

QICHE FADONGJI JISHU ZHONGDE
SHENJING WANGLUO FANGFA

汽车发动机技术中的 神经网络方法

吴义虎 著



人民交通出版社

QICHE FADONGJI JISHUZHONG DE

SHENJING WANGLUO FANGFA

汽车发动机技术中的 神经网络方法

吴义虎 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书介绍神经网络理论在汽车发动机性能建模、优化匹配、控制和故障诊断等方面的应用方法。本书主要内容包括:常用神经网络结构及学习方法,车用发动机动力性、燃油经济性和废气排放特性与发动机运转参数之间关系的神经网络建模方法及实例,利用神经网络模型优化匹配运转参数来优化发动机性能、基于神经网络的车用发动机控制及故障诊断等。

本书的读者对象为汽车、发动机工程技术人员,大专院校汽车专业和内燃机专业的教师、本科生、研究生等。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机技术中的神经网络方法/吴义虎著. - 北京:人民交通出版社, 2000
ISBN 7-114-03584-5

I. 汽… II. 吴… III. 神经网络-应用-汽车-发动机 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 12391 号

汽车发动机技术中的神经网络方法

吴义虎 著

版式设计: 周 园 责任校对: 张 捷 责任印制: 张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.375 字数: 150 千

2000 年 6 月 第 1 版

2000 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—1000 册 定价: 12.00 元

ISBN-7-114-03584-5

U·02586

前 言

发动机是汽车的心脏,发动机性能的优劣直接决定了汽车性能的好坏,随着汽车保有量的不断增大,人们对汽车的动力性、燃油经济性和排气污染等主要性能的要求日益苛刻,传统的发动机设计、研究方法已很难使发动机的综合性能得到全面的提高,目前的汽车电子技术和智能控制技术在汽车、发动机上的应用正在使汽车发动机技术经历着一个突破性大发展的过程。

神经网络理论是在研究人脑生理和心理过程的基础上发展起来的,具有模仿人脑思维的功能,特别是在非线性系统、复杂系统建模方面具有独特的优势,目前神经网络在模式识别、图像处理、自动控制、专家系统等方面的应用取得了令人鼓舞的成果。由于汽车发动机是一个复杂的系统,发动机性能受到众多因素的影响,各种因素对发动机性能的影响是强烈非线性的,因此利用神经网络方法对汽车发动机进行研究具有重要的意义。作者在多年从事有关神经网络在汽车发动机上应用的科学研究、教学工作的基础上,特别是在博士学习阶段课题研究实践的基础上,集论文及有关文献资料综合整理、系统地编著成本书。本拙著期望能给汽车、内燃机界各位同仁在应用神经网络理论开拓发动机性能提高新方法方面提供点滴新的思路和启发,起抛砖引玉之用。由于作者水平有限,谬误之处在所难免,诚恳地与读者、专家和学者讨论、磋商。

黄天泽教授、曾利权教授和张志沛教授是作者进行发动机研究的多年指导老师,借本书出版的机会,作者感谢三位师长对我始终的关心和帮助。

作者特别感谢长沙交通学院汽车工程系张利军、苏汉元两位老师在本书写作过程中给予的支持和帮助。

最后,在本书的写作过程中,作者查阅和参考了大量的中外文献,引用了有关文献中的有关资料,在此谨向这些文献的作者,译著者表示衷心的感谢。

吴义虎

1999年8月于长沙

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 车用发动机的现状与发展趋势	1
§ 1.2 汽车发动机性能研究的一般方法	17
§ 1.3 神经网络理论在汽车发动机研究中的应用概述	22
第二章 神经网络理论基础	25
§ 2.1 神经网络模型	25
§ 2.2 前向网络	31
§ 2.3 反馈网络	37
§ 2.4 自组织神经网络	43
第三章 神经网络的学习方法	51
§ 3.1 Hebb 学习规则	51
§ 3.2 梯度下降法	52
§ 3.3 最优化算法	58
第四章 基于神经网络的车用发动机性能建模	69
§ 4.1 车用发动机性能及其影响因素	69
§ 4.2 车用汽油机动力性模型及分析	74
§ 4.3 车用汽油机燃油经济性模型及分析	84
§ 4.4 车用汽油机废气排放污染物浓度模型及分析	88
§ 4.5 神经网络建模过程几个具体问题	101
第五章 基于神经网络的车用发动机性能预测及优化	104
§ 5.1 发动机性能预测方法	104
§ 5.2 基于神经网络的发动机性能预测	105
§ 5.3 车用发动机性能评价及优化方法	109
§ 5.4 基于概率分布的发动机经济性优化实例	122

