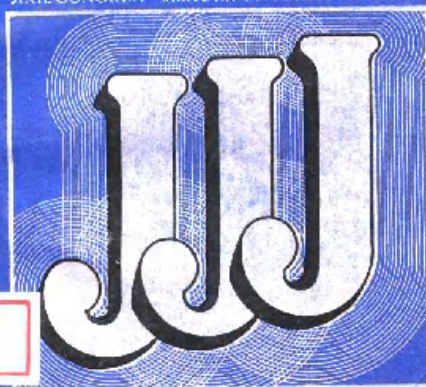


国家机械工业委员会统编

高级起重工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIEGONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



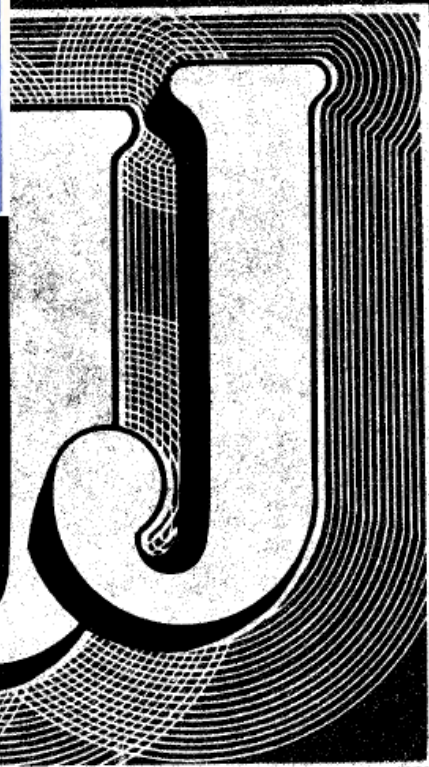
机械工业出版社

委员会统编

工艺学

理论培训教材

LILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书主要内容有起重机械(包括杆件的力学计算)结构作用原理、操作注意事项、国外起重机械概况、起重工艺操作、工程定额等,并从实际出发具体介绍了特殊情况下的工艺操作程序和起重工程定额的制定等。

本书是高级起重工的培训教材,亦可供有关工程技术人员学习与参考。

本书由南京汽轮机厂莫振声、马恒飞编写,南京起重机械总厂陈古陶、南京汽车制造厂顾华胜、无锡机床厂吴洪生审稿。

高级起重工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑:陈 萱 责任校对:申春香
封面设计:林胜利 方 芬 版式设计:霍永明
责任印制:张俊民

机械工业出版社出版(北京皇城根外百万庄附楼一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $737 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $6^{7/8}$ · 字数 149 千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—18,500 · 定价: 2.70元

ISBN 7-111-01172-4/TH·195

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前 言

第一章 起重机械	1
第一节 桅杆的计算方法	1
第二节 卷扬机功率的计算	23
第三节 卷筒上缠绕钢丝绳的长度计算	25
第四节 简单屋架与房梁的承载能力	27
第五节 桥式起重机的结构原理及使用	35
第六节 电梯的工作原理及使用	53
第七节 建筑用升降机	59
第八节 旋转起重机的主要结构原理及使用	59
第九节 其他类型起重机	81
第十节 国外起重机简介	102
复习题	105
第二章 复杂环境下的起重运输工作	107
第一节 坑道、地坑中的起重运输工作	107
第二节 窄小场所下的起重运输工作	112
第三节 高层屋面的起重运输工作	116
第四节 大坡度场所的起重运输工作	118
第五节 道路路面、基础不正常情况下的起重运输工作	121
第六节 易燃、易爆、易碎环境下的起重运输工作	122
复习题	125
第三章 大型物件的起重与运输	126
第一节 大型物件的运输与搬运	126
第二节 装卸移动大型桅杆	134

第三节	大型锅炉的吊装	139
第四节	大型镗床的吊装	150
第五节	大型屋面的吊装与运输	154
第六节	大型桥式起重机的吊装与运输	157
第七节	多台设备的联合吊装作业	160
第八节	大型塔类设备的吊装	163
第九节	起重运输作业中对大型设备的微量调整	168
复习题		169
第四章	大型物件起重运输方案的制定与实施	170
第一节	大型物件的性质分析	170
第二节	起吊运输方案的制定	171
第三节	大件吊装工艺的制定	172
第四节	调度指挥与实施	183
第五节	实施方案的总结	189
复习题		190
第五章	起重运输工程量的计算	191
第一节	起重运输工程量定额制订的原始依据	191
第二节	起重运输工程量的制定	199
第三节	现有工程定额介绍	202
第四节	定额的利用及工程量的预算	210
复习题		211

