

混凝土结构

耐久性设计与施工指南

中国工程院土木水利与建筑学部
工程结构安全性与耐久性研究咨询项目组

中国建筑工业出版社

混凝土结构耐久性设计与施工指南

中国工程院土木水利与建筑学部
工程结构安全性与耐久性研究咨询项目组

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构耐久性设计与施工指南/中国工程院土木水利与
建筑学部工程结构安全性与耐久性研究咨询项目组. —北京:
中国建筑工业出版社, 2004
ISBN 7-112-06368-X

I. 混… II. 中… III. ①混凝土结构—耐用性—结构设
计—指南②混凝土施工—指南 IV. ①TU 37-62②TU 755-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 015305 号

本书由相对独立的三篇组成:第一篇为混凝土结构耐久性设计与施工
指南(中国土木工程学会标准 CCES 01—2004);第二篇为混凝土结构的耐
久性设计与施工(论文汇编)。第三篇为土建结构工程的安全性及耐久
性——现状、问题与对策。

本书可供土建结构设计、施工、科研、管理人员以及大专院校师生阅读。
其中的混凝土结构耐久性设计与施工指南,可作为技术标准参考使用。

* * *

责任编辑:蒋协炳
责任设计:彭路路
责任校对:黄燕

混凝土结构耐久性设计与施工指南

中国工程院土木水利与建筑学部
工程结构安全性与耐久性研究咨询项目组

*

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

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 424 千字

2004 年 5 月第一版 2004 年 5 月第一次印刷

印数: 1—4500 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-112-06368-X

TU·5622 (12382)

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>

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,所以咨询项目组决定联系有关专家,组织成立专门的编审组,着手编写《混凝土结构耐久性设计与施工指南》,以应当前工程建设的急需。这一技术文件的初稿、讨论稿和送审稿经过广泛征求意见与多次修改,并由中国土木工程学会报请国家建设部组织专家组进行审定,正式作为中国土木工程学会技术标准,供工程设计、施工与管理人参考使用。现公开出版,为本书的第一篇。

在编写《混凝土结构耐久性设计与施工指南》的同时,咨询项目组同时约请国内专家就混凝土结构耐久性设计与施工的相关专题提供资料并撰写专论,这项工作得到了积极的回应。本书的第二篇“混凝土结构耐久性设计与施工”就是这些论文的汇编。需要指出的是,这些论文所反映的完全是作者个人的观点。

本书的第三篇“土建结构工程的安全性及耐久性——现状、问题与对策”,是咨询项目组提出的一份综述报告。

在咨询项目组的三年工作中,通过工程科技论坛和课题研究等活动,还编印过有关的会议文集等资料,有些已载入中国建筑工业出版社2003年6月出版的论文集《土建结构工程的安全性及耐久性》一书中。

中国工程院土木水利与建筑学部
工程结构安全性与耐久性研究咨询项目组
2004年3月

中国工程院土木水利与建筑学部
工程结构安全性与耐久性研究
咨询项目组成员名单

(按姓氏汉语拼音为序)

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 陈肇元 | 范立础 | 刘建航 | 刘西拉 |
| 莫庭斌 | 钱稼茹 | 施仲衡 | 王梦恕 |
| 王元湘 | 项海帆 | 徐有邻 | 曾庆元 |
| 张 弥 | 赵国藩 | | |

