

目 录

1 概述	1
1.1 塔式起重机的类型	1
1.2 自升式塔机的构造	6
1.3 塔式起重机主要技术参数	10
1.4 自升式塔机安装拆卸方法	15
1.5 基础方案的重要性与必要性	19
1.6 基础方案的编制与实施	23
2 基础定位	25
2.1 基础平面定位	25
2.2 基础埋置深度的定位	36
3 作用于基础顶面荷载数据的计算	39
3.1 水平荷载数据的计算	40
3.2 竖向荷载数据的计算	42
3.3 力矩荷载数据的计算	43
3.4 扭矩荷载数据的计算	43
3.5 计算例题	44
4 地基	47
4.1 地基土基本知识	47
4.2 查阅《岩土工程勘察报告》	50
4.3 持力层和下卧层修正后地基承载力特征值的计算	51
4.4 换填垫层法处理软弱地基	53
4.5 计算例题	58
5 板式基础的设计计算	61
5.1 构造要求	61

5.2	抗倾覆稳定性	62
5.3	持力层地基承载力	63
5.4	下卧层地基承载力	65
5.5	正截面受弯承载力计算	66
5.6	受冲切承载力计算	68
5.7	计算例题	70
6	十字形基础的设计计算	78
6.1	构造要求	78
6.2	抗倾覆稳定性	79
6.3	持力层地基承载力	80
6.4	下卧层地基承载力	81
6.5	正截面受弯承载力计算	81
6.6	斜截面承载力计算	83
6.7	计算例题	84
7	梁板式基础的设计计算	89
7.1	构造要求	89
7.2	抗倾覆稳定性	91
7.3	持力层地基承载力	92
7.4	下卧层地基承载力	92
7.5	正截面受弯承载力计算	93
7.6	底板冲切承载力计算	95
7.7	计算例题	96
8	桩基础的设计计算	102
8.1	一般规定	102
8.2	构造要求	103
8.3	桩基计算	104
8.4	承台计算	107
8.5	计算例题	112
9	组合式基础的设计计算	124
9.1	结构形式及施工顺序	124

9.2	一般规定	126
9.3	构造要求	126
9.4	钢架的计算	127
9.5	计算例题	131
10	基础施工及质量验收	144
10.1	基础施工	144
10.2	地基土检查验收	146
10.3	基础检查验收	146
10.4	桩基检查验收	147
10.5	格构式钢架检查验收	148
11	计算机应用及设计计算书样本	149
11.1	Excel 软件基本知识及使用技巧	149
11.2	设计计算书样本	155
附录 1	与基础定位、设计有关的塔机技术参数	191
附录 2	风荷载计算参数	205
附录 3	钢筋和混凝土设计参数	214
附录 4	桩基础设计参数	218
附录 5	钢结构设计指标及轴心受压构件稳定系数	228
参考文献		238

1 概 述

在选用塔式起重机、确定安装位置和设计基础时,设计人员对塔式起重机的型号、技术参数、安装拆卸方法应有所了解,这对于非专业从事塔式起重机管理工作的人员尤为重要。本章将介绍这方面的基本知识。

1.1 塔式起重机的类型

1. 塔式起重机的用途和发展

塔式起重机简称塔机,亦称塔吊,起源于西欧。塔机主要用于房屋建筑施工中物料的垂直和水平输送及建筑构配件的安装。国家标准《塔式起重机》GB/T 5031—2008 规定以吊载(t)和幅度(m)的乘积($t \cdot m$)为塔机起重能力的计量单位。

我国的塔机行业于20世纪50年代开始起步,从20世纪80年代,随着高层建筑的增多,塔机的使用越来越普遍;进入21世纪,塔机制造业进入一个迅速的发展时期,自升式、水平臂小车变幅式塔机得到了广泛的应用。

2. 塔式起重机的型号意义

根据国家建筑机械与设备产品型号编制方法的规定,塔机的型号标识有明确的规定。如QTZ80C表示如下含义:

Q——起重,汉语拼音的第一个字母;

T——塔式,汉语拼音的第一个字母;

Z——自升,汉语拼音的第一个字母;

80——最大起重力矩($t \cdot m$);

