

跨磁浮地铁大型钢连廊整体提升滑移施工技术

黎 鸽

上海机场建设开发公司 上海 200100

摘要：在跨越运营中磁浮与地铁双轨的复杂环境下，大跨度钢连廊施工面临空间受限、时间紧迫及安全风险等多重挑战。本文通过利用移动提升设备及相关的施工工艺，对施工方法及流程进行合理优化，采用“远位拼装，整体提升滑移落架”的施工方法，进行多专业一体化施工。该技术较大幅度的缩短施工工期，有效控制连廊的安装精度，在保障运营安全的前提下完成施工，显著提升施工效率与工程可控性，为类似跨运营轨道工程提供重要参考。

关键词：大跨度钢连廊；多专业；液压提升；整体滑移；落架；卸载

引言

钢结构连廊作为实现已建多栋主楼“心脏搭桥”的重要载体，因其具有安全、环保、经济等众多优点而被广泛应用于建筑工程领域^[1]。随着时代的发展，人们在追求钢连廊使用功能多样化的同时，使得连廊自身结构日趋复杂化，向着大跨度、大吨位发展，尤其是在特定受限工况下进行连廊钢结构的施工，无疑增加了施工的难度^[2]。如何因地制宜的制定施工方案并且顺利，需要我们广大技术人员结合实际工况探索^[3]。

1 工程概况

旅客过夜用房位于某机场航站楼核心区南侧，分为东侧主楼和西侧主楼，两栋新建主楼采用混凝土框架结构体系^[4]。主楼之间架设钢连廊做为空中通道，钢连廊搁置在过夜楼外框柱的混凝土牛腿上，连廊支座的纵向间距为47.6m，横向间距为18.00m。连廊与东、西塔楼混凝土柱牛腿分别通过2套单向滑动铰支座与2套固定铰支座连接^[5]。

钢连廊南侧为钢-砼叠合结构形式的楼前高架。连廊位于东西塔楼之间，横跨磁悬浮及轨交线；建筑面积3475m²，共两层，分布在主体结构二~四层结构（+6.620m、+13.520、+19.550）位置，平面分布于⑩轴~⑯轴之间。钢连廊为钢桁架+钢框架结构体系，2个主受力桁架统一分布于三层结构层之间，下部为吊挂结构。

钢连廊构件类型包括：桁架、钢柱、主梁、次梁，构件截面形式主要为焊接箱型截面和焊接H型截面，板厚8mm~60mm，主要材质为Q355B，用钢量约387t。

考虑到连廊安装就位所处空间上的特殊性以及后续作业施工的难度，本次提升滑移将钢结构、幕墙、涂装三位一体集成化施工。三合一整体化的施工既保证了施

工质量，又提高了施工效率。

东塔楼

西塔楼

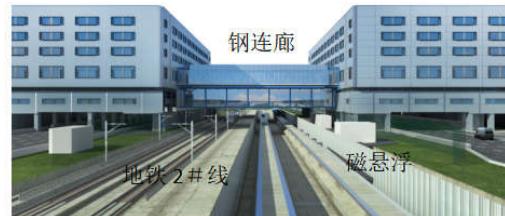


图1 连廊立面效果图

表1 工程重量统计

部位	重量 (t)	备注
钢连廊结构	420	含压型钢板及加固措施
幕墙龙骨	80	含检修马道及格栅
防火涂料	10	一、二层钢梁反底
累计	510	

2 钢连廊安装难点分析

1) 待装钢连廊“心脏塔桥”既有建筑东、西塔楼，钢结构边缘建筑完成面距离砼结构立面仅150mm；连廊下方横跨磁悬浮及地铁线，钢梁反底距离地铁线触网较近（仅400mm）；连廊安装期间，磁浮/地铁正常营运。因此，连廊施工难度大，安装精度要求高，对营运双轨保护难度大。2) 钢连廊南北两侧三楼两幅平面钢桁架跨度47.6m，自身截面高度6m。钢桁架跨度大、自重大，容易产生侧向失稳，整个桁架安装风险较高。3) 在“时、空”受限的有限条件下，既要完成钢连廊的安装，又要完成幕墙及涂装的施工作业，对人员、材料、设备等资源组织提出高要求。

3 施工流程及操作要点

3.1 总体技术路线

连廊提升滑移落架总体技术路线为：钢连廊楼前高

架拼装→移动提升设备安装→钢连廊提升→钢连廊一次滑移→钢连廊一次下落→钢连廊二次滑移→钢连廊二次下落→卸载。

3.2 准备工作

3.2.1 东、西主楼屋顶边梁加固

在旅客过夜楼东、西主楼之间布置一台移动提升设备，用于安装主楼之间的钢连廊。移动提升设备的两条行走轨道铺设在主楼屋顶的混凝土边梁中间（⑯轴于⑰轴）。考虑到在钢连廊结构自重及移动提升设备荷载共同作用下，同时保证边梁截面宽度不变的情况下。经过计算，将屋顶两侧原定边梁梁高增大，同步加强内部配筋。计算荷载取值、约束条件及计算结果经设计单位复核确认。此外，在两侧边梁浇筑前放置P43轨道预埋件，锚板尺寸为280mm×100mm，Q355材质。埋件锚板顶部与混凝土梁顶齐平，即控制标高为31.960m。通过在轨道两侧对称焊接靠码板（间隔0.5m）完成轨道与砼梁的固定。对于轨道底部与砼梁之间的缝隙通过浇筑C60灌浆料找补密实。

