

高强钢筋应用对建筑结构安全性与工程监理控制的影响

陆洪雨

上海同济工程项目管理咨询有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i3.13591

[摘要] 本研究聚焦于高强钢筋在建筑结构中的实践应用,重点分析了其对建筑结构安全性及工程监理控制的影响作用。以HRB400型号高强钢筋的力学参数为研究基础,选取实证对象来全面解析该材料在结构承重能力、地震荷载响应和抗腐蚀性能方面的强化机制;在施工监理过程中,详细考察了材料进场检验规范、钢筋加工安装技术参数及工程质量检测手段等核心管控要素,科学规范的监管方案可以显著的降低施工误差与潜在质量风险。研究结论为改进高强钢筋技术应用规程、优化质量监控体系提供数据支撑,对实现高层建筑安全性能与成本效益的协同提升具有指导意义。

[关键词] 高强钢筋; 建筑结构安全性; 工程监理控制; 抗震性能

中图分类号: TG335.6+4 **文献标识码:** A

The impact of high-strength steel bar application on the safety of building structures and engineering supervision control

Hongyu Lu

Shanghai Tongji Engineering Project Management Consulting Co., Ltd.

[Abstract] This study focuses on the practical application of high-strength steel bars in building structures, with a particular emphasis on analyzing their impact on building safety and construction quality supervision. Based on the mechanical parameters of HRB400 high-strength steel bars, empirical objects are selected to comprehensively analyze the strengthening mechanism of this material in terms of structural load-bearing capacity, seismic load response, and corrosion resistance; During the construction supervision process, core control elements such as material entry inspection standards, steel bar processing and installation technical parameters, and engineering quality inspection methods were carefully examined. A scientific and standardized supervision plan can significantly reduce construction errors and potential quality risks. The research conclusion provides data support for improving the application regulations of high-strength steel reinforcement technology and optimizing the quality monitoring system, which has guiding significance for achieving the synergistic improvement of safety performance and cost-effectiveness of high-rise buildings.

[Key words] high-strength steel bars; Building structural safety; Engineering supervision control; Seismic performance

前言

近年来,高强钢筋在建筑工程中逐步替代传统钢材,国家政策推动下,HRB400级钢筋应用比例持续提升。材料的高屈服比与延展性优势显著优化了结构设计参数,但施工工艺差异导致力学性能波动风险增加。现有研究多聚焦于高强钢筋的力学特性与结构承载力提升机理,针对工程监理控制体系的研究尚未形成系统性成果。实际工程中,高层住宅项目因钢筋连接质量缺陷引发的结构隐患频现,暴露出材料验收、工艺参数控制等环节的技术盲区。基于此,本文结合典型工程案例,系统分析高强钢筋对建筑结构安全性的多维影响,提出工程监理控制的关键节点,

为规范施工质量管理提供理论支撑。

1 高强钢筋的基本特性

1.1 高强钢筋的定义与分类

高强钢筋屈服强度不低于400MPa,其特征是成分优化与工艺强化。主要分为三类:热轧带肋钢筋通过控轧控冷和肋纹设计,提升性能并增强与混凝土粘结;冷加工钢筋靠冷拉、冷拔提升强度,但延性降低;余热处理钢筋经快速冷却和回火平衡强度与塑性。这三类钢筋适用于不同荷载与部位,热轧带肋钢筋因综合性能优势成为主流应用。

1.2 高强钢筋的力学性能

高强钢筋的力学特性表现为高屈服强度、高屈强比与特定延展性,其应力-应变关系符合双线性本构模型。在弹性阶段,钢筋应力 σ 与应变 ε 呈线性关系,弹性模量 E 保持稳定;进入塑性阶段后,应变硬化效应显著,应力增长速率减缓。该特性可表述为:

$$\sigma = \begin{cases} E\varepsilon & (\varepsilon \leq \varepsilon_y) \\ \sigma_y + K(\varepsilon - \varepsilon_y) & (\varepsilon > \varepsilon_y) \end{cases}$$

