

起重机计算实例



中国铁道出版社

起 重 机 计 算 实 例

陈国璋、孙桂林、金永懿、孙学伟、徐秉业 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 褚书铭 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168毫米 $\frac{1}{16}$ 印张: 19.75 字数: 520 千

1985年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,000册 定价: 4.25元

前 言

随着国民经济的迅速发展，起重机越来越得到广泛使用。近年来，一些起重机技术人员，在设计计算中常常遇到一些困难，而又没有一本适合我国实际情况的《起重机计算实例》的书作参考。为了满足工程技术人员工作的需要，帮助读者掌握桥式起重机和龙门起重机设计计算的必要知识（如：分析起重机工作条件，合理选择方案，制定各机构的传动系统，确定各驱动装置的功率，计算各零件的强度和寿命，计算设计金属结构获得的最大经济效益），我们编写了《起重机计算实例》一书。

本书在阐述设计计算基本理论、计算方法的同时，力求通过介绍典型实例，使读者能触类旁通进行起重机计算。本书在反映实用性方面，作了一些努力。

编写分工如下：陈国璋——第三、四、九章；孙桂林——第一、二章和第六章一至四节；金永懿——第五、七章和第六章第五节；孙学伟——第八章；徐秉业——第十章。全书由陈国璋进行内容和文字修订。完稿后，又经上海交通大学起重运输机械专业周国梁、倪庆兴二位同志认真审阅，对此表示衷心感谢。

我们水平有限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

一九八四年九月于北京

目 录

第一篇 起重机计算基础	1
第一章 起重机的计算原则	1
第一节 起重机工作级别.....	1
第二节 机构工作级别.....	3
第三节 新旧工作类型、工作级别之间的关系.....	6
第四节 计算载荷的分类.....	7
第五节 计算载荷.....	8
第六节 强度计算.....	21
第七节 疲劳强度计算.....	22
第八节 等效载荷的计算.....	25
第九节 安全系数.....	28
第二章 起重机各机构主要零部件的计算	30
第一节 吊 钩.....	30
第二节 钢丝绳的选择.....	33
第三节 滑轮与卷筒.....	35
第四节 制 动 器.....	39
第五节 联 轴 器.....	48
第六节 车轮计算.....	49
第七节 轴承的计算.....	54
第八节 缓 冲 器.....	56
第九节 齿轮与减速器的计算.....	59
第二篇 桥式起重机	65
第三章 20吨箱形双梁桥式起重机的计算	65
第一节 型式及主要技术参数.....	65
第二节 起重小车的计算.....	67

第三节	箱形双梁桥架的计算	118
第四节	大车运行机构的计算	153
第四章	12.5吨曲腹板双梁桥式起重机桥架的计算	170
第一节	曲腹板梁起重机简介	170
第二节	曲腹板梁技术性能	179
第三节	曲腹板主梁设计与计算	182
第五章	5吨电动单梁桥式起重机桥架的计算	202
第一节	型式及主要技术参数	202
第二节	主梁计算	203
第三节	端梁计算	214
第四节	主、端梁连接计算	222
第三篇	龙门起重机	227
第六章	20吨单主梁龙门起重机的计算	227
第一节	单主梁龙门起重机的设计参数	227
第二节	L型支腿龙门起重机的总体稳定性计算	229
第三节	起重小车的计算	233
第四节	大车运行机构的计算	284
第五节	金属结构的计算	302
第七章	10吨抓斗龙门起重机金属结构的计算	339
第一节	总体计算	339
第二节	主梁计算	347
第三节	支腿计算	362
第四节	门形架(马鞍)计算	379
第五节	联接部分计算	387
第八章	20吨桁架式龙门起重机金属结构的计算	392
第一节	主要技术参数和结构简图	392
第二节	载荷计算	394
第三节	主梁计算	408
第四节	支腿计算	440
第五节	门架下横梁计算	455

第九章	5D型集装箱龙门起重机的计算	459
第一节	总图和基本参数	459
第二节	金属结构计算	461
第十章	10吨电葫芦龙门起重机金属结构计算	534
第一节	龙门起重机结构造型及技术参数	534
第二节	载荷计算	536
第三节	主梁桁架内力计算及截面选择	539
第四节	刚性腿主支承梁内力计算及强度校核	566
附录		576

