

工程机械设计与维修丛书

液压挖掘机

孔德文 赵克利 徐宁生 等编著



 化学工业出版社

工程机械设计与维修丛书

液 压 挖 掘 机

孔德文 赵克利 徐宁生 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书较系统地阐述了液压挖掘机的设计方法、结构原理和使用维护技术,以国内外先进机型为例,深入分析了工作装置、回转支承机构、行走机构及液压系统的结构特点 and 设计思路,重点介绍了国外机型先进的机械结构、液压系统和机电一体化控制技术。

本书可供从事工程机械科研、设计制造和使用维修方面的工程技术人员以及从事液压挖掘机营销和运用管理等方面的有关人员学习参考,也可作为大专院校工程机械专业及相关专业的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

液压挖掘机/孔德文等编著. —北京:化学工业出版社, 2006.10

(工程机械设计与维修丛书)

ISBN 978-7-5025-9560-9

I. 液… II. 孔… III. ①液压式挖掘机-机械设计
②液压式挖掘机-机械维修 IV. TU621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 126768 号

工程机械设计与维修丛书

液压挖掘机

孔德文 赵克利 徐宁生 等编著

责任编辑:任文斗 周红

文字编辑:陈喆

责任校对:顾淑云 宋夏

封面设计:尹琳琳

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

购书咨询:(010)64518888

购书传真:(010)64519686

售后服务:(010)64518899

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 9 1/4 字数 234 千字

2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-5025-9560-9

定 价: 22.00 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

《工程机械设计与维修丛书》编辑委员会

主任 高秀华

副主任 王国强 左春桧

委员	高秀华	王国强	左春桧	马文星	秦四成
	成凯	王力群	孔德文	赵克利	王智明
	杨占敏	黄大巍	于国飞	杨力夫	周贤彪
	夏禹武	唐向阳	张鸿	贡凯军	马伟东
	林树才	周彩南	丁树奎	史先信	马铸
	朱振东	徐刚	支开印	马喜林	胡加辉
	李风	邓洪超	王昕	李国忠	王云超
	郭建华	杨文志	王妍静	张春秋	燕学智

序

近年来,在国家宏观调控政策的影响下,我国工程机械产业进入了加速增长阶段,呈现出前所未有的繁荣态势。工程机械装备已经成为我国国民经济发展的支柱产业之一,占据世界工程机械总量第七位。随着国家西部大开发战略的实施,南水北调工程、西电东送工程、青藏铁路工程的启动,迎接北京2008年奥运会的基础设施及场馆建设、推进乡镇农村经济发展、上海黄浦江两岸开发及世博场馆的投入、振兴东北老工业基地等众多国家发展战略的实施,都为国内工程机械产品市场的发展提供了良好的空间,同时也必将有力地拉动相关产业的发展。

据介绍,亚洲其他国家、拉丁美洲和非洲的一些国家最近也相继出台了大规模扩大公路及其他公共设施建设的项目计划,这无疑对工程机械的需求将大幅度增加,也为我国工程机械发展全球市场策略提供了最具竞争力的契机。

从20世纪后期开始,国际上工程机械装备的生产注重向大型化、微型化、多功能化、专用化和智能化的方向发展。德国、美国和日本当属工程机械强国,利勃海尔公司(德国)、卡特波勒公司(美国)、沃尔沃集团(瑞典)、小松制作所(日本)等公司的产品以设计先进、安全可靠、使用寿命长而著称。

我国工程机械行业几经洗礼和经过业内人员的不懈努力,在国际市场上充分显示了强大的生命力。在我国工业化发展进程中,工程机械行业已经由初始发展阶段逐渐走向成熟时期。一些主导产品的研发、设计和制造水平都有相当程度的提高,某些产品质量也达到了用户认可的水平。同时,由于其产品价格相对低廉,在国际市场上具有一定的竞争力。在国内市场处于激烈的成本-价格、质量-规模竞争的形势下,中小型国产工程机械产品在我国显现出了强大的市场占有潜力。但是国际经济市场的变化无时无刻不在冲击着现有的市场份额,市场的占有份额又无时无刻不在重新组合。我国的工程机械行业如何能够继续发展、如何能够尽快提升到我国工业化的第三阶段——强壮期阶段,即无论是对产品的研究、开发、生产以及产品的综合质量和售后服务都进入国际先进行列等问题,都需要认真加以思考。

