


起重机设计计算

A stylized green graphic of a crane hook and pulley system, positioned centrally on the cover. The hook is at the top, with a pulley wheel below it. Several lines representing cables or ropes extend downwards from the pulley towards a horizontal beam with six circular holes. Below the beam, there are curved lines representing the crane's structure.

——遵循国际《起重机设计规范》的计算法

胡宗武 顾迪民 编著

北京科学技术出版社

起重机设计计算

—遵循国标《起重机设计规范》的计算法

胡宗武 顾迪民 编著

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防科工委印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 17.25印张 439千字

1989年8月第一版 1989年8月第一次印刷

印数1—3000册

ISBN 7-5304-0379-6/T·73

定价：7.30元

内 容 简 介

本书围绕国标《起重机设计规范GB3811-83》，系统地讲解起重机的设计计算方法并从理论上阐述上述规范条文及数据所依据的理论基础和制订的前提与背景。本书内容重点是起重机结构与零部件的强度计算；总体计算及计算载荷占有一定的篇幅；还附有计算动态响应的计算机程序。计算中常用的主要数据表格均收入有关章节，并附有计算实例。

本书供起重机专业工厂、设计研究单位的工程技术人员使用，也可作为高等学校起重运输与工程机械专业的教材。

前 言

国家标准《起重机设计规范 GB3811-83》(下文简称《规范》),已于1983年颁布执行。这个标准是参照国际标准ISO、德国标准DIN及其它工业先进国家有关起重机设计标准、规范,结合我国实际情况制订的,它是起重机设计的总规范,具有法律效力。近二、三年来,专业工厂和设计研究单位正在贯彻执行这个标准。由于《规范》的内容在若干重要方面与过去在实践中应用的以及在设计手册、教科书中阐述的不同,本专业的广大工程技术人员迫切希望对《规范》的内容有更深入更详细的了解。虽然在《规范》公布后,曾为城乡建设部、水电部及部分省、市的有关技术人员举办过数期讲习班,但参加的人数有限。本书是为了这种需要而编著的。

本书围绕《规范》,系统地讲解起重机的设计计算方法。作者试图从理论上阐述《规范》中规定的设计原则、计算公式及采用的数据所依据的理论基础,使设计人员了解《规范》制订的前提和背景,以便能正确应用《规范》;同时,本书还列举一些计算实例,以使读者了解《规范》的具体使用方法。

本书的内容重点是起重机结构件和零部件的强度计算。计算载荷及其组合方法是强度计算的基础,因此它在本书中占有一定的篇幅。本书未涉及起重机的电气设备部分,但与起重机机构计算有关的电动机的选择方法,仍予以充分的讨论。计算中常用的主要数据表格均已收入本书。

作者注意了近年来国内外在起重机设计领域中出现的新方法,并以《规范》为指导予以吸收;书中也反映了作者多年来在这个领域从事教学和研究工作所取得的一些经验和体会。虽然作者参加了《规范》制订的全过程,分别负责主编了其中的“机构”和“结构”两篇,编写了“总则”篇的部分内容;但《规范》是

全国主要专业制造厂、研究单位和大专院校等许多单位多年经验的总结，是参加《规范》制订的30多位科技人员集体创作的成果；《规范》经国家审批之后其解释权属主管这个标准制订工作的国家机械委北京起重运输机械研究所和建设部长沙建筑机械研究所。因此，本书对《规范》所作的一些说明是从学术观点出发的，是个人体会之谈。如有不当之处，当以《规范》为准，以主管这个标准的上述两个研究所的解释为准。正如《规范》引言所指出的，“本规范是起重机设计计算的必要准则和共同遵守的技术依据”，“各种专业性起重机设计规范及标准不应与本规范相抵触”，如果设计者完全按照《规范》规定进行起重机设计与计算，那么他在保证起重机安全可靠地工作方面将不承担什么风险。但《规范》的门是敞开的，因此“凡经理论和实践证明是正确的其它计算方法，经设计部门和用户协商同意后也可在设计中采用”。从学术观点对《规范》的某些问题进行讨论不仅是允许的而且是必要的，这样可促进技术进步，也为《规范》的修订提供了科学依据，奠定了可靠的基础。况且《规范》的许多条文只是原则的规定，它需要子规范的补充，也需要设计人员根据实际情况予以正确灵活的应用。我们也正是本着这种思想编写本书的。

