

ICS 91.040.0

N 7672

# DB1331

## 雄安新区地方标准

DB1331/T XX—XXXX

### 雄安新区重要建筑物结构 耐久性标准

Durability standard for important building structures  
in Xiong' an New Area

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

河北雄安新区管理委员会建设和交通管理局  
河北雄安新区管理委员会综合执法局

联合发布

雄安新区地方标准

雄安新区重要建筑物结构

耐久性标准

**Durability standard for important building structures**

**in Xiong' an New Area**

**DB1331/T XX—XXXX**

主编部门：河北雄安新区管理委员会建设和交通运输局

批准部门：河北雄安新区管理委员会综合执法局

施行日期：xxxx 年 xx 月 xx 日

2024 雄安



## 前 言

根据原河北雄安新区管理委员会规划建设局《关于下达 2023 年工程建设标准制修订计划项目（第一批）的通知》（雄安规建字〔2023〕41 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，研究、消化和吸收国内外有关标准规范的技术内容，并在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准的主要内容是：总则、术语、基本规定、混凝土结构一般环境耐久性设计、混凝土结构冻融环境耐久性设计、混凝土结构氯化物环境耐久性设计、混凝土结构化学腐蚀环境耐久性设计、混凝土结构后张预应力体系的耐久性设计、钢结构的环境类别和腐蚀等级、钢结构防腐蚀设计要求、钢结构防腐蚀施工要求、钢结构防腐蚀验收维护要求。

本标准由河北雄安新区管理委员会建设和交通运输局负责管理，由清华大学建筑设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送清华大学建筑设计研究院《雄安新区重要建筑物结构耐久性标准》编制组（地址：北京市海淀区清华大学建筑设计研究有限公司，邮编：100084）。

主编单位：清华大学建筑设计研究有限公司

河北雄安新区管理委员会建设和交通运输局

主要起草人：王海深、李克非、张辰田、刘 章

宋奕辰、卢泉岩、周宇儒、周海成

刘庆斌、徐兴华、韩彦波、杨 飞

黄松竹、郑 帅

主要审查人：潘 鹏、杨 松、高永虎、杨申武



## 目 次

1 总 则 .....	1
2 术 语 .....	2
3 基本规定 .....	4
3.1 重要建筑物划分 .....	4
3.2 设计原则 .....	4
3.3 环境类别和环境作用等级 .....	6
3.4 设计使用年限 .....	9
3.5 材料基本要求 .....	9
3.6 构造要求 .....	14
3.7 施工质量的附加要求 .....	18
3.8 结构耐久性检测 .....	20
4 混凝土结构一般环境耐久性设计 .....	24
4.1 一般规定 .....	24
4.2 环境作用等级 .....	24
4.3 材料与保护层厚度 .....	25
4.4 构造与措施 .....	29
5 混凝土结构冻融环境耐久性设计 .....	32
5.1 一般规定 .....	32
5.2 环境作用等级 .....	32
5.3 材料与保护层厚度 .....	34
5.4 构造与措施 .....	36

6 混凝土结构氯化物环境耐久性设计 .....	37
6.1 一般规定 .....	37
6.2 环境作用等级 .....	38
6.3 材料与保护层厚度 .....	39
6.4 构造与措施 .....	41
7 混凝土结构化学腐蚀环境耐久性设计 .....	44
7.1 一般规定 .....	44
7.2 环境作用等级 .....	44
7.3 材料与保护层厚度 .....	46
7.4 构造与措施 .....	48
8 钢结构腐蚀等级 .....	50
8.1 钢结构在大气环境中的腐蚀等级 .....	50
8.2 钢结构在水中的腐蚀等级 .....	51
8.3 钢结构在土中的腐蚀等级 .....	51
9 钢结构防腐蚀设计要求 .....	53
9.1 腐蚀裕量的确定 .....	53
9.2 构件截面的选择 .....	54
9.3 钢材的选择 .....	55
9.4 构造设计要求 .....	55
9.5 材料要求 .....	57
9.6 除锈等级 .....	58
10 钢结构防腐蚀施工要求 .....	60
11 钢结构防腐蚀验收维护要求 .....	62
11.1 钢结构资料调查 .....	62

11.2 钢结构的维护管理.....	2
附录 A 混凝土结构耐久性设计的定量方法.....	4
附录 B 混凝土原材料选用.....	6
附录 C 引气混凝土的含气量与气泡间隔系数.....	9
附录 D 混凝土结构防腐蚀附加措施.....	10
附录 E 混凝土耐久性参数与腐蚀性离子测定方法.....	11
附录 F 建筑钢结构大气环境气体类型.....	12
本标准用词说明.....	14
引用标准名录.....	15



## Contents

1	General Provisions .....	错误! 未定义书签。
2	Terms .....	错误! 未定义书签。
3	General Requirements .....	错误! 未定义书签。
3.1	Division of important Buildings .....	错误! 未定义书签。
3.2	Design Principle .....	错误! 未定义书签。
3.3	Classes and intensities of Environmental Actions .....	错误! 未定义书签。
3.4	Design Service life .....	错误! 未定义书签。
3.5	Requirements for Materials .....	错误! 未定义书签。
3.6	Requirements for Detailing .....	错误! 未定义书签。
3.7	Requirements for Construction Quality .....	错误! 未定义书签。
3.8	Structural Durability Testing .....	错误! 未定义书签。
4	Atmospheric Environmental durability design of concrete structure	错误! 未定义书签。
	书签。	
4.1	General Requirements .....	错误! 未定义书签。
4.2	Environmental Classification .....	错误! 未定义书签。
4.3	Material and Concrete Cover .....	错误! 未定义书签。
4.4	Detailing and Protection Measures .....	错误! 未定义书签。
5	Durability Design of Concrete Structure in Freeze-thaw Environment	错误! 未定义书签。
	书签。	
5.1	General Requirements .....	错误! 未定义书签。
5.2	Environmental Classification .....	错误! 未定义书签。
5.3	Material and Concrete Cover .....	错误! 未定义书签。

5.4	Detailing and Protection Measures .....	错误! 未定义书签。
6	Durability Design of Concrete Structure in Chloride Environment	错误! 未定义书签。
6.1	General Requirements .....	错误! 未定义书签。
6.2	Environmental Classification .....	错误! 未定义书签。
6.3	Material and Concrete Cover .....	错误! 未定义书签。
6.4	Detailing and Protection Measures .....	错误! 未定义书签。
7	Durability Design of Concrete Structure under Chemical Environment	错误! 未定义书签。
7.1	General Requirements .....	错误! 未定义书签。
7.2	Environmental Classification .....	错误! 未定义书签。
7.3	Material and Concrete Cover .....	错误! 未定义书签。
7.4	Detailing and Protection Measures .....	错误! 未定义书签。
8	Corrosion Grades of Steel Structures .....	49
8.1	Corrosion Grade of Steel Structure in Atmospheric Environment .....	49
8.2	Corrosion Grade of Steel Structure in Water .....	错误! 未定义书签。
8.3	Corrosion Grade of Steel Structure in Soil .....	错误! 未定义书签。
9	Corrosion Protection Design Requirements for Steel Structures	错误! 未定义书签。
9.1	Determination of Corrosion Margin .....	错误! 未定义书签。
9.2	Selection of Section of Component .....	错误! 未定义书签。
9.3	Choice of Steel .....	错误! 未定义书签。
9.4	Structural Design Requirement .....	错误! 未定义书签。
9.5	Material Requirement .....	56
9.6	Grade of Removing Rust .....	57

10	Anti-corrosion Construction Requirements of Steel Structure .....	59
11	Steel Structure Corrosion Acceptance Maintenance Requirements .....	62
11.1	Steel Structure Data Survey .....	错误! 未定义书签。
11.2	Maintenance and Management of Steel Structure ....	错误! 未定义书签。
Appendix A	Quantitative Design for Durability of Concrete Structures	错误! 未定义书签。
Appendix B	Concrete Raw Materials .....	67
Appendix C	Air Environment and Spacing Factor of Air voids	错误! 未定义书签。
Appendix D	Additional Protective Measures for Concrete Structures	错误! 未定义书签。
Appendix E	Test Methods for Durability Parameters and Aggressive Ions	错误! 未定义书签。
Appendix F	Gas Type of Steel Structure in Atmospheric Environment	错误! 未定义书签。
	Explanation of Wording in This Standard .....	75
	List of Quoted Standards .....	76

# 1 总 则

1.0.1 为保证雄安新区重要建筑物的耐久性达到规定设计使用年限，确保工程结构的合理寿命，针对雄安新区的地理、气候环境，制定本标准。

1.0.2 本标准主要适用于多种自然环境作用下雄安新区重要建筑物的耐久性设计。

1.0.3 本标准中混凝土结构的耐久性设计包含一般环境、冻融环境、氯离子作用环境以及化学腐蚀环境四种环境。在一定的环境类别中，混凝土结构的不同部位可能接触不同的环境条件，应予区别对待。

1.0.4 本标准中钢结构的耐久性设计包含大气环境、水中环境和土中环境三种环境类别。在一定的环境类别中，钢结构的的不同部位可能接触不同的环境条件，应予区别对待。

1.0.5 雄安新区重要建筑物结构耐久性设计除了满足本标准外，其结构材料、结构构造、结构施工应符合国家相应标准与规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 重要建筑物 Important building

对雄安新区的政治、经济和生产活动以及居民的正常生活有重大影响的建筑物。

### 2.0.2 结构耐久性 Structural durability

在设计确定的环境作用和维修、使用条件下，结构或构件在设计使用年限内保持其安全性和适用性的能力。

### 2.0.3 环境作用 Environmental action

温、湿度及其变化以及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构或材料性能的影响。

### 2.0.4 一般环境 General 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。

### 2.0.5 冻融破坏 Freeze-thaw failure

混凝土在饱水状态下因反复冻融循环造成内部损伤，产生开裂甚至剥落的破坏。混凝土保护层遭受冻害后，钢筋更易侵蚀。

### 2.1.1 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，包括除冰盐等其他氯化物环境。

### 2.0.6 化学腐蚀环境 Chemical corrosive environment

结构或构件受到自然环境中化学物质腐蚀作用的暴露环境，包括水、土中化学腐蚀环境和大气污染腐蚀环境。

### 2.0.7 防腐蚀附加措施 Additional measures against corrosion

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，为进一步提高结构耐久性所采用的补充措施，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。

#### 2.0.8 腐蚀速率 Corrosion rate

单位时间内钢结构构件腐蚀效应的数值。

#### 2.0.9 大气腐蚀 Atmospheric corrosion

材料与大气环境中介质之间产生化学和电化学反应而引起的材料破坏。

#### 2.0.10 腐蚀裕量 Corrosion allowance

设计钢结构构件时，考虑使用期内可能产生的腐蚀损耗而增加的相应厚度。

## 3 基本规定

### 3.1 重要建筑物划分

3.1.1 雄安新区重要建筑物类别的划分应按以下规定：

- 1 党政机关办公楼；
- 2 座位数超过 1500 人（座）的体育馆、会堂、会议中心、电影院、剧场、室内娱乐场所、车站和客运站等公众聚会场所；
- 3 图书馆、文物古迹、博物馆、展览馆、档案馆等建筑；
- 4 邮政楼、电信楼等通信、指挥调度建筑物；
- 5 中小学校、幼儿园、托儿所、残障人员康复设施、养老院、疗养院、医院的门诊楼和住院楼等医疗、卫生、教育建筑物。

### 3.2 设计原则

3.2.1 雄安新区重要建筑物结构按设计使用年限，根据结构所处环境类别和环境作用等级进行设计。

3.2.2 重要建筑物结构设计应考虑到预期的负载、环境条件、建筑使用和预期的维护等因素。设计应保证结构在其设计寿命期间内保持足够的强度和稳定性。

3.2.3 施工过程中应按照设计规范进行，保证施工质量。施工过程中应进行质量检查，以确保施工质量和材料的符合性。同时，重要建筑物结构应有定期的维护和检查计划，以确定结构的状况。如果发现问题，应及时进行修复。

3.2.4 对于混凝土结构，当具有定量的劣化模型时，可按本标准附录 A 的规定针对耐久性参数和指标进行定量设计；暴露于氯化物环境下的重要混凝土结构，应按附录 A 规定针对耐久性参数和指标进行定量设计与校核。

3.2.5 混凝土结构的耐久性设计应包括下列内容：

- 1 环境类别及其作用等级；
- 2 减轻环境作用的结构形式和布置；
- 3 结构材料的性能与指标；
- 4 钢筋的混凝土保护层厚度；
- 5 混凝土构件裂缝与防排水等构造要求；
- 6 防腐蚀附加措施或多重防护措施；
- 7 保证耐久性的施工质量验收要求；
- 8 提出结构使用阶段的检测、维护与修复要求。

#### 【条文说明】

重要建筑物耐久性设计涉及材料、构造、施工等多个环节的综合考量。重要建筑物的耐久性设计是一个综合考量材料、构造、施工等多个环节的复杂过程。在设计阶段，需要选择耐久性强的材料，以确保建筑物能够在长期使用中保持结构完整性。同时，构造方面的设计也至关重要，需要考虑结构的合理性和稳定性，以应对设计年限内各种外界因素的影响。在施工过程中，质量控制和工艺操作的规范性是确保建筑物耐久性的关键因素之一。同时，结构使用阶段的检测、维护与修复也是保证结构耐久性的重要因素。通过综合考虑这些方面的因素，可以有效地提高建筑物的耐久性，确保其在使用寿命内能够安全、稳定地为人们提供服务。这种全面而系统的设计理念是确保重要建筑物在面对各种挑战时能够长期保持良好状态的基础。