第六章 基于神经网络的车用发动机实时控制	129
§ 6.1 车用发动机电子控制技术现状及发展趋势	129
§ 6.2 车用发动机实时控制目标	131
§ 6.3 基于神经网络的发动机实时控制方法	133
第七章 基于神经网络的车用发动机故障诊断	141
§ 7.1 基于故障树分析的发动机故障诊断	143
§ 7.2 基于神经网络的发动机故障诊断方法	148
§ 7.3 车用汽油机失火故障诊断实例	153
参考文献	164

第一章 绪 论

§ 1.1 车用发动机的现状与发展趋势

汽车问世一百多年来,汽车的生产规模和保有量不断增大,据统计,从1993年至1998年,世界汽车总产量连续6年在4700万辆至4900万辆,1993年全世界汽车保有总量达6亿2千多万辆之巨,目前我国汽车年产量达150万辆左右,保有量超过1000万辆,随着汽车产量和保有量的不断增大,在对人类文明做出巨大贡献的同时,也给人类的生存环境带来了越来越明显的负面影响,具体表现在如下几个方面:

第一,环境方面:汽车对环境的危害主要表现在大气污染、噪声、粉尘、电磁干扰、废旧材料污染等方面,尤其以大气污染最为严重,汽车排气中的一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化合物(NO_x)和微粒(PM)等,给人类赖以生存的大气环境带来严重破坏,据有关报道我国的北京、上海等大城市已进入世界十个大气污染最严重的城市行列,其罪魁祸首就是汽车的废气排放,全世界每年排放的CO₂中汽车占10%,造成地球逐渐变暖,汽车空调中大量使用氟里昂,对保护地球免受大量紫外线侵蚀的臭氧层造成破坏。

第二,能源方面:汽车是石油产品的主要消耗者,据统计全世界的石油产品约46%被汽车消耗,本世纪两次全球性的能源危机说明了汽车降低油耗和开发新能源是十分迫切和必要的,各国汽车、内燃机工作者,一直将降低汽车油耗作为重要的研究课题,并取得了丰硕的成果,例如美国轿车平均实际油耗从1979年的

8.64km/L到1995年的12.0km/L,德国轿车的油耗1994年与1978年相比降低了23.7%,而且随着技术的进步,汽车油耗将大幅度降低。

第三,安全方面:据1993年对世界上52个国家约17.5亿人口的统计,共发生公路交通事故623万起,伤816万,死31万人,另据中国交通年鉴统计,1994年我国共发生道路交通事故253537次,伤148817人,死亡66362人,经济损失133383万元,因此,道路交通事故造成的伤亡人数,比世界上任何局部战争造成的伤亡人数大得多,随着汽车保有量的不断增大和汽车行驶速度的提高,如何提高汽车主动安全性和被动安全性已日益引起人们的重视,而且目前已广泛采取了一些安全技术,如ABS汽车防抱死制动系统、安全气囊、乘员安全带等。

由于汽车带来的诸多弊端,各国政府高度重视汽车的废气污染、油耗和安全等问题,纷纷制定有关汽车的排气、油耗和安全法规,从而强制提高汽车的性能,这些法规也起到推动汽车技术进步的作用,使目前汽车的性能得到了大幅度的提高。由于活塞式内燃机具有较高的比功率和实际可高达0.5的有效热效率,在相当时期内其他汽车发动机是达不到的。因此目前汽车发动机中主要是汽油发动机和柴油机,虽然柴油机在油耗和排放方面相对汽油机有一定的优势,但在比功率和噪声方面比汽油机尚有一定距离。近年来随着直喷式柴油机的技术大幅度进步,装车的趋势在不断的增大,但总的来看,轿车柴油机在全球范围内达到了20%,但80%的轿车发动机还是汽油机。如前所述,各国制定了各种法规来规范汽车的技术性能指标,从这些法规可以看出目前车用汽油机动力性、燃油经济性和排放性能的水平和发展趋势。

一、动力性方面

随着汽车行驶速度的提高,要求汽车发动机的功率增大,由于汽车特殊的使用条件,不允许发动机过大的体积,因此在保证可靠性的前提下,提高发动机单位排量的额定功率一直是发动机研究

