



教育部高职高专规划教材

起重机械与吊装

● 华玉洁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

起重机械与吊装

华玉洁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

起重机械与吊装/华玉洁主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 8

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-6459-4

I. 起… II. 华… III. 起重机械-高等学校: 技术学院-教材 IV. TH21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 100331 号

教育部高职高专规划教材

起重机械与吊装

华玉洁 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 项 澈

责任校对: 郑 捷

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 24¼ 字数 652 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6459-4/G·1667

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书以高等职业教育的培养目标为基础,比较系统地介绍了起重机械专用零部件的构造特点及选择计算,介绍了起重机械四大机构与结构的组成、工作原理及计算校核。介绍了大型设备的吊装工艺、受力分析及对各种起重机械的选择计算;介绍了大型设备吊装方案的编制内容及步骤。

本书可作为高等职业教育机械类工业设备安装专业及相关学校相近机械类专业的教科书,同时也可供现场工程技术人员、工人参考。

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

随着现代科学技术的飞跃发展,建设工程规模的不断扩大,基本建设中大型、重型构件、高精尖设备、塔器设备综合整体吊装,及新结构、新工艺、新技术、新材料的不断应用,起重安装工程量越来越大。尤其是现代化大型石油、化工、冶炼、电站、桥梁、大型室内体育馆以及高层建筑的安装作业逐年增多,因此,对大功率的工程起重机需要量日益增加,对起重机械和吊装技术的难度、精度提出越来越高的要求。起重机械和吊装工艺已在国民经济中起着越来越重要的作用,成为了一种既特殊又很普及的无法替代的机械与技术。起重吊装已由人们头脑中繁重的体力劳动成为高技术、高科技、高效率、更安全、极具发展空间和潜力的、有着广泛运用前景的比较成熟的专业技术。

本书以高等职业技术教育的培养目标为基础,以工业设备安装和相近专业的知识需要为对象,系统地介绍了起重机械专用机索具的结构特点与选用原则,介绍了起重机械机构与结构的特点与原理,介绍了起重吊装的基本理论、基本工艺和基本技术以及大型设备吊装施工方案的编制。全书内容的编写宗旨是以理论上够用、实践上简单实用为原则,是适用于高等职业技术学校工业设备安装或建筑安装专业的学生、相关的工程技术人员或工人自学的参考书。

本书由华玉洁主编,并编写第一章~第八章、第十二章、第十六章、第二十二章、第二十三章,第九章~第十一章、第十三章由李雪斌编写,第十四章、第十五章由高峻编写,第十七章~第二十一章由叶琦编写,李雪斌任副主编。全书由樊继贤审阅。

本书在编写过程中得到了安徽理工大学职业技术学院及机械系的关心和支持,在此表示感谢,同时,对本书编写中所参阅的书籍和资料的作者(编辑)们表示感谢,对在本书插图方面做了大量工作的袁伟、刘安表示感谢。

由于编写时间仓促,加之编者水平所限,书中难免有不足和差错之处,希望广大读者批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述.....	1
第二节 起重机的主要参数.....	3
第三节 起重机的工作级别和工作类型.....	5
思考题	10
第二章 起重机械的构造与工作原理	11
第一节 轻小型起重设备	11
第二节 桥式类型起重机	18
第三节 旋转类型起重机	24
第四节 桅杆式起重机	31
第五节 起重机的试验	34
第三章 起重机计算载荷与许用应力	35
第一节 载荷的分类	35
第二节 载荷的计算	36
第三节 强度计算与安全系数	41
思考题	42
第四章 起重挠性构件及卷绕装置	43
第一节 钢丝绳	43
第二节 滑轮	58
第三节 滑轮组	63
第四节 滑车与滑车组	66
第五节 卷筒	70
第六节 卷扬机	78
思考题	81
习题	82
第五章 取物装置	83
第一节 概述	83
第二节 吊钩与吊环	84
第三节 卸扣	98
第四节 吊物缆.....	102
第五节 平衡梁（吊梁）	104
第六节 设备吊耳.....	109
思考题.....	111
习题.....	111
第六章 制动装置	112
第一节 制动器的种类和用途.....	112
第二节 块式制动器.....	116
第三节 带式制动器.....	122

