

# 前摇摇言

20世纪 80年代以来,随着我国公路交通事业的大发展,我国工程机械行业发生了巨变。为了提高工程机械作业质量、作业效率和可靠性,提高单机和机群的作业能力,长安大学工程机械学院的前身——西安公路交通大学工程机械学科在我国著名工程机械专家孙祖望先生的领导下,将工程机械牵引动力学、动态性能和作业质量控制作为科学研究的一个主攻方向,多年来致力于工程机械关键技术的研究,取得了许多创新成果,为建立我国工程机械理论体系做出了重要贡献。我作为孙先生的学生,为了满足工程机械专业研究生教学、科研和产品开发的需要,总结了我们在孙先生领导下所做的部分工作及作者所做的工作,同时参考了国内外一些资料,编写了这本书。书中主要介绍了工程机械作业特点及性能要求、提高其作业质量和作业效率的强化方法、牵引动力学与动态性能、压实机械和拌和机械的作业理论与技术、沥青混凝土路面摊铺的平整度传递规律及其预测与控制技术等,以便读者更深入和更全面地了解工程机械的理论体系及其内涵,了解国内外工程机械的现状与发展趋势,对工作有所裨益。

需要说明的是,工程机械底盘理论、液压传动理论及控制技术是工程机械理论的重要组成部分,这部分内容已编在《工程机械底盘及其液压传动理论》一书中。

工程机械理论的研究,以建立单机多变量系统的数学模型及控制理论,以及机群动态作业的数学模型和控制理论为目标,涉及机电液信综合技术、建筑材料、施工工艺与管理等学科,属于应用基础研究,这一研究正在进一步深入。因此,书中的错误和不足之处在所难免,敬请读者赐教,使这本书名符其实。

本书的出版是孙祖望先生领导我校两代人努力的结果,书中第三章的主要内容和第六章为孙先生的论著,人民交通出版社的编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动。在此我向为本书出版付出辛勤劳动的所有人员表示衷心的感谢。

作者

2000年 猿月 员日

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第一章 工程机械的作业特点                    | 1  |
| 第一节 工程机械的分类及应用                   | 1  |
| 第二节 工程机械的作业特点和性能要求               | 2  |
| 第二章 工程机械作业过程的强化                  | 3  |
| 第一节 振动技术的应用                      | 3  |
| 第二节 路面的真空压实技术                    | 4  |
| 第三节 仿生技术                         | 4  |
| 第四节 气体润滑                         | 5  |
| 第五节 材料改性                         | 5  |
| 第三章 牵引动力学与动态性能                   | 6  |
| 第一节 动态牵引性能的概念                    | 6  |
| 第二节 动态牵引试验方法                     | 6  |
| 第三节 发动机动态性能的试验研究                 | 7  |
| 第四节 推土机动态性能测试的非平稳随机数据模型和<br>处理方法 | 7  |
| 第五节 推土机动态性能的评价方法                 | 8  |
| 第四章 搅拌理论及其设备                     | 9  |
| 第一节 搅拌设备的类型                      | 9  |
| 第二节 搅拌过程的模拟                      | 9  |
| 第三节 搅拌的新概念                       | 9  |
| 第四节 搅拌设备性能评定的指标体系                | 9  |
| 第五节 振动搅拌的试验研究                    | 9  |
| 第六节 沥青混合料再生拌和设备                  | 10 |
| 第七节 智能化搅拌设备                      | 10 |
| 第五章 压实理论及其设备                     | 11 |
| 第一节 压实机械的类型和压实原理                 | 11 |
| 第二节 压实过程的数学模型                    | 11 |
| 第三节 自移式振动压实机的研究                  | 11 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 摇第四节摇混沌振动压路机·····              | 圆四九 |
| 摇第五节摇滚动冲击压实技术·····             | 圆五〇 |
| 摇第六节摇多频振动压实技术·····             | 圆五二 |
| 摇第七节摇橡胶履带压路机·····              | 圆五三 |
| 第六章摇沥青路面摊铺的平整度传递规律及其预测与控制····· | 圆五五 |
| 摇第一节摇影响沥青路面平整度的基本因素·····       | 圆五五 |
| 摇第二节摇沥青路面平整度的传递机理·····         | 圆五七 |
| 摇第三节摇平整度传递规律的试验研究·····         | 圆五九 |
| 摇第四节摇平整度传递的概率统计规律·····         | 圆六〇 |
| 摇第五节摇平整度的预测和控制·····            | 圆六二 |

# 第一章 工程机械的作业特点

## 第一节 工程机械的分类及应用

我国的工程机械工业,在国内已经发展成了机械工业最大行业之一,在世界上也进入了工程机械生产大国行列。

何谓工程机械?概括地说:凡土方工程、石方工程、流动起重装卸工程、人货升降输送工程和各种建筑工程,综合机械化施工以及同上述工程相关的工业生产过程机械化作业所必需的机械设备,称为工程机械<sup>[1]</sup>。

