

内蒙古自治区工程建设标准

DB

DB/T XXXXXXXX

住房和城乡建设部备案号：XXXX—XXXX

地下工程钢筋混凝土结构防腐阻锈 抗冻融自防护应用技术规程

Underground construction from high-performance technical
specification for concrete protection

(征求意见稿)

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

内蒙古自治区住房和城乡建设厅
内蒙古自治区市场监督管理局

联合发布

内蒙古自治区工程建设标准

地下工程钢筋混凝土结构防腐阻锈
抗冻融自防护应用技术规程

Underground construction from high-performance technical
specification for concrete protection

DBJ/T03—XXX—20XX

批准部门：内蒙古自治区住房和城乡建设厅
主编单位：包头冶金建筑研究院
施行日期：20XX年XX月XX日

XXXX出版社

公告预留页

前 言

根据内蒙古自治区住房和城乡建设厅《关于公布 2019 年下半年内蒙古自治区工程建设地方标准制定项目名单的通知》（内建标函〔2019〕652 号）的要求，规程编制组经广泛调查，认真总结实践经验，参考有关国家标准和地方标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 一般环境；5 冻融环境；6 盐渍土环境；7 内陆湖环境；8 化学腐蚀环境；9 混凝土裂缝修补；10 施工与检测验收。

本规程由内蒙古自治区住房和城乡建设厅负责管理，由包头冶金建筑研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送包头冶金建筑研究院（地址：内蒙古包头市稀土高新区曙光路 16 号，邮编：014030）。

主编单位： 包头冶金建筑研究院

参编单位： 青岛奥斯建筑科技有限公司

包头市公路工程股份有限公司

内蒙古自治区石油化建设工程质量监督站

中国二冶集团有限公司

包钢集团设计研究院（有限公司）

包钢西北创业建设有限公司

主要起草人： 邸兴盛 薄 强 谭全奎 王爱红 宋文学 孙建志 李 为

康崇为 孙子超 费 飞 郭彦龙 李应彤 刘润明 于晓光

王立虎 杭美艳 倪日新 王高峰 付国忠 李 霖 郭朝阳

刘 恒 李 野 杨文峰

主要审查人员：

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
3.1 设计原则.....	5
3.2 环境类别.....	5
3.3 环境作用等级.....	5
3.4 结构耐久性设计使用年限.....	6
3.5 结构及基础.....	6
3.6 材料要求.....	6
3.7 构造要求.....	8
4 一般环境.....	9
4.1 一般规定.....	9
4.2 环境作用等级.....	9
4.3 材料与保护层厚度要求.....	10
4.4 构造与措施.....	11
5 冻融环境.....	12
5.1 一般规定.....	12
5.2 环境作用等级.....	12
5.3 材料与保护层厚度要求.....	13
6 盐渍土环境.....	15
6.1 一般规定.....	15
6.2 环境作用等级.....	15
6.3 材料与保护层厚度要求.....	15
6.4 构造与措施.....	18
6.5 盐渍土环境混凝土防腐、阻锈防护要求.....	18

7 内陆盐湖环境.....	19
7.1 一般规定.....	19
7.2 环境作用等级.....	20
7.3 材料与保护层厚度要求.....	22
7.4 内陆盐湖环境地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求.....	23
8 化学腐蚀环境.....	24
8.1 一般规定.....	24
8.2 化学腐蚀环境的作用等级.....	24
8.3 材料与保护层厚度要求.....	25
8.4 构造与措施.....	26
9 混凝土裂缝修补.....	27
9.1 设计规定.....	27
9.2 检测验收.....	28
10 施工与检测验收.....	30
10.1 混凝土配合比设计.....	30
10.2 施工要求.....	30
10.3 检测与验收.....	31
附录 A 不同环境下地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求.....	32
本规程用词说明.....	35
引用标准名录.....	36
附：条文说明.....	37

Contents

1	General provision.....	1
2	Terminologies and symbols.....	2
	2.1 Terminologies.....	2
	2.2 Symbols.....	3
3	Basic regulations.....	4
	3.1 Design principles.....	4
	3.2 Environmental categories.....	4
	3.3 Environmental action grade.....	5
	3.4 Design service life of structure durability.....	5
	3.5 Structure and foundation.....	6
	3.6 Material requirements.....	6
	3.7 Construction requirements.....	7
4	General environment.....	9
	4.1 General provisions.....	9
	4.2 Environmental action grade.....	9
	4.3 Material and protective layer thickness requirements.....	10
	4.4 Structure and measures.....	11
5	Freeze-thaw environment.....	12
	5.1 General provisions.....	12
	5.2 Environmental action grade.....	12
	5.3 Material and protective layer thickness requirements.....	13
6	Saline soil environment.....	15
	6.1 General provisions.....	15
	6.2 Environmental action grade.....	15
	6.3 Material and protective layer thickness requirements.....	15
	6.4 Structure and measures.....	17

6.5	Requirements for anti-corrosion and anti-rust protection of concrete in saline soil environment.....	18
7	Inland salt lake environment.....	19
7.1	General provisions.....	19
7.2	Environmental action grade.....	20
7.3	Material and protective layer thickness requirements.....	22
7.4	Requirements for concrete anti-corrosion and anti-rust protection of underground engineering in inland salt lake environment.....	23
8	Chemical corrosion environment.....	24
8.1	General provisions.....	24
8.2	Action grade of chemical corrosion environment.....	24
8.3	Material and protective layer thickness requirements.....	25
8.4	Structure and measures.....	26
9	Concrete crack repair.....	27
9.1	Design regulations.....	27
9.2	Inspection and acceptance.....	28
10	Construction and inspection acceptance.....	29
10.1	Concrete proportioning design.....	29
10.2	Construction requirements.....	29
10.3	Inspection and acceptance.....	29
Appendix A	:Different environment underground engineering concrete,anti-corrosion anti-rust... protection requirements.....	31
	Explanation of words used in this regulation.....	34
	Contents of reference standards.....	35
	Notes Description.....	36

1 总 则

1.0.1 针对内蒙古自治区的工程地质及水文地质条件和常见腐蚀类型，为使地下工程钢筋混凝土结构在不同环境条件和环境作用等级情况下，保证建（构）筑物混凝土结构耐久性达到规定的设计使用年限，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于内蒙古自治区新建、扩建的工业与民用地下及部分地上建（构）筑物采用非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高效混凝土外加剂的自防护混凝土结构的设计与施工。

1.0.3 使用非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高效混凝土外加剂的自防护混凝土结构耐久性设计与施工，除应执行本规程的规定外，尚应符合国家和内蒙古自治区现行有关标准、规范的相关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 腐蚀性分级 corrosiveness classification

在腐蚀介质长期作用下, 根据其对建筑材料劣化的程度, 即外观变化、质量变化、强度损失以及腐蚀速度等因素, 综合评定的等级。

2.1.2 劣化 degradation

材料或结构在所处环境中性能随时间的衰减。

2.1.3 结构耐久性 structure durability

在环境作用和正常维修、使用条件下, 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。

2.1.4 环境作用 environmental action

温、湿度及其变化以及氯盐、硫酸盐、二氧化碳、 Mg^{2+} 、pH 值等环境因素对结构或材料性能的影响。

2.1.5 耐久性设计使用年限 design service life

耐久性设计规定的结构或结构构件不需要进行大修, 在设计预定的使用及维护条件下, 可按其预定功能正常使用具有足够保证率的耐久性年限。

2.1.6 非膨胀防腐阻锈抗冻融高效外加剂 non-expanding corrosion-inhibiting and freeze-thaw resistance efficient additive

掺入混凝土中以防止混凝土被氯盐、硫酸盐腐蚀和钢筋锈蚀, 使其具有防腐、阻锈、抗冻融等自防护功能, 以提高钢筋混凝土耐久性的无任何膨胀因素的高效混凝土外加剂。

2.1.7 自防护混凝土 self protection concrete

掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂, 采用常规材料和工艺生产, 除具有结构所需的各项力学性能外, 还具有良好的工作性、体积稳定性和自防护特性的耐久性混凝土。

2.1.8 盐渍土 saline soil

易溶盐大于或等于 0.3% 且小于 20%, 并具有溶陷或盐胀等工程特性的土。

2.1.9 混凝土碳化 carbonation of concrete

空气中二氧化碳气体渗透到混凝土内, 与其碱性物质起化学反应后生成碳酸盐和水, 使

混凝土碱度降低，引起钢筋锈蚀而影响钢筋混凝土结构耐久性的现象。

2.1.10 碱-骨料反应 alkali-aggregate reaction

配制的混凝土中有足够的碱和活性（反应性）骨料，在混凝土浇筑后逐渐发生反应，在反应产物吸水膨胀和内应力的作用下导致混凝土开裂。

2.1.11 混凝土收缩 shrinkage of concrete

在混凝土凝固和硬化的物理化学过程中，构件尺寸随时间推移而缩小的现象。

2.1.12 多重防护策略 multiple protective strategy

为确保钢筋混凝土结构和构件的使用年限而同时采取的多种防腐阻锈附加措施。

2.2 符号

C ——混凝土抗压强度等级

C ——钢筋的混凝土保护层厚度

Ca ——引气混凝土抗压强度等级

C_s ——电通量

D_{RCM} ——用外加电场加速粒子迁移的标准试验方法测得的氯离子扩散系数

DF ——混凝土抗冻耐久性指数

E0 ——经历冻融循环之前混凝土的初始动弹性模量

E1 ——经历冻融循环后混凝土的动弹性模量

ω_{lim} ——在长期荷载作用下（荷载标准组合或准永久组合）混凝土最大裂缝宽度限值

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 钢筋混凝土结构的防腐、阻锈、抗冻融等耐久性指标，应根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别及环境作用等级进行设计和施工。

3.1.2 在各类环境类别和环境作用等级下，按本规程设计的自防护混凝土应适用满足本规程规定技术指标的非膨胀类防腐、阻锈、抗冻融高性能混凝土外加剂。

3.1.3 当混凝土结构采用掺加非膨胀类防腐、阻锈、抗冻融高效混凝土外加剂的自防护混凝土，并满足结构的设计要求时，混凝土表面可不附加防水层、防腐层、防护层。

3.1.4 地下钢筋混凝土结构的防腐、阻锈、抗冻融耐久性设计应包括以下内容：

- 1 确定结构的耐久性设计使用年限、环境类别及环境作用等级；
- 2 采用有利于减轻环境影响的结构形式、布置或构造。
- 3 规定水泥种类、非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高性能混凝土外加剂等混凝土材料的性能指标以及混凝土耐久性质量要求；
- 4 确定混凝土的强度等级和钢筋的混凝土保护层厚度；
- 5 提出混凝土构件裂缝宽度限值；
- 6 针对严重环境作用采取合理的防腐阻锈附加措施或多重防护措施；
- 7 采用保证耐久性的混凝土成型工艺，提出防止混凝土开裂及保证体积稳定性的技术措施；
- 8 加强结构构件薄弱部位、施工缝、变形缝、后浇带、穿墙管线、预埋件等处构造要求和保护措施；
- 9 提出工程施工质量验收要求。

3.1.5 一般情况下，应在耐久性设计中提出结构使用过程中定期检测的要求，第一次检测宜在结构竣工使用后 5 年内进行。并根据检测结果，对结构的耐久性能进行评估，以后根据实际情况定期进行检测。

3.1.6 重大重要工程和环境作用等级为 E 级的钢筋混凝土结构应在设计阶段做出全寿命周期内监测的详细规划，并在现场设置专供监测或试验取样的构件，以监测自防护混凝土的耐久性效果。

3.2 环境类别

钢筋混凝土结构按所处的环境类别及对其使用材料的腐蚀机理，分为五类。并按表 3.2 的规定确定。

表 3.2 环境类别

环境类别		劣化机理	备注
I	一般环境	保护层混凝土碳化引起钢筋锈蚀	-
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤破坏	-
III	盐渍土环境	氯盐、硫酸盐引起钢筋锈蚀及混凝土腐蚀	-
IV	内陆盐湖环境	氯盐侵入引起钢筋锈蚀	吉兰泰盐湖
V	化学腐蚀环境	硫酸盐、酸类物质等化学物质对混凝土腐蚀	水、土中化学腐蚀环境、 大气污染腐蚀环境

注：环境类别综合考虑《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 及《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的相关规定，并结合内蒙古自治区本地具体情况确定划分。

3.3 环境作用等级

3.3.1 钢筋混凝土结构的环境作用等级和腐蚀等级应按表 3.3.1 的规定确定。

表 3.3.1 环境作用等级及腐蚀等级

环境作用等级		A (轻微)	B (轻度)	C (中度)	D (严重)	E (非常严重)
腐蚀等级		微	弱	中	强	超强
环境 类别	一般环境	I-A	I-B	I-C	—	—
	冻融环境	—	—	II-C	II-D	II-E
	盐渍土环境	—	III-B	III-C	III-D	III-E
	内陆盐湖环境	—	—	IV-C	IV-D	IV-E
	化学腐蚀环境	—	—	V-C	V-D	V-E

注：腐蚀等级以《岩土工程勘察规范》GB 50021 分类划分；环境作用等级参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 规定划分。

3.3.2 在长期潮湿或接触水的环境下，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、钙矾石延迟生成反应和环境水对混凝土的溶蚀，在设计中应采取相应的措施。宜采用矿物掺合料并应降低水泥和矿物掺合料中的含碱量和粉煤灰中的氧化钙含量。胶凝材料的其它技术要求按国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 的规定执行。

3.3.3 混凝土结构的耐久性设计尚应根据结构的实际使用条件。考虑高速流水、风沙以及车轮行驶对混凝土表面的冲刷、磨损等作用对耐久性的影响。

3.4 结构耐久性设计使用年限

3.4.1 钢筋混凝土结构耐久性设计使用年限按《工程结构可靠性设计统一标志》GB50153的规定，普通建筑和构筑物的设计使用年限为50年，标志性建筑和特别重要的建筑结构设计使用年限不低于100年。

3.4.2 一般环境下的民用建筑在设计使用年限内无需大修，其结构构件的设计使用年限应与结构整体设计使用年限相同。环境作用等级为D、E的桥梁、隧道等混凝土结构，其部分构件可设计成易于更换的形式，或能够经济合理地进行大修。可更换构件的设计使用年限可低于结构整体的设计使用年限，并应在设计文件中明确规定。

3.5 结构及基础

3.5.1 地下工程混凝土结构及基础方案应采用全现浇钢筋混凝土结构。地下工程结构应与上部结构相对应，外墙采用混凝土剪力墙封闭外包；有地下室的框架结构应增设防水底板及基础梁。上部结构为钢柱时，框架柱应采用钢管混凝土柱。

3.5.2 高层及超高层建筑的基础可采用厚板筏基、箱基及桩筏联合基础、桩箱联合基础；多层建筑基础可采用单独基础、一柱一桩或一柱多桩。

3.6 材料要求

3.6.1 非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂

混凝土结构中采用的非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂应符合表3.6.1规定。

表 3.6.1 非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂技术指标

检 验 项 目		技 术 指 标	试 验 方 法 标 准	环 境 条 件	
含气量, 不大于%		4.5	GB 8076	本规程各种环境应满足的通用技术指标	
氯离子, 不大于%		0.06	GB/T 8077		
凝结时间差	初凝/min	-90~+120	GB 8076		
	终凝/min				
抗压强度比 /% ≥	3d	100			
	7d	110			
	28d	100			
收缩率比 (28d) / (%) ≤		125			
抗渗等级 ≥		P12			GB/T 50082
渗透高度比 / (%) ≤		30			JC 474
300次快速冻融循环 DF (%) ≥		60		GB/T 50082	冻融环境应满足

