

建筑钢结构设计中稳定性的设计方法研究

李钰娟

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在现代建筑工程中, 钢结构作为一种轻巧、强度高的结构形式, 广泛应用于各类建筑, 从居民楼到大型工业厂房。建筑钢结构在面对复杂荷载和变化环境时, 其稳定性问题成为设计中的关键, 直接关系到结构的安全性、可靠性以及整体性能。为了更好地解决建筑钢结构的稳定性问题, 文章研究了框架结构、悬臂梁、钢柱、墙体与板以及复杂结构等典型构件的稳定性特性, 通过探讨不同的分析方法和设计手段, 旨在为设计师提供更全面、深入的稳定性设计指导。

[关键词] 建筑; 钢结构; 稳定性

DOI: 10.33142/ec.v7i4.11649

中图分类号: TU3

文献标识码: A

Research on Design Methods for Stability in Steel Structure Design of Buildings

LI Yujuan

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In modern construction engineering, steel structures, as a lightweight and high-strength structural form, are widely used in various types of buildings, from residential buildings to large industrial plants. When facing complex loads and changing environments, the stability of building steel structures becomes a key issue in design, directly related to the safety, reliability, and overall performance of the structure. In order to better solve the stability problems of building steel structures, this article studies the stability characteristics of typical components such as frame structures, cantilever beams, steel columns, walls and slabs, and complex structures. By exploring different analysis methods and design methods, so as to provide designers with more comprehensive and in-depth stability design guidance.

Keywords: architecture; steel structure; stability

引言

随着城市化和工业化的不断发展, 对建筑结构性能的要求也越来越高。建筑钢结构因其轻质、高强度的特点被广泛应用。过去的经验和传统设计手段已经不能完全满足现代建筑的需求, 因此对建筑钢结构稳定性的深入研究成为当前工程领域的迫切需求。通过对各种典型构件的深入分析, 可以更好地理解稳定性问题的本质, 为未来的设计提供更为科学和可靠的指导。

1 建筑钢结构的基本原理

1.1 钢结构的基本构造

钢结构的骨架由钢材构成, 采用优质的结构钢, 以满足对强度和耐久性的高要求。在钢结构中, 梁扮演着承载荷载并将其传递到其他构件的重要角色。梁的形状和尺寸根据设计需求而变化, 可以是简单的直梁, 也可以是复杂的悬臂梁或桁架结构。柱作为支撑垂直荷载的主要构件, 其设计考虑了整体稳定性和局部稳定性。而梁和柱之间的连接通常采用各种节点形式, 如焊接连接或螺栓连接, 以确保结构的整体刚度和稳定性。除了主体骨架, 钢结构中的配件和附属构件也起到至关重要的作用。钢结构的基本构造是一个精心设计和协调的系统, 各个组成部分相互协作, 以应对不同的荷载和环境条件。

1.2 材料性能与力学特性

在建筑钢结构设计中, 对材料性能和力学特性的充分了解是确保结构安全和性能的关键因素。高强度的结构钢能够承受更大的荷载, 表现与钢材的化学成分、热处理过程以及加工工艺等密切相关。此外, 弹性模量是另一个关键的力学特性, 它表征了材料在受力时的变形程度, 对于结构变形和挠度的控制至关重要。钢结构在实际使用中可能受到各种荷载和环境影响, 因此良好的延展性使得结构在受到外力时能够发生一定程度的变形而不失稳。韧性则表征了材料在受到冲击负载时的抵抗能力, 对于结构在发生异常荷载情况下的安全性至关重要。建筑结构在长期使用中可能经历多次循环荷载, 对材料的疲劳性能提出了挑战。同时, 耐蚀性能则直接关系到结构在不同环境下的耐久性和维护成本。总之, 建筑钢结构设计需要全面考虑结构钢的材料性能和力学特性, 以便在不同工况下确保结构的安全性、稳定性和耐久性。

1.3 结构荷载与荷载组合

在建筑钢结构设计中, 准确评估和合理组合结构荷载是确保结构安全可靠的基础。了解不同类型的结构荷载, 以及它们在建筑中的作用机制, 对于合理设计结构和选择适当的构造方案至关重要。自重是每个结构设计阶段都必须考虑的基本荷载, 因为它对结构的整体稳定性和承载能