土方工程种类繁多,分布广泛,但按工程特点分析却只有两种基本形式——挖方和填方。所谓挖方,是指在建设地点将多余土方挖掉,或者在某地挖取土方用作它用而言;所谓填方,是指在建设地点进行建设时,要从别处运来土方将地面构筑得适合建设要求而言。例如,露天矿山建设过程的大量土方工程多为挖方形式。筑路工程(铁路与公路)的土方工程,凡在高于路基设计高程要求的地方施工,多为挖方形式;凡在低于路面设计高程要求之处施工,则多为填方形式。

石方工程分布也很广泛,而且往往与土方工程相伴交叉出现,即土方工程中 含有石方工程,石方工程中 含有土方工程(如建筑场地平整工程、路基建设工程等);也有单纯的石方工程,如隧道工程、建筑石料开采工程、井下矿山巷道掘进工程、井下采矿工程、露天金属矿采矿工程等。石方工程施工工艺比较复杂。首先是破碎岩石,一般有三种方法:一是钻爆法,二是机械切削法,三是钻孔静态破碎法。

钻爆法含以下工序:穿孔、装药与爆破、排渣(无用石料)或取料(有用矿石或石料)、运输(往弃料场或石料加工厂、选矿场等地点),如图 1-1 所示。

在石方工程中,广泛采用钻爆法施工,其他两种方法很少用。其中机械

切削法的破岩工序主要采用联合掘进机、岩石切削机、液压冲击器等设备；钻孔静态破碎法的破岩原理为：钻孔后注入静态破碎剂，靠其产生的膨胀力、蒸气破碎力、放电破碎力等相应能量破碎岩石。

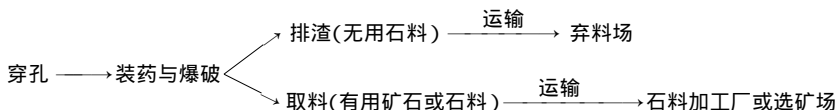


图 1 摇钻爆破破碎岩石工序图

流动起重装卸工程，包括建筑、安装工程中的起重、调整工程，港口、车站以及各种企业生产过程中的起重装卸工程等。所用的各种工程起重机、建筑起重机以及各种叉车和其他搬运机械，能够根据工程要求而自由地移动，不受作业地点限制，故亦称流动起重装卸机械。人货升降输送工程（垂直或倾斜升降），包括在高层建筑物对人的升降运送和对货物的升降运输，采用载人电梯、扶梯和载货电梯等。

各种建筑工程范围更为广泛，除房屋建设和市政建设外，还包括公路、铁路、机场、水坝、隧道、地下港口、地下管线、新城建设和旧城改造等各种基础设施工程，需要各种工程机械进行施工。

综合机械化施工，是指工程工序均用相应成套的工程机械去完成而言，人力在工程中只起辅助作用和组织管理作用。综合机械化水平越高，则使用的人力就越少。

相关的工业生产过程，是指与土方工程、石方工程、流动起重装卸工程、人货升降运送工程和各种建筑工程有关的工业生产过程而言。如储煤场的装卸工程、工业企业内部生产过程的装卸与运输、各种电梯的工作等等。

20世纪 50年代以前，我国建设工程机械化施工用的设备又少又落后，因而使用部门机械化施工水平很低。在计划经济条件下，当时机械制造部门只安排少数矿山机械制造厂和起重运输机械制造厂兼产一小部分技术性能一般化的工程机械产品。随着各种建设施工技术的发展，机械制造部门生产的工程机械产品满足不了用户需求，有关使用部门被迫利用修理厂生产部分简易的施工机具和设备自用，并根据各自不同的使用特点确定了不同的名字。那时，建筑工程系统把自己所需要的一部分工程机械称为建筑工程机械（简称建筑机械或建设机械），交通系统需要的一部分工程机械称为筑路工程机械（简称筑路机械），铁道系统需要的一部分工程机械称为线路工程机械（简称线路机械，其中包括一部分线路专用设备），水电系统需

要的一部分工程机械称为水利工程机械(简称水工机械),在各种矿山现场使用的工程机械一般称之为矿山工程机械。尽管各部门所需的产品重点不同,但都是为土方工程、石方工程、不受地点限制的起重装卸工程、人货升降输送工程以及各种建筑工程机械化施工和相应生产过程的作业服务的,在国际上均属于同一大类机械产品。1954年冬,国务院和中央军委联合决定:第一机械工业部负责组织并加速发展为军委工程兵、铁道兵和民用部门工程施工用的机械设备;发展方针是:以军为主,兼顾民用。当时国家计委、国家经委、国家科委会同一机部研究发展方案时,首先要给这一类设备统一命名。经过讨论,决定把各部门命名中的专用形容词去掉,统称之为“工程机械”,报告呈贺龙、薄一波两位副总理批准后,“工程机械”这个行业名字就在中国正式诞生了。