第一篇 起重机计算基础

第一章 起重机的计算原则

第一节 起重机工作级别

起重机根据载荷状态和利用等级分为A1至A8八个工作级别。其目的是为了合理地设计、制造和使用起重机，提高零部件的三化水平，取得满意的技术经济效果。

起重机工作级别表

表 1 — 1

载荷状态	名义载荷谱系数 K_p	利 用 等 级									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q1	0.125			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2	0.25		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q3	0.5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q4	1.0	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

注：（1）起重机工作级别举例，见附录1；
（2）表中左上角空白处同为A1，右下角空白处同为A8。

表 1 — 1 是起重机工作级别的划分表。

起重机的利用等级

起重机的利用等级是按起重机整个有效寿命期内总的工作循环次数 N 来划分的，分为十级，即 $U_0 \sim U_9$ 。

表 1 — 2 是起重机的利用等级。

起重机的载荷状态

载荷状态是表征起重机受载的轻重程度，它与以下两因素有关；

起升载荷 P_i 与作用在机构上的最大起升载荷 P_{max} 之比:

$$\frac{P_i}{P_{max}}$$

起重机的利用等级表 表 1—2

利 用 等 级	总的工作循环次数 N	附 注
U_0 U_1 U_2 U_3	1.6×10^4 3.2×10^4 6.3×10^4 1.25×10^5	不经常使用
U_4	2.5×10^5	经常轻闲地使用
U_5	5×10^5	经常中等地使用
U_6	1×10^6	不经常繁忙地使用
U_7 U_8 U_9	2×10^6 4×10^6 $> 4 \times 10^6$	繁忙地使用

起升载荷 P_i 的作用次数 n_i 与各种起升载荷总的作用次数 N 之比:

$$\frac{n_i}{N}$$

表示 $\left(\frac{P_i}{P_{max}}\right)$ 和 $\left(\frac{n_i}{N}\right)$ 关系的图形称为载荷谱。载荷谱系数

K_p 由下式计算:

$$K_p = \sum \left[\frac{n_i}{N} \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right)^m \right] \tag{1-1}$$

式中 P_i ——第 i 个起升载荷, $P_i = P_1, P_2, P_3, \dots$;

P_{max} ——作用在机构上的最大起升载荷(额定载荷);

n_i ——载荷 P_i 的作用次数;

N ——总的工作循环次数, $N = \sum n_i$;

m ——与疲劳设计有关的指数, $m = 3$;

表 1—3 是起重机的载荷状态及其名义载荷谱系数 K_p 值表。

起重机的载荷状态及其名义载荷谱系数 K_p 表 表 1—3

载 荷 状 态	名义载荷谱系数 K_p	附 注
Q1—轻	0.125	很少起升额定载荷，一般起升轻微载荷
Q2—中	0.25	有时起升额定载荷，一般起升中等载荷
Q3—重	0.5	经常起升额定载荷，一般起升较重的载荷
Q4—特重	1.0	频繁地起升额定载荷

根据起重机的利用等级（表 1—2）和起重机的载荷状态（载荷谱系数 K_p ），按表 1—1 确定起重机的工作级别。起重机的工作级别主要反映金属结构的工作特性（金属结构的受载次数大致上就是各种起升载荷总的作用次数）。当然也反映了机构某些零件部件的工作特性。这一点和以前的工作类型级别有所不同。

第二节 机构工作级别

机构的工作级别是根据机构的利用等级和机构载荷状态来划分的。

机构的利用等级是按机构总使用寿命来划分的。总的使用寿命是指机构在设计的使用年数内处于运转状态的总小时数。根据总的运转小时数将机构利用等级分为十级。表 1—4 是机构利用等级表。

机构载荷状态

机构的载荷状态表征机构受载的轻重程度，它用载荷谱系数 K_m 表示。 K_m 用（1—2）式计算：

$$K_m = \Sigma \left[\frac{t_i}{t_T} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m \right] \quad (1-2)$$

