

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 Concrete Structures



2005 北京

中国土木工程学会标准

混凝土结构
耐久性设计与施工指南

Guide to Durability Design and Construction
of Concrete Structures

CCES 01 — 2004

(2005 年修订版)

中国建筑工业出版社

中国土木工程学会标准
混凝土结构耐久性设计与施工指南
Guide to Durability Design and Construction
of Concrete Structures
CCES 01 — 2004 (2005 年修订版)

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7¼ 字数: 170 千字
2005 年 10 月第一版 2006 年 2 月第二次印刷
印数: 3501~6000 册 定价: 30.00 元
统一书号: 15112·11915

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

2005 年修订版说明

根据《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01 — 2004 第一版)使用过程中征集到的意见、建议以及近期获得的新的信息,对该《指南》条文作了局部的修改、补充和必要的订正,现出版发行,取代刊载于《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 2005 年修订版中已作出的更改,后者可从“中国土木工程学会 www.cces.net.cn”网站查得。

2005 年 9 月

2004 年第一版前言

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工程学部于 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，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，有许多方面目前还认识不清，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)。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）转有关编写人。

《混凝土结构耐久性设计与施工指南》编审组

2003 年 12 月

《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(2005 修订版)编写人:

陈肇元 廉慧珍 李克非

在第一版基础上增改,全文由陈肇元、李克非汇总定稿。

《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(第一版)编写人:

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 路新藏。

为起草《指南》提供过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。

《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(第一版)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	蒋莼秋	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。

目 次

1 总则	1
2 术语与符号	2
2.1 术语	2
2.2 主要符号	4
3 基本规定	6
3.1 环境分类与环境作用等级	6
3.2 结构的设计使用年限	10
3.3 设计基本要求	11
4 混凝土材料	14
5 构造措施和裂缝控制	19
6 施工要求	23
6.1 混凝土原材料选择	23
6.2 混凝土施工	25
6.3 混凝土耐久性质量检验	28
7 防腐蚀附加措施	30
7.1 涂层钢筋和耐蚀钢筋	30
7.2 钢筋阻锈剂	30
7.3 混凝土表面涂层和防腐蚀面层	31
附录 A 混凝土抗裂性测试方法及评价	32
A1 水泥及水泥基胶凝材料抗裂性试验	32
A2 混凝土抗裂性试验—平板试件	34
附录 B 混凝土氯离子扩散系数快速测定方法	37
B1 混凝土氯离子扩散系数快速测定的 RCM 法	37
B2 混凝土中氯离子扩散系数快速检测的 NEL 法	41
附录 C 氯离子侵入混凝土过程的 Fick 模型	43
C1 混凝土的抗侵入性	43
C2 Fick 第二扩散定律的计算模型	43
C3 Fick 模型在设计中的应用	46
C4 Fick 模型中的参数选定	50
附录 D 后张预应力混凝土体系的耐久性要求	53
D1 影响后张预应力体系耐久性的主要因素	53
D2 预应力钢绞线的防护体系	54
D3 预应力锚固端的防护体系	55

D4	后张预应力构件锚固端的构造要求	56
D5	预应力体系耐久性的总体防护措施	57
D6	灌浆材料及水泥浆体的性能要求	57
D7	灌浆水泥浆体性能的测试方法	58
D8	灌浆的施工方法与质量控制要求	59
条文说明		63
1	总则	65
3	基本规定	68
4	混凝土材料	81
5	构造措施和裂缝控制	94
6	施工要求	100
7	防腐蚀附加措施	105

1 总 则

1.0.1 本《混凝土耐久性设计与施工指南》(以下简称《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保证以及结构使用过程中的例行检测与正确维修。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》适用于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,空气中的氧气、二氧化碳和空气污染物(盐雾、二氧化硫、汽车尾气等),土体与水体中的氯盐、硫酸盐、碳酸等物质,以及北方地区为融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、持久荷载、振动与磨损等力学作用对混凝土结构耐久性的影响,也不涉及生物、辐射与电磁等的作用,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他特种混凝土结构。

