



21世纪

高等学校精品规划教材

施工机械及其 自动化

主编 田启华 李浩平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



21世纪

高等学校精品规划教材

施工机械及其 自动化

主编 田启华 李浩平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书较系统地介绍了各类建筑物和工程建设施工作业中常用的施工机械设备的用途、类型与组成,典型产品的结构、工作原理与性能特点,以及相关自动化技术、装置与系统等内容。全书分为施工机械和施工机械自动化两大部分,分上、下两篇,共十三章。上篇施工机械部分包括:施工机械概论、铲土运输机械、挖掘机械、起重机械、混凝土机械、输送机械和凿岩钻孔机械等七章,主要介绍常用施工机械的构造、传动和工作原理,内容尽量精练、重点突出。下篇施工机械自动化部分包括:施工机械自动化概论、施工机械控制技术及装置、施工机械工作状态监控系统、施工机械动力装置控制系统、施工机械工作装置控制系统和施工机械行走装置控制系统等六章,其内容主要是在广泛收集了国内外有关学术文献和内部资料的基础上编写的,编写时尽量使内容具有先进性、系统性和完整性。本书可作为高等院校机械类相关专业用教材,也可供相关科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

施工机械及其自动化 / 田启华, 李浩平主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2009

21 世纪高等学校精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6349 - 0

I. 施… II. ①田…②李… III. 工程机械-高等学校-
教材 IV. TU6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 034037 号

书 名	21 世纪高等学校精品规划教材 施工机械及其自动化
作 者	主编 田启华 李浩平
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.5 印张 368 千字
版 次	2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0000—4000 册
定 价	27.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

施工机械广泛应用于交通道路修建、水利电力建设、矿山石油开采、机场港口建造、工业民用建筑、国防军事建设等各类建筑或工程建设施工作业中。随着科学技术的进步和生产的发展,施工机械在工程施工中的地位 and 作用日益重要,尤其是现代大型水利水电建设施工机械化程度愈来愈高,主要工序已完全由工人操作机械进行施工生产。有些机械设备的自动化程度很高,原来操作机械的工人变为监督、控制和维修机械者,而机械则在自动控制系统的操纵下按既定的生产程序自动运转,因而可以大大提高生产率。由此可见,采用现代施工机械施工,对保证施工质量、加快施工速度、节省人力、提高劳动生产率、降低劳动强度等起着决定性的作用。近些年来,随着微电子、计算机和机电一体化等技术的快速发展及广泛应用,施工机械发展迅速,在工业发达国家已全面走向现代化,正朝着自动化、智能化和机器人化方向发展。

为适应施工机械的发展,满足有关专业领域广大师生和技术人员的需要,笔者在十余年前即组织编写了《施工机械及自动化》一书,以供原武汉水利电力大学(宜昌)、三峡大学“机械设计制造及其自动化”等有关专业教学使用,同时也提供给其他有关学校及单位师生与技术人员参考。为进一步适应施工机械技术及产品的发展,更好地满足有关专业领域广大师生和技术人员的需要,笔者基于十余年来的教学与科研实践的积累,对原教材进行了较大幅度的修改与完善,并公开出版发行。

《施工机械及其自动化》课程作为一门专业课,其主要任务是:通过本课程的教学使读者熟悉常用施工机械设备的用途类型、构造、工作原理和性能,掌握常用施工机械控制技术及装置、工作状态监控技术及系统,了解典型施工机械动力装置、工作装置和行走装置的控制技术及系统,为设计和使用施工机械及其自动化设备打下必要的理论基础。

全书内容包括施工机械和施工机械自动化两大部分,分上、下两篇,共十三章。其中,上篇施工机械部分包括:施工机械概论、铲土运输机械、挖

掘机械、起重机械、混凝土机械、输送机械和凿岩钻孔机械七章，主要介绍常用施工机械的构造、传动和工作原理，内容尽量精练、重点突出。下篇施工机械自动化部分包括：施工机械自动化概论、施工机械控制技术及装置、施工机械工作状态监控系统、施工机械动力装置控制系统、施工机械工作装置控制系统和施工机械行走装置控制系统六章，主要是在广泛收集了国内外有关学术文献和内部资料的基础上编写的，编写时尽量使内容具有先进性、系统性和完整性。

全书由田启华教授、李浩平副教授编写。在本次修订过程中，武汉大学动力与机械学院博士生导师巫世晶教授提出了许多宝贵意见，并审阅了初稿，在此表示衷心的感谢。

《施工机械及其自动化》是一门新的课程，涉及许多新的理论和技术，由于编者学识水平有限，所掌握的资料有限，书中难免存在不完善、不妥之处，诚恳地希望专家学者们和广大读者批评与指正。

