

〔苏〕 A. И. 高 尔 钦 著
B. П. 杰米道夫

汽车拖拉机 发动机计算

机械工业出版社

汽车拖拉机发动机计算

[苏] A. И. 高尔钦 著
B. П. 杰米道夫

朱仙鼎 于连臣 王佩鑫 李炳泉 译

于连臣 朱仙鼎 校



机械工业出版社

本书系统地介绍了汽车拖拉机发动机的计算方法及与此有关的一些必要概念。书中以汽油机及与增压柴油机为例,进行了综合性的计算,借此阐明发动机热力计算与动力学计算、零件的强度计算以及各辅助系统计算之间的关系。

本书第一版在1971年出版,在此第二版中,补充了对理论循环的分析、减少发动机排放有害气体的方法、增压器部件的计算、无冲击型凸轮和燃料供给系统的计算和汽油机及柴油机热力计算的部分内容,介绍了利用电子计算机来计算发动机理论循环的可能性。

此书可作为汽车运输专业,建筑与道路机械专业、汽车拖拉机专业、农业机械专业以及内燃机专业师生的教学参考书,亦可供有关工程技术人员参考。

РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ
И ТРАКТОРНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

А. И. КОЛЧИН

В. П. ДЕМИДОВ

МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1980

汽车拖拉机发动机计算

〔苏〕 А. И. 高尔钦 В. П. 杰米道夫 著

朱仙鼎 于连臣 王佩鑫 李炳泉 译

于连臣 朱仙鼎 校

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $15^{1/4}$ ·字数 402 千字

1985年11月北京第一版·1985年11月北京第一次印刷

印数 0,001—7,400·定价 4.40 元

*

统一书号: 15033·5708

序 言

苏共二十五大和随后的各次中央全会的决议规定了苏联国民经济各个部门发展的远景，其中包括内燃机制造业的发展远景。

在汽车和拖拉机工业上的革新，汽车运输吨位进一步的增加和农业拖拉机总数的显著扩大，不仅使汽车拖拉机总数量增长，而且还大大地改善现有的汽车拖拉机的利用，提高其使用水平和延长其大修期限。

在发展和完善汽车拖拉机发动机方面，现阶段的主要任务是：扩大利用柴油机、降低燃料消耗和发动机的比重量以及降低发动机的生产成本和使用成本。努力减少发动机有害排放物并在其使用过程中降低发动机噪声，使这两方面指标达到一个新水平。在发动机的计算和试验时广泛利用电子计算机的技术。在发动机结构而首先在柴油机结构上直接利用计算技术的方法已初具规模。

要完成这些任务，需要与汽车拖拉机发动机的生产和使用有关的专家和需要对内燃机理论、结构和计算有较深造诣的学者。

《汽车拖拉机发动机的理论、设计和计算》是一本综合性的教程，并由四个独立部分组成：《发动机理论》，《发动机供给》，《发动机动力学》和《汽车拖拉机发动机设计和计算》。

本书包含汽车拖拉机发动机必要的资料数据和系统化计算的方法。

根据 1609《汽车运输》专业批准的“汽车发动机”教学大纲，本教科书是适用的。本教科书的目的是帮助大学生掌握内容，得到深刻的知识，而且在汽车拖拉机发动机的设计和计算时还能实际运用这些知识。

本教科书的第二版与第一版的区别在于进行了如下的补充和修改。增加了第二章，在该章内分析了闭式理论循环和开式理论

循环以及减少发动机有害排放物的方法。关于发动机增压一章增加了具有实例的增压机组的计算方法,这种实例与柴油机一般综合计算是有互相关系的;化油器式发动机和柴油机的供给系主要元件计算方面增加了一章。援引化油器式发动机的热计算,不是对一个转速工况点,而是对四个转速工况点进行计算,从而显著地扩大了知识的深度和广度。柴油机的热计算在两方面进行:增压柴油机和非增压柴油机。在开式理论循环计算时采用了电子计算机,在电子计算机上给出了计算程序和计算结果。在研究配气机构时,所援引的材料是论述无冲击凸轮,设计无冲击凸轮型线的方法和小轿车无冲击凸轮型线计算实例。

本书作者的分工如下:

А·И·高尔钦—第一章 (§ 3, 4), 第二~六章、第七章 (§ 27、31~34), 第九章、第十三章, 第十五章 (§ 61~65), 第十七章 (§ 72~74), 附录 I ~ IV;

