



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

冯跃虹 张明军 编

工程机械

液电一体化技术



免费赠送
电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工程机械 液电一体化技术

冯跃虹 张明军 编



机械工业出版社

本教材是按照教育部对高职高专教育人才培养工作的指导思想,在广泛吸取与借鉴近年来教学经验的基础上编写的。本教材主要内容包括:工程机械液压控制基础、工程机械电气控制基础、装载机液电控制技术、挖掘机液电控制技术、汽车起重机液电控制技术和混凝土泵车液电控制技术。每章章末有复习思考题,便于学生复习自测。本教材免费赠送配套电子课件。

本教材可作为高职学校工程机械机电一体化专业学生的教学用书,也可供工程机械操作与维护人员、用户及售后服务人员作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械液电一体化技术/冯跃虹,张明军主编.

—北京:机械工业出版社,2016.1

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-52937-8

I. ①工… II. ①冯…②张… III. ①工程机械-液
压控制-控制系统-高等职业教育-教材②工程机械-电
气控制系统-高等职业教育-教材 IV. ①TH2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第026516号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵磊磊 责任编辑:赵磊磊

版式设计:霍永明 责任校对:胡艳萍

封面设计:张静 责任印制:常天培

北京京丰印刷厂印刷

2016年4月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·298千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-52937-1

定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

新世纪高职教育的主要特点为：教育国际化、课堂综合化和教育终身化。这些特点要求高职院校培养的学生应该具有良好的综合素质、较全面的基础知识、必备的专业技能和面向市场较强的竞争能力。

目前关于工程机械液电一体化的教材很少，而真正能够结合企业生产实际，适合高职院校工程机械专业学生学习的教材更是凤毛麟角。为此，徐州工程机械技师学院工程机械机电一体化教研室依托于徐工集团的强大优势，深入企业调研，开展顶岗实习和技术交流，获得了企业生产中大量的一手资料。为培养“到企业就能用，一用就能成功”的实用型学生，缩短学生到企业工作的适应期，我们按照教育部对高职高专教育人才培养工作的指导思想，在广泛吸取与借鉴近年来教学经验的基础上编写了本教材。针对工程机械专业的教学特点，本教材从工程应用的角度出发，详细介绍了装载机、挖掘机、汽车起重机、混凝土泵车的液压控制原理和电气控制原理及常见的液压电气故障。本教材图文并茂，并列举了大量实例，重在培养学生的综合分析与应用能力。

本教材主要特点如下：

1. 采用新的课程体系，以职业需要为主线，体现基础性、实用性和专业性。
2. 贯彻基本理论以“必需、够用”为度，简化传统知识，力争在内容上体现先进性和实用性。
3. 图文并茂，包含大量的照片图，更便于学生理解和接受。

本教材可作为高职学校工程机械机电一体化专业学生的教学用书，也可供工程机械操作与维护人员、用户及售后服务人员作为培训教材使用。

本教材由冯跃虹、张明军编写。

本教材在编写中得到了徐工起重机械事业部、徐工挖掘机械事业部、徐工混凝土机械事业部的技术支持和帮助，在此表示感谢。

由于作者水平有限，教材中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 概述	1
第一节 液电一体化技术在工程机械上的应用	1
一、液电一体化技术和工程机械的关系	1
二、工程机械液电一体化系统的组成	1
三、液电一体化技术在典型工程机械中的应用	2
四、智能控制技术在工程机械典型产品上的应用	4
第二节 工程机械液电一体化技术的发展趋势	5
一、工程机械的发展	5
二、工程机械液电一体化的发展	6
三、工程机械的发展趋势	7
复习思考题	8
第二章 工程机械液压控制基础	10
第一节 液压元件认知与识图	10
一、液压动力元件	10
二、液压执行元件	16
三、液压控制阀	20
第二节 工程机械液压基本回路	28
一、方向控制回路	28
二、压力控制回路	29
三、速度控制回路	33
四、顺序动作回路	38
第三节 工程机械液压调节技术	39
一、负荷传感控制系统	39
二、LUDV (负载独立流量分配) 系统	40
三、负流量控制系统	41
四、正流量控制系统	42
五、各控制系统对比	43
复习思考题	43
第三章 工程机械电气控制基础	44
第一节 概述	44
一、工程机械电气系统的组成	44
二、工程机械电气设备	44
三、工程机械电子控制系统	44
第二节 工程机械电工基本知识	45
一、电气基础知识	45
二、电气回路知识	46
三、线路万用表的知识	47
第三节 工程机械电路图的读法	48
一、电路图的功能	49
二、电路图的特点	49
三、电路图的识图方法	49
四、读图要点	50
五、信号序号	50
六、电气线路的符号	50
第四节 工程机械常用传感器	54
一、传感器概述	54
二、变阻式传感器	54
三、电磁式传感器	56
四、霍尔式传感器	56
复习思考题	59
第四章 装载机液电控制技术	60
第一节 认识装载机	60
一、发动机	60
二、传动系统	60
三、制动系统	61
四、车架	62
五、工作装置	62
六、液压系统	62
七、电气系统	63
第二节 装载机液压控制原理	63
一、装载机常用液压元件	63
二、装载机液压系统工作原理	76
第三节 ZL50 型装载机液压系统原理图解读	80
一、初读元件	80
二、分析系统	81

