

中国土木工程学会标准

CCES 01 - 2004(2005年修订版)

# 混凝土结构 耐久性设计与施工指南

Guide to Durability Design and Construction  
of Reinforced Structures

2005年10月

## 前言

鉴于工程安全性与耐久性对我国当前大规模土建工程建设的重要意义,中国工程院土木水利与建筑学部于 2000 年提出了一个名为“工程结构安全性与耐久性研究”的咨询项目,旨在联络国内专家,就我国土木和建筑工程结构安全性与耐久性的现状与亟待解决的问题进行探讨,并为政府部门提供技术政策方面的建议。考虑到混凝土结构的耐久性问题最为突出,而现行的设计与施工规范在许多方面又不能保证工程的耐久性需要,所以项目组决定联系各方专家,组织成立编审组,着手编写混凝土结构耐久性设计与施工的指导性技术文件,供工程设计、施工与管理人员使用。与此同时,国家建设部建筑业司和科技司也委托中国土木工程学会与清华大学土木系就建筑物耐久性与使用年限的课题进行研究。这份《混凝土结构耐久性设计与施工指南》,就是依托上述项目和课题,在国内众多专家的共同参与下编审完成的。环境作用下的混凝土结构劣化机理非常复杂,许多方面还认识不清,而且耐久性问题又具有相当大的不确定性与不确知性。在这种情况下,提出指南这样的指导性技术文件,可能更便于设计、施工人员能够结合工程的具体特点使用。《指南》的初稿、讨论稿和送审稿曾分别在 2001 年、2002 年两次学术会议上和在会后广泛征求过意见并经多次修改。由于时间和认识上的限制,不足之处,有待今后定期补充。

2003 年 6 月,中国土木工程学会报请国家建设部组织领导小组和专家组对指南送审稿进行审查和鉴定,并获得通过;经中国土木工程学会研究认定,本指南作为中国土木工程学会技术标准。

本指南将每年做局部修订补充,并发布于中国土木工程学会网站([www.cces.net.cn](http://www.cces.net.cn))。

对指南在使用过程中发现的问题,请将意见和建议寄:清华大学土木系结构工程实验室(邮编 100084,电子信箱 [Jiegou@tsinghua.edu.cn](mailto:Jiegou@tsinghua.edu.cn))转有关编写人。

指南编审组

2003 年

## 指南编审组成员

(汉语拼音为序)

巴恒静 包琦玮 陈肇元\* 陈蔚凡 邱小坛 冯乃谦 傅智 干伟忠 郝挺宇  
洪定海 洪乃丰 黄士元 蒋蕊秋 金伟良 李金玉 廉慧珍\* 林宝玉 林志伸  
刘西拉 罗琳 吕志涛 马孝轩 潘德强 钱稼茹 覃维祖 王庆霖 吴学敏  
徐有邻 岳庆瑞 袁勇 赵国藩 周君亮

\*编审组联系人

### 指南起草人:

第1、2、3、5章 陈肇元; 第4、6章 廉慧珍、陈肇元; 第7章 洪乃丰;  
附录A1 覃维祖; 附录A2 冯乃谦、巴恒静; 附录B1 干伟忠; 附录B2 路新瀛。  
为起草指南第4、5章提供条文初稿的尚有黄士元、冯乃谦、王庆霖、林宝玉、吕志涛、林志伸。  
全文由陈肇元、廉慧珍根据汇总的资料、意见及建议增补、修改定稿。

### 国家建设部组织的审查专家组:

徐培福 凤懋润 吴学敏 白生翔 林志伸 韩素芳 程懋昆 罗玲 邱小坛  
姚燕 吴松勤

一、 《混凝土结构耐久性设计与施工指南》 CCES 01—2004 的 2005 年修订版，已于  
2005 年 10 月由中国建筑工业出版社正式出版

### 2005 年修订版说明

根据《指南》第一版 (CCES 01—2004) 使用过程中征集到的意见、建议以及近期获得的新的信息，这一修订版对原有条文作了局部的修改、补充和必要的订正，并以单印本的形式正式发行，取代原先刊载于文集《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（中国建筑工业出版社 2004 年 5 月第一版）中的条文。与第一版相比，修订版增添了一些新的条文和附录，篇幅增加近 40%。读者如欲继续使用指南第一版中的条文内容，请注意新的修订版中已作出的更改，后者可从以下网站查得：

中国土木工程学会 [www.cces.net.cn](http://www.cces.net.cn)

2005 年 9 月

### 二、 《指南》2005 年修订版的主要修改内容

持有《指南》第一版的读者如欲继续使用或参考第一版的条文，请注意修订版中已作出的局部修改，其中与第一版有较大区别的，可下载修订版中的如下条文。至于修订版中的增加内容，可参阅新出版的指南，主要有：对于不同环境类别和作用等级下的混凝土原材料品种与用量的范围作了限定；对混凝土养护和钢筋保护层厚度的合格验收要求作了补充；新增了附录 C（氯离子侵入混凝土过程的 Fick 模型）和附录 D（后张预应力混凝土体系的耐久性要求）。