3.2.6 钢结构耐久性设计应包括以下内容：

- 1 环境类别及腐蚀等级；
- 2 材料性能与指标；
- 3 减轻环境作用的结构形式和布置；
- 4 钢结构的使用要求；
- 5 施工条件和维护管理条件。

### 【条文说明】

防腐设计是钢结构设计中的重要环节，需要考虑结构的使用环境和材料选用等因素，采取有效的防腐措施，确保结构具有足够的耐久性。

3.2.7 钢结构耐久性设计中防腐蚀工程施工使用的设备、仪器应具备出厂质量合格证或质量检验报告。设备、仪器应经计量检定合格且在时效期内方可使用。

3.2.8 钢结构防腐蚀材料的品种、规格、性能等应符合国家现行有关产品标准和设计的规定。

## 3.3 环境类别和环境作用等级

3.3.1 混凝土结构的环境类别应按表 3.3.1 划分。

表 3.3.1 环境类别

环境类别	名称	劣化机理
I	一般环境	正常大气作用引起钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤
IV	除冰盐等其他氯化物环境	氯盐侵入引起钢筋锈蚀
V	化学腐蚀环境	硫酸盐等化学物质对混凝土腐蚀

### 【条文说明】

在重要建筑物的耐久性设计中，首先对建筑所在环境进行评估和分类，确定建筑物在设计使用年限内可能遭受的外界环境作用，从而对建筑在该特定环境下的材料、构造等方面进行针对性地耐久性设计。

此外，由于雄安新区非滨海城市，不存在海洋氯化物环境类型，故在参考国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 的基础上，删除了其有关海洋氯化物环境类别Ⅲ的部分，只参考了一般环境、冻融环境、除冰盐等其他氯化物环境、化学腐蚀环境四种环境类别的有关规范内容。

3.3.2 当结构构件受到多种环境类别共同作用时，应分别针对每种环境类别进行耐久性设计。

### 【条文说明】

建筑受到多种环境类别共同作用，则表明不同构件受到的环境作用不同，则其环境作用在构件上的具体表现形式和作用结果不同，若进行单一环境类别计算，则可能对其他构件的耐久性设计出现偏危险或者过于安全的偏差，为了保证建筑全部构件的耐久性，则需要对不同环境类别作用部位进行针对性设计，从而保证每个部位的耐久性。

3.3.3 混凝土结构的环境作用等级应按表 3.3.3 划分。

表 3.3.3 环境作用等级

环境作用等级	A	B	C	D	E
环境类别	轻微	轻度	中度	严重	非常严重
一般环境	I -A	I -B	I -C		
冻融环境			II -C	II -D	II -E
除冰盐等其他氯化物环境			IV -C	IV -D	IV -E

化学腐蚀环境			V-C	V-D	V-E
--------	--	--	-----	-----	-----

**【条文说明】**

同一种环境类别根据其作用强度的不同，进而将环境类别进行基于作用强度不同的二级分类，更加细化环境作用的类别和强度，明确建筑构件可能遭受到的外界环境作用，有利于对建筑进行针对性地耐久性设计。

3.3.4 结构耐久性设计应根据实际使用条件，考虑高速流水、风沙等对表面的冲刷、磨损等作用对耐久性的影响。

**【条文说明】**

在重要建筑物的耐久性设计中，除了基本的环境作用类别和强度，还需要考虑特殊的使用情况，如高速流水、风沙等的冲刷。此类冲刷和磨损会对建筑的耐久性有显著的影响，不可忽略，需要进行特殊考虑，即在基本的环境类别和强度上，提高其耐久性设计的要求。

3.3.5 钢结构的环境类别和腐蚀等级按表 3.3.5 划分：

表 3.3.5 钢结构的环境类别和腐蚀等级

腐蚀作用等级	a	b	c	d	e
环境类别	无腐蚀	弱腐蚀	轻腐蚀	中腐蚀	强腐蚀
大气	a	b	c	d	e
土		b	c	d	e
水				d	e

## 3.4 设计使用年限

3.4.1 雄安新区重要建筑物设计使用年限规定为 100 年。

3.4.2 一般环境下的重要建筑物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。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 材料基本要求

### I 混凝土

3.5.1 混凝土材料的强度等级、水胶比和原材料组成应根据结构所处的环境类别、环境作用等级确定。

3.5.2 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。

3.5.3 混凝土强度等级应根据 28d 或设计规定龄期的立方体抗压强度，并按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB50107 确定。

#### 【条文说明】

混凝土强度对于结构耐久性有重要影响，在耐久性设计中需要明确建筑设计所用的混凝土强度等级，我国对于混凝土强度检验有明确的规范规定，即按《混凝土强度检验评定标准》GB50107 对混凝土强度等级进行确定。

3.5.4 配筋混凝土结构满足耐久性要求的混凝土最低强度等级应符合附录 B 的规定。

#### 【条文说明】

混凝土强度对于结构耐久性有重要影响，不同环境条件决定了混凝土所处环境的恶劣程度及环境作用的严重程度，环境作用对混凝土的不利影响越明显，作

用程度越大，则对混凝土的要求更高，需要更高的混凝土强度等级来抵御环境作用带来的不利影响，从而保证结构的耐久性。

3.5.5 单位体积混凝土的胶凝材料用量根据混凝土强度等级确定，应按附录 B 确定。

#### 【条文说明】

混凝土的水胶比和胶凝材料用量是决定混凝土强度的重要环节。混凝土的胶凝材料用量影响混凝土的凝固时间和强度等，控制胶凝材料的最小用量是为了保证混凝土的密实性，控制胶凝材料的最大用量是为了防止胶凝材料过量引起收缩和水化热过大而产生裂缝。另外，水胶比过大，混凝土有孔隙，特别是毛细管孔隙率增大会严重影响混凝土的耐久性；若水灰比过小，拌和物过于干稠，在施工振捣密实后，出现较多蜂窝、孔洞，也会影响其耐久性。故为了保证混凝土材料的耐久性，需要对混凝土的水胶比和胶凝材料用量进行明确的规定。

3.5.6 混凝土中氯离子的最大含量应按附录 B 确定。

#### 【条文说明】

混凝土中氯离子含量偏高会破坏其自身抗化学腐蚀的能力，直接影响到混凝土的耐磨性，进而降低了混凝土的强度，易在混凝土结构中引起松散、承载不足的问题，缩减了混凝土在工程中的使用寿命，导致混凝土提前进入失效的状态，又因为环境作用对混凝土的腐蚀作用程度不同，故需要对混凝土的氯离子最大含量进行不同环境作用条件下的明确规定，从而保证其混凝土材料的耐久性。

3.5.7 混凝土骨料最大公称粒径应按附录 B 确定。

#### 【条文说明】

骨料公称粒径的上限为该粒级的最大粒径。粒径越大，颗粒内部缺陷存在的机率越大；粒径越大，颗粒在混凝土拌合中下沉速度越快，造成混凝土内部颗粒分布不均匀，进而使硬化后的混凝土整体强度降低。故为了保证混凝土的强度等

级，需要对不同环境作用条件下的混凝土骨料最大公称粒径进行明确规定，从而保证混凝土材料的耐久性。

3.5.8 引气混凝土的含气量（%）与气泡间隔系数应按附录 C 确定。

**【条文说明】**

引气混凝土通过添加引气剂，在混凝土中产生微观气泡，从而降低混凝土的密度，提高其抗渗性和保温性能。但是，引气混凝土的气泡含量过大会导致混凝土性能下降，使得混凝土的强度降低，密实度和耐久性降低。故需要对引气混凝土的含气量与气泡间隔系数进行规定，保证其抗渗性和保温性能，同时也保证其具有合格的强度、密实度和耐久性。

3.5.9 素混凝土结构满足耐久性要求的混凝土最低强度等级，一般环境不应低于 C15。

**【条文说明】**

对于素混凝土结构，确保结构的安全性和耐久性，需要保证其材料强度等级大于其最低标准。

3.5.10 预应力构件的混凝土最低强度等级不应低于 C40；大截面受压墩柱等普通钢筋混凝土构件，在加大钢筋保护层的前提下其混凝土强度可低于本标准 3.5.4 条的规定，但不应低于对素混凝土的规定。

**【条文说明】**

因有预应力构件的混凝土所受力大于相同条件下无预应力构件的混凝土，故对预应力构件的混凝土的最低强度等级进行规定，确保预应力构件的混凝土具有合理的强度等级，从而保证混凝土的耐久性。

3.5.11 对有抗渗（水）性能要求的混凝土工程，抗渗等级不低于 P12；潮湿环境的混凝土工程，抗冻强度等级不小于 F250；对有硫酸盐侵蚀的混凝土工程，抗硫酸盐等级不小于 KS120。其抗渗（水）等级、抗冻等级和抗硫酸盐等级的规定参照 GB/T 51355-2019《既有混凝土结构耐久性评定标准》中的相关规定。

#### 【条文说明】

对于抗渗（水）性能有要求的混凝土工程，将混凝土按抗渗压力不同分为 P6、P8、P10、P12 和大于 P12 共 5 个等级，有抗渗需求的混凝土通过提高混凝土的密实度，改善孔隙结构，从而减少渗透通道，提高抗渗性，提高混凝土的耐久性。对于雄安新区潮湿环境中的混凝土，要求混凝土具有长期抵抗冻融循环的耐久性能，即满足结构设计规定的抗冻级别，从而保证混凝土材料的耐久性达到工程设计的要求。对有硫酸盐侵蚀的混凝土工程，由于处于潮湿区域或一部分持续浸入盐的环境中的混凝土，会存在水分蒸发引起硫酸盐结晶、体积膨胀造成裂缝的现象，会导致材料耐久性的降低，故需要对混凝土的抗硫酸盐等级进行规定，保证其材料的耐久性。

## II 钢筋

3.5.12 直径为 6mm 的细直径热轧钢筋作为受力主筋，只限于在一般环境中使用。

#### 【条文说明】

6mm 细直径热轧钢筋的抗腐蚀能力等性能相比其他钢筋的性能较弱，其耐久性较低，只能在环境作用较为温和的一般环境中使用。

3.5.13 预应力筋的公称直径不得小于 5mm。冷加工钢筋不应作为预应力筋使用。

#### 【条文说明】

冷加工钢筋的韧性等相比其他钢筋较弱，难以作为预应力筋在混凝土中使用，且需要保证其公称直径大于等于 5mm，从而确保其具有一定的强度。

3.5.14 同一构件中的受力普通钢筋，宜使用同牌号的钢筋。

**【条文说明】**

同一个构件中的受力普通钢筋，为了排除不同牌号钢筋的尺寸、材料等性能差异带来的受力不均，故宜采用同牌号的钢筋。

3.5.15 使用不同牌号热轧钢筋的混凝土构件，其耐久性设计要求相同。不锈钢钢筋和耐蚀钢筋等具有耐腐蚀性能的钢筋可用于环境作用等级为 D、E 的混凝土构件，其耐久性要求应经专门论证确定。

**【条文说明】**

用不同牌号热轧钢筋的混凝土构件，为保证构件的整体耐久性，宜对构件的耐久性要求相同。对于耐腐蚀能力较强的钢筋，可用于环境作用更为恶劣，对构件腐蚀性更强的环境中，从而抵御环境作用对构件耐久性的影响。

3.5.16 采用型钢组合的杆件时，型钢的空隙间隔宜满足防护层施工、检查和维修的要求。

**【条文说明】**

型钢组合杆件更易受到环境腐蚀的影响，为了保证构件在使用年限中的耐久性，需要对其构件的防护层进行定期的性能检测和维护，从而保证其长期的防腐能力，故型钢的设计需要方便防护层的施工、检查和维修。

3.5.17 不同金属材料接触会加速腐蚀，宜在接触部位采用隔离措施。

3.5.18 焊条、螺栓、垫圈、节点板等连接构件的耐腐蚀性能不应低于主材材料。

**【条文说明】**

为避免出现“构件本身完好，但连接处出现腐蚀导致构件失效”的现象，构件关键连接点的防腐能力一定大于主体材料，从而保证其连接点的可靠性、安全性和耐久性。



3.5.19 钢材原始锈蚀等级不应严重于 GB8923-88《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》规定的 B 级，并采用喷射方法除锈，除锈后的表面粗糙度满足《钢结构工程施工规范》GB50755 的有关规定。

**【条文说明】**

为保证构件的耐久性，需要保证钢筋具有一定的防腐蚀能力，即对其原始锈蚀等级进行规定。同时采用喷射方法除锈，喷射除锈利用经过油、水分离处理过的压缩空气将磨料带入并通过喷嘴以高速喷向钢材表面，靠磨料的冲击和摩擦力将氧化铁皮等除掉，同时使表面获得一定的粗糙度。此方法效率高，除锈效果好，但费用较高。其除锈后的表面粗糙度需要满足钢结构工程施工规范 GB50755 的有关规定，保证除锈后的构件具有较低的表面粗糙度，从而保证其防腐蚀能力。

3.5.20 非混凝土包裹钢构件采用的防锈和涂装措施应满足《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251 中的有关规定。

**【条文说明】**

非混凝土包裹的钢构件所受到的环境影响比混凝土包裹的钢构件所受到的影响更大，需要提高其防腐蚀措施的要求，故对于非混凝土包裹的钢构件的防锈和涂装措施需要进行详细明确的规定和要求。

## 3.6 构造要求

3.6.1 不同环境作用下钢筋主筋和分布筋，其混凝土保护层厚度应满足钢筋防锈、耐火以及与混凝土之间粘结力传递的要求，且混凝土保护层厚度设计值不得小于钢筋的公称直径。

