

大跨度钢结构整体提升施工技术应用研究

宫明月, 薛学聪, 张 超

(中达工程管理咨询有限公司, 山东 青岛 266555)

摘 要 本文以某体育场馆大跨度钢屋盖工程为例, 系统探究整体提升施工技术的应用实践。通过建立提升力学模型以剖析结构受力特性, 设计多点同步提升控制体系, 实现 68 m 跨度钢桁架的精确提升。结果表明, 采用液压同步提升技术协同实时监测系统, 可将提升过程中的应力偏差控制到 8% 以内, 位移精度实现 ± 5 mm, 有效化解大跨度钢结构高空拼装技术难题, 为同类工程提供技术参考。

关键词 大跨度钢结构; 整体提升施工; 液压同步提升; 质量控制

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.016

0 引言

大跨度钢结构凭借其优越的跨越能力、良好的空间适应性及显著的材料利用效率, 已成为体育场馆、会展中心、机场航站楼等大型公共建筑的主要结构形式。随着我国城镇化进程持续推进, 大跨度钢结构工程数量不断增多, 对施工技术提出了更高要求。传统高空散装法存在高空作业风险大、焊接质量难以保证、施工周期长等问题^[1]。整体提升技术通过在地面完成钢结构拼装后整体提升就位的方式, 将大量高空焊接与组作业转移至地面完成, 从根本上改善了作业条件, 可显著提升施工质量与安全管控水平。本文结合工程实践, 深入探讨整体提升技术在大跨度钢结构施工中的应用方法与控制要点, 为该技术的推广应用提供理论依据。

1 工程概况

某综合体育馆主体钢屋盖采用正交正放网架结构, 平面尺寸为 68 m×54 m, 网架最大跨度达 68 m, 结构总重约 850 t。屋盖由上弦层、下弦层及腹杆共同组成空间三维受力体系, 采用周边支承方式, 支承柱顶设计标高为 28.5 m。钢材选用 Q345B 低合金高强结构钢, 节点连接以焊接为主, 焊缝质量等级要求达到一级标准, 关键节点区域须进行 100% 超声波探伤检验。结构平面内共设置 12 个提升吊点, 沿周边均匀布置, 采用计算机控制液压同步提升系统实施整体提升作业, 提升总高度为 26.5 m。本工程地处城区中心, 施工场地受限, 且结构体量大、构件节点密集, 若采用传统高空散装法, 不仅脚手架搭设量巨大, 高空焊接质量难

以保证, 工期亦将大幅延长。综合考量工程规模、现场条件及质量目标, 最终确定采用地面整体拼装后整体提升的施工方案。拼装场地标高设定为 +2.0 m, 施工前对拼装区域地基进行系统平整与分区加固处理, 保证地基承载力满足设计要求, 为后续整体提升作业提供了安全可靠的前提条件。

2 大跨度钢结构整体提升施工技术设计

2.1 整体提升施工技术原理与体系构成

整体提升技术以液压同步控制为核心原理, 依托计算机集中控制系统实现多吊点的协调联动。其基本工作机制是: 在地面完成钢结构整体拼装后, 通过布置于支承结构上方的提升设备, 以钢绞线为传力介质, 将结构体系由地面逐步提升至设计标高, 再精确就位固定。该技术的核心优势在于将高空散装作业大量转移至地面完成, 从而有效提升焊接质量、降低高空安全风险, 并显著缩短施工工期。与传统高空散装法相比, 整体提升技术在作业条件、质量可控性和施工效率三个维度上均具有明显优势: 作业人员在地面进行拼装焊接, 可最大限度利用固定设备和标准化操作条件; 质检人员能够对全部焊缝进行便捷的无损检测; 拼装与提升准备工作可与下部主体结构施工并行推进, 整体工期得以有效压缩。

整体提升系统由液压提升器、钢绞线、承重框架、传感检测系统和计算机控制单元五大核心模块构成, 各模块协同运行, 共同保障提升过程的安全与精度。液压提升器采用穿心式千斤顶结构, 通过上下两端锚具交替张紧与放松的循环动作, 实现对钢绞线的逐级夹持与上

作者简介: 宫明月 (1992-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑工程。

移,单台提升器额定提升力为 320 kN,可根据荷载需求并联组合使用。钢绞线选用直径 $\phi 15.2$ mm 的高强度低松弛预应力钢绞线,极限抗拉强度为 1 860 MPa,设计安全系数取 3.0,确保在最不利工况下仍具有充足的承载储备。承重框架固定于混凝土支承柱顶,通过高强预埋件与主体结构可靠锚固,其承载力设计值按 1.5 倍提升荷载标准取值,并经专项验算复核。传感检测系统在各提升点处配置高精度位移传感器与压力传感器,实时采集各点的位移量、提升速度和荷载数据,并将采集信号反馈至计算机控制单元进行闭环动态调节,确保各吊点提升速度偏差不超过 2 mm/min,相对位移偏差控制在 3 mm 范围以内,从技术层面保障了多点同步提升的实现。