В·П·杰米道夫—第一章 (§ 1, 2), 第七章 (§ 28~30), 第八章, 第十~十二章, 第十四章, 第十五章 (§ 66, 67), 第十六章、第十七章 (§ 75), 第十八章, 第十九章, 参考文献, 附录 V。

作者欢迎广大读者对本书提出批评性意见并表示衷心感谢。

作者

目 录

序言

第一篇 发动机的工作过程与特性

第一章 燃料与化学反应	1
§ 1 概述	1
§ 2 燃料燃烧时的化学反应	4
§ 3 燃料和燃料-空气混合气的燃烧热值	10
§ 4 气体的比热	13
第二章 活塞式发动机的理论循环	20
§ 5 概述	20
§ 6 封闭理论循环	24
§ 7 开式理论循环	35
第三章 发动机实际循环的计算	42
§ 8 进气过程	42
§ 9 压缩过程	49
§ 10 燃烧过程	53
§ 11 膨胀过程	59
§ 12 排气过程及降低发动机运行中排放有害成分的方法	62
§ 13 工作循环的指示参数	65
§ 14 发动机有效指标	69
§ 15 示功图的绘制	74
第四章 发动机的热计算和热平衡	79
§ 16 概述	79
§ 17 汽油机的热计算与热平衡	81
热计算	84
热平衡	103
§ 18 柴油机的热计算与热平衡	107
热计算	107

热平衡	119
第五章 发动机的速度特性	121
§ 19 概述	121
§ 20 外特性曲线的绘制	122
§ 21 汽油机外特性曲线的绘制	125
§ 22 柴油机外特性的计算	127
第二篇 发动机的运动学和动力学	
第六章 曲柄连杆机构的运动学	131
§ 23 概述	131
§ 24 活塞位移	133
§ 25 活塞速度	136
§ 26 活塞加速度	138
第七章 曲柄连杆机构的动力学	142
§ 27 概述	142
§ 28 气体压力	142
§ 29 曲柄连杆机构的质量换算	144
§ 30 惯性力	146
§ 31 作用在曲柄连杆机构上的合力	147
§ 32 作用在曲轴连杆轴颈上的力	153
§ 33 作用在曲轴主轴颈上的力	158
§ 34 曲轴轴颈磨损图	162
第八章 发动机的平衡	164
§ 35 概述	164
§ 36 各种型式发动机的平衡	166
§ 37 发动机扭矩的均匀性与运转的均匀性	173
§ 38 飞轮计算	177
第九章 发动机的运动学与动力学计算	178
§ 39 直列式汽油机的计算	178
运动学	178
动力学	180
平衡	196

发动机扭矩均匀性及运转均匀性	198
§ 40 V型四冲程柴油机的计算	199
运动学	199
动力学	201
平衡	221
发动机扭矩均匀性及运转均匀性	222

第三篇 发动机主要零件的计算

第十章 计算的先决条件和计算工况	225
§ 41 概述	225
§ 42 计算工况	226
§ 43 交变载荷作用下的零件计算	227
第十一章 活塞组的计算	236
§ 44 活塞	236
§ 45 活塞环	246
§ 46 活塞销	251
第十二章 连杆组的计算	260
§ 47 连杆小头	260
§ 48 连杆大头	277
§ 49 连杆体	280
§ 50 连杆螺栓	285
第十三章 曲轴的计算	290
§ 51 概述	290
§ 52 曲轴轴颈表面比压的确定	293
§ 53 主轴颈与连杆轴颈的计算	294
§ 54 曲柄臂的计算	298
§ 55 直列式发动机曲轴的计算	300
§ 56 V型发动机曲轴的计算	309
第十四章 发动机机体的计算	323
§ 57 气缸体-曲轴箱	323
§ 58 气缸套	324
§ 59 气缸盖	328
§ 60 气缸盖螺栓	330

第十五章 配气机构的计算	337
§ 61 概述	337
§ 62 绘制凸轮型线	339
§ 63 无冲击凸轮型线的绘制	344
§ 64 气门的时间-截面	350
§ 65 汽油机配气机构的计算	351
§ 66 气门弹簧的计算	364
§ 67 凸轮轴的计算	373

