

钢结构在工业厂房中的抗震性能分析与优化

张凌翊

贵阳铝镁设计研究院，贵州贵阳，550000；

摘要：本文聚焦钢结构在工业厂房中的应用，深入剖析其抗震性能。通过对钢结构在工业厂房应用现状的梳理，明确其优势、常用类型及存在问题。详细分析抗震原理、影响因素和评估方法，进而提出一系列针对性的抗震性能优化策略。同时探讨施工与维护环节对钢结构抗震性能的影响，旨在为提升工业厂房钢结构抗震性能、保障工业生产安全提供理论依据与实践指导。

关键词：钢结构；工业厂房；抗震性能；优化策略

DOI：10.69979/3029-2727.25.04.019

引言

工业厂房作为工业生产的重要场所，其结构的安全性与稳定性至关重要。在地震频发地区，工业厂房的抗震性能直接关系到生产活动的正常进行、人员生命安全以及经济的可持续发展。钢结构凭借其自身独特的优势，在工业厂房建设中得到了广泛应用。然而，面对复杂多变的地震作用，钢结构在工业厂房中的抗震性能仍面临诸多挑战。因此，深入研究钢结构在工业厂房中的抗震性能并对其进行优化，具有重要的现实意义。

1 钢结构在工业厂房中的应用现状

1.1 钢结构在工业厂房的应用优势

钢结构具有强度高、重量轻的显著特点。与传统的混凝土结构相比，相同承载能力的钢结构构件，其重量仅为混凝土结构的三分之一至二分之一，这不仅大大减轻了基础的负担，降低了基础建设成本，还使得厂房在建设过程中更易于运输和安装。钢结构的施工周期短，能够有效缩短工业厂房的建设时间，快速满足企业的生产需求。一般情况下，钢结构工业厂房的施工周期比混凝土结构厂房可缩短 30% - 50%，极大地提高了企业的投资效益^[1]。

钢结构还具备良好的塑性和韧性。在地震作用下，钢结构能够通过自身的变形吸收大量能量，避免结构发生突然脆性破坏，为人员疏散和抢险救援争取宝贵时间。此外，钢结构的工业化程度高，构件可在工厂进行标准化生产，质量易于控制，现场安装速度快，减少了施工过程中的不

确定性和质量风险。

1.2 工业厂房常用钢结构类型

门式刚架结构是工业厂房中最为常见的钢结构类型之一。它具有受力明确、构造简单、施工方便等优点，适用于中、小型工业厂房。门式刚架的梁和柱通常采用变截面形式，能够充分利用材料的力学性能，在满足承载能力要求的同时，降低钢材用量。

网架结构和网壳结构则常用于大跨度工业厂房。这类结构通过杆件的合理布置，形成空间受力体系，具有较大的空间刚度和承载能力。网架结构一般为平板状，适用于对室内空间要求较为平整的厂房；网壳结构则呈曲面状，造型美观，且能更好地承受竖向和水平荷载，常用于大型展览馆、体育馆等对空间和外观要求较高的工业建筑。

多层框架钢结构在一些具有多层生产空间需求的工业厂房中应用广泛。它通过梁柱节点的刚性连接，形成稳定的框架体系，能够有效承受竖向和水平荷载。多层框架钢结构可根据生产工艺的要求灵活布置柱网，满足不同的生产需求^[2]。

1.3 应用中存在的问题

尽管钢结构在工业厂房中有诸多优势，但在实际应用中也存在一些问题。部分企业为了降低成本，在钢结构设计和选材时，未充分考虑地震作用的影响，导致钢结构的强度和延性不足。一些设计人员对钢结构抗震设计规范的理解不够深入，设计的结构体系不合理，无法有效发挥钢

结构的抗震性能。

在施工过程中,部分施工单位的施工质量控制不到位。焊接质量缺陷、螺栓连接松动等问题时有发生,严重影响钢结构的整体性能和抗震能力。此外,施工现场的管理混乱,施工顺序不合理,也可能导致钢结构在安装过程中产生较大的残余应力,降低结构的抗震性能。

随着时间的推移和工业生产环境的影响,钢结构容易出现腐蚀现象。腐蚀会导致钢材的有效截面减小,强度降低,进而影响钢结构的承载能力和抗震性能。部分企业对钢结构的维护保养重视不足,未定期对钢结构进行检测和维护,无法及时发现和处理结构存在的安全隐患。

2 钢结构在工业厂房中的抗震性能分析

2.1 抗震原理

钢结构的抗震原理主要基于其良好的塑性和韧性。在地震作用下,钢结构能够发生较大的弹塑性变形,通过结构的变形来吸收和耗散地震能量,从而减轻地震对结构的破坏。当钢结构受到水平地震力作用时,梁柱构件会产生弯曲变形和剪切变形,在构件的塑性铰区域,钢材发生屈服,产生塑性变形,将地震能量转化为热能等其他形式的能量消耗掉。