2.2 提升过程中的结构受力分析与控制

钢结构在提升过程中的受力状态与设计使用状态存在显著差异,需进行专门的提升工况受力分析^[2]。在正常使用阶段,网架结构的支承方式为周边柱顶固定支承,荷载路径明确;而在提升阶段,结构支承条件转变为多点吊挂,荷载通过钢绞线向上传递,内力分布规律与使用阶段截然不同,部分杆件可能出现内力反号现象,需重点核查。为此,本工程采用有限元分析软件建立三维空间网架模型,系统模拟提升全过程工况,重点考虑结构自重、提升动力放大系数(取 1.1)及施工期间风荷载的综合作用效应。在提升过程中,整体结构可简化为多点弹性支承的空间网格体系,各提升点的支反力分配取决于各点处的结构刚度与相对位移关系。力学计算表明,提升点位置与间距对结构内力分布影响显著:提升点数量不足时,跨中弯矩将大幅增加,导致部分杆件超出承载能力;提升点设置过密则会因相邻点协调变形引起次应力,同样不利于结构安全。

本工程通过参数化分析,最终确定 12 个提升点沿结构周边均匀分布的优化方案,使各提升点支反力趋于均衡,荷载传递路径清晰合理,有效避免了局部应力集中问题。在此布置方案下,有限元计算结果显示:网架上弦杆在提升工况下以受拉为主,最大拉应力出现在跨中区域,计算值达到 145 MPa;下弦杆以受压为主,最大压应力为 118 MPa;两者均低于 Q345B 钢材的设计强度值 215 MPa,应力比控制在合理范围内,结构整体具有足够的承载安全储备。对于提升过程中因各点提升速度不同步可能引起的偏载工况,在有限元模型中引入位移不均匀扰动进行敏感性分析,结果表明当相邻提升点高差超过 8 mm 时,偏载效应将显著放大

局部杆件内力。据此,在结构薄弱区域(主要集中于角部节点和跨中下弦区域)增设临时加固杆件,以承担因不同步提升产生的附加弯矩,待提升完成并完成永久固定后予以拆除。通过上述综合措施,实测荷载不均匀系数控制在 1.12 以内,结构整体受力状态满足施工安全要求,提升工况验算结论与工程实测数据高度吻合,证明了受力分析方法的可靠性。

2.3 整体提升施工工艺与流程设计

整体提升施工工艺流程依次分为地面拼装、系统安装、试提升、正式提升和就位固定五个核心阶段,各阶段相互衔接,逐步推进。地面拼装阶段是整个技术流程的基础环节。拼装作业在专门搭设的组合胎架上进行,胎架设计标高为 +2.0 m,采用型钢立柱与满堂脚手架相结合的组合支撑体系,整体承载力按结构重量的 1.3 倍安全系数设计,并对胎架地基进行预压处理,确保沉降均匀。网架拼装按区域分段进行,各分区按照先下弦、后腹杆、再上弦的顺序依次拼装,每段完成后均进行轴线偏差与标高偏差的测量校正,累计偏差超限时须重新调整后方可进行下一段拼装,最终实现整体测量误差控制在规范允许范围内^[3]。系统安装阶段须完成提升设备、钢绞线及传感器的全面安装与联调。液压提升器固定于承重框架上,12 台提升器通过液压管路统一连接至控制总站;钢绞线穿过结构预设孔洞后与提升器锚具连接,初始张拉力按各点计算荷载的 1.1 倍施加以消除松弛量;位移传感器与压力传感器分别安装于各提升点和液压回路关键节点处,确保信号采集精度满足控制要求。

试提升阶段将结构提升 50 cm 后停止,持续观测不少于 1 小时,逐项检查液压系统压力稳定性、各吊点荷载分配均匀性、钢绞线受力状态以及承重框架变形情况,同时对结构跨中和角部挠度进行测量,与理论计算值进行对比验证。确认各系统工作状态正常、结构变形规律与计算预测相符后,方可卸载归零,转入正式提升阶段。正式提升采用分级提升方式,每级提升高度 3 m,提升速度 3~5 m/h,在标高 +10 m、+18 m、+24 m 处设置停歇观测点,全面检测结构状态。结构提升至设计标高后,通过各吊点配置的独立微调装置进行精确定位,使轴线偏差控制在 ± 3 mm 以内、标高偏差控制在 ± 5 mm 以内,达到精度要求后依次完成结构与支承柱的永久焊接连接,最后按照对称卸载原则逐步释放钢绞线荷载,完成整体提升施工。整个工艺流程环环相扣,各阶段质量目标明确,为后续施工管控奠定了坚实的程序基础。