改革开放后,我国工程机械行业已为世界各国所认定,经过国际合作交往,已明确了与有关国家相应的行业名字。其中美国和英国称做“建筑与矿山机械”,日本称做“建设机械”,德国称做“建筑机械与装置”,前苏联与东欧诸国统称为“建筑与筑路机械”。虽然各国对该行业确定的产品范围互有差异,但其主要服务领域、产品分类、生产工艺技术、科研设计理论、试验方案以及采用的各种标准等,基本上是一致的。

综上所述,我国的工程机械是各使用部门施工和作业所用机械的总称,包括建筑机械、铁路与公路工程机械、矿山机械、水电工程机械、林业机械、港口机械、起重运输机械等。更详细的说,工程机械包括以下15类:(1)挖掘机械(单斗挖掘机、挖掘装载机、斗轮挖掘机、掘进机械等);(2)铲土运输机械(推土机、装载机、铲运机、平地机、自卸车等);(3)工程起重机械(塔式起重机、轮式起重机、履带式起重机、卷扬机、施工升降机、高空作业机械等);(4)工业车辆(叉车、堆垛机、牵引车等);(5)压实机械(压路机、夯实机械等);(6)路面机械(摊铺机、拌和设备、路面养护机械等);(7)桩工机械(打桩机、压桩机、钻孔机等);(8)混凝土机械(混凝土搅拌机,搅拌楼,振动器,混凝土泵,混凝土泵车,混凝土制品机械等);(9)钢筋和预应力机械(钢筋加工机械、预应力机械、钢筋焊机等);(10)装修机械(涂料喷刷机械、地面修整机械、擦窗机等);(11)凿岩机械(凿岩机、破碎机、钻机(车)等);(12)气动工具(回转式及冲击式气动工具、气动马达等);(13)铁道线路机械(道床作业机械、轨排轨枕机械等);(14)市政工程与环卫机械(市政机械、环卫机械、垃圾处理设备、园林机械等);(15)军用工程机械(路桥机械、军用工程车辆、挖壕机等);(16)电梯与扶梯(电梯、扶梯、自动人行道等);(17)工



程机械专用零部件(液压件、传动件、驾驶室设备等)(55)其他专用工程机械(电站专用、水利专用工程机械等)。此外,工程机械与农用机械也有许多共同之处,例如履带式和轮式车辆的行驶理论等,同时,拖拉机常常是拖式机械的牵引车辆。

工程机械的用途分施工和作业。这是两个不同的概念。所谓施工,是指工程机械在各种建设工程中的工作而言,一旦工程完成了,工程机械也就撤走了。如修筑高速公路要使用相应的工程机械,当高速公路建成后,除去少数对公路进行维护保养的工程机械产品之外,建设过程中所用的工程机械都见不到了。工程机械在这种情况下的工作,称为施工。所谓作业,是指工程机械在工业生产过程中的工作而言。如金属露天矿掌子面要使用挖掘机、推土机等工程机械产品,爆破后挖掘机将矿石装到运输车上,推土机将散落的矿石收集到装车地点。挖掘机和推土机周而复始地重复进行工作,这就是作业。

工程机械产品的分类,是根据产品结构特点、工作对象和主要用途三重标准划分的,分类、组、系列、基型、规格等五个层次。现有产品按行业规划组编辑的《工程机械类组划分(初稿)》的规定,共分 55 类、55 组、55 个系列、55 多个基型产品、近万种产品规格。

纵观我国工程机械行业的发展历史,大致可划分为三个阶段:第一阶段为创业时期(1952年至1979年);第二阶段为行业形成时期(1980年至1989年);第三阶段为全面发展时期(1990年至现在)。截止 1999 年,全行业生产企业近 5000 个,年销售额达 2000 亿元,同比增长 15%,行业总利润突破 200 亿元,出口额达 20 亿美元。

工程机械用途广泛,市场遍布于国民经济各部门,其中主要有交通运输(铁路建设、公路建设、水运建设、民航建设、管道建设)、能源(电力建设、煤炭发展、石油发展)、原材料(黑色金属发展、有色金属发展、化工原料和建筑材料发展)、农林水利(农村经济发展、林业发展、水利事业)、城乡发展以及现代化国防六大领域。工程机械是保证各种工程建设高速度、高质量、低成本的重要手段。世界经济发展经验证明:现代化建设速度,在很大程度上取决于工程建设速度,而工程机械水平的高低,又直接对工程建设速度发挥着促进或抑制的作用。因此,世界工业发达国家都把工程机械作为重点行业发展。

