

钢结构设计的稳定性分析

万武

恒天（江西）纺织设计院有限公司

DOI: 10.12238/j pm.v5i9.7200

[摘要] 本文深入探讨了钢结构设计中稳定性的重要性及其分析方法。钢结构凭借其强度高、重量轻、施工速度快等优点，在建筑、桥梁等领域得到广泛应用。然而，钢结构的稳定性问题一直是设计中的关键。通过对钢结构稳定性的理论研究、实际案例分析以及先进设计方法的探讨，旨在为提高钢结构设计的稳定性提供有益的参考和指导，确保钢结构在使用过程中的安全性和可靠性。

[关键词] 钢结构；稳定性；设计；安全

Stability analysis of the steel structure design

Wan Wu

Hengtian (Jiangxi) Textile Design Institute Co., LTD.

[Abstract] This paper discusses the importance of stability and its analysis method in the design of steel structure. With its advantages and high strength, steel structure has been widely used in construction, bridge and fast construction speed. However, the stability problem of the steel structure has always been the key in the design. Through the theoretical research of steel structure stability, practical case analysis and the discussion of advanced design methods, it aims to provide useful reference and guidance for improving the stability of steel structure design, and ensure the safety and reliability of steel structure in the process of use.

[Keywords] steel structure; stability; design; safety

引言

随着现代建筑技术的飞速发展，钢结构在建筑工程中的应用日益广泛。钢结构具有诸多优点，如强度高、韧性好、施工周期短等，使其成为大跨度、高层建筑以及特殊结构的首选材料。然而，在钢结构的设计和使用过程中，稳定性问题始终是一个至关重要的因素。钢结构的失稳破坏往往具有突然性，会给工程带来严重的后果和巨大的经济损失。因此，深入研究钢结构设计的稳定性问题，对于确保钢结构的安全可靠具有重要的现实意义。

一、钢结构稳定性的基本概念

(一) 稳定性的定义和分类

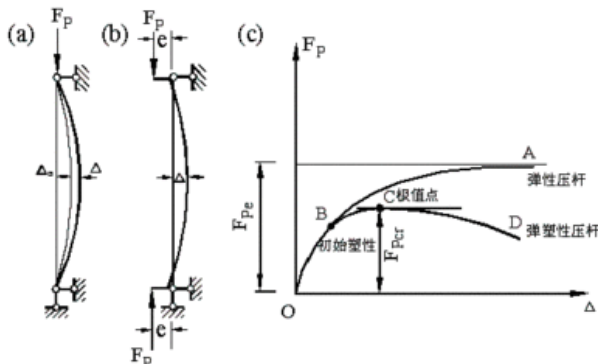


图1 钢结构分支点失稳示意图

钢结构的稳定性是指结构在受到外力作用时，保持原有平衡状态的能力。根据结构失稳的性质和特点，钢结构的稳定性可以分为分支点失稳、极值点失稳和跃越失稳三种类型。

分支点失稳是指结构在达到某一临界荷载时，平衡状态发生质的变化，出现新的平衡形式。例如，理想的轴心受压直杆在达到临界压力时，会从直线平衡形式转变为弯曲平衡形式，这种失稳属于分支点失稳（见图1）。

极值点失稳是指结构在荷载作用下，由于结构变形的不断发展，结构的承载能力达到极限值，从而导致结构失稳。例如，实际的轴心受压构件由于存在初始缺陷，其荷载-位移曲线不存在分支点，而是随着荷载的增加，变形不断增大，直到达到极限荷载时发生失稳。

跃越失稳是指结构在受到荷载作用时，突然从一个平衡状态跳跃到另一个平衡状态，这种失稳形式在实际工程中较为少见。

(二) 稳定性的影响因素

钢结构的稳定性受到多种因素的影响，主要包括结构的几何形状和尺寸、材料的性能、边界条件、荷载的类型和分布等。

结构的几何形状和尺寸对稳定性有着重要的影响。例如，对于轴心受压构件，长细比是影响其稳定性的关键因素，长细比越大，构件的稳定性越差。

材料的性能也是影响钢结构稳定性的重要因素。材料的强度、弹性模量、屈服强度等都会对结构的稳定性产生影响。一般来说，材料的强度越高，弹性模量越大，结构的稳定性越好。

边界条件对钢结构的稳定性也有着显著的影响。不同的边界条件会导致结构的约束程度不同，从而影响结构的稳定性。例如，两端铰支的轴心受压构件的稳定性要低于两端固定的轴心受压构件。

