

浅析平臂塔吊超长附着在超高层施工中的应用

景自然

中国建筑第七工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：塔机附着装置需根据塔机与建筑物的相对位置、建筑物的结构外形进行专项设计，但在设计过程中存在一些容易被忽视的问题。基于此首先说明工程概况，再叙述塔机附着装置设计现状，最后对平臂塔吊超长附着在超高层施工中的应用进行合理的分析，为相关设计人员提供一定的参考意见。

【关键词】：平臂塔吊；超长附着；超高层施工

Analysis of the Application of Flat-boom Tower Crane with Super-long Attachment in Super-high Construction

Ziran Jing

China Construction Seventh Engineering Division. Co., Ltd. Henan Zhengzhou 450000

Abstract: The tower crane attachment device needs to be specially designed according to the relative position of the tower crane and the building and the structural shape of the building, but there are some problems that can be easily ignored in the design process. Based on this paper, we firstly explain the project overview, then describe the current situation of tower attachment device design, and finally analyze the application of super-long attachment of flat-boom tower crane in super-high construction reasonably, so as to provide some reference opinions for relevant designers.

Keywords: Flat-boom tower crane; Super-long attachment; Super-high construction

在现代超高层建筑结构中，往往会运用到框架-核心筒结构的方式，核心筒施工往往会运用钢平台施工的工艺，在开展施工作业过程中，外框的施工经常会落后于核心筒进度的八层左右。对于超高层建筑施工来说，为有效解决钢结构等运输问题，往往会运用在核心筒设计内爬动臂塔机或设置外附塔机的实施方案。内爬动臂塔机方案缺点比较明显，譬如爬升的时间比较长、次数比较多等，因此外附塔机的应用也较为广泛。外附塔机安装的重点在于超长附着的处理，需要多重考虑超长附着埋件在核心筒的位置、附着受力、安装角度等，从而更好地解决超长附着的问题。本文结合超高层建筑施工的特点，研究平臂塔机超长附着施工，以此有效地解决塔吊超长附着的问题。

1 工程概况

本工程地下室3层，地上51层，总面积14.4629万平方米，建筑的高度大概在241米，这就是超高层建筑。此项工程塔楼的主体结构方式为钢筋混凝土核心筒+钢框架结构体系，塔楼内外筒的平面就一个三角形，塔楼上部结构组合楼板主要运用到钢筋桁架楼承板。如图1所示。

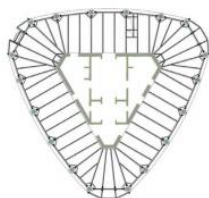


图1 标准层钢构件分布示意图

表1 本工程钢管柱截面的尺寸

标高	截面尺寸/(mm)	单位长度/(t/m)
底板-2层楼面	1400×30	1.103
2层楼面-7层楼面	1400×30	1.103
7层楼面-23层楼面	1300×28	0.878
23层楼面-40层楼面	1200×26	0.753
40层楼面-44层楼面	1000×24	0.578
44层楼面-48层楼面	1000×22	0.531
48层楼面-大屋面	1000×20	0.482
大屋面-小屋面	700×20	0.335

2 塔机附着装置设计现状

国内起重机在20世纪50年代开始起步，抚顺机器厂生产我国第一台起重机。六十年代是我国塔机的第一阶段，各种塔机研究所和工厂的成立，标志我国研发和生产的开始。七八十年代是塔机发展的第二阶段，我国塔机年产量是六十年代的十倍，同时塔机起吊能力也大幅度提升。20世纪90年代是我国发展的第三阶段，九十年代的产品特点是从国外引进产品技术和专利。新千年至今是我国塔机的第四阶段，我国现阶段在塔机生产能力和设计水平都已达到世界前列，但关于塔机附着装置设计并没有很明确的设计规范和条文，各家仅仅依靠经验进

行设计。

有的学者主要以常见的三杆式附着装置为例,通过将作用在附着装置的弯矩和反力简化成几种常见的结构力学模型求解几种力学模型中附着杆件的内力表达式,进而根据表达式求解附着杆内力的极值。还有的学者主要通过力法计算求解塔机附着反力,发现附着杆对于附着装置反力的影响主要通过塔身和附着装置的柔度来体现,因此,在开展计算过程中,附着装置当作刚性杆进行考虑。

王玉琴主要认为,附着的高度主要就是附着固定在超高层建筑建筑物上的高度,根据安装附墙的形式予以实现。塔机的厂家以及型号都略有不同,独立的高度也不一样,譬如 QTZ63 塔机独立的高度大概在 30 米左右。超过独立的高度之后就应该对附墙进行创建,附墙创建的距离在相关使用说明书中有规定,附着塔机塔身能够通过附墙安装的形式,最大限度地减少塔身计算的长度,进一步确保最大附着的起升高度。

