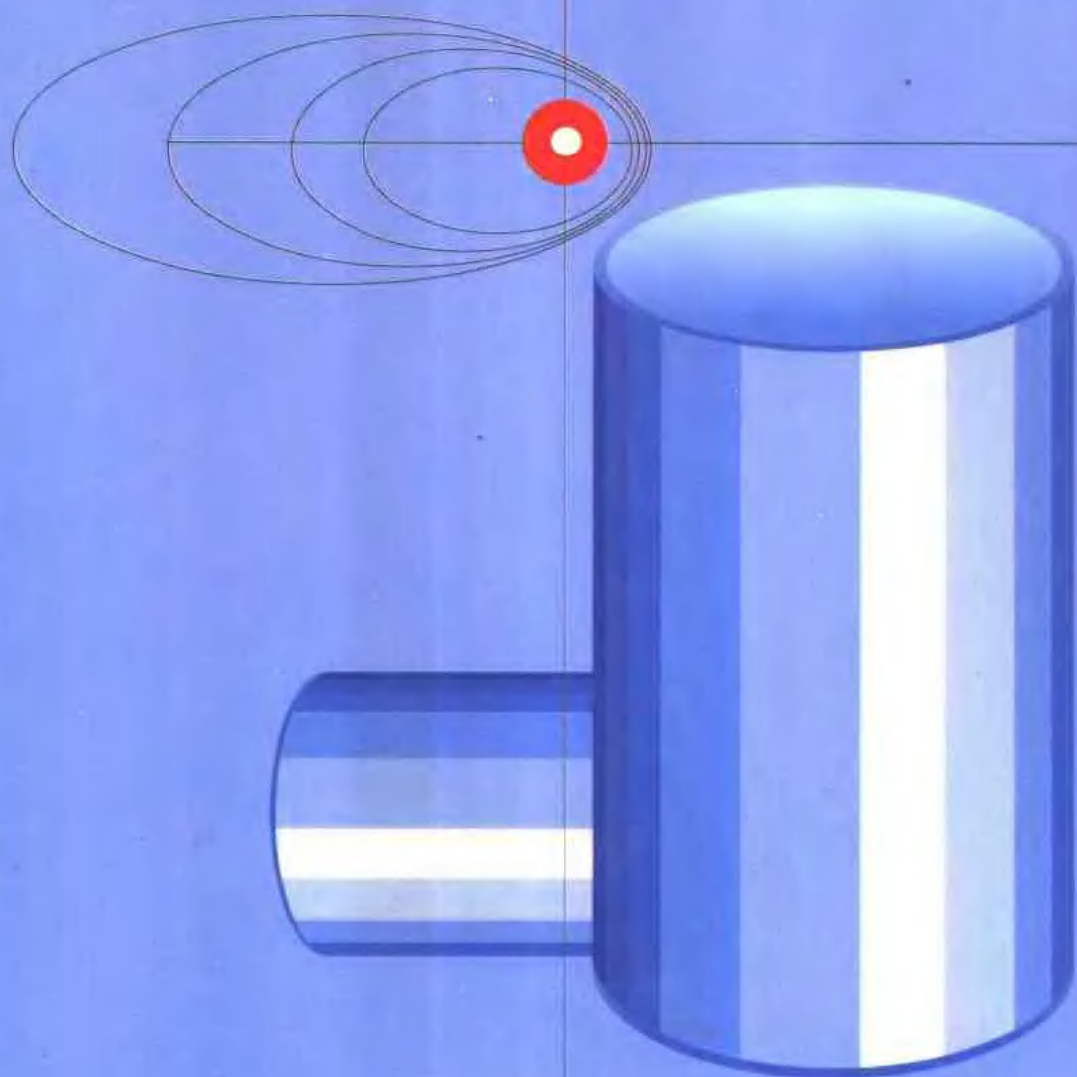


内燃机燃料

何学良 詹永厚 李疏松 编著



中国石化出版社

内 容 提 要

本书全面系统地论述了内燃机石油系燃料和其他多种代用燃料的物化特性、着火特性、燃烧放热特性及排污特性等。同时对气体燃料、乳化燃料、多液混合燃料、掺烧燃料、含水燃烧以及各种燃料的亲油、亲水特性等,从机理到示例作了深入的论述。

