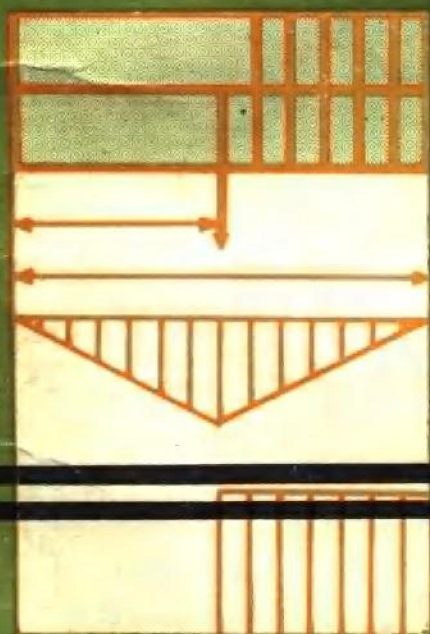


起重运输 机械计算



中国铁道出版社

РАСЧЕТЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ И ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН

Ф.К.ИВАНЧЕКО В.С.БОНДАРЕВ

Издательское объединение «Выща школа». 1978

起重运输机械计算

Ф.К.伊万琴柯等著

沈静宝 陈国璋 何玉章 陈连生译

中国铁道出版社出版

责任编辑 褚书铭

封面设计 翟 达

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: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: 20.125 字数: 511千

1982年7月第1版 1982年7月第1次印刷

印数: 0001—8,000册 定价: 2.50元

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

人民，只有人民，才是創造世界历史的动力。

鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建设社会主义。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

内 容 简 介

本书阐述了起重运输机械的设计计算。列举了起重机械（桥式起重机、旋臂起重机、运行臂架起重机、机构液压传动等）和运输机械（带式输送机、板式输送机、刮板输送机、螺旋输送机、振动输送机、斗式提升机、气力输送装置和液力输送装置等）的计算方法和实例。书中还提出了起重机使用经济效果的计算原则，并对桥式起重机和带式输送机进行了具体计算。

本书按原文第二版译出。原书经苏联高等和中等专业教育部批准为工科大学的教学参考书。

本书可供从事起重运输机械设计计算的技术、管理及教学人员参考。

前 言

起重运输机械是现代生产不可缺少的组成部分。借助起重运输机械可以实现主要工艺流程和辅助作业的机械化。在流水线和自动线中,起重运输机械的作用大大提高了,它们已构成工艺设备的有机组成部分;同时对企业的技术经济指标具有重大影响。

提高起重运输机械的生产效率,改进它们的技术经济指标,增加其强度、可靠性和使用寿命,这些都是与采用最新的设计计算方法分不开的。

工程技术人员应当掌握起重运输机械基本计算的必要知识,并且要会恰当地选用它们以便为其它设备配套。“起重运输机械”课程是大学生一般技术培养的基础,有助于发展他们的设计技巧和进行设计师的基本训练。在进行具体设计时,要分析该机器的工作条件,制定各机构的传动系统,正确地布置各种部件与机构,计算作用于机器各构件上的载荷,确定机器的生产率、驱动装置的功率,计算各零部件的强度和寿命,计算金属结构,研究机器的最佳参数及其某些部件,以及确定由于采用所选择的这套设备所获得的技术经济效益。

本书介绍的各种典型起重运输机械的计算,由于方案不同,从设计方法的角度上对某些标准参数作了若干变动。驱动装置功率的精确确定和起重运输机械零件强度以及耐久性的计算是本书内容的一大重点。

书中的各种计算基本上是按苏联起重运输机械制造科学研究所制定的方法进行的。此外,还阐述了起重机械和运输机械动载荷的计算原则,并附有计算实例。在计算中根据“机械原理”课程采用转动惯量代替飞轮矩。这样就保持了课程的连续性,同时大大简化了各种公式与计算。

