

///.

索具设备的选择与计算



11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



1. 钢丝绳的构造及种类

(1) 结构安装工程用钢丝绳是由六股钢丝和一股绳芯捻成(图11.1), 每股钢丝又由多根直径为0.4~4.0 mm, 抗拉强度为1 400 MPa、1 550 MPa、1 700 MPa、1 850 MPa或2 000 MPa的高强度钢丝捻成。钢丝绳按每股钢丝的根数常用的有: 6×19, 6×37, 8×37等。

(2) 钢丝绳按钢丝和钢丝股捻捻方向不同可分为顺捻绳和反捻绳两种(图11.2)。



11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算

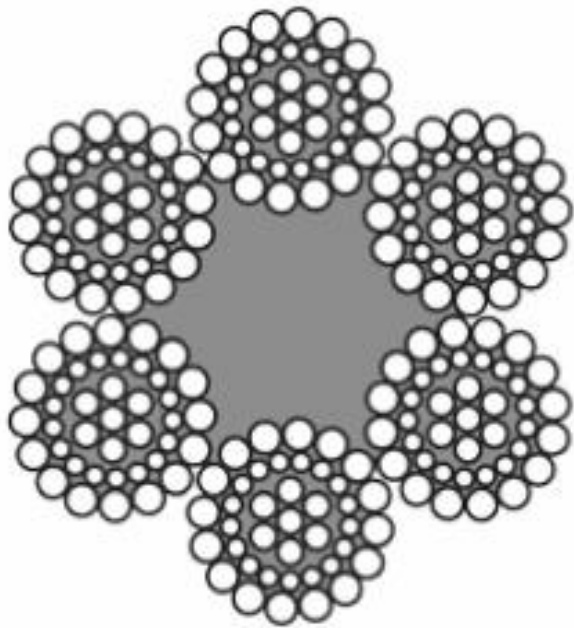


图 11.1 钢丝绳截面



(a) 顺捻绳



(b) 反捻绳

图 11.2 钢丝绳绕向

11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



2. 钢丝绳最大工作拉力验算

钢丝绳最大工作拉力采用以下公式进行验算。

(1) 钢丝绳破断拉力

钢丝绳的破断拉力与钢丝质量的好坏和捻绕结构有关，其近似计算公式为

$$F_g = A n \sigma_b = \pi d^2 n \sigma_b / 4$$

式中 F_g ——钢丝绳的破断拉力总和 (N) ；

A ——钢丝绳每根钢丝的截面积 (mm^2) ；

d ——钢丝绳每根钢丝的直径 (mm) ；

n ——钢丝绳中钢丝的总根数 ；

σ_b ——钢丝绳中每根钢丝的抗拉强度 (MPa) 。

11.1.1钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



(2) 钢丝绳的允许最大工作拉力

钢丝绳的允许最大工作拉力应满足式(11.2)的要求：

$$F_g \leq \alpha F_g / K$$

式中 $[F_g]$ ——钢丝绳允许最大工作拉力（kN）；

α ——钢丝绳的破断拉力折算系数，按表11.1取用；

F_g ——钢丝绳的钢丝破断拉力总和（kN）；

K ——钢丝绳安全系数，按表11.2取用。

表 11.1 钢丝绳破断拉力换算系数 α

钢丝绳结构	α
$6 \times 19 + 1$	0.85
$6 \times 37 + 1$	0.82
$6 \times 61 + 1$	0.80

11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



【例11.1】本工程1#车间基础梁重为15 kN，拟用一根6×37型钢丝绳作捆绑吊索，钢丝绳直径为24 mm，钢丝公称抗拉强度为1 550 N / mm²，试进行钢丝绳最大工作拉力验算。

解:由钢丝绳手册可查知： $F_g=326.5$ kN；由表11.1可查知换算系数得： $\alpha=0.82$ ；再由表11.2可确定安全系数K：取K=9。则允许最大工作拉力为：

$$[F_g] = \alpha \cdot F_g / K$$

$$= 0.82 \times 326.5 / 9 = 29.75 \text{ kN} > 15 \text{ kN}$$

因此，选用该钢丝绳作捆绑吊索满足要求。

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



1. 吊具的选择

结构安装工程中常用的吊具有吊索、吊钩、卡扣、卡环、横吊梁等。

(1) 吊索

吊索 (lifting rope) 也称千斤绳, 是一种用钢丝绳 (6×37或6×61等) 制成的吊装索具, 主要用于绑扎构件以便起吊。根据形式不同可分为环状吊索和开口吊索 (图11.3)。

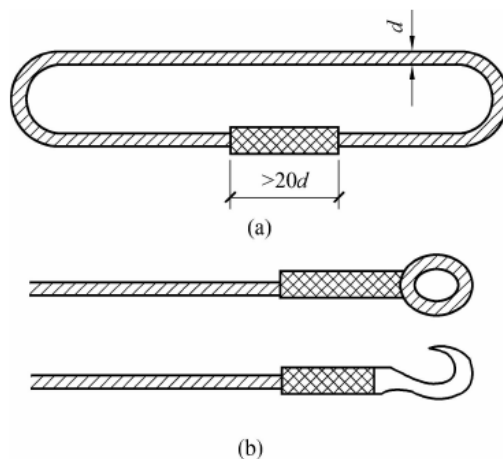


图 11.3 吊索

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



两支吊索的拉力按下式计算 [图11.4 (a)] :

$$P=G2\sin \alpha$$

式中P——每根吊索的拉力 (kN) ;

G——吊装构件的重力 (kN) ;

α ——吊索与水平线的夹角。

四支吊索的拉力按下式计算 [图11.4(b)] :

$$P=G2(\sin \alpha+\sin \beta)$$

式中P——每根吊索的拉力 , kN ;

G——吊装构件的重力 , kN ;

α ——外吊索与水平线的夹角 ;

