

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2015 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2014〕189 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 调查与检测；5 一般环境混凝土结构耐久性评定；6 氯盐侵蚀环境混凝土结构耐久性评定；7 冻融环境混凝土结构耐久性评定；8 硫酸盐侵蚀混凝土结构耐久性评定；9 混凝土碱-骨料反应耐久性评定；10 结构耐久性综合评定；11 锈蚀构件可靠性评定的刚度和承载力计算。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由西安建筑科技大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送西安建筑科技大学土木工程学院（地址：陕西省西安市雁塔路 13 号，邮编：710055）。

本 标 准 主 编 单 位：西安建筑科技大学

中交四航工程研究院有限公司

本 标 准 参 编 单 位：中冶集团建筑研究总院有限公司

浙江大学

同济大学

深圳大学

东南大学

清华大学

哈尔滨工业大学

中国建筑科学研究院有限公司

兰州交通大学
中南大学
重庆大学
重庆市建筑科学研究院
中铁建大桥工程局集团第一工程有限公司
交通运输部公路科学研究院

本标准主要起草人员：牛荻涛 王胜年 惠云玲 邢 锋
刘加平 金伟良 顾祥林 李克非
徐善华 姚继涛 罗大明 王庆霖
王 艳 王 玲 王起才 刘 伟
关新春 孙 彬 李 惠 余志武
张伟平 张劲泉 张戎令 陈朝晖
林文修 郝挺宇 胡晓鹏 夏 晋
郭小华 阎培渝 董必钦 董振平
韩宁旭 傅宇方 蔡维栋 熊学玉
熊建波 樊立龙 颜丙山 穆 松
本标准主要审查人员：欧进萍 郁银泉 胡钊芳 朱彦鹏
李占斌 牛 宏 郑锋勇 庄继勇
李化建 郭子雄 李秋义

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	5
3.1	一般规定	5
3.2	环境类别与作用等级	7
3.3	评定程序和工作内容	8
4	调查与检测	10
4.1	一般规定	10
4.2	使用条件调查	10
4.3	结构耐久性现状检测	11
5	一般环境混凝土结构耐久性评定	16
5.1	一般规定	16
5.2	钢筋开始锈蚀耐久性评定	18
5.3	混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定	19
5.4	混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久性评定	22
6	氯盐侵蚀环境混凝土结构耐久性评定	26
6.1	一般规定	26
6.2	钢筋开始锈蚀耐久性评定	27
6.3	混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定	30
7	冻融环境混凝土结构耐久性评定	33
7.1	一般规定	33
7.2	混凝土构件表面剥落耐久性评定	33
7.3	钢筋锈蚀耐久性评定	34

8	硫酸盐侵蚀混凝土结构耐久性评定	35
8.1	一般规定	35
8.2	混凝土构件腐蚀损伤耐久性评定	35
9	混凝土碱-骨料反应耐久性评定	37
9.1	一般规定	37
9.2	混凝土碱-骨料反应耐久性评定	37
10	结构耐久性综合评定	39
11	锈蚀构件可靠性评定的刚度和承载力计算	41
11.1	一般规定	41
11.2	锈蚀钢筋混凝土构件承载力计算	42
11.3	锈蚀钢筋混凝土受弯构件刚度计算	44
附录 A	钢筋锈蚀深度计算	45
附录 B	混凝土碳化系数计算	46
附录 C	一般环境钢筋开始锈蚀与混凝土保护层锈胀开裂 时间计算	48
附录 D	氯离子扩散及其引起的钢筋锈蚀速率计算	51
附录 E	混凝土硫酸盐腐蚀速率与硫酸根离子浓度计算	55
本标准用词说明		58
引用标准名录		59

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
3.1	General Requirements	5
3.2	Environment Classification and Action Grade	7
3.3	Evaluation Procedure and Content	8
4	Investigation and Detection	10
4.1	General Requirements	10
4.2	Environmental Investigation	10
4.3	Structural Durability State Detection	11
5	Durability Assessment of Concrete Structure in General Environment	16
5.1	General Requirements	16
5.2	Initial Corrosion of Steel Bars	18
5.3	Concrete Cover Cracking due to Corrosion	19
5.4	Limit Value of Corrosive Crack Width in Concrete Cover	22
6	Durability Assessment of Concrete Structure in Chloride Environment	26
6.1	General Requirements	26
6.2	Initial Corrosion of Steel Bars	27
6.3	Concrete Cover Cracking due to Corrosion	30
7	Durability Assessment of Concrete Structure in Freezing-thawing Environment	33

7.1	General Requirements	33
7.2	Surface Spalling of Concrete Members	33
7.3	Corrosion of Steel Bars	34
8	Durability Assessment of Concrete Structure in Sulphate Environment	35
8.1	General Requirements	35
8.2	Corrosion Damage of Concrete Members	35
9	Durability Assessment of concrete structure with Alkali Aggregate Reaction	37
9.1	General Requirements	37
9.2	Concrete Alkali Aggregate Reaction	37
10	Comprehensive Evaluation of Structural Durability	39
11	Calculation of Stiffness and Bearing Capacity in Reliability Assessment of Corroded Components	41
11.1	General Requirements	41
11.2	Bearing Capacity of Corroded Reinforced Concrete Member	42
11.3	Stiffness of Corroded Reinforced Concrete Member	44
Appendix A	Estimation of Corrosion Depth of Steel Bar	45
Appendix B	Calculation of Carbonization Coefficient of Concrete	46
Appendix C	Calculation of Initial Corrosion and Concrete Cover Cracking due to Reinforcement Corrosion in General Environment	48
Appendix D	Calculation of Chloride Diffusion and Corrosion Rate of Steel Bar	51
Appendix E	Calculation of Sulfate Corrosion Rate and Sulfate Ion Concentration	55
	Explanation of Wording in This Standard	58
	List of Quoted Standards	59

1 总 则

1.0.1 为合理评定既有混凝土结构的耐久性，保证既有混凝土结构在目标使用年限内的安全和正常使用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于既有普通混凝土结构耐久性评定，不适用于轻骨料混凝土、纤维混凝土等非普通混凝土结构耐久性评定。

1.0.3 既有混凝土结构耐久性评定，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 既有混凝土结构 existing concrete structure

已经存在的混凝土结构。

2.1.2 结构耐久性 structural durability

结构在正常使用和正常维护条件下，在目标使用年限内，结构因环境作用仍能保持其适用性和安全性的能力。

2.1.3 耐久性评定 durability assessment

采用一定的方法和程序，对既有混凝土结构的耐久性能作出的评价和判定。

2.1.4 耐久性损伤 durability damage

由环境作用造成的结构性能劣化。

2.1.5 耐久性极限状态 durability limit state

由耐久性损伤造成结构或其构件的某项性能丧失而不能满足使用要求的临界状态。

2.1.6 耐久年限 endurance life

在正常使用和正常维护条件下，结构建成至达到某一耐久性极限状态的时间。

2.1.7 剩余使用年限 residual service life

在正常使用和正常维护条件下，结构使用若干年后能继续保持其预定功能的时间。

2.1.8 目标使用年限 target service life

根据结构的使用要求和结构的当前技术状况确定的期望继续使用的时间。

2.1.9 耐久性裕度系数 durability margin

剩余使用年限与目标使用年限的比值。

2.1.10 环境作用 environmental action

温度、湿度、二氧化碳、氧、酸、碱、盐等环境因素对结构的作用。

2.1.11 维护 maintenance

为维持结构在使用年限内所需性能而采取的各种技术和管理活动。

2.1.12 修复 repair

通过修补使受到损伤的结构恢复到满足正常使用功能所进行的活动。

2.1.13 可修复性 repairability

损伤的结构或构件能够被经济合理修复的可能性。

2.1.14 评定单元 assessment unit

可独立进行评定的一个或若干个构件的集合。

2.1.15 结构技术状况 structural condition

表征结构工作性能的外观、性能参数值的集合。

2.2 符 号

2.2.1 耐久性指标

C_{cr} ——钢筋锈蚀临界氯离子浓度；

C_0 ——混凝土制备时掺入的氯离子浓度；

C_s ——混凝土表面氯离子浓度；

D ——氯离子扩散系数；

RH ——年平均相对湿度；

R ——硫酸盐环境中混凝土的腐蚀速率；

T ——年平均温度；

t_e ——目标使用年限；

t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限；

t_{cr} ——混凝土保护层锈胀开裂耐久年限；

t_c ——钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂所需的时间；

t_d ——混凝土表面锈胀裂缝宽度限值耐久年限；

t_{cl} ——钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值所需的时间；

t_0 ——结构建成至检测时的时间；

t_{re} ——结构剩余使用年限；

ξ_d ——耐久性裕度系数；

α_{FT} ——混凝土表面剥落率；

η_s ——钢筋锈蚀截面损失率；

$[\Omega]$ ——某项性能指标的临界值；

Ω ——某项性能指标的评定值。

2.2.2 修正系数与影响系数

K ——氯盐侵蚀系数；

k ——混凝土碳化系数；

m ——中性化引起钢筋锈蚀的局部环境系数；

α_{sc} ——受拉锈蚀钢筋强度利用系数；

γ_0 ——耐久重要性系数。

2.2.3 材料性能与几何参数

A_s 、 A_{sc} ——钢筋锈蚀前、后的截面面积；

c ——混凝土保护层厚度；

d ——钢筋直径；

d_{FT} ——平均剥落深度；

$d_{FT,max}$ ——最大剥落深度；

$f_{cu,e}$ ——混凝土抗压强度推定值；

f_y ——钢筋屈服强度；

f_{yc} ——锈蚀钢筋屈服强度；

q_0 ——配筋指标；

x_c ——实测混凝土碳化深度；

w ——混凝土锈胀裂缝宽度；

δ ——钢筋锈蚀深度。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 既有混凝土结构在出现下列情况时，应进行耐久性评定：

- 1 达到设计使用年限，拟继续使用时；
- 2 使用功能或环境明显改变时；
- 3 已出现耐久性损伤时；
- 4 考虑结构性能随时间劣化进行可靠性鉴定时。

3.1.2 重要工程或设计使用年限为 100 年及以上的工程应定期进行耐久性评定。

3.1.3 混凝土结构耐久性应分构件、评定单元两个层次，按三个等级进行评定。

3.1.4 评定单元应根据结构所处环境条件、结构使用功能、结构布置等情况划分。

3.1.5 构件、评定单元的耐久性应按下列规定评定等级：

1 构件

a 级：在目标使用年限内，构件耐久性满足要求，可不采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

b 级：在目标使用年限内，构件耐久性基本满足要求，可不采取或部分采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

c 级：在目标使用年限内，构件耐久性不满足要求，应及时采取修复、防护或其他提高耐久性的措施。

2 评定单元

A 级：在目标使用年限内，评定单元耐久性满足要求，可不采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