表 3.6.1 (续)

检 验 项 目	技 术 指 标	试 验 方 法 标 准	环 境 条 件
氯离子迁移(渗透)系数比/(%) ≤	85	GB/T 31296	盐渍土环境、内陆盐湖环境、化学腐蚀环境应满足
腐蚀电量比/% ≤	50	GB/T 31296	氯化物环境、盐渍土环境应满足
盐水浸烘环境中钢筋腐蚀面积百分比/(%) ≤	5	JGJ 192	
硫酸盐侵蚀系数比/(%) ≥	115	GB/T 31296	盐渍土环境、化学腐蚀环境应满足

注:1 钢筋锈蚀试验项目中两种试验方法任选一种,如有争议时以腐蚀电量比为准;

2 凝结时间差指标中的“-”表示提前,“+”表示延缓;

3 在特殊环境条件下,除满足通用技术指标要求外,还应满足各种环境条件下的特异性指标要求。

3.6.2 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 规定,掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂的自防护混凝土宜采用普通硅酸盐水泥。

3.6.3 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,应选 I 级或 II 级粉煤灰,其氧化钙含量不应大于 10%;冻融环境下用于引气混凝土的粉煤灰掺和料,其烧失量不应大于 5%。

3.6.4 细骨料应符合现行国家行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定,应选择质地坚硬、级配良好的中粗砂。

3.6.5 粗骨料其性能应符合现行国家行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定,应满足级配和粒形的要求,石子宜采用单粒级两级配或三级配,分级投料;级配后的骨料松堆空隙率不应大于 43%。

3.6.6 混凝土拌合用水和养护用水,应符合现行国家行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

3.6.7 其他外加剂:应符合相应国家或行业标准的技术指标要求,并经试配后方可使用。

3.6.8 混凝土材料的强度等级、水胶比和原材料组成应根据建筑工程结构所处的环境类别、环境作用等级和结构设计使用年限确定。

3.6.9 对于多种劣化因素作用下的混凝土结构,应采用性能优良、能抵抗多种劣化因素的非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂,并采用合理的混凝土配合比设计。

3.6.10 对重要工程或大型工程,应针对具体的环境类别和环境作用等级,分别提出抗冻耐久性指数、氯离子扩散系数等具体量化的耐久性指标。

3.6.11 钢筋混凝土构件其混凝土氯离子含量在各种环境下均不应超过胶凝材料的重量的 0.08%,三氧化硫的最大含量不应超过胶凝材料总量的 4%,混凝土含碱量不超过 3kg/m³。

3.7 构造要求

3.7.1 不同环境条件和环境作用等级作用下，钢筋主筋、箍筋和分布筋以及混凝土保护层厚度应满足钢筋防锈蚀、耐火及与混凝土之间粘结力传递要求，且保护层厚度设计值应满足钢筋保护层设计规范或构造图集要求。

3.7.2 当楼板上管道，设备留孔可能受泄露液态介质或有水作用时，孔洞的边梁与孔洞边缘的距离不宜小于 200mm。当工艺要求必须将边梁布置在孔洞边缘时，竖底面及侧面宜做防护措施。

3.7.3 施工缝、伸缩缝等连接缝的设置应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；可能遭受碰撞的混凝土结构，应设置防止出现碰撞的预警设施和避免碰撞损伤的防护措施。

3.7.4 混凝土结构外露的钢制预埋件，连接件的防护，应根据环境条件、环境作用等级和重要性分别采取下列措施：

- 1 采用非膨胀防腐阻锈防水抗裂抗冻融高效外加剂的水泥砂浆或混凝土包裹或抹面；
- 2 采用树脂或聚合物水泥砂浆或混凝土包裹或抹面；
- 3 采用树脂玻璃鳞片胶泥防护；
- 4 采用防腐涂层防护；
- 5 采用耐腐蚀金属材料制作。

3.7.5 钢筋混凝土结构的后浇带和加强后浇带，应按本规程要求在混凝土中掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高效外加剂外，并按现行国家标准及规范进行设计与施工。

3.7.6 在长期荷载作用下钢筋混凝土构件的表面裂缝最大宽度极限值不应超过《混凝土结构设计规范》GB 50010、《地下工程防水技术规范》GB 50108 规定的要求。

3.7.7 地下工程防腐阻锈抗冻融自防护混凝土结构构件的最小厚度不应小于 250mm。

4 一般环境

4.1 一般规定

4.1.1 一般环境自防护混凝土结构防腐、阻锈、抗冻融耐久性设计，应控制混凝土碳化引起的内部钢筋锈蚀，不同碳化条件引起的钢筋锈蚀程度不同，应区别对待。

4.1.2 当自防护混凝土结构同时承受其他环境作用时，应按环境作用等级较高的相关要求，进行防腐、阻锈、抗冻融耐久性设计。

4.1.3 抗碳化自防护混凝土的水胶比宜按下式确定。

$$\frac{W}{B} \leq \frac{5.83c}{a \times \sqrt{t}} + 38.3 \quad (4.1.3)$$

式中： $\frac{W}{B}$ ——水胶比；

c ——混凝土结构钢筋保护层厚度；

a ——碳化区分系数，室外取 1.0，室内取 1.7；

t ——耐久性设计使用年限。

4.1.4 一般环境下的混凝土结构的构造要求除应符合本章规程外，尚应符合本规程 3.7 节规定。

4.1.5 一般环境作用等级下掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂的自防护混凝土工程，满足结构设计要求时，混凝土表面可不附加防水层、防护层。

4.2 环境作用等级

4.2.1 一般环境对钢筋混凝土结构环境作用等级应按表 4.2.1 的规定确定

表 4.2.1 一般环境的作用等级

环境作用等级	环境条件区分	结构构件示例
I—A	室内干燥环境	常年干燥、低湿度环境中的结构内部构件
	长期浸没水中环境	所有表面均处于水下的构件
I—B	非干湿交替的结构内部潮湿环境	中、高湿度环境中的结构内部构件
	非干湿交替的露天环境	不接触或偶尔接触雨水的外部构件
	长期湿润环境	长期与水或湿润土体接触的构件
I—C	干湿交替环境	与冷凝水、露水或于水蒸气频繁接触的结构内部件、地下水位较高的地下室构件、表面频繁淋水或频繁与水接触的构件、处于水位变动区的构件

注：1 环境条件系指混凝土表面的局部环境；

2 干燥低湿度环境指年平均湿度低于 60%，中、高湿度环境是指年平均湿度大于 60%；

3 干湿交替指混凝土表面经常交替接触到大气和水的环境条件；

4.2.2 配筋混凝土墙、板构件的一侧表面接触室内干燥空气、另一侧表面接触水或湿润土体时，接触空气一侧的环境作用宜确定为 I—C 环境等级。

4.3 材料与保护层厚度要求

4.3.1 一般环境中混凝土最低强度等级、最大水胶比、最小保护层厚度，应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 一般环境中混凝土最小环境等级、最大水胶比、最小保护层厚度

环境作用等级		设计使用年限 (年)	最低混凝土强度等级	最大水胶比	钢筋最小保护层厚度 c (mm)		
板、墙等 面形构 件	I—A	50	≥C25	0.60	20		
		100	≥C30	0.55	20		
	I—B	50	C30 ≥C35	0.55 0.50	25 20		
		100	C35 ≥C40	0.50 0.45	30 25		
	I—C	50	C35 C40 ≥C45	0.50 0.45 0.40	35 30 25		
			100	C40 C45 ≥C50	0.45 0.40 0.36	40 35 30	
		梁、柱等 条形构 件		I—A	50	C30 ≥C35	0.60 0.55
			100		C30 ≥C35	0.55 0.50	30 25
	I—B				50	C30 ≥C35	0.55 0.50
100			C35 ≥C40	0.50 0.45	35 30		
I—C	50		C35 C40 ≥C45	0.50 0.45 0.40	40 35 30		
			100	C40 C45 ≥C50	0.45 0.40 0.36	45 30 35	

注：1 I—A 环境中使用年限低于 100 年的板、墙，当混凝土骨料最大公称粒径不大于 15mm 时，保护层最小厚度为 15mm，但最大水胶比不应大于 0.55；

2 预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm；

4.3.2 当胶凝材料中粉煤灰和矿渣粉等矿物合料掺量小于 20%时，混凝土水胶比按本规程表 4.3.1 规定低于 0.45 的，可适当增加。

4.3.3 长期浸没水中的地下结构构件，设计使用年限为 100 年时，混凝土强度等级不宜低于 C35。

4.3.4 大体积或大截面混凝土墩柱在加大钢筋的混凝土保护层厚度的前提下，其混凝土强度等级可低于本规程表 4.3.1 中的要求，但降低幅度不应超过两个强度等级，且设计使用年限为 100 年和 50 年的构件，其强度等级不应低于 C25 和 C20。

当采用的混凝土强度等级比本规程表 4.3.1 的规定低一个等级时，混凝土保护层厚度应增加 5mm；当低于两个等级时，混凝土保护层厚度应增加 10mm。

4.3.5 在长期荷载作用下的一般环境中，地下工程混凝土构件不得存在贯通裂缝，且裂缝控制等级及最大宽度限值应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 在长期荷载作用下的一般环境中，地下工程
混凝土构件裂缝控制等级及最大宽度限值

环境作用等级	钢筋混凝土构件		预应力混凝土构件	
	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)
I—A	三级	0.3	三级	0.2
I—B		0.2		
I—C			二级	—

注：裂缝控制等级及最大宽度限值应满足《混凝土结构设计规范》GB50010 规定。

4.4 构造与措施

4.4.1 在 I—A、I—B 环境中的室内混凝土结构构件，考虑建筑饰面对于钢筋防锈的有利作用时，其混凝土保护层最小厚度则可比本标准表 4.3.1 规定适当减小，但减小幅度不应超过 10mm；在任何情况下板、墙等面形构件的最外侧钢筋保护层厚度不应小于 10mm；梁、柱等条形构件最外侧钢筋的保护层厚度不应小于 15mm。

在 I—C 环境中频繁遭遇雨淋的室外混凝土结构构件，考虑防水饰面的保护作用时，其混凝土保护层最小厚度则可比本标准表 4.3.1 规定适当减小，但不应低于 I—B 环境的要求。

4.4.2 直接接触土体浇筑的构件，其钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 70mm；当采用混凝土垫层时，其保护层厚度可按本标准表 4.3.1 确定。

5 冻融环境

5.1 一般规定

5.1.1 冻融环境中钢筋混凝土结构的防腐、阻锈、抗冻融耐久性设计，应控制混凝土遭受长期冻融循环作用引起的损伤，不同冻融环境条件引起的混凝土损伤程度不同，应区别对待。

5.1.2 长期与水体直接接触并会发生反复冻融的钢筋混凝土结构构件，应考虑冻融环境的作用。对于冻融环境中的钢筋混凝土薄壁构件，在设计时应适当增加构件的厚度。

5.1.3 冻融环境下混凝土构件在施工养护结束至初次受冻的时间不得少于一个月并避免与水接触；冬期施工中混凝土接触负温时的强度应大于 $10\text{N}/\text{mm}^2$ 。

5.1.4 冻融环境作用下，采用非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高效外加剂的自防护混凝土结构工程并满足结构的设计要求时，混凝土表面可不附加防水层、防护层。

5.2 环境作用等级

5.2.1 冻融环境下，钢筋混凝土结构环境作用等级应按表 5.2.1 的规定确定。

表 5.2.1 冻融环境的作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
II—C	微冻地区的无盐环境混凝土高度饱水	微冻地区水位变动区构件和频繁受雨淋构件的水平表面
	严寒和寒冷地区的无盐环境混凝土中度饱水	严寒和寒冷地区受雨淋构件的竖向表面
II—D	严寒和寒冷地区的无盐环境混凝土高度饱水	严寒和寒冷地区水位变动区构件和频繁受雨淋构件的水平表面
	微冻地区的有盐环境混凝土高度饱水	有氯盐微冻地区的水位变动区构件和频繁受雨淋构件的水平表面
	严寒和寒冷地区的有盐环境混凝土中度饱水	有氯盐微冻地区的水位变动区受雨淋构件的竖向表面
II—E	严寒和寒冷地区的有盐环境混凝土高度饱水	有氯盐严寒和寒冷地区的水位变动构件和频繁受雨淋构件的水平表面

注：1 冻融环境按当地最冷月平均气温划分为微冻地区、寒冷地区和严寒地区，其平均气温分别为： $-3^{\circ}\text{C}\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 、 $-8^{\circ}\text{C}\sim -3^{\circ}\text{C}$ 和 -8°C 以下；

2 中度饱水指冰冻前处于潮湿状态或偶受水、受潮，混凝土内饱水程度不高；高度饱水指冰冻前长期或频繁接触水或湿润土体，混凝土内高度水饱和；

3 无盐或有盐指冻结的水中是否含有盐类，包括水中或土中的氯盐或其他盐类。

5.2.2 处于冻融环境、湖水变动区的混凝土构件，其环境作用等级应根据当地调查资料确

定。无调查资料时，微冻地区可按 II—C 等级考虑，寒冷和严寒地区可按 II—D 等级考虑；考虑浮冰撞击对构件的影响，可将环作用等级提高一个等级。

5.2.3 位于冰冻线以上土中的混凝土结构构件，其环境作用等级应根据当地实际和经验确定；无调查资料或经验数据时，环境作用等级可按本规程表 5.2.1 的规定降低一个等级。

5.2.4 直接接触积雪的混凝土墙、柱底部，宜适当得高环境作用等级，可比表 5.2.1 的规定提高一个等级。

5.3 材料与保护层厚度要求

5.3.1 对于处于冻融环境中的混凝土，应掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂和矿物掺合料，环境作用等级为 II—D 和 II—E 的混凝土结构构件应采用引气混凝土。

5.3.2 冻融环境中的配筋混凝土结构构件，其普通钢筋的混凝土保护层最小厚度与相应的混凝土强度等级、最大水胶比应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 冻融环境中混凝土材料与钢筋保护层最小厚度 c

设计使用年限		100 年			50 年				
混凝土设计指标		混凝土强度等级	最大水胶比	c (mm)	混凝土强度等级	最大水胶比	c (mm)		
环境作用等级	板、墙等面形构件	II—C 无盐	C45	0.40	30	C45	0.40	30	
			≥C50	0.36	35	≥C50	0.36	25	
			C _a 35	0.50	35	C _a 30	0.55	30	
		II—D	无盐	C _a 40	0.40	35	C _a 35	0.50	35
			有盐			-			-
		II—E 有盐	C _a 45	0.40	-	C _a 40	0.45	-	
	梁、柱等条形构件	II—C 无盐	C45	0.40	40	C45	0.40	35	
			≥C50	0.36	35	≥C50	0.36	30	
			C _a 35	0.50	35	C _a 30	0.55	35	
		II—D	无盐	C _a 40	0.45	40	C _a 35	0.50	40
有盐	-		-						
II—E 有盐	C _a 40	0.40	-	C _a 40	0.45	-			

注：钢筋混凝土保护层厚度指最外层钢筋的保护层厚度，受力钢筋的保护层最小厚度不得小于钢筋的公称直径；

5.3.3 重大工程和大型工程，混凝土的抗冻耐久性指数不应低于表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 混凝土的抗冻耐久性指数 DF (%)

