

上海市工程建设规范

城镇污水处理工程混凝土结构耐久性设计 施工与维护技术标准

Technical standards for durability design, construction, and
maintenance of concrete structures in urban sewage treatment
engineering

(征求意见稿)

2024 上海

前 言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《2023 年上海市工程建设规范编制计划》（沪建标定[2023]6 号文）的要求，由上海市建筑科学研究院有限公司、上海城投污水处理有限公司和上海市排水管理事务中心会同有关单位，在深入调研、认真总结实践经验、参考国内外先进标准和广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准的主要内容包括：总则；术语；基本规定；环境作用等级划分；材料技术要求；耐久性设计；防腐附加措施；生产、施工及验收；使用阶段检测评估与维护。

各单位及相关人员在执行本标准过程中，如有意见和建议，请反馈至上海市住房和城乡建设管理委员会（地址：上海市大沽路 100 号；邮编：200003；E-mail: shjsbzgl@163.com），上海市建筑科学研究院有限公司（地址：上海市闵行区申富路 568 号；邮政：201108；E-mail: fanjunjiang@sribs.com.cn），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: shgcbz@163.com），以供今后修订时参考。

主 编 单 位：上海市建筑科学研究院有限公司

上海城投污水处理有限公司

上海市排水管理事务中心

参 编 单 位：堡森（上海）新材料科技有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

主 要 起 草 人：

主 要 审 查 人：

上海市建筑建材业市场管理总站

目次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	3
4	环境作用等级划分	4
5	材料技术要求	6
5.1	一般规定	6
5.2	胶凝材料	6
5.3	骨料	6
5.4	外加剂	7
6	耐久性设计	8
6.1	混凝土强度等级与保护层厚度要求	8
6.2	混凝土配合比设计要求	10
6.3	混凝土耐久性能技术要求	11
6.4	构造与裂缝控制要求	11
7	防腐附加措施	13
8	生产、施工及验收	15
8.1	生产	15
8.2	施工	16
8.3	验收	17
9	使用阶段检测评估与维护	19
9.1	定期检测	19
9.2	耐久性评估	19
9.3	维护	21
	标准用词说明	23
	引用标准名录	24
	条文说明	25

Contents

1	General provisions.....	1
2	Term.....	2
3	Basic Requirements.....	3
4	Classification of environmental impact levels.....	4
5	Technical Requirements of Materials.....	6
	5.1 General Requirements.....	6
	5.2 Cementing Materials.....	6
	5.3 Aggregates.....	6
	5.4 Admixture.....	7
6	Durability Design.....	8
	6.1 Strength Grade of Concrete and Cover Thickness.....	8
	6.2 Mix Proportion Design Requirements.....	10
	6.3 Durability Requirements.....	11
	6.4 Construction and Crack Control Requirements.....	12
7	Additional Measures for Durability.....	13
8	Production, Construction and Acceptance.....	15
	8.1 Production.....	15
	8.2 Construction.....	16
	8.3 Acceptance.....	17
9	Testing, Evaluation and Maintenance During Usage Phase.....	19
	9.1 periodic testing.....	19
	9.2 Durablity Evaluation.....	19
	9.3 Maintenance.....	21
	Explanation of wording in this standards.....	23
	List of quoted standards.....	24
	Explanation of provisions.....	25

1 总 则

1.0.1 为规范本市城镇污水处理工程混凝土结构耐久性设计施工与维护，提升本市城镇污水处理工程混凝土结构耐久性，保证污水工程混凝土结构质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于本市城镇污水处理工程混凝土结构在一般环境、化学腐蚀环境和氯化物环境作用下的耐久性设计、施工与维护。

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 城镇污水处理工程混凝土结构的耐久性设计施工与维护，除应符合本规范的要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 城镇污水处理工程 Urban sewage treatment engineering

改变城镇污水性质，使其对周边环境水域不产生危害而采取的各项技术处理措施，包括建设各类管网、泵站和污水处理厂。

2.0.2 混凝土结构耐久性 Durability of concrete structure

在设计确定的环境作用和维修、使用条件下，混凝土结构构件在设计使用年限内保持其适用性和安全性的能力。

2.0.3 环境作用 Environmental action

二氧化碳、硫化氢、氯化物、水流冲刷等环境因素对结构的作用。

2.0.4 污水处理构筑物 Sewage treatment structure

按污水处理工艺设计的调蓄池、集水井、泵房、沉砂池、初沉池、生物反应池、二沉池、高效沉淀池等建造物。

2.0.5 污泥处理构筑物 Sludge treatment structure

按污泥处理工艺设计的污泥浓缩池、污泥消化池、储泥池、均质池等建造物。

2.0.6 污水管网 Sewage pipeline network

汇集和输送污水的管渠及其附属设施所组成的系统。

2.0.7 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其目的使用的日期。

2.0.8 防腐蚀附加措施 Additional anti-corrosion measures

在采取改善混凝土密实性和增加钢筋的混凝土保护层厚度等常规措施仍不足以保证结构的耐久性时所需要进一步采取的其它措施。

3 基本规定

3.0.1 城镇污水处理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。

3.0.2 城镇污水处理工程混凝土结构耐久性应综合考虑施工条件、检查与维护的便利性和全寿命成本等因素进行合理设计。

3.0.3 城镇污水处理工程混凝土结构耐久性设计前应进行专门的腐蚀环境调查，包括水文、气象、土体和水中侵蚀性介质浓度，并应对过往类似城镇污水处理工程混凝土构筑物中的 H_2S 浓度、水质 pH 值、水流速度等资料进行调研。

3.0.4 城镇污水处理工程混凝土结构的耐久性设计应包括以下内容：

- 1 确定结构的设计使用年限、环境类别及其作用等级；
- 2 采用有利于减轻环境作用的结构形式和布置；
- 3 规定混凝土结构材料的性能与指标；
- 4 确定钢筋的混凝土保护层厚度；
- 5 提出与混凝土结构耐久性相关的裂缝控制要求；
- 6 针对严重环境作用采取合理的防腐蚀措施或多重防护措施；
- 7 提出与保证混凝土结构耐久性的施工工艺与验收要求；
- 8 提出结构使用阶段的检测、维护与修复要求。

3.0.5 当混凝土结构受到多重腐蚀共同作用时，耐久性设计应分别满足每种腐蚀单独作用下的耐久性要求，并应考虑多重腐蚀共同作用时的相互影响。

3.0.6 同一混凝土构筑物的不同部位所处的局部环境条件不同时，应分别进行耐久性设计。

3.0.7 对于易发生严重腐蚀的混凝土构筑物，混凝土结构设计时宜设置可放置混凝土试块或小型钢筋混凝土试件的监测平台监测混凝土腐蚀状态及性能劣化情况。

3.0.8 城镇污水处理工程混凝土结构的整体设计使用年限应符合设计要求，污水、污泥处理构筑物宜按 50 年设计，污水管网设计使用年限不应小于 30 年。

4 环境作用等级划分

4.0.1 城镇污水处理工程混凝土结构所处的环境作用类别可分为一般环境、化学腐蚀环境，当污水厂沿海建造或混凝土构筑物与含有氯盐的地下水、土体接触时，增加氯化物环境作用类别，按表 4.0.1 确定。

表 4.0.1 城镇污水处理工程混凝土结构环境作用类别

环境作用类别	名称	腐蚀机理
I	一般环境	保护层混凝土碳化引起钢筋锈蚀
IV	氯化物环境	氯离子侵入混凝土引起钢筋锈蚀
V	化学腐蚀环境	硫化氢气体、硫酸等酸性化学物质对混凝土的腐蚀

4.0.2 环境作用按其对城镇污水处理工程混凝土结构耐久性破坏的严重程度，可分为轻度（B）、中度（C）、严重（D）、非常严重（E）、极端严重（F）等五个等级，环境作用等级的确定可按表 4.0.2 确定。

表 4.0.2 城镇污水处理工程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	环境条件	作用等级	结构部位示例
一般环境	长期湿润环境	I-B	污水污泥处理构筑物、污水管网处于水下或长期接触湿润土体的混凝土结构部位
	干湿交替环境	I-C	污水污泥处理构筑物频繁受雨淋和接触水的地上混凝土结构或接触有干湿交替土体的地下混凝土结构
化学腐蚀环境	中度酸性化学腐蚀环境	V-C	污水污泥处理构筑物、污水管网中水体的 pH 值 6.5~5.5 或有较低浓度的硫化氢气体的混凝土结构
	严重酸性化学腐蚀环境	V-D	污水污泥处理构筑物、污水管网中水体的 pH 值 5.5~4.5 或有较高浓度硫化氢气体的混凝土结构
	非常严重酸性化学腐蚀环境	V-E	污水污泥处理构筑物、污水管网中水体的 pH 值小于 4.5 或有高浓度硫化氢气体的混凝土结构
	极端严重酸性化学腐蚀环境	V-F	污水污泥处理构筑物、污水管网有较高或高浓度硫化氢气体，且叠合水流冲刷环境的混凝土结构

氯化物环境	较低氯离子浓度	IV-C	污水污泥处理构筑物地下部分、污水管网与较低浓度氯化物地下水或土体接触的混凝土结构；
	较高氯离子浓度	IV-D	沿海建造的污水厂，污水污泥处理构筑物地上部分受到轻度盐雾环境作用的构件； 污水污泥处理构筑物地下部分、污水管网与较高浓度氯化物地下水或土体接触的混凝土结构；
	高氯离子浓度	IV-E	污水污泥处理构筑物地下部分、污水管网与高浓度氯化物地下水或土体接触的混凝土结构；

注： 1、化学腐蚀环境下硫化氢浓度（mg/m³）的高低区分为：较低浓度 0.01~5.00；较高浓度 5.0~100.0；高浓度大于 100.0。

2、当混凝土构筑物和管网中水流速度不低于 0.3m/s 时，可将水流冲刷作为化学腐蚀破坏的叠加破坏环境。

3、氯化物环境下氯离子浓度（mg/L）的高低区分为：较低 100~500；较高 501~5000；如构件周边永久浸没水（或土）中不存在干湿交替或接触大气，可按环境作用IV-C考虑。

4.0.3 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；当有多种化学物质共同侵蚀时，应取其中最高的环境作用等级作为设计环境作用等级。

4.0.4 城镇污水处理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，在设计中采取相应的措施。

5 材料技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 城镇污水处理工程混凝土所选用原材料除符合国家标准的相关规定外，尚应考虑满足相应服役环境下混凝土所需的耐久性能。