C——更新、变型代号。

其中,更新、变型代号用英文字母表示;主参数代号用阿拉伯数字表示,它等于塔机额定起重力矩(单位为 $t \cdot m$);组、型、特性代号含义如下:

QT——上回转塔式起重机;

QTZ——上回转自升式塔式起重机;

QTA——下回转塔式起重机;

QTK——快装塔式起重机;

QTQ——汽车塔式起重机;

QTL——轮胎塔式起重机;

QTU——履带塔式起重机;

QTH——组合塔式起重机;

QTP——内爬升式塔式起重机;

QTC——固定式塔式起重机。

目前许多塔机制造企业采用国外的标记方式进行编号,即用塔机最大幅度(m)处所能吊起的额定重量(kN)两个主参数标记塔机的型号。如TC5013A,其意义:

T——塔的英语单词第一个字母(Tower);

C——起重机的英语单词第一个字母(Crane);

50——最大工作幅度50m;

13——最大工作幅度处的额定起重量13 kN ($\approx 1300\text{kg}$);

A——设计序号。

另外,也有个别塔机制造企业根据企业标准编制型号。如JL5515,其意义:

JL——江麓建筑机械有限公司生产的江麓系列塔式起重机;

55——最大工作幅度55m;

15——最大工作幅度处的额定起重量15 kN ($\approx 1500\text{kg}$)。

3. 塔式起重机的分类

塔机属于全回转臂架型起重机,其最明显的特征是具有一个直立的塔身,并在塔身顶部装有可回转可变幅的起重臂。根据使用功能和结构形式的不同,塔机有多种分类方法,从其主

体结构与外形特征考虑，基本上可按架设方式、变幅方式、臂架结构形式、回转部位和行走方式区分。

(1) 按架设方式分类

按架设方式分为快装式塔机和非快装式塔机。

(2) 按变幅方式分类

按变幅方式分为小车变幅式塔机和动臂变幅式塔机。

小车变幅式塔机是靠变幅小车在水平起重臂轨道上行走实现变幅的，如图 1-1 (a) 所示。其优点是变幅范围大，变幅小车可驶近塔身，能带负荷变幅。

动臂变幅式塔机是靠起重臂仰俯来实现变幅的，如图 1-1 (b) 所示。其优点是：能充分发挥起重臂的高度，缺点是最小幅度被限制在最大幅度的 30% 左右，不能完全靠近塔身。

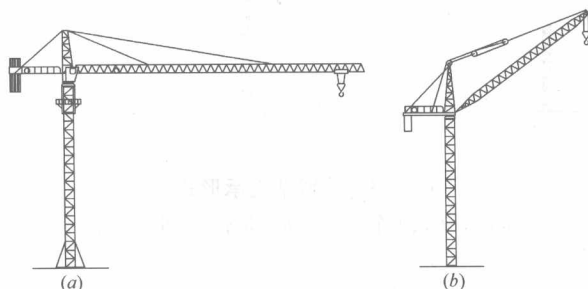


图 1-1 按变幅方式

(a) 小车变幅式；(b) 动臂变幅式

(3) 按臂架结构形式分类

1) 小车变幅式塔机按臂架结构形式分为定长臂小车变幅式塔机、伸缩臂小车变幅式塔机和折臂小车变幅式塔机。定长臂小车变幅式塔机如图 1-2 (a) 所示，折臂小车变幅式塔机如图 1-2 (b) 所示。