本书是作者近20年来在内燃机燃料和燃烧方面大量试验研究成果的总结,也是国内内燃机和石油燃料两大行业交叉科学中的第一部大型综合学术专著。

本书可供高等学校、科研和生产单位的技术、管理和营销人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机燃料/何学良等编著. —北京:中国石化出版社, 1999

ISBN 7-80043-778-7

I. 内… II. 何… III. 内燃机-燃料 IV. TK407.9

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第02971号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)81271850

北京金剑照排厂排版

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

x

787×1092毫米 16开本 39印张 992千字 印1—3000

1999年11月第1版 1999年11月第1次印刷

定价:72.00元

目 录

第一章 内燃机燃料概论.....	1
第一节 内燃机与燃料的关系.....	1
第二节 国内外内燃机燃料概况.....	3
第三节 内燃机燃料的发展趋势	10
第二章 石油系内燃机燃料的生产	15
第一节 石油的化学组成	15
第二节 石油炼制概述	17
第三节 原油的常减压蒸馏	21
第四节 催化裂化	23
第五节 催化重整工艺	25
第六节 加氢裂化工艺	28
第七节 热加工	30
第八节 炼厂气加工	36
第九节 燃料油品的精制	43
第三章 内燃机燃料品质的评价指标	45
第一节 与燃料物理-化学特性有关的指标.....	45
第二节 与内燃机着火和燃烧有关的指标	81
第四章 烃类及其衍生物和硫化物.....	100
第一节 烷烃.....	100
第二节 烯烃.....	107
第三节 环烷烃.....	112
第四节 芳烃.....	114
第五节 醛类.....	117
第六节 烃类含硫衍生物和原油中的硫化物.....	121
第五章 汽油.....	126
第一节 汽油的馏程、烃族组分和物化特性.....	126
第二节 汽油的辛烷值及抗爆性能.....	136
第三节 汽油的挥发性能.....	150
第四节 汽油的氧化安定性能.....	151
第五节 汽油的腐蚀性能.....	158
第六节 汽油的无铅化趋势.....	161
第七节 汽油的标准和规范.....	166
第六章 汽油在汽油机中的燃用.....	170

第一节	概述	170
第二节	汽油的抗爆性与汽油机燃烧及性能的关系	173
第三节	汽油的挥发性与汽油机燃烧及性能的关系	185
第四节	汽油品质对汽油机磨损、腐蚀和排污的影响	198
第七章	柴油	202
第一节	柴油的馏程、调合组分和烃族组成	202
第二节	柴油的化学特性	214
第三节	柴油的物理特性	220
第四节	柴油的表观特性指标	226
第五节	柴油的标准	233
第八章	柴油在柴油机中的燃用	240
第一节	柴油品质对柴油机喷油和混合特性的影响	240
第二节	柴油品质对柴油机着火特性的影响	243
第三节	柴油品质对柴油机燃烧和放热特性的影响	247
第四节	柴油品质对柴油机排温和排污特性的影响	252
第五节	柴油品质对柴油机的油耗率和热效率的影响	264
第六节	柴油品质对柴油机冷起动和磨损的影响	267
第七节	宽馏分轻柴油及其在柴油机中的燃用	270
第八节	高凝点轻柴油及其在高速柴油机中的燃用	281
第九节	低十六烷值轻柴油及其在高速柴油机上的燃用	286
第九章	重质和劣质燃料油及其在柴油机中的燃用	292
第一节	柴油机燃料油重质化和劣质化的趋向	292
第二节	重质和劣质燃料油的主要物化特性及其相互关系	295
第三节	重质燃料油的着火特性	299
第四节	重质燃料油的燃烧特性和柴油机性能特点	305
第五节	柴油机燃用重质燃料油时的腐蚀和磨损	308
第六节	柴油机燃用重质燃料油时的预处理和机械事故	319
第七节	重质燃料油的标准	323
第十章	醇类燃料	325
第一节	概述	325
第二节	醇类的物理-化学特性	327
第三节	醇类的着火特性	333
第四节	醇类的燃烧特性	338
第五节	醇类的溶解特性和亲水特性	341
第六节	醇、烃混合后的各种特性	345
第十一章	醇类在内燃机中的燃用	352
第一节	内燃机掺烧醇类的各种方式	352
第二节	内燃机掺烧醇类的综合特点	357
第三节	汽油机掺烧醇类示例	368
第四节	柴油机掺烧醇类示例	376

