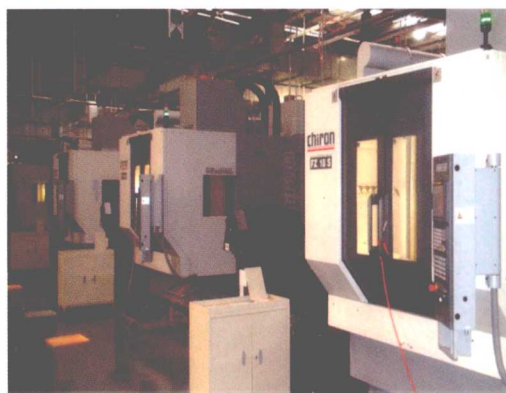
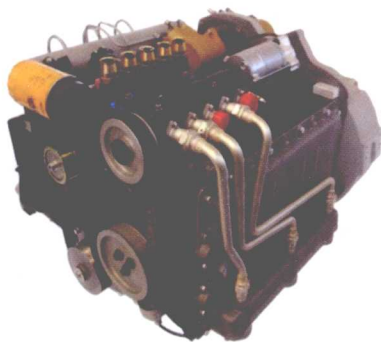




柴油机电控技术 实用教程 第2版

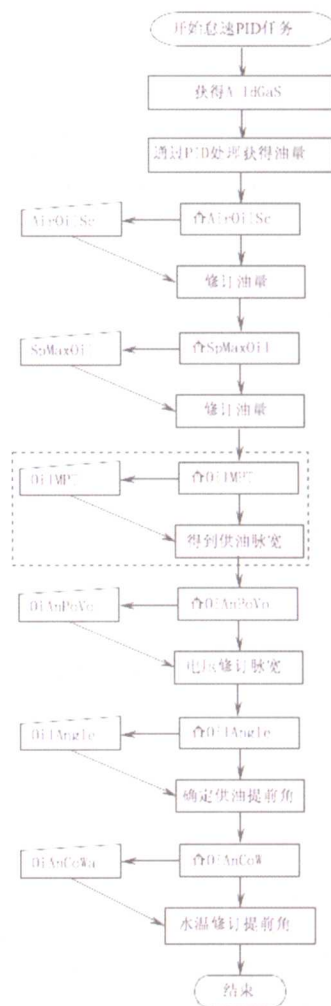
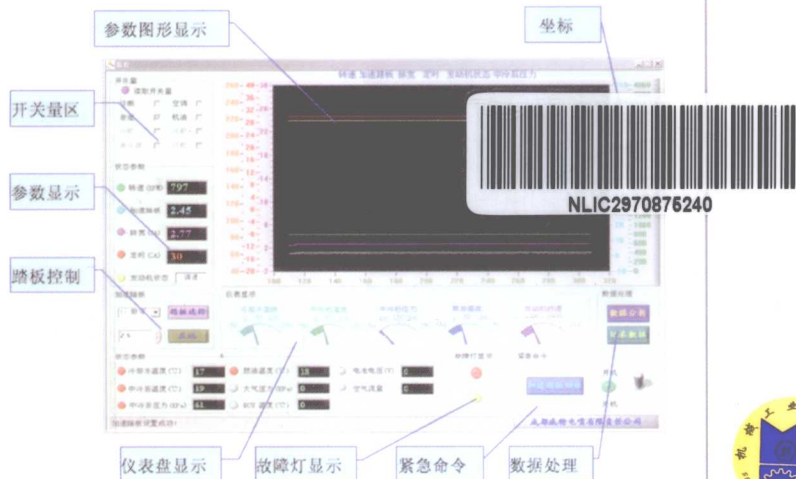
李铁军 著

» 调试与标定技术详解

» 控制源代码例程列举

» 控制软件的实现方法

» 传感器执行器控制器



柴油机电控技术

实用教程

第2版

李铁军 著



NLIC2970876240



机械工业出版社

本书包含了两个方面的内容：一是较为系统地、全面地介绍了柴油机电控技术的基本内容；二是针对电控柴油机的实际控制需求，对编制柴油机控制程序的基础条件、工作步骤、实现方法和工程应用等问题进行了细致和深入的讨论，并给出了针对电控高压共轨、电控单体泵和电控分配泵柴油机模型的控制源代码例程。第2版不仅更新了原有内容，还根据近年来柴油机电控技术产业的发展，有针对性地介绍了最新的国产电控高压共轨系统的应用方法。

本书可供从事柴油机工程工作的专业技术人员、高等院校内燃机工程专业的教师、研究生和本科生用于系统学习掌握柴油机电控技术；也可供从事柴油机电控技术工作的其他专业技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

柴油机电控技术实用教程/李铁军著. —2版. —北京：机械工业出版社，2012.12

ISBN 978-7-111-40890-1

I. ①柴… II. ①李… III. ①柴油机—电子控制—教材 IV. ①TK421

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 302810 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：连景岩 责任编辑：连景岩

版式设计：霍永明 责任校对：赵蕊 张晓蓉

封面设计：路恩中 责任印制：邓博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2013 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·28.5 印张·704 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-40890-1

