

发动机化学丛书

发动机化学理论基础

〔苏〕A. A. 布拉特柯夫主编



化学工业出版社

发 动 机 化 学 丛 书

发动机化学理论基础

[苏]A.A.布拉特柯夫 主编

李奉孝 译

烃 加 工 出 版 社

内 容 提 要

本专著是苏联即将陆续出版的发动机化学丛书中的第一分册,介绍基础理论部分。全书共分六章。分别论述发动机化学作为一门独立科学的基本概念;液态烃的氧化;液体燃料的汽化和燃烧;发动机和机械内的表面现象;摩擦和磨损;燃料和润滑材料内金属的防腐。

本书重点突出,简明扼要、深入浅出,理论联系实际,列举了许多实际中遇到的问题,很有参考价值。本社将陆续出版这套丛书,供广大科技工作者选读。

本书第五、六章译文由顾永泉同志校订。

本书可供从事石油产品研究、开发、生产和使用部门的中、高级科技人员参考,也可作为大专教材。

Теоретические основы химмотологии

Под редакцией доктора технических наук профессора

А.А. Братков

В.С. Азев, А. А. Братков, В. Л. Лашхи,
Е. П. Серегин, А.В. Виленкин, А.Ф. Горенков.

В. В. Синицын, Е. С. Чуршуков,
П. П. Заскалько, С. Э. Крейн, Г. С. Шмонаев.

МОСКВА ХИМИЯ 1995

*

发动机化学丛书

发动机化学理论基础

[苏] А.А.布拉特柯夫 主编

李奉孝 译

*

烃加工出版社出版

煤炭工业出版社印刷厂排版

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 32开本 12印张 268千字 印1—1100

1990年5月北京第1版 1990年5月北京第1次印刷

ISBN7-80043-097-9/TQ·063 定价:4.70元

前 言

人类社会的生活，在所有发展阶段都和利用各种形式的能量有着密切的联系。尤其是在20世纪的下半叶，随着科技进步的加速，它的作用更大了。世界能量消耗在不断上升。在本世纪的前50年里，能量的消耗增加了两倍，而在后30年里则增加了2.5倍^[1]。在地球上已开采出100多亿吨标准燃料，其中苏联开采出20亿吨以上的标准燃料^[2]。但是在世界范围内，能量的有效利用率还不到其产量的1/2。

合理使用燃料动力资源是当前最重要的经济、社会和技术问题之一。在大多数发达国家的能量平衡中，由于石油是重要的能源载体，而石油在地层中的探明储量有限，因此，据许多学者的看法，按世界当前的开采速度（每年30亿吨以上），再经过数十年，石油就有可能枯竭^[3]。

苏联是世界上完全靠国内自然资源使燃料和动力得到保证的，唯一的工业大国^[4]。根据苏联中央统计局的资料，近30年来，苏联的石油和凝析油开采量的增长速度如下：

年	1940	1955	1965	1970	1975	1980
---	------	------	------	------	------	------

原油开采量，						
--------	--	--	--	--	--	--

Mt	31	71	243	353	491	603
----	----	----	-----	-----	-----	-----

由于石油的发热值比煤炭和木材高得多，所以石油成了主要的能源之一^[5]。

石油是生产发动机燃料、锅炉燃料、润滑材料和用在各种各样现代化技术装备中的专用液体的主要原料，把20世纪叫做发动机的世纪并不是偶然的。的确，现代化的生活不能想像没有汽车、飞机、轮船、内燃机车、拖拉机、联合机以

及以发动机作为其心脏的其它技术装备。

如果说, 1896年世界上只有四辆汽车, 那么到1910年就达到了1000万辆, 在第二次世界大战期间, 共投入4000万辆汽车和牵引车, 约15万辆坦克, 20多万架飞机^[5], 不难想像, 当时燃料和润滑剂消耗量的数字会多么庞大。

技术装备的蓬勃发展 (尤其在近数十年, 一方面对燃料和润滑材料的质量提出了更高要求, 另一方面产生了原料资源和工业原料问题。技术装备和使用条件的日益复杂、需要提高昂贵机器和设备的可靠性和耐久性以及石油加工业和化学工业在开发和生产优质燃料、润滑材料方面受到的条件限制, 尖锐地提出了一个任务, 就是要制定出在机器和设备中合理使用燃料、润滑材料和专用液体的方法和手段。燃料和润滑剂的不合理使用, 在许多情况下是给人类带来巨大物质损失的根源。例如, 在英国, 由于对发动机及其机械的润滑问题估计不足, 并且抱有不正确的态度, 而每年造成的损失高达20亿美元之多^[6]。所有先进国家都在为解决燃料、润滑材料在技术装备中得到合理使用的问题开始积极寻找一条最佳途径。发动机燃料的节约问题成了一个特别尖锐的问题。许多人开始清楚地认识到, 不采取深入的科学方法和充分的试验研究, 要完成这个任务是不可能的。

