

“十三五”普通高等教育本科规划教材

全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

# 工程机械设计

主编 陈海虹 唐绪文



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材  
全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

# 工程机械设计

主 编 陈海虹 唐绪文  
参 编 曾光安 钱宏琦  
主 审 王 健



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书以常用土方机械为例,结合工程机械的应用现状和最新发展,较全面地介绍了工程机械主要总成的工作原理、相关设计理论、设计基本原则与方法等,力求突出系统性、实用性和先进性。

全书共分9章,内容包括工程机械绪论、工程机械总体设计、工程机械发动机、工程机械传动系统设计、工程机械行走系与转向系设计、工程机械制动系统设计、工作装置设计、工程机械人-机-环境系统设计和计算机技术在工程机械设计中的应用。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械工程专业的教材,也可作为高职高专相关专业的教材,还可供工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程机械设计/陈海虹,唐绪文主编. —北京:北京大学出版社,2016.8  
(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-27334-0

I. ①工… II. ①陈… ②唐… III. ①工程机械—机械设计—高等学校—教材 IV. ①TU602

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第181100号

- 书 名** 工程机械设计  
Gongcheng Jixie Sheji
- 著作责任者** 陈海虹 唐绪文 主编
- 策划编辑** 童君鑫
- 责任编辑** 黄红珍
- 标准书号** ISBN 978-7-301-27334-0
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路205号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱** pup\_6@163.com
- 电 话** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
- 印刷者** 北京溢漾印刷有限公司
- 经 销 者** 新华书店
- 787毫米×1092毫米 16开本 22.25印张 520千字  
2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷
- 定 价** 49.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

# 序 言

工程机械设计课程为机械工程类专业课程，现有的教材多限于工程机械单机种的设计或将工程机械构造与设计集于一本教材，针对工程机械各主要总成系统介绍其设计理论和方法的相对较少，这与当前我国工程机械领域快速发展、产品技术升级换代频繁、国内市场要求不断提高、国际竞争力日益增强的环境不相适应，难以满足当前工程机械的教学需要，也不能满足广大从业人员亟需具有较新设计理论与方法的专业参考书的需求。

本书以使用最广泛的土石方工程机械为典型，较全面地分析了工程机械主要总成的工作原理、相关设计理论、设计基本原则与方法，并根据生产实际需要介绍了工程机械的典型液压系统、现代设计方法在工程机械设计领域的应用等，反映了现代工程机械的先进技术和研究成果。尤其是本书能够以校企合作的方式进行编写，理论与实际应用紧密结合，使书中的内容更加符合生产实际，无论对在学生学习专业还是对工程技术人员提供参考都能起到很好的帮助，具有较强的实用性，同时体现了先进性。

根据课程的设置，本书在内容安排上主要针对工程机械设计相关内容，力求系统全面，而工程机械构造、工程机械理论、液压传动技术等内容则由相关配套的课程予以讲解，从而形成系统的专业教学体系。

作为专业教材和参考书，本书内容不仅符合教学需要，有利于培养学生分析问题与解决问题能力、理论联系实际能力与创新思维，而且有助于广大从业人员提高专业理论水平，更好地解决工程实际问题。

本书作者从事本专业教学、科研、设计及生产制造工作近三十余年，对工程机械有深入的了解，具有丰富的教学经验和研究能力，工作一丝不苟，认真负责，利用业余时间编写本书，付出了大量的心血和努力。书稿完成之际，邀请我作序言，感于作者诚意，欣然提笔，记下此言。

中国工程机械工业协会

副会长兼秘书长

# 前 言

本书根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》精神，按照新时期工科教育“以能力为导向”的人才培养理念，从系统性、实用性和先进性出发，本着突出共性、照顾特殊性的思路，以使用最广泛的土石方工程机械为例，较全面地介绍了工程机械主要总成的工作原理、相关设计理论、设计基本原则与方法。全书分为9章，包括工程机械绪论、工程机械总体设计、工程机械发动机、工程机械传动系设计、工程机械行走系与转向系设计、工程机械制动系设计、工作装置设计、工程机械人-机-环境系统设计及计算机技术在工程机械设计中的应用。

本书以校企合作的方式进行编写，注重理论性和实践性，可作为高等学校机械设计制造及其自动化专业及工程机械专业本科教材，也可作为矿山机械与起重运输机械专业的教学参考书，同时也可供从事工程机械研究、设计、制造、使用和维修管理等方面工作的技术人员参考使用。

本书主编为贵州理工学院陈海虹教授（编写第2、4、6、7章）、柳州工程机械股份有限公司唐绪文教授级高级工程师（编写第3、5、9章）；参加编写的有柳州工程机械股份有限公司曾光安高级工程师（编写第1章）、贵州大学钱宏琦教授（编写第8章）。本书由贵州詹阳动力重工有限公司王健高级工程师主审。