5.1.2 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。

5.2 胶凝材料

5.2.1 水泥宜选用普通硅酸盐或硅酸盐水泥，其品质应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 的要求，水泥比表面积不宜大于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ，碱含量不应大于 0.60%。

5.2.2 粉煤灰应采用符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 要求的 II 级或 I 级粉煤灰。

5.2.3 粒化高炉矿渣粉应采用符合《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046) 要求的 S95 或以上级别矿粉。

5.2.4 硅粉应符合《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的要求，且其二氧化硅含量应不小于 90%，比表面积 (BET 法) 应不小于 $18000\text{m}^2/\text{kg}$ 。

5.2.5 若采用复合掺合料，复合掺合料应满足《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 的要求。

5.3 骨料

5.3.1 粗骨料应使用碎石。碎石应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52) 的要求，颗粒宜为 $5\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 或 $5\text{mm}\sim 31.5\text{mm}$ 连续级配，氯离子含量应不大于 0.02%，含泥量不应大于 0.7%，泥块含量不应大于 0.3%，吸水率不应大于 1%，针片状含量应小于 10%。

5.3.2 细骨料应使用中砂。中砂应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52) 的要求，细度模数应为 $2.5\sim 3.0$ ，且符合 II 区颗粒级配要求。中砂含泥量不应大于 1.5%，泥块含量不应大于 0.5%，氯离子含量不应大于 0.01%。当使用人工砂或混合砂时，应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方

法标准》(JGJ 52)的要求,并控制石粉含量及压碎值指标。不得使用海砂、山砂及风化严重的多孔砂。

5.3.3 宜选用不具有碱活性的骨料。对于有潜在碱活性的细骨料,应采取控制混凝土碱含量、掺加活性矿物掺合料等有效措施预防碱骨料反应。

5.4 外加剂

5.4.1 外加剂的质量和使用要求应分别符合《混凝土外加剂》(GB 8076)、《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)和其他现行国家及行业标准的要求。

5.4.2 城镇污水处理工程混凝土宜采用有减水、防收缩功能的聚羧酸高性能减水剂。

5.4.3 宜根据混凝土性能要求,合理选择与混凝土原材料相容的高效或高性能减水剂,现浇混凝土用减水剂的混凝土减水率宜大于20%。

6 耐久性设计

6.1 混凝土强度等级与保护层厚度要求

6.1.1 城镇污水处理工程处于一般环境中的混凝土结构的最低强度等级与保护层最小厚度应符合表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 一般环境中最低混凝土强度等级及保护层最小厚度

环境作用等级	设计使用年限			
	50 年		30 年	
	最低混凝土强度等级	保护层最小厚度/mm	最低混凝土强度等级	保护层最小厚度/mm
I-B	C30	25	C25	25
I-C	C35	35	C30	30

注：1. 表中保护层最小厚度的规定适用于板、墙等面形结构，对于梁、柱等条形构件，保护层最小厚度应比表中的规定增加 5mm；

2. 当混凝土强度等级高于最低强度等级要求时，保护层厚度可比表中的规定减小 5mm。

6.1.3 城镇污水处理工程处于化学腐蚀环境中的混凝土结构的最低强度等级与保护层最小厚度应符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 化学腐蚀环境中最低混凝土强度等级及保护层最小厚度 (mm)

环境作用等级	设计使用年限			
	50 年		30 年	
	最低混凝土强度等级	保护层最小厚度	最低混凝土强度等级	保护层最小厚度
V-C	C40	35	C40	30
V-D	C40	40	C40	35
V-E	C45	40	C45	35
V-F	C45	50	C45	45

注：1. 表中保护层最小厚度的规定适用于板、墙等面形结构，对于梁、柱等条形构件，保护层厚度应比表中的规定增加 5mm；

2. 对于 V-D、V-E、V-F 环境，当混凝土强度等级高于最低强度等级时，保护层最小厚度可比表中的规定减小 5mm。

3. 当混凝土构筑物采用装配式预制构件建造时，预制构件的保护层厚度可比表中的规定减少 5mm。

6.1.2 城镇污水处理工程处于氯盐环境中的混凝土结构的最低强度等级与保护

层最小厚度应符合表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 氯盐环境中最低混凝土强度等级及保护层最小厚度 (mm)

环境作用等级	设计使用年限			
	50 年		30 年	
	最低混凝土强度等级	保护层最小厚度	最低混凝土强度等级	保护层最小厚度
IV-C	C40	40	C40	35
IV-D	C40	50	C40	45
IV-E	C45	55	C45	45

注：1. 表中保护层最小厚度的规定适用于板、墙等面形结构，对于梁、柱等条形构件，保护层厚度应比表中的规定增加 5mm；

2. 对于 IV-D、IV-E 环境，当混凝土强度等级高于最低强度等级时，保护层最小厚度可比表中的规定减小 5mm。

6.1.5 城镇污水处理工程混凝土结构的最低强度等级和保护层最小厚度应根据设计使用年限和所处的环境等级按表 6.1.1~表 6.1.4 确定。当同一混凝土构筑物的不同部位所处的局部环境条件不同时，最低混凝土强度等级要求按环境作用等级较为严重的情况进行设计，保护层最小厚度应分别进行设计。

6.1.6 对于设计使用年限为 50 年且非氯盐环境的污水处理工程混凝土构筑物，当无准确资料确定环境作用等级时，混凝土结构最低混凝土强度等级和保护层最小厚度宜按表 6.1.6 的规定取值。

表 6.1.6 城镇污水处理工程不同构筑物最低混凝土强度等级和保护层最小厚度

结构部位		最低强度等级	保护层最小厚度 (mm)		
污水处理构筑物	调蓄池、集水井、进水泵房	C45	顶板、侧墙	迎水面	40
				背水面	30
			底板	迎水面	30
				背水面	30
	沉砂池	C45	顶板、侧墙	迎水面	50
				背水面	30
			底板	迎水面	30
				背水面	30
	初沉池、生物反应池	C40	顶板、侧墙	迎水面	35
				背水面	30
			底板	迎水面	30
				背水面	30

	二沉池、高效沉淀池	C35	顶板、侧墙	迎水面	35
				背水面	35
			底板	迎水面	35
				背水面	35
污泥处理构筑物	储泥池、浓缩池、消化池	C45	顶板、侧墙	迎水面	40
				背水面	30
			底板	迎水面	30
				背水面	30
污水管网	管道、箱涵	C45	顶板、侧墙	迎水面	40
				背水面	30
			底板	迎水面	30
				背水面	30

6.1.7 对于处于化学腐蚀环境并采取了防腐蚀附加措施的混凝土结构，当防腐蚀附加措施的有效保护年限不低于 10 年时，混凝土保护层厚度可降低 5mm。

6.2 混凝土配合比设计要求

6.2.1 城镇污水处理工程不同强度等级混凝土的主要配合比参数应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 城镇污水处理工程不同强度等级混凝土水胶比和胶凝材料用量

强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 (kg/m ³)
C25	0.55	280	360
C30	0.48	300	380
C35	0.45	320	400
C40	0.43	350	420
C45	0.40	380	450
C50	0.36	400	500
C55	0.33	420	520
C60	0.30	450	550

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 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；

6.2.2 混凝土配合比中应掺用优质粉煤灰和矿粉等矿物掺和料或矿物复合掺合

料，一般环境下的掺合料掺量总和不宜小于总胶凝材料的 20%，且不应大于总胶凝材料的 40%。化学腐蚀环境、氯化物环境下掺合料的掺量总和不宜小于总胶凝材料的 30%，且不应大于总胶凝材料的 50%。

6.2.3 非常严重或极端严重化学腐蚀环境下，混凝土中宜掺加适量硅灰，掺量不宜小于总胶凝材料的 2%，且不应大于总胶凝材料的 8%。

6.2.4 极端严重化学腐蚀环境下，在保证混凝土拌合物和易性的条件下，混凝土的砂率不宜大于 40%。

6.3 混凝土耐久性能技术要求

6.3.1 混凝土的配合比设计和配制，在满足施工和易性和强度等级要求外，应以混凝土的抗渗性能、抗裂性能和抗氯离子渗透性能为主要控制指标。

6.3.2 城镇污水处理工程不同结构部位混凝土耐久性能指标要求应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 城镇污水处理工程不同结构部位混凝土耐久性能指标

结构部位		抗渗等级	抗裂等级	56d 氯离子扩散系数 ($10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	
				设计年限 50 年	设计年限 30 年
污水处理构筑物	调蓄池、集水井、进水泵房	P12	L-IV	≤ 3.0	≤ 5.0
	沉砂池	P12	L-IV	≤ 2.0	≤ 4.0
	初沉池、生物反应池	P12	L-IV	≤ 4.0	≤ 6.0
	二沉池、高效沉淀池	P10	L-III	≤ 8.0	≤ 10.0
污泥处理构筑物	储泥池、浓缩池、消化池	P12	L-IV	≤ 2.0	≤ 4.0
污水管网	管道、箱涵	P12	L-IV	≤ 3.0	≤ 5.0

6.4 构造与裂缝控制要求

6.4.1 城镇污水处理工程混凝土结构设计和建造时，应采取降低构筑物中 H_2S 浓度的配套措施。

6.4.2 环境作用等级为 D、E、F 时，应减少混凝土结构表面的暴露面积，并应避免表面的凹凸变化。

6.4.3 城镇污水处理工程混凝土结构设计时应考虑能够降低构筑物中水流速度的构造设计。

6.4.4 城镇污水处理工程混凝土结构的表面裂缝宽度限值不应超过 0.2mm。当需要进一步降低裂缝宽度并大幅降低裂缝数量时，应开展抗裂专项设计，采用补偿收缩技术、纤维阻裂技术、水化热调控技术等裂缝综合控制措施，改善混凝土结构抗裂性能。

6.4.5 施工缝、伸缩缝等连接缝的设置宜避开局部环境作用不利的部位，否则应采取有效的防护措施。

7 防腐蚀附加措施

7.0.1 城镇污水处理工程混凝土结构应进行防腐设计作为混凝土结构耐久性的设计附加措施。

7.0.2 污水处理混凝土构筑物防腐蚀涂装工程的设计，应综合考虑结构的重要性、所处腐蚀介质环境、涂装涂层使用年限要求和维护条件等要素，并在全寿命周期成本分析的基础上，选用合理的长效防腐蚀涂装措施。

