

# 塔式起重机超长距离附着技术分析

王云良  
(中铁北京工程局集团北京有限公司 北京 100070)

**摘要:** 随着当今社会城市化进程的加快, 建筑工程行业的发展也十分迅速。而在当今建筑工程的具体施工过程中, 塔式起重机超长距离附着技术的应用效果十分明显, 尤其是在高层和超高层建筑中, 该技术更是具有非常良好的应用优势。为实现该技术的良好应用与建筑工程行业的良好发展, 本文以某实际工程为例, 对该技术在工程中的具体应用进行分析, 以此为该技术的应用提供科学参考。

**关键词:** 建筑工程施工; 塔式起重机; 超长距离附着技术

## 0 引言

在通过塔式起重机超长距离附着技术进行建筑工程的建设施工过程中, 施工单位一定要根据工程概况, 结合实际需求, 对其长距离附着装置进行科学计算, 并对其附着截面进行科学设计。通过这样的方式, 才可以让该技术与实际工程相符, 进而发挥出其充分的技术优势。

## 1 项目概况

本次所研究的是某综合型住宅小区项目的建设施工, 在该项目中有两幢高层建筑, 其地上层数为 25 层, 总高度为 100.14m。其塔机结构的高度在 125m 左右, 每四层进行一道附着装置的设置, 共设置五道, 一直设置到第 23 层为止。按照实际工程要求, 施工中, 需要将一台 QTZ63-5013 型塔式起重机设置在这两幢主楼之间, 塔机中心和主楼外墙的附

着距离是 11.17m, 附着点之间的跨度是 16.34m。本文主要对其塔式起重机的超长距离附着技术应用进行分析。

## 2 塔式起重机超长距离附着装置计算分析

### 2.1 计算工况

在对塔式起重机中的超长距离附着装置进行计算时, 主要需考虑的工况包括两个方面, 第一是满载 (工作状态) 工况, 此时, 塔机的起重臂将会顺着塔身上的 X-X 轴或者是 Y-Y 轴, 风向与起重机臂架垂直。第二是空载 (非工作状态) 工况, 此时, 塔机的起重臂将会处在塔身对角线方向, 风将会从塔机的平衡臂吹向其起重臂。而在具体的应用过程中, 附着在塔机最上方的杆所承受的应力最大, 因此, 在本次设计与应用中, 仅仅对这一道附着杆进行内力的计算与分析。下图是塔式起重机在满载以及空载作用下的计算工况示意图:

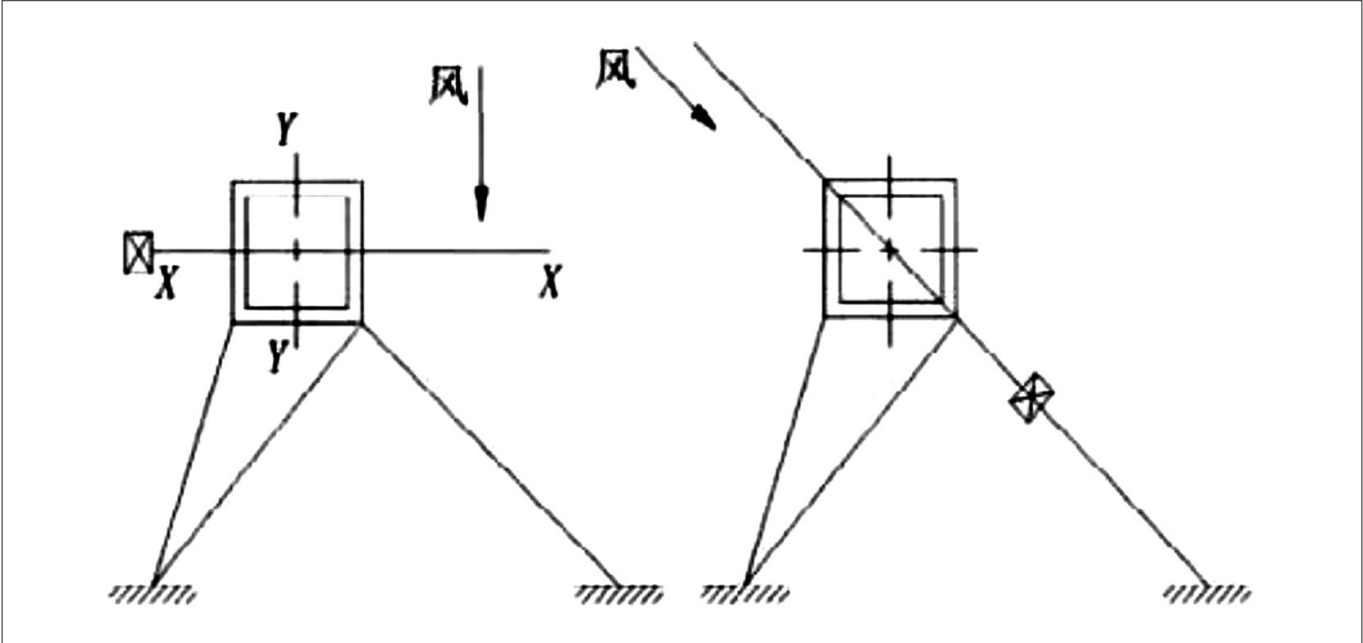


图 塔式起重机在满载 (左) 以及空载 (右) 作用下的计算工况示意图

2.2 附着杆满载与空载状态下的内力计算

在塔式起重机处在工作状态的情况下，其主要的荷载包括塔臂上的风载和来自于回转机构中的转矩。其中，风载（这里用  $q$  表示）所代表的是在单位长度塔式起重机（包括吊重）上作用的荷载。按照风载计算法，结合本次工程中所选塔式起重机的具体技术参数，计算出其风载值是  $0.27\text{kN/m}$ 。由此可得出：

$$M_f = \frac{1}{2}ql_1^2 - \frac{1}{2}l_2^2 = 309.68\text{kN} \cdot \text{m}$$
$$M_h = fk(P/\omega = 370.24\text{kN} \cdot \text{m})$$

其中， $M_f$  所代表的是来自于风载的转矩，其单位是  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ； $M_h$  所代表的是来自于回转机构中的转矩，其单位是  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ； $l_1$  所代表的是工作臂架实际长度，其单位是  $\text{m}$ ； $l_2$  所代表的是平衡臂架实际长度，其单位是  $\text{m}$ ； $f$  所代表的是塔式起重机自身的工况系数，本次取值为  $1.71$ ； $P$  所代表的是荷载换算系数，本次取值为  $3.676$ ； $\omega$  所代表的是回转角度，本次取值为  $0.6\text{r/min}$ 。根据平衡方程，本次所计算出的附着杆满载状态下内力情况如下：

在对附着杆空载状态下的内力进行计算时，根据其计算工况，结合其平面力系平衡方程，计算出的结果如下表所示：

3 塔式起重机超长距离附着截面设计分析

3.1 截面选择

通常情况下，附着杆结构都是借助于缀板或者是缀条连接角钢的形式制成。本次工程项目中所应用的连接形式为缀条连接。以下是其主要的结构参数情况：

3.2 整体附着杆稳定性验证

在进行整体附着杆稳定性和受压特性参数的计算中，需要将附着杆具体的截面特性和受压附着杆主要特性参数作为依据来进行计算。具体情况如下表所示：

经强度计算可知，构件应力最大值为：

$$\frac{N}{A} = 136\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

其中， $N$  所代表的是附着杆最大内力，本次取  $270\text{kN}$ ； $A$  所代表的是附着杆自身的截面积。通过钢结构设计相关

规范查阅可知，本次工程中，Q235 钢材长细比容许值（ $\lambda$ ）为  $150$ 。X 平面之内的计算长度  $L_c$  是  $14200\text{mm}$ ，经验算得出，其长细比是  $73.2$ ，小于  $150$ ；与 X 平面垂直的各个斜缀条毛截面积和是  $3.498\text{cm}^2$ ，经验算得出，其构件长细比是  $74.5$ ，小于  $150$ 。对于轴心构件，在其稳定性系数查表中得出，其受压情况下的轴心稳定系数  $\phi_x$  的值是  $0.721$ ，由上述分析可得出，构件 X 平面之内的最大稳定应力是  $206\text{N/mm}^2$ ，小于  $215\text{N/mm}^2$ 。