最艰巨而且涉及范围又很广的问题是解决在内燃机内合理使用燃料和润滑材料的问题。因为这个问题同燃料和润滑油在发动机内所发生的物理化学过程极其复杂有关。客观上出现了一门实质上是新的科学方向——合理使用燃料、润滑材料和专用液体的理论和实践。60年代初期根据苏联学者 К. К. Папок 和工程师 В. В. Никитин 的建议, 把这一方向定义为 “Химмотология” —— “发动机化学”。该词由三个单词

的词头组成，即Химия（化学）、Мотор（发动机）和логия（logos）科学〔7〕。

本书第一章详细论述了发动机化学的科学方法论基础及其对国民经济的意义。这本专著是将由苏联化学出版社陆续出版的一套发动机化学丛书中的第一册，即发动机化学的理论基础。这套丛书共分七册，分别是：“发动机化学理论基础”、“火箭和喷气燃料的发动机化学”，“汽油、柴油和锅炉燃料的发动机化学”，“发动机油和压缩机油的发动机化学”，“传动机油、工业润滑油和仪表油的发动机化学”，“润滑脂和封存油的发动机化学”，“专用液体的发动机化学”这套丛书被统一的构思和统一的叙述结构联系在一起。读者读完这套丛书之后，就可以得到关于在科学技术现代发展阶段产生的，并且对国民经济有重要意义的，作为一门独立新兴的学术方向——发动机化学一个足够完整的概念。

到目前为止，关于这一知识领域已经出版过不少文献和书籍（手册、词典、专著、教学参考本），但是尚无一本关于发动机化学概括性的有重大价值的著作，虽然早就有过这种迫切需要。本套发动机化学丛书的出版将在一定程度上填补这个空白。

本书根据苏联和外国学者的大量著作，试图阐明发动机化学的理论基础。由于篇幅有限，不允许对发动机化学理论基础的所有方面进行详细论述，而仅仅选出作者认为在发动机化学中最重要的理论部分，并对其中最主要的基础性的原理和规律进行讨论。鉴于上述理由，许多理论问题将会在本丛书的相应分册中得到反映，特别是在关于燃料-润滑材料使用性能的章节中得到反映。

目 录

前言

第一章 发动机化学是一门独立的科学技术领域

- 1
- 1.1 发动机化学是一门新兴的学科 1
- 1.2 发动机化学的方法原理 8
- 1.3 发动机化学在国民经济中的作用 17

第二章 液体烃氧化的理论基础

- 22
- 2.1 烃类氧化的理论基础
(Г. С. Шимонаев) 22
- 2.2 在储存和使用中燃料氧化的特点 (А. Ф.
Горенков, Е. П. Серегин, В. С. Азев) 47
- 2.3 在储存和使用中润滑油氧化的特点
(С. Э. Крейн) 71
- 2.4 燃料和润滑油的抗氧化(添加)剂及其作
用机理 (С. Э. Крейн) 88

第三章 液体燃料汽化和燃烧的理论基础

- 113
- 3.1 液体燃料汽化的基本规律
(А. А. Братков) 113
- 3.2 燃烧的一般规律 (Г. С. Шимонаев) 130
- 3.3 活塞式发动机内燃料燃烧的特点

(В. С. Азев)	170
3.4 燃气轮机内燃料燃烧的特点 (А. Ф. Горенков, Е. П. Серегин)	186
3.5 改善燃料点火和燃烧添加剂的作用机理 (В. С. Азев)	199
第四章 发动机和机械内表面现象的理论基础	209
4.1 表面现象一般理论的基本原理 (А. В. Виленкин)	209
4.2 在发动机和机械内表面活性物质作用的理论基础 (А. В. Виленкин)	229
4.3 清净-分散剂的作用机理 (В. Л. Лашхн)	245
第五章 摩擦和磨损的理论基础	261
5.1 “干”摩擦和磨损理论 (П. П. Заскалько)	261
5.2 流体动力润滑, 接触-流体动力润滑和边界润滑条件下摩擦和磨损的理论基础 (П. П. Заскалько)	268
5.3 边界润滑状态下摩擦和磨损的特点 (В. Л. Лашхн)	283
5.4 抗磨和抗擦伤添加剂的作用机理 (В. Л. Лашхн)	301
5.5 润滑材料的流变学 (В. В. Синицын)	314
第六章 在燃料和润滑材料内金属防腐的理论基础	331
6.1 腐蚀理论的基本原理 (А. А. Братков)	331