3.6.2 预应力钢筋的混凝土保护层应符合下列规定：

- 1 具有连续密封套管的后张预应力筋，混凝土保护层厚度应取本标准规定值

与孔道直径的 1/2 两者的较大值；没有密封套管的后张预应力钢筋，其混凝土保护层厚度应在本标准规定值的基础上增加 10mm；

2 先张法构件中预应力钢筋在全预应力状态下的保护层厚度宜与普通钢筋相同，允许开裂构件的预应力筋的保护层厚度应比普通钢筋增加 10mm；

3 直径大于 16mm 的预应力螺纹筋保护层厚度可与普通钢筋相同。

**【条文说明】**

为了使混凝土结构构件满足耐久性要求和对受力钢筋满足有效锚固要求，混凝土保护层厚度大，构件的受力钢筋粘结锚固性能、耐久性和防火性能越好，故对混凝土保护层厚度有最低限值的要求。

3.6.3 工厂预制的混凝土构件，其普通钢筋和预应力筋的混凝土保护层厚度可比现浇构件减少 5mm。

**【条文说明】**

预制构件在生产时可以添加各种添加剂，提高混凝土的性能，如加入防水剂、防火剂等，使得构件具有更好的耐候性、防火性能和抗震性能。故可适当降低对工厂预制混凝土构件的保护层厚度的要求。

3.6.4 根据耐久性要求，在荷载作用下配筋混凝土构件的表面裂缝最大宽度计算值不应超过表 3.6.4 中的限值。对裂缝宽度无特殊外观要求的，当保护层设计厚度超过 30mm 时，可将厚度取为 30mm 计算裂缝的最大宽度。

表 3.6.4 配筋混凝土构件的表面裂缝计算宽度限值（mm）

环境作用等级	钢筋混凝土构件	有粘结预应力混凝土构件
A	0.40	0.20
B	0.30	0.20（0.15）
C	0.20	0.10
D	0.20	按二级裂缝控制或按部分预应力 A 类构件控制

E	0.15	按一级裂缝控制或按全预应力 类构件控制
---	------	------------------------

注：1 括号中的宽度适用于采用钢丝或钢绞线的先张预应力构件；

2 裂缝控制等级为二级或一级时，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的计算裂缝宽度；部分预应力 A 类构件或全预应力构件按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG3362 的计算裂缝宽度。

**【条文说明】**

对采用预应力钢丝、钢绞线及预应力螺纹钢筋的配筋混凝土构件，考虑到钢筋易受环境影响，从而被腐蚀等原因，一旦出现裂缝会影响结构耐久性，故应对混凝土表面裂缝的最大宽度做出要求。

3.6.5 混凝土结构表面专门有防渗面层的时候，最大裂缝宽度允许值可适当增加。

**【条文说明】**

防渗面层可对混凝土表面加强防护，形成严密的防护结构，从而防止水蚀、钢筋锈蚀，减少外部干扰，增强构件的耐久性，延长建筑物的使用寿命。

3.6.6 应对混凝土结构施加避免水汽和有害物质在混凝土表面积聚的构造措施：

1 受雨淋或可能积水的混凝土构件顶面应做成斜面，斜面应消除结构挠度和顶应力反拱对排水的影响；

2 受雨淋的室外悬挑构件外侧边下沿，应做滴水槽、鹰嘴等防止雨水淌向构件底面的构造措施；

3 屋面、桥面应专门设置排水系统等防止将水直接排向下部构件混凝土表面的措施；

4 在混凝土结构构件与上覆的露天面层之间，应设置防水层；

5 环境作用等级为 D、E 的混凝土构件，应采取下列减小环境作用的措施：

1) 减少混凝土结构构件表面的暴露面积；

- 2) 避免表面的凹凸变化;
- 3) 宜将构件的棱角做成圆角。

**【条文说明】**

雨水、水汽和有害物质在混凝土表面聚集，会加快钢筋锈蚀，直接侵袭主体结构，降低结构使用的耐久性。故在建筑结构设计时，应采取避免水汽和有害物质在混凝土表面积聚的构造措施，减少环境对构件的干扰和不利影响。

3.6.7 可能遭受碰撞的混凝土结构宜施加避免碰撞损伤的防护措施。

**【条文说明】**

混凝土遭受碰撞会对其构造、性能等产生显著的不利影响，严重降低其耐久性，故要对可能遭受碰撞的混凝土结构施加避免碰撞损伤的防护措施。

3.6.8 施工缝、伸缩缝宜避开局部环境作用不利的部位。

**【条文说明】**

建筑构件因温度和湿度等因素的变化会产生胀缩变形。为此，通常在建筑物适当的部位设置伸缩缝，自基础以上将房屋的墙体、楼板层、屋顶等构件断开，将建筑物分离成几个独立的部分。目的是为克服过大的温度应力而设置的缝，基础可不断开。施工缝是因施工组织需要或受到施工工艺的限制，而在各施工单元分区间留设的接缝。二者都是建筑施工以及使用过程中对结构耐久性、安全性等影响显著的部位，故需要尽量避免受到环境作用的不利影响。

3.6.9 暴露在混凝土结构构件外的金属部件应根据环境类别和环境作用等级采用防腐措施。

3.6.10 混凝土结构外露部分截面应几何形状简单、平顺、棱角少，避免突变和应力集中。

**【条文说明】**

复杂、尖锐的构件形状容易造成应力集中等不利影响，放大外部环境对构件

的不利作用，为了保证混凝土结构的稳定性和耐久性，需要降低外部作用对构件的影响，故混凝土结构外露部分截面几何形状应简单、平顺、棱角少。

3.6.11 混凝土结构形式应便于对关键部位检测和维修。

3.6.12 钢结构耐久性的构造设计应满足以下基本要求：

- 1 应有利于提高结构自身的抗腐蚀能力；
- 2 应能有效避免腐蚀介质在构件表面的积聚；
- 3 应便于使用过程中的维护和检查；
- 4 不同金属材料接触的部位，宜采取隔离措施。

#### 【条文说明】

积聚在构件表面潮湿或含有腐蚀性物质的介质可能加速腐蚀过程。通过设计构件表面，以避免水分滞留、积聚盐分或其他腐蚀性物质，可以降低腐蚀风险。易于维护和检查的构件有助于及时发现潜在的腐蚀问题。定期的维护和检查可以在问题扩大之前采取措施，延缓腐蚀过程，提高结构的寿命。

### 3.7 施工质量的附加要求

3.7.1 混凝土结构的施工养护制度要求应按表 3.7.1 的规定。

表 3.7.1 施工养护制度

环境作用等级	混凝土类型	养护制度
I -A	一般混凝土	至少养护 1d
	矿物掺和料混凝土	浇筑后立即覆盖、加湿养护，不少于 3d
I -B, I -C, II -C, IV -C, V -C, II -D, V -D	一般混凝土	养护至现场混凝土强度不低于 28d 标准强度的 50%，且不少于 3d
	矿物掺和料混凝土	浇筑后立即覆盖、加湿养护至现场混凝土的强度不低于 28d 标准强度的 50%，且不少于 7d

II -E, V -E		
IV -D IV -E	矿物掺和料混凝土	浇筑后立即覆盖、加湿养护至现场混凝土的强度不低于 28d 标准强度的 50%，且不少于 7d；继续保湿养护至现场混凝土的强度不低于 28d 标准强度的 70%

注：1 表中要求适用于混凝土表面大气温度不低于 10℃的情况，否则应延长养护时间；

2 有盐的冻融环境中混凝土施工养护应按 IV 类环境的规定执行；

3 矿物掺和料混凝土在 I -A 环境中用于永久浸没于水中的构件。

### 【条文说明】

在混凝土施工中，适当的养护是确保混凝土获得设计强度和耐久性的关键步骤之一。养护制度直接影响混凝土的水化过程和晶体结构的发展，从而对最终的强度产生深远的影响，只有在合理、科学的养护条件下，混凝土才能充分发挥设计强度，提高其耐久性和使用寿命。

3.7.2 根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 测定现场混凝土保护层实际厚度、混凝土构件表层的气体渗透性或水的渗透性、混凝土耐久性指标 DF、氯离子扩散系数、含气量等。

### 【条文说明】

混凝土保护层的实际厚度、混凝土构件表层的气体渗透性或水的渗透性、混凝土耐久性指标 DF（Durability Factor）、氯离子扩散系数、含气量等因素在混凝土施工质量中具有重要性，它们直接影响混凝土的性能和耐久性，需要在施工时现场测定各项指标的数据，以确保混凝土构件质量的合格度。

3.7.3 混凝土的制备和浇筑应满足以下要求：

- 1 粗骨料采用连续粒级；
- 2 混凝土拌和控制水胶比，提高耐久性；

- 3 混凝土宜一次连续浇筑；
- 4 润滑输送管的水泥砂浆应收集并运出，不得用于构件；
- 5 水平构件养护采用覆盖养护方式；
- 6 竖向构件带模养护时间不应少于 3d，覆盖养护结束后，养护时间不得低于国家标准；
- 7 水平构件混凝土强度达到 1.2MPa 之前，不得在其上施工操作；
- 8 浇筑中应控制混凝土的均匀性和密实性。

#### 【条文说明】

混凝土的制备和浇筑是影响混凝土质量的关键环节，它们直接影响着混凝土的强度、耐久性和整体性能，对其配合比设计、原材料的质量控制、浇筑工艺和养护措施等都需要有具体的要求，从而生产高质量、耐久性强的混凝土，确保建筑结构的安全和持久性。

3.7.4 施工质量验收应验收实际保护层厚度、混凝土的密实性和均匀性、混凝土抗渗性检测、氯离子扩散系数、含气量等数据。

3.7.5 钢结构设计应预防和控制钢材的腐蚀，以延长其使用寿命。

### 3.8 结构耐久性检测

3.8.1 对雄安新区重要建筑物应在设计阶段考虑相关监测传感器的埋置设计。

#### 【条文说明】

在设计阶段考虑相关监测传感器的埋置设计对结构耐久性监测具有重要作用，这种做法有助于实时监测结构的状况，对结构的性能进行及时评估，提高结构的安全性、可靠性，以及整体的维护和管理效率。在设计阶段考虑监测传感器的埋置设计，有助于将结构的耐久性监测纳入整体设计和建造过程中，从而更好

地实现结构的安全、可持续和经济运行。

### 3.8.2 对雄安新区重要建筑物应开展使用条件调查：

1 环境作用调查：大气年平均温度，月平均最高与最低温度，最冷月的平均温度、最低温度，年低于 0℃ 的天数；大气年平均空气相对湿度，月平均最高和最低湿度；构件所处工作环境的年平均温度，年平均湿度；温度、湿度变化以及干湿交替的情况；侵蚀性气体（二氧化硫、酸雾、二氧化碳等）、液体（各种酸、碱、盐）和固体（硫酸盐、氯盐、碳酸盐等）的影响程度及范围，必要时测定有害成分含量；承受冲刷、磨损的情况。

2 原始设计资料调查：可行性报告（环境污染情况）；地质勘察报告（地下水位，土质及水质化学成分和含量）；设计技术资料（结构设计，生产工艺流程，废气、污水处理方式及排放路线）。

3 竣工验收资料调查：水泥品种、胶凝材料成分及含量、骨料品种、外加剂品种、水灰比、留盘试件强度、混凝土施工时间和持续浇注时间、钢筋品种、设计图纸、施工记录、工程质量监督报告、工程验收报告等。

4 使用历史调查：历年来使用、管理、维护情况；用途改变、改建或扩建情况；遭受灾害的情况；事故处理和修复情况；其他异常情况。

#### 【条文说明】

结构使用条件调查对结构耐久性具有重要的作用，它为评估结构的健康状况、制定维护计划和提高结构的长期性能提供了基础。结构使用条件调查为维护和管理提供了基础数据，帮助工程师更好地了解结构的实际工作状态，制定有效的维护策略，从而提高结构的安全性、可靠性和长期性能。



3.8.3 对雄安新区重要建筑物应开展耐久性监测，包括构件的几何参数、保护层厚度、混凝土抗压强度、混凝土碳化深度、裂缝及缺陷、混凝土氯离子含量、钢筋锈蚀状况、温湿度、化学腐蚀损伤、钢材防腐蚀保护层状况等项内容。

其中，保护层厚度、混凝土碳化深度、混凝土中氯离子含量检测的方法如下：

1 保护层厚度检测可采用非破损检测方法，但宜用微破损检测方法进行校准。在混凝土保护层厚度检测时，同类构件含有测区的构件数为 5%~10%，且不应少于 6 个，当均匀性很差时，应增加检测构件的数目。每个测试构件的测区数不应少于 3 个，测区应均匀布置。保护层厚度取值原则上按构件类型，取平均值作为保护层厚度。

2 混凝土碳化深度检测可采用喷射酚酞方法进行测试。混凝土碳化深度按相应部位的碳化深度平均值取用。测区布置宜优先布置在量测保护层厚度的测区内。

3 混凝土中氯离子含量检测需要同环境、同类构件抽样构件数不少于 6 个。需要测定氯离子含量在混凝土内的分布时，应自表面沿深度每 5~10mm 取样，且沿深度不少于 6 个。

#### 【条文说明】

结构耐久性监测的重要性在于它能够实时、准确地监测结构健康状况信息，帮助确保结构长期的安全性、可靠性和持久性。通过监测结构的物理、化学和力学性能，可以更好地了解结构的耐久性，并制定相应的保护和维护措施。耐久性监测数据有助于制定更精确、有针对性的维护计划，同时，为工程决策提供了科学的依据，工程师可以根据监测结果制定更合理的修复和改进计划，确保结构在整个使用寿命内保持良好的性能。

3.8.4 建筑钢结构防腐蚀工程可按钢结构制作或钢结构安装工程检验批的划分原则划分为一个或若干个检验批。

3.8.5 建筑钢结构防腐蚀工程质量验收记录应符合下列规定：

1 施工现场质量管理检查记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 进行；

2 分项工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 进行。

3.8.6 钢结构维护制度的基本要求应符合下列要求：

- 1 应根据定期检查和特殊检查情况，判断钢结构和防腐蚀保护层的状态；
- 2 应根据检查的结果对钢结构的防腐蚀效果做出判断，确定更新或修复的范围；
- 3 建筑钢结构的防腐蚀检查可分为定期检查和特殊检查。