定价：69.80 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

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

自序

我在大学里学的专业课程是柴油机设计制造。20世纪80年代,我在一所部队院校执教,讲授《柴油机原理》和《柴油机结构》课程,并参与指导一些课程实践活动。这些本职工作和与之相关的学习过程使我逐渐成为这方面的专业人员。我不仅对柴油机的结构特征和工作原理有了一定的了解,也知道了限制柴油机性能提高的各种因素。后来由于工作需要,我开始参加与计算机技术有关的教学和科研工作,从中了解了计算机应用技术,并学会了设计计算机软件。结合我掌握的两个领域的技术知识,有一天我开始有了一个念头:使用计算机来控制柴油机运行。进一步的分析研究让我觉得:以前我所了解的限制柴油机性能提高的各种因素都能够通过这种技术手段克服或改善。当时我坚信,将来柴油机技术的发展一定会走到我想象中的那一步:每一台柴油机都配有一个计算机芯片构成的控制器,柴油机的所有动作,进气、排气、供油、调速等,都由这个控制器来实现统一控制。当时我还构思了供油系统、配气系统、冷却系统、调速系统等各部分为满足电控技术要求所必须进行的改进,选择了可供控制试验的微处理器,编制了控制流程。我当时所无法想象的是:所有这些想法中有多少是当时国内的工业技术条件下所能够实现的?对应的工作需要付出多少努力?后来,限于自己的工作环境,这些想法大都没有机会得到亲身尝试。但那些想法却已经在国内外技术人士的努力下,逐一地成为了现实。

2002年,我从部队退役,进入一家大型电子企业的汽车电子工程部,在汽车电子专家张育华博士的指导下从事车用ECU的软件设计。张育华博士是国内最早开展内燃机电控技术研发的专家之一。他在ECU部件产业化方面做了扎实的工作,具有国内领先水准。在那时,车用内燃机电控技术几乎完全像我预想的那样在几个工业先进国家发展起来了,但这种发展对工业制造技术的高水准要求却超出了我的想象。国内的相关技术发展不尽如人意,整个内燃机电控技术几乎完全控制在国外厂商的手中,国内汽车制造业对此多有非议。这也反映出了国内工业基础与工业先进国家的实际差距。

2005年,我进入一家柴油机制造企业从事国Ⅲ标准柴油机研发工作。我注意到近年来国内柴油机电控技术正在开始进入生产环节并快速地改变着柴油机产业的传统形象,从这种情况可以预见到这一技术对柴油机产业未来的重要影响。我认为,国内的制造企业如果想跟上柴油机应用电控技术这一潮流,必须掌握其中的核心技术。对于柴油机制造商而言,目前最需要的是获得两方面的技术支持:一是电控燃油系统执行器;二是ECU技术。在这两个技术条件的支持下,必须掌握自主的柴油机控制源码,这是实现产品自主化的关键。

在参与内燃机电控技术研发的工作中,曾经有一些研究生和技术人员与我商讨应该如何编写内燃机的控制程序,我们针对一些具体的技术问题进行了深入的讨论和研究。当时我们

都没有见过有关这一工作的系统资料。因此,我觉得应有一本专著对柴油机的结构、电控系统以及对编写内燃机控制程序的方法和相关的技术问题做系统的介绍和讨论,这可以使更多的专业人员加入到这项工作中来,并为柴油机专业的技术人员、大学生和研究生提供入门的参考。

为了促进国内柴油机专业人员系统地学习柴油机电控技术,并帮助部分专业人员掌握开发柴油机控制程序的方法,也为了促进柴油机控制软件的规范化,使国内柴油机控制软件技术日益完善,我对近年来在柴油机电控技术工作中的经验和收获做了整理,形成了本书。由于目前国内还未见同类内容书籍,加之本人的能力和经历有限,本书只是一种初步的尝试,希望能够起到抛砖引玉的作用。

本书共分为十五章。第一章对柴油机电控技术的发展历程、现状和前景做出综述,将柴油机电控技术的轮廓和学习阅读本书的注意事项做了简要介绍;第二章到第四章介绍了柴油机电控系统三大主要构成部件,即传感器、执行器和控制器;第五章到第十章介绍了柴油机控制软件的相关要素和实现方法,是本书最核心的内容;第十一章、第十二章主要讨论了电控柴油机调试与标定技术;第十三章介绍了一台电控高压共轨柴油机的控制源程序;第十四章对电控单体泵和电控分配泵柴油机的控制程序与电控共轨柴油机做了对比介绍;第十五章对一种国产最新型电控高压共轨燃油系统的相关技术、性能和使用方法做了概略的介绍。

我非常希望国内自主的柴油机电控技术能够得到充分的发展,希望有更多的国内柴油机生产企业能够掌握柴油机电控技术的核心要素。如果本书能够对这一发展历程起到一点积极的作用,我将非常欣慰!

