

普通高等教育机械类特色专业规划教材

# 液压挖掘机

史青录 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



本书详细介绍了液压挖掘机的工作装置、回转机构、回转支承、行走装置、液压系统及其他辅助装置的结构特点、工作原理、设计方法、分析手段以及当今挖掘机上所采用的国际先进技术。本书运用了现代设计理论和方法对挖掘机的结构设计和性能分析方法进行了系统阐述,推导出了一系列分析计算公式,给出了工作装置、回转和行走机构及液压系统的具体设计方法和步骤,并通过自行研发的计算机软件(EXCA)对实例机型进行了分析验证,得出了一系列具有工程参考价值的分析结果。

本书可作为高等院校机械、车辆等相关专业(方向)的课程教材,也可作为相关学科研究生及工程机械行业相关技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压挖掘机/史青录主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 12  
普通高等教育机械类特色专业规划教材  
ISBN 978-7-111-34597-8

I. ①液… II. ①史… III. ①液压式挖掘机—高等学校—教材  
IV. ①TU621

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第214080号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 韩冰 冯钺

版式设计:霍永明 责任校对:肖琳

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2012年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm 24.5印张·607千字

标准书号:ISBN 978-7-111-34597-8

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 普通高等教育机械类特色专业规划教材

## 编写委员会

### 顾问:

任露泉 中国科学院院士 吉林大学 教授/博士生导师  
钟掘 中国工程院院士 中南大学 教授/博士生导师  
石来德 中国工程机械学会理事长 同济大学 教授/博士生导师  
陆大明 中国物流工程学会理事长 北京起重运输机械设计研究院院长

### 主任:

徐格宁 太原科技大学 副校长 教授/博士生导师

### 委员:

周奇才, 朱西产, 罗永峰, 邓洪洲 同济大学 教授  
宋甲宗, 苗明, 王欣, 杨睿, 冯刚 大连理工大学 教授  
王国强 吉林大学 教授  
毛海军, 林晓通 东南大学 教授  
冯忠绪 长安大学 教授  
胡吉全 武汉理工大学 教授  
李自光 长沙理工大学 教授  
王国华 北京科技大学 教授  
宋伟刚 东北大学 教授  
米彩盈, 张仲鹏 西南交通大学 教授  
陶元芳, 孟文俊, 文豪, 张亮有, 秦义校, 韩刚 太原科技大学 教授  
于岩 山东科技大学 教授  
王彪 中北大学 教授  
刘永峰 北京建工学院  
何燕 青岛科技大学  
赵春晖, 刘武胜 北京起重运输机械设计研究院  
章二平 柳州工程机械集团公司  
顾翠云 太原重型机械集团公司  
聂春华 江西华伍制动器股份有限公司  
田东风 大连博瑞重工股份有限公司  
邓海平 机械工业出版社

# 序

## 一、编写背景和依据

随着国民经济的高速发展，面向 21 世纪社会发展的需求，面对激烈的市场竞争，高等教育应适时转变观念和理念，不断进行教学改革和创新，以期更好地适应我国高等教育跨越式的发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转型中社会对高校应用型人才培养的差异性要求，探索和建立适应我国高等教育应用型人才培养体系和工程教育体系。“高等工科教育回归工程”、“应用型本科教育”、“强化能力导向原则”等基于社会需求及人才培养和教学改革的教育理念，是《高等教育法》提出的“高等教育教学改革务必根据不同类型、不同层次高等学校自身实际”要求、“高等学校本科教学质量与教学改革工程”（简称“质量工程”）所坚持的“分类指导、鼓励特色、重在改革”原则的创新成果和实践载体。

高等教育可分为教学型、教学研究型、研究型，要求高校按照“质量工程”对人才培养目标进行合理定位，对教学过程进行科学创新，发挥自身优势，形成各自特色，从而满足社会对多样化人才的需求。人才培养目标的差异化，直接要求教学内容、教材建设具有针对性。《高等教育法》第 34 条明确规定：“高等学校根据教学需要，自主制定教学计划、选编教材、组织实施教学活动。”教育部在 2007 年提出本科教育、教学“质量工程”，鼓励和支持高等学校在教学理念等方面进行创新，形成有利于多样化人才成长的培养体系，满足国家对社会紧缺的创新型和应用型人才的需要。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本；教材大计，适用为本。”针对人才培养目标的差异化和教学内容、教材建设的同质化的矛盾，国内具有机械行业特色专业的相关高校与机械工业出版社共同协商，专题研讨，成立机械类特色专业系列教材编写委员会，以“打造特色精品教材，促进专业教育发展”的理念规划出版的“普通高等教育机械类特色专业规划教材”，是对“质量工程”中所要求的“重点规划、建设多种基础课程和专业课程教材，促进高等学校教学内容更新、教材建设工作”的落实。

在教材选题设计思路贯彻教育部关于培养适应地方、区域和社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”的指示精神，突出了教材建设与办学定位、教学目标的一致性与适应性。教材立足的培养目标是加强工程意识的培养，加强理论与实践的结合，加强实践教学和工程训练，面向培养生产第一线从事设计、制造、运行、研究和管理实际工作、解决具体问题、保障工作有效运行的高等应用型人才。