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性物质的结构物,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》已作出规定的以外,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 由于环境作用及材料性能劣化机理的复杂性、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和实际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》中提出的要求只是通常情况下为满足结构适用性、可修复性和安全性的最低要求,设计人员应结合工程及其所处环境的具体特点,如工程的重要性、环境作用的复杂性、材料劣化导致结构失效后果的严重性、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,如有基于工程现场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 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 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。

2.1.2 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引起的渐进性损伤与破坏。对钢材常称为锈蚀 (corrosion)。

2.1.3 劣化 (degradation) 材料性能随时间的逐渐降低。

2.1.4 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。

2.1.5 结构耐久性 (structure durability) 结构及其构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原有性能的能力。在结构设计中, 结构耐久性则被定义为在预定作用和预期的维修与使用条件下, 结构及其构件能在规定期限内维持所需技术性能 (如安全性、适用性) 的能力。

2.1.6 结构使用年限 (service life of structure) 结构建成后, 在预定的使用与维修条件下, 结构所有性能均能满足原定要求的实际年限。

2.1.7 设计使用年限或设计寿命 (design working life, or design life) 设计人员用以作为结构耐久性设计的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员共同确定, 并满足有关法规的最低要求。

2.1.8 混凝土侵入性 (penetrability of concrete) 混凝土材料耐久性的一种综合度量指标, 表示外部侵蚀性物质 (水、气及溶于水、气中的其他分子和离子等) 侵入混凝土内部的难易程度。根据入侵物质的不同传输机理与特征, 常用离子或分子在混凝土中的扩散系数、混凝土对流体的吸收率、流体在混凝土中的渗透系数等不同参数表示。混凝土侵入性常被习惯地称为渗透性 (permeability), 但渗透 (permeation) 是流体受到压力差的驱动在混凝土毛细孔隙中流动的传输, 并用渗透系数表示渗透性。

2.1.9 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。

2.1.10 氯离子在混凝土中的扩散系数 (chloride diffusion coefficient of concrete) 表示氯离子在混凝土中扩散性的一个参数。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混凝土内部, 并在传输过程中可有部分氯离子与胶凝材料及其水化产物相结合, 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。

2.1.11 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, 为

混凝土经规定次数快速冻融循环试验后的动弹性模量与初始动弹性模量的比值，用混凝土标准试件和标准试验方法测定。

2.1.12 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的球形微细气泡的体积与混凝土总体积的比值。气泡相邻边缘之间距离的平均值称为气泡间隔系数 (air bubble spacing)。

2.1.13 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)。

2.1.14 修理或修复 (repair, or restore) 通过修补、更换或加固，使受到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。

2.1.15 可修复性 (restorability, or repairability) 结构或其构件在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。

2.1.16 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、磨细矿渣和硅灰等火山灰质或潜在水硬性矿物掺和料的总称。矿物掺和料在混凝土配比中的用量，以其占胶凝材料总量的百分比 (重量比) 表示。

2.1.17 水胶比 (water to binder ratio) 混凝土的用水量与限定范围的胶凝材料 (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，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。

2.1.18 高性能混凝土 (high performance concrete) 以耐久性为基本要求并满足工程其他特殊性能和匀质性要求、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。

2.1.19 大掺量矿物掺和料混凝土 (concrete with high volume mineral admixtures) 本《指南》中所指的大掺量矿物掺和料混凝土为：在硅酸盐水泥中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，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。

2.1.20 防腐蚀附加措施 (additional protective measures) 在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基础上所采取的其他特殊措施，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、透水衬里模板、阴极保护等。

2.1.21 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。

2.1.22 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。

2.1.23 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，主要用于既有工程的修复。

2.1.24 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，使其具有低吸水率、低氯离子扩散率的防腐蚀措施。

2.1.25 混凝土防护面层 (protective layer) 涂抹、浇筑或覆盖在混凝土表面并与之牢固粘结的防护层，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。