李铁军

目 录

自序	
引论	1
第一章 概论	5
第一节 柴油机电控化技术发展概述	5
一、柴油机电控化技术的发展历程	5
二、国内柴油机电控技术的发展和现状	7
三、国内柴油机电控技术发展中的主要问题	10
四、国内柴油机电控技术展望	11
第二节 柴油机电控技术简介	12
一、电子控制技术	12
二、柴油机电控系统的构成	13
三、技术配套系统	15
第三节 如何学习本书	16
第二章 传感器	17
第一节 温度和压力传感器	18
一、冷却液温度传感器	18
二、进气温度和压力传感器	20
三、燃油温度传感器	22
四、润滑油温度传感器	22
五、排气温度传感器	23
六、环境温度传感器	23
七、润滑油压力传感器	23
八、燃烧压力传感器	23
九、压差传感器	24
第二节 位移传感器	24
一、分配泵滑套位置传感器	24
二、废气再循环阀开度传感器	24
三、喷油器针阀升程传感器	24
第三节 空气流量传感器	25
一、热线式空气流量传感器	25
二、热膜式空气流量传感器	26
第四节 角度传感器	26
一、曲轴角位移传感器	26
二、凸轮轴角位移传感器	27
三、加速踏板角位移传感器	28
第五节 开关量发生器	29
一、扳动式开关	29
二、外部开关量发生器	29
第三章 执行器	30
第一节 电控高压共轨燃油系统	31
一、工作原理	32
二、国外电控高压共轨燃油系统的发展情况	36
三、国内电控高压共轨燃油系统的发展	36
四、电控高压共轨系统应用前景展望	36
五、电控高压共轨系统的性能试验	37
第二节 电控单体泵燃油系统	40
一、基本原理	41
二、电控单体泵测试试验	43
三、国内电控单体泵燃油系统近年来的发展	44
四、单体泵系统的基本配置	45
第三节 电控分配泵燃油系统	45
一、基本原理和产品代表	45
二、电控分配泵系统的测试试验	47
三、电控分配泵系统的操作和控制	48

第四节 柴油机上的其他主要电控执行设备	48	五、其他国内企业的 ECU 部件研发	80
一、废气再循环阀	48	第五章 柴油机控制软件综述	81
二、可调涡轮增压器	49	第一节 ECU 软件框架和控制软件	82
三、其他执行器	50	一、ECU 软件的框架构成	83
第五节 柴油机电控系统执行器的关键技术	51	二、ECU 软件的运行机理说明	84
第四章 控制器	52	三、控制软件的主要变量及相关因素	84
第一节 电控单元 (ECU)	52	四、控制软件所需要的基础软件资源	91
一、概述	52	五、控制软件的功能函数	94
二、ECU 的逻辑结构	53	六、控制软件的程序结构	97
三、ECU 对高速电磁阀的驱动	57	七、上电和关电	98
四、ECU 的电特性和环境特性	58	第二节 实时中断服务模块	98
第二节 ECU 的核心部件——单片计算机简介	59	一、实时中断服务模块 RTI 的主要功能	98
一、单片机的由来与发展	59	二、时钟模块	99
二、单片机内部的典型逻辑结构	61	三、定时执行模块	101
三、ECU 内单片机应用的基本技术要素	63	第三节 中断服务体系	103
四、单片机与 ECU	65	一、曲轴信号中断	103
第三节 开放式 ECU 技术理念和通用电控单元开发平台 (UECU)	66	二、凸轮轴信号中断	104
一、开放式 ECU 技术理念	66	三、供油输出驱动的中断控制	105
二、通用电控单元开发平台	68	第四节 任务调度机制	106
三、目前市场上几款较成熟的 UECU 比较	71	一、任务调度方式	106
第四节 电控单元的软件体系	72	二、任务调度机制的算法表达	107
一、ECU 的软件体系	72	三、任务调度机制的发展	108
二、ECU 的基础软件	73	第五节 柴油机的控制策略	109
三、ECU 的诊断软件	74	一、控制策略的含义	109
四、ECU 的控制软件	74	二、控制策略的实施方法	112
五、ECU 的调试与标定软件系统	75	三、电控柴油机常用控制策略	114
第五节 国内几款较成熟的电控单元简介	76	四、控制策略的细化和拓展	119
一、国内 ECU 产业的发展	76	第六节 脉谱的处理方法和查找功能	120
二、成都威特研发的 ECU 产品	76	一、脉谱的形式	120
三、南岳电控 (衡阳) 公司的 ECU 产品	78	二、脉谱的数据描述	122
四、镇江恒驰科技有限公司的 ECU 产品	78	三、常用脉谱及其定义、标定和调试	124
		四、脉谱的查找方式	126
		五、常用脉谱数据的存储设计	127
		六、脉谱的查找函数	128
		第六章 信号的输入	134
		第一节 曲轴和凸轮轴信号	134