B 级：在目标使用年限内，评定单元耐久性基本满足要求，

可不采取或部分采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

C级：在目标使用年限内，评定单元耐久性不满足要求，应及时采取修复、防护或其他提高耐久性的措施。

3.1.6 构件的耐久性等级应根据耐久性裕度系数或耐久性损伤状态评定，评定单元的耐久性等级应根据耐久性裕度系数确定。

3.1.7 采用耐久性裕度系数 ξ_d 进行耐久性等级评定时，应按表 3.1.7 进行。

表 3.1.7 耐久性等级评定

耐久性裕度系数 ξ_d	≥ 1.8	$1.8 \sim 1.0$	≤ 1.0
构件耐久性等级	a 级	b 级	c 级
评定单元耐久性等级	A 级	B 级	C 级

3.1.8 耐久性裕度系数 ξ_d 应根据结构所处的环境类别及作用等级、结构的技术状况，并考虑耐久重要性系数 γ_0 ，按下列公式确定：

$$\xi_d = \frac{t_{re}}{\gamma_0 \cdot t_e} \quad (3.1.8-1)$$

$$\xi_d = \frac{[\Omega]}{\gamma_0 \cdot \Omega} \quad (3.1.8-2)$$

式中： t_{re} ——结构剩余使用年限；

t_e ——目标使用年限；

$[\Omega]$ ——某项性能指标的临界值；

Ω ——某项性能指标的评定值；

γ_0 ——耐久重要性系数。

3.1.9 耐久重要性系数 γ_0 应根据结构的重要性、可修复性和失效后果按表 3.1.9 确定。对重要结构，其耐久重要性等级应取为一级；对一般结构，其耐久重要性等级宜取为一级；对次要结构，其耐久重要性等级宜取为二级。对一般结构和次要结构，当构件容易修复、替换时，其耐久重要性等级可降低一级。

表 3.1.9 耐久重要性系数 γ_0

耐久重要性等级	耐久性失效后果	耐久重要性系数
一级	很严重	1.1
二级	严重	1.0
三级	不严重	0.9

3.1.10 当结构受到多种类型环境作用时，应分别进行每类环境单独作用下的耐久性评定，并宜考虑多环境耦合作用进行耐久性评定。

3.1.11 耐久性评定时，应考虑目标使用年限内可能受到的作用和使用条件的变化。

3.1.12 耐久性评定时，应根据评定目的，选取相应的耐久性极限状态进行评定。

3.1.13 当构件混凝土保护层厚度、混凝土强度明显小于同类构件时，宜单独进行评定，并在评定报告中指出。

3.2 环境类别与作用等级

3.2.1 结构所处环境类别应按表 3.2.1 确定。

表 3.2.1 环境类别

环境类别	环境类型	腐蚀机理
I	一般环境	混凝土碳化及其引起的钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤
III	海洋氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
IV	除冰盐等其他氯化物环境	除冰盐引起混凝土表面剥落损伤以及氯盐引起钢筋锈蚀
V	化学腐蚀环境	硫酸盐等化学物质对混凝土的腐蚀

3.2.2 环境对钢筋混凝土结构的作用程度应采用环境作用等级表征，并按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 环境作用等级

环境影响程度 环境类别	轻微	轻度	中度	严重	非常严重	极端严重
I	I-A	I-B	I-C	I-D	—	—
II	—	—	II-C	II-D	II-E	—
III	III-A	III-B	III-C	III-D	III-E	III-F
IV	—	—	IV-C	IV-D	IV-E	—
V	—	—	V-C	V-D	V-E	V-F

3.3 评定程序和工作内容

3.3.1 结构耐久性应按图 3.3.1 所示的工作程序评定。

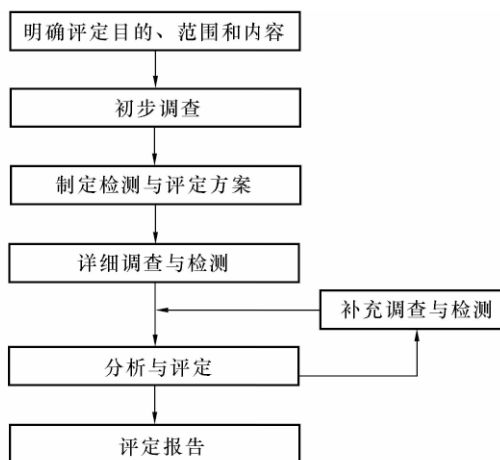


图 3.3.1 耐久性评定工作程序

3.3.2 初步调查应包括下列内容：

1 历史资料：

- 1) 结构类型、用途、已使用年限、使用历史等；
- 2) 结构设计、施工、维修加固、改扩建、维护检测、事故及其处理等；

- 2 结构的环境作用和各种防护设施；
 - 3 结构的使用状况；
 - 4 根据调查结果制定检测方案。
- 3.3.3 检测方案应包括下列内容：**
- 1 调查与检测目的、要求；
 - 2 调查与检测的范围、检测项目、检测方法；
 - 3 检测抽样方法、检测数量；
 - 4 检测仪器设备。
- 3.3.4 调查与检测、分析与评定应按本标准第 4 章～第 11 章有关条款进行。**
- 3.3.5 耐久性评定报告应包括下列内容：**
- 1 工程概况；
 - 2 评定目的、依据、范围和内容；
 - 3 调查与检测结果；
 - 4 分析与评定；
 - 5 结论与建议；
 - 6 附件。
- 3.3.6 混凝土结构耐久性评定应委托专业技术机构进行。**

4 调查与检测

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土结构耐久性调查与检测的内容、范围和技术要求应满足结构耐久性评定的需要。

4.1.2 混凝土结构耐久性调查与检测应包括使用条件调查和结构耐久性现状检测，并应根据结构实际状况选择耐久性检测项目和检测方法。

4.1.3 结构耐久性现状检测可采取抽样或全数检测两种方式。抽样检测时，应按同类环境、同类构件随机抽样。对下列情况应全数检测：

- 1 构件数少于 6 个；
- 2 检测项目的变异系数大于 0.2；
- 3 灾害发生后结构受损情况；
- 4 委托方要求全数检测。

4.2 使用条件调查

4.2.1 使用条件调查应包括使用环境调查、资料调查以及结构使用历史调查。

4.2.2 使用环境调查应包括结构所处位置的自然环境和工作环境调查，调查项目可根据耐久性评定的需要，按表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 使用环境调查项目

环境条件	调查项目
自然环境	1) 大气年平均温度、最高温度及最低温度等； 2) 大气年平均相对湿度等； 3) 年降水量； 4) 海雾天数及海雾中盐含量； 5) 年冻融循环次数； 6) 风沙磨蚀和水溶蚀

续表 4.2.2

环境条件	调查项目
工作环境	1) 侵蚀性气体、液体和固体的影响范围及程度, 根据需要尚应测定有害成分含量; 2) 构件所处工作环境的年平均温度、年平均相对湿度, 温度、湿度变化以及干湿交替情况; 3) 冻融循环情况; 4) 构件表面冲刷、磨损情况

4.2.3 资料调查应包括下列内容:

- 1 地质勘察报告, 包括地下水位、土质及水质化学成分和含量等;
- 2 设计资料, 包括设计图纸、生产工艺流程、废气及污水处理方式等;
- 3 施工资料, 包括混凝土原材料、配合比、混凝土试件强度、施工工艺及钢筋种类等。

4.2.4 结构使用历史调查应包括下列内容:

- 1 使用、管理与维护情况;
- 2 用途变更及结构改、扩建情况;
- 3 事故、灾害及处理情况;
- 4 其他异常情况。

4.3 结构耐久性现状检测

4.3.1 混凝土结构耐久性现状检测项目宜根据环境类别和腐蚀介质, 按表 4.3.1 确定。

表 4.3.1 耐久性现状检测项目

环境类别		常规检测	专项检测
I		构件几何尺寸、保护层厚度、外观缺陷与损伤；混凝土抗压强度、钢筋锈蚀状况；构件开裂状况	碳化深度、混凝土渗透性、钢筋自然电位、混凝土电阻率
II			剥落面积、剥落深度
III			混凝土中氯离子浓度分布
IV			混凝土中氯离子浓度分布、剥落深度
V	硫酸盐侵蚀环境		剥落深度、混凝土中硫酸根离子浓度分布
	碱-骨料反应		碱含量及骨料碱活性、混凝土含水率

4.3.2 对构件的外观缺陷或表面损伤宜全数检测。当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列构件或部位进行检测：

- 1 重要的构件或部位；
- 2 外观缺陷与损伤严重的构件或部位。

4.3.3 构件几何尺寸、构件的外观缺陷与表面损伤、混凝土抗压强度检测应按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的相关规定执行。

4.3.4 混凝土保护层厚度检测方法应按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 执行，检测部位和测区数量尚应符合下列规定：

- 1 检测部位应包括：
 - 1) 主要构件或主要受力部位；
 - 2) 钢筋可能锈蚀的部位；
 - 3) 混凝土锈胀开裂的部位；
 - 4) 布置混凝土碳化测区的部位。

2 同类构件抽检数量宜按 10% 确定，且不应少于 6 个。同类构件数量少于 6 个时，应逐个测试。

3 每个检测构件的测区数不宜少于 6 个；构件角部钢筋应量测两侧的保护层厚度。

4.3.5 混凝土碳化深度应采用浓度为 1%~2% 的酚酞酒精溶液进行测试，测区数量及布置应符合下列规定：

1 同环境、同类构件抽检数量宜按 10% 确定，且不应少于 6 个；同类构件数少于 6 个时，应逐个测试；

2 每个检测构件不应少于 3 个测区，测区应布置在构件的不同侧面，并宜布置在钢筋附近；对角部钢筋宜测试钢筋处构件两侧面混凝土碳化深度，碳化深度测量应精确至 0.1mm；

3 每一测区应布置 3 个测孔，孔距应大于 2 倍孔径；测区碳化深度为 3 个测孔碳化深度的平均值。

4.3.6 混凝土中钢筋锈蚀状况检测宜按现行国家标准《混凝土

结构现场检测技术标准》GB/T 50784 执行，也可由本标准附录 A 计算钢筋锈蚀深度。

4.3.7 混凝土中氯离子浓度测试应按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 执行，用氯离子占样品混凝土质量的百分数表示，并应精确至 0.001%。样品应通过现场钻芯取样、磨粉制备，并应符合下列规定：

- 1 芯样直径宜取 100mm；同环境、同批抽样构件数不应少于 6 个，同类构件数少于 6 个时宜逐个取样；
- 2 每个构件上宜布置 1 个测区；
- 3 测试混凝土表面氯离子浓度的粉末试样，应从距构件表面 5mm 附近取样；
- 4 检测氯离子浓度分布时，应自构件表面沿深度每 2mm～3mm 取样，且沿深度取样不宜少于 5 个。

4.3.8 混凝土冻融损伤检测，应测量同一冻融环境混凝土构件表面剥落面积、剥落深度、最大剥落深度。剥落深度可采用靠尺及塞尺测量。冻融损伤宜全数检测，且应符合下列规定：

- 1 构件应测试所有表面的剥落面积、平均剥落深度、最大剥落深度，并应精确至 0.1mm；
- 2 相同冻融环境构件同一表面上剥落深度测点不应少于 6 个，测点间距不宜小于 100mm。

4.3.9 混凝土硫酸盐腐蚀剥落深度可采用靠尺及塞尺测量。

4.3.10 混凝土中硫酸根离子浓度按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 中 SO_3 含量测定方法确定，样品应通过现场钻芯取样、切片制备，并应符合下列规定：

- 1 相同混凝土配合比的芯样应为一组，每组芯样数量不应少于 3 个；当构件已经出现混凝土开裂或剥落、钢筋锈蚀等明显劣化现象时，每组芯样的取样数量应增加一倍，钻芯取样前应测试芯样部位的剥落深度；
- 2 钻芯深度不应小于混凝土保护层厚度；
- 3 检测硫酸根离子浓度在混凝土试样内的分布时，应自硫

酸盐腐蚀表面沿深度方向切片取样，且切片数不宜少于 5 个；

4 切片样品制备应去除混凝土试样中粗骨料，将试样砂浆砸碎、研磨至全部通过公称直径为 0.08mm 的筛；并将砂浆粉末置于 $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干 2h，取出后放入干燥器冷却至室温后进行硫酸根离子浓度测试，并应精确至 0.01%。

