

钢结构厂房空间抗震研究

贾振宇

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘要: 钢结构厂房作为现代工业建筑的重要形式,其空间抗震性能研究对保障生产安全至关重要。本文聚焦于钢结构厂房的空间抗震特性,综合分析结构选型、节点连接、地震响应等关键要素,探讨新型抗震材料、基于性能的抗震设计方法以及抗震智能化与信息化技术在提升厂房抗震性能中的应用。通过理论与实际案例结合,揭示现有抗震设计的不足,并提出针对性的优化策略。研究旨在为钢结构厂房的抗震设计提供科学依据,推动抗震技术的创新与发展。

关键词: 钢结构厂房;空间抗震;新方法

1 钢结构厂房空间抗震设计基本原则

1.1 整体性设计

钢结构厂房在抗震设计中,整体性是至关重要的原则之一。整体性设计强调厂房各部分构件之间的协同工作能力,确保在地震作用下,结构能够作为一个整体共同抵抗地震力,避免局部破坏导致整体失稳。具体措施包括:采用合理的结构布置,确保厂房的纵向和横向刚度分布均匀;加强构件之间的连接,提高节点的抗剪、抗拉及抗弯能力;设置必要的支撑系统,如柱间支撑、屋盖支撑等,增强结构的整体刚度。通过整体性设计,可以有效提高钢结构厂房的抗震性能,减少地震灾害损失。

1.2 冗余度设计

冗余度设计是钢结构厂房抗震设计的另一重要原则。冗余度指结构在某一构件或局部破坏后,仍能保持整体稳定性和承载能力的的能力^[1]。在抗震设计中,通过增加结构构件的数量、改变构件的布置方式或采用可替换构件等措施,可以提高结构的冗余度。这样,在地震作用下,即使部分构件发生破坏,其他构件仍能继续承担荷载,保证厂房的整体安全。冗余度设计不仅提高了结构的抗震可靠性,还便于震后的修复和加固工作。

1.3 刚度与强度匹配

刚度与强度匹配是钢结构厂房抗震设计中的关键原则。刚度指结构抵抗变形的能力,而强度则指结构抵抗破坏的能力。在抗震设计中,需要合理匹配结构的刚度和强度,使两者在地震作用下能够协调工作。具体来说,应根据地震作用的特点和厂房的使用要求,确定合理的刚度分布和强度等级。对于刚度较大的部位,应适当提高其强度等级,以防止在地震中发生脆性破坏;对于刚度较小的部位,则可通过设置耗能装置或采用延性较好的材料来提高其抗震性能。通过刚度与强度的匹配

设计,可以确保钢结构厂房在地震作用下具有良好的抗震性能和稳定性。

2 钢结构厂房空间抗震性能分析

2.1 结构选型与布置

钢结构厂房的结构选型与布置是决定其抗震性能的关键因素之一。合理的结构选型应基于厂房的功能需求、使用环境以及地震烈度等多方面因素进行综合考量。常见的钢结构厂房结构形式包括门式刚架、框架结构、网架结构等,每种结构形式都有其独特的抗震优势和适用范围。例如,门式刚架结构因其刚度大、自重轻、施工速度快等特点,在中小跨度、低层钢结构厂房中应用广泛;而框架结构则以其良好的空间整体性和抗侧力性能,在大跨度、多层钢结构厂房中占据主导地位。在结构布置方面,应遵循“均匀、对称、规则”的原则,确保厂房的纵向和横向刚度分布均匀,避免出现明显的刚度突变或扭转效应。应合理设置伸缩缝、沉降缝等构造措施,以减小温度应力、地基不均匀沉降等对结构抗震性能的影响。还应考虑厂房内部设备、管道等布置对结构抗震性能的影响,确保在地震作用下,这些设施不会对结构造成额外的破坏或影响结构的整体稳定性^[2]。

2.2 节点连接与抗震性能

节点连接是钢结构厂房抗震性能的薄弱环节之一,其连接质量直接关系到厂房的整体抗震性能。在钢结构厂房中,节点连接主要包括梁柱连接、柱脚连接、支撑连接等。这些连接节点不仅需要承受轴力、弯矩和剪力等内力作用,还需要在地震作用下具有良好的变形能力和耗能能力。为了提高节点的抗震性能,应采用合理的连接形式和构造措施。还可以采用耗能减震装置,如摩擦阻尼器、金属屈服阻尼器等,通过节点的塑性变形来吸收和耗散地震能量,从而减小地震对厂房的破坏。节点的施工质量也是影响其抗震性能的重要因素,在施工

