

钢结构稳定性分析及其在高层建筑中的应用策略研究

米建刚

庆阳市建设工程检测试验有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i1.4591

[摘要] 本研究聚焦于钢结构稳定性分析的核心理论与高层建筑中的实际应用,通过对钢结构力学特性、影响因素及计算方法的深度钻研,创新性地提出基于弹塑性屈曲理论的优化计算方案。结合高层建筑结构设计及施工的实际需求,阐述了包括结构设计优化、高性能材料选用、施工质量严控以及定期检测维护等关键应用策略,为高层建筑钢结构的全生命周期安全与性能提升提供了坚实的理论支撑与实践指引,推动了钢结构在高层建筑领域的科学发展与高效应用。

[关键词] 钢结构; 稳定性分析; 高层建筑; 应用策略

中图分类号: TU97 文献标识码: A

Research on Stability Analysis of Steel Structures and Its Application Strategies in High-Rise Buildings

Jiangan Mi

Qingyang Construction Engineering Testing Co., Ltd.

[Abstract] This study focuses on the core theory of steel structure stability analysis and its practical application in high-rise buildings. Through in-depth research on the mechanical properties, influencing factors and calculation methods of steel structures, an innovative optimization calculation scheme based on elastic-plastic buckling theory is proposed. Combined with the actual needs of high-rise building structure design and construction, key application strategies including structural design optimization, high-performance material selection, strict construction quality control and regular inspection and maintenance are explained, which provides solid theoretical support and practical guidance for the safety and performance improvement of high-rise building steel structures throughout their life cycle, and promotes the scientific development and efficient application of steel structures in the field of high-rise buildings.

[Key words] steel structure; stability analysis; high-rise building; application strategy

在当今城市化快速发展的浪潮下,高层建筑如雨后春笋般涌现,成为城市现代化进程中的标志性建筑形态。钢结构凭借其卓越的力学性能,如轻质高强、施工高效以及出色的抗震能力,在高层建筑结构体系中占据着举足轻重的地位。然而,钢结构的稳定性问题始终是其应用中的关键技术瓶颈,深刻影响着高层建筑的安全性、耐久性与经济性。因此,深入探究钢结构稳定性分析方法,并针对性地制定其在高层建筑中的应用策略,对于提升高层建筑结构的设计水平、保障施工质量以及确保长期安全运营具有不可忽视的理论与实践价值,也为推动建筑行业的科技进步与可持续发展注入了强大动力。

1 钢结构稳定性分析

1.1 力学特性分析

钢结构在受力过程中呈现出独特的力学特性。在弹性阶段,应力与应变遵循胡克定律呈线性关系,此时结构能有效抵抗外

力并维持稳定几何形态。当荷载增加至钢材屈服强度,便进入塑性变形阶段,材料刚度改变,应力-应变曲线非线性化,结构出现不可恢复变形。而屈曲现象是钢结构稳定性的关键转折点,在一定荷载下,结构平衡从稳定转为不稳定,承载能力大幅下降,涵盖弹性屈曲与弹塑性屈曲,后者因考虑塑性阶段材料性能变化,更贴合实际工程受力,如表1所示^[1]。

表1 钢结构受力阶段力学特性与结构状态对应表

荷载阶段	应力应变关系	结构状态
弹性阶段	线性关系,符合胡克定律	稳定,抵抗外力保持几何形状
塑性阶段	非线性,刚度变化	产生不可恢复变形
屈曲阶段	承载能力急剧下降	平衡状态不稳定

例如,在高层框架结构中,钢梁在竖向荷载作用下,初期弹

性变形微小且均匀,一旦局部应力超屈服强度,塑性铰形成,梁变形加剧,若同时受侧向力,就可能引发屈曲,致使整个框架局部失稳,威胁结构安全。因此,精确把握各阶段力学特性对理解钢结构稳定性意义重大。借助先进弹塑性力学理论与屈曲分析方法,有限元分析技术综合考虑几何与材料非线性,可精准捕捉力学响应,为稳定性评估提供可靠数据,筑牢后续设计分析基础。