4.3.11 混凝土碱含量检测应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 执行，骨料碱活性检测应按现行国家标准《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685、《建筑用砂》GB/T 14684 执行。样本应通过现场钻芯取样，并应符合下列规定：

1 碱含量检测时，同环境、同类构件抽样数不应少于 6 个，同类构件数少于 6 个时宜逐个取样；

2 骨料活性检测宜采用岩相分析法，同环境、同类构件抽样数不应少于 3 个，同类构件数少于 3 个时宜逐个取样；

3 碱含量、骨料碱活性检测的试样，每个构件宜钻取 1 个直径为 100mm 的芯样。

4.3.12 碱-骨料反应导致的混凝土膨胀性可采用测长法检测，并应符合下列规定：

1 应在构件不同部位钻取芯样，数量不应少于 3 个；芯样直径宜取 100mm，且不应小于 70mm，长度应不小于两倍芯样直径；

2 芯样两端磨平后粘上测头制成测长试件，先在自然条件下养护 7d，量取此时长度为初始长度，然后将试件放入 $(38 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、90% 以上湿度环境中养护，每周读数一次，并计算试件的膨胀率，试验周期宜为 12 个月，且不应少于 3 个月。

4.3.13 检测参数取值应符合下列规定：

1 混凝土保护层厚度应为同一测区受力钢筋保护层厚度的平均值；

2 混凝土碳化深度应为同一测区受力钢筋部位混凝土碳化深度的平均值；

3 混凝土强度应取混凝土强度推定值；

4 混凝土锈胀裂缝宽度应取同一测区混凝土表面最大锈胀裂缝宽度；

5 环境温度、湿度应取年平均环境温度和年平均相对湿度；对室内构件，有实测数据时，应取实测数据的平均值。

5 一般环境混凝土结构耐久性评定

5.1 一般规定

5.1.1 一般环境混凝土结构耐久性应按下列极限状态评定：

- 1 钢筋开始锈蚀极限状态；
- 2 混凝土保护层锈胀开裂极限状态；
- 3 混凝土保护层锈胀裂缝宽度极限状态。

5.1.2 钢筋开始锈蚀极限状态应为混凝土中性化诱发钢筋脱钝的状态；混凝土保护层锈胀开裂极限状态应为钢筋锈蚀产物引起混凝土保护层开裂的状态；混凝土保护层锈胀裂缝宽度极限状态应为混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值时对应的状态。

5.1.3 一般环境混凝土结构耐久性等级应根据不同极限状态对应的耐久性裕度系数按本标准表 3.1.7 评定。

5.1.4 保护层脱落、表面外观损伤已造成混凝土构件不满足相应的使用功能时，混凝土构件耐久性等级应评为 c 级。

5.1.5 一般环境混凝土结构耐久性裕度系数应根据不同极限状态，按下列规定确定：

- 1 钢筋开始锈蚀极限状态耐久性裕度系数，应按下列下式计算：

$$\xi_d = (t_i - t_0) / (\gamma_0 t_c) \quad (5.1.5-1)$$

- 2 混凝土保护层锈胀开裂极限状态耐久性裕度系数，应按下列下式计算：

$$\xi_d = (t_{cr} - t_0) / (\gamma_0 t_c) \quad (5.1.5-2)$$

- 3 混凝土保护层锈胀裂缝宽度极限状态耐久性裕度系数，应按下列下式计算：

$$\xi_d = (t_d - t_0) / (\gamma_0 t_c) \quad (5.1.5-3)$$

式中： t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限（a）；

t_{cr} ——混凝土保护层锈胀开裂耐久年限（a）；

t_d ——混凝土表面锈胀裂缝宽度限值耐久年限 (a)；

t_0 ——结构建成至检测时的时间 (a)；

t_e ——目标使用年限 (a)。

5.1.6 钢筋开始锈蚀耐久年限 t_i 、混凝土保护层锈胀开裂耐久年限 t_{cr} 、混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限 t_d 宜分别按本标准第 5.2.1 条、第 5.3.1 条、第 5.4.1 条确定，也可按本标准附录 C 的方法计算。

5.1.7 一般环境混凝土结构耐久性评定时，应考虑局部环境的影响，并按表 5.1.7 确定局部环境系数 m 。

表 5.1.7 局部环境系数 m

环境作用等级		结构构件示例	m
I-A	一般室内环境； 一般室外不淋雨环境无污染源 的工业厂房	常年干燥、低湿度环境中的室内构件； 不接触或偶尔接触雨水的室外构件； 机修、仪表等工业厂房	1.0~1.2
I-B	室内潮湿环境； 室内干湿交替环境； 大气轻微污染的工业厂房	中、高湿度环境中的室内构件； 与冷凝水、露水或蒸汽频繁接触的室内构件； 炼钢、轧钢等工业厂房	1.2~2.5
I-C	室外淋雨环境； 酸雨环境； 一般冻融环境； 大气重度污染的工业厂房	淋雨或频繁与水接触的室外构件； 酸雨地区露天环境； 考虑冻融循环对碳化影响的一般室外环境； 焦化、化工等工业厂房	2.5~4.0
I-D	湿热地区室外淋雨环境	湿热地区频繁淋雨或频繁与水接触的室外构件	4.0~4.5

注：1 混凝土结构耐久性评定时，宜根据检测时刻构件的技术状况推断局部环境系数合理取值；

2 工业大气环境条件复杂，局部环境系数尚应考虑有无干湿交替、有害介质含量等具体情况合理取用。

5.2 钢筋开始锈蚀耐久性评定

5.2.1 一般环境混凝土结构钢筋开始锈蚀耐久年限应考虑碳化系数、保护层厚度和局部环境影响，并按下式确定：

$$t_i = 15.2 K_k K_c K_m \quad (5.2.1)$$

式中： t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限（a）；

K_k ——碳化系数对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数；

K_c ——保护层厚度对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数；

K_m ——局部环境对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数。

5.2.2 混凝土碳化系数对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数 K_k ，应按表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 碳化系数对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数 K_k

碳化系数 k (mm/ $\sqrt{a}$)	1.0	2.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
K_k	2.27	1.54	1.20	0.94	0.80	0.71	0.64

注：当碳化系数介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.2.3 混凝土碳化系数应按下列规定确定：

1 混凝土碳化系数 k 宜通过实测，按下式计算：

$$k = \frac{x_c}{\sqrt{t_0}} \quad (5.2.3)$$

式中： x_c ——实测混凝土碳化深度（mm），当碳化测区不在构件角部时，构件角部的碳化深度可取实测碳化深度的 1.4 倍；

t_0 ——结构建成至检测时的时间（a）。

2 当缺乏有效实测碳化深度数据时，碳化系数可按本标准附录 B 计算。

5.2.4 混凝土保护层厚度对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数 K_c ，应按表 5.2.4 确定。

表 5.2.4 保护层厚度对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数 K_c

混凝土保护层厚度 c (mm)	5	10	15	20	25	30	40
K_c	0.54	0.75	1.00	1.29	1.62	1.96	2.67

注：当混凝土保护层厚度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.2.5 局部环境对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数 K_m ，应按表 5.2.5 确定。

表 5.2.5 局部环境对钢筋开始锈蚀耐久年限的影响系数 K_m

局部环境系数 m	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5
K_m	1.51	1.24	1.06	0.94	0.85	0.78	0.68

5.3 混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定

5.3.1 一般环境混凝土保护层锈胀开裂耐久年限应考虑保护层厚度、混凝土强度、钢筋直径、环境温度、环境湿度以及局部环境的影响，并按下列公式确定：

$$t_{cr} = t_i + t_c \quad (5.3.1-1)$$

$$t_c = H_c H_f H_d H_T H_{RH} H_m t_r \quad (5.3.1-2)$$

式中： t_{cr} ——混凝土保护层锈胀开裂耐久年限 (a)；

t_c ——钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂所需的时间 (a)；

t_r ——各项影响系数为 1.0 时构件自钢筋开始锈蚀到保护层锈胀开裂的时间 (a)，对室外环境，梁、柱取 1.9，墙、板取 4.9；对室内环境，梁、柱取 3.8，墙、板取 11.0；

H_c ——保护层厚度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数；

H_f ——混凝土强度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数；

H_d ——钢筋直径对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数；

H_T ——环境温度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数；

H_{RH} ——环境湿度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数；

H_m ——局部环境对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数。

5.3.2 保护层厚度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_c ，应按表 5.3.2 确定。

表 5.3.2 保护层厚度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_c

保护层厚度 c (mm)		5	10	15	20	25	30	40
室外	梁、柱	0.38	0.68	1.00	1.34	1.70	2.09	2.93
	墙、板	0.33	0.62	1.00	1.48	2.07	2.79	4.62
室内	梁、柱	0.37	0.68	1.00	1.35	1.73	2.13	3.02
	墙、板	0.31	0.61	1.00	1.51	2.14	2.92	4.91

注：当混凝土保护层厚度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.3.3 混凝土强度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_f ，应按表 5.3.3 确定。

表 5.3.3 混凝土强度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_f

混凝土抗压强度推 定值 $f_{cu,e}$ (MPa)		10	15	20	25	30	35	40
室外	梁、柱	0.21	0.47	0.86	1.39	2.08	2.94	3.99
	墙、板	0.17	0.41	0.76	1.26	1.92	2.76	3.79
室内	梁、柱	0.21	0.48	0.89	1.44	2.15	3.04	4.13
	墙、板	0.17	0.41	0.77	1.27	1.94	2.79	3.83

注：当混凝土强度推定值介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.3.4 钢筋直径对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_d ，应按表 5.3.4 确定。

表 5.3.4 钢筋直径对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_d

钢筋直径 d (mm)		4	8	12	16	20	25	28	32
室外	梁、柱	2.43	1.66	1.40	1.27	1.19	1.13	1.10	1.05
	墙、板	4.65	2.11	1.50	1.25	1.12	1.02	0.99	0.97
室内	梁、柱	2.23	1.52	1.29	1.17	1.10	1.04	1.02	0.99
	墙、板	4.10	1.87	1.34	1.11	1.00	0.92	0.88	0.85

5.3.5 环境温度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_T ，应按表 5.3.5 确定。

表 5.3.5 环境温度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_T

环境温度 T (°C)		4	8	12	16	20	24	28
室外	梁、柱	1.50	1.42	1.34	1.27	1.20	1.15	1.09
	墙、板	1.39	1.31	1.24	1.17	1.11	1.06	1.01
室内	梁、柱	1.39	1.31	1.24	1.17	1.11	1.06	1.01
	墙、板	1.25	1.19	1.11	1.05	1.00	0.95	0.91

注：当环境温度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.3.6 环境湿度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_{RH} ，应按表 5.3.6 确定。

表 5.3.6 环境湿度对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_{RH}

环境湿度 RH (%)		55	60	65	70	75	80	85
室外	梁、柱	2.40	1.83	1.51	1.30	1.15	1.041	1.041
	墙、板	2.23	1.70	1.40	1.21	1.07	0.97	0.97
室内	梁、柱	3.04	1.91	1.46	1.21	1.04	0.92	0.92
	墙、板	2.75	1.73	1.32	1.09	0.94	0.83	0.83

注：当环境湿度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.3.7 局部环境对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_m ，应按表 5.3.7 确定。