现阶段对附着装置的研究还存在以下问题:当前对附着反力计算进行研究,但是附着装置的受力特点不明确,对于多道附着装置如何分配反力和扭矩并没有相关的研究。

当前对附着反力的研究以塔机简化成刚性链杆的多跨悬臂梁和二阶有限元计算为主,多跨悬臂梁求得附着装置反力偏大提高了成本,二阶有限元理论计算不利于一线施工人员对附着装置进行承载能力评估。

随意加长墙座耳板。墙座是力学意义上的铰座,其作用是将附着杆的作用力传递到建筑结构上。在某些塔机安装人员中,流传着一句口头禅:“杆不够耳板凑。”意思是,当附着杆的长度不足时,可以用加长耳板长度的方法来解决。他们不仅加长附着杆的耳板,有时甚至接长墙座的耳板。这样做简单省事,但是存在很大的安全隐患。

缀条重心线与结构分肢重心线上不相交用缀条连接的格构式附着杆,缀条的重心线应相交于结构分肢的重心线上。这样的附着杆分肢不仅承受轴向力,而且增加了一个附加弯矩,与压弯构件的计算模式不符。如果仍然套用压弯构件计算公式去计算,得到的必然是一个与实际受力状况不符的计算结果。

附着杆调节螺杆过于细长。附着杆应该设置调节螺杆,用于微调附着杆的长度。但是有些调节螺杆过于细长,应力集中易弯折,成为附着杆的强度薄弱环节。

附着杆接头与附着框的结构形式不匹配。目前多数附着框上不设置销座,取而代之的是将 2 块销座耳板直接焊接在附着框的上下 2 个平面上,两块耳板间的净间距取决于附着框材料规格,销轴较长。

3 平臂塔吊超长附着在超高层施工中的应用

3.1 塔机平面附着点的选择以及杆长的确定

首先,附着位置的结构需要满足塔机附着的反力要求;这一项工程项目需要在剪力墙上予以塔机附着,附着的承载能力增强,进一步满足塔机附着需求。其次,对塔机附着的角度需求予以一定的满足;过大或过小角度都会增大附着内力,附着角度还需要保持在 $30^{\circ} - 70^{\circ}$ 。最后,对外框钢结构的相关吊装要求予以满足;附着杆需穿过钢结构外框,对钢柱吊装产生一定的影响,从而影响到施工的进度。

当塔机附着总数变化时对附着内力大小会产生一定的影响,进一步总结出附着杆随回转角度变化规律,如下:①塔机在正常运行中,当风荷载方向、起重弯矩作用的方向、小车水平力作用方向大体一致,即起重弯矩与风向夹角在 $\pm 45^{\circ}$ 时产生的附着反力最大。②当塔机的附着总数确定时,最上道的附着反力最大,从上数第二道附着装置的反力大约是最上道的 70%~80%,但反力方向相反。塔机起吊回转运行的扭矩主要由前两道附着装置承担,最上道附着承担的扭矩为 0.9T 左右。③当塔机附着装置总数变化时,附着装置反力与附着间距等因素有关,但附着反力是随着附着装置数量增多而变大,因为塔机承受的风荷载总体是变大的。对扭矩而言,最主要由最上道附着装置承担。

本工程 TCT7052 塔机运用四杆附着,附着杆的型号分为 TC7052 以及 TCT7052 两种,其中 TC7052 附着杆中 L1、L2、L3、L4 长度分别为 20158mm、17430mm、14696mm、13971mm; TCT7052 附着杆中 L1、L2、L3、L4 长度分别为 21013mm、18917mm、13971mm、13381mm。

3.2 塔机立面附着点的布置

对立面的附着点进行科学合理的布置,进一步减少附着的次数,对提升施工质量以及缩短工期都非常的重要。在对立面的附着点进行选择过程中,相关工作人员需要着重考虑爬模影响此项工程,爬模的高为 15.2 米,能够覆盖到 3.5 个楼层,在对塔机的附着点进行设置过程中,需要对吊装的构建以及材料等进行考虑,否则就能够延误工期。基于此,塔吊的附着点位应该充分地考虑到钢结构的安装需要,进一步避免附着比较晚,从而对核心筒的钢结构施工产生一定的影响,或者附着比较早,从而出现资源浪费的情况。综合考虑这些因素,对附着点的高度予以一定的明确,附着简图如图 2 所示。

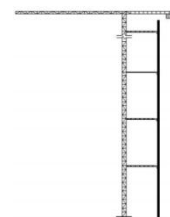


图 2 塔机附着简图

随着外框高度不断地增加,应该拆除掉下部超长附着,循环向上使用,将塔机附着转换到外框柱上;不应该都使用超长附着,如果都运用超长附着,施工的成本变得更高,对后期二次结构的施工产生一定的影响。

3.3 附着杆内力计算

TCT7052 使用如图 3 所示的双侧四杆式附着装置,由于该附着装置为一次超静定结构,首先运用单位力法来计算单位力作用在基本结构上各个杆件内力,然后计算超静定结构中各个杆件内力。