本书的第一、三两篇由胡宗武编写，第二篇由顾迪民编写。书中直接引用了一些《规范》的条文和数据。在此我们向参加《规范》编写的诸同志表示深切的感谢。在本书完稿之时，传来了我们的同事和朋友刘守成教授突然病故的不幸消息。我们不会忘记他在担任《规范》总则篇主编时的忘我工作精神以及他对起重制造业所做的贡献。

欢迎读者对本书提出批评。请将意见直接寄给作者，我们将不胜感激。

上海交通大学 胡宗武
哈尔滨建筑工程学院 顾迪民

1987年4月

目 录

第一篇 起重机设计总则

第一章 起重机概论	1
§1-1 起重机的组成、分类和特点	1
§1-2 起重机基本参数的选择	3
§1-3 起重机的工作级别	8
第二章 起重机的计算载荷	13
§2-1 载荷计算情况与组合	13
§2-2 起升载荷与起升载荷动载系数	16
§2-3 自重载荷	20
§2-4 自重冲击系数	24
§2-5 传动机构动载荷的简化计算	26
§2-6 水平动载荷	34
§2-7 运行偏斜侧向力	37
§2-8 碰撞缓冲器产生的载荷	38
§2-9 风载荷	40
§2-10 其它载荷	50
第三章 起重机动载荷的计算方法	52
§3-1 概述	52
§3-2 计算模型及其参数的确定	53
§3-3 传动机构的动载荷	59
§3-4 货载离地时的动载荷	70
§3-5 变幅时臂架结构的动载荷	76
§3-6 塔式起重机结构的动载荷	80
§3-7 关于数值方法的选择	83
§3-8 用振型叠加法求多自由度系统的动态响应	85
§3-9 用直接积分法求多自由度系统的动态响应	96

附：用直接积分法 (Wilson- θ 法)求多自由度系统动态响应的源程序及算例

附：用振型叠加法求多自由度系统动态响应的源程序及算例

第四章 起重机的轮压与抗倾覆稳定性	118
§4-1 轮压计算概述	118
§4-2 三点支承的支承压力的计算	119
§4-3 桥式类型起重机支承压力的计算	120
§4-4 刚性车架支承压力的计算	121
§4-5 抗倾覆稳定性计算概述	125
§4-6 抗倾覆稳定性的验算方法	126
§4-7 稳定性试验及动态稳定性	132
§4-8 浮式起重机稳定性计算	135
§4-9 起重机防风抗滑安全性	140

第二篇 起重机金属结构

第五章 起重机金属结构设计原理及载荷组合	142
§5-1 起重机金属结构设计原理	142
§5-2 起重机金属结构设计时的载荷组合	149
第六章 金属结构材料及其性能	152
§6-1 结构钢及其种类	152
§6-2 钢材的力学性能	154
§6-3 钢材的选用	159
§6-4 结构件钢材的许用应力和安全系数	162
第七章 结构的连接	164
§7-1 连接的型式	164
§7-2 螺栓连接	165
§7-3 焊缝连接	171
§7-4 焊缝连接的设计计算	176
§7-5 构件连接的疲劳强度计算	178
第八章 轴心受力构件的设计计算	199
§8-1 轴心受拉构件的设计计算	199