耐久性设计使用年限	100 年			50 年		
环境条件	高度饱水	中度饱水	含盐环境下冻融	高度饱水	中度饱水	含盐环境下冻融
微冻地区	60	60	70	50	45	60
寒冷地区	70	60	80	60	50	70

表 5.3.3 (续)

耐久性设计使用年限	100 年			50 年		
严寒地区	80	70	85	70	60	80

注：1 抗冻耐久性指数为混凝土试件经 300 次快速冻融循环后混凝土的动弹性模量 E1 与其初始值 E0 的比值， $DF=100 \times E1/E0$ ；在达到 300 次循环之前 E1 已降至初始值的 60%或试件重量损失已达到 5% 的试件，以此时的循环次数 N 计算 DF 值， $DF=0.6 \times N/300 \times 100$ ；

2 对于厚度小于 150mm 的薄壁混凝土构件，其 DF 值宜增加 5%。

5.3.4 在长期荷载作用下的冻融环境中，混凝土构件裂缝控制等级及最大裂缝限值应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 在长期荷载作用下的冻融环境中，地下工程
混凝土构件裂缝控制等级及最大裂缝宽限大限值

环境作用 等级	钢筋混凝土构件		预应力混凝土构件	
	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)
II—C	三级	0.3	二级	—
II—D				
II—E		0.2		

6 盐渍土环境

6.1 一般规定

6.1.1 盐渍土环境中钢筋混凝土结构防腐、阻锈、抗冻融耐久性设计，应控制氯化物引起的钢筋锈蚀及硫酸盐引起的混凝土腐蚀。

6.1.2 不同氯离子环境条件引起的钢筋锈蚀程度不同，水或土中硫酸盐浓度不同，混凝土腐蚀速率不同，应加以区别对待。

6.1.3 盐渍土环境下混凝土结构的构造要求除应符合本章规定外，尚应符合本规程第 3.7 节的规定。

6.1.4 在盐渍土环境中采用非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高效混凝土外加剂的自防护混凝土，满足结构的设计要求时，混凝土表面可不加附加防水层、防腐层、防护层。

6.2 环境作用等级

6.2.1 盐渍土环境中钢筋混凝土结构环境作用等级、腐蚀等级及含量应按表 6.2.1 的规定确定。

表 6.2.1 盐渍土环境作用等级、腐蚀等级及腐蚀类别浓度

环境作用等级		III—B	III—C	III—D	III—E	
腐蚀等级		弱	中	强	超强	
腐蚀类别 浓度 (mg/L)	水中 SO_4^{2-}	200~500	500~1500	1500~10,000	10,000~20,000	
	土中 SO_4^{2-}	强透水土层	300~1500	1500~3000	3000~15,000	15,000~20,000
		弱透水土层	500~3000	3000~6000	6000~20,000	20,000~30,000
	水中 Cl^-	干湿交替	100~500	500~5000	5000~15,000	15,000~20,000
		长期侵水	10,000~20,000	20,000~30,000	30,000~50,000	50,000~70,000
	土中 Cl^-	干燥	400~750	750~7500	7500~20000	20,000~30,000
潮湿		250~500	500~5000	5000~15000	15,000~20,000	

6.2.2 根据内蒙古自治区盐渍土分布特点，对环境作用等级超出表 6.2.1 规定范围的情况，应针对工程情况另行专项研究。

6.3 材料与保护层厚度要求

6.3.1 盐渍土环境下，混凝土不宜单独采用普通硅酸盐水泥作为胶凝材料，应掺加非膨胀

复合高性能混凝土外加剂及矿物掺合料，或采用抗硫酸盐水泥和矿物掺合料，并控制氯离子及碱含量；温度低于 15℃的硫酸盐环境中，水泥和矿物掺和料不得加入石灰石粉。

6.3.2 氯盐盐渍土环境中混凝土保护层最小厚度与相应的混凝土强度等级、最大水胶比应符合表 6.3.2 规定。

表 6.3.2 氯盐盐渍土环境中混凝土保护层最小后与相应的
混凝土强度等级、最大水胶比

环境作用等级	腐蚀等级	耐久性设计使用年限 (年)	最低混凝土强度等级	最大水胶比	钢筋最小保护层厚度 c (mm)	
					板、墙等面形构件	梁、柱等条形构件
III-B	弱	50	C35	0.45	35	40
		100	C40	0.40	40	45
III-C	中	50	C40	0.45	40	45
		100	C45	0.40	45	50
III-D	强	50	C40	0.40	50	55
		100	C45	0.36	55	60
III-E	超强	50	C45	0.36	55	60
		100	C50	0.33	60	65

注：钢筋混凝土保护层厚度指最外层钢筋的保护层厚度，受力钢筋的保护层最小厚度不得小于钢筋的公称直径；

6.3.3 氯盐盐渍土环境中混凝土的质量控制指标

1 氯盐盐渍土环境中的混凝土构件，其混凝土强度 28d 龄期的抗氯离子扩散性能指标 D_{RCM} 值，应符合表 6.3.3-1 规定。

表 6.3.3-1 混凝土的抗氯离子扩散性能指标 (D_{RCM} , $10^{-12}m^2/s$)

耐久性设计使用年限	环境作用等级			
	III-B	III-C	III-D	III-E
50	≤ 13	≤ 10	≤ 7	≤ 6
100	≤ 8	≤ 6	≤ 4	≤ 4

注：1 表中的 D_{RCM} 值，是标准养护条件下 28d 龄期混凝土非稳态氯离子迁移系数；

2 表中的 D_{RCM} 值适用于较大或大掺量矿物掺合料混凝土，对于胶凝材料主要成分为硅酸盐水泥的混凝土，应采用更为严格的要求。

2 氯盐盐渍土环境中的混凝土构件，电通量评定指标应符合表 6.3.3-2 规定。

表 6.3.3-2 混凝土的电通量 (Q_s , C)

耐久性设计使用年限	环境作用等级			
	III-B	III-C	III-D	III-E
50	≤ 2500	≤ 2000	≤ 1500	≤ 1000
100	≤ 2000	≤ 1500	≤ 1000	≤ 800

注：1 本方法适用于测定以通过混凝土试件的电通量为指标确定混凝土抗氯离子渗透性能，应按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 规定的电通量法进行检验。不适用于掺有亚硝酸盐和钢纤维等良导电材料的混凝土抗氯离子渗透试验。

2 本方法对于以硅酸盐水泥为主要胶凝材料的混凝土测试龄期一般为 28d，对于大量掺加矿物混合料（混凝土中水泥混合材和矿物掺合料之和超过胶凝材料用量的 50 %）的混凝土，采用 56d 的测试值进行评价。

6.3.4 硫酸盐盐渍土环境中混凝土保护层最小厚度与相应的混凝土强度等级、最大水胶比应符合表 6.3.4 规定。

表 6.3.4 硫酸盐盐渍土环境中混凝土保护层最小厚度与相应的混凝土强度等级、最大水胶比

环境作用等级	腐蚀等级	耐久性设计使用年限（年）	最低混凝土强度等级	最大水胶比	钢筋最小保护层厚度 c（mm）	
					板、墙等面形构件	梁、柱等条形构件
III—B	弱	50	C40	0.45	30	40
		100	C45	0.40	35	45
III—C	中	50	C45	0.45	35	40
		100	C50	0.40	40	45
III—D	强	50	C50	0.40	40	45
		100	C55	0.36	45	50
III—E	超强	50	C55	0.33	45	50
		100	C60	0.30	50	55

注：对于 100 年设计使用寿命且环境为 III—E 腐蚀时，混凝土应加入非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂，经过特别设计且试验合格后方能使用。

6.3.5 硫酸盐盐渍土环境中的混凝土构件，其混凝土 28d 龄期的抗硫酸盐侵蚀等级，应符合表 6.3.5 规定

表 6.3.4 混凝土的抗硫酸盐等级

耐久性设计使用年限	环境作用等级			
	III—B	III—C	III—D	III—E
50	KS90	KS120	KS140	KS150
100	KS120	KS140	KS150	≥KS150

注：1 抗硫酸盐等级应以混凝土抗压强度耐蚀系数下降到不低于 75% 的最大干湿循环次数来确定；

2 混凝土抗硫酸盐侵蚀试验应按《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准》GB/T50082 规定的抗硫酸盐侵蚀试验方法进行检验。

6.3.5 氯盐、硫酸盐盐渍土环境在长期荷载作用下钢筋混凝土结构的裂缝控制等级及最大裂缝限值应符合表 6.3.5 规定。

表 6.3.5 氯盐、硫酸盐盐渍土环境在长期荷载作用下钢筋混凝土结构的裂缝控制等级及最大裂缝限值

环境作用等级	钢筋混凝土构件		预应力混凝土构件	
	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)
III—C	三级	0.2	二级	—
III—D				
III—E				

6.4 构造与措施

6.4.1 当混凝土构件所处环境既有氯盐盐渍土作用又有硫酸盐盐渍土作用时，混凝土构件应同时满足两种盐渍土作用下的防护措施，混凝土构件的构造措施应选用较高作用等级下的对应措施。

6.4.2 在III—C 以上的环境作用等级下，不宜采用各种类型的壳体等薄壁型基础。

6.5 盐渍土环境混凝土防腐、阻锈防护要求

6.5.1 耐久性设计使用年限为 50 年时，在盐渍土环境氯盐、硫酸盐侵蚀下，民用建筑地下室筏板和外墙混凝土防腐、阻锈防护要求及桩筏联合基础下混凝土灌注桩防腐、阻锈防护要求应符合附录 A 规定。

7 内陆盐湖环境

7.1 一般规定

7.1.1 内陆盐湖环境中地下工程混凝土结构阻锈、防水耐久性设计，应控制氯化物引起的钢筋锈蚀。

7.1.2 内陆盐湖和近盐湖地区接触氯化物的地下工程混凝土结构构件，应按内陆盐湖环境进行耐久性设计；降雪地区接触含冰盐（雾）的车库楼板及框架梁，内陆地区接触含有氯盐的地下水、土及频繁接触含氯盐消毒剂的地下工程混凝土结构构件，应按除冰盐等其它氯化物环境进行耐久性设计。

7.1.3 重要的地下工程混凝土结构的构件，当内陆盐湖环境作用等级为 E 级时，应采用防腐阻锈蚀附加措施。当采用一种防腐阻锈蚀附加措施，混凝土强度等级不得降低；采用两种附加措施后，混凝土强度等级可降低一个等级，但不应低于 C45。

7.1.4 内陆盐湖环境作用等级为 E 级的地下工程混凝土结构，应在耐久性设计中提出结构使用过程中定期检测的要求。重要工程尚应在设计阶段作出定期检测的详细规划，并设置专供检测取样用的构件。

7.1.5 内陆盐湖环境中，用于稳定周围岩土的混凝土初期支护，如作为永久性地下工程混凝土结构的一部分，则应满足相应耐久性使用年限的各项要求；否则不应考虑其中的钢筋和型钢在永久承载中的作用。

7.1.6 内陆盐湖的湖水水位变动区和浪溅区，不应设置施工缝与连接缝；伸缩缝及附近的地下工程混凝土应局部采取阻锈附加措施，处于伸缩缝下方的构件应采取防渗漏水侵蚀的构造措施。

7.1.7 内陆盐湖环境中地下工程混凝土的质量控制指标

1 内陆盐湖环境中的地下工程混凝土构件，其混凝土 28 天龄期的抗氯离子侵入性能指标 DRCM 值，应符合表 7.1.7-1 规定。

表 7.1.7-1 内陆盐湖环境中混凝土抗氯离子渗透指标 D_{RCM} ($0.1 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)

耐久性设计使用年限	环境作用等级		
	IV—C	IV—D	IV—E
50	≤ 10	≤ 7	≤ 6
100	≤ 6	≤ 5	≤ 4

- 注：1. 表中的 D_{RCM} 值，是标准养护条件下 28d 龄期混凝土非稳态氯离子迁移系数；
2. 表中的 D_{RCM} 值适用于较大或大掺量矿物掺合料混凝土，对于胶凝材料主要成分为硅酸盐水泥的混凝土，应采用更为严格的要求。

2 内陆盐湖环境中电通量（56 天）指标应符合表 7.1.7-2 的规定。

表 7.1.7-2 内陆盐湖环境中混凝土的电通量 (Q_s, C)

耐久性设计使用年限	环境作用等级		
	IV—C	IV—D	IV—E
50	$Q_s < 2000$	$Q_s < 1500$	$Q_s < 1000$
100	$Q_s < 1500$	$Q_s < 1000$	$Q_s < 500$

注：1 本方法适用于测定以通过混凝土试件的电通量为指标确定混凝土抗氯离子渗透性能。不适用于掺有亚硝酸盐和钢纤维等良导电材料的混凝土抗氯离子渗透实验。应按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 规定的电通量法进行检验。

2 本方法适用于大掺量矿物混合料(混凝土中水泥混合材和矿物掺合料之和超过胶凝材料用量的 50%)的地下工程混凝土，采用龄期为 56d 的测试值进行评价。

7.1.8 除冰盐等其它氯化物环境中地下工程混凝土的质量控制指标

1 除冰盐等其它氯化物环境中的地下工程混凝土构件，其混凝土 28 天龄期的抗氯离子侵入性能指标 D_{RCM} 值，应符合表 7.1.8-1 的规定。

表 7.1.8-1 除冰盐等其它氯化物环境中混凝土抗氯离子渗透指标 ($D_{RCM}, 0.1 \times 10^{-12} m^2/s$)

耐久性设计使用年限	环境作用等级		
	IV—C	IV—D	IV—E
50	≤ 13	≤ 10	≤ 7
100	≤ 8	≤ 6	≤ 4

2 除冰盐等其它氯化物环境中电通量（56d）指标应符合表 7.1.8-2 的规定。

表 7.1.8-2 除冰盐等其它氯化物环境中混凝土的电通量 (Q_s, C)

耐久性设计使用年限	环境作用等级		
	IV—C	IV—D	IV—E
50	$Q_s < 2000$	$Q_s < 1500$	$Q_s < 1000$
100	$Q_s < 1500$	$Q_s < 1000$	$Q_s < 500$

注：1 本方法适用于测定以通过混凝土试件的电通量为指标确定混凝土抗氯离子渗透性能。不适用于掺有亚硝酸盐和钢纤维等良导电材料的混凝土抗氯离子渗透实验。应按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 规定的电通量法进行检验。

2 本方法适用于大掺量矿物混合料(混凝土中水泥混合材和矿物掺合料之和超过胶凝材料用量的 50%)的地下工程混凝土，采用龄期为 56d 的测试值进行评价。

7.2 环境作用等级

7.2.1 内陆盐湖环境地下工程混凝土结构环境作用等级、腐蚀等级及氯离子浓度应按表

7.2.1 的规定确定。

表 7.2.1 内陆盐湖环境作用等级、腐蚀等级及腐蚀类别浓度

环境作用等级		IV—C	IV—D	IV—E	
腐蚀等级		中度	严重	非常严重	
腐蚀类别浓度 (mg/L)	水中 Cl ⁻	长期浸水	10,000~20,000	20,000~30,000	30,000~50,000
		干湿交替	100~500	500~5000	5000~15,000