表 5.3.7 局部环境对混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的影响系数 H_m

局部环境系数 m		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5
室外	梁、柱	3.74	2.49	1.87	1.50	1.25	1.07	0.83
	墙、板	3.50	2.33	1.75	1.40	1.17	1.00	0.78
室内	梁、柱	3.40	2.27	1.70	1.36	1.13	0.97	0.76
	墙、板	3.09	2.06	1.55	1.24	1.03	0.88	0.69

注：当局部环境系数介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.4 混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久性评定

5.4.1 一般环境混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限应考虑保护层厚度、混凝土强度、钢筋直径、环境温度、环境湿度以及局部环境的影响，并按下列公式确定：

$$t_d = t_i + t_{cl} \quad (5.4.1-1)$$

$$t_{cl} = F_c F_f F_d F_T F_{RH} F_m t_{d0} \quad (5.4.1-2)$$

式中： t_d ——混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限（a）；

t_{cl} ——钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值所需时间（a）；

t_{d0} ——各项影响系数为 1.0 时自钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值的年限（a），对室外环境，梁、柱取 7.04，墙、板取 8.09；对室内环境，梁、柱取 8.84，墙、板取 14.48；

F_c ——保护层厚度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数；

F_f ——混凝土强度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数；

F_d ——钢筋直径对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数；

F_T ——环境温度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数；

F_{RH} ——环境湿度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数；

F_m ——局部环境对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数。

5.4.2 混凝土保护层厚度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_c ，应按表 5.4.2 确定。

表 5.4.2 保护层厚度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_c

保护层厚度 c (mm)		5	10	15	20	25	30	40
室外	梁、柱	0.57	0.87	1.00	1.17	1.36	1.54	1.91
	墙、板	0.58	0.77	1.00	1.24	1.49	1.76	2.35
室内	梁、柱	0.59	0.78	1.00	1.23	1.48	1.69	2.13
	墙、板	0.47	0.74	1.00	1.26	1.53	1.82	2.45

注：当保护层厚度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.4.3 混凝土强度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_f ，应按表 5.4.3 确定。

表 5.4.3 混凝土强度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_f

混凝土抗压强度推 定值 $f_{cu,e}$ (MPa)		10	15	20	25	30	35	40
室外	梁、柱	0.29	0.60	0.92	1.25	1.64	2.16	2.78
	墙、板	0.31	0.59	0.89	1.29	1.81	2.46	3.24
室内	梁、柱	0.34	0.62	0.93	1.33	1.85	2.49	3.24
	墙、板	0.31	0.56	0.89	1.35	1.94	2.66	3.52

注：当混凝土强度推定值介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.4.4 钢筋直径对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_d ，应按表 5.4.4 确定。

**表 5.4.4 钢筋直径对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值
耐久年限的影响系数 F_d**

钢筋直径 d (mm)		4	8	12	16	20	25	28	32
室外	梁、柱	0.86	1.11	1.33	1.29	1.26	1.23	1.22	1.21
	墙、板	0.91	1.44	1.47	1.36	1.30	1.26	1.24	1.22
室内	梁、柱	0.94	1.14	1.32	1.27	1.24	1.21	1.20	1.19
	墙、板	0.92	1.40	1.41	1.29	1.23	1.19	1.17	1.15

5.4.5 环境温度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_T ，应按表 5.4.5 确定。

**表 5.4.5 环境温度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度
限值耐久年限的影响系数 F_T**

环境温度 T (°C)		4	8	12	16	20	24	28
室外	梁、柱	1.39	1.33	1.27	1.22	1.18	1.13	1.10
	墙、板	1.48	1.41	1.34	1.27	1.22	1.16	1.12
室内	梁、柱	1.42	1.34	1.28	1.22	1.16	1.12	1.07
	墙、板	1.43	1.35	1.28	1.22	1.16	1.11	1.06

注：当环境温度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.4.6 环境湿度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数 F_{RH} ，应按表 5.4.6 确定。

**表 5.4.6 环境湿度对混凝土保护层锈胀裂缝宽度
限值耐久年限的影响系数 F_{RH}**

环境湿度 RH (%)		55	60	65	70	75	80	85
室外	梁、柱	2.07	1.64	1.40	1.24	1.13	1.06	1.06
	墙、板	2.30	1.79	1.50	1.31	1.18	1.08	1.08
室内	梁、柱	2.95	1.91	1.49	1.26	1.11	1.00	1.00
	墙、板	3.08	1.96	1.51	1.26	1.10	0.98	0.98

注：当环境湿度介于表中数值之间时，可按线性插值确定。

5.4.7 局部环境对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的

影响系数 F_m ，应按表 5.4.7 确定。

**表 5.4.7 局部环境对混凝土保护层锈胀裂缝
宽度限值耐久年限的影响系数 F_m**

局部环境系数 m		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5
室外	梁、柱	3.10	2.14	1.67	1.38	1.20	1.06	0.88
	墙、板	3.53	2.39	1.82	1.49	1.26	1.10	0.89
室内	梁、柱	3.27	2.23	1.71	1.40	1.19	1.05	0.85
	墙、板	3.43	2.30	1.75	1.41	1.19	1.03	0.82

6 氯盐侵蚀环境混凝土结构耐久性评定

6.1 一般规定

6.1.1 氯盐侵蚀环境混凝土结构耐久性应按下列极限状态评定：

- 1 钢筋开始锈蚀极限状态；
- 2 混凝土保护层锈胀开裂极限状态。

6.1.2 钢筋开始锈蚀极限状态应为钢筋表面氯离子浓度达到钢筋脱钝临界氯离子浓度的状态；混凝土保护层锈胀开裂极限状态应为钢筋锈蚀产物引起混凝土保护层开裂的状态。

6.1.3 氯盐侵蚀环境混凝土结构耐久性等级应根据不同极限状态对应的耐久性裕度系数按表 3.1.7 评定。

6.1.4 保护层脱落、表面外观损伤已造成混凝土构件不满足使用功能时，混凝土构件耐久性等级应评为 c 级。

6.1.5 氯盐侵蚀环境混凝土结构耐久性极限状态对应的耐久性裕度系数，应按下列规定确定：

- 1 钢筋开始锈蚀极限状态耐久性裕度系数，应按下式计算：

$$\xi_d = (t_i - t_0) / (\gamma_0 t_e) \quad (6.1.5-1)$$

- 2 混凝土保护层锈胀开裂极限状态耐久性裕度系数，应按下式计算：

$$\xi_{cr} = (t_{cr} - t_0) / (\gamma_0 t_e) \quad (6.1.5-2)$$

式中： t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限（a），按本标准第 6.2.1 条确定；

t_{cr} ——混凝土保护层锈胀开裂耐久年限（a），按本标准第 6.3.1 条确定；

t_0 ——结构建成至检测时的时间（a）；

t_e ——目标使用年限（a）。

6.2 钢筋开始锈蚀耐久性评定

6.2.1 氯盐侵蚀环境混凝土结构钢筋开始锈蚀耐久年限，应考虑混凝土表面氯离子沉积过程和混凝土保护层氯离子扩散过程的影响，按下列公式确定：

$$t_i = \left(\frac{c}{K} \right)^2 \times 10^{-6} + 0.2t_1 \quad (6.2.1-1)$$

$$K = 2 \sqrt{D} \operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{cr}}{C_s} \right) \quad (6.2.1-2)$$

式中： t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限（a）；

c ——混凝土保护层厚度（mm）；

K ——氯盐侵蚀系数（ $m/\sqrt{a}$ ），按表 6.2.1 取用或按式（6.2.1-2）计算；

D ——氯离子扩散系数（ m^2/a ），按本标准附录 D 第 D.0.1 条确定；

erf ——误差函数；

C_{cr} ——钢筋锈蚀临界氯离子浓度（ kg/m^3 ），按单位体积混凝土中总氯离子浓度计算；

C_s ——混凝土表面氯离子浓度（ kg/m^3 ），按单位体积混凝土中总氯离子浓度计算；

t_1 ——混凝土表面氯离子浓度达到稳定值的时间（a），按本标准表 6.2.2 取值。

表 6.2.1 氯盐侵蚀系数 K ($\times 10^{-2} m/\sqrt{a}$)

$\frac{C_{cr}}{C_s} \backslash D \times 10^{-4}$	0.60	1.00	1.40	1.80	2.20	2.60	3.00	3.40	3.80
0.05	2.15	2.77	3.28	3.72	4.11	4.47	4.80	7.01	5.40
0.06	2.06	2.66	3.15	3.57	3.95	4.29	4.61	6.73	5.19
0.07	1.98	2.56	3.03	3.44	3.80	4.13	4.44	6.48	5.00
0.08	1.92	2.48	2.93	3.32	3.67	3.99	4.29	6.26	4.83

续表 6.2.1

$\frac{C_{cr}}{C_s} \backslash D \times 10^{-4}$	0.60	1.00	1.40	1.80	2.20	2.60	3.00	3.40	3.80
0.09	1.86	2.40	2.84	3.22	3.56	3.87	4.15	6.07	4.67
0.10	1.80	2.33	2.75	3.12	3.45	3.75	4.03	4.27	4.53
0.12	1.70	2.20	2.60	2.95	3.26	3.55	3.81	5.56	4.29
0.15	1.57	2.04	2.41	2.73	3.02	3.28	3.52	3.75	3.97
0.18	1.47	1.90	2.24	2.54	2.81	3.06	3.28	4.80	3.70
0.20	1.40	1.81	2.14	2.43	2.69	2.92	3.14	3.34	3.54
0.25	1.26	1.63	1.92	2.18	2.41	2.62	2.82	3.00	3.17
0.30	1.14	1.47	1.73	1.97	2.17	2.36	2.54	2.70	2.86
0.35	1.02	1.32	1.56	1.77	1.96	2.13	2.29	2.44	2.58
0.40	0.92	1.19	1.41	1.60	1.77	1.92	2.06	2.19	2.32
0.45	0.83	1.07	1.26	1.43	1.58	1.72	1.85	1.97	2.08
0.50	0.74	0.95	1.13	1.28	1.41	1.54	1.65	1.76	1.86
0.55	0.66	0.85	1.00	1.13	1.25	1.36	1.46	1.56	1.65
0.60	0.57	0.74	0.88	1.00	1.10	1.20	1.28	1.37	1.45
0.65	0.50	0.64	0.75	0.86	0.95	1.04	1.11	1.18	1.25
0.70	0.42	0.55	0.65	0.73	0.81	0.88	0.94	1.01	1.06
0.75	0.35	0.45	0.53	0.61	0.67	0.73	0.78	0.83	0.88
0.80	0.28	0.36	0.42	0.48	0.53	0.58	0.62	0.66	0.70
0.85	0.21	0.27	0.36	0.36	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52
0.90	0.14	0.18	0.21	0.24	0.26	0.27	0.31	0.33	0.35

注：1 混凝土在制备时已含有氯离子时，应以 $(C_{cr}-C_0)$ 、 (C_s-C_0) 分别替代式 (6.2.1-2) 及表 6.2.1 中 C_{cr} 和 C_s ，其中 C_0 为混凝土在制备时掺入的氯离子浓度；

2 氯离子扩散系数单位为 m^2/a 。

6.2.2 氯盐侵蚀环境混凝土表面氯离子浓度达到稳定值的时间 t_1 应按表 6.2.2 确定。

表 6.2.2 氯盐侵蚀环境混凝土表面氯离子浓度达到稳定值的时间 t_1

环境	环境作用等级	环境状况	t_1 (a)
近海大气环境	Ⅲ-A	$0.5\text{km} \leq d < 1.0\text{km}$	20~30
	Ⅲ-B	$0.25\text{km} \leq d < 0.5\text{km}$	15~20
	Ⅲ-C	$0.1\text{km} \leq d < 0.25\text{km}$	10~15
	Ⅲ-D	$d < 0.1\text{km}$	10
海洋环境	Ⅲ-E	大气盐雾区	0~10
	Ⅲ-F	水位变动区、浪溅区	0