6.2	石油产品中金属腐蚀的特点和基本规律 (Е. С. Чуршуков)	335
6.3	燃料及润滑材料内腐蚀抑制剂的作用机理 (Е. С. Чуршуков)	347
	参考文献	365

第 一 章

发动机化学是一门独立的科学技术领域

发动机化学作为燃料、润滑油、润滑脂和专用液体在技术上合理应用的理论和实践，是在苏联和国外科学技术全面进步，尤其是在技术飞速发展的基础上，作为客观现实和需要而产生和发展起来的。发动机化学是随技术一起发展的，因为自从创制出第一台内燃机和相应机械的时候起，就需要解决燃料、润滑材料的选择和在技术上合理使用等许多工程-技术和学术问题。今天，这一独立科学技术领域的存在和它的重大实际意义已经成为毋庸置疑的事实了。

1.1 发动机化学是一门新兴的学科

自从第一台最简单的机器的出现，人们就碰到了摩擦和磨损现象。曾经发现，为了克服摩擦力必须消耗大量能量，因此就立即开始寻找各种办法和手段来降低这种能量消耗和减少摩擦部件的磨损。当时人们的思想朝着两个方向发展：选择坚固耐磨的摩擦系数小的结构材料和使用润滑材料。随着技术装备的发展和复杂程度的增加，这两个方向都得到改进。产生了关于摩擦和磨损的科学，并把更多的注意力放在研究固体摩擦表面相互作用的各种细节上，而对润滑材料的质量，对发动机和机器零件摩擦和磨损的影响却研究得比较少。

自从活塞式内燃机出现以来，产生了许多关于结构设计

和使用方面的特殊问题，这些问题不仅与金属的摩擦磨损有关，而且还和燃料的燃烧特点和润滑油在发动机内的行为有关，特别是发生了在发动机内汽油的无爆震燃烧、燃烧室内和活塞环上漆膜和积炭的生成，气缸-活塞组件和轴承的腐蚀——机械磨损等问题。

随着发动机结构复杂程度的增加、功率的提高、热强度的提高，也提高了对燃料-润滑材料质量的要求，于是开始研制越来越多的新牌号的燃料-润滑材料。随即在石油加工工业和化学工业中相继出现了相应的工艺问题和资源问题。在使用部门发生的问题也很复杂，这些问题就是如何保证发动机在具体的，往往是极值操作条件下可靠和有效地工作？

随着各种各样机器和设备的发展，类似的问题在制造和使用其它发动机时（燃气轮机，汽轮机、火箭发动机）也出现了。人们认识到发动机和机械的结构，所用燃料-润滑材料的质量，以及机器的使用等，都是发动机化学统一系统的环节（图1-1）。在这个系统中每个环节有它自己的、独特的性能和特点，影响其它环节，并受其它环节制约。

事实上，不管发动机或机械的结构多么完善，若没有正确选用的燃料-润滑材料或工作液体的话，则机器就不能保证完成结构设计师赋予它的任务。这样，结构对燃料-润滑材料就提出了一定的要求。

另一方面，由这些材料本身的性质以及石油工业和化学工业的工艺和原料潜力，给燃料-润滑材料的物理化学性质和使用性能带来的局限性，迫使结构设计师们对此加以考虑，并且通过改变结构和采用新型结构材料和工艺手段来解决许多问题。由此可见，燃料-润滑材料质量的实际水平对发动机和机械的结构提出了一定的要求。最后，发动机和机

械的结构是否完善，以及选用的燃料-润滑材料的质量是否合理，也只有在使用中才能够得到表现并进行客观评价。这时使用过程无论对前者或后者都提出了自己独特的要求。

图1-1表示的发动机化学的系统具有普遍性，并反映了发动机化学的实质。正是在这三环节的互相联系和互相作用当中包含着这个新科技领域的基本思想。对于活塞式发动机来说，其发动机化学系统由四个环节组成（图1-2）正像 К. К. Пянок 当时所指出的那样，这个形式清楚地表明燃料在该系统中的作用。大家知道，这些年来，正是燃料的质量和资源成了新型发动机结构设计中的制约因素。

