

钢筋保护层厚度不足对结构耐久性的影响研究

王俊岭

湖北交投耀栋建筑有限公司 湖北 武汉 430050

【摘要】：钢筋保护层厚度不足是建筑结构耐久性衰减的核心隐患，直接诱发钢筋锈蚀，破坏结构整体稳定性，缩短建筑服役周期。立足钢筋锈蚀机理与结构损伤规律，剖析厚度不足对钢筋、混凝土及整体结构的消极影响，厘清隐患成因与损伤传导路径。通过梳理针对性防控与修复手段，明确全流程质量管控对规避此类问题的重要价值。研究旨在明晰厚度不足与结构耐久性的内在关联，为施工质量把控、既有结构维护提供理论支撑，助力提升建筑结构长期使用可靠性。

【关键词】：钢筋保护层；厚度不足；结构耐久性；钢筋锈蚀；质量管控

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.025

引言

钢筋保护层作为隔绝外界侵蚀、保障钢筋与混凝土协同工作的关键屏障，其厚度达标与否直接决定建筑结构的长期服役能力。厚度不足易导致外界腐蚀性介质快速穿透，破坏钢筋表面钝化膜，引发锈蚀及一系列结构损伤，这类问题在各类建筑工程中普遍存在，且隐患具有隐蔽性、累积性特点，易诱发安全风险。深入探究厚度不足对结构耐久性的影响，既能找准问题根源，也能为防控与修复工作提供明确方向。基于结构安全与耐久性需求，衔接后续对隐患成因、损伤表现及应对措施的具体探讨，为工程实践提供指导。

1 钢筋保护层厚度不足的成因剖析

1.1 施工环节操作不规范问题

施工过程中的操作偏差是导致钢筋保护层厚度不足的主要因素之一。施工人员在钢筋绑扎阶段，若未精准控制钢筋骨架位置，易出现钢筋偏移、错位现象，使得局部保护层厚度偏离设计标准。垫块的选用与铺设不合理也会造成厚度不足，如垫块强度不足被挤压破损、铺设间距过大导致钢筋下沉，或垫块材质与混凝土不兼容引发收缩差异，间接影响保护层厚度均匀性。浇筑混凝土时的振捣方式不当，可能导致钢筋移位，进一步破坏保护层的设计厚度，这类操作层面的问题往往具有隐蔽性，后续检测中易被忽视，却会对结构耐久性埋下长期隐患。

1.2 设计与图纸衔接疏漏

设计环节的考量不足的图纸衔接不畅，也是保护层厚度不足的重要诱因。部分设计方案中，对构件边角、节点等复杂部位的保护层厚度设计缺乏针对性，未充分考虑实际施工难度，导致这些部位难以达到设计要求。图纸会审环节流于形式，设计人员与施工团队未就保护层厚度的控制要点充分沟通，对施工中可能出现的问题预判不足，无法及时优化设计方案^[1]。设计图纸中对保护层厚度的标注不清晰、不明确，或与现行施工规范存在衔接偏差，会误导施工操作，使得保护层厚度在施工中出现偏差，进而影响结构的抗侵蚀能力和长期稳定性。

1.3 材料质量与环境适配不足

材料质量不达标及与使用环境适配性不足，会间接加剧保护层厚度不足的影响，也可能直接导致厚度控制失效。混凝土原材料质量不合格，如骨料级配不合理、水泥强度不足，会导致混凝土收缩开裂，使得保护层出现缝隙，相当于变相削弱了有效厚度。部分工程选用的保护层辅助材料质量不佳，如垫块尺寸偏差过大、钢筋绑扎用铁丝过粗，会影响保护层的实际有效厚度。在高温高湿、盐碱等恶劣环境下，若未针对性选用耐腐蚀材料或优化保护层设计，即使厚度基本达标，也易因材料性能衰减导致保护层失效，间接凸显厚度不足带来的隐患。

2 厚度不足对钢筋锈蚀的诱发机制

2.1 保护层屏障功能弱化原理

钢筋保护层的核心作用是形成物理与化学双重屏障，阻挡外界水分、氧气及腐蚀性介质接触钢筋。厚度不足时，这一屏障功能大幅弱化，外界介质穿透保护层的路径缩短、阻力减小，能更快抵达钢筋表面。混凝土自身的碱性环境可在钢筋表面形成钝化膜，保护钢筋不被锈蚀，而厚度不足会导致钝化膜形成不充分，且易因外界介质侵蚀而破损。当保护层厚度低于临界值时，介质穿透速度显著加快，钝化膜难以维持稳定状态，钢筋表面的腐蚀反应随之启动，进而引发钢筋截面损耗，影响结构承载能力。

