

浅析超高层裙楼间的钢桁架连廊安装技术

文 / 郭文霖 深圳市南山区建筑工程署

摘要: 随着社会的高速发展,越来越多的超高层裙楼需要以钢桁架连廊的结构体系将多栋超高层连成一体,以满足业主的使用要求。本文就某科技创新中心两栋超高层裙楼之间的钢桁架安装案例,通过对常用安装方法的方案比选,择优选用了整体提升法。

关键词: 超高层裙楼; 钢桁架连廊; 方案比选; 整体提升法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.033

引言

以本项目为背景,阐述了整体提升法在狭小空间的超高层建筑中的实际应用,主要包括地面拼装、提升系统安装、同步整体提升以及整体提升的安全控制等。施工方案取得了较好的效果,对同类工程有一定参考意义。

一、工程概况

(一) 主体工程概况

某科技创新中心三期工程包括二层地下室,两栋超高层建筑及其多单元裙楼组成,裙楼则通过设置在7层至9层之间的钢桁架连廊进行连接。

(二) 钢桁架连廊概况

本工程共有三个钢连廊,钢桁架结构,上下弦杆采用H型截面,竖杆与斜杆采用箱形截面;桁架顶标高均为40.7m。L1桁架跨度约44.5m,重量约1380t;L2桁架跨度约39.7m,重量约1380t;L3桁架跨度约38m,重量约1320t。

二、钢桁架连廊的常用安装方法简介及方案比选

钢桁架结构的安装方法主要包括支架法、悬臂拼装法、整体提升法和顶推法等,选择时需考虑工程的具体条件和环境因素。

(一) 支架散拼法

这种方法是在连廊位置搭设落地支架,并在支架上拼装钢桁梁的方法,此法钢桁梁安装简单易行,并可在支架上利用千斤顶调整钢桁梁线形,保证钢桁梁安装质量。此法适用于桁梁底部净空不高(净空越高支架费用越大)且现场吊机满足高空吊装能力的情况。

(二) 悬臂拼装法

悬臂拼装法(简称悬拼)是从钢桁梁的一端向另一端逐段或者逐根杆件悬臂接长的施工方法,节点宜采用高强度螺栓连接取代焊接连接方式,减少高空作业。悬拼主要特点有:①桁架梁下无支架,对梁下通行无影响;②悬拼梁的弯矩与应力全部传递给起始端的主体结构,当悬拼弯矩较大时也可以采用增设吊索以减少起始端的弯矩(如图1所示)。这里存在体系转换问题,要特别注意施工阶段检算^[1]。此法适用桁梁底部净空较高,底部有通车要求的情况,且悬拼的钢桁架节点宜采用高强度螺栓连接。

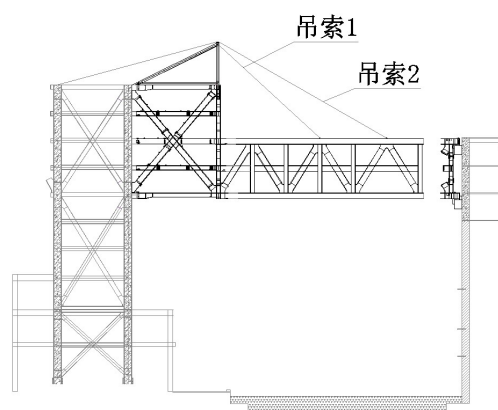


图1 L2连廊悬臂拼装法示意图

(三) 整体提升法

整体提升法是在连廊底部地面进行钢桁梁的拼装及焊接,降低高空焊接难度,然后采用整体同步提升技术,将地面的钢桁梁提升到设计标高安装的一种施工方法(如图2所示)。该法适用于重量大、高空吊装能力不足、地面无通行要求的场所。