荷载的类型和分布也会对钢结构的稳定性产生影响。集中荷载、均布荷载、偏心荷载等不同类型的荷载以及荷载的分布方式都会改变结构的受力状态，从而影响结构的稳定性。

二、钢结构稳定性的分析方法

(一) 传统分析方法

1. 静力平衡法

静力平衡法是求解钢结构稳定性问题的基本方法之一。该方法基于结构在临界状态时的静力平衡条件，建立平衡方程，求解临界荷载。对于简单的结构，如理想的轴心受压直杆，可以通过静力平衡法得到精确的临界荷载。然而，对于实际的钢结构，由于存在初始缺陷、材料非线性等因素，静力平衡法往往难以得到准确的结果。

2. 能量法

能量法是基于结构的能量原理来求解稳定性问题的方法。该方法通过建立结构的总势能表达式，根据势能驻值原理，求解临界荷载。能量法在求解复杂结构的稳定性问题时具有一定的优势，但需要对结构的变形能和外力势能进行准确的计算。

(二) 现代分析方法

1. 有限元法

有限元法是目前应用最为广泛的钢结构稳定性分析方法之一。该方法将结构离散为有限个单元，通过建立单元刚度矩阵和整体刚度矩阵，求解结构的位移和内力。有限元法可以考虑结构的几何非线性、材料非线性以及初始缺陷等因素，能够较为准确地模拟结构的实际受力状态，从而得到较为精确的稳定性分析结果。

2. 数值模拟法

数值模拟法是利用计算机模拟技术对钢结构的稳定性进行分析的方法。该方法可以模拟结构在不同荷载条件下的受力和变形过程，直观地展示结构的失稳模式和破坏过程。数值模拟法包括蒙特卡罗模拟法、随机有限元法等，在处理不确定性因素对钢结构稳定性的影响方面具有独特的优势。

三、钢结构稳定性设计的原则和方法

(一) 稳定性设计的原则

1. 整体稳定性原则

整体稳定性是钢结构设计中至关重要的原则。钢结构作为一个整体系统，其各个部分相互作用、相互依赖，共同承担外部荷载并维持结构的稳定性。

在设计过程中，首先需要合理规划结构的布局 and 形式。例如，在建筑结构中，柱网的布置应均匀合理，避免出现过大的跨度差异和刚度突变。过大的跨度差异可能导致在相同荷载作用下，不同部位的变形和受力差异显著，从而影响整体稳定性。刚度突变则容易使力的传递路径发生改变，导致局部应力集中，降低结构的整体承载能力。

其次，确保结构的传力路径清晰明确。力在结构中的传递应遵循合理的路径，从荷载作用点通过梁、柱、节点等构件，最终传递到基础。如果传力路径不清晰，力在传递过程中可能会出现迂回、中断或异常集中的现象，使结构的部分构件承受过大的荷载，引发局部失稳，进而可能导致整体结构的失稳破坏。

最后，考虑结构在不同荷载组合下的整体稳定性也是必不可少的。在实际工程中，结构往往会受到多种荷载的作用，如恒载、活载、风载、地震作用等。在设计过程中，需要对不同

荷载组合下结构的受力和变形进行详细分析，确保结构在各种可能的工况下都能保持整体稳定性。

2. 局部稳定性原则

局部稳定性是指钢结构中组成构件的局部板件在受力状态下保持稳定的能力。在钢结构设计中，局部稳定性的保证同样不容忽视。

对于受压构件，如柱、梁的受压翼缘和腹板等，需要控制其宽厚比。宽厚比过大，在压力作用下板件容易发生局部屈曲。以受压翼缘为例，如果宽厚比过大，在压力作用下翼缘容易发生局部鼓曲变形，从而降低构件的承载能力和整体稳定性。