设计追求的目标之一,升功率和扭矩是反映发动机动力性的主要指标。1997年7月8日~14日,在97'北京国际汽车、摩托车及工艺装备展览会上日本三菱汽车公司展示了它10年来潜心研究的成果——GDI(gasoline direct injection)缸内直接喷射汽油机的Galant轿车,发动机型号为4G93(GDI),缸径 $\times$ 行程(mm)为81.0 $\times$ 89.0,总排量为1.834L,压缩比达12.0,最大功率达112kW/6500r/min,升功率达65kW/L,最大扭矩达180N $\cdot$ m/5000r/min。丰田公司1993年8月开发出2MZ—FE汽油机,V6缸,缸径 $\times$ 行程(mm)为87.5 $\times$ 69.2,压缩比为10.8,总排量为2.496L,最大功率达到147kW/6000r/min,升功率达58.9kW/L,最大扭矩达到245N $\cdot$ m/5000r/min。对于轻型轿车用的汽油机,日本大发公司于1995年8月开发了双凸轮轴3缸汽油机EF—ZL,缸径 $\times$ 行程(mm)为68 $\times$ 60.5,总排量为0.659L,压缩比为10.0,电喷汽油,SDI点火装置(Single Direct Ignition),最大功率40kW/7500r/min,升功率60.7kW/L,最大扭矩61N $\cdot$ m/4000r/min。德国Audi公司为配合A4型轿车投放市场,于1994年秋推出了一种新型4缸5气门汽油机,缸径 $\times$ 行程(mm)为81 $\times$ 86.4,总排量1.871L,最大功率92kW/5800r/min,升功率51.65kW/L,最大扭矩173N $\cdot$ m/3950r/min。目前提高汽油机动力性的主要手段是提高发动机额定转速,提高较低转速下的扭矩,在不增加发动机排量的情况下,满足汽车动力性提高的要求。国内车用汽油机在动力性方面距国外先进水平尚有较大差距,表1-1为我国批量生产的轻型车用汽油机主要动力性指标,目前国产汽油机仍然大量使用化油器,开发中的车用汽油机拟采用燃油喷射系统,动力性将有较大的提高,如表1-2所示。

二、燃油经济性方面

汽车是石油产品的主要消耗者,据预测地球上可供开采的石油总量为9991亿桶,按目前汽车保有量的发展趋势,到2020年和2060年分别达到12亿和25亿辆汽车,而石油资源只能供全世界使用到2040年至2050年左右,显而易见,有限的石油资源与迅

我国大批量生产的轻型车用汽油发动机主要参数表

表 1-1

生产单位	发动机型号	缸数-缸径×行程 (mm×mm)	燃油系统 型式	排量 (L)	功率/转速 (kW/r/min)	扭矩/转速 (N·m/r/min)	升功率 (kW/L)	升扭矩 (N·m/L)
长动总厂	4G25	4-92×92	化油器	2.45	73.5/4000	191/2800	30	77.9
	4G27 ^①	4-95×95	化油器	2.69	88.2/4000	215.6/2800	32.8	79.9
	4G27 ^②	4-95×95	化油器	2.69	81/4000	206/2800	30.1	76.6
沈阳新光	491Q	4-91×86	化油器	2.237	68/4600	175/3000	30.4	78.2
一汽二发	GA488	4-87.5×92	化油器	2.21	64.7/4500	156.8/2800	29.3	76.0
北内集团	GM2.0	4-89×80	化油器	1.99	64/4800	152.5/2400	32.2	76.6
东风集团	OHC420	4-90.82×76.95	化油器	1.99	66/5000	152/3500	33.2	76.4
	OHC420I		化油器	1.99	72/5250	153/2600	36.2	76.9
北京吉普	C498Q	4-98.5×81.2	化油器	2.46	77.2/5200	179.3/2800	31.4	72.9
广州标致	XN1A	4-88×81	化油器	1.97	70/5500	160/3000	35.5	81.2
上海大众	JV14	4-81×86.4	化油器	1.8	66/5200	145/3500	36.7	80.5
一汽大众	EA827	4-81×77.4	化油器	1.6	53/5200	121/3500	33.1	75.6
武汉神龙	—	4-75×77	化油器	1.36	51/5500	108/3400	37.5	84.4
长安江陵	JL462	4-62×66	化油器	0.797	26.1/5500	55.46/3500	32.8	69.6
	JL368	3-68.5×72	化油器	0.796	26.5/5500	56/2500	33.3	70.3

续上表

生产单位	发动机型号	缸数 - 缸径 × 行程 (mm × mm)	燃油系统 型式	排量 (L)	功率/转速 (kW/r/min)	扭矩/转速 (N·m/r/min)	升功率 (kW/L)	升扭矩 (N·m/L)
东 安	DA462	4 - 62 × 66	化油器	0.797	27.2/5500	56.7/3500	34.2	71.1
	DA465	4 - 65.5 × 72	化油器	0.97	33.5/5000	72/3500	34.5	74.2
天 内	TJ376Q	3 - 76 × 73	化油器	0.99	37.5/5600	75.5/3200	37.5	75.5
	TJ370Q	3 - 70 × 73	化油器	0.843	30/5500	61.7/3200	35.6	73.2
贵航集团	GHK276Q	2 - 76 × 60	化油器	0.544	23/6000	40/3500	42.2	73.5