力有直接影响。使用荷载是建筑内部使用引起的荷载,包括人员、家具、设备等^[1]。荷载通常按照建筑用途和设计规范进行合理估算,以确保结构能够安全地承受使用期间的荷载。风荷载主要取决于建筑的形状和高度,而地震荷载则与建筑所在地的地震活动性有关。这两种荷载需要通过专业的工程计算方法进行准确估算,以确保结构在极端天气和地震等自然灾害发生时具有足够的抗风和抗震能力。荷载组合是将各种设计工况下的荷载按照一定的组合比例相加,以得到最不利的荷载组合情况,有助于确保结构在多种极端工况下均能安全稳定地运行。

2 建筑钢结构稳定性分析方法

2.1 稳定性的基本概念

稳定性分析是为了评估结构在不同荷载工况下的稳定性表现,防止结构发生意外变形或破坏。结构的整体平衡是稳定性的基础,包括在受到各类外部荷载作用下,结构能够保持整体的几何形状和位置,不发生倾斜或移位。这要求结构在设计中考虑到重心位置、荷载分布和支撑条件等因素,以确保结构在受力过程中能够维持平衡状态。结构的弹性稳定性是指结构在受到外部荷载后,能够通过弹性变形来适应荷载的能力,涉及到对结构的刚度和弹性模量等力学性质的合理设计和评估。结构应当在承受一定程度的变形后,能够自行恢复到初始状态,而不发生不可逆的塑性变形。临界荷载是指结构在受到外部荷载作用下即将失稳的最大荷载。对于弯曲、剪切和压力等不同作用方式,结构的临界荷载可能表现出不同的失稳特性^[2]。稳定性的分析通常涉及计算和比较不同荷载工况下的临界荷载,以确保结构在设计荷载下具有足够的稳定性余度。

2.2 弯曲稳定性分析

2.2.1 欧拉稳定性理论

欧拉稳定性理论主要侧重于结构的整体弯曲稳定性,即在外力弯矩作用下,结构是否足够抵抗整体失稳。欧拉稳定性理论最早应用于长细比较大的柱子的稳定性分析,后来逐渐推广到框架结构等更为复杂的情况。根据欧拉的理论,结构的临界弯矩与结构的几何形状、材料特性以及支撑条件有关。具体而言,欧拉稳定性理论通过考虑结构的弹性稳定性,得出了结构失稳的临界弯矩,这一临界弯矩与结构的长细比、截面性质和材料性质等因素密切相关。欧拉稳定性理论为设计师提供了一种定量评估结构稳定性的手段。然而,在实际应用中,欧拉稳定性理论存在一些假设,例如结构的材料为均匀弹性材料、截面完全光滑等。因此,在复杂情况下,为了更准确地进行弯曲稳定性分析,常需要结合实际情况引入修正系数或采用其他更为精确的方法。

2.2.2 屈曲分析方法

屈曲分析是通过考虑结构在弯曲作用下的屈曲模态,

找出结构的屈曲荷载,适用于各类结构,包括梁、柱等。在屈曲分析中,首先进行的是结构的线性弯曲模态分析,通过对这些模态进行分析,可以得到结构在各个方向上的屈曲荷载。这些屈曲荷载与结构的刚度、支撑条件、截面性质等有关。屈曲分析方法的优点在于它能够综合考虑结构的几何非线性和材料非线性,相对于简化的理论方法,更为精确。然而,这也意味着屈曲分析通常需要采用数值方法,如有限元分析等,以处理结构的复杂几何形状和材料非均匀性。

2.3 剪切稳定性分析

剪切稳定性涉及到结构构件在承受剪切荷载时的稳定性和变形控制,对于梁、板、柱等构件,剪切稳定性的合理分析对于确保结构整体的安全性至关重要。剪切屈曲是指结构在剪切荷载作用下,其构件由于剪切而失稳的临界状态。剪切稳定性问题通常使用以下公式进行分析:

$$V_{cr} = \frac{k\pi^2 EG}{(KI)^2} \quad (1)$$

其中, V_{cr} 是结构的临界剪切力, E 是结构的弹性模量, G 是剪切模量, k 是有效长度系数, l 是结构的实际长度。剪切稳定性分析,通过数值方法,如有限元分析,可以更准确地模拟结构在复杂荷载工况下的剪切稳定性行为。