β ——内吊索与水平线的夹角。

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算

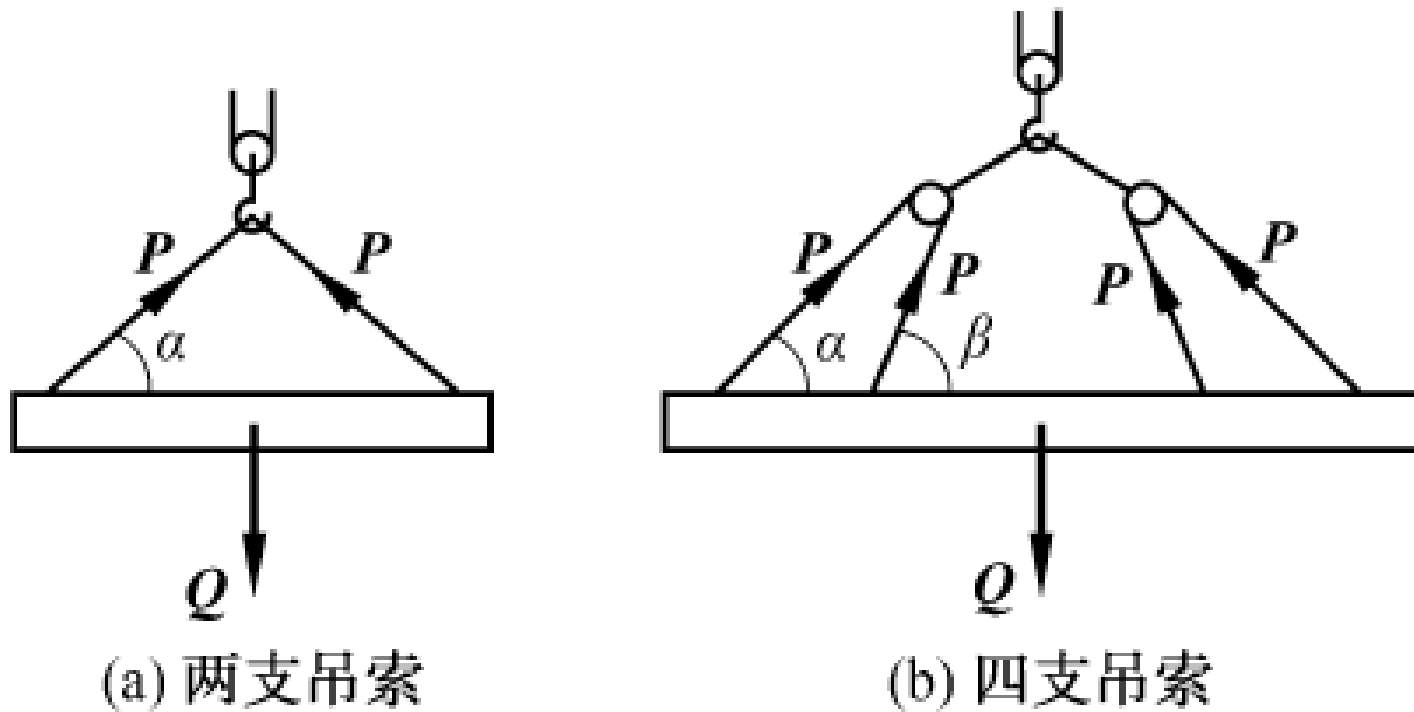


图 11.4 吊索拉力计算简图

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



(2) 吊钩

吊钩 (lifting hook) 有单钩和双钩两种类型 (图11.5)。单钩制造简单、使用方便,但受力情况不好,大多用在起重量为80 t以下的工作场合;起重量大时常采用受力对称的双钩。

(3) 卡扣

卡扣 (grip holder) 亦称钢丝绳夹头,主要用于固定钢丝绳端部,根据其形式不同,分为骑马式、压板式和拳握式三种,其中骑马式卡扣最为常用 (图11.6)。选用卡扣时,必须使U形的内侧净距等于钢丝绳的直径。

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



(a) 单钩



(b) 双钩

图 11.5 吊钩



(a) 直形卡环



(b) 马蹄形卡环

图 11.6 骑马式卡扣

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



(4) 卡环

卡环 (clasp) 亦称卸甲 , 主要用于吊索之间或吊索与构件吊环之间的连接 , 固定和扣紧吊索。卡环由弯环和横销两部分组成。弯环根据其形式不同分为直形和马蹄形两种 (图11.7) ; 横销根据连接方式的不同分为螺栓式和活络式。活络式卡环的横销端头和弯环孔眼无螺纹 , 可以直接抽出 , 以避免人员高空作业 , 常用于吊装柱子。

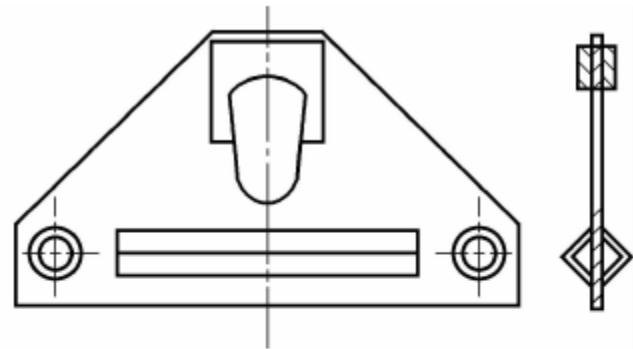
(5) 横吊梁

横吊梁 (cross hanging beam) 亦称铁扁担 , 常用于柱和屋架等构件的吊装 , 用以减小起重高度以及吊索对构件的横向压力。横吊梁的形式较多 , 常用的有钢板横吊梁和钢管横吊梁 (图11.8) 。

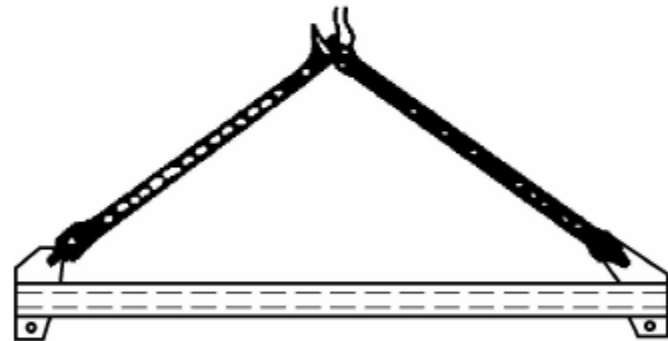
11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



图 11.7 卡环



(a) 钢板式



(b) 钢管式

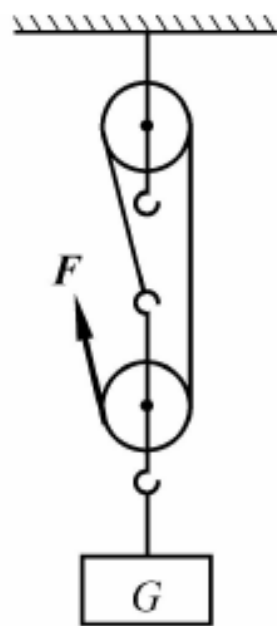
图 11.8 横吊梁

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算

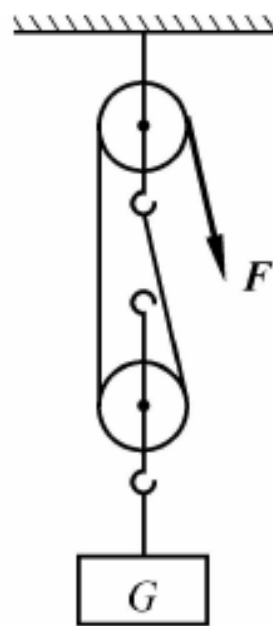


2. 滑轮组的计算

滑轮组 (ass
的绳索所组
作为单独的
作为起重机械
称为工作线数
多少, 主要理



(a) 动滑轮引出式滑轮组



(b) 定滑轮引出式滑轮组

及绕过它们
向。它既可
程吊装中以
的绳索根数
起重省力的

图 11.9 滑轮组

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



滑轮组引出绳拉力 F 可按下式计算，即

$$F=K \cdot G$$

式中 F ——滑轮组引出绳拉力；

G ——滑轮组起吊重物荷载；

K ——滑轮组省力系数。

当绳头从定滑轮引出时： $K=fn(f-1)/(fn-1)$

当绳头从动滑轮引出时： $K=fn-1(f-1)/(fn-1)$

式中 f ——单个滑轮组的阻力系数，滚动轴承 $f=1.02$ ，青铜轴套轴承 $f=1.04$ ，无衬轴套轴承 $f=1.06$ ；

n ——工作线数，若引出绳从定滑轮引出， $n=$ 定滑轮数+动滑轮数+1；若引出绳从动滑轮引出，则 $n=$ 定滑轮数+动滑轮数。

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



【例11.2】本工程1#车间B、C轴线钢筋混凝土排架柱重为145 kN，吊装施工过程中所用滑轮组为定滑轮引出式滑轮组，其滑轮组引出绳拉力为（式中 $f=1.02$ ； $n=3$ ）：

$$\begin{aligned} F &= K \cdot G = f n (f - 1) f^{n-1} \cdot G \\ &= 1.023 \times (1.02 - 1) 1.023^{3-1} \times 145 \text{ kN} \\ &= 50.28 \text{ kN} \end{aligned}$$

