



普通高等教育机械工程专业规划教材

工程机械 典型控制系统

王欣 高子渝 张军 编著
焦生杰 主审

TYPICAL CONTROL SYSTEMS
FOR CONSTRUCTION
MACHINERY



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育机械工程专业规划教材

Typical Control Systems for Construction Machinery 工程机械典型控制系统

王 欣 高子渝 张 军 编著
焦生杰 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材内容主要涉及现代典型筑路机械、土方机械及养护机械的前沿控制技术,着重从控制系统功能结构、元器件及关键技术等方面介绍了现代工程机械典型控制系统的特征及设计方法。

本教材可作为机械类本科生及硕士研究生教材,也可有关设计人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械典型控制系统/王欣,高子渝,张军编著.

—北京:人民交通出版社,2014.6

普通高等教育机械工程专业规划教材

ISBN 978-7-114-11284-3

I. ①工… II. ①王… ②高… ③张… III. ①工程机械—控制系统—检修—高等学校—教材 IV. ①TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 054135 号

普通高等教育机械工程专业规划教材

书 名:工程机械典型控制系统

著 作 者:王 欣 高子渝 张 军

责任编辑:周 宇 郑蕉林

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14.5

字 数:370 千

版 次:2014 年 6 月 第 1 版

印 次:2014 年 6 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11284-3

定 价:32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

当今世界工程机械领域科学技术日新月异,信息化、自动化、智能化和产品竞争全球化势不可挡。信息技术向其领域加速渗透并向纵深应用发展,各类技术间相互交叉融合得更加频繁,将引发以智能、融合为特征的新一轮工程机械技术系统变革、学科突破和产业革命,推动工程机械向绿色、智能、超常、融合和服务方向发展。

中国已跨入世界工程机械大国行列,同时这一行业也进入了深度调整、转向升级和格局重构的关键时刻,信息化技术是新一轮技术创新的一个重要引擎,而控制技术则是信息化的一个重要组成部分。

工程机械控制系统诞生的时间不长,但发展非常迅猛,大量先进的控制技术融入了产品设计,革新了传统设计的理念,需要更多自动控制领域的人才、技术、知识和创新性研究成果去支撑,也正是在这种需求促使下,《工程机械典型控制系统》一书应运而生。

本教材的主要内容于2008年开始作为专业选修课面向本科学生开设,教材的编写被列为校质量工程建设项目。本书第一作者在机械电子工程专业从事教学科研十多年,曾分别在国内著名的重工企业三一集团、美的集团和国机重工集团从事工程机械专业博士后研究工作。在目前工程机械控制理论尚不完善、大量新的课题有待研究的情况下,几位青年教师发挥专业特长,在学术上孜孜不倦,笔耕不辍,以控制论为指导,探索研究了工程机械控制系统的理论要素、设计方法、实现技术和试验方法,并终辑成书。

本教材的一个重要特征是针对典型工程机械的关键性能指标,结合机器的结构形式、负载特征及动力学特性,将传统控制理论与具体被控对象相结合,提出系统的控制方法和实现技术,所有的案例均经过实践检验,既不是对控制理论方法的泛泛而论,也不是简单的应用汇编,而是理论与实践二者的有机结合;另一特征是在对工程机械动力学参数与运动学参数静态匹配理论继承的基础上,提出了“功率自适应开环与闭环控制方法”及“动态匹配控制”等概念和实现方法,尽管尚未达到建立理论体系的程度,但这些有益的研究与实践对传统参数匹配理论的拓展起到了抛砖引玉的作用。

本教材系统介绍了控制理论和方法在工程机械上的典型应用,内容新颖且具有实用性,使读者能够更全面地了解这一领域所涉及的科学技术问题和工程应用问题。相信本教材的出版对于从事工程机械产品研发和对控制技术感兴趣的广大读者有所裨益。

焦生杰

2014年1月

前 言

现代科学技术的进步,极大地推动了不同学科间的相互交叉与渗透,引发了涵盖所有工程领域的技术改造和技术革命,纵向划分、横向综合成为当代科学技术发展的重要特点。

在工程机械领域,由于自动控制技术的飞速发展及其和传统机械工业的融合,工程机械产品的功能不断拓展,性能不断提升,品种极大丰富,产品结构不断完善,可靠性不断提高,导致生产方式与管理体系也发生了巨大变化,从而迈入了以“机电液控一体化”为特征的发展阶段。

高效节能是工程机械的核心价值,通过自动控制技术,可以实现机器动力源、动力传动系统、工作装置和行走机构之间动力学与运动学参数的最佳动态匹配,机器功率得到最大限度的利用,从而使高效节能达到一个新的高度;通过对作业装置进行自动控制,可以改善设备的操作性能,实现对复杂作业的要求,同时减轻驾驶员的工作强度,降低对人员工作技能的要求;状态监测和故障自动报警可以提高机器使用的安全性;借助远程操控和无人驾驶技术,可以避免人员到危险场所及恶劣环境中作业。现代工程机械对复杂作业的要求催生了工程机械控制系统,控制系统及相关技术不但已经成为工程机械必不可少的重要组成部分,而且必将对传统的 product 设计理念与设计方法带来根本性的变革。