三、对元件重新编号	82	一、汽车起重机底盘液压系统元件	
四、划分子回路	83	介绍	130
五、分析子回路	84	二、底盘支腿机构液压回路工作原理	134
六、分析子回路之间的连接关系	87	三、汽车起重机四大机构液压控制	
第四节 装载机电气控制原理	87	原理	136
一、充电部分	88	四、25t 先导式汽车起重机液压系	
二、起动部分	88	统原理解读	139
三、照明信号部分	88	五、汽车起重机上车操纵机构介绍	140
四、监测显示部分	88	第三节 汽车起重机电气控制原理	141
五、铲斗自动放平及动臂举升限位		一、汽车起重机电气系统组成	141
电气控制	89	二、汽车起重机常用电器元件	149
第五节 装载机液压与电气常见故		三、汽车起重机电气符号及工作原	
障排除	90	理分析	156
一、液压系统常见故障排除	90	第四节 汽车起重机液压与电气常见	
二、电气系统常见故障排除	91	故障排除	164
复习思考题	92	一、液压系统常见故障排除	164
第五章 挖掘机液电控制技术	93	二、电气系统常见故障排除	166
第一节 认识挖掘机	93	复习思考题	166
一、挖掘机的用途、分类及工作		第七章 混凝土泵车液电控制技术	167
内容	93	第一节 认识混凝土泵车	167
二、挖掘机的结构与功能	94	一、概述	167
第二节 挖掘机液压控制原理	99	二、混凝土泵车基本构造与工作	
一、挖掘机液压系统组成	99	原理	170
二、挖掘机基本液压控制技术	105	第二节 混凝土泵车液压控制原理	175
三、挖掘机液压控制性能（主阀		一、泵送单元液压系统	175
性能）提升分析	110	二、臂架及支腿液压系统	179
第三节 挖掘机电气控制原理	118	第三节 混凝土泵车电气控制原理	181
一、电气系统功能简介	118	一、底盘改制控制系统	181
二、电气系统的组成与原理	118	二、面板控制系统	181
第四节 挖掘机液压与电气常见故障		三、节能控制功能	181
排除	122	四、德国 HBC/727A 遥控系统比例	
一、液压系统常见故障排除	122	通道 PWM 的调节方法	181
二、电气系统常见故障排除	123	五、电气原理分析	181
复习思考题	124	第四节 混凝土泵车液压与电气常见	
第六章 汽车起重机液电控制技术	125	故障排除	182
第一节 认识汽车起重机	125	一、液压系统常见故障排除	182
一、汽车起重机的概念、用途、分类		二、电气系统常见故障排除	184
及编号原则	125	复习思考题	187
二、汽车起重机基本构造	126	参考文献	188
第二节 汽车起重机液压控制原理	130		

第一章 概 述

第一节 液电一体化技术在工程机械上的应用

一、液电一体化技术和工程机械的关系

现代工程机械正处在一个机电一体化的发展时代。引入液电一体化技术,使液压技术和电子控制技术实现有机结合,可以极大地提高工程机械的各种性能,如可靠性、安全性、操作舒适性以及作业精度、作业效率和使用寿命等。目前以微机或微处理器为核心的电子控制装置(系统)在现代工程机械中的应用已相当普及,电子控制技术已深入到工程机械的许多领域,如汽车起重机的过载保护、摊铺机和平地机的自动找平、摊铺机的自动供料、拌和设备称重计量过程的自动控制、挖掘机的电子功率优化、装载机等铲运机械变速箱的自动控制和工程机械的状态监控与故障自诊等。随着科学技术的不断发展,对工程机械性能要求的不断提高,电子(微机)控制装置在工程机械上的应用将更加广泛,结构也将更加复杂。

二、工程机械液电一体化系统的组成

1. 动力系统

动力系统在控制信息作用下提供动力,驱动各执行机构完成各种动作和功能。

工程机械液电一体化系统一方面要求驱动的高效率和快速响应特性,另一方面也要求对外部环境的适应性和可靠性。由于电子与液压技术的高度发展,高性能电子液压比例驱动和电子液压伺服驱动已大量应用于工程机械系统。

按照系统控制要求,为系统提供能量和动力使系统正常运行,用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功率输出,是液电一体化产品的显著特征之一。

2. 检测部分

目前,车用传感器的精度要求在 $40 \sim 125^{\circ}\text{C}$ 范围内变化率低于1%,而常用的传感器如压力传感器,在上述温度范围内,桥臂电阻变化达8%~9%,无法满足要求。因此,一方面可以开发适应这一温度范围的传感器;另一方面,可充分利用高度发达的电子器件将微控制器用做固态传感器的配套部件,以实现温度补偿线性化和标准化。