第五节	纯醇发动机的性能示例	386
第六节	内燃机燃用醇类时醛类和未燃醇的排放	392
第十二章	植物油燃料	395
第一节	概述	395
第二节	主要能源植物简介	397
第三节	植物油的物理-化学特性	400
第四节	植物油的酯化和酯化植物油的物性	410
第五节	植物油掺柴油的混合油特性	415
第十三章	植物油在柴油机中的燃用	418
第一节	柴油机燃用植物油的经济性	418
第二节	柴油机燃用植物油的动力性	420
第三节	柴油机燃用植物油时的着火、燃烧和冷起动性能	420
第四节	柴油机燃用植物油时的烟度和排污	420
第五节	柴油机燃用植物油的长期试验结果	425
第六节	柴油机燃用酯化植物油时的性能	428
第七节	柴油机燃用植物油和醇类混合油时的性能	429
第十四章	气体燃料及其在内燃机中的燃烧	431
第一节	气体燃料概述	431
第二节	与燃烧有关的各单质气体的物性	434
第三节	天然气及其在发动机中的燃用	445
第四节	液化气及其在内燃机中的燃用	465
第五节	沼气及其在内燃机中的燃用	471
第六节	氢及其在内燃机中的燃用	475
第七节	各种煤气及其在内燃机中的燃用	485
第十五章	乳化燃料和内燃机燃料的含水燃烧	490
第一节	概述	490
第二节	乳化作用和乳化油的物理状态	491
第三节	乳化油的物理化学特性	500
第四节	水的物理化学特性	508
第五节	内燃机燃料含水燃烧的节油机理及示例	511
第六节	内燃机燃料含水燃烧的降污机理及示例	526
第十六章	多液混合燃料及其在内燃机中的燃用	536
第一节	多液混合燃料的理论基础	537
第二节	烃类、醇类多液混合燃料及其燃用示例	541
第三节	柴油、植物油和醇类多液混合燃料及其燃用示例	545
第四节	低十六烷值柴油、植物油、醇类和酯类多液混合燃料及其燃用示例	555
第五节	含水多液混合燃料及其燃用示例	563
第十七章	内燃机的其他燃料及其燃用	568
第一节	煤和煤基燃料概述	568
第二节	煤制柴油在柴油机中的燃用	572

第三节 煤浆油及其在柴油机中的燃用..... 576
 第四节 水煤浆和煤粉及其在柴油机中的燃用..... 581
 第五节 甲醛脂及其在汽油机中的燃用..... 586
 第六节 页岩油、煤焦油和 SRC-2 的燃用 590
 参考文献..... 597

第一章 内燃机燃料概论

第一节 内燃机与燃料的关系

内燃机与其燃料的关系是相互依存、互相促进的关系。近百年来内燃机和石油及其制品的发展史,可以说是它们伴生而相随的发展史。尽管我国很早就发现石油并懂得它可以燃烧,但直到1859年美国(E. L. Drake)首先在宾夕法尼亚州用机械化方法开采石油之前,我国始终未能用机械化方法大规模开采石油。

19世纪60年代,美国人开始懂得用间歇法蒸馏石油而分割其不同馏分。1862年美国人首次用分馏法分离出来的重油,代替煤和木炭作为炉用和工业用燃料。而开始发现石油时,仅把它当作点灯来用。

1886年德国人(Daimler)发明了汽油机。这种发动机按奥托(Otto)循环工作,并燃用石油中的汽油馏分。从此,石油中的汽油馏分($40\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的馏分)得到了广泛的发展和应用。

1893年德国人 R. Diesel(狄赛尔)首创柴油机。这种发动机按狄赛尔循环工作,并燃用石油的中间馏分($180\sim 360^{\circ}\text{C}$)。这就为石油中柴油馏分的使用创造了广阔的途径。

至此,内燃机与石油结下了不解之缘。由于内燃机的发明和发展,使石油的身价大为提高,开采量和加工量飞速发展。

在内燃机发展的带动下,1912年 M. J. Trumbull 发明了管式加热炉与精馏塔组合的连续蒸馏装置,并开始在加利福尼亚州投入生产。从此,石油被大量用来生产汽油、柴油、重油及其他组分。

