大跨度桁架分块提升的安全管理

王 铭 郑杰超 牟信澄 向晓龙 蓝祥义
中国建筑第八工程局有限公司，上海 200120

[摘要]本篇文章以深圳国际交流中心两翼屋面大跨度钢结构平面桁架提升为例，探讨分块提升安全管理要点，通过提升过程安全管控要点、液压同步提升系统管理要点与机械设备管理要点出发，结合深圳市当季气候条件、地理位置等自然因素，分析施工工艺，完善过程管理，设置组织架构，提升应急措施，达到高标准安全施工目标。

[关键词]大跨度钢结构；平面桁架；安全管理
DOI：10.33142/ec.v7i7.12592 中图分类号：TU758.11 文献标识码：A

Safety Management of Segmented Lifting of Large-span Truss

WANG Ming, ZHENG Jiechao, MOU Xincheng, XIANG Xiaolong, LAN Xiangyi
China Construction Eighth Engineering Division Corp., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: This article takes the lifting of the large-span steel structure plane truss on the two wing roofs of the Shenzhen International Exchange Center as an example to explore the key points of safety management for block lifting. Starting from the key points of process safety control, hydraulic synchronous lifting system management, and mechanical equipment management, combined with natural factors such as the seasonal climate conditions and geographical location of Shenzhen, the article analyzes the construction process, improves process management, sets organizational structure, and enhances emergency measures to achieve the goal of high standard safety construction.

Keywords: large-span steel structure; planar truss; safety management

1 工程背景

深圳国际交流中心项目位于福田区市中心区域，东侧紧邻香蜜湖，总建筑面积 21.6 万㎡，建筑地上 6 层，建筑高度为 44.76m，钢桁架分布于两翼中部屋面（见图 1）；为大跨度平面桁架，分布于南北翼屋盖各 8 榀，最大跨度达 68.4m，屋盖大跨度桁架共计 16 榀，南北翼各划分为 3 个提升单元（3 榀+3 榀+2 榀）包含屋盖檩条及下弦钢梁，共计 6 个提升单元，提升高度约 17m。

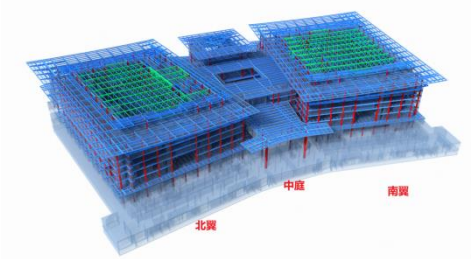

图 1 钢桁架两翼分布图

本项目南北翼屋面大跨度桁架各划分为三个单元（见图 2），其中最重单元为北翼提升单元四，提升重量约 447t，包括 3 榀大跨度桁架、1 榀北翼主桁架（桁架 5）、1 榀联系桁架（桁架 7）、屋盖檩条、13 轴区域下弦钢梁。布置有 7 个提升点，各提升点设置 2 台 100t 提升油缸，共计 14 台 100t 提升油缸。采用 Φ245×12 的圆管，在 11 轴、13 轴区域对桁架下弦杆进行连接加固。11 轴北翼主桁架（桁架 5）、13 轴联系桁架（桁架 7）均采用加固桁架与大跨度桁架连接为整体（见图 3）。项目部通过精心策划，把控提升施工的安全技术管理要点，实现了钢桁架屋面的顺利提升。

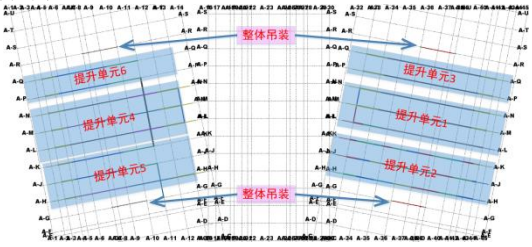

图 2 提升单元划分图

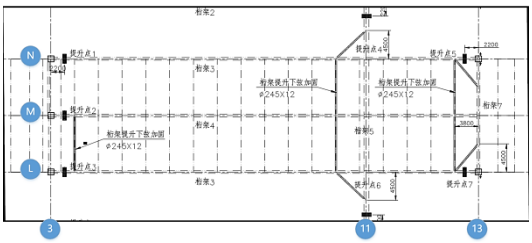

图 3 提升措施示意图

综合考虑本次提升作业安全、质量、工期、成本等目标，对比高空散装、桁架提升等多个施工方法，择优选择分块提升工艺进行安装，施工方法为高空预装部分桁架作为提升平台，在设计位置垂直投影的正下方地面（即 4F

Copyright © 2024 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

楼板）拼装成整体（见图 4），采用“液压同步提升技术”分块进行整体提升至设计安装高度。因大跨度钢桁架垂直投影区域为拼装区域，位于南北翼 4F 板面中部，使用 C45 混凝土进行浇筑，布置拼装胎架前确保板面混凝土强度达到 35～40MPa，以满足设计标准。