一、曲轴转角信号	134	四、信号灯的控制	163
二、凸轮轴转角信号	135	第九章 基本控制处理功能	166
三、其他 IC 类输入	136	第一节 转速的计算	166
第二节 模拟信号输入和处理	136	一、瞬态转速及离散化处理	166
第三节 开关类信号输入和处理	139	二、平均转速	167
第四节 执行输入动作的时机设置	139	三、依托曲轴信号的转速计算	168
一、定时设置	139	四、依托凸轮轴信号的转速计算	170
二、定位设置	140	第二节 每次供油量的实现	171
三、混合设置方式	142	一、共轨系统每次供油量	171
第七章 输入信号的处理	143	二、电控单体泵系统每次供油量	172
第一节 曲轴和凸轮轴角位移信号处理	143	三、电控分配泵系统每次供油量	173
一、曲轴与凸轮轴转角脉冲信号的 时序	143	四、燃油温度补偿	174
二、凸轮轴转角脉冲信号的输入 处理	143	五、每次供油量不均衡现象的校正	175
三、曲轴脉冲信号的输入处理	144	六、电源电压因素的处理	176
第二节 模拟量输入后的处理	145	七、停缸运行控制	177
一、输入的模拟量	145	第三节 供油提前角的确定和供油时机 控制	177
二、模拟量输入的软件滤波函数	147	一、电控高压共轨和单体泵系统的供 油提前角计算	178
三、模拟量的进一步处理	147	二、供油提前角的计算时机和供油的 执行	180
第三节 开关量输入的处理	150	三、电控分配泵系统的供油提前角 控制	181
一、对机械电开关输入的消颤	150	四、高压共轨系统多次喷射	183
二、开关量的输入函数	150	五、利用凸轮轴信号实现供油提前角 计算	186
第八章 输出控制和驱动函数	152	第四节 角加速度的计算和运用	189
第一节 电控油泵和喷油器驱动函数	153	一、角加速度在运动控制中的意义	190
一、驱动电控单体泵系统的高速 电磁阀	153	二、角加速度的离散化计算	191
二、驱动电控共轨系统喷油器	155	三、角加速度的应用实例	191
三、驱动电控分配泵的油量控制 滑套	156	第五节 PID 控制在电控柴油机中的 应用	194
第二节 脉宽驱动函数	157	一、PID 控制的原理	194
一、脉宽驱动的概念	157	二、PID 参数的整定	195
二、脉宽驱动的实现	157	三、PID 控制在电控柴油机中的主要 应用	196
三、脉宽驱动的实例——控制 EGR 阀	158	第六节 共轨系统轨压的控制	197
第三节 开关控制	161	一、目标轨压脉谱	197
一、开关驱动的概念	161	二、目标轨压的 PID 控制	198
二、开关驱动的实现	162		
三、开关驱动的实例	162		

三、轨压 PID 控制函数和任务	198	五、限速工况的处理函数	236
第七节 用 PID 方法控制电控分配泵滑套位置	200	第七节 超速工况	236
一、实现滑套位置 PID 控制过程的要素	201	第八节 控制工况的扩展	237
二、滑套位置 PID 控制函数和任务	201	一、急加速工况	237
第十章 柴油机控制策略的实现	204	二、急减速工况	238
第一节 总体策略框架的实现	204	三、车速限制工况	239
一、控制策略的工况划分	205	四、按档位区分的工况	239
二、主体控制流程	207	第十一章 电控柴油机的调试与标定	240
三、CMPT 任务函数的实现	207	第一节 外界与 ECU 的通信	240
四、控制策略的调用时机	208	一、ECU 的数据通信	240
第二节 停止工况	209	二、CAN 总线通信技术	242
一、进入停止工况	210	三、实时通信功能 CommunFun	244
二、由停止工况转出	210	四、调试与标定软件系统的概念	244
三、停止工况的处理函数	210	五、上位机指令伺服系统 HiLeSer	244
第三节 起动工况	212	第二节 调试与标定软件系统	245
一、进入起动工况	212	一、独立数据显示	246
二、由起动工况转出	212	二、独立数据标定	247
三、起动工况的控制策略	213	三、数据的图形显示	251
四、起动工况的控制脉谱	214	四、脉谱的显示与标定	252
五、起动工况的处理函数	216	五、诊断功能	256
第四节 怠速工况	219	第三节 国内外几种调试与标定软件系统的典型实例	256
一、进入怠速工况	220	一、EMCS 1.09 系统功能和操作简介	256
二、由怠速工况转出	220	二、HT-Link 系统功能和操作简介	261
三、怠速工况的控制策略	220	三、其他电控标定系统简介	263
四、怠速工况的控制脉谱	221	四、INCA 系统	265
五、怠速工况的处理函数	222	五、调试与标定软件系统的发展与完善	268
第五节 常规工况	227	第四节 ECU 模拟调试环境	270
一、进入常规工况	228	一、对模拟调试环境的要求	270
二、由常规工况转出	228	二、实现模拟调试环境的方法	271
三、常规工况的控制策略	228	三、两种电控柴油机信号模拟系统	275
四、常规工况的控制脉谱	230	四、使用柴油机信号模拟系统检验 ECU 功能	276
五、常规工况的处理函数	230	五、柴油机电子模拟系统的发展和完善	276
第六节 限速工况	234	第五节 电控燃油系统的泵台试验	277
一、进入限速工况	234	一、电控燃油系统主要的性能指标	278
二、由限速工况转出	234		
三、限速工况的控制策略	234		
四、限速工况的控制脉谱	235		