筑路机械可以保证路面铺筑、道路修理和养护过程的全工艺工序的机械化和自动化<sup>[6]</sup>。公路建设的主要施工作业包括路基的准备,必要的建筑材料的开采、制配和运输,桥涵建筑物、路面、通道和其他设施的建设等。道

路建设机械化和自动化要用多种机械系统,包括由施工过程决定的五种主要机组:

- (员)路基施工用机械;
- (圆)路面铺筑机械;
- (猿)桥涵和边坡施工机械;
- (源)道路建筑材料开采和加工设备;
- (缘)运输设备。

上述五种主要机组,若按机械的类型划分又可分为:土石方机械、压实机械、路面机械、桥梁机械和隧道机械等五大类。

道路维修和养护的机械化和自动化也要用多种机械系统,主要包括五种机组:

- (员)全天候养护机组;
- (圆)道路清障和划线机械;
- (猿)绿化植树和道路设施维修用机械;
- (源)路基、建筑物、桥涵、排水沟和路面定期维修用机械;
- (缘)路面和建筑物拆除和翻修用机械。

## 第二节 工程机械的作业特点和性能要求

工程机械种类繁多,大多在野外作业,其作业特点和对机械的性能的要求有以下特殊之处:

(员)工程质量是百年大计,对机械作业质量的要求越来越高,机电液一体化技术得到了广泛的应用。如,路面的平整度、承载能力和寿命,对路面机械的各项性能都提出了较严格的要求。作业质量控制的对策主要有两条:一方面应加紧新型工作原理机器的研究,另一方面就是采用机电液一体化技术来提高机器的性能。

(圆)工程机械工况复杂,作业对象多变,常常在变载荷情况下工作,对机器的可靠性和适应能力有较高的要求。

例如铲土运输机械,铲土、运土、卸土、回程。铲土中可能遇到石块、树根等障碍,土壤的湿度、坚硬程度、成分随作业地段和区域不同也总在变化,机器总处于变载荷、甚至超载荷的工作状态。要保证机器连续可靠的工作,除对机器作业实行有效的控制外,对机器的设计和使用都提出了新的要求。

显然,傻、大、粗、笨不是解决问题的根本办法。机器性能要满足使用要  
缘

求,必须进行机器动态性能的研究,知道机器的实际使用性能,而不仅仅是台架上测得的静态性能。这是机器牵引动力学和可靠性设计的依据。

机器牵引动力学就是要弄清机器工作过程中的牵引性能,各参数的合理匹配程度,行驶能力。工程机械动态性能与车辆地面力学是牵引动力学研究的主要内容。由测试机器动态性能所获得的数据可知道外界载荷和作用在机器零、部件上载荷的变化。由于机器作业对象的状态和环境条件呈随机性变化,因此载荷也往往是随机变化的。应用概率统计的方法得到的载荷谱,是机器可靠性设计的真实依据。

(狗)机器工作装置与作业对象的相互作用过程和机理的研究,是设计机器和改善其性能的关键。机器的作业实际是靠工作装置来改变作业对象,这涉及机械工程和土木工程两大学科。只有将机械和土木工程的知识紧密结合起来,才可能找到创新的突破口。

(源)机器的性能应与施工工艺相适应。采取先进的施工工艺,改进传统的施工方法,不仅能保证施工质量,而且会带来巨大的经济和社会效益。在机器设计和使用时,除应注意满足施工的各项要求外,还应注重施工工艺的变更与进步。

## 一、液压传动

众所周知,机器一般由五大部分组成:原动机部分、传动、执行部分、控制系统、辅助系统(例如润滑、显示、照明等),如图 5-1 所示。

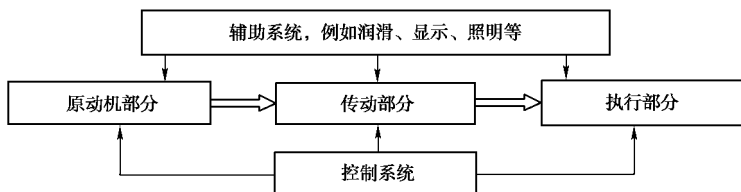


图 5-1 机器的组成

现代工程机械越来越广泛地使用液压传动,这是因为液压传动有诸多优点<sup>[4]</sup>。

(员)在同等功率下,液压装置的体积小,质量轻,结构紧凑。例如液压马达的体积和质量只是同等功率电动机的 1/3 左右。

(圆)液压装置工作比较平稳。由于质量轻,惯性小,反应快,液压装置易于实现快速启动、制动和频繁的换向。液压装置的换向频率在实现往复回转运动时可达 50 次/分,实现往复直线运动时可达 100 次/分。