现在,我国工程机械行业的发展已经有了很好的基础,产品门类,生产规模,大、中、小企业构架和发展环境都比较好,但同国际先进的工程机械制造厂家相比差距还比较大,主要表现在产品的可靠性、使用寿命、绿色工程设计、高新技术的创新应用以及管理模式上。相对而言,我国自主开发能力还比较薄弱,有自主知识产权的产品技术较少,新产品的关键技术大部分还依赖于引进国外技术;另一方面对国外先进技术的消化、吸收、创新不足。其次,对市场反映速度慢,产品更新周期较长。而美国一些机械企业1990年已做到了三个“3”,即产品的生命周期为3年,产品的试制周期为3个月,产品的设计周期为3个星期。我国工程机械的规格还有空缺。以上事实表明:中国工程机械市场虽然仍可保持持续增长的势头,但是中国工程机械行业的技术发展仍然任重道远。

为促进工程机械技术的发展,弥补技术图书的匮乏和不足,化学工业出版社邀请吉林大学机械科学与工程学院组织编写了《工程机械设计与维修丛书》,共16本,包括《内燃机》、《液压与液力传动系统》、《电器、电子控制与安全系统》、《底盘结构与设计》、《金属结构》、《人机工程与造型设计》、《现代设计技术》、《液压挖掘机》、《轮式装载机》、《斗轮堆取料机》、《推土机与平地机》、《钻孔与非开挖机械》、《振动压路机》、《现代起重运输机械》、《特种车辆》、《商品混凝土成套设备》。丛书的编写者结合多年的教学、科研、生产及管理的经验,努力将传统的经典理论和现代设计方法结合起来,注重介绍工程机械发展中的新理念、新设计方法、新技术、新工艺和新材料。

《工程机械设计与维修丛书》所有编写工作人员在此对鼓励、支持、帮助过我们的领导、同事、同行、朋友等表示衷心的感谢!

《工程机械设计与维修丛书》编辑委员会

前 言

液压挖掘机是工程机械的一个重要品种，是一种广泛用于建筑、铁路、公路、水利、采矿等建设工程的土方机械。液压挖掘机利用液压元件（液压泵、液压马达、液压缸等）带动各种构件动作，具有如下优点：功率密度大，结构紧凑，重量轻；无级调速，调速范围大；启动性能好，能实现快速正反转；布置灵活，基本不受总体结构的限制；运转平稳，工作可靠，能自行润滑，使用寿命长；有过载保护功能；容易实现自动化，操纵简便省力等。因此，液压挖掘机对于减轻工人繁重的体力劳动，提高施工机械化水平，加快施工进度，促进各项建设事业的发展，具有重要意义。

近年来，随着基础设施建设的增加，挖掘机的数量越来越多，产品更新换代的速度不断加快，提升相关技术人员的专业水平就显得尤为必要和迫切。因此，特组织有丰富知识的高校教师和有实践经验的工程技术人员，在广泛收集资料的基础上，精心编著了此书，适用于相关专业师生的教学、自学参考，也能够满足在职人员的专业技术培训的需求。

本书共分九章。第1章介绍了液压挖掘机的工作特点和基本类型，概述了液压挖掘机的主要优点；第2章介绍了液压挖掘机的总体设计；第3~5章介绍了液压挖掘机工作装置、回转支承装置和履带行走装置的原理及设计；第6章介绍了液压挖掘机液压系统；第7章介绍了液压挖掘机的机电一体化控制技术；第8章介绍了液压挖掘机的使用、维护与故障分析；第9章介绍了液压挖掘机的液压辅助元件。

本书由孔德文、赵克利、徐宁生等编著，参加编写和资料编辑整理的还有张长泰、张栋、李志、王得胜、陆升、曹金玲、衣凰、李雪、隋文涛和胡全等。本书在编写过程中参阅了相关资料，在此一并表示感谢！

