

TOD 地铁上盖综合体塔吊基础设计与应用研究

——以上海金桥 J9A-05 酒店商业项目为例

钱振东

上海市浦东新区建设（集团）有限公司 上海 200000

【摘要】：随着城市 TOD 综合开发模式的快速推进，地铁上盖项目的施工技术难点日益凸显，其中塔式起重机基础的布设成为制约项目推进的关键问题。传统混凝土塔吊基础自重大，易对既有地铁上盖板地结构造成附加荷载影响，难以满足此类项目的施工需求。本文以上海金桥地铁上盖 J9A-05 地块酒店及商业项目为工程实例，对架空式钢结构塔吊基础的设计要点、施工工艺及质量安全控制措施展开研究。研究表明，该基础形式可有效将塔吊荷载传递至原有结构柱，大幅降低对既有板地结构的影响，同时具备施工速度快、可回收利用等优势。项目实践验证了该技术的可行性与安全性，可为同类 TOD 地铁上盖项目的塔吊基础施工提供参考。

【关键词】：TOD 地铁上盖；架空式钢结构；塔吊基础；施工技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.050

1 引言

近年来，为缓解城市土地资源紧张的问题，以公共交通为导向的 TOD 开发模式在我国各大城市快速推广，地铁车辆段、停车场上盖开发项目日益增多^[1]。此类项目通常在已建成的地铁结构顶板上进行后续开发建设，施工场地狭小，且施工过程中需严格保障盖下地铁设施的安全运行，对施工荷载有着严格的限制。

塔式起重机作为高层建筑施工中不可或缺的垂直运输设备，其基础的布设是施工前期的核心工作。传统的钢筋混凝土塔吊基础自重大，通常可达数百吨，若直接设置在地铁上盖板地结构上，极易超出原有结构的承载能力，对盖下地铁的安全运营造成威胁^[2]。同时，混凝土基础施工周期长，需等待混凝土养护达标后才能进行塔吊安装，难以满足项目快速施工的需求^[7]。

针对上述问题，架空式钢结构塔吊基础作为一种新型基础形式逐渐得到应用^[3]。该基础通过工厂预制的钢梁结构，将塔吊的荷载直接传递至既有结构的竖向承重柱上，避免了对顶板结构的附加荷载，同时具备自重轻、施工快、可回收等优势^[4]。本文以金桥地铁上盖 J9A-05 地块项目为实例，对该基础形式的设计与施工技术进行深入研究，为同类项目提供实践经验。

2 工程概况

本项目为上海金桥地铁上盖 J9A-05 地块酒店及商业项目，地处浦东新区金桥开发区，该项目场地下侧即为地铁场站，属于典型的地铁停车场上盖开发项目^[5]。该项目初始场地预留 816 根（普通钢筋混凝土柱和 H 型钢混凝土柱）高度为 2800mm

混凝土结构柱，根据规划设计文件，场地布局为 23 栋单体，为满足项目工期要求，场地布设 11 台塔吊，其中 9 台 WA350-16T、2 台 W450-25HC。

3 架空式钢结构塔吊基础设计要点

3.1 基础选型与受力分析

受制于场地条件限制，原有顶板结构无法承受传统混凝土塔吊基础的巨大荷载，因此所有塔吊基础均采用架空式井字形钢结构基础，塔吊基础钢梁底面距地铁结构板 100mm 做架空处理。受力机理为：塔吊工作状态下产生的竖向荷载→塔吊基础钢梁→原有结构柱。该设计的核心思路实现了塔吊在工作状态下将荷载传递至原有结构柱的方式，从而避免荷载作用于顶板结构上。塔吊基础 3D 设计模型如下图 1 所示：

