

多层钢结构厂房结构设计及难点分析

宋冠中

中国寰球工程有限公司北京分公司, 北京 100012

摘要： 多层钢结构厂房凭借其诸多优势在工业建筑领域广泛应用。本文深入探讨多层钢结构厂房结构设计要点, 包括结构选型、荷载计算、构件设计等关键环节, 详细分析设计过程中面临的难点, 如结构布置的复杂性、节点设计的高要求、抗震设计的挑战等, 并提出相应解决策略。旨在为多层钢结构厂房的科学合理设计提供理论支持, 提升其设计质量与安全性, 促进工业建筑的可持续发展。

关键词： 多层钢结构厂房; 结构设计; 荷载计算; 抗震设计; 节点设计

Structural Design and Difficulty Analysis of Multi-story Steel Structure Factory Buildings

Song Guanzhong

Beijing Branch, China Huanqiu Engineering Co., Ltd. Beijing 100012

Abstract: Multi-story steel structure factory buildings are widely used in the field of industrial construction due to their many advantages. This article delves into the key points of structural design for multi-story steel structure factory buildings, including crucial aspects such as structural selection, load calculation, and component design. It provides a detailed analysis of the difficulties encountered during the design process, such as the complexity of structural layout, high requirements for joint design, and challenges in seismic design, and proposes corresponding solutions. The aim is to provide theoretical support for the scientific and rational design of multi-story steel structure factory buildings, enhance their design quality and safety, and promote the sustainable development of industrial architecture.

Keywords: multi-story steel structure factory buildings; structural design; load calculation; seismic design; joint design

引言

随着工业现代化进程加速, 对厂房空间利用效率、建设周期及结构性能要求不断提高。多层钢结构厂房因具有自重轻、强度高、施工速度快、空间布置灵活等特点, 成为现代工业建筑的重要选择。然而, 多层钢结构厂房的结构设计涉及诸多复杂因素, 需综合考虑生产工艺要求、设备安装与使用、建筑功能、力学原理、抗震要求等, 以确保厂房结构安全可靠、经济合理。深入研究其结构设计要点与难点, 对保障工业建筑结构安全, 提升工业建筑施工质量有着积极意义。

一、多层钢结构厂房结构设计要点

(一) 结构选型

1. 框架结构体系

框架结构体系是多层钢结构厂房常用形式, 由梁、柱通过刚接节点连接组成平面框架, 承受竖向和水平荷载。其优点是空间布置灵活, 可根据生产工艺需求设置大空间, 便于设备安装与工艺流程布局。框架结构的传力路径明确, 设计计算相对简便。对于层数较少、荷载较小且对空间要求较高的厂房, 如轻型制造业厂房, 框架结构体系较为适用。但框架结构侧向刚度相对较小, 在水平荷载作用下, 结构位移较大, 设计时需通过合理增加柱子数量、增大柱断面等措施提高结构的抗侧移能力。^[1]

2. 框架-支撑结构体系

框架-支撑结构体系是在框架结构基础上, 增设支撑构件。

支撑可有效提高结构的侧向刚度, 减小结构在水平荷载作用下的位移。支撑形式多样, 常见有中心支撑和偏心支撑。中心支撑在水平力作用下, 主要通过支撑受压或受拉来抵抗水平力, 具有较大的抗侧力刚度, 可显著减小结构位移。但在罕遇地震作用下, 中心支撑可能因受压屈曲而丧失承载能力。偏心支撑则通过耗能梁段的塑性变形来耗能, 提高结构的抗震性能, 适用于抗震设防要求较高的地区。框架-支撑结构体系结合了框架结构的空间灵活性和支撑结构的高抗侧力性能, 适用于层数较多、荷载较大且抗震要求较高的多层钢结构厂房。

3. 其他结构体系

除框架结构体系和框架-支撑结构体系外, 还有桁架结构体

系、网架结构体系等可应用于多层钢结构厂房。桁架结构体系常用于大跨度空间，通过桁架杆件的合理布置，可有效承受较大的竖向荷载和水平荷载。网架结构体系具有空间受力性能好、整体性强、刚度大等优点，适用于对空间要求较高且外观造型有特殊需求的厂房。在实际工程中，应根据厂房的具体使用功能、建筑高度、荷载条件、抗震设防要求以及经济性等因素，综合比选确定合适的结构体系。

