

多层钢结构厂房的设计

贾振宇

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘要：多层钢结构厂房设计是现代工业建筑领域的关键课题。在设计过程中，需综合考虑结构安全、功能需求、经济成本及环境影响等多方面因素。通过运用先进的结构分析软件进行精确计算，合理确定结构体系与构件尺寸，保障厂房稳定性。同时融合绿色建筑理念，采用节能材料与可再生能源技术，降低能耗。全生命周期设计思维贯穿始终，从规划到拆除，注重资源节约与循环利用，力求打造高效、环保、可持续的多层钢结构厂房。

关键词：多层钢结构；厂房；优化策略

1 多层钢结构厂房在现代工业建筑中的重要性

在现代工业建筑领域，多层钢结构厂房凭借独特优势占据重要地位，成为推动工业现代化的关键力量。从空间利用效率看，在土地资源紧张的当下，多层钢结构厂房实现垂直空间合理开发与高效利用，大幅增加可使用建筑面积。相同占地面积下，能容纳更多生产设备、仓储及办公区域，是土地成本高昂的工业园区或城市近郊企业降低用地成本、提升空间经济效益的优选方案，助力企业实现产能最大化。在结构性能方面，钢结构强度、刚度和稳定性卓越。钢材高强度特性使其能承受较大荷载，为重型设备安装和大规模生产线运行提供稳固支撑。同时其抗震、抗风性能强，面对自然灾害时抵御能力出色，保障生产活动连续性和安全性，减少企业停产损失和设备损坏风险^[1]。施工效率上，多层钢结构厂房优势显著。钢结构构件工厂预制生产，标准化、模块化特点实现精准加工和质量控制。现场施工通过吊装、拼接快速完成主体结构搭建，缩短建设周期，相比传统混凝土结构厂房，建设速度可提高数倍，让企业更快投入生产运营，抢占市场先机。多层钢结构厂房环保性和可持续性良好。钢材可回收再利用，减少建筑垃圾，符合绿色建筑理念。施工时粉尘、噪音污染少，对周边环境影响小。灵活的结构设计便于企业改造和扩建，延长厂房使用寿命，降低长期运营成本。

2 多层钢结构厂房的结构设计

在现代工业建筑中，多层钢结构厂房凭借其高效的空间利用、快速的施工效率等优势得到广泛应用。其结构设计涵盖结构选型与布置、荷载与计算、节点与连接设计等多个关键环节。

2.1 结构选型与布置

结构选型是多层钢结构厂房设计的首要步骤，需综合考虑厂房的使用功能、跨度、高度、荷载条件以及经

济性等因素。常见的结构体系包括框架结构、框架-支撑结构和纯钢结构体系等。框架结构具有空间分隔灵活、施工简便等优点，适用于跨度较小、荷载较轻的厂房；框架-支撑结构通过设置支撑体系，提高了结构的侧向刚度，适用于跨度较大或地震烈度较高的地区；纯钢结构体系以其轻质高强、施工速度快以及优秀的抗震性能而著称，能够提供宽敞的使用空间，并通过合理的钢框架布局和支撑系统（或钢绞线等抗侧力构件）设计，有效抵抗水平荷载，如风荷载和地震荷载。因此，纯钢结构体系特别适用于对空间和抗侧性能均有较高要求的厂房。在结构布置方面，应遵循均匀、对称、规则的原则，使结构的质量中心和刚度中心尽量重合，以减小扭转效应。同时要合理布置柱网和梁系，确保厂房内生产设备的安装和运输通道的畅通，还需考虑楼梯、电梯等垂直交通设施的位置，以及管道、电缆等管线的走向，使整个结构布置既满足使用功能要求，又具有良好的力学性能。

2.2 荷载与计算

荷载是多层钢结构厂房结构设计的重要依据，主要包括恒荷载、活荷载、风荷载、雪荷载和地震作用等。恒荷载是指结构自重、固定设备重量等长期作用在结构上的荷载；活荷载包括人员活动、物料堆放、设备运行等产生的可变荷载；风荷载和雪荷载根据当地的气象条件确定；地震作用则需根据地震烈度、场地类别等因素进行计算。在荷载计算过程中，需根据不同的结构体系和荷载组合情况，采用合适的计算方法。对于规则结构，可采用简化计算方法；对于复杂结构，则需采用有限元分析等数值计算方法。要考虑荷载的不利组合，确保结构在各种可能的荷载作用下都具有足够的安全储备。