# 目次

# 1、总则

**1.0.1** 本指南旨在为设计和施工人员提供环境作用下混凝土结构耐久性设计与施工的基本原则与要求。当结构所处环境能够明显导致结构材料性能劣化或结构需有很长的使用年限时，则在结构的设计与施工过程中必须专门考虑环境作用下的耐久性要求，并应在设计文件中单独列入耐久性设计的内容。

混凝土结构的耐久性在很大程度上取决于结构施工过程中的质量控制与质量保证以及结构使用过程中的正确维修与例行检测。本指南同时也为工程的业主、施工监理和工程交付使用后的运营管理部门提供耐久性要求的相关信息。

**1.0.2** 本指南仅考虑常见的环境作用对混凝土结构耐久性的影响，所考虑的环境作用因素包括：温度，湿度（水分）及其变化，空气中的氧、二氧化碳和空气污染物（盐雾、二氧化硫、汽车尾气等），所接触土体与水体中的氯盐、硫酸盐、碳酸等物质，以及北方地区为溶化降雪而喷洒的化学除冰盐等。本指南不涉及低周疲劳荷载、振动与磨损等力学作用对耐久性的影响，也不涉及生物作用、辐射作用与电磁作用，虽然微生物和杂散电流有时可引起混凝土腐蚀和钢筋的严重锈蚀。

**1.0.3** 本指南主要适用于房屋、桥梁、涵洞、隧道与一般构筑物的普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构，不适用于轻骨料混凝土与其它特种混凝土结构。对于特殊腐蚀环境以及生产、使用、排放或贮存各种有害化学腐蚀物质的结构物，应参照专门的标准进行设计，但本指南提供的原则和数据对这些结构物的设计可能有比照参考价值。

**1.0.4** 混凝土结构的耐久性设计与施工，除本指南已有规定的以外，在结构材料、结构构造、结构施工上尚应参照现行国家标准与行业标准的其他有关规定。

**1.0.5** 由于环境作用的复杂性、不确定性与不确知性以及缺乏足够的经验和数据，目前尚难在设计阶段对混凝土结构的耐久性及其使用年限作出准确的预测。本指南所提供的只是一种基于现有认识的近似判断和估计，用于不同环境条件下、不同设计使用年限要求的结构耐久性设计。本指南中的要求只是通常情况下为满足结构安全性、适用性和可修复性的最低要求，设计人员要结合工程及其所处环境的具体特点，如工程的重要性、环境作用的不确定性与不确知性、材料劣化导致结构失效的后果严重性、使用过程中进行维修的可行性等，必要时采取更为严格的要求。混凝土结构的耐久性与许多因素有关，如有基于工程经验类比或基于材料性能劣化模型计算结果的可靠依据，并通过专门的论证，可以修正和取代本指南的个别规定和要求。

## 2、术语

**2.0.1 环境作用 (environmental action)** 能引起结构材料性能劣化或腐蚀的环境因素 (agent) 如温度、湿度及各种有害物质等施加于结构上的作用。

**2.0.2 腐蚀 (deterioration)** 材料与周围的环境因素发生物理、化学或电化学反应而受到的渐进性损伤与破坏。对钢材则为**锈蚀 (corrosion)**。

**2.0.3 劣化 (degradation)** 材料性能随时间逐渐降低。

**2.0.4 结构耐久性 (structure durability)** 结构及其部件在可能引起材料性能劣化的各种作用下能够长期维持其应有性能的能力。在结构设计中, 结构耐久性又常被定义为预定作用和预期的维修与使用条件下, 结构及其部件能在预定的期限内维持其所需的最低性能要求的能力。

**2.0.5 结构使用年限 (service life of structure)** 结构建造完成后, 在预定的使用与维修条件下, 结构所有性能 (如安全性、适用性) 均能满足原定要求的实际年限。

**2.0.6 设计使用年限 或设计寿命 (design life, or design working life)** 设计人员用以作为结构耐久性设计依据并具有足够安全裕度或保证率的目标使用年限。设计使用年限应由业主或用户与设计人共同确定, 并满足有关法规的最低要求。

**2.0.7 劣化模型 (degradation model)** 描述材料性能劣化过程的数学表达式, 可用于结构使用年限的预测。

**2.0.8 混凝土侵入性 (penetrability of concrete)** 表达外部物质 (水、气及溶于水、气中的其他分子和离子等) 入侵到混凝土内部难易程度的混凝土性能。根据入侵物质的不同传输机理与特征, 常用渗透系数, 扩散系数, 吸收率等不同参数表示, 作为混凝土材料耐久性的综合度量指标。混凝土侵入性又常被称为**渗透性 (permeability)**, 但渗透 (permeation) 通常单指水或溶液在压力差驱动下的传输, 并用渗透系数表示渗透性。

**2.0.8 扩散 (diffusion)** 流体中的分子或离子通过无序运动从高浓度区向低浓度区的传输, 其驱动力为浓度差。

**2.0.9 混凝土的氯离子扩散系数 (chloride diffusion coefficient of concrete)** 表示混凝土中氯离子扩散性的一个参数。氯离子在混凝土中的扩散是溶于混凝土孔隙水中的氯离子从高浓度区向低浓度区的传输。因为氯离子可以同时通过扩散、渗透和吸附等不同机理侵入到混凝土内部, 并在传输过程中有部分氯离子与水泥的水化产物相结合, 所以通过试验和计算得到的扩散系数有时在一定程度上也包含了其他传输机理与被结合等因素的影响。