由于时间仓促，书中不足之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2006年9月于吉林大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液压挖掘机的工作特点和基本类型	1
1.1.1 液压挖掘机的主要优点	1
1.1.2 液压挖掘机的基本类型及主要特点	2
1.2 液压挖掘机的发展概况	3
1.2.1 国外液压挖掘机目前水平及发展趋势	4
1.2.2 国内液压挖掘机的发展概况	6
第 2 章 液压挖掘机的总体设计	7
2.1 液压挖掘机主要参数的确定	7
2.1.1 液压挖掘机的主要参数	7
2.1.2 液压挖掘机主要参数的定义	9
2.1.3 液压挖掘机主要参数的确定方法.....	12
2.2 液压挖掘机挖掘阻力的计算.....	13
2.2.1 土壤的主要性质和工程分类.....	13
2.2.2 挖掘阻力计算.....	15
2.3 液压挖掘机的平衡与稳定性.....	17
2.3.1 回转平台的平衡.....	18
2.3.2 液压挖掘机的稳定性.....	18
第 3 章 液压挖掘机的工作装置	19
3.1 反铲工作装置工作原理.....	19
3.2 反铲工作装置铰点布置与油缸行程.....	20
3.2.1 动臂油缸的布置.....	20
3.2.2 斗杆油缸的布置.....	21
3.2.3 铲斗油缸的布置.....	21
3.3 液压挖掘机工作装置油缸作用力的确定.....	22
3.3.1 铲斗油缸作用力的确定.....	22
3.3.2 斗杆油缸作用力的确定.....	23
3.3.3 动臂油缸作用力的确定.....	24
3.4 液压挖掘机工作装置结构.....	25
3.4.1 动臂.....	25
3.4.2 斗杆.....	27
3.4.3 铲斗.....	28
第 4 章 液压挖掘机的回转支承装置	30
4.1 液压挖掘机回转机构运动分析.....	30
4.1.1 对回转机构的基本要求.....	30
4.1.2 回转机构运动特性分析.....	30

4.2	液压挖掘机回转机构参数选择	33
4.2.1	平台转动惯量	33
4.2.2	回转平台启动力矩和制动力矩	34
4.2.3	回转平台最大转速确定	34
4.2.4	回转装置总传动比	35
4.3	液压挖掘机回转传动装置	35
4.3.1	回转液压马达	35
4.3.2	回转减速器	37
4.4	液压挖掘机回转滚盘	38
4.4.1	回转滚盘的结构形式	38
4.4.2	回转滚盘的计算与选型	40
第5章	液压挖掘机的履带行走装置	42
5.1	液压挖掘机履带行走装置构造	42
5.1.1	行走架	42
5.1.2	履带	44
5.1.3	履带板	44
5.1.4	支重轮	46
5.1.5	托链轮	47
5.1.6	导向轮	47
5.1.7	驱动轮	47
5.1.8	履带张紧装置	48
5.1.9	履带行走装置的传动机构	49
5.2	液压挖掘机履带行走装置设计计算	52
5.2.1	履带接地比压和履带尺寸的确定	52
5.2.2	履带行走装置牵引力计算	54
第6章	液压挖掘机的液压系统	65
6.1	液压挖掘机对液压系统的基本要求	65
6.1.1	液压挖掘机的作业动作要求	65
6.1.2	对液压系统的基本要求	66
6.2	液压挖掘机液压系统的基本类型与特点	66
6.2.1	液压挖掘机定量系统	66
6.2.2	液压挖掘机变量系统	68
6.3	液压挖掘机液压系统设计	71
6.3.1	液压系统的工作要求和工况分析	72
6.3.2	拟定液压系统原理图	72
6.3.3	液压系统的计算和液压元件的选择	73
6.3.4	液压系统的验算	77
6.4	液压挖掘机的基本液压控制元件	79
6.4.1	方向控制阀	80
6.4.2	压力控制阀	83
6.4.3	流量控制阀	85

