

浅谈工业建筑结构设计需注意的问题

谷竞业

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着工业技术的飞速发展和社会经济的不断进步,工业建筑结构设计在满足不断增长的需求的同时也面临新的问题。工业建筑不仅是生产场所,更是一个融合了科技、工程和可持续发展理念的复杂体系。基于此,研究工业建筑结构设计的演变和基本原则,对于实现安全、高效、绿色的工业生产具有重要的意义。

[关键词]工业建筑;结构设计;设计问题

DOI: 10.33142/ec.v7i4.11671

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Brief Discussion on Issues to be Noticed in Industrial Building Structural Design

GU Jingye

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

Abstract: With the rapid development of industrial technology and the continuous progress of social economy, industrial building structural design is facing new problems while meeting the growing demand. Industrial buildings are not only production places, but also a complex system that integrates technology, engineering, and sustainable development concepts. Based on this, studying the evolution and basic principles of industrial building structural design is of great significance for achieving safe, efficient, and green industrial production.

Keywords: industrial construction; structural design; design issues

引言

工业建筑,作为支撑现代产业运转的物质基础,其设计和结构的演进直接关系到生产效率、资源利用效率以及环境可持续性。建筑设计者和工程师们需不断思考如何创造更为智能、灵活和可持续的工业建筑,以满足未来制造业的不断升级和社会对生产方式的多元化需求。

1 工业建筑结构设计的历史演变

工业建筑结构设计的历史演变可以追溯到人类文明的早期。最初的工业建筑主要是简单的木结构和土坯建筑,用于满足基本的生产和储存需求。随着工业革命的兴起,对于更大、更复杂的工业设施的需求逐渐增加,这促使了工业建筑结构设计的进一步发展。19 世纪末至 20 世纪初,工业建筑结构设计经历了一场革命。铁和钢的广泛应用使得建筑结构更加坚固,并能够承载更大的荷载,典型的工业建筑结构包括钢铁厂、纺织厂和工厂大楼,这些建筑不仅仅是功能性的,还具有独特的结构美学。随着技术的不断进步,20 世纪中叶至末期,工业建筑结构设计进入了计算机辅助设计(CAD)时代。计算机技术的引入使得设计师能够更准确地分析结构的性能和反应不同荷载情况。这一时期还涌现出一些标志性的工业建筑,如大跨度的仓库、独特形状的厂房等,体现了对结构设计更高水平的追求。进入 21 世纪,工业建筑结构设计面临着更多挑战和机遇。可持续性设计理念的兴起推动了对建筑材料和能源利用的更加细致的考虑。同时,先进的建筑信息模型(BIM)技术为设计、施工和维护提供了更全面、协同的解决方案。

工业建筑结构设计正逐渐朝着更智能、更环保、更经济的方向发展,以适应当代社会的不断变化和发展。

2 工业建筑结构设计的基本原则

2.1 荷载分析与计算

2.1.1 荷载类型与荷载计算方法

荷载主要分为静态荷载和动态荷载,每种荷载类型都对结构产生不同的影响,因此需要综合考虑并采用适当的计算方法。静态荷载是建筑自身重量以及固定在建筑上的永久性荷载,包括建筑物的自重、墙体、屋面、地板、设备、家具等。静态荷载的计算采用静力平衡原理,即荷载的总和应该等于支持结构的反力。静态平衡的基本公式为:

$$\sum F_{\text{vertical}} = 0 \quad (1)$$

其中, $\sum F_{\text{vertical}}$ 表示竖直方向上的受力和,通过该方程可以得到建筑在静态荷载下的平衡状态。

动态荷载包括建筑在特殊情况下所受的荷载,如地震、风荷载等。对于动态荷载的计算,常采用动力学原理,通过考虑结构的质量、刚度和阻尼等参数,使用动力学方程进行分析。地震作用下结构的动态平衡方程可表示为:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2)$$

其中, m 表示结构的质量, $\ddot{x}$ 表示结构的加速度, c 表示结构的阻尼系数, $\dot{x}$ 表示结构的速度, k 表示结构的刚度, x 表示结构的位移, $F(t)$ 表示外部荷载。

