

86.132
YWZ_B

安装工人应知丛书

设备起重工

(四级工)

杨文柱 编

中国建筑工业出版社

安装工人应知丛书

工 重 起 备 设

安装工人应知丛书

设备起重工

(四级工)

杨文柱 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市顺义县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 3¹/₄ 字数: 73千字

1981年9月第一版 1981年9月第一次印刷

印数: 1—28,100册 定价: 0.26元

统一书号: 15040·4073

出 版 说 明

本丛书是根据国家建筑工程总局颁发的《安装工人技术等级标准》(试行), 针对各级安装工人规定的应知项目和具体要求编写的, 适合具有初中以上文化程度, 并具备该工种相应级别的基础知识和操作技能的安装工人阅读。

本丛书是按照《安装工人技术等级标准》(试行)所列的应知项目顺序作答, 解答内容尽量保持知识的系统性和完整性, 以帮助各工种的安装工人考工复习参考使用。

本丛书按不同工种和等级分册编写, 陆续出版。

中国建筑工业出版社

1980年4月

目 录

一、常用抱杆负荷的估算和计算知识	1
(一) 木桅杆负荷的估算与计算方法	1
(二) 管式桅杆吊装设备的计算方法	10
(三) 格构式桅杆的计算	13
二、外型不规则设备和构件的找重心方法	26
三、设置走线滑轮的方法	30
(一) 走线滑轮的组成	30
(二) 走线滑轮的布置	32
(三) 承重绳和牵引绳的计算	34
(四) 弯曲应力的计算	35
(五) 走线滑轮使用的特点	37
(六) 走线滑轮使用注意事项	37
四、各种棕麻绳、钢丝绳安全应力的计算方法	39
(一) 棕麻绳安全应力的计算方法	39
(二) 钢丝绳安全应力的计算方法	40
五、一般桥式吊车的构造、性能、操作方法及 维护知识	45
(一) 桥式吊车的构造	45
(二) 桥式吊车的性能	47
(三) 桥式吊车的操作方法及维护知识	51
六、一般解体设备的组装和安装方法	72
(一) 一般解体设备的组装	72
(二) 桥式吊车的组装	73
(三) 桥式吊车的安装方法	86

一、常用抱杆负荷的估算和计算知识

在起重作业中，常用的桅杆（抱杆）有木桅杆、管式桅杆、格构式桅杆等。现将它们的计算知识与估算的方法分别介绍如下：

（一）木桅杆负荷的估算与计算方法

木桅杆常用一整根坚韧木料作成，木料粗细按起重量大小而定。制作桅杆用的木料，最好用杉木或红松，也可根据本地区的木料资源尽量选用坚固的木料。

当木桅杆的高度为6~15米，圆木梢直径为18~24厘米时，桅杆的起重量为3吨；当圆木梢直径为24~27厘米时，桅杆的起重量为5吨；当圆木梢直径为28~30厘米时，桅杆的起重量为10吨。关于木桅杆起重量与有关技术参数的估算参见表1。

图1为木桅杆的计算简图。当桅杆BC受到设备自重Q及起重滑轮组的重量q作用后，产生轴向压力和弯矩。Q+q是偏心地挂在桅杆顶部的，其偏心矩为e。

1. 由吊装重量产生的轴向压力 N_1 ，这时桅杆与铅垂线成 β 角，则对A点取力矩方程式得 $\Sigma M_A = 0$

$$N_1 = \frac{K(Q+q)(a+b)L}{aH} \quad (1)$$

式中 L ——桅杆的长度，米；

木桅杆的起重重量与有关技术参数的估算表

表 1

桅杆 起重重量 (吨)	桅杆 高度 (米)	圆木梢 直 径 (厘米)	缆风绳 的直径 (毫米)	滑 轮 组			卷扬机 起重重量 (吨)
				起重钢丝绳 直 径 (毫米)	滑 轮 门 数		
					定滑轮	动滑轮	
3	6	18	15.5	12.5	2	1	1.5
3	8	20	15.5	12.5	2	1	1.5
3	10	22	15.5	12.5	2	1	1.5
3	12	22	15.5	12.5	2	1	1.5
3	15	24	15.5	12.5	2	1	1.5
5	6	24	15.5	15.5	2	1	3
5	8	24	15.5	15.5	2	1	3
5	10	26	20.0	15.5	2	1	3
5	12	26	20.0	15.5	2	1	3
5	15	27	20.0	15.5	2	1	3
10	6	28	21.5	17.5	3	2	3
10	8	28	21.5	17.5	3	2	3
10	10	30	21.5	17.5	3	2	3
10	12	30	21.5	17.5	3	2	3