在本书的编写过程中，我们得到了柳州工程机械股份有限公司研究所、贵州詹阳动力重工有限公司研究所的大力支持，在此一并表示由衷感谢！

限于编者水平，书中难免有疏漏、不足之处，恳望广大读者指正。

编 者  
2016年3月

# 目 录

<b>第 1 章 工程机械绪论</b> .....	1	2.4 液压挖掘机的总体设计 .....	61
1.1 工程机械分类 .....	3	2.4.1 液压挖掘机各部件形式的 选择 .....	61
1.2 工程机械的起源 .....	4	2.4.2 液压挖掘机总体参数 确定 .....	70
1.3 中国工程机械的发展历史 .....	6	2.4.3 液压挖掘机作业阻力的 计算 .....	75
1.4 中国工程机械在全球的地位 .....	10	2.4.4 液压挖掘机的平衡与 稳定性 .....	77
1.5 工程机械的发展方向 .....	13	综合习题 .....	78
综合习题 .....	18	<b>第 3 章 工程机械发动机</b> .....	80
<b>第 2 章 工程机械总体设计</b> .....	20	3.1 概述 .....	82
2.1 设计总论 .....	21	3.1.1 内燃机的分类 .....	82
2.1.1 总体设计的基本任务、 主要内容和主要方法 .....	21	3.1.2 工程机械用柴油机的使用 特点与要求 .....	82
2.1.2 工程机械设计时应遵循的 原则 .....	22	3.2 工程机械发动机的工作原理 .....	83
2.1.3 总体布置 .....	24	3.2.1 四冲程柴油机的工作 原理和工作过程 .....	83
2.1.4 整机主要性能参数的 确定 .....	28	3.2.2 四冲程汽油机的工作 过程 .....	86
2.1.5 设计步骤与样机试制、 试验 .....	28	3.2.3 二冲程汽油机的工作过程 .....	88
2.2 装载机的总体设计 .....	31	3.2.4 二冲程柴油机的工作过程 .....	89
2.2.1 装载机各零部件结构 形式的选择 .....	31	3.3 发动机的总体构造 .....	90
2.2.2 装载机总体参数确定 .....	34	3.4 发动机主要性能指标 .....	94
2.2.3 装载机总体布置 .....	39	3.4.1 主要性能指标 .....	94
2.2.4 装载作业阻力的计算 .....	44	3.4.2 柴油机外特性曲线 .....	94
2.2.5 装载机稳定性计算 .....	46	3.5 柴油机系统设计 .....	95
2.3 推土机的总体设计 .....	51	3.5.1 柴油箱设计 .....	96
2.3.1 推土机各部件形式的 选择 .....	51	3.5.2 空气滤清器 .....	96
2.3.2 推土机总体参数确定 .....	52	3.5.3 消声器 .....	97
2.3.3 推土机总体布置 .....	55	3.5.4 柴油机的安装 .....	97
2.3.4 推土机作业阻力的计算 .....	57	3.5.5 柴油机扭振 .....	98
2.3.5 推土机稳定性计算 .....	59	3.5.6 散热器组布置 .....	98
		综合习题 .....	99



<b>第 4 章 工程机械传动系设计</b> .....	100	4.5.3 行星式变速器的效率 计算 .....	143
4.1 概述 .....	102	4.5.4 行星式变速器的设计 .....	145
4.1.1 传动系的功用、类型和 组成 .....	102	4.6 无级变速器 .....	154
4.1.2 工程机械对传动系的 要求 .....	102	4.7 万向节和传动轴设计 .....	156
4.1.3 传动系总传动比和各传动 部件传动比的确定 .....	102	4.7.1 万向节传动的设计要求 .....	156
4.1.4 传动系的计算载荷 .....	104	4.7.2 十字轴万向节 .....	156
4.1.5 典型工程机械传动系 .....	105	4.7.3 等角速万向节 .....	160
4.1.6 传动系设计的主要内容和 一般步骤 .....	106	4.7.4 传动轴 .....	163
4.2 主离合器设计 .....	107	4.8 轮式工程机械驱动桥 .....	165
4.2.1 离合器的设计要求和 选型 .....	107	4.8.1 驱动桥的结构类型与设计 要求 .....	165
4.2.2 主离合器接合过程及 滑磨功与热容量计算 .....	108	4.8.2 主减速器设计 .....	165
4.2.3 摩擦面上压紧力的 分布 .....	109	4.8.3 差速器设计 .....	172
4.2.4 主离合器主要参数的 确定 .....	110	4.8.4 半轴与桥壳设计 .....	176
4.2.5 主离合器主要零部件设计 要点 .....	112	4.8.5 最终传动 .....	179
4.3 液力变矩器的选择 .....	113	4.8.6 多桥驱动功率循环 .....	181
4.3.1 液力变矩器的结构和工作 原理 .....	113	综合习题 .....	183
4.3.2 液力变矩器的特性 .....	114	<b>第 5 章 工程机械行走系与转向系 设计</b> .....	185
4.3.3 液力变矩器的类型 .....	123	5.1 轮式行走系设计 .....	186
4.3.4 液力变矩器与发动机的 共同工作特性 .....	123	5.1.1 轮胎底盘通过性的几何 参数 .....	186
4.4 定轴式变速器设计 .....	130	5.1.2 从动桥的设计 .....	187
4.4.1 变速器的功用、要求与 设计步骤 .....	131	5.1.3 工程机械轮胎选择 .....	191
4.4.2 动力换挡定轴式变速器的结构 类型与结构设计要点 .....	131	5.1.4 工程机械轮辋选择 .....	194
4.5 动力换挡行星式变速器设计 .....	138	5.2 履带式行走系设计 .....	195
4.5.1 行星式变速器运动学 分析 .....	138	5.2.1 履带式底盘行走系的尺寸 参数和结构布置 .....	195
4.5.2 行星式变速器动力学 分析 .....	142	5.2.2 悬架设计 .....	198
		5.2.3 履带设计 .....	204
		5.2.4 驱动轮设计 .....	208
		5.2.5 支重轮与托链轮设计 .....	211
		5.2.6 引导轮设计 .....	214
		5.2.7 台车架设计 .....	216
		5.2.8 履带张紧装置设计 .....	218
		5.3 轮式机械转向系 .....	221
		5.3.1 转向系的设计要求 .....	221
		5.3.2 转向方式的分析和选择 .....	222

