

# 塔式起重机附着的技术分析

熊胜平

(六盘水市特种设备检验所 贵州 六盘水 553000)

**摘要:** 塔式起重机在建筑工程中较为常见, 作为起重机械, 其安全性和稳定性对于提升工程的施工效率、安全性具有十分重要的影响。本文在开展塔式起重机附着施工技术分析的过程中, 首先对塔式起重机常见的多种附着结构类型进行分析, 并针对不同附着结构类型截面的力学分布特点进行深入分析, 然后通过在实际项目中的实战演练, 根据塔式起重机自身结构特点、附着结构的力学分布特点, 开展塔式起重机安装、施工分析, 为提升塔式起重机的安装质量、稳定性和安全性提供可靠的保障。

**关键词:** 塔式起重机; 附着结构施工技术; 技术分析

## 0 引言

在建筑工程垂直运输物料、设备的过程中, 必须使用塔式起重机。但由于在实际施工的过程中, 塔式起重机的附着结构往往无法满足标准附着的安装要求, 导致在安装塔式起重机的过程中, 需要进行严格的参数、数值计算, 从而有效提升塔式起重机安装的质量, 在保证工程有效开展的同时, 避免设备安装问题所导致的施工风险。

## 1 塔式起重机常见的附着结构类型

塔式起重机附着施工的过程中, 需要使用附着结构和附着物进行连接, 从而将整个塔身进行有效的固定, 并承受塔式起重机上半部分产生的力矩和水平荷载。附着结构类型包括三杆式、双侧支撑四杆式和单侧支撑四杆式等。

### 1.1 三杆式

三杆式附着杆通常会在同一平面内形成三角形的不变体, 在实际承受负荷的过程中, 逆时针转矩和顺时针转矩对三角形不变体造成的荷载有一定的区别<sup>[1]</sup>。为了确保三杆式框架结构所受的力矩得以有效计算, 首先需要根据附着杆的水平夹角变化情况, 对附着杆承受的内力进行计算。通常情况下, 附着杆的水平夹角在 $0 \sim 90^\circ$ 之间变化。三杆式附着杆在塔身参数已知、距墙面距离已知的情况下, 其与水平面之间的夹角会直接影响附着杆承受的应力。而在安装的过程中, 若采用不对称的三杆式附着杆进行安装, 附着杆承受的内力通常可以用三角

函数的方式进行计算, 确保计算结果的可靠性与可行性。

### 1.2 双侧支撑四杆式

双侧支撑四杆式附着杆是一种典型的对称结构, 在对附着杆应力进行计算的过程中, 可以根据塔臂夹角、附着杆与水平面的夹角进行计算<sup>[2]</sup>。在使用静力平衡方程进行计算的过程中, 可以进一步根据单独杆的横截面积、材料的抗拉强度来计算其应力水平, 例如横截面积为 $a$ , 抗拉强度为 $\sigma$ , 则支撑杆可以承受的最大应力可以利用方程 $\sigma = F/a$ 进行计算。在一般情况下, 双侧支撑四杆式附着杆是一个对称性的结构, 附着杆与墙面、水平面的夹角保持一个稳定的关系。若在实际安装的过程中出现结构不对称的现象, 在应力的求解与分析过程中, 需要进一步采用其他方式进行有效的分析。

### 1.3 单侧支撑四杆式

单侧支撑四杆式附着杆只在塔身的一侧设置支撑杆。相较于双侧支撑四杆, 该类型的附着杆结构更加简单, 在施工与安装的过程中, 具有较高的便捷性。在实际安装的过程中, 单侧支撑四杆式附着杆通常会分为两组支撑杆进行安装, 两组支撑杆分别位于塔身的上部和底部。若需要对塔身倾斜角度进行调整, 只需要对支撑杆进行调整。为了保证塔身的稳定性, 还需要在塔身顶部设置水平壁, 以有效承载水平荷载。由于只有一侧有支撑杆, 在施工与安装的过程中, 需要确保水平荷载均匀分担到支撑杆中, 并通过静力平衡方程, 对每个支撑杆承受的荷载进行计算。

