

工业建筑大跨度钢结构施工技术

李占山

广东省洲际建工集团有限公司 广东 佛山 528000

摘要：工业建筑大跨度钢结构施工技术因空间跨度大、结构形式多样、材料强度要求高，在现代工业建筑中占据重要地位。其关键技术涵盖构件加工制作、安装施工、焊接与连接及施工测量监控。随着技术发展，数字化与智能化融合、新材料应用、绿色环保及跨领域协同创新成为主要趋势，推动该技术向更高效、精准、可持续方向发展。

关键词：工业建筑；大跨度钢结构；施工技术

引言：在工业建筑领域，大跨度钢结构凭借自重轻、强度高、施工周期短等优势，被广泛应用于厂房、仓库、大型车间等场景。然而，其空间跨度大、结构功能复杂、材料厚度大等特点，对施工技术提出了严苛要求。从构件加工到安装连接，再到全过程测量监控，每个环节均需精准把控，以确保结构安全性与稳定性。近年来，建筑行业技术革新加速，大跨度钢结构施工技术也在顺应数字化、绿色化趋势，不断突破传统工艺瓶颈，探索更先进的施工模式与技术路径，为工业建筑的高质量发展提供支撑。

1 工业建筑大跨度钢结构技术特点

1.1 空间跨度大且质量要求严格

工业建筑大跨度钢结构的空间尺度远超常规建筑，常见跨度往往在30米以上，一些大型飞机制造厂房、重型机械装配车间的跨度甚至可达百米。这种大跨度特性使得结构体系在荷载传递过程中受力更为复杂，对施工精度的把控成为重中之重。以某60米跨工业厂房为例，若桁架安装误差超过5毫米，就可能导致结构整体受力失衡。在实际施工中，从原材料进场检验到构件安装验收，每一个环节都必须严格遵循《钢结构工程施工质量验收标准》，确保结构在长期使用中不会因挠度超限或局部失稳出现安全隐患。

1.2 结构形式与功能多样化

随着工业生产需求的不断升级，大跨度钢结构的形势也呈现出多样化发展态势。网架结构凭借其空间受力均匀、整体性强的优势，常被用于大型仓储物流中心；桁架结构则因便于布置设备管道、承载能力突出，在重型工业厂房中广泛应用。而对于一些特殊功能的工业建筑，如冶金车间、航空维修库，结构设计不仅要满足大空间的使用需求，还需兼顾高温作业环境、精密设备安装、重型吊车运行等特殊功能，将承重结构与生产工艺、通风采光、设备支撑等系统有机结合，形成功能复

合的结构体系。

1.3 材料强度与厚度大

为满足大跨度结构的承载要求，工业建筑通常选用高强度钢材作为主要材料，如Q355、Q460等牌号钢材，其屈服强度较普通钢材提升显著。与此同时，关键受力构件的钢板厚度往往超过50毫米，部分节点区域甚至达到100毫米以上。某80米跨钢结构厂房的主桁架弦杆，便采用了60毫米厚的Q420钢材，其抗拉强度达到500MPa以上。但高强度、大厚度钢材的应用也带来诸多挑战：厚板焊接过程中极易产生层状撕裂问题，必须通过严格的预热、后热处理控制应力；在构件加工环节，需要依靠高精度数控设备保证切割和成型质量，而运输与吊装过程也需要专门的工装设备来保障施工安全。

1.4 设计难度增大

工业建筑大跨度钢结构的设计工作面临着多维度的挑战。设计人员既要通过有限元分析等手段，精确计算结构在风荷载、地震作用以及不均匀荷载下的力学响应，确保结构安全；还要充分考虑施工工艺的可行性，例如采用整体提升法施工时，需要在设计阶段合理设置提升吊点，并对临时支撑体系进行受力验算。此外，工业建筑内部设备管线错综复杂，设计过程中必须借助BIM技术进行多专业协同，妥善处理结构梁柱与设备基础、管道支架之间的空间关系，避免因设计疏漏导致施工阶段频繁变更，从而有效控制工程成本和进度^[1]。

2 工业建筑大跨度钢结构关键施工技术

2.1 构件加工与制作技术

2.1.1 钢材选型与预处理

钢材选型需兼顾建筑功能、荷载特性与环境条件。在重工业厂房中，承受动荷载的梁柱构件常选用Q355、Q460等低合金高强度钢，以满足结构承载需求；处于腐蚀环境的建筑，则优先采用耐候钢或普通钢材搭配防腐涂层。钢材进场后，必须进行严格的质量检验，通过超

