

基于施工工序耦合效应的钢筋混凝土框架结构设计

于佳

山西能源学院

摘要: 针对传统钢筋混凝土框架结构设计中忽略施工阶段影响的问题,本文引入施工工序耦合效应的研究视角,系统分析不同施工工序对结构内力分布、变形发展及长期性能的影响机理。在此基础上,提出将施工阶段分析方法融入结构设计全过程的技术思路,通过识别不利施工工况实现关键构件的针对性优化。研究表明,考虑施工工序耦合效应有助于提高结构设计的安全性及工程适用性。

关键词: 施工工序耦合效应; 钢筋混凝土框架结构; 施工阶段分析; 结构设计

钢筋混凝土框架结构因其整体性好、承载能力强、适应性广,在工业与民用建筑中得到广泛应用。随着建筑规模不断扩大、结构体系日益复杂,传统以单一设计阶段为核心、忽略施工过程影响的结构设计方法逐渐暴露出适应性不足的问题。大量工程实践表明,钢筋混凝土框架结构的实际受力性能不仅取决于设计参数本身,还与施工工序安排、施工阶段顺序以及不同工序之间的相互作用密切相关。施工过程中模板支设、钢筋绑扎、混凝土浇筑及养护等工序之间存在显著的时间关联与力学耦合效应,这种耦合关系会对结构的应力分布、变形发展以及最终使用性能产生持续影响。

现行结构设计规范多以结构成型后的理想状态作为分析对象,在计算模型中往往忽略施工阶段的受力演化过程,导致设计结果与实际结构性能之间存在一定偏差。尤其是在多层或高层钢筋混凝土框架结构中,施工阶段的逐层加载、构件刚度演化以及混凝土龄期差异,都会引起内力重分布和附加变形,这些因素如果在设计阶段未加以合理考虑,可能导致结构安全储备降低,甚至引发裂缝控制困难、变形超限等工程问题。

在此背景下,引入施工工序耦合效应的分析视角,将施工过程视为结构性能形成的重要组成部分,对钢筋混凝土框架结构进行系统设计,具有重要的理论意义和工程价值。本文以施工工序耦合效应为研究核心,在分析其作用机理的基础上,探讨其对框架结构受力性能的影响,并进一步提出基于施工工序耦合效应的结构设计思路与方法,以期对钢筋混凝土框架结构的精细化设计与施工协同提供理论参考。

1 施工工序耦合效应的理论基础

1.1 施工工序耦合效应的内涵与特征

施工工序耦合效应是指在结构施工过程中,不同施工工序在时间、空间及力学层面上相互影响、相互

制约,并共同作用于结构性能形成过程的综合效应。在钢筋混凝土框架结构施工中,各构件并非同时成型,而是按照一定施工顺序逐步完成,这使得结构在施工阶段处于不断演化的非稳定状态。此时,已成型构件需要承担新增构件和施工荷载的作用,从而形成阶段性受力体系。

从特征上看,施工工序耦合效应具有明显的阶段性、累积性与不可逆性。阶段性体现在结构受力状态随施工进度不断变化,不同施工阶段的力学特征差异显著;累积性表现为早期施工阶段产生的变形与应力会在后续阶段持续存在并叠加;不可逆性则体现在混凝土硬化后,因施工顺序不合理而引起的内力偏差难以通过后期调整完全消除。这些特征使得施工工序耦合效应成为影响钢筋混凝土框架结构真实性能的重要因素。

1.2 施工阶段力学行为与结构设计的关系

施工阶段力学行为是连接施工工序与结构设计之间的关键纽带。传统结构设计通常假定结构在投入使用前已达到整体成型状态,各构件具有统一的材料性能和完整的约束条件。然而在实际施工过程中,结构力学行为呈现出明显的非线性特征,构件刚度随混凝土龄期变化而变化,结构体系在不同阶段的受力路径也不断调整。

这种施工阶段力学行为若未在设计阶段予以考虑,容易导致设计内力与实际内力分布不一致。例如,在逐层施工的框架结构中,下部柱在早期施工阶段即承受较大的竖向荷载,其应力水平明显高于设计计算值,而上部构件则可能在后期产生附加内力。由此可见,将施工阶段力学行为纳入结构设计分析体系,是实现设计与施工协同优化的重要前提。