第四篇 发动机的各系统

第十六章 发动机的增压	379
§ 68 概述	379
§ 69 增压机组和增压系统	380
§ 70 涡轮增压器的计算基础	384
压气机	384
废气涡轮	392
§ 71 压气机和涡轮的近似计算	399
第十七章 供给系各部件的计算	411
§ 72 概述	411
§ 73 化油器	412
§ 74 化油器的计算	420
§ 75 柴油机燃油系部件的计算	425
燃油喷油泵	426
喷油器	429
第十八章 润滑系部件的计算	432
§ 76 机油泵	432
§ 77 反作用离心式滤清器	436
§ 78 机油散热器	440
§ 79 轴承的计算	443
第十九章 冷却系统部件的计算	447
§ 80 概述	447
§ 81 水泵	449

§ 82 水散热器	454
§ 83 风扇	458
§ 84 空气冷却表面积的计算	461
附录	463

第一篇 发动机的工作过程 与特性

第一章 燃料与化学反应

§ 1 概 述

汽车拖拉机发动机燃料的物理化学性能应符合一定的要求，即与发动机形式、结构特点、工作过程参数和使用条件等有关的要求。对于现代车用汽油机，主要是使用分馏汽油和裂化汽油或者它们的混合物，根据 ГОСТ2084-67 标准车用汽油的主要指标列于表 1。

表 1

指 标	各种汽油牌号的规格				
	A-66	A-72	A-76	АИ-93	АИ-98
抗爆性： 按发动机法确定的辛烷 值不低于	66	72	76	85	89
按试验法确定的辛烷值 不低于	未 规 定			93	98
四乙铅含量不大于(克/ 公斤汽油)	0.6	缺	0.41	0.82	0.82

车用汽油，除牌号 АИ-98 外，分为以下几类：

a) 夏季车用汽油——指定除苏联北方和东北部外的所有地区，从 4 月 1 日至 10 月 1 日期间内使用，在苏联南方地区则允许全年使用。

6) 冬季车用汽油——指定为苏联北方和东北地区全年使用, 在其他地区从10月1日至4月1日期间内使用。

由夏季车用汽油过渡到冬季车用汽油(或相反)时, 允许有一个月的衔接时间, 在此期间无论是冬季车用汽油还是夏季车用汽油或是它们的混合油都允许使用。

汽车汽油的主要指标是辛烷值, 它表征汽油抗爆震的能力, 并基本上决定了最大允许压缩比。对于非增压的汽油机, 其许用压缩比与燃料必须的辛烷值之间, 大体上有如下关系:

压缩比 5.5~7.0 7.0~7.5 7.5~8.5 8.5~10.5

辛烷值 66~72 72~76 76~85 85~100

增压的汽油机必须使用高辛烷值的燃料。

对于压燃式发动机, 使用较重的石油馏分——柴油, 它由分馏法获得或由分馏产物与催化粗柴油混合所得(催化粗柴油在混合油中的成分不大于20%), 根据ГОСТ305-73和ГОСТ4749-73标准生产的汽车拖拉机柴油有下列牌号:

A——北极地带汽车拖拉机柴油、适用于在环境温度等于或高于-50°C的情况下工作的柴油机。

З——冬季汽车拖拉机柴油适用于在环境温度等于-30°C的情况下工作的柴油机。

Л——夏季汽车拖拉机柴油, 适用于环境温度等于或高于0°C的情况下工作的柴油机。

C——专用柴油。

各种柴油应符合表2所列出的要求。

柴油的主要指标是十六烷值, 它表征了燃料的自然能力, 而这种自然能力却是压燃式发动机工作的必要条件。在某些情况下, 可用添加0.5~3.0%的特种添加剂(硝酸盐和各种过氧化物)的方法, 来提高燃料的十六烷值。

除上述燃料以外, 汽车拖拉机发动机亦使用各种天然的和工业的气体燃料。气体燃料以压缩状态或液化状态装在瓶罐中运输, 而经过加热器(或热交换蒸发器)、减压器及混合器直接向发动

表 2

指 标	各种牌号柴油的规格							
	A	З	Л	ЗС	ДА	ЛЗ	ДЛ	ДС
十六烷值不小于	45	45	45	45	45	45	45	50
馏程:								
分馏出50%, 当温度不高于°C时	240	250	280	280	255	280	290	280
分馏出90%, 当温度不高于°C时	330	340	360	340	330	340	360	340
实际胶质不大于, 毫克/100毫升	30	30	40	30	30	30	50	50
硫含量不大于, %	0.4	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2
水溶性酸和碱	无	无	无	无	无	无	无	无
机械杂质和水分	无	无	无	无	无	无	无	无