式中 P_i ——机构在工作时间内承受的各个不同的载荷。

$$P_i = P_1, P_2, P_3, \dots P_n;$$

t_i ——机构承受各个不同载荷作用的持续时间;

$$t_i = t_1, t_2, t_3 \dots t_n;$$

$P_{\max}$ ——作用在机构上的最大载荷;

t_T ——所有不同载荷作用的持续时间的总和;

$$t_T = \Sigma t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n;$$

m ——机构零件材料疲劳试验曲线的指数, 取 $m = 3$ 。

机构利用等级表

表 1—4

机构利用等级	总使用寿命 (小时)	附 注
T_0	200	不经常使用
T_1	400	
T_2	800	
T_3	1600	
T_4	3200	经常轻闲地使用
T_5	6300	经常中等地使用
T_6	12500	不经常繁忙地使用
T_7	25000	繁忙地使用
T_8	50000	
T_9	100000	

当 $m = 3$ 时, (1—2) 式可写成 (1—3) 式

$$K_m = \frac{t_1}{t_T} \left(\frac{P_1}{P_{\max}} \right)^3 + \frac{t_2}{t_T} \left(\frac{P_2}{P_{\max}} \right)^3 + \frac{t_3}{t_T} \left(\frac{P_3}{P_{\max}} \right)^3 + \dots + \frac{t_n}{t_T} \left(\frac{P_n}{P_{\max}} \right)^3 \quad (1-3)$$

当某机构的载荷情况已知时, 可按 (1—3) 式计算出该机构的实际载荷谱系数, 然后按表 1—5 选择不小于它但最接近的名义载荷谱系数作为该机构的载荷谱系数。

机构载荷状态及其名义载荷谱系数 K_n 表 1—5

载 荷 状 态	名义载荷谱系数 K_n	附 注
L1—轻	0.125	机构经常承受轻微载荷，偶而承受最大载荷
L2—中	0.25	机构经常承受中等载荷，较少承受最大载荷
L3—重	0.50	机构经常承受较重载荷，也常承受最大载荷
L4—特重	1.00	机构经常承受最大载荷