注：土中的干燥及潮湿环境下的作用等级按表 7.2.1 的除冰盐及其他氯化物环境确定。

7.2.2 内陆盐湖环境中氯化物对地下工程混凝土结构构件的环境作用等级应按表 7.2.2 的规定确定。

表 7.2.2 内陆盐湖环境中氯化物作用等级及锈蚀等级

环境作用等级	腐蚀等级	环境条件	结构构件示例
IV—C	中度	水下区和土中区：周边永久浸没于湖水或埋于土中	构筑物或建筑物基础或桩基
IV—D	严重	大气（轻度盐雾）：距平均水位 15m 高度以上的盐湖上大气区；浪潮岸线以外 100m~300m 内的陆上室外环境	构筑物或建筑物的上部结构构件，靠盐湖的陆上建筑外墙及室外结构，如阳台、挑檐等构筑物
IV—E	非常严重	大气区（重度盐雾）：距平均水位上方 15m 以内的盐湖上大气区；离浪潮岸线 100m 以内且低于湖平面以上 15m 的陆上室外环境	构筑物或建筑物的上部结构构件、靠盐湖的陆上建筑外墙及室内构件
		潮汐区和浪溅区，非炎热地区	桥墩、桥台、码头

注：1 近内陆盐湖或内陆盐湖环境中的水下区、潮汐区、浪溅区和大气区的划分，按国家现行标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTJ275 的规定确定；近盐湖或内陆盐湖环境的土中区指盐湖湖底以下或近盐湖的陆区地下，其地下水中的盐类成分与盐湖水相近。

2 湖水激流中的环境作用等级应提高一个等级。

3 轻度盐雾区与重度盐雾区界限的划分，宜根据当地的具体环境和既有工程调查确定；靠近盐湖岸的陆上建筑物或构筑物，盐雾对室外混凝土构件的作用尚应考虑风向、地貌等因素；密集建筑群，除直接面湖和迎风的建筑外，其它建筑物可适当降低作用等级。

7.2.3 盐湖入湖口附近水域的含盐量应根据实测确定，当含盐量明显低于湖水时，其环境作用等级可根据具体情况低于表 7.2.2 的规定。

7.2.4 除冰盐等其它氯化物环境对于钢筋混凝土结构的环境作用等级应根据调查确定，当无相应的调查资料时，可按表 7.2.4 的规定确定

表 7.2.4 除冰盐等其它氯化物环境作用等级及腐蚀等级

环境作用等级	腐蚀等级	环境条件	结构构件示例
IV—C	中度	除冰盐盐雾轻度作用	距行车道 10m 以外接触盐雾的结构构件
		四周浸没于含氯盐水中	地下水中结构构件
		接触较低浓度氯离子水体，且有干湿交替	处于水下变动区，或部分暴露于大气，部分在地下水土中的构件

表 7.2.4 (续)

环境作用等级	腐蚀等级	环境条件	结构构件示例
IV—D	严重	除冰盐水溶液轻度溅射作用	桥梁护墙(栏), 立交桥桥墩
		接触较高浓度氯离子水体, 且有干湿交替	盐湖水池壁: 处于水位变化区, 或部分暴露于大气, 部分在地下水土中的构件。
IV—E	非常严重	直接接触除冰盐溶液	路面、桥面板, 与含盐渗漏水接角的桥盖梁、墩柱顶面
		受除冰盐水溶液重度溅射或重度盐雾作用	桥梁护栏、护墙、立交桥墩; 车道两侧 10m 以内的构件
		接触高浓度氯离子水体, 有干湿交替	处于水位变动区, 或暴露于大气, 部分在地下水土中的构件。

注: 1 水中氯离子浓度的划分为: 较低, 100mg/L~500mg/L; 较高, 500mg/L~5000mg/L; 高, 大于 5000mg/L;
 2 土中氯离子浓度的划分为: 较低, 150mg/kg~750mg/kg; 较高, 750mg/kg~7500mg/kg; 高, 大于 7500mg/kg;
 3. 除冰盐环境的作用等级与冬季喷洒除冰盐的具体用量和频度有关, 可根据具体情况作出调整。

7.2.5 在确定内陆盐湖环境中氯化物对地下工程混凝土结构构件的作用等级时, 不应改变混凝土表面防水层、防水涂料等对氯化物的阻隔作用。

7.3 材料与保护层厚度要求

7.3.1 内陆盐湖环境下, 自防护混凝土应采用普通硅酸盐水泥掺加非膨胀复合高性能混凝土外加剂及矿物掺合料, 并控制氯离子及碱含量; 内陆盐湖环境下不宜使用抗硫酸盐水泥。

7.3.2 内陆盐湖环境中的地下工程混凝土结构构件, 其普通钢筋的保护层最小厚度及其相应的混凝土强度等级、最大水胶比应符合表 7.3.2 规定。

表 7.3.2 内陆盐湖环境中混凝土最低强度等级、最大水胶比、最小保护层厚度 (mm)

耐久性设计使用年限			50 年			100 年		
混凝土设计指标			混凝土强度等级	最大水胶比	混凝土保护层厚度	混凝土强度等级	最大水胶比	混凝土保护层厚度
环境作用等级	板、墙等面形构件	IV—C	C40	0.42	40	C45	0.40	45
		IV—D	C40	0.42	50	C45	0.40	55
		IV—E	C50	0.40	55	C50	0.36	60
	梁、柱等条形构件	IV—C	C40	0.42	45	C45	0.40	50
		IV—D	C40	0.42	55	C45	0.40	60
		IV—E	C45	0.40	60	C50	0.36	65

注: 1 可能出现盐湖冰水冰冻与除冰盐环境时, 宜采用引气混凝土。当采用引气混凝土时, 表中混凝土强度等级可降低一个等级, 相应水胶比可提高 0.05, 但引气混凝土强度等级和最大水胶比仍应满足本规程表 5.3.2 的规定。
 2 处于流动湖水中同时受水中泥沙冲刷腐蚀的地下工程混凝土构件, 其钢筋混凝土保护层厚度应增加 10mm~20mm。

3 预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm。

7.3.3 内陆盐湖环境中应采用掺有非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂的自防护混凝土，对混凝土的耐久性指标和原材料选用应符合国标《混凝土耐久性设计规范》GB/T 50476-2008 中附录 B 规定。

7.3.4 对大截面柱、桩承台及桩等混凝土受压构件中的钢筋，应采用较大混凝土保护层厚度，且相应的混凝土强度等级不宜降低。

7.3.5 内陆盐湖环境中混凝土构件的纵向受力钢筋直径不应小于 16mm，箍筋直径不应小于 10mm。

7.3.6 内陆盐湖环境在长期荷载作用下，地下工程混凝土构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值应符合表 7.3.6 规定。

表 7.3.6 内陆盐湖环境在长期荷载作用下
地下工程混凝土构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值

环境作用等级	钢筋混凝土构件		预应力混凝土构件	
	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)
IV—C	三级	0.20	二级	—
IV—D	二级	0.10	一级	—
IV—E				

7.4 内陆盐湖环境地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求

7.4.1 内陆盐湖环境下，混凝土不宜单独采用普通硅酸盐水泥作为胶凝材料，应掺加非膨胀防腐、阻锈、防水、抗裂、抗冻融高效外加剂及矿物掺合料，并按要求控制氯离子含量及碱含量。

7.4.2 耐久性设计使用年限为 50 年时，在内陆盐湖环境的氯盐侵蚀下，民用建筑地下室筏板和外墙地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求及桩筏联合基础下地下工程混凝土灌注桩防腐、阻锈防护要求应符合附录 A 规定。

8 化学腐蚀环境

8.1 一般规定

8.1.1 化学腐蚀环境地下钢筋混凝土结构防腐、阻锈、抗冻融耐久性设计，应控制混凝土遭受化学腐蚀物质长期侵蚀引起的损伤。

8.1.2 对化学腐蚀环境中硫酸盐腐蚀与水中镁离子、水中酸碱度、水中侵蚀二氧化碳等酸类物质腐蚀做出规定。

8.1.3 化学腐蚀环境下混凝土结构的构造要求除应符合本章规定外，尚应符合本标准第3.7节的规定。

8.1.4 在化学腐蚀环境中，当钢筋混凝土结构使用掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂的自防护混凝土，并满足结构的设计要求时，混凝土表面可不附加防水层、防腐层、防护层。

8.2 化学腐蚀环境的作用等级

I 水、土中的化学腐蚀环境

8.2.1 水、土中的硫酸盐对混凝土结构构件的环境作用等级及浓度可按表8.2.1的规定确定。

表 8.2.1 水、土中硫酸盐和酸类物质作用等级

作用等级	作用因素				
	水中硫根离子浓度 SO_4^{2-} (mg/L)	土中硫根离子浓度 (水溶值) SO_4^{2-} (mg/kg)	水中镁离子浓度 (mg/L)	水中酸碱度 (pH)	水中侵蚀性二氧化碳浓度 (mg/L)
V—C	200~1000	300~1500	300~1000	6.5~5.5	15~30
V—D	1000~4000	1500~6000	1000~3000	5.5~4.5	30~60
V—E	4000~10,000	6000~15,000	≥ 3000	< 4.5	60~100

注：1 表中与环境作用等级相应的硫酸根浓度，所对应的环境条件为非干旱高寒地区的干湿交替环境。

当无干湿交替（长期浸没于地表或地下水中），可按表中的等级降低一级，但不得低于V—C级。

2 当混凝土结构构件处于弱透水土体中时，土中硫酸根离子、水中镁离子、水中侵蚀性二氧化碳及水中的pH值的作用等级可按相应的等级降低一级，但不低于V—C级。

3 高水压流动水条件下，应提高相应的环境作用等级。

4 表中硫酸根等级含量的测定方法符合GB/T50476-2019附录E的规定。

8.2.2 当有多种化学物质共同作用时，环境作用等级应按下列原则确定：

1 对含有较高浓度氯盐的地下水、土且不存在干湿交替作用时，可不单独考虑硫酸盐

的作用；

2 当化学物质的腐蚀作用无叠加效应时，应取其中最高的环境作用等级；

3 当其中有两种及以上化学物质的作用等级相同且能加重化学腐蚀时，其环境作用等级应再提高一级。

II 大气污染腐蚀环境

8.2.3 大气污染环境对混凝土结构构件的作用等级可按表 8.2.3 的规定确定。

表 8.2.3 大气污染环境作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
V—C	汽车或机车废气	受废气直射的结构构件，处于封闭空间内受废气作用的车库或隧道构件
V—D	酸雨（雾、露） $4.5 \leq \text{pH 值} \leq 5.6$	遭酸雨频繁作用的构件
V—E	酸雨 $\text{pH 值} < 4.5$	遭酸雨频繁作用的构件

8.2.4 处于含盐大气中的混凝土结构构件环境作用等级可按 V—C 级确定，对气候常年湿润的环境，可不考虑其环境作用。

8.2.5 污水管道、厩舍、化粪池等接触硫化氢气体或其他腐蚀性液体的混凝土结构构件，可将环境作用确定为 V—E 级，当作用程度较轻时也可按 V—D 级确定。

8.3 材料与保护层厚度要求

8.3.1 化学腐蚀环境钢筋混凝土结构耐久性设计，应采用普通硅酸盐水泥掺入非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂和掺和料等制备自防护混凝土；或采用抗硫酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥同时掺加矿物掺和料；不应使用高钙粉煤灰，水泥和矿物掺和料不得加入石灰石粉；当环境作用等级超过 V—E 级时，应根据当地的大气环境和地下水变动条件，进行专门实验研究和论证后确定水泥的种类和掺和料用量。

8.3.2 水、土中的化学腐蚀环境、大气污染环境和含盐大气环境的钢筋混凝土结构构件，其普通钢筋的混凝土保护层最小厚度及相应的混凝土强度等级、最大水胶比应按表 8.3.2 的规定确定。

表 8.3.2 化学腐蚀环境下混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度

耐久性设计使用年限			100 年			50 年		
混凝土设计指标			混凝土强度等级	最大水胶比	c (mm)	混凝土强度等级	最大水胶比	c (mm)
环境作用等级	板、墙等面形构件	V—C	C45	0.40	40	C40	0.45	35
		V—D	C45 ≥C50	0.40 0.36	45 40	C40 ≥C45	0.45 0.40	40 35

表 8.3.2 (续)

耐久性设计使用年限			100 年			50 年		
混凝土设计指标			混凝土强度等级	最大水胶比	c (mm)	混凝土强度等级	最大水胶比	c (mm)
环境作用等级	板、墙等面形构件	V-E	C50	0.36	45	C45	0.40	40
			≥C55	0.33	40	≥C50	0.36	35
	梁、柱等条形结构	V-C	C45	0.40	45	C40	0.45	40
			≥C50	0.36	40	≥C45	0.40	35
		V-D	C45	0.40	50	C40	0.40	45
			≥C50	0.36	45	≥C45	0.40	40
V-E	C50	0.36	50	C45	0.40	45		
	≥C55	0.33	45	≥C50	0.36	40		

注：预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm。

8.3.3 在长期荷载作用下的化学腐蚀环境中，钢筋混凝土结构的裂缝控制等级及最大裂缝控制限制应按表 8.3.3 的规定确定。

表 8.3.3 在长期荷载作用下化学腐蚀环境中，混凝土构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值

环境作用等级	钢筋混凝土构件		预应力混凝土构件	
	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)	裂缝控制等级	ω_{lim} (mm)
V-C	三级	0.20	二级	—
V-D	二级	0.10	一级	—
V-E				

8.4 构造与措施

8.4.1 严重化学腐蚀环境下的混凝土结构构件，应结合对当地环境和既有建筑物的调查，在混凝土表面增设防腐蚀附加措施或加大混凝土构件的截面尺寸。

8.4.2 对于钢筋混凝土结构薄壁构件宜增加其厚度。

9 混凝土裂缝修补

9.1 设计规定

9.1.1 混凝土结构裂缝的类型:

1 混凝土结构裂缝按其形成的原因可分为荷载作用裂缝和非荷载作用裂缝两大类。荷载作用裂缝是指结构构件在施工过程和使用过程因荷载作用而产生的裂缝;非荷载作用裂缝一般是由于混凝土干燥收缩、温度变化或构造措施不当而产生的裂缝以及施工缝处理不当出现的冷缝。

2 混凝土结构裂缝按其随时间发展变化,可分为静止裂缝和活动裂缝两大类。静止裂缝是指其裂缝的形态尺寸和数量均已稳定不再发展的裂缝;活动裂缝是指裂缝的形态、尺寸和数量随时间的变化、随结构受力变形或环境温湿度变化而变化的裂缝。

9.1.2 对于静止裂缝可依据裂缝形态和宽度大小,选择适当的材料立即进行修补;对于活动的裂缝,应先确定其形成的原因并观察一定时间,确认稳定后,再按静止裂缝修补方法进行修补;若不能完全消除其成因,在确认混凝土裂缝对结构安全或正常使用产生不利影响时,应对构件进行修补和加固处理。

9.1.3 裂缝修补方法

1 表面封闭法:利用混凝土表层微细独立裂缝(裂缝宽度 $w \leq 0.2\text{mm}$)或网状裂纹的毛细作用吸收低黏度且具有良好渗透性的修补胶液,封闭裂缝通道。对需要防渗的部位,尚应在混凝土表面粘贴纤维复合材料以增强封护作用。

2 注射法:以一定的压力将低黏度、高强度的裂缝修补胶液注入裂缝腔内:此方法用于静止的独立裂缝、贯穿性裂缝以及蜂窝状局部缺陷的补强和封闭。注射前,应按产品说明书的规定,对裂缝周边进行密封。

3 压力注浆法:在一定时间内,以较高压力(按产品使用说明书确定)将修补裂缝用的改性环氧类浆料压入裂缝腔内;此法适用于处理大型结构贯穿裂缝、大体积混凝土的蜂窝状严重缺陷以及深而蜿蜒的裂缝。