在教材编写中既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律，又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点，精心设计写作体例，科学安排知识内容，注重解决现行教材存在的问题：如教材缺乏连续性修订；现行国家标准已经与国际接轨，现行教材中相关内容陈旧过时；企业和研究院所本专业工程技术人员对特色专业教材的日益需求。充分体现“基本理论够用，专业理论雄厚，注重实践环节，培养工程能力”的内涵和尺度的

把握。

## 二、机械类特色专业（方向）

面向机械工业和重型机械行业的本科特色优势专业（方向）包括但不限于起重输送机械、工程机械、矿山机械、港口装卸机械、物流工程（装备与技术）、特种设备安全工程。

研究生特色优势学科包括但不限于机械设计及其理论、车辆工程、机械制造及其自动化、机械电子工程。

工程硕士特色优势领域包括但不限于机械工程、车辆工程。

## 三、机械类特色专业教材规划

由于起重输送机械和工程机械方面的教材专业性强，用量少，出版难，距前一版出版时间大多数已超过十年，涉及相关标准和技术已经更新，许多企业与研究院所作为继续教育和新大学生的技术培训或设计参考，现急需出版新教材和修订版。根据市场调研和急需程度，机械类特色专业规划教材编写委员会提出了第一批特色专业教材出版规划，具体书目列表如下：

序号	教材名称	适用专业（方向）	字数/万
1	机械装备金属结构设计	起重输送机械、工程机械、矿山机械、机械CAD、物流工程、特种设备安全工程	65
2	叉车构造与设计	起重输送机械、机械CAD、物流工程	30
3	连续输送机械	起重输送机械、机械CAD、矿山机械、港口装卸机械	45
4	起重机械	起重输送机械、机械CAD、港口装卸机械	40
5	土方运输机械	工程机械、矿山机械	40
6	矿井提升机械	起重输送机械、矿山机械	34
7	液压挖掘机	工程机械、矿山机械	40
8	工程机械设计基础	工程机械、起重机械、矿山机械、机械CAD	45
9	现代施工工程机械	工程机械，土木建筑，交通运输，水利水电，采矿工程，农业工程	49
10	特种设备安全技术	起重机械、工程机械、特种设备安全工程	30
11	机械装备金属结构课程设计	起重输送机械、工程机械、矿山机械、机械CAD、物流工程、特种设备安全工程、港口装卸机械	30
12	起重机械课程设计	起重机械、工程机械、矿山机械、港口装卸机械	30
13	输送搬运机械课程设计	起重输送机械、机械CAD、物流工程、特种设备安全工程	30
14	机械CAD课程设计	起重输送机械、机械CAD、物流工程、特种设备安全工程	30
15	机械装备金属结构习题集	起重输送机械、工程机械、矿山机械、机械CAD、物流工程、特种设备安全工程	10
16	起重机械习题集	起重机械、矿山机械、物流工程、港口装卸机械	15

(续)

序号	教材名称	适用专业(方向)	字数/万
17	机械工程软件技术基础	机械设计制造及其自动化专业各方向	30
18	机械CAD应用技术	机械设计制造及其自动化专业各方向	30
19	散体力学及工程应用	输送机械、工程机械、物流工程、矿山机械、港口装卸机械	34
20	机械类特色专业实验教学指导书	起重输送机械、工程机械、矿山机械、机械CAD、物流工程、特种设备安全工程	20

希望本特色专业规划教材的出版,能够满足各相关学校特色专业的教学以及相关行业工程技术人员的需要。对教材编写过程中,各相关学校、行业的专家学者的鼎力支持和热忱帮助表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,本特色专业规划教材将会存在某些不足和缺陷,真诚欢迎领域的专家、学者和广大读者批评指正。

普通高等教育机械类特色专业规划教材编写委员会

徐格宁

# 前 言

液压挖掘机是土方施工工程中经常使用的主要机种之一，在建筑、交通、水利、采矿、国防、农业及城市建设等土石方施工工程中起着十分重要的作用。近年来，随着应用范围的日益扩大和设计、制造、计算机技术以及控制技术的飞速发展，该机种在设计理论和方法、加工工艺，分析研究手段等方面有了质的飞跃，其涉及的领域涵盖了数学、力学、机械、液压、电子、计算机、现代控制理论和技术、信息技术及节能技术等许多方面；但对该机种的设计理论和方法、技术手段等方面进行系统介绍的教材还没有及时更新，以往的相关教材及参考书已不能满足高校相关专业教学和行业有关工程技术人员需要。为此，作者经过长期的学习和探索，在秉承了前人知识经验并参考了大量文献的基础上完成了本书，旨在为工程机械专业的学生和本行业的相关工程技术人员提供参考。并希望本书可使我国液压挖掘机的设计水平能得到一定程度的提高，为改善该机种的综合性能和提高我国挖掘机的核心竞争力、推动我国该类产品的的发展作出贡献。