6.5	液压挖掘机的辅助液压控制技术	87
6.5.1	液压挖掘机操纵的先导控制	87
6.5.2	液压挖掘机工作装置的速度控制	89
第7章	液压挖掘机的机电一体化控制技术	92
7.1	发动机电子控制技术	92
7.1.1	电子控制式调速器	92
7.1.2	自动怠速控制装置	93
7.1.3	电子功率优化系统	93
7.2	液压泵阀控制技术	94
7.2.1	液压系统能量损失分析	95
7.2.2	常用流量控制节能方式	95
7.2.3	负荷传感控制系统	98
7.2.4	负荷传感分流器 LUDV 系统	109
7.3	液压挖掘机的电子监控技术	110
7.3.1	概述	110
7.3.2	电子监控系统	111
第8章	液压挖掘机的使用、维护与故障分析	114
8.1	挖掘机安全使用常识	114
8.1.1	需要随时注意的安全作业常识	114
8.1.2	安全操作注意事项	115
8.1.3	维护保养注意事项	116
8.2	挖掘机的合理使用	118
8.2.1	挖掘机的操作	118
8.2.2	挖掘机的主要作业方式	121
8.2.3	特殊环境下的操作注意事项	122
8.3	故障检测与分析	124
8.3.1	工作装置	124
8.3.2	液压系统	124
8.3.3	组合阀进油短管破裂	125
8.4	挖掘机的维护保养	129
8.4.1	维护保养注意事项	129
8.4.2	电气系统维护保养注意事项	130
8.4.3	液压系统维护保养注意事项	130
8.4.4	易损件和关键零件的定期更换	131
8.4.5	挖掘机液压系统发热的故障诊断	131
第9章	液压挖掘机的液压辅助元件	133
9.1	油箱	133
9.2	过滤器	133
9.2.1	过滤器的功用	133
9.2.2	过滤器的主要参数和特性	133
9.2.3	过滤器的类型	134

9.2.4 过滤器的安装	134
9.3 管路及接头	134
9.3.1 管路	134
9.3.2 管接头	137
9.4 蓄能器	138
9.4.1 蓄能器的作用	138
9.4.2 蓄能器的结构形式	138
9.4.3 蓄能器的使用注意事项	139
9.5 密封装置	139
9.5.1 密封装置的作用和要求	139
9.5.2 密封装置的种类、特点和使用	140
9.6 其他辅件	141
9.6.1 热交换器	141
9.6.2 锁紧和限速装置	141
9.6.3 阻尼塞	143
9.6.4 放气阀	143
9.6.5 补油阀	143
9.6.6 减压器	143
参考文献	145

第1章 绪 论

液压挖掘机是在机械传动挖掘机的基础上发展起来的。它的工作过程是以铲斗的切削刃切削土壤，铲斗装满后提升、回转至卸土位置，卸空后的铲斗再回到挖掘位置并开始下一次的作业。因此，液压挖掘机是一种周期作业的土方机械。

液压挖掘机与机械传动挖掘机一样，在工业与民用建筑、交通运输、水利施工、露天采矿及现代化军事工程中都有着广泛的应用，是各种土石方施工中不可缺少的一种重要机械设备。

在建筑工程中，可用来挖掘基坑、排水沟，拆除旧有建筑物，平整场地等。更换工作装置后，可进行装卸、安装、打桩和拔除树根等作业。

在水利施工中，可用来开挖水库、运河、水电站堤坝的基坑、排水或灌溉的沟渠，疏浚和挖深原有河道等。

在铁路、公路建设中，用来挖掘土方、建筑路基、平整地面和开挖路旁排水沟等。

在石油、电力、通信业的基础建设及市政建设中，用来挖掘电缆沟和管道沟等。

在露天采矿场上，可用来剥离表土、采掘矿石或煤，也可用来进行堆弃、装载和钻孔等作业。

在军事工程中，可用来筑路、挖壕沟和掩体、建造各种军事建筑物。

所以，液压挖掘机作为工程机械的一个重要品种，对于减轻工人繁重的体力劳动，提高施工机械化水平，加快施工进度，促进各项建设事业的发展，都起着很大的作用。据建筑施工部门统计，一台斗容量为 1.0 m^3 的液压挖掘机挖掘 I ~ IV 级土壤时，每班生产率大约相当于 300~400 个工人一天的工作量。因此，大力发展液压挖掘机，对于提高劳动生产率和加速国民经济的发展具有重要意义。

1.1 液压挖掘机的工作特点和基本类型

1.1.1 液压挖掘机的主要优点

液压挖掘机在动力装置和工作装置之间采用容积式液压静压传动，即靠液体的压力能进行工作。液压传动与机械传动相比有许多优点。

- ① 能无级调速且调速范围大，例如液压马达的最高转速与最低转速之比可达 1000 : 1。
 - ② 能得到较低的稳定转速，例如柱塞式液压马达的稳定转速可低至 1 r/min 。
 - ③ 快速作用时，液压元件产生的运动惯性小，加速性能好，并可作高速反转。例如电动机在启动时的惯性力矩比其平稳运转时的驱动力矩大 50%，而液压马达则不大于 5%，加速中等功率电动机需 1s 到数秒，而加速液压马达只需 0.1s。
 - ④ 传动平稳，结构简单，可吸收冲击和振动，操纵省力，易实现自动化控制。
 - ⑤ 易于实现标准化、系列化、通用化。
- 基于液压传动的上述优点，液压挖掘机与机械传动挖掘机相比，具有下列主要特点。