纵观近 20 年来我国工程机械的发展与进步,自动化技术的研究与应用可谓硕果累累,控制系统设计已经成为整机设计与研发过程的重要环节。但是,无论对就读本专业的在校学生,还是对从事这一领域的设计开发人员而言,目前尚缺一本可供系统参考的实用书籍,正是这一需求促使了本教材的诞生。

本书第一作者多年来一直从事工程机械自动化领域的教学与科研工作,在实践中积累了一些值得推广的理论和应用成果经验,撷取了其中部分较为成熟的典型案例,经过提炼与升华,编纂成书。本教材以“工程机械典型控制系统”课程讲义为蓝本,主要内容涉及现代典型筑路机械、土方机械及养护机械的前沿控制技术,着重从控制系统功能结构、元器件及关键技术等方面介绍了现代工程机械典型控制系统的特征及设计方法,可作为机械类本科生及硕士研究生教材,也可为有关设计人员提供参考。

本教材第一、二、三、四、五、六及第十一章由王欣编写;第七章和第八章由高子渝编写;第九章和第十章由张军编写;全教材由王欣主编,焦生杰主审。

在本教材编写过程中,得到了三一重工股份有限公司的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限和时间仓促,书中难免存在缺点和错误,敬请读者给予批评和指正。

作者

2013 年 12 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 现代工程机械控制系统的特点	1
1.3 现代工程机械控制领域的新技术	2
本章思考题	9
第2章 工程机械典型控制器	10
2.1 工程机械使用的通用控制器	10
2.2 工程机械专用控制器的特点	12
2.3 工程机械专用控制器的主要品牌	13
2.4 工程机械专用控制器的开发语言集 IEC61131-3	21
2.5 工程机械控制系统的开发流程	21
本章思考题	24
第3章 沥青混凝土摊铺机控制系统与控制技术	25
3.1 沥青混凝土摊铺机的作业特点与性能要求	25
3.2 沥青混凝土摊铺机的发展历史与技术现状	25
3.3 沥青混凝土摊铺机的组成与工作原理	28
3.4 沥青混凝土摊铺机液压系统与电液控制原理	29
3.5 沥青混凝土摊铺机控制系统的组成与功能	33
3.6 沥青混凝土摊铺机的控制目标与控制策略	39
3.7 沥青混凝土摊铺机关键控制技术	40
本章思考题	52
第4章 双钢轮振动压路机控制系统与控制技术	53
4.1 双钢轮振动压路机的作业特点与性能要求	53
4.2 双钢轮振动压路机的发展历史与技术现状	53
4.3 双钢轮振动压路机的组成与工作原理	55
4.4 双钢轮振动压路机的控制系统	58
4.5 双钢轮振动压路机的控制目标与控制策略	62
4.6 双钢轮振动压路机关键控制技术	62
本章思考题	65
第5章 全液压平地机控制系统与控制技术	66
5.1 平地机的作业特点与荷载特征	67
5.2 平地机关键性能指标	67
5.3 平地机的发展历程与技术现状	69
5.4 全液压平地机组成与工作原理	73

5.5	全液压平地机控制系统	76
5.6	全液压平地机的控制目标与控制策略	81
5.7	全液压平地机关键控制技术	81
	本章思考题	89
第6章	全液压推土机控制系统与控制技术	90
6.1	推土机的作业特点与荷载特征	90
6.2	全液压推土机的发展现状与技术特征	91
6.3	全液压推土机组成与工作原理	97
6.4	全液压推土机控制系统组成与功能	99
6.5	全液压推土机的控制目标与控制策略	101
6.6	全液压推土机关键控制技术	102
	本章思考题	113
第7章	水平定向钻机控制系统与控制技术	114
7.1	水平定向钻机的作业特点	114
7.2	水平定向钻机的组成与工作原理	116
7.3	水平定向钻机的控制要求	121
7.4	水平定向钻机的关键控制技术	124
7.5	水平定向钻机的控制系统	125
	本章思考题	131
第8章	同步碎石封层车控制系统与控制技术	132
8.1	同步碎石封层的作业特点	132
8.2	同步碎石封层车的主要品牌与技术参数	134
8.3	同步碎石封层车的组成与工作原理	136
8.4	同步碎石封层车的控制要求	139
8.5	同步碎石封层车的关键控制技术	141
8.6	同步碎石封层车的控制系统	150
	本章思考题	155
第9章	履带式液压挖掘机的控制系统与控制技术	156
9.1	挖掘机的分类与用途	157
9.2	挖掘机的荷载特征和作业特点	157
9.3	挖掘机的关键性能指标	158
9.4	挖掘机的发展历程和技术现状	159
9.5	履带式液压挖掘机的组成和工作原理	161
9.6	履带式液压挖掘机的控制系统	166
9.7	履带式液压挖掘机关键控制技术	168
	本章思考题	175
第10章	虚拟仪器技术及其在工程机械中的应用	176
10.1	虚拟仪器系统的构成	176
10.2	数据采集系统	177
10.3	LabVIEW 编程简介	182