远

(狗) 液压装置能在较大范围内实现无级调速, 它还可以在运行的过程中进行调速。

(源) 液压传动易于实现自动化。这是因为它对液体压力、流量或流动方向易于进行调节或控制的缘故。当将液压控制和电气控制、电子控制或气动控制结合起来使用时, 整个传动装置能实现很复杂的顺序动作, 接受远程控制。近年来液压传动和微电子技术密切结合, 得以在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以精确控制。

(缘) 液压装置易于实现过载保护。液压缸和液压马达能长期在失速状态下工作而不会过载, 这是电气传动装置和机械传动装置无法办到的。液压件能自行润滑, 使用寿命较长。

(远) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化, 液压系统的设计、制造和使用都比较方便。液压元件的排列布置也具有较大的机动性。

(苑) 液压传动实现直线运动远比机械传动简单。但是, 液压传动不能保证严格的传动比, 能量损失较大, 对油温变化较敏感, 制造精度要求高, 成本较高等。表 1-1 列出了液压传动在各类机械制造业中的应用实例。

液压传动的应用实例

表 1-1

| 行业名称   | 应用机械举例                           |
|--------|----------------------------------|
| 铲土运输机械 | 挖掘机, 装载机, 推土机, 铲运机, 平地机, 松土器等    |
| 路面机械   | 压路机, 摊铺机, 稳定土拌和机等                |
| 起重运输机械 | 汽车吊, 港口龙门吊, 叉车, 装卸机械, 皮带运输机等     |
| 矿山机械   | 凿岩机, 开掘机, 开采机, 破碎机, 提升机, 液压支架等   |
| 建筑机械   | 打桩机, 液压千斤顶, 搅拌机 etc              |
| 农业机械   | 联合收割机, 拖拉机, 农机悬挂系统等              |
| 冶金机械   | 电炉炉顶及电机升降机构, 轧钢机, 压力机等           |
| 轻工机械   | 打包机, 注塑机, 校直机, 橡胶硫化机, 造纸机等       |
| 汽车工业   | 自卸式汽车, 平板车, 高空作业车, 汽车中的转向器、减振器等  |
| 智能机械   | 折臂式小汽车装卸器, 数字式体育锻练机, 模拟驾驶舱, 机器人等 |
| 制造机械   | 各种机床上                            |

工程机械的工作机构速度低, 需要输出的力矩或力却很大, 行走机构又有不同的速度要求。工程机械多变的作业负荷和介质, 恶劣的作业环境和严格的作业质量要求, 不仅要求发动机、传动系统及工作装置可靠性要好, 而且适应性要强, 便于自动控制。因此, 区别于其他机械, 现代工程机械是



机、电、液、信一体化产品,国外绝大多数以上的工程机械采用了液压传动。

液压传动已全部或部分地代替了传统的机械传动,或与机械传动相结合形成了混合传动,仍保留了机械传动寿命长、可靠性高、成本较低的优点。液压传动的普及,便于应用机电液一体化技术来改善机器的作业性能和实现智能化,显著地提高机器的作业效率和作业质量。

## 二、机电一体化技术

一般来说,机电一体化产品有六大共性关键技术<sup>[1]</sup>:

(1)精密机械技术——机电一体化技术的基础;

(2)伺服传动技术——机电一体化系统的核心部分;

(3)传感检测技术——闭环系统的关键部件;

(4)信号处理技术——控制的基础技术;

(5)自动控制技术——计算机控制的关键技术;

(6)系统总体技术——包括系统的总体设计和接口技术,即用跨学科思维能力来进行综合集成。

机电一体化产品的核心是计算机控制的伺服系统,其他都是与此匹配的重要部分。机电一体化产品具有很强的信息加工处理能力,能实现精确的自动控制。

机电一体化技术是通过信息技术将机械技术与电子技术融为一体。按机电一体化系统的功能要求,其结构组成基本上分为五大部分:动力源、计算机、检测器(传感器)、执行器和机械装置。这里计算机是广义的,包括微处理器、微机系统、可编程控制器、专用控制器、专用控制芯片等。这五部分构成机电一体化系统的内部系统,其关系如图1-1所示。如果考虑到外部系统,则还包括人机信息交换的接口设备及外部环境的干扰。

从功能上说,一个机电一体化系统输入物质、能源、信息,对它们进行若干加工后再输出要求的物质、能源、信息。其中信息处理和系统控制都依赖于计算机,而传统的机械技术主要是在以物质和能源为对象的系统中发挥作用。实质上,图1-1和图1-2所示的机器的组成是统一的,只是阐明问题的侧重点不同而已。