2.1.26 透水衬里模板 (controlled permeability formwork) 浇筑混凝土时采用的模板内侧置有一层专用的织物，可以排出新拌混凝土表面的多余水分和裹入的气泡并保湿，能有效提高表层或保护层混凝土的密实性和抗渗性。

2.1.27 钢筋的混凝土保护层 (concrete cover to reinforcement) 从混凝土表面到钢筋最外缘之间的距离。在耐久性设计中，如无特别标明，这一保护层应为最外侧钢筋的保护层，通常情况下应为箍筋或外侧分布筋而不是主筋。

2.1.28 保护层最小厚度 (minimum cover) 在耐久性设计中为控制钢筋锈蚀所必需的混凝土保护层厚度，其中没有考虑钢筋安装定位的施工允差对结构耐久性的影响。

2.1.29 保护层名义厚度 (nominal cover) 用于结构计算和标注于施工图上的保护层尺寸。在混凝土结构设计中，必须考虑钢筋安装定位的施工允差对结构耐久性的影响，应取保护层的名义厚度为最小厚度与施工允差之和。

2.2 主要符号

2.2.1 III-C 表示环境类别和环境作用等级 (category of environment and exposure class) 前面的罗马字符代表不同的环境类别，有 I、II、III、IV 和 V 五种，分别代表碳化引起钢筋锈蚀的一般环境、反复冻融引起混凝土冻融的环境、海水氯离子引起钢筋锈蚀的近海和海洋环境、除冰盐等其他氯化物引起钢筋锈蚀的环境和其他化学腐蚀环境；后面的大写英文字符有 A、B、C、D、E 和 F 六个等级，分别定性地表示环境作用的严重程度，严重性从 A 到 F 依次递增。

2.2.2 C_3A 铝酸三钙 (tricalcium aluminate) 硅酸盐水泥中的一种矿物成分，水化反应极快，强度发展最为迅速，水化热和收缩最大，易受硫酸盐腐蚀。

2.2.3 D 氯离子在混凝土中的扩散系数 (chloride diffusion coefficient of concrete)。

2.2.4 D_{RCM} 用外加电场作用下氯离子在混凝土中快速迁移 (rapid chloride migration) 的标准试验方法测得的扩散系数。

2.2.5 D_a 现场实测拟合的扩散系数 (achieved diffusion coefficient)，或表观扩散系数 (apparent diffusion coefficient) 从暴露于现场氯离子环境一定期限 (年限) 后的混凝土构件中取样，实测得到构件离暴露表面不同深度上的氯离子浓度分布数据，并按 Fick 第二扩散定律的误差函数解析解公式 (其中假定在这一暴露时间内的扩散系数和表面氯离子

浓度均为定值)进行曲线拟合、回归求得的扩散系数(回归求得的另一参数为表面氯离子浓度)。 D_a 的数值随暴露期限的增长而降低,当年限很长时(如数十年后)可认为趋于稳定。

2.2.6 D_p 用标准试验方法快速测定的扩散系数(potential diffusion coefficient) 通常根据实验室内的短期浸泡试验(暴露在规定浓度的氯离子溶液中)得到的扩散系数。 D_p 主要表示混凝土在测试龄期时的扩散系数,并随龄期的增长而降低。

2.2.7 c 氯离子浓度(chloride concentration in concrete) 用单位体积混凝土内所含的氯离子质量与胶凝材料质量的比值(%)表示,有时也用单位体积所含的氯离子质量与混凝土质量的比值(%)表示,或用混凝土单位体积内所含的氯离子质量(kg/m^3)表示。

2.2.8 c_{cr} 氯离子临界浓度(critical chloride concentration, or chloride threshold level) 钢筋表面的混凝土内氯离子增加到能使钢筋脱钝并开始锈蚀时的浓度。氯离子临界浓度与混凝土本身的质量、湿度、温度和碱度等多种因素有关。