## 4 混凝土结构一般环境耐久性设计

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 一般环境下结构耐久性设计，应控制正常大气作用引起的内部钢筋锈蚀。
- 4.1.2 当结构同时承受其他环境作用时，应按环境作用等级较高的要求进行耐久性设计。
- 4.1.3 结构所选用的材料除满足本章要求，还应满足本标准 3.5 节的相关规定。
- 4.1.4 结构的构造设计除满足本章要求，还应满足本标准 3.6 节的相关规定。

### 4.2 环境作用等级

- 4.2.1 一般环境对配筋混凝土结构的环境作用等级应按表 4.2.1 确定。

表 4.2.1 一般环境对配筋混凝土结构的环境作用等级

环境作用等级	环境条件	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、露水或与蒸汽频繁接触的结构内部构件；地下水位较高的地下室构件；表面频繁淋雨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%，高湿度环境指年平均湿度大于 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 当一侧是室内干燥空气，另一侧表面接触水或湿润土体时，应按 I -C 等级确定。

### 【条文说明】

划分环境作用等级有助于精确评估结构所面临的环境影响。不同的环境条件可能导致混凝土结构受到不同程度的侵蚀和腐蚀，因此对环境作用等级的准确划分有助于对结构的环境暴露程度进行全面的评估。

## 4.3 材料与保护层厚度

4.3.1 一般环境中的配筋混凝土结构构件，其普通钢筋的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 4.3.1 的要求。

表 4.3.1 一般环境中混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度

环境作用等级		混凝土强度等级	最大水胶比	保护层最小厚度 (mm)
板、墙等 面形构件	I -A	≥C30	0.55	20
	I -B	C35	0.50	30
		≥C40	0.45	25
	I -C	C40	0.45	40
		≥C50	0.40	35
梁、柱等 条形构件	I -A	C30	0.55	30
		≥C35	0.50	25

	I -B	C35	0.50	35
		≥C40	0.45	30
	I -C	C40	0.45	45
		C45	0.40	40
		≥C50	0.36	35

注：1 处于年平均气温大于 20℃且年平均湿度高于 75%环境中的构件，除

I -A 环境中的板、墙外，混凝土最低强度等级应比表中规定提高一级，  
或将钢筋的保护层最小厚度增加 5mm；

2 预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm。

### 【条文说明】

一般环境的不同环境作用等级的混凝土强度要求和保护层厚度要求对结构耐久性有着重要的影响。这些要求是为了适应不同环境条件下的耐久性需求，确保混凝土结构在特定环境中具备足够的抗腐蚀和耐久性。不同环境作用等级需要不同的混凝土强度，以满足结构在特定环境条件下的承载和耐久性要求。较高的混凝土强度可以提供更好的抗压和抗拉性能，增加结构的承载能力，降低裂缝和变形的发生概率。保护层是混凝土表层的一层覆盖物，用于防止外部环境中的有害物质渗透到混凝土内部。不同环境作用等级需要不同厚度的保护层，以提供足够的保护，防止腐蚀和侵蚀。水胶比是混凝土中水和胶凝材料（水泥、粉煤灰、矿渣粉等）的比例，它直接影响混凝土的性能，包括抗压强度、耐久性和抗渗性等。

4.3.2 当胶凝材料中粉煤灰和矿渣等矿物掺和料掺量小于 20%时，混凝土水胶比按本标准附录 C 的规定低于 0.45 的，可适当增加。

### 【条文说明】

在混凝土中使用粉煤灰和矿渣等矿物掺和料时，如果掺量较小，有时需要增加混凝土的水胶比。粉煤灰和矿渣等矿物掺和料通常具有细微颗粒的特点，其添加会改变混凝土的流动性和可塑性。如果掺量较小，可能会导致混凝土变得过于

黏稠，不易施工，因此需要适度增加水胶比以提高混凝土的工作性和流动性。同时，通过增加水胶比，可以确保混凝土具有足够的延性，从而在使用过程中更好地抵抗开裂。增加水胶比也可能带来一些负面影响，如降低混凝土的抗渗性、降低强度、增加收缩等。因此，在调整水胶比时，需要综合考虑混凝土的整体性能需求，并根据具体情况进行合理的平衡。

4.3.3 长期浸没水中的地下结构构件，混凝土强度等级不宜低于 C35。

**【条文说明】**

长期浸没在水中的结构需要具备较高的抗渗性能，强度 C35 以上的混凝土通常具有相对较低的渗透性，能够减少水分的渗透，从而保护混凝土内部的钢筋免受腐蚀的影响。同时，此级别混凝土通常包含足够的水泥和抗蚀性材料，能够提供良好的耐蚀性，降低因水中可能含有溶解的盐分和其他腐蚀性物质化学物质引起的混凝土损伤。

4.3.4 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标准 4.3.1 条中的要求，但降低幅度不应超过两个强度等级，且不应低于 C30。

**【条文说明】**

加大混凝土保护层厚度有助于提高混凝土结构的抗裂性能。通过增加保护层的厚度，可以更好地保护钢筋，减缓温度和收缩会引起裂缝的发生和扩展，且增加保护层厚度有助于提高混凝土结构的耐久性。更厚的保护层能够有效减缓钢筋的腐蚀速度，降低有害物质的渗透，从而延长结构的使用寿命。此外，大截面混凝土墩柱由于截面积较大，可能需要更复杂的施工操作。在加大保护层厚度的同时降低混凝土的强度等级，可以在一定程度上减轻混凝土的拌和、浇筑和成型难度，提高施工的操作性。提高混凝土保护层厚度通常需要增加混凝土的用量，这会带来成本的上升。故适当降低混凝土强度等级有助于在一定程度上抵消这些增加的成本。

本，实现经济效益和成本的平衡。

4.3.5 当采用的混凝土强度等级比本标准 4.3.1 条的规定低一个等级时，混凝土保护层厚度应增加 5mm；当低两个等级时，混凝土保护层厚度应增加 10mm。

**【条文说明】**

低强度混凝土通常具有较高的渗透性，而较厚的保护层可以减缓水分和有害物质的渗透速度，提高混凝土的抗渗性和耐腐蚀性。低强度混凝土在一些情况下可能表现出较差的抗裂性能。通过增加保护层的厚度，可以减缓由于温度、收缩等原因引起的裂缝发生和扩展，改善混凝土的抗裂性。故通过增加保护层能获得良好性能，如更好的抗渗性、耐腐蚀性等，可以提高结构的整体耐久性。

4.3.6 采用冷加工钢筋或直径 6mm 的细直径热轧钢筋作为构件的主要受力钢筋时，应在本标准 4.3.1 条规定的基础上将混凝土强度提高一个等级，或将钢筋的混凝土保护层厚度增加 5mm。

**【条文说明】**

冷加工钢筋或细直径热轧钢筋可能具有较高的强度，因此为了充分发挥钢筋的强度，有时需要提高混凝土的强度等级。这有助于确保混凝土与钢筋协同工作，提高整体结构的承载能力。同时，细直径的钢筋在混凝土中可能引起更高程度的局部应力集中，增加裂缝的敏感性，提高混凝土强度等级有助于改善混凝土的整体抗裂性能，减缓裂缝的产生和扩展。此外，增加细直径钢筋的混凝土保护层厚度有助于减缓钢筋腐蚀的速度。

## 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在本标准 4.3.1 条规定的基础上适当减小，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。

### 【条文说明】

饰面可以充当额外的保护层，减缓外部环境对混凝土和钢筋的侵蚀，降低了腐蚀的风险，因此，即使混凝土保护层厚度减小，饰面的添加可以在一定程度上弥补这一不足，提供额外的保护。饰面通常能够提供一定的抗碰撞和抗损伤性能，防止外部物体直接对混凝土结构施加压力。在这种情况下，可以相对减小混凝土保护层的厚度，因为饰面在一定程度上充当了保护层的角色。

4.4.2 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 4.3.1 条规定的适当减小，但不应低于 I -B 环境的要求。

### 【条文说明】

防水饰面可以有效阻止雨水直接接触混凝土表面，减少混凝土的吸水性。通过提高防水性能，可以降低水分渗透和渗漏的风险，从而减轻混凝土的腐蚀和劣化。经常遭遇雨淋的混凝土结构容易受到水分和潮湿环境的影响，加速结构老化。防水饰面可以在一定程度上减缓结构的老龄化过程，延长结构的使用寿命。此外，防水饰面减少了雨水直接对混凝土表面的冲刷和风化作用，相对减轻了对混凝土强度和抗风化性能的要求。这都使得在一定程度上可以适当减小混凝土保护层的厚度。



4.4.3 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 4.3.1 条确定。

**【条文说明】**

土体中可能含有各种盐分和水分，这些物质可能引起混凝土中的钢筋腐蚀，增加混凝土保护层的厚度有助于减缓土体中的有害物质渗透，降低钢筋腐蚀的风险。直接接触土体的构件在施工和后续使用过程中可能受到机械损伤，例如挖掘、振动等。较大的混凝土保护层有助于提供额外的保护，减缓机械损伤对钢筋的影响，保障结构的完整性。同时，土体中的温度和湿度变化较大，这可能影响混凝土和钢筋的性能，增加混凝土保护层的良好性能有助于减缓温度和湿度的影响，提高构件的稳定性。

4.4.4 一般环境中混凝土构件采用的防腐蚀附加措施，可按本标准附录 D 的规定选取；当采取的防腐蚀附加措施符合本标准附录 D 规定的保护年限时，构件的混凝土强度可降低一个等级，但不应低于本标准 4.3.1 条对 A 环境的要求。

**【条文说明】**

当采取了符合规定要求的防腐蚀附加措施，且可以达到规定的保护年限时，有时可以考虑降低构件的混凝土强度等级。采取了符合规定的防腐蚀措施，可以有效延长构件内钢筋的使用寿命，减缓腐蚀速度。因此，即使混凝土强度等级降低，结构仍然能够在规定的保护年限内保持稳定和安全。同时，提高混凝土强度等级通常会增加混凝土的成本，而在一些情况下，通过采取有效的防腐蚀措施，可以在不影响结构性能的前提下实现经济性的设计。这种选择可以在一定程度上节约成本，而仍然保持结构的可靠性。

4.4.5 受到高速气流、水流影响或受到风沙、泥沙冲刷、人员活动、车辆行驶等磨损影响的构件，其钢筋的保护层厚度宜在本标准 4.3.1 条规定的基础上增加 10mm~20mm，迎水面的钢筋保护层厚度不应小于 50mm。

**【条文说明】**

在风沙、泥沙等环境中，颗粒物可能对混凝土表面和钢筋保护层造成磨损，增加保护层的厚度有助于提高抵抗风沙和泥沙冲刷的能力，减缓构件表面的磨损速度。在高速气流和水流环境中，构件表面可能受到较强的冲击力，特别是在河流工程中，适当增加保护层的厚度有助于减轻气流和水流对混凝土表面的冲击，提高结构的抗冲击性能。高速气流、水流和磨损环境可能导致结构表面的损伤，从而影响结构的使用寿命，通过增加保护层的厚度，可以延长结构的使用寿命，减缓构件的老化过程。此外，件表面受到磨损时，可能导致混凝土表面的颗粒脱落和钢筋暴露，从而增加钢筋腐蚀的风险，增加保护层的厚度有助于提高混凝土的耐久性，减少因磨损而引起的结构问题。

## 5 混凝土结构冻融环境耐久性设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 冻融环境下混凝土结构的耐久性设计，应控制混凝土遭受长期冻融循环作用引起的损伤。

5.1.2 长期与水体直接接触并会发生冻融循环的混凝土结构构件，应考虑冻融作用。

5.1.3 冻融环境下混凝土结构的构造要求除应符合本章规定外，还应满足本标准 3.5 节的相关规定。

5.1.4 冻融环境下混凝土结构的构造设计除满足本章要求，还要满足本标准 3.6 节的相关规定。

5.1.5 冻融环境下混凝土结构的施工质量控制应按本标准 3.7 节的规定执行；且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  $10\text{N/mm}^2$ 。

### 5.2 环境作用等级

5.2.1 冻融环境对结构的环境作用等级应按表 5.2.1 确定。

表 5.2.1 冻融环境对结构的环境作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
II-C	无盐环境混凝土中度饱水	受雨淋构件的竖向表面
II-D	无盐环境混凝土高度饱水	水位变动区构件和频繁受雨淋的构件水平表面

	有盐环境混凝土中度饱水	有氯盐地区受雨淋构件的竖向表面
II -E	有盐环境混凝土高度饱水	有氯盐地区的水位变动区构件和频繁受雨淋的构件水平表面

注：1 中度饱水指冰冻前处于潮湿状态或偶与雨、水等接触，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；

2 无盐或有盐指冻结的水中是否含有盐类，包括除冰盐和有机类融雪剂或其他盐类。

5.2.2 考虑浮冰撞击对构件的影响，可将环境作用等级提高一个等级。

**【条文说明】**

浮冰撞击可能引起较大的冲击力，超过一般环境下的荷载。提高环境作用等级可以更充分考虑这些冲击力，确保结构能够承受更严峻的外部冲击。浮冰撞击可能对结构造成局部破坏，影响结构的使用寿命。通过提高环境作用等级，可以确保结构在更恶劣的条件下仍然具有良好的耐久性。

5.2.3 直接接触积雪的混凝土墙、柱底部，宜适当提高环境作用等级，可比本标准 5.2.1 条的规定提高一个等级。

**【条文说明】**

雪在寒冷气候条件下容易发生冻融循环，这可能导致混凝土表面的微裂缝和损伤，提高环境作用等级有助于更全面地考虑冻融循环对结构的影响，确保结构在这种环境中具备足够的耐久性。同时，积雪的堆积可能导致混凝土墙、柱底部受到额外的垂直荷载，提高环境作用等级可以考虑这一额外的雪负荷，确保结构在承受雪荷载时保持稳定。

