

基于拉索构造的大跨度悬挑混凝土结构施工方法研究

许 强

上海建工四建集团有限公司 上海 201103

摘 要：现今建筑的大悬挑较多采用钢桁架结构实现，使用现浇混凝土结构和拉索结合形成悬挑结构的工程应用较少。在这种混合结构形式的建造过程中，混凝土结构和拉索的施工空间形成交叉，对施工提出了一定的挑战。本文以某商业建筑中现浇混凝土结构和拉索结合的大悬挑混合结构为例，对施工特点进行深入分析，提出了针对性的施工工序和方法。本研究可为类似工程提供相关参考。

关键词：大悬挑混合结构；拉索；施工方法

1 工程概况

某商业项目地理位置优越，目标打造集文化、艺术、办公及商业为一体的综合文化项目。项目裙房设计以独树一帜的多处超大悬挑空间打造出“城市空中平台”这一开放性地标。

裙房为框架混凝土结构，为实现“空中平台”这一建筑效果系^[1]，其中裙房3层至5层连通，形成约一层高约10m，同时向两方向悬挑外伸的超大挑空空间，其中一侧悬挑外伸约6m，另一侧悬挑外伸约15米。悬挑端部与主体结构通过斜拉索连接，形成混合受力体系。

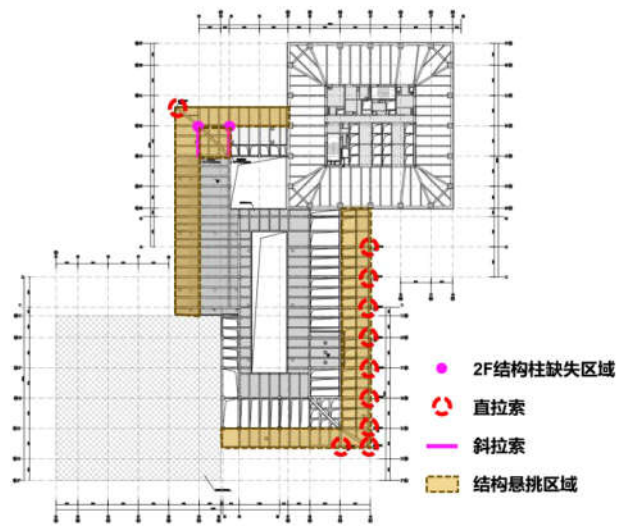
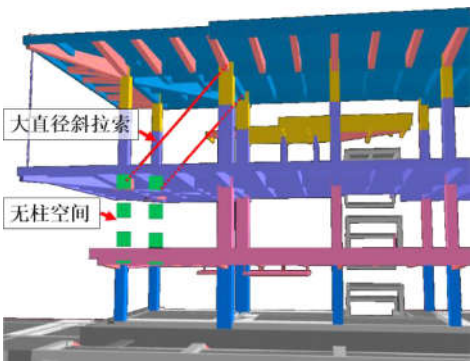


图1 拉索分布示意图

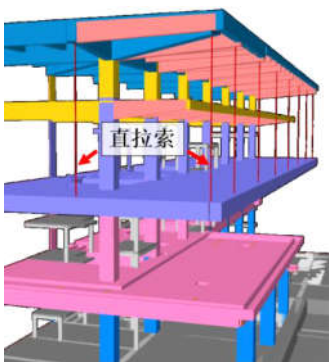
斜拉索在结构上采取取消2F与3F间的结构柱并创新的借鉴路政及场馆建设采用斜拉索体系，4F结构内收，自5F（标高22m）斜拉至3F（标高11.9m）形成一受力支点，打造出向外悬挑15米的超大超高悬挑结构。其中相对结构关系如图2所示：

该空间层高10.1米，由于2层向上结构柱未能延续，设计通过斜向拉索由5F斜拉3F原立柱支座位置，形成15m

大悬挑结构。根据原设计图纸，该位置拉索经索体构件优化后采用高钒索，索长约15m。



(a) 大直径斜拉索实现大悬挑



(b) 竖向群索实现悬挑

图2 结构拉索模型示意图

为进一步确保混凝土结构的刚度，整体框架梁设计截面较大，其中3F混凝土主梁遍截面500×1000。5F混凝土主梁遍截面600×1200，梁局部内设预应力筋。另，由于该区域裙房分别向图纸上侧及左侧两侧同时悬挑，额外有一斜向大截面悬挑梁，3F梁截面600×1000，5F梁截面600×1700。梁、柱主筋普遍采用D25及D36，且根数较多，存在大量双排、三排钢筋情况。钢筋十分密集，在支座位置尤其明显，与拉索存在极大的干涉情况。