第四节 其他类型制动器	126
思考题	131
习题	131
第七章 起升机构	132
第一节 起升机构的构造	132
第二节 起升机构的计算	136
思考题	150
习题	150
第八章 运行机构	151
第一节 运行支承装置	152
第二节 运行驱动机构的构造	163
第三节 运行阻力	170
第四节 运行驱动机构计算	173
第九章 变幅机构	179
第一节 概述	179
第二节 载重水平位移	181
第三节 臂架自重平衡	185
第四节 变幅驱动机构	187
第十章 旋转机构	193
第一节 概述	193
第二节 旋转支承装置的形式与构造	195
第三节 旋转驱动机构的主要形式与构造	204
第十一章 安全与指示装置	210
第一节 缓冲器	210
第二节 防风装置	213
第三节 起重量限制器与载重力矩限制器	218
第四节 偏斜指示器	225
第十二章 桅杆式起重机	227
第一节 桅杆起重机的种类和性质	227
第二节 格构式桅杆的结构	230
第三节 杆件计算	235
习题	244
第十三章 设备的运输、装卸与吊装进向	245
第一节 设备运输	245
第二节 设备的装卸	250
第三节 设备运输的计算	255
第四节 设备吊装进向	259
第十四章 地锚	260
第一节 锚点的种类及安全技术要求	260
第二节 坑锚的计算	264
习题	269
第十五章 桅杆的组立、移动及放倒	271
第一节 桅杆的组立方法与受力分析计算	271

第二节	桅杆的移动和放倒	279
习题		281
第十六章	单桅杆吊装	282
第一节	直立单桅杆夺吊	282
第二节	直立单桅杆扳吊	288
第三节	倾斜单桅杆吊装	290
思考题		292
第十七章	双桅杆和多桅杆吊装	293
第一节	等高双桅杆吊装	293
第二节	不等高双桅杆吊装	296
第三节	多桅杆吊装	297
第四节	设备吊装过程中空间位置分析	303
第十八章	门式桅杆吊装	306
第一节	概述	306
第二节	门式桅杆侧偏吊	307
第三节	门式桅杆吊推	309
第四节	门式桅杆推举	313
第十九章	人(A)字桅杆吊装	318
第一节	概述	318
第二节	人字桅杆吊装	320
第三节	人字(A字)桅杆扳吊和抬吊	324
第二十章	动臂桅杆吊装	328
第一节	临时吊杆吊装	329
第二节	动臂回转桅杆吊装	333
第三节	半腰动臂桅杆吊装	334
第二十一章	运行式起重机吊装	336
第一节	概述	336
第二节	单台起重机吊装	347
第三节	两台起重机吊装	352
第四节	多台起重机吊装	355
第五节	提高起重机性能的措施	357
第六节	运行式动臂起重机稳定性计算	359
第二十二章	利用构筑物吊装	361
第一节	利用厂房建筑物吊装	361
第二节	利用构筑物夺吊	362
第二十三章	起重施工方案的编制	365
第一节	吊装方法的选择	365
第二节	起重施工方案的确定及组成	365
第三节	起重施工技术要求	375
第四节	起重施工安全技术措施	377
参考文献		379

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、起重机械与吊装技术在国民经济中所起的作用和意义

起重机械是各种工程建设广泛应用的重要起重设备。它对减轻劳动强度、节省人力、降低建设成本、提高劳动生产率、加快建设速度、实现工程施工机械化起着十分重要的作用。

随着现代科学技术的飞跃发展，在国民经济各部门和基本建设中新结构、新工艺、新技术、新材料的不断应用，一些大型、重型构件、设备、塔器的运输与吊装等工作，没有起重机械设备是很难完成的。

