部防水绝缘,必要时可局部掺入阻锈剂提高结构钢筋抗电化学腐蚀能力。

3 道床可采用环氧涂层钢筋提升钢筋耐电化学腐蚀能力。

5.7.4 全线排流网及辅助收集网应全线连通,具体按杂散电流防护专业要求实施。

6 生产、施工及验收

6.1 一般规定

6.1.1 轨道交通及隧道工程混凝土结构现场施工应采用预拌混凝土。

6.1.2 混凝土生产宜满足现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》(GB/T 328)的相关规定。

6.1.3 夏季生产混凝土时,应对胶凝材料、细骨料、粗骨料的储存仓、料堆等采取遮阳防晒措施,必要时情况下,也可采取其他有效措施以降低混凝土拌合物的温度。夏季施工时,骨料中不得含有冰、雪。

6.1.4 混凝土施工配合比应经有关人员批准。配合比使用过程中,应根据反馈的混凝土动态质量信息,及时对配合比进行调整。遇有下列情况时,应重新进行配合比设计:

- 1 混凝土性能指标有变化或有其他特殊要求时。
- 2 原材料品质发生显著改变时。
- 3 同一配合比的混凝土生产间断3个月以上时。

6.1.5 混凝土在搅拌时,应满足下列规定:

- 1 粗、细骨料的实际含水量发生变化时,应及时调整粗、细骨料与拌和用水的用量。
- 2 原材料应控制计量精度,其允许偏差应符合表6.1.5-1的规定。

表 6.1.5-1 混凝土材料计量允许偏差(%)

原材料品种	水泥	细骨料	粗骨料	水	掺合料	外加剂
允许偏差	±1	±2	±2	±1	±1	±1

3 混凝土应搅拌均匀,搅拌时间可按表 6.1.5-2 采用。

表 6.1.5-2 混凝土搅拌的最短时间

混凝土坍落度 (mm)	最短搅拌时间 (s)
≥130	60
<130	90

6.1.6 混凝土采用搅拌运输车运输时,应满足下列规定:

- 1 按料前,搅拌运输车应排净罐内积水。
- 2 在运输途中及等候卸料时,应保持搅拌运输车罐体正常运转,不得停转。
- 3 卸料前,搅拌运输罐体应快速旋转搅拌 20 s 以上后再卸料。

6.1.7 混凝土坍落度设计应满足施工要求。当混凝土坍落度不满足要求时,可在运输车罐内加入适量与原配合比相同成分的外加剂。外加剂加入量应事先由试验确定,并应作记录。加入外加剂后,混凝土罐车应快速旋转搅拌均匀,并达到要求的工作性能后再泵送或浇筑。混凝土运输、输送、浇筑过程中严禁加水。

6.1.8 大型预应力管、涵管等现场预制构件的生产除应执行本章中相应条款外,还应制定施工组织设计方案,明确混凝土耐久性施工技术要求。

6.1.9 耐久性设计采用的混凝土保护层厚度已计入了施工允许偏差,除地下连续墙外,保护层厚度施工允许偏差为 +5 mm ~ -10 mm,其中柱、梁取 0 mm ~ +10 mm,板、墙取 0 mm ~ +5 mm;若不符合要求,应采取补救措施。垫块和垫块布置必须有可确保保护层精度的专门设计。

6.2 预制构件生产技术要求

6.2.1 用于生产预制构件的模具应满足下列要求:

- 1 宜采用钢质模具。
- 2 模具安装应牢固、严密、不漏浆,并符合模具拼装精度要求。

3 钢模内浇筑混凝土前,应在不损伤钢模本体的前提下进行彻底清理,钢模内表面和拼缝处不应留有残浆和微小颗粒。

4 模板脱模剂应用专门工具均匀涂刷在钢模与混凝土的所有接触面上,不得使用腐蚀性或受污染的材料,且不应在混凝土浇筑时渗入混凝土中。

5 非承重侧模,芯模应在混凝土抗压强度不小于 2.5 MPa 且保证混凝土表面及棱角不致因拆模而受损坏时方可拆除。

6 承重模板应在混凝土强度达到设计要求后方可拆除。

6.2.2 用于生产预制构件的钢筋骨架应满足下列要求:

- 1 钢筋骨架尺寸偏差,骨架中钢筋、配件和埋件的品种、规格、数量和位置等,应符合有关标准规定和设计文件的要求。
- 2 钢筋骨架在使用时,应设置不低于构件混凝土设计强度的水泥基垫块。
- 3 钢筋骨架不得沾有油污和脱模剂。

6.2.3 用于生产预制构件的混凝土应满足下列要求:

- 1 混凝土坍落度应合理控制,且混凝土应无分层、离析、泌水现象。
- 2 混凝土应连续浇筑,浇筑时不得扰动预埋件,并应根据生产条件选择适当的振捣方式,振捣应密实,不得漏振或过振。
- 3 混凝土入模温度夏季不宜高于 28°C ,冬季不宜低于 5°C 。
- 4 混凝土浇筑成型后,在初凝前应再次进行压面。
- 5 针对大规模管片生产,可使用刷架式自动化抹面设备。

6.2.4 预制构件采用蒸汽养护时,应符合下列要求:

- 1 混凝土表面应覆盖薄膜。
- 2 宜采用低温蒸汽养护方式,养护温度不宜超过 60°C ,养护湿度宜控制在 95% 以上。静停时间不宜少于 2.5 h ,升温速度不

宜大于 15℃/h,降温速度不宜大于 10℃/h。冬季可适当延长静定时间,减慢升、降温速率。

3 在撤出养护间前,应进行温度测量。混凝土构件表面温度与外界温差不得超过 20℃时方可撤出养护间。

6.2.5 混凝土浇筑完成或加热养护后应覆盖薄膜保湿保温养护,且应满足下列要求:

1 湿养护时间不应少于 14 d,每天洒水次数以能保持混凝土表面处于润湿状态为准。

2 隧接管片、顶接管节等在脱模起吊后,应浸没于水中养护不少于 7 d。管片、顶接管节等入水养护前,构件与水的温度差不得大于 20℃,定期测量水的 pH 值不应大于 14。

6.2.6 预制构件的堆放应满足下列要求:

- 1 堆放时宜采用柔性材料衬垫。
- 2 管片类预制构件允许叠放,但叠放高度不宜大于 4 层。
- 3 堆放期间,夏季应定期喷水。
- 4 堆放时间较长时,宜采用塑料布遮盖防护。

6.2.7 预制构件在起吊、堆放、运输及施工过程中,应采取防止碰撞、损坏的措施。

6.2.8 管片类预制构件生产能耗应符合现行上海市地方标准《轨道交通用预制混凝土衬砌管片单位产品能源消耗限额》DB31/969 的要求。

6.3 混凝土施工技术要求

6.3.1 现浇混凝土结构应采用可提高钢筋施工安装精度的定位垫块,浇筑混凝土前,应仔细检查定位垫块的位置、数量及紧固程度。定位垫块需满足下列要求:

1 竖向结构或构件的侧立钢筋可采用工程塑料垫块进行定位,底部钢筋则应采用纤维砂浆或混凝土垫块进行定位。

2 当使用细石混凝土垫块时,垫块宜做成工字形或锥形,垫块尺寸应满足钢筋保护层厚度和定位的允许偏差要求。

3 垫块的强度应高于结构或构件混凝土强度,且水胶比不应大于 0.4。

4 结构侧面和底面的垫块数量不应少于 4 个/ m^2 ,绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内。

6.3.2 现浇结构混凝土浇筑期间应满足下列要求:

1 应保证模板牢靠、平整,且接缝严密。

2 夏季施工时混凝土入模温度不宜高于 28°C ;冬季施工时混凝土入模温度不宜低于 5°C ,且应对混凝土采用适当的保温养护措施。

3 新浇混凝土与侧模、邻接的已硬化混凝土或周边介质之间的温差不得超过 15°C 。

4 炎热天气浇筑混凝土时,应避免模板和新浇混凝土受阳光直射。

5 在低温条件下(当昼夜平均气温低于 5°C 或最低气温低于 -3°C 时)浇筑混凝土时,应采取适当的保温防冻措施,保温防冻措施应满足施工安全要求。

6 在相对湿度较小、风速较大的环境下浇筑混凝土时,应采取适当的挡风措施,防止混凝土失水过快,此时应避免浇筑有较大暴露面积的构件。雨季施工时,必须有防雨措施。

7 混凝土浇筑应连续进行,如因故间断,间断时间应小于前层混凝土的初凝时间。因故中断浇筑,应按施工缝要求对界面混凝土进行凿毛处理后方可浇筑上层混凝土。

8 不同强度等级、不同配合比的混凝土不能混合浇筑。当不同强度等级混凝土必须按在浇筑时,应先浇高强度混凝土。

6.3.3 明挖车站、通道、风道等结构混凝土应设施工缝分段浇筑,底板分段长度不宜超过 24 m,侧墙和顶板分段长度应符合设计要求,宜采用分段跳槽或设后浇带的方法施工。

6.3.4 现浇结构混凝土的振捣应能保证混凝土的充分密实,且应避免因过振产生骨料下沉引起结构混凝土质量差异。对结构易产生渗漏的部位应加强振捣施工,同时应避免跑模、漏浆。

6.3.5 在混凝土浇筑后的抹面压平工序中,严禁向混凝土表面洒水,并应防止过度操作影响表层混凝土的质量。

6.3.6 现浇结构混凝土应有充分的潮湿养护时间。在整个潮湿养护过程中,应根据混凝土温度与气温的差别及变化,及时采取相应措施,控制混凝土的升温 and 降温速率。

6.3.7 现浇大体积结构混凝土养护期间,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°C ,混凝土表面温度与养护水温度之差不得大于 15°C ,混凝土芯部的温度不宜超过 60°C ,最大不得超过 65°C 。

6.3.8 现浇结构混凝土冬季时应采取保温措施进行浇筑和养护,并宜使用低水胶比的混凝土,不宜采用防冻剂。

6.3.9 混凝土拆模时,芯部与表面、表面与环境之间温差不得大于 20°C 。混凝土结构未达到设计规定强度及养护时间时,严禁提前拆模。

6.3.10 后浇带混凝土采用微膨胀混凝土或者增设构造加强筋,采用微膨胀混凝土时应蓄水养护,养护时间不少于14d。

6.3.11 气温超过 30°C 的炎热季节浇筑混凝土,建议采取下列措施来降低混凝土开裂风险:

1 不应使用出厂不到7d的新鲜水泥。

2 集料堆场宜采用遮阳、堆高或喷雾(针对粗集料)等降温措施。

3 宜使用缓凝型外加剂。

4 当使用低温水拌和混凝土时,混凝土中不应有未融化的冰块或冰屑。

5 合理安排浇筑时间,混凝土施工尽量避开高温,利用温度较低时段施工。

6.3.12 无砟轨道板填充宜使用自密实混凝土,并应根据要求对混凝土配合比性能进行专项技术论证。

6.4 验收

6.4.1 轨道交通及隧道工程混凝土结构耐久性验收内容应包括:外观质量、混凝土材料耐久性和混凝土保护层厚度。

6.4.2 外观质量验收应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)的规定执行。

6.4.3 混凝土材料耐久性应按同分项工程、同结构形式、同配合比进行分批验收。预制类混凝土以 3 000 m³ 为一验收批,管片以 1 000 环为一验收批,现浇混凝土以 5 000 m³ 为一验收批,不足者记为一验收批。每批混凝土的性能检测指标应符合本标准表 5.3.1 和表 5.3.2 的规定,检测制度应满足下列要求:

1 每批混凝土的各性能指标检测 1 次。

2 混凝土的原材料、配合比发生变化时,应重新进行耐久性检测。

3 轨道交通车站排风井筒进行快速碳化深度检测,检测频率为 1 次/个。

4 直径大于 8 m 的盾构法隧道或断面面积大于 320 m² 的沉管法隧道,可酌情增加检测频率。

6.4.4 混凝土耐久性性能指标应按照下列标准和龄期进行测试:

1 混凝土电通量试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082)的规定执行,以混凝土 56 d 龄期的测试值作为工程质量控制指标。混凝土待测试件可在龄期 28 d 前送至检测单位,若 28 d 龄期检测合格,则视为检验合格。