注：①该机型为动力型；②该机型为经济型。

近期投产的轿车用发动机主要参数表

表 1-2

生产单位	发动机型号	缸数-缸径×行程 (mm×mm)	燃油系统型式	排量 (L)	功率/转速 (kW/r/min)	扭矩/转速 (N·m/r/min)	升功率 (kW/L)	升扭矩 (N·m/L)
北京吉普	C498 QA	4-98.8×81.2	MPI	2.46	83/5200	187/2800	33.7	76.0
上海大众	AFE	4-81×86.4	MPI	1.8	72/5200	150/3100	40.0	83.3
一汽大众	EA113 ^①	4-81×77.4	MPI	1.6	74/5800	146/4000	46.3	91.3
一汽二发	CA488-3	4-87.5×92	MPI	2.2	73.5/5200	170/3200	33.4	77.3
天津微型	TJ376	3-76×73	MPI	0.99	40.5/6000	80.5/3600	40.9	81.3

注:①该机型为 5 气阀汽油机。

速增加的汽车耗油矛盾日益尖锐,石油资源已成为影响国民经济可持续发展的宝贵资源,已被提高到战略性的重要地位。鉴于此,很多国家制定了燃油消耗的法规和计划,如美国加州规定,到 2040 年,轿车和轻型车的油耗要分别减低到约 6.8L/100km 和 9.5L/100km,并在今后 10~15 年内,汽车平均油耗每年下降 2%,欧洲正在考虑把普通汽车税与油耗正比例挂钩。日本作为经济型汽车的主要生产国,规定 2000 年的轿车油耗要比 1990 年降低 8.5%。美国自 CAFE(Corporate average fuel economy)法规实施以来,美国的平均汽车油耗大约下降了 40%,表 1-3 为美国轿车及小型货车 CAFE 标准值和实际油耗状况。

表 1-4 为美国主要厂家和进口车厂家所产汽车的平均油耗实况。从中可以看出,美国国产车平均油耗要比进口车高,而向美国出口汽车的国家 and 地区主要是日本和德国等,特别是日本铃木公司的轿车和小型货车的 CAFE 值目前处于世界领先地位,尽管如此,日本在 90 年代中期提出了下个世纪初汽车燃油经济性的改善

美国轿车及小型货车 CAFE 标准值及油耗实绩 (英里/美加仑) 表 1-3

时 间	轿 车				小 型 货 车		
	政府标准	国产车	进口车	国产、进口车平均	政府标准	国产车	进口车
1979	19.0	19.3	26.1	20.3	17.2	17.9	20.9
1980	20.0	22.6	29.6	24.3			
1981	22.0	24.2	31.5	25.9	16.7	18.6	28.3
1982	24.0	25.0	31.1	26.6			
1983	26.0	24.6	32.4	26.4	19.5	19.6	27.1
1984	27.0	[25.6]	32.0	26.9			
1985	27.5	[26.3]	31.5	27.6	19.7	19.9	27.4
1986	26.0	26.6	31.6	28.2	20.5	20.1	27.3
1987	26.0	27.0	31.2	28.5	21.0	20.4	27.5
1988	26.0	27.4	31.5	28.8	21.0	20.6	24.6
1989	26.5	27.2	30.8	28.4	21.5	20.4	23.5
1990	27.5	26.9	29.9	28.0	20.5	20.3	23.0
1991	27.5	[27.3]	30.0	28.3	20.7	20.9	23.0
1992	27.5	[27.0]	29.2	27.9	20.2		21.0
1993	27.5	27.8	29.6	28.4	20.4		24.3
1994	27.5	27.3	29.6	28.2	20.5		
1995	27.5	27.5	29.7	28.2	20.6		
1996	27.5				20.7		
1997	27.5				20.7		
1998	27.5				20.7		
							20.8
							21.0
							20.6
							20.4

注: [] 值系未能达到政府标准值。

美国主要厂家企业平均体积油耗程长(CAPE)实绩(英里/美加仑)