2) 按臂架支承形式小车变幅式塔机又可分为平头式塔机和非平头式塔机。平头式塔机如图 1-3 (a) 所示，非平头式塔机如图 1-3 (b) 所示。

平头式塔机最大特点是无塔帽和臂架拉杆。此种设计形式

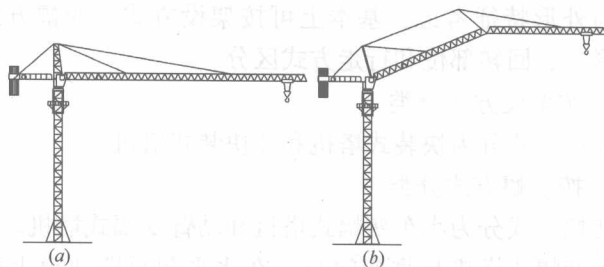


图 1-2 按臂架结构形式

(a) 定长臂小车变幅；(b) 折臂小车变幅

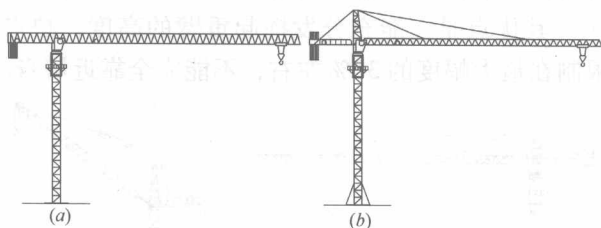


图 1-3 按臂架支承形式

(a) 平头式小车变幅；(b) 非平头式小车变幅

减少了相邻塔机在工作高度上的相互制约，方便了空中拆臂操作，避免了空中安装、拆卸拉杆的复杂性和危险性。

3) 动臂变幅式塔机按臂架结构形式分为定长臂动臂变幅式塔机与铰接臂动臂变幅式塔机。

(4) 按回转部位分类

按回转部位分为上回转塔机和下回转塔机。上回转塔机如图 1-4 (a) 所示，下回转塔机如图 1-4 (b) 所示。

上回转塔机将回转总成、平衡重、工作机构均设置在塔机上部，工作时只有起重臂、塔帽、平衡臂一起转动，其优点是能够附着，塔机可达到较高的工作高度。由于塔身不转，可简化塔身下部结构，顶升加节方便。

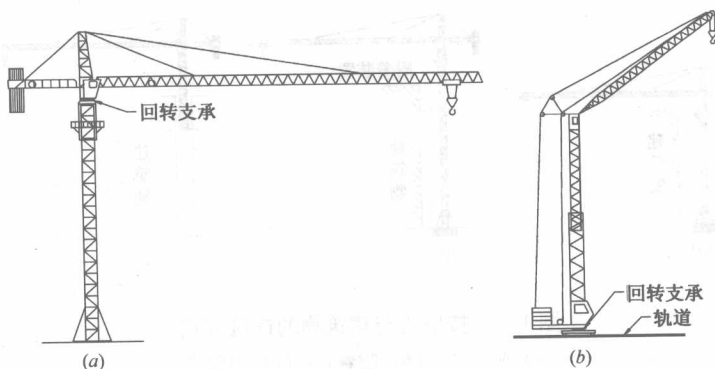


图 1-4 按回转部位
(a) 上回转；(b) 下回转

下回转塔机将回转总成、平衡重、起升机构等均设置在塔身下部的回转平台上,其优点是:塔身所受弯矩减少,重心低,稳定性好,安装维修方便,缺点是对回转支承要求较高,使用高度受到限制,司机室一般设置在回转平台上,操作视线不开阔。

(5) 按行走方式分类

按有无行走机构,塔机可分为固定式、轨道行走式。轨道行走式塔机如图 1-4 (b) 所示。

固定基础自升式塔机按其与建筑物的连接方式可分为独立式、附着式和内爬式三种工作状态。

图 1-5 (a) 是独立式工作状态,塔机与建筑物之间没有连接,依靠塔机基础保持自身稳定。

图 1-5 (b) 是附着式工作状态,塔机安装在建筑物外围,当塔机高度未超过使用说明书中规定的最大独立高度时,塔机处于独立式工作状态;当塔机高度不能满足施工需要时,用附着装置将塔机的塔身与建筑物连接,通过液压顶升增加塔身标准节数量,使塔机升高。此时塔机为附着式工作状态。

图 1-5 (c) 是内爬式工作状态,塔机安装在建筑物内部的

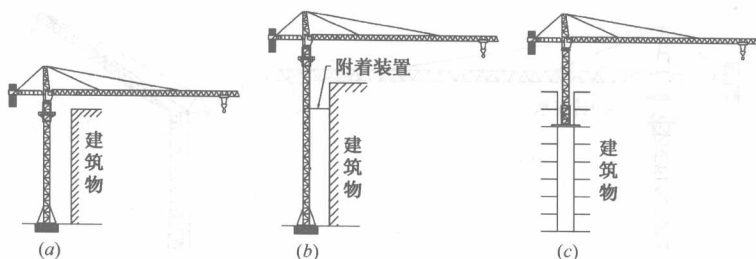


图 1-5 按塔机与建筑物的连接方式
(a) 独立式; (b) 附着式; (c) 内爬式

电梯井或者某一开间内,最初也是独立式工作状态;当建筑物达到一定高度后,随着楼层的增加,塔机依靠自身的液压顶升装置在建筑物内同步升高,塔机荷载作用在建筑结构上,工程主体结构施工结束,塔机升至屋面,拆除难度较大。