表 1—5 是机构载荷状态及其名义载荷谱系数表。

图 1—1 是与表 1—5 相对应的载荷谱图。

当某机构的实际载荷状态未知时，可根据经验从表 1—5 和图 1—1 选择出一种合适的载荷状态作为该机构的载荷谱。

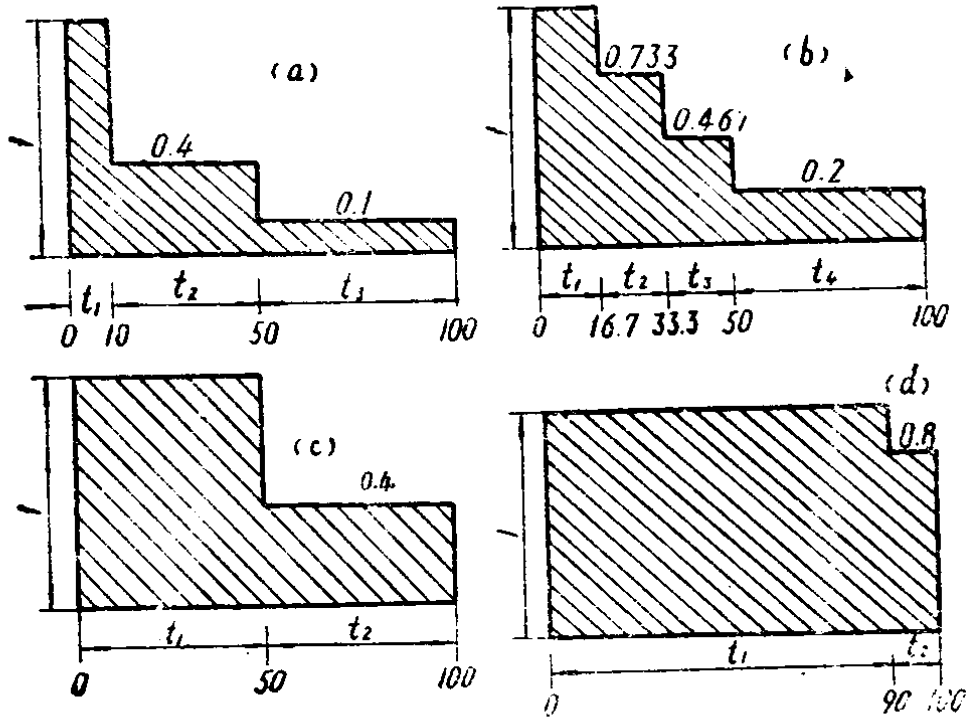


图 1—1 起重机机构的标准载荷图

(a) L1—轻； (b) L2—中； (c) L3—重； (d) L4—特重

机构工作级别

根据机构的利用等级和载荷状态，可从表 1—6 中确定出机构的工作级别，机构的工作级别分为八级，即 $M_1 \sim M_8$ 。

机构工作级别表 表 1 — 6

载荷状态	名义载荷谱系数 K_m	机 构 利 用 等 级									
		T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
L_1 —轻	0.125			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L_2 —中	0.25		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
L_3 —重	0.50	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L_4 —特重	1.00	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			

附录 2 是典型起重机的机构工作级别表。

第三节 新旧工作类型、
工作级别之间的关系

国内以前沿用起重机的工作类型，按照其载荷率和工作忙闲程度，分为以下四种类型：轻级、中级、重级和特重级。

表 1 — 7 是起重机机构工作类型的分类表。

起重机机构工作类型的分类 表 1 — 7

机构载荷率	工 作 忙 闲 程 度		
	轻 闲	中 等	繁 忙
	工作时间短、停歇 时间长 $t_{总} < 500$ (小时/年)	不规则、间断工作 $t_{总} = 500 \sim 2000$ (小时/年)	接近连续、循环工 作 $t_{总} > 2000$ (小 时/年)
小	轻 级	轻 级	中 级
中	轻 级	中 级	重 级
大	中 级	重 级	特 重 级

注： $t_{总}$ —— 机构一年工作总时数。

表 1 — 8 是起重机机构工作类型的设计标准。

设计起重机时，一般可按表 1 — 8 规定的起重机机构工作类型的设计标准进行。

起重机机构工作类型的设计标准 表 1 — 8

工作类型	划 分 指 标				
	工作忙闲程度		载 荷 变 化 程 度		
	起重机年工作总小时数 $T_{总}$ (小时/年)	机构运转时间率 $J C \%$	机构载荷图	$n_{循}$	$n_{机}$
轻 级	1000	15	略	5	$\frac{30}{20}$
中 级	2000	25		10	$\frac{60}{40}$
重 级	4000	40		20	$\frac{120}{80}$
特 重 级	7000	60		40	$\frac{240}{160}$

注： $n_{循}$ —— 起重机一个工作小时内的工作循环数（一年内的平均数）；
 $n_{机}$ —— 机构每小时开动次数，分子适用于起升机构，分母适用于运行、旋转等机构。
 $n_{机} = n_{循} \cdot n_{开}$ ， $n_{开}$ 为起重机一个工作循环内机构的开动次数，起升机构取 $n_{开} = 6$ ，运行机构取 $n_{开} = 4$ 。

本书所介绍的新的起重机工作级别的规定同旧的工作类型分类是不同的。为了便于过渡，可以从中找到一些相当的关系。在起重机的工作级别中 A1~A4 相当于轻级，A5~A6 相当于中级，A7 相当于重级，A8 相当于特重级。

在机构工作级别中，M1~M4 相当于轻级，M5~M6 相当于中级，M7 相当于重级，M8 相当于特重级。其中 M4 在轻级和中级之间，M6 在中级和重级之间，M7 在重级和特重级之间也存在交叉的情况。

第四节 计算载荷的分类

在起重机的设计计算中，对于起重机的零部件或结构需要进行以下三类计算；

1. 疲劳、磨损或发热计算;
2. 强度计算;
3. 强度或稳定性验算。

与上述三类计算相对应,起重机的计算载荷也分为下列三种组合。

第Ⅰ类载荷,也称疲劳(耐久性)计算载荷。它只考虑起重机在正常工作状态下所承受的经常作用的载荷,其中包括自重载荷、起升载荷、平稳启动或制动时产生的惯性载荷、风载荷等。第Ⅰ类载荷用于疲劳、磨损或发热计算。