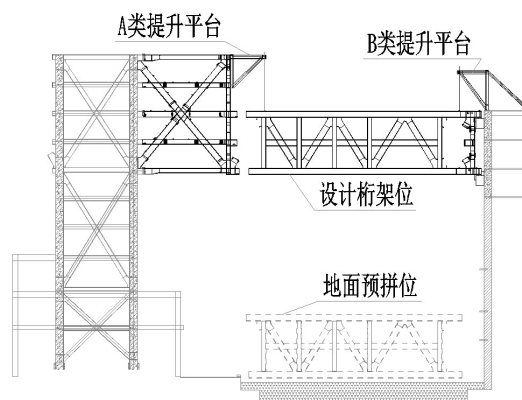


图2 L2整体提升法示意图

(四) 顶推法

顶推法是将钢桁梁在原位以外的拼装场拼后之后,通过千斤顶,借助滑道将钢桁梁纵向或者横向顶推到位,再提升或落梁就位的一种施工方法。由于顶推到位的施工时间相对于拼装所用时间要短很多,该法适用于连廊位置场地受限或地面工程施工工期紧张等无法在原位拼装的情况。如果拼装场地在地面,桁梁顶推到位

后，则需要再提升就位。如果拼装场地在高位（如裙楼顶面或支架上）顶推到位之后，则需要落梁就位。

（五）方案比选

钢桁架梁安装方案的比选需要考虑施工安全性、工程进度、施工难度、施工成本及现场条件等多个方面：

支架散拼法：满堂支架施工较安全；先支架，再散拼，进度慢；工艺简单；30m高支架，成本大；适用于桁架梁下净空较小的场地。

悬臂拼装法：高空作业多，安全可控，风险源相对较多；节点高栓连接比焊接连接进度快；技术要求高；悬拼辅助材料较少，但悬拼时裙楼的钢结构可能局部要加固，成本较低；适用于无场地或有场地但有通车要求的场地。

整体提升法：高空作业较少，风险源相对少；地面预拼，整体提升，进度快；技术要求较高；整体提升，辅助设备及材料较少，成本低；适用于有场地但桁架梁底部净空较高。

顶推法：高空作业较少，风险源相对少；场外拼装，顶推到位，进度快；技术要求较高；顶推支架辅助材料多，成本较大；适用于底部无场地或有场地但有通车要求的场地。

根据上述方案比选，本项目三个钢桁架连廊选择了在地面拼装成整体，依次整体提升的工艺：连廊钢结构在地下室顶板回填硬化完成后，搭设型钢拼装胎架，采用汽车吊进行地面散拼成整体，在连廊两侧裙楼设置提升平台，架设提升设备，对钢连廊进行整体提升，高空与裙楼连接成整体后进行卸载^[2]。

三、本项目实施方案—整体提升法

（一）地面拼装

考虑到地面交通影响，每次施工一个连廊，待一个连廊提升到位之后，再施工另一个连廊。

钢桁架散拼流程：杆件工厂制作验收→现场搭设胎架→分件吊装并临时固定→预拱度等线形校正→焊接施工→焊缝检测→油漆施工→准备整体提升。

（二）安装提升系统

提升系统包括提升平台与提升设备两部分。

（1）提升平台安装

提升平台用于放置提升器并提升过程中的全部荷载，所以其结构设计很关键。根据本工程特点，提升平台共分为A、B两类。A类提升平台设置在主楼侧面，在连廊顶面的上一层主楼主梁位置增加提升梁，下方设置斜撑，侧面设置侧向支撑，提升梁端部放置提升器；B类提升平台设置在主楼顶部，采取将主楼立柱钢骨加高一层（约3m），前端设置提升梁，提升梁下方设置斜撑，立柱后面增设背拉杆，侧面设置侧向支撑，提升器放置于提升梁端部。

（2）提升设备安装

超大型构件液压同步提升施工技术是本施工方案的关键，包括的主要设备有：

①TLJ-2000型液压提升器，又称200t穿芯液压千斤

顶，额定提升能力200吨，提升器最多可穿12根17.8mm的钢绞线。

②TL-HPS60型液压泵源系统，包括油泵、油管以及电控油路开关等。本项目施工方案共设置2台60kW功率的液压变频泵站，每个泵站为四个吊点的提升器动作提供液压。

③承重系统，包括柔性钢绞线、提升器两端的楔型锚具以及钢绞线底部与连廊连接的固定锚具；一台提升器配备一套承重系统。

④位移采集系统：包括连廊各提升点位的位移采集及数据传输线；一个吊点配备一套位移采集系统。

⑤TL-CS 11.2型计算机同步控制系统，主要作用是通过各点位移的收集，分析点位的相对位移增量，从而控制相应点位提升器油路的开或关，来达到所有点位提升器同步提升的目的。