4 填充密封法:在构件表面沿裂缝走向骑缝凿出槽深和槽宽分别不小于20mm和15mm的U或V形沟槽,然后用改性防腐环氧树脂填缝填充,并粘贴纤维复合材以封闭其表面;此法适用于处理裂缝宽度大于0.5mm的活动裂缝和静止裂缝。填充完毕后,其表面应做防护层。

9.1.4 混凝土裂缝修补材料的类型和适用条件

1 改性环氧树脂类、聚合物注浆料等的合成树脂类修补材料，适用于裂缝的封闭或补强，可采用表面封闭法、注射法或压力注浆法进行修补。

2 超细无收缩水泥注浆料、改性聚合物水泥注浆料以及不回缩微膨胀水泥等的无机胶凝材料类修补材料，适用于裂缝宽度大于 1mm 的静止裂缝的修补。

3 E 玻璃或 S 玻璃纤维织物、碳纤维织物等的纤维复合材与其适配的胶粘剂，适用于裂缝表面的封护与增强。

9.2 检测验收

9.2.1 胶（浆）液固化时间达到 7d 时，应立即采用下列方法之一进行灌注质量检验：

1 超声波法

当采用超声波探测时，其测定的浆体饱满度不应小于 90%。检测数量：见证抽测裂缝总数的 10%，且不小于 5 条裂缝。检验方法：按有关超声法检测混凝土缺陷的规定执行。

2 取芯法

随机钻取直径 D 不小于 50mm 的芯样进行检测。钻芯前应先通过探测避开钢筋；取芯点宜位于裂缝中部。检查芯样裂缝是否被胶体填充密实、饱满，粘结完整。如有补强要求，还应对芯样做劈拉强度试验；试验结果应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50376 的要求。钻芯后留下的孔洞应采用掺有石英砂的结构胶填塞密实。检查数量：每一检验批同类构件见证抽查 10%，且不少于 3 条裂缝；每条取芯样 1 个。检验方法：观察、检查修补胶固化 7d 的劈拉试验记录。

3 承水法

仅适用于现浇楼板或围堰类构筑物。以承水 24h 不渗漏为合格。检验数量：按修补情况确定。检验方法：观察，并检查承水试验报告。

9.2.2 混凝土裂缝修补胶的安全性能指标应符合表 9.2.2 规定。

表 9.2.2 裂缝修补胶性能指标

检验项目		性能指标 (A 级胶)	试验方法标准
钢-钢拉伸抗剪强度 (MPa)		≥ 14	GB/T 7124
胶体性能	抗拉强度 (MPa)	≥ 40	GB/T 2568
	受拉弹性模量 (MPa)	≥ 2500	
	抗压强度 (MPa)	≥ 70	GB/T 2569
	抗弯强度 (MPa)	≥ 50 且不得呈脆性 (碎裂状) 破坏	GB/T 2570

表 9.2.2 (续)

检验项目	性能指标 (A 级胶)	试验方法标准
不挥发物含量 (固体含量) (%)	≥99	GB/T 2793
可灌注性	在产品使用说明书规定的压力下能注入宽度为 0.1mm 的裂缝	现场试灌注固化后取芯样检查

10 施工与检测验收

10.1 混凝土配合比设计

10.1.1 应对掺加非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂的自防护混凝土配合比进行单独设计，应满足本规程规定的强度等级、工作性和耐久性要求。

10.1.2 为减少混凝土早期的水化热，可采用先进的施工工艺、增大矿物掺合料掺量等多项措施，在满足各项性能指标前提下，尽量降低水泥用量、采用较低的水胶比，混凝土配合比须经试验验证。

10.1.3 结构和结构构件的混凝土强度等级应同时满足承载能力和耐久性的要求。

10.2 施工要求

10.2.1 施工单位应对地下建筑有防腐、阻锈、抗冻融要求的自防护能混凝土结构工程，根据不同环境情况和环境作用等级，结合工程实际，编制专项技术措施和施工组织设计，并通过审查批准。

10.2.2 混凝土振捣必须做到均匀密实，用插入式振捣器变换插入点时，应快插慢拔，不得漏振。振捣加引气剂混凝土时应使用振动频率不大于 6000 次/分的中低频振捣棒，并控制时间避免过振。泵送混凝土坍落度不应过大，以免离析泌水。

10.2.3 混凝土浇筑完成后应及时进行覆盖保湿（保温）养护，防止出现收缩或温度裂缝。筏板及板类构件尽可能进行蓄水养护，梁、柱、墙等竖向构件应精心采取有效的覆盖保湿养护措施。混凝土表面大气温度不低于 10℃ 的情况下，养护至现场混凝土强度不低于 28 天标准强度的 50%，且不少于 7 天，否则应延长养护时间；后浇带加膨胀剂的混凝土养护时间不得少于 14 天，处于气候干燥，温差大，蒸发量大的地区或大量掺矿物掺合料的混凝土，在结束正常养护后，仍应采取适当增湿措施。

10.2.4 混凝土构件拆模后，表面不得留有螺栓、拉杆、铁钉等金属件；因设计要求设置的金属预埋件，裸露部分必须进行防腐处理。

10.2.5 在盐渍土及化学腐蚀环境中施工时，严禁施工用水与建筑场地原土接触，并应避免雨水、废水从场地流入施工基坑；尽可能推迟现浇混凝土与腐蚀物质直接接触的时间，而且混凝土浇注 14 天内不应受到地下水，含盐水或化学腐蚀物液体直接冲刷。

10.3 检测与验收

10.3.1 地下工程自防护混凝土结构的常规检测应按现行国家标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 和《混凝土耐久性能检验评定标准》JGJ/T193 的规定进行检测与评定。

10.3.2 地下工程自防护混凝土结构在不同环境条件和环境作用等级情况下的检测应按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的相关要求进行检测与评定。

10.3.3 非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂质量检测：

1 混凝土中掺用非膨胀防腐阻锈抗冻融高效外加剂的质量应符合本规程表 3.6.1 的规定。

2 检查数量：按同一生产厂家、同一类型、同一批次且连续进场的非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂，50 吨为一批次，每批次抽样不少于一次。不足 50 吨时也按一个检验批计。每一检验批取样量不应少于 0.2 吨胶凝材料所需的外加剂量，并出据进场复检报告。

3 检验方法：检查产品合格证、产品使用说明、出厂检验报告和进场复检报告。

10.3.4 自防护混凝土结构构件质量检测要求如下：

1 混凝土保护层厚度施工质量验收要求应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB5 0204 的规定执行；

2 测定混凝土抗压强度，应符合本规程及设计的规定；

3 盐渍土环境、氯化物环境、化学腐蚀环境作用等级下，根据设计要求测定混凝土电参数，氯离子扩散系数等。

10.3.5 自防护混凝土工程质量验收

自防护混凝土质量除应满足本规程要求外，尚应满足以下要求

1 混凝土质量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

2 混凝土强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定。

3 混凝土结构工程的施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

4 混凝土耐久性要求应符合《混凝土耐久性能检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

附录 A 不同条件下地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求

A.0.1 冻融环境、盐渍土环境、内陆盐湖环境、化学腐蚀环境硫酸盐、氯盐侵蚀下,民用建筑地下室筏板及外墙混凝土防腐、阻锈防护要求,按表 A.0.1-1、表 A.0.1-2 的规定确定。

表 A.0.1-1 地下室筏板及外墙混凝土结构防腐蚀防护要求

要求项目	腐蚀等级		
	弱	中	强
材料要求	采用普通硅酸盐水泥,掺加非膨胀类抗硫酸盐防腐高效外加剂,同时掺加矿物掺和料。氯离子含量不得大于 0.10%,最大碱含量 1.5kg/m ³ ,最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥,掺加非膨胀类抗硫酸盐防腐高效外加剂,同时掺加矿物掺和料;或采用普通抗硫酸盐水泥,同时掺加矿物掺和料;不应使用高钙粉煤灰,不得加入石灰石粉。混凝土中氯离子含量不得大于 0.10%,最大碱含量 1.5kg/m ³ ,最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥,掺加非膨胀类抗硫酸盐防腐高效外加剂,同时掺加矿物掺和料;或采用高抗硫酸盐水泥,同时掺加矿物掺和料;不应使用高钙粉煤灰,不得加入石灰石粉。混凝土中氯离子含量不得大于 0.08%,最大碱含量 1.5kg/m ³ ,最大硫酸钠含量 1.0%。
性能要求	强度等级≥C35	强度等级≥C40	强度等级≥C45
	抗渗等级≥P10	抗渗等级≥P12	抗渗等级≥P12
底板外墙防护要求	水胶比≤0.48	水胶比≤0.45	水胶比≤0.40
	保护层厚≥50(筏板)	保护层厚≥50(筏板)	保护层厚≥55(筏板)
	保护层厚≥30(外墙)	保护层厚≥30(外墙)	保护层厚≥40(外墙)
	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求
筏板底及外墙外表防护要求	当采用非膨胀高效自防护混凝土外加剂时可取消筏板底及外墙外防水层和防腐涂料		

表 A.0.1-2 地下室筏板及外墙中钢筋、钢骨阻锈蚀防护要求

要求项目	锈蚀等级		
	弱	中	强
材料要求	采用普通硅酸盐水泥,掺加非膨胀类钢筋阻锈高效外加剂,同时掺加矿物掺和料。氯离子含量不得大于 0.10%,最大碱含量 1.5kg/m ³ ,最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥,掺加非膨胀类钢筋阻锈高效外加剂,同时掺加矿物掺和料。氯离子含量不得大于 0.10%,最大碱含量 1.5kg/m ³ ,最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥,掺加非膨胀类钢筋阻锈高效外加剂,同时掺加矿物掺和料。氯离子含量不得大于 0.08%,最大碱含量 1.5kg/m ³ ,最大硫酸钠含量 1.0%。
性能要求	强度等级≥C35	强度等级≥C40	强度等级≥C45
	抗渗等级≥P10	抗渗等级≥P12	抗渗等级≥P12

表 A. 0. 1-2 (续)

要求项目	锈蚀等级		
	弱	中	强
钢筋钢筋要求	主筋直径 $\geq\Phi 16$	主筋直径 $\geq\Phi 16$	主筋直径 $\geq\Phi 18$
	箍筋直径 $\geq\Phi 10$	箍筋直径 $\geq\Phi 10$	箍筋直径 $\geq\Phi 14$
	钢筋厚度 $\geq 14\text{mm}$	钢筋厚度 $\geq 14\text{mm}$	钢筋厚度 $\geq 16\text{mm}$
底板外墙防护要求	水胶比 ≤ 0.48	水胶比 ≤ 0.45	水胶比 ≤ 0.40
	保护层厚 ≥ 50 (筏板)	保护层厚 ≥ 50 (筏板)	保护层厚 ≥ 55 (筏板)
	保护层厚 ≥ 30 (外墙)	保护层厚 ≥ 35 (外墙)	保护层厚 ≥ 45 (外墙)
	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求
筏板底及外墙外表防护要求	当采用非膨胀高效自防护混凝土外加剂时可取消筏板底及外墙外防水层和防锈涂料		

A. 0. 2 冻融环境、盐渍土环境、内陆盐湖环境、化学腐蚀环境硫酸盐、氯盐侵蚀下民用建筑桩筏联合基础下混凝土灌注桩桩身防腐、阻锈防护要求，按表 A. 0. 2-1、表 A. 0. 2-2 的规定确定。

表 A. 0. 2-1 混凝土灌注桩桩身防腐蚀防护要求

要求项目	腐蚀等级		
	弱	中	强
材料要求	采用普通硅酸盐水泥，掺加非膨胀类抗硫酸盐防腐高效外加剂，同时掺加矿物掺和料。氯离子含量不得大于 0.10%，最大碱含量 1.5kg/m ³ ，最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥，掺加非膨胀类抗硫酸盐防腐高效外加剂，同时掺加矿物掺和料；或采用普通抗硫酸盐水泥，同时掺加矿物掺和料；不应使用高钙粉煤灰，不得加入石灰石粉。砼中氯离子含量不得大于 0.10%，最大碱含量 1.5kg/m ³ ，最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥，掺加非膨胀类抗硫酸盐防腐高效外加剂，同时掺加矿物掺和料；或采用高抗硫酸盐水泥，同时掺加矿物掺和料；不应使用高钙粉煤灰，不得加入石灰石粉。砼中氯离子含量不得大于 0.08%，最大碱含量 1.5kg/m ³ ，最大硫酸钠含量 1.0%。
性能要求	强度等级 $\geq\text{C}35$	强度等级 $\geq\text{C}40$	强度等级 $\geq\text{C}45$
	抗渗等级 $\geq\text{P}12$	抗渗等级 $\geq\text{P}12$	抗渗等级 $\geq\text{P}14$
防护要求	水胶比 ≤ 0.42	水胶比 ≤ 0.40	水胶比 ≤ 0.36
	保护层厚 $\geq 60\text{mm}$	保护层厚 $\geq 65\text{mm}$	保护层厚 $\geq 70\text{mm}$
	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求

表 A.0.2-2 混凝土灌注桩钢筋、钢骨阻锈防护要求

要求项目	锈蚀等级		
	弱	中	强
采用材料	采用普通硅酸盐水泥，掺加非膨胀类钢筋阻锈高效外加剂，同时掺加矿物掺和料。氯离子含量不得大于 0.10%，最大碱含量 1.5kg/m ³ ，最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥，掺加非膨胀类钢筋阻锈高效外加剂，同时掺加矿物掺合料。氯离子含量不得大于 0.10%，最大碱含量 1.5kg/m ³ ，最大硫酸钠含量 1.0%。	采用普通硅酸盐水泥，掺加非膨胀类钢筋阻锈高效外加剂，同时掺加矿物掺合料。氯离子含量不得大于 0.08%，最大碱含量 1.5kg/m ³ ，最大硫酸钠含量 1.0%。
性能要求	强度等级 ≥C40	强度等级 ≥C45	强度等级 ≥C50
	抗渗等级 ≥P12	抗渗等级 ≥P12	抗渗等级 ≥P14
钢筋要求	主筋直径 ≥Φ14	主筋直径 ≥Φ16	主筋直径 ≥Φ18
	箍筋直径 ≥Φ8	箍筋直径 ≥Φ10	箍筋直径 ≥Φ10
防护要求	水胶比 ≤0.42	水胶比 ≤0.40	水胶比 ≤0.36
	保护层厚 ≥60mm	保护层厚 ≥65mm	保护层厚 ≥70mm
	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求	裂缝控制要满足《混凝土结构设计规范》规定要求

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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，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“应按.....执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 2 《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046
- 3 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50746
- 4 《混凝土防腐阻锈剂》 GB/T 31296
- 5 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 6 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 7 《预防混凝土碱骨料反应技术规程》 GB/T 50733
- 8 《高性能混凝土应用技术规程》 CECS 207
- 9 《混凝土外加剂应用技术规程》 GB 50119
- 10 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
- 11 《钢筋阻锈剂应用技术规程》 JGJ/T 192
- 12 《建筑结构检测技术标准》 GB/T 50344
- 13 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 14 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 15 《砂浆、混凝土防水剂》 JC 474
- 16 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 17 《混凝土结构耐久性设计规范》 DB62/T25-3073
- 18 《混凝土耐久性能检验评定标准》 JGJ T193
- 19 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》 JTJ 275
- 20 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 21 《混凝土外加剂匀质性试验方法》 GB/T 8077