表 1-4

厂 家	时 间									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995				
国内轿 车厂家	通用	27.1	27.1	26.7	27.4	27.4	27.2			
	福特	26.3	27.6	27.4	28.3	27.6	27.6			
	克莱斯勒	27.4	27.5	27.8	27.8	26.2	28.3			
	马自达	—	—	—	29.2	29.0	29.5			
	国产车平均	26.9	27.3	27.0	27.8	27.3	27.5			
进口轿 车厂家	丰田	30.8	30.9	29.1	29.1	29.0	30.0			
	本田	30.8	30.7	31.3	32.5	32.5	31.7			
	日产	28.5	29.2	30.2	29.4	29.7	28.8			
	马自达	30.2	30.5	30.7	31.0	31.2	32.4			
	三菱	30.4	30.3	28.2	29.4	28.9	29.4			
	富士重工	27.8	28.4	28.9	29.6	28.3	29.0			
	铃木	46.5	43.2	44.1	46.4	43.8	40.5			
	宝马		[23.2]	[24.0]	[25.2]	[25.1]	[25.2]			
	奔驰		[22.3]	[21.9]	[22.9]	[23.7]	[24.6]			
	大众/奥迪	29.1	29.9	29.2	[27.2]	28.1	28.3			
	沃尔沃	[25.1]	[25.3]	[25.6]	[25.9]	[25.6]	[25.8]			
	韩国现代	33.3	32.9	35.5	31.3	32.5	30.6			
	进口车平均	29.9	30.0	29.2	29.6	29.6	29.7			

续上表

厂 家	时 间	1990	1991	1992	1993	1994	1995
轿车政府标准		27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
小型货 车厂家	通用	[* 20.0(18.6)]	21.2	20.3	[20.2]	[19.9]	[20.0]
	福特	[20.2]	[20.4]	20.3	20.9	20.8	20.8
	克莱斯勒	21.5	21.1	21.2	21.2	20.5	[20.1]
	丰田	* 24.1(20.4)	* 24.3(20.4)	22.0	22.3	22.0	21.0
	日产	25.3	24.8	23.9	23.7	22.5	22.5
	马自达	24.0	24.0	23.4	23.6	21.2	21.2
	三菱	* 24.5(20.0)	* 24.7(20.0)	22.2	21.3	22.0	21.0
	五十铃	* 25.5(19.6)	* 23.6(19.2)	21.3	21.8	20.8	21.1
	铃木	32.6	29.5	30.1	28.9	28.5	28.3
	富士重工	—	—(29.1)	29.1	29.1	29.6	—
	大众	20.8	20.7	—	21.0	21.0	[19.6]
	罗孚	—	[—(16.3)]	[16.3]	[15.5]	[16.4]	[16.2]
国产、进口车平均				20.8	21.0	20.6	[20.4]
小型货车政府标准		20.5	20.7	20.2	20.4	20.5	20.6

注:[]的数值指未满足政府标准值。

目标,如表 1-5 所示。

作为削减 CO₂ 排放量的有效途径之一,欧洲各大汽车制造商均表明了将采取对策进一步改善汽车燃油经济性,德国轿车新车 100km 平均体积油耗削减目标为每年平均降低 2%,至 2005 年达到降低 25%的目标。表 1-6 为德国轿车油耗改善的变化情况,目前德国将开发面向 21 世纪的每 100km 油耗 3L 的新一代轿车,现阶段这一项目已由官民合作的方式正式启动,现已成为全世界汽车工业的焦点之一。

日本汽车燃油经济性改善目标 (km/L) 表 1-5

汽 油 轿 车	分类(空车 质量)	1990 年 度(实验 值)	2000 年 度(目标 年度)	改善 率	汽 油 货 车	分类(空车 质量)	1993 年 度(实验 值)	2003 年 度(目标 年度)	改善 率
	普通车 (1515.5kg 以上)	8.3	9.1	9.6%		中型货车 (1515.5kg 以上)	10.4	11.0	5.8%
	小型车 (827.5 ~ 1515.5kg)	12.1	13.0	7.4%		轻型货车 (827. 5 ~ 1515.5kg 以 下)	14.1	14.8	5.0%
	微型车 (827.5kg 以下)	17.8	19.0	6.7%		微型货车 (827.5kg 以下)	14.7	15.4	4.8%

注:汽油货车 2003 年度目标是 1996 年 3 月公布的。

三、排放污染方面

从美国 1970 年制订大气净化法规以来,世界许多国家都相继制订了越来越严格的汽车排放法规,美国加州 1990 年制订的“低污染汽车和清洁燃油(LEV/CF)法规”是现今对汽车排放最严格的标准,重点放在防止产生光化学烟雾方面,对形成光化学烟雾的主要因素非甲烷有机气体(NMHC)的排放给予严格规定,并强制从 1994 年起逐步生产过渡性低排放车(TLEV)、低排放车(LEV)、超