工厂、矿山、车站、港口、仓库、货场、建筑、安装等都离不开起重机械。特别是化工建设安装工程，例如一套年产 30 万吨合成氨，52 万吨尿素的化肥装置就要吊装设备 1165 台，达 5800t；管道长 68000m，达 3600t；钢结构达 2370t，合计 11770t。因此，在工程建设中，如何合理地配备起重机具，怎样科学地组织管理，制定的措施和方案是否先进、安全可靠均关系到工程建设的全局，它直接影响工程的质量、安全和进度。随着现代工业的发展，起重机械与吊装技术在国民经济中显得更为重要了。

二、起重机械与吊装技术的发展简史

中国在发明和使用起重运输机械方面历史最悠久。远在新石器时代末期（公元前 5000～4000 年），中国劳动人民已能用木棍滚动来搬运巨石。在商朝（公元前 1765～1760 年），发明了利用对重杠杆原理起重的桔槔（见图 1-1），以后又发明了辘轳（见图 1-2），汉朝（公元前 200 年）在四川井盐开采过程中广泛采用以绞车、滑车组成的起重装置（见图 1-3），这种以木杆组成井架和缆风绳（拖拉绳）稳定的结构形式就是现今龙门桅杆或升降机的始祖。中国的长城、地下宫殿、故宫、历代古都钟楼的巨大铸钟及上百吨的铸雕像的吊装，都凝聚着中国劳动人民的智慧。