**2.0.10 混凝土耐久性指数 DF (durability factor)** 反映混凝土抗冻性能的一个指标, 用混凝土标准试件和标准试验方法经规定次数快速冻融循环试验后的动弹性模量与初始弹性模量的比值表示。

**2.0.11 含气量 (entrained air content)** 混凝土中掺入引气剂后, 在混凝土内形成大量球形微细气泡与混凝土的体积比。这些气泡相邻边缘之间距离的平均值称为气泡间距系数 (air bubble spacing)。

**2.0.12 维修 (maintenance)** 为维持结构或其构件在使用年限内所需性能而采取的各种技术和管理活动, 包括维护和修理 (修复)。

**2.0.13 修理 或修复 (repair, or restore)** 通过修补、更换或加固,使损伤的结构或其构件恢复到可接受的状态。按修复的规模、费用及其对结构正常使用的影响,可分为大修和小修。当修复活动需在一定期限内停止结构的正常使用,或需大面积置换结构构件中的受损混凝土或更换结构的主要构件时为大修。

**2.0.14 可修复性 (restorability , or repairability)** 结构或其构件在所考虑的作用下受到损伤后能够经济合理地进行修复的能力。

**2.0.15 胶凝材料 (cementitious material, or binder)** 用于配制混凝土的硅酸盐水泥与粉煤灰、磨细矿渣和硅灰等矿物掺和料的总称。矿物掺和料在混凝土配比中的用量,通常以其占胶凝材料总量的百分比(重量比)表示。

**2.0.16 水胶比 (water to binder ratio)** 混凝土配制时的用水量与胶凝材料(水泥加矿物掺和料)总量之比。在耐久混凝土的配合比中,常以胶凝材料用量的概念取代传统的水泥用量,并以水胶比取代传统的水灰比,作为判断混凝土密实性或耐久性的一个宏观指标。

**2.0.17 高性能混凝土 (high performance concrete)** 以耐久性为基本要求并用常规材料和常规工艺制造的水泥基混凝土。这种混凝土在配比上的特点是掺加合格的矿物掺和料和高效减水剂,取用较低的水胶比和较少的水泥用量,并在制作上通过严格的质量控制,使其达到良好的工作性、均匀性、密实性和体积稳定性。

**2.0.18 大掺量矿物掺和料混凝土 (concrete with high volume mineral admixtures)** 本指南所指的大掺量矿物掺和料混凝土,为单掺粉煤灰时的掺量不小于胶凝材料总量的 30%(重量比),单掺磨细粒化高炉矿渣时的掺量不小于胶凝材料总量的 50%;复合使用两种或两种以上的矿物掺和料时,为其中的粉煤灰掺量不小于胶凝材料总量的 30%,或各种矿物掺和料掺量之和不小于胶凝材料总量的 50%。需水量很大的矿物掺和料如硅灰、沸石岩粉等不适合于大掺量,宜与其他矿物掺和料复合使用。

**2.0.19 防腐蚀附加措施 (additional protective measures)** 有别于通过改善混凝土的密实性和增加保护层厚度等常规手段来提高混凝土结构耐久性的其他特殊措施,如混凝土表面涂层和防腐蚀面层,环氧涂层钢筋、钢筋阻锈剂和阴极保护等。

**2.0.20 混凝土表面涂层 (surface protective membrane to concrete )** 用无机或有机材料如树脂、橡胶或沥青类涂料分层涂刷于混凝土表面的防腐层,一般由底层、面层或有中间层的涂层组成。涂层的总厚度一般较薄。

**2.0.21 环氧涂层钢筋 (epoxy coated rebar)** 将填料、热固性环氧树脂与交联剂等外加剂制成的粉末,在严格控制的工厂流水线上,采用静电喷涂工艺喷涂于表面处理过的预热的钢筋上,形成一层坚韧、抗渗透、连续的绝缘涂层的钢筋。

**2.0.22 钢筋阻锈剂 (corrosion inhibitor)** 能抑制混凝土中钢筋电化学腐蚀的化学物质。掺入型阻锈剂为掺加到新拌混凝土中的化学外加剂,主要用于新建工程;渗透型阻锈剂涂于混凝土表面并渗透到混凝土中,主要用于已有工程的修复。