3. 执行机构

工程机械执行机构主要包含电动执行机构、液压执行机构及其配套的机械部分。

工程机械上常用的电动执行机构有各种伺服电动机(直流、交流、力矩马达、低惯量电动机等)、步进电动机、电磁阀和继电器。

液压执行机构主要有液压缸、摆动油缸、旋转油缸和液压马达。

4. 控制和信息处理

控制器和信息处理设备是液电一体化系统的核心部分。它将来自各传感器的检测信息和外部输入命令按预先编制的程序进行储存、分析和加工,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令控制整个系统。一般由工控机、单片机、各种控制器和可编程序控

制器 (PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D (模/数) 与 D/A (数/模) 转换、I/O (输入/输出) 接口和计算机外部设备等组成。

5. 接口 (驱动部分)

1) 交换: 传输的环节之间, 由于信号的模式不同 (如数字量与模拟量、串行码与并行码、连续脉冲与序列脉冲等), 无法直接实现信息或能量的交流, 通过接口完成信号或能量的统一。

2) 放大: 接口把输入的控制信号放大、变换 (例如变换成气压或液压信号), 达到能量的匹配, 然后推动执行机构。

3) 传递: 接口的作用是使各要素或子系统连接成为一个有机整体, 使各个功能环节有目的地协调一致运动。因此, 接口是连接强电设备和弱电设备的纽带。

接口广泛采用电工电子器件, 例如晶闸管、双极型功率晶体管 (GTR)、功率常控晶体管 (P-MOSFET) 和绝缘栅极电力晶体管 (IGBT) 等。

三、液电一体化技术在典型工程机械中的应用

1. 电液比例控制技术在液压挖掘机上的应用

采用电液比例控制技术的挖掘机, 就是用电比例手柄取代液压先导手柄。其基本原理是采集电手柄的动作信号, 利用控制器进行运算, 输出相应的 PWM 值控制比例阀。如结合布置在机器上的传感器, 还可以实现一些自动或者半自动功能。比较典型的电控挖掘机有:

(1) Leica 公司研发的电控挖掘机工作平台 (图 1-1) 该平台是 Leica 公司为演示其电控挖掘机控制技术专门定制的, 既采用电液比例技术, 同时又具有辅助挖掘操作装置, 通过安装在平台上的显示屏及工作装置上的倾角传感器, 可以实时地显示铲斗的轨迹。

(2) 山河智能的 SWEL55 型挖掘装载机 (图 1-2) 该机型不同于平常的两头忙, 其工作装置位于一端, 从挖掘机切换到装载机时, 只需将工作装置折叠即可完成, 反之亦然。为了便于工作装置的模式转换, 该机器采用了全电控技术, 通过控制器可以轻松完成模式的转换及实现电手柄在不同模式下的不同功能。



图 1-1 Leica 公司研发的电控挖掘机工作平台

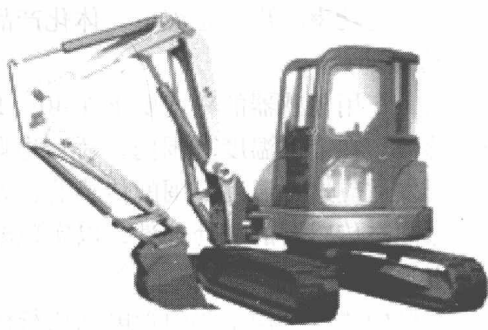


图 1-2 山河智能 SWEL55 型挖掘装载机

(3) Doosan 的主从式挖掘机 (图 1-3) 其控制形式属于一种主从方式, 通过手指、手腕和大臂对应控制铲斗、斗杆和动臂; 小臂的左右偏转来控制挖掘机的回转。在操作过程中, 当操作者 (主控制方) 的相应关节动作后, 计算机采集到该信号, 并与安装在挖掘机 (从控制方) 上的角度传感器的信号进行比较, 如果存在偏差, 发出遥控信号控制挖掘机消除偏差, 从而达到控制挖掘机的目的。其原理还是点到点控制, 因此, 在同步性上存在误

差。

(4) 采用 Husco 技术的液压挖掘机(图 1-4) 其工作原理为:动臂和回转仍采用常用的液压先导式主阀,在系统中装有能量回收机构,回收动臂下降的能量,并储存起来供给其他的工作装置;斗杆与铲斗采用特殊的电控阀,该阀分别布置在靠近工作装置液压缸的位置,而不是传统的将所有主阀布置在一起,该电控阀由四个插装阀构成,对阀的 A 口和 B 口分别进行控制,不同于常用的单阀芯的形式。研究表明采用该项技术后,挖掘机可以节能 25%。



图 1-3 Doosan 的主从式挖掘机



图 1-4 采用 Husco 技术的液压挖掘机

2. 液电一体化技术在旋挖钻机上的运用

旋挖钻机是近几年来在国内被广泛采用的一种重要的工程机械,其应用主要集中在大型桩基础施工中。而在国外,旋挖钻机使用时间比较长,且发展也较成熟,其在美国有着广阔的市场。主要的国外厂家有:宝峨、Soilmec、IMT、Mait、Casagrande、Junttan 等,我国有徐工(图 1-5)、三一(图 1-6)、山河智能等。旋挖钻机因其施工工艺较为复杂,且在施工过程中对精度要求较高,因此很多公司都开发了自动控制功能以提高施工效率和精度。最为常见的有两种功能:钻桅自动调垂直功能和钻孔工程中的自动回位功能。