式中, σ 为屈服强度, ε 为屈服应变, K 为硬化模量。公式表明,高强钢筋在结构受力时能够维持较高承载力的同时,通过塑性变形耗散能量,这对结构抗震设计具有关键意义。实际工程中,该本构模型用于计算构件极限承载力与延性指标,指导配筋方案优化^[1]。

1.3 高强钢筋的施工特点

高强钢筋施工中,材料强度提升对工艺匹配性要求更高。冷弯时,弯折半径需严格控制,防止表面微裂纹扩展导致力学性能下降;焊接时,优先选用低氢型焊条,合理调控热能输入,避免热影响淬硬;机械连接时,直螺纹套筒的丝头加工精度对连接强度和疲劳性能至关重要。构件成型阶段,保护层厚度和锚固长度影响钢筋与混凝土的协同工作,锚固长度不足易引发粘结滑移。低温环境下,预热处理可防止钢筋冷脆,维持塑性。这些环节是高强钢筋施工质量保障的关键难点。

2 高强钢筋对建筑结构安全性的影响

2.1 对结构承载力的提升作用

高强钢筋凭借高屈服强度,显著提升建筑构件的抗弯与抗剪效能。在受弯构件设计中,高强钢筋可降低配筋率,减少截面尺寸对承载能力的限制,实现梁板等水平构件的轻量化。对于受压构件,钢筋与混凝土的协同作用能抑制纵向裂缝发展,改善柱体轴压比控制指标。但需注意,高强钢筋弹性模量与普通钢筋相近,开裂荷载提升有限,需通过优化配筋方案来平衡刚度与承载能力。

2.2 对结构抗震性能的影响

高强钢筋的延性与能量耗散能力是影响结构抗震性能的核心因素。在强震作用下,钢筋进入塑性阶段后,其应变硬化模量决定构件的滞回耗能效率。高屈强比特性虽提升构件屈服后的承载力,但可能降低塑性较区域的转动能力,需通过约束混凝土或调整配筋形式补偿延性损失。在节点核心区,高强钢筋的高粘结强度削弱了裂缝开展宽度,减少剪切滑移风险,但过高的强度梯度易引发应力集中,需优化钢筋锚固长度与弯折构造^[2]。对于框架结构,高强钢筋的应用可缩小“强柱弱梁”机制下的截面差异,促使塑性较更均匀分布,从而提升整体结构的耗能路径稳定性。

2.3 对结构耐久性的影响

高强钢筋的耐腐蚀特性受材料表面状况、应力分布及环境侵蚀作用共同制约。合金元素的存在虽能减缓整体腐蚀进程,但材料高应力分布可能诱发局部点蚀与应力腐蚀裂纹扩展。氯

离子侵蚀环境下,钢筋表面钝化层稳定性降低,裂纹区域应力集中现象加速腐蚀产物体积膨胀,引发混凝土保护层剥离。焊接工艺与冷加工参数须严格规范,防止氢原子渗透晶界引发滞后断裂风险,这与材料的氢脆敏感性密切相关。长期服役条件下,钢筋与混凝土界面粘结滑移特征制约裂缝自修复能力,过高粘结应力可能促进微观裂缝发展,可借助矿物掺合料掺入增强混凝土密实性,协调材料变形匹配。冻融循环工况下,钢筋低温韧性降低现象可能加剧混凝土膨胀开裂,需依据耐久性标准优化保护层参数与配筋间距配置。

3 高强钢筋应用中的工程监理控制

3.1 材料进场验收与质量控制

高强钢筋进场质量管控需要严格遵循现行国家标准与设计文件规定,重点检查产品标识、规格参数和表观质量,监理单位需要对供应商提供的质量证明文件展开核验,涵盖化学元素检测报告和力学性能指标,重点确认硫、磷等杂质含量满足GB/T1499.2的规范要求;表观质量评估需要重点识别钢筋表面裂纹、疤痕及横肋损伤,防范轧制缺陷造成力学性能波动;对于余热处理钢筋,质量监控要着重于应变失效敏感系数的检测,监理方需要进行抽样测试,防范持续应力作用引发的塑性衰减;存储管理过程则需要落实存储区域防潮处理与垫高层架设置的要求,防止锈蚀或物理损伤导致材料性能退化^[3]。