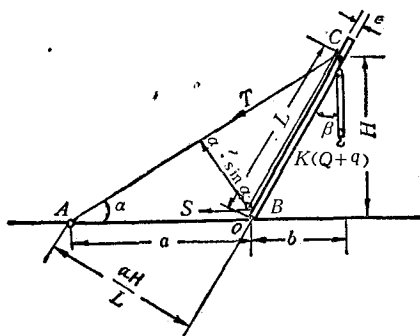


图 1 木桅杆计算简图

H ——桅杆顶部到地面的垂直距离，米；
 a ——桅杆底部到地锚之间的距离，米；
 b ——桅杆倾斜对水平面的投影长度，米；
 Q ——设备重量，公斤；
 q ——索吊具与滑轮组的重量，公斤；
 K ——动载荷系数（一般取 $K=1.1$ ）。

2. 起重滑轮组跑绳拉力 S 使桅杆受到轴向压力 N_2 （假设起重绳与桅杆轴线相平行）

$$N_2 = S = \alpha \times Q_{\text{吊}} = \frac{\mu - 1}{\mu^n - 1} \times \mu^m \times \mu^k \times K(Q + q) \quad (2)$$

式中 α ——载荷系数（查表 2）；
 μ ——阻力系数；当采用滚柱轴承时， $\mu=1.02$ ，青铜衬套时， $\mu=1.04$ ；无衬套时， $\mu=1.06$ ；
 n ——工作绳数；
 m ——定动滑轮数；
 k ——导向滑轮数。

其余符号同前。

3. 缆风绳自重和初拉力 T 所产生的轴向压力 N_3 ，为计算方便，假定桅杆为垂直位置，

则
$$N_3 = mT \sin \alpha \quad (3)$$

式中 m ——缆风绳根数；
 T ——缆风绳的初拉力，一般取 0.3~1 吨；
 α ——缆风绳与水平面的夹角。

4. 桅杆自重 G 产生的轴向压力 N_4 ，这一数值随桅杆部位而定，在顶部为零，在桅杆中部为

$$N_4 = \frac{G}{2} \quad (4)$$

载 荷 系 数 α

表 2

工 作 绳 索 数	滑轮个数 (定、动滑 轮的和)	导 向 滑 轮 的 个 数						
		0	1	2	3	4	5	6
1	0	1.000	1.040	1.032	1.125	1.170	1.217	1.265
2	1	0.507	0.527	0.549	0.571	0.594	0.617	0.642
3	2	0.346	0.360	0.375	0.390	0.405	0.421	0.438
4	3	0.265	0.276	0.287	0.298	0.310	0.323	0.335
5	4	0.215	0.225	0.234	0.243	0.253	0.263	0.274
6	5	0.187	0.191	0.199	0.207	0.215	0.224	0.230
7	6	0.160	0.165	0.173	0.180	0.187	0.195	0.203
8	7	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174	0.181
9	8	0.139	0.134	0.140	0.145	0.151	0.157	0.163
10	9	0.119	0.124	0.129	0.134	0.139	0.145	0.151
11	10	0.110	0.114	0.119	0.124	0.129	0.134	0.139
12	11	0.102	0.106	0.111	0.115	0.119	0.124	0.129
13	12	0.096	0.099	0.104	0.108	0.112	0.117	0.121
14	13	0.091	0.094	0.098	0.102	0.106	0.111	0.115
15	14	0.087	0.090	0.083	0.091	0.100	0.102	0.108
16	15	0.084	0.086	0.090	0.093	0.095	0.100	0.104

注：该表的工作绳数是按动滑轮绕出进行计算的。一般跑绳是由定滑轮绕出，计算时，最后一个定滑轮应按导向滑轮数再加上1，即定动滑轮数 m 等于工作绳数 n 。

由上述可知作用于桅杆顶端的总压力：

$$N_{\text{顶}} = N_1 + N_2 + N_3 \quad (5)$$

作用于桅杆中部的总压力：

$$N_{\text{中}} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (6)$$

5. 由于起重滑轮组偏心悬挂在桅杆的顶部所产生的弯矩为

$$\text{桅杆顶部} \quad M_{\text{顶}} = [K(Q+q) + S]e \quad (7)$$

$$\text{桅杆中部} \quad M_{\text{中}} = \frac{2}{3} M_{\text{顶}} \quad (8)$$

桅杆底部的弯矩为零。

6. 桅杆顶部弯矩最大，应验算其强度

$$\sigma = \frac{N_{\text{顶}}}{F} + \frac{M_{\text{顶}}}{W} \leq [\sigma] \quad (9)$$