7.0.3 城镇污水处理工程混凝土结构防腐涂层系统应由底层、中间层、面层或底层、面层配套组成。

7.0.4 城镇污水处理工程混凝土结构防腐涂装材料应具有良好的封闭性（抗渗能力）、抗介质性（抗酸、碱、盐、水等）、物理性（优异的附着力）和环保性（不含有害物质）。

7.0.5 涂料类防腐涂装材料的基本性能应满足表 7.0.5 的规定。

表 7.0.5 涂料类防腐材料基本性能规定和试验方法

序号	项目	技术指标	试验方法
1	柔韧性/mm	≤2	GB/T 1731
2	耐冲击性/cm	≥40	GB/T 1732
3	耐人工气候老化 ^a	1000h 不起泡、不生锈、不开裂、不脱落，粉化为 1 级	GB/T 1865
4	耐碱性（5% NaOH 溶液）	720h 不起泡、不开裂、不脱落	GB/T9274-1988(甲法)
5	耐盐性（3% NaCl 溶液）	720h 不起泡、不开裂、不脱落	
6	耐酸性（5% H ₂ SO ₄ 溶液）	720h 不起泡、不开裂、不脱落	
7	粘结强度（与混凝土）/MPa	≥2	JT/T 695-2007 附录 B.3
8	粘结强度（与潮湿混凝土表面）/MPa	≥1.5	
9	耐磨性（1000g/500r）/g	≤0.05	GB/T 1768
10	抗氯离子渗透/[mg/（cm ² ·d）]	≤5×10 ⁻³	JT/T 695-2007 附录 B.2

11	干燥时间/h	表干	≤4	GB/T 1728
		实干	≤24	
注 a:仅针对半封闭和敞口露天的混凝土构筑物部位使用的涂装材料				

7.0.6 砂浆类防腐涂装材料的性能应满足表 7.0.6 的相关规定。

表 7.0.6 砂浆类防腐涂装材料基本性能规定和试验方法

序号	项 目		技术指标	试验方法
1	氧化铝含量/%		≥40	GB/T 176-2017
2	压折比	28d	≤5.0	JC/T 2381-2016
3	收缩性/%	28d	≤0.12	GB/T 29756-2013
4	拉伸粘结强度 (湿气养护)/MPa	28d	≥0.8	
5	耐磨性 (湿养橡胶砂轮 H-22)/g	7d	≤2.0	GB/T 1768-2006
6	吸水率/%	28d	≤5.0	JGJ/T 70-2009
7	抗腐蚀性 (抗蚀系数) ^a	pH=4 硫酸溶液	≥0.85	GB/T 749-2008(K 法)
a 抗蚀系数测试试块制备采用机械拌和的方式, 搅拌机符合 JC/T 681 的要求。侵蚀溶液采用 pH=4 硫酸溶液, 试块在浸泡过程中, 每天一次用硫酸 (1+5) 滴定侵蚀溶液, 边滴定边搅拌使侵蚀溶液的 pH 保持在 4。				

7.0.7 水泥基渗透结晶型防水涂料的性能除应符合现行国家标准《水泥基渗透结晶型防水材料》GB/T 18445-2012 中防水涂料的技术要求外, 抗腐蚀性 (抗蚀系数) 应满足表 7.0.6 的要求。

7.0.8 污水处理混凝土构筑物内表面防护涂料的最小干膜厚度应符合表 7.0.7 的规定。采用防腐砂浆和水泥基渗透结晶型防水涂料时, 最小干膜厚度不应小于 5mm, 对于水流冲刷作用的部位, 最小干膜厚度不应小于 15mm。

表 7.0.8 城镇污水处理工程混凝土结构表面防护涂层的最小干膜厚度

环境作用等级	V-D	V-E	V-F
防腐蚀涂层最小厚度/μm	400	600	800

8 生产、施工及验收

8.1 生产

8.1.1 城镇污水处理工程混凝土结构宜采用现浇钢筋混凝土结构，现场施工应采用预拌混凝土。

8.1.2 施工配合比应经技术负责人批准。在配合比使用过程中，应根据反馈的混凝土动态质量信息对混凝土配合比及时进行调整。遇到下列情况时，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三个月以上时。

8.1.3 混凝土的搅拌应符合下列规定：

1 粗、细骨料的实际含水量发生变化时，应及时调整粗、细骨料和拌合用水的用量；

2 原材料的计量应按重量计，水和外加剂溶液可按体积计，其允许偏差应符合表 8.1.3-1 的规定；

表 8.1.3-1 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
每盘计量允许偏差	±2	±3	±3	±1	±2	±1
累计计量允许偏差	±1	±2	±2	±1	±1	±1

3 混凝土应搅拌均匀，宜采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时间可按表 8.1.3-2 采用，当掺有外加剂与矿物掺合料时，搅拌时间应适当延长。

表 8.1.3-2 混凝土搅拌的最短时间

混凝土坍落度（mm）	最短搅拌时间（s）
≥100	60
<100	90

8.1.4 对首次使用的配合比应进行开盘鉴定，开盘鉴定应包括下列内容：

- 1 混凝土的原材料与配合比设计所采用的原材料的一致性；
- 2 出机混凝土工作性与配合比设计要求的一致性；

- 3 混凝土强度；
 - 4 混凝土凝结时间；
 - 5 工程要求的混凝土耐久性能等。
- 8.1.5 混凝土采用搅拌运输车运输时，应满足下列规定：
- 1 接料前，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转速，不得停转；
 - 3 卸料前，搅拌运输罐体应快速旋转搅拌 20s 以上后再卸料；
- 8.1.6 采用搅拌运输车运输混凝土，当混凝土坍落度损失较大不能满足施工要求时，可在运输车罐内加入适量与原配合比相同成份的减水剂。减水剂加入量应事先由试验确定，并应作出记录。加入减水剂后，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。

8.2 施工

8.2.1 混凝土的浇筑应符合下列规定：

- 1 混凝土浇筑前，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℃时，宜对金属模板进行洒水降温；洒水后不得留有积水；
- 2 混凝土浇筑应保证混凝土的均匀性和密实性，应一次连续浇筑；
- 3 混凝土应分层浇筑，上层混凝土应在下层混凝土初凝之前浇筑完毕；
- 4 混凝土浇筑的布料点宜接近浇筑位置，应采取减少混凝土下料冲击的措施；
- 5 宜先浇筑竖向结构构件，后浇筑水平结构构件；浇筑区域结构平面有高差时，宜先浇筑低区部分，再浇筑高区部分；
- 6 混凝土浇筑不得发生离析，倾落高度不应大于 3m，当不能满足要求时，应加设串筒、溜管、溜槽等装置；
- 7 混凝土浇筑后，在混凝土初凝前和终凝前，宜分别对混凝土裸露表面进行抹面处理。
- 8 夏季施工时混凝土入模温度不宜高于 28℃，冬季施工时混凝土入模温度不宜低于 5℃，且应对混凝土采用适当的保温养护措施；

8.2.2 混凝土的振捣应符合下列规定：

- 1 混凝土振捣应能使模板内各个部位混凝土密实、均匀，不应漏振、欠振、过振；
- 2 混凝土振捣宜采用插入式振动棒，振动棒的前端应插入前一层混凝土中，插入深度不应小于 50mm；
- 3 钢筋密集区域应选择小型振动棒辅助振捣、加密振捣点，并应适当延长振捣时间；
- 4 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；
- 5 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。

8.2.3 混凝土的养护应符合下列规定：

- 1 混凝土浇筑后应及时进行保湿养护，保湿养护可采用洒水、覆盖塑料薄膜或两者相结合的方式。养护方式应根据现场条件、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作等因素确定；
- 2 洒水养护应保证混凝土表面处于湿润状态；覆盖塑料薄膜应紧贴混凝土裸露表面，薄膜不应出现破损，塑料薄膜内应保持有凝结水；
- 3 混凝土保湿养护的时间不宜低于 14d。

8.3 验收

8.3.1 城镇污水处理工程应对混凝土拌合物性能、强度、耐久性能、保护层厚度进行验收。

8.3.2 混凝土耐久性指标的验收应符合下列规定：

- 1 混凝土耐久性指标验收内容包括抗渗等级、氯离子扩散系数、早期抗裂等级；
- 2 抗渗等级、氯离子扩散系数应在施工现场随机抽取试件进行耐久性检验，早期抗裂等级应在配合比确定后采用与施工过程中相同的原材料委托第三方检测机构进行检验，耐久性指标的检验结果应符合国家现行有关标准的规定和设计要求；
- 3 同一配合比的混凝土取样不应少于一次，留置试件数量应符合国家现行

标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 和《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

8.3.3 混凝土拌合物性能、强度、保护层厚度的验收应按照《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）的相关规定执行。

9 使用阶段检测评估与维护

9.1 定期检测

9.1.1 城镇污水处理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 9.1.1 的要求。

表 9.1.1 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) 年 1 次	对污水、污泥处理混凝土构筑物，排水管道迎水面腐蚀情况进行检查
重点检查	5 年 1 次 (服役 20 年后 2 年 1 次)	全面检查所有污水、污泥处理混凝土构筑物的顶板、侧墙混凝土的表面腐蚀情况以及排水管道的表面腐蚀情况，对顶板混凝土的整体腐蚀程度进行耐久性评估

9.1.2 城镇污水处理工程混凝土结构的腐蚀情况常规检查宜采用无损检测方法，当采用钻芯取样检测时应论证不对混凝土结构造成损伤。

9.1.3 城镇污水处理工程混凝土结构的表面腐蚀状态宜采用搭载高精摄像头的管道机器人进行检查。

9.1.4 城镇污水处理工程混凝土结构的顶板的整体腐蚀程度宜采用搭配高频天线的地质雷达进行检查。

9.1.5 城镇污水处理工程混凝土结构的裂缝及缺陷可采用超声法，按《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21) 执行。

9.2 耐久性评估

9.2.1 混凝土结构耐久性评估的内容和时间应根据定期检查结果，结构所处环境、结构的技术状况等要求确定，在以下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 常规检查发现有钢筋锈蚀或混凝土整体剥落严重可能对结构使用性能或安全性造成危害时。