① 大大改善了挖掘机的技术性能，挖掘力大、牵引力大，机器重量轻，传动平稳，作业效率高，结构紧凑。液压挖掘机与同级机械传动挖掘机相比，挖掘力约高 30%，例如 1.0m³ 液压挖掘机铲斗挖掘力为 120~150kN，而同级机械传动挖掘机只有 100kN 左右。

挖掘机在工作时的主要动作包括行走、转台回转和工作装置的作业动作，其中动作最频繁的是回转和工作装置的循环往复运动。这种往复运动一般速度不高，而所需的作用力却很大，要求在短时间内通过变速或换向来完成各种复杂动作。机械传动挖掘机完成上述运动，需通过摩擦离合器、减速器、制动器、逆转机构、提升和推压机构等配合来完成。因此，机械传动挖掘机不仅结构复杂，而且还要产生很大的惯性力和冲击载荷。而液压挖掘机则不需要庞大和复杂的中间传动，大大简化了结构，也减少了易损件。由于结构简化，液压挖掘机的质量大约比相同斗容量的机械传动挖掘机轻 30%，不仅节省了钢材，而且降低了接地比压。液压挖掘机上的各种液压元件可相对独立布置，使整机结构紧凑、外形美观，同时，也易于改进或变型。

② 液压挖掘机的液压系统有防止过载的能力，所以使用安全可靠，操纵简便。由于可采用液压先导控制，无论驱动功率多大，操纵均很灵活、省力，司机的工作条件得到改善。更换工作装置时，由于不牵连转台上部的其他机构，因此更换工作装置容易，而机械式挖掘机则受到提升机构和推压机构的牵连和限制。

③ 由于液压传动易于实现自动控制，因此现代液压挖掘机普遍采用了以微处理器为核心的电子控制单元 (ECU)，使发动机、液压泵、控制阀和执行元件在最佳匹配状态下工作，以实现节能和提高作业效率，同时还可实现整机状态参数的电子监控和故障诊断。

④ 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化，便于组织大规模专业化生产，进一步提高质量和降低成本。

1.1.2 液压挖掘机的基本类型及主要特点

液压挖掘机种类繁多，可以从不同角度对其类型进行划分。

(1) 根据液压挖掘机主要机构传动类型划分

根据液压挖掘机主要机构是否全部采用液压传动，分为全液压传动和非全液压（或称半液压）传动两种。若挖掘、回转、行走等几个主要机构的动作均为液压传动，则称为全液压



图 1-1 小型全液压挖掘机 图 1-2 中型全液压挖掘机

挖掘机。如图 1-1 和图 1-2 所示为国产某小型和中型全液压挖掘机。若液压挖掘机中的某一个机构采用机械传动，则称其为非全液压（或半液压）挖掘机。一般说来，这种区别主要表现在行走机构上。对液压挖掘机来说，工作装置及回转机构必须是液压传动，只有行走机构有的为液压传动，有的为机械传动。

(2) 根据行走机构的类型划分

根据行走机构的不同，液压挖掘机可分为履带式、轮胎式、汽车式、悬挂式及拖式。

履带式液压挖掘机应用最广，在任何路面行走均有良好的通过性，对土壤有足够的附着力，接地比压小，作业时不需设支腿，适用范围较大。在土质松软或沼泽地带作业的液压挖掘机，还可通过加宽和加长履带来降低接地比压。为防止对路面的碾压破坏，有些液压挖掘机还采用了橡胶履带。通常，履带行走的液压挖掘机多为全液压传动。

轮胎式液压挖掘机具有行走速度快，机动性好，可在多种路面通行的特点。近年来，轮胎式挖掘机的生产量日渐增长。如图 1-3 所示为国产某型号轮胎式液压挖掘机。这种挖掘机一般都是四支点的，但也有三支点的，它将前轮距缩小为一个支点，与后轮形成三点支承。这种形式不需要在前轴上采用平衡悬挂，简化了前桥结构，减小了机器的转弯半径，提高了机动性。目前，轮胎式液压挖掘机的行走部分多数采用机械传动和单独液压马达的集中传动。

