

钢结构门式刚架加固设计方法分析

侯敬洋 曹紫菲*

河北建研建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着现代化工业厂房及大型仓库建设的推进, 钢结构门式刚架凭借结构简单、跨度大、施工工期短等优势, 在实际工程中得到广泛应用。然而, 该类结构在长期服役过程中, 受荷载增大、疲劳效应及建造阶段遗留问题的影响, 易出现构件失稳、连接处松动或整体刚度下降等问题, 严重威胁结构安全并缩短使用寿命。本文系统阐述了门式刚架的力学特性与破坏形式, 明确了合理的加固设计理念, 结合工程实践, 详细介绍了构件截面加大法、增设支撑和拉杆体系加固法、现场焊接/螺栓连接补强法、疲劳耐久性能加固法等多种加固技术的应用要点。同时, 对加固设计计算、施工作业及效果检测进行了深入探讨, 并提出总体优化设计思路, 以实现安全性、经济性与施工性的协调统一。该研究可为同类钢结构门式刚架的加固提供理论参考和施工指导, 对延长结构使用寿命、保障工程建设质量具有重要意义。

[关键词] 钢结构; 门式刚架; 加固设计; 结构加固方法

DOI: 10.33142/aem.v8i1.18915

中图分类号: TU392.5

文献标识码: A

Analysis of Design Methods for Reinforcement of Steel Structure Portal Frame

HOU Jingyang, CAO Zifei*

Hebei Jianyan Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the advancement of modern industrial plant and large warehouse construction, steel structure portal frames have been widely used in practical engineering due to their advantages of simple structure, large span, and short construction period. However, during long-term service, this type of structure is susceptible to problems such as component instability, loose connections, or decreased overall stiffness due to increased loads, fatigue effects, and legacy issues during construction, which seriously threaten structural safety and shorten its service life. This article systematically elaborates on the mechanical characteristics and failure forms of portal frames, clarifies reasonable reinforcement design concepts, and combines engineering practice to introduce in detail the application points of various reinforcement techniques such as component section enlargement method, additional support and tension rod system reinforcement method, on-site welding/bolt connection reinforcement method, fatigue durability performance reinforcement method, etc. At the same time, in-depth discussions were conducted on reinforcement design calculations, construction operations, and effect testing, and overall optimization design ideas were proposed to achieve the coordination and unity of safety, economy, and construction. This study can provide theoretical reference and construction guidance for the reinforcement of similar steel structure portal frames, which is of great significance for extending the service life of structures and ensuring the quality of engineering construction.

Keywords: steel structure; portal frame; reinforcement design; structural reinforcement methods

引言

钢结构门式刚架因结构简洁、承重性能优越, 已成为当代工业建筑的主流形式之一。但随着使用年限的增长及使用功能的变更, 其常出现承载力不足、局部失稳、连接部位磨损、整体失稳等问题, 不仅严重影响建筑安全性, 还大幅增加了维护成本。国内外相关学者已针对钢结构加固技术开展了一系列研究, 主要通过强化梁柱构件、优化支撑系统、改造节点构造及改善材料性能等方式实现加固目标。然而, 在大跨度、复杂荷载及特殊施工环境下, 如何选择兼顾安全性、耐久性、经济性与施工便捷性的加固方案, 仍是当前工程实践中面临的难点。因此, 系统的探究门式刚架的加固设计原则与方法, 并且结合结构分析与施工实践进行全面研究, 为工程实践提供切实可行的技术依据与参考经验, 具有重要的理论指导意义和工程应用价值。

1 钢结构门式刚架概述

钢结构门式刚架通常由柱、梁及节点组成, 呈门字形结构, 在大跨度空间中能发挥良好的承载性能, 其核心优势包括整体刚度好、自重轻、用材经济、施工工期短等, 广泛应用于车间、库房及大型公用建筑。门式刚架承受的主要外力荷载包括结构自重、屋盖活荷载、风荷载及偶然荷载, 结构体系需在水平和竖向均满足稳定性要求。