（二）荷载计算

1. 竖向荷载

竖向荷载是多层钢结构厂房结构设计的重要荷载组成部分，主要包括恒荷载和活荷载。恒荷载是结构自重及长期固定在结构上的设备、管道等重量。结构自重可根据结构构件的几何尺寸和材料容重准确计算，如钢梁、钢柱、楼面板等构件的重量。设备、管道等固定荷载需根据实际安装情况确定其重量和作用位置。活荷载是厂房使用过程中可能出现的可变荷载，如设备检修荷载、货物堆放荷载、人员活动荷载等。活荷载取值应按照相关建筑结构荷载规范执行，对于不同类型的厂房，其活荷载标准值有相应规定。在计算活荷载时，还需考虑荷载的组合值系数、频遇值系数和准永久值系数，以确定在不同设计工况下的荷载代表值。^[2]

2. 水平荷载

水平荷载主要包括风荷载和地震作用。风荷载是作用在厂房结构表面的风压力和吸力，其大小与风速、风向、建筑物体型系数、高度变化系数等因素有关。在计算风荷载时，需根据厂房所在地的基本风压、地形地貌条件以及建筑物的高度和体型，按照荷载规范确定风荷载标准值。对于高层或体型复杂的多层钢结构厂房，还需考虑风振系数对风荷载的影响。地震作用是结构在地震时受到的惯性力，其计算方法根据厂房所在地区的抗震设防烈度、场地类别、结构自振周期等因素确定。我国建筑抗震设计规范规定了底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法等多种地震作用计算方法。对于多层钢结构厂房，一般可采用底部剪力法或振型分解反应谱法进行地震作用计算。在进行地震作用计算时，需考虑结构的阻尼比、地震影响系数等参数，以准确确定地震作用效应。

3. 荷载组合

在结构设计中，需考虑多种荷载同时作用的情况，进行荷载组合。荷载组合分为基本组合和偶然组合。基本组合是考虑永久荷载、可变荷载在各种可能的组合情况下，对结构产生的最不利效应。根据不同的设计目的，如承载能力极限状态设计和正常使用极限状态设计，采用不同的荷载组合表达式。偶然组合是考虑偶然荷载（如爆炸力、撞击力等）与其他荷载组合时对结构产生的效应。在进行荷载组合时，应根据厂房的实际使用情况和可能出现的荷载工况，合理选取组合系数，确保结构在各种荷载作用下的安全性和可靠性。^[3]

（三）构件设计

1. 钢梁设计

钢梁是多层钢结构厂房中承受楼面荷载并将其传递给钢柱的重要构件。钢梁设计需考虑强度、刚度和整体稳定性。在强度计算方面，根据钢梁所受弯矩、剪力和扭矩，按照钢材的强度设计

值，计算钢梁截面的正应力、剪应力和折算应力，确保其不超过钢材的允许应力。刚度计算主要控制钢梁在正常使用状态下的变形，通过计算钢梁的挠度，使其满足相关规范规定的容许挠度值。对于钢梁的整体稳定性，当梁的侧向支撑间距较大时，需进行整体稳定验算，可通过设置水平支撑、增加梁的侧向抗弯刚度等措施提高钢梁的整体稳定性。钢梁截面形式多样，常见有工字型、槽型、箱型等，设计时应根据梁的受力情况、跨度和建筑空间要求等因素合理选择截面形式和尺寸。^[4]

2. 钢柱设计

钢柱作为多层钢结构厂房的竖向承重构件，承受着上部结构传来的竖向荷载和水平荷载。钢柱设计同样需考虑强度、刚度和稳定性。强度计算根据钢柱所受轴力、弯矩和剪力，计算柱截面的正应力、剪应力和折算应力，确保满足钢材强度要求。刚度计算通过控制钢柱的长细比，使其不超过规范规定的容许长细比，以保证钢柱在受压时的稳定性。稳定性计算包括整体稳定和局部稳定。整体稳定计算根据钢柱的受力状态和约束条件，采用合适的稳定系数进行计算。局部稳定则通过控制柱截面各板件的宽厚比，防止板件在受力过程中发生局部屈曲。钢柱的截面形式有工字型柱、十字型柱、钢管柱等，设计时需综合考虑荷载大小、建筑空间要求、节点连接方式及制作的难易程度等因素确定合适的截面形式和尺寸。

