

大跨度钢结构屋盖安装施工技术研究

张博超

湖北交投耀栋建筑有限公司 湖北 武汉 430050

【摘要】：大跨度钢结构屋盖在安装阶段存在受力体系尚未完全形成、结构刚度不足及变形控制难度较大的特点，施工技术水平直接影响结构安全与成型精度。针对安装过程中受力转换复杂、吊装组织协调要求高及节点连接精度控制严格等问题，结合施工单元划分、吊装路径优化与临时支撑布置原则，构建分阶段稳定验算与全过程监测相结合的控制方法。通过加强高空拼装定位、焊接质量管理和卸载阶段内力重新分布的调控，实现屋盖结构从分散构件到整体空间系统的平滑转换，提升安装施工的安全性与技术可靠性。

【关键词】：大跨度钢结构；屋盖安装；施工技术；整体稳定控制；变形监测

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.008

引言

大跨度钢结构屋盖在体育场馆、交通枢纽与大型公共建筑中广泛应用，结构空间尺度不断突破，施工阶段受力状态呈现显著的阶段性与不确定性。安装过程中，结构由分散构件逐步形成空间整体受力体系，受力路径与边界条件持续变化，稍有控制不当便可能导致几何偏差扩大或局部失稳。施工技术已经成为确保工程质量和结构安全的关键因素。围绕屋盖安装全过程进行系统梳理与技术整合，对于提升施工组织水平与过程控制精度具有重要价值，也为复杂空间结构的安全建造提供技术支撑。

1 大跨度钢结构屋盖安装中的关键技术问题

1.1 施工阶段受力转换特征

大跨度钢结构屋盖在安装过程中呈现明显的阶段性受力特征，结构由离散构件逐步形成空间受力体系，内力重分布现象显著。吊装单元在未形成完整空间约束前，构件以简支或悬臂状态存在，杆件轴力、弯矩及扭矩组合复杂，局部稳定性受边界条件变化影响较大。安装顺序不同将直接改变受力传递路径，使部分节点在短时工况下承受超设计阶段的附加内力。施工荷载、自重效应与温度应力叠加，易引起杆件初始缺陷放大。因此需要结合施工阶段的计算机仿真分析技术，对不同的成型步骤进行模拟验证，以确定关键构件的受控内力及其容许变形范围。

1.2 整体稳定与临时支撑风险

大跨度屋盖在未形成闭合体系前，整体刚度不足，空间稳定依赖临时支撑体系维持。支撑布置不合理或刚度不足，会导致结构侧向位移增大，形成次生内力集中。高空作业条件下，支撑杆件受压稳定问题突出，长细比控制与节点约束形式对稳定承载力影响显著^[1]。支撑体系与主体结构之间的受力协调若处理不当，

易产生附加约束应力，影响结构最终成型状态。施工荷载、风荷载及吊装冲击作用均可能诱发局部失稳，需对支撑布置间距、连接方式及卸载顺序进行专项计算，确保过渡阶段结构处于可控受力状态。

1.3 安装精度与变形累积问题

大跨度钢结构屋盖对几何精度要求严格，构件长度误差、节点加工偏差及现场拼装误差在安装过程中不断叠加，易引起标高偏移与轴线偏离。高空拼装条件下，测量控制难度增加，结构挠度与温差变形交互影响，使实测数据产生波动。吊装过程中的构件自重挠度与卸载回弹量若估计不足，将影响最终成型线形。焊接收缩变形和螺栓连接预紧力不均也会改变局部受力状态，进而影响整体几何控制。需建立分级测量复核制度，采用全站仪与三维坐标定位技术，对关键控制点进行实时校正，确保安装精度满足设计线形要求。

2 施工单元划分与安装组织优化

2.1 分区拼装原则与单元确定

大跨度钢结构屋盖在安装阶段需依据结构受力特征与施工条件进行合理分区，将整体体系划分为若干可独立施工的安装单元。单元划分应兼顾结构刚度分布、杆件连接形式及施工机械能力，避免出现过大悬挑或刚度突变区域。拼装单元通常以主桁架或空间网格模块为基础，结合节点构造与运输条件确定合理尺寸，使单元在吊装状态下具有足够的平面内稳定性与空间刚度。单元划分还需考虑高空拼接接口数量，控制现场焊接工作量，降低高空作业风险。对单元自重、吊点位置及重心偏移进行精确计算，可防止吊装过程产生附加扭矩。通过施工阶段结构分析模型校核各单元在不同边界条件下的内力变化，为后续吊装组织提供可靠依据。