钢结构的轻质特性也使其在地震作用下的惯性力较小。相比于混凝土结构,钢结构在相同地震加速度作用下所受到的地震力更小,这有助于减轻结构的地震反应,提高结构的抗震安全性^[3]。

2.2 影响抗震性能的因素

钢材的质量和性能对钢结构的抗震性能起着关键作用。优质的钢材具有较高的强度、良好的塑性和韧性,能够在地震作用下充分发挥其力学性能,有效吸收和耗散地震能量。相反,低质量的钢材可能存在强度不足、塑性差等问题,在地震作用下容易发生脆性破坏。

结构体系的合理性直接影响钢结构的抗震性能。合理的结构体系应具有明确的传力途径、足够的刚度和强度,以及良好的耗能能力。例如,采用多道防线的结构体系,在主结构遭受破坏前,其他次要结构能够先发挥耗能作用,延长结构的破坏过程,提高结构的抗震可靠性。

节点连接是钢结构的关键部位,其连接性能直接影响

结构的整体性和抗震性能。焊接节点和螺栓连接节点在地震作用下的性能有所不同。焊接节点的整体性好,但在焊接过程中容易产生残余应力和焊接缺陷;螺栓连接节点便于安装和拆卸,但在地震反复作用下,螺栓可能出现松动、滑移等现象,影响节点的连接性能。

地震动特性包括地震的震级、地震波的频谱特性和持续时间等。不同的地震动特性对钢结构的地震反应影响较大。一般来说,震级越大、地震波的频谱特性与结构自振周期越接近、地震持续时间越长,钢结构所受到的地震作用就越强烈,结构的地震反应也就越大。

2.3 抗震性能评估方法

基于位移的评估方法是目前常用的钢结构抗震性能评估方法之一。该方法通过测量钢结构在地震作用下的位移响应,与结构的允许位移限值进行比较,来评估结构的抗震性能。例如,通过监测钢结构在地震后的层间位移角,如果层间位移角小于规范规定的限值,则认为结构在地震中的抗震性能满足要求;反之,则需要对结构进行加固或修复。

基于能量的评估方法考虑了地震作用下结构吸收和耗散的能量。在地震过程中,结构通过变形等方式吸收地震能量,同时也会通过阻尼等机制耗散能量。通过计算结构吸收的地震能量和耗散的能量,评估结构的能量平衡状态,进而判断结构的抗震性能。如果结构吸收的能量超过其耗散能力,结构可能会发生破坏。

动力时程分析方法是一种较为精确的抗震性能评估方法。它通过输入实际的地震波记录,对钢结构进行动力分析,模拟结构在地震过程中的真实反应。在分析过程中,可以得到结构在不同时刻的位移、速度、加速度以及内力等响应,从而全面评估结构的抗震性能。但动力时程分析方法计算复杂,需要较大的计算量和专业的分析软件支持。

3 钢结构工业厂房抗震性能优化策略

3.1 结构体系优化

采用多道防线的结构体系是优化钢结构工业厂房抗震性能的有效措施之一。例如,可以在门式刚架结构中设置支撑系统,形成刚架-支撑结构体系。在地震作用下,支撑系统能够先于刚架承受部分地震力,消耗地震能量,

当支撑系统破坏后, 刚架仍能继续承担剩余的地震作用, 为结构提供第二道防线, 提高结构的抗震可靠性。

合理布置结构的质量和刚度分布, 使结构的质量中心和刚度中心尽量重合, 减少地震作用下结构的扭转效应。在设计过程中, 可以通过调整构件的截面尺寸、布置位置等方式, 优化结构的质量和刚度分布。例如, 在多层框架钢结构厂房中, 将较重的设备尽量布置在结构的中心区域, 避免布置在结构的边缘或角落, 以减少结构的扭转振动^[4]。

3.2 构件设计优化

根据地震作用的特点, 合理设计钢结构构件的截面尺寸和形状。在地震作用较大的区域, 适当加大构件的截面尺寸, 提高构件的强度和刚度; 在地震作用较小的区域, 可减小构件的截面尺寸, 节省钢材用量。对于受弯构件, 可以采用工字形或箱形截面, 提高构件的抗弯能力; 对于受压构件, 采用圆形或方形截面, 提高构件的稳定性。

采用高强度钢材能够提高钢结构构件的承载能力和抗震性能。高强度钢材具有较高的屈服强度和抗拉强度, 在相同承载能力要求下, 使用高强度钢材可以减小构件的截面尺寸, 减轻结构的自重, 同时也能提高结构的刚度和耗能能力。但在使用高强度钢材时, 需要注意其焊接性能和冷脆性能, 确保施工质量和结构的安全性。

3.3 节点连接优化

改进焊接工艺, 提高焊接质量, 减少焊接残余应力和焊接缺陷。在焊接过程中, 可以采用合理的焊接顺序、预热和后热等措施, 降低焊接残余应力。同时, 加强对焊接质量的检测, 采用超声波探伤、磁粉探伤等方法, 及时发现和处理焊接缺陷, 确保焊接节点的连接性能。