第一章 起重机械

起重机械包括各种简单的起重设备和各类起重机。它广泛使用在起重、运输、装卸和安装等作业中，以减轻体力劳动，提高劳动生产率或生产过程中进行某些特殊的工艺操作。对机械化和自动化生产，它更是一项不可缺少的物资搬运机械设备。

起重机械是一种间歇动作的机械，轻小型起重设备和升降机一般是单动作的，各类起重机都是多动作的。起重机通常都由机械、金属结构和电气等三大部分组成，机械部分主要有起升、运行、变幅、回转等机构。起重机有人力驱动的，液压驱动的，但多数是电力驱动的。

第一节 桅杆的计算方法

在起重工作中往往因工作条件及工作场所的限制，不能使用起重机械时，经常使用桅杆等起重设备来进行起重作业，所以，用安装桅杆来吊装设备在工作现场是很普遍的。常用的各式桅杆有：单桅杆、双桅杆、四桅杆、龙门桅杆、人字桅杆等。为了保证桅杆的安全使用，首先应掌握桅杆的计算方法，了解桅杆可能发生的损坏情况。

一般情况下桅杆的损坏情况有两种，一种是因桅杆本身的强度不够，对桅杆进行这方面计算称为强度计算；另一种损坏是因为桅杆过长过细，在工作中发生弯曲，拆断，这方面的计算称为稳定计算。

在进行桅杆计算之前，必须了解桅杆因结构及固定方法不同而具有不同的受力情况。如图1-1所示为单根斜立格构式桅杆吊装设备的受力分析图。

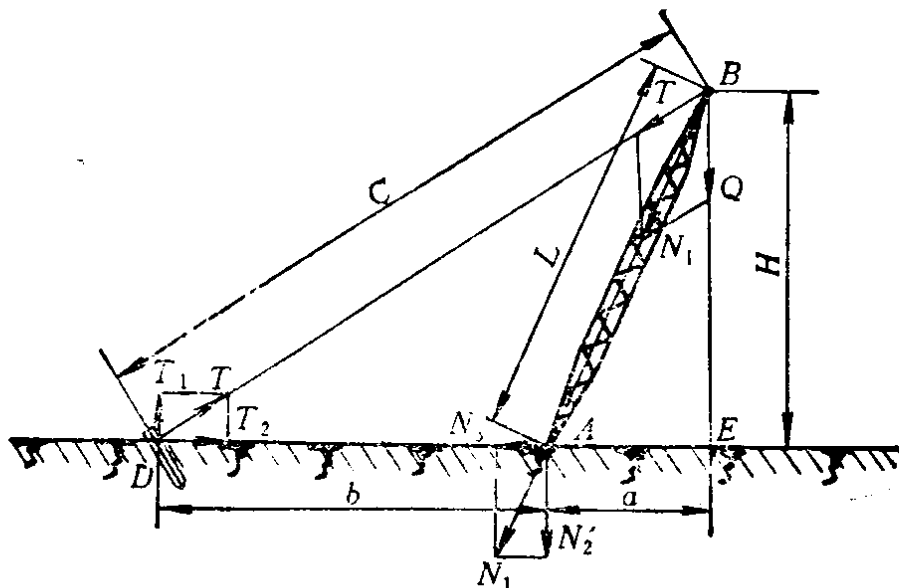


图1-1 斜立桅杆吊装设备受力分析图

已知桅杆高度 L 、桅杆倾斜于水平面投影长度 a 、桅杆底座到地锚之间的距离 b 、缆风绳长度 c 、桅杆顶部到地面的垂直距离 H 、被吊载荷 Q 、动荷系数 K ， $K=1.1$ ；