**2.0.23 混凝土表面硅烷渗涂 (silane coated concrete )** 用硅烷类液体渗涂混凝土表层,使其具有低吸水性、低氯离子扩散率的防腐蚀措施

**2.0.24 混凝土防护面层 ( protective layer)** 涂抹、浇筑或覆盖在混凝土表面并与其牢固粘结的防护层,如水泥基聚合物砂浆抹面层、油毡防水面层及玻璃钢面层等,防腐面层的厚度远大于涂层。

### 3、基本规定

#### 3.1 环境类别与环境作用等级

3.1.1 结构所处的环境按其对于钢筋和混凝土材料的不同腐蚀作用机理分为 5 类（表 3.1.1）。

表 3.1.1 环境分类

类别	名称	类别	名称
I	碳化引起钢筋锈蚀的一般环境	V	其他化学物质引起混凝土腐蚀的环境：
II	反复冻融引起混凝土冻蚀的环境	V <sub>1</sub>	土中和水中的化学腐蚀环境
III	海水氯化物引起钢筋锈蚀的近海或海洋环境	V <sub>2</sub>	大气污染环境
IV	除冰盐等其他氯化物引起钢筋锈蚀的环境	V <sub>3</sub>	盐结晶环境
注：氯化物环境（III和IV）对混凝土材料也有一定腐蚀作用，但主要是引起钢筋的严重锈蚀。反复冻融（II）和其他化学介质（V <sub>1</sub> 、V <sub>2</sub> 、V <sub>3</sub> ）对混凝土的冻蚀和腐蚀，也会间接促进钢筋锈蚀，有的并能直接引起钢筋锈蚀，但主要是对混凝土的损伤和破坏。			

3.1.2 环境作用按其对于配筋（钢筋和预应力筋）混凝土结构侵蚀的严重程度分为 6 级（表 3.1.2）。

表 3.1.2 环境作用等级

作用等级	作用程度的定性描述	作用等级	作用程度的定性描述
A	可忽略	D	严重
B	轻度	E	非常严重
C	中度	F	极端严重

3.1.3 不同环境类别在不同的环境条件（如湿度、温度、侵蚀介质的浓度等）下对配筋混凝土结构的环境作用等级如表 3.1.3-1 和表 3.1.3-2 所示。

当土中和水中的化学腐蚀环境(V<sub>1</sub>)有多种化学物质（表 3.1.3-2）一起作用于结构上时，应取其中最高的作用等级作为环境 V<sub>1</sub> 的作用等级；但如其中有两种或多种化学物质的作用均处于相同的最高作用等级时，则为考虑可能加重的化学腐蚀后果，应按再提高一个等级作为结构所处 V<sub>1</sub> 环境类别的作用等级。

表 3.1.3-1 环境分类及环境作用等级

环境类别	环境条件 <sup>1</sup>		作用等级	示例
I 一般环境 (无冻融, 盐、酸等作用)	室内干燥环境		I-A	长期干燥、低湿度环境 <sup>2</sup> 中的室内混凝土构件
	非干湿交替的室内潮湿环境和露天环境, 长期湿润环境		I-B	中、高湿度环境 <sup>2</sup> 的室内混凝土构件; 不受雨淋或与水接触的露天构件; 长期与水或湿润土体接触的水中或土中构件
	干湿交替环境 <sup>1</sup>		I-C	与凝结露水接触的室内天窗构件和地下室顶板构件, 表面频繁淋雨或与水接触的室外构件, 处于水位变动区的构件, 靠近地表、湿度受地下水位变动影响构件
II 冻融环境	微冻地区 <sup>4</sup> ,	无氯盐 <sup>3</sup>	II-C	微冻地区水位变动区的构件, 频繁受雨淋的构件

	混凝土高度饱水 <sup>5</sup>	有氯盐 <sup>3</sup>	II-D	水平表面
	严寒和寒冷地区 <sup>4</sup> , 混凝土中度饱水 <sup>5</sup>	无氯盐 <sup>3</sup>	II-C	严寒和寒冷地区受雨淋构件的竖向表面
		有氯盐 <sup>3</sup>	II-D	
	严寒和寒冷地区 <sup>4</sup> , 混凝土高度饱水 <sup>5</sup>	无氯盐 <sup>3</sup>	II-D	水位变动区的构件, 频繁受雨淋的构件水平表面
有氯盐 <sup>3</sup>		II-E		
III 近海或海洋环境 <sup>6</sup>	水下区		III-D <sup>7</sup>	长期浸没于水中的桥墩
	大气区	轻度盐雾区 离平均水位 15m 以上的海上大气区, 离涨潮岸线 100m 外至 300m 内的陆上室外环境	III-D	靠海的陆上室外构件 桥梁上部结构构件
		重度盐雾区 离平均水位上方 15m 以内的海上大气区, 离涨潮岸线 50m 内的陆上室外环境	III-E	靠海的陆上室外构件 桥梁上部结构构件
	潮汐区和浪溅区, 非炎热地区 <sup>7</sup>		III-E	桥墩
	潮汐区和浪溅区, 南方炎热潮湿地区		III-F	桥墩
	土中区	非干湿交替	III-D <sup>7</sup>	桩
		干湿交替	III-E	地下结构中外侧接触地下水而内侧接触空气的混凝土衬砌结构
IV 除冰盐等其他氯化物环(来自海水的除外)	较低氯离子浓度 <sup>8</sup> (反复冻融环境按IV-D)		IV-C	与含有较低浓度氯盐的土体或水体接触的构件, 无干湿交替引起的浓度积累
	较高氯离子浓度		IV-D	受除冰盐直接喷射的构件竖向表面 与含有较高浓度氯盐的水体或土体接触的构件
	高氯离子浓度, 或干湿交替引起氯离子积累		IV-E	直接接触除冰盐的构件水平表面与含有高浓度氯盐的土体或水体接触的构件
V <sub>1</sub> 土中及地表、地下水中的化学腐蚀环境(来自海水的除外)	(见表 3.1.3-2)			与含有腐蚀性化学介质如硫酸盐、镁盐、碳酸、氯化物等土体、地下水、地表水接触的结构构件
V <sub>2</sub> 大气污染环境(来自海水的盐雾除外)	汽车或机车废气		V <sub>2</sub> -C	受废气直射的结构构件, 处于有限封闭空间内受废气作用的车库或隧道构件
	酸雨 (酸雨 pH 值小于 4 时按 E 级)		V <sub>2</sub> -D	遭酸雨频繁作用的构件
	盐碱地区含盐分的大气和雨水作用 (盐碱很高的情况宜按 E 级, 较轻时可按 C 级)		V <sub>2</sub> -D	盐碱地区的露天构件, 尤其是受淋雨的迎风构件
V <sub>3</sub> 盐碱结晶环境	轻度盐结晶		V <sub>3</sub> -E	与含盐土壤接触的电杆、墙、柱等露出于地面以上的“吸附区”
	重度盐结晶(大温差、频繁干湿交替)		V <sub>3</sub> -F	