机供气。这样,进入发动机的燃气-空气混合气与输送燃料的聚合状态无关。

汽车拖拉机发动机所使用的燃料都是各种碳氢化合物(烃)的混合物,只是组成成分不同而已。

通常以质量的单位公斤来表示液体燃料(汽油、柴油)的元素成分,而表示气体燃料则用容积单位米³或莫尔。

对于液体燃料:

$$C + H + O = 1 \quad (1)$$

式中 C、H和O——分别表示1公斤燃料中碳、氢和氧的质量。

对于气体燃料:

$$\Sigma C_n H_m O_r + N_2 = 1 \quad (2)$$

式中 $C_n H_m O_r$ ——分别表示在1米³或1莫尔气体燃料中,每一种气体所占的容积。

N_2 ——氮气所占的容积。

汽油和柴油各元素的质量平均所占的比例示于表3,而各气

表 3

液体燃料	含 量 (公斤)		
	C	H	O
汽 油	0.855	0.145	—
柴 油	0.870	0.126	0.004

体燃料的容积平均所占的比例示于表 4。

表 4

气体燃料	含 量 (米 ³ 或莫尔)								
	甲烷 CH ₄	乙烷 C ₂ H ₆	丙烷 C ₃ H ₈	丁烷 C ₄ H ₁₀	重烃 C _n H _m	氢 H ₂	一氧化碳 CO	二氧化碳 CO ₂	氮 N ₂
天然气	90.0	2.96	0.17	0.55	0.42	0.28	0.28	0.47	5.15
合成气体	52.0	—	—	—	3.4	9.0	11.0	—	24.6
照明气体	16.2	—	—	—	8.6	27.8	20.2	5.0	22.2

§ 2 燃料燃烧时的化学反应

为完全燃烧 1 个质量单位 (公斤) 或容积单位 (米³、千莫尔) 的燃料所必需的空气量称为理论必需空气量, 它取决于燃料的主要成分。

对于液体燃料

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8 H - O \right) \quad (3)$$

或者

$$L_0 = \frac{1}{0.208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \quad (4)$$

式中 l_0 ——燃烧 1 公斤燃料时以公斤计的理论必需空气量,
公斤空气/公斤燃料;

L_0 ——燃烧 1 公斤燃料时以千莫尔计的理论必需空气量,
千莫尔空气/公斤燃料;

0.23——1 公斤质量的空气中氧气所占的比例;

0.208——1 千莫尔容积的空气中氧气所占的比例。

而且

$$l_0 = \mu_a L_0 \quad (5)$$

式中 $\mu_a = 28.96$ 公斤/千莫尔——1 千莫尔空气的质量。

对于气体燃料

$$L'_0 = \frac{1}{0.208} \sum \left(n + \frac{m}{4} - \frac{r}{2} \right) C_n H_m O_r \quad (6)$$

式中 L'_0 ——燃烧 1 莫尔或 1 米³ 燃料时，以莫尔或米³ 计的理论必需空气量（莫尔空气/莫尔燃料或米³ 空气/米³ 燃料）。

发动机在实际工作中，每单位质量或单位容积所需的空气量，与功率的调整方法、混合气形成的形式以及燃料的燃烧条件有关。所以，当燃料完全燃烧时，实际上所需的空气量可能大于、等于或小于理论所需的空气量。

燃烧 1 公斤燃料时，实际空气量 l （或 L ）与理论必需空气量 l_0 （或 L_0 ）之比，称为过量空气系数：

$$\alpha = l/l_0 = L/L_0 \quad (7)$$

各种发动机在额定功率时， α 取以下数值：

汽油机	0.8~0.96
小室喷射点火式发动机	0.85~0.98 或更高
统一式燃烧室（容积混合式）柴油机	1.50~1.70
统一式燃烧室（油膜混合式）柴油机	1.50~1.60
涡流室式柴油机	1.30~1.45
预燃室式柴油机	1.40~1.50
增压柴油机	1.30~2.2

在增压发动机中，当气缸以空气扫气时，采用总过量空气系数 $\alpha_c = \varphi_a \alpha$ ，其中 $\varphi_a = 1.0 \sim 1.25$ ——四冲程发动机扫气系数。

降低 α ，是强化发动机工作过程的有效方法之一。对于给定功率的发动机，减小（至一定极限）过量空气系数，则可以减小气缸尺寸。但是随着 α 值的减小，会引起燃料燃烧不完全，恶化经济性，并且增大了发动机的热应力。实际上，燃料在发动机中完全燃烧仅在 $\alpha > 1$ 时才可能，因为 $\alpha = 1$ 时不可能获得燃料与空气混合得非常好的混合气，即不能保证每一燃料微粒的周围都有必需数量的空气中的氧气。