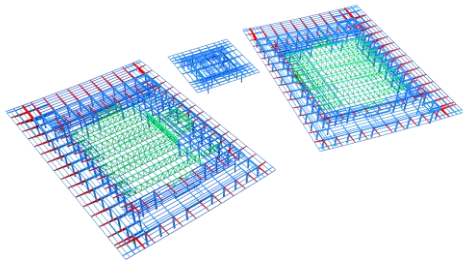

图 4　屋盖钢桁架示意图

2 整体提升过程重点安全施工检查

2.1 施工过程组织架构

桁架整体提升施工过程中，应设置好相关组织架构体系（见图 5），由总指挥安排统筹一切事务，副指挥 A 负责施工过程中资源管理，副指挥 B 负责施工过程中工序管理，其各小组严格服从指挥安排，履行小组职责，若过程中出现突发情况，应立即上报并根据应急预案内容控制事态发展。

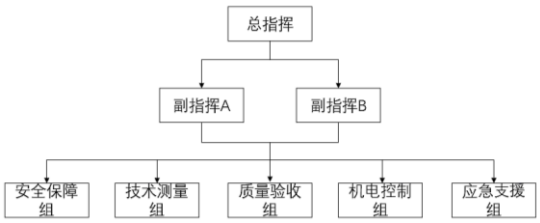

图 5　整体提升过程组织架构图

2.2 拼装起吊过程安全检查

大跨度桁架拼装作业在吊装过程存在高空作业范围广、起重吊次多、危险性强等特点，针对以上危险点应建立健全安全管理标准，由安全保障组全过程监督管控，统一明确作业安全要点，做好危险源警戒公示[1]。

（1）在结构件起吊前由质量验收组配合对吊索具完好情况进行检查验收，常用吊索具包括钢丝绳、吊带、倒链葫芦与卸扣；在进行斜腹杆安装过程中，根据不同安装位置情况需设置不同长度倒链葫芦，吊装过程中葫芦端应设置保险绳；还应对结构件吊耳以及临时马板的外观以及焊缝质量进行检查，确保实际情况满足设计验算内容。

（2）结构件吊装就位后，由技术测量组配合对结构件安装位置进行校准，确保偏差控制在标准范围以内，尤其针对上下弦杆以及各腹杆安装位置，保障对后续安装焊接等工序无影响；质量验收组配合对焊接前临时固定螺栓安装情况进行检查验收，避免结构件受力出现偏差弯曲等情况（见图 6）。

图 6　单榀桁架示意图

2.3 拼装焊接过程安全检查

焊接作业危险性高，在拼装过程中使用范围广，影响面积大，在焊接作业前应根据设计要求与国家标准制定出安全质量验收标准，对不同形状、不同位置焊缝应提前交底其焊接方法及要求。

本次钢桁架提升采用分块提升工艺，拼装过程为分部拼装，作业点数量出现大面积增加，加大了焊接作业的影响范围。安全保障组在检查过程中应重点对动火点作业审批与焊接配套防护措施进行检查，防护措施包括作业点接火措施、消防设施、作业点警示区域，考虑到当季气候条件影响，还应配备相关挡雨、防风措施。

针对焊缝质量要求，由质量验收组配合对钢柱、钢梁、桁架、锚固梁、提升梁以及提升对接平台处技术措施进行全覆盖检查（见图 7），检查内容包括所有结构是否漏焊以及焊缝饱满度与外观，严禁出现未焊满、根部收缩、咬边与接头不良等缺陷。检查阶段应包括整个提升工序，尤其针对试提升静载阶段、提升到位阶段与卸载阶段。

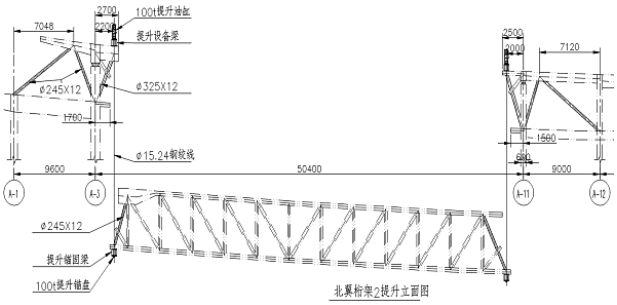

图 7　提升技术措施例图

2.4 试提升静载过程安全检查

在完成此单元钢桁架与提升对接平台的安装与焊接后，在质量与安全验收合格的情况下，进入试提升阶段，由机电控制组进行提升设备试运行检查，主要检查设备是否漏装、损坏、固定牢靠以及安装位置是否精准等，以上条件均合格后，解除主体结构与拼装胎架等结构之间的连接，按比例，进行 20%、40%、60%、70%、80%、90%、95%、100% 分级加载，试提升高度 30cm，并悬停观察 24h（见图 8）。