3. 楼盖设计

楼盖是多层钢结构厂房的重要组成部分，其作用是承受楼面荷载并将其传递给梁和柱。楼盖结构形式有钢梁-混凝土组合楼盖、钢桁架楼盖、压型钢板组合楼盖等。钢梁-混凝土组合楼盖利用钢梁与混凝土板之间的协同工作，提高楼盖的承载能力和空间性能。在设计时，需考虑钢梁与混凝土板之间的连接方式，确保两者能够有效协同受力。钢桁架楼盖适用于大跨度空间，通过合理布置桁架杆件，可有效承受楼面荷载。压型钢板组合楼盖则是利用压型钢板作为模板，与混凝土浇筑形成整体，具有施工速度快、经济性好等优点。楼盖设计需计算楼盖的承载能力、变形以及与梁、柱的连接节点强度，确保楼盖结构的安全可靠。^[5]

二、多层钢结构厂房结构设计难点分析

（一）结构布置的复杂性

厂房生产工艺和功能多样，对空间要求复杂。内部不同高度生产区、设备平台及大型设备安装空间，需合理安排柱网，兼顾建筑空间和结构受力。设置大空间区域可能用大截面实腹梁或桁架，小空间用常规框架，过渡处设计要保证传力顺畅。结构设计需避免结构构件与厂房内管道、通风设备等生产设备冲突，还要满足建筑防火、疏散规范，增加了结构布置难度。例如，在有洁净度要求的厂房中，结构布置要配合净化空调系统的管道走向，同时满足防火分区对结构分隔的要求，这需要结构工程师与各专业密切协作。^[6]

（二）节点设计的高要求

节点连接梁、柱，其设计合理性影响结构整体性能。钢结构

厂房受力时节点力传递复杂,需保证节点强度、刚度,且构造简单便于施工。节点连接形式有焊接、螺栓连接或栓焊混合连接。焊接连接刚度大、整体性好,但焊接工艺要求高,易产生残余应力和变形。螺栓连接施工方便、可拆卸,但需严格控制预紧力和抗滑移性能。节点设计还需考虑构件偏心,合理加强以提高承载和抗震性能,复杂节点需有限元分析确保安全。对于复杂节点,如多梁交汇节点,有限元分析可精确模拟节点应力分布,指导节点加强设计,确保节点在复杂受力状态下的可靠性。

(三) 抗震设计的挑战

多层钢结构厂房部分位于地震多发区,抗震设计关键。钢结构虽延性和抗震性能好,但设计仍有挑战。需准确计算结构自振周期和振型,因结构布置复杂,质量和刚度分布不均,易出现扭转振动,要合理布置构件调整质量和刚度分布减小扭转效应。抗震设计中,要考虑不同构件协同工作,如框架-支撑结构体系中框架和支撑在不同地震阶段的受力分配和协同机制需深入研究。钢结构节点在地震下易破坏,如焊缝开裂、螺栓松动,需加强节点抗震设计,提高延性和耗能能力。可采用在节点处设置阻尼器等方式,增加节点耗能,提高结构整体抗震性能。

(四) 温度作用的影响

钢材线膨胀系数大,多层钢结构厂房对温度变化敏感。温度作用下结构热胀冷缩,变形受约束产生温度应力。温度作用可能来自季节温差、日照温差及厂房内部生产温度变化。温度应力影响结构内力分布和变形,大跨度钢梁可能因温度应力产生较大挠度影响使用。设计时需考虑温度作用,采取设置温度缝、合理布置支撑、采用可滑移节点等方式减小温度变形约束等措施,结构计算中准确考虑温度作用内力并与其他荷载内力组合,保证结构在温度作用下安全。对于超长厂房,合理设置温度缝可有效释放温度应力,同时在温度缝两侧结构设计时,要考虑温度变形对相邻构件的影响。^[7]