硬件方面,有些厂家采用了建筑工程机械的通用控制器和仪表,也有些厂家为提高自身竞争力,定制开发了具有公司特色的控制器和仪表。其中宝峨就定制了自己的控制系统,司机室内除了具有显示仪表外,还配有图像监视屏和具有宝峨特色的报警面板。



图 1-5 徐工旋挖钻机

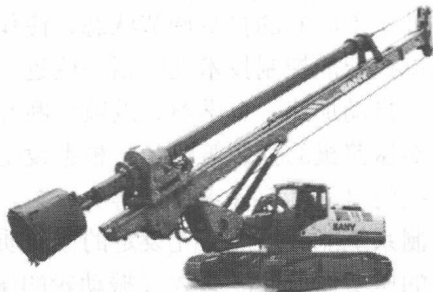


图 1-6 三一旋挖钻机

四、智能控制技术在工程机械典型产品上的应用

工程机械按作业目的的要求分为两类：一类为无作业质量要求的机械，其特点是作业介质具有不均匀性和不规范性，作业载荷变化大，这类机械性能指标要求为动力性（功率充分发挥）、经济性（燃油消耗）和作业生产率；另一类为有作业质量要求的机械，其特点为作业介质是均匀一致的、规范的，而且工作装置与介质相互作用过程产生的负荷基本为稳定值，这类机械以作业质量要求为优先指标，其次为动力性、经济性和作业生产率。挖掘机属于前一类机械，而压路机属于后一类机械。

1. 控制目标和策略

由于机器的作业类别不同，不同类别机器的控制目标和控制策略也不相同。挖掘机的智能控制目标为“节能环保，提高作业生产率”；而压路机的目标为“提高路面压实质量和压实效率”。

当前挖掘机主要有两种控制策略，一种是“负载适应控制”，另一种是“动力适应控制”。

负载适应控制：在发动机的输出功率一定的情况下，液压系统（负载）通过自身调节以适应（充分吸收和利用）发动机的动力输出，体现了“按劳分配”原则。

动力适应控制：发动机根据实际作业工况的需要提供动力输出，体现了“按需分配”原则。

采用“负载适应控制”技术的挖掘机，一般设有几种动力选择模式，如最大功率模式、标准功率模式和经济功率模式，每种模式下的发动机输出功率基本恒定，同时液压泵也设有几条恒功率曲线与之匹配。由于系统中采用了发动机速度传感控制技术（ESS 控制技术），在匹配时将每种功率模式下的泵的吸收功率设定为大于或等于该模式下的发动机输出功率，这样可以使液压系统充分吸收利用发动机的功率，减少能量损失。还可以通过对泵的吸收功率的调节，协调负载与发动机的动力输出，避免发动机熄火。

实际作业时，由操作人员根据作业工况选择发动机的功率模式，这种控制方法还需要人工干预，一旦功率模式选择不当，还会造成动力的浪费。

采用“动力适应控制”技术的挖掘机，采用自动控制模式，发动机根据作业要求和负载大小提供相应的动力输出。也就是动力系统能够自动适应工作系统的需要输出动力，以满足作业要求，无须人工干预，没有动力输出的浪费，达到动力性和经济性最佳。其设计思路是让机器自动识别出不同的作业工况，然后做出最有利于施工的解决方案。发动机与液压系统始终处于不间断的自身调节状态，使作业效率与燃油消耗达到最佳平衡。

挖掘机智能控制技术还包括一些进一步节能和简化操作、便于维修和保养的措施，如自动怠速、自动加速、自学习、故障诊断和远程控制等。

智能压路机的控制策略为：根据设定的质量目标，通过对铺层压实效果的检测和自适应控制系统的自动调节寻求最佳解决方案，实现作业质量目标要求。

控制系统能够按照预先设定的作业质量目标要求，经过连续地检测和分析对比，自动调整机器的压实作业性能参数（振动轮的振幅、频率和机器行驶速度），获得有效的和均匀一致的压实效果。当然，对铺层压实硬度的准确检测尤为重要，是一切智能控制的出发点和落脚点。最佳压实的决策过程需要考虑的外部条件比较多，如环境温度、沥青混合料温度和铺层厚度等，还要考虑沥青的硬度随温度变化的非线性等，所以决策的依据必须建立在大量的

知识积累和数据积累上。国外产品的知识数据库里一般积累了他们几十年的丰富施工经验和施工技术,机器的智能化水平较高。

2. 控制方法

任何智能控制系统包含三个过程:(1)信息采集;(2)信息处理并做出决定(思考与决策);(3)执行决定。

挖掘机是通过检测液压系统的运行参数来识别载荷大小的,如检测液压系统中泵的控制压力、泵的输油压力和各机构(行走、回转、动臂提升和斗杆收回)的工作压力等。有的还检测先导手柄的位移量和系统流量等。