与此同时,美国在其中西部和南部不断发现油气田,并开始进入大规模的开采。

1913年 W. M. Burton 发明了用热裂化装置,从重油中生产汽油和柴油。这就为从石油中生产更多的汽油和柴油找到了有效的方法。

这一时期,不仅汽车工业获得了长足的发展,而且把汽油机用作飞机的发动机。从第一次世界大战至第二次世界大战,航空工业的产品用于军事得到了飞速的发展,这就带动了汽油机的发展和汽油品质的提高。

20世纪30年代,德国人发明用加氢裂化重油方法而能得到更多的轻油。1936年出现固定床催化裂化重油的方法。1939年用烷基化装置制造汽油的方法成功。1940年又创制了用丁烷异构化方法制造汽油。40年代期间,从重油中经二次加工而获得汽油、煤油和柴油(三者统称轻质油)的各种方法获得长足的发展。至1949年,催化重整的炼油方法开始应用。

与此同时,坦克、装甲车用的强化式发动机的发展,促进了汽油的发展;喷气式飞机的航速不断增加,促进了喷气燃料品质的不断提高。汽油机的压缩比和热效率不断提高,促进了汽油的抗爆性、挥发性、安定性和洁净性等性能的改进。汽油品质的提高,也推动了汽油机性能的不断提 高,至50~60年代,汽车和发动机工业以及炼油工业都已达到很高水平。

但是,人们发现:汽油机的压缩比不是愈高愈好。有一段时期,西方国家曾将汽油机的压缩比提高到10.5,试验室内曾达到13。为满足这种高压压缩比的汽油机所用汽油的高辛烷值

需要，炼油工业为此多消耗的能量超过汽油机因压缩比提高而降低的油耗，得不偿失。据此，西方国家的厂商才放弃追求过高的压缩比和相应的过高汽油辛烷值的做法。实践证明：汽油机的压缩比维持在 8.5~9.5 的水平上，而相应地汽油的研究法辛烷值(RON)维持在 92~98 的水平上为最佳综合经济状态。并且把汽油分成两个等级，其中高级汽油的 RON 在 98 左右，普通汽油的 RON 在 92 左右，以满足不同汽车的需要。这是发动机和燃料互相促进，又互相制约关系的生动实例。

1973 年中东战争和石油危机以后，发动机各种代用燃料的研究和使用逐步兴起。80 年代初，德国在汽油机的基础上创制了甲醇发动机。由于甲醇的热值远比汽油低，因而每循环供油量比汽油高，而甲醇的辛烷值明显高于汽油，加上二者的粘度、表面张力、挥发性以及燃烧性能方面的差异，使甲醇发动机在压缩比、点火提前角、供油量、孔直径等方面与汽油机存在区别。这再一次证明燃料与发动机结构和性能之间的密切关系。

另外，由于石油资源日趋减少，同时各国政府对城市汽车排放标准的从严控制，从而促使人们寻找清洁的、能代替石油燃料的替代燃料。氢发动机应运而生。美国和德国在创制氢发动机方面进展很快。

历史和现实一再证明：燃料的发展促进了发动机的发展，而发动机的发展又反过来推动了各种燃料的发展。今后，随着石油燃料来源逐渐减少，而人们将愈来愈多地依靠发展石油系以外的各种燃料来发展发动机。所以，要研究和发展内燃机工业，必须同时重视内燃机燃料的研究。与此相应的是，内燃机科学工作者懂得一定的燃料知识，对自己的工作是大有益处的。

一、内燃机对燃料的要求

内燃机对其燃料有如下的要求：

- (1) 只有流体燃料，即液态的或气态的燃料(常温下)，才能直接作为内燃机的燃料。
- (2) 其能量密度必须足够大。例如液体燃料的低热值必须在 18MJ/kg 以上；气体燃料的低热值必须在 5MJ/Nm³ 以上。
- (3) 必须是资源丰富，能长期供应的；或者是可以再生的。
- (4) 必须是无毒或低毒的，包括燃烧前和燃烧后的物质均应如此，对环境污染的程度要少。
- (5) 必须易于运输、储存和使用。
- (6) 价格不能昂贵。
- (7) 经内燃机燃烧后能量转化率(热效率)不能太低，热效率必须在 20% 以上。
- (8) 它在内燃机中的燃烧速度要能符合其转速所要求的限度内，既不能太快，形成爆炸式的燃烧；也不能太慢，形成严重的过后燃烧。