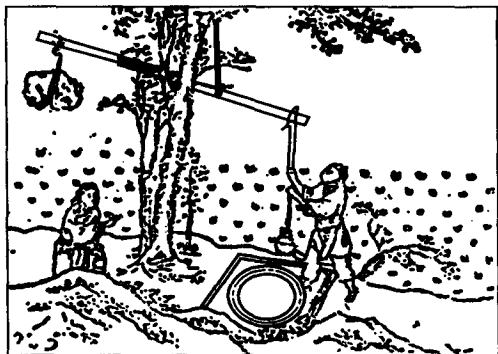


图 1-1 中国古代汲水用的桔槔

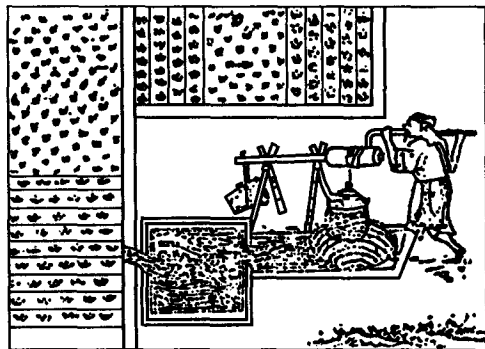


图 1-2 中国古代汲水用的辘轳

在古埃及建造金字塔时，已经运用了不等臂杠杆及滚子、斜面，用逐级升级法来提升巨石，有的重达 10t（见图 1-4）。

18 世纪工业革命使起重机制造采用了金属材料，并出现了用蒸汽驱动的起重机。

中国由于封建制度的长期束缚，社会生产和科学技术得不到发展。在旧中国连较简单的



图 1-3 井盐技术

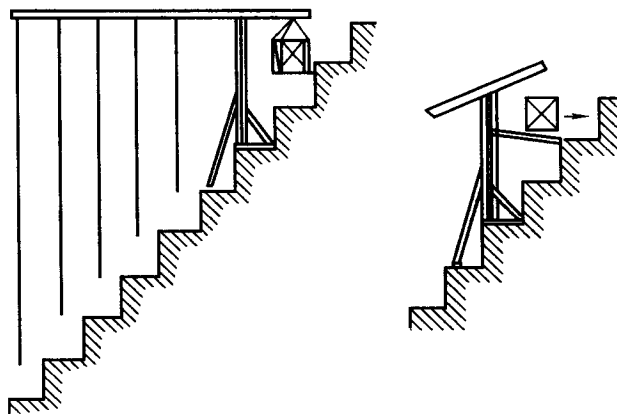


图 1-4 逐级升级法

起重运输机械都不会制造。

新中国成立后，中国在起重运输机械这个领域也从无到有、由小到大逐步发展起来，一批起重运输机械的科研机构 and 生产工厂逐步建立，设计、研制力量日趋壮大。今天，中国已经能设计制造起吊质量为 3~100t 的各种类型的汽车式和轮胎式起重机；10~400t 的各种类型塔式起重机；200~800t 的门式和桥式起重机；500t 的浮吊；350t 的桅杆；450t 的公路大平板车等，以适应日益增长的设备、结构的起重装卸以及运输吊装任务的需要。

在吊装技术方面，新中国成立初期只能吊装几十吨，近几年来能吊几百吨乃至近千吨。

用双桅杆滑移法整体吊装 $\phi 12.3\text{m} \times 34\text{m}/606\text{t}$ 的再生器； $\phi 4.5\text{m} \times 82.5\text{m}/510\text{t}$ 的丙烯分馏塔。

用钢筋混凝土和钢结构组合框架整体吊装 $\phi 3\text{m} \times 35.7\text{m}/350\text{t}$ 标高 21m 的尿素合成塔。

用单桅杆倾斜带荷变幅吊装 $\phi 2.2\text{m} \times 20.7\text{m}/100\text{t}$ 标高 35.5m 高压蒸汽包。

用直立单桅杆扳吊 310t 氨合成塔。

用人字桅杆扳吊 156m/410t 电视塔架。

用龙门桅杆整体推吊 120m/205t 火炬。

用多根桅杆整体吊装 650t 网架屋盖。

用轮胎式起重机双联组合半拱旋转吊装法吊装 22.7m/48t 的三铰拱钢结构散装尿素仓库屋架。

从吊装技术来看，中国具有较多的经验，吊装工艺与国外相比并不落后，目前总体吊装机械化水平正在提高，在逐步适应吊装作业机械化配套连续发展的需要。但在许多改建、扩建的工程建设项目中，机动性较差与利用率较低的桅杆式起重机使用较多。

现在国外已生产起升质量 1000t 的桅杆式起重机；1000t 轮胎式起重机；1300t 大平板车（法国产）；800t 履带式起重机（德国产）。

中国起重机的制造水平也在飞速提高，太原重机公司制造的三峡 1200t 水电站桥式起重机，主、副钩的起升质量分别为 1200t 和 125t，跨度为 33.6m，起升高度为 $H_{\text{主}}=34\text{m}$ ， $H_{\text{副}}=37\text{m}$ ，单钩起重量为世界之最；天生桥 2×420t 水电站双小车桥式起重机，起重量为双小车系列世界之最。

中国烟台的烟台莱佛士船厂的固定回转起重机的主吊钩能将 1900t 物体吊至 95m 高度，

副吊臂能将 200t 物体吊起 135m。这个巨型起重机被安置在 40m 高的固定水泥基座上，是世界上最大的固定回转起重机。

三、起重机械今后的发展方向

近年来随着建设工程规模的不断扩大，起重安装工程量越来越大，尤其是现代化大型石油、化工、冶炼、电站、大型室内体育馆以及高层建筑的安装作业逐年增多。因此，对大功率的工程起重机需要量日益增加，随着现代科学的发展，各种新技术、新材料、新结构、新工艺在工程起重机上得到广泛的应用。根据国内外现有工程起重机产品和技术资料分析，近年来起重机械的发展趋势主要体现在以下几个方面。

1. 广泛应用液压技术

由于液压传动具有体积小、质量小、结构紧凑、能无级调速、操纵简便轻巧、运输平稳和工作安全可靠等优点，因此国内外各种类型的工程起重机广泛采用液压传动。液压技术尤其适合中小型起重机械。