2.2 吊装顺序与成型路径控制

屋盖结构成型路径直接影响施工阶段内力分布与整体几何控制效果。吊装顺序应围绕空间受力体系逐步闭合的原则展开,使结构在每一阶段均保持相对稳定状态。中心区与边缘区的安装节奏需协调安排,避免局部区域形成刚度孤岛而引起受力集中^[2]。大型桁架或网壳结构在吊装过程中存在明显的受力转换,应通过计算确定关键节点锁定时机与连接方式,确保内力传递顺畅。对称提升或分段同步安装有助于减小水平推力和附加弯矩,降低整体偏移风险。吊装设备的布置位置、起吊幅度以及同步控制精度都必须纳入组织方案,并利用信息化监控手段对构件的姿态进行实时调整,使结构沿既定路径逐步合拢为完整空间体系。

2.3 临时支撑体系布置方法

临时支撑体系在大跨度屋盖安装过程中承担重要的过渡受力功能,其布置形式直接关系到结构稳定与施工安全。支撑点位应结合结构计算结果进行优化布置,使支撑反力分布均匀,避免局部构件产生过大压应力。支撑杆件截面尺寸与长细比需满足稳定承载力要求,并考虑施工荷载及风荷载的组合效应。支撑与主体结构的连接方式应具备可调节性能,以便在安装过程中进行标高与轴线微调。卸载顺序与卸载时间节点需要严格控制,防止突然释放约束引发结构变形突变。对于较高的支撑系统,还需要设置横向连接和抗侧移组件,以增强整体的抗翻转能力,确保屋盖在成型之前维持一个稳定的空间结构。

3 吊装实施与节点连接控制技术

3.1 大型构件吊装工艺选择

大跨度钢结构屋盖中的主桁架、空间网格单元及整体提升分块自重较大,吊装工艺的确定需综合考虑构件重量、吊装半径、现场场地条件及结构受力状态。常见工艺包括单机抬吊、双机抬吊、滑移法及整体提升法,不同工艺对构件受力路径与变形控制影响显著。双机抬吊适用于跨度大、重心偏移明显的构件,通过合理布置吊点与同步控制系统,可减小构件扭转变形。整体提升技术则依赖液压同步提升装置,实现多点协调升降,对控制不同提升点位差值要求严格。吊点位置需依据结构计算结果确定,保证吊装状态下杆件轴力分布均匀,避免局部构件产生附加弯矩。施工过程中应对起吊加速度、构件姿态及风速条件进行实时监测,确保吊装过程处于可控受力状态。

3.2 高空拼装与节点定位控制

高空拼装阶段,节点定位精度直接影响屋盖整体

线形与结构受力均衡性。构件就位后需利用高精度全站仪及三维坐标测量系统对控制点进行复核,确保节点空间坐标满足设计允许偏差范围。高空拼装通常采用临时定位螺栓或可调支座进行初步固定,通过微调装置实现轴线与标高校正^[3]。节点板厚度及螺栓孔位偏差对拼装顺利程度影响明显,需在构件进场前完成尺寸复核。空间结构在拼装过程中存在自重挠度与温度变形影响,测量数据应结合温度修正系数进行分析。对关键控制节点实施分阶段锁定策略,可防止内力突变导致局部构件受力异常。拼装作业环境受风荷载影响较大,构件定位过程需配合临时拉索或稳定装置,提高空间刚度。

3.3 焊接质量与连接精度管理

节点焊接质量直接关系到大跨度屋盖结构的整体安全与耐久性能。高空焊接条件复杂,焊接顺序与焊缝布置方式需依据结构受力特点进行优化,避免因不合理焊接顺序产生较大残余应力。焊接过程中应控制层间温度与热输入参数,防止母材性能劣化及焊接变形扩大。对于厚板节点或高强钢构件,应制定专项焊接工艺评定方案,确保焊缝强度与塑性满足设计要求。高强度螺栓连接需严格执行摩擦面处理与扭矩复核制度,保证预紧力均匀分布。焊后变形可通过对称施焊及分段退焊方式加以控制,必要时采取机械矫正措施。通过全过程质量检验与无损检测手段,对关键焊缝实施超声波或射线检测,确保连接质量符合规范标准。

4 施工阶段结构稳定与变形控制措施

4.1 施工过程稳定验算方法

大跨度钢结构屋盖在安装阶段尚未形成完整空间受力体系,结构边界条件处于不断变化状态,需针对不同施工工况开展分阶段稳定验算。验算模型应基于施工顺序建立时变分析模型,将构件自重、施工荷载、风荷载及吊装附加作用纳入组合工况,并考虑初始几何缺陷与材料非线性影响。对受压杆件进行整体屈曲与局部屈曲校核,控制长细比与稳定系数取值范围,避免施工阶段出现失稳破坏。临时支撑与主体结构共同参与受力,应在模型中合理模拟支撑刚度与连接约束条件,分析体系稳定承载力储备。对于关键构件,可采用二阶效应分析方法评估附加弯矩影响,明确安全控制指标与预警阈值,为现场施工提供量化依据。