本书共分为 12 章，可概括为三个部分。第一部分通过绪论介绍了挖掘机的发展历史、应用领域、生产情况、技术现状及发展趋势；第二部分为第 2~11 章，从总体结构到各主要组成部分详细介绍了液压挖掘机的结构特点、工作原理、设计方法及分析研究手段等；第三部分参考国际、国家和行业标准介绍了液压挖掘机的试验规范、试验内容和试验方法。

本书的主要特点可概括为以下五个方面：

(1) 对液压挖掘机工作装置的运动分析采用了空间矢量和矩阵运算方法，运用整体和相对坐标系概念建立了各铰接点及斗齿尖的位置坐标计算公式，这些公式更加适合于计算机编程并求解各铰接点及斗齿尖在空间的任意位置坐标，克服了解析法在这方面的不足，同时也提高了运算速度和精度。在此基础上，详细介绍了挖掘包络图的绘制方法及过程，对反铲液压挖掘机主要工作尺寸的计算进行了详细介绍，并补充了最大垂直挖掘深度及水平底面为 2.5m 时的最大挖掘深度的计算方法。

(2) 利用矢量分析方法给出了整机理论挖掘力的计算方法和计算公式，以及在全局范围内寻找整机最大理论挖掘力的方法。详细介绍了挖掘图的绘制步骤，并借助作者研发的软件 EXCA 对实例挖掘图进行了分析，通过挖掘图详细阐述了整机挖掘作业性能的分析方法、评价指标及改进方法。

(3) 利用矢量力学原理介绍了对液压挖掘机工作装置各铰接点进行静力学分析的方法，详细介绍了其受力分析过程并推导了各铰接点的受力计算公式，填补了以往教材和参考文献在这方面的空白。通过这些公式，可得到各铰接点在选定工况下任意位置的三维受力（力矩）情况，为液压挖掘机的结构设计和强度分析提供了可靠的依据和便利。作者还将上述过程补充到了自行研发的软件 EXCA 中，并通过实例机型得到了验证。

(4) 分别用解析法和作图法介绍了反铲液压挖掘机工作装置的设计方法，介绍了对工

作装置主要结构件及行走架进行强度分析的工况选择依据, 以及用材料力学和有限元方法进行强度分析的过程、步骤及部分实例分析结果。

(5) 对挖掘机上采用的液压系统及其设计过程进行了详细介绍。书中除介绍了挖掘机液压系统的主要类型和基本回路外, 还补充了近年来国际知名品牌上采用的先进控制系统, 如负流量控制系统、正流量控制系统、负荷传感控制技术、与发动机相结合的节能控制技术以及液压系统设计的基本方法和步骤。

本书是针对工程机械专业的高年级本科生、研究生及相关工程技术人员编写的, 为更好地掌握书中内容, 在学习本书内容之前应该具备机械工程领域的相关基础理论和专业基础知识, 包括线性代数、矩阵理论、工程力学、机械原理及机械设计、液压传动、优化设计方法、有限元方法等。

在编写本书之前, 作者已有经过多年补充更新和使用的讲义, 包括采用现代设计方法对工作装置进行受力分析、挖掘图的绘制和分析、先进的液压系统等内容, 并已在学校和相关企业进行了多次试用, 效果良好, 得到了学生和相关专业人士的好评。

秉承前辈和专家的知识、经验以及他们严谨的治学作风, 作者经过长期的学习和探索完成了本书的编写工作, 在此向各位前辈、专家及广大读者致以深深的谢意! 并对本书主审徐格宁教授表示衷心的感谢!

感谢机械工业出版社对本书的出版所给予的高度关注和大力支持!

感谢多年来与我们长期合作的广西柳工机械股份有限公司、贵州詹阳动力重工有限公司、四川成都成工工程机械股份有限公司、山推工程机械股份有限公司、长沙中联重工科技发展股份有限公司、厦门厦工机械股份有限公司、河北钢铁集团宣工公司等国内知名企业, 它们的长期关注和大力支持给了我们强劲的动力!