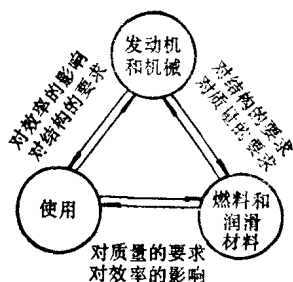


图 1-1 通用三环节发动机化学系统

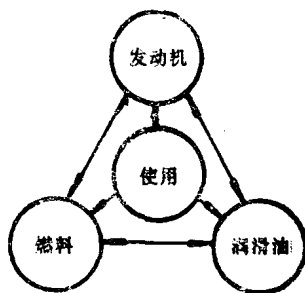


图 1-2 四环节发动机化学系统

这个从外表上看来十分简单的系统（图1-1）却包含着许多复杂的科技课题，解决这些问题正是发动机化学的主要任务。发动机化学的主要目标是保证燃料-润滑材料和专用液体在技术装备上得到合理使用。

发动机化学是研究燃料-润滑材料和专用液体的使用性能、质量和在技术上合理使用的一门科学

在苏联的大百科全书中关于科学所下的定义是：科学作为人类活动的范围，其功能就在于对现实中客观知识的挖掘和理论系统化……。 “科学”这个术语也用来表示科学知识的个别领域。现代科学的特点是与技术有着紧密的联系。科学转变为生产力…从分科方向转向专题方向是现代科学的特点…应用科学的直接目的，是利用基础学科来解决不仅认识问题，而且也解决实际问题。

所有这些也完全适用于作为一门应用学科的发动机化学。发动机化学是在重大社会实际问题的基础上产生的。这些问题就是必须保证燃料-润滑材料和专用液体在技术上得到合理的经济的使用。

今天，发动机化学这个新的科学方向，是在一系列学科交叉的基础上产生和发展起来的，这些学科就是无机化学、有机化学、物理化学、胶体化学、石油化学、电化学、物理学、化学物理、机器学、热工学、经济学和生态学等。当然，发动机化学依赖于这些科学的理论基础（与之有关的部分）。因此，发动机化学的理论基础中包括从前研究过的液态烃的氧化理论，燃料汽化和燃烧理论，表面现象的基本原理、发动机和机械内的金属摩擦和磨损理论，在石油产品中金属的电化学腐蚀理论等。

发动机化学的理论是建立在著名俄国、苏联和外国学者的著作的基础上的。这些学者是А. Н. Бах、Н. Н. Семенов、К. С. Энглер、М. Боденштейн、С. Н. Хиншельвуд等（有机物的氧化理论），М. В. Келдыш、А. С.

Предводителев, В. Н. Кондратьев, Я. Б. Зельдович, Н. М. Эмануэль, О. М. Тодес, А. Уббелоде, Б. Льюис, Г. Дамклер等 (燃烧理论); Н. П. Петров, С. В. Чаплыгин, П. А. Ребиндер, Б. В. Дерягин, Е. А. Чудаков, М. М. Хрущев, Н. В. Крагельский等 (摩擦磨损理论); Г. В. Акимов, Н. Т. Томашов, Я. М. Колотыркин, В. П. Батраков, И. Л. Розенфельд, Ф. Тодт等人 (金属腐蚀理论)。为发动机化学理论原理的发展作出巨大贡献的苏联学者有: Н. И. Черножуков, Г. В. Виноградов, А. Д. Петров, В. И. Исагулянц, К. К. Папок, Б. В. Лосиков, С. Э. Крейн, Н. А. Рагозин, Н. Г. Пучков, А. А. Гуреев, Е. И. Гулин等人。

发动机化学的主要研究对象是燃料-润滑材料、专用液体的使用性能。这些性能在技术装备的使用中表现出来,并在很大程度上决定技术装备的工作能力、经济性和可靠性。除了发动机化学之外,没有一门科学专门从事燃料-润滑材料和专用液体的使用性能的研究,更谈不上研究改善这些性能。然而,正是这些性能往往对大量各种各样技术装备和工业设备的有效利用起决定性的作用。

燃料-润滑材料的使用性能包括:燃料的能量性质、易燃性、燃烧性、抗爆性、生成漆膜和积炭倾向、输送性、带电性;润滑油的清静-分散性、燃料-润滑材料、专用液体的物理化学稳定性、腐蚀性、保护性、减摩性,抗磨性、抗擦伤性、失火性、易爆性和毒性。