9.2.2 城镇污水处理工程混凝土结构的耐久性技术状况宜根据表面腐蚀状况，按表 9.2.2 进行分级。

表 9.2.2 城镇污水处理工程混凝土结构耐久性分级

技术状况评定等级	城镇污水处理工程混凝土结构技术状况描述
一类	防护涂层未剥落，混凝土表面状态完好
二类	防护涂层有破损，混凝土表面出现轻度粉化，对混凝土结构使用功能无影响
三类	防护涂层完全剥落，混凝土表面出现中度粉化剥落，尚能维持正常使用功能
四类	混凝土表面出现较为严重剥落，粗骨料大面积裸露，不能保证正常使用
五类	表层钢筋混凝土保护层完全剥落，钢筋外露锈蚀，不能正常使用，混凝土结构处于危险状态

9.2.3 对于技术状况分级评定定为四类的混凝土构筑物，根据其修复和提高耐久性措施的必要性，对耐久性等级应按下列标准分为三级：

A 级：下一目标使用年限内满足耐久性要求，可不采取修复或其他提高耐久性的措施；

B 级：下一目标使用年限内基本满足耐久性要求，可视具体情况不采取、部分采取修复或其他提高耐久性措施；

C 级：下一目标使用年限内不满足耐久性要求，应及时采取修复或其他提高耐久性的措施。

城镇污水处理工程混凝土的耐久性等级可根据混凝土剩余使用年限预测值 t_{re} 、下一目标使用年限 t_c 和结构及构件耐久性重要性系数 γ_0 ，通过表 9.2.3-1 来评定。

表 9.2.3-1 污水环境下混凝土腐蚀耐久性等级

$t_{re}/(t_c \cdot \gamma_0)$	≥ 1.5	1.5~1.0	<1.0
耐久性等级	A	B	C

结构及构件耐久性重要性系数 γ_0 按表 9.2.3-2 确定。

表 9.2.3-2 结构及构件耐久重要性系数 γ_0

耐久重要性等级	耐久性失效的影响	耐久重要性系数
一级	有耐久性影响及不易重复修复的重要结构	≥ 1.1
二级	有较大影响或较易修复、替换的一般结构	1.0
三级	影响较小的次要结构	0.9

9.2.4 城镇污水处理工程混凝土剩余使用年限预测值 t_{re} 的计算宜根据下式确定：

$$t_{re} = d_{re}/C$$

式中： d_{re} ——混凝土结构受腐蚀面剩余保护层厚度，mm；

C ——混凝土结构腐蚀剥落速率，mm/y；根据混凝土结构芯样或同条件服役试块腐蚀剥落层厚度与已经服役的年限的比值确定。

9.3 维护

9.3.1 城镇污水处理工程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进行维护修复。

9.3.2 城镇污水处理工程混凝土结构的修复施工宜符合下列规定：

- 1 修复宜按基层处理、界面处理、修复处理和表面防护处理四步进行；
- 2 对基层处理，应凿除基层混凝土表面腐蚀疏松层至露出新鲜、坚硬的混凝土面，凿除深度应大于 10mm；
- 3 对界面处理，当腐蚀剥落深度小于 30mm 时，可采用涂刷界面处理材料进行处理；当腐蚀深度不小于 30mm 时，基层混凝土和修复材料之间除应涂刷界面材料外，尚宜采用锚筋增强其粘结能力；
- 4 对修复施工，当腐蚀剥落深度小于 30mm 时，宜采用聚合物水泥砂浆进行修复；当腐蚀剥落深度不小于 30mm 时，宜采用高性能混凝土或聚合物水泥混凝土进行修复；
- 5 对于保护层完全腐蚀脱落钢筋出现锈蚀的情况，应对钢筋进行除锈并涂刷阻锈剂，钢筋截面不满足设计要求时应按设计要求补焊钢筋或植筋。
- 6 修复后，修复材料表面宜采用涂层进行表面防护。

9.3.3 城镇污水处理工程混凝土结构顶板因腐蚀剥落刚度和结构安全性无法满

足要求时，在凿除腐蚀层并打磨平整后，采用增大截面法、粘贴钢板法或粘贴纤维复合材料法进行加固。

9.3.4 城镇污水处理工程混凝土结构的维护修复除应符合本标准的规定外，尚应符合《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》JGJ/T 259 的有关规定。

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 《水泥化学分析方法》 GB/T 176
- 3 《水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法》 GB/T 749
- 4 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 5 《漆膜、腻子膜干燥时间测定法》 GB/T 1728
- 6 《漆膜、腻子膜柔韧性测定法》 GB/T 1731
- 7 《漆膜耐冲击性测定法》 GB/T 1732
- 8 《色漆和清漆耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法》 GB/T 1768
- 9 《色漆和清漆人工气候老化和人工辐射曝露滤过的氙弧辐射》 GB/T 1865
- 10 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 11 《色漆和清漆耐液体介质的测定》 GB 9274
- 12 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 13 《水泥基渗透结晶型防水材料》 GB/T 18445-2012
- 14 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 15 《干混砂浆物理性能试验方法》 GB/T 29756
- 16 《工业防护涂料中有害物质限量》 GB 30981
- 17 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 18 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 19 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 20 《修补砂浆》 JC/T 2381
- 21 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 22 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 23 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
- 24 《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》 JGJ/T 259
- 25 《混凝土用复合掺合料》 JG/T 486
- 26 《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》 JT/T 695

上海市工程建设规范

城镇污水处理工程混凝土结构耐久性设计 施工与维护技术标准

条文说明

2024 上海

目 次

1	总 则.....	28
3	基本规定.....	30
4	环境作用等级划分.....	33
5	材料技术要求.....	39
5.1	一般规定.....	39
5.2	胶凝材料.....	39
5.3	骨料.....	39
5.4	外加剂.....	40
6	耐久性设计.....	41
6.1	混凝土强度等级与保护层厚度要求.....	41
6.2	混凝土配合比设计要求.....	42
6.3	混凝土耐久性能技术要求.....	43
6.4	构造与裂缝控制要求.....	43
7	防腐附加措施.....	44
8	生产、施工及验收.....	46
8.1	生产.....	46
8.2	施工.....	47
8.3	验收.....	48
9	使用阶段检测评估与维护.....	49
9.1	定期检测.....	49
9.2	耐久性评估.....	49
9.3	维护.....	51

Contents

1	General provisions.....	28
2	Term.....	30
3	Basic Requirements.....	33
4	Classification of environmental impact levels.....	39
5	Technical Requirements of Materials.....	39
5.1	General Requirements.....	39
5.2	Cementing Materials.....	39
5.3	Aggregates.....	39
5.4	Admixture.....	40
6	Durability Design.....	41
6.1	Strength Grade of Concrete and Cover Thickness.....	41
6.2	Mix Proportion Design Requirements.....	42
6.3	Durability Requirements.....	43
6.4	Construction and Crack Control Requirements.....	43
7	Additional Measures for Durability.....	44
8	Production, Construction and Acceptance.....	46
8.1	Production.....	46
8.2	Construction.....	47
8.3	Acceptance.....	48
9	Testing, Evaluation and Maintenance During Usage Phase.....	49
9.1	Periodic testing.....	49
9.2	Durability Evaluation.....	49
9.3	Maintenance.....	51

1 总 则

1.0.1 城镇污水处理工程混凝土结构与常规工程混凝土结构相比，面临更为严酷的服役环境，许多混凝土结构未到服役年限就出现了表面粉化、蜂窝麻面、保护层剥落、粗骨料裸露、钢筋外露、结构开裂等不同程度的破坏。从上海市来看，由于环保要求越来越高，城镇污水处理工程混凝土结构由原来的敞开式设计改为封闭式设计，导致污水中微生物产生的 H_2S 气体无法向外释放，混凝土结构表面接触气体的 pH 值大幅降低，混凝土受到更为强烈的酸腐蚀，腐蚀速率加快。此外，随着城镇化的不断推进，城镇污水产生量和处理量压力不断增大，许多城镇污水处理工程开启了提标改造工作，处理设施混凝土结构中水流平均液位和流速大幅增加，水流冲刷使混凝土腐蚀产物不断被冲走，新表面裸露后腐蚀剥落的速率显著提高。

然而现有标准体系对于污水环境下的耐久性设计、施工与维护的内容规定较少，不具有指导意义。本标准针对城镇污水处理工程混凝土结构的服役环境特点与特殊需求，通过规范城镇污水处理工程混凝土结构的耐久性设计、施工验收与检测维护要求，可确保城镇污水处理工程混凝土结构满足设计使用年限需要，保证城镇污水处理工程混凝土结构质量。

1.0.2 混凝土的耐久性是指混凝土在实际条件下抵抗各种环境介质作用并长期保持其良好的使用性能和外观完整性，从而维持混凝土结构安全、正常使用的能力。从混凝土结构耐久性损伤的机理来看，可以将混凝土耐久性损伤分为化学作用引起的损伤和物理作用引起的损伤两大类。由于化学作用与电化学作用使结构产生劣化的现象主要有：混凝土的碳化、混凝土中的钢筋锈蚀、碱—集料反应及混凝土的化学侵蚀（如氯离子侵蚀、酸侵蚀、硫酸盐侵蚀等）；由于物理作用使结构产生劣化的破坏现象主要有：混凝土冻融破坏、磨损、碰撞、冲刷等。从污水工程混凝土结构耐久性损伤的劣化现象上，主要有以下几种类型：污水中微生物作用产生的 H_2S 等酸性物质引起的化学腐蚀，构筑物 and 管道中水流冲刷引起的混凝土表面磨损与腐蚀剥落，此外混凝土构筑物背水面和附属建筑

物外立面也面临一般环境的碳化腐蚀，构筑物的迎土面当土体中氯离子浓度较高时，也可能存在氯盐侵蚀环境。

其环境作用不作为本标准的考虑因素，如冻融循环破坏，上海市由于冬季平均温度在 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，不需要考虑混凝土结构的冻融破坏。通常情况下，对于最冷月平均气温在 2.5°C 以下，室内等效冻融循环次数在 2 次以上，年均冻融循环次数在 25 次以上的地区才需要考虑冻融循环耐久性因素。因此本标准适用于一般环境、氯化物环境、化学腐蚀环境和冲蚀环境作用下的耐久性设计、施工与维护。

1.0.3 混凝土结构耐久性设计的主要目标是为了确保主体结构能够达到规定的设计使用年限，满足建筑物的合理使用年限要求。主体结构的设计使用年限虽然与建筑物的合理使用年限源于相同的概念但数值并不相同。合理使用年限是一个确定的期望值，而设计使用年限则必须考虑环境作用、材料性能等因素的变异性对于结构耐久性的影响，需要有足够的保证率。设计和施工中可根据工程的具体特点、环境条件、实践经验和施工条件等适当提高。