10.4	基于电脑声卡的采集系统设计	188
10.5	基于 CAN 总线的数据采集系统设计	193
10.6	基于串口通信的数据采集系统设计	197
	本章思考题	202
第 11 章	IEC61131-3 标准与 CoDeSys 程序开发基础	203
11.1	IEC61131-3 简介	203
11.2	IEC61131-3 支持的 5 种编程语言	203
11.3	IEC61131-3 软件模型中的 POU	205
11.4	CoDeSys 简介	206
11.5	CoDeSys 编程示例	206
	本章思考题	211
	参考文献	212

第1章 绪 论

1.1 引 言

工程机械的发展,在技术上经历了3次变革性的飞跃。第一次是内燃机的出现,使工程机械有了较理想的动力装置;第二次受助于液压技术的推动,工程机械找到了更为理想的传动方式,出现了形形色色完成各种施工作业的机种、机型与配套的工作装置,迎来了多样化和飞速发展的时期;第三次以自动控制、电子及计算机技术在工程机械领域的广泛应用为标志,以往简单的电气系统逐渐被更复杂、更先进的控制系统甚至控制网络所取代,从而使工程机械跨入了自动化的时代(图1-1)。

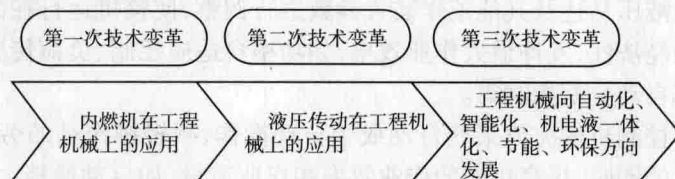


图1-1 工程机械的3次技术变革

1.2 现代工程机械控制系统的特点

现代工程机械的控制系统具有以下特点。

1) 涉及的控制技术复杂多样

工程机械品种丰富,作业形式多样,工作装置种类繁多,要求实现的动作复杂多变,所需的控制技术也多种多样,如行驶控制(包括方向控制、直线行驶控制、恒速控制与变速控制等)、工作装置控制、振动控制、温度控制、找平控制、换挡控制、发动机控制及功率匹配控制等。

2) 多种信息技术交叉融合的产物

由于现代工程机械的先进技术大部分集中在操纵与控制方面,需要解决的问题,仅从机械结构和液压系统角度来考虑很难使产品有质的飞跃,必须引入具有良好控制性能和信息处理能力的电子、传感器和电液转换技术等。因此,现代工程机械的控制系统同时融合了控制技术、电子技术、计算机技术、通信技术、网络技术及传感器技术等几乎所有门类的信息技术(图1-2)。

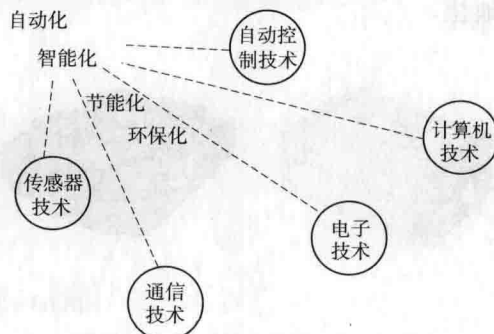


图1-2 工程机械自动化与信息技术

3) 形成了工程机械的专用控制装置

随着功能与可靠性要求的提高,作为控制系统硬件载体的控制器也逐步得到发展,带有 CAN 总线接口的高性能专用控制器、配套的显示设备与特殊功能模块等成为高性能工程机械产品的首选。

1.3 现代工程机械控制领域的新技术

目前,工程机械自动化技术的研究目标主要集中在两个方面:一是简化操作员操作,提高车辆动力性、经济性及作业生产率;二是提高作业质量。以此为目的形成了以机、电、液一体化为特征的控制技术。

1.3.1 电液比例控制技术

借助电液比例控制技术,可实现对液压传动系统的精确控制,通过对变量泵、变量马达等元件的比例调节,可将动力源的能量连续高效地传送到行驶系统及作业装置,转化为有效行驶及作业功率,并实现各种特殊要求的控制。