2. 大型化

为了满足大型石油、化工、冶炼设备和高层建筑、大型板材、构件的安装，起重机必须向大型化发展。

3. 多用途、高效率

由于建筑规模、使用场合条件的复杂多变，各国开始注意一机多用途、高效能的问题。即转换工作状态要快，能配多种工作装置（吊钩、抓斗、拉铲、电磁吸盘、抓取器、打桩设备等）；装有各种先进的安全报警、遥控、新式传动装置、工业电视及采用电子计算机等最新技术，从而极大提高了机械的工作效率。

4. 提高“三化”程度，实行专业生产

提高“三化”程度，在不同程度上扩大了产品标准化、参数尺寸规格化（系列化）、零部件通用化的范围，为起重机械制造的机械化、自动化、连续作业提供了方便的条件。

中国对桥式起重机、轮胎式起重机和塔式起重机分别制定了基本参数系列，统一了产品型号和等级，并制定了技术条件标准。

国外，有的国家甚至废除了本国标准而直接采用国际标准（ISO）。

第二节 起重机的主要参数

起重机的技术参数是说明起重机工作性能的指标，表征起重机的作业能力，也是设计的依据。起重机的主要参数有：起重量（起重力矩）、起升高度、跨度（桥式类型起重机）、幅度（臂架类型起重机）、各机构的工作速度及生产率。

一、额定起重量 Q 和起重力矩 M

起重机在正常工作时允许起吊的物品重量和可以从起重机上取下的取物装置重量之总和称为额定起重量。或起重机正常工作时一次起升的最大质量称为额定起重量。

额定起重量不包括吊钩、吊环之类吊具的重量，但包括抓斗、起重电磁铁、料罐、盛钢桶、真空吸盘之类吊具的重量。

某些旋转臂架类型起重机，如塔式起重机、汽车起重机、轮胎起重机、履带起重机、铁路起重机以及门座起重机等，除起重量外还有起重力矩 M 这个参数，它是起吊重物的重量 Q 和臂架幅度 R 的乘积，这个参数决定了起重机工作过程中抗倾覆稳定性的能力。在起重力矩一定的前提下，这类起重机的起重量是随幅度变化的，这时的额定起重量是指最小幅度时的最大起重量。

额定起重量系列国家标准及国际标准见表 1-1。

表 1-1 额定起重量系列国家标准(GB 783—87)及国际标准(ISO 2374; 1983) /×10kN

0.1	0.125	0.16	0.2	0.25	0.32	0.4	0.5	0.63	0.8
1	1.25	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8
10	(11.2)	12.5	(14)	16	(18)	20	(22.5)	25	(28)
32	(36)	40	(45)	50	(56)	63	(71)	80	(90)
100	(112)	125	(140)	160	(180)	200	(225)	250	(280)
320	(360)	400	(450)	500	(560)	630	(710)	800	(900)
1000									

注：应避免选用括号中的起重量数值。

二、起升高度 H

起升高度是指从地面或起重机运行轨道顶面到取物装置最高起升位置的铅垂距离（吊钩取钩口中心，当取物装置使用抓斗时，则指至抓斗最低点的距离），以 H 表示，单位为 m。当取物装置可以放到地面或轨道顶面以下时，其下放距离称为下放深度。起升高度和下放深度之和称为总起升高度。

在确定起重机的起升高度时，除考虑起吊物品的最大高度以及需要越过障碍主高度外，还应考虑吊具所占的高度。

表 1-2 列出了 30~2500kN 电动桥式起重机起升高度系列，即 GB 791—65。抓斗桥式起重机的起升高度为 16m 和 22m。表 1-3 为轮胎和汽车起重机的起升高度标准。

表 1-2 30~2500kN 电动桥式起重机起升高度系列 (GB 791—65)