编 者

2008 年 11 月

前言

上篇 施 工 机 械

第一章 施工机械概论	1
第一节 施工机械用途和类型	1
第二节 施工机械发展状况及趋势	2
第三节 自行式施工机械总体构造和行驶原理	6
第四节 施工机械内燃机	9
第二章 铲土运输机械	19
第一节 推土机	19
第二节 装载机	23
第三节 铲运机	26
第四节 平地机	31
第三章 挖掘机械	35
第一节 单斗挖掘机	35
第二节 多斗挖掘机	44
第四章 起重机械	49
第一节 概述	49
第二节 自行式起重机	56
第三节 塔式起重机	63
第四节 门座式起重机	68
第五节 缆式起重机	72
第五章 混凝土机械	77
第一节 材料称量设备	77
第二节 混凝土搅拌机	84
第三节 混凝土搅拌楼（站）	93
第四节 混凝土输送机械	97
第五节 混凝土振动器	103

第六章 输送机械	108
第一节 带式输送机	108
第二节 斗式提升机	112
第三节 螺旋输送机	113
第七章 凿岩钻孔机械	115
第一节 类型和应用	115
第二节 凿岩机	116
第三节 钻孔机	121
第四节 凿岩钻车	124
第五节 掘进机	127

下 篇 施 工 机 械 自 动 化

第八章 施工机械自动化概论	132
第一节 自动化技术基本概念	132
第二节 施工机械控制及自动化的发展	134
第三节 施工机械中的机电一体化技术	137
第九章 施工机械控制技术及装置	143
第一节 施工机械电子控制技术	143
第二节 施工机械电液控制技术	148
第三节 施工机械激光控制技术	154
第四节 施工机械自动显示技术及显示仪表	155
第五节 施工机械常用传感器	166
第十章 施工机械工作状态监控系统	178
第一节 概述	178
第二节 施工机械发动机电子监控系统	181
第三节 施工机械自动诊断技术	186
第十一章 施工机械动力装置控制系统	193
第一节 施工机械电动机的控制	193
第二节 施工机械内燃机的控制	200
第十二章 施工机械工作装置控制系统	212
第一节 液压挖掘机工作装置控制系统	212
第二节 装载机工作装置控制系统	216
第三节 自动调平控制系统	221
第十三章 施工机械行走装置控制系统	228
第一节 施工机械自动换挡系统	228
第二节 施工机械无级变速控制系统	237
参考文献	242

上篇 施 工 机 械

第一章 施 工 机 械 概 论

第一节 施工机械用途和类型

施工机械是各类建筑或工程建设施工作业中所用机械设备的总称，被广泛应用在交通道路修建、水利电力建设、矿山石油开采、机场港口建造、工业民用建筑、国防军事建设等工程中。随着科学技术的进步和生产的发展，施工机械在工程施工中的地位和作用日益重要，尤其是现代大型水利水电建设施工机械化程度愈来愈高，主要工序已完全由工人操作机械进行施工生产。有些机械设备的自动化程度很高，原来操作机械的工人变为监督、控制和维修机械者，而机械则在自动控制系统的操纵下按既定的生产程序自动运转，因而可以大大提高生产率。由此可见，采用现代施工机械施工，对完成工程任务、缩短工期、降低生产成本等起着决定性的作用。

施工机械的技术水平是随着施工工艺的不断革新和工业技术的日益发展而得到提高的。一个国家能够生产的施工机械产品品种和产量的多少、技术水平和产品质量的高低，不仅代表一个国家的工业技术水平，还直接影响国民经济生产建设的发展速度。因此，世界许多国家，尤其是工业发达国家，无不重视施工机械的研制和生产。

施工作业的多样性决定了所使用的机械设备种类繁多，既有各种通用施工机械，也有众多专用施工机械。由于建设工程的性质和工程的规模不尽相同，所用施工机械的种类和名称也不尽一致，不同行业、不同专家学者对施工机械的分类也不尽一致。结合水利水电等工程施工特点，施工机械可分为以下五大类。

1. 土方机械

包括铲土运输机械（如推土机、装载机、铲运机和平地机等）、挖掘机械（如单斗挖掘机、多斗挖掘机等）、压实机械（如羊角碾、振动碾和轮胎碾等）。

2. 工程运输机械

包括各种工程运输车辆（如公路型自卸汽车、非公路型重型后卸汽车等）和输送机械（如带式输送机、斗式提升机和螺旋输送机）。

3. 石方机械和隧洞施工机械

包括凿岩机、钻孔机械和隧洞掘进机等。

4. 混凝土机械

包括混凝土制备机械、混凝土运输和振捣机械等。

本书上篇主要介绍在各种工程施工中应用比较广泛的铲土运输机械（包括推土机、装载机、铲运机和平地机）、挖掘机械（包括单斗、多斗挖掘机）、起重机械（包括自行式、塔式、门座式和缆索式起重机）、混凝土机械（包括称量、搅拌、输送及振捣设备）、输送机械（包括带式运输机、斗式提升机和螺旋输送机）和凿岩钻孔机械（包括凿岩机、钻孔机和隧洞掘进机）。