在 Y 平面，其计算长度是  $14200\text{mm}$ ，经验算得出，其构件长细比是  $77.6$ ；与 y 轴中各个斜缀条毛截面垂直的面积和是  $3.498\text{cm}^2$ ，经验算得出，其构件长细比是  $79.1$ ，小于  $150$ ；对于轴心构件，在其稳定性系数查表中得出，

表 1 本次所计算出的附着杆满载状态下内力情况

| 序号 | 杆件长度    | 附着夹角  | 附着内力  |
|----|---------|-------|-------|
| 1  | 10800mm | 68.5° | 245kN |
| 2  | 11320mm | 62.6° | 238kN |
| 3  | 14200mm | 45°   | 30kN  |

表 2 本次所计算出的附着杆空载状态下内力情况

| 序号 | 杆件长度    | 附着夹角  | 附着内力  |
|----|---------|-------|-------|
| 1  | 10800mm | 68.5° | 51kN  |
| 2  | 11320mm | 62.6° | 238kN |
| 3  | 14200mm | 45°   | 270kN |

表 3 本次项目中的塔式起重机附着杆结构主要参数情况

| 序号 | 项目        | 参数                    | 序号 | 项目         | 参数                   |
|----|-----------|-----------------------|----|------------|----------------------|
| 1  | 截面尺寸      | 420×400mm             | 7  | 横向惯性半径（ix） | 19.4cm               |
| 2  | 角钢附着肢件    | ∠ 63×4                | 8  | 纵向惯性半径（iy） | 18.3cm               |
| 3  | 缀条        | ∠ 30×3                | 9  | 钢材型号       | Q235                 |
| 4  | 附着杆截面积（A） | 19.92cm <sup>2</sup>  | 10 | 许用压应力（σ）   | 215MPa               |
| 5  | 横向惯性矩（Ix） | 7496.12m <sup>4</sup> | 11 | 屈服强度（fy）   | 235N/mm <sup>2</sup> |
| 6  | 纵向惯性矩（Iy） | 6702.6m <sup>4</sup>  |    |            |                      |

表 4 附着杆具体截面特性

| 序号 | 截面特性       | 单角钢                  | 整体                     |
|----|------------|----------------------|------------------------|
| 1  | 截面积（A）     | 4.98cm <sup>2</sup>  | 19.19cm <sup>2</sup>   |
| 2  | 横向惯性矩（Ix）  | 19.03cm <sup>4</sup> | 7496.12cm <sup>4</sup> |
| 3  | 纵向惯性矩（Iy）  | 1.96cm <sup>2</sup>  | 19.4cm <sup>2</sup>    |
| 4  | 横向惯性半径（ix） | 7.89cm <sup>2</sup>  | 6702.6cm <sup>2</sup>  |
| 5  | 纵向惯性半径（iy） | 1.26cm <sup>2</sup>  | 18.3cm <sup>2</sup>    |

表 5 受压附着杆主要特性参数

| 序号 | 特性                 | X 平面之内                | Y 平面之外                |
|----|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | 稳定弯矩等效系数（β m）      | 1.0                   | 1.0                   |
| 2  | 一阶弯矩 M             | 2.198kN·m             | 1.807kN·m             |
| 3  | 最大受压杆件毛截面抵抗矩（W）    | 225.79cm <sup>2</sup> | 201.89cm <sup>2</sup> |
| 4  | 欧拉临界值和抗力分项系数之商（NE） | 658.79kN              | 587.85kN              |

其受压情况下的轴心稳定系数  $\phi_y$  的值是 0.693, 由上述分析可得出, 构件 y 平面之内的最大稳定应力是  $213\text{N}/\text{mm}^2$ , 小于  $215\text{N}/\text{mm}^2$ 。