$Q_{st}=KQ$ （若考虑吊具及桅杆自重时，还应将其重量加入）

根据直角三角形 ABE 可求得：

$$H = \sqrt{L^2 - a^2}$$

由直角三角形 BDE 可求得：

$$c = \sqrt{H^2 + (a+b)^2}$$

吊重 Q 作用于桅杆的轴向压力为

$$N_1 = \frac{KQ(a+b)L}{bH}$$

缆风绳工作时的张力为:

$$T = \frac{Qac}{bH}$$

由缆风绳 T 产生的水平分力为:

$$T_2 = \frac{Qa(a+b)}{bH} = T \frac{a+b}{c}$$

由缆风绳 T 产生的垂直分力为:

$$T_1 = \frac{Qa}{b} = T \frac{H}{c}$$

由轴向压力 N 产生的垂直分力为:

$$N'_2 = \frac{Q(a+b)}{b} = N_1 \frac{H}{L}$$

由轴向力 N 产生的水平分力为:

$$N'_3 = \frac{Q(a+b)a}{bH} = N_1 \frac{a}{L}$$

根据上述各分力的计算式, 在已知数据的条件下可以求得各分力的大小。

例1 用一副格构式斜立桅杆吊装设备, 计算各部分受力情况。

已知条件为:

设备重 $Q=20\text{t}$;

桅杆长度 $L=25\text{m}$;

桅杆水平投影距 $a=5\text{m}$;

桅杆底座至地锚的距离 $b=30\text{m}$;

缆风绳的初拉力 $T_0=1.5\text{t}$;

缆风绳的根数 $n=4$;

跑绳的拉力为 $S_1=4.5\text{t}$;

桅杆自重 $G=4\text{t}$;

吊具重量 $q=1\text{t}$;

动载系数 $K=1.1$ 。

其受力分析见图1-2。

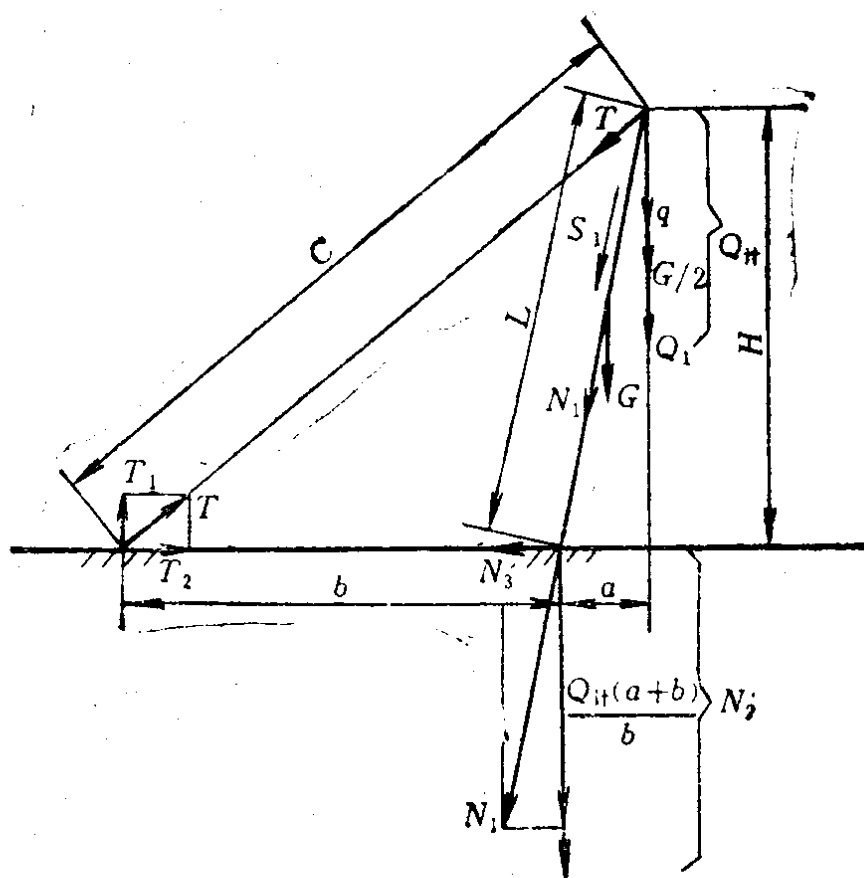


图1-2 斜立桅杆吊装设备受力计算图

解：由计算式可以求得：

$$H = \sqrt{L^2 - a^2} = \sqrt{25^2 - 5^2} = 24.5 \text{ m}$$

$$c = \sqrt{H^2 + (a+b)^2} = \sqrt{24.5^2 + (5+3)^2} = 42.7 \text{ m}$$

$$Q_H = KQ + q + \frac{G}{2} = (1.1 \times 20) + 1 + \frac{4}{2} = 25 \text{ t}$$