2.2.9 c_s 氯离子表面浓度(surface chloride concentration) 与氯盐环境接触处的混凝土表面中的氯离子浓度。现场混凝土的表层氯离子浓度由于受到诸多外界因素的影响,往往并不符合 Fick 第二定律误差函数解析解公式所表达的规律,所以利用误差函数解析解预测氯离子从混凝土表面扩散到混凝土内不同深度上的浓度分布时,一般不能取用现场实测的表面氯离子浓度值作为计算的依据而应采用表观表面浓度 c_{sa} (achieved surface chloride concentration), 后者的获得方法与现场实测拟合的表观扩散系数的相同(见 2.2.5 条)。

3 基 本 规 定

3.1 环境分类与环境作用等级

3.1.1 结构所处的环境按其 对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 ₁	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 ₂	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 ₃	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）和其他化学物质（V ₁ 、V ₂ 、V ₃ ）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（V₁）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 V₁ 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 V₁ 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 ¹	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 ² 中的室内混凝土构件

续表 3.1.3-1

环境类别	环境条件 ¹		作用等级	示 例
I 一般环境 (无冻融, 盐、酸等作用)	非干湿交替的室内潮湿环境; 非干湿交替的露天环境; 长期湿润环境		I-B	中、高湿度环境 ² 中的室内混凝土构件; 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 ¹ 南方炎热潮湿的露天环境		I-C	与凝结露水接触的室内天窗构件; 地下室顶板构件; 表面频繁淋雨或频繁与水接触的室外构件; 处于水位变动区的大气中构件
II 冻融环境	微冻地区 ⁴ , 混凝土高度饱水 ⁵	无氯盐 ³	II-C	微冻地区水位变动区的构件, 频繁受雨淋的构件水平表面
		有氯盐 ³	II-D	
	严寒和寒冷地区 ⁴ , 混凝土中度饱水 ⁵	无氯盐 ³	II-C	严寒和寒冷地区受雨淋构件的竖向表面
		有氯盐 ³	II-D	
	严寒和寒冷地区 ⁴ , 混凝土高度饱水 ⁵	无氯盐 ³	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 ³	II-E	
III 近海或海洋环境 ⁶	水下区		III-D ⁷	长期浸没于海水中的桥墩
	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 100m 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	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 ⁷	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境 (来自海水的除外)	较低氯离子浓度 ⁸ (反复冻融环境按 IV-D)		IV-C	与含有较低浓度氯盐 ⁸ 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 ⁸ 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 ⁸ 的土体或水体接触的构件

续表 3.1.3-1

环境类别	环境条件 ¹	作用等级	示 例
V ₁ 土中及地表、地下水中的化学腐蚀环境（来自海水等氯化物除外）	(见表 3.1.3-2)		与含有腐蚀性化学物质如硫酸盐、镁盐、碳酸等土体、地下水、地表水接触的结构构件
V ₂ 大气污染环境（来自海水的盐雾除外）	汽车或机车废气	V ₂ -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、酸雾 (酸雨 pH 值小于 4 时按 E 级)	V ₂ -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 (盐度很高的情况宜按 E 级，较轻时可按 C 级)	V ₂ -D	盐碱地区的露天构件，尤其是受雨淋的构件
V ₃ 盐结晶环境	轻度盐结晶	V ₃ -E	与含盐土体接触的电杆、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 ₃ -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蚀规范》(JTJ 275-2000) 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：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。			

表 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 ₁ -C	V ₁ -D	V ₁ -E
水中 SO_4^{2-} （mg/L）	≥ 200 ，<1000	≥ 1000 ，<4000	≥ 4000 ，<10000
土中 SO_4^{2-} （mg/kg）	≥ 300 ，<1500	≥ 1500 ，<6000	≥ 6000 ，<15000
水中 Mg^{2+} （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_2 （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}m/s 或 8.6m/d ）的地下水中，则土中 SO_4^{2-} 和水中 Mg^{2+} 、 CO_2 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_4^{2-} 为土中水溶硫酸盐的硫酸根量。 4. 硫酸盐作用等级或 CO_2 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_1 、 V_2 或 V_3 ）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_1 、 V_2 或 V_3 ）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_1 、 V_2 或 V_3 ）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_1 、 V_2 或 V_3 ）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，应接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淌入底面，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。