11.1.3卷扬机固定方法



卷扬机 (fairleader) 亦称绞车 (图11.10) , 它既可作为一种起重机械 , 又可用作拉伸机械。按照驱动方式可分为手动和电动两类。卷扬机在结构安装中是最常用的机械设备。

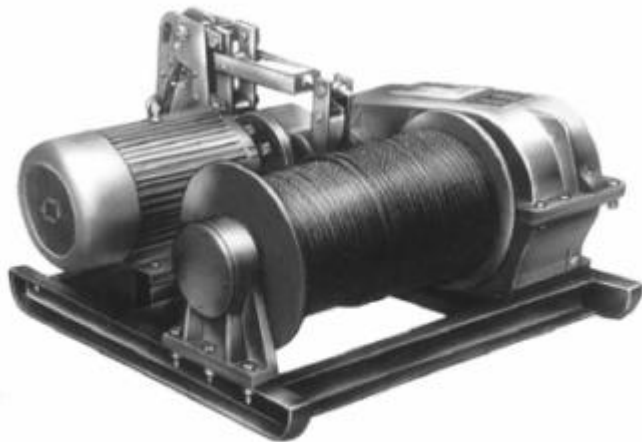


图 11. 10 卷扬机

11.1.3 卷扬机固定方法



在建筑施工中的卷扬机多为电动卷扬机，它主要由电动机、卷筒、电磁制动器和减速机构等组成。卷扬机在使用时必须要有可靠的固定，以防止在工作中产生滑移或倾覆。根据卷扬机牵引力的大小，其固定方法有螺栓锚固法、横木锚固法、立桩锚固法和压重锚固法四种，如图11.11所示。本工程安装中，卷扬机固定采用螺栓锚固法。

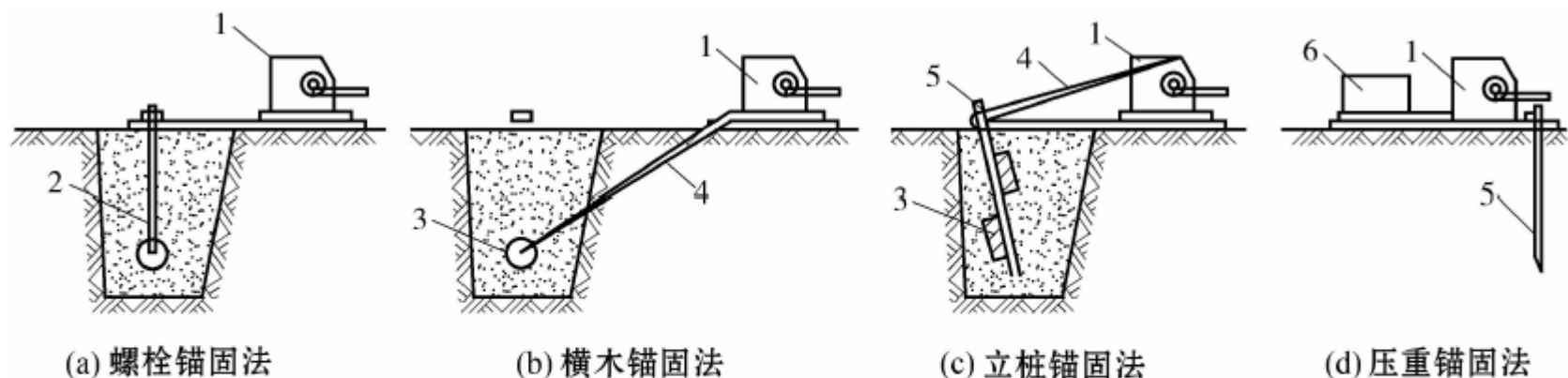


图 11.11 卷扬机的固定方法

1—卷扬机；2—地脚螺栓；3—横木；4—拉索；5—木桩；6—压重

11.2



起重机械的选择

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



1. 桅杆式起重机

桅杆（mast）亦称拔杆或抱杆，与滑轮组、卷扬机相配合构成桅杆式起重机（mast crane），桅杆自重和起重能力的比例一般为 $1:4 \sim 1:6$ ，具有制作简便、安装和拆除方便、起重量较大、对现场适应性较强的特点，因而得到广泛应用。