挖掘机控制器根据采集的信息,通过模糊控制理论推理出所需功率的大小和发动机的最佳转速。执行决定的过程是由控制器驱动发动机油门执行器,使发动机设定到理想的转速和输出功率。

而压路机是通过连续检测振动轮的振动加速度来识别地面压实质量的。振动轮内的旋转偏心块产生的振动,理论上是一条正弦曲线。当振动轮在地面上振动时,曲线总是被扰动的,在软地面上的扰动小,在硬地面上的扰动大。通过对压路机振动轮的加速度进行快速傅立叶变换处理,能够计算出地面压实的数据。

如BOMAG装有新测量系统BTM-E的Varicontrol单钢轮振动压路机首次实现了能够直接地测定物理变量。利用压路机压实土壤的载荷与土壤变形结果之间的相互作用关系,能够计算出土壤动态硬度模量 E_{vib} (MN/m^2)。而沥青管理者是为双钢轮压路机开发的,其基于全新的沥青硬度试验方法,这种系统应用了一种新的沥青硬度计算模型。沥青管理者能自动地测量和控制压路机的压实性能,连续地提供最优化的压实参数,发挥压路机的最佳压实性能。连续不断地测量沥青温度并导入到管理系统中,操作人员可以通过显示器监控沥青温度的变化和观察压实度的增加情况。

压路机的信息处理是将采集的铺层压实信息输入到控制系统的数据库(知识库),通过分析比较、判断并做出对机器作业参数(振动轮的振幅、频率和机器行驶速度)调整的决定。

压路机执行决定的关键部件是可调频调幅的振动轮,振动轮性能的优劣直接影响压实效果。带自动调频调幅机构的振动轮结构比较复杂,实现起来较困难。

第二节 工程机械液电一体化技术的发展趋势

一、工程机械的发展

1. 液压技术

工程机械的作业形式多种多样,工作装置的种类繁多,要求实现各种各样的复杂运动。一个动力装置要驱动多种装置,而且传动距离往往比较长,20世纪50年代出现了液体传动,为工程机械提供了良好的传动装置。液压传动结构紧凑,布置简单方便,易实现各种运动形式的转换,能满足复杂的作业要求,具有许多优良传动性能,如传动平稳、自动防止过载、易实现无级变速、操纵简单轻便及控制性能好等。由于工程机械找到了理想的传动装置,推动了工程机械的飞速发展,迎来了工程机械的多样化时代,出现了形形色色完成各种施工作业的工程机械。

2. 电子技术

- 1) 高效节能对发动机和传动系统进行控制,合理分配功率,使其处于最佳工况。
- 2) 采用自动控制减轻驾驶员劳动强度和改善操纵性能,实现工程机械自动化。要完成高技能的作业,就需要智能化。近年来,工程机械的发展主要是操纵和控制机构的改进。
- 3) 提高安全性进行运行状态监视及故障自动报警。随着建设领域的扩展,为了避免人员在无法及不易接近的场所和作业环境十分恶劣的地方作业,需要采用远距离操纵和无人驾驶技术。

3. 工程机械液电技术的发展

- 1) 既能保证液压挖掘机动臂、斗杆和铲斗各自的单独动作,又要使它们相互配合实现复合动作。
- 2) 工作装置动作和转台回转既能单独进行,又能实现复合动作以提高挖掘机的工作效率。

传统的液压系统无论是定量泵还是变量泵,总有一部分液压油经溢流阀溢流,不仅浪费了能量,还会造成系统发热。同时由于液压挖掘机的作业对象及工况千变万化,各工作装置所受的负载和工作油压也各不相同,因此,经常出现轻载荷的工作装置“抢占”重载荷工作装置的液压油流量的现象,致使复合动作难以实现。譬如,挖掘机行走时由于左右履带载荷不同而导致的拐弯打滑现象,不能实现直线行走,LUDV(负载独立流量分配系统)就是为解决这一难题而设计的液压系统。

在负载传感系统(Load Sensing)中,负载压力无关性是通过设在测量阻尼孔前的压力补偿阀来实现的,但当通过多个测量阻尼孔操纵多个执行器时所需的流量大于泵所能提供的流量时,压力补偿阀的压差调节将失效,流量会流向具有最低负载压力的执行器,而具有高负载压力的执行器降低其速度直至停止运行。

LUDV系统,即负载独立流量分配(Load Independent Flow Distribution)系统,是以执行器最高负载压力控制泵和压力补偿的负载独立流量分配系统,当执行器所需流量大于泵的流量时,系统会按比例将流量分配给各执行器,而不是流向轻负载的执行器。

负载独立流量分配系统(LUDV)目前广泛应用于各类挖掘机的液压系统,系统只采用一个变量泵,省掉了复杂的合流控制系统,减小了系统的安装尺寸,使系统的结构变得更简单。它既具有传统负荷传感控制系统节能增效的优点,又通过后置压力补偿阀解决了在工作系统要求的流量大于泵的极限流量时的各工作装置实现复合动作的问题。