还应注意,从结构上看,除了上述模块结构外,机电一体化系统各组成部分也在复合一体化。如复合的多功能传感器、执行器和检测器装成一体的带编码器的伺服电机。

由于液压与液力传动在工程机械中的广泛应用,为突出这一特点,常将

愿 此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

工程机械的机电一体化称之为机电液一体化技术。它主要有两个方面的内容：一是以简化驾驶操作，提高车辆的动力性、经济性和作业效率，节省能源为目的的技术，如自动换挡系统、挖掘机多动作复合功能系统等；二是以提高作业质量为目的的控制技术，如摊铺机、平地机自动找平和恒速控制系统，振动压路机“软”起振与停振系统，振动块旋转方向与行驶方向一致的控制系统等。电液控制技术兼备了电子和液压技术的优势，为各种工程机械提供了一种自动控制的新手段。反过来，机电液一体化技术的发展，不仅

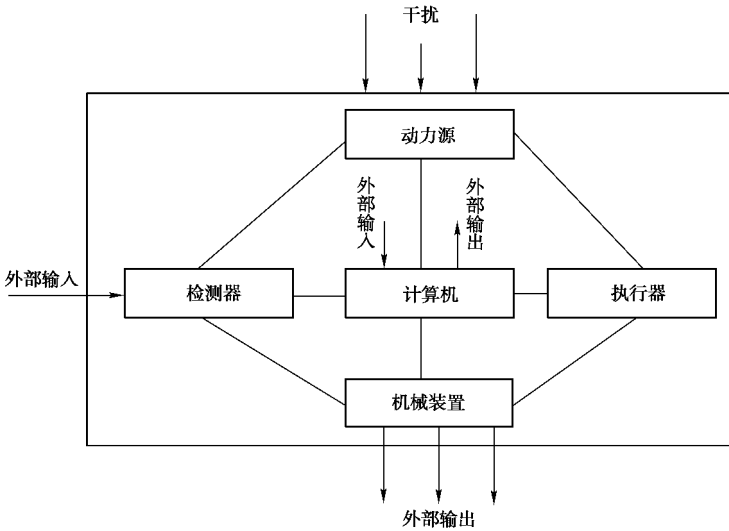


图 1-1-1 工程机械机电一体化系统

使传统的机械装置，而且使液压系统和元件都发生了实质性变化<sup>[1]</sup>。

工程机械的机电液一体化技术主要用在整机性能监控、转向、行驶驱动和工作装置上，如图 1-1-2 所示。

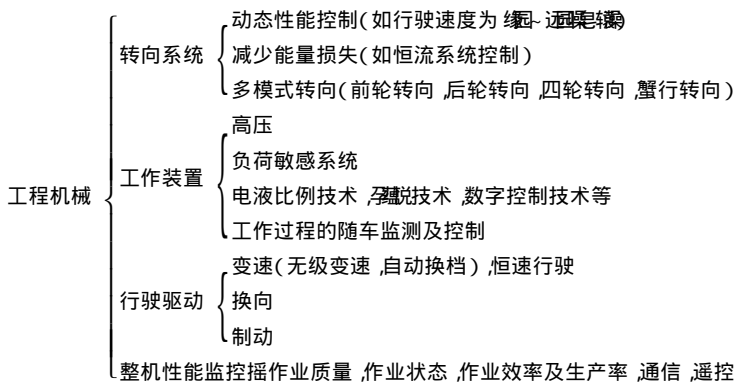


图 1 电液一体化技术在工程机械上的应用

机电液一体化技术是随着微电子技术的发展而形成的一门综合性很强的高新技术,涉及到机械学、微电子学、控制工程、计算机技术等多方面的内容。机、电、液的有机结合,使工程机械作业的精确度和自动化程度显著提高,并产生许多过去无法实现的新功能,如自适应和优化控制,实时检测和故障诊断、遥控等,是机械智能化的基础。

### 三、机群智能化工程机械<sup>[1]</sup>

#### 问题的提出

20世纪80年代以来,随着我国改革开放,基本建设发展很快。为了满足基本建设的规模和技术水平的要求,我国在引进和吸收国外先进技术的基础上,已迅速发展成为工程机械的生产大国,1994年产值达60亿元,居世界前列。但是,我们还必须清醒地看到,由于国内大多数企业主要还是依赖国外技术,拥有自主知识产权的精品不多,我国仍不是工程机械生产强国。怎样实现从生产大国向生产强国的跨越,加强技术创新是首要任务。加强技术创新的突破口是什么?我们再不能模仿别人,而应该根据工程机械的发展趋势,把机群智能化工程机械提到议事日程,用信息技术提升工程机械的整体水平,发挥后发优势,努力实现技术的跨越式发展。

#### 机群智能化工程机械的意义

机群智能化工程机械是指为完成高速公路等建设项目,以实现最优工作效率和最佳的工作质量为目的的同步施工的智能工程机械的组合。通过对选配的智能化单机的状态、位置、性能、工作质量和施工进度的在线检测,由机群主控站根据施工要求完成机群施工的优化调度和动态管理,完成施