一些固体燃料要变为内燃机燃料，必须先经气化或液化，成为符合上述要求的气体燃料或液体燃料。如煤、木炭、木材、垃圾和有机物质等。有些固体燃料可以经精选后制成粉末，然后与液体燃料或水混合成浆状燃料，在大型低速发动机中燃用。

二、内燃机燃料与环保、节能及资源配置的关系

内燃机燃料的选取和使用，不仅与内燃机的类型、结构与用途有关，而且与环保、节能、资源配置和就地取材等一系列经济和社会因素有关。

地球上的石油和天然气的蕴藏和开发是极不均匀的,各国的消耗量也差异很大。这就要根据本国的资源配置和燃料消耗情况来决定本国、本地区的燃料政策和对内燃机类型等的选择。

美国的汽车保有量在2亿辆以上,其中80%以上是轿车。所以,美国是世界上汽油耗量最大的国家。德国是石油资源短缺的国家,96%以上的石油依赖进口。所以德国长期以来着力发展柴油机汽车、包括轿车用柴油机。因为柴油机的热效率比汽油机高25%~30%,多用柴油机可以减少石油进口量。

巴西地处赤道附近,是个气候温暖和植物茂盛的国家。从而可以从许多植物及其果实中制造乙醇。据此,长期以来,巴西政府鼓励多用乙醇作内燃机燃料。该国的汽油中掺有20%左右的乙醇,从而减少对石油的依赖,并减少对大气的排气污染。

俄罗斯在乌拉尔山脉以东地区蕴藏有大量的天然气资源,他们在这—地区大力发展各种天然气发动机,因地制宜地利用当地廉价的天然气(含煤层气和石油伴生气等,下同)。它们甚至把天然气发动机与活塞式压气机做成—体。发动机直接作为压气机的动力,从而提高了传动效率。

在油田、气田和煤田地区,大力推广使用气体燃料发动机,既充分利用了当地的可燃气体资源,又减少了环境污染和火灾危险。这种气体燃料发动机可以作为电站、供热站、泵站、农副业加工站及其他的动力。

美国长期以来重油轻煤。石油在能源结构中,从1967年以后一直处于第一位,占40%以上。但从80年代以来,为了减少对中东石油进口的依赖,重新重视煤在能源结构中的作用。其能源部拨款给有关单位研究内燃机车柴油机用水煤浆作燃料的可能性,并已取得可喜成效。

我国四川地区和陕、甘、宁、内蒙边区发现大气田,应该在这些地区大力发展和使用气体燃料发动机作为动力,特别是固定式动力。

内燃机工作者具备一定的燃料知识,对根据当地燃料情况来改进内燃机的工作过程,提高热效率及降低排污,都有很大的指导作用。燃用不同类型、不同烃族组分和不同化学成分的燃料,其供油系统和燃烧系统不应该是相同的。

第二节 国内外内燃机燃料概况

一、我国的燃料概况

在一次能源(初级能源)中,一般包括煤、石油、天然气、核能、水力和其他能源(指太阳能、地热、潮汐、风能、沼气、植物油等)。我国是产煤大国,也是耗煤大国。我国的石油和天然气,正在不断发现和开采。核能在我国一次能源中只占不到1%。我国的水力资源很丰富,黄河、长江、澜沧江和红河等的上游正在和将要建造数十座水力发电站。以下就煤、石油和天然气三种能源的概况分述之。

1. 我国的煤炭概况

我国的煤炭储量在10000亿吨以上,名列世界前茅。从80年代后期以来,我国年产煤量均在10亿吨以上,是世界第一产煤大国。图1-1给出了我国90年代的产煤情况。从1992年起,我国年产煤已超过11亿吨。1995年已达12亿吨,1996年我国产煤量已占世界总产煤量的1/4强。

长期以来，我国是煤炭出口国，年出口量达到 20Mt 以上。我国产煤量的 1.6%~1.8% 主要出口日本和韩国，秦皇岛、日照港和黄骅港等都是专门为出口和沿海运输煤的港口。

煤炭在我国一次能源的消耗中占 75%~76%，这在世界工业化国家中是少有的。

近年来，在内蒙古、山西和陕西交界的几十个县市中发现了大面积的优质煤矿，从而进一步显示出我国煤蕴藏丰富。

但是，我国煤燃烧的经济效果却很低。图 1-2 给出了世界上主要国家煤燃烧后经济效果的比较。由图可见，印度的经济效果比我国尚高一倍，日本是我国的 7.8 倍。可见，我国煤燃烧的经济效果潜力很大。