声波探伤检测内部缺陷，并采用抛丸除锈工艺，将表面处理至Sa2.5级标准，确保其清洁度与粗糙度符合后续涂装要求，为构件质量奠定基础。

2.1.2 构件加工精度控制

构件加工精度直接影响钢结构的安装质量。切割环节多采用数控火焰或等离子切割机，对H型钢、箱型柱等规则构件进行精准下料，误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内；复杂构件则需借助激光切割技术保障尺寸精度。成型过程中，利用液压矫正机、卷板机等设备对构件进行校直与弯曲加工，严格把控弯曲度、扭曲值。组对时采用定位胎具辅助，配合全站仪实时测量，确保孔位、角度等关键尺寸符合设计要求，减少安装误差累积。

2.1.3 防腐防火涂层施工工艺

防腐防火涂层是钢结构耐久性与安全性的重要保障。防腐施工前，钢材表面需彻底除锈并达到规定粗糙度，采用“底漆+中间漆+面漆”的配套体系，通过喷涂或刷涂工艺形成完整防护层，总厚度不低于 $200\mu\text{m}$ 。防火涂层根据耐火等级选择材料，薄涂型防火涂料采用喷涂法施工，需严格控制涂层厚度；厚涂型防火涂料则分层抹涂或喷涂，每层厚度不超过 5mm ，待干燥固化后再进行下一层施工，确保涂层密实、厚度达标。

2.2 安装施工技术

2.2.1 整体提升法

整体提升法是将钢结构在地面拼装成整体后，通过提升设备将其吊装至设计标高的施工工艺。施工时，先在结构下方搭设临时胎架完成构件组装，随后在结构上弦或下弦设置提升吊点，采用液压同步提升系统或钢绞线承重。以大型体育馆穹顶施工为例，在地面完成拼装后，利用多组液压千斤顶同步作业，以匀速缓慢提升至预定高度。该方法可减少高空作业量，降低施工风险，但对提升设备的同步性和结构受力均衡性要求极高。

2.2.2 滑移法

滑移法是在建筑物一侧进行钢结构分段拼装，利用滑轨和牵引装置将结构逐步滑移至设计位置的施工方法。施工前需在建筑物两端设置拼装平台和滑移轨道，通常采用工字钢或钢轨作为轨道，并安装滚轮或滑块。施工时，通过卷扬机或液压牵引设备，将分段拼装好的构件沿轨道滑移到位。该方法适用于场地受限的工程，可减少大型吊装设备的使用，但需严格控制轨道平整度和牵引速度，防止结构偏移。

2.2.3 高空散装法

高空散装法是在设计位置直接进行钢结构构件安装的传统工艺。施工时，需先搭设满堂脚手架或移动操作

平台作为作业面，再将构件逐一吊装至高空进行连接。此方法灵活性高，适用于复杂造型的结构，但高空作业量大，安全风险高，对施工人员技术水平要求严格。施工过程中需借助全站仪等测量设备，确保每个构件的安装位置和角度准确无误，保证结构整体精度。

2.2.4 吊装法

吊装法是利用起重机将钢结构构件直接吊运至设计位置进行安装的常用方法。根据构件重量和尺寸，可选用履带式起重机、汽车起重机或塔式起重机。施工前需根据构件重心计算吊点位置，选择合适的吊具和钢丝绳。对于大型构件，常采用双机或多机抬吊的方式。吊装过程中需实时监测构件姿态，利用缆风绳辅助校正，避免碰撞。该方法施工效率高，但对起重设备性能和场地条件要求较高。

2.3 焊接与连接技术

2.3.1 高强螺栓连接质量控制

高强螺栓连接质量直接影响钢结构整体稳定性。施工前，必须对螺栓扭矩系数、抗滑移系数进行复验，保证材料性能达标。安装时，严禁强行穿入螺栓，避免损伤丝扣；紧固需遵循“初拧-复拧-终拧”流程，初拧使螺栓初步固定，终拧采用定扭矩扳手按设计值精准施力。施工中采用分区划线标记法，防止漏拧、超拧，并按规范抽检10%的螺栓扭矩，同步检测摩擦面抗滑移系数，确保节点连接牢固可靠。

2.3.2 焊接工艺评定

焊接工艺评定是保障焊接质量的关键环节。施工前，需根据钢材材质、板厚及接头形式，选取与实际工程一致的材料制作试件，模拟现场焊接条件进行全位置施焊。完成后对试件进行外观检查、超声波探伤及拉伸、弯曲等力学性能试验，验证焊接电流、电压、层间温度等参数的合理性。只有评定合格的工艺，才能用于实际施工，从源头上杜绝焊接缺陷。