1.2 自升式塔机的构造

根据以上分类,我国目前最广泛使用的是自升式塔机,这种塔机采用水平臂小车变幅方式,上回转结构,塔机底座安装在固定的钢筋混凝土基础上。

自升式塔机由钢筋混凝土基础、金属结构、工作机构及电气系统组成。

1. 塔机基础

塔机基础通常为现浇混凝土结构,常见的基础形式有板式基础、十字形基础、梁板式基础、桩基础、组合式基础,如图 1-6 所示。塔机基础由使用单位在施工现场制作,塔机拆除后该基础即报废。

2. 工作机构及电气系统

工作机构由起升机构、变幅机构、回转机构和液压顶升机构组成,分别实现吊物的提升、变幅、回转动作和塔机的升、

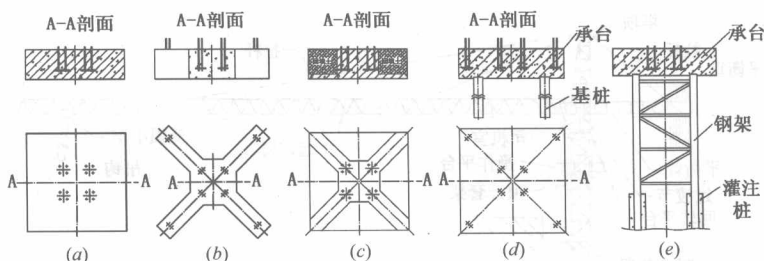


图 1-6 几种常见的基础形式

(a) 板式基础; (b) 十字形基础; (c) 梁板式基础;
(d) 桩基础 (e) 组合式基础

降节工作。

电气系统为各工作机构提供电力并进行控制，使其安全、有序运行。

3. 金属结构

塔机的金属结构件主要由底座、塔身、回转平台、回转过渡节、塔顶、起重臂、平衡臂、拉杆、司机室、顶升套架、附着装置等部分组成，如图 1-7 所示。

(1) 底座：底座安装于塔机基础顶面，是塔机最底部的结构，基础地脚螺栓将其与基础连接为一体。常见的底座形式如图 1-8 所示，有十字梁形、独立底座形、井字形等。

(2) 塔身：塔身由基础节和若干标准节组成，节间用高强度螺栓连接。有些塔机没有基础节，标准节直接安装在底座上。标准节有两种形式，一种是整体式；另一种是片式，安装时用高强度螺栓连接成整体。整体式标准节安装、拆卸方便快捷，在搬运、堆放过程中不易产生变形，但运输、存放时要占用较多的空间；片式标准节方便运输和存放，但安装、拆卸速度慢，搬运过程中易产生变形。