2.2 腐蚀性介质的渗透路径分析

厚度不足为腐蚀性介质提供了便捷的渗透通道，不同介质的渗透路径与作用方式存在差异。水分与氧气可通过保护层的微小孔隙直接渗透，在钢筋表面形成电化学腐蚀的必要条件，随着腐蚀反应持续，孔隙会逐渐扩大，进一步加速介质渗透。在盐碱环境中，氯离子、硫酸根离子等腐蚀性离子穿透不足的保护层后，会吸附在钢筋表面，破坏钝化膜的完整性，引发局部点蚀^[2]。这些离子还会在混凝土内部形成导电通路，加剧电化学腐蚀速率，而厚度不足使得离子渗透无需克服长距离，腐蚀反应的启动时间大幅提前，对钢筋的损伤更为迅速。

2.3 锈蚀速率与厚度的关联特性

钢筋锈蚀速率与保护层厚度之间存在显著的负相关特性，厚度不足会直接加快锈蚀速率。当保护层厚度充足时，混凝土的碱性环境和物理屏障能有效抑制腐蚀反应，锈蚀速率维持在极低水平；随着厚度减小，介质渗透效率提升，锈蚀反应的反应物供应充足，锈蚀速率逐步加快。厚度不足会导致混凝土对钢筋的约束作用减弱，锈蚀产生的体积膨胀易使保护层开裂，裂缝进一步扩大介质渗透通道，形成“厚度不足—锈蚀加快—裂缝产生—锈蚀加剧”的恶性循环。这种关联特性使得即使轻微的厚度不足，也可能在长期使用中导致钢筋锈蚀量大幅增加。

3 锈蚀引发的结构耐久性损伤表现

3.1 钢筋截面损耗与强度下降

钢筋锈蚀会导致其截面面积逐渐损耗，进而引发强度大幅下降，影响结构承载能力。锈蚀产物的体积远大于钢筋本体，锈蚀过程中产生的膨胀力会使钢筋表面出现剥落、坑蚀等现象，随着腐蚀程度加深，钢筋截面逐渐缩小，有效受力面积减少。对于受力钢筋而言，截面损耗会导致其抗拉、抗压强度同步降低，无法承担设计荷载。当锈蚀率达到一定程度时，钢筋可能出现断裂风险，尤其是在梁柱节点等关键部位，钢筋强度下降会直接破坏结构的整体稳定性，引发局部或整体结构失效。

3.2 混凝土保护层开裂与脱落

钢筋锈蚀产生的膨胀力是导致混凝土保护层开裂、脱落的核心原因，这一损伤会形成连锁反应，进一步加剧结构耐久性衰减。钢筋锈蚀产物的体积可达本体数倍，其产生的径向膨胀压力一旦超过混凝土自身抗拉强度，保护层便会出现沿钢筋走向的纵向裂缝，这类裂缝从钢筋表面逐步向混凝土表层延伸、贯通，最终形成明显裂缝通道。随着裂缝持续发展，外界水分、氧气及腐蚀性介质可轻松穿透保护层进入结构内部，加速钢筋锈蚀进程与混凝土老化速度，促使裂缝不断加宽、增多^[3]。当损伤累积至临界状态，保护层会发生块状脱落，裸露的钢筋彻底失去防护，锈蚀速率急剧攀升，形成恶性循环，严重破坏结构外观完整性，同时大幅降低其使用安全性。

3.3 结构整体刚度与稳定性衰减

钢筋与混凝土之间的黏结锚固性能是保障结构整体刚度的关键，而厚度不足引发的锈蚀会破坏这一性能，导致结构刚度与稳定性大幅衰减。锈蚀会使钢筋表面变得粗糙不均，同时混凝土保护层开裂，使得钢筋与混凝土之间的摩擦力和黏结力下降，无法有效协同工作。结构在荷载作用下易出现变形增大、挠度超标等问题，影响正常使用功能。随着损伤持续累积，构件的承载能力进一步下降，结构的抗震、抗变形能力减弱，在地震、风荷载等外部作用下，易引发结构整体失稳，造成严重

的安全事故。

4 厚度不足隐患的防控与修复措施

4.1 施工阶段的厚度精准控制

施工阶段是控制钢筋保护层厚度的关键环节，需通过多重协同措施实现精准管控，从操作源头规避厚度偏差隐患。强化施工人员专项技术培训，结合工程构件特点明确厚度控制的核心操作要点与质量验收标准，通过实操演练规范钢筋绑扎、垫块铺设等关键工序的操作流程。选用强度、材质与混凝土适配的垫块，依据梁、板、柱等不同构件类型，科学确定垫块铺设间距与密度，对边角、梁柱节点等受力复杂且施工难度大的部位，增设加密垫块或采用专用钢筋定位件固定，防止钢筋发生偏移、下沉。浇筑混凝土前，采用专业工具对钢筋骨架位置及保护层厚度进行全面检测复核，对发现的偏差及时调整校正；浇筑过程中，控制振捣设备的力度与作用范围，避免振捣棒直接接触钢筋导致移位，浇筑后按规范开展养护工作，合理控制温湿度与养护周期，减少混凝土收缩开裂对保护层有效厚度的间接影响。如图1：



