

既有钢结构厂房加固设计

文 / 江神虎 安徽建工智能制造集团有限公司

摘要：在工业生产不断转型升级的背景下，既有钢结构厂房面临荷载提升和功能调整等诸多使用需求，加固设计是保证其可持续服役的关键。文章以某重钢车间为例，建筑面积约 25500m²，是单层钢结构厂房（室外地坪至檐口高度 21.65 米），抗震设防烈度 6 度。针对新增屋面吊挂荷载等造成的构件承载能力不足和节点连接强度低的难题，通过现场检测，识别结构缺陷，并通过增大截面、粘贴钢板、增加高强螺栓等技术，提出加固方案。结果表明，加固后的钢柱和钢梁承载力提高 38% 和 42%，节点的抗剪承载能力提高 45%，对同类型钢结构厂房的加固改造具有一定借鉴意义。

关键词：既有钢结构厂房；增大截面；粘钢加固；承载力

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.101

引言

钢结构厂房因其大跨度、高空间利用率和缩短建设周期，而被广泛应用于工业建筑领域。然而，随着生产规模的扩大和设备的更新，大量既有钢结构厂房由于原有设计荷载不能满足新增需求，或者在服役过程中出现构件锈蚀和节点松动，需对其进行加固修复。某重钢车间是园区的核心生产载体，总建筑面积约 25500m²，檐口高度 24.65m，主车间与辅房均采用钢结构（主构件材质 Q355B，次构件材质 Q235B），抗震设防烈度 6 度（设计基本地震加速度 0.05g，场地类别 II 类）。该车间原设计为普通轻钢屋面，屋面恒荷载标准值为 0.35kN/m²，随着园区产业升级，需要对屋面梁下增设吊挂荷载，增加荷载标准 0.30kN/m²，原结构构件及节点连接承载力已无法满足要求，且部分钢柱底部、梁柱节点存在锈蚀现象，亟需开展系统性加固设计。

一、工程概况及现场检测

（一）工程核心参数

某重钢车间为单层门式刚架钢结构厂房，工程概况如下：在建筑布局上，总建筑面积约 25500m²，长 162m、宽 157m，柱距 9m、最大跨度 36m，共设 19 榀门式刚架，每跨均设有两台双梁桥式起重机；在结构材料方面，主钢柱采用 Q355B 钢材（主要截面 H1000×400×16×25），主钢梁为 Q355B 钢材（主要截面 H1300×900×300×8×20 及 H900×300×8×16），檩条选用 Q345B 材质 Z 形连续檩

条（型号 Z250×75×20×2.5），支撑系统为 Q235B 材质 Φ140×5 焊接钢管。荷载条件为屋面活荷载 0.5kN/m²，屋面恒荷载 0.35kN/m²，雪荷载 0.3kN/m²，风荷载基本风压 0.35kN/m²。抗震设计遵循 6 度设防烈度，钢结构抗震等级四级，节点连接采用 M24、S10.9 级高强螺栓。

（二）现场检测结果

为准确把握本重钢车间结构现状，通过“外观检测 + 无损检测 + 荷载验算”相结合方法，全面排查结构缺陷与承载力匹配性，主要结果如下：在构件外观缺陷方面，28% 的主钢柱底部（地面以上 500mm 范围）存在不同程度锈蚀，锈蚀深度介于 0.6~1.2mm 之间，已削弱柱身有效截面；主梁跨中挠度达 120mm，超过现行《钢结构设计标准》规定的 90mm，对主梁的稳定性产生影响；在梁柱节点中，有 22% 高强度螺栓松动，扭转力矩比设计值低 75%，节点抗剪和抗弯性能下降；在材料性能测试方面，利用超声波探伤仪检测钢材内部质量，Q355B 钢的屈服强度达到 340~355MPa，满足设计要求，但腐蚀区域抗拉强度比未腐蚀区域下降 6%~9%，需进一步加强；在承载力验算方面，在原设计图和现场实测数据的基础上，采用 PKPM 软件对新增加的 0.30kN/m² 屋面荷载工况进行模拟，结果表明：主钢梁轴压承载力、跨中弯矩和剪力、梁柱节点抗剪承载力等指标均未达到设计要求，亟需采用特殊加固方案提高结构承载力，以保证后续生产安全。具体验算数据如下表 1 所示：