3 施工过程实施与质量控制

3.1 现场施工组织与协同管理

施工组织采用项目总负责制, 下设技术组、设备组、监测组和安全组。技术组负责施工方案细化和技术交底, 编制详细的作业指导书, 明确各工序操作要点和质量标准。设备组负责提升系统的安装维护, 建立设备运行日志, 记录液压系统压力、油温等参数变化。监测组配备专业测量人员, 采用全站仪和位移传感器进行双重监测, 每提升 1 m 记录一次数据。安全组制定应急预案, 配置备用动力系统和手动卸载装置, 应对突发停电等异常情况。各组之间建立信息共享机制, 通过无线对讲系统实现实时沟通, 确保提升过程中指令传达准确及时, 形成高效协同的管理体系。

3.2 施工过程中的监测与调整

监测系统包括位移监测、应力监测和设备状态监测三个子系统。位移监测在 12 个提升点及结构跨中布置测点, 采用激光测距仪和位移传感器实时采集数据, 监测频率 10 s/次^[4]。应力监测在关键杆件粘贴应变片, 监测实际应力与理论计算值的偏差。设备状态监测通过压力传感器和温度传感器跟踪液压系统工作参数。监测数据通过无线传输至控制中心, 软件自动分析并生成实时曲线。当检测到某提升点位移超前时, 系统自动降低该点提升速度, 实现动态平衡调节。在标高 +18 m 处监测发现东南角提升点位移滞后 5 mm, 通过调整该点提升速度, 历时 15 min 完成同步修正, 确保了提升过程的平稳进行。

3.3 质量控制与安全保障体系

质量控制贯穿地面拼装、提升过程和就位固定全过程。地面拼装阶段执行三检制度, 对焊缝质量执行全数外观检查, 并按照规定要求进行超声波探伤抽检。提升过程中建立质量控制点, 每提升 3 m 停止检查结构变形、连接节点状态 and 钢绞线张力均匀性。安全保障体系包括技术安全措施和组织安全措施。在技术措施方面, 设置防坠落装置、限位装置和超载保护装置, 钢绞线安全系数 3.0, 提升设备配置双重保险锁。在组织措施方面, 建立三级安全教育制度, 关键工序实施旁站监督, 提升作业区域设置警戒线, 严禁无关人员进入^[5]。整个施工过程未发生安全事故, 实现了安全零事故的目标。

4 大跨度钢结构整体提升施工技术应用效果分析

工程实践表明, 整体提升技术在大跨度钢结构施工中取得了显著成效。在施工工期方面, 相比传统高空散装法缩短工期 45 天, 提前实现了节点目标。在质量

方面, 地面拼装焊缝一次合格率 98.5%, 较高空作业提升 12%, 结构就位精度轴线偏差 ± 2 mm, 标高偏差 ± 4 mm, 均优于规范要求。在经济效益方面, 减少高空作业架体搭设费用约 180 万元, 降低人工成本约 120 万元, 综合经济效益显著。在安全方面, 实现了零事故目标, 高空作业时间减少 80%, 有效降低了安全风险。在环境效益方面, 地面作业减少了高空焊接产生的烟尘扩散, 改善了施工环境。监测数据显示, 提升过程中结构最大应力实测值与计算值偏差 7.8%, 位移控制精度 ± 5 mm, 验证了技术方案的可靠性, 为大跨度钢结构整体提升技术的推广应用提供了成功范例(见表 1)。

表 1 整体提升施工关键技术指标对比表

技术指标	设计要求	实测值	备注
提升总重量	850 t	847 t	含临时加固构件
提升速度	3 ~ 5 m/h	3.8 m/h	平均速度
位移同步精度	± 5 mm	± 3 mm	各提升点偏差
荷载分配均匀度	≤ 1.2	1.12	不均匀系数
最大应力偏差	$\leq 10\%$	7.8%	实测与计算值对比
轴线就位精度	± 5 mm	± 2 mm	最终就位精度

5 结束语

本文通过工程实践全面探究大跨度钢结构整体提升施工技术, 建立了完整的技术体系与质量控制方法。利用计算机控制液压同步提升系统, 联合实时监测与动态调整机制, 可实现大跨度钢结构的安全精准提升。此技术能够有效解决传统高空作业的质量及安全难关, 具备突出的技术经济优势。工程应用验证了技术方案的可行性与可靠性, 为同类工程提供了可借鉴的经验, 进而推动钢结构施工技术的进步与变革。

参考文献:

- [1] 徐平飞. 大跨度悬空钢结构楼层整体提升施工关键技术[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(21): 97-103.
- [2] 易军. 大跨度钢结构连廊整体提升施工中的应力监测与分析[J]. 城市建设, 2025(19): 71-73.
- [3] 张有银, 王子尊. 大跨度工业厂房钢结构整体提升施工技术[J]. 山西建筑, 2025, 51(17): 98-101.
- [4] 谷凯. 体育场馆大跨度钢结构整体提升施工技术研究[J]. 建筑技术, 2025, 56(14): 1693-1696.
- [5] 陈利强, 黄亮亮. 大跨度网架结构整体提升施工技术探究: 以江阴市某羽毛球馆屋面工程为例[J]. 南通职业大学学报, 2025, 39(02): 92-98.