2.3 节点与连接设计

节点与连接是多层钢结构厂房结构中的关键部位，

其设计质量直接影响结构的安全性和可靠性。常见的节点形式包括梁柱节点、柱脚节点、支撑节点等。梁柱节点应保证梁的弯矩、剪力和轴力能够可靠地传递给柱,同时要满足节点的刚度和延性要求。柱脚节点是上部结构与基础的连接部位,应具有足够的承载能力和稳定性,常见的柱脚形式有铰接柱脚和刚接柱脚^[2]。支撑节点要保证支撑构件能够有效地传递水平荷载,要考虑节点的施工方便性。连接设计应根据节点的受力特点和构造要求,选择合适的连接方式,如焊接连接、螺栓连接和铆钉连接等。焊接连接具有构造简单、传力可靠等优点,但焊接质量受焊接工艺和焊工技术水平的影响较大;螺栓连接施工方便、便于拆卸,但连接刚度相对较小。在设计过程中,要对连接进行详细的计算和构造处理,确保连接的强度、刚度和稳定性满足设计要求。

3 多层钢结构厂房的材料选择

3.1 钢材性能与选择

钢材是多层钢结构厂房的关键受力材料,其性能对厂房结构安全、耐久性与经济性至关重要。选择钢材时,要综合考量强度、塑性、韧性、可焊性等指标。强度决定承载能力,但过高强度会使钢材塑性、韧性下降,降低延性,在地震等动力荷载下易脆性破坏,需依据厂房跨度、高度、荷载及抗震设防烈度合理选强度等级。塑性使结构超载时通过塑性变形吸能,避免突然破坏;韧性反映钢材在冲击或低温下抗断裂能力,寒冷地区或可能受冲击荷载的厂房应选高韧性钢材。可焊性影响焊接接头质量,焊接接头需有良好力学和抗裂性能,选择钢材时要考虑化学成分、碳当量,避免可焊性差的钢材,减少焊接缺陷。常用建筑结构用钢材有碳素结构钢、低合金高强度结构钢等,一般多层钢结构厂房可选Q235、Q355等低合金高强度结构钢,特殊要求厂房可选耐候钢等。

3.2 围护结构材料选择

多层钢结构厂房围护结构包括墙体、屋面,材料选择要兼顾保温、隔热、防水、防火、隔音等功能及经济性、施工便利性。墙体材料有金属夹芯板、蒸压加气混凝土板、纤维增强水泥板等。金属夹芯板重量轻、强度高、保温隔热好、安装方便,应用广泛;蒸压加气混凝土板保温隔热、防火性能好、成本低,适合保温要求高且荷载受限的厂房;纤维增强水泥板强度高、耐久性好、防火优良,用于外墙装饰和防火隔断。屋面材料要重点考虑防水和耐久性,常用彩钢瓦、PVC防水卷材、TPO防水卷材等。彩钢瓦色彩丰富、安装方便,但防水差,需配合防水卷材;PVC和TPO防水卷材防水、耐老

化、耐腐蚀性能好,适应恶劣气候。围护结构材料要满足防火要求,必要时涂刷防火涂料,还需考虑隔音降噪措施。

4 多层钢结构厂房工业化建造技术研究

4.1 模块化设计与标准化构件

模块化设计是多层钢结构厂房工业化建造的核心理念之一。它打破了传统建筑设计中整体式布局的局限,将厂房按照功能分区、结构体系等要素,划分为若干个独立的模块单元。这些模块单元在尺寸、接口、功能等方面具有高度的标准化和通用性,如同工业产品中的标准零部件。例如,将厂房的某一层划分为多个标准办公模块、生产模块等,每个模块都包含相应的结构框架、围护结构以及内部设备设施接口。标准化构件则是模块化设计得以实现的基础。通过制定统一的构件规格、尺寸和连接方式,实现构件的大规模工厂化生产。在工厂中,采用先进的加工设备和工艺,对钢材进行精确切割、焊接和表面处理,生产出质量稳定、精度高的标准化构件。这些构件不仅便于运输和存储,而且在现场安装时,能够实现快速、精准的拼接,大大提高施工效率,标准化构件的批量生产也有助于降低生产成本,提高企业的经济效益。

4.2 预制装配技术

预制装配技术是多层钢结构厂房工业化建造的关键环节。在工厂内,将模块化设计和标准化构件进行组装,形成完整的预制单元。这些预制单元可以是整个楼层模块、结构子单元,也可以是围护结构单元等。在预制过程中,采用先进的装配工艺和质量控制体系,确保预制单元的质量和精度^[3]。预制单元完成后,通过专业的运输设备将其运输至施工现场,在现场,利用起重机械将预制单元吊装至指定位置,并进行快速、可靠的连接。预制装配技术具有施工速度快、质量可控、对环境影响小等优点。与传统的现场浇筑施工相比,预制装配技术减少了现场湿作业,降低了施工噪音和粉尘污染,同时也避免了因天气等因素对施工进度影响。预制装配技术还能够实现施工过程的并行作业,进一步提高施工效率,缩短工期。