所以，一方面我国要增产煤；同时，要节约煤，提高煤的利用率。现在国家已注意到在产煤地先用煤发电，然后向各大中城市供电，比长距离输送煤更合算，同时可减少大中城市的污染。

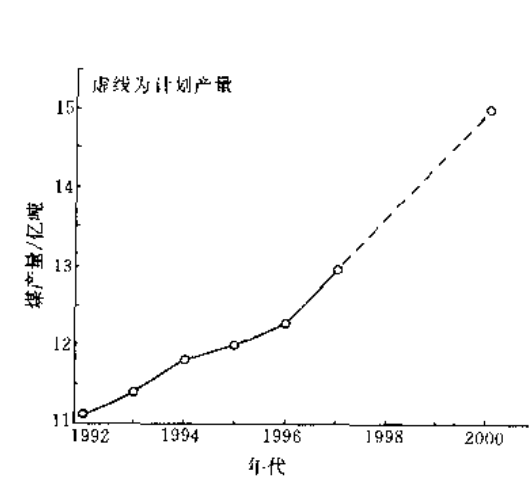


图 1-1 90 年代我国煤产量的情况

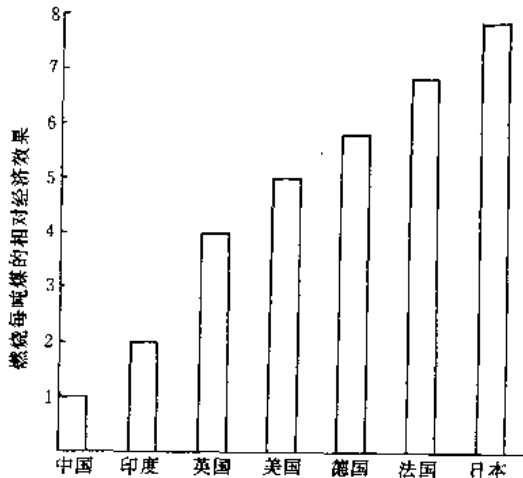


图 1-2 燃烧每吨煤的经济效果比较(以中国为 1)

2. 我国的石油概况

按照目前已掌握的情况，我国石油的总储藏量达 780 亿吨。实际可开采的储量约为 390 亿吨，在世界上名列前茅。表 1-1 给出了若干国家石油储量情况。表 1 2 给出了世界和主要国家石油的年产量。我国从 1988 年以来，已连续 9 年石油产量居世界第 5 位。1996 年，我国产石油 1.57 亿吨。

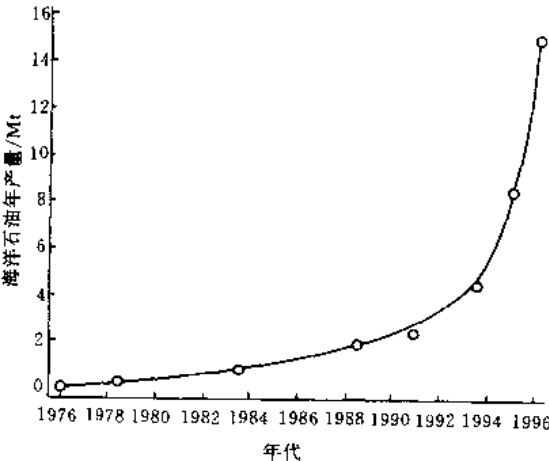


图 1 3 近 20 年来我国海洋石油的年产量

我国在塔里木盆地、准噶尔盆地和吐鲁番-哈密盆地都相继发现大油田。储藏量很大，仅塔里木盆地的塔克拉玛干大沙漠中发现的石油储量就高达 300 亿吨，堪称“第二中东”。而且，在渤海、东海、南海和北部湾海域都已勘探出大面积海上油气区。

1976 年我国海洋石油工业刚起步，当年在渤海打出了第一口海上油井。20 年来，特别是近 5 年来，我国的海洋石油工业获得了很大的发展(图 1 3)。1996 年我国海洋石油产量达到 15Mt，占全国石油总产量的 10.34%，而且发