## 2 塔式起重机附着结构截面的力学分布特点分析

### 2.1 空心圆管附着杆

附着杆应力计算过程中，附着杆承受的压力、重力、自身的长度、横截面积会对其力学分布带来直接的影响。长度、压力增加的情况下，附着杆承受的最大应力也在不断增加<sup>[3]</sup>。通常情况下，如果增加附着杆的横截面积，临界应力的数值会有所减小。但在实际计算的过程中，由于不同参数对附着杆应力计算带来的影响十分复杂，通常只对附着杆可承受的最大应力进行计算。空心圆管附着杆承受的内力通常为 100 ~ 200kN，在特殊情况下承受的内力可能会达到 300kN。为了保证塔式起重机安装的安全性，在应力值的确定过程中，需要选择最大值 300kN，并在此数值基础上进一步提升 1.2 ~ 1.5 倍，以满足塔式起重机安装的安全性、稳定性要求。在采用空心圆管作为附着杆的情况下，根据附着杆长度与应力之间的关系，可以计算出附着杆空心管的外径、内径。例如塔式起重机使用较多的空心圆管附着杆，最大外径通常为 100mm，内径则为 80mm。附着杆长度与应力的关系如图 1 所示。

根据附着杆长度与应力之间的关系，在附着杆长度确定的过程中，当附着杆长度大于 3.5m 时，附着杆的应力会快速上升；并在长度到达 4m 之后，应力接近极限值 200MPa，从而对塔式起重机安装的安全性与可靠性带来严重的影响。根据实际使用中普遍

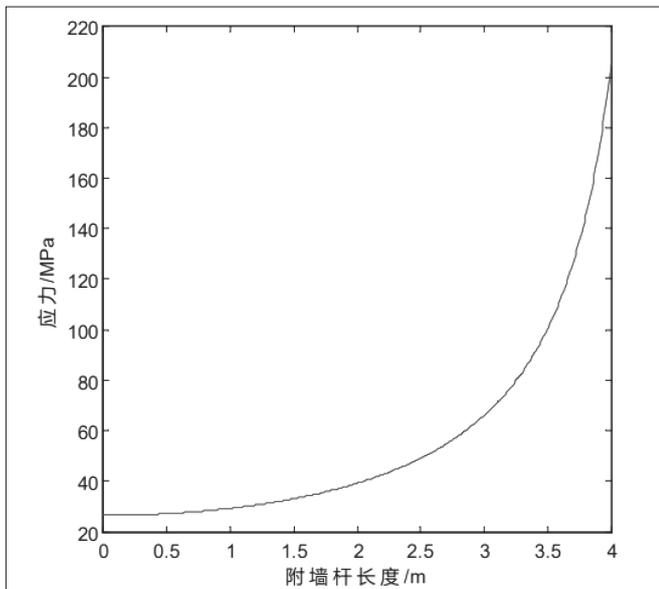


图 1 空心圆管长度与应力的关系图

反馈的数据来看，在采用空心圆管作为附着杆的情况下，标准的长度通常小于 4m，从而有效控制应力对塔式起重机安装带来的不良影响<sup>[4]</sup>。

### 2.2 空心方管附着杆

在采用空心方管的情况下，空心方管所承受的应力计算方式与空心圆管的计算方式有较多的相似之处，但由于两者的结构不同，在实际计算的过程中还需要开展计算过程的进一步优化。在计算过程中需要重点开展对空心方管最大轴压力的计算。若采用与空心圆管相同的最大内力值 300kN，需要进一步根据空心方管横截面积的特点，对其最大外径、内径进行有效的控制，并使用 Matlab 软件对相关的数值进行有效的分析。在实际计算的过程中，空心方管作为附着杆的情况下，长度在达到 3.8m 后，附着杆的应力会快速增加，并且随着长度的进一步增加，应力的增加速度会提升。相较于空心圆管而言，方管的应力增加相对较为平缓，但依然会在长度到达 4m 时，附着杆承受的应力接近极限值 300MPa。具体的变化曲线，如图 2 所示。