1.2 影响因素探讨

钢结构稳定性受多因素交互影响。材料性能上,钢材屈服强度、弹性模量等参数决定承载与变形特性,高屈服强度与弹性模量虽增初始刚度与屈曲荷载,但过高会升脆性,需权衡强度韧性。截面形状尺寸影响显著,工字形、箱形等合理截面可增大惯性矩与回转半径,提升构件抗弯扭能力及结构稳定性,构件尺寸改变还会连锁影响整体力学性能。连接方式作为结构“关节”,焊接、螺栓连接等力学行为各异,焊接质量、螺栓预紧力及节点构造细节关乎结构整体性与稳定性。同时,荷载类型(恒载、活载等)、大小及加载方式(静、动态)也改变受力状态影响稳定性^[2]。如高层沿海建筑,风荷载频繁且方向多变,若结构抗侧力体系设计未充分考虑,在强风下可能因侧向位移过大引发整体失稳。地震荷载瞬间冲击大,不合理节点连接易在地震时失效,致结构倒塌。故而实际工程设计须综合考量各因素,精细优化设计确保稳定。

除了上述基本因素外,从宏观的结构体系架构和结构自身冗余特性来看,也对钢结构稳定性有着重要影响。在结构体系层面,不同的钢结构体系对整体稳定性有着关键影响。例如,纯框架结构在侧向荷载作用下,其整体稳定性依赖于梁柱构件的抗弯刚度及节点连接的可靠性。若框架柱的长细比较大,在竖向和侧向荷载共同作用时,容易发生整体失稳,表现为结构的侧向位移过大甚至倒塌。而框架-支撑结构体系,通过增设支撑构件,有效提高了结构的侧向刚度,增强了整体稳定性。在地震或强风作用时,支撑能够分担大部分侧向力,减小框架梁柱的受力,从而保障结构整体稳定。从结构冗余度角度看,较高的冗余度有助于提升钢结构整体稳定性。在复杂荷载工况下,若部分构件因超载或损伤失效,具有冗余度的结构可通过内力重分布,使其他构件承担额外荷载,避免结构因局部破坏引发整体垮塌。如在一些大型工业厂房钢结构设计中,合理布置多个传力路径和备用承载构件,即使个别构件出现问题,整体结构仍能维持稳定状态,确保厂房的安全运营,进一步凸显了在钢结构稳定性分析中考虑整体稳定性的重要性与复杂性。

1.3 计算方法研究

当前钢结构稳定性计算方法多样。有限元法可离散结构,精准模拟几何、材料、边界与受力,考虑多种非线性全面深入分析,但计算成本高、对硬件资源与时间要求严,大型高层建筑钢结构模型计算效率受限。特征值法基于线性弹性理论求解特征值确定临界荷载与屈曲模态,简单快捷,适用于简单结构初步分析,可快速估算小型厂房钢梁屈曲荷载,但面对复杂结构与非线

性行为偏差大。能量法(静力平衡法、铁木辛柯法)依能量平衡方程求解,能考虑部分非线性与变形协调,不过需合理假设变形模式,否则结果易不准。

鉴于此,本研究提出基于弹塑性屈曲理论的改进算法。于有限元法框架融入弹塑性本构关系与能量准则,更真实模拟屈曲过程。优化单元与网格划分提效率,并结合能量法优势迭代求解临界荷载。如在超高层筒体结构稳定性计算中,该法较传统法精度更高、计算耗时更少,能精准预测复杂工况下稳定性,为工程设计提供可靠依据,推动计算方法精准高效发展,更好保障钢结构稳定性设计。