计算载荷 Q_H ，跑绳拉力 S_1 与缆风绳初拉力作用于桅杆上的轴向压力 N_1 为：

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{Q_{\text{H}}(a+b)L}{bH} + S_1 + \frac{nT_0L}{c} \\
 &= \frac{25(5+30) \times 25}{30 \times 24.5} + 4.5 + \frac{4 \times 1.5 \times 25}{42.7} \\
 &= 37.77 \text{ t}
 \end{aligned}$$

主缆风绳工作时产生的工作拉力为:

$$T = \frac{Q_{\text{H}}ac}{bH} = \frac{25 \times 5 \times 42.7}{30 \times 24.5} = 7.26 \text{ t}$$

主缆风绳工作张力 T 所产生的水平分力 T_2 为:

$$T_2 = \frac{T(a+b)}{c} = \frac{7.26(5+30)}{42.7} = 5.95 \text{ t}$$

主缆风绳工作张力 T 所产生的垂直分力 T_1 为:

$$T_1 = T \frac{H}{c} = 7.26 \times \frac{24.5}{42.7} = 4.17 \text{ t}$$

由轴向力 N_1 产生的垂直分力 N'_2 为:

$$N'_2 = N_1 \frac{H}{L} + \frac{G}{2} = 37.77 \times \frac{24.5}{25} + \frac{4}{2} = 39 \text{ t}$$

由轴向力 N_1 产生的水平分力 N'_3 为:

$$N'_3 = N_1 \frac{a}{L} = 37.77 \times \frac{5}{25} = 7.55 \text{ t}$$

根据以上受力分析, 所求得的各分力大小, 即可对桅杆等起重零件进行强度验算及稳定性验算。

关于桅杆的强度验算及稳定性验算, 在中级本中已有讲述, 可以参看, 亦可用本节简便的图解方法计算。

一、偏心压杆计算

工作中经常遇到杆件两端承受压力的情况, 例如起重作业中的起重桅杆, 机械构件中的杆类零件等, 当所施加的作用力不在杆件的轴线位置时, 杆件的受力情况属于偏心压杆的计算。在计算偏心压杆前, 要弄清楚压杆的临界力、惯性

半径、细长比等几个概念。

1. 压杆的临界力 P 承受压缩力的杆件，当其长度与直径相比较小时，在实际所承受的纯压缩应力还不很大的情况下，杆件也可能突然弯曲而引起折断，这种现象称为压杆失稳。此时压杆所承受的压力为压杆的临界力。

2. 压杆的惯性半径 K 压杆的惯性半径按下式计算。

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (1-1)$$

式中 K ——压杆的惯性半径 (cm)；

I ——压杆的惯性矩 (cm⁴)；

A ——压杆截面面积 (cm²)。

可见，惯性半径的含义是压杆的单位截面上惯性矩的平方根值。其数值的大小将影响着杆件细长比的大小，影响着受力杆件临界力的数值大小。不同截面惯性半径的数据可在有关的材料手册中查到。

圆形管状压杆的惯性半径可按下式计算

$$K = 0.356 D_m \quad (1-2)$$

$$D_m = d_{\text{外}} - t$$

式中 D_m ——管子的平均直径 (cm)；

$d_{\text{外}}$ ——管子外径 (cm)；

t ——管子壁厚 (cm)。

3. 压杆细长比 λ 压杆细长比按下式计算。

$$\lambda = \frac{L}{K} \quad (1-3)$$

式中 L ——杆件长度 (cm)；

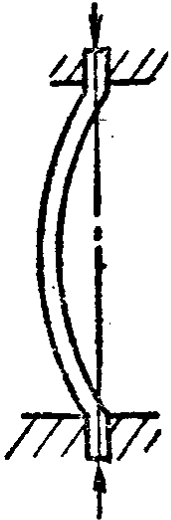
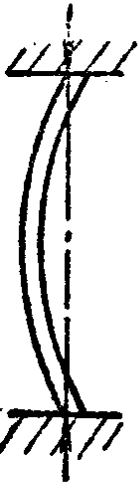
K ——压杆的惯性半径 (cm)。