2.4 局部稳定性分析

在局部稳定性分析中,常考虑的问题包括柱的局部屈曲、梁的侧扭屈曲等。柱的局部屈曲临界弯矩的欧拉公式是常用于局部稳定性分析:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KI)^2} \quad (2)$$

其中, M_{cr} 是柱的局部屈曲临界弯矩, E 是结构的弹性模量, I 是截面的惯性矩, K 是有效长度系数, l 是结构的实际长度。公式描述了柱子在局部屈曲时的临界弯矩,是设计中用于评估柱的局部稳定性的基本依据。

对于梁的局部稳定性,常需要考虑梁的侧扭屈曲。侧扭屈曲的临界弯矩可以通过以下公式进行估算:

$$M_{tw} = \frac{GJ}{\rho} \quad (3)$$

其中, M_{tw} 是梁的侧扭屈曲临界弯矩, G 是剪切模量, J 是截面的极惯性矩, ρ 是构件的截面半径。在进行局部稳定性分析时,设计师通常还需要综合考虑构件的材料特性、几何形状、截面尺寸、支座条件等因素,以得到更为准确和可靠的结果。

2.5 全局稳定性分析

全局稳定性分析涉及到结构的整体形状、支撑条件以及可能的整体失稳模式。全局稳定性分析通常采用有限元分析等高级计算方法,以精确模拟结构在复杂工况下的稳定性行为。在进行全局稳定性分析时,设计师需要考虑以下几个方面:首先,对结构整体形状的合理评估。结构的

形状直接影响其整体稳定性,因此需要确保结构在不同荷载工况下能够保持平衡和几何完整性。其次,支撑条件的分析。在全局稳定性分析中,需要考虑结构的支撑类型、支座刚度以及支撑点的位置。全局稳定性分析还需要考虑结构的临界荷载,即可能导致整体失稳的最大荷载,涉及到使用合适的理论方法,如有限元弹性稳定性分析,来模拟结构在整体失稳模式下的行为。

2.6 相关计算方法与软件应用

在建筑钢结构的稳定性分析中,采用有效的计算方法和专业软件是确保准确性和高效性的关键。有限元分析是一种广泛采用的计算方法,用于模拟结构在复杂荷载工况下的稳定性行为。基于欧拉稳定性理论,弹性稳定性分析考虑结构在外部荷载作用下的弯曲和扭转稳定性,对于简化结构的整体稳定性分析具有一定的适用性,但在处理复杂结构时可能需要进一步考虑非线性和几何非常规性^[3]。例如,STAAD.Pro、SAP2000、Abaqus 等软件都提供了强大的稳定性分析功能,能够帮助工程师更全面地了解和优化结构的稳定性性能。

3 建筑钢结构设计中的稳定性问题

3.1 框架结构的稳定性问题

在整体稳定性方面,需要考虑结构在垂直和水平方向上的屈曲和扭转问题。框架结构的整体稳定性问题主要由结构的几何构形、荷载分布和支撑条件等因素决定。设计师需要确保框架在各个方向上都能承受外部荷载而不发生整体失稳。节点的设计必须确保足够的强度和刚度,以防止节点区域的局部失稳。对于节点的局部稳定性问题,设计中常采用适当的节点设计和增加横向支撑等措施,以提高节点的承载能力和稳定性。在解决框架结构的稳定性问题时,有限元分析和专业软件的使用是非常常见的方法。通过综合考虑整体和局部稳定性问题,设计师能够确保框架结构在实际使用中表现出足够的稳定性和安全性。