故存在如下结构特点：

(1) 悬挑跨度：最大悬挑长度15米，结构高度10.1米，取消2层至3层部分立柱，通过斜拉索由5层（标高22米）斜拉至3层（标高11.9米）形成支点。

(2) 拉索参数：采用高钒索，单索长度15米，直径80mm，自重约3吨，设计索力为1200kN。

(3) 混凝土构件：主梁截面尺寸达600mm×1700mm，钢筋密集（双排至三排布置，主筋为D25、D36），并设置预应力筋增强抗裂性能。

2 施工重难点

大跨度悬挑结构广泛应用于商业综合体、体育场馆和交通枢纽等建筑中，其设计不仅需满足结构安全性，还需兼顾建筑美学与空间功能。

大跨度悬挑作为一种极具表现张力的建筑形式被越来越多的采用。以往较多采用钢材为主的钢桁架结构实现建筑的大悬挑^[2]。对于借助大直径斜拉索构成混合结构实现大悬挑的钢筋混凝土楼面结构，实际工程应用较少。

传统钢桁架结构虽技术成熟，但存在用钢量大、防腐成本高、后期维护复杂等缺点。而现浇混凝土结构结合斜拉索的混合体系，通过预应力与空间桁架效应，可显著降低结构自重，实现更大跨度的悬挑效果。然而，混合结构施工面临多重挑战：

2.1 工序交叉问题：混凝土浇筑需依赖模板支撑体系，而拉索安装需精确预埋和空间定位，两者在施工空间与时间上存在冲突。

2.2 精度控制难度：拉索锚固点位置偏差直接影响结构受力性能，需与密集的混凝土内钢筋骨架协调布置。

2.3 施工效率与工期压力：为项目尽早竣工投入使用产生效益，业主对施工项目工期要求愈加严苛，传统分步施工难以满足紧凑工期要求，如何进一步提高带群索复杂混合结构在拉索施工阶段的综合施工效率（例如利用多分项工程的穿插施工），对施工总承包单位的技术也提出了更高的挑战。

本案例中，裙房钢筋混凝土框架结构利用大直径斜拉索实现轻巧的建筑大悬挑效果，部结构分为上层和下层，悬挑端有竖向上、下层连接柱，拉索作为斜向构件，构成桁架受力形式的结构。故存在如下实施难点：

2.4 工序交叉与空间冲突：

混凝土结构施工需搭设模板排架，而拉索安装需预留套管并保证锚具定位精度。传统同步施工易导致以下问题：

①钢筋绑扎与套管预埋位置冲突，影响拉索轴线对中。

②模板支撑体系占用索体安装空间，导致吊装设备无法就位^[3]。

2.5 拉索安装精度控制

①锚具预埋偏差：根据规范设计允许偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，但密集钢筋骨架易导致套管移位。

②索体自重影响：单索重达3吨，运输与吊装过程中易产生挠曲变形。

2.6 工期压力与效率提升

常规施工过程中，拉索张拉需待混凝土强度达标后进行，导致工期延长。需通过工序穿插（如预埋与结构施工同步）缩短整体周期。

3 拉索安装方案的确定

针对以往常规市政项目、钢构项目的实施，索体安装周边构件多均为混凝土、钢结构等装配式工艺，有着“即装即用”这样的特点，大大不同于现浇混凝土结构，需要支设模板、绑扎钢筋、混凝土浇筑并等待强度后拆模这一等待间歇。因此，在索体的安装工艺上也有着极大的差别。

以往常规钢构项目的拉索施工步骤：

- ①安装构件并完成构件就为；
- ②索体安装并初步预紧固定；
- ③对索体进行循环张拉作业；
- ④拆除张拉设备进行封锚处理；
- ⑤恢复场地。

在施工工艺流程工序以钢筋混凝土结构施工为主要工序，在对应上下层混凝土养护达强度后，开展主索的安装和张拉，有效避免工序间的相互牵制，进一步提升施工效率确保施工质量。最终确定本项目索体施工流程：

- ①混凝土结构施工、索体套管、埋件预埋；
- ②3F~5F模板排架拆除；
- ③索体安装并初步预紧；
- ④索体循环张拉及卸载（3F下排架拆除）；
- ⑤拆除张拉设备进行封锚处理。

4 拉索安装实施工艺

以大直径斜拉索为例，索体自重较大（约3T），有着如下施工工艺实施特点：

4.1 施工上、下层混凝土结构，并预埋隔离筒、锚垫板等拉索相关预埋件；混凝土养护达强度后，拆除上层混凝土结构支撑模板，保证拉索安装施工空间^[4]；

4.2 竖向运输使用自行式剪刀车升降机；楼层内水平运输采用滑动小车；运输和安装辅以电葫芦、牵引钢绞线、卷扬机（牵引千斤顶）、临时支撑滑轮等实现；

4.3 上、下层位置的转接头连同钢绞线穿入隔离筒，

转接头同拉索热铸锚具连接,完成拉索安装;

4.4 由考虑拉索张拉施工过程的结构计算分析确定的预设施工方案,实施张拉;