控制系统能够自动检测发动机负荷及液压系统的状态参数,根据选定的控制策略,自动对发动机、液压泵、液压马达及其他工作装置参数进行调整,使整机运行在高效节能状态,保证整机的动力性和经济性,发挥最大作业效率,如功率自适应控制、负荷传感控制、行驶驱动与工作装置的功率自动分配控制等。

控制系统能够控制机械完成某些自动或半自动操作,减轻操作员的劳动强度。在降低对操作员技能要求的同时,提高机械的作业效率和作业质量,如自动换挡、无级变速调节、恒速行驶控制、自动找平控制和作业轨迹控制等。

上述控制功能的实现,离不开电液比例控制装置和技术。随着工程机械逐步向智能化、节能化及环保化的未来方向发展,电液比例控制技术也必然结合这一要求,融入更多“智能”与“节能”的因素。

1.3.2 专用控制器技术

在专用控制器出现之前,早期工程机械的控制系统多采用通用控制器作为硬件,如 PLC (Programmable Logic Controller)、单片机及 DSP 等都有应用(图 1-3)。从 20 世纪 90 年代起,工程机械专用控制器及其配套设备得到不断发展和应用,并逐渐取得统治地位。

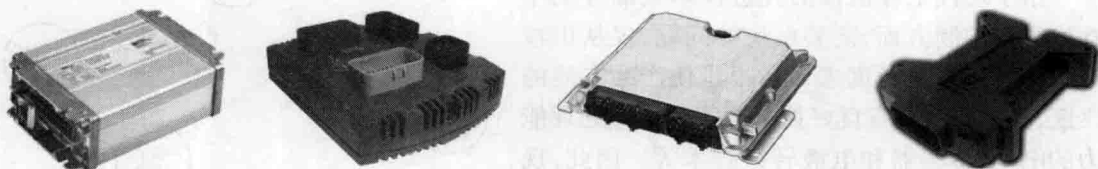


图 1-3 工程机械专用控制器

采用数字化集成电路封装而成的专用控制器,具有较高的防护等级,高速运算能力能够

满足各种复杂控制功能的需要。与其配套的设备有单色/彩色液晶显示器、GPS/GPRS 终端、遥控设备及各种传感器等(图 1-4)。此外,针对不同的特殊应用,还出现了功能独立的专用模块,如集成式面板、自动找平系统、电子称量系统、加速踏板控制系统及电子换挡系统等。

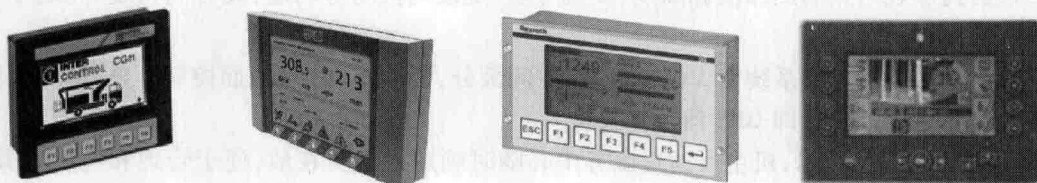


图 1-4 与工程机械专用控制器配套的显示器

1.3.3 总线与网络技术

CAN 总线技术和专用控制器已经成为目前工程机械控制领域的两大主流技术,依托这两大技术,控制系统在具有强大功能的同时,还可以具有简单的结构和高可靠性。

作为具有国际标准协议的总线,CAN 总线在车辆领域广为应用,其主要特点如下:

(1)CAN 网络上的节点信息分成不同优先级,可满足对实时性的不同要求,高优先级的数据最多可在 $134\mu\text{s}$ 内得到传输。

(2)非破坏性总线仲裁技术,多个节点同时向总线发送信息时,优先级低的节点主动退出,高优先级节点可不受影响继续传输数据,节省了总线冲突仲裁时间。

(3)只需通过报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传送接收数据,无需专门“调度”。

(4)直接通信距离最远可达 10km (此时通信速率为 5Kbit/s 以下);通信速率最高可达 1Mbit/s (此时通信距离最长为 40m)。

(5)CAN 上的节点数主要取决于总线驱动电路,目前可达 110 个;报文标识符可达 2032 种(CAN2.0A),而扩展标准(CAN2.0B)的报文标识符几乎不受限制。