2 混凝土氯离子扩散系数(自然扩散法)应将标准养护 56 d 后的混凝土试件在 3%的 NaCl 标准溶液中浸泡 90 d,测定浸泡后

混凝土中不同深度的氯离子浓度,建立氯离子浓度分布曲线,用最小二乘法进行非线性回归,分析计算出混凝土氯离子扩散系数,作为工程质量控制指标;混凝土氯离子扩散系数(RCM方法)试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行,以混凝土 56 d 龄期的测试值作为工程质量控制指标。混凝土氯离子扩散系数符合两个指标中的一个指标即可。

3 混凝土抗碳化性能试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行,以标准养护 28 d 的混凝土快速碳化 28 d 后的测试值作为工程质量控制指标。

4 混凝土抗裂性能试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行,以自加水搅拌(24 ± 0.5)h 内混凝土裂缝测定值作为工程质量控制指标。抗裂等级评定依据应按现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定执行。

6.4.5 保护层厚度验收应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。

7 使用阶段维护与检测要求

7.0.1 轨道交通及隧道工程混凝土结构使用阶段应对其耐久性状况进行定期检查或检测,其频度和内容应符合表 7.0.1 的要求。

表 7.0.1 使用阶段耐久性检测频度及内容

类别	频度	内容
常规检查	(1~2)次/年	对混凝土结构总体的外观质量(地下工程渗漏水状态等)一般的、定性的检查。
重点检查	1次/年	定性检查所检查区段结构表面状况,并测定地下工程的漏水量。
检测评估	按需	混凝土耐久性指标、结构表面状况、保护层厚度等,并进行专项检测评估。

7.0.2 地下工程渗漏水状态和漏水量应检查检测及地下工程渗漏水治理的设计、施工及验收,应按现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的规定执行。

7.0.3 使用阶段的混凝土耐久性检测评估应按照本标准附录 A 进行。检测时,应同时记录现场的温度、湿度等环境条件情况。

7.0.4 混凝土结构使用阶段应根据定期检查和耐久性检测评估结果采取相应的维护措施进行维护。

7.0.5 混凝土结构存在安全隐患时,应在结构修复后再进行维护施工。对混凝土结构补强和加固的设计、施工和验收应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 和《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定。

7.0.6 混凝土结构受损时,宜采用早强、微膨胀、自密实混凝土进行维护修复。

附录 A 混凝土耐久性检测评估方法

A.0.1 混凝土结构耐久性检测评估的内容和时间应根据定期检查结果、结构所处环境及结构的技术状况等要求确定。在下列情况下应开展耐久性评估：

- 1 业主或设施使用者有耐久性评估需要时。
- 2 常规检查发现有分布较广或程度较深的、可能对结构使用性能或安全性造成危害的缺陷时。
- 3 混凝土结构新建、改造或维修施工完成后累计使用年限超过 10 年，或者距离上一次耐久性检测评估时间超过 10 年时。

A.0.2 混凝土结构耐久性检测评估应按下列程序进行：

- 1 专业评估机构接受委托后，首先对评估对象的设计、施工、用途、使用历史、使用环境、设计使用年限等基本情况进行调查。
- 2 根据初步调查结果，制定详细调查检测方案，调查检测内容应包括环境荷载参数、构件外观质量、混凝土材料物理参数（包括保护层厚度、抗压强度、碳化深度、裂缝及缺陷、氯离子含量和抗渗性）和钢筋锈蚀状态（包括混凝土表面电阻率、钢筋半电池电位和腐蚀电流）。
- 3 按照先构件、后结构的层次逐级进行评估，必要时进行补充调查检测。
- 4 给出评估对象的耐久性状态等级划分结论。

A.0.3 构件外观质量检查采用目测的方法，其分类按照表 A.0.3 进行。

表 A.0.3 构件分类

序号	构件外观	构件类别
1	无裂缝、无锈迹、无破损	基本正常构件
2	保护层开裂、无剥落	局部损伤构件
3	有锈斑、局部保护层剥落	损伤构件
4	大面积保护层剥落、钢筋外露	损坏构件

A.0.4 现场混凝土抗氯离子渗透性能检测按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784) 的规定执行。