为了研究燃料-润滑材料、专用液体的使用性能,制定了评价这些性能的各种专用方法和综合方法,并且得到广泛采

用（详见本章第2节）。

上述燃料-润滑材料和专用液体的使用性能对技术装备的使用有着不同的影响，因而在发动机化学中也有着不同的意义。根据技术装备的用途、结构和使用条件不同，对燃料-润滑材料和专用液体的使用性能提出了不同的要求，这些要求的表达形式就是相应牌号的燃料-润滑材料和专用液体具体的最大允许的质量指标。通过这些指标的选择，定出指标规范和一定质量的余度，都必须经过科学的论证和实验的肯定，否则（当出现错误时）就保证不了技术装备长期可靠的使用，或者造成燃料-润滑材料，专用液体原料资源和工业原料的严重不足。无论出现那种情况，都会给国家造成巨大的物质损失。所以，使燃料-润滑材料的质量达到必需的水平，并保持这个水平是发动机化学的重要研究对象。由此可见，发动机化学也是研究燃料-润滑材料和专用液体质量的一门科学，更确切地讲，是研究其质量最佳水平的一门科学。发动机化学考虑到技术装备的用途、特点、结构和使用条件，并考虑到这些材料的原料资源和生产基地的保证程度，以及经济学和生态学等问题，对燃料-润滑材料的质量提出最佳要求，并对这些要求进行论证。

应当指出，在大量生产，大量使用像汽油、柴油、喷气燃料、燃料油这类石油产品的情况下（以数千万吨计），首要的是这些油品的节约和原料资源的保证问题。至于润滑材料，则最重要的任务是使其质量达到一定的、足够高的水平，以保证发动机和机械长期和经济地工作。当然对这些石油产品的原料资源和工业原料，经济和生态学问题也同样重要。

综上所述，可以得出结论，发动机化学在相当程度上是

一门应用科学，它与实践有密切联系，并且有很大的国民经济意义。

发动机化学作为一门科学的重要任务是：

1) 确立描述使用燃料-润滑材料的发动机和机械内发生过程的发动机化学的定律和规律；

2) 研究和改善燃料-润滑材料和专用液体的使用性能；

3) 制定燃料-润滑材料使用性能的鉴定评价方法和综合鉴定评价方法、改进台架试验方法和使用条件下的试验方法。在评价上述性能时推广系统的方法；

4) 研制对燃料-润滑材料和专用液体的质量水平的最佳要求；

5) 从燃料-润滑材料可能达到的质量水平出发，制定对发动机和机械结构的发动机化学的要求；

6) 制定技术装备和设备最佳使用条件的发动机化学要求；

7) 研制发动机化学可靠性的理论和定量指标并确定对可靠性的要求；

8) 扩大并加深与基础科学（化学、数学、物理）的联系，及时地把这些科学的成就用于发展发动机化学；

9) 加快在实践中推广发动机化学的重要研究成果；

上面举出的发动机化学作为一门科学的任务，并没有包括燃料-润滑材料合理使用的理论和实践的全部众多尚未解决的问题。这些问题仅仅反映了发动机化学科学家们近期所主要从事研究的主要科学方向。在这些工作中，下列理论研究工作应占有重要地位，即：研究确定各种燃料-润滑材料和专用液体添加剂及其配方的作用机理、制定选择添加剂，尤其是添加剂协同混合物的理论原理，确立使用燃料-润滑

材料时，发动机和机械内自组过程（例如，燃料点火和燃烧时）的最重要的规律；进一步发展和深化发动机和机械内表面现象的理论；尤其是在边界摩擦条件下，在与热金属接触时，燃料和润滑油催化转化过程中，在金属-油品界面上发生的电化学过程中，以及在所有上述因素同时作用条件下的表面现象的理论。

由于技术装备上代用燃料（压缩天然气，液化气、甲醇、液态氢，煤和页岩加工所得的合成液体燃料）的使用，以及新型合成材料的使用，在发动机化学的科学家们面前又产生了新的问题。在解决下列复杂任务时，发动机化学的研究者们会碰到很大困难，就是要把国民经济中使用的燃料-润滑材料的品种进行统一化和压缩。因为在发动机化学的系统中“发动机（机械）—燃料-润滑材料—使用”三个环节的联系是如此复杂，以至于找出一些规律，并且对燃料-润滑材料的使用提出有综合科学根据的建议是非常困难的。

为了解决这类以及其它类似的课题，十分重要的是用相应的过程模拟理论和实践来武装发动机化学，以及采用现代数学手段和电子计算机。

由上述可以认为，发动机化学作为一门独立的学科尚处在发展初期阶段，为了使这门学科得到进一步发展和自我肯定，需要发动机化学的科学家们作出巨大努力，尤其是在理论研究中作出巨大努力。

1.2 发动机化学的方法原理

发动机化学也同其它任何一门学科一样，拥有自己本身固有的方法原理，其中包括燃料-润滑材料使用性能评价的各种特殊方法，这些方法可以分成若干类：燃料-润滑材料