注: 1、表中的环境条件系指与混凝土表面接触的局部环境; 对钢筋则为混凝土保护层的表面环境, 但如构件的一侧表面接触空气而对侧表面接触水体或湿润土体, 则空气一侧的钢筋需按干湿交替环境考虑。

2、长期干燥的低湿度室内环境指室内相对湿度 RH 长期处于 60% 以下, 中、高湿度环境指相

对湿度的年平均值大于 60%。

3、氯盐指除冰盐或海水中氯盐。

4、冻融环境按当地最冷月平均气温划分为严寒地区、寒冷地区和微冻地区，其最冷月的平均气温  $t$  分别为  $t \leq -8^\circ\text{C}$ 、 $-8^\circ\text{C} < t < -3^\circ\text{C}$  和  $-3^\circ\text{C} \leq t \leq 2.5^\circ\text{C}$ 。但在海洋环境，海水的冰冻应根据当地的实际调查确定。

5、高度饱水指冰冻前长期或频繁接触水或湿润土体，混凝土体内高度水饱和；中度饱和指冰冻前偶受雨水或潮湿，混凝土体内饱水程度不高。

6、近海或海洋环境中的水下区、潮汐区、浪溅区和大气区的划分，可参考海港工程混凝土结构防腐规范（JTJ275—2000）的规定。近海或海洋环境的土中区，指海底以下或近海的陆区地下，其地下水中的盐类成分与海水相近。

7、周边永久浸没于海水或地下水中的构件，其环境作用等级可按 III-C 考虑，但流动水流的情况除外。

8、地表或地下水中氯离子浓度（mg/l）的高、低区分为：低 100—500；较高 501—5000；高 >5000。如构件周边永久浸没水中不存在干湿交替或接触大气，可按环境作用等级 IV-C 考虑。

标 3.1.3-2 土中及地表、地下水中的化学腐蚀环境（V1）及其作用等级

腐蚀作用等级	V <sub>1</sub> -C	V <sub>1</sub> -D	V <sub>1</sub> -E
水中 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	≥200, <1000	≥1000, <4000	≥4000, <10000
水中 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/Kg	≥300, <1500	≥1500, <6000	≥6000, <15000
水中 Mg <sup>2+</sup> mg/L	≥300, <1000	≥1000, <3000	≥3000,
水的 PH 值	≥5.5, <6.5	≥4.5, <5.5	≥4.0, <4.5
水中 CO <sub>2</sub> mg/L	≥15, <30	≥30, <60	≥60, <100

注：1、如构件处于弱透水土体（渗透系数小于  $10^{-5}\text{m/s}$  或  $8.6\text{m/d}$ ）的地下水中，则土中和水中 Mg<sup>2+</sup>、CO<sub>2</sub>及 pH 值的作用均可按表中所示的等级降低一级取用。

2、含氯盐的咸水中可不单独考虑镁离子的侵蚀作用。

3、土中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>为土中水溶硫酸盐的硫酸根量。

4、硫酸盐作用等级或 CO<sub>2</sub>作用等级为 D 和 D 级以上的构件，如处于流动地下水中，应考虑在构件的混凝土表面设置防腐面层或涂层。

5、高压水头下可加重硫酸盐的化学腐蚀。

3.1.4 结构构件除受到碳化引起钢筋锈蚀的一般环境（I）作用外，还可能受到冻融环境（II）、氯盐环境（III 和 IV）及其他化学物质等腐蚀环境（V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>或 V<sub>3</sub>）的作用。当结构构件处于表 3.1.3-2 中两类或两类以上的环境类别时，应同时满足这些环境类别各自单独作用下的耐久性要求。

3.1.5 对于引气混凝土构件，在确定混凝土技术性能要求（见表 4.0.2 和 4.0.3）时可按表 3.1.3-1 和表 3.1.3-2 中的环境作用等级降低一个等级考虑。引气混凝土除用于冻融环境（II）外，还可用于并非遭受冻融侵蚀的氯盐环境（III 和 IV）及其他化学腐蚀环境（V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>或 V<sub>3</sub>）中作用等级为 D 或 D 级以上的场合。