可见，压杆的细长比是杆的长度与杆的惯性半径之比。

4. 压杆的长度系数 m 和材料系数 n 杆件在实际工作中因固定的方法不同而具有不同数值的压杆长度系数 m ；因杆件材质不同而不同的材料系数 n 。

压杆长度系数见表1-1

表1-1 压杆长度系数

杆件固定方式	圆端头两端自由	两端铰链两端均自由	两端固定
m 数值	1	1	4
压杆形式			
杆件固定方式	四方平顶	一端固定一端自由	一端固定一端无支
m 数值	1~4	2.05	1/4
压杆形式			

木材	$n = 60$
铸铁	$n = 80$
高碳钢	$n = 85$
低碳钢	$n = 90$

5. 惯性半径与细长比的计算图表 在已知杆件长度 L

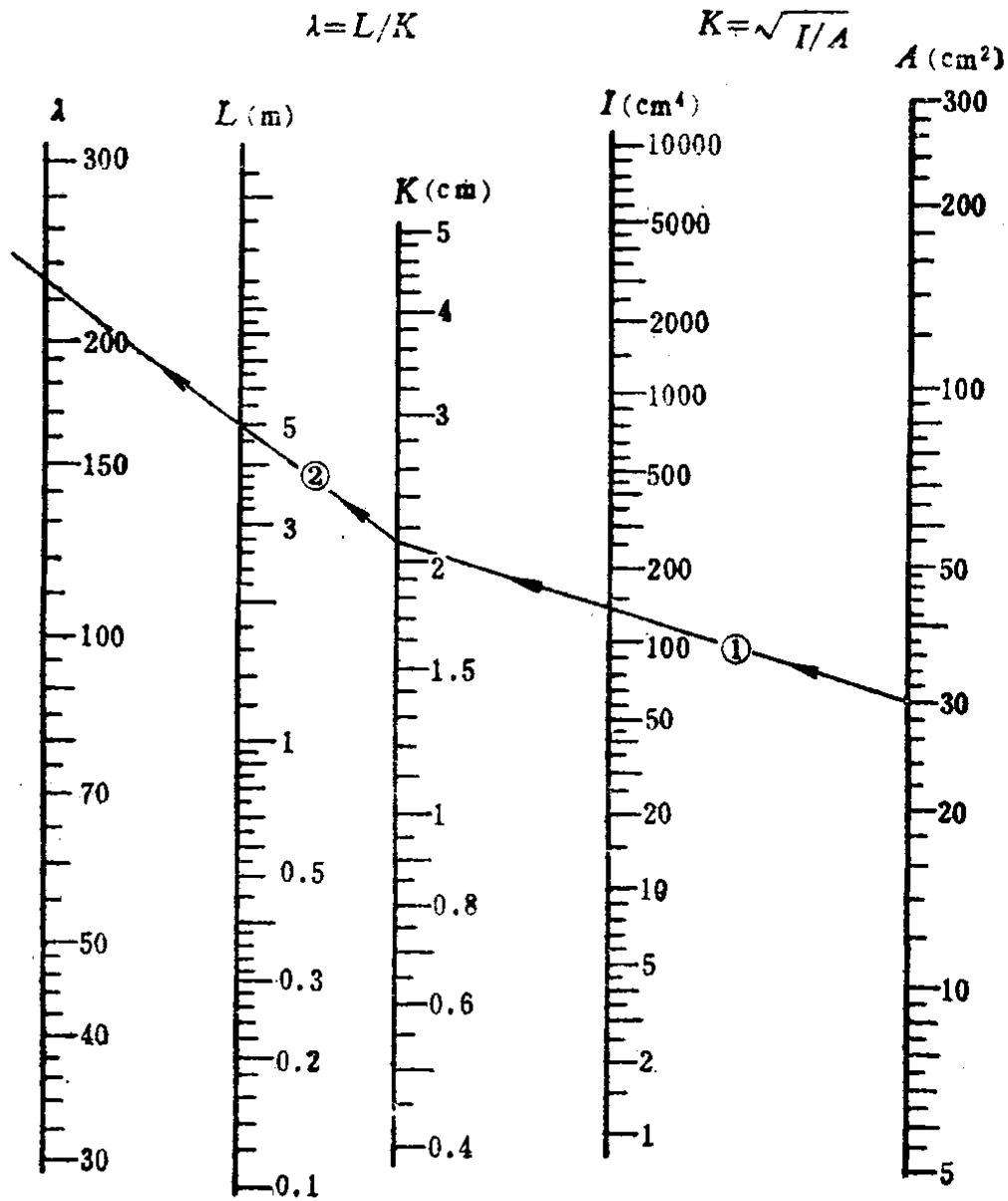


图1-3 惯性半径与细长比的计算

(cm), 截面面积 $A(\text{cm}^2)$, 惯性矩 $I(\text{cm}^4)$ 时, 可以利用图1-3求得细长比及惯性半径的数值。

例2 截面面积 $A=30\text{cm}^2$, 惯性矩 $I=140\text{cm}^4$, 杆长 $L=5\text{m}$, 试求其惯性半径和细长比为多少?

解 (1) 将 A 刻度线上的30与 I 刻度线上的140连成直线并向左延伸, 在与 K 刻度线的交点上求得 $K=2.1\text{cm}$ 。

(2) 将该点与 L 刻度线上5连成直线并向左延伸, 与 λ 刻度线相交可得 $\lambda=230$ 。

6. 临界力的计算 临界力的计算为压杆的安全使用提供依据。临界力的计算可以通过已知杆件的具体几何尺寸及形状、材质等条件进行, 实际工作中杆件所承受的外力(轴向压力)不得大于计算值。

临界力的计算按杆件的细长比数值的大小, 分为三个数值范围, 即 $\lambda > n\sqrt{m}$; $30 < \lambda < n\sqrt{m}$; $\lambda < 30$, 还有稳定安全系数法, 也将在后面介绍。

(1) 当 $\lambda > n\sqrt{m}$ 时, 临界力按下式计算

$$P = \frac{m\pi^2 EA}{\left(\frac{L}{K}\right)^2} = \frac{m\pi^2 EA}{\lambda^2} = \sigma A \quad (1-4)$$