（3）提升吊点设置

根据钢结构连廊特点，在每榀主桁架的两端设置提升吊点，根据连廊平台布置，L1连廊三榀主桁架，设置提升吊点共6个。L2与L3连廊均为四榀主桁架，对应的吊点均设置8个。

（三）连廊桁架整体提升施工

1. 结构正式提升

为确保结构单元及主楼结构提升过程的平稳、安全，根据桁架钢结构的特性，拟采用“提升分级加载，结构姿态调整，位移同步控制，分级卸载就位”的同步提升和卸载落位控制策略。

2. 提升分级加载

通过试提升过程中对桁架结构、提升设施、提升设备系统的观察和监测，确认符合模拟工况计算和设计条件，保证提升过程的安全^[3]。

以计算机仿真计算的各提升吊点反力值为依据，对桁架钢结构单元进行分级加载（试提升），各吊点处的液压提升系统伸缸压力应缓慢依次20%、40%、60%、80%增加；在确认各部分无异常的情况下可继续加载到90%、95%、100%，直至桁架钢结构全部脱离拼装胎架^[3]。

通过计算机设置各吊点容许不同步高差值为10mm，整体提升速度约4m/小时。各吊点的位移信号传递计算机，计算机进行对比后指令超限节点的提升千斤顶的供油阀关闭，而其他提升千斤顶则继续供油并提升。确保桁架钢结构离地平稳，各点同步。

3. 结构离地检查

为了确保施工的安全和质量，桁架结构装配完毕后利用提升系统提示至拼装胎架外约10厘米处锁定，并静置12小时以上进行全面检查。检测结果符合预定指标后，再执行正式提升过程。

4. 提升过程的微调

在提升桁架钢构单元时，考虑到空中姿态调整以及对接杆件所需的精确操作，我们需要微调桁架钢构单元的高度。此时，将计算机控制系统更改为手动模式，根

据实际需求可以同步微调所有液压升降机或仅对单个设备进行微小调整。这种微调可以达到毫米级的精度，完全满足桁架钢构单元安装所需的精确性要求。

5. 提升就位

结构提升完成并将桁架各层弦杆精确对位后，停止液压提升系统动力并锁定。在空中稳定状态下对桁架各层弦杆、斜腹杆进行接触焊连接，使桁架结构与两端已装结构形成一个稳定的受力系统。

(四) 结构卸载

按计算的提升载荷为基准，所有吊点同时下降卸载10%；在此过程中卸载速度较快的点将载荷转移到卸载速度较慢的点上，以至个别点超载。因此，应放慢下降速度，密切监控压力和位移值。万一某些吊点载荷超过卸载前载荷的10%或者吊点位移不同步超过10mm，则立即停止其他点卸载，而单独卸载这些异常点^[4]。

(五) 整体提升的安全控制措施

1. 液压系统同步保证措施

(1) 采用位置同步控制策略

在计算机控制系统软件设计时，在各个提升吊点之间采取位置同步控制策略，使提升结构的位置保证同步，相邻提升点同步误差控制在10mm之内，满足结构的要求。

(2) 液压系统的保证

在使用的液压系统中，使用变频器对泵站电机进行提升速度的控制。使同步调节精度高。

2. 计算机控制系统的保证

(1) 计算机监测监控

①在钢桁架整体提升安装过程中，我们采用了高精度传感器和计算机控制系统。通过数据监测和控制指令，系统实现同步升高、负载平衡、姿态校正、应力控制、操作锁定及故障报警等功能。