二、电控燃油系统泵台试验的实现	280	一、转速波动对限速标定的影响	305
三、泵台试验的实际步骤	282	二、限速节点的设置和相关标定	
四、高压共轨燃油系统的泵台试验	284	原则	305
第六节 调试与标定的准备	285	三、限速性能标定过程	307
一、对电控柴油机测试台架的要求	285	四、超速性能测试	307
二、电控柴油机系统安装	286	第七节 对环境要素的调控	307
三、上位机的配置及软件系统安装	286	第八节 标定工作完成后的数据处理	308
四、起动试验前的检查	286	第九节 电控柴油机车辆标定初步	308
第十二章 柴油机台架标定的一般		一、电控柴油机车辆标定概述	309
步骤	288	二、油门油量标定	310
第一节 标定工作前的数据准备	288	三、其他的车辆标定问题	311
一、供油特性脉谱	288	第十三章 电控共轨柴油机控制	
二、各传感器的特性数据	289	程序	314
三、其他数据和独立参数脉谱	289	第一节 基本控制模型和资源需求	314
第二节 起动前的标定工作	290	一、EDBM_CRD 的基本模型	314
一、冷却液温度传感器脉谱的标定	290	二、EDBM_ECU 应具有的基础软件	
二、进气压力和温度传感器的标定	290	功能	315
三、轨压传感器脉谱的标定	291	三、软件的模块结构	316
四、燃油温度传感器脉谱标定	291	四、关于程序符号设置的规定	317
五、加速踏板脉谱标定	291	五、基本参数	318
六、其他传感器脉谱的标定	292	第二节 控制程序的要点	318
七、轨压的确定	293	一、控制程序功能综述	318
第三节 起动工况标定	293	二、控制程序流程图	320
一、确定数据的原始值	294	三、对执行器的驱动函数	321
二、做好怠速工况初始设置	295	四、变量的设置	322
三、执行起动操作	295	五、脉谱的设置	322
四、起动过程的细致调节	295	六、通信功能的设置	323
第四节 怠速工况标定	296	七、任务编号的设置	323
一、确定数据的初始值	297	第三节 控制层源程序	324
二、怠速工况的初步标定	298	一、基础软件资源模块	324
三、怠速工况的细致标定	299	二、全局变量定义模块	326
四、怠速工况与常规工况间过渡		三、脉谱数据定义模块	329
问题	300	四、通信宏定义头模块	330
第五节 常规工况标定	301	五、控制层用户函数声明模块	335
一、确定数据的初始值	301	六、控制功能模块	336
二、外特性标定	302	七、控制程序的编译、连接和写入	357
三、可用工作区标定	304	第四节 利用模拟运行设备做调试	358
四、最大扭矩限定	304	一、模拟运行设备的选择和连接	358
第六节 限速和超速工况标定	305	二、用示波器检验相位	359

三、调整供油控制驱动波形	360	一、选择原型机	397
四、传感器输入的模拟调试	360	二、结构改造	398
五、各工况的模拟调试	360	三、线束的配置	402
第五节 在柴油机试验台上的调试	363	第三节 燃油系统装机前的检查和调试	403
一、轨压控制的实现	363	一、燃油系统的试验台安装和配置	404
二、试验台的配置和柴油机的安装	363	二、燃油系统的试验台运行	406
三、停止工况	364	三、ECU10 工作变量的使用	407
四、起动工况	364	四、燃油系统的试验台轨压标定	410
五、怠速工况	365	第四节 柴油机起动前的各项准备	414
六、常规工况和限速工况	365	一、传感器性能和安装连接确认	414
第六节 外围设备的控制功能	366	二、线束安装和 ECU 写入	417
一、EGR 控制	367	三、电控系统启动、检测、基本 数据输入	418
二、低温冷起动系统控制	370	四、传感器脉谱标定	419
三、冷却风扇控制	375	五、同步参数标定	420
四、空调控制	376	六、起动参数标定	422
五、其他额外载荷控制	380	七、怠速控制参数标定	423
第十四章 电控单体泵和电控分配泵		八、放开相关限制量	424
柴油机控制程序	381	第五节 柴油机标定操作	425
第一节 电控单体泵柴油机控制程序	381	一、起动工况标定	425
一、基本控制模型和控制资源的 差异	381	二、怠速工况标定	426
二、控制策略的差异	381	三、常规工况标定	427
三、控制程序的制作	382	四、限速工况标定	433
四、控制程序的调试与排错	384	五、重写控制程序	433
第二节 电控分配泵柴油机控制程序		附录 关于 EDBM_ECU 基础功能 的说明	434
概述	384	第一节 EDBM_ECU 硬件功能的说明	435
一、基本控制模型和控制资源的 差异	385	一、EDBM_ECU 模型资源	435
二、控制策略的差异	386	二、电源问题	435
三、控制程序的调试与排错	386	三、其他扩展通道	436
第十五章 电控柴油机工程实践		第二节 EDBM_ECU 基础软件功能的 说明	436
简介	388	一、供控制层使用的函数资源	437
第一节 新风高压共轨系统	390	二、通信功能	440
一、共轨系统的机械部件	390	三、调试与标定软件	441
二、新风 ECU10 控制器	392	参考文献	443
三、工作特点和注意事项	396		
第二节 柴油机原型机的选择和改造	397		

引 论

近年来,柴油机电控技术已经在一些工业先进国家得到了较充分的发展,国内自主发展起来的柴油机电控技术也有了长足的进步,已处在开始应用普及的阶段。造成这种技术发展态势主要有以下原因:

1. 对柴油机控制性能的追求

随着柴油机制造技术的不断提高,对于柴油机工作性能的研究不断深入,影响柴油机工作性能的诸多因素已经逐渐被人们了解。这些因素中有的与零部件的结构特征有关,如:进气道的形状、气阀的流通截面积、燃烧室的形状、喷油角度与燃烧室形状的配合等;有的与零部件的制造材料有关,如:选用特殊材料制作的活塞环,能够成倍地增加使用寿命;也有的与零部件的制造工艺有关,如:在曲轴主轴颈圆角位置采用滚压加工,可以增加曲轴的疲劳寿命等。