对于受弯构件，需要控制翼缘和腹板的宽厚比以及腹板的高厚比。在弯矩作用下，翼缘和腹板会分别承受不同程度的应力。如果翼缘和腹板的宽厚比或高厚比不合理，可能会导致局部屈曲先于构件的整体失稳发生。例如，在工字钢梁中，如果腹板的高厚比过大，在较大弯矩作用下，腹板可能会发生局部屈曲，进而影响梁的承载能力和使用性能。

在设计过程中，还需要考虑板件之间的相互作用。相邻板件之间的约束和相互支持作用会影响板件的局部稳定性。例如，在箱型截面构件中，相邻的侧板和腹板之间存在相互约束作用，这种约束作用可以提高板件的局部稳定性。因此，在设计时需要合理考虑这种相互作用，以准确评估板件的局部稳定性。

(二) 稳定性设计的方法

1. 基于计算长度的设计方法

基于计算长度的设计方法是钢结构稳定性设计中传统且广泛应用的方法。这种方法的核心思想是将实际的结构构件简化为具有一定计算长度的理想受压构件，然后基于轴心受压构件的稳定性理论进行设计。

计算长度的概念是将实际构件的两端约束条件等效为理想的铰接或固接约束，从而将实际构件转化为具有特定计算长度的两端铰接或两端固定的受压柱。对于两端铰支的受压柱，其计算长度就是柱的实际长度；对于两端固定的受压柱，其计算长度为实际长度的一半；对于一端铰支一端固定的受压柱，其计算长度为实际长度的 0.7 倍。

在确定了构件的计算长度后，就可以根据轴心受压构件的稳定性计算公式来计算构件所需的截面面积或惯性矩等参数。

基于计算长度的设计方法在实际应用中具有一定的简便性和实用性。例如，在设计框架结构中的柱时，可以根据梁柱节点的连接形式和约束条件，确定柱的计算长度，然后按照上述公式进行设计。

2. 直接分析法

直接分析法是一种较为先进和精确的钢结构稳定性设计方法，它能够更真实地反映结构的实际受力性能和稳定性。

直接分析法在分析过程中充分考虑了结构的初始几何缺陷、残余应力、材料非线性、节点连接的半刚性以及结构的二阶效应等因素。通过建立结构的整体有限元模型，对结构在实际荷载作用下的力学行为进行模拟和分析。

在直接分析法中，初始几何缺陷可以通过引入构件的初始弯曲、初始偏心等方式来模拟；残余应力可以根据材料的加工工艺和焊接工艺等因素进行估算，并在有限元模型中予以考虑；材料非线性通过材料的本构关系来描述，如钢材的弹塑性本构关系；节点连接的半刚性则通过设置相应的节点连接单元来模拟；二阶效应则通过在分析过程中考虑结构变形对内力的影响来实现。

下转第 146 页

环,它涉及与各参建单位、政府部门及社区居民的有效沟通,确保施工活动的顺利进行。环境保护则是现代施工管理的重要组成部分,它强调在施工过程中减少对环境的负面影响,采取措施降低污染和资源消耗。现场施工管理通过资源配置、施工组织、成本控制、质量控制、安全管理、进度控制、沟通协调和环境保护等关键要素的协同作用,确保了建筑工程的高效、安全和环保完成。资源配置要求管理人员对现场需求有准确的预判,确保人力和物资的及时供应,避免资源浪费。施工组织则需要制定周密的计划,合理安排工序,确保施工流程的连贯性。成本控制要求对项目预算有严格的把控,通过成本分析和预算调整,确保项目经济效益。质量控制则需要建立完善的质量管理体系,通过定期检查和质量评估,确保工程质量。安全管理则要求建立健全的安全制度,通过安全培训和应急演练,提高安全意识。进度控制则需要制定切实可行的施工进度计划,通过进度监控和调整,确保工程按时交付。