3.2.2 东、西主楼楼内加固措施

主楼楼内加固措施分为两种，一是在东西主楼3层至5层⑧轴与⑯轴、⑨轴与⑰轴交汇处布置竖向临时支撑，临时支撑采用钢管截面，截面规格为P609×12mm。钢圆管与砼接触部分通过钢垫片塞紧，确保受力传递的有效性；二是⑨轴以南为悬挑结构，在六层悬臂梁最大悬挑处下方安装定做的钢柱，再通过预埋件使得钢梁与周围的混凝土梁以及柱形成整体，增加结构的稳定性及刚度。

3.2.3 钢连廊加固措施

考虑到大跨度连廊提升滑移过程中，由于提升吊点位置的选取会导致结构产生变形，故对钢结构吊点下方采取局部加强措施，以保证钢连廊整个安装过程中刚度满足要求。临时杆件采用HW250×250的H型钢。吊耳下方的加强措施以及形成整体后整体刚度经过模型计算并经设计复核确认。

3.3 钢连廊楼前高架拼装

3.3.1 主桁架的分段

钢连廊共有两榀平面桁架，HJ-K与HJ-M，分布在结构层三层的南北两侧，两榀桁架结构形式相同。桁架上下弦杆板厚为30mm~60mm，腹杆板厚16mm~45mm，在薄板位置处进行分段。考虑到运输的限制及现场吊机的起重性能，将整榀平面桁架上、下弦杆及腹杆全部断开。桁架分段长度约16m，重量10~12t。

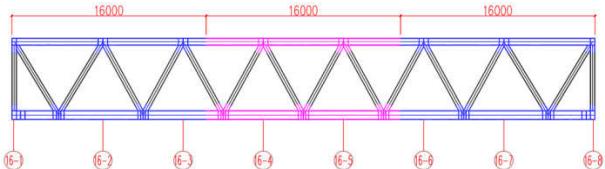


图3 HJ-K分段示意图

3.3.2 预埋件的安装

在钢箱梁顶板预定位置，混凝土浇筑前埋放预埋件完成胎架支撑与钢一混桥面的连接固定。预埋件锚板与混凝土表面齐平。预埋件锚板尺寸为150mm×150mm。

3.3.3 胎架的布置

拼装胎架由1m×6m×150mm塔箱、609×12mm圆管以及401×12mm圆管活络段等拼装而成。利用130t汽车吊在楼前高架进行胎架的拼装搭设。拼装胎架高1.6m，塔箱作为胎架的基础，塔箱与预埋件焊接固定。609钢管与塔箱之间通过钢楔找平，进而保证609钢管处于竖直状态。在609钢管顶部焊接20mm厚钢板，角焊缝焊高10mm，钢板尺寸610mm×610mm，钢板顶部焊接调节钢管401mm×8mm，钢管所需长度根据现场实测实量，钢管与连廊吊柱焊接，焊脚高度10mm。

3.3.4 钢连廊拼装、焊接

钢连廊的拼装分区域同步进行，在楼前高架上利用2台130t汽车吊进行拼装作业。连廊的拼装按照“先中间后两边、由下往上”的顺序进行。具体的，对于连廊中间1/3段，先拼装下层钢梁及钢柱，再拼装上层桁架，然后进行桁架之间主次梁拼装。剩余东、西两侧1/3段按照相同的技术路线进行拼装作业。在连廊拼装完成后，进行连廊吊点下方加固措施的作业。在钢连廊拼装过程中，同步在楼前高架南北两侧搭设脚手架，外侧挂钢板网。一是为钢结构焊接以及幕墙安装提供部分操作平台，二是形成封闭空间，避免对下方轨行区造成干扰。钢连廊采用分阶段分区域探伤。在探伤合格区域，即可进行幕墙与涂装作业。幕墙单位主要进行龙骨、马道、格栅板的施工，涂装单位穿插进行一层及二层钢梁反底的涂装作业。

3.3.5 吊点设置

提升吊点布置在连廊三层楼面梁顶面以及框架柱柱顶处，共有四处提升点。在提升、滑移和落架的施工过程中，连廊始终保持四点受力的状态，连廊提升点的纵向间距为47.6m，横向间距为15.2m。