在柴油机结构性能日趋完善的条件下,人们发现:柴油机的控制性能逐渐成为影响柴油机性能进一步提高的关键因素。例如:传统的机械式高压燃油系统配合机械式或机械液力式调速器,无法满足对于供油时机的选择需求。对于柴油机燃烧性能的一般性研究结果告诉我们:当柴油被以雾状喷入柴油机气缸后,其完成燃烧准备的过程与多种条件相关。当这些条件一定时,完成柴油的气化需要一段确定的时间。柴油机转速上升时,在这段时间内曲轴转过的角度会增大。因此,为了获得理想的燃烧起点,这时应增大供油提前角以保证燃烧准备的需要。但喷入气缸的燃油所需的雾化时间还与每次喷入气缸的燃油量有关。从需求上说,较大的每次喷油量需要较长的燃烧准备时间。更进一步说:燃烧准备时间还与当前柴油机的热状态相关,可以认为受冷却液温度影响。在较高的冷却液温度下需要的燃烧准备时间较短。过去使用的多种机械式的“供油提前角调整器”仅能够随着转速增加增大供油提前角,无法实现针对多种因素的控制调整,不能完全满足控制的需求,有的还会大大地增加设备成本。

随着柴油机使用范围的不断扩展,针对特殊使用环境的柴油机控制需求也越来越多。如何在高原条件下实现正常工作?如何在高寒条件下实现顺利的起动?如何在高温条件下保护柴油机不受到破坏?如何在各种工况下保障燃烧质量?类似问题的研究结论往往会提出针对性的控制需求。这些控制需求如果都用专门的控制机构来实现,则柴油机附属的独立控制机构会越来越多,成本会大大增加。另一方面,柴油机必须能够适应突然施加的某些载荷。当

驾驶员操纵车辆正常行驶时,柴油机的载荷不仅是单纯的行驶阻力,还有车辆内部设备产生的载荷。当车辆上较大功率设备(如用于制动的空气压缩机等)开始运行时,会造成载荷的突变,这种突变绝不是驾驶员能够通过应急操作动作来应对的,因为其发生的时机是随机的。如果没有有效的方法对这种载荷的突变做出应对,自动对每次供油量做出补偿性调整,则会造成柴油机转速的波动,影响驾驶的平稳性。

对于柴油机性能的高要求涉及了对各缸供油量的精确控制。由于制造与使用情况的不一致,会造成在同一加速踏板位置下不同气缸供油量不一致,这种不一致会造成柴油机转速波动的异常,影响其工作性能。对于传统的机械燃油系统,一般是对于系统在额定工况下的每次供油量做标定,使各缸供油量在这一点上的每次供油量达到一致。但对于其他的工况点,只能通过工艺水准的一致性来保证,常常不能完全保证这种一致的供油量。在经过一段使用时间后,由于磨损和其他原因也会造成各气缸每次供油量产生差异。为了保证柴油机在长期工作中各缸的动力均匀性,需要一种可以按不同气缸、不同工况点、个别地调控各缸每次供油量的设备能力。

另外,还有其他的一些对柴油机控制性能的日益细化的要求。要满足这些要求对于传统的机械、液压和电气控制设备显得无能为力。由于这种情况的增多,人们希望获得更为灵活、简便、智能化的控制能力。电子控制系统的出现,为满足这种希望提供了可能。

2. 智能电子控制设备的发展

20世纪70年代,世界上出现了第一枚微处理器芯片。这种设备引发了20世纪的一场工业革命,造成了计算机技术在几乎所有社会生产与生活领域的普及应用。经过近四十年的发展,微处理器的制造技术达到了超大规模集成电路的阶段,在一片 5mm^2 的半导体基板上,可以集成几百万至几千万个晶体管,从而实现复杂的逻辑处理功能。

从20世纪80年代开始,一种新型的微芯片元件得到日益普遍的应用,这就是单片计算机。它将中央处理器(CPU)、时钟发生器、随机读写存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦除只读存储器(EPROM)、模/数转换器(A/D)、输入/输出等完全集成在一片半导体基板上。可以说,这样一个芯片就是一台完整意义上的计算机,可以完成独立的处理功能。

以这种单片机为核心的设备逐渐在许多工业自动控制领域中得到日益普遍的应用。目前它几乎无处不在:从手机、电视、影碟机到微波炉、洗衣机、电冰箱和其他许多我们熟悉的设备中,都能找到它们的身影。以这种单片机为核心的独立电子控制设备,称为电控单元(即 Electronic Control Unit),简称 ECU。

由于电子技术、计算机技术和超大规模集成电路制造技术的发展,以及 ECU 技术的逐渐完善和实用化,使得 ECU 技术在内燃机工程领域得到了日益广泛的应用。目前,ECU 已成为内燃机的主要核心部件,或者说,是内燃机最重要的部件之一。

3. 节约能源和环境保护

近半个世纪以来,能源问题逐渐成为影响国际政治、经济、发展格局的重要因素,整个人类社会面临着地球石油资源日趋枯竭的现实。由于全世界范围内至今尚未有应对石油资源枯竭的可靠手段,因此通过技术改进来节省能源,减少石油资源消耗,尽量地推迟石油资源耗尽那一天的来临,以实现为社会能源需求发展到下一个能源时代做好技术准备,这成为了一种共识。燃油价格的上涨,也从市场角度对燃油的消耗产生了一定制约。追求内燃机的低