5. 起重机械

包括轻小型起重设备（如绞车，起重葫芦，滑车等）、升降机和起重机（如桥架型起重机，臂架型起重机和缆索型起重机）等。

第二节 施工机械发展状况及趋势

施工机械是各项基础设施建设必需的机械装备，其应用已有相当长的历史，发展至今，大致经历了 3 个阶段。

第一阶段：以满足减轻劳动强度为目的的机械驱动阶段。机械设备以机械传动为特点，结构较笨重，功能较单一，作业效率较低下。

第二阶段：以提高生产率为目的，机械设备采用液压传动，即液压驱动阶段。这一阶段的施工机械为第三阶段的发展奠定了基础，设备的作业效率提高很快，从此，液压元件行业的技术进步一直伴随着施工机械的发展。

第三阶段：施工机械的电子控制阶段。在这一阶段，机电一体化技术、自动化技术被广泛地应用于施工机械上。该阶段施工机械的控制精度及机械作业效率大大提高。

进入 21 世纪后，人类为实现可持续发展，提出了施工机械的环保技术和信息技术，使施工机械的发展进入了新的发展阶段。近些年来，国内外施工机械产品出现了许多新技术和新产品。下面简要综述施工机械的发展现状与趋势。

1. 向大型化和微小型化两级发展，产品系列进一步完善

一方面，随着世界范围的大型工程的规模不断扩大，为了提高工效及经济性，应该尽量选用大功率、大容量的大型施工机械；另一方面，为了提高工效、缩短工期、提高质量，过去那些由人工辅助完成的各种零星分散、工作面窄小的小量工程也都设法采用机械施工，于是又产生了各种小型的、甚至是微型的施工机械。因此，现今施工机械向大型化和微小型化两极发展，产品系列进一步完善。以挖掘机为例，目前的单斗挖掘机斗容量已经从常用的 0.4m^3 发展到 30m^3 ，这样的大型设备一旦投入施工生产，就能获得巨大的经济效益；相反，小型挖掘机的斗容量仅为 0.01m^3 ，挖斗仅有普通铁锹的大小。再以推土机为例，大型的自重达几十上百吨、功率达几百千瓦甚至几兆瓦；微小型的自重仅为几吨、功率仅为几十千瓦。

2. 满足多样化作业环境及一机多用型式，提高产品的经济性

随着施工作业条件的多样化，施工机械的适应能力要相应提高，以便大幅度地提高机械的利用率，节约投资，降低成本。因此，世界各国都在积极研制开发一机多用以及能够适应各种特殊作业环境的机型，施工机械主机作业功能将尽可能扩大，单一功能将向多功能转化，扩大了施工机械的应用领域。例如，国外挖掘机、装载机的工作装置都达 100 种

以上,普遍实现了一机多用,提高了产品的适应性和利用率。目前世界各国不少中小型挖掘机、装载机、叉车,除完成其主要的挖掘、装卸功能外,还可同时进行起重、抓料、压实、钻孔、破碎、犁地、扫雪、推土、修边坡,以及夹木、叉装等多种作业。对于高速公路的施工和养护,多功能作业更为重要,具有清扫、除雪、挖掘、破碎及压实功能的养护机械依然是施工机械行业关注的热点课题之一。

3. 广泛应用机—电—液一体化技术,全面提高产品的性能

施工机械良好的控制性能和信息处理能力,主要基于机械和液压两个方面性能的提高,以及主机具有良好的电子技术、传感器技术和电液传感技术。

微电子等高新技术得到全面普及和应用,使得施工机械自动化程度大大提高。例如,发动机电子控制系统实现了对发动机转速、停车以及工作状态等的自动控制。采用微机控制,实现了发动机转矩和液压泵所吸收转矩的最佳配合。恒功率发动机将在大型推土机上推广应用,使发动机在接近最大功率值时,转速与扭矩可自动调节,扭矩储备系数较大。电子消声和低排污等环保高新技术将更加受到重视。装载机的计算机控制和管理系统、驾驶员辅助操作系统、电子称量装置以及直观控制系统等将进一步普及。

液压传动将朝着高速、高压、大流量、大功率、静态特性好、结构简单、质量小、成本低和可靠耐用等方向发展,并将进一步与微电子技术结合,最大限度地提高功能利用率。液压传动除传递动力外,还将更广泛应用于电液伺服自动控制系统。特殊环境下的液压装置(包括高温、高寒和水下等)也将得到进一步的发展与应用。部分大型施工机械将推广应用静液压传动。

机—电—液一体化技术的应用,大大提高了施工机械可靠性、实用性,特别是液压传动使施工机械得到极大的增力比值,自动调节操作轻便,易于实现大幅度无级变速。容量大、结构简单、操作方便等特点使机—电—液一体化技术的应用已成施工机械的主流。

20世纪90年代中期,国外开始研究施工机械车载计算机辅助土方作业系统(Computer Aided Earthmoving System)技术。其技术的核心是研究土方机械动力学控制系统(Earthmoving Machinery Dynamic Control System),运用车辆的行驶理论,通过数学算法和控制逻辑,监测行走系统的滑转率及发动机的功率输出。利用电子计算机技术,将土方机械的作业工况、作业介质和机器状况,由计算机进行动态的评估计算,实现土方机械作业的最佳输出功率,并通过显示器提供给驾驶员,达到最佳的作业生产率控制,使土方机械在恶劣的作业场地中,产生最大的驱动力。