式中 F ——桅杆顶部截面面积，厘米²；

W ——截面系数，对圆截面 $W \approx 0.1d^3$ （ d 为桅杆直径），厘米³；

$[\sigma]$ ——木料许用应力，公斤/厘米²。

7. 桅杆中部的挠度最大，应验算其稳定性

$$\sigma = \frac{N_{\text{中}}}{\varphi F} + \frac{M_{\text{中}}}{W} \leq [\sigma] \quad (10)$$

式中 φ ——木料纵向弯折减系数，由长细比 λ 决定（圆

截面的 $\lambda = \frac{l_0}{\frac{d}{4}}$ ，其中 l_0 为桅杆计算长度）。

φ 值可由表 3 查得。

木料折减系数 φ 值表

表 3

λ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
φ	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.80	0.71	0.60	0.48	0.38	0.31

λ	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
φ	0.25	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08

8. 缆风绳在工作时的张力

缆风绳的计算是比较复杂的，为了便于计算和选择钢丝绳的直径，我们假定所有受力缆风绳为一根，其位置在桅杆倾斜平面内（见图1），则所受张力可用绕O点的平衡条件（ $\Sigma M_o = 0$ ）求得：

$$T_o = \frac{K(Q+q)b}{a \sin \alpha} \quad (11)$$

式中 T_o ——作用在缆风绳上的总张力，吨；

α ——缆风绳与水平面所成的夹角。

缆风绳工作拉力的计算与它的数目和布置方式有关。但要计算每根缆风绳的受力是极其复杂的，一般按缆风绳中因水平分力的作用而引起的拉力可用下式计算：

$$T_1 = K \left(\frac{M}{H} + p \sin \alpha \right) \frac{1}{\cos \beta} \quad (12)$$

式中 T_1 ——缆风绳工作拉力，吨；

M ——桅杆顶部承受的弯矩，吨·米；

H ——桅杆高度，米；

P ——起重滑轮组所受的力，吨；

α ——起重滑轮组与桅杆中心线的夹角，度；

β ——缆风绳与地面的夹角，度；

K ——分配系数（按表4选取）。

由各缆风绳工作时的拉力加到桅杆上的轴向压力

$$P_1 = T_1 K' \sin \beta \quad (13)$$

式中 K' ——分配系数（按表4选取）。

由（13）式可看出，桅杆缆风绳与地面夹角越小，其工作拉力也越小，所以一般用 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

【例题】 某安装工地有一副木桅杆，上部直径 d 为27厘米，桅杆长度为12米，与地面的倾斜角度为 75° ，用四根缆

分配系数 K 与 K' 的数值

表 4

缆 风 绳 根 数	K	K'
4	1.000	1.414
6	0.667	1.333
8	0.500	1.307
10	0.400	1.294
12	0.333	1.288

风绳来固定，绳与地面成 45° 角。吊装重量为 4 吨。起重滑轮组与桅杆中心线的偏心距为 0.1 米，试计算该桅杆的强度，并选定所用的滑轮组、钢丝绳、卷扬机。设定动滑轮的最大距离为 10 米，导向滑轮至卷扬机的距离为 14 米，试计算所需钢丝绳的长度为多少（参见图 2）？

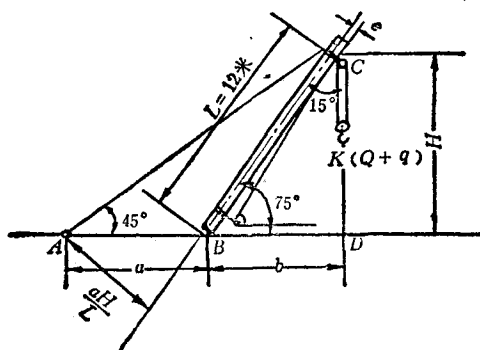


图 2 木桅杆计算受力分析简图

【解】 $Q_H = K(Q+q)$ 初选 2×2 的 H 系列滑轮组， $Q=4$ 吨， $q=0.4$ 吨，取 $K=1.1$ ，代入式中

$$Q_H = 1.1(4+0.4) \approx 5 \text{ 吨}$$

$$b = 12 \times \cos 75^\circ = 12 \times 0.25882 = 3.1 \text{ 米}$$

$$H = 12 \sin 75^\circ = 12 \times 0.96592 = 11.6 \text{ 米}$$

(1) 吊重作用于桅杆的压力 N_1

$$a = AD - b = 11.6 - 3.1 = 8.5 \text{ 米}$$

$$N_1 = \frac{Q_H(a+b)L}{aH} = \frac{5 \times 11.6 \times 12}{8.5 \times 11.6} \approx 7.1 \text{ 吨}$$