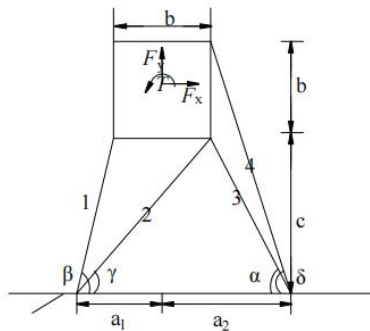


图 3 TCT7052 附着装置平面图

根据力法可将杆 4 切开的结构作为基本结构,力法的基本方程为:

$$\delta_{44}N_4 + \Delta_{4p} = 0 \quad (1)$$

式中, N_4 —外力的作用下基本结构中 4 号杆的内力; Δ_{4p} —4 号杆在静定的基本结构中受到外力 p 产生的位移。

δ_{44} —结构位移系数,基本结构中 4 号杆在单位力作用下的位移。根据结构力学可求解 Δ_{4p} 以及 δ_{44} , 具体表达式为:

$$\Delta_{4p} = \sum \frac{F_i^c F_{i1}}{EA_i} \quad (2)$$

$$\delta_{44} = \sum \frac{F_i^c F_{i1}}{EA_i}$$

式中: F_i^c —基本未知量 $F_4=1$ 时杆所受的内力; F_{i1} —外力 p 作用下杆 i 受的内力; l_i —杆 i 的长度; A_i —杆 i 的截面面积。

F_4 及 F_p 作用下产生的内力 F_i 和 F_i^c , 其中 F_p 分别为 $F_x=1$ 、 $F_y=1$ 和 T_1 。

当外力为 $F_x=1$ 、 $F_y=1$ 、 T_1 时, 杆件 4 内力为:

$$N_{4x} = -\frac{\Delta_{4x}}{\delta_{44}}$$

$$N_{4y} = -\frac{\Delta_{4y}}{\delta_{44}}$$

$$N_{4T} = -\frac{\Delta_{4T}}{\delta_{44}} \quad (3)$$

根据叠加原理,得到外力分别为 $F_x=1$ 、 $F_y=1$ 和 T_1 时单独作用时各杆所受的内力 F_{ip} ($i=1,2,3,4$), F_{ip} 代表 p 方向的力时 i 杆的内力。求得 TCT7052 附着装置各个方向刚度。

3.4 超高层塔吊布置

塔吊平面设置原则如下: 第一, 选择同种塔吊类型。各个塔吊之间的塔臂高度应该保持一定的距离, 并且在回转中, 不要触碰到两边的塔身与塔臂。除此之外还需要尽量地调整塔吊的高度; 第二, 在群塔位置居中塔吊, 因为它邻近的塔吊的数量比较多, 受到邻近塔吊实际工作状态产生一定的影响。

主体施工期间塔吊以及钢构件堆场的平面布置。塔楼地上的结构在施工过程中, 混凝土的结构与钢结构应该一起展开, 塔楼的外框结构与核心筒应该运用到“不等高同步攀升”这一组织开展施工作业。此工程项目两塔吊与钢构件堆场之间的距离应该小于 36 米, 两塔吊的吊臂在这一范围内都需要满足钢构件吊装的相关需求。在开展施工作业过程中, 外框压型钢板滞后于外框钢结构四层, 当组合楼板开展两层施工作业时才能够使用到混凝土结构; 裙房、塔楼结构需要一起施工, 在封顶之后裙楼结构应该拆掉一楼塔吊。

4 结论

综上所述, 塔机附着装置作用主要就是为了能够减小塔身自身的计算长度, 将作用在塔身上的扭矩以及水平力, 通过附着装置传递到建筑结构上。超长附着的有效运用, 为爬模或钢平台施工作业的 200 米左右超高层建筑适当地增加一些行之有效的施工方案。与此同时, 对需要超长附着的超高层建筑具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 邢风华,王磊.浅析塔吊选型及附着结构的补强和临时加固[J].江苏建材,2019(04):36-42.
- [2] 候超,陈建宾.超高层建筑施工中的顶模系统及核心筒附着爬升式动臂塔吊防雷工法[J].建筑施工,2017,39(11):1678-1680.
- [3] 袁武.超高层塔吊超长距离附着解决方案的探讨——以“天津于家堡金融区高层建筑建设”项目为例[J].黄冈职业技术学院学报,2016,18(01):105-108.
- [4] 薛飞,冯长胜,黄绩,周鹏.外附式平臂塔吊在超高层钢结构施工中的计算分析及应用[J].钢结构,2013,28(05):72-75.
- [5] 黄树冰.500kV 西江大跨越II段组立钢管高塔优化塔吊施工技术[J].中国高新技术企业,2013(02):72-74.
- [6] 鄢长,李松,武科.超高层建筑施工台风环境下塔吊附着安全性技术研究[J].建筑安全,2011,26(09):48-51.