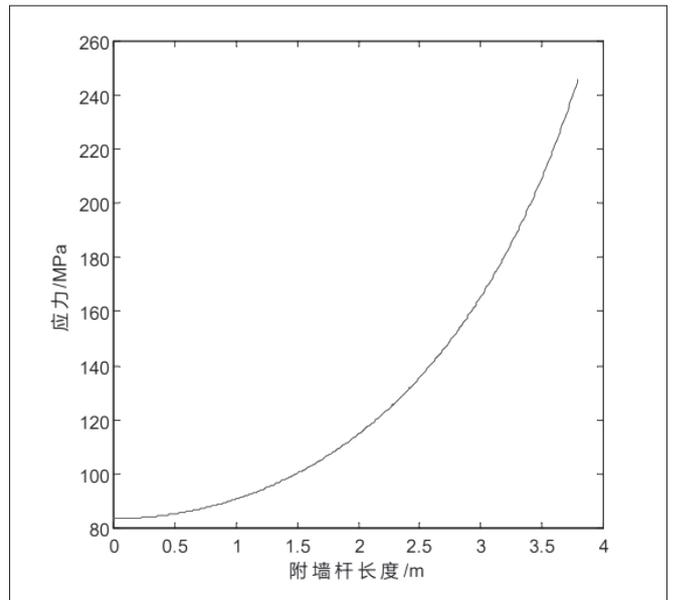


图 2 空心方管长度与应力的关系图

### 2.3 三角桁架附着杆

三角桁架附着杆通常会附着物与塔身两端进行铰接，提升塔式起重机的稳定性。在实际受力的过程中三角桁架附着杆容易受到塔身传来的荷载，并会因为风荷载、自重而受到一定的影响<sup>[5]</sup>。但是，该结构的附着杆通常较短，且采用铰接的方式连接，因此受到的风荷载相对较小，其承受的内力主要为

重力荷载。为了确保三角桁架附着杆的强度，应当增加主线杆的横截面积，并设计为正三角形的结构。

在应力计算的过程中，首先需要对中性轴的位置进行计算，根据塔式起重机起重臂在回转平面中的变化情况，确定附着杆的中性轴。在截面确定的情况下，取应力最大值为300MPa时，需要进一步确定主弦杆的厚度、类型，并对钢管的最大内、外径进行计算，例如在采用Q235空心圆管的情况下，钢管的最小内径约为80mm。钢管材料的强度越高，钢管的横截面积可以得到有效控制，从而减少三角桁架的自重。同时，在长度与应力关系的计算过程中，还需要根据桁架的惯性矩、抗弯截面系数进行计算。三角桁架附着杆通常在使用主弦杆之外，还会使用腹杆进行连接，虽然其重量较小，但依然需要在主弦杆的总重量中，增加一定的系数，以有效减少总重量对最终数值的计算带来的不良影响。同时，由于三角桁架附着杆在工作的过程中承受的内力通常相对较大，计算的数据量也相对较大，为了避免数据计算过程中出现误差，还需要对计算的结果进行全面的处理，从而提升计算结果的准确性。其次，三角桁架附着杆的长度与应力之间的关系较为平缓，可以在增加截面积的情况下，有效提升到达应力极限值时的长度；同时在附着杆材料强度提升的情况下，附着杆的最大长度会进一步提升。因此，在塔式起重机附着施工的过程中，桁架附着杆的应用比较常见。

#### 2.4 矩形截面桁架附着杆

矩形截面桁架附着杆与三角桁架附着杆的计算方式有较多的相同之处，在实际计算的过程中，可以采用相同的计算方式进行计算。在截面应力计算的过程中，其计算方法与三角桁架附着杆截面计算几乎相同。但同时，由于矩形截面的特殊性，在附着杆横截面积较小的情况下，其长度在20~30m之间，应力会出现快速上升的趋势。若采用强度较高的钢管材料，可以有效提升附着杆的最大长度及极限应力值，同时在安装的过程中还可以适当调整附着杆的横截面积，以有效延长附着杆的长度，从而满足塔式起重机附着施工、安装的实际需求。

### 3 塔式起重机附着施工案例

#### 3.1 案例简介

该工程项目的建筑物高度约为90m，塔式起重

机的安装需要使用超长钢结构进行附着施工。选用的塔式起重机塔身独立高度为36m，臂长约为60m，在应用的过程中需要确保塔式起重机能够吊起约为1.3t的重物，以满足本工程施工的实际要求。