工管理部门、机器制造商、施工材料供应商间的有机联系与合作,发挥机群的整体优势和内在潜力,实现施工质量好、资源利用充分、效率高、成本低的目标。机群智能化将传统管理理念和信息技术应用在工程施工系统,它综合了工程施工和管理、作业状态的在线监测和故障诊断、自动控制、网络通信、动态优化调度等技术,既体现了智能化工程机械单机技术的发展方向,又是施工与管理技术的创新。

机群智能化工程机械是市场需求和市场竞争的结果。随着工程建设对施工质量、综合经济效益、资源利用和环境保护的需求日益严格,产品间的竞争不仅要求品质优越,而且要求零距离的快捷服务。利用信息技术实现工程机械生产、管理与售后服务的多方位和远程信息交流势在必行。

机群智能化工程机械是技术发展的一次大跨越。只有利用信息技术提升我国工程机械的技术水平,才能跳出低水平、低价格恶性竞争的怪圈,提高我国工程机械的国际竞争力。机群智能化工程机械把工程机械、施工工艺及施工管理作为一个系统,用系统综合效益及施工质量最佳来确定单机的发展及其匹配,对相关单机的智能化提出了更高的要求,促进了单机产品的更新换代。

机群智能化工程机械必将带动工程机械行业的发展。机群智能化是信息化带动工业化战略在工程机械领域的具体实践,必将形成一些有我国自主知识产权的核心技术和一批行业技术标准,促使产品功能的完善和性能全面提升,带动整个工程机械行业的技术进步。

机群智能化工程机械是对传统的机器设计和使用理念的更新。机群概念改变了制造和使用企业多年来追求单机高性能的传统思想,而代之以系统集成思想,这对机器的设计和使用都提出了新的要求,提出了一种全新的工程机械设计和施工理念。这种新理念必将促进我国工程机械行业的发展。

机群智能化工程机械是施工技术发展的必然需求,必将推动施工与管理技术的变革和进步。长期以来,在许多工程建设中,从设备选型与配套、作业质量及进度的控制、施工过程及机器使用的管理等都处于一种相对松散的原始状态,造成了工程建设中不同程度的浪费,甚至滋生了造假现象,出现了某些“豆腐渣”工程。机群智能化工程机械由机群主控站根据施工任务完成机群动态组织、施工动态优化调度和集团管理,既发挥了机群整体优势,又发挥了单机的潜力。同时,通过对机群施工过程的监控,自动完成信息的多方传递及其施工过程的管理,人为监管转换为辅助手段,实现了施



工过程管理的规范化和科学化,实现了人、机、器、环境的和谐与统一,可同时满足工程建设中施工质量、综合经济效益、资源节省与环境保护等多项要求。

机群智能化将产生巨大的经济效益和显著的社会效益。机群智能化技术将首先在国家高速公路建设重点项目中试用,预计施工综合效益可进一步提高,施工设备维护成本会较大幅度的下降,施工质量可达到世界先进水平。获得成功后要推广应用到其他工程领域,使我国工程机械行业真正步入依靠技术创新的发展之路。

#### 机群智能化的关键技术

机群智能化的基础是相应单机的智能化。智能工程机械是从机械、施工与管理的系统观点来开发的机、电、液、信一体化产品,是从产品的功能、使用环境与人相和谐的系统观点来开发的生态化产品。区别于其他机械,工程机械的机电一体化是机电液信一体化。工程机械的工作机构速度低,需要输出的力或力矩很大,空载行驶时速度却相对较高,需要频繁的变速换向,采用液压传动是较合适的方案。液压传动的另一个显著特点是适于自动控制。因此,国外绝大多数以上的工程机械采用液压传动。工程机械作业环境恶劣,作业对象和负荷多变,且负荷变化剧烈,严格的作业质量和恶劣的作业条件要求机器不仅可靠性要好,而且适应性要强。适应性指在不同工况、不同作业对象、不同负荷、不同环境时机器都能满足最优输出的要求。这只有机电液一体化的智能工程机械才能胜任。例如,即使是同一被压实介质,初始状态和物理性质也不相同,这些性质和状态在压实过程中又是不断变化的,且被压实介质有多种类型,只有对压实工作装置和土壤系统的状态及参数准确地辨识,自动变换工作装置的输出振幅、频率和激振力的大小,才能保证压实质量和压实效率都较好,近几年国外已开发了这样的智能压路机。智能工程机械是计算机控制的以伺服系统为核心的电控装置与发动机、传动系统、行走系统和工作装置的完美匹配与结合。因此,描述机器各总成工作状态的多变量的数学模型是实现智能化的关键。只有继续开展机器各总成参数合理匹配及整机动态性能的试验研究,开展机器工作装置与作业介质相互作用过程的试验研究,才有可能建立机器多变量控制的数学模型,这也是研制有自主知识产权的微控制器及电控系统的必要条件。因此,描述单机工作状态的多变量的数学模型及其相应的控制系统是实现机群智能化的关键技术。