门式刚架常见的破坏形式主要有: 梁或柱的局部失稳、节点破坏产生塑性铰、整体稳定性不足导致的过大侧向变形, 此外, 长期使用过程中出现的疲劳损伤与材质老化, 也会导致结构整体强度下降。因此, 在设计阶段及使用过程中, 对门式刚架进行科学合理的加固处理, 可有效提升结构承载能力、改善使用性能, 进而延长使用寿命、保障使用安全并降低后期维护费用。加固设计除需考虑结构的

受力性能与破坏机制外,还应兼顾施工可行性与经济性,实现安全、耐用与经济的统一。

2 门式刚架加固设计原则

2.1 安全性与耐久性要求

安全性与耐久性是门式刚架加固设计的核心原则。钢结构门式刚架常用于大跨度屋面及多层荷载场景,其主要承重结构(柱、梁、节点等)随使用时间增长,可能出现局部失稳、节点螺栓松动或整体刚度不足等问题,若不及时加固,将严重影响结构承载能力与使用者安全。因此,加固设计需基于结构实际情况,深入分析受力特征与失效形式,采取针对性加固措施,确保构件在各类设计荷载及偶然荷载作用下,均能满足强度与刚度要求。

耐久性同样是加固设计的关键考量因素。钢结构在长期使用中,易受腐蚀、疲劳效应及温湿度变化的影响,导致材料性能退化或结构损坏。因此,在加固设计过程中,需从材料选择、施工工艺到防护措施进行全面规划,通过完善防腐设计、防疲劳设计及节点加强处理,提升结构耐久性,确保加固后的门式刚架在设计使用年限内保持稳定可靠的工作性能。

2.2 经济性与施工可行性考虑

经济性与施工可行性是门式刚架加固设计的重要原则,与安全性同等重要。加固方案需在满足结构安全与耐久性要求的基础上,尽可能降低工程费用、减少材料消耗、缩短施工工期、节约资源。

施工可行性主要涉及现场操作便利程度与施工风险控制。门式刚架多具有跨度大、屋盖空间狭小的特点,导致施工现场操作空间受限,因此加固方案需适配现场施工条件,便于材料运输与安装,且施工操作应简洁高效。

经济性方面,需对多种加固设计方案进行比选优化,优先选择材料质量可靠、施工技术成熟且造价较低的加固方式,以实现工程投资与后续管理费用的节约。同时,加固施工可能对原结构产生扰动,设计时应优先采用操作便利、风险较小且对结构使用影响轻微的加固手段,最终实现结构安全增强、施工便捷与经济合理的和谐统一。通过综合考量安全性、耐久性、经济性与施工可行性,确保加固设计合理可行,并能顺利应用于工程实践。

3 门式刚架加固设计方法

3.1 构件截面增强加固法

构件截面加大加固法是门式刚架加固中最常用的技术手段之一,其核心原理是在受力杆件原有截面的基础上,通过焊接型钢的方式,提升杆件的承载能力与整体刚度。该方法主要适用于梁、柱、檩条等构件出现局部失稳、截面尺寸偏小或整体刚度不足的情况。

截面增大加固法的优势在于加固连续性好、力学性能改善效果显著,但由于需对原杆件进行现场焊接或螺栓连接,对施工工艺水平有一定要求。此外,截面加大过程中需充分考虑连接节点的受力传递问题,确保新增截面与原

杆件协同受力,避免因应力集中引发二次破坏。通过科学计算确定新增截面尺寸、合理选择材料材质及优化加固设计,可在大幅提升门式刚架承载能力、延长结构使用寿命的同时,兼顾施工可行性与工程造价。

3.2 外加支撑与拉杆系统加固法

外加支撑与拉杆体系加固法,是指在门式刚架外围或关键部位增设支撑杆件、拉杆或斜杆,以提升刚架整体稳定性及抗侧移能力的加固技术。该方法主要适用于梁、柱发生屈曲变形、整体横向刚度不足或存在侧移隐患的结构,通过增设斜撑或附加拉杆,可将部分荷载转移至辅助支撑体系,减轻主构件受力负担,进而增强整个结构的稳定性。