悬挂式液压挖掘机是将工作装置安装在轮胎式或履带式拖拉机上，可以达到一机多用的目的。这种挖掘机拆装方便，成本低廉。

汽车式液压挖掘机一般采用标准的汽车底盘，速度快，机动性好。

拖式液压挖掘机没有行走传动机构，行走时由拖拉机牵引。

(3) 根据工作装置划分

根据工作装置结构不同，可分为铰接式和伸缩臂式挖掘机。铰接式工作装置应用较为普遍。这种挖掘机的工作装置靠各构件绕铰点转动来完成作业动作。伸缩臂式挖掘机的动臂由主臂及伸缩臂组成，伸缩臂可在主臂内伸缩，还可以变幅。伸缩臂前端装有铲斗，适于进行平整和清理作业，尤其是修整沟坡。



图 1-3 轮胎式液压挖掘机

1.2 液压挖掘机的发展概况

挖掘机械的最早雏形，主要用于河道、港口的疏浚工作，第一台有确切记载的挖掘机械是 1796 年英国人发明的蒸汽“挖泥铲”。而能够模拟人的掘土工作，在陆地上使用的蒸汽机驱动的“动力铲”（图 1-4）于 1835 年在美国诞生，主要用于修筑铁路的繁重工作，被认为是现代挖掘机的先驱，距今已有 170 多年的历史。1950 年，德国研制出世界上第一台全液压挖掘机（图 1-5）。由于科学技术的飞速发展，各种新技术、新材料不断在挖掘机上得到应用，尤其是电子技术和信息技术的应用使得液压挖掘机在作业效率、可靠性、安全性和操作舒适性以及节能、环保等方面有了长足的进步。目前液压挖掘机已经在全世界范围内得到广泛应用，成为土石方施工不可缺少的重要机械设备。



图 1-4 蒸汽机驱动的“动力铲”



图 1-5 早期全液压挖掘机

1.2.1 国外液压挖掘机目前水平及发展趋势

工业发达国家的液压挖掘机生产较早，产品线齐全，技术成熟。美国、德国和日本是液压挖掘机的主要生产国，具有较高的市场占有率。从 20 世纪后期开始，国际上液压挖掘机的生产从产品规格上看，在稳定和完善主力机型的基础上向大型化、微型化方向发展；从功能上看，在满足基本功能的基础上，向多功能化、专用化方向发展；从产品性能上看，向高效节能化、自动化、信息化、智能化的方向发展。

(1) 液压挖掘机的大型化和微型化

大型液压挖掘机主要用于大型露天矿山的开采及大型基础建设，多数为正铲。如日本的日立建机开发的 UH50 型正铲液压挖掘机斗容量为 8.2m^3 ，整机质量为 175t，EX3500 型正铲斗容量为 18.8m^3 ，整机质量为 330t。日立建机于 2004 年开发成功了超大型液压挖掘机 EX8000，铲斗容量为 40m^3 ，整机质量达 780t。目前全球最大型液压挖掘机为 TEREX-O&K 公司制造的 RH400 型，整机质量为 980t，斗容量为 50m^3 。大型液压挖掘机的其他代表产品主要有小松的 PC8000、三菱的 MS1600、卡特彼勒的 5130 和 5230、曼内斯曼-德马克的 H485 以及利勃海尔的 R992 和 R994 等。如图 1-6 所示为超大型液压挖掘机。

为满足市政建设和农田建设的需要，国外发展了斗容量在 0.25m^3 以下的微型液压挖掘机，最小的斗容量仅有 0.01m^3 。例如，美国卡特彼勒公司新近发布的 302.5C 微型液压挖掘机，其整机质量只有 2850kg，配备三菱 S3L2 型 18.6kW 柴油发动机，其排放符合美国



图 1-6 超大型液压挖掘机



图 1-7 微型液压挖掘机

EPA 2 级和欧 II 标准, 所配备斗容量范围为 $0.035 \sim 0.092 \text{m}^3$, 铲斗挖掘力可达 25kN 。卡特彼勒公司最小的微型挖掘机为 301.5, 其整机质量只有 1673kg , 发动机功率为 13kW , 斗容量范围为 $0.018 \sim 0.056 \text{m}^3$ 。如图 1-7 所示为微型液压挖掘机。