§8-2 轴心受压构件的屈曲	200
§8-3 有初始缺陷的轴心受压构件(非理想柱)的屈曲	205
§8-4 轴向受压构件的有效计算长度	213
§8-5 轴压构件的设计计算	236
第九章 压弯构件的设计计算	243
§9-1 单向压弯构件的稳定计算	243
§9-2 双向压弯构件的稳定计算	264
§9-3 双向压弯构件的侧向弯扭屈曲	278
§9-4 单向受弯构件侧向弯扭屈曲系数	284
第十章 板结构的局部稳定性	296
§10-1 板的屈曲微分方程	296
§10-2 受均压板的屈曲	303
§10-3 受非均匀压力板的屈曲	310
§10-4 受剪力力板的屈曲	316
§10-5 周边固接板的屈曲	317
§10-6 各种板的屈曲临界应力公式	319
§10-7 板进入非线性弹性阶段时的屈曲临界应力和板局部稳定的验算	323
§10-8 加肋板的屈曲	326
§10-9 复合应力作用下的板屈曲	330

第三篇 起重机机构与零件

第十一章 起重机机构构造概论	336
§11-1 起升机构	336
§11-2 变幅机构	340
§11-3 回转机构	342
§11-4 运行机构	345
§11-5 集中驱动机构	347
第十二章 起重机机构的总体计算	350
§12-1 起重机机构的工作级别	350
§12-2 零件的疲劳寿命计算法	356

§12-3 机构电动机的选择	368
第十三章 起重机机构的计算	378
§13-1 起升机构的计算	378
§13-2 运行机构的计算	388
§13-3 回转机构的计算	399
§13-4 变幅机构的计算	412
第十四章 起重机零件的强度计算	424
§14-1 概述	424
§14-2 吊钩与吊环	425
§14-3 起重钢丝绳的选择法	439
§14-4 卷筒的强度计算	447
§14-5 车轮与滚子的强度计算	451
§14-6 销轴的比压验算	460
§14-7 联轴器的选择	462
§14-8 滚动轴承的选择	465
§14-9 齿轮的强度计算法	466
§14-10 起重机机构计算及零部件选择实例	483
附表 表14-33 线接触钢丝绳(西尔型)性能	512
表14-34 线接触钢丝绳(华灵顿型)性能	514
表14-35 多层股不旋转钢丝绳性能	516
表14-36 单钩尺寸及承载能力(摘自DIN15401)	518
表14-37 双钩尺寸及承载能力(摘自DIN15401)	520
表14-38 起重机用YZR及YZ型电动机额定功率 (S3工作制)	522
表14-39 起重机用YZR型电动机外形及安装尺寸	524
表14-40 起重机用YZ型卧式电动机尺寸参数	526
表14-41 起重机用YZR型凸缘(立、卧式)电动 机尺寸参数	528
表14-42 起重机用YZ型凸缘(立、卧式)电动机 尺寸参数	530

表14-43 CL型双齿轮联轴器主要性能及尺寸(摘自Q/ ZB104-73)	532
表14-44 CLZ型单齿轮联轴器主要性能及尺寸(摘自Q/ ZB105-73)	534
表14-45 带制动轮的单齿轮联轴器主要性能及尺寸(大 连起重机厂)	536
表14-46 YDWZ型制动器主要性能及尺寸	538

第一篇 起重机设计总则

第一章 起重机概论

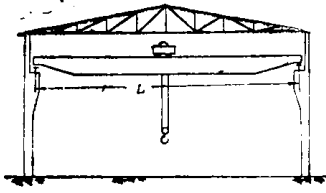
§1-1 起重机的组成、分类和特点

起重机的用途是将物品从空间的某一地点搬运到另一地点。为了完成这一作业，起重机一般有使物品沿空间的三个方向运动的机构。其中作上下移动的起升机构是不可缺少的。平面运动可以用两种不同的运动组合来实现。按照这种运动组合方式的不同，起重机分为两大类型：桥式类型起重机和回转类型起重机。