5.3.3 偏转轮胎转向系设计 .....	225	7.2.3 液压挖掘机工作装置油缸 作用力确定 .....	292
5.3.4 铰接底盘转向系的 设计 .....	233	7.2.4 液压挖掘机工作装置结构 设计 .....	296
综合习题 .....	236	综合习题 .....	300
<b>第 6 章 工程机械制动系设计 .....</b>	<b>238</b>	<b>第 8 章 工程机械人-机-环境系统 设计 .....</b>	<b>301</b>
6.1 轮式机械制动性能及制动过程 分析 .....	241	8.1 工程机械噪声控制 .....	303
6.1.1 车轮制动过程分析 .....	241	8.1.1 工程机械噪声源 .....	304
6.1.2 前、后轮制动力的合理 分配 .....	242	8.1.2 工程机械噪声传播 途径 .....	304
6.1.3 制动性的评价 .....	244	8.1.3 工程机械的噪声控制 .....	305
6.1.4 制动器计算载荷的 确定 .....	245	8.2 工程机械驾驶室宜人化环境 .....	306
6.2 制动器设计 .....	246	8.2.1 宜人化环境问题的提出 背景 .....	306
6.2.1 蹄式制动器设计 .....	246	8.2.2 研究现状 .....	306
6.2.2 钳盘式制动器的设计 .....	249	8.2.3 工程机械驾驶室人机工程学 应用 .....	307
6.3 制动驱动系统设计 .....	251	8.2.4 驾驶室通风 .....	309
6.3.1 制动驱动机构的结构 类型及选用原则 .....	251	8.2.5 驾驶室空调 .....	312
6.3.2 液压式制动驱动机构的 设计 .....	251	8.3 工程机械乘坐舒适性 .....	315
6.3.3 气压式制动驱动机构的 设计 .....	253	8.3.1 座椅设计的人机关系 .....	315
综合习题 .....	254	8.3.2 叉车座椅的人机工程 设计 .....	316
<b>第 7 章 工作装置设计 .....</b>	<b>256</b>	综合习题 .....	320
7.1 装载机工作装置设计 .....	257	<b>第 9 章 计算机技术在工程机械 设计中的应用 .....</b>	<b>322</b>
7.1.1 装载机工作装置的设计 要求 .....	257	9.1 CAD/CAE 概念 .....	323
7.1.2 铲斗设计 .....	258	9.2 常用 CAD/CAE 软件介绍 .....	325
7.1.3 连杆系统设计 .....	262	9.3 CAD/CAE 技术在现代设计中的 发展 .....	328
7.1.4 工作装置强度计算 .....	279	9.4 工程机械计算机辅助设计应用 实例 .....	329
7.1.5 工作装置液压系统的 设计 .....	286	9.4.1 液压挖掘机工作装置虚拟 样机仿真分析 .....	329
7.2 液压挖掘机工作装置设计 .....	289	9.4.2 基于 UG 和 ADAMS 的齿轮 啮合虚拟装配 .....	338
7.2.1 反铲工作装置工作 原理 .....	289	综合习题 .....	342
7.2.2 反铲工作装置铰点布置与 油缸行程 .....	290	<b>参考文献 .....</b>	<b>343</b>



# 第 1 章

## 工程机械绪论



### 本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
工程机械的分类	(1) 了解工程机械的分类; (2) 了解常用工程机械的起源	(1) 工程机械通常分类; (2) 工程机械的起源
工程机械的发展方向	熟悉常用工程机械的发展	(1) 工程机械的发展历史; (2) 工程机械的发展方向



## 大智慧融入大块头 工程机械迎来无人驾驶时代

由徐工集团研发的一种可实现无线遥控操作的 ET 系列步履式挖掘机，采用了自适应跳频、主被动急停、智能纠错等多项国际先进的无线控遥技术。在复杂多变的电磁场环境下，该机能够自动调整工作频段避免电磁干扰，遭遇强干扰出现误动作时还能自主暂停相应的干扰信号，避免误动作造成的安全危险。遥控操作可以使作业人员脱离驾驶室操作的限制，自由的选择操作距离及视角，避开视觉盲区和危险的作业环境，降低了劳动强度，提高了作业的安全性。