荷载计算方法的选择需要考虑建筑的结构特点和使用环境。在设计过程中,工程师需要综合考虑静态和动态荷载的各项参数,利用适当的数学模型和工程工具进行分

析,以确保结构在各种荷载情况下都能够安全可靠地运行。

2.1.2 荷载在工业建筑中的特殊考虑

在工业建筑结构设计,由于特殊的工业环境和使用需求,荷载的特殊考虑成为确保结构安全和可靠性的重要因素。特殊荷载主要包括大型机械设备荷载、化学品储存荷载以及临时荷载等,这些荷载需要在设计中得到精确计算和细致分析。工业建筑常承载各种大型生产设备,这些设备的重量和振动特性可能对结构产生显著的影响。设备的荷载计算可通过以下公式进行:

$$F_{\text{equipment}} = m \cdot g \quad (3)$$

其中: $F_{\text{equipment}}$ 为设备的荷载, m 为设备的质量, g 为重力加速度。考虑到设备的位置、振动频率等因素,工程师需要在设计中合理考虑这些荷载,确保结构对其有足够的承载能力。

在化工厂或储存设施中,存储的化学品可能对结构产生腐蚀、挥发等影响。这些特殊荷载需要通过详细的化学品性质分析和储存条件来确定。荷载计算可通过以下公式考虑化学品的储存荷载:

$$F_{\text{chemicals}} = P \cdot A \quad (4)$$

其中, $F_{\text{chemicals}}$ 为化学品荷载, P 为化学品单位面积的压力, A 为化学品存储的面积。

工业建筑中可能会有有一些临时的荷载,比如维护设备、临时仓储等。这些荷载的存在需要在设计中合理考虑,以确保结构在这些短期荷载下仍具有足够的稳定性。对于临时荷载,可以通过建立荷载组合进行综合计算,其中考虑到临时荷载的临时性和周期性。在特殊荷载的考虑过程中,结构工程师需要深入了解工业建筑的具体用途和环境,结合工程实践和经验,通过精确的计算和模拟,以确保结构在各种特殊荷载下都能够安全可靠地运行。

2.2 结构材料的选择与性能

在选择结构材料时,工程师需要全面考虑不同材料的性能、经济性以及可持续性等多方面因素,以满足建筑的特定需求。金属结构,如钢结构,以其高抗拉强度和弹性模量而适用于大跨度、轻型结构。其优势在于可塑性强、形状复杂度高,适用于需要大空间跨度的工业建筑。相反,混凝土结构以其卓越的抗压性能而成为柱和墙的理想选择,具有优异的隔热性和耐火性,但相对较重。高强度复合材料,由纤维增强材料和基体材料组成,具有卓越的抗拉强度、轻质化和耐腐蚀性,适用于对结构强度和重量有高要求的场景。可再生材料,如木材和竹材,因其可持续性和环保性逐渐成为受欢迎的选择。在材料选择的过程中,工程师需要综合考虑项目的实际需求、结构的力学性能、经济性和可持续性等多方面因素。对于特定工程,可能需要权衡不同材料的优势和劣势,以达到最佳的设计效果。

2.3 结构稳定性分析

在工业建筑结构设计中,结构稳定性分析至关重要,涉及结构在各种荷载作用下的安全性和稳定性。工业建筑常常

具有大空间和大跨度的结构特点,因此其整体稳定性问题显得尤为重要。确保结构在不同工作荷载下能够保持平衡,不会出现倾覆或失稳是设计的首要目标。整体稳定性问题的考虑通常包括结构的形状、支座条件和荷载类型等因素。弯曲稳定性分析通过比较应用弯矩和结构抗弯承载能力来判断结构是否稳定。屈曲稳定性分析则关注长柱和梁等构件的屈曲行为,通过比较应用轴向荷载和结构临界屈曲荷载来进行判断。