在建筑工程中常用的桅杆式起重机有独脚拔杆、人字拔杆、悬臂拔杆和牵缆式拔杆起重机，如图11.12所示。



11.2.1起重机械（crane）的种类及特点

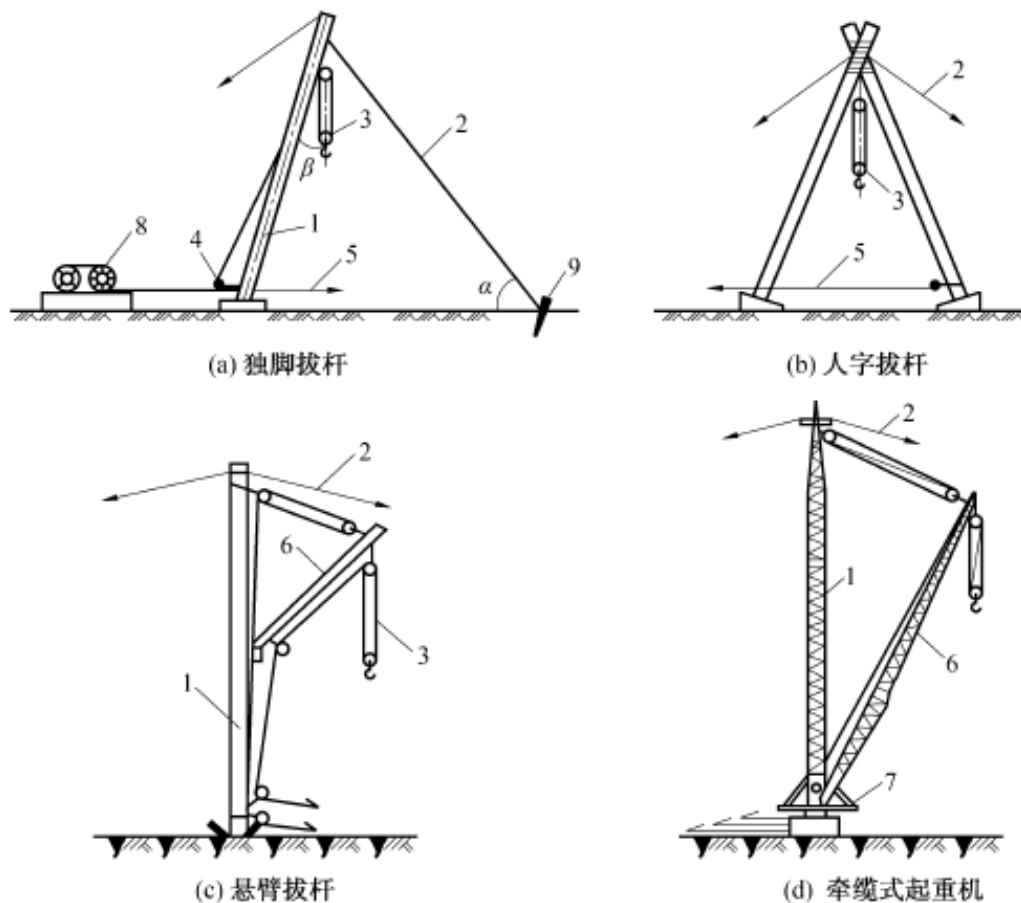


图 11.12 桅杆式起重机

1—拔杆；2—缆风绳；3—起重滑轮组；4—导向装置；5—拉索；6—起重臂；7—回转盘；8—卷扬机；9—锚碇

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（1）独脚拔杆

独脚拔杆（single mast crane）由拔杆、起重滑轮机组、卷扬机、缆风绳和锚碇等组成，如图11.12（a）所示。根据独脚拔杆的制作材料不同可分为木独脚拔杆、钢管独脚拔杆和金属格构式拔杆等。

独脚拔杆在使用时应保持一定的倾角，但不宜大于 10° ，以便在吊装时，构件不致碰撞拔杆。拔杆的稳定性主要依靠揽风绳，根据起重量、起重高度和绳索强度，揽风绳一般设置4~10根。揽风绳与地面的夹角一般为 $30^\circ\sim 45^\circ$ ，绳的一端固定在桅杆顶端，另一端固定在锚碇上。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（2）人字拔杆

人字拔杆（herringbone mast crane）一般是由两根圆木或钢管以钢丝绳绑扎或铁件铰接而成，拔杆设有缆风绳、滑轮组及导向滑轮等。在人字拔杆的顶部交叉处悬挂滑轮组。拔杆底端两脚的距离约为高度 $1/3 \sim 1/2$ ，并设有拉杆(或拉索)以平衡拔杆本身的水平推力。其中一根拔杆的底部装设一导向滑轮组，起重索通过它连接到卷扬机。缆风绳的数量应根据拔杆的重量和起重高度来决定，一般不少于5根，如图11.12（b）所示；人字拔杆在垂直方向略有倾斜，但其倾斜度不宜超过 $1/10$ ，并在前、后各用两个揽风绳拉结。

人字拔杆具有侧向稳定性较好，揽风绳较少的优点；但其起吊构件活动范围小的缺点限制了其在工程中的应用，因此一般仅用于安装重型柱或其他重型构件。钢管人字拔杆起重量可达200 kN。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（3）悬臂拔杆

悬臂拔杆（cantilever mast crane）是在独脚拔杆的中部或2/3高度处装设一根起重臂制作而成，如图11.12（c）所示。悬臂拔杆起重臂可以回转和起伏，可以固定在某一部位，也可以根据需要沿杆升降。悬臂拔杆的特点是可以获得较大的起重高度和相应的起重半径，起重臂还能左右摆动 $120^{\circ}\sim 270^{\circ}$ ，宜用于吊装高度较大的轻型构件。

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



(4) 牵缆式桅杆起重机

牵缆式桅杆起重机 (trail\behind crane) 是在独脚拔杆下端装设一根可以回转和起伏的起重臂制作而成 , 如图11.12 (d) 所示。牵缆式桅杆起重机的起重臂可以起伏 , 机身可回转 360° , 可以在起重半径范围内 , 把构件吊到任何位置。当起重量在50 kN以内 , 起重高度不超过25 m时 , 牵缆式桅杆起重机多用无缝钢管制成 , 用于一般工业厂房的结构吊装 ; 大型牵缆式桅杆起重机的桅杆和起重臂是用角钢组成的格构式截面 , 起重量可达60 kN , 桅杆高度可达80 m , 常用于重型工业厂房的吊装或设备安装。牵缆式桅杆起重机需设置较多的揽风绳 , 移动不便 , 常适用于构件多且集中的建筑物结构安装工程。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点

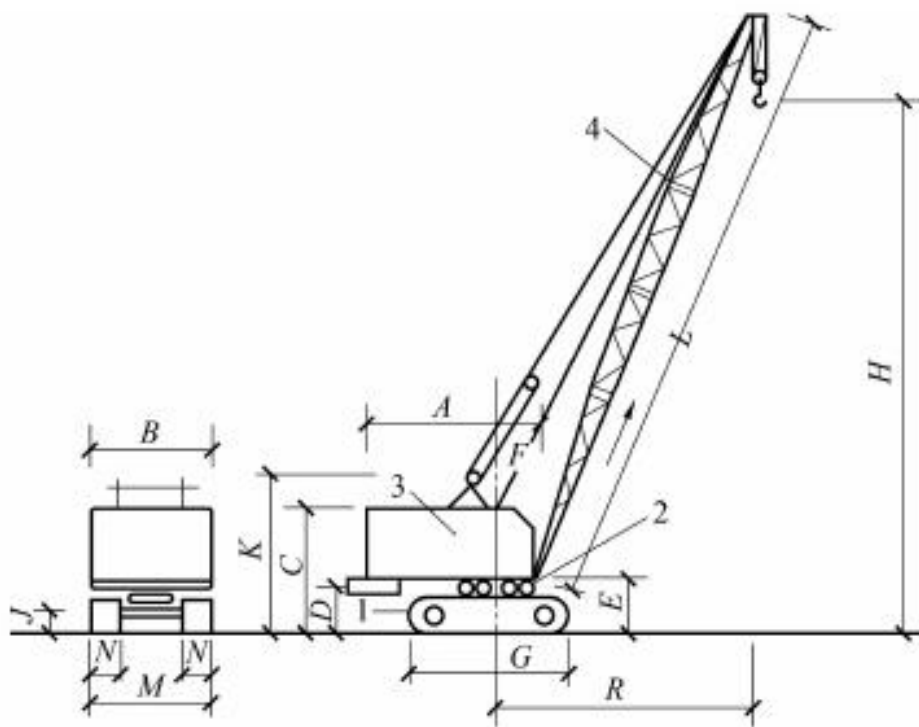


2. 自行式起重机

（1）履带式起重机

履带式起重机（crawler crane）是在行走的履带底盘上装设起重装置的起重机械，它是由动力装置、传动机构、行走机构（履带）、工作机构（起重杆、滑轮组、卷扬机）及平衡重等组成，如图11.13所示。其操作灵活，使用方便，在一般平整坚实的场地上可以荷载行驶和作业，起重吊装时不需设支腿。但履带式起重机的稳定性较差，使用时必须严格遵守操作规程，一般不宜超负荷吊装，如需超负荷或接长起重臂时，必须进行稳定性验算。同时履带式起重机行走速度慢，且对路面有破坏性。目前，它是装配式结构房屋施工，尤其是单层工业厂房结构安装工程中广泛使用的起重机械之一。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