项目负责人：陈肇元 赵国藩

总 目 录

第一篇

混凝土结构耐久性设计与施工指南

(中国土木工程学会标准 CCES 01—2004) 1

第二篇

混凝土结构的耐久性设计与施工

(论文汇编) 83

第三篇

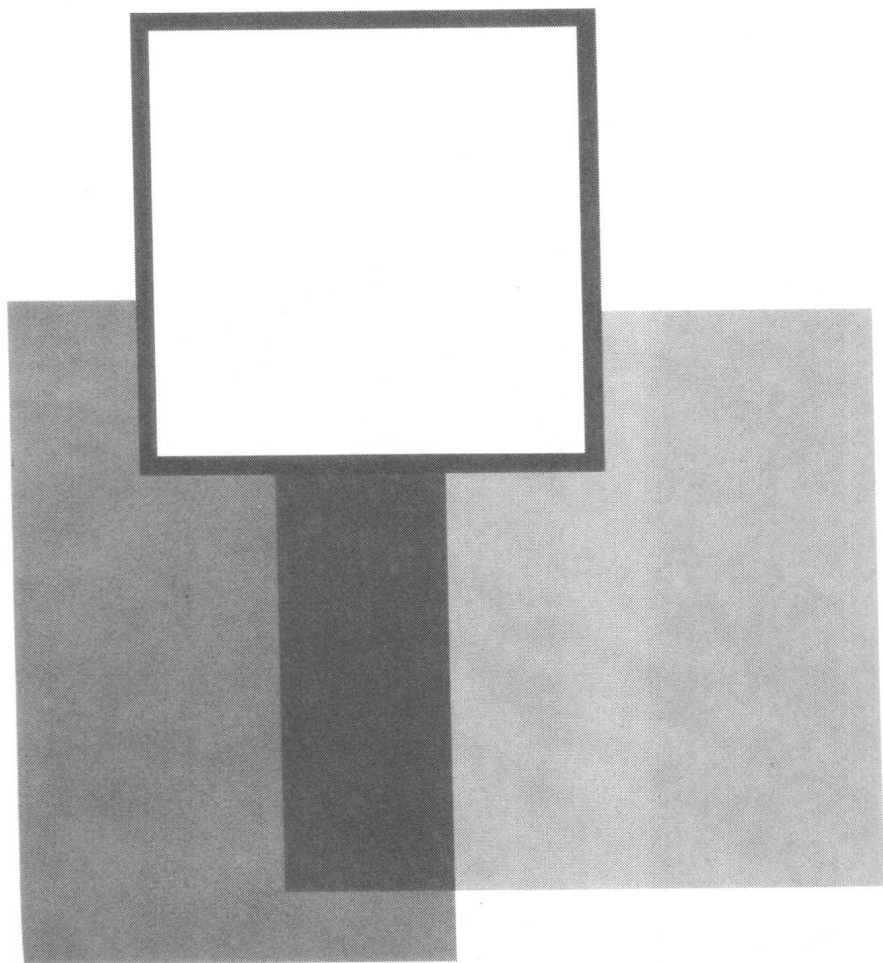
土建结构工程的安全性及耐久性——现状、问题与对策

(综合报告) 225

第一篇

混凝土结构耐久性 设计与施工指南

(中国土木工程学会标准 CCES 01—2004)



说 明

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,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》(以下简称《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》编审组成员名单：

(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 蒋苑秋 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。

《混凝土结构耐久性设计与施工指南》起草人名单：

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、廉慧珍根据汇总意见及建议增补、修改定稿。

国家建设部组织的审查专家组名单：

徐培福 凤懋润 吴学敏 白生翔 林志伸 韩素芳 程懋堃 罗 玲 邱小坛
姚 燕 吴松勤

目 录

| | |
|----|--------------------------|
| 3 | 说明 |
| 7 | 1. 总则 |
| 8 | 2. 术语 |
| 11 | 3. 设计基本规定 |
| 17 | 4. 混凝土材料选用 |
| 20 | 5. 构造措施和裂缝控制 |
| 23 | 6. 施工要求 |
| 23 | 6.1 混凝土原材料的选择 |
| 25 | 6.2 混凝土施工 |
| 28 | 6.3 混凝土耐久性质量检验 |
| 29 | 7. 防腐蚀附加措施 |
| 29 | 7.1 涂层钢筋和耐蚀钢筋 |
| 29 | 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 |
| 31 | A1 水泥及水泥基胶凝材料抗裂性试验 |
| 33 | A2 混凝土抗裂性试验——平板试件 |
| 36 | 附录 B 混凝土氯离子扩散系数快速测定方法 |
| 36 | B1 混凝土氯离子扩散系数快速测定的 RCM 法 |
| 40 | B2 混凝土氯离子扩散系数快速检测的 NEL 法 |
| 42 | 条文说明 |
| 42 | 1. 总则 |
| 45 | 3. 设计基本规定 |
| 60 | 4. 混凝土材料选用 |
| 71 | 5. 构造措施和裂缝控制 |
| 76 | 6. 施工要求 |
| 80 | 7. 防腐蚀附加措施 |

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。

2.0.9 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。

2.0.10 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。

2.0.11 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, 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。

2.0.12 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)。

2.0.13 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)。

2.0.14 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。

2.0.15 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。

2.0.16 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。

2.0.17 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。

2.0.18 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。

2.0.19 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。

2.0.20 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。

2.0.21 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。

2.0.22 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。

2.0.23 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,主要用于已有工程的修复。

2.0.24 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,使其具有低吸水性、低氯离子扩散率的防腐蚀措施。

2.0.25 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。

3. 设计基本规定

3.0.1 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及其相应的极限状态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,应予区别对待。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。

3.0.2 结构的设计使用年限一般可按表 3.0.2 的级别选取。根据工程的实际需求,结构的设计使用年限可高于表中的数值。对于特殊重要的结构物,其设计使用年限可大于 100 年;工矿建筑与构筑物的结构设计使用年限则宜与生产的设计服务年限相应;对于大城市中的高层建筑或大型宾馆,结构的设计使用年限宜不小于 70 年。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)而较早终结,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,可以大体按照插入的办法处理。

结构的设计使用年限分级

表 3.0.2

| 级别 | 设计使用年限 | 名称 | 示例 |
|----|---------|------------------------|---|
| 一 | 约 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 |
| | | 重要土木基础设施工程 | 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 | 约 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 | 约 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 |

3.0.3 结构的设计使用年限,通常应是使用过程中仅需一般维护(包括构件表面涂刷等)而不需进行大修的期限。仅当技术条件不能保证结构的所有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,可在设计中规定结构的某些构件需要在结构的设计使用年限内进行 1~2 次或更多次数的大修(包括更换)。

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,应按仅需一般维护进行设计。处于露天环境下的桥梁等结构物,在结构的设计使用年限内,通常需要对桥面板