4. 实现机械运行状态监控和自动报警、机械故障的自动诊断,提高安全性,防止事故发生

施工机械采用电子监控装置,对发动机、传动系统、制动系统和液压系统等运行状态进行实时监控,一旦出现异常情况,能够根据故障状况进行判断,并发出警报或及时采取相应措施。通过这些电子监控装置,司机在驾驶座上能够一目了然地了解到机械的各种运行状态。

电子故障诊断装置用于诊断现场工作的施工机械是否有故障,性能是否降低,零部件是否过度磨损,并及早发现和防止事故扩大,从而提高机械出勤率,降低修理费用。这些诊断装置包括:对发动机、液压传动系统的油液自动进行金属微粒含量分析;探求故障和

金属磨损产生的原子吸光分析仪；用于检测油质，从而确定油更换期的红外线分光分析仪；按规定的时间间隔或在异常状态时自动采油的装置；预先在计算机中贮存液压泵或变速箱的振动波形，然后测定使用过程中液压泵或变速箱的振动波形，对两者各自的波形加以比较并自动判断是否异常的振动分析仪；还有结构件超声波探伤仪和装有电子检测装置与微型计算机的综合诊断车等，使日常保养工作大为简化。

目前，各类产品已普遍采用了翻滚保护结构（ROPS）和落物撞击保护结构（FOPS）的全封闭驾驶室，使司机免遭不测。为了同一目的，普遍采用传感报警器，具有熄火转向、排气制动和拖启动等功能的“三合一”，以及下长坡液力缓行器等安全装置。起重机械均装有力矩限制器，限制超载现象；在狭窄地区工作时，起重机有回转机构可以设定转角范围和限位装置，以免碰撞事故的发生；此外，还装有接近高压电线时自动报警的装置，能防止触电事故的发生。

5. 提高作业质量和精度

随着建筑工程事业的发展，对工程质量的要求越来越高。例如：高速公路施工中使用的平地机与摊铺机等平整机械，作业精度要求限制在几毫米的偏差范围内，人工操作已无法满足这样的要求，必须采用自动调平控制装置。激光技术的应用改善了施工机械的性能。如推土机和平地机上采用激光装置，以提高大面积平整地面作业的平整精度，控制高程和坡度。在隧洞开挖机上采用激光导向和布孔位。

6. 降低燃油消耗量，进行节能控制，充分利用发动机功率，提高作业效率

进一步降低能耗，提高生产效率，发展节能产品仍是施工机械发展的主攻方向。除设计、工艺、材料等方向的改进提高外，一些节能新技术、新方法（如代用燃料、节能装置等）将得到进一步深入的试验研究和推广应用。

铲土运输机械采用微机控制自动换挡，由于能正确的选择挡位，可以大大节约燃油。根据国外试验资料表明，熟练司机比不熟练司机节省燃油最高可达百分之几十，而采用自动换挡又能比熟练司机节约燃油最高可达20%以上。

通过对液压系统的自动负荷控制，可使发动机在最佳工况下工作，并防止液压系统超载。例如：在挖掘机的液压系统中，采用多泵多回路液压控制系统，工作时经常多泵驱动和多个油缸同时动作，各泵的总吸收扭矩和发动机扭矩相匹配，充分利用发动机功率，还要求各作用油缸的功率按作业需要合理分配，以提高作业效率，同时防止发动机过载熄火。

7. 普遍重视产品的舒适性，改善产品操纵性能，减轻司机劳动强度，实现产品的人性化

如采用悬挂式密封空调的驾驶室，注意消声减噪、防振减震、防尘防污、隔热防射、视野宽敞、操纵简便、防止误操作、不解体检检测和简化维修等，司机坐椅按人机工程设计，全方位可调。又如，施工机械的操纵手柄和踏板多，有的机械操作时需要手脚并用，不仅劳动强度大，而且操纵复杂，要求操纵技能高。如：在装载机循环作业中，在单位时间内的换挡极为频繁，劳动强度大，如果采用电控及电磁阀来进行换挡，可大大降低换挡操纵人员的劳动强度。目前一些施工机械上装有“气—液悬挂式系统”，采用微机自动换挡变速，使操作力大大减小（小的只有几牛顿）。

施工机械产品多年来一直具有外形粗放的特点，近年来施工机械的外观更注重美学设计，车身的流线设计，达到了机器和环境的和谐。驾驶室的优良视野，大大提高了机器作

业的安全性和舒适性。施工机械控制技术的电子化代表了当今技术的发展趋势,大多国外施工机械的产品采用微机控制技术,实现各种工况下自动判断、控制机器发动机的功率输出,达到机器发动机的最佳功率匹配,减少发动机的燃油消耗,并自动诊断机器状态,可以提醒驾驶员及时修理机器,使其始终保持良好状态。施工机械产品的控制和操纵更加趋向于人性化。