内蒙古自治区工程建设标准

地下工程钢筋混凝土结构防腐阻锈抗冻融
自防护应用技术规程

Underground construction from high-performance technical specification for
concrete protection

DB/T—XXX

条文说明

目 次

1 总则.....	40
2 术语和符号.....	41
3 基本规定.....	42
3.1 基本规定.....	42
3.2 环境类别.....	43
3.3 环境作用等级.....	44
3.4 结构耐久性设计使用年限.....	45
3.5 结构及基础.....	46
3.6 材料要求.....	46
3.7 构造要求.....	47
4 一般环境.....	49
4.1 一般规定.....	49
4.2 环境作用等级.....	49
4.3 材料与保护层厚度要求.....	50
4.4 构造与措施.....	51
5 冻融环境.....	52
5.1 一般规定.....	52
5.2 环境作用等级.....	52
5.3 材料与保护层厚度要求.....	53
6 盐渍土环境.....	55
6.1 一般规定.....	55
6.2 环境作用等级.....	55
6.3 材料和保护层厚度要求.....	55
7 内陆盐湖环境.....	56
7.1 一般规定.....	56
7.2 环境作用等级.....	56
7.3 材料与保护层厚度要求.....	57

7.4	内陆盐湖环境地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求.....	57
8	化学腐蚀环境.....	58
8.1	一般规定.....	58
8.2	环境作用等级.....	58
8.3	材料与保护层厚度要求.....	58
9	混凝土裂缝修补.....	60
10	施工与检测验收.....	61
10.1	施工要求.....	61
10.2	施工要求.....	61
10.3	检测与验收.....	61
附录 A	62

1 总则

1.0.1 随着我国经济建设的蓬勃发展，建筑工程数量及规模也逐渐增大，对建（构）筑物的耐久性提出了更高的要求。内蒙古自治区的工程地质及水文地质条件和常见的腐蚀类型有一般环境、冻融环境、内蒙古高原干旱一半荒漠草原盐渍区和甘、蒙、新干旱—漠景盐渍土两种特点的盐渍土环境、内陆盐湖环境及化学腐蚀环境，为确保内蒙古自治区钢筋混凝土结构工程在不同环境条件和环境等级作用下，达到规范规定的耐久性设计使用年限的要求，根据我国和内蒙古自治区近年来的科研成果和工程实践，结合内蒙古自治区的地理环境和气候特点，编制了本规程，以达到科学合理地使用混凝土非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂，提高钢筋混凝土防腐、阻锈、抗冻融的自防护性能，使内蒙古自治区地下建筑钢筋混凝土结构工程的设计、施工质量上升到一个新的台阶和水平，符合资源节约和可持续发展的方针政策。

1.0.2 本条给出了本规程的适用范围。通过大量的科学试验和工程实践表明采用本规程提出的非膨胀防腐阻锈抗冻融高效外加剂的自防护混凝土，特别适用于新建、扩建、改建的工业与民用地下（构）建筑物的自防护钢筋混凝土结构工程的耐久性设计与施工。对预应力混凝土，不在本规范范围之内。

本标准不适用于轻骨料混凝土、纤维混凝土、蒸压混凝土等特种混凝土，这些混凝土材料在环境作用下的劣化速率与机理不同于普通混凝土，低周反复荷载和持久荷载的作用也能引起材料性能劣化，但与材料的力学破坏更加相关，有别于环境作用下的耐久性问题，故不属于本标准考虑的范畴。

本标准不涉及工业生产的高温高湿环境、微生物腐蚀环境、电磁环境、高压环境、杂散电流以及特殊腐蚀环境下混凝土结构的耐久性设计。特殊腐蚀环境下混凝土结构的耐久性设计可按照现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 等专用标准或在专门的耐久性研究的基础上进行，并需注意不同设计使用年限的结构应采取不同的防腐蚀要求。

1.0.3 与本规程有关的和难以详尽的技术要求以及对于本标准未提及的与耐久性设计有关的其它内容，按照国家或行业现行技术标准、规范的有关规定执行。

2 术语和符号

2.1.1 本规程给出的腐蚀性分级，主要根据国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 中按环境作用等级划分为五个腐蚀性分级，即 A 轻微、B 轻度、C 中度、D 严重、E 非常严重五个等级。为了与国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 中规定的腐蚀性分级划分为四个等级，即微腐蚀、弱腐蚀、中腐蚀、强腐蚀相对应，本规程在表 3.3.1 中给出了对应腐蚀分级，并增加了超强腐蚀一个等级。

2.1.6 本规程所指的非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂采用天然矿粉颗粒级配，减少混凝土收缩，无任何膨胀因素，属于非膨胀类混凝土外加剂，具有防腐、阻锈、抗冻融多功能性，此种外加剂还具有保水、减缩的性能。

2.1.7 本规程所指的自防护混凝土为掺有非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂的混凝土，可采用常规的材料和工艺生产，其具有自防护、高耐久性、高强度、良好的工作性及体积稳定性，并能满足高性能混凝土的各项力学性能指标要求。

2.1.8 盐渍土是盐土和碱土以及各种盐化、碱化土壤的总称，盐土是指土壤中可溶性盐含量达到对混凝土有显著危害的土类，盐分含量指标因不同盐分组成而异；碱土是指土壤含有危害混凝土结构和改变土壤性质的多量交换性钠。

3 基本规定

3.1 基本规定

3.1.1 本规程将地下钢筋混凝土结构的防腐蚀性能和其耐久性能有机地结合起来，混凝土结构的耐久性设计可分为传统的经验方法和定量计算方法。传统的经验方法是将环境作用按其严重程度定性地划分几个作用等级，在工程经验类比的基础上，对于不同环境作用等级下的混凝土结构构件，由规范规定的混凝土材料耐久性质量要求（通常用混凝土的强度、水胶比、胶凝材料用量等指标表示）和钢筋保护层厚度等构造要求进行设计与施工。近年来传统的经验方法有很大的改进，首先是按照材料的劣化机理确定不同环境类别，在每一类别下再按温度、湿度及其变化等不同环境条件区分其环境作用等级，从而更详细地描述环境作用，其次是对不同设计使用年限的结构构件，提出不同的耐久性要求。

在结构耐久性设计的定量计算方法中，环境作用需要定量表示，然后选用适当的材料劣化数字模型求出环境作用效应，列出耐久性极限状态下的环境作用效应和耐久性抗力关系公式，可求得相应的使用年限。作为耐久性设计目标，结构的耐久性设计使用年限应有规定的安全度，所以在耐久性极限状态的关系式中，应引入相应的安全系数，当用概率可靠度方法设计时，应满足所需的保证率。

应该说明，耐久性设计的经验方法和定量方法并不对立，两者在同一设计过程中互为补充：经验方法确定总体布置、构造、耐久性控制过程以及材料类型，定量方法在此基础上对确定的耐久性极限状态、进行材料性质和构造参数的定量设计。目前，在不同环境作用下的耐久性设计的定量计算方法尚未成熟到能在工程中普遍应用的程度，在各种劣化机理的计算模型中，可供使用的还只局限于定量估算钢筋开始发生锈蚀的年限。故目前国内现行混凝土结构设计规范中，所采用的耐久性设计方法，仍然是传统的方法或改进的传统方法。本规程采用了改进的传统方法。

3.1.2 本条指的非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂，是指其外加剂性能，既能防腐、阻锈、抗冻融又能保水、减缩、防水抗渗、抗裂，并使混凝土具有良好的工作性、体积稳定性和耐久性的高性能混凝土外加剂。在各类环境类别和环境作用等级下，按本规程设计的自防护混凝土结构应使用非膨胀复合高性能混凝土外加剂，并满足本规程相应环境类别规定技术指标。

3.1.3 地下钢筋混凝土结构的防腐、阻锈、抗冻融性能是结构耐久性的关键指标，一旦地下钢筋混凝土结构出现裂缝，不仅混凝土抗渗性能失效，而且还会引起钢筋锈蚀，经试验和工程实践表明，在不同环境条件和环境等级作用下，采用本规程非膨胀防腐、阻锈、抗冻融

高效混凝土外加剂，并严格按本规程和现行国家标准及规范进行设计与施工，能确保钢筋混凝土结构达到防腐、阻锈、抗冻融等耐久性能，混凝土表面处可不做防水层，况且目前的柔性防水材料，其耐久性能与建筑皆不同寿命，有的还极易串水，甚至有些地下工程前期通过验收，后期又出现渗漏，存在一定安全隐患。因此发展地下结构自防护混凝土技术是当前的发展方向，也是地下钢筋混凝土结构防水及防护关键环节。

3.1.4 本条提出的地下钢筋混凝土结构防腐、阻锈及耐久性设计的基本内容，强调耐久性设计不仅是确定材料耐久性指标与钢筋保护层厚度，及混凝土构件裂缝宽度限值，适当的排水构造措施能够非常有效地减轻环境作用，因此也是耐久性设计的重要内容，为防止混凝土开裂和保证体积稳定性，更强调采用掺非膨胀自防护混凝土在施工中的成型工艺质量、养护条件和钢筋保护层厚度的施工误差，以及施工缝、变形缝、后浇带、穿墙管线、预埋件等处结构构造薄弱部位的构造要求和防护措施。

在严重的环境作用下，仅靠提高混凝土强度，材料质量与厚度，往往不能保证设计使用年限，这时应采合理的防腐阻锈附加措施和多重防护策略。

混凝土结构耐久性设计使用年限是建立在符合设计、施工要求的前提下，因此应提出工程质量验收要求。

3.1.5 钢筋混凝土结构与构件在不同环境类别和作用等级情况下的抗腐蚀性能和耐久性设计、施工与检测技术，是总结了多年来的科学研究的成熟成果和工程实践经验的基础上得来的，一般情况下严格按本规程和国家现行标准及规范进行钢筋混凝土结构的抗腐蚀和耐久性设计，是可以保证达到预期功能的。但是考虑到一些材料及构件的抗腐蚀试验多数是在实验室，做成规范规定的试件，然后进行快速试验求得的，同时，在设计使用年限内，一些实际环境条件，往往出现较大的变化，因此本条规定在设计使用年限内，应对构件进行定期检查和检测，并根据检测结果，对结构耐久性进行评估。

3.1.6 对重大、重要工程以及对环境作用等级为E级的工程，宜在现场设置专供监测或试验取样的构件，监测对钢筋混凝土防腐、阻锈、防水、抗裂的实际效果，如出现异常现象，以便能及时采取相应保护措施，确保建筑物能正常安全使用。

3.1.7 改建、加固的工业与民用建（构）筑物的地下工程防腐阻锈抗冻融的设计施工，还有一些牵涉已建工程相互关系的特殊要求，故应另行专项评估研究确定。

3.2 环境类别

3.2.1 根据环境对钢筋混凝土材料的腐蚀机理，本规程根据《混凝土结构设计规范》GB 50010及《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的规定，并结合内蒙古自治区的具体情况

况，对内蒙古自治区环境类别划分为：一般环境、冻融环境、盐渍土环境、内陆盐湖环境、化学腐蚀环境五类。分别用 I、II、III、IV、V 表示。

一般环境（I 类）是指仅有正常大气（二氧化碳、氧气）和温、湿度作用，不存在冻融和其它化学腐蚀物质的影响。一般环境对混凝土结构的侵蚀主要是表层混凝土碳化、氧气和水分共同作用引起的钢筋锈蚀。混凝土呈高度碱性，钢筋在高度碱性环境中会在表面生成一层致密的钝化膜，使钢筋具有良好的稳定性。当空气中的二氧化碳扩散到混凝土内部，会通过化学反应降低混凝土的碱度（碳化），使钢筋表面的钝化膜发生破坏，失去稳定性并在氧气与水分的作用下发生锈蚀。混凝土碳化是一个缓慢过程，其碳化速度取决于环境温度、湿度、二氧化碳浓度、混凝土的密实度、渗透性和碱度。钢筋锈蚀将破坏钢筋与混凝土间的粘结力和协同工作能力，影响钢筋混凝土结构的正常使用和极限承载能力。所有混凝土结构都会受到大气和温湿度作用，所以在耐久性设计中都应予以考虑。

冻融环境（II 类）主要是会引起混凝土冻蚀。在严寒和寒冷地区，当混凝土含水量较高是，混凝土内部毛细孔内的水会结冰，混凝土产生体积膨胀，产生冻胀应力，反复冻融循环会使混凝土内部结构和表面受到损伤，如果水中有盐分会加重损伤程度，因此冰冻地区与雨、水接触的钢筋混凝土露天结构应考虑冻融环境的影响。另外，反复冻融造成混凝土保护层损伤还会缩短内部钢筋开始锈蚀的时间。

盐渍土环境（III 类）按盐成分不同，可分为氯盐渍土、亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土和碱性盐渍土。盐渍土腐蚀主要表现为氯盐腐蚀、硫酸盐腐蚀以及氯盐、硫酸盐共同作用的复合腐蚀形式，因此在钢筋混凝土结构耐久性设计时，应根据不同腐蚀条件分析腐蚀类型、腐蚀程度，有针对性地在混凝土中加入非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土，以提高结构的综合防腐蚀能力，提高结构耐久性能。

内陆盐湖环境（IV 类）中的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，也能引发钢筋的锈蚀。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，是耐久性设计的重点问题。

化学腐蚀环境（V 类）主要是土、水中的硫酸盐、酸等化学物质和大气中的硫化物、氮氧化物等对混凝土的化学作用，同时存在盐结晶等物理作用所引起的破坏。

3.3 环境作用等级

3.3.1 本节主要根据国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 将环境作用按其其对混凝土结构腐蚀的影响程度定性地划分成 A 轻微、B 轻度、C 中度、D 严重、E 非常严重五个等级，而目前建筑工程设计多按《工业防腐蚀设计规范》GB 50046 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 规定的腐蚀性等级进行设计，为了与国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 中规定的腐蚀性分级划分的微腐蚀、弱腐蚀、

中腐蚀、强腐蚀四个等级相对应，增加了超强腐蚀一个等级，即按腐蚀介质的腐蚀性强弱划分为微腐蚀、弱腐蚀、中等腐蚀、强腐蚀、超强腐蚀五个等级，并给出了环境作用等级和腐蚀性分级的对应关系。

由于腐蚀机理不同，不同环境类别相同作用等级(如 I-C、II-C、III-C)的耐久性要求相近、但不完全相同。与各种环境作用等级相对应的具体环境条件，可分别参见本规程第 4 章~第 8 章中内容规定。由于环境作用等级的确定主要依靠对不同环境条件的定性描述，当实际的环境条件处于两个相邻作用等级的界限附近时，就有可能出现难以判定的情况，这就需要设计人员根据当地环境条件和既有工程劣化状况的调查，并综合考虑工程重要性等因素后确定，在确定环境对钢筋混凝土结构的作用等级时，还应充分考虑环境作用因素在结构使用期间可能发生的演变。

由于本规程中所指的环境作用是指直接与混凝土表面接触的局部环境作用，所以同一结构中的不同构件或同一构件的不同部位，所承受的环境作用等级可能不同。例如外墙板的室外一侧会受到雨淋、受潮或干湿交替，其作用等级可为 I-B 或 I-C，但室内一侧则处于环境良好，其作用等级为 I-A，此时墙内外两侧钢筋的保护层厚度可取不同。但实际工程设计中还应考虑施工的可行性。