弯曲稳定性分析的计算公式为:

$$\frac{M_{\text{applied}}}{M_{\text{resistance}}} < 1 \quad (5)$$

其中, M_{applied} 为应用弯矩, $M_{\text{resistance}}$ 为结构的抗弯承载能力。

而屈曲稳定性的计算公式为:

$$\frac{P_{\text{applied}}}{P_{\text{critical}}} < 1 \quad (6)$$

其中, P_{applied} 为应用轴向荷载, P_{critical} 为结构的临界屈曲荷载。

除了局部稳定性的考虑外,整体结构的稳定性也是设计过程中必须关注的方面,涉及到整体刚度和形状的分析,以确保结构在各种荷载和工况下都能够保持平衡。结构稳定性分析是确保工业建筑结构长期安全可靠运行的关键步骤。通过合理的分析,工程师可以优化结构设计,提高其整体性能,确保在不同荷载和工况下都能够稳定运行。

2.4 结构施工与组装技术

在工业建筑的构建过程中,结构施工与组装技术是确保工程质量、进度和成本控制的至关重要的环节。先进的建筑技术包括自动化设备、数字化施工管理系统和建筑信息模型(BIM),这些技术使得建筑团队能够在虚拟环境中进行协同设计和施工规划,以减少误差、提高施工精度。模块化建筑是一种重要的技术趋势,通过在工厂中生产和组装独立的模块,可以大大缩短现场施工时间,提高建筑质量,并减少对施工现场的干扰^[1]。在处理大型、重型结构构件时,先进的起重和运输技术变得至关重要。先进的设备能够提高结构元件的安装效率,减少施工周期。通过实施严格的质量控制措施,包括材料检测和结构检验,可以确保建筑结构符合设计要求。科学的安全管理计划和培训措施有助于降低施工现场的事故风险,确保工人和结构的安全。总之,结构施工与组装技术的创新与应用是确保工业建筑工程成功的关键。采用先进技术、科学管理和安全措施,不仅提高了施工效率,还保障了工程的顺利进行。

3 工业建筑结构设计中的特殊考虑

3.1 防火设计

在工业建筑结构设计中,防火设计是确保建筑安全性的至关重要的方面。工业建筑火灾的危害性主要表现在生产中断、财产损失、人员伤亡以及对周围环境造成的污染等方面。在某些工业场所,存在易燃、易爆物质,使得火灾风险更加显著,因此防火设计显得尤为重要。选择具有良好防火性能的建筑材料是首要原则,材料的燃烧性、热稳定性和烟气产生量等性能应该得到充分考虑。钢结构、

阻燃材料和防火涂料等被广泛应用以提高建筑在火灾条件下的抵抗能力。工业建筑应划分为不同的防火分区,通过设置防火墙、防火门等措施,有效将火灾扩散范围限制在有限区域,有助于防止火势蔓延,提高人员疏散的时间和安全性。安装先进的火警报警系统及早发现火灾,及时启动灭火系统或进行疏散,对于减小火灾损失至关重要。火警报警系统的设计应覆盖整个建筑,并确保其可靠性和及时性。针对不同的工业场所,选择适当的灭火系统是至关重要的^[2]。自动喷水灭火系统、气体灭火系统等可以根据工业建筑的特点进行选择,以迅速、有效地控制火源。通过严格遵循这些防火原则和方法,工程师可以显著降低工业建筑火灾的危害性,提高建筑的整体安全性和可持续性。

3.2 地震设计

在工业建筑结构设计中,地震设计是为了降低地震发生时对建筑结构和使用者危害而采取的关键措施。工业建筑地震风险的分析需要综合考虑地震的频率、强度和建筑所在地的地质条件。地震学和地质学的原理被运用,以评估地震对建筑可能产生的影响,包括加速度、速度和位移等参数。此外,考虑到建筑的用途、结构类型和地理位置等因素,进行全面的评估。采用更强、更刚性的结构设计,使用高性能结构材料、加固节点连接等方法,提高建筑在地震中的整体抗震能力。通过调整结构的刚度和质量分布,减小结构的振动周期,降低地震力对建筑的影响,通常通过调整结构的形状或添加阻尼器等方法来实现。在工业建筑中,抗震支撑系统的设计至关重要,包括添加抗震支撑、隔震系统或减震器等,以吸收地震能量,减小结构的震动幅度,从而保护建筑和设备。通过优化结构的质量分布,降低结构的地震响应,提高其稳定性,可以通过合理设计建筑的楼层布局和质量分布来实现。