注：1 近海大气环境指空旷无遮挡的环境；

2 d 为离海岸的距离。

6.2.3 混凝土表面氯离子浓度应按下列规定确定：

1 混凝土表面氯离子浓度宜通过实测，按下列公式计算：

$$C_s = k_s \sqrt{t_1} \quad (6.2.3-1)$$

$$k_s = C_{sc} / \sqrt{t_0} \quad (6.2.3-2)$$

式中： k_s ——混凝土表面氯离子聚集系数；

t_1 ——混凝土表面氯离子浓度达到稳定值的时间 (a)，按本标准表 6.2.2 取用；

t_0 ——结构建成至检测时的时间 (a)， $t_0 > t_1$ 时， t_0 取 t_1 ；

C_{sc} ——实测的混凝土表面氯离子浓度 (kg/m^3)。

2 混凝土表面氯离子浓度缺乏有效实测数据时，可按表 6.2.3 取值。

表 6.2.3 混凝土表面氯离子浓度 C_s

水位变动区 (Ⅲ-F)	浪溅区 (Ⅲ-F)	大气 盐雾区 (Ⅲ-E)	近海大气区 (离海岸距离)			
			0.1km (Ⅲ-D)	0.25km (Ⅲ-C)	0.5km (Ⅲ-B)	1.0km (Ⅲ-A)
19	17.0	11.5	5.87	3.83	2.57	1.28

6.2.4 混凝土中钢筋锈蚀临界氯离子浓度宜根据建筑物所处实际环境条件和既有工程调查确定。当缺乏可靠资料时，可按表 6.2.4 取用。

表 6.2.4 钢筋锈蚀临界氯离子浓度 C_{cr} (kg/m^3)

混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$ (MPa)	≥ 40	35	≤ 30
近海大气与海洋盐雾区 (Ⅲ-A、Ⅲ-B、Ⅲ-C、Ⅲ-D、Ⅲ-E)	2.10		
浪溅区 (Ⅲ-F)	1.70	1.50	1.30
水位变动区 (Ⅲ-F)	2.10		
除冰盐环境及其他氯化物环境	1.30~2.10		

6.2.5 掺入型氯盐侵蚀混凝土结构钢筋开始锈蚀耐久性等级应根据耐久性裕度系数按本标准表 3.1.7 评定，其耐久性裕度系数可按下式计算：

$$\xi_d = C_{cr}/(\gamma_0 C_0) \quad (6.2.5)$$

式中： C_{cr} ——钢筋锈蚀临界氯离子浓度 (kg/m^3)；

C_0 ——混凝土制备时掺入的氯离子浓度 (kg/m^3)。

6.3 混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定

6.3.1 氯盐侵蚀环境混凝土保护层锈胀开裂耐久年限应考虑锈蚀产物向锈坑周围区域迁移及向混凝土孔隙、微裂缝中扩散的过程，按下列公式确定：

$$t_{cr} = t_i + t_c \quad (6.3.1-1)$$

$$t_c = \beta_1 \beta_2 t_{c,0} \quad (6.3.1-2)$$

式中： t_{cr} ——混凝土保护层锈胀开裂耐久年限 (a)；

t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限 (a)；

t_c ——钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂所需的时间 (a)；

$t_{c,0}$ ——未考虑锈蚀产物渗透迁移及锈坑位置修正的钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂的时间 (a)；

β_1 ——考虑锈蚀产物向锈坑周围迁移及向混凝土孔隙、微裂缝扩散对混凝土保护层锈胀开裂时间的修正系数，按表 6.3.1 取值；

β_2 ——考虑多个锈坑及分布对混凝土保护层开裂时间的修正系数，非角部钢筋取 1.3，角部钢筋取 1.2。

表 6.3.1 混凝土保护层锈胀开裂时间修正系数 β_1

环境类型	混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,c}$ (MPa)			
	40	35	30	25
近海大气环境	1.05	1.10	1.15	1.25
海洋环境、除冰盐环境	1.10	1.15	1.25	1.35

注：混凝土强度介于表中所列数值之间时，可按插值法确定。

6.3.2 浪溅区普通混凝土中未考虑锈蚀产物渗透迁移及锈坑位置修正的钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂的时间 $t_{c,0}$ ，可按表 6.3.2 取用。

表 6.3.2 浪溅区普通混凝土中未考虑锈蚀产物渗透迁移及锈坑位置修正的钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂的时间 $t_{c,0}$ (a)

地区	混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$ (MPa)	构件类型	混凝土保护层厚度 c (mm)					
			20	30	40	50	60	70
南方	25	梁、柱	1.6	2.1	2.5	3.1	3.5	3.9
		墙、板	2.0	2.7	3.6	4.5	5.5	6.6
	30	梁、柱	1.8	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4
		墙、板	2.3	3.1	4.0	5.0	6.1	7.2
	35	梁、柱	2.0	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6
		墙、板	2.6	3.4	4.3	5.4	6.5	7.7
	40	梁、柱	2.3	2.9	3.4	4.0	4.4	4.9
		墙、板	2.9	3.8	4.9	5.9	7.1	8.2

续表 6.3.2

地区	混凝土抗压强度 推定值 $f_{cu,e}$ (MPa)	构件 类型	混凝土保护层厚度 c (mm)					
			20	30	40	50	60	70
北方	25	梁、柱	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8
		墙、板	3.4	4.7	6.1	7.7	9.5	11.0
	30	梁、柱	3.1	4.0	4.9	5.8	6.6	7.4
		墙、板	3.9	5.3	6.8	8.5	10.4	12.3
	35	梁、柱	3.4	4.4	5.3	6.2	7.0	7.7
		墙、板	4.4	5.8	7.4	9.2	11.1	13.1
	40	梁、柱	3.9	4.9	5.8	6.7	7.5	8.4
		墙、板	5.0	6.6	8.3	10.1	12.1	14.3

6.3.3 近海大气区普通混凝土中未考虑锈蚀产物渗透迁移及锈坑位置修正的钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀开裂时间 $t_{c,0}$ 可取本标准表 6.3.2 中数值的 $\sqrt{10/C_s}$ 倍。

6.3.4 掺入型氯盐侵蚀混凝土中氯离子浓度 C_0 大于临界氯离子浓度 C_{cr} 时,混凝土保护层锈胀开裂耐久性等级应根据耐久性裕度系数按本标准表 3.1.7 评定,其耐久性裕度系数可按本标准公式 (6.1.5-2) 计算。其中,混凝土保护层锈胀开裂耐久年限 t_{cr} 应按本标准附录 C 第 C.0.3 条确定。

7 冻融环境混凝土结构耐久性评定

7.1 一般规定

7.1.1 冻融环境混凝土结构耐久性应按下列极限状态评定：

- 1 混凝土构件表面剥落极限状态；
- 2 钢筋锈蚀极限状态。

7.1.2 混凝土构件表面剥落极限状态应为冻融循环作用引起混凝土构件表层水泥砂浆脱落、粗骨料外露，构件表面剥落达到剥落率限值、剥落深度限值的状态；钢筋锈蚀极限状态应包括钢筋开始锈蚀极限状态、混凝土保护层锈胀开裂极限状态。

7.1.3 冻融环境混凝土结构钢筋锈蚀耐久性应根据引起钢筋锈蚀的原因，分一般冻融环境、寒冷地区海洋环境、除冰盐环境进行评定。

7.1.4 长期使用中未发生冻融破坏的构件，混凝土结构耐久性等级可评为 a 级；出现粗骨料剥落的构件应评为 c 级。

7.2 混凝土构件表面剥落耐久性评定

7.2.1 冻融环境混凝土构件表面剥落耐久性等级应根据混凝土构件表面剥落率、平均剥落深度、最大剥落深度，按表 7.2.1 进行评定。

表 7.2.1 冻融环境混凝土构件表面剥落耐久性等级

耐久性等级	a 级	b 级	c 级
一般构件	$\alpha_{FT} < 1\%$ 且 $d_{FT}/c < 10\%$ 且 $d_{FT, \max}/c < 15\%$	$1\% \leq \alpha_{FT} \leq 5\%$ 或 $10\% \leq d_{FT}/c \leq 50\%$ 或 $15\% \leq d_{FT, \max}/c \leq 75\%$	$\alpha_{FT} > 5\%$ 或 $d_{FT}/c > 50\%$ 或 $d_{FT, \max}/c > 75\%$

续表 7.2.1

耐久性等级	a 级	b 级	c 级
薄壁构件	$\alpha_{FT} < 1\%$ 且 $d_{FT}/c < 10\%$ 且 $d_{FT, \max}/c < 10\%$	$1\% < \alpha_{FT} < 5\%$ 且 $d_{FT}/c < 10\%$ 且 $d_{FT, \max}/c < 10\%$	$\alpha_{FT} \geq 5\%$ 或 $d_{FT}/c \geq 10\%$ 或 $d_{FT, \max}/c \geq 10\%$

注： α_{FT} 为混凝土表面剥落率（%）； d_{FT} 为平均剥落深度（mm）； $d_{FT, \max}$ 为最大剥落深度（mm）； c 为混凝土保护层厚度（mm）。

7.2.2 对同一冻融环境，混凝土构件表面剥落率 α_{FT} 应取表面剥落面积与构件测量面的表面积之比；平均剥落深度 d_{FT} 应取所有测试表面剥落深度平均值的最大值；最大剥落深度 $d_{FT, \max}$ 应为所有测试表面剥落深度的最大值。

7.3 钢筋锈蚀耐久性评定

7.3.1 一般冻融环境宜考虑冻融损伤对混凝土中性化的影响，按本标准第 5.1.7 条确定局部环境系数 m ，并按本标准第 5 章相关规定进行钢筋开始锈蚀耐久性评定和混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定。

7.3.2 寒冷地区海洋环境宜考虑冻融损伤对氯离子扩散系数的影响，按本标准附录 D 第 D.0.2 条确定氯离子扩散系数，并按本标准第 6 章相关规定进行钢筋开始锈蚀耐久性评定和混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定。

7.3.3 除冰盐环境应根据实测确定钢筋表面氯离子浓度，按本标准第 6 章相关规定进行钢筋开始锈蚀耐久性评定和混凝土保护层锈胀开裂耐久性评定。

8 硫酸盐侵蚀混凝土结构耐久性评定

8.1 一般规定

8.1.1 硫酸盐侵蚀环境混凝土结构耐久性应按混凝土构件腐蚀损伤极限状态评定。混凝土构件腐蚀损伤极限状态应为混凝土腐蚀损伤深度达到限值的状态。混凝土腐蚀损伤深度限值对钢筋混凝土构件取混凝土保护层厚度，对素混凝土构件应取截面最小尺寸的5%与70mm二者中的较小值。

8.1.2 硫酸盐侵蚀环境混凝土结构耐久性等级应根据构件腐蚀损伤极限状态对应的耐久性裕度系数按本标准表3.1.7评定。耐久性裕度系数应根据本标准式(8.2.1)计算的剩余使用年限按本标准第3.1.8条确定。