主钩起重量/×10kN		3~50		80		100		125		160		200		250	
起升高度/m	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

表 1-3 轮胎和汽车起重机的起升高度标准

起重量/×10kN		3	5	8	12	16	25	40	65	100
起升高度/m	基本臂作业	5.5	6.5	7	7.5	8	8.5	9	10	11
	最长主臂作业			11	12	18	25	30	34	36

三、跨度 L

起重机运行轨道轴线间的水平距离称为跨度，以 L 表示，单位为 m。桥式起重机的跨度 L 依厂房的跨度而定。表 1-4 示出了 GB 790—65 规定的 30~2500kN 电动桥式起重机跨度的标准值。

表 1-4 30~2500kN 电动桥式起重机跨度的标准值 (GB 790—65)

厂房跨度 L_c /m		9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
起重机跨度 L /m	$Q=30\sim500$ kN	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	31.2	—
	$Q=800\sim2500$ kN	—	—	—	16	19	22	25	28	31	34

龙门起重机的跨度，一般多由工作需要和场地决定。

四、幅度 R

对于旋转臂架式起重机，幅度就是起重机回转中心线至取物装置中心铅垂线之间的距离，用 R 表示，单位为 m。对于非旋转臂架式起重机常用有效幅度表示，有效幅度是指臂架所在平面内的起重机内侧轮廓线与取物装置铅垂线之间的距离。如轮胎式起重机是指在使用支腿侧向工作时吊钩中心线至该支腿中心线的水平距离。

五、工作速度 V

起重机的工作速度包括起升、变幅、旋转和运行四个机构的工作速度。对伸缩臂架式起重机还包括吊臂伸缩速度和支腿收放速度。

(1) 起升速度 是指取物装置的上升速度（或下降速度），单位为 m/s 。

(2) 变幅速度 是指臂架式起重机的取物装置从最大幅度到最小幅度的平均线速度，单位为 m/s 。

(3) 旋转速度 是指起重机旋转时每分钟의转数，单位为 r/min 。

(4) 运行速度 是指桥式类型起重机大车、小车的运行速度，单位为 m/s 。

表 1-5 列出了常用起重机的工作速度。

表 1-5 常用起重机的工作速度

起重机的工作速度	起重机类型	工作速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
起升速度	一般用途起重机	0.1~0.417
	装卸用起重机	0.667~1.5
	安装用起重机	<0.016
运行速度	桥式起重机与龙门起重机小车	0.733~0.833
	装卸桥小车	3~4
	桥式起重机的车	1.5~2
	龙门起重机的车	0.667~1
	门座起重机及装卸桥大车	0.333~0.5
	轮胎起重机	10~20km/h
	汽车起重机	50~65km/h
变幅速度	门座起重机(工作性)	0.667~1
	浮式起重机(工作性)	0.417~0.667
	汽车及轮胎起重机(调整性)	0.167~0.5
旋转速度	门座起重机	$n \approx 2\text{r/min}$
	汽车及轮胎起重机	$n \approx 2 \sim 3.5\text{r/min}$
	浮游起重机	$n \approx 0.5 \sim 2\text{r/min}$

六、生产率

起重机在一定的工作条件下，单位时间内完成的物品作业量称为生产率。

第三节 起重机的工作级别和工作类型

划分起重机的工作级别是为了对起重机金属结构和机构设计提供合理的基础，也是为用户和制造厂家进行协商时提供一个参考范围。在确定起重机的工作级别时，应考虑两个因素：利用等级和载荷状态。

一、起重机利用等级

起重机在有效寿命期间有一定的总工作循环数。起重机作业的工作循环是从准备起吊物品开始，到下一次起吊物品为止的整个作业过程。工作循环总数表征起重机的利用程度，它是起重机分级的基本参数之一。

工作循环总数与起重机的使用频率有关。为了方便起见，工作循环总数在其可能范围内，分成 10 个利用等级（见表 1-6）。

表 1-6 起重机的利用等级 (ISO 4301—1; 1986; GB 3811—83)