(2) 起重滑轮跑绳作用于桅杆的压力 N_2

$$N_2 = S = \alpha Q_H$$

$$\alpha = \frac{\mu - 1}{\mu^n - 1} \mu^m \mu^K$$

因为用的是滑动轴承的滑轮，取 $\mu = 1.04$ ，导向滑轮一个 $K = 1$ ， $n = m = 4$ （工作绳数 = 定动滑轮数）

$$\text{所以 } \alpha = \frac{1.04 - 1}{1.04^4 - 1} \times 1.04^4 \times 1.04 = 0.287$$

$$N_2 = S = 0.287 \times 5 = 1.435 \text{ 吨}$$

跑绳牵引拉力 $S = 1.435$ 吨，选用 3 吨的卷扬机。查表选用 $d = 13$ 毫米， $6 \times 37 + 1$ 的钢丝绳，起重钢丝绳长度的计算可代入公式

$$L = n_1(h + 3D) + l + 10 \text{ 米}$$

式中工作线数 $n = 4$ ，分支数 $n_1 = n + 1 = 4 + 1 = 5$ ，定动滑轮的最大距离 $h = 10$ 米，导向滑轮到卷扬机位置 $l = 14$ 米，滑轮底径 $D = 0.135$ 米。

$$\text{所以 } L = 5(10 + 3 \times 0.135) + 14 + 10 = 76.025 \text{ 米}$$

取 $L = 80$ 米。

(3) 缆风绳作用于桅杆的压力 N ，

取近似值，设初拉力 $T = 0.5$ 吨

$$N_s = mT \sin 45^\circ = 4 \times 0.5 \times 0.707 = 1.414 \text{ 吨}$$

主缆风绳工作时的张力

$$T_0 = \frac{K(Q+q) \times b}{a \sin \alpha} = \frac{5 \times 3.1}{8.1 \times 0.707} = 2.7 \text{ 吨}$$

查表选用 $6 \times 19 + 1$, $d = 14$ 毫米的钢丝绳。

(4) 桅杆自重作用于桅杆上的压力 N_4 (指在中部)

$$N_4 = \frac{G}{2}$$

桅杆自重 $G = 1$ 吨

所以

$$N_4 = 0.5 \text{ 吨}$$

(5) 桅杆上端的总压力 $N_{\perp}$

$$N_{\perp} = N_1 + N_2 + N_3 = 7.1 + 1.4 + 1.414 \approx 10 \text{ 吨}$$

(6) 桅杆中部的总压力 $N_{\#}$

$$N_{\#} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = 7.1 + 1.4 + 1.414 + 0.5 \approx 10.5 \text{ 吨}$$

(7) 桅杆上端连接起重滑轮组部位产生的偏心弯矩

$M_{\text{顶}}$

$$M_{\text{顶}} = [K(Q+q) + N_2] \times e = [5 + 1.4] \times 0.1 = 0.64 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

(8) 桅杆中部的弯矩 $M_{\#}$

$$M_{\#} = \frac{2}{3} M_{\text{顶}} = \frac{2}{3} \times 0.64 = 0.4266 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

(9) 桅杆上端的强度校核

$$\text{桅杆净截面积 } F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (27)^2}{4} = 573 \text{ 厘米}^2$$

$$\text{截面系数 } W = 0.1 d^3 = 0.1 \times (27)^3 = 1968 \text{ 厘米}^3$$

$$\sigma = \frac{N_{\perp}}{F} + \frac{M_{\text{顶}}}{W} = \frac{10000}{573} + \frac{0.64 \times 10^5}{1968} = 17.4 + 32.5 = 49.9 \text{ 公斤/厘米}^2 < [\sigma]$$