2 施工工序耦合效应对钢筋混凝土框架结构性能的影响

2.1 对结构内力分布与受力路径的影响

在钢筋混凝土框架结构施工过程中,由于构件并

非一次性整体成型,而是按照既定施工顺序逐层、逐构件完成,结构体系在不同施工阶段呈现出显著差异的受力特征。施工工序耦合效应使得结构内力分布不再仅由最终使用阶段的荷载组合决定,而是受到施工阶段荷载施加顺序、构件刚度演化以及体系约束条件变化的共同影响。尤其在多层框架结构中,下部构件往往在上部结构尚未完全形成时即开始承担竖向施工荷载,其实际受力水平明显高于基于成型结构假定得到的计算结果。随着施工进度推进,新增构件不断参与受力,原有构件的内力状态随之发生调整,但早期形成的内力并不会完全释放,而是与后续荷载共同作用,形成叠加效应。这种由施工工序引起的内力累积现象,会改变结构原有的受力路径,使部分构件在使用阶段长期处于较高应力水平。如果在结构设计阶段忽略施工工序耦合效应,容易导致关键构件受力估计不足,从而削弱结构整体安全储备。

2.2 对结构变形发展与裂缝控制的影响

施工工序耦合效应不仅影响结构内力分布,还对钢筋混凝土框架结构的变形发展与裂缝控制产生持续作用。在施工过程中,不同构件的浇筑时间和受力历史存在差异,混凝土收缩和徐变效应在时间维度上表现出明显的不均匀性,这种差异在结构体系中逐步累积,容易引发附加变形和次生内力。以梁板体系为例,早期浇筑的梁板在后续施工阶段需长期承受施工荷载,其挠度会随时间不断发展,而后期浇筑构件则在既有变形基础上形成约束,从而产生附加拉应力。这一过程若未在设计阶段加以控制,可能导致结构在使用阶段出现挠度偏大、裂缝提前出现或裂缝宽度难以满足规范要求等问题,进而影响结构的耐久性和使用性能。

2.3 对结构整体稳定性与长期性能的影响

从整体结构层面看,施工工序耦合效应还会对框架结构的稳定性和长期服役性能产生深远影响。施工阶段形成的不利内力状态和初始变形,会在结构投入使用后长期存在,并在活荷载、环境作用等影响下进一步放大。特别是在高层或大跨度框架结构中,施工阶段效应往往成为影响结构长期性能的重要因素之一。因此,将施工工序耦合效应纳入结构性能分析框架,有助于更加全面地认识钢筋混凝土框架结构在全生命周期内的受力与变形特征,为后续结构设计方法的优化奠定基础。

3 基于施工工序耦合效应的钢筋混凝土框架结构设计方法

3.1 结构设计理念的转变与方法框架构建

传统钢筋混凝土框架结构设计通常以结构最终成

型状态为研究对象,将施工过程简化为荷载一次性施加的理想工况。这种设计理念在工程实践中具有一定的简化优势,但难以真实反映结构在施工阶段经历的复杂受力演化过程。随着建筑规模和结构复杂程度不断提高,施工工序对结构性能形成的影响日益突出,单纯依赖成型结构假定已难以满足安全性和可靠性要求。

基于施工工序耦合效应的结构设计方法,强调将施工过程视为结构性能形成的重要阶段,通过全过程分析实现设计参数的合理确定。在这一理念下,结构设计不再局限于使用阶段的极限状态验算,而是将施工阶段的受力与变形纳入整体设计框架,从而实现结构真实工作状态的全面把控。这种设计理念的转变,为钢筋混凝土框架结构由经验型设计向精细化、过程化设计转变提供了理论支撑。

3.2 施工阶段分析在结构设计中的具体应用

在工程实践中,将施工工序耦合效应引入结构设计的关键在于施工阶段分析方法的合理应用。该方法以施工进度为主线,将结构施工过程划分为若干关键阶段,在每一阶段分别建立相应的计算模型,并根据实际施工顺序逐步施加自重、施工荷载及临时支撑条件,从而模拟结构内力与变形的动态演化过程。

