

建筑工程材料耐久性影响因素及提升路径分析

刘 委

宁夏巨正建设监理咨询有限公司 宁夏 银川 750021

摘要：建筑工程材料的耐久性是决定建筑结构服役寿命、安全性能与全生命周期成本的核心要素。在全球倡导可持续发展与绿色建筑的背景下，提升材料耐久性不仅是保障人民生命财产安全的基石，更是实现资源节约、减少建筑垃圾、降低碳排放的关键路径。本文旨在系统性地剖析影响建筑工程材料耐久性的内外部因素，涵盖环境侵蚀（物理、化学、生物）、荷载作用、材料自身特性及施工质量等维度，并在此基础上，从材料科学创新、结构设计优化、精细化施工管理以及智能监测与维护四个层面，深入探讨提升材料耐久性的综合路径。通过整合前沿技术与先进理念，为构建更安全、更长寿、更可持续的未来建筑提供理论支撑与实践指导。

关键词：建筑工程；材料耐久性；影响因素；提升路径；全生命周期

引言

建筑是人类文明与经济发

展的基石，其核心价值不仅在于当下功能，更在于持久服务能力，而材料耐久性是建筑“健康”“长寿”的根本。耐久性关乎材料在长期使用中保持性能、抵抗劣化等能力，是衡量建筑品质的重要标尺。但现实中，众多建筑因材料过早劣化面临维修、报废，钢筋混凝土锈蚀、钢结构腐蚀等问题频发，造成巨大经济损失，还潜藏安全隐患。如今，我国城镇化进入高质量发展阶段，“双碳”目标提出，建筑行业从“量”到“质”转型，“大拆大建”模式难以为继，提升材料耐久性、延长建筑寿命成为必然选择。因此，系统研究材料耐久性影响机理与提升路径意义重大、需求迫切，本文将围绕此展开全面论述。

1 建筑工程材料耐久性内涵及其重要性

1.1 内涵

耐久性并非一个孤立的物理或化学指标，而是一个复杂的、多维度的系统性概念。它体现在材料抵抗一系列随时间推移而发生的、不可逆的性能退化过程的能力上。对于不同的建筑材料，其耐久性的具体表现形式各异。混凝土的耐久性主要表现为抗渗性、抗冻融循环能力、抗化学侵蚀能力，以及抑制内部钢筋锈蚀的能力；钢材的核心在于其抗大气、水、土壤等环境中电化学腐蚀的能力；木材的关键则在于抵抗真菌腐朽、昆虫蛀蚀、紫外线老化以及湿胀干缩引起的开裂变形；而高分子材料如防水卷材和密封胶，则侧重于抗紫外线老化、耐高低温交变、抗臭氧侵蚀以及长期蠕变性能。

1.2 重要性

材料耐久性的重要性体现在三个相互关联的层面。首先，在安全性层面，耐久性失效往往是结构安全事故

2 建筑工程材料耐久性的影响因素分析

2.1 外部环境因素

2.1.1 物理作用因素

物理作用因素中，温度的周期性升降会引起材料内部产生热胀冷缩应力，不同材料或同一材料不同部位的热膨胀系数差异会导致界面处产生附加应力，长期作用下引发开裂、脱粘，而极端高温还可能改变材料的微观结构。湿度与干湿循环同样是关键因素，水作为绝大多数劣化过程的媒介，高湿度环境促进化学反应，干湿循环则加剧了物理破坏，尤其是在寒冷地区，混凝土吸水饱和后遭遇低温冻结，内部孔隙水结冰膨胀会产生巨大的内应力，反复冻融循环最终导致混凝土表面剥落、内部疏松^[1]。此外，太阳光中的紫外线能打断高分子材料中的化学键，导致其老化、变脆、粉化，丧失原有的力学和防护性能，而风沙与磨蚀则会对建筑外立面造成持续的物理冲刷和损耗。

2.1.2 化学作用因素

工业废气中的二氧化硫、氮氧化物等溶于雨水形成

酸雨,对碳酸盐类石材以及金属构件具有强烈的腐蚀作用,并能中和混凝土孔隙液中的碱性,破坏钢筋表面的钝化膜。在沿海地区及使用除冰盐的道路桥梁结构中,氯离子侵蚀是“头号杀手”,它能穿透混凝土保护层,到达钢筋表面并破坏其钝化膜,引发并加速钢筋的电化学锈蚀,锈蚀产物的体积膨胀会胀裂混凝土保护层,形成恶性循环。硫酸盐侵蚀则源于土壤、地下水或海水中的硫酸根离子,它能与水泥水化产物反应生成体积膨胀的产物,导致混凝土内部产生膨胀应力,引起开裂、剥落和强度丧失。此外,当混凝土中的碱含量过高且骨料中含有活性二氧化硅时,在有水存在的条件下会发生碱-骨料反应,生成吸水膨胀的凝胶,其膨胀压力会从内部撑裂混凝土,被称为混凝土的“癌症”。