在汽油机中，可燃混合气（新鲜充量）由空气与气化的燃料组成，它们可以下式确定：

$$M_1 = \alpha L_0 + 1/m_r \quad (8)$$

式中 M_1 ——可燃混合气数量，千莫尔可燃混合气/公斤燃料。

m_r ——燃料蒸气的分子量，公斤/千莫尔。

对于不同燃料，采用以下 m_r 值：

车用汽油 $m_r = 110 \sim 120$ 公斤/千莫尔

柴油 $m_r = 180 \sim 200$ 公斤/千莫尔

压燃式发动机在确定 M_1 时， $1/m_r$ 值可以忽略不计，因为它比空气容积要小得多，因此对于这些发动机：

$$M_1 = \alpha L_0 \quad (9)$$

对于煤气机：

$$M'_1 = \alpha L'_0 \quad (10)$$

式中 M'_1 ——可燃混合气的数量，莫尔可燃混合气/莫尔燃料或米³可燃混合气/米³燃料。

对于任何燃料，可燃混合气质量为：

$$m_1 = \alpha l_0 + 1 \quad (11)$$

式中 m_1 ——可燃混合气质量，公斤可燃混合气/公斤燃料。

在燃料完全燃烧时 ($\alpha \geq 1$)，燃烧后的产物为二氧化碳气体 CO_2 ，水蒸气 H_2O ，过剩的氧 O_2 和氮 N_2 。

当 $\alpha \geq 1$ 时液体燃料燃烧产物中，各个成分的含量：

二氧化碳气体 (千莫尔 CO_2 /公斤燃料)

$$M_{\text{CO}_2} = C/12$$

水蒸汽 (千莫尔 H_2O /公斤燃料)

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = H/2$$

氧 (千莫尔 O_2 /公斤燃料)

$$M_{\text{O}_2} = 0.208(\alpha - 1)L_0$$

氮 (千莫尔 N_2 /公斤燃料)

$$M_{\text{N}_2} = 0.792\alpha L_0$$

(12)

液体燃料完全燃烧后的产物总数量 (千莫尔燃烧产物/公斤燃料)

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}$$

$$= C/12 + H/2 + (\alpha - 0.208)L_0 \quad (13)$$

当 $\alpha \geq 1$ 时气体燃料燃烧产物中各个成分的含量:

二氧化碳气体 (莫尔 CO_2 /莫尔燃料)

$$M'_{\text{CO}_2} = \sum n (\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_r)$$

水蒸气 (莫尔 H_2O /莫尔燃料)

$$M'_{\text{H}_2\text{O}} = \sum \frac{m}{2} (\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_r)$$

氧 (莫尔 O_2 /莫尔燃料)

$$M'_{\text{O}_2} = 0.208(\alpha - 1)L'_0$$

氮 (莫尔 N_2 /莫尔燃料)

$$M'_{\text{N}_2} = 0.792\alpha L'_0 + \text{N}_2$$

(14)

式中 N_2 ——燃料中氮的数量, 莫尔。

气体燃料完全燃烧后燃烧产物的总量 (莫尔燃烧产物/莫尔燃料)。

$$M'_2 = M'_{\text{CO}_2} + M'_{\text{H}_2\text{O}} + M'_{\text{O}_2} + M'_{\text{N}_2} \quad (15)$$

当燃料不完全燃烧时 ($\alpha < 1$), 燃烧产物是一氧化碳 CO , 二氧化碳气体 CO_2 , 水蒸气 H_2O , 游离氢 H_2 和氮 N_2 的混合物。

液体燃料不完全燃烧时, 燃烧产物中各组成物的数量为:

二氧化碳气体 (千莫尔 CO_2 /公斤燃料)

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12} - 2 \frac{1 - \alpha}{1 + K} 0.208L_0$$

一氧化碳 (千莫尔 CO /公斤燃料)

$$M_{\text{CO}} = 2 \frac{1 - \alpha}{1 + K} 0.208L_0$$

水蒸气 (千莫尔 H_2O /公斤燃料)

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2} - 2K \frac{1 - \alpha}{1 + K} 0.208L_0$$

氢 (千莫尔 H_2 /公斤燃料)

$$M_{\text{H}_2} = 2K \frac{1 - \alpha}{1 + K} 0.208L_0$$

(16)