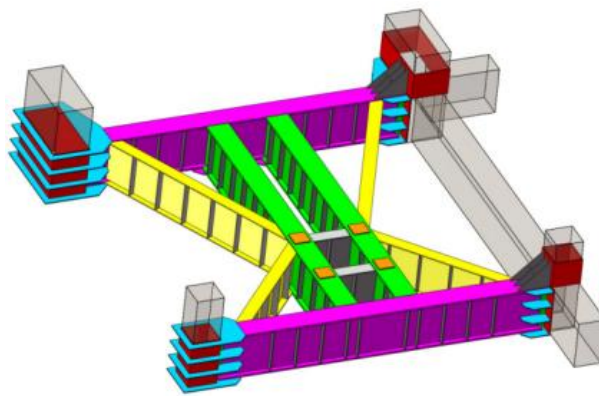


图 1 架空式井字形钢结构塔吊基础 3D 示意图

3.2 基础设计

塔吊基础设计采用ANSYS有限元模拟分析软件模拟分析与设计,分析主要包含以下几个方面:钢结构应力分析、位移分析及整体稳定性分析。

塔吊设计依据:根据每栋号楼高度结合塔吊型号确定塔吊基础标准节高度,综合塔吊基础标准节高度及塔吊旋转半径参照塔吊说明书确定塔吊在此状态下对应的最大剪力,竖向荷载及倾覆弯矩三个参数作为塔吊基础设计依据。有限元模型分析图参照图1所示。

由于塔吊在工作状态下,塔吊基础处于往复拉压状态,需综合不同状态下受力特点进行分析,主要表现为:将起重臂的朝向分八个方位进行计算,如下图2所示,工作状态正扭矩、工作状态负扭矩、非工作状态0扭矩,共计 $8 \times 3 = 24$ 个工况,考虑钢结构自重。

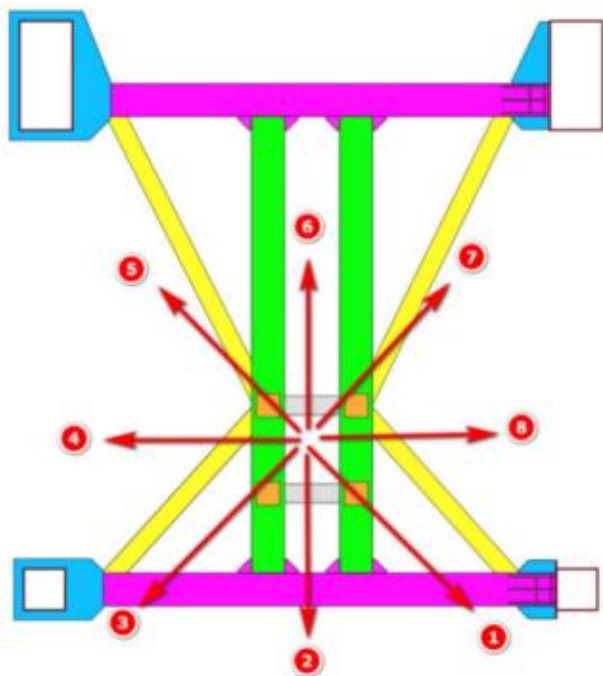


图2 八个工况的起重臂朝向示意图

《钢结构设计标准》GB50017-2017表4.4.1中规定^[6]的不同厚度的钢材的屈服强度如下图,钢梁结构中最厚的钢板厚度为60mm,屈服强度为325MPa。以 $325/1.34 = 242.5\text{MPa}$ (工作状态安全系数1.34,非工作1.22,以1.34覆盖统计)为阈值来观测钢梁组合基础应力云图;以塔身宽度的1.5‰来判断支腿变形后的高差是否满足,即为平行方向的支腿高差不应超过 $\Delta U_y = 2 \times 1.5/1000 = 3\text{mm}$ 控制塔吊基础变形产生的高度差;整个钢结构组合基础(包含整体和各局部部件)最小阶屈曲载荷因子验证整体稳定性。有限元模拟分析对比结果如下表1所示。

表1 有限元模拟分析结果对比值

事项	钢结构应力 (MPa)	位移分析 (mm)	整体稳定性 分析
模拟分析结果	175.8<242.5	$\Delta U_y = 2.3 < 3$	49.47>>1
结论	满足要求	满足要求	满足要求

综合两种不同类型塔吊及高度,其中WA350-16单套塔吊基础总重区间为70.90t~97.90t、W450-25HC单套塔吊基础总重区间为72.32t~73.62t。根据单个构件最重为11.7t,采用80t汽车吊、 $\Phi 30$ 钢丝绳进行吊装,满足安全吊装的要求。

4 施工工艺

施工流程:原有结构柱凿除→塔吊基础预埋件施工→塔吊基础主梁安装焊接→次梁安装焊接→连系梁焊接→斜撑焊接(如有)