4.3 数字化建造技术

数字化建造技术为多层钢结构厂房的工业化建造提供了强大的技术支持。通过建筑信息模型(BIM)技术,可以在设计阶段建立厂房的三维数字化模型,实现各专业之间的协同设计,提前发现和解决设计中的碰撞和冲突问题。同时,BIM模型还可以为施工过程提供精确的施工模拟和进度管理,优化施工方案,提高施工效率。在

生产制造环节,数字化制造技术可以实现构件的自动化生产和加工。利用数控切割机、焊接机器人等设备,按照BIM模型中的数据精确加工构件,确保构件的质量和精度。在施工现场,采用物联网、大数据等技术,实现对施工过程的实时监控和管理。通过传感器等设备采集施工现场的数据,如构件的位置、姿态、受力情况等,并将数据传输至管理平台进行分析和处理,及时发现施工中的问题并进行调整,确保施工质量和安全。

5 多层钢结构厂房设计优化策略

5.1 多目标优化设计

多层钢结构厂房的多目标优化设计旨在平衡多个相互关联又相互制约的设计目标,以实现厂房综合性能的最优。在成本方面,需综合考虑钢材用量、构件加工制作成本、运输费用以及现场安装成本等。通过精确的结构分析和优化算法,合理确定结构构件的截面尺寸和布置方式,在满足结构安全性和使用功能的前提下,降低钢材消耗,从而减少材料成本。优化构件的加工工艺和运输方案,降低加工制作和运输成本。在性能方面,要确保厂房具备良好的结构安全性、抗震性能和抗风性能。采用先进的结构分析软件,对厂房在不同荷载工况下的受力性能进行详细分析,通过调整结构体系、构件连接方式等措施,提高结构的整体稳定性和承载能力。还需考虑厂房的使用功能需求,如空间布局的合理性、设备安装的便利性等,通过优化设计,提高厂房的使用效率和舒适性。多目标优化设计需要建立科学合理的数学模型,运用多目标优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,对各个目标进行权衡和优化。在设计过程中,要充分考虑不同目标之间的相互影响,通过多次迭代和调整,找到满足所有目标要求的最优设计方案。

5.2 绿色建筑技术整合

将绿色建筑技术整合到多层钢结构厂房设计中,是实现可持续发展的必然要求。在节能方面,可以采用高效的保温隔热材料和节能型门窗,减少厂房的热量传递和能量损失。同时合理设计厂房的朝向和布局,充分利用自然采光和通风,减少人工照明和空调系统的使用,降低能源消耗。在环保方面,选用环保型建筑材料,减少对环境的污染。还可以设置雨水收集系统和污水处理系统,实现水资源的循环利用,减少对水资源的浪费。在可再生能源利用方面,可以在厂房屋顶安装太阳能光

伏板,将太阳能转化为电能,为厂房提供部分电力需求。或者利用地源热泵技术,实现厂房的供暖和制冷,降低对传统能源的依赖。通过整合绿色建筑技术,多层钢结构厂房不仅能够降低对环境的影响,还能为企业节约能源成本,提高企业的社会形象。

5.3 全生命周期设计

全生命周期设计强调从厂房的规划、设计、施工、使用到拆除的整个生命周期内,综合考虑环境影响、经济成本和社会效益。在设计阶段,要充分考虑厂房的可维护性和可改造性,采用标准化的构件和连接方式,便于日后的维修和改造。要预测厂房在不同使用阶段的需求变化,为厂房的灵活使用和功能扩展预留空间。在施工阶段,要注重施工过程的环保和资源节约,采用绿色施工技术,减少施工废弃物的产生^[4]。在使用阶段,要建立完善的设备管理和维护制度,确保厂房设备的正常运行,延长厂房的使用寿命。同时要关注厂房对周边环境的影响,采取相应的措施减少噪音、粉尘等污染。在拆除阶段,要考虑厂房构件的回收利用,实现资源的循环利用。通过全生命周期设计,多层钢结构厂房能够实现经济效益、环境效益和社会效益的最大化,为企业的可持续发展提供有力支持。

结束语

多层钢结构厂房设计是一项复杂且系统的工程,涉及多个学科领域的知识与技能。随着科技的不断进步和建筑理念的持续更新,应积极探索创新设计方法与技术手段,不断提升多层钢结构厂房的设计水平。未来,多层钢结构厂房设计将更加注重智能化、绿色化和人性化,以适应工业发展的新需求。相信在广大设计人员的共同努力下,多层钢结构厂房设计必将迎来更加美好的发展前景,为推动工业建筑行业的进步做出更大贡献。

参考文献

- [1]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.
- [2]闫争科.多层钢结构模块与钢框架复合建筑结构设计探究[J].建筑技术开发.2021,48(03):13-14.
- [3]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.
- [4]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.