1.0.4 本条明确了本规范与其他相关标准规范的关系。

我国现行标准规范中有关混凝土结构耐久性的规定，对于城镇污水处理工程混凝土结构并不适用，在施工验收与检测维护方面的规定也不能完全满足轨道交通及城镇污水处理工程混凝土结构设计施工的要求，因此开展了本标准的编制。对于本标准未提及的其他内容，尚迎按照国家现行标准的有关规定执行。

3 基本规定

3.0.1 城镇污水处理工程混凝土结构的耐久性设计采用经验方法，将环境作用按其严重程度定性地划分成几个作用等级，在工程经验类比的基础上，对不同环境作用等级下的混凝土结构，由标准直接规定混凝土材料的耐久性质量要求，包括混凝土强度、水胶比、胶凝材料用量等指标和钢筋保护层厚度等构造要求。

本标准的经验方法在传统的经验方法上有很大的调整：首先是根据污水混凝土结构不同部位的服役环境特点来设置不同的环境类别，每一类别下再按不同的环境条件区分其环境作用等级，从而更为详细地描述环境作用；其次是对不同设计年限的混凝土结构，提出不同的耐久性要求。

本标准除了细化环境类别和作用等级外，在混凝土的耐久性质量要求中既规定了不同环境类别与作用等级下的混凝土最低强度等级、最大水胶比和混凝土原材料组成，又提出了氯离子扩散系数、抗渗等级、抗裂等级等耐久性的量值指标；同时从耐久性要求出发，对结构构造方法、施工质量控制以及工程使用阶段的维修检测作出了比较具体的规定。

3.0.2 本条规定了合理进行城镇污水处理工程混凝土结构耐久性设计所应考虑的基本因素。设计使用年限是确定结构形式、材料和造价等的主要因素，设计使用年限越长要求的技术条件和工程造价也相对较高。然而城镇污水处理工程混凝土结构耐久性应综合考虑施工条件、检查与维护的便利性和全寿命成本等因素进行合理设计。

(1) 从技术实施的可操作性、可靠性和降低工程成本来看，耐久性设计时需要根据施工条件的不同，合理的选择材料、设备和施工工艺。(2) 维护是确保结构达到设计使用年限的一个重要措施，也是一项需要长期和持续的工作，如结构的监测、日常检查、定期检测评估和适时维修等。结构的设计使用年限是建立在预定的维护与使用条件下的，因此耐久性维护措施应该科学规划、在设计时需要给予充分考虑。(3) 工程全寿命成本主要包括建造成本、使用期的维护成本和服役寿命结束时的残值及拆除所发生的费用。全寿命成本最小体现了资源节约、环境保护和可持续发展的理念，因而在工程领域越来越受重视。

设计人员在耐久性设计时可以参考相关成果进行必要的全寿命成本测算分析。

3.0.3 混凝土结构劣化的主要原因是因环境的腐蚀作用，不同的环境下腐蚀作用机理不同，所采取的提高结构耐久性的防腐措施就不同，即使相同的环境，腐蚀参数不同时，耐久性设计技术参数也要做相应变化。因此在污水混凝土结构耐久性设计前应调查清楚所处的水文、气象、土体和水中侵蚀性介质浓度。由于新建城镇污水处理工程混凝土结构的水流速度、 H_2S 浓度在设计阶段无法获得，有必要调研过往类似城镇污水处理工程混凝土构筑物中的水流速度和 H_2S 浓度，为混凝土耐久性设计提供依据。

3.0.4 本条提出混凝土结构耐久性设计的基本内容，强调耐久性设计不仅是确定材料的耐久性能指标与钢筋混凝土保护层厚度。适当的构造措施能够非常有效地减轻水流冲刷和酸性气体腐蚀等环境作用，应作为耐久性设计的内容。混凝土结构的耐久性在很大程度上还取决于混凝土施工养护质量，由于国内现行的施工规范较少考虑耐久性的需要，所以必须提出基于耐久性的施工养护与保护层厚度的质量验收要求。

本条还规定了将使用阶段的耐久性维护列入耐久性设计内容，这是因为除耐久性设计、施工外，耐久性维护也是实现结构达到预设使用寿命的重要环节，耐久性措施不同，维护的内容、方式和方法也不同，在设计时就明确耐久性维护技术规定，便于在营运期对工程的科学维护，避免维护措施不当或维护缺失而影响工程的“使用寿命”，体现了工程全寿命设计的理念。

3.0.5 大多数情况下结构受到环境中的腐蚀因素不止一种，对于城镇污水处理工程混凝土结构，污水除了会产生酸性气体外，水中还可能存在氯盐含量超标的产生的氯盐腐蚀。对于水流速度较大的构筑物可能存在水流冲刷与酸腐蚀复合的腐蚀破坏作用。因此，根据腐蚀环境调查情况，评估分析环境腐蚀因素和腐蚀严重程度，一般要以腐蚀作用最严重的腐蚀因素作为耐久性设计的对象，也需要考虑同时存在的腐蚀作用的相互影响。

3.0.6 当混凝土结构构件所处环境复杂，其条件有差异时，同一混凝土构筑物的不同部位所处的局部环境不同时，应分别进行耐久性设计。例如，沉砂池混凝土构筑物的迎水面面临水流冲刷和酸性介质腐蚀，背水面则面临土体中侵蚀性离子的腐蚀。

3.0.7 城镇污水处理工程混凝土构筑物在酸性腐蚀条件下呈现由表及里逐层腐蚀剥落破坏的特点，由于城镇污水处理工程混凝土结构通过钻芯取样检查混凝土的腐蚀情况对结构安全性影响较大，实验室成型试块又很难模拟污水真实环境下的腐蚀破坏作用，可以考虑在混凝土构筑物设计时设置一个混凝土腐蚀状态暴露试验平台，其中放置混凝土试块和小型钢筋混凝土试件，使试块处于实际腐蚀破坏环境下，通过定期取出一部分试块切开后可以了解混凝土的腐蚀程度，提前预制混凝土耐久性状况，以便及时采取相应技术措施。

3.0.8 城镇污水处理工程混凝土结构易发生腐蚀破坏，上世纪 90 年代设计的混凝土构筑物实际在服役 20 年左右就出现严重的腐蚀剥落破坏甚至坍塌等安全事故。目前在环保措施要求提高，污水厂密封改造的背景下，混凝土结构的设计年限不宜超过 50 年，可按 50 年或 30 年设计。

4 环境作用等级划分

4.0.1 本标准根据城镇污水处理工程混凝土材料的劣化机理，对环境作用等级分为了一般环境、氯化物环境、化学腐蚀环境和冲蚀环境，分别用罗马字母 I、IV、V、VI 表示。

一般环境（I 类）是指仅有正常的大气（二氧化碳、氧气等）和温、湿度（水分）作用，不存在冻融、氯化物和其他化学物质的影响。一般环境对混凝土结构的腐蚀主要是碳化引起的钢筋锈蚀。

氯化物环境（IV 类）是指含有氯化物污水或接触含有一定浓度氯化物长期湿润土体，氯离子可从混凝土表面迁移到混凝土内部。当到达钢筋表面的氯离子积累到一定浓度（临界浓度）后，也能引发钢筋锈蚀。氯离子引起的钢筋锈蚀程度要比一般环境（I 类）下单纯由碳化引起的锈蚀严重得多。

化学腐蚀环境（V 类）是指污水中的硫酸盐和含硫有机物等在微生物的作用下还原为硫化氢聚集于封闭的空间中形成一定浓度的酸性气体环境，部分硫化氢溶于水被氧化为硫酸从而强化酸性化学腐蚀环境。酸性物质与表层混凝土的水化产物发生化学反应失去胶结能力，从而导致表层混凝土出现粉化、疏松和剥落等破坏。化学腐蚀环境是城镇污水处理工程混凝土结构面临的最为严酷的服役环境，是耐久性设计的重要内容。

4.0.2 本条将环境作用按其对于混凝土结构的腐蚀影响程度定性地划分为 5 个等级，用英文字母 A~E 表示。一般环境的作用等级从轻度到中度（I-A、I-B、I-C），其他环境的作用等级则为中度到非常严重。由于腐蚀机理不同，不同环境类别相同等级（I-C、IV-C、V-C、VI-C）的耐久性要求不会完全相同。

（1）一般环境

一般环境的作用等级参照了《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 对于一般环境作用等级的划分。

（2）氯化物环境

氯化物环境参照了《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 对于其他氯化物环境作用等级的划分，该标准中对于水中的氯离子浓度（mg/L）高低划分为：较低 100~500；较高 500~5000；高 >5000；城镇污水处理工程混凝土结构与

含氯化物水体接触的可能情况为污水水体和土壤中的地下水，经调研上海地区地下水中的氯离子含量如下：

表 1 上海地区地下水中氯离子浓度

取水区域	地铁 10 号线沿线	吴淞口地下水	长江口北港地下水	杭州湾地区孔隙承压水
氯离子浓度 mg/L	99.4~298.4	227.8~505.9	824.8~883.2	1631.9

从上海地区地下水的氯离子含量来看，混凝土所面临的氯化物环境处于较低或较高范围，不会达到超过 5000mg/L 的高浓度范围。

经调研淡水中氯离子浓度的上限通常为 200mg/L，城镇污水处理工程水体中虽然可能富集一些氯盐，但氯离子含量通常也不会太高，不会达到高浓度水平。

然而，上海地区还有一部分污水厂如白龙港污水厂濒海建造，该区域的土体氯离子含量较高，可能达到 5000mg/L 以上。

因此本标准对于氯化物环境划分仍然参考国家标准，分为 IV-C、IV-D、IV-E 三个等级。

(3) 化学腐蚀环境

化学腐蚀环境参照了《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 对于化学腐蚀环境的划分，区分了 V-C、V-D、V-E 三个等级。但由于国家标准中所述的化学腐蚀环境作用等级划分主要依据硫酸根离子、镁离子、酸性水体和水中 CO₂ 浓度的不同来执行，因此对于以 H₂S 为主要腐蚀介质的城镇污水处理工程混凝土结构并不适用。虽然提到污水管道等接触硫化氢气体或其他腐蚀液体的混凝土结构构件可将环境作用等级确定为 V-E 级，当作用程度较轻时也可按 V-D 级确定，但该描述较为定性，可操作性较低。