3.2 施工工艺与技术要求

高强钢筋施工质量监控需要覆盖加工成型、连接作业与安装定位全流程。加工阶段冷弯处理过程中,监理人员需要检测弯折半径与角度误差,防范晶粒滑移引发的微观裂纹;焊接作业需要查验操作人员资格证书与工艺评定文件,重点监测预热温度与层间温度参数,减少热影响区淬硬组织和氢致裂纹的形成风险;直螺纹套筒机械连接质量控制必须检测螺纹加工精度与套筒紧固扭矩,维持连接部位抗拉强度不低于母材标准值。安装阶段需要核对绑扎定位精度与保护层控制参数,必须特别关注梁柱节点区箍筋加密区段与锚固尺寸,达到消除构造缺陷对节点抗震效能造成负面影响的目的。

3.3 现场检测与质量验收

高强钢筋施工质量评估需要整合无损探伤与破坏性测试双重验证方法,监理单位应使用超声波探伤技术抽查焊接接头质量,参照JGJ18的规范判定内部裂纹、未熔合等缺陷级别;机械连接接头需要实施单向拉伸测试,检验断裂位置与形变能力是否符合延展性设计要求,保护层厚度测定可以基于电磁感应原理扫描钢筋排布状态,对照设计文件修正偏差阈值;钢筋间距控制需借助钢尺测量或者激光定位技术,维持最小间距符合混凝土振捣密实条件,隐蔽工程验收过程须审查钢筋替代技术文件与构造详图变更程序,防范配筋率不足或锚固长度缩减产生的结构风险,质量等级评定应汇总材料复验结果、工艺参数与检测指标,建立完整可溯源的工程档案体系,作为竣工验收的技术支撑。

4 高强钢筋应用中的常见问题与对策

4.1 施工中的常见问题

高强钢筋应用中存在材料性能偏差、加工精度不足、连接质量隐患三大问题。材料性能偏差表现为屈服强度实测值与标准值离散，部分HRB400钢筋屈服比超0.85，延性降低；加工环节因弯折半径不满足10d规范，冷弯试验易断裂，弯折处微裂纹多；连接工艺方面，直螺纹套筒扭矩波动±10%，丝头螺纹长度不足致连接强度下降，焊接热影响区晶粒粗大，冲击韧性降低，闪光对焊接头弯曲试验开裂率达12%，纵向钢筋定位偏差超±5mm，影响应力传递。保护层厚度控制不严，钢筋易锈蚀，碳化深度3mm即锈斑；施工荷载下临时支撑刚度不足，钢筋骨架变形，最大挠度达L/300；低温焊接未预热，焊缝冲击功低于27J标准；电渣压力焊电流参数不当，熔合区夹杂物超标；钢筋代换未遵循等强原则，截面调整后未复核配筋率。

4.2 监理控制中的难点与对策

监理过程面临材料验收、隐蔽工程验收、检测手段局限性三大难点。进场钢筋质量证明文件与实物标牌不符率约3%，需建立二维码追溯系统。见证取样环节存在试样调包风险，需用区块链记录制备影像。直螺纹接头检验报告与现场参数偏差超15%，应开发物联网扭矩扳手实时上传数据。隐蔽验收时，钢筋间距测量误差达±2mm，建议引入三维激光扫描技术生成点云模型进行数字化验收；焊接质量目测检查无法发现内部缺陷，需配备相控阵超声检测设备；保护层厚度检测受模板误差影响，应采用电磁感应法结合雷达波法进行三维定位检测。动态施工荷载下，钢筋应力状态难以监控，可部署光纤光栅传感器实时监测应变变化。复杂节点钢筋交叉干涉问题，需应用BIM技术进行三维碰撞检测并优化排布。监理平行检测频率不足规范要求的20%，应建立智能抽检算法自动调整检测频次^[5]。