3.3.2 混凝土中的碱(Na_2O 和 K_2O)与砂、石骨料中的活性硅会发生化学反应，称为碱-硅反应(Aggregate-silica Reaction，简称 ASR)；某些碳酸盐类岩石骨料也能与碱起反应，称为碱-碳酸盐反应(Aggregate-carbonate Reaction，简称 ACR)。

发生碱-骨料反应的充分条件是：混凝土有较高的碱含量、骨料有较高的活性、水的同时存在。当骨料有活性时，限制混凝土含碱量、在混凝土中加入适量的粉煤灰、矿渣或沸石岩等掺和料，能够抑制碱骨料反应；采用密实的低水胶比混凝土能有效地阻止水分进入混凝土内部，有利于阻止反应的发生。具体的技术措施可参考现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T50733。

3.3.3 冲刷、磨损会削弱混凝土构件截面，此时应采用强度等级较高的耐磨混凝土，通常还需要将可能磨损的厚度作为牺牲厚度考虑在构件截面或钢筋的混凝土保护层厚度内。

不同骨料抗冲磨性能大不相同。研究表明，骨料的硬度和耐磨性对混凝土的抗冲磨能力起到重要作用，如花岗岩骨料好于石灰岩骨料。在胶凝材料中掺入硅灰也能有效地提高混凝土的抗冲磨性能。

3.4 结构耐久性设计使用年限

3.4.1 本条规定了混凝土结构设计使用年限的确定原则。结构耐久性设计使用年限是在确定的环境作用和维修、使用条件下，具有规定的保证率和安全度的耐久性年限。耐久性设计

使用年限应由设计人员和业主共同确定,首先要满足工程设计对象的功能要求和使用者的利益,并不低于有关法规的规定。

对于耐久性设计使用年限为 100 年的特重要工业与民用建筑及构筑物,必须对材料进行抗腐蚀和耐久性设计,且进行材料损伤的加速试验,满足相关规范要求方可进行结构设计。

3.4.2 本条诠释了结构和构件的设计使用年限对于不同类型结构的内涵。设计使用年限的定义见本标准术语 2.1.5,这一定义来源于《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153。按照该定义结构或者构件的设计使用年限以是否需要大修为界限。应该讲,这一表达对于构件的设计使用年限的定义是适当的:单个构件需要大修或者更换则其使用年限应视为结束。但是使用该表达来定义整体结构的设计使用年限就可能产生偏差,因为局部构件的大修和更换并不意味着整体结构的使用功能丧失。使用年限长、环境作用严酷或构件组成复杂的结构(体系)就会出现构件层次上的使用年限和整体结构使用年限的不一致的情况。

在严重(包括严重、非常严重)环境作用下,混凝土结构的个别构件因技术条件和经济性难以达到结构整体的设计使用年限时,在与业主协商一致后,可设计成易更换的构件或能在预期的年限进行大修,并应在设计文件中注明更换或大修的预期年限。需要大修或更换的结构构件,应具有可修复性,能够经济合理地进行修复或更换,并具备相应的施工操作条件。

3.5 结构及基础

3.5.1 本条给出了地下工程混凝土结构及基础类型,明确采用全现浇钢筋混凝土及钢筋混凝土柱的规定。

3.6 材料要求

3.6.1 本节给出了非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高性能混凝土外加剂的各环境条件下的技术指标,在特殊环境条件下,除满足通用技术指标要求外,还应满足各种环境条件下的特异性指标要求,各项技术指标均为该高效外加剂的关键技术指标。

各项技术指标的试验方法应按相应规程规定严格执行。为试验方法的相对统一性和易操作性,国标中有对应的试验方法者,优先采用国标;如国标中虽然有同类的试验方法,但与本规程中的材料性质有差异时,选择相对应的行业标准;表 3.6.1 中盐水浸烘环境中钢筋腐蚀面积百分比的试验方法采用 JGJ/T 192《钢筋阻锈剂应用技术规程》,原因是此方法多数单位可以进行试验,也可采用 GB/T 31296,但多数单位无试验设备无法进行试验,所以钢筋锈蚀试验项目中两种试验方法任选一种,如有争议时以腐蚀电量比(国标 GB/T 31296)为准。

3.6.2~3.6.7 因防腐、阻锈、抗冻融耐久性混凝土材料有较高的要求，除非膨胀防腐、阻锈、抗冻融高性能混凝土外加剂外，对混凝土中采用的水泥、粉煤灰、粗细骨料、拌合水等都给出了明确规定和相应标准，有利于确保混凝土耐久性要求。

3.6.8 根据结构物所处的环境类别和作用等级以及设计使用年限，分别在第4章到第8章中规定了不同环境中混凝土材料的最低强度等级和最大水胶比。

3.6.11 本条规定了各类构件中混凝土中氯离子含量的最大值，包括混凝土所有原材料中的氯离子含量。混凝土原材料的氯离子含量测定，水泥和矿物掺和料应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 执行，混凝土外加剂应按现行国家标准《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077 执行，砂应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 执行。混凝土拌合物和硬化混凝土氯离子含量测定方法可按现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 执行。

本条规定的含碱量为混凝土各种原材料含碱量的总和，各种原材料的含碱量测定方法可参考现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733。

3.7 构造要求

3.7.1 本条提出了环境作用下混凝土保护层厚度的确定原则。对于不同环境作用下所需的混凝土保护层最小厚度，可见本标准的4.3.1条、5.3.1条、6.3.1条和7.3.1条中的具体规定。

混凝土构件中最外侧的钢筋会首先发生锈蚀，一般是箍筋和分布筋，在双向板中也可能是主筋。所以本标准对构件中各类钢筋的保护层最小厚度提出相同的要求。箍筋的锈蚀可引起构件混凝土沿箍筋的环向开裂，而墙、板中分布筋的锈蚀除引起开裂外，还会导致保护层的成片剥落，都是结构的正常使用所不允许的。

保护层厚度的尺寸较小，而钢筋出现锈蚀的年限大体与保护层厚度的平方成正比，保护层厚度的施工偏差会对耐久性造成很大的影响。因此在耐久性设计所要求的保护层厚度中，必须计入施工允许负偏差。我国《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 对梁类构件的允差规定为+10mm/-7mm、板类构件为+8mm/-5mm，对负偏差的要求较严。

本标准规定保护层设计厚度的最低值仍称为最小厚度，但在耐久性所要求最小厚度的取值中已考虑了施工允许负偏差的影响，并对现浇的一般混凝土梁、柱取允许负偏差的绝对值为10mm，板、墙为5mm。

为保证钢筋与混凝土之间粘结力传递，各种钢筋的保护层厚度均不应小于钢筋的直径。

按防火要求的混凝土保护层厚度，可参照有关的防火设计标准，但我国有关设计规范中规定的梁板保护层厚度，往往达不到所需耐火极限的要求。

3.7.2~3.7.6 管道位置、施工缝、伸缩缝、后浇带设置位置、外露金属部件的防腐措施、表面裂缝最大宽度限值、结构构件的最小厚度等都对混凝土的耐久性具有一定的影响，本节对其给出了具体规定。

4 一般环境

4.1 一般规定

4.1.1 正常大气作用下，表层混凝土碳化和氧化、水分共同作用引发的内部钢筋锈蚀，是钢筋混凝土结构中最常见的劣化现象，也是耐久性设计中普遍问题。混凝土碳化即中性化后，就失去了对钢筋的碱性保护，使钢筋表面的钝化膜发生破坏，在氧气和水分的作用下，钢筋就开始锈蚀，当混凝土中的 PH 值低于 10 时，钢筋就开始锈蚀。所产生的锈蚀膨胀，导致混凝土开裂，耐久性降低。

在一般环境作用下，混凝土碳化是个漫长的过程，通常依靠混凝土本身耐久质量，适当的混凝土强度和钢筋保护层的厚度，掺入非膨胀防腐阻锈抗冻融高效混凝土外加剂和采取有效的防、排水措施就能够达到混凝土耐久性能的要求，故一般不需要考虑做表面防护或防腐的附加措施。

4.1.3 依据 CECS 207《高性能混凝土应用技术规程》5.3 条碳化耐久性设计的内容。

4.2 环境作用等级

4.2.1 本节与《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476-2019 中 4.2 的规定一致。

一般环境对钢筋混凝土结构和构件的作用程度，需要考虑的环境因素，主要有温度、湿度、二氧化碳和氧气供给的程度。对于混凝土的碳化过程，如果周围大气相对湿度较高，混凝土的内部孔隙充满溶液，则空气中的二氧化碳难以进入混凝土内部，混凝土碳化就较难或只能缓慢进行，如果周围大气湿度相对较低，混凝土内部比较干燥，孔隙溶液量很少，当二氧化碳浓度较高时，二氧化碳容易进入混凝土内部，碳化速度相对较快。

对于钢筋锈蚀过程，电化学反应要求混凝土有一定的电导率，当混凝土内部相对湿度低于 70% 时，由于混凝土电导率太低，混凝土锈蚀很难进行；同时，钢筋电化学过程需有水与氧气参与，当钢筋混凝土构件处于水下或湿度接近饱和时，氧气难以达到钢筋表面，锈蚀因缺氧而难以发生。

室内干燥环境对钢筋混凝土结构的耐久性最为有利，虽然混凝土在干燥环境中容易碳化，但由于缺少水分使钢筋锈蚀非常缓慢，同样，水中构件由于缺乏氧气，钢筋也很难锈蚀。因此表 4.2.1 将此两类环境作用归为 I-A 级，在室内外潮湿环境或偶尔受到雨淋与水接触的条件下，混凝土的碳化反应和钢筋锈蚀过程都有条件产生，环境作用等级归为 I-B 级。在干湿交替环境作用下，混凝土相对容易碳化，同时钢筋锈蚀过程中由于水分和氧气的交替供

给而显著增加，因此对钢筋锈蚀最不利的条件是反复干湿交替，故其环境作用等级归为 I-C 级。

如果室内构件长期处于高湿环境，即使平均湿度高于 60%，也有可能引起钢筋锈蚀，故应按 I-B 级考虑。如混凝土表面在干燥阶段周围大气相对湿度较高，干湿交替影响程度有限，混凝土内部会长期处于高湿状态，混凝土碳化和钢筋锈蚀程度都会受到抑制，在这种情况下，环境对钢筋混凝土构件的作用程度介于 I-C 与 I-B 之间，具体作用程度可根据当地既有工程实际调查和检测来确定。

如果湿润土体或水接触的一侧混凝土为饱水状态，钢筋不易锈蚀，可按环境等级 I-B 考虑，而接触干燥空气的一侧，混凝土容易碳化，又有可能水分从临水侧迁移供给，一般应按 I-C 级环境考虑，如果混凝土密实性好，抗渗性能高，构件厚度较大，临水侧水的供给可能被有效隔断，这时接触干燥空气一侧也可不按 I-C 级考虑。

4.3 材料与保护层厚度要求

4.3.1 本条规定了在一般环境作用下，不同耐久性设计使用年限的最低混凝土强度等级，最大水胶比和钢筋最小保护层的厚度要求，以确保钢筋混凝土结构的耐久性能。表 4.3.1 分别对板、墙等面型构件和梁、柱等条形构件规定混凝土的最低强度等级、最大水胶比和钢筋的保护层最小厚度。板、墙、壳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，所以后者的保护层最小厚度要大于前者。对保护层最小厚度要求与所用的混凝土水胶比有关，在应用表 4.3.1 中不同使用年限和不同环境作用等级下的保护层厚度时，应注意到对混凝土水胶比和强度等级的不同要求。该规定与《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476-2019 的规定一致。

4.3.3 浸没水中的地下结构环境作用等级为 I-A，设计使用年限为 100 年时，混凝土强度最低等级为 C35，比 I-A 室内干燥环境高一个等级；主要考虑构件的维护难度以及水文在 100 年期间演变的不确定性。该规定与《地铁设计规范》GB 50157 的规定一致。

4.3.4 本条给出了大截面墩柱在符合耐久性要求的前提下，截面混凝土强度与钢筋保护层厚度的调整方法。一般环境下对混凝土提出最低强度等级的要求，是为了保护钢筋的需要，针对的是构件钢筋的保护层混凝土。但对大截面墩柱来说，如果只是为了提高保护层混凝土的耐久性而全截面采用较高强度的混凝土，往往不如加大保护层厚度的办法更为经济合理。相反，加大保护层厚度会明显增加梁、板等受弯构件的自重，宜提高混凝土的强度等级以减少保护层厚度。

在工程实践中，提倡在不提高混凝土总体强度的同时，通过技术措施提高表层混凝土的质量，从而达到提高结构耐久性的目的，如采用透水模板布技术等。

该规定与《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定一致。

4.4 构造与措施

4.4.1 本条参照了《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50746 中 4.4.1 的规定。所指的建筑饰面包括不受雨水冲淋的石灰浆、砂浆抹面和砖石贴面等普通建筑饰面；防水饰面包括防水砂浆、粘贴面砖、花岗岩石板等具有良好防水性能的饰面。

地下临水混凝土构件的表面防护措施可参考现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定与技术要求。这些防护措施对内部钢筋的防锈作用尚无工程验证和相关研究成果，同时考虑到此类构件普遍维护和更换困难，因此不宜降低混凝土的耐久性要求。

4.4.2 本条对地下结构混凝土构件迎水面的钢筋保护层厚度的规定与现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 相同。

5 冻融环境

5.1 一般规定

5.1.1 饱水的钢筋混凝土结构在反复冻融作用下，由于混凝土毛细孔内水会凝结成冰，使混凝土产生膨胀，随温度的升高冰融化，温度降低再次冰冻，产生二次膨胀，最终在反复冻融循环作用下造成混凝土内部损伤，出现开裂甚至剥落，导致骨料裸露甚至露筋。与冻融破坏有关的环境因素主要有水、最低温度、温度变化、降温速率和反复冻融次数。

冻融环境下的钢筋混凝土耐久性设计，要求在长期反复冻融循环作用下不受损伤，不影响结构与构件的承载力和对钢筋的保护。同时还应根据结构所处的不同冻融环境进行不同的抗冻融混凝土配合比设计，以及采取的不同的抗冻方法，但必须满足混凝土抗冻融耐久性的基本要求。确保耐久性的主要措施包括混凝土引气、防止混凝土饱水和采用高强度的混凝土。

5.1.2 严寒和寒冷地区长期与雨水接触的地下钢筋混凝土结构和露天结构与构件应按冻融环境进行耐久性设计。环境温度达不到冰冻条件，如位于土中冰冻线以下和长期在不结冰的水下的钢筋混凝土构件，可不考虑抗冻融要求。冰冻前不饱水的混凝土且在冻融循环过程中不接触外界水分的混凝土构件，也可不考虑抗冻要求。埋置于土中冰冻线以上的钢筋混凝土构件，发生冻融交替的次数明显低于暴露在大气环境中的构件，但仍要考虑冻融损伤的可能，可根据具体情况适当降低环境作用等级。

本标准不考虑人工造成的冻融环境，此类问题有专门的标准规程解决。

5.1.3 适当延迟现场混凝土初次与水接触的时间实际上是延长混凝土的干燥时间，并且给混凝土内部结构发育提供时间。应尽量延迟混凝土初次触水时间，触水时混凝土龄期至少应达到 30 天。

5.2 环境作用等级

5.2.1 本条对冻融环境作用等级的划分，主要考虑混凝土中饱水的程度、气温变化和盐分含量三个因素。饱水程度与混凝土表面接触水的频度及表面积水的难易程度（如水平或竖向表面）有关；气候变化主要与环境最低温度及年冻融次数有关；盐分含量指混凝土表面受冻时冰水中的盐含量。