因此对于何为作用等级较重，何为较轻需要做定量化的界定。国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 中对于气态介质对建筑材料的腐蚀性等级进行了划分，其中关于硫化氢的腐蚀性等级规定如下：

表 2 硫化氢对建筑材料腐蚀性等级

介质名称	腐蚀性介质浓度 (mg/m ³)	环境相对湿度 (%)	钢筋混凝土、预应力混凝土中的钢筋
硫化氢	0.01~5.00	>75	中
		60~75	微
		<60	弱

	5.0~100.0	>75	强
		60~75	中
		<60	弱

污水厂的硫化氢腐蚀位于水面上方，环境相对湿度通常大于 75%，参考该标准，如果硫化氢在 0.01~5.00mg/m³ 范围内会对城镇污水处理工程混凝土产生中度腐蚀，在 5.0~100.0mg/m³ 范围内会对城镇污水处理工程混凝土产生强腐蚀。

关于不同浓度硫化氢气体对城镇污水处理工程混凝土的实际腐蚀情况，在文献《H₂S 对混凝土排水管的腐蚀和监控》中根据日本大量的排水管道腐蚀情况调研结果，给出了混凝土排水管的腐蚀深度与暴露年限和平均硫化氢气体浓度的经验计算公式：

$$d = R\sqrt{CT}$$

式中： d ——中性化深度，mm；

R ——腐蚀速率常数，取 1.13；

C ——硫化氢气体浓度，ppm；

T ——营运年数，a。

根据该公式可以计算得到不同钢筋保护层厚度下，平均气体浓度和钢筋露出时间的关系。

表 3 不同钢筋保护层厚度混凝土在不同硫化氢浓度下的钢筋暴露年限

硫化氢浓度/ppm	腐蚀到钢筋所需的时间/a			
1	78.3	313.3	704.8	1253.0
5	15.7	62.7	141.0	250.6
10	7.8	31.3	70.5	125.3
20	3.9	15.7	35.2	62.7
50	1.6	6.3	14.1	25.1
100	0.8	3.1	7.0	12.5
钢筋保护层厚度/mm	10	20	30	40

表 4 不同浓度硫化氢气体在不同暴露年限时的腐蚀深度

暴露年限/a	腐蚀深度/mm					
5	2.5	5.7	8.0	11.3	17.9	25.3
10	3.6	8.0	11.3	16.0	25.3	35.7
25	5.7	12.6	17.9	25.3	40.0	56.5

50	8.0	17.9	25.3	35.7	56.5	79.9
硫化氢浓度 /ppm	1	5	10	20	50	100

从计算结果来看，硫化氢平均浓度为 5ppm 时，50 年内的腐蚀深度在 20mm 以下，通常低于设计保护层厚度。如果平均气体浓度超过 5ppm，就会对钢筋混凝土结构产生影响。对于保护层厚度为 30mm 的钢筋混凝土结构，在硫化氢浓度大于 20ppm 的环境下，服役 50 年后，钢筋外部的混凝土保护层将全部腐蚀剥落。

对于硫化氢平均浓度为 1ppm 时的腐蚀程度的可靠性，通过日本新宿某商业中心排水管道实测值进行验证，如表 5 所示。

表 5 排水管道腐蚀情况

观测点场所	平均硫化氢浓度/ppm	服役年限	腐蚀等级
1	1.2	21	B
2	0.348	21	B
3	0.43	21	C
4	0.046	36	C
5	0.579	19	C

表 6 腐蚀等级

腐蚀等级	A	B	C
腐蚀程度	钢筋露出	骨料露出	表面轻度腐蚀

从表 5 可以看出，当平均硫化氢浓度在 0.5ppm 以下时，混凝土多数情况只是出现表面的轻度腐蚀，未出现骨料露出和钢筋裸露的现象。考虑到对于气体的密度接近 1.13kg/m^3 ，ppm 和 mg/m^3 的换算系数近似为 1，则根据文献实际调研和理论计算分析结果，硫化氢浓度在 0.5mg/m^3 时，腐蚀程度相对较轻。

本标准从硫化氢对混凝土的腐蚀破坏程度出发，综合现有国家标准规定和调研结果，将硫化氢的腐蚀性等级分为较低、较高和高。对于较低硫化氢浓度定为 $0.01\text{mg/m}^3\sim 5\text{mg/m}^3$ ，较高硫化氢浓度定为 $5\text{mg/m}^3\sim 100\text{mg/m}^3$ ，高硫化氢浓度定为大于 100mg/m^3 。

综上，对于中度酸性化学腐蚀环境（V-C），典型的结构部位为污水污泥处理构筑物、污水管网中水体的 pH 值 6.5~5.5 或有较低浓度的硫化氢气体的混凝土结构；对于严重酸性化学腐蚀环境（V-D），典型的结构部位为污水污泥处理构筑物、污水管网中水体的 pH 值 5.5~4.5 或有较高浓度硫化氢气体的混凝土结构；对于非常严重酸性化学腐蚀环境（V-E），典型的结构部位为污水污泥处理

构筑物、污水管网中水体的 pH 值小于 4.5 或有高浓度硫化氢气体的混凝土结构。

(4) 关于叠加流水冲刷的极端严重化学腐蚀环境 (V-F)

本标准结合污水厂混凝土构筑物流水冲刷的环境，增加极端严重酸性化学腐蚀环境 V-F。

冲蚀环境一般在水工混凝土领域存在，《水工混凝土耐久性检验评定规范》SL775 划分了冲蚀环境类别，即 VI 类磨蚀环境，该标准中规定水流速度 $v < 15\text{m/s}$ 时，环境作用等级属于 VI-B 轻度作用。对于城镇污水处理工程混凝土结构，在《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ 60 中有规定，污水过格栅的流速宜为 $0.6\text{m/s} \sim 1.0\text{m/s}$ ，平流式沉砂池的流速为 $0.15\text{m/s} \sim 0.3\text{m/s}$ ，竖流式沉砂池的流速 $0.02\text{m/s} \sim 0.1\text{m/s}$ ，曝气沉砂池的流速为 $0.25\text{m/s} \sim 0.3\text{m/s}$ ，旋流沉砂池的流速为 $0.60\text{m/s} \sim 0.90\text{m/s}$ ，单纯从水流速度来看，污水厂水流对混凝土的冲蚀作用不算严重，可以不用考虑水流冲蚀其对混凝土的影响。这可以从东区污水厂露天条件下服役 100 年后混凝土表面仅出现粉化未出现大面积骨料裸露可以得到验证。

然而当叠加硫化氢酸腐蚀作用时，流水冲蚀由于可以冲掉酸腐蚀产生的疏松腐蚀产物露出新的内部混凝土表面，冲蚀的破坏作用显著增强，从白龙港和吴淞污水厂现场可以看到进水泵房到格栅部位以及旋流沉砂池部位混凝土破坏较为严重，出现了钢筋裸露现象，部分污水厂的进水泵房和旋流沉砂池出现了营运 20 年拆除重建的情况。因此，流水冲蚀具有加剧污水酸腐蚀破坏的作用，本标准将较高或高浓度硫化氢气体，且叠合水流冲刷的环境作为极端严重酸性化学腐蚀环境。

4.0.3 对于存在其他类型环境的情况以及多重因素作用的情况，由设计人员根据具体情况确定作用等级。

4.0.4 碱骨料反应会对混凝土产生不可恢复的破坏作用，避免碱骨料反应首先要优选原材料，选用无碱活性的骨料，当骨料有潜在碱活性时，应采用控制水泥碱含量、掺加掺合料等方式抑制碱骨料反应。在耐久性验证时，对于碱骨料反应应在前期做充分试验验证，在后期耐久性设计阶段不再作为重点考虑因素。

5 材料技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 城镇污水处理工程用混凝土应根据所处的环境类别、环境作用等级，优选原材料，保证混凝土的耐久性能。

5.1.2 混凝土原材料应分类放置，放置材料混杂污染导致混凝土品质。

5.2 胶凝材料

5.2.1 水泥的品质应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 的要求，特别规定了水泥比表面积不宜大于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ，限制水泥比表面积主要是为了控制水泥水化速率，降低和延缓水化放热峰值的出现，以降低开裂风险。规定碱含量不应大于 0.60%，可有效预防碱骨料反应的发生。。

5.2.2~5.2.5 矿物掺合料是提高混凝土耐久性的重要技术措施，在城镇污水处理工程混凝土配制过程中通常应掺加掺合料。从上海地区矿物掺合料的主要种类来看，应使用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰中的一种或几种，并推荐双掺或三掺。从提高混凝土生产便易性、保障混凝土生产质量的角度来看，宜优先使用工厂化生产的复合掺合料。掺合料应符合相应国家标准的技术要求，粉煤灰宜选用 II 级或 I 级粉煤灰，粒化高炉矿渣粉宜选用 S95 或以上级别矿粉，硅灰的二氧化硅含量应不小于 90%，比表面积（BET 法）应不小于 $18000\text{m}^2/\text{kg}$ 。

5.3 骨料

5.3.1 城镇污水处理工程混凝土受冲刷的影响，宜采用粒径较大的骨料，级配宜为 $5\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 或 $5\text{mm}\sim 31.5\text{mm}$ 连续级配碎石，骨料粒径过大虽可以进一步提高抗冲蚀能力，但混凝土拌合物性能较难调配，且原材料采购难度加大。骨料的含泥量、泥块含量以及针片状颗粒含量控制在较低范围均有利于提高混凝土的抗冲蚀性能。

5.3.2 本条规定了细骨料的技术要求，为提高混凝土耐久性以及抗冲蚀性能，细骨料中的细粉料含量应加以控制。

5.3.3 为有效控制潜在的碱-骨料反应，本条规定了骨料的使用要求。

5.4 外加剂

5.4.1~5.4.3 规定了城镇污水处理工程混凝土外加剂的技术要求，提出外加剂应跟原材料有相容性，提出了减水率的适宜范围要求。

6 耐久性设计

6.1 混凝土强度等级与保护层厚度要求

6.1.1~6.1.2 城镇污水处理工程处于一般环境、氯化物环境中的混凝土结构的最低强度等级与保护层最小厚度的规定，参考了《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中相应环境作用等级对混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度的规定。板、墙等面形构件中的钢筋，主要受来自一侧混凝土表面的环境因素侵蚀，而矩形截面的梁、柱等条形构件中的角部钢筋，同时受到来自两个相邻侧面的环境因素作用，所以保护层厚度要增加 5mm。此外，为了保护钢筋的需要，环境作用等级越恶劣，保护层厚度越大，但加大保护层厚度会明显增加梁、板等受弯构件的自重，可以通过提高混凝土强度等级减小保护层厚度。