(a) 履带式起重机外形图



(b) 履带式起重机实体图

图 11.13 履带式起重机

1—行走机构；2—回转机构；3—机身；4—起重臂；A~G、J、K、M、N—外形尺寸；L—臂长；H—起重高度；R—起重半径

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



履带式起重机的主要技术参数有三个，分别为起重量 Q 、起重高度 H 和回转半径 R 。其中，起重量 Q 是指起重机在一定起重半径范围内安全工作所允许的最大起重物的质量；起重高度 H 是指起重吊钩的中心至停机面的垂直距离；起重半径 R 是指起重机回转轴线至吊钩中垂线的水平距离。三者之间存在相互制约的关系，履带式起重机三个主要参数之间的关系可用工作性能表来表示，也可用起重机工作曲线来表示，在起重机手册中均可查阅。表11.3为履带式起重机性能表；图11.14为W1—50、W1—100型履带式起重机的性能曲线。

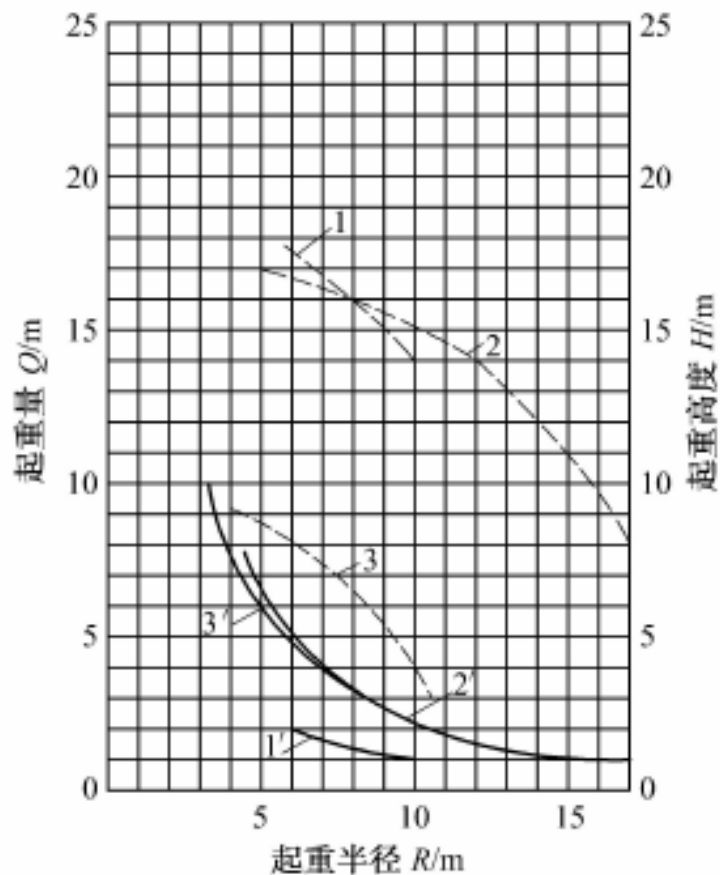
11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



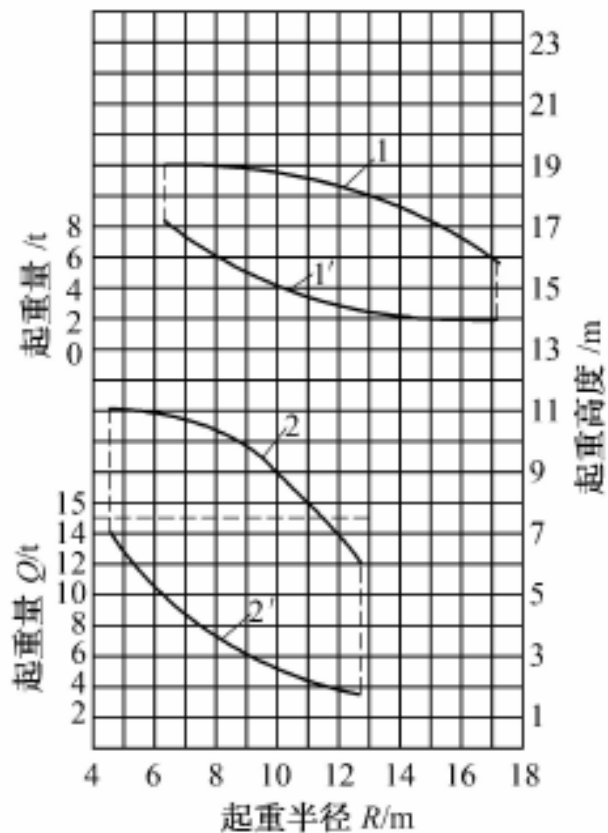
表 11.3 履带式起重机性能表

参数		单位	型号							
			W ₁ —50			W ₁ —100		W ₁ —200		
起重臂长度		m	10	18	18 带鸟嘴	13	23	15	30	40
最大工作幅度		m	10.0	17.0	10.0	12.5	17.0	15.5	22.5	30.0
最小工作幅度		m	3.7	4.5	6.0	4.23	6.5	4.5	8.0	10.0
起重重量	最小工作幅度时	t	10.0	7.5	2.0	15.0	8.0	50.0	20.0	8.0
	最大工作幅度时	t	2.6	1.0	1.0	3.5	1.7	8.2	4.3	1.5
起重高度	最小工作幅度时	m	9.2	17.2	17.2	11.0	19.0	12.0	26.8	36.0
	最大工作幅度时	m	3.7	7.6	14.0	5.8	16.0	3.0	19.0	25.0

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



(a) W₁-50型



(b) W₁-100型

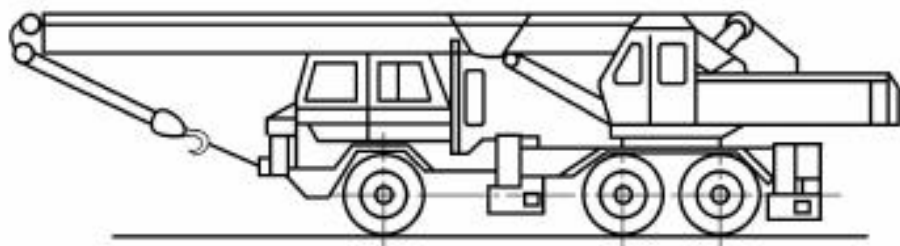
图 11.14 履带式起重机的性能曲线

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（2）汽车式起重机

汽车式起重机（truck-mounted crane）是将起重机构安装在通用或专用汽车底盘上的一种自行式全回转起重机械（图11.15）。



(a) 汽车式起重机外形图



(b) 汽车式起重机实体图

图 11.15 汽车式起重机

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



汽车式起重机按起重量大小分为轻型、中型和重型三种。起重量在20 t以内的为轻型，50 t(含)以上的为重型。目前，液压传动的汽车式起重机应用较为普遍。

汽车式起重机的主要技术性能有最大起重量、整机质量、吊臂全伸长度、吊臂全缩长度、最大起重高度、最小工作半径、起升速度、最大行驶速度等。汽车式起重机技术性能均可从相关的技术资料里查知，表11.4为QY型液压式汽车起重机技术性能表。