在设计与施工过程中,需重点分析外加支撑与拉杆体系的传力路径及节点连接形式,确保其与原结构协同工作。该方法具有施工简便、对原结构损伤小的优点,可在结构使用过程中进行加固作业。通过合理选择支撑点与拉杆位置,能有效避免结构整体倒塌风险,降低各部件屈曲概率,显著提升门式刚架结构的稳定程度与安全性能。

3.3 局部焊接或螺栓连接加固法

局部焊接或螺栓连接加固法,主要针对门式刚架构件的节点部位及结构弱化区域进行局部强化处理。该方法通过在节点、梁柱交接处或局部断面焊接钢板、厚钢板,或采用螺栓连接件等方式,提升局部抗压能力与刚性。

其显著特点是针对性强、施工灵活便捷且造价较低,尤其适用于节点受力不足或存在局部破坏的情况。但在焊接与螺栓紧固过程中,需严格控制施工质量与紧固扭矩,避免出现焊接裂缝或螺栓松脱现象,防止因应力集中影响加固效果。此外,局部加强设计需与整个结构的受力体系相协调,避免因局部强化导致整体受力失衡,引发新的破坏形式。通过合理设计局部加强范围、选择适宜的材料及连接形式,可有效保障整体结构的安全性与耐久性。

3.4 疲劳与耐久性加固设计方法

疲劳与耐久性加固设计的核心目标是预防钢结构门式刚架在长期使用过程中出现的疲劳裂缝、材料损耗、锈蚀等问题。具体可通过局部增厚杆件、优化焊接质量、增加防腐涂层厚度、对关键部位采取疲劳削弱控制等方式,提升结构的抗疲劳性能与耐久性。

设计过程中,需结合结构所处环境、使用荷载频率及应力幅等因素,开展全面的疲劳分析与选材分析,明确重点节点与脆弱构件的加固方式。同时,耐久性加固需充分考虑环境因素对钢结构的影响,如湿度、温差变化、化学腐蚀等,合理选择材料与防护方案,延长结构服务寿命。通过科学的疲劳与耐久性加固设计,可有效减少钢结构长期使用中的安全隐患,确保门式刚架在设计使用周期内的安全性。

3.5 综合加固方案设计思路

综合加固方案的设计核心,是在充分分析门式刚架结构力学特征、受损情况及所处环境的基础上,融合多种加固技术进行协同加固。通常情况下,单一加固方式难以同

时满足安全性、经济性与施工便捷性的要求,而综合加固方案可整合截面加大、增设支撑构件、局部焊补、耐久性防护等多种方法,从结构强度、刚度与耐久性三个维度全面提升原结构性能。

设计流程如下:首先对结构现状进行全面鉴定,分析原有结构体系的受力状况,明确结构主要薄弱部位及需解决的核心问题;随后结合施工可行性、材料特性及经济成本等因素,对多种加固技术进行优化组合。综合加固方案不仅能提升结构的安全可靠性,还能优化施工程序、减少对原结构的扰动,最终实现安全性、经济性与施工便捷性的有机统一。

4 门式刚架加固设计实施与效果分析

4.1 加固设计计算方法与分析

准确的结构计算与力学分析是门式刚架加固设计的首要环节,也是确保加固方案合理可行的关键。计算过程中,首先需对现状结构进行全面受力分析,明确柱、梁及节点在竖向荷载、水平荷载、风荷载作用下的受力形式,同时综合考虑偶然荷载及不同荷载组合对整体结构安全的影响,据此判断结构薄弱点及需加强的构件截面,并选取适宜的加固手段。

在结构加固计算设计过程中,需严格遵循《钢结构设计规范》要求,结合原有构件截面信息、材质特性、节点形式等,完成截面强度、整体刚度及稳定性的校核。对于使用年限较长的门式刚架,还需进行疲劳寿命分析,评估荷载循环作用下的疲劳损伤情况,确保加固后的结构在设计使用周期内仍具备良好的可靠性。通过科学合理的力学分析计算,不仅能确定所需的加固材料、截面尺寸及支撑位置等关键参数,还能验证所选方案对结构承载能力与刚度的提升效果,为后续施工提供可靠的设计依据。