由于作者理论知识的局限和实际经验的不足, 书中缺点和不足之处在所难免, 敬请广大读者提出批评和建议。

编者



# 目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 挖掘机械的发展史	2
1.2 挖掘机械的分类	4
1.3 挖掘机的应用情况	7
1.4 挖掘机的技术现状	7
1.4.1 国外发展现状	7
1.4.2 国内发展概况	10
1.5 挖掘机械的发展趋势	11
思考题	14
第 2 章 单斗液压挖掘机的总体结构与总体方案设计	15
2.1 液压挖掘机的型号标记	16
2.2 单斗液压挖掘机的组成和工作原理	17
2.2.1 动力装置	18
2.2.2 工作装置	20
2.2.3 回转驱动装置及回转支承	22
2.2.4 行走装置	23
2.2.5 液压系统	23
2.2.6 操纵装置	23
2.2.7 电气系统	23
2.2.8 润滑系统	24
2.2.9 热平衡系统	27
2.2.10 其他辅助系统	29
2.3 反铲挖掘机的作业过程及基本作业方式	29
2.4 液压挖掘机的总体设计	30
2.4.1 液压挖掘机总体设计的内容及设计原则	30
2.4.2 确定整机结构方案并拟定设计任务书	32
2.5 单斗液压挖掘机的基本参数和主要参数	38
2.6 单斗液压挖掘机主要参数的选择方法	40
2.6.1 选择主要参数的基本依据	40
2.6.2 确定主要参数的方法	40
思考题	45
第 3 章 反铲工作装置的构造与设计	47
3.1 反铲工作装置的整体结构形式	48
3.2 反铲挖掘机的作业过程及基本作业方式	49
3.3 反铲动臂的结构形式	50
3.4 动臂液压缸的布置方式	53
3.5 反铲斗杆的结构形式	55
3.6 动臂与斗杆的连接方式	56
3.7 反铲铲斗连杆机构	57
3.8 反铲铲斗的结构形式	58
3.9 反铲工作装置的几何关系及运动分析	62
3.9.1 符号约定与坐标系的建立	62
3.9.2 回转平台(转台)的运动分析	64
3.9.3 动臂机构的几何关系及运动分析	65
3.9.4 斗杆机构的几何关系及运动分析	67
3.9.5 铲斗及铲斗连杆机构的几何关系及运动分析	69
3.9.6 反铲挖掘机的主要作业参数	71
3.9.7 反铲挖掘机的作业范围和挖掘包络图	77
3.10 反铲工作装置铰接点位置的确定	82

3.10.1 反铲工作装置结构方案的确定	83	计算	159
3.10.2 铲斗结构参数的确定	86	5.3.3 正铲液压挖掘机的几何关系及其包络图	162
3.10.3 普通反铲动臂机构的设计	90	思考题	162
3.10.4 反铲斗杆机构的设计	95	<b>第6章 回转平台、回转支承及回转驱动装置</b>	165
3.10.5 反铲铲斗连杆机构的设计	99	6.1 回转平台	166
3.10.6 反铲工作装置设计的混合方法	108	6.1.1 回转平台的结构	166
思考题	113	6.1.2 回转平台上各部件的布置及转台平衡	166
<b>第4章 反铲液压挖掘机挖掘力的分析计算</b>	115	6.2 回转支承	168
4.1 工作液压缸的理论挖掘力	116	6.2.1 转柱式回转支承	168
4.1.1 铲斗液压缸的理论挖掘力	116	6.2.2 滚动轴承式回转支承	168
4.1.2 斗杆液压缸的理论挖掘力	118	6.3 回转驱动装置	171
4.2 整机的理论挖掘力	119	6.3.1 半回转的回转驱动装置	171
4.3 整机的实际挖掘力	131	6.3.2 全回转的回转驱动装置	172
4.4 挖掘图	131	6.4 中央回转接头	178
4.4.1 挖掘图的绘制	131	6.5 转台的运动特点及载荷形式	181
4.4.2 挖掘图实例分析	132	6.6 滚动轴承式全回转支承的选型计算	181
4.5 工作装置的设计合理性分析	141	6.6.1 回转支承选型计算的工况选择及载荷计算	181
4.6 整机最大挖掘力的确定	145	6.6.2 滚动轴承式全回转支承的当量载荷及载荷能力计算	184
4.6.1 整机最大挖掘力的数学模型	145	6.7 全回转挖掘机的转台回转阻力矩计算	186
4.6.2 选择优化搜索方法	145	6.8 全回转驱动机构的选型计算	188
4.6.3 实例分析	146	思考题	191
思考题	147	<b>第7章 行走装置构造及设计</b>	193
<b>第5章 正铲液压挖掘机工作装置构造与设计</b>	149	7.1 履带式行走装置的结构形式	194
5.1 普通正铲工作装置的机构形式和作业方式	150	7.1.1 行走架	194
5.2 正铲挖掘装载装置及其结构特点	153	7.1.2 履带	197
5.2.1 普通型挖掘装载装置	153	7.1.3 支重轮	200
5.2.2 在动臂和转台之间增设辅助液压缸的挖掘装载装置	154	7.1.4 导向轮	202
5.2.3 在动臂和斗杆之间增设辅助液压缸的挖掘装载装置	156	7.1.5 履带张紧装置	203
5.2.4 TRI—POWER 型挖掘装载装置(三功能机构)	157	7.1.6 驱动轮	204
5.3 正铲液压挖掘机的主要性能参数	159	7.2 履带式行走装置	205
5.3.1 正铲液压挖掘机的主要作业尺寸	159	7.2.1 履带式行走装置的传动方式	205
5.3.2 正铲液压挖掘机的挖掘力及其		7.2.2 履带式行走装置的设计	211
		7.3 轮胎式行走装置	218
		7.3.1 轮胎式行走装置的结构布置	218