无线遥控技术在步履式挖掘机的应用为其在智能化发展的道路上迈出了坚实的一步。采用远程操作、轨迹规划、视觉导航、环境识别、自主作业等智能化技术的应用将是 ET 系列步履式挖掘机发展的终极目标，它使步履式挖掘机的操作更轻松、更灵活、更精确，操作人员可以在远离作业地点的情况下，对设备作业进行远距离监控指挥，完成各种作业任务。



图 1.01 步履式挖掘机

无线遥控技术难题的攻克为步履式挖掘机开辟了更为广阔的应用领域。近年来，国内外地震、洪水、泥石流、海啸等自然灾害频发，一般工程机械无法及时达到救援现场，且灾害产生的危险区域如核泄漏、毒气体泄漏、化学物污染、险要危险地形也给救援人员带来了巨大的生命安全威胁，无线遥控型工程机械将使这些问题迎刃而解。

从无线遥控技术应用的前景可以看到，未来的特殊工程环境的施工将是遥控工程机械的天下。

工程机械是用于工程建设施工机械的总称，广泛应用于建筑、水力、电力、道路、矿山、港口和国防工程领域，种类繁多。概括地说，凡是土石方施工工程、路面建设与养护、流动式装卸作业和各种建筑工程所需的综合性机械化施工工程所必需的机械设备，称为工程机械。

世界各国对于该行业的称谓基本相同。其中，美国和英国称为“建筑机械与设备”，德国称为“建筑机械与装置”，俄罗斯称为“建筑与筑路机械”，日本称为“建筑机械”。在我国，曾经部分工程机械产品也称为“建筑机械”。由于在 20 世纪 80 年代前，工程施工机械与用于建筑施工的机械分别由中华人民共和国机械工业部和城乡建设环境保护部管理，人为地将工程机械与建筑机械分开了。20 世纪 90 年代末，国务院下达批文，将我国工程机械行业与建筑机械行业合并，合并后统称为“工程机械”。2001 年，中国工程机械工业协会与中国建筑机械协会经国家经济贸易委员会批准合并成立了中国工程机械工业协会。目前，我国“工程机械”和“建筑机械”称谓都有，表示的是一个意思，即“工程机械”。

## 1.1 工程机械分类

### 1. 工程机械通常分类

工程机械通常分为起重机械、运输机械、土方机械、桩工机械、钢筋混凝土机械和设备、石料开采和加工机械、装修机械、路面机械、线路机械、隧道施工机械、桥梁施工机械等。

### 2. 工程机械用途

工程机械广泛用于房屋建筑、铁路、道路和飞机场工程、水利电力建设、矿山开发、港口工程和军事工程上。上述分类中的前六类具有通用性，用于各种工程施工；后五类专用于某种相应的工程。

### 3. 各类机械简介

工程机械一般由动力装置、传动机构、工作装置和操纵系统组成，大部分工程机械还有行走装置。机械的性能基本上取决于上述各部分的功能及其组合，尤其是工作装置的功能。

#### 1) 起重机械

起重机械用于重物的吊运和安装，一般具有起升、回转、变幅、行走四部分，起升为主要部分。起重机械分为简单式、动臂旋转式和桥式三类。主要机种有塔式起重机、轮胎式起重机、履带式起重机等。也有不完全具备上述四部分的，如桅杆起重机、缆索起重机、升降机和绞车等。

#### 2) 运输机械

运输机械用于物料的运输装卸，包括连续输送机械、搬运车辆和装卸机械。

(1) 连续输送机械：可连续作业，生产率高，适用于沿一定路线运送物料，主要机种有带式输送机、螺旋输送机、振动输送机、斗式提升机、气力输送装置等。

(2) 搬运车辆：机动灵活，用途广泛，主要机种有自卸汽车、翻斗车和叉车等。

(3) 装卸机械：用于连续或间歇装卸物料。

#### 3) 土方机械

土方机械用于土方的铲掘、运送、填筑、压实和平整，包括挖掘机械、铲土运输机械、压实机械和平整作业机械等。

(1) 挖掘机械和铲土运输机械：采用刀形或斗形工作装置切削或挖掘土壤，并将碎土沿地面推送或装入斗内，主要机种有单斗挖掘机、多斗挖掘机、推土机、铲运机、装载机。

(2) 压实机械：利用碾压、振动、夯击原理使土体密实，主要机种有压路机、夯土机。还有利用水力完成土方施工作业的，称水力土方机械。

(3) 平整作业机械：利用刮刀平整地面，主要机种为平地机。

#### 4) 桩工机械

桩工机械用于基础工程，在地层中安设各种基桩，包括打桩机、振动沉桩机、压桩机



和灌注桩钻孔机等。

(1) 打桩机：用重锤的冲击力工作，有落锤、汽锤、柴油锤、液压锤等。

(2) 振动沉桩机：利用振动或振动冲击作用使桩沉入地层。适用于砂质地层。

(3) 钻孔机：就地成孔，孔内安放钢筋骨架，然后灌注混凝土成桩。在市政建设中可采用静力加载沉桩机，减少噪声。

#### 5) 钢筋混凝土机械

用于混凝土的配料、搅拌、输送、灌注，振捣和钢筋加工，主要设备和机械有混凝土搅拌楼站、自落式和强制式混凝土搅拌机、混凝土搅拌运输车、混凝土泵、混凝土振捣器，钢筋的冷拔、调直、剪切、弯曲、焊接等机械和预应力钢筋张拉等机械设备。