2.1.3 生物作用因素

在潮湿、温暖的环境中,微生物会在材料表面滋生,其新陈代谢产物能腐蚀混凝土、金属和石材,例如污水管道中的硫酸盐还原菌能通过一系列生化反应生成硫酸,对混凝土管壁造成严重腐蚀。植物根系具有强大的生长力,能沿着微小的裂缝侵入墙体或路面,随着根系增粗,对结构产生劈裂作用。动物侵害,如白蚁、蛀虫对木质结构的直接威胁,以及鸟类排泄物的腐蚀性,也是不可忽略的生物影响因素。

2.2 荷载与应力因素

除了环境侵蚀,结构所承受的各种荷载也是影响材料耐久性的重要因素。长期的恒载和活载会使材料处于持续的应力状态,可能导致混凝土的徐变或预应力钢筋的应力松弛,进而影响结构的长期变形和性能。更为严峻的是动力荷载,如风荷载、地震作用、交通振动等交变荷载会引起材料的疲劳损伤,即使应力水平远低于材料的静态强度,反复的应力循环也会在材料内部萌生微裂纹并逐渐扩展,最终导致疲劳断裂,这对于钢结构、预应力混凝土结构尤为关键。此外,结构设计不合理或施工缺陷造成的应力集中区域,往往是裂纹萌生和扩展的起点,会极大地加速局部材料的劣化进程。

2.3 材料自身因素

材料的组成与配比,如水泥品种、水胶比、矿物掺合料的种类与掺量、骨料的级配与洁净度、外加剂的选择等,都直接决定了混凝土的密实度、孔隙结构和化学稳定性,进而影响其抗渗、抗侵蚀能力,钢材的合金成分和纯净度也直接决定了其耐蚀性。更深层次地看,材料的微观结构,包括孔隙率、孔径分布、界面过渡区的特性等,是控制侵蚀性介质传输速率的关键,致密、低渗透性的微观结构是高耐久性的基础^[2]。同时,材料在生

产过程中不可避免地会存在微裂纹、气孔等初始缺陷,这些缺陷在外部环境和应力的耦合作用下,极易成为劣化过程的突破口。

2.4 设计与施工因素

再好的材料,若设计不当或施工粗糙,其耐久性也无法得到保障。在结构设计方面,保护层厚度不足是导致钢筋过早锈蚀的常见失误,排水设计不畅会造成局部积水,加剧冻融和化学侵蚀,而构造细节处理不当,如伸缩缝、施工缝的设计,会形成薄弱环节。施工质量则是影响耐久性的最后一道、也是最关键的一道关口。混凝土浇筑振捣不密实会留下蜂窝、孔洞;养护不到位会导致早期塑性收缩裂缝和强度发展不良;钢筋定位不准会减小有效保护层厚度;焊接质量差会留下腐蚀隐患。可以说,大量的耐久性问题都源于施工阶段的质量控制不严,这凸显了精细化施工管理的极端重要性。

3 提升建筑工程材料耐久性的综合路径

面对错综复杂的耐久性影响因素,必须采取系统性的、全链条的策略来加以应对。这涵盖了从材料源头到建筑运维的全过程。

3.1 材料科学创新:打造高耐久性“基因”

材料是耐久性的载体,其性能的突破是根本出路。当前,高性能混凝土(HPC)与超高性能混凝土(UHPC)通过降低水胶比、掺加优质矿物掺合料和高效减水剂,实现了极高的密实度和强度,孔隙结构得到极大优化,从而具备卓越的抗渗、抗冻、抗化学侵蚀能力,UHPC甚至可以实现免钢筋或少钢筋设计,从根本上规避了钢筋锈蚀问题。与此同时,新型胶凝材料体系的研发和应用,如硫铝酸盐水泥、磷酸镁水泥、地聚合物等,或具有快硬早强、微膨胀特性,或具有优异的耐酸、耐高温性能,或以工业废渣为主要原料,实现了性能与环保的双重提升^[3]。纤维增强复合材料(FRP)的引入,不仅能显著提高材料的抗拉、抗弯强度和韧性,还能赋予其良好的耐腐蚀性,FRP筋可作为传统钢筋的替代品,用于海洋工程等严酷环境。更为前沿的是自修复材料的研究,通过在材料中预埋微生物胶囊、微血管网络或形状记忆聚合物,当材料出现微裂缝时,这些“智能”组分能被激活,生成新的物质填充裂缝,实现自主修复,从而延长材料寿命。此外,开发长效防腐涂料、渗透型防护剂等,为材料构筑一道抵御外界侵蚀的“盔甲”,例如硅烷浸渍能深入混凝土内部形成憎水层,有效阻止水分和氯离子的侵入,而不影响混凝土的透气性。