展势头强劲。今后,海洋石油产量将是我国石油总产量的重要组成部分。

表 1-1 若干国家石油储量预测/Mt

世界	中国	沙特	俄罗斯	阿联酋	伊拉克	科威特	伊朗
136000	39000 ^①	33200	28000	27200	13600	12800	12600

① 39000Mt 为可开采的储量, 78000Mt 为总储量。

表 1-2 世界及主要国家石油年产量(1996 年)/Mt

世界	沙特	俄罗斯	美国	伊朗	中国	挪威	墨西哥	委内瑞拉	英国
3400	450	350	340	180	157	124	120	115	110

但是,我国原来 21 个大中型油田中相当一部分油田已进入衰减期。尽管采取一系列措施,竭力维持和接近原来的产量,但困难很大、成本大大提高。表 1-3 和表 1-4 给出了我国 20 年来大庆油田和全国石油产量。

我国陆上石油分布很不均匀,基本上分布在东北、华北和西北一带。然而,在相当长时期内,我国的经济重心和用油大户却在南方各省和沿海地区。这就存在着油品运输和价格差别。我国海洋石油和天然气的大规模开发和从中东等地进口石油,弥补了我国东南沿海经济发达地区用油严重不足的缺陷。

表 1-3 我国大庆油田年产量/Mt

1976 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年
50.00	55.62	55.66	55.90	55.90	56.00	55.60

表 1-4 我国石油历年总产量/Mt

1978 年	1979 年	1981 年	1983 年	1987 年	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年	1996 年
104.7	106.2	101.2	107.0	130	140	141	142	144	145

我国单位油耗量的经济效果很低。表 1-5 给出了几个国家单位耗油量经济效果的比较(以中国为 1)。

表 1-5 几个国家单位耗油量经济效果的比较

中 国	印 度	巴 西	日 本	法 国
1	1.64	3.82	4.43	4.97

我国发电厂和炉窑每年烧掉的石油燃料相当于 30Mt 的原油,约占原油总产量的 21%。1973 年石油危机以来,大多数工业国家逐步以煤或天然气代替石油作为电厂燃料。

我国油田和炼油厂每年自耗石油 10~15Mt,约占我国原油产量的 10%左右。

我国石油产品中有 47%左右是供内燃机及其配套机具作燃料和润滑油用的。表 1-6 给出了我国汽油和柴油的主要用途及比例。

3. 我国天然气概况

天然气是内燃机的清洁燃料,也是工业和民用的重要燃料。从某种意义上说,它比煤和石油更可贵。我国是发现天然气很早的国家,但长期以来天然气的开采速度却很缓慢。至今,

在我国的一次能源中，天然气只占 3%，而工业国家这一比例为 20%~30%，有的甚至高达 50%，世界平均亦已超过 20%。

表 1-6 我国汽油和柴油的用途及耗量比例/%

汽 油	交通运输	建 筑	工 业	农 业	专 用	出 口
	31	27	18	10	5	9
柴 油	农林牧渔业		柴油汽车	内燃机车	船舶	其他
	50		15~20	~15	~5	10~15

有资料表明：天然气的分布比石油的分布广泛，蕴藏量也比石油丰富。
使用天然气的污染比柴油和汽油均少，比煤的污染更少。天然气的价格比甲醇和乙醇的价格低。现在美国、日本和欧洲都开始注重开采和广泛使用天然气。

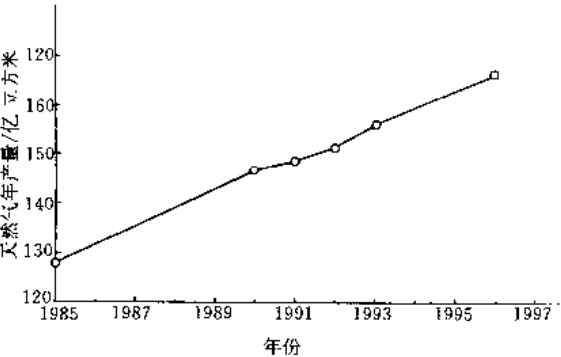


图 1-4 1985 年以来我国天然气的年产量

近年来，我国在天然气的勘探和开采方面有长足的进步。首先，在陕、甘、宁和内蒙边区发现了大面积的气田，统称长庆气田。储量在 3000 亿立方米以上。已用管道把这里的天然气输往西安、银川、北京和天津。其次，在川东盆地发现一个储气量为 1000~2000 亿立方米的大气田，这对西南地区石油不足是个重要的弥补。