#### 6) 石料开采和加工机械

石料开采加工机械用于石方开采和石料加工。石方开采机械有风镐、凿岩机等。石料加工机械包括各种石料破碎机和筛分机。

#### 7) 装修机械

装修机械用于建筑物表层的修饰和加工处理，有抹灰粉刷作业用的灰浆搅拌机、灰浆输送泵、喷浆机等，地坪加工用的地坪磨光机，以及涂料喷涂机和各种电动、风动手持机具等。

#### 8) 路面机械

路面机械用于道路路面、机场道面和广场地坪面层的铺设、捣实、平整和切缝，有沥青路面修筑用的碎石摊铺机、沥青喷洒机、沥青混凝土搅拌设备、沥青混凝土摊铺机，水泥混凝土路面修筑用的水泥混凝土路面铺筑机械，切缝填缝机，还包括路面材料的制备、储放、输送设备，以及路面养护机械。

#### 9) 线路机械

线路机械用于铁路道砟、钢轨的铺设，主要机种有铺砟机、铺轨机和铁路的维修养护机械。

#### 10) 桥梁机械和隧洞机械

桥梁机械和隧洞机械用于桥梁施工和隧洞施工，有铁路架桥机、盾构和隧洞掘进机等。

## 1.2 工程机械的起源

工程机械中各产品都有自己的一部起源史，经过一步步的发展，成就了工程机械的辉煌。下面仅以几个产品的起源来以点带面的说明工程机械起源。

### 1. 装载机的起源

1929年，第一台轮式装载机(斗容 $0.735\text{m}^3$ ，载重 $680\text{kg}$ )在美国诞生。该机采用门架式结构，在此之前是采用钢绳提斗式的装卸工具。这一时期的装载机结构特点是发动机前置，前轮小，后轮大，单桥驱动，前轮转向，门架式工作装置，用钢丝绳提臂及翻斗，拖拉机底盘。该机牵引力小，铲斗插入力小，作业速度慢。1947年，克拉克公司生产用液

压连杆机构取代门架结构,采用专用底盘,具备了现代装载机的外形,提高了提升速度、卸载高度和掘起力,可用于铲装松散土石方,这是装载机历史上的第一次大突破。1963年,美国 Case 公司等采用铰接式结构,这是装载机历史上的第二次大突破。到 20 世纪七八十年代,装载机结构向安全,操作省力、舒适,维修方便,减少污染等方面发展。采用盘式制动器取代了蹄式制动器,双管路制动系统,防尘、防噪、带空调的防滚翻、防落物驾驶室。20 世纪末,装载机不仅在机械效率、环保、安全、操作简便、电子控制方面得到发展,而且机外辐射噪声及驾驶员耳边噪声等也大为降低。衬套润滑和自动集中润滑提高了润滑周期,减少了维护时间,延长了机器的使用寿命。采用无内胎轮胎,提高轮胎的使用寿命。在自动换挡,铲斗自动放平基础上实现遥控,利用 GPS 系统实现防盗、监控及远程信息传递。

## 2. 挖掘机的起源

16—18 世纪,挖掘机处于雏形阶段。最早的挖掘机是以人力或畜力为动力用于挖掘河底的清泥船,铲斗容量不超过  $0.2\sim 0.3\text{m}^3$ 。1833—1910 年,挖掘机进入蒸汽机阶段。1833—1836 年,美国人 W. S. 奥蒂斯设计和制造了第一台蒸汽机驱动、铁木混合结构、半回转、轨式单斗挖掘机,生产率  $35\text{m}^3/\text{h}$ ,由于经济性差没有应用。19 世纪 70 年代,经过改装的蒸汽铲正式生产并用于露天矿剥离表土。1880 年生产了第一批以拖拉机为底盘的半回转式蒸汽铲。1912 年出现了汽油机驱动的全回转式单斗挖掘机。20 世纪 50 年代以后进入液压化和大型化阶段。20 世纪 50 年代中期,德国和法国相继研制出全回转式液压挖掘机,从此单斗挖掘机的发展进入一个新的阶段。

## 3. 混凝土输送泵起源

1907 年,德国开始研究混凝土输送泵,并取得专利。1913 年,美国取得专利权,制造出第一台混凝土输送泵,但运行后即搁置。1927 年,德国 Fritz. Hell 设计制造了第一台获得成功应用的混凝土泵。20 世纪 50 年代,德国 Torkret 公司发展了以水为工作介质的混凝土输送泵,使混凝土输送泵的发展进入了新的阶段。1959 年,德国 SCHWING 公司生产出第一台全液压的混凝土输送泵。其液压驱动系统功率大,振动小,排量大,输送距离远,并可实现无级调节。1963 年,美国查伦奇·考克兄弟(Challenge. Cook Bros.)公司在完善活塞式输送泵过程中,研制了挤压式混凝土输送泵。