(2) 液压挖掘机的多功能化

中、小型液压挖掘机趋向于一机多能, 配备了多种工作装置。除正铲、反铲外, 还配备了起重、抓斗、平坡斗、装载斗、耙齿、破碎锥、麻花钻、电磁吸盘、振捣器、推土板、冲击铲、集装叉、高空作业架、铰盘及拉铲等, 以满足各种施工的需要。与此同时, 发展专门用途的特种挖掘机, 如低接地比压、低噪声、水下专用和水陆两用液压挖掘机等。

(3) 液压挖掘机的电子化、信息化

世界上各大液压挖掘机生产厂商在应用新技术、新工艺、新结构, 加快标准化、系列化、通用化发展速度的过程中, 重视电子技术、信息技术在挖掘机上的应用, 使挖掘机向高效、节能、安全、环保以及操作方便舒适的方向发展。从 20 世纪 80 年代开始, 以微电子技术为核心的高新技术, 特别是微机、微处理器、传感器和检测仪表在挖掘机上的应用, 推动了电子控制技术在挖掘机上的应用和推广, 并已成为液压挖掘机现代化的重要标志。目前先进的液压挖掘机均装有电子控制单元 (ECU), 用于发动机和泵阀的电子控制以及工作模式控制和工作状态监控。应用在液压挖掘机柴油机上的控制装置主要有电子调速器、自动怠速系统、电子功率优化系统和电子油门控制系统等。泵阀电子控制系统主要有功率控制系统、流量控制系统和负荷传感控制系统等。卡特彼勒和阿特拉斯等公司开发了挖掘机车载卫星全球定位系统 (GPS), 用户可通过电信数据中心和国际互联网随时了解挖掘机的工作位置和工作环境, 并通过对各种参数的分析了解挖掘机的工作状况, 以确保安全使用和提高工作效率。

(4) 液压挖掘机设计制造手段的现代化

美国、英国、日本等国家的液压挖掘机制造厂商在更新设计理论、提高可靠性、延长使用寿命等方面做了大量工作, 推广采用有限寿命设计理论, 以替代传统的无限寿命设计理论和方法, 并将疲劳损伤累积理论、断裂力学、有限元法、优化设计、电子计算机控制的电液伺服疲劳试验技术、疲劳强度分析方法等先进技术应用于液压挖掘机的强度研究, 提高了产品质量和竞争力。

随着大型 CAE 软件的日渐成熟, 虚拟设计技术和计算机仿真技术也被应用到液压挖掘机的设计过程中。以往一种新机型需要经过多次反复试制、试验和修改, 一般需要几年时间才能定型。而采用虚拟设计和计算机仿真技术, 新产品设计可利用专业 CAD 软件、有限元分析软件和动力学仿真软件进行三维数字化建模、三维虚拟装配和基础零部件分析、优化, 并进行整机的虚拟样机仿真和虚拟试验, 直接在虚拟样机上修改设计, 最终生成用于生产的产品工程图和工艺文件, 缩短了新产品的研制周期, 加速了液压挖掘机更新换代的进程。

(5) 增强液压挖掘机的安全性和舒适性

随着世界贸易一体化进程的加快, 各国对液压挖掘机的乘员安全保护及工作环境条件提出了更高要求。国外先进的液压挖掘机普遍采用带有落物保护结构 (FOPS) 和滚翻保护结构 (ROPS) 的驾驶室, 安装可调节的弹性座椅, 用隔音措施降低噪声干扰, 操纵机构采用液压先导控制或电液比例控制, 操作轻快、省力, 操作环境的设计更加符合人机工程学。

(6) 液压挖掘机的液压系统得到进一步改进

国外液压挖掘机液压系统总的发展趋势是高压、高速、大流量、低成本、高质量和高可

靠性。国外知名公司的主流机型广泛采用双泵变量系统、液压先导控制、负荷传感控制等新技术。例如卡特彼勒公司新推出的 325D 型挖掘机系统压力最大为 35MPa，主泵流量为 $2 \times 235\text{L}/\text{min}$ 。卡特彼勒的 D 系列挖掘机提供两种性能设定模式，标准操作模式和经济操作模式，以增强操作人员对机器性能与施工需要相匹配的控制能力。在标准操作模式中，可获得高生产率和燃油效率，在市政建设等较轻的作业中，可切换到经济模式，耗油量可降低 15%。