7.3.2 轮胎式行走装置的传动方式 .....	220	10.5 履带式液压挖掘机底架的	
7.3.3 轮胎式挖掘机的悬挂装置 .....	224	强度分析 .....	281
7.3.4 轮胎式挖掘机的转向机构 .....	224	10.5.1 底架强度计算的选择工况 .....	282
7.3.5 轮胎式挖掘机的支腿 .....	226	10.5.2 底架的载荷形式 .....	283
思考题 .....	230	10.5.3 底架有限元模型的载荷施加	
<b>第8章 挖掘机的稳定性分析</b> .....	<b>233</b>	方式 .....	284
8.1 稳定性的概念 .....	234	10.6 工作装置的动态强度分析及其他 .....	287
8.2 稳定性工况选择及稳定		思考题 .....	288
系数计算 .....	235	<b>第11章 反铲挖掘机的液压系统</b> .....	<b>289</b>
8.2.1 建立坐标系 .....	235	11.1 液压挖掘机的工况特点及其对液压	
8.2.2 影响稳定性的因素及		系统的要求 .....	290
其数学表达 .....	235	11.1.1 挖掘机的工况特点 .....	290
8.2.3 不同工况的稳定性		11.1.2 挖掘机对液压系统的要求 .....	293
系数计算公式 .....	236	11.2 液压系统的主要类型和特点 .....	294
8.3 最不稳定姿态的确定 .....	242	11.2.1 液压泵的主要性能参数及液压	
思考题 .....	245	系统分类 .....	294
<b>第9章 反铲挖掘机的部件</b>		11.2.2 定量系统 .....	295
<b>受力分析</b> .....	<b>247</b>	11.2.3 变量系统 .....	297
9.1 铲斗及铲斗连杆机构的受力分析 .....	248	11.2.4 开式系统和闭式系统 .....	303
9.2 斗杆及斗杆机构的受力分析 .....	251	11.2.5 单泵系统和多泵系统 .....	304
9.3 动臂及动臂机构的受力分析 .....	253	11.2.6 串联系统和并联系统 .....	304
9.4 偏载及横向力的计入 .....	255	11.3 液压挖掘机的基本回路 .....	305
9.5 回转平台的受力分析 .....	257	11.3.1 限压回路 .....	305
9.6 履带式液压挖掘机接地比压分析 .....	259	11.3.2 卸荷回路 .....	306
思考题 .....	263	11.3.3 调速和限速回路 .....	306
<b>第10章 主要结构件的强度分析</b> .....	<b>265</b>	11.3.4 行走限速补油回路 .....	308
10.1 静态强度分析方法及其判定依据 .....	266	11.3.5 回转缓冲补油回路 .....	308
10.1.1 静态强度分析方法概述 .....	266	11.3.6 支腿顺序动作及锁紧回路 .....	309
10.1.2 静态强度分析判定依据 .....	267	11.4 执行元件的辅助控制回路 .....	310
10.2 静态强度分析工况和计算位置的		11.4.1 行走自动二速系统 .....	310
选择 .....	268	11.4.2 行走直驶控制系统 .....	311
10.3 工作装置的静强度分析 .....	269	11.4.3 转台回转摇晃防止机构 .....	311
10.3.1 动臂的静强度分析 .....	269	11.4.4 工作装置控制系统 .....	312
10.3.2 斗杆的静强度分析 .....	275	11.5 液压挖掘机的控制系统 .....	312
10.3.3 铲斗的静强度分析 .....	279	11.5.1 先导型控制系统 .....	313
10.4 转台的强度分析 .....	279	11.5.2 负流量控制系统 .....	316
10.4.1 转台强度计算的选择工况 .....	279	11.5.3 正流量控制系统 .....	318
10.4.2 转台的载荷形式 .....	281	11.5.4 负荷传感控制系统 .....	319
10.4.3 转台有限元模型的载荷施加		11.5.5 液压挖掘机的发动机	
方式 .....	281	控制系统 .....	322

11.6 液压挖掘机整机控制系统.....	326	12.1.3 行驶性能试验.....	354
11.6.1 液压油温度控制系统.....	326	12.1.4 空运转试验.....	356
11.6.2 液压挖掘机工况检测与故障 诊断系统.....	327	12.1.5 作业试验.....	357
11.6.3 自动挖掘控制系统.....	328	12.1.6 工业性试验.....	358
11.6.4 遥控挖掘机.....	328	12.1.7 技术要求与相关标准.....	358
11.7 液压系统的设计及性能分析.....	329	12.2 主要机构和部件的试验.....	360
11.7.1 明确设计要求、分析 工况特征.....	330	12.2.1 回转试验.....	360
11.7.2 确定液压系统主要参数.....	332	12.2.2 结构强度试验.....	361
11.7.3 液压系统方案的拟定.....	332	12.2.3 液压系统试验.....	362
11.7.4 系统初步计算及液压 元件的选择.....	334	12.3 环保与排放试验.....	365
11.7.5 液压系统性能分析.....	340	12.3.1 噪声试验.....	365
11.7.6 绘制系统图和编写技术文件.....	344	12.3.2 振动试验.....	368
思考题.....	345	12.3.3 排放试验.....	368
<b>第12章 液压挖掘机的试验</b> .....	347	12.4 安全性试验.....	370
12.1 整机试验及其相关标准.....	348	12.4.1 防护装置试验.....	370
12.1.1 整机定置试验.....	348	12.4.2 起重量试验.....	372
12.1.2 倾覆力矩与挖掘力试验.....	350	12.4.3 其他安全装置试验.....	375
		思考题.....	376
		<b>参考文献</b> .....	377
		<b>读者信息反馈表</b>	