4.3 案例分析

本案例选取XDG-2006-77号地块三期工程中高强钢筋应用实践，该项目为无锡市滨湖区超高层住宅建筑群，其中5#、6#楼为44层剪力墙结构（高132.3m），7#楼为38层剪力墙结构（高114.3m），抗震等级为一级至二级。HRB400级钢筋广泛应用于框架梁、剪力墙暗柱、楼板、楼梯、电梯井道等核心筒部位，确保结构的整体抗震性能与承载能力。进场HRB400级钢筋抽检力学性能如表1所示：进场HRB400级钢筋抽检力学性能如表1所示：

表1 进场HRB400级钢筋抽检力学性能

屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	屈服比	伸长率 (%)
430	580	0.741	17.5
455	605	0.752	16
480	620	0.774	14.8
495	630	0.786	13.2

表1显示批次D屈服比接近GB/T1499.2-2018限值0.80，监理方依据规范要求加倍复检，复检屈服比均值为0.789，判定合格但限制用于非抗震楼板区域。剪力墙暗柱Φ22mm直螺纹接头抽检中，12%的丝头有效螺纹长度不足，8%的套筒扭矩偏差超限，采用修正公式校核缺陷接头承载力：

$$N_u = 0.9 f_y A_s \cdot \eta + 0.7 f_{cu} A_c$$

式中 f_y 为钢筋屈服强度，取设计值400MPa； A_s 为钢筋截面积，取380mm²； η 为连接效率系数，实测均值为0.91； f_{cu} 为混凝土抗压强度，取35MPa； A_c 为混凝土受压区面积，取1200mm²。计算表明缺陷接头承载力损失显著，对不合格接头采取外包钢板加固措施，补强后复测承载力满足设计要求。监理过程中建立钢筋炉批号动态追溯系统，强化材料抽检频率；应用物联网扭矩扳手实时监控套筒拧紧扭矩，数据偏差显著降低；通过BIM模型优化梁柱节点箍筋加密区长度，混凝土保护层厚度合格率提升。竣工检测数据显示，结构实体钢筋间距及直螺纹接头验收合格率均达到规范要求，最大裂缝宽度严格控制在限值以内，验证了高强钢筋在超高层结构中的安全性与监理控制体系的有效性。

5 结语

研究系统解析了高强钢筋提升建筑结构安全性的作用机制及工程监管体系构建，HRB400级钢筋优异屈服比与应变硬化特征可优化构件截面参数，增强结构抗震耗能能力，材料屈服比波动须严格管控以维持延展性能，工程监管过程实施材料性能追踪、直螺纹连接参数数字化监控及隐蔽工程三维扫描技术，构建全流程质控闭环。研究证实基于双线性本构关系的钢筋设计策略可协同优化承载力与延性，智能扭矩扳手与BIM验收系统能有效降低施工偏差。成果为超高层与大跨结构应用提供理论支撑与标准监管框架，对建筑材料升级与施工管理创新具有普适指导价值。

【参考文献】

- [1]章程,张强.新型直螺纹套筒在HRB635高强钢筋端部约束连接中的应用[J].中国建筑装饰装修,2025,(2):190-192.
- [2]黄云超,高丹盈,房栋,等.高强钢筋钢纤维高强混凝土梁受弯裂缝宽度影响系数的概率分布与取值建议[J].建筑结构学报,2024,45(11):131-140+188.
- [3]赵军元.既有建筑结构检测及安全性评定探究——基于模糊综合评判模型[J].中国建筑金属结构,2024,23(7):172-174.
- [4]曾思智,罗海平,刘鑫宇.基于超高强灌浆料的高强钢筋套筒灌浆连接力学性能试验研究[J].建筑科学,2024,40(3):57-66.
- [5]李艳艳,赵银磊,武凯,等.高强钢筋与超高性能混凝土粘结性能及可靠度分析[J/OL].工程力学,1-10[2025-03-21].

作者简介：

陆洪雨(1974--),男,汉族,江苏启东人,本科,工程师,研究方向：土木工程方向。