书中的动力学计算部分将有助于提高读者对机械动力学、强度和可靠性研究的兴趣。

由于液压传动装置具有一系列优点，近年来在起重运输机械上得到日益广泛的应用。在本书第五章里列举了液压传动装置的计算实例和对它提出的要求。

目 录

第一章 起重运输机械的计算原则	1
第一节 起重机械的工作类型	1
第二节 计算载荷	6
第三节 具有振动特性的动力载荷计算	10
第四节 运输机械的工作类型和载荷	21
第五节 机构零件强度计算原则	36
第六节 电力驱动的计算原则	38
第七节 起重运输机械采用的材料	43
第二章 桥式起重机计算	48
第一节 桥式起重机的用途和结构型式、原始参数	48
第二节 起升机构的计算	51
第三节 带起重电磁铁和抓斗的起升机构的结构特点及其 计算	106
第四节 小车运行机构的计算	111
第五节 起重机运行机构的计算	125
第六节 桥式起重机金属结构的计算	141
第七节 电动葫芦计算	174
第三章 旋转臂架起重机的计算	194
第一节 转柱起重机	194
第二节 定柱式旋臂起重机的计算	218
第四章 运行式臂架起重机的计算	234
第一节 塔式起重机的计算	234
第二节 履带起重机的计算	293
第五章 起重机机构容积式液压传动装置的计算	303
第一节 对容积式液压传动装置的要求	303
第二节 桥式起重机机构液压传动装置的计算	314
第三节 门座起重机旋转机构液压传动装置的计算	323
第六章 具有挠性牵引构件的运输机械计算	326

第一节	在电动状态下工作的带式输送机计算	326
第二节	朝物料运输方向向下倾斜的带式输送机计算	361
第三节	带式给料机计算	367
第四节	压带式大倾角带式输送机的计算	371
第五节	花纹带式输送机的计算	395
第六节	块状横栏板大倾角带式输送机的计算	402
第七节	垂直带式输送机的计算	408
第八节	刮板输送机的计算	417
第九节	板式输送机的计算	426
第十节	空间管式刮板输送机的计算	432
第十一节	悬挂输送机的计算	439
第十二节	小车式输送机的计算	444
第十三节	推链输送(机)小车的计算	447
第十四节	带斗式提升机的计算	453
第十五节	链斗式提升机的计算	463
第七章	无挠性牵引构件的运输机械的计算	469
第一节	螺旋输送机的计算	469
第二节	输送管的计算	473
第三节	驱动式辊子输送机的计算	475
第四节	惯性摆动输送机的计算	480
第五节	振动输送机的计算	483
第六节	液力输送装置的计算	490
第七节	气力输送装置的计算	494
第八章	起重运输机械使用经济效果的计算	501
第一节	方法说明	501
第二节	在机器制造工厂的车间中桥式起重机经济效果的计算	507
第三节	带式输送机经济效果的计算	511
附 录		517

第一章 起重运输机械的计算原则

第一节 起重机械的工作类型

工作的周期性以及机构的频繁起动、停车和逆转是起重机械的特点。起重机械的工作类型是由作业的繁忙程度、使用条件、机器的类型和用途来确定的。必须合理地选择工作类型以计算起重机的机构和金属结构。零件强度安全系数、机构和金属结构计算时的动力系数、制动安全系数、电动机的参数和型号都是根据工作类型选取的。电动机的工作制由工作时间与停歇时间的比值和负荷特性区分为三种：连续工作制、短暂工作制和重复短暂工作制。起重机机构专用电动机属于重复短暂工作制，在这种工作状态下电动机的发热达不到所规定的温升，而在停歇的时间内冷不到周围环境的温度。

根据苏联国家矿山技术安全检查规定，起重机械的工作类型由下列数值的综合考虑而确定：

1. 机构的起重量利用系数

$$K_{起} = \frac{Q_{均}}{Q_{额}} \quad (1)$$

式中 $Q_{均}$ ——一个工作班起吊货物的平均重量；

$Q_{额}$ ——额定起重量。

2. 机构的日利用系数

$$K_{日} = \frac{\text{机构在一昼夜内的工作小时数}}{24}$$

3. 机构的年利用系数

$$K_{年} = \frac{\text{机构在一年内的工作日数}}{365}$$

4. 机构的电动机接合相对延续率

$$JC = \frac{\sum t}{T_{\text{循}}} 100\% \quad (2)$$

式中 $\sum t$ —— 在一个循环过程中机构的工作时间（秒）；

$T_{\text{循}}$ —— 整个循环的全部时间（秒）。

$$T_{\text{循}} = \sum t + \sum t_0$$

其中 $\sum t_0$ —— 在一个工作周期内用于完成辅助作业（如货物挂钩、摘钩以及其它在货物起升和移动时不能进行操作的作业）的停歇时间（秒）。

5. 周围环境温度。

6. 小时接合次数（每工班平均值）。

对于重复短暂工作制的电动机，接合相对延续率是重要的因素，因为电动机的温升与它有关。当 JC 改变时，为了不改变电动机的平均温升，就必须改变负载。当 JC 增加时，负载应当减少；当 JC 减少时，则负载应当增加。