## 4. 压路机起源

19 世纪,西方的道路工程以碎石子铺路为主,压实主要靠车辆自然碾压。直到 1858 年英国发明了轧石机后,促进了碎石路面的发展,才逐渐出现了用马拉的滚筒进行压实工作,这是最早的压路机雏形。1860 年在法国出现了蒸汽压路机,进一步促进并改善了碎石路面的施工技术和质量,加快了工程进度。在 20 世纪初,碎石路面是公认的最优良的路面并推广于全球;压实的概念逐渐被人们所知,压路机也随之出现在各个道路施工工地上。19 世纪中叶,内燃机的发明给压实设备的发展带来了巨大的生机。20 世纪初,美国人制造出第一台内燃机驱动的压路机。随后的轮胎压路机、羊角碾压路机与光轮压路机几乎是同时出现的。人们对静碾压路机的压实效果进行了研究,认为增加压路机的质量可使



压路机的线压力增加,从而提高压实效果。于是,在相当长的一段时间内,人们致力于开发大吨位压路机,最大的轮胎压路机曾重达 200 多吨。不过这段时期内,压路机的变化还是主要体现在动力及外形的改进上。

### 5. 旋挖钻机起源

旋挖钻机是在回转斗钻机和全套管钻机的基础上发展起来的,起源于美国卡尔维尔公司。1948 年意大利 MAIT 公司首先开始研制,接着在意大利、德国开始发展,20 世纪七八十年代在日本得到快速发展。2001 年建设青藏铁路,为了克服高原冻土层对铁路路基的影响需要打桩,我国引进了德国 BAUER 旋挖钻机施工。也就是从那时开始,旋挖钻机施工工法在中国全面推广开来。

## 1.3 中国工程机械的发展历史

工程机械行业在我国机械行业中具有举足轻重的地位,涉及多个领域。每种产品的发展都经历了由弱到强,由小变大的过程。在历史上提到的很多企业已经变得默默无闻,甚至已经烟消云散。也有很多企业变得越来越强大,进入大发展的良性循环。

### 1. 中国装载机的发展历史

1964 年四川成都成工工程机械股份有限公司(简称成工)开始试制国内第一台 Z1-4 履带式后卸装载机, Z420(2T, 成工)和 Z435(3.5T, 厦门厦工机械股份有限公司, 简称厦工)型液压装载机,同时研制了我国回转式装载机 Z4H2 型(2T)。1963 年,当时的机械工业部将日本的一台 125A 轮式装载机送给天津工程机械研究所(简称天工所)进行研究、测绘,并将图样交给广西柳工机械股份有限公司(简称柳工)、厦工。1966 年,厦工先于柳工制造出我国第一台轮式装载机 Z435(功率 100kW, 斗容 1.7m<sup>3</sup>),但柳工 Z435 装载机是最早通过国家鉴定并实现批量生产的。

1978 年,天工所根据机械工业部要求制定以 Z450 为基型的我国轮式装载机系列标准。保留“Z”代表装载机,“L”取代“4”表示轮式,改 Z450 为 ZL50。该标准规定了装载机的产品系列。按照当时的行业分工,柳工、厦工制造 ZL40 以上的大中型轮式装载机,成工、宜工集团(简称宜工)制造 ZL30 以下的中小型轮式装载机,逐步形成了柳工、厦工、成工和宜工四大装载机骨干企业。

到 20 世纪 90 年代,在福建、山东的装载机生产厂家风起云涌。当时,福建至少有 30 家装载机生产厂家,山东至少有 20 家装载机生产厂家。21 世纪初,行业进入打价格战,毛利不断降低的阶段,很多企业无法维持下去,退出了装载机行业。目前,国内的装载机生产厂家包括柳工、厦工、中国龙工控股有限公司(简称龙工)、山东临工工程机械有限公司(简称临工)、徐工集团(简称徐工)、成工、山东山工机械有限公司(简称山工)、福田雷沃国际重工股份有限公司(简称福田雷沃重工)等。

### 2. 中国挖掘机的发展历史

我国开始研制液压挖掘机产品是在 20 世纪 60 年代末,这与日本发展液压挖掘机产品的时间大致相同。从 1967—1977 年,我国个别工厂开始研究及开发液压挖掘机。

通过数年坚持不懈的努力,克服一个个困难,终于有几种规格的液压挖掘机产品获得初步成功。当时,上海建筑机械厂的WY100挖掘机,贵阳矿山机器厂的W4-60挖掘机,合肥矿山机器厂的WY60挖掘机,长江挖掘机厂的WY160挖掘机和杭州重型机械厂的WY250挖掘机等产品问世。我国液压挖掘机行业的形成由此迈出了重要的一步。

20世纪80年代初我国最早涉足挖掘机行业的不少挖掘机主机生产厂先后引进了当时国际上比较先进的液压挖掘机制造技术。这些厂通过数年对引进技术的消化、吸收,使国产液压挖掘机产品性能指标全面提高,产品产量也逐年有所提高。80年代初的技术引进几乎是清一色的德国各大挖掘机生产厂的制造技术,尤其是从德国Liebherr公司引进的挖掘机机型最多。自改革开放以来,国内对液压挖掘机需求量的不断增加,挖掘机市场的迅速扩大和需求的多样化,在国有大中型企业产品结构的调整中,牵动了一批其他机械行业的制造厂加入液压挖掘机行业。