11.2.1起重机械（ crane ）的种类及特点



表 11.4 Q₂—30 型汽车式起重机技术性能表

主要技术参数		主臂起重性能					
		工作半径/m	支腿全伸				不用支腿
			10.00 m	17.00 m	24.00 m	31.00 m	10.00 m
名称	参数						
全车总重	32.2 t	3.00	30.00	20.00	—	—	8.00
最大爬坡能力	31%	3.35	30.00	20.00	—	—	7.00
最大提升高度	34.00 m	3.50	28.10	20.00	—	—	6.40
吊臂全伸时长度	31.00 m	4.00	24.20	20.00	—	—	5.10
吊臂全缩时长度	10.00 m	4.50	21.40	20.00	13.00	—	4.20
最小转弯半径	11.50 m	4.8	20.00	20.00	13.00	—	3.70
最大仰角	80°	5.0	19.20	19.20	13.00	—	3.40
30 t 吊钩重	0.35 t	5.5	17.50	17.50	13.00	—	2.80
12 t 吊钩重	0.20 t	6.0	16.00	16.00	13.00	—	2.30
4 t 吊钩重	0.10 t	6.5	14.60	14.60	13.00	9.00	1.90
10 m 吊臂时钢丝绳数	8 根	7.0	13.50	13.50	12.00	9.00	1.60
10~17 m 时钢丝绳数	5 根	7.5	12.00	12.00	11.20	9.00	1.30
24 m 时钢丝绳数	4 根	8.0	10.50	10.50	10.50	9.00	1.00
31 m 时钢丝绳数	3 根	8.5	—	9.40	9.40	9.00	—

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（3）轮胎式起重机

轮胎式起重机（rubber\tyred crane）是把起重机构安装在加重型轮胎和轮轴组成的特制底盘上的一种全回转式起重机（图11.16），其上部构造与履带式起重机基本相同，为了保证安装作业时机身的稳定性，起重机设有四个可伸缩的支腿。与汽车式起重机相比，轮胎式起重机具有轮距较宽、稳定性好、车身短、转弯半径小等特点，可在360°范围内工作。同时，轮胎式起重机行驶时对路面的破坏性较小。但轮胎式起重机行驶时对路面要求较高，行驶速度较汽车式慢，不适于在松软泥泞的地面上工作，不宜长距离行驶，适宜于作业地点相对固定而作业量较大的现场。轮胎式起重机的主要技术性能有额定起重量、整机质量、最大起重高度、最小回转半径以及起升速度等。轮胎式起重机的技术性能可见表11.5。

11.2.1 起重机械（crane）的种类及特点



(a) 轮胎式起重机外形图



(b) 轮胎式起重机实体图

图 11.16 轮胎式起重机

11.2.1起重机械（ crane ）的种类及特点



表 11.5 轮胎式起重机技术性能表

参数			型号									
			QL ₃ —16			QL ₃ —25					QL ₁ —16	
起重机长度/m			10	15	20	12	17	22	27	32	10	15
最小起重半径/m			4	4.7	8	4.5	6	7	8.5	10	4	4.7
最大起重半径/m			11.0	16.5	20.0	11.5	14.5	19	21	21	11	15.5
起重量/kN	最小起重 半径时	用支脚	160	110	80	250	145	106	72	50	160	110
		不用支脚	75	60	—	60	35	34	—	—	75	60
	最大起重 半径时	用支脚	28	15	8	46	28	14	8	6	28	15
		不用支脚	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—
起重高度/m	最小起重半径时		8.3	13.2	17.95	—	—	—	—	—	8.3	13.2
	最大起重半径时		5.3	4.6	6.85	—	—	—	—	—	5.0	—

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



3 . 塔式起重机

广泛应用于多层和高层工业与民用建筑安装和垂直运输施工中。具体内容详见本教材项目5。

11.2.2起重机械的稳定性验算



1 . 起重机械稳定性影响因素

影响起重机械稳定性的因素主要有：吊臂长度（span of crane）、离心力（centrifugal force）、起吊方向（orientation of lifting）、风力（wind power）、坡度（degree of slope）、惯性力（apparent force）及其他因素等。只有明确了其影响因素才可以准确对其稳定性进行验算。

11.2.2起重机械的稳定性验算



2. 履带式起重机稳定性验算

履带式起重机超载吊装时或由于施工需要而接长起重臂时，为保证起重机的稳定性，必须进行稳定性验算。履带式起重机稳定性验（checking computation of stability for crawler crane）应在起重机的最不利工作状态(起重臂与行驶方向垂直)下进行，此时，以履带中心点为倾覆中心，验算起重机的稳定性，如图11.17所示。

11.2.2起重机械的稳定性验算

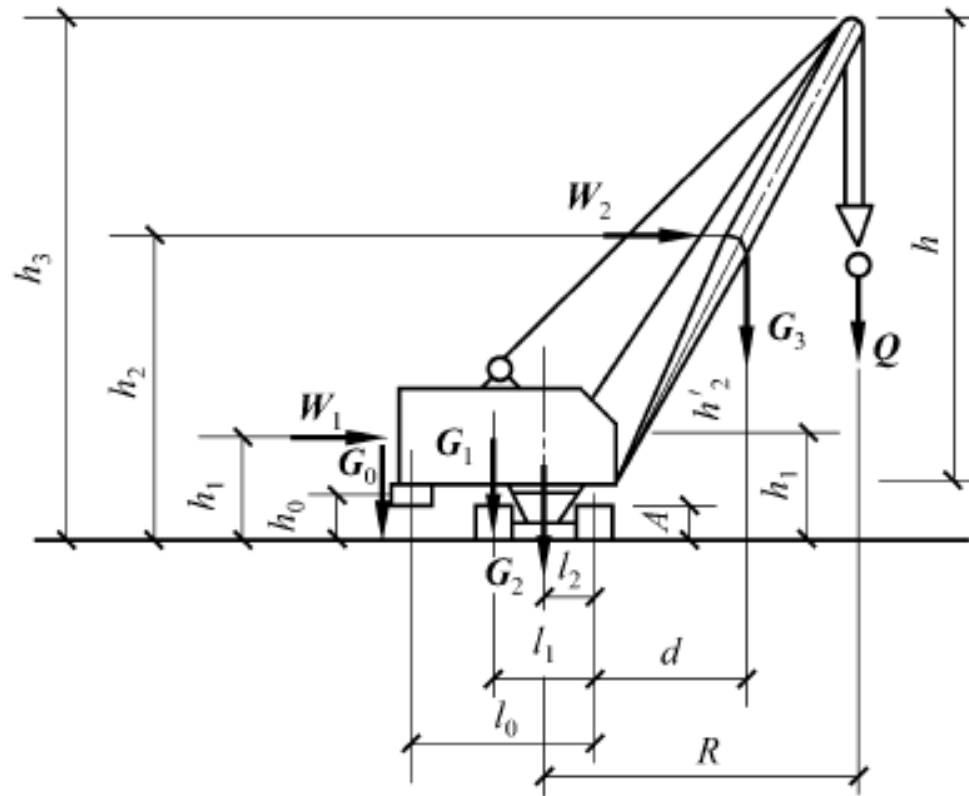


图 11.17 履带式起重机稳定验算分析

11.2.2起重机械的稳定性验算



本工程结构安装过程中，选用W1—100型履带式起重机进行结构安装，其稳定性按照以下公式进行验算。

为保证起重机的稳定性，要求在最不利工作状态下，起重机本身具有的抵抗倾覆的能力（稳定力矩）大于在自重及外荷载综合作用下所产生的倾覆力矩，验算时有两种验算方法：一种考虑吊装荷载及所有附加荷载（如风荷载、刹车惯性荷载等）；另一种只考虑吊装荷载，不考虑附加荷载，验算公式如下。