利用等级	工作循环总数/次	备 注
U ₀	1.6×10 ⁴	不经常使用
U ₁	3.2×10 ⁴	
U ₂	6.3×10 ⁴	
U ₃	1.25×10 ⁵	
U ₄	2.5×10 ⁵	经常轻负荷使用
U ₅	5×10 ⁵	经常断续使用
U ₆	1×10 ⁶	不经常繁忙使用
U ₇	2×10 ⁶	繁忙使用
U ₈	4×10 ⁶	
U ₉	>4×10 ⁶	

工作循环总数除根据实际经验估算外,也可按下式计算得出,即

$$N = \frac{3600YDH}{T} \quad (1-1)$$

式中 N ——工作循环总数;

Y ——起重机的使用寿命,以年计算,与起重机的类型、用途、环境技术和经济因素等有关;

D ——起重机一年中的工作天数;

H ——起重机每天工作小时数;

T ——起重机一个工作循环的时间, s。

二、起重机载荷状态

载荷状态是起重机分级的另一个基本参数,它表明起重机的主要机构——起升机构受载的轻重程度。载荷状态与两个因素有关:一个是实际起升载荷 Q_i 与额定载荷 $Q_{\max}$ 之比 ($Q_i/Q_{\max}$); 另一个是实际起升载荷 Q_i 的作用次数 N_i 与工作循环总数 N 之比 (N_i/N)。表示 ($Q_i/Q_{\max}$) 和 (N_i/N) 关系的线图称为载荷谱。表 1-7 列出了四个起重机名义载荷谱系数 K_Q , 每个系数值代表一个名义的载荷状态。

$$K_Q = \sum \left[\frac{N_i}{N} \left(\frac{Q_i}{Q_{\max}} \right)^m \right] \quad (1-2)$$

式中 Q_i ——第 i 个实际起升载荷, $i=1, 2, 3 \cdots n$;

$Q_{\max}$ ——额定起升载荷 (最大载荷);

N_i ——起升载荷 Q_i 的作用次数;

N ——工作循环总数, $N = \sum_{i=1}^n N_i$;

m ——材料疲劳试验曲线的指数, 此处取 $m=3$ 。

根据计算所得的 K_Q 从表 1-7 中查得最接近 (等于或稍大于) 的名义载荷谱系数。

表 1-7 起重机名义载荷谱系数 K_Q

载荷状态	名义载荷谱系数 K_Q	说 明
Q_1 ——轻	0.125	很少吊额定载荷,一般起吊轻载荷
Q_2 ——中	0.25	有时起吊额定载荷,一般起吊中等载荷
Q_3 ——重	0.5	经常起吊额定载荷,一般起吊较重的载荷
Q_4 ——特重	1	频繁起吊额定载荷

三、起重机整机工作级别

确定了起重机的利用等级和载荷状态后按表 1-8 确定起重机整机的工作级别。起重机整机的工作级别分为 A1~A8 共 8 级。

表 1-8 起重机整机工作级别 (ISO 4301—1: 1986; GB 3811—83)

载荷状态	名义载荷谱系数 K_Q	利 用 等 级									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q_1 ——轻	0.125			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q_2 ——中	0.25		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q_3 ——重	0.5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q_4 ——特重	1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

中国国家标准、国际标准和原苏联国家标准关于起重机工作级别划分以及原苏联《国家矿山技术监督安全规程》关于起重机整机工作类型划分有所区别。不同标准对起重机工作级别划分的对照见表 1-9。

表 1-9 不同标准对起重机工作级别划分的对照

标 准 名 称	工 作 级 别			
GB 3811—83 ISO 4301—1:1986	A1~A3	A4, A5	A6, A7	A8
ГОСТ 25835—83	1K~3K	4K, 5K	6K, 7K	8K
原苏联《国家矿山技术安全规程》	轻	中	重	特重