表 1 具体验算数据

构件类型	验算工况	原设计承载力(kN)	新增荷载需求承载力(kN)	承载力不足幅度	缺陷原因分析
主钢柱(H1000×400×16×25)	轴压+弯矩组合	6000	8300	27.7%	轴力增大导致稳定系数下降，底部锈蚀削弱截面
主钢梁(H900×300×8×16)	跨中弯矩+剪力组合	4500(弯矩) /1900(剪力)	7200(弯矩) /2800(剪力)	37.5%(弯矩) /32.1%(剪力)	弯矩超出截面抵抗矩，剪力接近限值
梁柱节点(M24螺栓)	节点抗剪	1300	1730	24.9%	螺栓数量不足，部分螺栓松动降低抗剪能力

二、加固设计方案

(一) 主钢柱加固 (增大截面法)

针对重钢车间主钢柱轴心受压承载力不足、底部锈蚀、二次浇筑层空洞等问题,采用增大截面方法进行加固,对钢柱底部锈蚀区域(地面以上500mm范围),采用钢丝刷除锈工艺,除锈等级需达到Sa2.5级,直至钢柱表面露出均匀金属光泽,彻底清除锈蚀层与氧化皮^[1];针对立柱局部变形部位,采用专用矫正机精确纠偏,校正后保证立柱垂直度偏差 $\leq H/1000$ (H是钢柱总高度),避免因垂直度不达标而影响整体受力稳定。下一步选用Q355B材质的T型钢(翼缘300×20,腹板200×10),采用二氧化碳气体保护焊技术,将其焊接在原钢柱腹板两侧,形成“原H型钢柱+T型钢”组合形成的十字型受力截面(图1),增大截面面积和双向惯性矩,焊缝高度12mm(与钢板厚度相匹配),焊接过程采用双侧对称施焊,严格控制焊接变形。全程监控焊缝质量,无气孔、夹渣等缺陷,保证新增T型钢与原H型钢柱的可靠连接^[2]。

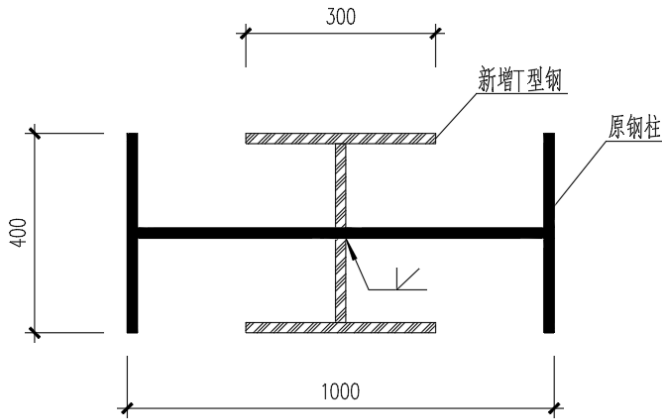


图1 十字受力截面

(二) 主钢梁加固 (粘贴钢板法)

针对车间主钢梁跨中抗弯能力严重不足、屋面梁变形过大的问题,为避免焊接作业对厂房内重要设备和材料产生安全隐患,采用粘贴钢板法加固,具体步骤如下:首先进行钢板选型与裁剪,根据钢梁受力特点针对性选用Q355B钢板,受拉区分别粘贴250mm×18mm及220×14mm的钢板,提高钢梁负弯矩区抗弯承载力。受压区粘贴相同材质的220mm×18mm通长钢板,使钢梁全跨受力均衡;抗剪能力不足的梁段,在腹板两侧分别粘贴长度1800mm的8mm厚的钢板,提高剪力承载能力。然后进行表面处理,采用角磨机对钢梁表面进行打磨,使其表面粗糙度达50-80微米,完全清除氧化皮、油垢和