通过施工阶段分析,可以更加准确地识别结构在施工过程中可能出现的不利受力状态。例如,在逐层施工的框架结构中,下部柱和核心梁往往在早期阶段承担较大的施工荷载,其内力水平显著高于最终使用阶段的计算结果。基于施工阶段分析得到的内力包络值,可作为构件截面设计和配筋计算的重要参考依据,从而有效避免因忽略施工效应而导致的设计偏差。

3.3 关键构件设计的针对性优化策略

在基于施工工序耦合效应的设计体系中,对关键构件进行针对性优化是提升结构整体性能的重要环节。对于施工阶段内力变化显著的竖向构件,如框架柱和剪力墙,应在设计中充分考虑施工阶段附加轴力和弯矩的影响,适当提高构件安全储备,确保其在施工和使用全过程中的受力安全。对于梁板等易受变形控制的构件,应重点关注施工阶段挠度发展和裂缝控制问题。通过合理控制施工荷载、优化截面尺寸以及调整配筋方式,可以有效减小施工阶段变形对结构长期性能的不利影响。同时,在设计中预留合理的施工变形控制措施,有助于提升结构的整体服务性能和耐久性。

3.4 设计与施工协同优化的实现路径

基于施工工序耦合效应的钢筋混凝土框架结构设计,不仅是一种计算方法的改进,更是一种设计与施

工协同优化的系统思路。在实际工程中,设计人员应在方案阶段与施工单位充分沟通,明确施工顺序、临时支撑布置及关键工序控制要求,并将相关信息融入结构设计文件之中。在施工过程中,通过对关键施工阶段进行监测与反馈,可进一步验证设计假定的合理性,并为后续工程积累经验。这种以施工工序耦合效应为核心的协同设计模式,有助于实现结构安全性、经济性与施工可行性的统一,为钢筋混凝土框架结构的高质量建设提供有力支撑。

4 结论

钢筋混凝土框架结构在实际工程中广泛应用,其受力性能和使用状态不仅取决于设计参数本身,还受到施工过程多工序相互作用的显著影响。本文围绕施工工序耦合效应这一关键问题,系统分析了施工阶段不同工序对钢筋混凝土框架结构内力分布、变形发展及整体性能形成的作用机理,揭示了施工阶段受力演化与成型结构计算结果之间可能存在的偏差来源。研究表明,施工工序耦合效应会引起结构内力路径的重分布和变形的持续累积,尤其对框架柱、关键梁板等主要受力构件影响显著。若在结构设计阶段忽略施工阶段效应,容易导致构件安全储备不足或变形控制失效,从而对结构长期安全性和耐久性产生不利影响。基于此,本文提出将施工阶段分析方法引入钢筋混凝土框架结构设计,通过全过程受力分析识别不利

工况,为构件截面设计和配筋优化提供更加真实可靠的依据。同时,研究强调了设计与施工协同的重要性。通过在设计阶段充分考虑施工顺序、施工荷载及临时支撑条件,并在施工过程中加强信息反馈与动态调整,可有效降低施工工序耦合效应带来的不确定性风险。

参考文献:

- [1] 刘源. 钢筋混凝土框架结构设计中如何有效实现结构加固[J]. 石材, 2024,(01):98-100.
- [2] 王千. 加固技术在钢筋混凝土框架结构设计中的应用[J]. 石材, 2023,(11):56-58.
- [3] 田向东. 多层钢筋混凝土框架结构设计分析[J]. 石材, 2023,(11):53-55.
- [4] 杨忠平, 雷远德, 邓烜, 等. 某采用摩擦摆隔震支座的钢筋混凝土框架结构设计与分析[J]. 建筑结构, 2021,51(08):1-7.
- [5] 薛彦涛. 屈曲约束支撑-钢筋混凝土框架结构设计方法研究[J]. 建筑结构, 2021,51(08):26-31.
- [6] 殷广庆. 钢筋混凝土框架结构设计的加固技术应用[J]. 新型工业化, 2021,11(06):83-84.
- [7] 黄修月. 钢筋混凝土框架结构设计的加固技术应用研究[J]. 智能城市, 2019,5(23):171-172.
- [8] 李锐. 钢筋混凝土框架结构设计的加固技术应用研究[J]. 四川水泥, 2020,(04):76.