分级加载至 20%与 40%时，应对主体结构与拼装胎架脱离情况进行检查，避免部分区域未完全脱离；悬停期间，机电控制组应对提升设备进行全覆盖检查，包括通电情况、

Copyright © 2024 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

底锚滑移情况、是否存在漏油和阀门松动现象；技术测量组应对提升路径障碍进行检查，保障后续提升路线畅通；质量验收组应再次对焊缝进行检查，确保结构件无变形、焊缝无开裂情况。

图 8　试提升静载过程示意图

2.5 提升对接过程安全检查

正式提升前应再次对结构件焊缝、液压同步提升系统进行检查，确保供电电压稳定，应急措施与安全防护措施设置完整；正式提升前应与当地气象部门做好沟通，若提升期间出现七级以上大风天气或其他恶劣天气情况，应暂停提升作业。

本次提升高度为 17m，预估提升耗时 4 小时，提升过程中，各小组应全程安排人员值班值守，不得出现空档期，若出现应急情况，及时上报上级指挥，并控制现场事态；提升至设计位置附近时，技术测量组应结合控制系统数据与全站仪观测结果，核实提升点位三维坐标，与专用提升工沟通，微调到位后，锁紧空中位置，保持结构稳定姿态。

提升就位后如图 9 所示，在进行提升单元与牛腿焊接、腹杆嵌补过程中，将出现大量高处焊接情况，人员作业危险性强，对施工场地影响范围大，此时安全保障组应加强相关安防措施排查，并机电控制组配合对焊接回路进行检查，保障焊接回路仅流通于钢桁架与对接技术措施平台，底锚与钢铰线应做好绝缘措施，避免接地电流流通。

图 9　提升就位示意图

3 液压同步提升设备安全管理

3.1 液压同步提升设备原理

液压同步提升设备主要包括穿芯式液压油缸、驱动泵站、底锚、柔性钢铰线与控制计算机；驱动泵站为提升系统中动力驱动部分，由专业提升工通过控制计算机进行控制，驱动泵站与液压油缸通过密封油管联通，通过增减油压使液压油缸完成指定动作；液压油缸设置于钢桁架对接平台顶部，底锚设置于钢桁架锚固梁下底面，钢绞线穿过液压油缸后，下伸穿过锚固梁与底锚，串联完成后使液压同步提升设备与钢桁架完成组合，此时通过控制控制计算机，使驱动泵站提供油压动力，上方液压油缸收到泵站的油压后开始执行动作指令，通过钢绞线与底锚带动钢桁架完成动作指令[2]。

3.2 液压同步提升设备用电管理

因本次提升采用分块提升工艺，整体提升持续时间长，覆盖面积大，为避免供电源与二级分配箱距离过远而出现压降现象，应提前做好电箱位置规划，合理安排其他用电设备使用数量；提升过程中，机电控制组应安排专业电工轮班值守，定时定频对驱动泵站电压进行检测。

液压同提升设备运行期间用电电压应控制在 380V±5%范围内，提升使用功率在 40kW～51.5kW，超出此范围将会对驱动泵站电机产生破坏，为保证驱动泵站正常运行，提升设备供电应使用专用电缆线进行供电。

3.3 液压同步提升设备故障管理

本次大跨度桁架分块提升点位较多，设备使用量较大，在作业过程中出现故障情况应立即停止提升作业，并由专业人员进行排查调试，解决故障后可继续提升作业，提升设备可能发生的故障情况如下。

（1）若液压油缸出现漏油、异响等故障，应首先将油缸安全锚锁死，然后针对漏油或异响位置进行检查，主要检查密封垫圈、阀门是否完好、油管是否破损、表面是否出现裂纹、油缸附近异物是否清理等情况，在必要情况下应更换此设备，避免后续作业出现异常。

（2）驱动泵站的主要故障为漏油、无法工作等情况，针对漏油情况可参考液压油缸漏油情况处理；无法工作故障应首先对供电设施进行检查，确保电压控制在允许范围内，若供电正常，应由厂家或专业人士对电机和控制器进行检查。

（3）控制计算机主要故障为突然死机，此时应立即启动急停开关，使驱动泵站停止作业，内部平衡阀将调节内部油压，保证活塞杆不出现滑移，液压油缸上下锚具将自动锁紧钢绞线，避免出现泄力现象，此时液压同步提升系统将处于安全停机状态；将控制计算机进行重启，若故障仍然存在，则需更换计算机，若故障解除，应重新进行系统调试，调试完成后可继续作业。

4 机械设备安全管理要点

4.1 作业所需的重点机械设备

本次提升作业需在地面完成拼装后再分块进行提升，为满足工期要求，实现钢桁架经济效益，在机械满足使用的条件下，现场采用多块桁架拼装同时进行的施工方法，其主要使用机械包括高空升降车、塔吊、汽车吊，以及其他小型机械，其施工区域内机械使用量大不仅大提高，且机械在使用过程中极易出现交叉作业现象；若无有效管理，

Copyright © 2024 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.