2 钢结构稳定性在高层建筑中的应用策略

2.1 优化结构设计

在高层建筑钢结构设计中,整体布局的合理性是提升稳定性的关键。商业写字楼设计时,需融合办公功能与力学原理规划柱网,依据会议室、设备间等与普通办公区的荷载差异确定柱位间距,防局部受力集中,保障竖向荷载均匀传至基础^[3]。

优化算法是核心技术手段,如遗传算法可对构件尺寸、截面形状及体系进行组合筛选。底层柱受力大,经算法迭代可得最优尺寸,在保安全同时降成本。框架梁多用工字形截面,因其抗弯优势契合建筑刚度需求,提升整体稳定性与经济性。

节点连接设计至关重要。梁柱等大型节点采用高强螺栓与焊接结合,焊接保强度,螺栓方便安装维护且缓解焊接残余应力。通过有限元分析优化节点构造,如抗震设计中增设加劲肋或增大节点板尺寸,确保节点在地震时有效传力耗能,防止结构整体失效,保障居民安全。

高效抗侧力体系是抵御侧向荷载的关键。框架-剪力墙结构中,依据建筑平面、高度及风、地震荷载方向确定剪力墙布局,矩形建筑周边或刚度突变处设置,协同框架工作提升侧向刚度。筒体结构适用于超高层,如超高层写字楼核心筒承担竖向功能与侧向荷载,优化筒壁参数可减少侧向位移与扭转,满足建筑功能与安全标准。

2.2 选用高性能材料

高性能钢材的研发与应用为提升钢结构稳定性开辟了新的途径。新一代高性能钢材具有更高的强度、良好的韧性、优异的可焊性和耐腐蚀性等综合性能。例如,低合金高强度钢通过微合金化和控轧控冷等工艺,显著提高了钢材的屈服强度和抗拉强度,在相同的结构承载能力要求下,可以减小构件的截面尺寸,减轻结构自重,从而降低地震作用下的惯性力,提高结构的稳定性和抗震性能。同时,高性能钢材的良好韧性能够有效防止结构在冲击荷载和低温环境下发生脆性破坏,确保结构在极端工况下的安全可靠。在实际工程中,根据高层建筑的结构特点、荷载工况以及环境条件,合理选择高性能钢材的品种、型号和规格,并结合先进的材料加工工艺和连接技术,充分发挥高性能材料的优势,实现钢结构性能全面提升,推动高层建筑向更高、更强、更安全的方向发展^[4]。

2.3 加强施工质量控制

施工质量是钢结构稳定性从设计蓝图转化为实际工程的关键保障。在原材料采购环节,严格把控钢材的质量关,对钢材的化学成分、力学性能进行全面检测,确保其符合设计要求和相关标准规范。在构件加工过程中,采用先进的加工设备和工艺,精确控制构件的尺寸精度、形状精度以及表面质量,确保构件的加工质量满足设计标准。对于焊接施工,严格执行焊接工艺规程,对焊工进行专业培训和资格认证,加强焊接过程中的质量检测,如无损探伤检测等,及时发现并处理焊接缺陷,确保焊接接头的质量和强度。在构件安装阶段,采用高精度的测量仪器和先进的安装技术,确保构件的安装位置准确无误,控制结构的垂直度、平整度和轴线偏差在允许范围内,保证结构的整体几何形状符合设计要求。同时,加强施工过程中的安全管理和质量监督,建立健全质量管理体系,对施工全过程进行实时监控和动态管理,及时发现并解决施工中的质量问题,确保钢结构施工质量稳定可靠,为高层建筑的稳定运行奠定坚实基础。

2.4 开展定期检测与维护

高层建筑钢结构在长期服役过程中,受环境侵蚀、疲劳荷载及偶然荷载等影响,结构性能逐渐退化。环境侵蚀方面,大气中的水分、氧气、二氧化硫等物质与钢材发生化学反应,引发腐蚀。在工业污染区,钢结构表面的腐蚀速率明显加快,如未及时处理,腐蚀会导致钢材截面减小、强度降低。疲劳荷载作用下,钢结构构件在长期反复受力过程中,如高层建筑在风荷载作用下的振动,会在构件内部产生微小裂纹,随着荷载循环次数增加,裂纹逐渐扩展,削弱构件承载能力。偶然荷载(如地震、火灾、撞击等)虽发生概率较低,但一旦发生,可能对钢结构造成严重损伤^[5]。