3.1.6 对于素混凝土结构，可仅考虑冻融环境、氯盐环境（III 和 IV）和化学腐蚀环境（V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>或 V<sub>3</sub>）的作用。这些环境类别在不同环境条件下对素混凝土结构的作用等级，对于冻融环境（II）可取与配筋混凝土结构相同（见表 3.1.3-1 和表 3.1.3-2），对于化学腐蚀环境（V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>或 V<sub>3</sub>）可比配筋混凝土结构降低一个等级取用，但不低于 C 级，对于氯盐环境（III 和 IV）可按 C 级。

3.1.7 房屋建筑的室内厨房、卫生间和地下室等频受潮湿和易结露的构件部位以及室外频受雨淋的阳台、外廊、女儿墙、雨罩、栏杆、地面等混凝土构件应按干湿交替的环境条件设计。冰冻地区的建筑物室外混

凝土构件在受冻前可能接触雨水或其他水体的部位应按冻融环境设计。使用过程中可能接触到海水、盐雾、氯化物除冰盐、氯化物消毒剂等氯盐作用的建筑物构件,如滨海建筑物的外墙构件、滨海停车库的地板(或楼板)、喷洒或将来可能喷洒除冰盐地区的停车库地板(或楼板)、游泳馆中接触氯盐消毒剂的构件、海洋馆中接触海水的结构构件等,应按近海环境和除冰盐等其他氯化物环境设计。

桥梁构件的设计应考虑由于路面层、防水层和桥面伸缩缝等各种连接部位的渗漏所造成的局部环境作用,对于桥面板的顶面以及可能遭受来自伸缩缝处渗漏水作用的下部梁、柱(墩)表面,应按干湿交替的环境条件设计;桥梁中频受雨淋或与变动水位接触的构件也应按干湿交替的环境条件设计。上述的受湿部位在冻融地区尚需按冻融环境设计。桥面板的底面如有可靠的构造措施能够防止雨水或伸缩缝处渗漏水从构件的侧边滴入底面,则底部钢筋可按非干湿交替的露天环境条件设计。

冬季使用除冰盐地区(包括随着交通发展,将来不可避免会使用除冰盐来融化路面积雪的地区)的混凝土桥梁、道路和道路两旁的露天构件,必须考虑含除冰盐的融化雪水(雨水)和由车辆高速行驶引起盐雾的侵蚀作用,包括含盐的渗漏水自桥面流向下部梁、柱表面以及含盐雨水渗入土中对桥梁下部结构和基础的侵蚀作用。

沿海地区和盐碱地区的混凝土结构,必须考虑当地大气、地下水和土中可能存在腐蚀性化学物质的作用。这些地区的构件设计不应直接套用一般的标准图。

污水管道、厩舍、化粪池等受硫化氢气体或腐蚀性液体侵蚀的构件部位按其严重程度可比照环境作用等级 $V_{1-E}$ 或 $V_{1-D}$ 考虑,这些构件或部位如长期浸没于液体中可按 $V_{1-C}$ 考虑。

**3.1.8** 除 3.1.3 条所列的环境类别可能引起钢筋锈蚀和混凝土腐蚀外,在长期潮湿和有水长期作用的环境下,混凝土结构的耐久性设计还必须高度重视混凝土发生碱—骨料反应,钙矾石延迟反应和软水对混凝土溶析破坏的可能性,并在设计施工中采取相应的对策。

## 3.2 结构的设计使用年限

**3.2.1** 结构的设计使用年限应是具有一定裕度或保证率的目标使用年限,并与结构使用的适用性极限状态相对应。设计使用年限必须由工程的业主与设计人员共同商定,并不低于政府主管部门规定的最低要求。

**3.2.2** 结构的设计使用年限可按表3.2.2的级别选取。特殊重要的纪念性或标志性结构物,其设计使用年限应大于100年;大城市中的高层建筑或大型建筑物,其结构的设计使用年限宜不小于70年;工矿建筑与构筑物的结构设计使用年限宜与生产的设计服务年限相应,某些工业厂房结构的设计使用年限因现代生产工艺的快速变更或根据实际需要可定为30年。

当结构的使用年限预期会因服务功能的快速变化(如桥梁通行能力的快速增长)而提前终结,或当环境特别严酷,采取较长的使用年限受到技术、经济上的制约时,则在主管部门和业主的同意下,可按较低的设计使用年限进行设计,但一般不宜低于30年。

本《指南》仅提出100年、50年和30年三种设计使用年限下的具体设计要求,对于介于其中的不同设计使用年限下的要求,可以大体按照内插的方法处理。

**表 3.2.2 结构的设计使用年限分级**

级别	设计使用年限	名称	示例
一	不小于 100 年	重要建筑物	标志性、纪念性建筑物,大型公共建筑物如大型的博物馆、会议大厦和文体卫生建筑,政府的重要办公楼,大型电视塔等
		重要土木工程	大型桥梁,隧道,高速和一级公路上的桥涵,城市干线上的大型桥梁、大型立交桥,城市地铁轻轨系统等
二	不小于 50 年	一般建筑物和构筑物	一般民用建筑如公寓、住宅以及中小型商业和文体卫生建筑,大型工业建筑