(6)采用短帧结构,传输时间短,受干扰概率低,具有良好的检错效果。

(7)CAN 节点中均有错误检测、标定和自检能力。检错的措施包括发送自检、循环冗余校验、位填充和报文格式检查等,保证了低出错率。

(8)节点在错误严重情况下自动关闭输出,使总线上其他节点的操作不受影响。

(9)CAN 的通信介质可为双绞线、同轴电缆或光纤,选择灵活。

(10)CAN 器件可被置于无任何内部活动的睡眠方式,相当于未连接到总线驱动器,可降低系统功耗。睡眠状态可借助总线激活或系统的内部触发条件被唤醒。

图 1-5 为一个典型的基于 CAN 总线的工程机械控制网络。

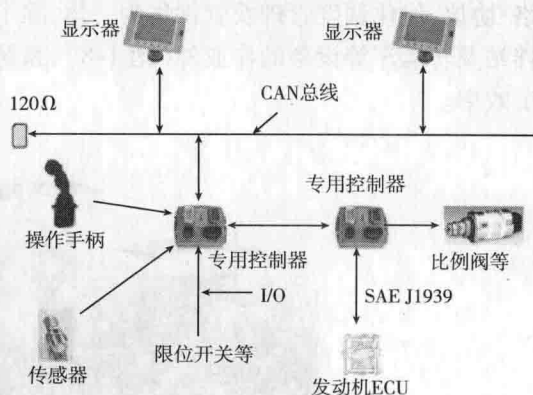


图 1-5 基于 CAN 总线的工程机械控制网络

1.3.4 GPS 技术

GPS 即全球定位系统 (Global Positioning System), 是一个由覆盖全球的 24 颗卫星组成的卫星系统。此系统可保证在任意时刻, 地球上任意一点都能同时观测到 4 颗卫星, 以保证卫星采集到该观测点的经纬度和高度, 实现导航、定位与授时等功能, 具有高精度、高效率 and 低成本的优点。

GPS 全球卫星定位系统由 3 部分组成: 空间部分, 即 GPS 星座; 地面控制部分, 即地面监控系统; 用户设备部分, 即 GPS 信号接收机。

采用 GPS 定位技术, 机主可通过服务中心随时确定设备所在地, 便于管理和售后服务。该技术可实现:

- (1) 方便地从网上地图发现机器的位置, 一旦有故障即可报警。
- (2) 监测发动机冷却水温、机油温度、机油压力、液压油温度及工作时间是否工作等。
- (3) 当设置的保养时间到达时, 发出提示。
- (4) 可提供离施工现场最近的闲置设备信息, 发挥设备的最大作用。
- (5) 防盗。设备被非法移动时进行报警, 快速发现被盗设备, 减少保险费用, 误差在 20m 范围内。

GPS 技术在工程机械领域应用广泛, 图 1-6 为工程机械 GPS 服务中心, 图 1-7 为带有 GPS 定位系统的压路机。



图 1-6 工程机械 GPS 服务中心

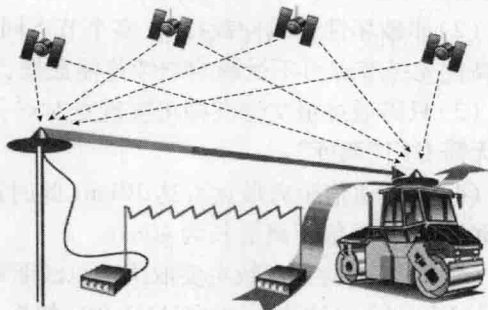


图 1-7 带有 GPS 定位系统的压路机

我国“863”计划项目——“机群智能化工程机械”, 将 GPS 和计算机、无线电子通信、网络/协议、优化调度管理及软件集为一体, 除了能合理分配摊铺机、自卸载货汽车、压路机、搅拌站及转运车等设备的作业外 (图 1-8), 系统还能为管理人员提供多种辅助功能以提高施工效率。



图 1-8 摊铺机、转运车与压路机等机群联合作业

1.3.5 远程通信技术

远程通信技术,以 GPRS 技术的应用为代表(图 1-9)。GPRS 是通用分组无线业务(General Packet Radio Service)的简称,是一种以全球手机系统(GSM)为基础的数据传输技术,可以说是 GSM 的延续。和以往连续在频道传输的方式不同,GPRS 以封包(Packet)式来传输,因此使用者所负担的费用以其传输资料单位计算,并非使用其整个频道,理论上较为便宜。

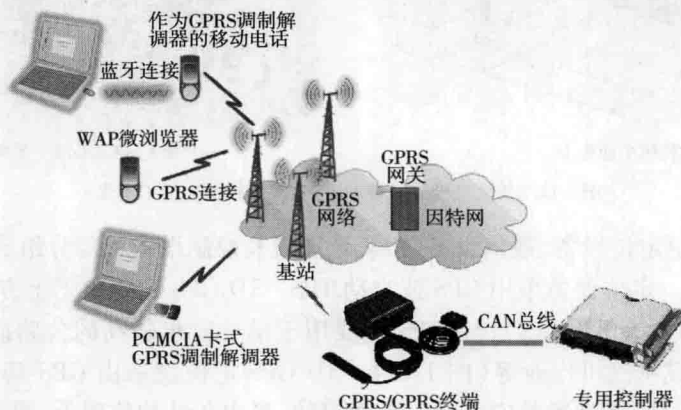


图 1-9 GPRS 远程通信系统

采用 GPRS 技术,可实现远程故障信息发送、远程诊断及远程数据采集与分析等功能,可减少售后服务成本,同时也可对产品性能提升采集实验数据,利用此技术还可实现远程锁机管理等特殊服务。