	
结构柱凿除	预埋件安装
	
构件吊装、安装	塔吊基础施工完成

原有结构柱凿除时凿除至离地铁结构顶板上方至100mm位置处,用于控制后期塔吊在工作状态下塔吊基础变形而不直接接触顶板。此时,原有结构柱纵筋保留。

预埋件由于为工厂预制完成,为减少施工定位误差,用全站仪精确测量预埋件的位置,在土建钢筋绑扎完毕后进行预埋件的校正固定,校正完成后及时采用定位筋进行临时固定,防止混凝土浇筑时发生移动。待预埋件全部安装到位后支模板浇筑混凝土。

塔吊基础在主次梁及连系梁安装时,采用汽车吊进行吊装,待吊装至指定位置后及时与预埋件焊接连接。由于塔吊基础形式的特殊性,所有焊缝均需满足一级焊缝的要求^[8],且保证所有焊缝探伤及完工验收合格后方可投入使用。

5 风险辨识及安全管控

本项目塔吊基础安装施工过程中主要为吊装和焊接作业,主要风险源包括:高空坠落,物体打击,触电、机械伤害及构件倾覆的危险。

针对以上风险,需编制塔吊基础施工专项施工方案并进行安全技术交底。同时作业区设警戒区、警示标志,设专人安全员全过程监督。所有作业人员持证上岗,岗前完成安全技术交底和三级安全教育,高空作业必须规范佩戴安全带、安全帽等防护用品。吊装作业统一指挥信号,严禁超载吊装、斜拉斜吊,六级及以上大风、恶劣天气立即停止高空及吊装作业。施工现场用电为三级配电两级保护,机电设备接地接零符合规范要求,电焊机、手持工具等设备定期检修,杜绝漏电事故。基础临边设高 $\geq 1.2\text{m}$ 的防护栏杆,加设夜间照明,做好临边防护。

建立塔机基础动态监测体系,安装完成后立即进行全项检测,施工前期每天检测基础沉降、水平位移和平面度,结构稳定后每周复测。严格控制基础支腿脚点平面度误差在千分之一

以内,及时掌握结构变形情况。对钢结构焊缝做超声波、磁粉探伤检测,全面查找出内、外表面缺陷,保证基础结构稳定。

6 应用效果分析

本项目11套架空式钢结构塔吊基础均顺利完工并稳定运行。该体系依托原有结构柱传递荷载,彻底消除地铁顶板附加荷载风险,结构变形与沉降指标均符合规范,保障了地铁正常运营。相较于传统混凝土基础28天的养护周期,本工艺单套基础施工仅需5天,11套总计55天完工,显著压缩工期。同时钢结构可回收利用率达90%以上,有效控制造价、减少建筑垃圾,契合绿色施工理念。

7 结论

TOD地铁上盖项目中,架空式钢结构塔吊基础有效解决了传统混凝土基础自重重大、施工周期长、对原有结构影响大的问题。通过将塔吊荷载传递至原有结构柱,该基础形式可在保障盖下地铁安全运营的前提下,满足施工垂直运输的需求。

金桥J9A-05地块项目的实践表明,该技术具备自重轻、施工快、可回收、安全可靠等优势,能够有效适应地铁上盖项目的特殊施工条件。该技术的成功应用,为同类TOD地铁上盖项目的塔吊基础施工提供了宝贵的实践经验,具备良好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 叶家成,温喜廉,陆耀波.地铁上盖TOD项目超高层塔吊基础施工技术[J].广东土木与建筑,2021,28(08):67-70.
- [2] 邵宇平.既有城市轨道交通上盖改造项目大跨度塔吊基础设计与分析[J].建筑科技,2021,5(03):45-48.
- [3] 王红振,程军,黄旭刚,等.既有地铁之上的塔吊基础施工技术[J].建筑施工,2015,37(05):576-578.
- [4] 刘超,陈浩,宗玉军,等.非落地式塔吊基础力学性能试验研究[J].兰州工业学院学报,2020,27(04):38-42.
- [5] 蒋国伟,戎志伟.既有地铁上盖项目的塔吊基础设计与施工[J].建筑安全,2018,33(07):23-25.
- [6] 《钢结构设计标准》GB50017-2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [7] 《塔式起重机混凝土基础工程技术标准》JGJ/T187-2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [8] 《钢结构焊接规范》GB50661-2011[S].北京:中国建筑工业出版社.