8. 提高产品环保性,研制环保型产品

为了消除公害,解决噪音、振动和环境污染的问题,不断改进内燃机的设计,加装隔音罩和废气净化装置。近些年来,国内外施工机械产品出现了许多新技术和新产品。例如:施工机械产品所用材料的再循环利用,采用天然气驱动,采用纯水作为液压传动介质。

再循环利用的过程是指在施工机械产品设计之初,就对产品的组成类型进行分析计算,考虑产品的可回收性、可拆卸性和再循环利用性,并对零部件分类,确定其可再循环利用的比率。在产品全寿命周期内,完成实现产品的再循环利用,对可回收的零部件进行拆卸和清洗,并加以必要的修复,使零部件的尺寸和性能得以恢复和重新利用。

为了减少燃油动力机械尾气排放对大气产生的污染,在城市交通车辆中广泛采用了混合动力和电动车辆。目前日本一家公司已完成了采用燃气动力的装载机样机研制。

以液压油为介质的液压传动在工程机械中得到广泛应用,但由于液压油的渗漏,将对主机和环境产生污染,这一问题一直困扰着研究人员和使用者。美国一家公司最近试验研究采用纯水作为液压传动的介质,并取得了一些阶段性研究成果,如在道路清扫车的侧刷驱动和卧刷驱动、垃圾料箱的倾卸及箱门的关闭等系统,均采用纯水介质的液压驱动。纯水传动技术的突破,必将会对施工机械行业带来新的技术变革。

9. 更加重视提高制造水平和新材料的应用,进一步提高产品的寿命和可靠性,同时进一步提高零部件标准化与通用化的程度,最大限度地简化维修

随着国际市场竞争的加剧,20世纪80年代中后期,世界各大制造公司进一步重视设计与工艺的结合,大力采用CNC机床、柔性加工系统和工业机器人,用提高工艺水平来保证产品质量,降低成本。

同时新材料的开发及应用已越来越受到各大制造公司的注意。近年来的动向是:

(1) 各公司都十分重视继续开发加工性能好、使用性能优异的低成本新材料,如减少钢材中重要元素(Ni、Mo、Cr等)的含量,推广应用廉价的低合金钢,扩大非调质钢的使用范围等。

(2) 采用先进的冶金技术,不断提高钢材的冶金质量。

(3) 采用先进的轧制工艺,提高板材的强度。

(4) 采用先进的热处理工艺,充分发挥钢材的潜能等。

此外,高强度合成材料、聚合材料、陶瓷材料等非金属材料也得到了越来越广泛的应用。

制造水平的提高和新材料、新工艺的应用,不但大幅度降低了生产成本,同时使产品质量和综合技术水平得到显著的提高。如美国卡特彼勒公司生产的220kW以上推土机第一次大修期在最佳工况已达22000h,中等工况为18000h,恶劣工况为15000h。平均无故障时间(MTBF)达500h,比10年前提高近1倍。根据20世纪末国外的一项调查统计,

大型轮式装载机的使用寿命平均达 20500h, 高的达 25000h。大型液压挖掘机的使用寿命一般都在 20000h 以上, 中小型液压挖掘机的使用寿命也达到 12000h, 其中液压元件、发动机和变速箱第一次大修期均在 5000h 上。

采用集中润滑、成组安装, 尽可能减少保养次数和维修时间, 进一步改善故障诊断系统, 努力提高产品的寿命和可靠性。

10. 提高产品的机动性

施工机械的机动性能可以大大提高设备的利用率和生产率, 为设备在不同施工场地之间的快速转移、工程迅速衔接提供了必要的手段, 而且也是机械作业所必需的。对一般施工机械机动性而言, 以轮胎式最为理想, 所以当前施工机械机动性的发展方向以轮胎化作为其主要的标志, 甚至大功率的轮胎式推土机已出现。当然, 部分建筑施工机械中, 如土方机械、起重机械等方面, 轮胎式还不能完全代替履带式。轨道起重机也在提高其机动性, 现已有履带型塔式起重机。除了推土机、挖掘机外, 履带式工程机械已呈现衰退趋势, 而多功能型、机—电—液一体化的, 以及轮胎式的机械正方兴未艾, 在今后的相当一段时间, 这种趋势还将不断持续下去。