#### 3.2 塔式起重机工作状态分析

在该起重机工作的过程中，上层截面会受到起重机回转的惯性、风荷载的影响，产生相应的转矩和应力。在非工作的情况下，只需要考虑风荷载带来的转矩。因此在设计的过程中，需要充分重视最高处的附着施工。在确定附着杆最大内力的过程中，根据塔式起重机顺时针、逆时针旋转的转矩状态，开展进一步的分析和研究。在非工作的状态下，根据基本风压、风压高度变化系数，确定风荷载的水平作用力，然后对风荷载造成的转矩进行计算。而在工作的状态下，在代入风荷载转矩的同时，还需要计算起重臂在顺时针、逆时针工作情况下带来的水平惯性力，根部弯矩进行相应的计算。

#### 3.3 附着杆的选型

由于本工程使用的塔式起重机臂长约为60m，为了避免附着杆长度过长而导致的内应力增加，首先排除空心圆管、方管附着杆。同时，由于单侧支撑四杆式附着杆的结构较为简单，且内力分布较为均匀，本次施工的过程中附着杆采用单侧支撑四杆式附着杆，以提升塔式起重机安装的可靠性。在实际设计的过程中，将附着杆与水平面的夹角设置为 $40^\circ$ ，根据其长度与内力之间的关系进行控制，并使其达到最佳的工作效果。

#### 3.4 平面布置形式确定

该塔式起重机分别在根部、中层、上层、顶层设置4道附着。塔式起重机的平衡配重与塔身中心的距离约为13.5m。使用附着杆和附着物进行连接，连接的过程中需要确定附着杆中心与墙面的距离，从而使其发挥良好的作用。

#### 3.5 附着杆截面选择

由于本次安装的塔式起重机要求高，应当尽量提升附着杆的横截面尺寸，从而提升附着杆的长度，以满足起重机安装的实际要求。在实际分析的过程中，三角形与矩形桁架附着杆在截面参数上基本相同，但矩形桁架附着杆有4根主弦杆，三角桁架附着杆只有3根，因此三角桁架附着杆的横截面积相对较小，选择矩形桁架附着杆。在实际安装过程中，

对杆件的轴向力进行有效的分析,并根据钢结构的稳定系数确定截面的总面积。

### 3.6 质量控制

在施工的过程中,首先根据厂家的说明书及现场实际情况进行全面设计,同时针对本次施工的具体情况对相关数值进行分析、计算,从而确定施工计划。在具体施工的过程中,还需要进一步对附着物的安装位置进行确定,并保证焊接、连接质量。在实际安装的过程中,还需要确保支撑杆、附着物安装的一体性,调整支撑杆与附着物之间的距离,从而调整附着杆的角度,从而有效减少附着杆长度带来的应力变化,使工程质量满足实际的施工要求。

## 4 结语

现代建筑施工的过程中,塔式起重机比较常见。为了进一步满足现场施工的需求,在开展塔式起重机附着结构施工的过程中,必须对塔式起重机的安装需求进行全面的计算,并进行合理的施工设计。做好前期准备工作,并在施工过程中做好质

量控制与管理工作的,有效提升塔式起重机的安装质量,为提升建筑工程施工效率提供安全可靠的保障。

### 参考文献:

- [1] 郑劲松,周洲,张凌,等.可周转超长附墙塔式起重机上人通道施工技术研究[J].建筑技术开发,2022,49(19):47-50.
- [2] 刘嘉浩,赵保同,吴涛,等.塔式起重机三角斜撑固定附墙施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(21):35-36.
- [3] 陈志明,刘帆,李俊.塔式起重机附墙的施工技术分析[J].中国住宅设施,2021(09):98-99.
- [4] 刘红丽.塔式起重机附墙的施工技术[J].建筑工人,2017,38(12):36-37.
- [5] 王锋钢.塔式起重机超长钢结构附墙分析与设计[D].西安:西安建筑科技大学,2016.

作者简介:熊胜平(1982.01-),男,苗族,贵州黔东南州人,本科,高级工程师,研究方向:起重机械检验检测。