- 3) 操纵系统:从先导操纵到先导比例操纵,最近正在向电操纵杆方向发展。推土机、装载机等操纵杆数正在减少,操纵功率大大下降,操纵越来越方便。有的装载机转向操纵已从方向盘改为操纵杆式转向。

当前工程机械的先进技术大部分集中在操纵与控制上。要解决控制问题,只从机械和液压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技术、传感器技术和电液转换技术等。

二、工程机械液电一体化的发展

从1970年算起,工程机械的机电液一体化系统已走过了40余年的发展史,目前仍在世界范围内蓬勃发展,其效益显著,功能也在逐渐完善。

1. 国外发展概况

20 世纪 60 年代, 美国首先发展一体化技术, 如第一台机器人、数控车床和内燃机电子燃油喷射装置等, 而工程机械在机电液一体化技术方面的开发, 甚至比汽车行业还早。如 20 世纪 60 年代末, 日本小松研制的 7m 水深的无线电遥控水陆两用推土机就投入了运行 (以今天的眼光来看, 这只能称为机电液一体化的雏形), 并于 1971 年在天津参加了建设机械展览会。在此期间, 日本日立建机制造所也研制出了无线电遥控水陆两用推土机, 其工作装置采用了仿形自动控制。与此同时, 美国卡特彼勒公司将其生产的激光自动调平推土机也推向市场, 并于 1972 年在天津工程机械研究所样机试验场举办的独家首届展示会上向中国用户亮相。

日本在工程机械上采用现代机电液一体化技术虽然比美国晚几年, 但是, 美国工程机械运用的这一技术, 主要由生产控制装置的专业厂家开发, 而日本直接由工程机械制造厂自行开发或与有关公司合作开发。由于针对性强, 日本使工程机械与机电液一体化技术结合较紧密, 发展较为迅速。

最近 20 年来, 随着超大规模集成电路、微型电子计算机、电液控制技术的迅速发展, 日本和欧美各国都十分重视将其应用于工程机械, 并开发出适用于各类工程机械使用的机电液一体化系统。如美国卡特彼勒公司自 1973 年第一次将电子监控系统 (EMS 系统) 用于工程机械以来, 至今已发展成系列产品, 其生产的工程机械产品中, 60% 以上均设置了不同功能的监控系统。

2. 国内发展概况

我国工程机械开始运用电子技术的时间并不晚。如 20 世纪 70 年代初, 天津工程机械研究所研制了我国第一台 3m 水深无线电遥控水陆两用推土机。该机采用全液压、无线电操纵装置。经过长期运行考核, 其主要技术性能接近当时先进国家同类产品水平。到 20 世纪 80 年代后期, 我国相继开发了以电子监控为主要内容的多种机电液一体化系统。另外, 工程机械智能化系统也在有关院所进行研发, 但由于一些原因, 国内工程机械生产厂家目前多采取引进消化与自行开发的方式。受引进技术水平的限制, 至今关键技术仍大大落后于工业发达国家。

三、工程机械的发展趋势

机电液一体化是集机械、液压、电子、光学、控制、计算机和信息等多种学科的交叉综合, 它的发展和进步依赖并促进相关技术的发展。机电液一体化的主要发展方向大致有以下几个方面:

1. 智能化

智能化是 21 世纪机电液一体化技术的一个重要发展方向。人工智能在机电液一体化的研究中日益得到重视, 机器人与数控机床的智能化就是重要应用之一。这里所说的智能化是对机器行为的描述, 是在控制理论的基础上, 吸收人工智能、运筹学、计算机科学、模糊数学、心理学和生理学等新思想、新方法, 使其具有判断推理、逻辑思维及自主决策等能力, 以求得到更高的控制目标。然而, 使机电液一体化产品具有与人完全相同的智能是不可能的, 也是不必要的。但是, 高性能、高速度的微处理使机电液一体化产品具有低级智能或者人的部分智能, 则是完全可能而且必要的。

2. 模块化

模块化是一项重要而艰巨的工程。由于机电液一体化产品种类和生产厂家繁多,研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口和环境接口等的机电液一体化产品单元,是一项十分复杂但又非常重要的事情,如研制集减速、智能调速、电机于一体的动力单元,具有视觉、图像处理、识别和测距等功能的控制单元,以及各种能完成操作的机械装置等。有了这些标准单元就可迅速开发新产品,同时也可以扩大生产规模。为了达到以上目的,还需要制定各项标准,以便于各部件、单元的匹配。由于利益冲突,近期很难制定出国际或国内相关标准,但可以通过组建一些大企业逐渐形成。显然,从电气产品的标准化、系列化带来的好处可以肯定,无论是对生产标准机电液一体化单元的企业,还是对生产机电液一体化产品的企业,模块化将给机电液一体化企业带来美好的前程。

3. 网络化

20 世纪 90 年代,计算机技术等的突出成就是网络技术,网络技术的兴起和飞速发展给科学技术、工业生产、政治、军事和教育等方面都带来了巨大的变革。各种网络将全球经济、生产连成一片,企业间的竞争也将全球化。机电液一体化新产品一旦研制出来,只要其功能独到,质量可靠,很快就会畅销全球。由于网络的普及,基于网络的各种远程控制和监视技术方兴未艾,而远程控制的终端设备本身就是机电液一体化产品,现场总线和局域网技术的应用使家用电器网络化已形成优势,利用家庭网络将各种家用电器连接成以计算机为中心的计算机集成家电系统,能使人们待在家里就可分享各种高技术带来的便利与快乐。因此,机电液一体化产品无疑将朝着网络化方向发展。