(3) 回转平台：回转平台由下支座、回转支承、上支座组成。下支座与回转支承的外圈连接，上支座与回转支承的内圈

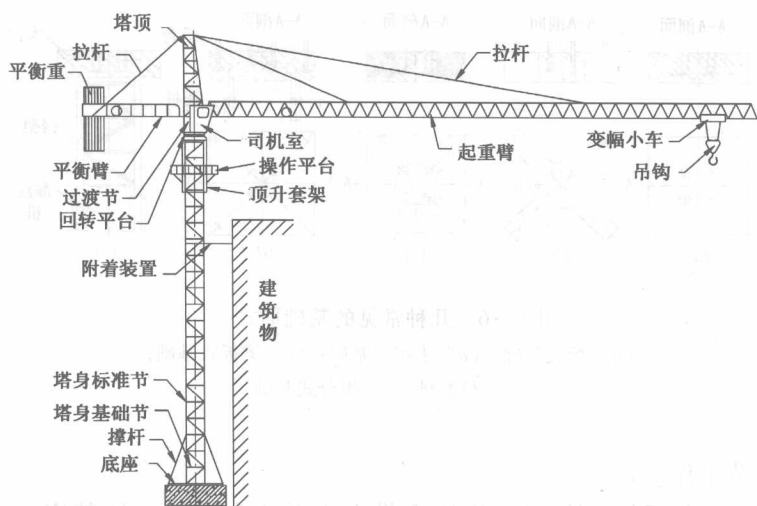


图 1-7 自升式塔机结构件名称、位置示意

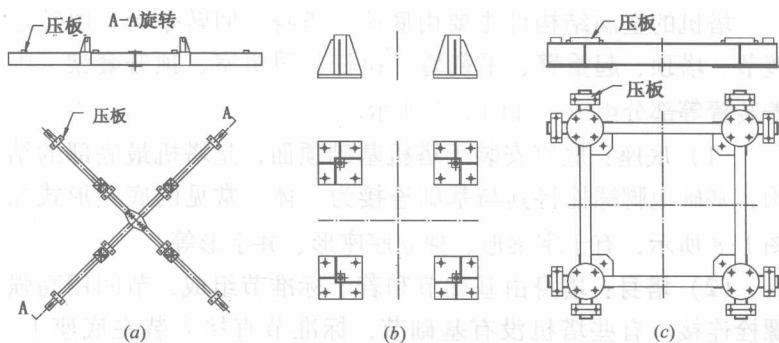


图 1-8 几种常见的塔机底座形式

(a) 十字梁形底座；(b) 独立底座；(c) 井字形底座

连接，连接螺栓均为高强螺栓。上支座上安装有回转机构，驱动上支座及以上结构部分随着回转支承的内圈转动。

(4) 回转过渡节：回转过渡节安装在上支座的上面，用高强螺栓连接，塔顶、起重臂、平衡臂均安装在回转过渡节上。

有些厂家的塔机没有独立的回转过渡节，将其与上支座做成一体。

(5) 塔顶：塔顶是悬挂平衡臂拉杆和起重臂拉杆的结构件。有两种结构形式，一种是塔帽式的，安装于回转过渡节的顶部，通常用销轴与回转过渡节刚性连接；另一种是桅杆式的，安装在过渡节上或起重臂的根部，铰接连接。

(6) 起重臂：起重臂安装于回转过渡节的前面，其根部用销轴与回转过渡节铰接。起重臂通常为三角形截面，两根下弦杆是变幅小车运行的轨道。起重臂上安装有变幅机构，通过收、放卷筒上的变幅钢丝绳，使变幅小车向前或向后运行。

(7) 平衡臂：平衡臂安装于回转过渡节的后面。平衡臂与回转过渡节有两种连接方式：塔顶是塔帽式的，用2根销轴将其与回转过渡节铰接；塔顶是桅杆式的，用4根销轴将其与回转过渡节刚性连接。平衡臂两侧设有走道和栏杆，塔机的起升机构、平衡重安装在平衡臂上。

(8) 拉杆：拉杆的作用是把起重臂、平衡臂的一端斜拉在塔顶上，分为起重臂拉杆和平衡臂拉杆。起重臂拉杆与起重臂的上弦杆用销轴连接，通常设置有前、后两根；2根平衡臂拉杆并列排列，分别拉在平衡臂两侧的弦杆上。拉杆通常用圆钢或条状钢板制成，为了方便安装和运输，拉杆分成若干段，段间用销轴连接。

(9) 司机室：是塔机司机的工作场所，通常安装在回转过渡节右侧上支座的操作平台上。司机室内设置有座椅和操纵台，操纵台分左、右两个，分别控制塔机的回转、变幅机构和起升机构。

(10) 顶升套架：顶升套架位于塔身上部，用销轴或螺栓与下支座连接。顶升套架上安装有液压油缸，液压油缸的活塞杆通过顶升横梁支撑在塔身标准节上，液压油缸悬挂在顶升套架上。塔机升高的工作原理是：液压油推动活塞杆伸出时，顶升套架将塔机上部结构顶起，液压油缸循环工作两次，在下支座