3.3 环境影响与可持续性

工业建筑对环境的直接和间接影响涉及到资源利用、能源消耗以及废物排放等多个方面。工业建筑对环境的影响主要表现在大规模的生产和运营过程中,包括能源的大量消耗、原材料的采集和使用,以及工业废水和废气的排放。提高能源效率是可持续性设计的首要目标。采用先进的节能技术、设备和系统,包括使用可再生能源、优化设备布局和改进照明系统等,有助于降低能源消耗。选择可再生、可回收的建筑材料,设计可拆卸的结构,可以减少废弃物的产生,提高资源的再利用率。通过采用节水设备、雨水收集系统和水循环利用技术,可以减少工业建筑对淡水资源的依赖,降低对环境的水资源压力。在工业建筑周围的环境中,通过合理规划建筑布局,减少对周边自然环境的破坏,有助于保护植被和野生动物栖息地。为了更全面地了解建筑的环境影响,可持续性设计还包括环境评估与监测。通过建立环境评估和监测体系,对工业建筑的能耗、废物排放等进行实时监测和评估,以及时调整和改进设计。

3.4 设备与工艺需求对结构的影响

工业建筑承载着各种生产设备和复杂的工艺流程,因此

结构设计必须巧妙地融合这些需求,以确保建筑既能够满足生产要求,又能够保持稳定、安全和高效。重型机械需要强化的地基支持和额外的结构强度,而精密仪器则对振动和温度变化极为敏感。在设计阶段,必须详细了解和各种工业设备的技术规格,以确保建筑结构能够完美地适应其支持和运行的需要。生产线的布局、原材料的运输路径以及成品的储存需求都会直接影响到建筑的内部结构和布局。通过有效的结构设计,可以最大化利用工厂内部空间,提高生产效率,并保证工艺流程的顺畅进行。建筑必须符合特定的安全标准和规范,以确保设备的稳定性和使用的安全性,涉及承重能力、防火要求、紧急疏散通道等方面的因素^[3]。工业环境不断演进,结构设计必须具备足够的灵活性,以便在未来进行设备更新和扩建,而无需重大改动整个结构。选择耐腐蚀、耐磨损的材料,确保结构部件易于检修和更换,都有助于延长工业建筑的寿命并减少维护成本。

3.5 维护与保养考虑

工业建筑往往承载着重要的生产设备和工艺流程,因此结构的稳定性和可靠性对生产活动至关重要。在工业建筑的设计阶段,选择易于清理和检修的材料,设计易于访问的结构部件,以及合理规划设备和管道的布局,以便维护人员能够轻松进行必要的保养工作。通过预定的检查,可以及早发现和解决潜在问题,防止小问题演变成大的结构缺陷。保养计划应包括清洁、润滑、紧固件检查、防腐处理等维护活动,以确保建筑和设备的正常运行。协调设备和建筑的维护活动,确保它们相互配合,有助于提高整体维护效率。利用先进的技术手段,如传感器监测、远程诊断等,有助于实现更智能和高效的维护管理。

4 结语

工业建筑的设计不断演进,反映了技术、材料和环境意识的变革。基于荷载分析、结构材料的选择、稳定性分析等基本原则,结合特殊考虑如防火设计、地震设计、环境可持续性等,为工业建筑提供了全面的设计框架。考虑设备和工艺对结构的影响,以及维护与保养的需求,不仅关乎建筑的功能性和安全性,也涉及到建筑长期投入的可持续性。工业建筑结构设计需要在初始阶段充分考虑各种因素,以满足不断变化的需求和环境。通过综合设计,工业建筑不仅能够适应当下的生产要求,还能够为未来提供可持续、安全的工作环境,为产业发展和社会可持续性贡献巨大价值。

【参考文献】

- [1] 张运来. 工业建筑结构设计的关键问题研究[J]. 居业, 2018(8): 15-17.
- [2] 程志鹏. 探讨工业建筑结构设计中的问题[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(1): 15-16.
- [3] 王成. 工业建筑结构设计中的问题分析[J]. 工程建设与设计, 2020(20): 15-16.

作者简介: 谷竞业 (1982.12—), 男, 汉族, 毕业学校: 河北建筑工程学院, 现工作单位: 河北建筑设计研究院有限责任公司。