4. 微型化

微型化兴起于 20 世纪 80 年代末,指的是机电液一体化向微型机器和微观领域发展的趋势,国外称其为微电子机械系统,泛指几何尺寸不超过 1cm^3 的机电液一体化产品,并向微米、纳米级发展。微机电液一体化产品体积小,耗能少,运动灵活,在生物医疗、军事、信息等方面具有无可比拟的优势,微机电液一体化发展的瓶颈在于微机械技术。微机电液一体化产品的加工采用精细加工技术,即超精密技术,它包括光刻技术和蚀刻技术两类。

5. 环保化

工业的发达给人们生活带来巨大变化。一方面,物质丰富,生活舒适;另一方面,资源减少,生态环境受到严重污染。于是,人们呼吁保护环境资源,回归自然,绿色产品概念在这种呼声下应运而生,绿色化是时代的趋势。绿色产品在其设计、制造、使用和销毁的过程中,符合特定的环境保护和人类健康的要求,对生态环境无害或危害极少,资源利用率极高。绿色的机电液一体化产品具有远大的发展前景。机电液一体化产品的绿色化主要是使用时不污染生态环境,报废后能回收利用。

6. 系统化

系统化的表现特征之一,就是系统体系结构进一步采用开放式和模式化的总体结构。系统可以灵活组态,进行任意剪裁和组合,同时寻求实现多子系统协调控制和综合管理;表征之二是通信功能大大加强。

复习思考题

1. 简述液电一体化与工程机械的关系。

2. 工程机械液电一体化系统由哪些部分组成?
3. 液电一体化技术在旋挖钻机上主要应用的两项功能是什么?
4. LS 系统与 LUDV 系统的主要的区别是什么?
5. 简述智能控制系统的三个控制过程。
6. 简述国内工程机械液电一体化技术的发展概况。
7. 简述电子控制技术在工程机械领域的作用。
8. 简述机电液一体化控制系统的发展方向。



第二章 工程机械液压控制基础

第一节 液压元件[⊖]认知与识图

一、液压动力元件

液压动力元件起着向系统提供动力源的作用，是系统不可缺少的核心元件。液压泵是为液压系统提供一定的流量和压力的动力元件，液压泵将原动机（电动机或内燃机）输出的机械能转换为工作液体的压力能，是一种能量转换装置。

1. 齿轮泵

齿轮泵是液压系统中广泛采用的一种液压泵，它一般做成定量泵，按结构不同，齿轮泵分为外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵。因在工程机械上，外啮合齿轮泵应用最广，所以下面以外啮合齿轮泵为例来剖析齿轮泵。

（1）齿轮泵的结构和工作原理 CB-B 齿轮泵的结构如图 2-1 所示，它是分离三片式结构，三片是指泵盖 4、8 和泵体 7，泵体 7 内装有一对齿数相同、宽度和泵体接近而又互相啮合的齿轮 6，这对齿轮与两端盖和泵体形成一密封腔，并由齿轮的齿顶和啮合线把密封腔划分为两部分，即吸油腔和压油腔。两齿轮分别用键固定在由滚针轴承支承的主动轴 12 和从动轴 15 上，主动轴由电动机带动旋转。

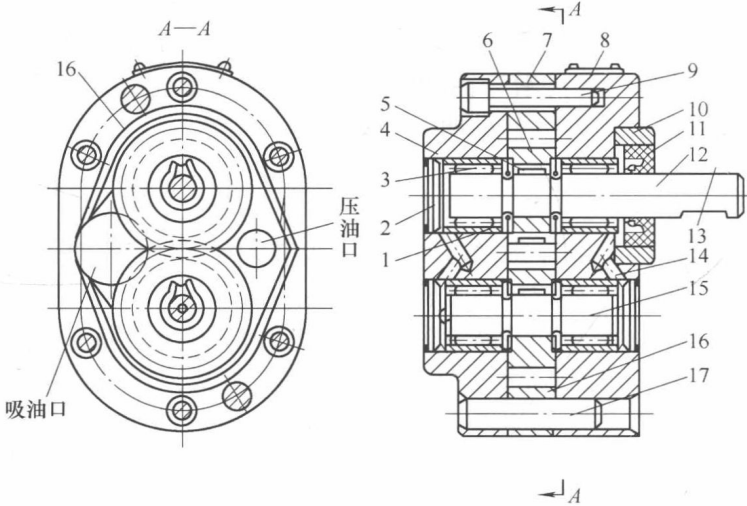


图 2-1 CB-B 齿轮泵的结构

1—轴承外环 2—堵头 3—滚子 4—后泵盖 5—键 6—齿轮 7—泵体 8—前泵盖 9—螺钉 10—压环
11—密封环 12—主动轴 13—键 14—泄油孔 15—从动轴 16—泄油槽 17—定位销