第Ⅱ类载荷,也称强度计算载荷。它包括起重机在容许的最繁重的使用条件下的各种最大载荷,其中有自重载荷,起升载荷、猛烈启动或制动时产生的惯性载荷、工作状态下的最大风载荷、水平侧向载荷、碰撞载荷等。第Ⅱ类载荷用于零部件或金属结构的强度、稳定性以及起重机的整体稳定性(载重稳定性)、轮压计算等。

第Ⅲ类载荷,也称验算载荷,它是指起重机处于非工作状态下可能出现的最大载荷,包括自重载荷、非工作状态下的最大风载荷、温度载荷和地震载荷以及运输、安装、试验载荷等。这类载荷用于验算起重机支承零部件和金属结构的静强度和整体稳定性(自身稳定性)以及起重机的固定设备(夹轨器、锚定装置)等。

第五节 计 算 载 荷

作用在起重机上的载荷主要有自重载荷、起升载荷、惯性载荷、冲击载荷、风载荷、坡度载荷、起重机偏斜运行时的水平侧向载荷、碰撞载荷。此外还有安装和运输载荷以及某些工艺性载荷等。地震载荷及冰雪载荷一般不考虑。

一、自重载荷 P_G

起重机自重包括：起重机金属结构自重、机械设备自重、电器设备自重以及附设在起重机上的其它装置的自重。

在开始设计起重机时，自重载荷是未知的，这时，可以参考类型相同、参数相近的起重机自重进行估算，经过初步设计计算之后，再来修正。

也可以参考图 1—2 通用桥式起重机自重曲线，取一个估算值，再作某些修正。

图 1—2 是根据中级工作类型（A5—A6）通用桥式起重机的起重量 Q 、跨度 L 与整台起重机自重的变化关系描绘出来的曲线。对于重级工作类型（A7）的桥式起重机自重估算值应考虑比图中数值增加10~20%左右。