图1 施工中钢筋保护层厚度实测

4.2 既有结构的隐患检测与评估

对既有建筑结构开展定期的保护层隐患检测与评估，是及时排查厚度不足及衍生损伤、保障结构安全服役的重要手段，为后续修复工作提供精准依据。优先采用无损检测技术，借助雷达探测、超声波检测等手段，精准测定不同构件的保护层实际厚度，同步排查钢筋锈蚀、混凝土开裂、剥落等关联损伤。检测过程中，结合结构的使用年限、所处环境工况，如高温高湿、盐碱侵蚀等，综合判定隐患等级，明确损伤程度及对结构耐久性的潜在影响范围^[4]。针对检测发现的厚度不足、局部锈蚀等问题，制定针对性评估报告，清晰界定修复范围、施工优先级及技术参数要求，避免隐患在长期服役中持续发展，防止锈蚀加剧、裂缝扩展导致结构损伤恶化，为后续修复施工提供科学支撑，切实保障既有结构的安全使用性能。

4.3 损伤结构的针对性修复工艺

针对不同损伤程度的结构构件，需采用差异化的针对性修

复工艺,精准弥补保护层厚度缺陷,恢复结构原有耐久性与承载能力。对于仅存在轻微厚度不足且钢筋无明显锈蚀的部位,可采用涂抹高性能防腐涂层的方式,增强保护层抗外界介质侵蚀的能力,间接弥补厚度不足带来的防护短板。若构件已出现钢筋锈蚀、混凝土裂缝等复合损伤,需先彻底清除钢筋表面锈蚀产物,采用机械除锈与化学除锈结合的方式处理,后续涂刷防锈底漆,再选用修补砂浆或聚合物混凝土填补裂缝、增厚保护层,确保修复后厚度符合设计标准。

5 强化结构耐久性的质量管控体系

5.1 建立全流程质量管控机制

强化结构耐久性需建立覆盖设计、施工、运维全流程的质量管控机制,从源头规避保护层厚度不足隐患。设计阶段优化方案,结合使用环境明确保护层厚度标准,细化节点部位设计,提升施工可行性。施工阶段落实三检制度,加强对钢筋绑扎、垫块铺设、混凝土浇筑等关键环节的质量检查,及时整改偏差。运维阶段制定定期检测计划,建立结构健康档案,跟踪保护层及钢筋状态,实现隐患早发现、早处理,形成全流程闭环管控,保障结构长期服役安全。

5.2 完善质量管控责任体系

完善质量管控责任体系,需清晰界定各参与方职责边界,构建权责对等的管控机制,为钢筋保护层厚度控制与结构耐久性提供坚实保障。明确设计、施工、监理单位的核心质量责任,将保护层厚度达标率纳入各单位关键考核指标,细化考核标准,确保责任层层传导、落实到人。监理单位需强化施工现场

动态巡查,对钢筋绑扎、垫块铺设、厚度检测等关键工序实行全程旁站监理,严格核查检测数据与结果,坚决杜绝不合格工序流入下一环^[5]。建立全流程责任追溯机制,对因管控不力、履职不到位导致保护层厚度不足及衍生结构损伤的,依法依规追究相关单位及责任人责任,通过责任约束倒逼各参与方严格执行质量标准,筑牢结构耐久性管控防线。

5.3 推动管控技术与标准升级

推动管控技术与标准升级,提升保护层厚度控制的精准度和科学性,强化结构耐久性保障能力。引入先进的施工定位技术和检测设备,如智能钢筋定位仪、高精度雷达检测仪等,提高厚度控制和隐患检测的效率与准确性。结合工程实践经验,完善相关施工规范和质量标准,细化不同环境、不同构件的保护层厚度要求及管控措施。加强技术研发与推广,推广使用高性能防腐材料、专用定位构件等,提升保护层的抗侵蚀能力和施工稳定性,为结构耐久性提供技术支撑。

6 结语

本文围绕钢筋保护层厚度不足对结构耐久性的影响展开深入探讨,明确其通过诱发钢筋锈蚀,引发截面损耗、混凝土开裂脱落等连锁损伤,最终削弱结构承载能力与服役寿命。施工不规范、设计疏漏及材料适配不足是核心成因,需依托施工精准管控、既有结构隐患检测评估及针对性修复工艺防控风险。强化全流程质量管控体系、完善权责机制与升级管控技术,能从源头规避隐患、修复损伤。厚度不足引发的结构问题具有隐蔽性与长期性,唯有坚守各环节质量底线,才能为建筑结构长期稳定服役筑牢根基,提升工程整体耐久性水平。

参考文献:

- [1] 李新曜.钢筋保护层质量控制方法[J].建材发展导向,2025,23(24):91-93.
- [2] 金广.混凝土结构中钢筋保护层厚度检测研究[J].佛山陶瓷,2025,35(10):89-91.
- [3] 唐炜.保护层厚度检测方法及其耐久性评价实践[J].广东建材,2025,41(10):58-60+71.
- [4] 卢睿星.基于电磁感应法的钢筋保护层厚度检测精度影响因素研究[J].江西建材,2025,(09):152-154+168.
- [5] 黄泽福.钢筋保护层厚度检测结果科学准确性探究[J].中国住宅设施,2025,(08):58-60.