⊖ 最新的流体传动系统及元件图形符号标准为 GB/T 786.1—2009，因该标准尚未在工程机械领域贯彻，故本书仍采用旧标准。——编者注

CB-B 齿轮泵的工作原理如图 2-2 所示, 当泵的主动齿轮按图示箭头方向旋转时, 齿轮泵右侧 (吸油腔) 齿轮脱开啮合, 齿轮的轮齿退出齿间, 使密封容积增大, 形成局部真空, 油箱中的油液在外界大气压的作用下, 经吸油管路、吸油腔进入齿间。随着齿轮的旋转, 吸入齿间的油液被带到另一侧, 进入压油腔。这时轮齿进入啮合, 使密封容积逐渐减小, 齿轮间部分的油液被挤出, 形成了齿轮泵的压油过程。齿轮啮合时, 齿向接触线把吸油腔和压油腔分开, 起配油作用。当齿轮泵的主动齿轮由电动机带动不断旋转时, 轮齿脱开啮合的一侧, 由于密封容积变大则不断从油箱中吸油, 轮齿进入啮合的一侧, 由于密封容积减小则不断地排油, 这就是齿轮泵的工作原理。

前泵盖、后泵盖和泵体由两个定位销 17 定位, 用 6 只螺钉紧固, 如图 2-1 所示。为了保证齿轮能灵活地转动, 同时又要保证泄漏最小, 在齿轮端面和泵盖之间应有适当间隙 (轴向间隙), 对小流量泵轴向间隙为 $0.025 \sim 0.04\text{mm}$, 大流量泵为 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$ 。齿顶和泵体内表面间的间隙 (径向间隙), 由于密封带长, 同时齿顶线速度形成的剪切流动又和油液泄漏方向相反, 故对泄漏的影响较小, 这里要考虑的问题是: 当齿轮受到不平衡的径向力后, 应避免齿顶和泵体内壁相碰, 所以径向间隙就可稍大, 一般取 $0.13 \sim 0.16\text{mm}$ 。

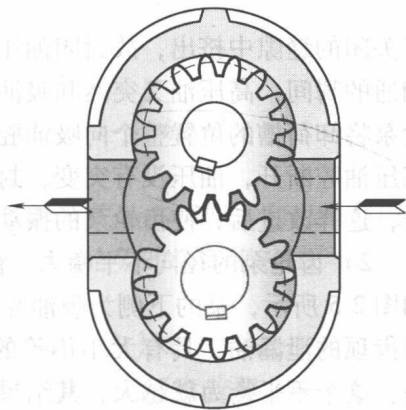


图 2-2 CB-B 齿轮泵的工作原理

为了防止压力油从泵体和泵盖间泄漏到泵外, 并减小压紧螺钉的拉力, 在泵体两侧的端面上开有泄油槽 16, 使渗入泵体和泵盖间的压力油引入吸油腔。在泵盖和从动轴上的小孔, 其作用将泄漏到轴承端部的压力油也引到泵的吸油腔去, 防止油液外溢, 同时也润滑了滚针轴承。

(2) 齿轮泵存在的问题

1) 齿轮泵的困油现象。齿轮泵要能连续地供油, 就要求齿轮啮合的重叠系数 $\varepsilon > 1$, 也就是当前一对齿轮尚未脱开啮合时, 后一对齿轮已进入啮合, 这样, 就出现同时有两对齿轮啮合的瞬间, 在两对齿轮的齿向啮合线之间形成了一个封闭容积, 一部分油液也就被困在这一封闭容积中 (图 2-3a), 齿轮连续旋转时, 这一封闭容积便逐渐减小, 到两啮合点处于节点两侧的对称位置时 (图 2-3b), 封闭容积为最小, 齿轮再继续转动时, 封闭容积又逐渐增大, 直到如图 2-3c 所示位置时, 容积又变为最大。在封闭容积减小时, 被困油液受到挤压, 压力急剧上升, 使轴承上突然受到很大的冲击载荷, 使泵剧烈振动, 这时高压油从一切可能泄漏的缝隙中挤出, 造成功率损失, 使油液发热等。当封闭容积增大时, 由于没有油液补充, 因此形成局部真空, 使原来溶解于油液中的空气分离出来, 形成了气泡, 油液中产生气泡后, 会引起噪声、气蚀等一系列后果。以上就是齿轮泵的困油现象。这种困油现象极为严重地影响着泵的工作平稳性和使用寿命。

为了消除困油现象, 在 CB-B 型齿轮泵的泵盖上铣出两个困油卸荷凹槽, 其几何关系如图 2-4 所示。卸荷槽的位置应该使困油腔由大变小时, 能通过卸荷槽与压油腔相通, 而当困油腔由小变大时, 能通过另一卸荷槽与吸油腔相通。两卸荷槽之间的距离为 a , 必须保证在任何时候都不能使压油腔和吸油腔互通。

按上述对称开的卸荷槽, 当困油封闭腔由大变至最小时 (图 2-4), 由于油液不易从即