对松木桅杆许用应力 $[\sigma] = 120$ 公斤/厘米², 故安全。

(10) 按稳定性计算桅杆中部的截面应力 σ

这里必须说明木制桅杆一般为变截面制成，即每米高度增加直径 1.5 厘米。

所以 2/3 截面处的直径 $d_0 = 27 + 4 \times 1.5 = 33$ 厘米

$$F = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times (33)^2}{4} = 855 \text{ 厘米}^2$$

$$W = 0.1 \times d_0^3 = 0.1 \times (33)^3 = 3600 \text{ 厘米}^3$$

$$\text{长细比 } \lambda = \frac{\mu \times l}{i} = \frac{1 \times 1200}{0.25 \times 33} = 146$$

查表 3 $\varphi = 0.148$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N_{\#}}{\varphi F} + \frac{M_{\#}}{W} = \frac{10500}{0.148 \times 855} + \frac{0.43 \times 10^5}{3600} \\ &= 98.3 \text{ 公斤/厘米}^2 < [\sigma] \end{aligned}$$

故安全。

答：木桅杆经强度与稳定性验算均属安全。起重滑轮组选用 H5 × 2D 型的。起重钢丝绳选用规格为 37 + 1, $d = 13$ 毫米，长度选用 80 米，使用 3 吨卷扬机。

(二) 管式桅杆吊装设备的计算方法

管式桅杆的计算方法有两种：

1. 欧拉公式法

对于 A3 钢管桅杆，当 $\lambda \geq 100$ 时，欧拉公式才能应用。因为金属管式桅杆是两端铰接的长柱，在轴向压力下要失去稳定。这种破坏不是因断面强度不够，而是由压杆临界载荷的影响。而压杆临界载荷由欧拉公式求出：

$$P_K = \frac{\pi^2 EJ}{\mu^2 l^2} \quad (14)$$

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 E}{\mu^2 \lambda^2} \quad (15)$$

式中 P_K ——临界载荷，公斤；

E ——材料弹性模量，公斤/厘米²；

J ——压杆截面对中性轴的惯性矩，厘米⁴， $J = FI^2$ ；

I ——截面最小惯性半径，厘米；

F ——截面面积，厘米²；

μ ——长度系数，两端看成铰接情况下 $\mu = 1$ ；

l ——压杆实际长度，厘米；

λ ——柔度系数；

$$\lambda = \frac{l}{I}。$$

所以
$$P_K = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} \quad (16)$$

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (17)$$

【例题】 有一管式桅杆承受荷重 $Q=78$ 吨，起重高度 $H=16$ 米，使用无缝钢管 $\phi 426 \times 9$ 毫米是否可以？

查表，无缝钢管 $\phi 426 \times 9$ 毫米的几何性质为：

$$F = 117.5 \text{ 厘米}^2$$

$$I = 14.5 \text{ 厘米}$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{I} = \frac{1600}{14.5} = 110$$

$$\begin{aligned} \sigma_K &= \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{2.1 \times 10^6 \times (3.14)^2}{110^2} \\ &= 1735 \text{ 公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

允许安全荷重为 ($K=2.5$)

$$[P] = \frac{F \sigma_K}{K} = \frac{1735 \times 117.5}{2.5} = 81.5 \text{ 吨}$$

所以 81.5吨>78吨, 安全

答: 能安全起吊78吨的荷重

2. 应用压弯应力组合公式计算

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} + \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad (18)$$

式中 σ ——管式桅杆承受压弯时产生的应力, 公斤/厘米²;

$[\sigma]$ ——管式桅杆的许用应力, 公斤/厘米²;

N ——管式桅杆中部承受轴向压力, 公斤;

M ——管式桅杆中部承受的弯矩, 公斤·厘米;

F ——截面面积, 厘米²;

W ——截面系数, 厘米³;

φ ——折减系数。

具体计算方法与木桅杆的计算方法相同, 这里不再举例说明。

为了便于选用, 若已知管式桅杆的断面尺寸和高度时, 起重量的估算见表5。

金属管式桅杆起重量估算表

表 5

起重量 (吨)	高 度 (米)					
	8	10	15	20	25	30
	管子断面尺寸(外径/壁厚, 毫米)					
3	152/6	152/6	219/8	299/9	351/10	426/10
5	152/8	168/10	245/8	299/11	351/11	426/10
10	194/8	194/10	245/10	299/13	351/12	426/12
15	219/8	219/10	273/8	325/9	351/13	426/12
20	245/8	245/10	299/10	325/10	377/12	426/14
30	325/9	325/9	325/9	325/12	377/14	426/14