由此可见, 本次的塔式起重机整体附着杆稳定性验证参数并未超出实际要求标准, 与实际要求完全相符。

### 3.3 附着杆肢件稳定性验证

在对肢件稳定性进行验证的过程中, 其计算长度 ( $l_{01}$ ) 取值是  $354\text{mm}$ , 倾角 ( $\alpha$ ) 取值是  $55^\circ$ , 通过查表得出,  $63 \times 4$  角钢截面特性  $i_1 = i_{\min} = 1.26\text{cm}$ , 通过上述分析可知, 其最大长细比为 77.6. 因此有:

$$\lambda = \frac{l_{01}}{i_1} 28$$

比规定的最大长细比 0.7 倍小。由此可判断, 附着杆肢件的稳定性与标准相符。

### 3.4 附着杆缀条稳定性验证

在对横向剪力  $V$  进行验证的过程中, 经计算得出:

$$V = \frac{A[\alpha]}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}} = 5.039\text{kN}$$

其中,  $[\alpha]$  所代表的是 Q235 型钢材压力允许值, 本次取值是  $215\text{MPa}$ ;  $f_y$  所代表的是屈服强度。

在每一个肢件上, 其斜缀条所具有的轴向力  $N_1$  为:

$$N_1 = \frac{V/2}{\cos\theta} = 3.075\text{kN}$$

其中,  $V$  所代表的是缀条在横向上的剪力;  $\cos\theta$  所代表的是缀条在垂直方向上的夹角。

其刚度计算如下:

$$I_1 = 488.8\text{mm}^4$$

$$\lambda = \frac{l}{i_1} = 82.8, \text{ 小于 } 150.$$

其中,  $i_1$  所代表的是角钢惯性半径, 通过查表可知, 其取值是  $5.9\text{mm}$ ;  $l$  所代表的是缀条长度设计值。

其强度计算如下:

$$N/A = 135\text{N}/\text{mm}^2, \text{ 小于 } 215\text{N}/\text{mm}^2.$$

在对其稳定性进行验算的过程中得出, 其塑性发展值是  $18.63213\text{N}/\text{mm}^2$ , 小于  $138\text{N}/\text{mm}^2$ 。

由此可见, 附着杆缀条稳定性均与实际要求相符。

### 3.5 单肢稳定性验证

通过查表可知,  $63 \times 4$  角钢的线性质量  $m'$  的值是  $3.907\text{kg}/\text{m}$ ;

$$L' = L/2 = 7.1\text{m}$$

$$M = mL' = 55.5\text{kg}$$

$$M_1 = mL' = 3941\text{N} \cdot \text{m}$$

因为惯性矩  $I = 19.03\text{cm}^4$ , 这种情况下, 其构架挠度应控制在  $L_c/400$  以下。由此可计算出, 在重力作用下, 单肢附着跨中挠度值  $\delta$  约为  $7/400$ , 比  $L_c/400 = 14.2/400$  小。由此可见, 本次塔式起重机单肢  $63 \times 4$  角钢的稳定性与实际要求相符。

## 4 结语

综上所述, 在对塔式起重机超长距离附着技术进行应用的过程中, 相关单位一定要根据实际的工程概况与现场实际需求来做好各项结构参数的计算, 并以此为依据来进行塔式起重机超长距离附着施工方案的科学制定。在此过程中, 相关单位一定要对塔式起重机的附着截面进行合理选择, 同时应对其整体附着杆稳定性、附着杆肢件稳定性、附着杆缀条稳定性以及单肢稳定性加以科学验证。通过这样的方式, 才可以有效确保塔式起重机在长距离附着施工中的应用优势, 满足工程实际施工需求。这对于塔式起重机超长距离附着施工技术的良好应用以及现代化高层与超高层建筑工程技术的良好发展都将有着十分深远的影响意义。

### 参考文献:

- [1] 刘嘉浩, 赵保同, 吴涛, 黄春武, 李刚. 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(21):35-36.
- [2] 肖永福. 塔式起重机伸缩附着杆的设计与应用 [J]. 住宅产业, 2021(09):81-84.
- [3] 许晓彬. 装配式结构中塔式起重机附着问题的分析 [J]. 建筑机械化, 2021(06):45-46.
- [4] 周泽明, 郭泗宾. 起重机械附着装置连接销轴的轴向位移与预防措施 [J]. 施工技术, 2020(S1):543-546.
- [5] 李建峰. 塔式起重机超长附臂交替附着技术应用 [J]. 施工技术, 2019(S1):1435-1441.