		次要的土木设施工程	二级和二级以下公路以及城市一般道路上的桥涵
三	不小于 30 年	不需较长寿命的结构物 可替换的易损构件	某些工业厂房

**3.2.3** 结构的设计使用年限，通常应是结构使用过程中仅需常规维护(包括构件表面涂刷等)而不需进行大修

的期限。  
仅当现有的技术条件不能保证结构的所有构件(或部件)均能达到与结构设计使用年限相同的耐久性时，或从经济等角度考虑认为有必要时，则在业主认可的前提下，可在结构设计中规定结构的个别构件(或部件)需在结构的设计使用年限内进行规定次数(1~2次或更多)的大修或更换。

处于良好环境条件下的一般民用建筑物，在结构的设计使用年限内应按仅需常规维护进行设计。处于严重环境作用下的结构物，在结构的设计使用年限内，可对个别结构构件或部件(如桥梁拉索及支座件等)进行定期大修或更换。

需在设计使用年限内进行大修或更换的结构构件，应具有能够进行修补或更换的施工操作条件。需要修补或更换的构件，其使用年限可低于结构的整体设计使用年限。对于土中或水下缺乏修理条件的结构构件，其设计使用年限应与结构的整体设计使用年限相同。

### 3.3 设计基本要求

**3.3.1** 混凝土结构及其构件的耐久性，应根据不同的设计使用年限和不同的环境类别及其作用等级进行设计。同一结构中的不同构件或同一构件中的不同部位由于所处的局部环境条件有异，应予以分别对待。

结构的耐久性设计必须考虑施工质量控制与质量保证对结构耐久性的影响，必须考虑结构使用过程中的维修与检测要求。

**3.3.2** 混凝土结构耐久性设计的设计文件应列入以下内容：

1. 结构所处的环境类别及其环境作用等级。对于环境作用等级为D或D级以上的结构设计，除勘测资料外，应有结构周边既有结构工程耐久性现状的调查资料和必要的检测数据。

2. 结构的设计使用年限。应标明结构设计使用年限内需要大修或更换的结构构件或部件及其预期的修补期限或更换期限，列出结构各构件和部件的使用年限及维修周期的明细表。对结构耐久性有重要影响的构造措施(如桥面防水层、伸缩缝等)，其预期的使用年限也应在设计文件中一并列出。

3. 对施工单位(包括混凝土供应方)提出耐久混凝土的技术要求和施工质量的合格验收标准。

4. 对工程业主或工程的运营管理单位提出使用过程中需要进行正常维护、修理或更换的具体内容

和要求。

5. 对于桥梁结构等基础设施工程，需对设计使用年限内的全寿命投资费用作出适当的论证与评估。

**3.3.3** 混凝土结构的耐久性设计至少应包括：

1. 耐久混凝土的技术要求(参见第4章)。

根据结构所处的不同环境类别、环境作用等级与结构的设计使用年限，确定混凝土材料耐久性的主要技术要求，包括：混凝土原材料的选用要求(水泥、矿物掺和料、骨料以及化学外加剂的品种与质量等)，混凝土的最低强度等级，最大水胶比和胶凝材料的最小用量，以及结构所处环境下所需的混凝土氯离子扩散系数、抗冻耐久性指数(或抗冻等级)等混凝土耐久性参数的具体指标以及引气等要求。

对于一般环境和无盐的冻融环境下的混凝土技术要求，在设计阶段可仅规定混凝土的最低强度等级与最大水胶比以及混凝土是否引气等要求，并标明在设计施工图和相应说明中。至于混凝土原材料的选用和混凝土具体配比等其他技术要求，可指定施工或混凝土供货单位依据设计方提出的环境作用等级与结构的设计使用年限，按照本《指南》规定的相关条文确定。设计采用的混凝土强度等级应满足构件耐久性的最低要求与构件强度的需要；当环境作用等级为C或C级以上时，构件所需的混凝土强度等级常取决于耐久性的要求(尤其是受弯构件)，应首先进行耐久性设计而后作荷载作用下的构件承载力与变形验算。

对于重要基础设施工程和氯盐及其他化学腐蚀环境下的工程，应在设计阶段与混凝土材料工程师合作

提出耐久混凝土的详细技术要求。

2. 与耐久性有关的结构构造措施（参见第5章）。

根据结构的环境作用等级与设计使用年限，确定钢筋的混凝土保护层厚度，提出防水排水构造与裂缝控制等措施。

3. 与耐久性有关的施工质量要求（参见第6章）。

重点为混凝土养护（温度、湿度控制与湿养护期限与方法）与保护层厚度的质量控制要求，并标明在结构施工图和相应说明中。

4. 结构使用阶段的维修与检测。

对于严重环境作用（D或D级以上）下的结构，应确定使用期内的定期维修（包括部件更换）与检测要求，并在设计中为从事这些维修与检测的活动设置必要的通道和施工、操作空间，预置埋设件和测试元件。

5. 防腐蚀附加措施。

以下场合应考虑采取防腐蚀附加措施：重大工程中环境作用等级为E或F的构件部位；因条件所限不能满足规定保护层厚度或规定养护时间的结构部位；受氯盐和硫酸盐极端严重作用的结构部位。