②操作人员在控制台使用液压同步提升控制系统的操作界面监控液压顶推过程并发布控制指令。

③通过液压同步提升控制系统的操作，可以实现自动、手动以及对单个提升器的微调操作，以满足钢桁架整体安装中同步位移、位置调整及单点微调等特殊要求。

(2) 测量工具检测监控

结构提升过程中，提升器每个行程的数值可由提升器自带的传感器测出，结构整体的提升高度需要利用测量仪器进行测量，测量点设置在吊点位置。

提升测量主要分以下几个阶段：第一阶段为结构刚离地，需要对各个吊点的初始位置进行测量，根据测量的结果对各个吊点的高度进行调整；第二阶段为正式提升阶段，随着提升高度的增加，每提升约10m进行一次测量，每次测量完成后根据测量结果调整各吊点高度；第三阶段为提升就位阶段，当结构提升至距设计高度约20cm左右时，各个吊点位置需要进行对口测量，使结构杆件精确对口。第四阶段为提升就位后，应通过测量仪器配合测量各监测点标高的准确数值^[5]。

3. 提升过程中的稳定性保证措施

(1) 主体结构稳定性的保护

钢桁架整体提升完毕，后续的施工中，严禁出现大范围、大电流的焊接，以防止局部受热变软而出现下挠过大，结构空间尺寸发生突变。因此，在钢桁架整体提升前应尽可能把所有挂件、吊点考虑到位，提前在地面焊接安装^[6]。

(2) 液压提升力的控制

在方案设计阶段通过计算机模拟分析来预测各个吊点的受力，并进行最不利工况分析以得出最大安全值。当实际提升力超过设定值时，液压提升系统会自动采取停机卸荷措施，确保每个吊点的反力不超过安全值。这样可以防止各吊点反力分布不均，避免对永久结构和临时设施造成破坏。

(3) 突然停电应急措施

停电后各泵源控制阀自动关闭，提升器自动锁死，各锚具处于锁紧状态；恢复供电系统将处于停止状态。

结语

随着我国建筑行业的蓬勃发展，钢桁架的安装技术水平已经有了一定的提升。但钢桁架工艺本身就复杂多样，每一个工程都有其独有特点，因此要认真对比钢桁架的安装方法，选择相对合理且合适的方案。虽然每一个工程都有具有经验的总包或专业分包单位，但作为项目管理人员也必须熟悉其中的技术知识，从而判断钢桁架安装工艺对特定项目的安全性及适应性。既不能全部交给总包单位或专业分包单位“出方案、拿主意”，自己不闻不问，也不能“拍脑袋、瞎指挥”。只有严格按照经过分析论证后适合项目特点的专项方案实施，方能有效确保施工安全和工程质量。项目管理人员只有认真思考方案的细节并真正参与到方案的实施过程中，才能不断提高自身的管理水平。

参考文献

- [1] 陈祺. 狭小场地内大悬挑钢桁架连廊施工技术[J]. 建筑技术, 2024, 55(14): 1676-1679.
- [2] 席念仁, 王云龙, 陈名国, 等. 钢结构连廊高空安装施工技术[J]. 安装, 2023, (08): 9-11.
- [3] 龙沅. 大跨度网架结构整体提升技术可靠性研究[D]. 湖南: 湘潭大学, 2016.
- [4] 俞晓敏, 唐勤志, 周伟, 等. 悬挂式钢连廊分阶整体提升施工技术[C]//第24届华东六省一市土木建筑工程建造技术交流会论文集. 2018: 178-182.
- [5] 符春峰, 谷金省, 刘道军. 大跨度悬挑桁架结构整体提升施工技术应用[J]. 建筑技术, 2023, 54(11): 1331-1335.
- [6] 张雪玲, 闫瑞华, 任敬磊, 等. 超大跨度异型钢连桥动态成型施工关键技术研究与应用[J]. 钢结构, 2022, 37(6): 45-52.

作者简介: 郭文霖, 男, 1968年9月生, 汉族, 硕士研究生, 高级工程师, 深圳市南山区建筑工务署, 副署长, 研究方向: 施工管理。