5.2.4 在极端天气条件下，可能偶然遭受冻融作用的混凝土构件，其环境作用等级可按本标准 5.2.1 条的 I-C 等级确定。

### 5.3 材料与保护层厚度

5.3.1 在冻融环境下，混凝土原材料的选用应符合本标准 3.5 节的规定。环境作用等级为 I I-D 和 II-E 的混凝土结构构件应采用引气混凝土，引气混凝土的含气量与气泡间隔系数应符合本标准附录 C 的规定。

#### 【条文说明】

引气混凝土通过在混凝土中引入微小的气泡，能够改善混凝土的抗冻融性能。这些微小的气泡可以在混凝土结构中形成分散的气孔，当混凝土遇到冻融循环时，这些气泡有助于缓解冻胀压力，减轻混凝土的损伤。在冻融环境中，水在冻结时会膨胀，对混凝土产生冻胀压力，容易导致混凝土的裂缝和破坏。引气混凝土中的气泡可以吸收部分冻胀压力，从而减缓了冻胀对混凝土结构的破坏。冻融过程中，水的渗透可能导致混凝土内部的结冰，加剧冻胀的影响。引气混凝土的气泡结构有助于阻碍水分的渗透，减少结构内部的结冰风险。故引气混凝土可以提高混凝土结构的耐久性，降低冻融损伤的发生频率，延长结构的使用寿命。

5.3.2 冻融环境中混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度应按表 5.3.2 确定。

表 5.3.2 冻融环境中混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度

环境作用等级		混凝土强度等级	最大水胶比	C
板、墙等面形构件	II-C 无盐	C45	0.40	35
		≥C50	0.36	30
		Ca35	0.50	35
	II-D	无盐	Ca40	0.45
有盐				

	II-E 有盐	Ca45	0.40		
梁、柱 等条形 构件	II-C 无盐	C45	0.40	40	
		≥C50	0.36	35	
		Ca35	0.50	35	
	II-D	无盐	Ca40	0.45	40
		有盐			
II-E 有盐	Ca45	0.40			

注：1 采取表面防水处理的附加措施时，可降低大体积混凝土对最低强度等级和最大水胶比的抗冻要求；

2 预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm；

3 预应力钢筋的保护层厚度按照本标准 3.6.2 条的规定执行。

5.3.3 混凝土的抗冻耐久性指数 DF（%）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（%）

高度饱水	中度饱水	含盐环境下冻融
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  $E_1$  与其初始值  $E_0$  的比值， $DF=100 \times E_1/E_0$ ；在达到 300 次循环之前  $E_1$  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  $N$  计算其 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%。

### 【条文说明】

抗冻耐久性指数是用于评估混凝土材料在冻融环境中的抗冻性能指标之一。这个指数主要用于量化混凝土在冻融循环中的表现，对于在寒冷气候条件下使用的混凝土结构非常重要。利用抗冻耐久性指数来选择更适合寒冷气候条件的混凝土材料。对于需要在冻融环境中使用的结构，选择具有较高抗冻耐久性指数的混

凝土有助于确保结构的耐久性。

## 5.4 构造与措施

5.4.1 冻融环境中混凝土结构的薄壁构件，宜增加构件厚度或采取有效的防腐蚀附加措施。

5.4.2 直接接触积雪的混凝土墙、柱底部，宜设置表面防护措施。

5.4.3 冻融环境中混凝土构件采用的防腐蚀附加措施，可按本标准附录 D 的规定选取；当采取的防腐蚀附加措施符合本标准附录 D 规定的保护年限时，构件的混凝土强度可降低一级，但不应低于本标准 5.2.1 条对 II - C 等级的规定。

### 【条文说明】

在冻融环境中，混凝土结构面临着严重的腐蚀风险，这主要是由于冰冻和融化过程中水分的变化，以及在这些过程中形成的冰晶对混凝土的影响。有效的防腐蚀附加措施对于保护混凝土结构的耐久性至关重要。

## 6 混凝土结构氯化物环境耐久性设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 具有下列环境条件的配筋混凝土结构构件，应按除冰盐等其他氯化物环境进行耐久性设计：

- 1 接触除冰盐或盐雾的道路周围的建筑构件；
- 2 接触含有氯盐的地下水、土的建筑构件；
- 3 频繁接触含氯盐消毒剂的建筑构件。

6.1.2 氯化物环境作用等级为 E 的配筋混凝土结构，应在耐久性设计中提出结构使用过程中定期检测的要求，且应在设计阶段做出定期检测的详细规划，并设置专供检测取样用的构件。

#### 【条文说明】

在氯化物环境中，特别是在氯化物作用等级为 E 和 F 的情况下，混凝土结构的耐久性可能受到严重威胁。在设计混凝土结构的耐久性时，提出结构使用过程中定期检测的要求是非常重要的，定期检测不仅有助于发现已经发生的损坏，还可以通过早期检测腐蚀迹象，采取预防性的维护措施，延缓或避免混凝土结构的进一步损坏，及时的检测和维护可以延长混凝土结构的寿命。通过在结构设计中提出定期检测的要求，可以确保结构在整个使用寿命内都能保持良好的性能。

6.1.3 氯盐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 3.6 节的规定。

6.1.4 氯化物环境中混凝土结构施工质量控制应按照本标准 3.7 节执行。



## 6.2 环境作用等级

6.2.1 除冰盐等其他氯化物环境的作用等级应按表 6.2.1 确定。

表 6.2.1 除冰盐等其他氯化物环境的作用等级

环境作用等级	环境条件	结构构件示例
IV-C	受除冰盐盐雾轻度作用	距离行车道 10m 以外接触盐雾的建筑物构件
	四周浸没于含氯化物水中	地下水中构件
	接触较低浓度氯离子水体，且有干湿交替	处于水位变动区，或部分暴露于大气、部分在地下水土中的构件
IV-D	接触较高浓度氯离子水体，且有干湿交替	处于水位变动区，或部分暴露于大气、部分在地下水土中的构件
IV-E	受除冰盐水溶液重度溅射或重度盐雾作用	距车道两侧 10m 以内的建筑物构件
	接触高浓度氯离子水体，有干湿交替	处于水位变动区，或部分暴露于大气、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，可根据具体情况做出调整。

6.2.2 设置直排式泄水孔的混凝土桥梁翼缘板，当其泄水孔附近受到除冰盐作用时环境作用等级宜确定为 IV-D。

## 6.3 材料与保护层厚度

6.3.1 氯化物环境中应采用掺有矿物掺和料的混凝土。对混凝土的耐久性质量和原材料选用要求应符合本标准 3.5 节的规定。

6.3.2 氯化物环境中的配筋混凝土结构构件，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、最大水胶比应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 氯化物环境中混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度

环境作用等级	混凝土强度等级	最大水胶比	保护层最小厚度 (mm)	
板、墙等 面形构件	IV-C	C45	45	
	IV-D	C45	0.40	55
		≥C50	0.36	50
IV-E	C50	0.36	60	
	≥C55	0.33	55	
梁、柱等 条形构件	IV-C	C45	50	
	IV-D	C45	0.40	60
		≥C50	0.36	55
IV-E	C50	0.36	65	
	≥C55	0.33	60	

注：1 当满足本标准表 6.3.3 条中规定的扩散系数时，C50 和 C55 混凝土所

对应的最大水胶比可分别提高到 0.40 和 0.38；

2 预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm；

3 预应力钢筋的保护层厚度按照本标准 3.6.2 条的规定执行。

### 【条文说明】

氯化物是混凝土结构中金属腐蚀的主要威胁之一。通过规定普通钢筋的保护层，可以减缓氯化物的渗透，降低氯离子与金属筋发生化学反应的可能性，从而延缓钢筋的腐蚀速度。规定混凝土的强度等级是为了确保混凝土的耐久性和抗腐蚀性能。更高强度的混凝土通常具有更好的抗渗透性和更高的抗腐蚀性能，有助

于减少氯化物的侵入。控制混凝土中的水胶比是为了确保混凝土具有足够的密实性和抗渗透性。低水胶比通常意味着混凝土更为致密，减少了氯化物渗透的可能性，提高了混凝土的抗腐蚀性能。通过对保护层、混凝土强度等级和水胶比的规定，可以有效地延长混凝土结构的使用寿命。

6.3.3 对于氯化物环境中的配筋混凝土结构工程，设计时应提出混凝土的抗氯离子侵入性指标，并应满足表 6.3.3 的要求。

表 6.3.3 混凝土的抗氯离子侵入性指标

环境作用等级 侵入性指标	D	E
28d 龄期氯离子扩散系数 DRCM ( $10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ )	7	4

注：1 表中的混凝土抗氯离子侵入性指标与本标准表 6.3.2 条中规定的混凝土保护层厚度相对应，实际采用的保护层厚度高于表 6.3.2 条的规定时，可对表中数据作适当调整；

2 表中的 DRCM 值适用于矿物掺和料混凝土，对于胶凝材料主要成分为硅酸盐水泥的混凝土，应采取更为严格的要求。

#### 【条文说明】

抗氯离子侵入性的混凝土通常具有更好的抗渗透性能。减少氯离子的侵入可以有效降低混凝土内部的氯离子浓度，从而提高混凝土结构的耐久性，延长其使用寿命。通过采用抗氯离子侵入性的混凝土，可以降低混凝土结构的维护成本。减少金属腐蚀和混凝土的损坏意味着更少的修复和维护工作，从而降低了整体的维护成本。

6.3.4 应采用低水化热、低含碱量及低氯离子含量的水泥，宜采用大掺量粉煤灰混凝土。

#### 【条文说明】

低水化热水泥有助于减缓混凝土的水化反应速率，从而减少混凝土的温升。在大体积混凝土结构中，如桥梁、大坝等，水化热的积累可能导致温度梯度和热应力的增加。通过采用低水化热水泥，可以降低混凝土的温度升高，减缓温度梯度的形成，有助于减少混凝土的裂缝和损害。低含碱量水泥有助于降低混凝土中的碱活性，减少碱聚集在混凝土表面引起的碱骨料反应的风险。在氯化物环境中，氯离子的侵入可能导致混凝土中的金属腐蚀，采用低氯离子含量的水泥有助于减缓氯离子的渗透，降低金属腐蚀的风险，提高混凝土结构的耐久性。粉煤灰是一种矿渣替代材料，它可以替代部分水泥，降低混凝土中的水泥用量。同时，粉煤灰具有优异的抗氯离子侵入性能，可以改善混凝土的耐久性。

## 6.4 构造与措施

6.4.1 氯化物环境中钢筋混凝土结构构件的纵向受力钢筋直径不应小于 16mm。

### 【条文说明】

较大直径的钢筋通常具有更好的抗腐蚀性能。氯离子是混凝土结构中金属腐蚀的主要原因之一，而较大直径的钢筋可以提供更多的覆盖混凝土，减缓氯离子的渗透，降低金属腐蚀的风险。较大直径的钢筋具有更高的受力能力，能够承受更大的荷载，在氯化物环境中，结构可能面临更严重的腐蚀和损伤风险，因此使用较大直径的钢筋可以提高结构的受力性能，确保结构在腐蚀环境中的稳定性。较大直径的钢筋对于抵抗混凝土的裂缝具有一定的优势，较大直径的钢筋可以提供更好的裂缝宽度控制，降低裂缝的发生和扩展风险，提高混凝土结构的耐久性。

6.4.2 重要配筋混凝土结构的构件，当氯化物环境作用等级为 E 级时应采用防腐蚀附加措施，具体措施详见附录 D。

6.4.3 氯盐环境中混凝土构件采用的防腐蚀附加措施，可按本标准附录 D 的规定选取；当防腐蚀附加措施的保护年限符合本标准附录 D 的规定时，构件的混凝土强度等级可降低，但应符合下列规定：

1 当环境作用等级为 C、D 时，采用一种或以上的防腐蚀附加措施，混凝土强度可降低一个等级，但不应低于 C40。

2 当环境作用等级为 E 时，采用一种防腐蚀附加措施的混凝土强度等级不得降低；采用两种附加措施后，混凝土强度可降低一个等级，但不应低于 C45。

#### 【条文说明】

防腐蚀附加措施的主要目的是延长混凝土结构的使用寿命，减缓腐蚀和损伤的发生。当这些附加措施的保护年限得到保证时，结构的预期寿命会得到保障，因此在一些情况下可以考虑适度降低混凝土的主强度等级。通过采用防腐蚀附加措施，可以在一定程度上减缓混凝土结构的腐蚀速度，减少维护和修复的需求。这有助于降低结构的整体维护成本。在经济考量下，可以适度降低混凝土的主强度等级，以达到成本的优化。

6.4.4 氯化物环境中，用于稳定周围岩土混凝土初期支护作为永久结构考虑则应满足相应的耐久性要求；否则不应考虑其中的钢筋和型钢在永久承载中的作用。

#### 【条文说明】

将初期支护作为永久结构考虑，要求结构在长期使用中能够保持稳定。耐久性要求可以确保混凝土的性能在时间的推移中不会显著下降，保障结构的稳定性和安全性。初期支护的主要目的是稳定周围岩土，因此支护结构本身的耐久性直接关系到其对周围岩土的有效保护。通过提高耐久性，可以确保初期支护在长期内仍然能够有效地履行其稳定功能。

6.4.5 现场浇筑混凝土时使用透水模板，并有充分的潮湿养护时间，浇筑后进行覆盖。

**【条文说明】**

透水模板可以促使混凝土中的水分充分挥发，有助于提高混凝土的密实性。潮湿养护和透水模板的使用可以减缓混凝土中氯离子的渗透，因为氯离子在水中的扩散速度较慢。通过这种方式，可以降低氯离子对混凝土中金属结构的腐蚀风险。