我国现行标准中对混凝土抗冻等级的要求多按当地最冷月份的平均气温进行分区，使用

上较为方便，但应注意当地气温与构件所处地段的局部温度往往差异较大，比如严寒和寒冷地区朝南构件冻融次数多于朝北构件，而微冻地区可能相反。

对于饱水程度，分为高度饱水和中度饱水两种情况，前者指受冻前长期或频繁接触水体或湿润土体，混凝土内高度饱水；后者指受冻前偶受雨淋或潮湿，混凝土体内饱水程度不高，混凝土受冻破坏的临界饱水度约为 85%~90%，含水量低于饱水度时不会冻坏。在表面有水的情况下，连续反复冻融可使混凝土内部饱水程度不断增加，一旦达到或超过临界饱水度，就可能很快发生破坏。

有盐的冻融环境主要指冬季喷洒除冰盐的环境，含盐的水溶液不仅会造成混凝土内部损伤，而且能使混凝土表面起皮剥蚀，盐中的氯离子还会引起混凝土内部钢筋锈蚀。（除冰盐引起的钢筋锈蚀按Ⅳ类环境考虑）除冰盐的剥蚀作用程度与混凝土湿度有关，不同构件及部位，由于方向、位置不同，受除冰盐直接、间接作用或溅射程度也会有较大的差别。

5.2.2 严寒和寒冷地区内陆盐湖环境的混凝土表层，当接触水分时，也会发生盐冻，但盐湖水的含盐浓度要比除冰盐融雪后的盐水低得多，盐湖水的冰冻点较低，有些微冻地区的盐湖不会冻结，具体情况可通过调查确定；若不出现冰冻，可以不考虑冻融环境作用。

5.2.3 埋置于土中冰冻线以上的混凝土构件，发生冻融交替的次数明显低于暴露在大气环境中的构件，但仍要考虑冻融损伤的可能，可根据具体情况适当降低环境作用等级。

5.2.4 竖向构件底部侧面的积雪可引发混凝土较严重的冻融损伤。尤其在冬季喷洒除冰盐的环境中，道路上含盐的积雪常被扫到两侧并堆置在墙柱和护栏底部，容易造成底部混凝土的严重破坏。

5.3 材料与保护层厚度要求

5.3.1 有冻融循环要求的混凝土，其抗冻性能需要通过添加合适的引气剂，冻融环境等级越高，对混凝土含气量的要求越大；参考混凝土外加剂应用技术规程并控制混凝土的含气量来达到设计要求，混凝土抗冻所需的含气量与骨料的粒径有关；过大的含气量会明显降低混凝土强度，故含气量应控制在一定范围内，且有相应的误差限制。

5.3.2 本条规定了一般冻融(无盐)环境条件下最低混凝土强度等级、最大水胶比和钢筋的混凝土最小保护层厚度。盐冻情况下的保护层厚度由氯化物环境控制，具体见第7章的有关规定；相应的保护层混凝土质量则要同时满足冻融环境和氯化物环境的要求。有盐冻融条件下的耐久性设计见本标准第7.3.3条的规定及其条文说明。对于冻融环境的Ⅱ-C等级，同时给出引气和非引气混凝土的强度等级，对于冻融环境的Ⅱ-D，Ⅱ-E等级，给出的强度等

级为引气混凝土的强度等级；其中混凝土强度为加引气剂的混凝土，使用引气剂能在混凝土中产生大量均布的微小封闭气孔，有效缓解混凝土内部冰冻造成的材料破坏。混凝土抗冻所需的含气量与骨料的粒径有关，过大的含气量会明显降低混凝土强度，故含气量应控制在一定范围内，且有相应的误差限制。

5.3.3 对于冻融环境下重要工程和大型工程的混凝土，其耐久性质量除需满足本标准第5.3.2条的规定外，应同时满足本条提出的抗冻耐久性指数要求。混凝土抗冻性评价可用多种指标表示，如试件经历冻融循环后的动弹性模量损失、质量损失、伸长量或体积膨胀等。多数标准都采用动弹性模量损失或同时考虑质量损失来确定抗冻级别，具体试验方法按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 标准进行检验。但上述指标通常只用来比较混凝土的相对抗冻性能，不能直接用来进行结构使用年限的预测。

6 盐渍土环境

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.2 盐渍土是指平均易溶盐含量不小于 0.5%的土质，根据盐渍土的区域分布和形成条件，可分为海滨盐渍土、冲积平原盐渍土、内陆盐渍土。内蒙古自治区属于全国八大盐渍土区中的一个，属于内蒙古高原一半荒漠草原盐渍区和甘蒙新干旱—漠境盐渍土区两个特点的盐渍土环境。

盐渍土腐蚀主要表现为氯盐腐蚀、硫酸盐腐蚀以及氯盐、硫酸盐共同作用的复合腐蚀形式，盐渍土的特殊工程地质性质主要表现在：

- 1 膨缩性强，硫酸盐和碳酸盐渍土吸水后体积增大，脱水后体积收缩；
- 2 湿陷性强，当粉粒含量大于 45%，孔隙度大于 45%时，会出现与黄土相似的湿陷性；
- 3 压缩性强，含盐量超过一定数值时，不易达到标准密度，盐渍土的工程地质条件除取决于含盐类成分、含量外，还与土中含水量等密切相关，因此盐渍土的物理力学性能极不稳定，使得盐渍土地区建筑物极易产生沉陷变形等现象。

6.2 环境作用等级

6.2.1 本条给出了盐渍土环境的作用等级，同时根据盐渍土分布的特点对非常严重（E）即极强腐蚀环境进行了分类，便于设计人员掌握。

6.3 材料和保护层厚度要求

6.3.2~6.3.3 给出了氯盐盐渍土环境作用下，设计年限为 50 年和 100 年时的混凝土最低强度等级、最大水胶比、最小保护层厚度，及对混凝土性能要求的相关技术指标。

6.3.4~6.3.5 给出了硫酸盐盐渍土环境作用下，设计年限为 50 年和 100 年时的混凝土最低强度等级、最大水胶比、最小保护层厚度，及对混凝土性能要求的相关技术指标。

7 内陆盐湖环境

7.1 一般规定

7.1.1 内陆盐湖环境中的氯化物以水溶氯离子的形式通过扩散、渗透和吸附等途径从混凝土构件表面向混凝土内部迁徙，可引起混凝土内钢筋的严重锈蚀，氯离子引起的钢筋锈蚀难以控制，后果严重，因此是混凝土结构耐久性的重要问题。氯盐对混凝土材料也有一定的腐蚀，但相对较轻。

7.1.2 本条规定所指的内陆盐湖环境和近盐湖地区接触的氯化物包括湖水、大气、地下水中含有来自内陆盐湖的氯化物等。降雪地区接触除冰盐或盐雾的构件和内陆地区接触含有氯盐的地下水、土的构件以及频繁接触含氯盐消毒剂的构件，应按除冰盐等其他氯化物环境进行耐久性设计。除冰盐对混凝土的作用机理很复杂，对钢筋混凝土(如桥面板)而言，一方面，除冰盐直接接触混凝土表层，融雪过程中的温度骤降以及渗入混凝土的含盐雪水的蒸发结晶都会导致混凝土表面的开裂剥落；另一方面，雪水中的氯离子不断向混凝土内部迁移，会引起钢筋腐蚀。前者属于盐冻现象，有关的耐久性要求在本规程第5章中已有规定；后者属于钢筋锈蚀问题，相应的要求由本章规定。

7.1.3 当环境作用等级非常严重时，按照常规手段通过提高混凝土强度、降低混凝土水胶比和增加混凝土保护层厚度的办法，仍然有可能保证不了50年或100年设计使用年限的要求。这时宜考虑采用一种或多种防腐蚀附加措施，并建立合理的多重防护策略，提高结构使用年限的保证率。

7.1.7~7.1.8 规定内陆盐湖环境和除冰盐等其它氯化物环境中混凝土需要满足的氯离子侵入性指标，表7.1.7-1、7.1.7-2为RCM法，表7.1.7-2、7.1.8-2为电通量法，其中RCM法是用标养条件下28天混凝土非稳态氯离子迁移系数表示，电通量法采用龄期为56天的混凝土试件，测量一段时间内通过混凝土试件的电量进行表示，但需要注意的是对于水胶比低于0.4的矿物掺合料混凝土采用电通量法时误差较大，本规程推荐采用RCM法。

7.2 环境作用等级

7.2.1 本条对内陆盐湖环境作用等级的划分，主要根据长期浸水或干湿交替条件下水中氯离子浓度来划分，而干燥及潮湿条件下土中氯离子浓度的划分按规程的7.2.1中除冰盐及其

他氯化物环境来确定。当存在水、土中氯离子综合作用时，按浓度高的氯离子所在的环境进行分类。

7.2.2 本条对内陆盐湖环境中氯化物作用等级及锈蚀等级进行了描述，因内蒙古地区没有海洋，只有内陆盐湖，为了与现有的国家标准一致，故本章定义为内陆盐湖环境，其环境条件也是参考 GB/T50476 中海洋氯化物环境结合内蒙古地区特点进行环境条件及结构构件示例的描述。

湖水激流对混凝土表面有气蚀作用，湖砂对构建表面有磨蚀作用，因此相应的环境作用等级宜适当提高。

7.2.3 河口地区虽然水中氯化物含量低于湖水中的，但是对于大气区和浪溅区，混凝土表面的氯盐含量会不断积累，其长期含盐量可以明显高于周围水体中的含盐浓度。在确定氯化物环境的作用等级时，应充分考虑到这些因素。

7.3 材料与保护层厚度要求

7.3.2 本条给出在内陆盐湖环境中的钢筋混凝土结构构件，其普通钢筋的保护层最小厚度及其相应的混凝土强度等级、最大水胶比。

7.2.6 根据《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定，给出了内陆盐湖环境中在长期荷载作用下，钢筋混凝土裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值。预应力混凝土构件不应出现裂缝。

7.4 内陆盐湖环境地下工程混凝土防腐、阻锈防护要求

7.4.1~7.4.2 本条给出在内陆盐湖环境作用下，其它的防护要求。

8 化学腐蚀环境

8.1 一般规定

8.1.1~8.1.4 本章各节对化学腐蚀环境中硫酸盐和酸类物质（水中镁离子、水中酸碱度）给出有关混凝土防护设计中采用非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂以形成自防护混凝土的要求，以及取消外防护层的条件及规定。

8.2 环境作用等级

8.2.1 本条根据水、土环境中化学物质的不同浓度范围将环境作用划分为V-C、V-D和V-E共3个等级。浓度低于V-C等级的不需在设计中特别考虑，浓度高于V-E等级的应作为特殊情况另行对待。化学环境作用对混凝土的腐蚀，至今尚缺乏足够的数据积累和研究成果。重要工程应在设计前作充分调查，以工程类比作为设计的主要依据。

8.2.2 当结构所处环境中含有多种化学腐蚀物质时，一般会加重腐蚀的程度。如 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 同时存在时能引起双重腐蚀。

8.3 材料与保护层厚度要求

8.3.1 硅酸盐水泥混凝土抗硫酸盐以及酸类物质化学腐蚀的能力较差，所以在化学腐蚀环境下，不应单独使用硅酸盐水泥作为胶凝材料，应在混凝土中加入非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂和适量的矿物掺和料制备防腐、阻锈、抗冻融的自防护混凝土以提高混凝土抵抗化学腐蚀的能力。或采用抗硫酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥同时掺加矿物掺和料；不应使用高钙粉煤灰，水泥和矿物掺和料不得加入石灰石粉；当环境作用等级超过V-E级时，应根据当地的大气环境和地下水变动条件，进行专门实验研究和论证后确定水泥的种类和掺和料用量。

化学腐蚀环境中的混凝土结构耐久性设计必须有针对性，对于不同种类的化学腐蚀性物质，采用的水泥品种和掺和料的成分及合适掺量并不完全相同。因此当单独掺加粉煤灰等火山灰质掺和料时，应当通过实验确定其最佳掺量。此外，要注意在硫酸盐腐蚀环境下的粉煤灰掺和料应使用低钙粉煤灰。

8.3.2 本条按GB/T50476《混凝土结构耐久性设计标准》表7.3.2的规定，给出在化学腐

蚀环境中的钢筋混凝土结构构件,其普通钢筋的保护层最小厚度及其相应的混凝土强度等级、最大水胶比。

9 混凝土裂缝修补

本章提出的非膨胀防腐阻锈防水抗裂抗冻融高效外加剂和相关的技术要求制成的钢筋混凝土结构与构件,其主要目标是保证地下钢筋混凝土外围结构与腐蚀介质接触的部位不出现裂缝。

地下室内钢筋混凝土结构与构件只允许在荷载的长期作用下出现现行国家规范规定的不同环境作用等级的最大裂缝宽度限值。

本章混凝土裂缝的修补的目的是在施工或在使用过程中出现了影响结构安全和耐久性的裂缝,如何进行修补的技术措施及检测与验收要点。

10 施工与检测验收

10.1 施工要求

10.1.1~10.1.2 施工单位在正式施工前，应根据该工程所处的环境情况和环境作用等级，结合工程实际，按照地下建筑有防腐、阻锈、抗冻融要求的自防护钢筋混凝土结构工程，制定专项的技术措施和施工组织设计，并通过审查批准，精心选择原材料进行混凝土配合比的设计和试验，并进行优化，达到本规程和技术要求时，方可正式施工。

10.2 施工要求

10.2.3 在混凝土的初凝或终凝前对混凝土进行二次振捣和二次抹压。目的是防止混凝土出现塑性收缩和塑性塌落裂缝，二次抹压时应采用木抹，且表面不宜压光。由于内蒙古自治区地区干旱，蒸发量大，为了确保混凝土质量，防止出现收缩和温度或应力集中裂缝，混凝土终凝后立即进行覆盖保湿（温）养护至关重要，以防止混凝土表面失水过快，产生混凝土干缩裂缝。对于地下筏板或板类构件，有条件时尽可能采用蓄水养护，梁柱、墙等竖向构件必须精心采取有效的覆盖保湿（温）养护，确保在 7 昼夜内构件保证全部处于潮湿状态。地下建筑外围护结构，在有腐蚀的环境作用下，一旦出现裂缝，不但降低了混凝土抗腐蚀性能，而且也降低了耐久性能，甚至出现渗漏事故。大体积混凝土，还须按国家现行规范要求采取科学有效的温度控制方法。

10.2.4 在有腐蚀环境作用下，混凝土拆模后，表面不得留有金属件，否则外露的金属件必须进行有效的防腐处理。

10.3 检测与验收

10.3.1~10.3.2 给出了钢筋混凝土结构常规检测依据的国家标准、规范和相应的检测方法以及工程质量和验收的相关要求。

10.3.3 给出了混凝土非膨胀防腐阻锈抗冻融高性能混凝土外加剂质量检测的具体要求，对检测数量，检测方法有详细规定，强调其质量要满足本规程表 3.8.1 的各环境条件下的各项技术指标要求。

附录 A

A.0.1 为地下室筏板及外墙混凝土结构,在不同腐蚀等级下防腐蚀、阻锈有关材料要求、性能要求,筏板外墙防护要求采用表格化罗列,便于设计和施工。

A.0.2 为桩箱桩筏联合基础下混凝土灌注桩在不同腐蚀等级下防腐阻锈有关材料要求、性能要求、钢筋要求及防护要求,采用表格化罗列,便于设计和施工。