## 第 1 章

# 绪 论



## 1.1 挖掘机械的发展史

挖掘机械是工程建筑机械的主要机种之一，是进行土方工程作业的主要机械设备，它包含了各种类型与功能的机型。挖掘机的最早雏形可追溯到 16 世纪的意大利，当时它被用于威尼斯运河的疏浚工作，模拟人的掘土工作。以蒸汽机驱动的“动力铲”则诞生于 19 世纪（1836 年），发展至今已有 170 余年的历史<sup>[1]</sup>。

长期以来，随着工业和科学技术的不断发展，从早期的以简单正铲为代表的机械式挖掘机发展到当今以采用液压和电力技术以及复杂控制技术为特征的单斗液压挖掘机和多斗挖掘机，在结构、材料、工艺、性能及用途等方面都取得了惊人的进步，但由于其作业对象相对未变，因而其基本工作原理至今未有明显的改变，只是在原工作装置基础上增加了部分配套作业装置，而动力装置、传动系统以及控制方式的不断革新则基本上反映了挖掘机发展的几个阶段。

第一阶段：蒸汽机驱动的单斗机械式挖掘机从发明到广泛应用大约经历了 100 年。该机型初期主要用于挖掘运河和修建铁路，以后逐渐扩展到采矿业和建筑业，其结构形式由轨道行走的半回转式发展到履带行走的全回转式，如图 1-1 所示。

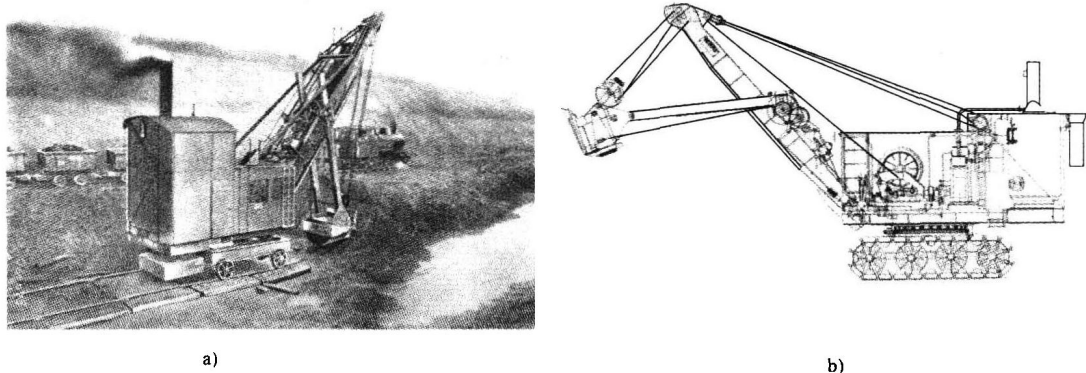


图 1-1 蒸汽机驱动的单斗机械式挖掘机（图片来自 DEMAG 公司的产品样本）  
a) 早期的轨道式挖掘机（1920 年） b) 早期的履带式挖掘机（1929 年）

第二阶段：1899 年出现了第一台电动挖掘机，内燃机与电动机驱动的单斗挖掘机则发展于 20 世纪初。第一次世界大战后汽油机和柴油机先后用于轮胎式单斗挖掘机和履带式单斗挖掘机，改善了挖掘机的越野性能和机动性能，扩大了使用范围（图 1-2）。

第三阶段：20 世纪 40 年代末至 20 世纪 50 年代初，随着液压传动技术的迅速发展，挖掘机开始应用液压传动，并且由半液压传动发展到全液压传动（图 1-3）。挖掘机传动形式的液压化是挖掘机由机械传动的传统结构发展到现代传动结构的一次跃进。液压挖掘机的产量日益增长，20 世纪 60 年代初期，液压挖掘机的产量只占挖掘机总产量的 15%，但到了 20 世纪 70 年代初期，其产量已占到了总产量的 90% 左右<sup>[1]</sup>。近年来，应用于工程建设的单斗挖掘机几乎已全部采用液压传动。与此同时，斗轮挖掘机、轮斗挖沟机、铣切式挖掘机的工作装置和臂架升降等部分也采用了液压传动，大型矿用挖掘机在基本传动形式不变的情况下，其工作装置也改为了液压驱动（图 1-4）。



图 1-2 柴油机驱动的单斗机械式挖掘机  
(图片来自 DEMAG 公司 1952 年的产品样本)



图 1-3 早期的单斗液压挖掘机 (图片来自 DEMAG 公司 1954 年的产品样本)