1.3.6 状态监测与故障诊断技术

以电子显示设备为平台,对发动机及机器运行的各状态参数进行实时监测、故障诊断及查询(图 1-10),使用户及时了解机器的使用状态,并实现所需的人机交互和系统参数设置。

1.3.7 作业装置 3D 控制技术

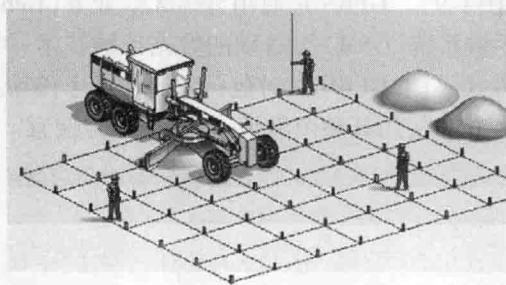
3D 控制技术是对传统施工方法的革命性改进,采用这一技术,可直接将整个施工场地的表面信息通过软件进行设计,并存储在机载计算机系统中。在机械作业过程中,通过动态 RTK GPS 或 TPS(全站仪)技术实时采集工作装置(如铲刀)的三维坐标,并与存储的三维坐标数据进行比较,发现偏差,系统会通过阀控制模块对工作装置进行自动调整,短时间内即可精确达到设计位置,确保整个场地地形能按照设计者的要求进行精确修正。

由 3D 控制系统对工作装置进行控制,可真正实现无桩施工,省去测量人员的大量现场打桩放样工作,减少了机器闲置时间,操作员只需关心机器的行进方向和自动控制系统的状态,就能实现较高精度的工作,对其工作强度和技能的要求大大降低,彻底改变了传统的施

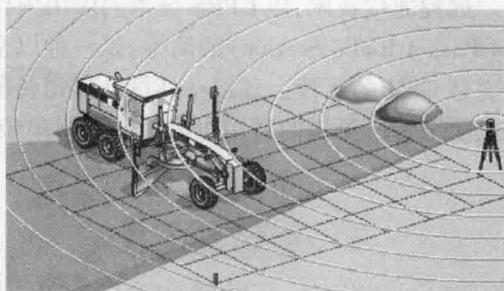


图 1-10 工程机械状态监测与故障诊断设备

工程序,提高了施工效率,显著缩短工期。目前在欧美很多地区的大型场地土方施工中,这一技术得到了广泛应用(图 1-11)。



a)传统平地施工



b)利用AccuGrade激光系统进行平地施工

图 1-11 传统打桩放样与采用 3D 控制技术的施工作业

3D 控制系统由定位设备、通信设备、机载计算机及控制设备 4 部分组成。

(1)定位设备。定位设备采用 GPS 或自动 TPS。3D GPS 主要用于土方工程,如推土机、平地机或挖掘机作业等(图 1-12);3D TPS 主要用于精度要求较高的公路面层或机场工程,如平地机、摊铺机或铣刨机作业等(图 1-13)。3D GPS 定位设备由 GPS 基站和安装在机器上的 GPS 接收器组成,基站通常安装在一个固定的、半永久性的位置上,覆盖范围可达 10km 左右。

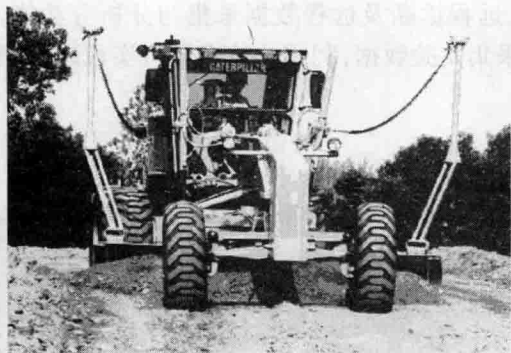


图 1-12 采用 3D 控制技术的平地作业

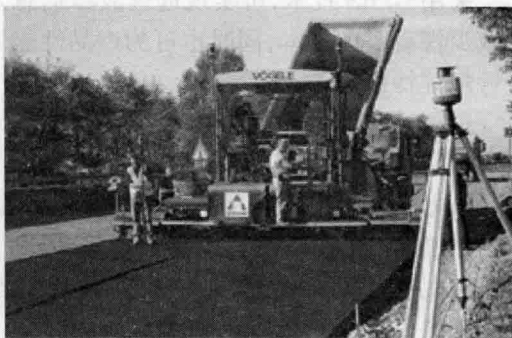


图 1-13 采用 3D 控制技术的沥青混凝土摊铺作业

(2)通信设备。通信设备由无线电发射装置和调制解调器组成,实现定位设备和机载计算机间的数据传输。

(3)机载计算机。机载计算机把输入的工程设计数据生成三维数字地形模型,根据收到的测量数据计算出机器的实际位置和方向,与设计值进行比较,把校正信息输出到控制设备,对机器工作装置进行调整。