过程中,应严格按照设计要求进行施工,确保节点的连接质量和构造细节符合规范要求。同时还应加强节点的检测和验收工作,及时发现并处理节点连接中存在的问题和隐患。

2.3 地震作用下结构响应分析

地震作用下钢结构厂房的结构响应分析是评估其抗震性能的重要手段。通过结构响应分析,可以了解厂房在地震作用下的变形、内力分布以及破坏模式等信息,为厂房的抗震设计和加固提供科学依据。在进行结构响应分析时,应采用合理的地震动输入和结构模型。地震动输入应根据厂房所在地区的地震烈度、场地类别等因素进行确定;而结构模型则应充分考虑厂房的结构形式、材料性能、节点连接等因素的影响。常用的结构响应分析方法包括时程分析法、反应谱分析法等。通过结构响应分析,可以发现厂房在地震作用下可能存在的薄弱环节和破坏模式。针对这些问题,可以采取相应的加固措施,如增加构件截面尺寸、提高节点连接强度、设置耗能减震装置等,以提高厂房的抗震性能。结构响应分析还可以为厂房的震后评估和修复提供重要依据,通过对震后厂房的结构响应数据进行分析 and 比较,可以评估厂房的破坏程度和剩余承载能力,为制定合理的修复方案提供科学依据。

3 钢结构厂房空间抗震设计优化

3.1 抗震措施与构造细节

钢结构厂房的抗震设计优化,首要任务是强化抗震措施与完善构造细节。在抗震措施方面,应着重于提升结构的整体刚度与延性。具体而言,可采取以下措施:合理布置柱间支撑与屋盖支撑系统,形成有效的空间抗侧力体系,增强结构在地震作用下的稳定性;选用高强度钢材,并优化构件截面设计,以提高结构的承载能力和耗能能力;设置阻尼器或耗能减震装置,通过其塑性变形吸收地震能量,减轻主体结构的地震反应。在构造细节上,需注重节点的设计与施工。节点是钢结构厂房抗震性能的关键环节,其连接质量直接影响到结构的整体抗震性能。因此应采用合理的节点形式,如焊接节点、高强度螺栓连接节点等,并确保节点连接的可靠性和耐久性。应加强节点的构造措施,如设置加劲肋、增大节点板厚度等,以提高节点的刚度和强度,还需关注节点区域的防腐、防火处理,防止因环境因素导致的节点性能退化。另外,构造细节还包括构件的拼接、连接处的密封与排水等。构件拼接应确保连接紧密、无缝隙,避免因拼接不当导致的应力集中;连接处应做好密封处理,防止雨水、灰尘等侵入,影响结构的耐久性;

同时应合理设置排水系统,避免积水对结构造成腐蚀或冻胀破坏。

3.2 抗震性能评估与验证

抗震性能评估与验证是钢结构厂房抗震设计优化的重要环节。通过评估与验证,可以了解厂房在地震作用下的实际性能表现,为后续的优化设计提供依据。评估方法主要包括数值模拟分析、试验研究以及现场实测等。数值模拟分析是利用计算机软件对厂房结构进行建模,并施加地震波进行动力分析,以获取结构在地震作用下的响应数据。通过对比分析不同设计方案的模拟结果,可以评估各方案的抗震性能优劣,为优化设计提供参考^[1]。试验研究则是通过制作缩尺模型或足尺试件,在实验室或现场进行地震模拟试验,以获取结构在地震作用下的实际性能数据。试验研究可以更直观地反映结构的抗震性能,为数值模拟分析提供验证和补充。现场实测则是在厂房建成后,通过安装监测设备,对厂房在地震作用下的实际响应进行实时监测。现场实测数据可以为抗震性能评估提供最直接、最真实的依据,有助于发现设计中存在的问题和不足,为后续的加固和改造提供指导。

3.3 设计优化与案例分析

设计优化是钢结构厂房抗震设计优化的最终目标。通过综合运用抗震措施、构造细节优化以及抗震性能评估与验证的结果,可以对厂房结构进行针对性的优化设计。优化设计应注重结构的整体性、冗余度以及刚度与强度的匹配,确保厂房在地震作用下具有良好的抗震性能。以某大型钢结构厂房为例进行说明,该厂房原设计采用传统的门式刚架结构形式,在地震作用下存在较大的侧向变形和节点破坏风险。通过抗震性能评估与验证,发现原设计在节点连接、支撑系统布置等方面存在不足。针对这些问题,设计团队采取了以下优化措施:在节点连接处增设加劲肋和耗能装置,提高节点的刚度和耗能能力;优化支撑系统布置,增加柱间支撑和屋盖支撑的数量和刚度,形成更有效的空间抗侧力体系;同时对构件截面进行优化设计,提高结构的整体刚度和承载能力。经过优化设计后,该厂房的抗震性能得到了显著提升。在后续的地震模拟试验中,厂房结构表现出良好的整体稳定性和耗能能力,节点连接和支撑系统均未出现明显破坏。这一案例充分证明了设计优化在钢结构厂房抗震设计中的重要作用和价值。