11.2.2起重机械的稳定性验算



当考虑吊装荷载及所有附加荷载时，其稳定安全系数可按下式验算：

$$K_1 = \frac{M_{\text{稳}}}{M_{\text{倾}}} = \frac{(G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_0 l_0 - (G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_0 l_0 + G_3 l_3) \sin \beta - G_3 l_3 - M_F - M_G - M_L)}{(Q + q)(R - l_3)} \geq 1.15$$

当只考虑吊装荷载，不考虑附加荷载时，其稳定安全系数可按下式验算：

$$K_2 = \frac{M_{\text{稳}}}{M_{\text{倾}}} = \frac{(G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_0 l_0 - G_3 l_3)}{(Q + q)(R - l_3)} \geq 1.40$$

式中 K_1 ， K_2 ——稳定性安全系数；

$M_{\text{稳}}$ ——稳定力矩；

$M_{\text{倾}}$ ——倾覆力矩；

G_0 ——平衡重的重量；

G_1 ——起重机机身可转动部分重量；

G_2 ——起重机机身不转动部分重量；

G_3 ——起重臂重量；

11.2.2起重机械的稳定性验算



Q ——起重荷载（包括构件及索具重量）；

q ——起重滑轮组重量；

l_1 —— G_1 重心至A点距离；

l_2 —— G_2 重心至A点距离；

d —— G_3 重心至A点距离；

l_0 —— G_0 重心至A点距离；

h'_1 —— G_1 重心至地面距离；

h'_2 —— G_2 重心至地面距离；

h_2 —— G_3 重心至地面距离；

h_0 —— G_0 重心至地面距离；

β ——地面倾斜角（ $\leq 3^\circ$ ）；

R ——起重半径；

11.2.2起重机械的稳定性验算



MF——风载引起的倾覆力矩,

$$MF=W_1h_1+W_2h_2+W_3h_3 ;$$

W_1 ——作用在起重机上的风荷载；

W_2 ——作用在起重臂上的风荷载，按荷载规范计取；

W_3 ——作用在所吊构件上的风荷载，按构件实际受风面积计取；

h_1 ——操作室后面中心至地面的距离；

h_3 ——起重臂顶端至地面的距离，考虑6级以上风时，不能进行高空安装作业，而6级以下风对起重机影响较小。因此，当起重机的臂长小于25 m时，不计风载力矩的影响；

11.2.2起重机械的稳定性验算



MG——重物下降时突然刹车惯性力引起的倾覆力矩；

$$MG=(Q+q)v(R-l_2)/gt$$

式中v——吊钩下降速度（m/s），取吊钩起重速度的1.5倍；

g——重力加速度（9.8 m/s²）；

t——制动时间（由v - 0），取1 s；

ML——起重机回转时离心力引起的倾覆力矩；

$$ML=(Q+q)Rn^2h/(900-nh)$$

n——起重机回转速度（r/min）；

h——所吊构件在最低位置时，其重心至起重臂顶端距离；

h₃——起重臂顶端至地面的距离。

11.2.2起重机械的稳定性验算



本工程1#车间安装工地，施工方拟采用W1—100型履带式起重机（起重臂长为13 m）吊装车间B、C轴线钢筋混凝土排架柱，每根柱重（含索具、滑轮等）145 kN，试验算该起重机的稳定性。

根据现场实测可知 $G_1=200\text{ kN}$ ， $G_2=145\text{ kN}$ ， $G_0=30\text{ kN}$ ， $G_3=42.5\text{ kN}$ ，起重臂取13 m。

11.2.2起重机械的稳定性验算



根据起重机手册可查知相关数据并经计算得：

$$l_2 = 1.26 \text{ m}$$

由实测可得： $l_1 = 2.63 \text{ m}$ ， $l_0 = 4.59 \text{ m}$ 。

查表可知： $R = 4.23 \text{ m}$

由此可计算得：

$$l_3 = R - l_2 + l_3 \cos 77^\circ = 1.29 \text{ m}$$

注：最大仰角为 77° 。

将 $Q = 175 \text{ kN}$ 及上述数值代入式（11.7）可得：

$$K_2 = 200 \times 2.63 + 145 \times 1.26 + 30 \times 4.59 - 42.5 \times 1.29 - 175 \times 4.23 - 1.26 = 1.83 > 1.4$$

由此可验算得，采用W1—100型履带式起重机吊装该柱是安全稳定的。

11.2.2起重机械的稳定性验算



3 . 塔式起重机稳定性验算

但如若采用塔式起重机，则需依据《起重机设计规范》中所规定的各种工况，在最不利的荷载组合条件下，采用稳定力矩 $\sum M \geq 0$ 的力矩法原则进行抗倾覆稳定性验算，即要求包括起重机自重在内的各项荷载对倾覆边的力矩之和大于或等于零($\sum M \geq 0$)，则认为起重机是稳定的。

塔式起重机稳定性验算（checking computation of stability for pillar crane）可分为有荷载时和无荷载时两种状态稳定性验算。

（1）有荷载时稳定性验算

塔式起重机有荷载稳定性验算时，其计算简图如图11.18所示，此时塔式起重机临界倾覆点为塔式起重机右支撑点。

11.2.2起重机械的稳定性验算

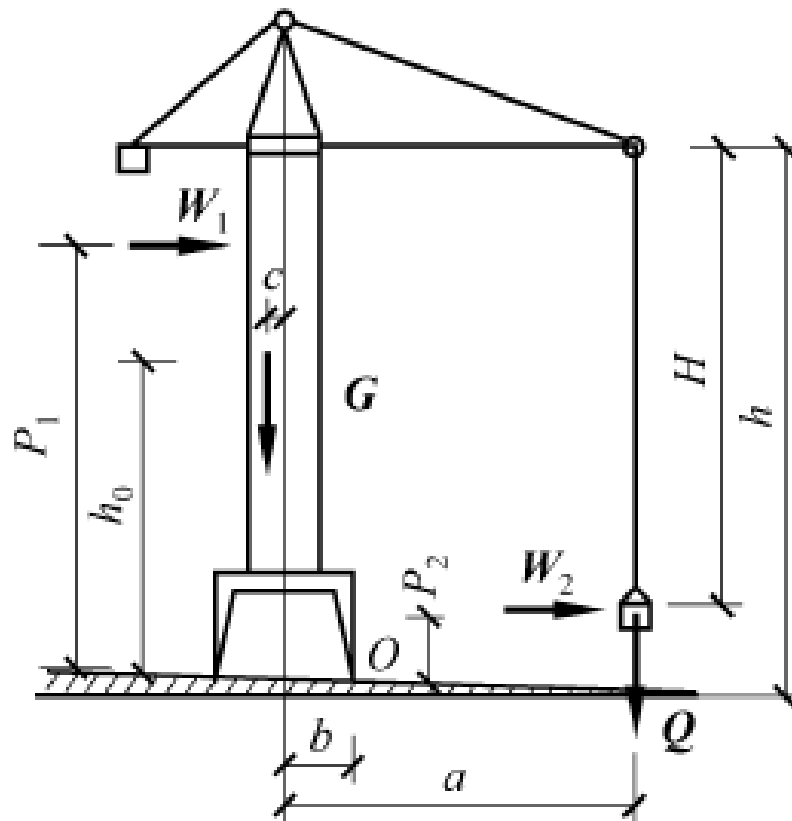


图 11.18 塔式起重机有荷载稳定验算分析

11.2.2起重机械的稳定性验算



塔吊有荷载时,根据力矩法其稳定安全系数可按式(11.8)验算:

$$K_1 = \frac{1Q(a-b) + G(c - h_0 \sin \alpha + b) - Qv(a-b)gt - W_1P_1 - W_2P_2 - Q_n 2ah 900}{- H_n 2} \geq 1.15$$