6.4.6 应对混凝土结构进行质量检验，并测量结构构件的保护层实际厚度，以及其氯离子扩散系数等指标。

## 7 混凝土结构化学腐蚀环境耐久性设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 化学腐蚀环境下混凝土结构的耐久性设计，应控制混凝土遭受化学腐蚀性物质长期侵蚀引起的损伤。

7.1.2 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 3.6 节的规定。

7.1.3 化学腐蚀环境下混凝土结构的施工质量控制应按照本标准第 3.7 节的规定执行。

7.1.4 当混凝土结构构件同时承受其他环境作用时，应按环境作用等级较高的有关要求耐久性设计。

### 7.2 环境作用等级

#### I 水、土中化学腐蚀环境

7.2.1 化学腐蚀环境分为水、土中化学腐蚀环境以及大气污染腐蚀环境。

7.2.2 水、土中的硫酸盐和酸类物质对结构构件的环境作用等级可按表 7.2.2 确定。

表 7.2.2 水、土中的硫酸盐和酸类物质对结构构件的环境作用等级

作用因素 作用等级	水中硫酸根 离子浓度 $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	土中硫酸根 离子浓度 (水溶值) $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/kg)	水中镁离 子浓度 (mg/L)	水中酸碱 度 (pH 值)	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 ~ 10000	6000 ~ 15000	≥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）时，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 表中硫酸根等含量的测定方法应符合本标准附录 E 的规定。

7.2.3 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可能加重化学腐蚀时，其环境作用等级应再提高一级。

7.2.4 部分接触含硫酸盐的水、土而部分暴露于大气中的混凝土结构构件，可按本标准表 7.2.2 确定环境作用等级。

## II 大气污染腐蚀环境

7.2.5 大气污染环境对结构构件的作用等级可按表 7.2.5 确定。

表 7.2.5 大气污染环境对结构构件的作用等级

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 pH 值小于 4.5	遭酸雨频繁作用的构件

7.2.6 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。

7.2.7 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。

### 7.3 材料与保护层厚度

7.3.1 化学腐蚀环境下不宜单独使用硅酸盐水泥/普通硅酸盐水泥作为胶凝材料，其材料组成根据环境类别和作用等级按本标准 7.2 节确定。

#### 【条文说明】

硅酸盐水泥的主要成分是硅酸盐矿物，而在某些化学腐蚀环境中，特别是含有酸性物质的环境，硅酸盐水泥的耐化学腐蚀性能相对较差。化学腐蚀可能引起硅酸盐水泥的溶解、侵蚀，从而影响混凝土的整体性能。在酸性环境中，硅酸盐水泥的溶解性会增大，导致水泥矩阵的疏松和结构的破坏。这种溶解性的增大可能会导致混凝土结构失去原有的抗压强度和耐久性。

7.3.2 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及相应的混凝土强度等级、最大水胶比应按表 7.3.2 确定。

表 7.3.2 化学腐蚀环境中混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度

环境作用等级		混凝土强度等级	最大水胶比	保护层最小厚度 (mm)
板、墙等面形构件	V-C	C45	0.40	40
	V-D	C45	0.40	45
		≥C50	0.36	40
V-E	C50	0.36	45	
	≥C55	0.33	40	
梁、柱等条形构件	V-C	C45	0.40	45
		≥C50	0.36	40
	V-D	C45	0.40	50
		≥C50	0.36	45
	V-E	C50	0.36	50
		≥C55	0.33	45

注：1 预制构件的保护层厚度可比表中规定减少 5mm；

2 预应力钢筋的保护层厚度按本标准 3.6.2 条的规定执行，

### 【条文说明】

在化学腐蚀环境、大气污染环境和含盐大气环境中，金属结构容易受到腐蚀。通过规定混凝土保护层的最小厚度，可以减缓腐蚀因子的侵蚀速度，提高混凝土结构对腐蚀的抵抗能力。规定混凝土强度等级和最大水胶比有助于提高混凝土的密实性和抗渗透性。密实的混凝土结构能够更好地阻止有害物质的渗透，从而减缓金属结构的腐蚀。适当的混凝土保护层可以防止钢筋受到外部环境的直接影响，维护钢筋的力学性能。这对于确保结构在腐蚀环境中仍然具有足够的承载能力至关重要。

7.3.3 当采用环氧涂层钢筋和不锈钢钢筋时，保护层厚度可适当减小。

**【条文说明】**

环氧涂层钢筋和不锈钢钢筋具有较强的抗腐蚀性能，相比于普通钢筋，它们在恶劣环境下的耐腐蚀性更为出色。因此，可以适度减少保护层厚度，而仍然能够保障钢筋的耐久性。

7.3.4 水、土中的化学腐蚀环境、大气污染环境和含盐大气环境中的素混凝土结构构件，其混凝土的最低强度等级和最大水胶比应与配筋混凝土结构构件相同。

## 7.4 构造与措施

7.4.1 严重化学腐蚀环境下的混凝土结构构件，应在混凝土表面加设防腐蚀附加措施或加大混凝土构件的截面尺寸。对于配筋混凝土薄壁构件宜增加其厚度。

**【条文说明】**

化学腐蚀环境中通常存在有害的化学物质，例如酸、碱等，对混凝土结构中的金属部件（如钢筋）造成腐蚀。通过加设防腐蚀附加措施，如涂层、包覆或采用防腐蚀材料，可以有效减缓金属腐蚀的速度，提高混凝土结构的抗腐蚀性能。防腐蚀附加措施和增大构件截面尺寸有助于延长混凝土结构的使用寿命。在化学腐蚀环境中，及时采取有效的防护措施可以减缓结构的劣化过程，确保结构能够更长时间地保持稳定性和安全性。

7.4.2 当混凝土结构构件处于硫酸根离子浓度大于 1500mg/L 的流动水或 pH 值小于 3.5 的水中时，应在混凝土表面采取专门的防腐蚀附加措施，防腐蚀附加措施可参照本标准附录 D。

**【条文说明】**

高浓度的硫酸根离子容易引起混凝土结构中的金属部件（如钢筋）的腐蚀。

硫酸根离子与水泥基体中的钙化合，形成水化硫铝酸钙，并导致混凝土的体积膨胀和强度减小。采取专门的防腐蚀措施可以有效减缓硫酸根离子的侵蚀作用，维护金属结构的耐久性。低于 3.5 的 pH 值说明水具有强酸性，这可能导致混凝土中的水泥基体破坏，使得金属结构更容易受到腐蚀。专门的防腐蚀措施可以降低酸性水对混凝土结构的不良影响，提高结构的抗腐蚀性。

7.4.3 化学腐蚀环境中混凝土构件采用的防腐蚀附加措施，可按本标准附录 D 的规定选取，但不应低于本标准表 7.3.2 对 V-C 环境的规定。

## 8 钢结构腐蚀等级

### 8.1 钢结构在大气环境中的腐蚀等级

8.1.1 钢结构在大气环境中的腐蚀等级可按表 8.1.1 确定。

表 8.1.1 大气环境对建筑钢结构长期作用下的腐蚀等级

腐蚀类型		腐蚀速率 (mm/a)	腐蚀环境		
腐蚀等级	名称		大气环境 气体类型	年平均环境 相对湿度 (%)	大气环境
a	无腐蚀	<0.001	甲	<60	乡村大气
b	弱腐蚀	0.001 ~ 0.025	甲	60 ~ 75	乡村大气
			乙	<60	城市大气
c	轻腐蚀	0.025 ~ 0.05	乙	>75	乡村大气
			乙	60 ~ 75	城市大气
			乙	<60	工业大气
d	中腐蚀	0.05 ~ 0.2	乙	>75	城市大气
			丙	60 ~ 75	工业大气
e	强腐蚀	1.0~5.0	丙	>75	工业大气

注：1 在特殊场合与额外腐蚀负荷作用下，应将腐蚀类型提高等级；

- 2 处于潮湿状态或不可避免结露的部位，环境相对湿度应取大于 75%；
- 3 大气环境类型参考本标准附录 F。

**【条文说明】**

根据大气中的气体成分、湿度、温度等因素，对腐蚀性环境进行评估，确定腐蚀等级。这有助于确定结构所面临的腐蚀风险程度。不同的腐蚀等级对结构的设计和选材提出了不同的要求。高腐蚀等级的环境可能需要选择更抗腐蚀的钢材或实施更严格的防护措施，以确保结构的寿命和安全性。同时，根据腐蚀等级，可以确定采取何种防护措施。这可能包括防腐涂层、保护膜、合金材料的选择等。设计师需要根据具体情况选择适当的防护策略。

## 8.2 钢结构在水中的腐蚀等级

8.2.1 钢结构在水中的腐蚀等级可按表 8.2.1 规定。

表 8.2.1 钢结构在水中的腐蚀等级

暴露情况	腐蚀等级
软自来水	d
微生物腐蚀	e

**【条文说明】**

不同的水质环境可能对钢材产生不同程度的腐蚀作用。基于水中的腐蚀等级，设计师可以选择具有更好抗腐蚀性能的钢材，以提高结构的耐久性。

## 8.3 钢结构在土中的腐蚀等级

8.3.1 钢结构在土中的腐蚀等级可按表 8.3.1 确定。

表 8.3.1 钢结构在土中的腐蚀等级

土 pH	氯化物		电阻率 ( ohm-cm )	腐蚀等级 分类
	土中 ( ppm )	地下水中 ( ppm )		
>5	<5000	<1000	>5000	b
4-5	5000-20000	1000-10000	2000-5000	c
3-4	20000-50000	10000-20000	1000-2000	d
<3	>50000	>20000	<1000	e

**【条文说明】**

对土壤进行腐蚀性评估，考虑土壤的酸碱性、氯化物含量、电阻率等因素。这有助于确定土中腐蚀的潜在风险程度。根据土中的腐蚀等级，可以制定相应的防护措施。这可能包括使用防腐涂层、保护膜、防腐合金材料，或者通过电化学方法等，以减缓或阻止钢结构在土中的腐蚀过程。

## 9 钢结构防腐设计要求

### 9.1 腐蚀裕量的确定

9.1.1 非大气环境下腐蚀裕量的确定可按表 9.1.1 确定。

表 9.1.1 非大气环境下腐蚀裕量

腐蚀等级	平均腐蚀裕量 ( $\mu\text{m}/\text{annum}$ )
a	<10
b	10~20
c	20~40
d	40~100
e	100~200

#### 【条文说明】

腐蚀裕量是指在设计阶段考虑额外的防护措施或增加材料厚度,以应对结构在使用寿命内可能发生的腐蚀,确保结构在预期寿命内保持安全性和性能的能力。通过在设计中引入额外的保护措施或增加材料良好的腐蚀抵抗性,可以减缓或阻止腐蚀过程,从而保障结构性能。

9.1.2 大气环境下腐蚀裕量可按下式确定

$$\Delta\delta = K[(1 - P)t_1 + (t - t_1)]$$

$\Delta\delta$ ——钢结构单面腐蚀裕量 ( mm ) ;

K——钢结构单面平均腐蚀速率 ( mm/a ) , 碳钢单面平均腐蚀速率可按本规程表 9.1.1 取值, 也可现场实测确定;

P——保护效率 ( % ) , 在防腐蚀保护层的设计使用年限内, 保护效率可按表 9.1.2 取值;



$t_1$ ——防腐蚀保护层的设计使用年限（a）；

$t$ ——钢结构的设计使用年限（a）。

表 9.1.2 保护效率取值

环 境 \ 腐 蚀 等 级	a	b	c	d	e
	室 外	95	90	85	80
室 内	95	95	90	85	80

## 9.2 构件截面的选择

9.2.1 钢结构杆件应采用实腹式或闭口截面，闭口截面端部应进行封闭。

9.2.2 封闭截面进行热镀锌时，应采取开孔防爆措施。

9.2.3 腐蚀等级为 d、e 级时，钢结构杆件截面不应采用由双角钢组成的 T 形截面和由双槽钢组成的工形截面。

### 【条文说明】

合适的截面选择不仅影响结构的强度和刚度，还直接影响结构在不同环境下的腐蚀性能、疲劳寿命以及整体的耐久性。不同截面形状和尺寸的构件在表面积和曲率方面有所不同，这会影响腐蚀对结构的影响。同时，截面的选择对结构的整体强度和刚度有直接影响。通过选择适当的截面，可以确保结构在承受荷载时具有足够的强度和刚度，以满足设计要求并提高结构的耐久性。此外，截面的选择会影响构件的连接方式和细部设计。良好的构件连接和细部设计对于防止腐蚀集中和提高整体耐久性至关重要。

## 9.3 钢材的选择

9.3.1 腐蚀等级为 d、e 级时，架、柱、主梁等重要受力构件不应采用格构式构件和冷弯薄壁型钢。

### 【条文说明】

格构式构件和冷弯薄壁型钢通常具有开放式结构或者薄壁结构，这样的构件形式在高腐蚀环境中更容易受到腐蚀的影响。格构式构件中的许多连接点和截面内部难以防护，容易积水和湿润，增加了腐蚀的可能性。同时，格构式构件的连接节点复杂，构件之间的交叉和交点增加了防护难度，难以实现充分的防护。而冷弯薄壁型钢的复杂截面形状也可能导致防护涂层难以均匀施加，增加了腐蚀的风险。

## 9.4 构造设计要求

9.4.1 钢结构焊缝的设计应满足以下要求：

- 1 桁架、柱、主梁等重要钢构件和闭口截面杆件的焊缝，应采用连续焊缝；
- 2 角焊缝的焊脚尺寸不宜小于 8mm；
- 3 当杆件厚度小于 8mm 时，焊脚尺寸不应小于杆件厚度；加劲肋应切角，切角的尺寸应满足排水、施工维修要求。