11. 产品自动化程度大大提高, 并向机器人功能方向发展

在施工机械的发展中, 根据不同的需要, 还有为了满足危险现场 (如悬岩、水下和海底)、人无法接近的场地 (如受原子能辐射区、有放射性物质污染区)、作业环境十分恶劣的场所 (如垃圾处理场、高温地带) 等, 需要远距离操纵和无人驾驶施工机械; 另外, 还有矿区无人驾驶自卸汽车、水下挖掘机、水下推土机和海底步行机器人等。在房屋建造施工方面, 有房屋外墙检查、装修和瓷砖粘贴等机器人, 室内装修、内墙喷涂粉刷、墙面和顶棚粘贴、玻璃安装机器人, 钢筋加工处理和焊接机器人, 混凝土地面铺设、抹平和粗精磨机器人, 房屋内管道铺设装配机器人, 大楼擦窗机器人等。所有机器人通过监视摄像机、三维立体摄像机、自动跟踪光波测距仪和卫星测位系统等装置来确定机械的位置, 取得现场的施工情况信息和图像, 通过图像处理, 在屏幕上显示出来, 使得操纵者具有临场感觉, 自如地发出操纵指令, 利用无线电和有线电缆操纵控制机械进行工作。

第三节 自行式施工机械总体构造和行驶原理

自行式施工机械包括具有轮胎式和履带式行走机构的自行式车辆和铲土运输机械, 它们都是利用车辆自身发动机驱动车轮或履带行驶的。

一、自动式施工机械的总体构造

自行式施工机械虽然因机种和类型不同, 其总体构造也各有特点, 但是基本上都可划分为动力装置 (发动机)、底盘和工作装置三大部分。下面以轮式装载机为例来说明。

图 1-1 为轮式装载机的总体构造简图。动力装置 (一般采用柴油机) 装在底盘的后车架上; 工作装置则装在前车架上。现将各部分的功用简述如下。

1. 动力装置 (发动机)

柴油机是内燃机的一种, 由于其经济性与动力性较汽油机好, 被施工机械广泛采用, 其功用是将供给的燃油燃烧而转变为机械能, 并通过传动系与行驶系驱动装载机行驶; 通

过液压系统操纵工作装置进行作业。

2. 底盘

底盘的功用是将发动机的动力进行适当转化和传递，使之适合机械行驶和作业的需要。底盘又是整机的基础，所有机件都安装在底盘上。底盘一般由传动系、行驶系、转向系和制动系等组成。

(1) 传动系。传动系的功用是将发动机的动力进行适当改变后传给驱动轮。如图 1-1 所示，轮式装载机的传动系由离合器或变矩器，变速箱，万向传动装置，前、后驱动桥和最终传动等部件组成。

离合器是用来接合或切断动力，一般设在机械式传动系统中。在液力机械传动系上一般不设离合器，而设液力变矩器，以便改善传动系的牵引性能。变速箱是供改变行驶速度和进退用的。前、后驱动桥则用来增大扭矩、降低转速，并将动力传递方向改变 90° 后传给驱动轮或最终传动。

(2) 行驶系。行驶系由车架和车轮组成，起支承底盘各部件和保证机械行驶的功能。

(3) 转向系。转向系是保证机械行驶时转向用的。转向系类型较多，在近代装载机上广泛采用液压操纵的铰接式车架转向。

(4) 制动系。制动系由制动器和传动装置组成。其功用是控制机械的行驶速度，使之按需要减速或停车，以确保安全。

3. 工作装置

工作装置是施工机械进行各种作业的装置。装载机的工作装置是由铲斗、动臂、摇臂、油缸及液压系统等构件组成，由液压系统操纵。各种机械的工作装置因作业特点不同，其构造是不同的。

各种自行式施工机械随着用途的不同，虽然从总体构造到工作装置都有各自的特点，但从它们的底盘总体布置与各部件构造和工作原理来看，则是大同小异，基本上可以概括为轮胎底盘式与履带底盘式两大类。

二、车辆行驶原理

下面以轮式牵引车为例说明车辆行驶的原理。

图 1-2 为一后轮驱动的双轴轮式牵引车在水平路面上行驶的情况。作用在牵引车上的

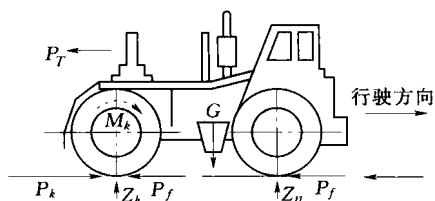


图 1-2 轮式牵引车的行驶原理

的力有车辆重 G 、由于车轮负荷引起地面反作用力 Z 和由于拖带车辆产生的平行于地面的挂钩牵引力 P_T 等。要使车辆行驶，在驱动轮与接触地面之间应产生一个驱动力或轮缘牵引力以驱动车辆前进，其大小应能克服车辆行驶时所遇到的各种阻力，并能维持一定的速度。