第四阶段: 控制方式的不断革新使挖掘机由简单的机械杠杆操纵发展到液压操纵、气压操纵、液压伺服操纵、电气控制和无线电遥控。

第五阶段: 自 20 世纪 90 年代以来, 随着电子计算机技术的发展和普及, 开始利用电子计算机综合控制技术对挖掘机进行节能和智能化控制。各种节能控制技术在挖掘机上的应用已成为体现其技术水平的重要标志, 而利用 GPS 和激光导向相结合, 使操纵者在集中控制室内通过中央控制器监视若干台挖掘机进行同时协调工作的全自动化作业技术已不再是梦想。此外, 信息化技术和远程故障诊断技术也在这一阶段相继出现, 通过该项技术, 现场设备可与远程控制系统连接, 交换故障数据, 实时地对整机的状态进行监控或离线分析, 进行保养或者排除故障。



图 1-4 当代的单斗液压挖掘机 (广西柳工机械股份有限公司, 简称柳工)

除单斗挖掘机外, 多斗挖掘机的发展也有 100 多年的历史。最早的多斗挖掘机于 1860 年在法国设计制造, 用于苏伊士运河的挖掘工作; 1916 年出现了轨道式斗轮挖掘机; 1919 年前后, 德国制造了第一台履带式斗轮挖掘机, 继而在欧洲多国得到了广泛应用; 至 20 世纪 50 年代, 中小型斗轮挖掘机获得了较快的发展。1975 年, 原联邦德国生产了日产 20 万  $\text{m}^3$  的斗轮挖掘机; 1977 年又研制成功日产 24 万  $\text{m}^3$  的巨型斗轮挖掘机, 整机约为 13000t。这是 20 世纪 80 年代初世界上最大的斗轮挖掘机 (图 1-5)。由于自身的性能优越, 斗轮挖掘机基本上已取代了大型链斗式挖掘机, 广

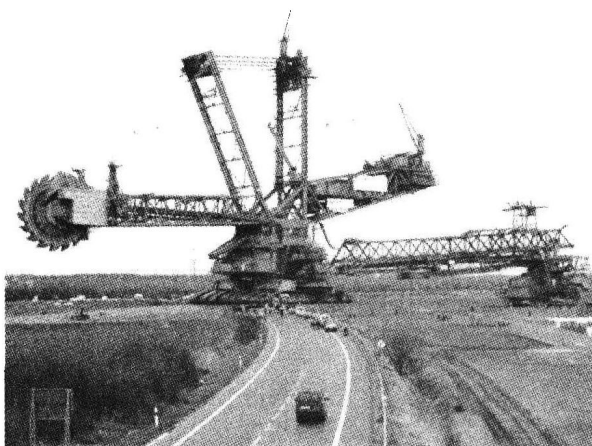


图 1-5 大型斗轮挖掘机 (图片来自 O&K 公司样本)

泛应用于露天矿山、水电施工及建筑材料采掘等部门，是高效率的现代化施工机械。

## 1.2 挖掘机械的分类

4

到目前为止，已出现了很多类型的挖掘机械，其构造形式也呈多样化，可按照工作原理、用途、结构特征等进行划分。挖掘机根据作业循环方式可分为周期作业式和连续作业式两大类。根据参考文献 [1]，挖掘、运载、卸载等作业依次重复循环进行的挖掘机称为周期作业式挖掘机，各种单斗挖掘机都属于这一类；挖掘、运载、卸载等作业同时连续进行的挖掘机称为连续作业式挖掘机，各种多斗挖掘机以及滚切式挖掘机、隧洞掘进机等均属于这一类。习惯上把上述两大类简称为单斗挖掘机与多斗挖掘机。单斗挖掘机根据用途可分为建筑型、采矿型和剥离型等。建筑型挖掘机一般可装置各种不同的工作装置，进行多种作业，故又称为通用型（或万能型）挖掘机。采矿型、剥离型和隧洞挖掘机等只安装单种工作装置，专门用于特点作业，故称为专用型挖掘机。挖掘机根据动力装置可分为电驱动、内燃机驱动和复合驱动等。以一台发动机带动全部机构的挖掘机为单机驱动式，以若干台发动机分别带动各主要机构的挖掘机为多机驱动式。挖掘机根据传动方式可分为机械传动式、液压传动式和混合传动式（一部分机构采用机械传动，另一部分机构采用液压传动或电传动，又称为半液压传动）。挖掘机根据行走装置形式可分为履带式、轮胎式、汽车式、步行式、轨道式、拖式等。履带式与轮胎式应用广泛，步行式主要用于剥离型作业。此外还有浮式（船舶式）挖掘机，专用于水下采掘或港口疏浚（单斗或多斗）。表 1-1 为综合上述内容的挖掘机分类表。