### 【条文说明】

焊缝是钢结构中的一个重要部分，而且容易成为腐蚀的敏感区域。在耐久性设计中，焊缝的质量和性能直接影响结构的使用寿命。合格的焊缝可以减少腐蚀和疲劳裂纹的产生，提高结构的抗腐蚀性能和疲劳寿命。同时，焊缝的强度和刚度对整体结构的强度和刚度有着重要的影响。焊缝的质量问题可能导致焊缝区域的局部弱点，从而降低整个结构的承载能力和刚度。

#### 9.4.2 钢结构螺栓的要求应按以下规定：

- 1 焊条、螺栓、垫圈、节点板等连接构件的耐腐蚀性能，不应低于主体材料；
- 2 螺栓直径不应小于 12mm。垫圈不应采用弹簧垫圈；
- 3 螺栓、螺母和垫圈应采用热镀锌或热浸锌防护，安装后再采用与主体结构相同的防腐蚀措施。

#### 【条文说明】

螺栓是连接结构构件的重要元素，其质量直接关系到整个结构的连接可靠性。合格的螺栓可以确保连接处的强度和稳定性，从而提高整体结构的可靠性。螺栓在大气中或特定环境中容易受到腐蚀的影响。要求螺栓具有良好的耐腐蚀性能，可以延缓腐蚀过程，降低结构的维护成本，延长使用寿命。此外，螺栓的强度和刚度是连接结构的关键因素。在设计中，对螺栓的要求包括其承载能力和刚度，以确保连接部位能够承受设计荷载，不发生松动或失稳。

#### 9.4.3 钢结构钢柱柱脚的要求应按以下规定：

- 1 钢柱柱脚应置于混凝土基础上；
- 2 经常用水清理冲洗地面的场地，基础顶面宜高出地面不小于 300mm；
- 3 当腐蚀等级为强时，钢柱柱脚及钢柱宜采用 C25 细石混凝土包裹，混凝土厚度不小于 60mm，包裹高度不小于 800mm，顶面 30° 外坡。

#### 【条文说明】

柱脚通常处于接触土壤或暴露在大气中，容易受到腐蚀的影响。对柱脚提出耐腐蚀性能的要求，可以延缓腐蚀过程，减少结构的维护成本，延长使用寿命。柱脚的连接质量直接影响整个结构的稳定性。合格的柱脚连接可以确保柱与基础之间的连接牢固，防止松动或滑动，提高结构的安全性。

9.4.4 钢结构的构造节点设计应按以下规定：

- 1 网架结构宜采用管形截面、球型节点；
- 2 腐蚀等级为 d、e 级时，应采用焊接连接的空心球节点；
- 3 当采用螺栓球节点时，杆件与螺栓球的接缝应采用密封材料填嵌严密，多余螺栓孔应封堵。

#### 【条文说明】

构造节点是结构中的关键连接点，其质量直接影响整个结构的稳定性和安全性。合格的构造节点设计能够确保结构在承受荷载时保持稳定，防止结构发生局部或整体的失稳。构造节点通常是结构中容易受到腐蚀的部位之一。对节点的要求包括其材料选择、表面防护和防腐蚀设计，以降低腐蚀风险，延长结构的使用寿命。

## 9.5 材料要求

9.5.1 在常温状态下，铸铁和碳素钢可用于氢氧化钠或硫化钠溶液作用的部位。

#### 【条文说明】

铸铁通常对氢氧化钠具有较好的耐蚀性。在浓度适中的氢氧化钠溶液中，铸铁表现出相对较好的化学稳定性。这是因为氢氧化钠在一定程度上形成一层氧化物保护膜，防止进一步的腐蚀。一些低碳碳素钢在中低浓度的氢氧化钠中也可能表现出良好的耐蚀性。此外，铸铁对硫化钠的耐蚀性相对较好。硫化钠溶液中，铸铁的表面可能形成一层硫化物保护膜，降低了进一步腐蚀的可能性。碳素钢在中性或微碱性的硫化钠溶液中也表现出适度的耐蚀性。

9.5.2 喷、镀、浸锌、铝金属层的钢材，不应用于下列介质作用频繁的部位：

- 1 碳酸钠粉尘、碱或呈碱性反应的盐类介质；
- 2 氯、氯化氢、氟化氢等气体；

3 铜、汞、锡、镍、铅等金属的化合物。

9.5.3 不锈钢不得用于含氯离子介质作用的部位。

**【条文说明】**

盐类介质、金属化合物以及氯离子介质都是具有高度腐蚀性的环境。这些介质中的盐分和氯离子容易导致金属表面的腐蚀，从而降低涂层的防护效果。在频繁受到盐类介质、金属化合物、氯离子介质的作用下，涂层可能会受到损伤，例如刮擦、磨损或腐蚀，导致涂层失去对钢材的有效防护作用。

## 9.6 除锈等级

9.6.1 钢结构在涂装之前应进行表面处理。

9.6.2 防腐蚀设计文件应提出表面处理的质量要求，并应对表面除锈等级和表面粗糙度作出明确规定。

9.6.3 钢结构在除锈处理前，应清除焊渣、毛刺和飞溅等附着物，对边角进行钝化处理，并应清除基体表面可见的油脂和其他污物。

9.6.4 钢结构在涂装前的除锈等级除应符合现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB8923 的有关规定外，尚应符合表 9.6.4 规定的不同涂料表面最低除锈等级。

表 9.6.4 不同涂料表面最低除锈等级

项 目	最低除锈等级
富锌底涂料	Sa2 $\frac{1}{2}$
乙烯磷化底涂料	
环氧或乙烯基酯玻璃鳞片底涂料	Sa2
氯化橡胶、聚氨酯、环氧、聚氯乙烯萤丹、高氯化聚乙	Sa2 或 St3

烯、 氯磺化聚乙烯、醇酸、丙烯酸环氧、丙烯酸聚氨酯等底 涂料	
环氧沥青、聚氨酯沥青底涂料	St2
喷铝及其合金	Sa3
喷锌及其合金	Sa2 $\frac{1}{2}$

注：1 新建工程重要构件的除锈等级不应低于 Sa2 $\frac{1}{2}$ ；

2 喷射或抛射除锈后的表面粗糙度宜为 40 $\mu\text{m}$ ~75 $\mu\text{m}$ ，且不应大于涂层厚度的 1/3。

## 10 钢结构防腐蚀施工要求

### 10.0.1 防腐蚀面涂料

防腐蚀面涂料的选择，应采用树脂玻璃鳞片涂料。

#### 【条文说明】

树脂玻璃鳞片涂料通常具有卓越的耐腐蚀性能，能够有效防止金属表面因腐蚀而受损。这对于在恶劣的环境中，如盐雾、潮湿或化学腐蚀介质下工作的设备和结构尤为重要。树脂玻璃鳞片涂料常常具有出色的抗化学腐蚀性，能够阻隔酸碱、盐类等腐蚀性介质，使涂层在恶劣化学环境中长期保持稳定。

### 10.0.2 防腐蚀底涂料

锌、铝和含锌、金属层的钢材，其表面应采用环氧底涂料封闭；底涂料的颜料应采用锌黄类。在有机富锌或无机富锌底涂料上，宜采用环氧云铁或环氧铁红的涂料。

#### 【条文说明】

环氧底涂料通常具有较强的附着力，能够牢固地附着在金属表面，为涂层提供坚实的基础，且环氧底涂料具有良好的耐化学性，能够抵抗酸碱等腐蚀性介质的侵蚀，提高涂层的抗腐蚀性。环氧云铁或环氧铁红涂料通常具有优异的耐候性，能够在户外环境中长时间保持涂层的颜色和性能稳定。锌黄类颜料具有良好的防腐性能，可以提供对金属表面的额外保护，延缓腐蚀的发生。这对于金属表面的长期耐久性至关重要。

### 10.0.3 涂层与钢铁基层的附着力不宜低于 1.5MPa。

#### 【条文说明】

附着力的要求确保涂层紧密地附着在钢铁基层上，防止涂层在使用过程中剥离或脱落。强大的附着力有助于保持结构的稳定性和完整性。好的附着力有助于

涂层有效地防止腐蚀，因为腐蚀常常从涂层与基层的分离处开始。强大的附着力可以提供更可靠的防护，延长涂层和基层的使用寿命。

#### 10.0.4 钢结构的防腐蚀保护层最小厚度

钢结构的防腐蚀保护层最小厚度应按表 10.0.4 确定。

表 10.0.4 钢结构的防腐蚀保护层最小厚度（ $\mu\text{m}$ ）

防腐蚀保护层设计使用年限（a）	钢结构腐蚀等级			
	b	c	d	e
$2 \leq t < 5$	120	140	160	180
$5 \leq t < 10$	160	180	200	220
$10 \leq t \leq 15$	200	220	240	260

注：1 防腐蚀保护层厚度包括涂料层的厚度或金属层与涂料层复合的厚度；

2 室外工程的涂层厚度宜增加  $20\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ 。

#### 【条文说明】

防腐蚀保护层的最小厚度直接关系到其耐腐蚀性能。足够的厚度可以提供有效的物理隔离，防止腐蚀介质直接接触到钢表面，从而延缓或阻止腐蚀的发生。在一些恶劣环境条件下，腐蚀可能会迅速穿透薄弱的防腐蚀保护层。因此，通过设置最小厚度要求，可以预防由于腐蚀穿透而导致的结构损害。



# 11 钢结构防腐蚀验收维护要求

## 11.1 钢结构资料调查

11.1.1 钢结构的初步调查内容应包括：

- 1 查阅图纸资料，包括设计图、竣工材料、检查观测记录、历次加固和改造图纸和资料、事故处理报告等；
- 2 了解钢结构的用途、使用历史等情况；
- 3 调查钢结构的环境作用和防护设施；
- 4 调查钢结构的实际状况、使用条件及目前存在的问题。

11.1.2 钢结构的详细调查内容应包括：

- 1 调查使用环境中的不利因素；
- 2 调查防腐涂层的设计参数、工作性能；
- 3 检测基材的几何参数；
- 4 检测或检查防腐涂层厚度、外观损伤、附着力等检测或检查基材腐蚀状况。

### 【条文说明】

定期检测几何参数和设计参数有助于评估钢结构的整体健康状况。检测结构是否存在变形、位移、裂缝等问题，可以及早发现潜在的结构安全隐患，确保结构的长期稳定性。检测防腐涂层的厚度和质量能够预防腐蚀的发生。如果涂层厚度不足或存在损伤，可能会导致腐蚀介质侵蚀金属表面，影响结构的耐久性。定期检测可以及时发现并修复涂层问题。附着力检测可以确保涂层牢固附着在基层上，防止涂层的剥离或脱落，提高防腐效果。

11.1.3 环境调查

钢结构的环境调查内容应按表 11.1.3 确定。

表 11.1.3 使用环境调查项目

环境条件	调查项目
自然环境	大气年平均温度、最高温度及最低温度； 大气年平均相对湿度； 年降水量； 年日照天数。
工作环境	侵蚀性气体（二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物等）液体（酸、碱、盐等）和固体的影响范围及程度； 必要时测定有害成分含量； 所处工作环境的温度、湿度其变化情况； 是否存在电偶腐蚀和应力腐蚀的环境条件。

**【条文说明】**

环境调查有助于评估结构所处环境中的腐蚀风险。了解大气中的盐分、湿度、温度、化学物质等因素，可以预测腐蚀的可能性。不同的环境条件可能导致不同类型的腐蚀，例如大气腐蚀、化学腐蚀等。环境调查有助于了解结构所处地区的温度和湿度范围。温度和湿度的变化会影响钢结构的膨胀和收缩，可能导致疲劳和其他损伤，因此需要在设计和维护中考虑这些因素。

11.1.4 钢结构的使用历史调查应包括：

- 1 历年使用、管理情况；
- 2 用途变更及结构改、扩建情况；
- 3 维修情况，包括维修方案、范围、防腐涂料及钢材牌号等；
- 4 事故、灾害及处理情况；
- 5 气象、环境监测资料；
- 6 其它异常情况。

**【条文说明】**

使用历史调查有助于评估钢结构的整体健康状况。了解结构的设计、建造和使用历史，可以揭示结构可能面临的问题和挑战，例如潜在的腐蚀、疲劳、变形

等。使用历史调查可以追溯结构的维护和修复历史,了解曾经进行过的维护措施,以及可能存在的问题和改进点。这有助于制定更有效的维护计划。

## 11.2 钢结构的维护管理

11.2.1 定期检查的项目、内容和周期应符合表 11.2.1 的规定

表 11.2.1 定期检查的项目、内容和周期

检查项目	检查内容	检查周期 (a)
防腐蚀保护层外观检查	涂层破损情况	1
防腐蚀保护层防腐蚀性能 检查	鼓泡、剥落、锈 蚀	5
腐蚀量检测	测定钢结构壁 厚	5

### 【条文说明】

定期检查可以帮助早期发现结构的问题,包括腐蚀、疲劳、变形等,防止问题恶化。通过检查结果,可以制定有效的维护计划,包括修复、更换防腐涂层、强化结构等。定期检查的结果有助于评估结构的整体耐久性,了解其剩余寿命和潜在的风险。

11.2.2 钢结构防腐蚀维护管理应包括如下材料:

- 1 钢结构的设计资料、施工资料和竣工资料;
- 2 防腐蚀保护层的设计资料、施工资料;
- 3 定期检查、特殊检查的检查记录,检查记录包括工程名称、检查方式、日期、环境条件和发现异常的部位与程度;
- 4 各项检查所提出的建议、结论和处理意见;