6.1.3 城镇污水处理工程处于一般环境、氯化物环境中的混凝土结构的最低强度等级与保护层最小厚度的规定，参考了《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中相应环境作用等级对混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度的规定的基础上，增加了叠加流水冲刷的 V-F 环境的规定，该条件下混凝土最小强度等级不变，但保护层最小厚度增加了 10mm。

6.1.4~6.1.5 城镇污水处理工程不同结构部位混凝土的最低强度等级和保护层最小厚度应根据本标准规定的环境作用等级来设计。对于设计使用年限为 50 年且非氯盐环境下的混凝土结构，为了便于设计人员选择，表 6.1.5 给出了城镇污水处理工程典型结构部位混凝土最低强度等级和保护层最小厚度，包括调蓄池、集水井、进水泵房、沉砂池、初沉池、生物反应池、二沉池、高效沉淀池、储泥池、浓缩池、消化池、均质池、管道、箱涵的顶板、侧墙、底板等混凝土结构部位。该表的推荐值考虑了当前污水处理厂相应结构部位最有可能面临的服役环境以及国内相关耐久性设计规范的条文确定。

6.1.6 当采取了有效的防腐蚀附加措施后，涂层能对混凝土的方式破坏延缓至少 5~10 年，按 1mm/a 的腐蚀速率，混凝土的保护层厚度可在设计基础上至少降低 5mm。

6.2 混凝土配合比设计要求

6.2.1 本条对城镇污水处理工程不同强度等级混凝土最大水胶比、最小胶凝材料和最大胶凝材料三个配合比参数进行规定。最大水胶比的确定参考了《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476、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》DG/TJ 08-2128 中对于不同强度等级混凝土最大水胶比的规定，并结合上海地区预拌混凝土企业生产混凝土时实际采用的水胶比提出了更为严格的要求，以保证混凝土具有足够的耐久性。

根据耐久性的需要，单位体积混凝土的胶凝材料用量不能太少，但过大的用量混凝土增加混凝土的收缩，同时对于受冲蚀的部位，混凝土中的浆体比骨料更容易被冲蚀溶解，过大的胶凝材料用量在冲蚀环境中对混凝土的耐久性也相对不利。在强度与原材料相同的情况下，胶凝材料用量较小的混凝土，体积稳定性好，其耐久性能通常由于胶凝材料用量较大的混凝土，但对于泵送混凝土由于工作度的需要，允许适当加大胶凝材料用量，故本标准中对于不同强度等级混凝土的最小和最大胶凝用量都进行了规定。

6.2.2 混凝土中掺加粉煤灰和矿粉等矿物掺合料有利于利用掺合料的火山灰活性提高水泥浆体的密实性以提高混凝土的耐久性，同时掺合料的加入还有利于改善混凝土的拌合物性能。目前上海地区预拌混凝土的掺合料掺量一般不低于总胶凝材料的 20%，对于一般环境掺合料掺量过大会导致混凝土碳化加速。对于氯化物环境和化学腐蚀环境需要足够的掺合料来保证混凝土耐久性，掺合料掺量过少对混凝土耐久性提升作用不是特别明显，但掺量大于 50%时，混凝土早期强度发展会受到很大影响。

6.2.3 研究表明，在胶凝材料中掺入硅灰能有效提高混凝土的抗冲磨性能，硅灰的活性也较粉煤灰、矿粉等掺合料更高，有利于进一步提高混凝土耐久性，防止化学类侵蚀性介质向混凝土内部渗透。大量研究表明，硅灰在混凝土中掺量不宜大于胶凝材料的 8%，掺量太大对拌合物性能有严重影响，掺量过小则无法有效发挥硅灰的作用。

6.2.4 极端严重化学腐蚀环境下，由于叠加了冲蚀破坏，混凝土中骨料的硬度和耐磨性对混凝土抗冲磨能力起到重要作用，粗骨料的抗冲磨性是优于砂浆的，因此在保证混凝土工作性能的基础上，应尽可能采用较低的砂率。

6.3 混凝土耐久性技术要求

6.3.1~6.3.2 城镇污水处理工程混凝土的耐久性采用抗渗等级、氯离子扩散系数和抗裂等级三个指标来控制，不同部位混凝土耐久性指标的确定参考了《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054、《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193、《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》DG/TJ 08-2128 等标准的规定，同时结合污水工程混凝土服役环境特点确定。

6.4 构造与裂缝控制要求

6.4.1 H_2S 对混凝土的腐蚀是城镇污水处理工程混凝土结构耐久性劣化的最为重要的因素，在设计除臭工艺时，尽可能降低构筑物中 H_2S 浓度对于减轻对混凝土的破坏至关重要。

6.4.2 混凝土暴露表面积越大受到 H_2S 化学腐蚀和流水冲蚀的作用越大，对于混凝土耐久性越不利。

6.4.3 对上海市典型污水厂混凝土构筑物的调研发现，混凝土腐蚀较快的部位通常发生在水流速度较大的区域，因此在混凝土结构设计时采取措施降低构筑物中水流速度非常必要。

6.4.4 混凝土非常容易开裂，常规工艺和养护条件下混凝土的开裂几乎不可避免，目前《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 对于混凝土表面裂缝宽度限值要求不应超过 0.2mm。当然裂缝会成为侵蚀性介质向混凝土内部快速渗透的通道，如果要进一步提升控制混凝土裂缝数量宽度、甚至不裂，应进行专项抗裂设计，从材料、设计、施工等方面具体提出了混凝土结构抗裂的综合控制方法。

6.4.5 混凝土施工缝、伸缩缝等连接缝是结构中相对薄弱的部位，容易成为腐蚀性物质侵入混凝土内部的通道，故在设计与施工中应尽量避让局部环境作用比较不利的部位。

7 防腐附加措施

7.0.1 城镇污水处理工程混凝土结构大部分部位面临酸性腐蚀环境，仅靠混凝土材料本身耐久性的提升无法完全解决混凝土的腐蚀问题，需要结合防腐设计作为混凝土耐久性设计的防腐蚀附加措施。

7.0.2 混凝土结构设计使用年限长，所处环境恶劣，则结构寿命周期内腐蚀发生的风险越高，因此采取何种防腐蚀附加措施需要根据上述两种情况作综合评估；防腐措施有多种，腐蚀环境不同，腐蚀发生的机理也不同，需要针对具体环境情况选择相适应的防腐蚀措施；此外，要结合现场实施条件，所采取的防腐措施既要便于施工，也要便于使用阶段的维护，而且要根据混凝土结构设计的使用年限和采取的防腐措施的设计保护年限，预估其寿命周期内是否需要更换及更换的期限和次数，综合评定以上各因素，既要使所采取的措施可靠有效，又要使全寿命成本最低。

7.0.3 混凝土表面涂层体系设计主要考虑：(1)涂层体系组成及要求；(2)各道涂层的涂料品种和厚度；(3)整个涂层体系的涂层性能要求。

底层涂料要求具有一定的渗透能力，使涂层与混凝土粘结牢固，也是满足整个涂层体系粘结强度的基础；中间涂层主要功能是具有较好的防腐能力，能抵抗外界有害介质的入侵，起到屏蔽效果；面层涂料要求有较高的耐老化性能和抗冲刷能力，避免过早褪色、粉化甚至开裂、脱落而影响保护效果。

配套的各层涂料之间需要具有良好的相容性，既满足各层涂层的各自功能要求，又能发挥整体作用，形成一个防护效果好的涂层体系。

7.0.4 防腐蚀涂装材料在污水工程中服役的工况比较复杂，要长期受酸碱腐蚀、大气腐蚀、磨蚀、水流冲刷等物理化学作用，需要具备良好的抗渗性、抗介质性、抗冲刷性，才能达到长期防护的效果。

7.0.5 本条是通用技术要求。根据防腐涂料的服役工况和施工环境，基于涂层应具备良好的抗渗性、抗介质性、抗冲刷性和环保性能等要求来设置。表 7.0.5 给出的物理性能技术要求是在分析验证实验结果的基础上，结合相关标准的要求提出的，如 JT/T 695-2007《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》、HG/T 5177-2017《无溶剂防腐涂料》、JTG/T B07-01-2006《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》等。

7.0.6 防腐砂浆的抗腐蚀性常参照《色漆和清漆 耐液体介质的测定》GB/T

9274, 采用点蚀法或浸泡法进行测试, 此方法不适用于防腐砂浆、水泥基渗透结晶型防水涂料, 且无其他方法可参照。因此本条提出了针对防腐砂浆、水泥基渗透结晶型防水涂料的抗腐蚀性(抗蚀系数)的技术要求, 在本规程的附录 A 中规定了具体的测试方法, 最终根据验证试验结果提出了相应的技术参数。

7.0.7 白龙港污水厂等污水工程的现场修复结果表面, 水泥基渗透结晶型防水材料具有良好的耐酸腐蚀性能, 可作为污水防腐蚀附加措施的一种备选材料。

7.0.8 污水工程混凝土防腐蚀涂装设计是否合理会影响到涂层的使用年限, 所以必须综合考虑各个因素。涂层厚度是一个重要指标, 但不是绝对的耐久性保证, 因此不可仅通过增加涂层厚度从而达到长效防腐的目标。

8 生产、施工及验收

8.1 生产

8.1.1 城镇污水处理工程混凝土结构宜采用现浇钢筋混凝土结构，现场施工应采用预拌混凝土。

8.1.2 混凝土配合比确定后应经过批准，并规定配合比在使用过程中应结合混凝土质量反馈信息及时进行动态调整。对于搅拌站生产的混凝土应由搅拌站的技术或质量负责人等批准。

8.1.3 混凝土生产时，砂、石等粗骨料的实际含水率可能与配合比设计时存在差异，故应测定实际含水率并及时对骨料、拌合用水的用量进行调整。由于拌合用水和外加剂用量对混凝土性能影响较大，所以对拌合用水和外加剂计量的控制要求较高。目前，预拌混凝土搅拌站、预制混凝土构件和施工现场搅拌站基本采用双卧轴强制式搅拌机，采用的搅拌时间可参照表 8.1.3-1 选取，但只要保证混凝土搅拌均匀，对搅拌时间进行适当调整也是允许的。