油耗,成为所有内燃机生产厂商的共同目标。采用电子计算机控制内燃机的技术,能够比以往依赖机械、液压、电气控制系统拥有更精准的控制能力,能够按照最理想的控制策略组织和实现较理想的内燃机燃烧过程。在结构条件保证的前提下,通过对最佳燃烧时机的调控,实现较完美的热功转换过程,使热效率得到明显提高。最突出的是可以实现随着动态的工况对燃烧控制策略做出对应的实时调整,使得在内燃机整个工作区域内都实现较理想的热效率,最终达到更低的单位输出功油耗的效果。

在同一时期内,世界工业发展总量急剧扩充,由包括内燃机排放在内的原因带来的污染造成日益严重的环境破坏。内燃机造成的主要污染来自其工作时排出的一氧化碳(CO)、碳氢化物(HC)、氮氧化物(NO_x)和固体颗粒(主要是碳粒)等。内燃机燃烧工况中的工质状态对于这些污染物的生成有着重要的影响。某些专门的研究指出:通过对燃烧过程组织方式的改变,可以使污染物的生成量得到明显的抑制。由于这些对燃烧过程的组织方式都需要精准地控制影响燃烧过程的诸因素,因此,最终也只有使用电控的方式,才能实现预定的控制意图。

对于柴油机排放物成分的制约已经通过政府部门的政策而成为一种强制性的规则。近年来对国内影响最大的是国Ⅲ和国Ⅳ标准,这是由中华人民共和国国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫总局共同发布的国家标准,主要包括GB 18352.3—2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》和GB 17691—2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》。对比其他内燃机,传统的柴油机排放效果是较差的,以上这两项标准的强制实施,使得各柴油机生产企业不得不考虑在自己的产品中引入电控技术,以图对排放效果的改进。其中有的厂商已经推出符合国Ⅲ和国Ⅳ标准的柴油机产品并装车使用。由于现有的实现柴油机国Ⅲ和国Ⅳ排放手段中几乎都采用了电控技术,所以甚至有人完全混淆了电控技术和排放技术这两个概念。实际上电控技术不仅是国Ⅲ和国Ⅳ技术的基础,而且也是实现未来更高排放标准的技术基础。电控技术不只是对于改进柴油机排放有意义,它对于柴油机的动力性、经济性、操控性、振动和噪声、配套部件的协调、与所驱动设备(车辆等)的一体化融合等传统技术指标的改进和新技术项目的发展,都具有重要和深远的意义。

在柴油机控制中引入电控技术,使得柴油机由传统的纯机械或机械—电气一体化产品发展成为机械—电气—计算机一体化产品,这可以看成是柴油机发展里程上的一次革命性的变革。这次变革使柴油机这种长期以来被认为是噪声较大、排放不佳、难登“大雅之堂”的动力设备,一跃成为满足一些高档动力需求的可选项。在欧洲,近年来使用柴油机作为轿车的动力设备,已经成为一种很常规的选择。在克服了柴油机传统的缺点后,由于柴油机固有的优点,如:动力强、低速转矩较大、油耗低、燃油成本低及安全性好等,使其成为轿车动力的新宠。

了解电控技术并把握其发展和应用的基本要素,已成为每一位柴油机专业人员必须面对的问题。我们可以针对柴油机电控技术的发展做出以下预测:

- ① 新研发的柴油机都会是电控柴油机,几年后生产的柴油机都会是电控柴油机。
- ② 柴油机电控技术会成为柴油机核心技术的组成部分。
- ③ 对柴油机电控技术的自主能力会成为柴油机工业自主能力的基本要素。
- ④ 柴油机制造厂能否掌握柴油机电控技术关系到未来对自己产品的话语权。

⑤ 国内柴油机电控技术的自主能力关系到整个国内柴油机产业的未来命运。

由于以上原因,要求目前国内柴油机生产制造企业的决策者更加关注柴油机电控技术的诸多方面要素,关注该技术对柴油机产品的开发、制造、生产、销售和服务带来的影响,以摆脱或避免眼前和未来的被动局面;而柴油机专业技术人员,应该学习掌握柴油机电控技术的相关内容为本职工作提供支持。

本书将为读者提供柴油机电控化的知识基础和应用指导,使读者具备系统的柴油机电控技术知识。专业的柴油机电控技术人员能够通过学习实践掌握柴油机控制程序设计的基本方法,参与柴油机电控技术的具体实际工作。

从本书第1版出版后到今天,车用柴油机产业的技术态势一直处在较大的发展变动之中。政府有关部门已经出台相关政策:在2013年7月1日后,所有低于国IV标准的道路车辆用柴油机产品将无法获得新的生产许可。如果这一政策得以严格执行,则“柴油机都是电控柴油机”将成为产业的现实。

第一章

概 论

第一节 柴油机电控化技术发展概述

柴油机电控化技术,是一种用计算机来实现对柴油机工作过程优化控制的技术。它使用计算机控制技术替代了传统柴油机中通过机械、液力和电气手段对供油时机、供油量、转速、起动特性、加速特性、限速特性、超速保护等参数和工况的控制,为的是获得更好的控制效果。随着柴油机电控化技术的发展,其应用范围也在不断扩充,柴油机上可用计算机控制的对象越来越多。而由于电控技术的发展,柴油机的内部结构和外围部件也在其反作用的影响下,有了新的发展方向。如:电控进排气门、电控可调增压器喷嘴环、电控废气再循环阀、电控低温冷起动助燃设备等都是柴油机电控化技术应用发展的产物。因此,电控技术不仅能应用于柴油机,同时也促进柴油机技术自身发生了重大变革。