到了20世纪80年代末和90年代初,世界各工业发达国家液压挖掘机技术水平得到了迅速的提高,突出表现在追求高效率、高可靠性和驾驶员操作的舒适性,出现了一些节能和低噪声、低排放的液压挖掘机。与此同时,挖掘机的外观造型和涂装质量也得到极大提高。随着国外新型液压挖掘机和二手旧挖掘机大量的进入中国市场,中国用户对国外挖掘机水平的性能和作业可靠性、效率等方面有了较深入的了解,从而也深刻认识到国产液压挖掘机水平与国外液压挖掘机相比存在很大差距。不少用户为了追求高效率作业以保证工期按时完成,宁愿多花钱购买进口挖掘机或者购买与国产新机价格相当但可靠性仍然较高的国外二手挖掘机,在这种形势下,国产液压挖掘机面临很大的冲击。

21世纪初,国外挖掘机生产企业纷纷进入,国内市场几乎被国外的CATERPILLAR、KOMATSU、VOLVO、HITACHI、KOBELCO、HYUNDAI、DOOSAN等品牌占领。国内企业包括柳工、厦工、广西玉柴机器集团有限公司(简称玉柴)、山河智能装备集团(简称山河智能)等企业率先进入挖掘机行业,形成与国外企业竞争的局面。后来,随着三一重工股份有限公司(简称三一重工)、中联重科股份有限公司(简称中联重科)及一大批小企业的进入,壮大了国内企业的竞争力。

### 3. 中国压路机的发展历史

中华人民共和国成立前,我国只有一些压路机的修配工厂,直到1940年,我国在大连仿制出第一台以蒸汽机为动力的自行式压路机。1952年,上海厦门路机械厂(洛建前身)建造了第一台以内燃机为动力的2Y6/8自行式压路机。1953年,天津第五机械厂(天津工程机械厂前身)试制出我国第一台以蒸汽机为动力的10t自行式三轮压路机。1954年,厦门路机械厂由上海迁往洛阳,改名为洛阳建筑机械厂。20世纪60年代,徐州工程机械厂(现为徐工集团徐州工程机械厂)、上海工程机械厂(现为上海工程机械厂有限公司)、三明重型机器厂[现为厦工(三明)重型机器有限公司]先后加入压路机生产行业,研制出6/8t、8/10t、10/12t、12/15t静碾压路机。70年代,原交通部所属的德州公路机械厂、西安筑路机械厂(现为中交西安筑路机械有限公司)、四川公路机械厂、廊坊筑路机械厂也加入了压路机的生产序列。80年代,邯郸建筑机械厂、四平建筑机械厂(现为中国建设机械总公司四平建筑机械公司)、义乌建筑机械厂、长春工程机械厂、中建四局机械厂、陕西水利机械厂、常州市常州工程机械厂、江苏江阴道路机械厂(现为柳工无锡路面机械有限



公司)也先后投入生产压路机。

我国目前的压路机发展到静碾、单钢轮、双钢轮、轮胎等多种型式。单钢轮压路机又分为机械驱动和全液压驱动，双钢轮压路机分为用于筑路的大双钢轮和用于养护的小双钢轮。国内拥有压路机品牌企业有徐工、柳工、常林、路通、山推、厦门、龙工、三一等。机器性能基本能够满足施工要求，与国外品牌相比还存在一定的差距，但差距越来越小。

#### 4. 中国混凝土机械的发展历史

1983年以前，我国商品混凝土机械有两个突出特点。①单机产品100%是20世纪三四十年代的老产品；②混凝土搅拌运输车、搅拌站、输送泵100%是进口产品，主要是德国、日本产品。这两点反映了当时我国混凝土机械的发展水平。

1984年，在建设部的支持下，由长沙建设机械研究院(简称长沙建机院)牵头，提出了国产混凝土机械产品更新换代的方针。首先，针对当时我国现状，于1984年年初在长沙开展了全国性的混凝土机械大比武与评奖，实际上也就是进行产品选型。通过行业专家反复比较，结合我国实际情况及国际发展趋势，认为混凝土搅拌机中的反转出料式和卧轴式较有前途。在建设部的协调下，组织了全国两所(长沙建机所、廊坊机械化所)10厂(上海华东建筑机械厂、浙江建筑机械厂、扬州机械厂、福建建筑机械厂、广州建筑机械厂、山东建筑机械厂、云南建筑机械厂、吉林工程机械厂、韶关挖掘机厂等)开展联合设计与技术攻关。1984年，在长沙集中了全国七八十人的联合攻关队伍，对反转式150型、200型、350型、500型和卧轴式200型、250型、350型、500型两个系列8个产品进行联合设计，在全国选择了10个厂进行试制。

早在1977年，在研发和掌握了混凝土输送泵技术的基础上，长沙建筑机械研究所(现为长沙建设机械研究院)、廊坊机械化所(现为中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院廊坊院)和沈阳工程机械厂一道，开发研制了23m臂架式泵车，这是我国第一台自行设计研制的国产混凝土泵车。同时，国内其他企业采取技术引进与消化创新相结合的方式，引进了德国、日本先进的混凝土搅拌运输车、搅拌站、输送泵技术。1982年，原湖北建筑机械厂引进日本石川岛建机的泵车生产技术，合作生产臂架式泵车，从此结束了我国不能批量生产混凝土泵车的历史。上海华东建筑机械厂和阜新矿山机械厂于1987年引进了日本混凝土搅拌站技术，开发生产了60~100m<sup>3</sup>/h商品混凝土站。1990年徐工集团引进德国普茨迈斯特的技术，合作生产32m泵车。