4.2 挠度与位移控制策略

屋盖结构在吊装与拼装过程中存在明显的挠度变化与水平位移累积,需通过全过程控制措施保证结构几何精度。施工前应依据理论计算结果预设控制标高,

结合构件自重挠度与温度修正值进行预拱度设置,使最终成型线形满足设计要求。关键节点处设置测量控制点,通过全站仪与激光测距设备对竖向位移与水平偏移进行动态监测,建立数据比对与调整机制^[4]。对存在较大悬挑或跨度较大的构件,可采用分级加载与分步固定方式减小瞬时挠度。施工环境温度差对钢构件伸缩影响明显,测量结果需进行温度修正分析。对于位移偏差超过控制值的区域,应通过调整支撑高度或节点连接方式进行修正,保持整体线形协调一致。

4.3 卸载与成型阶段调整技术

当屋盖结构完成整体拼装后,临时支撑逐步卸除,结构由过渡受力状态转为设计受力体系。卸载顺序与节奏直接影响内力重分布过程,应依据计算分析结果制定分级卸载方案,控制各支撑点同步性与卸载幅度。卸载过程中需实时监测关键节点的位移变化与杆件应变值,防止因约束突然释放产生过大变形。对支撑拆除后出现的局部偏差,可利用千斤顶或可调支座进行微调,确保结构线形与标高满足控制要求。成型阶段应复核整体挠度与节点坐标,结合理论值进行差异分析。若存在残余变形偏大情况,可通过二次张拉或局部矫正措施进行修正,使结构最终受力状态与设计模型保持一致。

5 全过程监测与综合技术体系构建

5.1 测量控制网建立

大跨度钢结构屋盖安装精度控制依赖稳定可靠的测量控制网体系。控制网布设应结合施工场地条件与结构轴线布置情况,采用平面控制网与高程控制网相结合的方式,形成覆盖整体施工区域的空间测量框架。基准点宜设置在不受施工扰动影响的稳定位置,并进行闭合校核与精度复测,确保测量基准可靠。控制网等级需满足屋盖结构安装允许偏差要求,通过导线测量与水准测量建立统一坐标系统。对关键节点区域可增设加密控制点,提高定位精度。控制网成果应进行

平差计算,剔除异常数据,为后续构件安装与变形监测提供准确的空间基准。

5.2 动态监测与数据校核

安装过程中结构受力与几何状态处于持续变化之中,需依托动态监测系统对关键部位进行实时跟踪。监测内容包括节点位移、杆件应变、支撑反力及环境温度等参数,通过传感器采集数据并传输至监控平台进行集中分析^[5]。监测频率应根据施工阶段特点进行调整,对吊装和卸载等关键节点实施高频采样。采集数据需与施工阶段分析模型进行对比,识别异常趋势并及时修正施工参数。对监测数据开展统计分析 with 误差评估,排除偶然误差影响,确保数据可靠性。通过动态数据校核机制,使现场施工状态始终处于可控范围。

5.3 安装技术体系整合路径

大跨度钢结构屋盖安装涉及方案设计、施工组织、稳定验算、精度控制及监测管理等多个技术环节,需构建协同运行的综合技术体系。各阶段技术措施应围绕整体稳定与线形控制目标进行统筹安排,实现计算分析成果与现场施工操作的有效衔接。施工方案编制应与结构分析成果保持一致,明确关键控制指标与工序衔接关系。信息化管理平台可整合测量数据、监测结果与施工进度信息,实现多源数据共享与联动管理。通过技术流程标准化与关键工序节点化管理,形成覆盖安装全过程的系统化实施路径,确保施工组织与技术控制高度统一。

6 结语

大跨度钢结构屋盖安装施工涉及结构受力转换、吊装组织、节点连接与全过程监测等多项关键技术,施工阶段稳定控制与线形精度管理直接关系结构安全与成型质量。依托分阶段验算、科学吊装工艺及动态监测手段,形成系统化安装控制体系,可有效保障屋盖结构顺利成型并满足设计要求,为类似工程建设提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 刘大成.大型商业综合体施工中大跨度钢结构屋盖安装精度控制与施工技术优化[C]//中国智慧工程研究会.2025 智慧设计与建造经验交流会论文集.江西省章兵建筑工程有限公司,2025:61-63.
- [2] 陈杰,唐良,张嘉辰.基于大跨度钢结构体育馆屋盖的施工技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(07):92-96.
- [3] 王志强.屋盖大跨度钢结构与竖向支撑组合体系施工技术[J].建筑技术,2025,56(05):523-526.
- [4] 韩卫斌.大跨度钢结构采光顶安装操作平台施工技术应用[J].石材,2025,(03):103-105.
- [5] 贾永新,张宏伟,蔡金志,等.某大跨度钢结构斜拉桥主塔无支架安装施工技术[J].安装,2024,(S2):183-186.