和塔身顶部之间形成可以容纳一个标准节的空间，向这空间内填入标准节，用高强螺栓与下面的塔身连接，重复上述动作，实现塔机升高作业目的。升、降作业结束，必须将塔身顶部与下支座之间用高强螺栓连接。

顶升套架有外套架和内套架之分。外套架适用于整体式标准节的塔机，液压油缸位于顶升套架的后侧，塔机升、降节作业时，起重臂必须指向套架开口的正前方，否则将发生重大事故；内套架适用于片式标准节的塔机，液压油缸位于顶升套架中心，顶升加节时起重臂的指向不受限制。

(11) 附着装置：由附着框、撑杆和附墙座组成，其作用是减小塔身的计算长度，将作用于塔身的弯矩、水平力和扭矩传递到建筑物上，增强塔身的抗弯、抗扭能力。常见的撑杆布置方式有 3 杆方式和 4 杆方式，如图 1-9 所示。

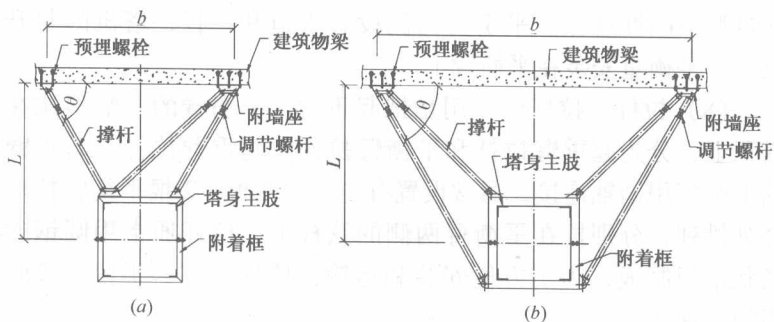


图 1-9 附着装置

(a) 3 杆附着方式；(b) 4 杆附着方式

1.3 塔式起重机主要技术参数

塔机的技术参数是用来说明塔机工作参数和规格的一些数据，是选择使用塔机的主要依据，可以从塔机使用说明书中查阅。本书附录 A 提供了部分塔机产品的技术参数，供读者在选

用塔机或确定塔机基础位置时参考。塔机技术参数表达的含义读者可结合图 1-10 阅读理解。

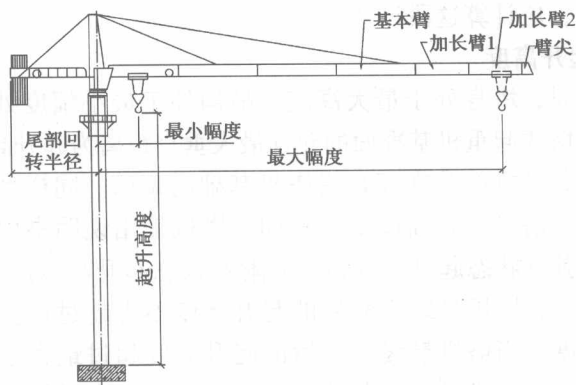


图 1-10 塔机主要技术参数示意

1. 幅度

空载时，塔式起重机回转中心线至吊钩中心垂线的水平距离为幅度。

最大工作幅度是指吊钩位于距离塔身最远工作位置时，塔机回转中心线至吊钩中心垂线的水平距离。同样型号不同厂家制造的塔机，其最大工作幅度不一定相同。有些厂家制造的塔机，起重臂可以组合成几种长度尺寸，图 1-10 中的塔机如果仅安装基本臂时，其最大工作幅度是 40m；增加 1 节加长臂，其最大工作幅度是 45m；增加 2 节加长臂，其最大工作幅度是 50m。也有些厂家制造的塔机，起重臂只有一种组合长度。塔机的起重臂并非愈长愈好，有时为了避让外电路、障碍物、相邻塔机需要选择较短的起重臂组合。较短的起重臂组合可以提高最大工作幅度处的额定起重量，提高生产效率。因此确定塔机基础位置时，应根据制造商提供的塔机使用说明书，选择适合的起重臂长度组合。