式中 K_1 ——塔吊有荷载时稳定安全系数,允许稳定安全系数最小取1.15;

G ——起重机自重力(包括配重、压重);

c ——起重机重心至旋转中心的距离;

h_0 ——起重机重心至支撑平面距离;

b ——起重机旋转中心至倾覆边缘的距离;

Q ——最大工作荷载;

g ——重力加速度;

v ——起升速度;

t ——制动时间;

11.2.2起重机械的稳定性验算



a ——起重机旋转中心至悬挂物重心的水平距离；

W_1 ——作用在起重机上的风力；

W_2 ——作用在荷载上的风力；

P_1 ——自 W_1 作用线至倾覆点的垂直距离；

P_2 ——自 W_2 作用线至倾覆点的垂直距离；

h ——吊杆端部至支撑平面的垂直距离；

n ——起重机的旋转速度；

H ——吊杆端部到重物最低位置时的重心距离；

α ——起重机的倾斜角(轨道或道路的坡度)。

验算后，如稳定性系数 K 不满足要求，则需采取措施，以确保起重机吊装施工的稳定。

11.2.2起重机械的稳定性验算



(2) 无荷载时稳定性验算

塔式起重机无荷载稳定验算时，其计算简图如图11.19所示，此时塔式起重机临界倾覆点为塔式起重机左支撑点。

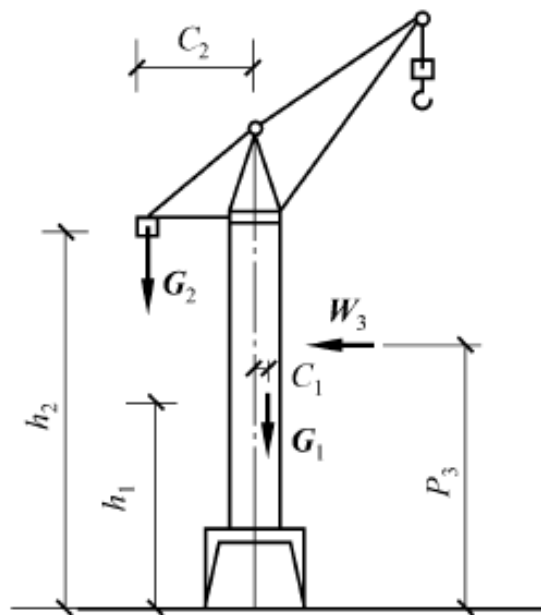


图 11.19 塔式起重机无荷载稳定验算分析

11.2.2起重机械的稳定性验算



塔吊无荷载时,根据力矩法其稳定安全系数可按下式验算:

$$K_2 = G_1(b + c_1 - h_1 \sin \alpha) G_2(c_2 - b + h_2 \sin \alpha) + W_3 P_3 \geq 1.15$$

式中 K_2 ——塔吊无荷载时稳定安全系数,允许稳定安全系数最小取1.15;

G_1 ——倾覆点至吊钩之间塔吊各部分的重力和;

c_1 —— G_1 至旋转中心的距离;

b ——起重机旋转中心至倾覆边缘的距离;

h_1 —— G_1 至支撑平面的距离;

G_2 ——使起重机倾覆部分的重力;

c_2 —— G_2 至旋转中心的距离;

h_2 —— G_2 至支撑平面的距离;

W_3 ——作用在起重机上的风力;

P_3 —— W_3 至倾覆点的距离;

11.2.2起重机械的稳定性验算



α ——起重机的倾斜角(轨道或道路的坡度)。

验算后，如稳定性系数K不满足要求，则需采取措施，以确保起重机吊装施工
的稳定性。

11.2.3起重臂接长验算



当起重机的起重高度或起重半径不能满足构件安装需要时，则在起重臂强度和稳定性得到保证的前提下，可采用接长起重臂杆的方法予以解决，接长后起重量 Q' 可根据等力矩原则进行计算。本节以履带式起重机为例介绍起重臂的接长验算，如图11.20所示。

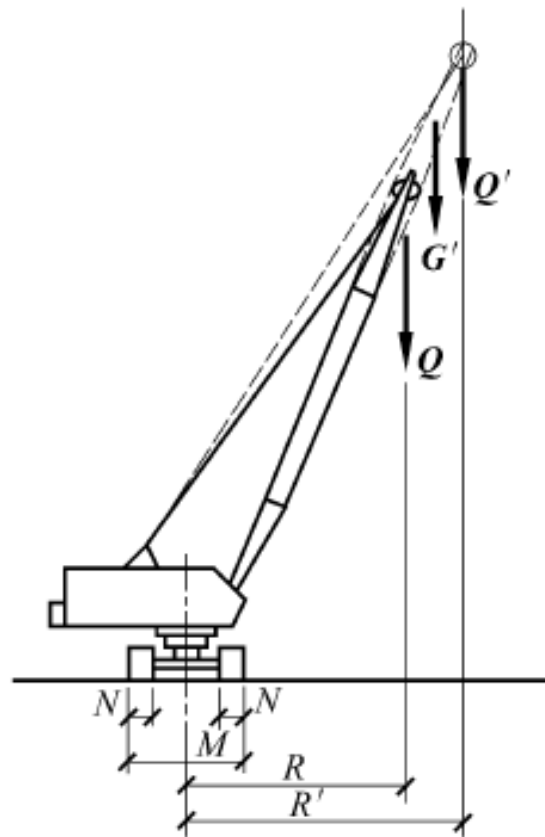


图 11. 20 起重机臂接长验算

11.2.3起重臂接长验算



由等力矩原则，即 $\sum M=0$ ，可列出下式：

$$Q'R'-M^2+G'(R+R'^2-M^2) \leq QR-M^2$$

整理可得：

$$Q'=12R'-M [Q(2R-M)-G'(R+R'-M)]$$

式中Q——起重机接长前起重重量；

Q'——起重机接长后起重重量；

R——起重机接长前起重半径；

R'——起重机接长后起重半径；

G'——起重臂接长部分的重量。

11.2.3起重臂接长验算



本工程1#车间安装工地，施工单位拟采用W1—100型履带式起重机（起重臂长为13 m）吊装该厂房钢筋混凝土屋架，屋架自重为45 kN，但受现场条件限制，需对该型号起重机臂进行接长，为将屋架吊装至设计位置该起重机臂需接长10 m，试验算该起重机臂如此接长是否满足要求。

根据现场计算及起重机手册可知 $M=3.2$ m， $R=4.23$ m， $R'=6.5$ m， $G'=33.45$ kN， $Q=150$ kN。

由式（11.10）、式（11.11）可得：

$$\begin{aligned} Q' &= 12R' - M [Q(2R - M) - G'(R + R' - M)] \\ &= 12 \times 6.5 - 3.2 [150 \times (2 \times 4.23 - 3.2) - 33.45 \times (4.23 + 6.5 - 3.2)] \text{ kN} \\ &= 54.8 \text{ kN} > 45 \text{ kN} \end{aligned}$$

由此可知，采用该型号起重机将起重臂接长10 m后，既可将该工程屋面板吊装至设计位置，又满足接长稳定安全条件。