对于螺栓连接节点, 选择合适的螺栓型号和规格, 确保螺栓的预紧力符合设计要求。在地震作用下, 螺栓的预紧力能够有效防止节点发生松动和滑移。此外, 还可以采用摩擦型高强度螺栓连接, 利用螺栓与连接板之间的摩擦力传递剪力, 提高节点的连接可靠性和抗震性能^[5]。

3.4 减震与隔震技术应用

在钢结构工业厂房中设置耗能减震装置, 如黏滞阻尼器、金属阻尼器等。这些耗能减震装置能够在地震作用下产生较大的阻尼力, 消耗地震能量, 减小结构的地震反应。

黏滞阻尼器通过黏滞流体的黏滞阻力消耗能量, 金属阻尼器则通过金属的塑性变形耗散能量。在实际应用中, 可以根据厂房的结构特点和地震设防要求, 合理选择和布置耗能减震装置。

采用基础隔震技术, 在厂房基础与上部结构之间设置隔震层, 如橡胶隔震垫、摩擦摆隔震支座等。隔震层能够延长结构的自振周期, 减小结构的地震反应。在地震作用下, 隔震层发生变形, 将地震能量转化为热能等其他形式的能量消耗掉, 从而保护上部结构免受地震的破坏。基础隔震技术在一些对地震安全性要求较高的工业厂房中具有良好的应用前景。

4 施工与维护对钢结构抗震性能的影响

4.1 施工过程质量控制

建立健全施工质量管理体系, 加强对施工人员的培训和管理。施工人员应具备专业的钢结构施工知识和技能, 严格按照施工规范和设计要求进行施工。在施工前, 对施工人员进行技术交底, 明确施工工艺和质量标准; 在施工过程中, 加强质量检查和监督, 及时发现和纠正施工中的质量问题。

加强对钢结构构件制作和安装过程的质量控制。在构件制作过程中, 严格控制构件的尺寸精度、焊接质量和涂装质量。对构件的尺寸偏差进行严格检验, 确保符合设计要求; 加强对焊接质量的控制, 按照焊接工艺规程进行焊接操作, 保证焊接质量; 做好构件的涂装工作, 防止钢材腐蚀。在构件安装过程中, 确保构件的安装位置准确, 连接牢固。严格控制安装误差, 避免因安装误差过大影响结构的受力性能和抗震性能。

4.2 定期检测与维护

定期对钢结构工业厂房进行检测, 包括外观检查、尺寸测量、钢材性能检测、节点连接检测等。通过外观检查, 观察钢结构表面是否有腐蚀、变形、裂缝等缺陷; 通过尺寸测量, 检查构件的尺寸是否发生变化; 通过钢材性能检测, 了解钢材的强度、塑性等性能是否满足要求; 通过节点连接检测, 检查节点连接是否松动、焊缝是否开裂等。及时发现和处理检测中发现的问题, 确保钢结构的安全可靠。

做好钢结构的维护保养工作,定期对钢结构进行防腐处理。根据钢结构所处的环境条件,选择合适的防腐涂料,并按照规定周期进行涂刷。同时,注意保护钢结构表面的涂层,避免涂层受到破坏。对钢结构的节点连接部位、易腐蚀部位等进行重点维护,确保结构的连接性能和耐久性。

5 结论

本文对钢结构在工业厂房中的抗震性能进行了深入探究。钢结构因强度高、施工快等优势在工业厂房应用广泛,但存在设计选材不当、施工与维护不足等问题。其抗震性能受钢材质量、结构体系等因素影响,可通过多种评估方法测定。为此,提出从结构体系、构件设计、节点连接优化以及应用减震隔震技术来提升抗震性能,同时强调施工质量控制和定期检测维护的重要性。后续还需持续研究,完善规范,加强管理,保障工业厂房安全。

参考文献

- [1] 沈铮梁,王辉,张宇,等.超高层钢外框+核心筒结构抗震支撑体系设计与性能验证[J].建筑技术开发,2025,52(04):9-11.
- [2] 韩鹏,吕明岩,王子亚,等.钢结构电梯井道在电子厂房中的技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(06):115-117.
- [3] 张文津,李国强,徐奎元,等.双段消能摇摆钢框架结构抗震性能影响因素与设计方法[J].同济大学学报(自然科学版),2025,53(04):513-520+581.
- [4] 鲍本林.徐州东站主体结构设计与抗震性能研究[J/O L].建筑结构,1-9[2025-04-16].<https://doi.org/10.19701/j.jzjg.LS220167>.
- [5] 卢学峰.钢框架结构填充墙砌筑应注意的问题分析[J].建筑工人,2025,46(03):21-22.

作者简介:姓名:张凌翊,性别:男,民族:汉,出生日期:1991-12-05,籍贯:贵州贵阳,职称:中级职称(工程师),学历:大学本科,研究方向:土木工程。