A.0.5 混凝土中钢筋的锈蚀状况按下列要求检测。

1 混凝土中钢筋锈蚀状况的检测可根据测试条件和测试要求选择剔凿检测方法、电化学测试方法和综合判定法。

2 钢筋锈蚀状况的剔凿检测方法:剔凿出钢筋,直接测定钢筋锈蚀后剩余直径。

3 钢筋锈蚀状况的电化学测试方法和综合判定法宜配合剔凿检测方法的验证。

4 钢筋锈蚀状况的电化学测试方法:可采用极化电极检测方法测定钢筋锈蚀电流和混凝土的电阻率,也可采用半电池电位检测方法测定钢筋的电位。测试方法和钢筋锈蚀状况判别按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344) 的规定执行。

5 钢筋锈蚀状况的综合分析判定方法:检测的参数应包括裂缝宽度、保护层厚度、混凝土强度、混凝土碳化深度、混凝土表面电阻率、钢筋半电池电位、钢筋锈蚀电流、混凝土中有害物质含量及混凝土含水率,根据综合情况判定钢筋的锈蚀状况。

A.0.6 混凝土保护层厚度应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204) 的规定执行。

A.0.7 混凝土抗压强度可采用间接法中的回弹法、超声-回弹综合法,也可采用直接测定抗压强度的钻芯法,并分别按现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23) 以及现行

上海市工程建设规范《结构混凝土抗压强度检测技术规程》
DG/TJ 08—2020的规定执行。

A.0.8 混凝土碳化深度按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行。

A.0.9 混凝土裂缝及缺陷可采用超声法,按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行。

A.0.10 混凝土氯离子含量按现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 执行。

A.0.11 混凝土构件的耐久性状态等级应根据现场检测结构进行划分,并按照表 A.0.11 确定其等级。

表 A.0.11 构件耐久性状态等级

序号	构件类别	检测评价指标								构件耐久性状态分析	
		X_{cl}	X_{ca}	R	F_{cor}	J_{me}	S	H	A_{cl}	等级	损伤状态
1	基本正常	$< c$	$< c$	> 300	—	—	—	—	—	1	侵蚀介质未达到钢筋表面
2		$< c$	$< c$	< 300	—	—	—	—	—	—	—
3		—	—	< 300	> 200	—	—	—	—	2	钢筋锈蚀
4	局部损伤	—	—	< 300	< 200	≥ 0.2	$\leq W_{lim}$	—	—	3	最大裂缝宽度
5	损伤	—	—	—	—	≥ 0.2	$> W_{lim}$	$< 5\%$	—	4	保护层大面积剥落
6	严重	—	—	—	—	—	—	$> 5\%$	—	5	承载力不足

注:1 X_{cl} —氯离子渗透深度(mm)。

2 X_{ca} —碳化深度(mm)。

3 J_{me} —钢筋电流密度($\mu A/cm^2$)。

4 A_{cl} —主筋截面损失率(%)。

5 c —钢筋保护层厚度(mm)。

6 W —混凝土表面电阻率($k\Omega \cdot cm$)。

7 F_{cor} —钢筋半电池电位(mV)。

8 W —裂缝宽度(mm)。

9 W_{lim} —裂缝最大允许宽度(mm)。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的用词:

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 条文中的指明应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 2 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 3 《混凝土外加剂》GB 8076
- 4 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 5 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120
- 6 《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22002
- 7 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27890
- 8 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 9 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 10 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 11 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 12 《地下防水工程质量验收规范》GB 50208
- 13 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344
- 14 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- 15 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 16 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550
- 17 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23
- 18 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 19 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 20 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- 21 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 22 《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241

- 23 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322
- 24 《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328
- 25 《碳纤维混凝土》JG/T 472
- 26 《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502
- 27 《混凝土用碳纤维》YB/T 151
- 28 《切断型碳纤维混凝土应用技术规程》DG/TJ 08—011
- 29 《螺旋缠绕型碳纤维混凝土应用技术规程》DG/TJ 08—59
- 30 《人工砂在混凝土中的应用技术规程》DG/TJ 08—506
- 31 《结构混凝土抗压强度检测技术规程》DG/TJ 08—2020