1.2.2 国内液压挖掘机的发展概况

我国从 1967 年开始自行研制液压挖掘机。早期开发成功的产品主要有上海建筑机械厂的 WY100、贵阳矿山机器厂的 W4-60、合肥矿山机器厂的 WY60 等。到 20 世纪 70 年代末 80 年代初，长江挖掘机厂和杭州重型机械厂分别研制成功了 WY160 和 WY250 等液压挖掘机产品。从 1994 年开始，美国的卡特彼勒公司、日本的神户制钢所、日本的小松制作所、日本的日立建机株式会社、韩国大宇重工、韩国现代重工业以及德国利勃海尔、德国雪孚、德国阿特拉斯、瑞典沃尔沃等公司先后在中国建立了中外合资、外商独资挖掘机生产企业，生产具有世界先进水平的多种型号和规格的液压挖掘机产品。

近年来我国经济增长迅速，液压挖掘机市场需求不断扩大，形成了巨大的挖掘机市场空间，但该行业主要由合资企业和外资企业所垄断。国内一些工程机械行业的上市股份公司通过合资的方式介入了挖掘机产业，同时国内还有众多的企业也在生产液压挖掘机，但在生产规模、品种、质量等方面与国外大公司相比还有一定差距。为了发展民族挖掘机产业，必须瞄准国际先进水平，围绕国内外两个市场，在充分利用国际化配套和国外先进技术的基础上，增强自主创新意识，掌握核心设计制造技术，发挥性价比优势，提高产品竞争力，把我国液压挖掘机产品做大做强。

第 2 章 液压挖掘机的总体设计

根据液压挖掘机设计任务的有关要求,应在充分调查研究的基础上进行液压挖掘机的总体设计工作。总体设计主要内容如下。

- ① 分析或拟定设计任务书,确定设计思想和原则,并提出整机结构方案的初步设想。
- ② 液压挖掘机主要参数的确定。
- ③ 液压挖掘机各主要机构的结构方案确定。
- ④ 各主要机构作用力、速度、功率等分析计算。
- ⑤ 液压系统的设计。
- ⑥ 液压挖掘机的平衡、稳定、生产率以及其他总体特性的分析计算等。

通过总体设计对所设计的液压挖掘机作出初步的全面规划,提出有关数据、资料、总体草图等,为进一步设计、分析计算提供依据。

2.1 液压挖掘机主要参数的确定

液压挖掘机的主要参数表明了液压挖掘机的规格和主要技术性能,因此需要在挖掘机总体设计中确定。

2.1.1 液压挖掘机的主要参数

液压挖掘机的主要参数(或称基本参数)有以下几类。

- ① 发动机参数,如发动机额定功率、转速等。
- ② 液压系统参数,如主泵的流量、压力等。
- ③ 主要性能参数,如整机工作质量、主要部件质量、铲斗容量范围或标称铲斗容量、挖掘力、牵引力等。
- ④ 尺寸参数,如工作尺寸、机体外形尺寸和工作装置尺寸等。

表 2-1 给出了几个不同厂商的 20t 级液压挖掘机的主要技术参数。各外形尺寸和工作尺寸参数的意义参见图 2-1 和图 2-2。液压挖掘机主要参数中最重要参数有三个,即斗容量、整机质量和发动机功率,因为通过这三个参数可以从使用要求、机械本身的技术性能和技术经济指标、动力装置的配套、国际上统一的标准以及传统习惯等方面反映液压挖掘机的级别,故有主参数之称。如斗容量直接反映了挖掘机的挖掘能力,而且与运输车辆匹配直接影响到土石方施工的效率。所以有时采用挖掘机的斗容量作为主参数。例如,机械式挖掘机一般就以斗容量作为挖掘机的主参数并作为主要的分级指标。但液压挖掘机可更换的工作装置多,而且同一机型可以根据作业对象或工作尺寸的要求换装不同斗容量的铲斗。例如卡特 320C 型挖掘机可换装不同长度的斗杆和不同容量的铲斗,其斗容量范围是 $0.45 \sim 1.5 \text{m}^3$ 。所以斗容量并不能完全反映液压挖掘机的级别。功率反映了液压挖掘机的动力等级,但由于不同厂家的挖掘机采用不同的液压系统,辅助设备能耗及功率储备也有所不同,而且同一型号挖掘机在后续改进时,也会改变发动机功率。例如,卡特 320B 型挖掘机的整机工作质量