8.1.4 本条规定了开盘鉴定的主要内容。开盘鉴定一般可按照下列要求进行组织：施工现场拌制的混凝土，其开盘鉴定由监理工程师组织，施工单位项目部技术负责人、混凝土专业工长和试验室代表等共同参加。预拌混凝土搅拌站的开盘鉴定，由预拌混凝土搅拌站总工程师组织，搅拌站技术、质量负责人和试验室代表等参加，当有合同约定时应按照合同约定进行。开盘鉴定应包括工程对混凝土耐久性的要求。

8.1.5 采用混凝土搅拌运输车运输混凝土时，接料前应用水湿润罐体，但应排净积水；运输途中或等候卸料期间，应保持罐体正常运转，一般为 $(3\sim 5)\text{r/min}$ ，以防止混凝土沉淀、离析和改变混凝土的施工性能；临卸料前先进行快速旋转，可使混凝土拌合物更加均匀。

8.1.6 采用混凝土搅拌运输车运输混凝土时，当因道路堵塞或其他意外情况造成坍落度损失过大，在罐内加入适量减水剂以改善其工作性的做法，已经在部分地区实施。根据工程实践检验，当减水剂的加入量受控时，对混凝土其他性能无明显影响。在对特殊情况下发生的坍落度损失过大的情况采取适宜的处理措施时，杜绝向混凝土内加水的违规行为，本条允许在特殊情况下采取加入适

量减水剂的做法，并对其加以规范。要求采取该种做法时，应事先批准、作出记录，减水剂加入量应经试验确定并加以控制，加入后应搅拌均匀。现行国家标准《预拌混凝土》GB/T14902 中第 7.6.3 条规定：当需要在卸料前掺入外加剂时，外加剂掺入后搅拌运输车应快速进行搅拌，搅拌的时间应由试验确定。

8.2 施工

8.2.1 在模板工程完工后或在垫层上完成相应工序施工，一般都会留有不同程度的杂物，为了保证混凝土质量，应清除这部分杂物。混凝土浇筑均匀性是为了保证混凝土各部位浇筑后具有相类同的物理和力学性能；混凝土浇筑密实性是为了保证混凝土浇筑后具有相应的强度等级。减少混凝土下料冲击的主要措施是使混凝土布料点接近浇筑位置，采用串筒、溜管、溜槽等装置也可以减少混凝土下料冲击。大量工程实践证明，泵送混凝土采用最大粒径不大于 25mm 的粗骨料，且混凝土最大倾落高度控制在 3m 以内时，混凝土不会发生离析，这主要是因为混凝土较小的石子粒径减少了与钢筋的冲击。为避免混凝土浇筑后裸露表面产生塑性收缩裂缝，在初凝、终凝前进行抹面处理是非常关键的。夏季和冬季施工时，在浇筑过程中应采取相应的措施保证混凝土质量。

8.2.2 混凝土漏振、欠振会造成混凝土不密实，从而影响混凝土结构强度等级。混凝土过振容易造成混凝土泌水以及粗骨料下沉，产生不均匀的混凝土结构。混凝土振捣应按层进行，每层混凝土都应进行充分的振捣。振动棒的前端插入前一层混凝土是为了保证两层混凝土间能进行充分的结合，使其成为一个连续的整体。钢筋密集区域或型钢与钢筋结合区域由于构造原因易产生不密实情况，所以混凝土浇筑过程采用小型振动棒辅助振捣、加密振捣点、延长振捣时间是必要的。

8.2.3 混凝土早期塑性收缩和干燥收缩较大，易于造成混凝土开裂。混凝土养护是补充水分或降低失水速率，防止混凝土产生裂缝，确保达到混凝土各项力学性能指标的重要措施。在混凝土初凝、终凝抹面处理后，应及时进行养护工作。混凝土终凝后至养护开始的时间间隔应尽可能缩短，以保证混凝土养护所需的湿度以及对混凝土进行温度控制。覆盖养护可采用塑料薄膜、麻袋、草帘等进行覆盖；洒水、覆盖等养护方式可单独使用，也可同时使用，采用何种养

护方式应根据工程实际情况合理选择。为了尽量减少裂缝，降低环境中侵蚀性介质对混凝土的影响，城镇污水处理工程混凝土的保湿养护时间宜延长至 14d。

8.3 验收

- 8.3.1 本条规定了城镇污水处理工程混凝土结构混凝土材料验收的主要内容。
- 8.3.2 本条规定了城镇污水处理工程混凝土耐久性指标验收的要求。
- 8.3.3 本条规定了城镇污水处理工程混凝土拌合物性能、强度、保护层厚度的验收

9 使用阶段检测评估与维护

9.1 定期检测

9.1.1 城镇污水处理工程混凝土结构由于处于较为严酷的环境，腐蚀破坏较为严重，需定期检查。常规检查可1~2年一次，主要查看迎水面的腐蚀情况。每5年进行一次重点检查，根据腐蚀情况进行耐久性评估。在混凝土结构服役20年后，混凝土通常出现了较为严重的腐蚀，需要增加重点检查的频度，建议2年1次评估混凝土耐久性，必要进行结构安全性评估。

9.1.2~9.1.5 城镇污水处理工程混凝土结构由于腐蚀破坏较为严重，检测评估宜采用无损检测方法，钻芯取样可能对整体结构产生不可逆的损伤，影响整体结构安全。

由于城镇污水处理工程停工检查成本较大，可以通过搭载高清摄像头或声呐的机器人进行检查，机器人可设计为水面漂浮功能，可在不影响污水厂正常营运的情况下进行检查。

混凝土顶板腐蚀程度的检测可采用搭配2000MHz的地质雷达进行检测，根据设计图纸获取混凝土顶板厚度、钢筋埋置深度和迎水面保护层厚度，通过检测当前剩余保护层厚度、当前顶板整体厚度，判断混凝土的腐蚀情况。

9.2 耐久性评估

9.2.1 城镇污水处理工程混凝土结构是否开展耐久性评估取决于业主和设施使用者的需求，当混凝土出现比较严重的腐蚀，如粗骨料裸露、钢筋锈蚀等，对结构使用性能或结构安全性造成危害时，应进行评估。

9.2.2 对污水混凝土构筑物的技术状况进行分级评定，以便于对混凝土构筑物的腐蚀程度进行评估。

一类技术状况基本对应全新状态，涂层未受到损伤剥落，混凝土也尚未因酸性腐蚀环境产生剥落。

二类技术状况对应带涂层的混凝土防护涂层因为酸性腐蚀环境出现了老化剥落，裸露的混凝土尚未因 H_2S 酸性腐蚀而产生明显的破坏。

三类技术状况对应涂层已经彻底失效，混凝土也因为酸性腐蚀开始出现了

粉化剥落的情况，但仅限于非常浅层的混凝土剥落，没有出现明显的骨料裸露，因而保护层厚度的损失也较小，通常不会影响混凝土的正常使用功能。

四类技术状况对应混凝土构筑物经过一定运营期（如封闭条件下服役 5~10 年）腐蚀剥落的情况较为严重，保护层厚度损失严重，粗骨料出现了大面积的裸露，无法确定是否能正常使用，需通过剩余厚度检测手段，结合结构承载力来辅助判别是否需要修复。

五类技术状况对应混凝土构筑物经过长期运营（如封闭条件下服役 15 年以上），混凝土表面的保护层已经完全剥落，钢筋外露锈蚀。钢筋锈蚀可导致混凝土结构出现显著的劣化：

① 钢筋锈蚀，导致截面积减少，从而使钢筋的力学性能下降。对于截面积损失率达 5%~10%的钢筋，其屈服强度和抗拉强度及延伸率均开始下降，对于截面积损失率大于 10%，但小于 60%的严重腐蚀，钢筋各项力学性能指标严重下降。钢筋截面积损失率达 60%时，构件承载能力降低到与未配筋构件相近。

② 钢筋腐蚀导致钢筋与混凝土之间的不能有效结合，不能把钢筋所受的拉伸强度有效传递给混凝土。

③ 钢筋锈蚀生成腐蚀产物，其体积是基体体积的 2~4 倍，腐蚀产物体积膨胀对混凝土造成挤压，混凝土保护层在这种挤压力的作用下会开裂、起鼓、剥落。混凝土保护层破坏后，使钢筋与混凝土界面结合强度迅速下降，甚至完全丧失，不但影响结构物的正常使用，甚至使建筑物遭到完全破坏。

9.2.3 本标准对结构的耐久性采用分层分级评定，也允许采用文字表述的方法评定。耐久性分级标准中明确提出按下一目标使用年限内是否满足耐久性要求进行评定。下一目标使用年限一般由业主与评定人员根据使用要求和结构当前的技术状况协商确定。

9.2.4 城镇污水处理工程混凝土剩余使用年限的计算以钢筋锈蚀为耐久性极限状态，采用剩余保护层厚度与平均腐蚀剥落速率的比值确定。对于腐蚀剥落速率由条件的情况下可以钻芯取样通过已经腐蚀的厚度与服役年限的比值确定，当由同条件服役试块时也可以同条件试块的已经腐蚀的厚度与服役年限的比值确定。当上述两种方法都无法实现时，对于顶板混凝土结构尚可以采用地质雷达近似计算。

9.3 维护

9.3.1 城镇污水处理工程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进行维护修复。

9.3.2 城镇污水处理工程混凝土结构在修补时应彻底清除因化学腐蚀或冲蚀破坏的表面疏松混凝土，保证修补才老与新鲜坚硬混凝土面的直接接触。由于聚合物砂浆和水泥基渗透结晶型防水材料成本较高，选用聚合物砂浆和水泥基渗透结晶型防水材料修补总厚度宜小于 30mm，当总厚度大于 30mm 时，相对来说不经济，可改用加大凿除深度，采用聚合物水泥混凝土修补的方式。虽然聚合物砂浆的耐酸腐蚀性能优于普通砂浆和混凝土，但仍需要在表面采用防腐蚀附加措施以提高修复层的服役年限。

9.3.3 当城镇污水处理工程混凝土结构顶板出现安全性问题时，如不拆除的话，经论证也可通过加固来提高服役年限。

9.3.4 本标准中未提到的修复要求，应参照《混凝土结构耐久性修复与防护技术规程》JGJ/T 259 的有关规定。