综合上述各因素，起重机的各机构和电气设备的工作类型（工作制）可分为：Ⅱ——轻级，C——中级，T——重级，BT——特重级。起重机机构工作类型的特性列于表 1。电气设备的特性列于表 2。起重机各机构的工作类型则按表 3 选取。

生产率是起重机械构造使用性能的主要参数之一，在工作机构构造性能相同的情况下，生产率取决于货物种类、自动化和半

机构工作类型的特性

表 1

机构工作类型	机构利用系数的平均许可值		
	起重量利用系数 $K_{\text{起}}$	时 间 利 用 系 数	
		在一年内, $K_{\text{年}}$	在一昼夜内, $K_{\text{日}}$
轻 级	0.25 ~ 1.0	不定期的稀少作业	
中 级	0.75	0.5	0.33
重 级	0.75 ~ 1.0	1.0	0.66
特 重 级	1.0	1.0	1.0

起重机机构的电气设备工作制特性

表 2

工 作 制	利 用 系 数			JC %	小时接合次数 (每班平均值)	周围介质 的温度(℃)
	$K_{起}$	$K_{年}$	$K_{日}$			
轻 级	1.00	不定期的 稀少 作业			60	25
	0.75					
	0.50		0.33	15		
	0.25		0.67	15		
	0.10		1.00	25		
中 级	1.00	1.00	0.67	15	120	25
	0.75	0.50	0.33	25		
	0.50	0.50	0.67	25		
	0.25	1.00	1.00	40		
	0.10	1.00	1.00	60		
重 级	1.00	1.00	0.67	25	240	25
	1.00	1.00	0.33	40		
	0.75	0.75	0.67	40		
	0.50	1.00	1.00	40		
	0.25	1.00	1.00	60		
特 重 级	1.00	1.00	1.00	40	300~600	45
	0.75	1.00	1.00	60		45
	0.50	1.00	1.00	60		45
	0.25	1.00	1.00	60		45
	0.10	1.00	1.00	60		45

自动化取物装置的采用情况、工作条件、工作流程的组织、管理人员的熟练程度。一般情况下，理论生产率可按下式确定

$$Q_{生} = nG_0 \tag{3}$$

式中 $n = \frac{3600}{T_{循}}$ ——一小时内的
工作循环次数；
 G_0 ——一个工作循环内吊运货物的重量。

对成件物品， G_0 由起重机的起重量和吊运该物品的取物装置来确定；对散料则由抓取装置的容量 V 、它的充满系数 ψ （表4）和密度 ρ 确定：

$$G_0 = V \rho \psi \leq Q \tag{4}$$

起重机机构的工作类型 (苏联国家矿山技术安全检查规程)

表 3

起 重 机		机 构 的 工 作 类 型								
		主 起 升 ¹⁾	副 起 升 ²⁾	小车(滑车) ³⁾ 运行		起重机 运 行	旋 转	操 纵	臂 架 变 幅	摆 动
				主小 车, 电 磁铁小 车	副小 车, 抓 斗小车					
桥式起重机	悬挂式	中级	—	中级	—	中级	—	—	—	—
	轻级工作类型吊钩式	轻级	轻级	轻级	—	轻级	—	—	—	—
	中级工作类型吊钩式	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(其中包括使用电葫芦)	中级	中级	中级	—	中级	—	—	—	—
	重级工作类型吊钩式	重级	中级	中级	—	重级	—	—	—	—
	抓斗式	特重级	特重级	特重级	—	特重级	—	—	—	—
	电磁式(包括带可拆卸的马达抓斗式)	重级	—	重级	—	重级	—	—	—	—
电磁起重机	电磁抓斗式	特重级	特重级	特重级	特重级	特重级	—	—	—	—
	料耙式	特重级	—	特重级	—	特重级	特重级	—	—	—
电磁铁料箱起重机	带刚性横梁的	特重级	—	特重级	—	特重级	—	—	—	—
	带挠性横梁的	特重级	—	特重级	—	特重级	—	—	—	—
	炉料废料场和碎铁场	特重级	—	特重级	—	特重级	—	—	—	—
铸造起重机	电磁铁料箱起重机	特重级	特重级	特重级	—	特重级	—	中级	—	—
	铸造起重机	重级	中级	中级	中级	重级	—	—	—	—
	脱锭起重机	特重级	重级	特重级	—	特重级	—	—	—	—
	钳式起重机	特重级	中级	特重级	—	特重级	特重级	重级	—	—
	锻造起重机	重级	重级	重级	中级	重级	—	—	—	—
	淬火起重机	重级	中级	特重级	—	重级	—	—	—	—
	装料起重机	重级	中级	特重级	中级	特重级	特重级	—	特重级	特重级
龙门起重机	吊钩式	中级	中级	中级	—	中级	—	—	—	—
	抓斗式	重级	重级	重级	—	重级	—	—	—	—
装卸桥		特重级	特重级	特重级	—	轻级	—	—	—	—
建筑塔式起重机	安装预制件	轻级	—	轻级	—	轻级	轻级	—	轻级	—
	起吊小型成件物品	中级	—	轻级	—	轻级	轻级	—	轻级	—
门座起重机	安装用	轻级	中级	—	—	轻级	中级	—	中级	—
	装卸用吊钩式	中级	—	—	—	轻级	中级	—	中级	—
	装卸用抓斗式	特重级	特重级	—	—	轻级	重级	—	重级	—