4.2 加固施工工艺及注意事项

加固施工是门式刚架结构加固的核心环节,施工技术水平直接影响加固工程的成败及结构的安全性能。施工过程中,需严格执行加固设计方案,同时结合施工现场实际情况对施工技术进行动态优化。

采用构件截面加大法时,通常需在原有构件表面进行焊接或螺栓固定连接加厚型钢。施工前,需对原有构件表面进行除锈处理,并复核尺寸精度,确保焊接与连接质量符合相关规范要求。新增支撑构件及拉杆体系的安装,需严格控制节点连接的预紧力及支撑角度,确保新增构件能有效承担设计荷载,并与原有结构协同工作。

局部焊接或螺栓连接加固施工需由经验丰富的专业工人操作,确保焊缝饱满均匀、螺栓紧固扭矩达标,避免因焊缝缺陷或螺栓孔设置不当引发应力集中。施工过程中,需对结构采取临时支撑或实时观测措施,防止施工导致原有结构内力突变、变形超出允许范围。此外,还需重视施工安全管理、材料运输调度及施工现场工序安排,通过科

学有序的施工组织,加快施工进度,确保加固工程顺利完成,实现设计目标。

4.3 加固效果评估与结构验算

必须对结构进行全面的加固效果检测与结构验算,确保加固后的结构满足安全性、刚度提升及耐久性要求。检测工作主要通过对构件强度、节点刚度、整体变形等关键指标的测试与计算,对比加固前后结构性能的变化,验证加固方案的有效性。

验算过程中,需依据设计规范要求,结合结构实际受力状态,对加固部位各构件进行抗力、稳定性检验及疲劳次数计算,确保每个构件在实际荷载作用下均具备足够的安全储备。此外,还可采用有限元模拟、实际加载试验等方法,对整个加固后结构体系进行全面分析,复核体系加固效果及节点协同工作性能。通过系统的检测与验算,不仅能及时发现并整改加固过程中可能存在的隐患,还能后续同类工程的加固提供宝贵经验,推动门式刚架加固设计朝着更安全可靠、经济合理的方向发展。

5 结语

本文系统阐述了钢结构门式刚架的加固设计准则、加固方法及加固效果评估要点,提出了全面的加固设计方案思路。实践表明,采用构件截面加大法、外加支撑与拉杆体系加固法、局部焊接或螺栓连接加固法及疲劳与耐久性加固法等技术,可有效提升原有门式刚架的承载能力、刚度及耐久性。通过科学开展加固设计计算、规范执行加固施工工艺、严格进行加固效果评估与结构验算,能实现加固结构在安全经济性、施工可行性方面的优化。该研究成果不仅能延长门式刚架的服务年限,还能为结构安全管理与维护提供切实可行的技术措施。

后续研究中,可进一步将高性能材料、智能监测技术及新型施工技术引入门式刚架加固设计领域,推动加固设计向智能化、高效化方向发展,为钢结构厂房的安全服役与持续利用提供更坚实的理论指导与实践依据。

[参考文献]

- [1]宣立发.门式刚架轻钢结构不同加固方法的对比研究[D].邯郸:河北工程大学,2023.
 - [2]游榕华.门式刚架轻型房屋钢结构鉴定及加固设计[J].江西建材,2024(6):114-116.
 - [3]郭隆乾,翁维素.某钢结构门式刚架厂房加固改造设计研究[J].河北建筑工程学院学报,2023,41(2):66-71.
- 作者简介:侯敬洋(1988.10—),毕业院校:重庆大学,所学专业:土木工程(工业与民用建筑方向),当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:结构设计师,职称级别:高级工程师;*通讯作者:曹紫菲(1986.6—),毕业院校:石家庄经济学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:结构设计师,职称级别:高级工程师。