相关智能工程机械组成机群后,构成了一个链式系统,又与外围各环节

(包括人、环境等)相互制约。比如,如何发挥机群的整体优势及单机的潜力,如何实现人、机、群、环境的和谐统一,如何适应各种不同的施工条件,保证施工质量和效率都满足要求,等等。机群必须有一个信息网络系统的平台,要具有能对工作状态在线检测、综合分析、优化调度和实时控制的能力。因此,机群工作过程的数学模型及智能控制是实现机群智能化工程机械的又一个关键技术。

实施工程机械智能化的技术发展战略,是实现我国工程机械跨越式发展的必由之路。工程机械作为人类改造自然的工具,作业环境恶劣,作业对象和负荷多变,机群智能化的研究必须注意这一作业特点及其相应的性能要求。工程机械的智能化,希望机器能像人一样对不同的环境和作业过程有较强的适应能力,这是机群智能化的主要标志。因此,实现工程机械的智能化,用信息化改造传统的工程机械就有两个主要任务:一是要完善机器的机电液信一体化的硬件系统,二是要开发配套的电控系统及其相应的管理软件。显然,主要工作量应是后者,它包含了上述的两个关键技术:建立符合实际的单机工作状态的多变量的数学模型及其相应的控制系统,以及建立符合实际的机群工作过程的数学模型及其智能控制系统。这只有对机器不同工作过程进行大量的试验研究,获得足够的第一手资料和数据,经过统计分析和处理后才会得到可靠的依据。例如,美国爱默生公司用了近 10 年时间,积累了数十万个数据,才成功开发了智能压路机的计算机管理软件。这一艰辛的试验研究工作,是实现机群智能化工程机械的基础。

#### 四、载荷谱及其应用<sup>[1]</sup>

目前,在工程机械零部件强度计算中,选取计算载荷的方法一般是以恒定值乘以动载系数。如在传动系计算中,这一恒定值一般是按发动机额定转矩和地面附着极限二者中的较小值而确定的。由于它不能反映机器的真实载荷,因此,这种强度计算只是粗略的,仅具有对比计算的意义。

一般地说,工程机械载荷,如转矩、弯矩、力、加速度等不是确定的和有规律的,即在一定条件下(如某一时刻),载荷发生的结果不是惟一的,而有多种可能发生的结果,为一随机过程,必须采用概率统计方法来分析随机载荷。

随机变化着的载荷,有其统计特性,表示这种特性的图形、表格、数字、矩阵等统称载荷谱。常见的形式有:表示各种不同大小载荷出现次数的载荷频次图(图 1-1);表示不同频率下载荷能量分布的功率谱密度图(图 1-2)。

远) 载荷频率直方图(图 员圆)等。它们都从不同角度表示载荷的统计变化规律,说明了载荷最基本的特性。

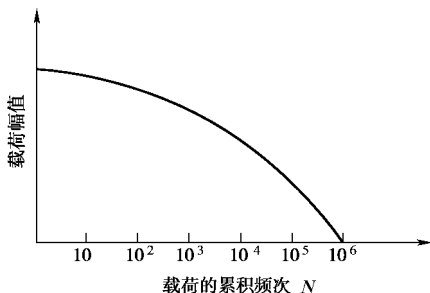


图 员圆 载荷频次图

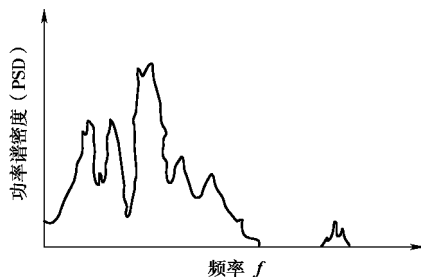


图 员圆 功率谱密度图

载荷的统计分析方法分为两大类:

(员)计数法。计数法是统计各种不同大小载荷出现的频次,一般得到载荷频次图,可供程序疲劳试验加载用。这种方法没有表示载荷的频率及发生的次序,因此不够精确和严密。其中又有多种,如峰值法、振幅法及雨流法等。

(圆)功率谱法。功率谱法是算出载荷的功率谱密度函数,可作为随机频谱试验加载的参数谱,是一种较精确和严密的方法。

图 员圆为载荷谱制取和应用简图,通过它可以了解载荷幅值分布及频率结构,有助于阐明零部件损坏原因及防止措施,也可作为模拟试验加载的依据。同时,丰富的幅频信息也可用于评价产品性能、故障诊断等。这是随机振动信号处理与分析技术要深入探讨的内容。比如,根据功率谱密度图(图 员圆)来评价座位的舒适性。由于人的胸腹系统在猿~ 远Hz范围内出现明显的谐振效应,使人疲劳、头晕、难受。因此座位圆D的舒适性比座位员D的好。