通用桥式起重机主要的参数和尺寸按照ГОСТ7464—55《起重量5~50吨轻级工作类型通用电动桥式起重机的主要参数与尺寸》，ГОСТ3332—54《起重量5~50吨中级和重级工作类型通用电动桥式起重机的主要参数与尺寸》，ГОСТ6711—70《起重量80~320吨通用电动桥式起重机的主要参数与尺寸》选择。起重机制造技术条件应符合ГОСТ7131—64《桥式起重机的技术要求》。

起重机应该符合苏联矿山技术安全检查规定（《起重机的设置和安全操作规范》，《电气设备规范》）的要求。

第二节 计 算 载 荷

作用在起重机上的各种载荷可分为下列几类：a) 原动力（力矩）；b) 阻力（力矩）；c) 风、雪、冰力作用下的载荷；d) 惯性载荷；e) 机构弹性构件中的动力载荷。此外，还可能产生温度和地震载荷等。

原动力（力矩）。原动机力矩、作用在活塞上的气体（蒸气、液体）压力属于原动力（力矩）。为确定原动力，一般情况下必须知道有效操作力、有害阻力以及质量运动的惯性力。

机器内的阻力。机器运转时的阻力与完成机能作用的机器用途以及工作条件有关，按各种具体情况由公式或实验确定。

机器各部件的自重引起的载荷是质量力。被起升的物品重量应与起重机的额定起重量相适应（吊钩滑轮组自重包括在额定起重量之内）*。

抓斗、吊罐和专用抓具的重量包括在起重机额定起重量内。

露天工作的起重机，作用于其金属结构上的风载荷取决于一定高度的比风压 P_B 以及金属结构和货物的迎风面积 F_H ：

$$W_{\text{风}} = P_B \cdot F_H \quad (5)$$

*本书中将吊钩及其滑轮组的自重算入额定起重量内。但苏联有关起重机的国家标准以及其它多数技术文献在额定起重量中并不包括上述零件的自重——校者。

金属结构与货物的迎风面积按实际资料计算。比风压

$$p_B = q_0 n_B C \beta \quad (6)$$

式中 $q_0 = \frac{v^2}{16}$ ——离地面或水面（对浮游起重机）10米高处的风压（速度头）（公斤/米²）；

v ——风速（米/秒）；

n_B ——考虑风压增长的系数，它与起重机离地面（水面）的安装高度有关，其值由表5选取；

高度影响系数 n_B 表 5

离地高度 (米)	10以下	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~100
n_B	1.0	1.32	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.12	2.2

C ——空气动力系数。对于管结构 $C = 0.8 \sim 1.2$ ；对于箱形结构、矩形的司机房、平衡重、钢丝绳、吊重等 $C = 1.2$ ；对于有伸出翼缘和外筋板的梁、由角钢、槽钢和工字钢制成的平面桁架 $C = 1.5 \sim 1.6$ (ГОСТ 1451—65)；

β ——考虑风载脉冲特性的动力系数，根据起重机设计的技术条件选取。

作用于货物上的风压力按吊重处于最高极限位置时计算。

风载荷分两种：起重机可以正常工作的工作状态¹⁾ 风载荷 ($q_0 = 15$ 公斤/米²，相当于风速15米/秒) 和非工作状态风载荷。非工作状态时的 q_0 值²⁾ 根据分区图选取。苏联七个地区离地面10米高处的风压：

1) 根据ГОСТ 1451—77，对建筑、安装和自行式臂架起重机的工作状态风载荷 $q_0 = 125$ 帕 (Pa) (1 帕 = 1.02×10^{-5} 公斤/厘米²——译者)；对内河码头和海港上安装的各类起重机 $q_0 = 250$ 帕；对于作业不可能间断的起重机 $q_0 = 500$ 帕。