4 钢结构厂房抗震新技术与新方法

4.1 新型抗震材料与构造技术

在钢结构厂房的抗震设计中,新型抗震材料与构造

技术的应用为提升结构抗震性能提供了新的途径。一方面,高性能钢材的研发与应用成为关键。高强度、高韧性的钢材不仅能够显著提高厂房的承载能力,还能在地震作用下展现出更优异的延性,有效吸收和耗散地震能量,减少结构损伤。另一方面,新型构造技术也在不断涌现。例如,采用耗能减震装置(如摩擦阻尼器、金属屈服阻尼器等)与钢结构厂房结合,通过这些装置的塑性变形来吸收地震能量,从而保护主体结构免受严重破坏。预应力技术也被引入到钢结构厂房的抗震设计中,通过预应力钢索或钢绞线对结构施加预压应力,改善结构的受力状态,提高其抗震稳定性和刚度。在构造细节上,新型连接技术如螺栓球节点、焊接空心球节点等的应用,不仅提高节点的连接效率,还增强节点的抗震性能。这些节点形式具有传力明确、构造简单、施工方便等优点,能够有效减少地震作用下节点的应力集中现象,提高结构的整体抗震能力。

4.2 基于性能的抗震设计方法

基于性能的抗震设计方法(Performance-Based Seismic Design, PBSD)是钢结构厂房抗震设计领域的一项重要创新。该方法强调以结构在地震作用下的性能目标为导向,通过合理的抗震措施和构造设计,确保结构在不同强度地震作用下均能满足预定的性能要求。具体而言,基于性能的抗震设计方法包括以下几个步骤:首先,根据厂房的使用功能、重要性等级以及所在地区的地震危险性,确定结构的性能目标,如“小震不坏、中震可修、大震不倒”;其次,根据性能目标选择合适的抗震设计参数和计算方法,对结构进行抗震性能评估;另外,根据评估结果调整抗震措施和构造设计,直至结构满足预定的性能目标;最后,通过施工阶段的监控和验收,确保结构按照设计要求进行施工,保证其抗震性能的实现。基于性能的抗震设计方法的优点在于其灵活性和针对性。它能够根据不同结构的特点和需求,制定个性化的抗震设计方案,提高结构的抗震性能和经济性。同时,该方法还强调了结构在地震作用下的可恢复性设计,为震后快速恢复生产提供了有力保障。

4.3 抗震智能化与信息化技术

随着信息技术的飞速发展,抗震智能化与信息化技术在钢结构厂房抗震设计中的应用日益广泛。这些技术

通过集成传感器、数据分析、人工智能等先进技术,实现了对结构抗震性能的实时监测、评估和预警。一方面,智能化监测技术能够实时监测钢结构厂房在地震作用下的响应情况,如位移、加速度、应变等参数。通过对这些数据的实时采集和分析,可以及时发现结构的异常状态和潜在风险,为采取相应的抗震措施提供依据。例如,基于物联网技术的结构健康监测系统能够实现对方厂结构的全方位、全天候监测,大大提高结构抗震性能的监测效率和准确性^[4]。另一方面,信息化技术则为抗震设计提供强大的数据支持和决策辅助。通过建立结构抗震性能数据库和专家系统,可以实现对大量抗震设计案例的存储、查询和分析,为设计人员提供丰富的设计经验和参考依据。利用人工智能技术对结构抗震性能进行预测和优化设计,可以进一步提高设计效率和准确性,降低设计成本。抗震智能化与信息化技术还促进了钢结构厂房抗震设计的标准化和规范化。通过制定统一的数据标准和接口规范,实现不同系统之间的数据共享和互操作性,为抗震设计的协同工作和信息集成提供有力支持。

结束语

钢结构厂房空间抗震研究是当前工业建筑领域的重要课题,其成果直接关系到厂房的安全性与耐久性。本文通过系统分析钢结构厂房的抗震性能,提出了多种创新性的抗震设计方法与技术应用。抗震研究仍面临诸多挑战,如复杂地震作用下的结构响应机制、新型抗震材料的长期性能等。未来,需进一步加强跨学科合作,深化理论研究,完善实验验证体系,推动抗震技术的智能化与信息化发展,为钢结构厂房提供更加可靠、高效的抗震解决方案,保障工业生产的稳定与安全。

参考文献

- [1]亢毅.工业厂房结构设计中钢结构设计应用分析[J].居舍,2022,(34):116-118.
- [2]夏研.多层轻钢结构工业厂房的设计与应用分析[J].能源技术与管理,2022,47(05):159-161+175.
- [3]陈建华.钢结构建筑抗震设计研究[J].建筑结构,2023,45(3):123-128
- [4]刘晓东.工业厂房钢结构施工质量控制探讨[J].工程管理,2022,34(2):89-94