有些人员习惯把最大工作幅度说成“臂长”，这种说法是不

准确的，因为从吊钩最远工作位置至臂尖端部还有一段距离，这段距离通常在 1.0 ~ 2.0m。考虑避让外电线路、障碍物或相邻塔机时，应计算这段尺寸。

2. 起升高度

空载时，塔身处于最大高度，吊钩处于最小幅度处，吊钩支承面对塔式起重机基准面的允许最大垂直距离为起升高度。

固定式塔机的基准面是指塔机基础的顶面。同样型号不同厂家制造的塔机起升高度不尽相同。塔机使用说明书中向用户提供最大独立状态起升高度和最大附着状态起升高度两个数据。选用塔机时，塔机最终安装后的起升高度不得超过最大附着状态起升高度。当塔机最终安装后的起升高度超过最大独立状态起升高度时，塔机必须安装成附着式状态。确定塔机基础位置时，需同时考虑塔机附着装置的安装位置，避免日后出现无法安装附着装置的尴尬局面。

土建施工人员习惯以建筑物 ± 0.0 以上的高度来判断塔机的起升高度是否满足施工需要，忽视基础顶面至建筑物 ± 0.0 之间的高差尺寸，和提升吊物所必需的工作空间尺寸。例如，某建筑物从 ± 0.0 至屋面的高度是 25m，基础顶面低于建筑物 ± 0.0 下 3.2m，吊物提升的工作空间尺寸至少需要 6m，也就是塔机的起升高度至少要达到 34.2m 才能满足施工需要，某 QTZ40 塔机独立状态的最大起升高度是 31.5m，因此这台塔机必须安装成附着式工作状态才能满足施工需要。

3. 额定起重量

塔式起重机在各种工作幅度下允许吊起的最大起重量为额定起重量，它包括取物装置（如吊索、料斗、砖笼等）的重量，但不包括吊钩的重量。

不同幅度处的额定起重量是不同的，幅度愈大起重量愈小。用户应根据塔机使用说明书中的起重性能表或起重性能曲线图正确使用塔机，禁止超载使用。

QTZ40 及以上的塔机，起升钢丝绳可以穿绕成 4 倍率或 2 倍

率状态，如图 1-11 所示。由 4 根钢丝绳挂住吊钩的是 4 倍率工作状态 ($a=4$)，由 2 根钢丝绳挂住吊钩的是 2 倍率工作状态 ($a=2$)。4 倍率状态时的最大起重量是 2 倍率状态时的 2 倍，但提升速度是 2 倍率状态时的 1/2。

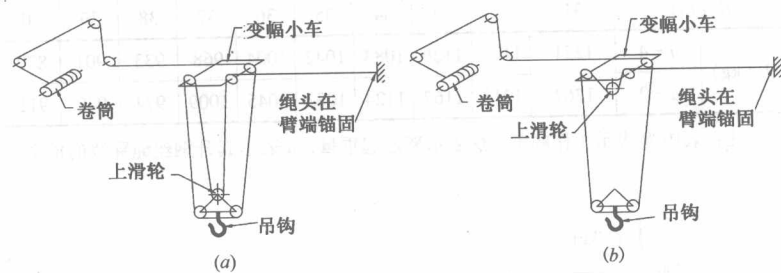


图 1-11 起升钢丝绳穿绕方法示意
(a) 4 倍率工作状态；(b) 2 倍率工作状态

表 1-1 是 1 台 QTZ40 塔机的起重性能表，图 1-12 是这台塔机的起重性能特性曲线图，上面一条曲线是 4 倍率工作状态时的起重特性，在 11.44m 的工作幅度范围内，最大起重量是 4000kg；下面一条曲线是 2 倍率工作状态时的起重特性，在 21.0m 的工作幅度范围内，最大起重量是 2000kg。最大工作幅度 40m 处的额定起重量分别是 870kg、911kg。

起重性能表与起重性能特性曲线图的作用相同，反映了起重量与工作幅度之间的函数关系。表中反映的数据更为精确，图中的曲线看起来更为直观。

1 台 QTZ40 塔机的起重性能表 表 1-1

R (m)		1.7 ~ 11.44	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Q (kg)	$a = 4$	4000	3789	3458	3176	2933	2722	2536	2372	2226	2095
	$a = 2$	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000