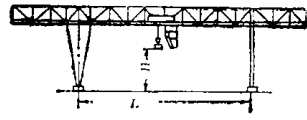
桥式类型起重机是依靠起重机运行机构和小车运行机构的组合使所搬运的物品在长方形平面内运动。图 1-1 是几种常见的桥式类型起重机的概貌图，其中图 1-1a 是安装在车间或仓库上方的桥式起重机（俗称行车）；图 1-1b 是在露天堆场上的用于煤炭或其它散料装卸的装卸桥；图 1-1c 是施工工地用缆索起重机；图 1-1d 是现代化港口用集装箱装卸桥。

回转类型起重机依靠整个起重机绕其纵向回转中心的回转运动和改变回转半径的变幅运动的组合，实现物品的水平运动。这类起重机工作范围是圆形场地，但这类起重机也可以沿轨道或无轨的道路运行，因此它的服务范围相当大。图 1-2 表示几种典型的回转起重机。其中图 1-2a 是高层建筑用的塔式起重机；图 1-2b 是港口装卸用的门座起重机；图 1-2c 是安装用的汽车起重机；图 1-2d 是可在江河海面行驶的浮式起重机。

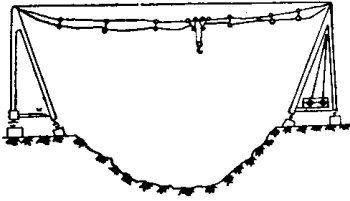
从以上概述可知，驱使起重机运动的是四大机构：**起升机构、运行机构、回转机构和变幅机构**。为了实现这些运动、安放这些机构并承受载荷，起重机必须有足够强度和刚度的金属结



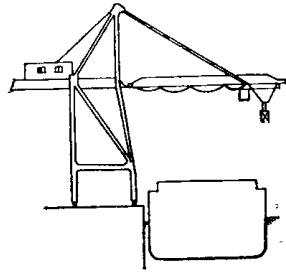
(a)



(b)

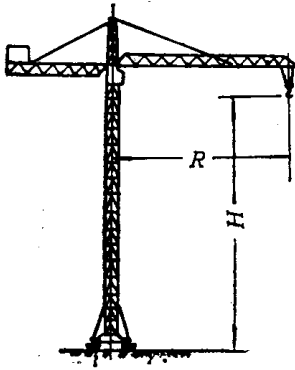


(c)

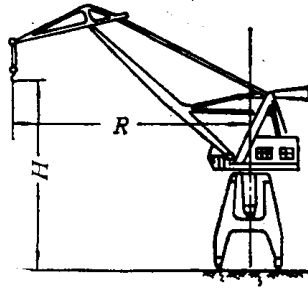


(d)

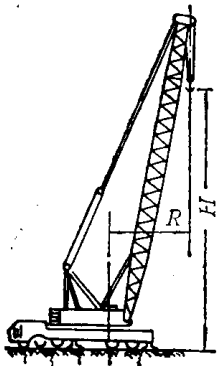
图1-1 桥式类型起重机示例



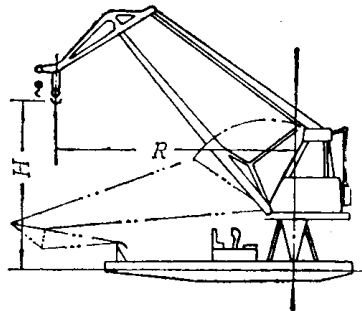
(a)



(b)



(c)



(d)

图1-2 回转类型起重机示例

构，有驱动机构运动并实现运动控制的动力控制系统；以及，为保证起重机安全并可靠运转的安全和信号指示装置。

在某些场合下，物品只需上下搬动。完成这种作业可以用较简单的起重设备，如手动葫芦、千斤顶，也可以是复杂的矿井提升机。按照习惯，具有多种机构的起重机械设备称为**起重机**，而**起重机械**这一术语则泛指各种类型的起重设备。本书将着重讲述**起重机的设计计算方法**，但许多计算方法对各类起重设备也都适用。