进入20世纪90年代，全面发展混凝土机械产品中的搅拌运输车、搅拌站、输送泵提上了我国建设机械发展议事日程。80年代末，长沙建机院已完成25~90m<sup>3</sup>/h商品混凝土站(楼)的开发设计。1994年，上海华东建筑机械厂和山东省建筑机械厂生产的混凝土站(楼)已在国内市场渐露头角，市场占有率达50%。外国混凝土机械产品一统中国市场的格局开始改变，垄断的局面被打破。

这个时期，长沙中联重科和三一重工都看准了技术含量高、产品价格高、市场发展空间大的混凝土机械产品，加快了技术与资金的投入，开发了拥有自主知识产权的适合中国国情的产品，与国内其他厂家一道，在混凝土搅拌运输车、搅拌站、输送泵上进一步打破了国外产品垄断中国市场的局面。混凝土输送泵和泵车的开发，在消化吸收国外产品的基础上，根据国内用户、市场和现场施工的具体情况，进行了有针对性的设计和较大的改进。因此，中联重科、三一重工生产的混凝土输送泵及泵车，在产品技术和配套件上已缩



小了与国外产品的差距，而在产品的售后服务上则发挥了地利及人和的独特优势，这是国产混凝土机械能够从20世纪90年代中期开始逐步从外国品牌手中收复市场，并与国际著名厂家抗衡的关键。至20世纪末，国产混凝土设备已占国内市场份额的90%左右，国外产品开始逐步退出中国市场。同时，我国的混凝土机械产品还出口到了亚洲、美洲和非洲等许多国家。

目前，我国的混凝土机械与国际先进技术保持着同步发展水平，在朝着智能化方面发展。混凝土机械设备的自检测、自保护、自调整及多种传感技术、恒功率控制技术、GPS定位及数据传输技术的广泛应用，使国产设备在产品质量上与国际的差距变得很小，产品的可靠性和适应性都有了极大的提高。三级配混凝土输送、超高压输送、101m超长臂架泵车等技术的出现，以及收购国外CIFA、PUTZMEISTER(大象)、SCHWING三大主要混凝土泵车生产厂，说明我国已经成为混凝土机械生产强国。

### 5. 我国工程机械发展的五个阶段

纵观我国工程机械行业的发展史，大致可以分为以下五个阶段。

第一阶段——创业时期(1949—1960年)。1949年以前，我国是没有工程机械制造业的，仅有为数不多的几个作坊式的修理厂，而且只能修理简易的施工机具和其他设备。工程机械在我国仍未形成独立行业，只由别的行业兼产一部分简易的小型工程机械产品。“一五”期间，对工程机械的需求量猛增，机械制造部门生产的产品远远不能满足需求，因而其他工业部门(如当时的建筑工程部、交通部、铁道部等)便自行生产一些简易的工程机械。

第二阶段——行业形成时期(1961—1978年)。1960年12月9日，国务院和中央军委共同决定：由原第一机械工业部组建五局(工程机械局)，负责发展全国的工程机械。一机部五局于1961年4月24日宣布成立。归口企业20个，其中有4个直属厂即抚顺挖掘机厂、沈阳风动工具厂、宣化工程机械厂和韶关挖掘机厂，并于1961年2月在北京成立了一机部工程机械研究所。1963年10月，建筑工程部机械局与一机部五局合并，并将其直属厂陆续转为一机部五局直属。1964年后，工程机械行业建设了一些三线企业。1978年8月9日，原一机部和国家建委下文将行业中的挖掘机械、压实机械、桩工机械、混凝土机械由一机部划归国家建委归口管理，并划给国家建委60个直属厂，这样形成了两个制造体系。

第三阶段——全面发展时期(1979—1990年)。十一届三中全会以后随着国家基本建设投资规模和引进外资力度不断加大，两个制造体系给工程机械行业造成的分散局面不适应新的发展形势。国家计委组织一机部、建设部、交通部、铁道部、林业部、兵器部和工程兵等部门共同成立了全国工程机械大行业规划组，负责统筹协调全行业的投资、行业布点、引进国外技术、引进外资等。1985年后，国务院先后对工程机械各部门进行多次改革。1998年撤销机械部，成立国家机械工业局，全面进行机械工业宏观管理，取消了有关部、局对机械行业的管理职能，实现了工程机械大行业管理。“七五”计划以来随着市场经济的发展，工程机械行业取得了飞速的发展，工程机械企业遍布全国各个地区，新产品、新技术、新营销模式被广泛地应用到工程机械行业的各个方面。

第四阶段——快速发展时期(1990—2004年)。20世纪90年代以来，我国的工程机械行业步入了快速发展期，在这一时期，制造企业迅速意识到仅有好的产品已经不够了，还需要将产品快速高效地送达客户，并提供及时完善的售后服务，于是纷纷改变了过去产、