三、多层钢结构厂房结构设计难点的解决策略

(一) 优化结构布置

结构工程师与专业设计人员充分沟通,了解生产工艺和使用功能,结合建筑空间规划和结构受力特点制定方案。对复杂空间多方案比较,通过结构计算选择受力合理、经济的方案。柱网布置尽量规则均匀,减少扭转效应。竖向构件布置变化区域设结构转换层实现过渡。提前与上游专业协调,合理安排结构构件位置,严格按防火、疏散规范优化结构布置。在设计结构转换层时,要精确计算转换梁等关键构件的受力,确保转换层传力可靠,同时满足建筑空间使用要求。^[8]

(二) 合理设计节点

依结构受力和施工条件选节点连接形式。承受较大内力节点优先用焊接,制定焊接工艺规程控制质量。螺栓连接严格控制预紧力确保抗滑移性能。复杂节点用有限元分析优化几何形状、尺寸,合理设加劲肋等加强措施,同时考虑施工可行性和便利性。在采用焊接连接时,选用合适的焊接材料和工艺参数,如对于厚

板焊接,采用多层多道焊工艺,控制焊接变形。^[9]

(三) 加强抗震设计

准确计算结构自振周期和振型,合理布置构件调整质量和刚度分布,减小扭转效应,如使质量中心和刚度中心重合或减小偏心距。深入研究框架-支撑结构体系中构件协同工作机制,合理分配受力。节点抗震设计可采用设置延性节点(如骨型节点),设置耗能元件等方式提升节点抗震性能,按抗震规范对结构进行多遇和罕遇地震分析验算。通过试验研究等手段,深入了解不同耗能元件的耗能性能,合理选择并布置在节点等关键部位,提高结构抗震能力。

(四) 考虑温度作用影响

结构设计准确考虑温度作用内力,依地区气候和厂房内部温度变化合理取值。大跨度或温度敏感部位设温度缝,划分温度区段减小温度应力。合理设计支撑系统,减少对温度变形的约束,结构计算按最不利工况组合温度作用内力与其他荷载内力。在设置温度缝时,要综合考虑厂房使用功能、建筑美观等因素,选择合适的温度缝构造形式。^[10]

四、结论

总之,多层钢结构厂房结构设计是复杂系统工程,涉及结构选型、荷载计算、构件设计等环节,面临结构布置复杂、节点设计要求高、抗震设计有挑战及温度作用影响等难点。通过合理选择结构体系、准确计算荷载、精心设计构件,并针对难点采取相应解决策略,能有效提升结构设计质量与安全性,满足工业生产对厂房的需求,推动工业建筑持续发展。未来,随着建筑技术进步,多层钢结构厂房结构设计将不断完善创新,为工业现代化建设提供更坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 庞栋戈,张惠聪,姜元清.废旧工业厂房托梁换柱加固改造施工技术[J].建筑技术开发,2023(3):53-56.
- [2] 焦海滨.浅析某框架剪力墙结构托梁拔柱的加固设计与施工[J].建筑工程技术与设计,2022(10):39-40.
- [3] 段旭,常涌.托梁拔柱的概念性整体设计——剖析托梁拔柱设计中应注意的问题[J].华东科技,2021(12):30-32.
- [4] 孟琳.多层钢结构工业厂房结构设计[J].建筑技术开发,2021,48(12):7-8.
- [5] 吴泽进.多层钢结构工业厂房结构设计要点探析[J].房地产世界,2020,(19):45-46.
- [6] 田轩.多层钢结构工业厂房的设计与施工要点分析[J].四川水泥,2022,(09):169-171.
- [7] 刘琼.大跨度钢结构厂房的设计与应用[J].中国建筑金属结构,2022,(06):96-98.
- [8] 王天笑.多层钢结构在工业厂房中的应用[J].四川水泥,2021,(09):135-136.
- [9] 柴思龙.多层钢结构工业厂房结构设计分析[J].华东科技:学术版,2017(11):54-54.
- [10] 钟斐斐.多层钢结构工业厂房结构设计分析[J].住宅与房地产,2017(29):99-100.