式中 P ——临界力(N);

E ——材料的拉压弹性模量(Pa);

m ——压杆的长度系数, 见表1-1;

A ——压杆截面积(m^2);

λ ——压杆细长比;

K ——惯性半径(cm);

L ——压杆长度(cm);

σ ——相当应力(Pa)。

由式(1-4)求得杆件临界力后还需根据工作场所和起重作业类别的不同,除以不同的工作安全系数,以此求得工作载荷。

从上式计算可以看出,为适应工作需要而提高或降低临界力时,可以通过改变压杆截面面积及惯性半径的方法来达到。实际工作中可以利用图1-4进行计算。将计算得到的临界力数值除以工作安全系数,即可求得工作载荷。

例3 设有一两端固定的某种型号工字钢,长 $L=5\text{m}$,横截面积 $A=30\text{cm}^2$,最小惯性半径 $K=2.17\text{cm}$, $\lambda=230$ 。作为压杆使用时,试求可承受的工作载荷为多少?

解 (1) 钢的弹性模量 $E=21\times 10^{10}\text{Pa}$,在图1-4中将 E 刻度线上的 21×10^{10} 与 m 刻度线上4连成直线,与无刻度线轴交于 a 点。

(2) 将 λ 刻度线轴上的230与无刻度线轴上的 a 点连成直线,与左侧 σ 刻度线相交点上的读数,即为 $\sigma=1.56\times 10^8\text{Pa}$ 。

(3) 将该点与 A 刻度线上的30连成直线,与 P 刻度线相交,取其交点上读数,即可知临界力 P 为 $46.5\times 10^4\text{N}$ 。

(4) 设工作安全系数为5,则安全的工作载荷为 $46.5\times 10^4\div 5=9.3\times 10^4\text{N}$ 。

(2) 当 $30<\lambda<n\sqrt{m}$ 时临界力的计算

$$P=\sigma A$$

$$\sigma = \frac{\sigma_c}{1 + \frac{a}{m} \left(\frac{L}{K} \right)^2} = \frac{\sigma_c}{1 + \frac{a}{m} \lambda^2} \quad (1-5)$$