3.2 结构设计优化:构建耐久性“骨架”

设计是连接材料性能与工程实体的桥梁,合理的构

造是耐久性的保障。现代设计理念正从传统的“强度设计”向“全性能设计”转变，明确设定结构在不同环境作用等级下的设计使用年限和耐久性目标，相关规范已根据环境类别和作用等级，规定了相应的材料要求、构造措施和保护层最小厚度。在此基础上，冗余设计与裕度预留成为重要策略，在关键部位或严酷环境下，适当增加保护层厚度、提高混凝土强度等级、增大构件截面尺寸，为材料性能的长期退化预留安全裕度。精细化构造设计同样至关重要，通过优化排水系统确保雨水能迅速排离结构表面，合理设置并可靠密封各类变形缝，避免形成易于积水的凹陷区域，并对钢筋密集区进行专门的可施工性设计，确保混凝土能充分包裹钢筋。最终，全生命周期设计理念（LCCD）的引入，要求在方案比选阶段就综合考虑初期建造成本与未来的维护、更换成本，优先选择那些虽然初期投入较高但长期效益显著的高耐久性设计方案。

3.3 精细化施工管理：筑牢耐久性“根基”

施工是将设计蓝图和优质材料转化为实体工程的关键环节，其质量直接决定了耐久性的上限。这一过程始于严格的材料进场检验，对所有原材料进行质量复检，确保其符合设计和规范要求。在生产环节，需采用自动化、信息化的搅拌站，精确控制各种材料的计量，确保混凝土拌合物的均匀性和工作性。全过程质量管控贯穿于模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑、振捣、抹面等各工序，特别是要确保保护层垫块的数量、位置和强度，防止钢筋位移；保证振捣密实，杜绝蜂窝麻面；做好二次抹压，减少塑性收缩裂缝^[4]。其中，科学的养护制度是混凝土获得预期耐久性的最后一步，绝非可有可无，应根据气候条件，采用覆盖、洒水、喷涂养护剂或蒸汽养护等方式，保证混凝土在关键的早期（至少7-14天）处于充分湿润状态，以促进水泥水化，减少开裂风险，为整个结构的长期性能奠定坚实基础。

3.4 智能监测与预防性维护：开启耐久性“智慧之眼”

在建筑服役期间，对其进行健康监测和科学维护，是延长其寿命的有效手段。嵌入式传感器技术的发展使

得在关键部位预埋湿度、氯离子浓度、钢筋锈蚀电位、应变、裂缝宽度等传感器成为可能，从而实时、连续地采集结构内部的环境和状态数据。结合定期运用的雷达、超声波、红外热成像、半电池电位法等无损检测技术，可以对结构进行全面的“体检”，评估其当前的耐久性状况，发现潜在病害。这些海量数据可以集成到建筑的数字孪生模型中，通过大数据分析和人工智能算法，对结构的劣化趋势进行预测，评估剩余寿命，并为制定最优的维修、加固策略提供决策支持。基于此，维护模式得以从“坏了再修”的被动响应，转向基于状态评估的预防性维护，在材料性能退化到临界点之前，及时采取防护措施，以最低的成本实现最长的使用寿命。

4 结语

建筑工程材料耐久性关乎安全、经济与可持续发展，其影响因素复杂多样，涵盖自然环境、荷载作用、材料特性及设计施工等多方面。提升耐久性需采取全链条、多维度、智能化综合路径，从材料科学源头创新，研发新型材料注入高耐久性“基因”；设计阶段以全生命周期理念为指导，构建坚固“骨架”；施工阶段以工匠精神和管理手段确保细节精准，打下坚实“根基”；服役期借助智慧技术装上“智慧之眼”，实现科学维护。展望未来，随着科技进步和可持续发展理念深入，材料耐久性将成为衡量建筑文明和时代责任感的重要标志。全社会共同努力，定能建造出更多“百年建筑”，为子孙留下宝贵遗产，为全球绿色低碳转型贡献力量。

参考文献

- [1]张明星,张鹏.建筑材料耐久性对住宅建筑结构安全性的影响分析[J].居舍,2025,(19):74-76.
- [2]申双田.建筑材料耐久性检测技术在工程实践中的应用分析[J].砖瓦,2025,(11):112-114.
- [3]陆伟.建筑材料耐久性性能的提升策略研究[J].居舍,2024,(24):51-53.
- [4]胡博,邓涛.提升混凝土材料耐久性的技术途径与建筑工程实践应用[J].居舍,2025,(24):54-56.