3.3 现场施工管理的优化措施

为了提升现场施工管理的效率和效果,采取一系列优化措施至关重要。实施精细化管理是基础,这要求明确各部门和人员的职责,建立完善的管理体系,确保施工活动的有序进行。通过精细化管理,可以减少管理漏洞,提高决策的准确性和执行力。强化施工现场的安全管理是保障工人安全的关键,这包括严格执行安全规范,定期进行安全培训和检查,以及及时发现并消除安全隐患,预防事故的发生。优化施工流程和资源配置也是提高施工效率的重要手段,通过科学合理的施工计划和资源分配,可以减少浪费,加快施工进度,缩短工程周期。质量控制是确保工程质量的核心,这要求在施工过程中严格把控每一个环节,从材料选择到施工工艺,确保每一项工作都符合设计要求和规范标准。沟通协调是解决施工中问题的桥梁,加强与各参建单位、政府部门及社区居民的沟通,可以及时解决施工中出现的各种问题,确保施工活动的顺利进行。注重施工现场环境保护是现代施工管理的重要组成部分,采取有效措

施,如减少噪音、控制粉尘、合理处理废弃物等,可以降低施工对环境的负面影响,实现绿色施工。通过上述措施的综合应用,可以显著提高现场施工管理的效果,保障工程质量和安全,同时提高项目投资效益,实现经济、社会和环境的和谐发展。

结束语

综上所述,建筑工程施工管理是一项烦琐、复杂的工程。在施工过程中,要科学应用施工技术,做好施工现场的质量控制,采取科学合理的措施解决施工现场管理过程中出现的问题,提高施工人员技术水平与现场管理水平,为实现建筑企业的可持续发展奠定扎实的基础。

[参考文献]

- [1]贺银强.关于建筑工程施工技术及其现场施工管理策略探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(19):56-58
- [2]李周敏.针对建筑工程施工技术及其现场施工管理的研究[J].广东建材,2024,40(06):152-154.
- [3]焦奕捷,田文明,李强,等.建筑工程施工技术及其现场施工管理探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(16):54-56.
- [4]刘晓毅.房屋建筑工程施工技术和现场施工管理[J].城市建设理论研究(电子版),2024(15):139-141
- [5]刘兴邦.建筑项目钢结构工程施工安全管理策略——评《建筑施工安全技术与管理研究》[J].安全与环境学报,2024,24(05):2055.
- [6]杨群艳.房屋住宅建筑工程施工技术应用与管理策略探讨[J].居舍,2024(14):33-36.
- [7]郑晓涵.住宅建筑工程施工技术和现场施工管理研究[J].居舍,2024(14):173-176.
- [8]朱文静.建筑工程项目管理中施工现场管理优化策略分析[J].中国建筑装饰装修,2024(08):187-189.
- [9]华海轴.探析房屋建筑工程施工技术应用及现场施工管理[J].建材发展导向,2024,22(08):121-123.

上接第143页

通过直接分析法,可以得到结构在实际受力状态下的内力、变形和稳定性性能等结果,从而更加准确地评估结构的稳定性和安全性。这种方法适用于各种复杂的钢结构体系,如大跨度空间结构、高层钢结构等。

四、总结

钢结构作为一种重要的结构形式,在建筑、桥梁等领域发挥着重要作用。然而,钢结构的稳定性问题是设计和使用过程中必须关注的关键问题。本文对钢结构稳定性的基本概念、分析方法和设计原则进行了系统的研究和探讨。通过对稳定性的定义、分类和影响因素的分析,为深入理解钢结构稳定性问题提供了理论基础。传统的静力平衡法和能量法以及现代的有限元法和数值模拟法等分析方法为解决钢结构稳定性问题提供了有效的手段。在设计方面,遵循整体稳定性和局部稳定性原

则,采用基于计算长度的设计方法和直接分析法等,能够确保钢结构的稳定性和安全性。

[参考文献]

- [1]王谦源,袁庆盟,林敏,王海龙.空场嗣后充填体稳定性分析与带式充填结构设计[J].矿业研究与开发,2024,44(06):26-33.
- [2]何昭宇,李翔,崔旭东,秦永军,李路.组合扶壁式挡土墙结构设计及稳定性分析[J].工程勘察,2024,52(04):31-37.
- [3]袁淑霞,裴龙瑶,齐文娇,吴松,张宇鹏,段育轩.钢板桩围堰结构设计及稳定性分析[J].科学技术与工程,2024,24(08):3155-3163.
- [4]谷军明.钢结构建筑稳定性设计的要点分析[J].四川水泥,2023,(07):94-96+128.