8.1.3 保护层脱落、表面外观损伤已造成混凝土构件不满足相应的使用功能时，混凝土构件耐久性等级应评为c级。

8.2 混凝土构件腐蚀损伤耐久性评定

8.2.1 混凝土结构遭受硫酸盐腐蚀损伤剩余使用年限应按下式确定：

$$t_{\text{re}} = \frac{[X] - X}{R} \quad (8.2.1)$$

式中： t_{re} ——结构剩余使用年限（a）；

$[X]$ ——混凝土腐蚀损伤深度限值（mm）；

X ——混凝土构件腐蚀损伤深度（mm），为混凝土构件剥落深度 X_s 与硫酸根离子浓度达到4%对应的深度 X_d 之和；其中，硫酸根离子浓度以 SO_3 相对于混凝土胶凝材料的质量百分数计，可按本标准附录E第E.0.4条计算， X_d 应依据硫酸根离子沿深度的

分布曲线确定；

R ——混凝土硫酸盐腐蚀速率 (mm/a)，按本标准附录 E 第 E.0.1 条确定。

8.2.2 对下列情况进行混凝土结构耐久性评定时，应根据专项论证进行。

- 1 硫酸钠、硫酸镁、氯盐等多种盐共同作用；
- 2 存在明显干湿循环作用，混凝土硫酸盐腐蚀主要表现为盐结晶物理破坏。

9 混凝土碱-骨料反应耐久性评定

9.1 一般规定

9.1.1 混凝土碱-骨料反应耐久性等级可根据混凝土含碱量、骨料活性、混凝土表面状况和服役环境进行评定。

9.1.2 混凝土碱-骨料反应耐久性评定的服役环境可划分为干燥环境、潮湿环境和含碱环境。

9.1.3 干燥环境下可不进行混凝土碱-骨料反应耐久性评定。

9.1.4 混凝土碱-骨料反应耐久性可根据现场检测和室内试验结果评定。

9.2 混凝土碱-骨料反应耐久性评定

9.2.1 混凝土碱-骨料反应耐久性等级应根据是否具备反应条件、碱-骨料反应发生风险及反应严重程度，按表 9.2.1 进行评定，并应取最低等级为评定等级。

表 9.2.1 混凝土碱-骨料反应耐久性评定

评定等级 评定指标	a	b	c	
碱含量	≤限值	＞限值		
集料活性	无	有		
碱-骨料反应风险	—	低	中	高
碱-骨料反应程度	—	低	中	高
膨胀率	—	$<400\mu\epsilon$	$\geq 400\mu\epsilon$	

9.2.2 混凝土含碱量限值应按表 9.2.2 确定。

表 9.2.2 混凝土含碱量限值 (kg/m^3)

反应类型	环境	一般结构	重要结构	特殊重要结构
碱-硅酸反应	干燥	不限	不限	3.0
	潮湿	3.5	3.0	2.0
	含碱环境	3.0	非活性骨料	

9.2.3 混凝土碱-骨料反应风险应依据现场检测结果，按表 9.2.3 进行评定。

表 9.2.3 碱-骨料反应风险评定

反应风险 检测项目	低	中	高
混凝土表面污染	无	轻微污染伴随裂缝	裂缝两边混凝土颜色深浅区别大
表面团状沉积物	无	少量	多
表面挤出物	无	裂缝处可见少量白色挤出物	裂缝处多见发黏的挤出物
结构所处环境	干燥，有防护	外露，但不潮湿	构件长期接触水

9.2.4 混凝土碱-骨料反应严重程度宜根据是否有反应产物及反应产物的形貌和成分，按表 9.2.4 评定。

表 9.2.4 碱-骨料反应严重程度评定

碱-骨料反应 严重程度	特征描述
低	没有凝胶，未见膨胀性反应
中	有活性骨料裂开，或已知反应骨料周边有反应环
高	骨料中有典型的凝胶向周边扩散，裂缝及空隙中有凝胶堆积

注：碱-骨料反应产物的测定，应在结构典型部位钻取芯样，密封后带回实验室用带能谱的电子显微镜分析确定。

9.2.5 混凝土芯样膨胀率检测可按本标准第 4 章相关规定进行，当被测芯样 1 年的膨胀率高于 $400\mu\epsilon$ 时，应评定为结构混凝土继续膨胀的风险高。

10 结构耐久性综合评定

10.0.1 结构耐久性应按评定单元的耐久性等级评定。

10.0.2 评定单元耐久性等级应根据评定单元的耐久性裕度系数按本标准第 3.1.7 条确定。

10.0.3 当既有混凝土结构形式简单时, 评定单元的耐久性裕度系数应取受检构件耐久性裕度系数的算术平均值。当结构复杂时, 评定单元可根据结构布置按层或单榀排架划分为若干子单元; 评定单元耐久性裕度系数应取各子单元耐久性裕度系数的算术平均值。

10.0.4 子单元耐久性裕度系数应根据构件耐久性裕度系数按下列规定确定:

1 当 $\xi_{d,\min} > 0.85 \bar{\xi}_d$ 时, 应按下式计算:

$$\xi_{d,u} = \bar{\xi}_d \quad (10.0.4-1)$$

2 当 $\xi_{d,\min} \leq 0.85 \bar{\xi}_d$ 时, 应按下式计算:

$$\xi_{d,u} = \kappa \bar{\xi}_d \quad (10.0.4-2)$$

式中: $\xi_{d,\min}$ —— n 个受检构件耐久性裕度系数的最小值;

$\bar{\xi}_d$ —— n 个受检构件耐久性裕度系数的算术平均值;

$\xi_{d,u}$ ——子单元的耐久性裕度系数;

κ ——折减系数, 当 $n \leq 10$ 时, 取 0.90; 当 $10 < n \leq 30$ 时, 取 0.95; 当 $n > 30$ 时, 取 1.00。

10.0.5 构件耐久性裕度系数应取各环境类别耐久性裕度系数的最小值。当按耐久性损伤状态评定时, 构件耐久性裕度系数可根据构件耐久性评定等级进行赋值, 耐久性评定等级为 a 级可赋值 2.2, b 级可赋值 1.4, c 级可赋值 0.6。

10.0.6 构件耐久性等级应按各环境类别、各耐久性极限状态评定的最低等级确定。

10.0.7 结构耐久性评定结论中应指明构件所对应的耐久性极限状态。

11 锈蚀构件可靠性评定的刚度和承载力计算

11.1 一般规定

11.1.1 计算锈蚀钢筋混凝土构件的承载力和刚度时,应考虑耐久性损伤引起的材料力学性能的劣化、构件截面尺寸和钢筋截面面积的减小、钢筋与混凝土粘结性能的退化。

11.1.2 构件截面尺寸应考虑剥落、裂缝、腐蚀等影响,采用损伤后的实际截面尺寸;混凝土强度应取推定值。

11.1.3 锈蚀钢筋的截面面积应采用锈后实际截面面积,屈服强度可按下列规定确定:

1 钢筋锈蚀截面损失率 $\eta_s \leq 5\%$ 且锈蚀比较均匀时,取未锈钢筋的屈服强度;

2 钢筋锈蚀截面损失率 $5\% < \eta_s \leq 12\%$ 时,或 $\eta_s \leq 5\%$ 但锈蚀不均匀,按下式计算:

$$f_{yc} = \frac{1 - 1.077\eta_s}{1 - \eta_s} f_y \quad (11.1.3)$$

式中: f_y ——钢筋屈服强度 (MPa);

η_s ——钢筋锈蚀截面损失率。

3 钢筋锈蚀截面损失率 $\eta_s > 12\%$ 时,应通过专项论证确定。

11.1.4 锈蚀构件承载力和刚度计算,应分别采用锈蚀钢筋强度利用系数、锈蚀钢筋综合应变系数考虑钢筋与混凝土粘结性能退化的影响。

11.1.5 基于性能劣化的混凝土结构可靠性评定,应采用锈蚀构件的承载力和刚度,按现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 进行。

11.2 锈蚀钢筋混凝土构件承载力计算

11.2.1 锈蚀受弯构件正截面受弯承载力应按下式计算：

$$M_c = \sum_{i=1}^n \alpha_{sci} f_{yci} A_{sci} \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (11.2.1)$$

式中： α_{sci} ——考虑锈蚀影响的第 i 根受拉钢筋强度利用系数，按本标准第 11.2.2 条确定；

f_{yci} ——考虑锈蚀影响的第 i 根钢筋的屈服强度 (MPa)；

A_{sci} ——第 i 根钢筋的锈后截面面积 (mm^2)。

11.2.2 受拉锈蚀钢筋强度利用系数 α_{sci} 可按下列规定确定：

1 当构件受拉区损伤长度小于 $1/4$ 梁跨时， α_{sci} 取 1.0；

2 当构件受拉区损伤长度不小于 $1/4$ 梁跨时， α_{sci} 可按下列规定计算：

1) 无锈胀裂缝或配筋指标 $q_0 \leq 0.25$ ， α_{sci} 取 1.0；

2) 钢筋锈蚀深度 $\delta_i \geq 0.3\text{mm}$ ，且配筋指标 $q_0 > 0.25$ 时，应按下列式计算：

$$\alpha_{sci} = \begin{cases} 1.45 - 1.82q_0 & (0.25 < q_0 \leq 0.44) \\ 0.92 - 0.63q_0 & (q_0 > 0.44) \end{cases} \quad (11.2.2-1)$$

3) 钢筋锈蚀深度 $\delta_i < 0.3\text{mm}$ ，且配筋指标 $q_0 > 0.25$ 时，应按下列式计算：

$$\alpha_{sci} = \begin{cases} 1.0 + (0.45 - 1.82q_0) \frac{\delta_i}{0.3} & (0.25 < q_0 \leq 0.44) \\ 1.0 + (-0.08 - 0.63q_0) \frac{\delta_i}{0.3} & (q_0 > 0.44) \end{cases} \quad (11.2.2-2)$$

式中： q_0 ——混凝土构件配筋指标；

δ_i ——第 i 根钢筋的锈蚀深度 (mm)。

11.2.3 混凝土构件配筋指标应按下列式计算：

$$q_0 = \frac{A_s f_y + \sum A_{sci} f_{yci}}{f_c b h_0} \quad (11.2.3)$$

式中: A_s 、 f_y ——受拉钢筋中未锈钢筋截面面积 (mm^2)、屈服强度 (MPa);

A_{sci} 、 f_{yi} ——第 i 根锈蚀受拉钢筋截面面积 (mm^2)、屈服强度 (MPa)。

11.2.4 锈蚀受压构件的承载力应采用锈后钢筋截面面积、锈后钢筋屈服强度、等效截面尺寸,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算。

11.2.5 受压混凝土构件等效截面尺寸可按下列公式计算:

$$h_e = h - \sum_{i=1}^2 \alpha_{cc} c_i \quad (11.2.5-1)$$

$$b_e = b - \sum_{i=1}^2 \alpha_{cc} c_i \quad (11.2.5-2)$$

式中: h_e 、 b_e ——截面等效高度和等效宽度 (mm);

h 、 b ——截面高度和宽度 (mm);

c_i 、 α_{cc} ——某侧的保护层厚度和相应的保护层损伤系数。

11.2.6 混凝土保护层损伤系数 α_{cc} 可按下列规定取用:

1 轴心受压构件应按下式计算:

$$\alpha_{cc} = \begin{cases} 0.3w & (w \leq 2\text{mm}) \\ 0.3w + (1 - 0.3w)(w - 2) & (2\text{mm} < w \leq 3\text{mm}) \end{cases} \quad (11.2.6-1)$$

式中: w ——混凝土锈胀裂缝宽度 (mm), $w > 3\text{mm}$ 时, 取 3mm 。

2 小偏心受压构件应按下式计算:

$$\alpha_{cc} = \begin{cases} 0.25w & (w \leq 2\text{mm}) \\ 0.25w + (1 - 0.25w)(w - 2) & (2\text{mm} < w \leq 3\text{mm}) \end{cases} \quad (11.2.6-2)$$