(4)控制设备。控制设备由一系列控制器和传感器组成,测量控制机械自身和铲刀的横坡、纵坡与倾斜度等,并根据机载计算机传来的校正信息对工作装置进行控制,最终达到施工的设计位置。

采用 GPS 作为定位设备时,精度上可能稍逊于激光技术和全站仪技术,但由于 GPS 技术以卫星信号作为工作基准,能够实现全天候施工,不受天气和光线的影响,GPS 基站和施工机械之间不需要保持通视,特别适合大型土木工程项目,系统一次设置就可保证连续施工,一个基站能够同时控制多台设备,控制范围达 10km,毫米 GPS 精确度可达到 3mm。

随着工程计算机辅助设计(CAD)技术的广泛应用和数字地形模型(DTH)技术的发展,工程设计工作也在向无图纸、数字化的方向发展。3D 控制技术正是顺应了这一发展趋势,是将来数字化施工的基础,将对工程施工产生深远的影响。

1.3.8 自动控制方法

在工程机械采用的控制方法方面,除一般的直接动作控制和简单逻辑控制外,经典的PID 控制方法仍占有统治地位。实际应用,如行驶恒速控制、直线纠偏控制、发动机恒转速控制、加热系统恒温控制及 PWM 恒流控制等。

由于对工程机械控制系统进行建模、分析、仿真和设计的技术手段不成熟,大部分 PID 控制在设计阶段采用现场调定参数的方法,部分 PID 控制结合了专家控制的思想,对 PID 参数采用分况设定,以达到更优的性能指标。如摊铺机的自动找平和输、分料控制等均采用了这一方法。

此外,模糊控制(Fuzzy Control)等智能控制技术独立或与 PID 控制相结合,也已进入应用;而其他先进的控制理论与方法,由于对数学模型有要求等原因,目前在工程机械中应用较少。

1.3.9 节能控制技术

节能环保是工程机械未来的发展方向,近年来,作为动力源的柴油机在降低油耗、减少排放与降低噪声方面有了长足的进步。尤其是电子喷油装置的出现,不仅标志着柴油机向高性能、低排放的方向发展,而且为整机节能提供了更有效的途径。依托自动控制技术,以进一步提高发动机效率、改善发动机工作状态和减少传动系统功率损失为目标的节能控制技术受到越来越多的关注。

工程机械采用节能控制技术,不仅可以节约燃油,还可以改善发动机和液压元件的工作状态,延长设备的使用寿命。在节能控制方面,有以下新技术。

1) 分工况的参数匹配与节能控制技术

工程机械发动机功率通常按照最大负荷工况进行配置,即在设计时选择等于或略大于最大功率需求的发动机(或底盘)。而机器在实际作业时,很多时间处于非满负荷工况,如一台摊铺宽度为 14m、摊铺速度最大为 20m/min 的摊铺机,大多数情况下,在摊铺宽度 9m 左右、摊铺速度 5m/min 左右的工况作业。在这种非满负荷甚至轻负荷工况下,会出现功率的“富余”,即发动机工作处于效率较低、油耗较高的欠负荷状态。

针对不同的作业机械,提取其关键施工工况的负载特征,分类分工况进行动力学与运动学参数匹配和控制,是工程机械实现节能的基本措施。根据发动机与传动系匹配理论,结合机械的应用特点,对发动机与传动系的工作点或参数进行动态调整,使发动机工作在效率较高的理想负荷区域,是工程机械节能控制的一个研究方向。这方面的研究,包括功率自适应控制、加速踏板自动调节及自动怠速控制技术等,这些成果最终将形成工程机械动态参数匹配理论与方法。

2) 电喷发动机变功率控制技术

电喷发动机的喷油系统,由电子装置进行控制,发动机厂家可根据用户的前期设计,在其发动机上用多功率(转矩)特性代替单一功率(转矩)特性,每一工作特性曲线均对应不同的最大输出功率(转矩)。所谓变功率控制,实际上就是指这样一种对电喷发动机的合理使用方法:用户根据机械的实际工况与使用要求,设计出一组所需的功率(转矩)曲线,由发动机厂家实