四、起重机机构的利用等级

起重机机构的利用等级表征机构工作的繁忙程度,以总的使用时间(h)为标志,分为 10 级(见表 1-10)。

五、起重机机构的载荷状态

起重机机构的载荷状态表征机构及其零部件受载的轻重程度,以及零件在载荷作用下损伤效应的大小。起重机机构的载荷状态由载荷谱系数表示,根据名义载荷谱系数将机构载荷状态分为 4 级(见表 1-11)。机构名义载荷谱系数的计算请参考《起重机设计手册》。

表 1-10 起重机机构的利用等级

利 用 等 级	总使用时间 ^① /h	平均每天运转时间 ^② /h	说 明
T_0	200		不经常使用
T_1	400		
T_2	800		
T_3	1600		
T_4	3200	0.64	经常使用
T_5	6300	1.28	
T_6	12500	2.56	
T_7	25000	5.12	繁忙使用
T_8	50000	10.24	
T_9	100000	20.48	

① 按每周双休日、工作级别 A7 的桥式起重机,报废年限按 20 年考虑,所列数据仅供参考。

② 利用等级 $T_0 \sim T_3$ 属不经常使用,所以不推算每天平均运转时间。

表 1-11 机构载荷状态分级及其名义载荷谱系数 K_m

载 荷 状 态	名义载荷谱系数 K_m	说 明
L_1 ——轻	0.125	机构经常承受轻的载荷,偶尔承受最大载荷
L_2 ——中	0.25	机构经常承受中等载荷,较少承受最大载荷
L_3 ——重	0.5	机构经常承受较重载荷,也常承受最大载荷
L_4 ——特重	1.0	机构经常承受最大载荷

六、起重机机构的工作级别

起重机机构的工作级别按机构的利用等级和载荷状态分为 8 级（见表 1-12）。

表 1-12 起重机机构的工作级别

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	0.5	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L_4 ——特重	1.0	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			

中国国家标准、国际标准和原苏联国家标准关于起重机机构工作级别划分以及原苏联《国家矿山技术监督安全规程》关于机构工作类型划分也有不同。不同标准对起重机构工作级别划分的对照见表 1-13。

表 1-13 不同标准对起重机机构工作级别划分的对照

标 准 名 称	机 构 工 作 级 别				
GB 3811—83	M1~M3		M4,M5	M6,M7	M8
ISO 4301—1:1986					
ГОСТ 25835—83	1M	2M,3M	4M	5M	6M
原苏联《国家矿山技术安全规程》	手动	轻	中	重	特重

七、起重机的工作类型

起重机的工作类型表明起重机工作繁重程度和载荷波动特性。起重机是间歇工作的机器，具有短暂而重复工作的特征。它不像一般机器，开动后在较长一段时间内连续不停地运转，而起重机工作时各机构时开时停，时而正转、时而反转。有的日夜三班工作，有的只工作一班，有的甚至一天只工作几次。这种工作状况表明起重机及其机构的工作繁忙程度是不同的。此外，作用于起重机上的载荷也是变化的，有的经常满载工作，有的经常只吊轻载。还有，由于各机构的短暂而重复的工作，起动、制动频繁，因此时时受到动力冲击载荷的作用。由于机构工作速度不同，这种动力冲击载荷作用程度也不同。因此将起重机按工作忙闲程度、载荷波动特性决定的工作类型划分为轻、中、重、特重四种类型。

1. 工作忙闲程度

对整个起重机来说，起重机实际运转时数与该机运转总时数之比称为起重机工作忙闲程度。起重机某一机构在一年内实际运转时数与该机构年运转总时数之比则是该机构的工作忙闲程度。在起重机的工作循环中某机构实际运转时间所占的百分比，称为该机构的负载率或机构运转时间率，用 JC 表示，即

$$JC=t/T \tag{1-3}$$