式中 A ——压杆截面面积(m^2);
 σ_c ——材料的抗压强度(Pa);

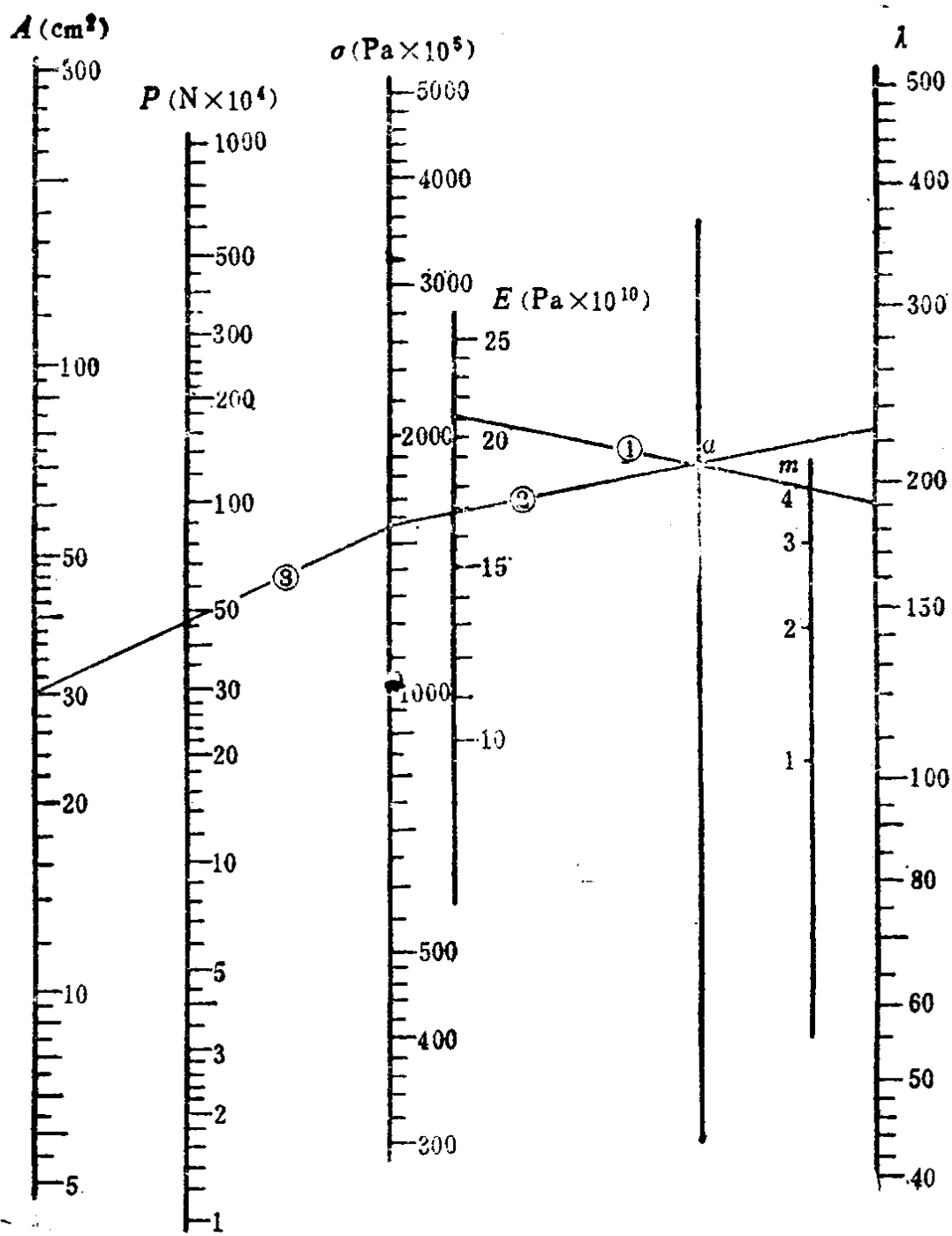


图1-4 当 $\lambda > n\sqrt{m}$ 时临界力的计算

- a —— 实验常数，可查表1-2；
- m —— 压杆长度系数，按表1-1选取；
- K —— 惯性半径 (cm)；
- L —— 杆件长度 (cm)；