对于龙门起重机的自重可根据有无悬臂作如下粗略估算：

无悬臂的龙门起重机自重：

$$P_G^{\text{龙}} = P_G [1 + (0.2 \sim 0.4) H_{\text{腿}}] \quad (1-4)$$

有悬臂的龙门起重机自重：

$$P_G^{\text{龙}} = 0.7 \sqrt{Q \cdot L_0 \cdot H} \quad (1-5)$$

式中 P_G ——参数相近的通用桥式起重机自重（吨）；

$P_G^{\text{龙}}$ ——所求的龙门起重机自重（吨）；

$H_{\text{腿}}$ ——龙门起重机支腿高度（米）；

Q ——起重量（吨）；

L_0 ——龙门起重机主梁全长（米）；

H ——起升高度（米）。

公式（1—4）、（1—5）只适用于起重量在75吨以下的通用龙门起重机。

通常，带悬臂的通用龙门起重机，支腿的总重量约为上部主梁总重量的0.7~0.9倍。

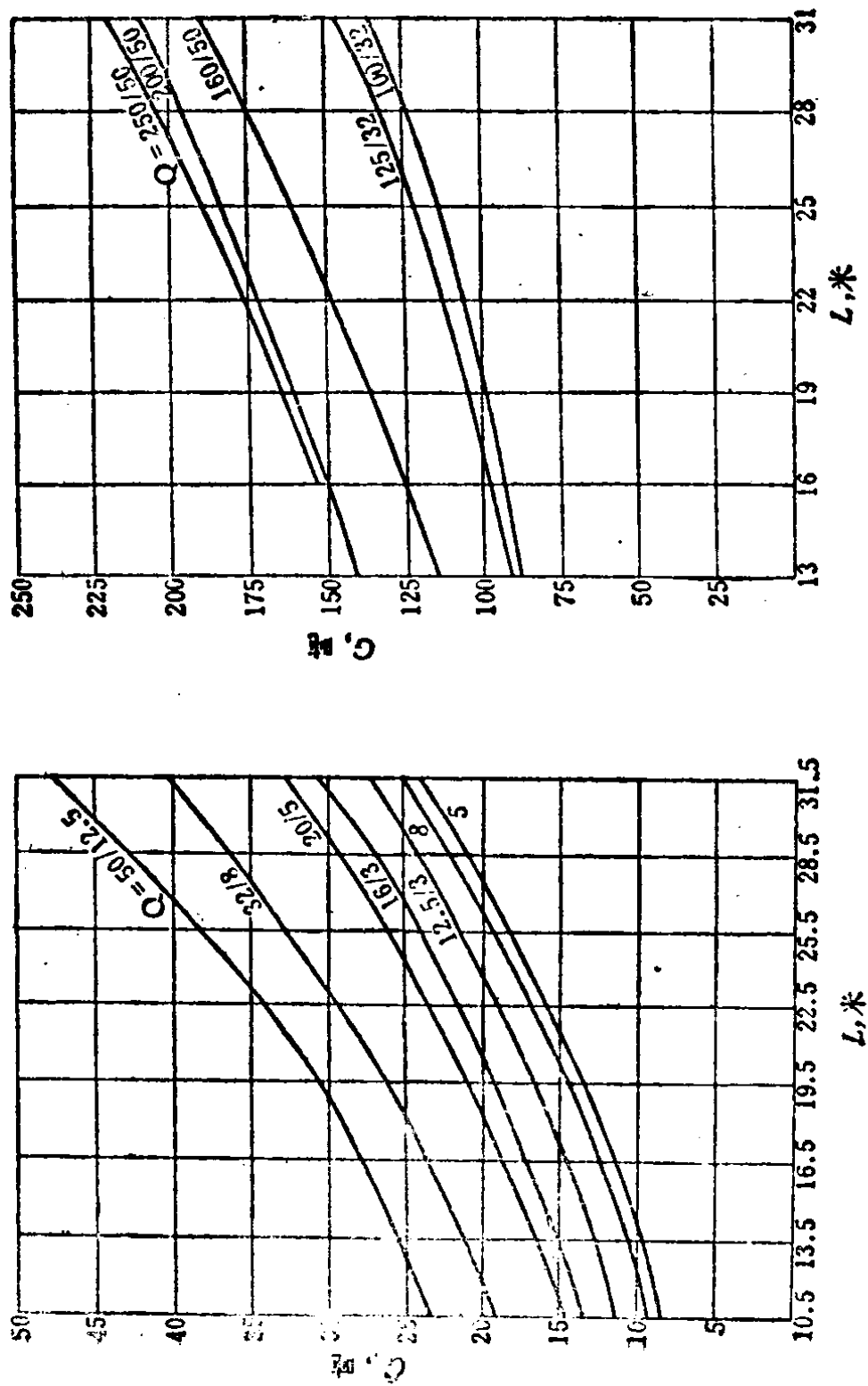


图 1—2 通用桥式起重机自重曲线图

二、起升载荷 P_Q

起升载荷是指起升机构工作时，处于升降运动中的所有质量的重力。它包括：允许起升的最大物品重力、取物装置（下滑轮组、吊钩、吊梁、抓斗、容器、起重电磁铁、集装箱吊具等）的重力、悬挂挠性件以及其它处于升降中的设备等的重力。当起升高度小于50米时，起升钢丝绳的重力可不考虑。

三、动 载 荷

动载荷是由于起重机机构运动状态改变时（如起动、制动），产生的振动载荷和惯性载荷的总称，它是强度计算载荷的组成部分，对疲劳计算也有影响。

（一）机构传动零件的最大动载荷

机构传动零件的最大动载荷，通常采用动力系数的方法来表示。动力系数是机构最大动载荷与静载荷（或电动机额定力矩）的比值。

对于电动起重机，传动零部件的最大动载荷按（1—6）式计算：

$$M_{max} = \psi_{II} M_{零额} \quad (1-6)$$

式中 M_{max} ——所计算的零件传递的最大力矩；

$M_{零额}$ ——电动机额定力矩换算到所计算零件上的力矩；

ψ_{II} ——第II类载荷的动力系数。

动力系数不仅与机构的工况有关，也同所计算零件在传动系统中的位置、传动系统中质量的分布情况等因素有关。

在初步设计计算时，动力系数可按表1—9选用，然后根据公式（1—6）计算最大力矩。

（二）金属结构及其它承载零部件的最大动载荷

1. 起升机构工作时的动载荷

当物品突然离地起升或物品突然下降制动时，对金属结构会产生一个附加的动载荷。此动载荷仍采用动力系数的方法来表