但是这一轮缘牵引力的最大值，受驱动轮与地

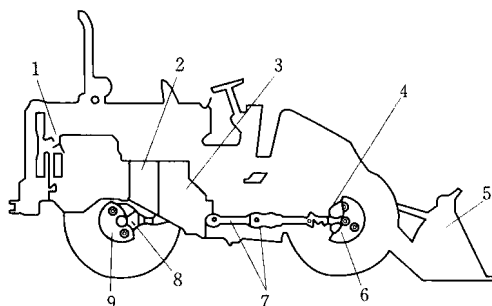


图 1-1 轮式装载机总体构造简图

- 1—柴油机；2—离合器或变矩器；3—变速箱；
4—前驱动桥；5—工作装置；6—最终传动；
7—万向传动装置；8—后驱动桥；
9—最终传动

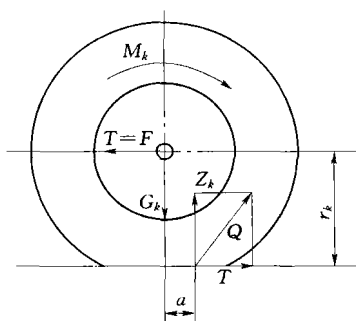


图 1-3 作用在驱动轮上的力和力矩

面之间的附着力所限制。驱动轮的最大附着力，取决于车轮的负荷大小和路面的附着性能。

图 1-3 为驱动轮的受力图。驱动轮在垂直负荷 G_k 和驱动力矩 M_k ($\text{N} \cdot \text{m}$) 作用下，在车轮与路面间的接触面上产生了反作用力 Q 。 Q 的作用线不通过车轴，它的作用点朝行驶方向偏离车轮的纵轴线一个距离 a 。如将 Q 分解为水平力 T 和垂直力 Z_k ，得到力矩的总和：

$$M_k = Tr_k + Z_k a \quad (1-1)$$

又 $G_k = Z_k$, $F = T$

式中 r_k ——车轮的工作半径，m；

F ——由车架传递而来的水平反作用力，它作用在车轴上。

用 r_k 除式 (1-1) 各项，并将 G_k 代入 Z_k ，得：

$$\frac{M_k}{r_k} = T + G_k \frac{a}{r_k}$$

并使 $\frac{M_k}{r_k} = P_k$ ， P_k 称为轮缘牵引力或切线牵引力； $\frac{a}{r_k} = f$ ， f 称为车轮的滚动阻力系数。得：

$$P_k = T + G_k f \quad (1-2)$$

由式 (1-2) 得知，轮缘引力 P_k 由两部分组成。首先需克服驱动车轮的滚动阻力 P_{fk} ($P_{fk} = G_k f$)；如有剩余，尚可从车轴向外提供一推动力 T ，称为自由牵动力，其值为：

$$T = P_k - P_{fk}$$

如路面土壤能承受较大的水平剪切力，而且又有足够的驱动力矩时，轮缘牵引力也增大。但是一般土壤承受水平剪切的能力是有限的。当水平力增加到一定程度时，路面便遭到破坏，或出现打滑现象，于是轮缘牵引力不再增加。此时路面使驱动轮能产生的最大轮缘牵引力称为附着力，以 P_ϕ (N) 表示。附着力的大小与路面的性质、车轮上的附着重量和轮胎的花纹与胎压力等因素有关，其值可由下式计算：

$$P_\phi = \varphi G_k \quad (1-3)$$

式中 φ ——路面的附着系数；

G_k ——驱动轮上的附着重量。

因此驱动车轮上以附着力为前提条件的最大自由牵动力为：

$$T_{\max} = P_\phi - P_{fk} = G_k (\varphi - f) \quad (1-4)$$

从动车轮上是没有驱动力矩的。因此必须从车架上对从动轮轴施加一个推力 F' ，使之克服从动轮上的滚动阻力 P_{fn} ($P_{fn} = G_n a / r_k = G_n f$ ，其中 G_n 为从动轮上的垂直负荷)，即 $P_{fn} = F'$ ， F' 是驱动轮自由牵动力的一部分。

当一台轮式牵引车在水平路面上等速行驶时，它的自由牵引力是牵引车用以进行作业的有效牵引力。当牵引车用来拖带车辆或机械时，有效牵引力作用在挂钩上，称为挂钩牵

引力。当牵引车改装为推土机用以推土时，有效牵引力作用在铲刀上，称为顶推力。有效牵引力 P_T 可由式 (1-5) 计算：

$$P_T = P_k - (P_{fk} + P_{fn}) = P_k - P_f \quad (1-5)$$

P_f 为车辆的滚动阻力，它可由式 (1-6) 计算：

$$P_f = (G_k + G_n) f = Gf \quad (1-6)$$

式中符号意义同前。

具有履带行走机构的车辆，它的全部重量 G 通过支重轮压在履带板上作为附着重量，履带的驱动链轮在驱动力矩作用下，通过链轮齿与履带销的啮合作用，不断将履带从后面卷起，从而使接地的履带给地面一个向后的作用力，因此相应的引起地面给履带一个反作用力，其方向是向前的，这就是推动履带车辆行驶的驱动力 P_k 。当驱动力足以克服履带车辆的滚动阻力和挂钩牵引力时，车辆便能前进。上述计算挂钩牵引力 P_T 的式 (1-5) 同样适用于此，履带式驱动装置的附着系数和滚动阻力系数分别为 φ' 与 f' 。