3.4 移动提升设备安装

3.4.1 马凳的埋设

在钢-混桥面绑扎桥面板钢筋前，安装马凳。通过不

同高度的马凳进行坡度的找平，使得上部支撑架高度统一，便于轨道基础梁底标高的控制。

3.4.2 楼前高架支撑架

移动提升设备采用框架结构形式的支撑架，支撑架高度约19.3m。框架柱与楼前高架钢箱梁主纵梁一一对应，平面内的柱距为5m，平面外的柱距为3m。其中内侧框架柱采用P609×12mm的圆管截面，外侧框架柱采用HW250×250mm的H型截面。钢管支撑平面内的水平及斜向系杆均采用HW250×250mm的H型截面，其余系杆均采用HW150×150mm的H型截面。

3.4.3 轨道基础梁铺设

作为高架段行走机构的基础，选用截面尺寸为B1320mm*700mm*25mm*32mm的轨道基础梁，轨道基础梁架设在格构式支撑架上。

3.4.4 P43轨道铺设

对应于⑯轴与⑰轴，在轨道基础梁及屋顶混凝土边梁上通长铺设两条P43轨道供滑移使用。两根相邻轨道使用鱼腹板连接，并安装防雷接地装置。轨道左右两侧涂抹黄油，以减轻咬轨。经测量，136m长轨道的标高偏差在5mm以内，⑯轴和⑰轴两侧轨道水平偏差以及标高差均在5mm以内。

3.4.5 移动提升设备安装

在高架上东西两侧利用两台130t汽车吊进行行走机构的吊装，随后利用1台500t汽车吊以及1台350t汽车吊，采用“双机抬吊，空中对接”的工艺进行主桁架的拼装。移动提升设备由行走机构、提升系统、主桁架、边桁架等组成。其中，行走机构由4台8轮钢轮行走轮箱构成，单台轮箱双电机驱动，单只钢轮允许轮压250kN。提升系统包括4组提升梁、4台200t@25mpa穿心式液压千斤顶、76根Φ15.24mm@1860mpa钢绞线（其中左旋30根）以及4台24L泵站等。移动提升设备额定提升量530t。

3.5 钢连廊整体提升

3.5.1 脱胎

采用气体切割的方法，进行钢连廊的脱胎处理。待所有连接节点气割完成，逐一确认是否有效分离。整个切割过程中，基于安全考虑，保证四组提升钢绞线处于垂直绷紧持力的状态。

3.5.2 节点补漆

启动液压提升系统，将连廊整体向上提升0.5m，提升泵每个提升行程25cm，即两个行程。连廊悬停24h，期间打磨钢连廊切割点，进行节点补漆。

3.5.3 拆除维护结构

该阶段，拆除连廊南北两侧的脚手架及钢板网，同步清理连廊整个滑移、落架路线上存在的障碍物。

3.6 钢连廊滑移、落架

本次滑移水平总距离102.81m，竖直降落8.74m。考虑到在支座正上方下降，连廊底层凸出纵梁碰撞混凝土牛腿。因此，在连廊滑移到牛腿结构之前，须进行一次下降。故而整个滑移、落架分两阶段进行。初始状态梁顶标高28.00m，M900D行走机构牵引钢连廊沿着已铺双轨，首次滑移75.81m，后轮中心停在⑯轴；待连廊静置1h后，第一次下降高度7.74m，梁顶标高20.26m。第二次滑移距离27m，行走机构后轮中心停在⑰轴；第二次下降高度1m，梁顶标高19.26m。

3.7 钢连廊卸载

复核钢连廊的标高及平面位置，满足设计要求。同步读取提升装置传感器的读数，与计算结果相比，误差在允许范围内，达到满足卸载要求。将钢梁与支座按照设计要求围焊固定。

结束语

本工程开创了国内横跨运营中磁浮/地铁双轨安装大跨度大吨位钢连廊的先河，同时成功做到钢结构-幕墙-涂装等多专业一体化施工。在行走机构与液压提升设备的协调配合下，水平滑移与下降动作多次交替进行，实现了连廊在平、立面三维空间的位移转换，极大的提高了安装钢连廊的灵活性与机动性。采用“高架远位拼装，高姿态滑移，低姿态落架”的施工方法，确保了施工安全和施工精度，同时大幅度的提高了施工效率。

参考文献

- [1]周桂香,蒋凤昌,陈胜,程越东,朱恒其.300t钢结构连廊液压滑移提升技术[J].建筑技术,2016,47(02):165-168.
- [2]邹孔庆,宋智丰.大跨度空间桁架结构累积滑移及整体异步落架施工技术[J].施工技术,2019,48(02):21-26.
- [3]袁鼎,罗建冬.液压整体提升及下降技术在高空大跨度铝合金网壳施工中的应用[J].建筑施工,2021,43(02):215-218.
- [4]张明亮,雷周,曾庆国.液压同步提升技术在大跨度钢桁架施工中的应用[J].建筑施工,2019,41(11):2000-2003.
- [5]李建华,范平,张大慰.苏州中心广场项目跨地铁多层钢连廊安装技术[J].施工技术,2015,44(22):36-40.