2.3.3 厚板焊接变形与应力控制

厚板焊接因热输入集中，易产生变形与残余应力。施工时，需对板厚超 40mm 的钢材预热至 $100\text{--}150^\circ\text{C}$ ，降低温差；采用多层多道、对称施焊工艺分散热量，长焊缝分段退焊减少应力累积。焊接中利用刚性支撑约束变形，焊后及时进行 $200\text{--}350^\circ\text{C}$ 后热处理，加速氢逸出。必要时采用振动时效或锤击焊缝消除残余应力，并通过应力监测设备实时把控，确保结构稳定。

2.4 施工测量与监控技术

2.4.1 三维坐标定位

三维坐标定位是确保钢结构安装精度的基础。施工

时,利用全站仪、GPS-RTK等设备,以建筑控制网为基准,对构件安装位置进行空间三维坐标测设。针对关键节点,通过BIM模型导出理论坐标,结合现场实测数据进行对比分析,实时调整构件位置。如安装大跨度桁架时,对每个节点的X、Y、Z轴坐标进行毫米级精度控制,确保构件安装符合设计要求,避免因定位偏差导致的结构受力不均问题。

2.4.2 实时应力与变形监测

实时应力与变形监测为施工安全提供保障。在钢结构关键部位布置应变计、位移传感器等监测元件,将数据实时传输至监控中心。通过监测系统分析结构在施工过程中的应力、变形情况,一旦发现异常立即预警。例如,在整体提升过程中,持续监测提升吊点处的应力变化和结构位移,及时调整提升速率和设备参数,防止结构出现超载或失稳风险。

2.4.3 施工模拟与误差修正

施工模拟与误差修正通过技术手段提升施工质量。利用有限元分析软件,对钢结构施工全过程进行模拟,预判各阶段可能出现的问题。将施工过程中的实测数据与模拟结果对比,分析误差产生原因。针对偏差较大的部位,及时调整后续施工方案,如优化构件安装顺序、调整焊接工艺等,确保施工过程可控,最终实现结构成型精度与设计高度吻合^[2]。

3 工业建筑大跨度钢结构施工技术的发展趋势

3.1 数字化与智能化深度融合

数字化与智能化技术正重塑钢结构施工模式。BIM技术通过三维建模实现设计、施工、运维全生命周期管理,可精准模拟施工流程,提前规避碰撞问题。物联网与传感器技术的应用,使施工过程中的应力、变形数据得以实时采集与分析,配合智能算法实现动态调整。例如,利用无人机与激光扫描进行现场三维建模,结合AI算法自动比对设计模型,及时纠正施工偏差,显著提升施工效率与精度。

3.2 高性能新材料的广泛应用

随着材料科学的进步,高性能钢材与新型复合材料在大跨度钢结构中应用愈发广泛。新型低合金高强钢不

仅强度更高,且具备更好的耐候性与焊接性能,可减少维护成本。纤维增强复合材料(FRP)凭借轻质高强、耐腐蚀的特性,逐渐应用于局部构件。此外,相变材料、自修复材料等功能性材料的研发,为钢结构的防火、防腐及损伤修复提供了新方向,推动结构性能持续升级。

3.3 绿色环保与可持续发展

绿色施工理念成为行业共识。钢结构构件工厂化预制减少现场湿作业与建筑垃圾产生,施工中采用可重复利用的临时支撑体系降低资源消耗。废旧钢材回收技术不断完善,通过高效分拣与再生处理实现循环利用。同时,施工过程中的能耗监控、粉尘降噪措施持续优化,结合光伏发电、雨水回收等绿色技术,推动钢结构施工向低碳、环保方向转型。

3.4 跨领域协同创新与技术集成

多学科交叉融合加速技术突破。建筑、机械、电子等领域协同创新,催生了智能建造机器人、自动化焊接设备等新型施工装备。卫星定位、5G通信技术与传统施工工艺结合,实现远程监控与精准操控。此外,结构健康监测系统集成传感器技术、大数据分析 with 云计算,为钢结构全寿命周期管理提供数据支撑,推动施工技术向集成化、系统化方向发展^[3]。

结束语

工业建筑大跨度钢结构施工技术的发展,不仅推动了现代工业建筑向大空间、多功能方向迈进,更成为建筑领域技术革新的重要标志。从材料选型、构件加工到安装施工,各环节关键技术的突破有效保障了结构的安全性与稳定性;而数字化、绿色化等趋势的融入,则为行业可持续发展注入新动能。

参考文献

- [1]莫重成.工业建筑大跨度管桁架钢结构设计优化[J].居舍,2025,(05):114-117.
- [2]杜晶.工业建筑大跨度管桁架钢结构设计优化[J].四川水泥,2024,(10):94-95+98.
- [3]刘博文.大跨度冶金工业建筑空间结构设计 with 施工技术创新[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(22):135-137.