如果路面有足够的附着力，可根据内燃机的外特性曲线按式 (1-7) 和式 (1-8) 确定驱动轮上的轮缘牵引力 P_k 与车辆行驶速度 v 间的关系：

$$P_k = \frac{M_e i_k i_n}{r_k} \eta = 159 \frac{N_e i_k i_n}{n r_k} \eta \quad (1-7)$$

$$v = \frac{2\pi r_k n}{i_k i_n} \times 3.6 = 22.62 r_k \frac{n}{i_k i_n} \quad (1-8)$$

式中 P_k ——轮缘牵引力，N；

v ——车辆的行驶速度，km/h；

M_e ——内燃机的有效扭矩，N·m；

i_k ——变速器换入档位的传动比；

i_n ——传动系的固定传动化（包括主传动和最终传动）；

r_k ——轮胎的工作半径，m；

N_e ——内燃机的额定功率，kW；

n ——内燃机的转速，s⁻¹；

η ——传动系的传动效率。

如内燃机的额定功率已知，可由式 (1-9) 直接计算各挡速度下的轮缘牵引力：

$$P_k = \frac{3600 N_e \eta}{v} \quad (1-9)$$

式中符号意义同前。

第四节 施工机械内燃机

在现代施工机械上采用的动力装置主要是电动机和内燃机两大类。

电动机是将电能转换成机械能的电力发动机。在电力充裕的工地上，对固定式设备和移动范围小的施工机械，可考虑采用电力拖动的机械。这类机械的优点是传动系布置简单，操作和控制方便，效率高和比较经济。最常见的电力拖动的施工机械有：混凝土搅拌机、轨道式起重机、挖掘机、空气压缩机和电动工具等。

内燃机是将热能转换为机械能的热力发动机。在工地上各式各样的移动式机械几乎都是以内燃机作为发动机。这类机械由于不依靠外接能源，随时随地均可启动工作，故特别适用于开拓作用的施工机械，如拖拉机、铲土运输机械、中小型挖掘机和各种运输车辆等。本节主要介绍内燃机。

一、内燃机的类型

用于施工机械上的内燃机，在结构和工作原理上可区分为往复活塞式内燃机和燃气轮机两类。前者是通过活塞在气缸内往复运动而实现能量转换的，应用十分普遍；后者是由高速高温的燃气推动涡轮旋转运动来实现能量转换的，它是一种新型内燃机，功率达到736kW（1000 马力）以上，并在重型运输车辆上开始采用。本节主要介绍往复活塞式内燃机，着重讨论其中的柴油机。

往复活塞式内燃机可分类如下：

- (1) 按所用燃料，可分为汽油机、柴油机和煤气机等。
- (2) 按点燃混合气的方式，可分为点燃式和压燃式。
- (3) 按完成一个工作循环的冲（行）程数，可分为四冲程和二冲程。
- (4) 按进气方式，可分为自然吸气式和增压式。
- (5) 按冷却方式，可分为风冷式和水冷式。

此外，尚可按气缸数目、气缸排列方式和内燃机的用途等分类。

汽油机和柴油机在施工机械上都采用。汽油机的可燃混合气是在气缸外由汽化器混合好，然后吸入气缸内，通过电火花点燃混合气，所以又称为点燃式内燃机。柴油机所用可燃混合气是在气缸内混合的，将空气吸入气缸后，被活塞压缩使其增温增压，然后喷入雾状柴油与其混合，柴油是在高温下自行着火燃烧，所以又称为压燃式内燃机。这是汽油机和柴油机在工作原理上的区别。

施工机械中的拖拉机，铲土运输机械和中、重型载重汽车大多数是采用柴油机。这些机械的车速不是很高，但要求有更大的牵引力，这正符合柴油机的转速较慢和扭矩大的特点，而且在相当大的转速范围内，其扭矩值相差不多。柴油机另外一些优点是耗油率平均比汽油机低30%左右，柴油价格一般比汽油便宜，燃料经济性较好，使用费用低，维修工作量少，机械使用寿命较长，废气中一氧化碳含量较少，减少了对空气的污染。柴油机的缺点是其重量比汽油机大，对供油系统的制造精度要求高，价格也比汽油机贵。此外在使用上，冷天启动困难，而且机器的噪音大。

二、柴油机的工作原理

1. 四冲程柴油机

单缸四冲程柴油机的工作循环如图1-4（a）所示。第一为进气冲程，活塞从上止点向下止点移动，这时进气门打开，排气门关闭。由于活塞下移，气缸容积增大，缸内形成真空，将新鲜空气吸入气缸内。第二为压缩冲程，活塞由下止点向上止点移动，这时进、排气门均关闭，气缸容积不断减小，空气受压缩，其温度和压力升高，为柴油喷入、点火及燃烧创造条件。第三为做功冲程，压缩接近终了时，喷油嘴将柴油喷入气缸，细小的油雾与空气混合成可燃混合气，并在高温下自行燃烧，使温度和压力急剧上升，从而推动活塞从上向下移动，并推动曲轴旋转。第四为排气冲程，活塞由下向上移动，此时进气门关