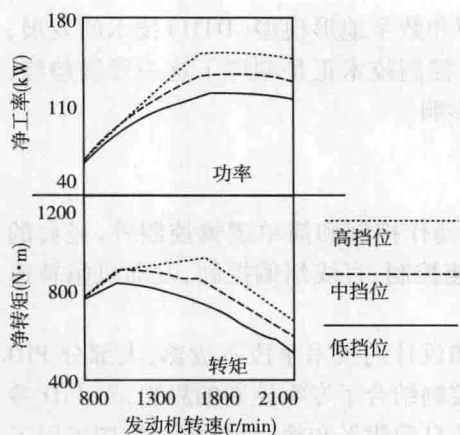


图 1-14 变功率发动机的多功率(转矩)特性

现,用户只需通过 CAN 总线向发动机 ECU 发出指令,就可选择和切换至发动机的最佳工作曲线(图 1-14)。

采用变功率控制后,发动机的工作状态更加合理,动力与传动系统参数匹配更佳,与其他控制目标结合,可实现整机的最佳动力性与经济性指标。

发动机变功率控制具有实施简单、不改变发动机转速范围等优点,因而适用范围较广,有以下作业特点的工程机械均可采用这一技术以实现降低油耗的目标。

(1)有低速大负荷作业要求的机械。这类机械设有低速大负荷作业挡,输出作业速度受到挡位的限制,输出的最大牵引力也受到机器质量与地面附着条件的限制,因此输出功率的最大值有限,甚至显著低于发动机的最大功率输出能力,此时可在低速挡采用发动机变功率控制,这类机械的代表为采用多挡位变速器直传动的平地机。目前,国外平地机已经广泛采用了这一技术。

(2)循环作业,频繁起步的机械。这类机械起步时惯性负载较大,所需的发动机功率较大,而起步后匀速作业过程需要的功率则较小。这类机械典型代表如双钢轮振动压路机,其起步与起振过程同时进行,峰值功率明显较平均功率大,而频繁起步的循环作业特点要求,在选择发动机功率时必须满足最大功率需求,因此可采用变功率发动机。

(3)载重运输型车辆。对载重运输型车辆而言,满载工况与空载工况交替出现,可以采用发动机变功率控制技术,如水泥混凝土运输车。

3) 冷却风扇节能控制技术

冷却风扇担负着发动机、液压系统等的冷却工作,其节能化控制也常常被称为智能风扇技术。对传统的风扇控制方式而言,在机器使用全过程中,无论外界环境温度、系统自身温度以及实际需要的散热量大小如何改变等,风扇总是处于全速运转状态。风扇节能控制技术的关键是使风扇转速能够随温度的变化无级调节,从而将温度控制在理想的范围内,受控温度主要包括发动机冷却水温、进气温度及液压油温等。

冷却风扇节能控制的具体实现方式有多种,可专门为风扇设计一套独立的液压驱动装置,或利用机器中其他油路驱动风扇马达,为风扇提供动力(图 1-15)。

风扇系统工作时消耗的功率占整机总功率的百分比很小,靠转速可调带来的油耗减小有限,特别是采用液压驱动后,风扇系统传动效率降低(若采用节流调速则效率损失更大),即效率降低带来的影响与节约的油耗相比存在一定程度的抵消。

实际上,通过风扇无级调速使系统工作温度受控,对改善系统工作温度与排放带来的益处是相当可观的。

现代柴油机采用涡轮增压技术后,对中冷温度的控制要求更加苛刻,进气温度每升高

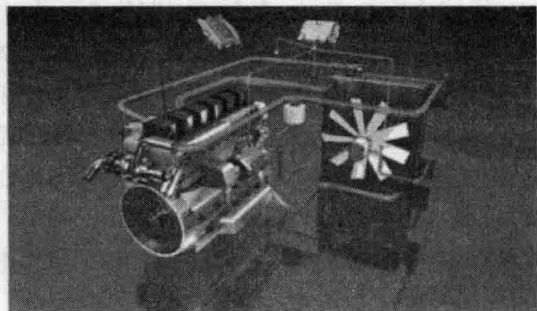


图 1-15 独立的冷却风扇驱动系统

10℃,都会造成发动机功率下降3%,因此,中冷温度必须严格控制;而冷却水温欠冷却与过冷却都会造成发动机工作状态不佳,降低其工作效率,不但油耗增加,而且对排放也不利;此外,液压系统的工作温度也影响整机工作效率。因此,合理的发动机工作温度与液压系统工作温度必将有益于发动机与液压系统工作效率的提高。从这一意义上讲,风扇转速实现无级可调显得更为重要。

单一的风扇要做到全面的温度控制较为困难,采用分布式风扇不仅布置灵活,而且可以实现发动机冷却水温、中冷温度(进气温度)与液压系统温度的独立控制,这一技术将是未来冷却风扇控制的发展方向。

本章思考题

1. 浅谈现代工程机械控制系统的发展趋势与特点。
2. 工程机械控制系统交叉融合了哪些新技术? 各有什么应用? 请举例说明。
3. 工程机械常见的节能控制方法有哪些? 原理如何?
4. 何为发动机变功率控制? 该技术有何优点? 适用于哪些类型的机械?