先进检测技术在钢结构定期检测中发挥关键作用。超声检测利用超声波在钢材中的传播特性,能够检测构件内部缺陷(如分层、夹杂、裂纹等),通过分析反射波信号确定缺陷位置与大小,且对构件表面要求相对较低,适用于多种复杂工况下的检测。射线检测(如X射线、 γ 射线检测)则可直观呈现构件内部结构,对微小缺陷检测灵敏度较高,但操作相对复杂且需注意辐射防护。应变监测通过在关键构件上布置应变片,实时监测构件在荷载作用下的应变变化,及时发现受力异常部位。动力特性测试(如振动测试)依据结构在动力荷载作用下的振动响应,分析结构的固有频率、阻尼比等参数变化,判断结构整体刚度与损伤情况。综合运用这些检测技术,能够全面、系统地评估钢结构的构件损伤、连接部位松动、材料性能劣化及整体变形情况,为后续维护决策提供科学依据。

根据检测结果,制定科学合理的维护方案,对发现的结构损

伤和安全隐患及时进行修复和加固处理。对于轻微的表面腐蚀,采取除锈、防腐涂层修复等措施。对于构件的局部损伤,如裂缝、变形等,采用焊接修补、加固件补强等方法进行修复。对于严重受损的构件,及时进行更换,确保结构的完整性和稳定性。同时,建立结构健康监测系统,对钢结构在使用过程中的力学性能和环境参数进行实时监测,实现结构状态的动态评估和预警,提前采取维护措施,有效预防结构事故的发生,延长高层建筑钢结构的使用寿命,保障其长期安全稳定运行,为城市的可持续发展提供有力支撑。

3 结论

本研究通过对钢结构稳定性分析的深入探究以及在高层建筑中的应用策略研究,取得了一系列具有创新性和实践指导意义的成果。从理论层面上,完善了钢结构力学特性的认知体系,明确了影响稳定性的关键因素,并提出了基于弹塑性屈曲理论的高效计算方法,丰富了钢结构稳定性理论的研究内涵。在应用实践方面,提出的优化结构设计、高性能材料选用、施工质量严控以及定期检测维护等策略,为高层建筑钢结构的全生命周期管理提供了系统、科学的解决方案,有效提升了钢结构在高层建筑中的应用安全性和可靠性。这些成果不仅为当前的建筑工程实践提供了有力的技术支持,也为未来钢结构在高层建筑领域的进一步发展指明了方向。随着建筑科技的不断创新和工程实践的持续积累,钢结构稳定性分析及其应用策略将不断优化和完善,为推动高层建筑向更高性能、更可持续的方向发展贡献力量,在城市建设和人类居住环境改善中发挥更为关键的作用,展现出钢结构在现代建筑领域的巨大潜力和广阔前景。

[参考文献]

- [1]杨庆锋.市政桥梁施工中现浇箱梁关键技术探究[J].建材发展导向,2024,22(22):126-129.
- [2]曾勇.市政桥梁建设中现浇箱梁施工技术的应用要点及质量控制措施[J].建筑安全,2024,39(11):36-39.
- [3]聂炜.新形势下市政桥梁工程施工中质量的监管及对策分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(27):63-65.
- [4]王健.市政桥梁施工关键技术与施工质量控制技术[J].工程建设与设计,2024,(12):168-170.
- [5]王洪宇.市政桥梁工程施工质量监督探究[J].中华建设,2024,(04):53-55.

作者简介:

米建刚(1986--),男,汉族,甘肃庆阳人,大学本科,中级,研究方向:钢结构。