起重机的最大特点是 短周期的循环作业。一个工作循环包括：取物，起升并运行到卸货点，下降，卸料，然后空车返回原地。一个工作循环的时间一般只有几十秒钟到几分钟，最长也不超过一、二十分钟。这一特点对它的动力装置的选择及电气设备容量的计算有较大的影响。经常起动、制动引起传动机构和金属结构的强烈冲击和振动，导致产生较大的动载荷，由于这种载荷是非平稳的，这使得强度和疲劳计算变得较为复杂。此外，对于装卸散装物料的起重机，生产率是一个很重要的性能指标，它不仅取决于各机构的运动速度，而且也依赖装卸物料的辅助时间的大小。因此对于速度、加速度值，运动的重叠程度，取物及卸货的自动化程度的选择等都应仔细考虑。

§1-2 起重机基本参数的选择

起重机设计的第一阶段，除了决定起重机型式和总体方案外，基本参数的合理选择是很重要的。这些参数包括：表征起重机作业能力和生产率**的起重量**和机构**运动速度**，表征作业范围的**起升高度、跨度和幅度**。这些参数的选择必须满足用户的要求；同时，在最后决定这些参数的额定值时，必须遵照有关标准。

1. 额定起重量

起重机一次允许搬运的物品（或称货载）的最大质量和取物

装置本身质量之和称为起重机的额定起重量，单位为千克(kg)或吨(t)，用符号 C_p 标记。

用于搬运散装物品的起重机，根据生产率和工作循环时间计算额定起重量。例如抓斗起重机，给定每小时装卸物品的质量，决定了工作循环时间，就可计算一次搬运的物品质量，再加抓斗本身质量就是额定起重量。搬运成件物品的起重机，额定起重量决定于吊装物品的最大质量。

按照这些方法决定的起重量必须圆整到有关标准的规定值(取靠近的但是较大的值)。我国1965年颁布了起重量系列(GB 783-65)，该系列表采用工程单位制，规定的起重量单位是tf，现在改用SI单位制，起重量是质量单位，用t，但系列的数值正好不必更动。表1-1列入了国标GB783-65规定的起重量系列。

表1-1 起重量系列标准 (GB783-65) (t)

0.05	0.1	0.25	0.5	0.8	1.0	1.25	1.5	2	2.5	3
4	5	6	8	10	12.5	16	20	25	32	40
50	63	80	100	125	140	160	180	200	225	250
280	320	360	400	450	500					

2. 跨度与轨距

桥式类型起重机运行轨道中线间的垂直距离称为轨距，单位为米(m)，以 L 标记。桥式起重机的跨度比厂房的跨度小1.50~2.0m。表1-2列入了国标GB790-65规定的桥式起重机跨度标准值，必须遵照执行。表中50t以下的起重机，每一厂房跨度有两种起重机跨度值，较小者用于厂房上方的吊车梁留有安全通道的情况。龙门起重机和装卸桥的跨度可根据作业要求选择。

回转类型起重机运行轨道中线间的垂直距离通常称为轨距。门座起重机的轨距根据门座内通过的车辆要求的净空而定，也受

表1-2 电动桥式起重机跨度系列 (GB790-65) (m)

厂房跨度 (m)		9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
起重机跨度 <i>L</i>	$C_p=3\sim 50t$	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	—
		7	10	13	16	19	22	25	28	31	—
	$C_p=80\sim 250t$	—	—	—	16	19	22	25	28	31	34

起重机抗倾覆稳定性的限制。塔式起重机的轨距值主要决定于抗倾覆稳定性。

3. 幅度

回转臂架起重机处于水平位置时，回转中心线与取物装置的铅垂线之间的垂直距离称为幅度，单位为米 (m)，以 R 标记。不回转的臂架起重机的幅度通常是指臂架下绞点到取物装置铅垂线的垂直距离。