2) 原文中有苏联风载荷分区图，此处略——译者。

苏联地区	1	2	3	4	5	6	7
风速 v (米/秒)	21	24	27	30	33	37	40
风压 q_0 (公斤/米 ²)	28	35	45	56	70	85	100

起重机械不在非工作状态的风载荷下工作；当计算金属结构构件、变幅机构、支承旋转装置和它们的制动器、自身稳定性和防爬装置时应考虑非工作状态时的风载荷。雪载荷按照起重机的工作地区，可用承雪面积的水平投影上作用 $q_s = 50 \sim 200$ 公斤/米²的单位雪载荷进行计算。对苏联欧洲部分的中部地区和西伯利亚取 $q_s = 100$ 公斤/米²。在冰冻期内（温度从0至 -5°C 之间，空气具有一定的湿度）在牵绳（桅索）、钢丝绳和格构式金属结构上出现厚度为1~1.2厘米的冰冻层（冰的密度0.9吨/米³）。

计算起重机械（起重机）时通常不考虑冰雪载荷的影响。

惯性载荷。机构在非稳定运行期间——启动、制动、变速，产生由惯性力引起的载荷。直线运动质量的惯性力

$$P_{\text{惯}} = ma = \frac{G}{g} \frac{v}{t_{\text{非}}} \quad (7)$$

机构旋转质量的惯性力矩

$$M_{\text{惯}} = J_{\text{换}} \frac{\omega}{t_{\text{非}}} \quad (8)$$

式中 m, G —— 起重机直线运动部分的质量和重量；

v —— 直线运动的速度；

$J_{\text{换}}$ —— 系统质量的换算惯性矩；

ω —— 质量换算到该轴的角速度；

$t_{\text{非}}$ —— 驱动装置非稳定运动的时间。

由起重机旋转部分质量 m 产生的水平离心惯性力

$$P_{\text{离}} = m\omega^2 R \quad (9)$$

式中 R —— 从旋转中心线到起重机旋转部分质量重心的距离。

起重机旋转部分非稳定运动状态时的切向惯性力

$$P_{\text{惯切}} = m \frac{\omega}{t_{\text{非}}} R \quad (10)$$

起重机臂架的离心惯性力

$$P_{\text{离臂}} = m_{\text{臂}} \omega^2 \left(x_0 + \frac{L_c \sin \theta}{2} \right) \tag{11}$$

式中 m_c 和 L_c —— 臂架的质量和长度；
 x_0 —— 旋转部分的转动轴线到臂架枢轴之间的距离；
 θ —— 臂架与铅垂线的夹角。

象电动机转子、联轴器、制动轮这类转动零件质量的转动惯量值通常可按产品样本选取。其它零件质量的转动惯量可按现有的理论力学公式来确定。最常用的零件其质量转动惯量的近似值可按下式求得

$$J = k_{\text{质}} m R_{\text{外}}^2 \tag{12}$$

式中 m —— 零件的质量（公斤）；
 $R_{\text{外}}$ —— 零件的外径（米）；
 $k_{\text{质}}$ —— 物体质量分配系数，与零件类型有关。

- 实心圆柱体 —— 0.5
- 空心圆柱体 —— 1.0
- 滑 轮 —— 0.55
- 卷 筒 —— 0.70
- 制 动 轮 —— 0.60
- 齿 轮 —— 0.64
- 联 轴 器 —— 0.44
- 车 轮 —— 0.60

非稳定运行期间在机构中产生具有振动特性的动载荷（图1）。这类载荷的特性和大小取决于连接件的弹性程度，运动质量的大小和在系统中的分布以及外载荷（原动力和阻力）的变化规律等。作用在弹性系统上的载荷引起物体振动，在弹性杆件中就产生可能比静载荷大好多倍的动力载荷，当运行机构和旋转机构猛烈起动和制动时尤为突出。

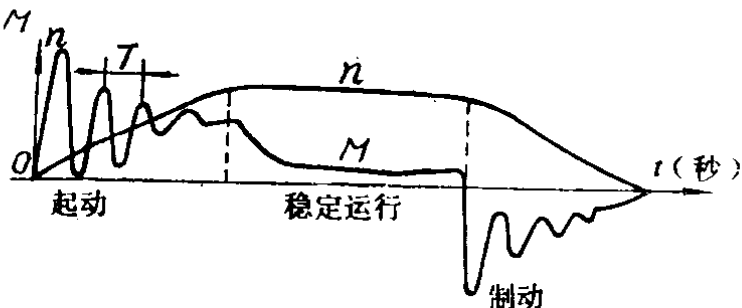


图1 机构传动系统中的动载荷
 M —— 弹性力矩； T —— 振动周期； n —— 速度。