- 5 涂装维护的设计和施工方案；
- 6 涂装维护的施工记录、检测记录和验收结论。

#### 【条文说明】

防腐蚀维护管理能够及时发现并处理钢结构表面的腐蚀问题,防止腐蚀进一步发展。通过采取适当的维护措施,如修复涂层、防腐处理等,可以有效延长钢结构的使用寿命。及时的防腐蚀维护可以减少腐蚀带来的损害,降低维修成本。相比于等到严重腐蚀问题出现时再进行修复,定期的维护投入更小,同时能够保持结构的良好状态。防腐蚀维护管理也涉及对防护体系的维护。通过监测涂层的状态、附着力等,可以及时调整或更新防护体系,使其更符合当前的环境和使用条件。

11.2.3 重要钢结构耐久性设计除了要满足本规程的要求外,还要符合国家标准《钢结构设计规范》GB50017-2003 中的相关规定。

## 附录 A 混凝土结构耐久性设计的定量方法

A.0.1 混凝土结构的耐久性定量设计应针对具体环境作用下的性能劣化过程，确保结构和构件在使用年限内达到预期的性能要求。

A.0.2 混凝土结构耐久性定量设计应明确结构和构件的性能劣化规律、耐久性极限状态以及设计使用年限。用于定量设计的劣化模型应能够得到环境作用和结构与构件性能劣化抗力之间的关系。

定量设计使用劣化模型，应针对确定的极限状态和设计使用年限，确定与结构和构件性能劣化抗力直接相关的材料与结构参数，并应充分考虑环境作用和性能劣化影响因素的不确定性，使设计参数具有一定保证率。

A.0.3 结构构件性能劣化的耐久性极限状态应按正常使用极限状态考虑，且不应损害到结构的承载能力和可修复性要求。混凝土结构和构件的耐久性极限状态可分为下列三种：

- 1 钢筋开始锈蚀的极限状态；
- 2 钢筋适量锈蚀的极限状态；
- 3 混凝土表面轻微损伤的极限状态。

A.0.4 钢筋开始锈蚀的极限状态应为大气作用下钢筋表面脱钝或氯离子侵入混凝土内部并在钢筋表面积累的浓度达到临界浓度。

混凝土结构主要构件以及使用期难以维护的混凝土构件，宜采用钢筋开始锈蚀的极限状态。

对锈蚀敏感的预应力钢筋、冷加工钢筋或直径不大于 6mm 的普通热轧钢筋作为受力主筋时，应以钢筋开始锈蚀作为极限状态。

A.0.5 钢筋适量锈蚀的极限状态应为钢筋锈蚀发展导致混凝土构件表面开始出现顺筋裂缝，或钢筋截面的径向锈蚀深度达到 0.1mm。混凝土结构中的可维护构

件，可采用钢筋适量锈蚀的极限状态。

A.0.6 混凝土表面轻微损伤的极限状态应为不影响结构外观不明显损害构件的承载力和表层混凝土对钢筋的保护。

A.0.7 与耐久性极限状态相对应的结构设计使用年限应具有规定的保证率，并应满足正常使用极限状态的可靠度要求。根据正常使用极限状态失效后果的严重程度，可靠度宜为 90%~95%，相应的失效概率宜为 5%~10%。

A.0.8 混凝土结构耐久性定量设计的性能劣化模型，其有效性应经过验证并应具有可靠的工程应用。环境作用和作用效应参数应依据工程环境条件取值，性能劣化的材料抗力参数应能通过可靠的试验方法确定，劣化模型应考虑混凝土材料配合比和施工方法对劣化规律的影响。

耐久性定量设计结果对设计使用年限的保证率应符合本标准第 A.0.7 条的规定。

A.0.9 氧离子侵入混凝土内部的过程，可采用经验扩散模型所选用的混凝土表面氯离子浓度、氯离子扩散系数、钢筋锈蚀的临界氯离子浓度等参数的取值应有可靠的依据。其中，表面氯离子浓度和扩散系数应为其表观值，氯离子扩散系数、钢筋锈蚀的临界浓度等参数尚应考虑混凝土材料的组成特性、混凝土构件使用环境的温、湿度等因素的影响。

A.0.10 结构和构件性能劣化的材料抗力参数，在施工中应通过简单、可靠的方法加以控制，确保达到设计的使用年限；对于环境作用与抗力参数的不确定性以及劣化规律的模型误差，应通过结构使用期间的长期监测和再设计来逐步校准和消除。

## 附录 B 混凝土原材料选用

### B.1 混凝土最低强度等级

B.1.1 混凝土最低强度等级应按表 B.1.1 取。

表 B.1.1 混凝土最低强度等级

环境类别和作用等级	混凝土最低强度等级
I -A	C30
I -B	C35
I -C	C40
II -C	Ca35, C45
II -D	Ca40
II -E	Ca45
IV -C, V -C, IV -D, V -D	C45
IV -E, V -E	C50

### B.2 混凝土胶凝材料

B.2.1 混凝土胶凝材料应按表 B.2.1 取。

表 B.2.1 单位体积混凝土的胶凝材料用量

强度等级	最大水胶比	最小用量 (kg/m <sup>3</sup> )	最大用量 (kg/m <sup>3</sup> )
C25	0.60	260	-
C30	0.55	280	-
C35	0.50	300	-
C40	0.45	320	-
C45	0.40	-	450
C50	0.36	-	500
≥C55	0.33	-	550

注：1 表中适用于最大骨料粒径为 20mm 的情况，骨料粒径较大时宜适当降低胶凝材料用量，骨料粒径较小时可适当增加胶凝材料用量；

2 引气混凝土的胶凝材料用量与非引气混凝土要求相同；

3 当胶凝材料矿物掺和料掺量大于 20%时，最大水胶比不应大于 0.45。

B.2.2 配筋混凝土的胶凝材料中，矿物掺和料用量占胶凝材料总量的比值应根据环境类别与作用等级、混凝土水胶比、钢筋的混凝土保护层厚度以及混凝土施工养护期限等因素综合确定，并应符合下列规定：

1 长期处于室内干燥 I -A 环境中的混凝土结构构件，当其钢筋（包括最外侧的箍筋、分布钢筋）的混凝土保护层厚度不超过 20mm 且水胶比大于 0.5 时，无防止碳化措施不应使用矿物掺和料或粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥；长期湿润 I -A 环境中的混凝土结构构件，可采用矿物掺和料，且厚度较大的构件宜采用矿物掺和料混凝土。

2 I -B、I -C 环境和 II -C、II -D，II -E 环境中的混凝土结构构件，可使用少量矿物掺和料，并可随水胶比的降低适当增加矿物掺和料用量。当混凝土的水胶比  $w/b \geq 0.45$  时，不宜使用矿物掺和料混凝土。

3 氯化物环境和化学腐蚀环境中的混凝土结构构件，应采用矿物掺和料混凝土，IV -D、IV -E 环境中的混凝土结构构件，应采用水胶比  $w/b \leq 0.4$  的矿物掺和料混凝土，且宜在矿物掺和料中再加入胶凝材料总重 3%~5%的硅灰。

4 常温下硬化、C60 以上的高强混凝土，可掺入不大于 10%的石灰石粉或不大于 5%的硅灰，以减小拌合物黏性，并提高拌合物的抗离析性。

B.2.3 用作矿物掺和料的粉煤灰，其氧化钙含量不应大于 10%。

B.2.4 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%。

B.2.5 氯化物环境下不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

B.2.6 在硫酸盐化学腐蚀环境中，当环境作用为 V -C 和 V -D 级时，水泥熟料中



的铝酸三钙含量应分别低于 8%和 5%；当使用矿物掺和料混凝土时，水泥熟料中的铝酸三钙含量应分别不大于 10%和 8%；当环境作用为 V-E 级时，水泥熟料中的铝酸三钙含量应低于 5%，并应同时掺用矿物掺和料。

在硫酸盐环境中使用抗硫酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥时，宜掺用矿物掺和料。当环境作用等级超过 V-E 级时，应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，且不应使用高钙粉煤灰，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。

B.2.7 对可能发生碱-骨料反应的混凝土，宜采用矿物掺和料；单掺的矿物掺和料（含水泥中已掺混合材）掺量占胶凝材料总重的比例，磨细矿渣不应小于 50%，粉煤灰不应小于 40%，火山灰质材料不应小于 30%，并应降低水泥和矿物掺和料中的含碱量和粉煤灰中的氧化钙含量。胶凝材料的其他技术要求可按现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/50733 的规定执行。

### B.3 混凝土中的氯离子

B.3.1 混凝土中氯离子的最大含量应按表 B.3.1 取值

表 B.3.1 混凝土中氯离子的最大含量

环境作用等级	构件类型	
	钢筋混凝土	预应力混凝土
I -A	0.3%	0.06%
I -B	0.2%	
I -C	0.15%	
I -C、I -D、I -E、	0.1%	
IV -C、IV -D、IV -E	0.1%	
V -C、V -D、V -E	0.15%	

## 附录 C 引气混凝土的含气量与气泡间隔系数

C.0.1 引气混凝土的含气量（%）与气泡间隔系数应按表 C.0.1 确定。

表 C.0.1 引气混凝土的含气量（%）与气泡间隔系数

环境条件 骨料最大粒 径（mm）	混凝土高度 饱水	混凝土中度 饱水	含盐环境下 冻融
10	6.5	5.5	6.5
15	6.5	5.0	6.5
25	6.0	4.5	6.0
40	5.5	4.0	5.5
平均气泡间 隔系数 （ $\mu\text{m}$ ）	250	306	200

注：1 含气量从浇筑或入模前的新拌混凝土中取样用含气量测定仪（气压法）测定，允许绝对误差为 $\pm 1.0\%$ ，测定方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080 的规定；

2 气泡间隔系数为从硬化混凝土中取样（芯）测得的数值，用直线导线法测定，根据抛光混凝土截面上气泡面积推算三维气泡平均间隔，推算方法可按现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T5150 的规定执行；

3 表中含气量：C50 混凝土可降低 1.0%，C60 混凝土可降低 1.5%，但不应低于 3.0%；

4 表中平均气泡间隔系数：C50 混凝土可增加 25 $\mu\text{m}$ ，C60 混凝土可增加 50 $\mu\text{m}$ 。

## 附录 D 混凝土结构防腐蚀附加措施

D.0.1 混凝土结构的防腐蚀附加措施应根据环境作用和条件施工条件、便于维护以及全寿命成本等因素综合考虑。

D.0.2 混凝土结构防腐蚀附加措施可按表 D.0.2 确定。

表 D.0.2 混凝土结构防腐蚀附加措施

环境类别	名称	防腐蚀附加措施	
		混凝土	钢筋
II	冻融环境	表面涂层, 硅烷浸渍	
IV	除冰盐与其他氯化物环境	表面涂层, 硅烷浸渍	环氧涂层钢筋, 阻锈剂, 阴极保护
V	化学腐蚀环境	表面涂层, 硅烷浸渍	

D.0.3 防腐蚀附加措施的最低保护年限应符合表 D.0.3 的要求, 各种措施的材料品质与具体技术要求应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS153 的规定。

表 D.0.3 混凝土结构防腐蚀措施的保护年限

防腐蚀附加措施	最低保护年限 (a)
表面涂层	10
硅烷浸渍	15
环氧涂层钢筋	20
阴极保护 (外加电流)	30

## 附录 E 混凝土耐久性参数与腐蚀性离子测定方法

E.0.1 混凝土抗冻耐久性指数 DF 通过快速冻融试验测定，测试方法应采用国家现行标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 的快冻法或《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的混凝土抗冻性试验方法。

E.0.2 混凝土氯离子扩散系数  $D_{RCM}$  通过外加电场快速迁移试验测定，测试方法应采用现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 的 RCM 法。

E.0.3 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/T176 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/T8077 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》JGJ52 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。

E.0.4 水中硫酸根离子含量应按现行国家标准《水质硫酸盐的测定重量法》GB/T11899 测定，土中硫酸根离子含量应按现行行业标准《森林土壤水溶性盐分析》LY/T1251 测定。

## 附录 F 建筑钢结构大气环境气体类型

F.0.1 钢结构所处的大气环境气体类型的划分应按表 F.0.1 确定。

表 F.0.1 大气环境气体类型

大气环境气体类型	腐蚀性物质名称	腐蚀性物质含量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
甲	二氧化碳	$<2 \times 10^{-3}$
	二氧化硫	$<5 \times 10^{-7}$
	氟化氢	$<5 \times 10^{-8}$
	硫化氢	$<1 \times 10^{-8}$
	氮的氧化物	$<1 \times 10^{-1}$
	氯	$<1 \times 10^{-7}$
	氯化氢	$<5 \times 10^{-8}$
乙	二氧化碳	$>2 \times 10^{-3}$
	二氧化硫	$5 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$
	氟化氢	$5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-6}$
	硫化氢	$1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-6}$
	氮的氧化物	$1 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6}$
	氯	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
	氯化氢	$5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-6}$
丙	二氧化硫	$1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-4}$
	氟化氢	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
	硫化氢	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
	氮的氧化物	$5 \times 10^{-6} \sim 2.5 \times 10^{-5}$

	氯	$1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$
	氯化氢	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
丁	二氧化硫	$2 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$
	氟化氢	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
	硫化氢	$> 1 \times 10^{-4}$
	氮的氧化物	$2.5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-5}$
	氯	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
	氯化氢	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$

**【条文说明】**

大气环境中的气体类型对钢结构的耐久性设计有着重要的影响。不同气体的存在会导致不同的腐蚀和腐蚀速率，因此在设计钢结构时需要考虑这些因素，以确保结构的长期稳定性和耐久性。

## 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：

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，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

《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019

《钢结构防腐蚀涂装技术规程》CECS 343:2013

《Durability requirements for steel structures and components》SNZ TS 3404:2018

《汽车加油加气站设计与施工规范》GB 50156-2012

《钢结构设计规范》GB 50017-2017