常用的防腐蚀附加措施有：在混凝土表面涂刷或覆盖防护材料，在混凝土组成中加入阻锈剂或水溶性聚合物乳液，局部选用环氧涂层钢筋，在混凝土浇筑成型中采用带透水衬里的模板，直至采用阴极保护等措施。防腐新材料和新工艺的使用，需通过专门的论证。

6. 对于可能遭受氯盐引起钢筋锈蚀的重要混凝土工程，宜根据具体环境条件和材料劣化模型，进行结构使用年限的验算。

不同设计使用年限的结构物，在不同环境作用等级下需要进行耐久性设计的具体内容大体如表 3.3.3 所示。

表3.3.3 不同设计使用年限级别的结构物在不同环境作用等级下的耐久性设计内容

耐久性设计内容 使用年限级别 环境作用等级	混凝土材料			结构构造和裂缝控制			施工要求			使用阶段定期检测			防腐蚀附加措施		
	一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三
A	●			●			●								
B	●	●		●	●		●	●		▲					
C	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	▲				
D	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	▲	▲		
E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	▲	▲	▲
F	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	▲	▲

注：1、混凝土材料、结构构造和施工要求需同时满足本指南提出的最低要求；

2、表中符号意义：●需要 ▲ 可能需要

3.3.4 提高混凝土结构耐久性的一般设计原则如下：

1. 采用的结构类型、结构布置和结构构造应尽可能有利于阻挡或减轻环境对结构的侵蚀作用，便于施工并有利于保证施工质量，便于工程今后使用过程中的检查和维修。

2. 提高混凝土材料本身的耐久性。采用低水胶比混凝土，尽可能减少用水量并正确使用矿物掺和料，明确耐久混凝土的施工要求，保证混凝土有良好的匀质性、工作性和抗裂性。

3. 增加钢筋的混凝土保护层厚度。

4. 注重防、排水和连接缝等构造措施，尽可能避免水和氯盐等有害物质接触或渗漏到混凝土表面，尽可能防止混凝土在使用过程中遭受干湿交替。

5. 对于环境作用等级为E或E级以上的重要工程，以及易遭锈断、失效后果严重的预应力钢绞线和高强

拉索等构件，在其耐久性设计中应采取多重防护对策，即综合采用多种防护措施，可以多种防护措施平行地起作用（如在提高耐久混凝土性质量和保护层厚度的基础上，同时采用阻锈剂或环氧涂层钢筋），或在一种措施在使用过程中失效后启动另一种措施（如结构中的钢筋发生锈蚀后启动阴极保护）。

6. 在确定钢筋的混凝土保护层厚度和耐久混凝土的技术要求时，不考虑普通建筑饰面（抹灰、面漆、面砖等）和防水层等构造对混凝土结构的有限防护作用。对于结构施工建造中主要起临时承载作用且不具足够耐久性的部件（如隧道的喷混凝土初衬支护，其混凝土的性能和锚杆、钢筋网、钢棚架的保护层均难以满足严重环境作用下的耐久性要求），在结构的承载力设计中不应考虑其贡献。

**3.3.5** 同一结构中宜使用相同材质的钢筋以降低钢材的电化学锈蚀速度。对非预应力钢筋，宜在设计中统一选用新三级钢筋HRB400。混凝土中不同金属埋件之间（包括镀锌钢材与普通钢材之间）均不得有导电的连接。

**3.3.6** 在C级及C级以上的环境等级下采用预应力混凝土时，需对预应力体系（预应力筋、锚具和孔道管等）的使用年限作出专门评估，要求生产厂家提供相关的资料和说明。同时，应对灌浆材料、施工工艺及质量检验标准提出具体要求。

预应力混凝土体系的施工必须由具有专门资质的专业机构完。

**3.3.7** 混凝土结构的耐久性设计，需考虑到混凝土构件开始暴露于环境作用时的不同龄期对耐久性的影响。应尽量设法延迟新浇混凝土开始与海水、氯盐等接触或开始遭受冰冻的时间。在海洋环境下宜尽量采用预制构件；在冰冻地区宜尽早开工，至少应在冰冻季节到来前一月完成施工。

**3.3.8** 当结构所处的环境作用等级为E或E级以上时，应在设计中提出必须电行节向儒用年限内的定期检测要求。第一次检测需在结构竣工使用后的3-5年内进行，并根据测试结果对结构的耐久性做出评估。除目测外，检测的重点在于确定表层混凝土的劣化现状，如混凝土的碳化深度，混凝土表层内不同深度处的氯离子浓度分布，钢筋的锈蚀或锈蚀倾向等。以后的定期检测间隔视劣化速度而定。

对于重要工程，应在设计阶段作出结构使用期内检测的详细规划，在工程现场设置专供检测取样用的构件，后者在尺寸、材料、配筋、成型、养护以及暴露环境条件上，应能代表实际的结构构件，必要时还可在结构构件有代表性的部位上埋置传感元件以监测钢筋锈蚀的发展。

**3.3.9** 结构使用年限的验算以及使用阶段的检测规划可委托专业的研究、咨询机构完成并通过论证。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/828010024047006124>