式中: w ——混凝土锈胀裂缝宽度 (mm), $w > 3\text{mm}$ 时, 取 3mm 。

3 大偏心受压构件应符合下列规定:

1) 受压区应按小偏心受压构件取用;

2) 受拉区应取 α_{cc} 为 0。

11.3 锈蚀钢筋混凝土受弯构件刚度计算

11.3.1 锈蚀受弯构件的短期刚度 B_{sc} 可按下式计算：

$$B_{sc} = \frac{E_s A_{sc} h_0^2}{1.15 M(\delta) \cdot \varphi + 0.2 + 6 \alpha_E \cdot \rho} \quad (11.3.1)$$

式中： $M(\delta)$ ——考虑钢筋应变滞后和裂缝间钢筋应变趋于均匀影响的锈蚀钢筋综合应变系数；

A_{sc} ——钢筋锈蚀后受拉钢筋的截面面积 (mm^2)；

ρ ——考虑钢筋锈蚀的截面配筋率；

φ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定确定；

h_0 ——构件有效高度 (mm)；

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值，即 E_s/E_c 。

11.3.2 锈蚀钢筋综合应变系数 $M(\delta)$ 可按下列规定确定：

1 无锈胀裂缝时， $M(\delta)$ 取 1.0；

2 有锈胀裂缝时， $M(\delta)$ 应按下式计算：

$$M(\delta) = \begin{cases} 1.0 & (0 \leq \delta < 0.1) \\ 11.87 \cdot \delta - 0.19 & (0.1 \leq \delta < 0.25) \\ 2.78 & (0.25 \leq \delta) \end{cases} \quad (11.3.2)$$

式中： δ ——钢筋锈蚀深度 (mm)，按本标准公式 (11.3.3) 计算。

11.3.3 钢筋锈蚀深度 δ 可按下式计算：

$$\delta = \frac{1}{\sum d_i} \sum d_i \delta_i \quad (11.3.3)$$

式中： d_i ——第 i 根钢筋公称直径 (mm)；

δ_i ——第 i 根钢筋的锈蚀深度 (mm)。

附录 A 钢筋锈蚀深度计算

A. 0. 1 对混凝土表面出现锈胀裂缝的构件，钢筋锈蚀深度可按下列规定推断：

1 对角部的光圆钢筋，当混凝土表面锈胀裂缝宽度不小于 0. 3mm 时，可按下式计算：

$$\delta = 0. 07w + 0. 012c/d + 0. 00084f_{cu,e} + 0. 08 \quad (\text{A. 0. 1-1})$$

2 对角部的带肋钢筋，当混凝土表面锈胀裂缝宽度不小于 0. 1mm 时，可按下式计算：

$$\delta = 0. 086w + 0. 008c/d + 0. 00055f_{cu,e} + 0. 015 \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

式中： δ ——钢筋锈蚀深度（mm）；

w ——混凝土锈胀裂缝宽度（mm）；

c ——混凝土保护层厚度（mm）；

d ——钢筋直径（mm）；

$f_{cu,e}$ ——混凝土抗压强度推定值（MPa）。

A. 0. 2 对由混凝土表面锈胀裂缝宽度推断的钢筋锈蚀深度，尚应采用直接破型方法进行校核。

附录 B 混凝土碳化系数计算

B.0.1 一般大气环境混凝土碳化系数可按下式计算：

$$k = 3K_{\text{CO}_2} K_{\text{kl}} K_{\text{kt}} K_{\text{ks}} K_{\text{F}} T^{0.25} RH^{1.5} (1 - RH) \left(\frac{58}{f_{\text{cu,e}}} - 0.76 \right) \quad (\text{B.0.1})$$

式中： k ——混凝土碳化系数（ $\text{mm}/\sqrt{a}$ ）；

K_{CO_2} ——二氧化碳浓度影响系数，取 $\sqrt{C_0/0.03}$ ；缺乏二氧化碳浓度数据时，可按本标准附录 B 第 B.0.3 条取用；

C_{CO_2} ——二氧化碳浓度（%）；

K_{kl} ——位置影响系数，构件角区取 1.4，非角区取 1.0；

K_{kt} ——浇注面影响系数，浇筑面取 1.2；

K_{ks} ——工作应力影响系数，受压时取 1.0，受拉时取 1.1；

T ——环境温度（℃）；

RH ——环境相对湿度；

K_{F} ——粉煤灰取代系数，按本标准附录 B 第 B.0.2 条确定；

$f_{\text{cu,e}}$ ——混凝土抗压强度推定值（MPa），不应大于 50MPa。

B.0.2 粉煤灰取代系数 K_{F} 可按表 B.0.2 确定。

表 B.0.2 粉煤灰取代系数 K_{F}

粉煤灰掺量（%）	10	20	30	40	50
粉煤灰取代系数	1.01	1.07	1.25	1.65	2.35

注：掺Ⅰ级粉煤灰、水胶比小于 0.3 的混凝土， K_{F} 可取 1.0。

B.0.3 二氧化碳浓度未知时， K_{CO_2} 可按表 B.0.3 取用。

表 B. 0. 3 二氧化碳浓度影响系数 K_{CO_2}

建筑类型	人群密集程度	K_{CO_2}
工业建筑室外环境	城镇	1. 1~1. 2
	大中城市市区	1. 2~1. 4
民用建筑室内环境	人群稀少，如车库、地下停车房	1. 1~1. 4
	人群密集程度一般，如住宅、办公楼	1. 5~1. 8
	人群较密集，如医院、商店	1. 8~2. 1
	人群密集，如教室、影剧院	2. 1~2. 4

注：工业建筑室内环境中二氧化碳气体排放物时应实测二氧化碳浓度；其余情况可参照民用建筑取用。

B. 0. 4 酸雨环境下，可根据酸雨对混凝土碳化的影响程度，对本标准附录 B 第 B. 0. 1 条中的碳化系数乘以 1. 0~1. 7 的系数；冻融环境下，可根据冻融循环作用对混凝土碳化的影响程度，对本标准附录 B 第 B. 0. 1 条中的碳化系数乘以 1. 0~2. 6 的系数。

附录 C 一般环境钢筋开始锈蚀与混凝土保护层 锈胀开裂时间计算

C.0.1 钢筋开始锈蚀耐久年限 t_i 可按下式计算：

$$t_i = \left(\frac{c - x_0}{k} \right)^2 \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$x_0 = (1.2 - 0.35k^{0.5}) \cdot \lambda_c - \frac{6.0}{m + 1.6} (1.5 + 0.84k) \quad (\text{C.0.1-2})$$

式中： c ——混凝土保护层厚度（mm）；

k ——混凝土碳化系数，按本标准第 5.2.3 条确定；

x_0 ——碳化残量（mm）；

m ——局部环境系数，按表 5.1.7 取用。

C.0.2 λ_c 应根据混凝土保护层厚度和碳化系数，按下列规定确定：

1 当混凝土保护层厚度不大于 28mm 时， λ_c 可按下式计算：

$$\lambda_c = \begin{cases} c & (k \geq 0.8) \\ c - 0.16/k & (k < 0.8) \end{cases} \quad (\text{C.0.2-1})$$

2 当混凝土保护层厚度大于 28mm 时， λ_c 可按下式计算：

$$\lambda_c = \begin{cases} c - 0.389(c - 28)(0.16/k)^{1.5} & (k < 1.0) \\ c + 0.066(c - 28)^{0.47k} & (1.0 \leq k < 3.3) \\ c + 0.066(c - 28)^{1.55} & (k \geq 3.3) \end{cases} \quad (\text{C.0.2-2})$$

C.0.3 混凝土保护层锈胀开裂耐久年限 t_{cr} 可按下式计算：

$$t_{cr} = t_i + \frac{\delta_{cr}}{\lambda_0} \quad (\text{C.0.3})$$

式中: δ_{cr} ——混凝土保护层锈胀开裂时的临界钢筋锈蚀深度 (mm);

λ_0 ——混凝土保护层锈胀开裂前的年平均钢筋锈蚀速率 (mm/a)。

C.0.4 混凝土保护层锈胀开裂临界钢筋锈蚀深度 δ_{cr} 可按下列规定确定:

1 对梁、柱角部钢筋,可按下式计算:

$$\delta_{cr} = 0.012 \frac{c}{d} + 0.00084 f_{cu,e} + 0.018 \quad (\text{C.0.4-1})$$

2 对墙、板非角部钢筋,可按下式计算:

$$\delta_{cr} = 0.015 \left(\frac{c}{d} \right)^{1.55} + 0.0014 f_{cu,e} + 0.016 \quad (\text{C.0.4-2})$$

式中: $f_{cu,e}$ ——混凝土抗压强度推定值 (MPa);

d ——钢筋直径 (mm)。

C.0.5 混凝土保护层锈胀开裂前年平均钢筋锈蚀速率 λ_0 可按下列规定确定:

1 对室外环境,可按下式计算:

$$\lambda_0 = 7.53 K_{cl} \cdot m \cdot (0.75 + 0.0125 T) \\ (RH - 0.45)^{\frac{2}{3}} \cdot c^{-0.675} \cdot f_{cu,e}^{-1.8} \quad (\text{C.0.5-1})$$

2 对室内环境,可按下式计算:

$$\lambda_0 = 5.92 K_{cl} \cdot m \cdot (0.75 + 0.0125 T) \\ (RH - 0.5)^{2/3} \cdot c^{-0.675} \cdot f_{cu,e}^{-1.8} \quad (\text{C.0.5-2})$$

式中: K_{cl} ——钢筋位置影响系数,钢筋位于角部时取 1.6,钢筋位于非角部时取 1.0;

T 、 RH ——年平均温度 (°C) 和年平均相对湿度, $RH > 0.80$ 时,取 0.80。

C.0.6 结构建成至混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值耐久年限 t_d 可按下列式计算:

$$t_d = t_{cr} + \frac{\delta_d - \delta_{cr}}{\lambda_1} \quad (\text{C.0.6})$$

式中： δ_d ——混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值对应的钢筋锈蚀深度（mm）。

C.0.7 混凝土保护层锈胀开裂后年平均钢筋锈蚀速率 λ_1 可按下式计算；当 λ_1 小于 $1.8\lambda_0$ 时， λ_1 取 $1.8\lambda_0$ 。

$$\lambda_1 = (4.5 - 340\lambda_0)\lambda_0 \quad (\text{C.0.7})$$

C.0.8 混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值对应的钢筋锈蚀深度可按下列规定确定：

1 对配有光圆钢筋的杆件，可按下式计算：

$$\delta_d = 0.255 + 0.012c/d + 0.00084f_{cu,e} \quad (\text{C.0.8-1})$$

2 对配有变形钢筋的杆件，可按下式计算：

$$\delta_d = 0.273 + 0.008c/d + 0.00055f_{cu,e} \quad (\text{C.0.8-2})$$

3 对墙、板类构件，可按下式计算：

$$\delta_d = 0.3 \quad (\text{C.0.8-3})$$

C.0.9 钢筋的锈蚀深度及相应的锈胀裂缝宽度可按下列规定确定：

1 钢筋的锈蚀深度 δ_0 可按下式计算：

$$\delta_0 = \begin{cases} \lambda_0(t_0 - t_i) & (t_0 \leq t_{cr}) \\ \delta_{cr} + \lambda_1(t_0 - t_{cr}) & (t_0 > t_{cr}) \end{cases} \quad (\text{C.0.9-1})$$