起重机幅度值根据要求的作业面尺寸而定。如对港口船舶装卸的起重机，取物装置必须超过被卸船的纵中剖面，如需将货物卸到船舶外档驳船，幅度还要增大。幅度的最小值受起重机构造尺寸的限制。设计具有较小幅度的起重机是评价设计好坏的指标之一。幅度值没有国家标准。

表1-3和表1-4列入港口门座起重机和其它起重机的轨距、跨度及幅度的参考值。

4. 起升高度

起重机起升机构运动时取物装置能够达到的上极限与地面间的铅垂距离称为起升高度，单位为米 (m)，以 H 标记。上极限位置取为吊钩钩口中心线或抓斗底面。若取物装置可放到地面以下时，从地面到取物装置下极限位置间的垂直距离称为下放深度，以 h 标记。 $D=H+h$ ， D 称为起升范围。

起升高度的选择按作业要求而定。3~250t 电动桥式起重机

表1-3 港口门座起重机幅度 R 、起升高度 H 和轨距 L 值
(JT5001-75) (m)

C_P (t)		3	5		10		16	25
幅度 R	最大	25	25	30	25	30	30	
	最小	7	8	9	8	9	9	
起升高度	H	22	22	25	22	23	28	
	h	15						
轨距 L	跨单轨	22		—				
	跨双轨	18	20	23	22(18)	23	24	25

表1-4 其它起重机常用跨度 L 和幅度 R 的推荐值 (m)

通用龙门起重机跨度 L	18	22	26	30	35				
装卸桥跨度 L	40	50	60	70	80				
其它门座起重机幅度 R	22	25	30	35	40	45	50	70	80

的起升高度的国家标准，见表1-5。

表1-5 3~250t电动桥式起重机起升高度系列
(GB791-65) (m)

C_P , (t)(主钩)		3~50		80	100		125		160		200		250		
起升高度 H	主钩	12	16	20	30	20	30	20	30	24	30	19	30	16	30
	副钩	14	18	22	32	22	32	22	32	26	32	21	32	18	32

注：抓斗起重机的起升高度值为16m和22m。

5. 起重机工作循环时间和工作速度

装卸用途的起重机，生产率（每小时装卸物品的总质量）大小是一个重要的性能指标。当起重重量选定之后，生产率大小决定于起重机的工作循环时间。但工作循环受很多条件制约，除物品搬运距离之外，机构运动速度、加速度、机构重叠运行的可能性及取物自动化程度也是很重要的因素。为了提高生产率，必须对具体起重机作业条件进行研究，决定出运行行程、速度、加速度的合理关系，从而得到较短的工作循环时间。参考文献[2]曾引述了抓斗装卸桥对船舶卸

载研究结果，认为在加速度与减速度相等的情况下，最合适的运行速度与运行距离之间的关系如图1-3所示。

最大加速度与运行速度的关系为：

$$a_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{v} \quad (1-1)$$

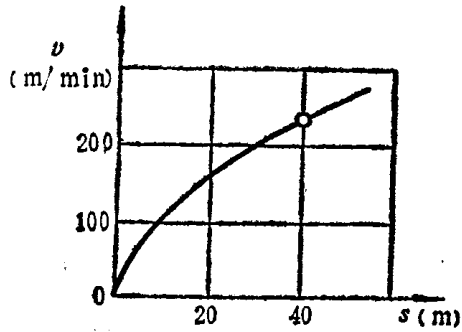


图1-3 运行速度与运行距离的关系

决定了运行速度 v 和 加速度（减速度） a 之后，机构运动时间为：

$$t = \frac{s}{v} + \frac{v}{a} \quad (1-2)$$

式中 s ——起重机运行距离。

各个运动时间确定之后，要编制各机构的先后运动顺序及重叠运动程度的图表，据此可算出起重机的工作循环时间。图1-4示出了对船舶卸载的桥式装卸桥各机构运动的重叠情况。从图可见，不计停歇的循环时间为56.76秒。各种起重机工作循环时间差别很大，如带斗门座起重机约45秒，集装箱装卸桥约150秒。