3.2 悬臂梁的稳定性问题

由于悬臂梁的设计特点,其悬臂端容易受到较大的弯矩和扭矩,因此在设计中需要特别关注悬臂端的稳定性。整体屈曲稳定性是指悬臂梁在垂直荷载作用下整体失稳的情况,涉及到悬臂梁的整体弹性稳定性和失稳扭转的分析。设计师需要通过合适的理论方法,如欧拉稳定性理论,来评估悬臂梁在垂直荷载作用下的临界弯矩。由于悬臂端受到弯矩和扭矩的复杂作用,可能会出现悬臂端的局部屈曲和整体扭转失稳。在解决这一问题时,设计师需要考虑悬臂端截面的强度和扭转刚度,以确保悬臂梁在受到扭转荷载时不发生失稳。为增强悬臂梁的整体稳定性,可以采用一些有效的设计措施,如增加横向支撑、合理选择截面形状和尺寸、采用适当的材料等。

3.3 钢柱的稳定性问题

在建筑钢结构中,钢柱作为负责承受垂直荷载的关键构件,其稳定性问题是设计过程中至关重要的考虑因素之一。为了评估整体屈曲的可能性,设计师常常使用欧拉稳定性理论。该理论可以通过计算柱的临界屈曲荷载来判断柱是否足够稳定。此临界荷载通常通过以下公式得出:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KI)^2} \quad (4)$$

其中, P_{cr} 为柱的临界屈曲荷载, E 为结构的弹性模量, I 为柱截面的惯性矩, K 为有效长度系数, l 为柱的实际长度。

局部屈曲稳定性是指柱截面内的一部分出现屈曲失稳,通常发生在柱截面的弯矩和剪切力作用下。为了防止局部屈曲,设计师需要关注柱截面的几何形状、材料强度和横向支撑等因素,使用一些经验公式或者有限元分析,可以评估局部屈曲的可能性,并通过合适的构造和设计来加强柱截面的局部稳定性。对于柱的整体和局部稳定性问题,采用适当的截面形状、增加横向支撑、选择合适的材料等都是常见的设计手段。在柱的连接节点处,合理设计连接细节也对提高柱的整体和局部稳定性起到关键作用。

3.4 墙体与板的稳定性问题

墙体和板是建筑结构中常用的承载元素,其稳定性问题涉及到在受到水平荷载和垂直荷载的情况下的整体稳定性和局部稳定性。水平荷载作用下,墙体和板承受弯矩和剪力,因此需要确保其在整体上能够抵抗这些力的作用,防止整体失稳。在承受垂直荷载时,墙体和板的截面可能会出现局部失稳,因此设计师需要关注截面的形状、尺寸和材料强度,以防止局部屈曲的发生。在处理墙体和板的稳定性问题时,设计师通常会使用专业软件进行分析,考虑结构的几何形状、材料性能、支撑条件等因素。

3.5 复杂结构的稳定性问题

复杂结构在建筑工程中常常涉及多种构件和结构形式的组合,因此其稳定性问题更为复杂且多样化。在整体稳定性方面,复杂结构通常需要进行全局稳定性分析,考虑在不同方向上的整体屈曲和整体扭转。在复杂结构中,节点连接处和构件交汇点是常见的局部稳定性关键点,设计师需要关注这些区域的强度和刚度,以确保复杂结构在承受荷载时不会发生局部屈曲。复杂结构的稳定性问题还可能受到温度变化、施工阶段的不同荷载和结构变形等因素的影响。在解决复杂结构的稳定性问题时,通常需要借助专业软件和工程经验,帮助设计师更好地理解结构的稳定性行为。

4 结语

在建筑钢结构设计中,稳定性问题是确保结构安全可

靠性的核心。通过深入研究框架结构、悬臂梁、钢柱、墙体与板以及复杂结构的稳定性挑战,采用多维度的分析方法,包括欧拉理论和有限元分析。通过结构设计的综合优化,确保建筑钢结构在实际使用中表现出足够的稳定性和安全性,为人们的生活和工作提供了坚实的支持,展现了设计师在结构稳定性方面的卓越成就。

[参考文献]

[1]李峰,高硕,王阳.建筑钢结构设计中稳定性的设计策

略[J].中国建筑金属结构,2021(9):66-67.

[2]李纪果,丁国治,尹海松,等.建筑钢结构设计中稳定性探讨[J].工程建设与设计,2021(18):21-23.

[3]徐开进.建筑钢结构设计中稳定性的设计方法分析[J].建材发展导向,2023,21(8):65-67.

作者简介:李钰娟(1983.5—),女,汉族,毕业学校:河北农业大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。