2 混凝土锈胀裂缝宽度 w 可按下式计算：

1) 配有光圆钢筋的杆件

$$w = (\delta_0 - 0.012c/d - 0.00084f_{cu,e} - 0.08)/0.07 \quad (\text{C.0.9-2})$$

2) 配有变形钢筋的杆件

$$w = (\delta_0 - 0.008c/d - 0.00055f_{cu,e} - 0.015)/0.086 \quad (\text{C.0.9-3})$$

式中： w ——混凝土锈胀裂缝宽度（mm）。

附录 D 氯离子扩散及其引起的 钢筋锈蚀速率计算

D.0.1 氯离子扩散系数 D 可按下列规定取用:

- 1 不考虑氯离子扩散系数的时间依赖性时, D 取 D_0 。
- 2 考虑氯离子扩散系数时间依赖性时, 可按下列公式确定:

$$D = D_0 \left(\frac{t_0}{t} \right)^\alpha \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$\alpha = 0.2 + 0.4(F_b/50 + S_b/70) \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中: D_0 ——不考虑时间依赖性的氯离子扩散系数 (m^2/a);

α ——掺合料对混凝土氯离子扩散系数时间依赖性的影响系数, 宜用每隔 2 年~3 年实测数据得到的 D 值推算, 不能实测时可按公式 (D.0.1-2) 确定;

F_b ——粉煤灰占胶凝材料百分比 (%);

S_b ——矿渣占胶凝材料百分比 (%);

t ——氯离子扩散时间 (a)。

D.0.2 不考虑时间依赖性的氯离子扩散系数 D_0 应按下列规定确定:

1 有实测数据时, D_0 应根据混凝土中氯离子分布检测结果按下式推算:

$$D_0 = \frac{x^2 \times 10^{-6}}{4t_0 [\text{erf}^{-1}(1 - C(x, t_0)/C_s)]^2} \quad (\text{D.0.2-1})$$

式中: x ——氯离子扩散深度 (mm);

t_0 ——结构建成至检测时的时间 (a);

$C(x, t_0)$ ——检测时 x 深度处的氯离子浓度 (kg/m^3);

C_s ——实测的混凝土表面氯离子浓度 (kg/m^3)。

2 无实测数据时, 对普通硅酸盐混凝土, D_0 可采用龄期为

5 年的混凝土氯离子扩散系数，按下式计算：

$$D_0 = (7.08w/c - 1.846)(0.0447T - 0.052) \times 10^{-3} \quad (\text{D. 0.2-2})$$

式中： w/c ——混凝土水灰比；

T ——环境年平均温度（℃）。

3 当考虑冻融循环作用对混凝土氯离子扩散的影响时，宜对本标准式（D. 0.2-2）得到的 D_0 乘以放大系数，放大系数可按表 D. 0.2 取用。

表 D. 0.2 考虑冻融循环作用对氯离子扩散系数影响的放大系数

混凝土强度推定值 $f_{cu,e}$ (MPa)	30	35	40
冻融循环次数			
120	1.12~2.74	1.10~2.05	1.10~1.41
240	1.24~3.02	1.24~2.32	1.24~1.63
360	1.33~3.36	1.31~2.55	1.30~1.77
480	1.42~3.65	1.40~2.84	1.36~2.13
600	1.45~3.98	1.43~3.15	1.40~2.41
900	1.47~4.60	1.45~3.85	1.42~2.70

D. 0.3 符合下列规定时，可不考虑氯离子扩散系数的时间依赖性。

1 结构使用年限 10 年以上，氯离子有效扩散系数已趋于稳定或偏保守计算；

2 水灰比 $w/c \geq 0.55$ 。

D. 0.4 原材料含氯盐的混凝土保护层锈胀开裂的时间 t_{cr} ，可按下列公式计算：

$$t_{cr} = t_i + t_c \quad (\text{D. 0.4-1})$$

$$t_c = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot t_{c,0} \quad (\text{D. 0.4-2})$$

$$t_{c,0} = \frac{\delta_{cr}}{\lambda_{cl}} \quad (\text{D. 0.4-3})$$

$$\lambda_{cl} = 11.6 \times i \times 10^{-3} \quad (\text{D. 0. 4-4})$$

式中: t_i ——钢筋开始锈蚀耐久年限 (a);

t_c ——钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间 (a);

$t_{c,0}$ ——未考虑锈蚀产物渗透迁移及锈坑位置修正的钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间 (a);

δ_{cr} ——保护层开裂时的钢筋临界锈蚀深度 (mm), 按附录 C 第 C. 0. 4 条确定;

λ_{cl} ——保护层开裂前钢筋年平均锈蚀速率 (mm/a);

i ——钢筋腐蚀电流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)。

D. 0. 5 渗入型普通硅酸盐混凝土氯盐侵蚀钢筋腐蚀电流密度可按下列公式计算:

$$\ln i = 8.617 + 0.618 \ln C_{s1} - \frac{3034}{T + 273} - 5 \times 10^{-3} \rho + \ln m_{cl} \quad (\text{D. 0. 5-1})$$

$$C_{s1} = C_{s0} + (C_s - C_{s0}) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{c \times 10^{-3}}{2 \sqrt{D \cdot t_{cr}}} \right) \right] \quad (\text{D. 0. 5-2})$$

$$\rho = k_p (1.8 - C_{cl}^u) + 10 (RH - 1)^2 + 4 \quad (\text{D. 0. 5-3})$$

式中: C_{s1} ——钢筋表面氯离子浓度 (kg/m^3);

m_{cl} ——局部环境系数, 室外干湿交替环境及浪溅区取 4.5~5.5, 南方湿热地区取 4.0~4.5, 非干湿交替环境取 2.0~2.5;

T ——钢筋处温度 ($^{\circ}\text{C}$), 可用大气环境温度;

ρ ——混凝土电阻率 ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$), 宜按实测值取用, 也可按式 (D. 0. 5-3) 计算;

k_p ——系数, 水灰比 w/c 为 0.3~0.4 或 C40~C50 时, k_p 取 11.1; 水灰比 w/c 为 0.5~0.6 或 C20~C30 时, k_p 取 5.6。

C_{cl}^u ——混凝土保护层中氯离子浓度平均值 (kg/m^3), 当 $C_{cl}^u > 3.6$ 时, 取 3.6;

RH ——环境相对湿度;

C_s ——混凝土表面氯离子浓度 (kg/m^3);

C_0 ——混凝土制备时掺入的氯离子浓度 (kg/m^3)。

D.0.6 掺入型氯盐侵蚀混凝土中氯离子浓度 C_0 大于临界氯离子浓度 C_{cr} 时, 钢筋腐蚀电流密度 i 可按下式计算:

$$\ln i = 8.617 + 0.618 \ln \left[C_{sl} \left(\frac{11.1}{C_{sl}^{0.9} t^{0.93}} + 0.368 \right) \right] \\ - \frac{3034}{T + 273} - 5 \times 10^{-3} \rho + \ln m_d \quad (\text{D.0.6})$$

式中: C_{sl} ——钢筋表面氯离子浓度, C_{sl} 取 C_0 ;

t ——钢筋锈蚀的时间, 迭代计算时可设 t 等于 $t_{c,0}$, $t_{c,0}$ 按本标准第 6.3 节相关规定确定。

附录 E 混凝土硫酸盐腐蚀速率与 硫酸根离子浓度计算

E. 0. 1 混凝土硫酸盐腐蚀速率 R 可按下式确定：

$$R = \frac{E \cdot \beta^2 \cdot C_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot D_i \cdot X_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{0.10196 \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot (1 - \nu)} \cdot \eta \cdot 10^{-3} \quad (\text{E. 0. 1})$$

式中： R ——混凝土硫酸盐腐蚀速率（mm/a）；

E ——混凝土杨氏弹性模量，普通混凝土取 2×10^{10} Pa；

β ——单位体积的砂浆中 1mol 硫酸盐产生的体积变形量（ m^3/mol ），普通混凝土取 $1.8 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{mol}$ ；

$C_{\text{SO}_4^{2-}}$ ——外部环境中硫酸根离子浓度（ mol/m^3 ）；

D_i ——检测时刻混凝土硫酸根离子扩散系数（ mm^2/a ）；
可根据本标准附录 E 第 E. 0. 2 条或第 E. 0. 3 条进行计算；

$X_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ ——每立方米混凝土胶凝材料中的 Al_2O_3 含量（ kg/m^3 ），
可按工程设计资料确定；或根据现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 中 Al_2O_3 含量检测方法，通过现场取样确定；

α ——混凝土断裂表面的粗糙度，普通混凝土取 1；

γ ——硬化水泥石的断裂表面能（ J/m^2 ），普通混凝土取 $10 \text{J}/\text{m}^2$ ；

ν ——混凝土泊松比，取 0. 3；

η ——混凝土硫酸盐腐蚀速率修正系数，取 0. 47。

E. 0. 2 混凝土硫酸根离子扩散系数 D_i 宜采用现场钻芯取样测定不同深度处的硫酸根离子浓度，并按下式拟合确定：

$$C(x, t) = C_{\text{SO}_4^{2-}, s} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{D_i t}} \right) \quad (\text{E. 0. 2})$$

式中: $C(x, t)$ ——检测时刻 x 深度处的硫酸根离子浓度 (%),
以占砂浆质量的百分比计;

$C_{\text{SO}_4^{2-}, \text{S}}$ ——混凝土表层的硫酸根离子浓度 (%);

D_i ——检测时刻混凝土硫酸根离子扩散系数 (mm^2/a);

t ——腐蚀时间 (a)。

E. 0.3 当无实施条件完成现场钻芯取样时, 混凝土硫酸根离子扩散系数 D_i 可按下列式确定:

$$D_i = D_{\text{SO}_4^{2-}} \times t^{-a} \quad (\text{E. 0.3})$$

式中: a ——与混凝土水胶比、环境中硫酸盐浓度相关的参数,
当无实测数据时, 可按下列规定取值: 水胶比为 $0.4 \leq w/b < 0.50$ 时, a 取 0.72; 水胶比为 $0.50 \leq w/b \leq 0.55$ 时, a 取 0.66。

$D_{\text{SO}_4^{2-}}$ ——混凝土硫酸根离子扩散系数, 当无实测数据时, 可按表 E. 0.3 插值计算。

表 E. 0.3 混凝土硫酸根离子扩散系数 $D_{\text{SO}_4^{2-}}$ 取值

水胶比 w/b	D_0 (mm^2/a)
0.40	22.24
0.45	28.04
0.50	34.50
0.55	41.61

E. 0.4 当硫酸根离子浓度采用胶凝材料质量百分数表示时, 可根据设计资料按下列式计算:

$$C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{B}} = \frac{C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{M}} \times (m_{\text{B}} + m_{\text{S}} + m_{\text{W}})}{m_{\text{B}}} \times 100 \quad (\text{E. 0.4})$$

式中: $C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{B}}$ ——硬化混凝土中硫酸根离子占胶凝材料质量的百分比 (%);

$C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{M}}$ ——硬化混凝土中硫酸根离子占砂浆质量的百分比实测值 (%);

m_{B} ——混凝土配合比中每立方米混凝土的胶凝材料用

量 (kg);

m_s ——混凝土配合比中每立方米混凝土的砂用量 (kg);

m_w ——混凝土配合比中每立方米混凝土的用水量 (kg)。

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

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144
- 3 《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292
- 4 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344
- 5 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784
- 6 《水泥化学分析方法》GB/T 176
- 7 《建筑用砂》GB/T 14684
- 8 《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685