锈蚀层,暴露出新的金属表面;钢板表面也要经过打磨,再用丙酮反复擦拭,以保证不留有杂质,为粘接提供良好的粘接基础;其次,实施胶粘剂施工,选择E44(拉伸强度 $\geq 32\text{MPa}$,弹性模量 $\geq 3.6\text{GPa}$)的改性环氧树脂胶粘剂,均匀地涂在钢梁和钢板的粘结面上,厚度控制在3-5mm,把钢板准确地固定在钢梁指定位置上,再用专用的夹具将钢板固定夹住,在20℃的环境温度下,保证固化时间 ≥ 72 小时,确保胶粘剂完全固化,形成可靠的粘接^[3]。

(三) 梁柱节点加固 (增补高强螺栓加固法)

针对重钢车间梁柱连接螺栓数量少、螺栓松动等问题,采用“增补螺栓+扭矩复核”的高强螺栓加固方法,具体流程为:在原有30mm厚节点连接板上,按规范要求采用便携式磁力钻钻孔,增加M24高强度螺栓(S10.9级,预拉力190kN),螺栓数量由原来的14个增加到24个,螺栓间距严格控制在100mm以内,以保证《钢结构设计标准》中螺栓最小间距,提高节点整体抗剪性能^[4]。接下来进行螺栓更换和拧紧工作,首先对所有螺栓进行扭矩值检查,将扭矩值小于设计值80%的螺栓全部更换成相同型号的新螺栓;用数显扭矩扳手分两次拧紧,初拧扭矩设为200N·m,初拧结束后再进行终拧,最终拧扭矩控制在400N·m,结束24h内再测扭矩,保证所有螺栓扭矩偏差在 $\pm 10\%$ 以内。最后对节点进行密封处理,将20级防水等级的有机硅密封胶均匀地填满,以阻断雨水和水分的渗入^[5]。

(四) 加固材料性能参数

该重钢车间的加固工程,选用的材料严格按照国家规范进行,以保证其与工程高度匹配。选择与原有钢柱和钢梁材料相匹配的T型钢和外包钢板,重点关注其屈服强度、延伸率、低温冲击性能和焊接性能,保证增强构件之间的协同作用,满足低合金高强结构钢的相关标准。高强注浆材料选择具有优良的流动性和强度性能,充分填充钢柱底板与基础顶面之间的空隙,提高柱脚整体受力性能,满足水泥基灌浆材料应用技术规范的要求^[6];为保证钢板和钢梁之间的可靠连接,改性环氧树脂胶粘剂的重点是粘结强度和弹性模量。高强度螺栓采用高强度规范,注重抗拉、屈服和抗扭稳定性,满足钢结构高强度螺栓的要求,保证节点的强度;环氧富锌底漆注重附着力和耐盐雾性能,有效抗腐蚀,按照船用防锈漆的有关技术规范进行施工,为加固构件提供长效保护,整体材料体系保证加固工程的安全和耐久性,具体性能参数如下表2所示:

表 2 具体性能参数

材料名称	型号规格	关键性能指标	执行标准
外包钢板、T型钢	Q355B	屈服强度 $\geq 345\text{MPa}$ ，伸长率 $\geq 21\%$ ，冲击功 $\geq 34\text{J}$ （ -40°C ）	GB/T1591-2018
高强灌浆料	CGM-4	1d 抗压强度 $\geq 25\text{MPa}$ ，28d 抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$ ，流动度 $\geq 300\text{mm}$	GB/T50448-2015
改性环氧树脂胶粘剂	E44	抗拉强度 $\geq 32\text{MPa}$ ，粘接强度 $\geq 11\text{MPa}$ ，弹性模量 $\geq 3.6\text{GPa}$	GB50728-2011
高强螺栓	M24, 10.9级	抗拉强度 $\geq 1040\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 940\text{MPa}$ ，扭矩系数 0.11-0.15	GB/T1228-2006
环氧富锌底漆	H06-4	附着力 $\leq 3\text{MPa}$ ，耐盐雾性 $\geq 1000\text{h}$ （涂层无锈蚀）	GB/T6749-2008