4.5 张拉完成后拆除下层支撑排架。

本文主要对其中(1)至(3)点索体张拉前的安装施工工艺进行分析说明。

在索体提升期间,先行设置钢管支撑架体作为上人作业平台以及索体提升轨道,通过在上端屋面设置牵引千斤顶,通过定位钢绞线逐步提升索体。期间在架体上设置提升葫芦对索体进行定位调整,直至索体提升到位,将下部锚具予以安装固定。竖向运输自行式剪刀车升降机,楼层内水平运输采用滑动小车、电葫芦、牵引钢绞线、卷扬机(牵引千斤顶)、临时支撑滑轮等实现。

在索体提升期间,首先根据拉索自重(约3吨)及空间跨度(15米)设计专用钢管支撑架体。架体采用 $\Phi 48 \times 3$ mm无缝钢管搭设成型,高度随楼层间距调整,顶部利用钢管搭设出轨道梁作为索体提升导向装置,底部通过膨胀螺栓与楼板锚固,确保整体稳定性。架体两侧搭设落地操作平台,铺设防滑钢板并加设安全护栏,满足工人高空作业需求。索体通过索体转接头与端部镀锌钢绞线(抗拉强度1860MPa)连接。提升过程中,利用在上端屋面预埋的反力支座,通过后续张拉使用的穿心式牵引千斤顶拉升端部镀锌钢绞线进行索体提升。启动千斤顶后,索体沿轨道梁以0.5m/min速度匀速上升,同步采用全站仪监测索体轴线偏位,偏差超过10mm时立即暂停调整。架体中部设置3吨手拉葫芦,通过钢丝绳兜吊索体中部,配合千斤顶进行三维姿态微调,确保索体与预埋套管轴线对中误差 ≤ 5 mm。

索体提升至设计标高后,立即安装下部热铸锚具:先将锚具套筒与预埋垫板连接固定。

运输环节中,竖向运输采用载重5吨的自行式剪刀车升降机,其伸缩臂最大举升高度达25米,可覆盖3F~5F施工范围;水平运输则在楼层内通过架体轨道,由电动滑动小车(载重3吨)承载索体,配合5吨卷扬机牵引及2吨电葫芦辅助转向。关键弯折处增设临时支撑滑轮组,减少索体与地面的摩擦损伤,全程由专人指挥协调,确保运输路径畅通。

固定时,首先采用卷扬机(牵引千斤顶)把拉索转接头提升至屋面层隔离筒下端位置,然后将上部转接头与拉索热铸锚具相连,锁紧上部夹片锚具;使用电葫芦将下部拉索转接头提升至下隔离筒上侧,连同钢绞线穿入隔离桶内固定,钢绞线露出隔离筒下侧垫板,露出长

度大于预设长度;将拉索热铸锚具与下部转接头相连^[5]。

5 实施效果

在本项目的案例实施中,通过“先混凝土后拉索”的分阶段施工方案,系统性解决了大跨度悬挑结构中拉索安装与现浇混凝土工序的空间交叉难题。通过采取结构施工为主线,先行进行预埋避免拉索施工与主体结构的相互工作影响。利用自行式剪刀车与轨道式滑动小车协同运输,突破楼层内狭小空间限制。此外,采用次方案可为后期索体安装预留标准化通道,有效避免混凝土浇筑对预埋件的扰动。确保了项目的顺利建设,有效解决了本案例中带拉索大跨度混凝土结构施工带来的施工工序冲突、实施困难等难题,成功实现工期缩减目标及施工质量目标。通过比照设计深化方案中结构的变形情况与实际实施阶段变形情况的数据,全站仪测量结果与模拟计算变形情况基本一致,验证了本方案的可行性,为项目带来了显著的经济效益。

6 结语

使用现浇混凝土结构和拉索结合形成大悬挑结构的工程应用较少,在这种混合结构形式的建造过程中,混凝土结构和拉索的施工空间形成交叉。本文以某商业建筑中现浇混凝土结构和拉索结合的大悬挑混合结构为例,对施工特点进行深入分析,提出了针对性的施工工序和方法。在现浇混凝土结构中以钢筋混凝土结构施工为主要工序,在对应上下层混凝土养护达强度后,开展主索的安装和张拉,施工工艺流程对主体结构混凝土施工的工期影响小,尤其适用于工期紧、质量要求高的轻型悬挑钢砼楼面的大直径预应力斜向拉索的施工。并可以保证索体安装以及后续张拉的施工质量,降低工程成本,提高项目建设的效益。本研究可为类似工程提供相关参考。

参考文献

- [1]林茂.大跨度斜拉桥拉索锚具参数的影响因素分析,《城市道桥与防洪》,2017(03).
- [2]刘丰.不同计算方法在斜拉索构造设计中的应用,《中国市政工程》,2015(05).
- [3]马跃坤,冯聪,徐云霞,蒙俐君,李沁钰.新型空间预应力钢结构施工成套技术研究,《工程技术研究》,2018(06).
- [4]王勃,孙凯,虞胡恒,韩宇,石磊.大型索承桁架预应力斜拉索施工过程分析,《建筑施工》,2023,45(05).
- [5]王杨,张浩,尹天,杜松涛,张步鹏.预应力施工在大跨度结构中的应用与研究,《建筑科技开发》,2025,52(01).