表 1-1 挖掘机分类表

分类依据	形 式	具体机型
作业循环方式	周期作业式 连续作业式	单斗机械、液压挖掘机（正铲、反铲等） 斗轮挖掘机、链斗挖掘机等
用途	建筑型 采矿型 剥离型	中小型反铲单斗挖掘机 大型电铲、液压正铲挖掘机 大型电铲、液压正铲挖掘机、斗轮挖掘机
动力装置	电驱动 内燃机驱动 复合驱动	电铲 中小型正铲、反铲挖掘机 柴电混合动力（研制中）
传动方式	机械传动 液压传动 电传动 混合传动	机械式挖掘机 大、中、小型反铲、正铲挖掘机 电铲、斗轮挖掘机 柴电混合动力（研制中）
行走装置形式	履带式 轮胎式 汽车式 步行式 轨道式 拖式等 船舶式	中小型正铲、反铲挖掘机 中小型反铲挖掘机 小型反铲挖掘机 大型拉铲挖掘机 小型反铲挖掘机 小型反铲挖掘机 中型反铲挖掘机



由于篇幅所限，本文对多斗挖掘机不作详细介绍，以下内容为单斗挖掘机的分类。

单斗挖掘机工作装置的形式很多，大体可分为机械式和液压式两大类。机械式中一般又可分为电驱动和柴油机驱动两种形式。但不管哪种形式，机械式单斗挖掘机的动力传动装置（包括行走装置、工作装置和回转装置）都采用机械传动，具有代表性的部件有齿轮、齿条及钢索等，其中钢索的伸出和卷入动作多采用电驱动。采用机械传动的挖掘机其工作装置有：正铲、反铲、拉铲、抓斗和起重吊钩等，如图 1-6 所示。

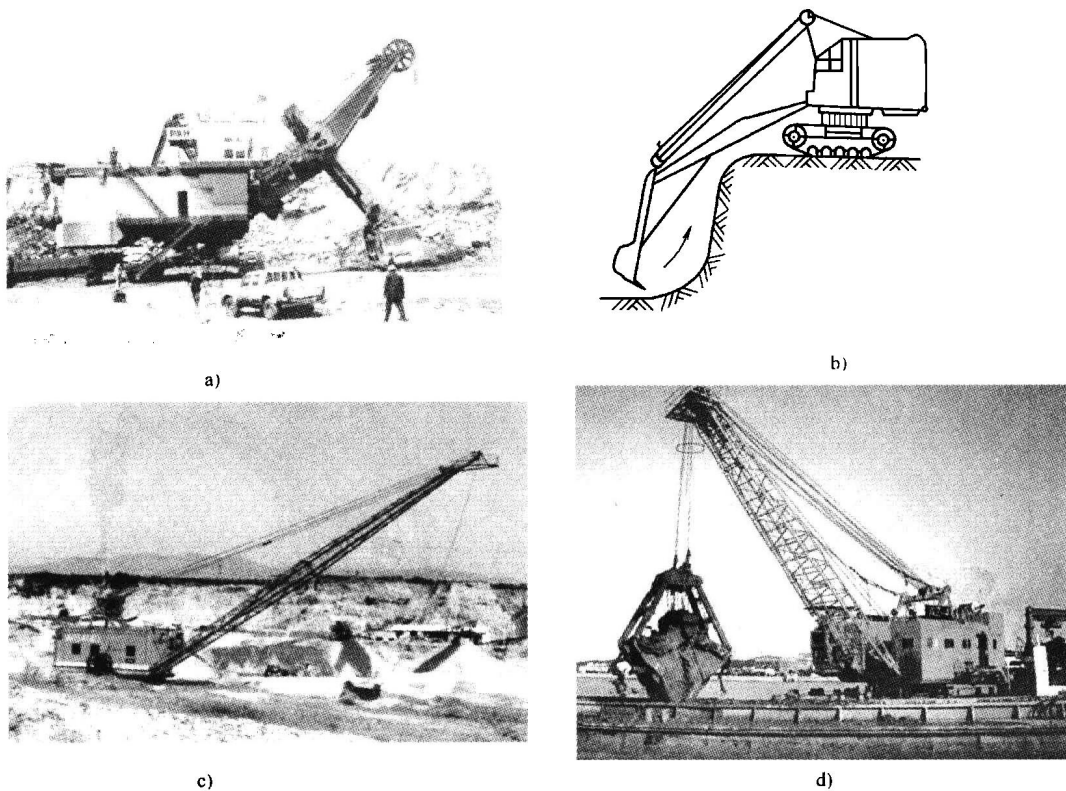


图 1-6 机械式单斗挖掘机

a) 机械式正铲 b) 机械式反铲 c) 机械式拉铲（步行式） d) 机械式抓斗

采用液压传动的挖掘机，一般主要是指驱动工作装置的动作为液压传动，其二次动力源一般来自液压泵，由液压泵泵出的具有一定压力和流量的压力油，经过油管和各种控制阀到达执行元件（液压缸、液压马达），最后由液压缸或液压马达驱动执行元件，从而实现工作装置的运动。只有工作装置采用液压传动而其他部件为机械传动的机型，一般称为半液压传动型挖掘机；而工作装置、行走装置和回转装置都采用液压传动的机型，一般称为全液压传动型挖掘机。全液压传动型挖掘机的行走装置和回转装置一般由液压马达和减速机构组成。不管是全回转形式还是半回转形式，液压挖掘机的工作装置一般包括正铲、反铲、抓斗、装载、破碎和起重等，如图 1-7 ~ 图 1-9 所示。