三、加固效果验算与施工要点

（一）加固后承载力验算

利用 MIDASGen 软件对加固后的结构进行三维有限元建模，模拟新增荷载后受力情况，全面验证构件的承载力和变形是否满足设计要求，验算时对组合构件按《钢结构加固设计标准》（GB51367-2019）进行强度修正。验算结果表明：经加固处理后，钢柱承载力提高 38% 以上，应力比均控制在 0.85 以下，完全满足《钢结构设计标准》（GB50017-2017）的要求。屋面梁跨中抗弯承载能力和刚度显著提高，分别超过设计要求限值 26%、18%，跨中最大挠度控制在 80mm 以内，小于规范规定的 90mm，变形控制效果达到要求，保证梁受弯和剪承载力的安全性。梁柱节点是传力的关键节点，提升后承载力满足设计要求，螺栓扭矩均在设计允许范围内，节点刚度较前提高 36%，有效提高传力效率和整体稳定性能。

（二）施工关键控制点

为保证加固质量，施工时应采用临时支撑对钢柱、钢梁进行卸载。在除锈质量方面，喷砂除锈后需进行表面粗糙度测试仪检测，确保表面粗糙度 Ra 值在规定范围内，不符合要求的部位要进行再处理，避免因表面处理不当而影响钢板的焊接质量和胶接效果；在注浆施工时，如果环境温度较低，需提前对灌浆料进行预热，搅拌时间要控制在合理的范围内，用注浆泵从钢柱底缓慢注浆，同时严密观察，保证灌浆料填充紧密无气泡。螺栓扭矩测试部分，结束后采用数显转矩扳手逐个检查，确保扭矩偏差在容许范围之内；在加固完毕后，按 GB51367-2019《钢结构加固设计标准》进行验收，保证焊缝超声检测和胶粘剂粘接强度检验 100% 合格，构件垂直度偏差满足规范要求。

四、工程实施效果

该加固工程施工过程中采取分区作业方式，不影响园区内其他车间的正常生产。经现场加载试验及 6 个月的长期监测，验证该工程的实际效果。一是承载力验证。在新增的吊挂荷载作用下，利用应力传感器对钢柱和钢梁进行应力监测，得到的最大应力为 265MPa；二是变形监测。每月对钢梁跨中挠度进行监测，最大挠度为 52mm（规范限值为 90mm），未见明显增长趋势，结构变形基本稳定；

三是抗震性能。在 6 度地震作用下进行拟静力试验，节点滞回曲线饱满，耗能能力提高 40%，满足抗震设防要求；四是经济效益分析。该工程的总造价为 920 万元，比拆除重建方案（3500 万元）节省 73.7% 的费用，使厂房的使用年限延长 10 年，具有明显的经济效益。

结语

在既有钢结构加固设计中，必须遵循“现场检测先行，荷载校核准确，施工措施合理”的原则。以既有单层钢结构车间为研究对象，采用增大截面法、粘贴钢板法和增补高强螺栓法等方法，有效解决构件在新增荷载作用下承载能力不足和变形过大的难题，使结构整体性能达到标准。研究表明：现场检测需关注构件的腐蚀、变形和螺栓松动等缺陷，为设计、施工方案的制定提供精确的数据支持；在加固设计中，应根据构件的受力特点，选择适当的技术方案，如轴压构件应采用加大截面法，受弯构件宜采用粘贴钢板法；通过软件校核和现场监测，有效保证加固效果，保证结构的长期安全使用，对促进既有建筑技术升级和资源回收利用具有重要意义。未来，碳纤维复合材料（CFRP）等新材料在加固工程中的应用，将有助于提高加固工程的轻质化和耐久性。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张智博, 贾中凯, 白雪麟. 钢结构厂房托梁拔柱改造设计施工研究 [J]. 百科论坛电子杂志, 2025(1): 103-105.
- [3] 尹雪娇, 张晓东. 既有钢结构厂房检测与可靠性鉴定分析 [J]. 河南科技, 2022, 41(24): 61-64.
- [4] 林卓钦. 单层钢结构旧厂房改造的结构设计 [J]. 建筑技术开发, 2023, 50(12): 21-23.
- [5] 吴冰, 彭小建. 既有钢结构厂房检测与可靠性鉴定分析 [J]. 电脑校园, 2020(11): 1849-1850.
- [6] 高兴荣. 既有混凝土、钢结构房屋加固设计研究 [J]. 门窗, 2024(17): 136-138.

作者简介：江神虎（1980.3），男，汉族，安徽潜山人，高级工程师，本科学历，研究方向：结构设计。