一、柴油机电控化技术的发展历程

作为一种自动化控制设备,柴油机电控系统与其他自动控制系统相似,也是主要由传感器、执行器和控制器三部分组成。其中传感器、控制器的技术与其他领域的电控技术没有原则上的区别,只是在具体需求上有一定的特殊性。但在执行器方面却集中反映了柴油机电控系统的主要特征,其中最主要的执行器是柴油机电控供油系统。因此,对于柴油机电控技术发展的阶段划分,目前主要是按照柴油机电控燃油系统的发展阶段来进行的。

柴油机电控化技术最早的发展主要是集中在对燃油系统的控制。直到现在还有业内人士习惯称柴油机电控系统为柴油机电喷系统。其实,由于这种技术本身的发展,至今其技术内涵远远超出了控制喷油的范围,已经包含了日益增多的控制内容。

1. 位置控制式

从20世纪70年代起,随着微处理器技术的发展,对柴油机电控技术的研究开始起步。最早的电控燃油系统被称为位置控制式。这种系统保留了传统机械系统的喷油泵、高压油管和喷油器,同时也保留了传统高压油泵中调节供油量的齿条、齿圈、柱塞套和柱塞上用于调节每次供油量的斜槽等。但供油量调节齿条不再是通过机械式离心调速系统来调控,而是通过电子控制系统操作电磁执行器或位置控制电动机来调控。这种系统对柴油机本体不需做什么改动,继承性较好,便于对现有柴油机做改造。这种系统的控制自由度与原系统相比没有

进步,控制精度提高得也不多。

位置控制式的电控燃油系统在直列泵和分配泵上均有应用。如:日本小松公司1987年开发了KP21型电控直列式油泵;1989年日本电装公司开发了ECD电控直列式油泵;1993年,德国博世公司开发出带控制滑套的直列式油泵Rp43;此外,美国的卡特皮勒公司也曾推出类似的产品PEEC系统。在国内,无锡油泵油嘴研究所也曾实现过此类系统,业内习惯称之为“电调”系统。位置控制式的技术目前在某些柴油机中还有应用,本书中提到的电控分配泵也属于这个范畴。

2. 时间控制式

时间控制式电控喷油系统目前有较多应用。这种方式可大致理解为用高速卸载电磁阀替代了传统的调节供油量的齿条、齿圈、柱塞套和柱塞上用于调节每次供油量的斜槽,但油泵柱塞依然按原来的方式由凸轮轴驱动进行压油工作。高速卸载电磁阀在柱塞腔的上方,当电磁阀放开时,柱塞腔与进油道相通,柱塞上行只会使燃油回到进油道。但如果在柱塞上行期间的某一时段内关闭高速卸载电磁阀,柱塞上方将形成封闭的高压油腔,压力会迅速上升并通过高压油管和喷油器喷入气缸。通过对柱塞上行期间供油时段的选择,可以对供油提前角和供油持续角做出调整,对供油持续角的调整等同于对每次供油量的调整。

从这种电控喷油系统的原理可以看出,它已经在相当程度上摆脱了机械结构对供油时机的限制,可以利用柱塞上行过程中的任一段实现供油,从而获得理想的供油正时。由于只能利用柱塞上行时段实现供油调整,所以供油还是一定程度上受限于供油泵凸轮结构的,这使得供油压力受转速影响较大。实际使用证明了这种系统对于改善柴油机性能大有帮助,可以借助这种系统实现国Ⅲ标准排放。国外较有代表性的产品是德国博世公司的EUP系列电控单体泵,国内有威特公司的WP-2000和WP-1000等,在实用中获得了很好的性能。使用这种电控泵,最大喷油压力可达130~160MPa,可以明显地改进燃油雾化效果。

时间控制式电控喷油系统目前已经被国内柴油机生产厂商所接受,有的专业人士认为它将是下一阶段国内最有可能广泛流行的系统。国内自主生产这种燃油系统的时间还不长,但市场需求量很大。由于国产化造成销售价格下降,预计在近几年产量会有较大增加。

3. 时间压力控制式

时间压力控制式电控燃油系统。这种系统的特点是有有一个各缸共用的高压燃油容腔。这一高压油腔英文原名为Common Rail,即公共轨道。因此国内习惯称这种系统为高压共轨系统,有人称为CR。我们将共轨系统的这一高压燃油容腔称为高压油轨或简称油轨。一般高压油轨被安装在气缸盖侧方呈管状与机身长度方向平行。在与各气缸相对的位置,引出高压油管连接对应气缸的喷油器。共轨系统的喷油器受电驱动信号控制。当存在驱动电流时,共轨系统喷油器的高速电磁泄压阀会被打开,引发喷油器针阀两端压力差升高、针阀抬起、燃油喷入气缸。由于这种系统在油轨内压力一定时,每次供油量大体与供油时间成正比,因此也被称作时间压力式控制系统。高压共轨系统具有很突出的特点:

- 1) 燃油喷射压力独立于柴油机转速和负荷。在柴油机低转速下,仍可实现较高的燃油喷射压力。这可以使柴油机低速低负荷时的性能得以改善。
- 2) 对喷油时机和喷油量的控制非常自由。
- 3) 对喷油规律的调节能力很强。喷油控制仅取决于高速电磁阀这一运动件,由于这个运动件质量比较小,因此运动惯性也很小。实际控制时,可以实现在一个工作循环内的多次