更重要的是，1993 年在南海莺琼盆地及其附近海域发现广大的气区。该盆地的崖城 13-1 气田含气砂层 100~200m 厚，储气量达 1000 亿立方米，相当于 1 亿吨石油的储量。另外，在崖城 21-1、崖城 23-1 等海区也发现有气区构造。

国家已制定“油气并举”的国策，拨巨资投入开发陆地与海上的天然气，并计划将南海海域的天然气输送至香港等珠江三角洲城市。我国在 1996 年已开采出海洋天然气 30 亿立方米，折合原油达 3Mt。至 2000 年以前，我国计划在海上建设 10~20 个油气田区，将生产海洋石油 50~60Mt，生产海洋天然气 200~300 亿立方米。图 1 4 给出了我国 1985 年以来天然气的年产量。

现在，一些主要的工业国家都在开发天然气汽车，并且在沿高速公路旁建立天然气供气站。美、英、日、韩和委内瑞拉等国都在制造或改装天然气汽车。我国亦应该在有天然气的地区和城市推广应用天然气汽车和天然气发动机。这样既减少了对石油的依赖，又减少了对城市的污染。可喜的是，深圳、北京已经在率先进行。

二、国外主要工业国家的燃料概况

1. 美国的燃料概况

美国是全世界内燃机燃料和能源消耗第一大国，也是世界内燃机燃料和能源生产大国之一。它亦是全球石油年产量第三大国，仅次于沙特和俄罗斯(表 1 2)，年产石油 3.4 亿吨左右。在 70 年代美国曾经生产过 4.5~5.0 亿吨石油(年)。近 20~30 年来，美国中西部和南部主要产区相继进入衰减期和枯竭期，开采成本很高，缺乏竞争力。加上美国法律规定限制使用

某些先进设备开采石油，又限制某些地区开采石油(防止污染)等，致使美国石油公司纷纷到中东或其他地区开采石油，其国内石油产量一再下降。

但是 1991 年海湾战争以来，美国政府意识到石油进口严重依赖中东的脆弱性和危险性，以及为确保此油路面需付出的高昂代价，决心逐步改变这一局面。其措施有：

- a. 鼓励石油公司在国内开采石油；
- b. 鼓励石油公司在中东以外的地区投资开采石油；
- c. 放松对国内开采石油的某些法律限制；
- d. 鼓励石油公司到阿拉斯加冻土地带开采石油；
- e. 鼓励用煤或天然气代替石油做燃料、包括大力发展天然气汽车；
- f. 鼓励在汽油中加 10% 乙醇或甲醇，以减少汽油消耗量，这种汽油称为掺醇汽油，已在市场上大量供应。
- g. 鼓励研制新的代用燃料，如生物质燃料等。

美国的石油年耗量达到 8.5~9.0 亿吨，占世界石油年耗量的 25%~28%，而且还在不断增加。专家们预测，至 2010 年左右，美国年耗石油量将达到 10.5 亿吨左右，其中 60%~65% 要靠进口，这时可能占世界石油总耗量的 30% 左右。

美国进口石油的大部分来自中东。每年从中东进口数亿吨石油。

美国的轿车保有量为 1.7 亿辆左右，仅这些轿车一年耗石油就要 4 亿吨左右。90 年代初期，美国的一次能源结构如表 1-7 所示。从该表可知：90 年代初期，美国的一次能源中，石油占 40% 以上，石油和天然气共占 62.8%。

表 1-7 90 年代初期美国一次能源结构示例/%

石 油	天然气	煤	核 能	其 余
40.3	22.5	22.2	6.9	8.1

表 1-8 给出了美国 1970 年与 1991 年发电燃料中各组成部分的对比。1973 年中东战争和石油危机以后，美国意识到应该在发电燃料中大力减少石油和天然气的份额，增加煤和核能的份额。所以，至 90 年代初，美国已将石油危机前石油和天然气占发电燃料的 36.3%，减少至 13.3%；而煤的份额从 46% 增至 54.9%，核能从 16.2% 增至 21.7%，而且大力发展水电，从 0.4% 增至 9.7%。

表 1-8 美国 1970 年与 1991 年发电用燃料的结构对比/%

年 份	煤 炭	天然气	石 油	核 能	水 力	其 余
1970	46	24.3	12	16.2	0.4	1.1
1991	54.9	9.4	3.9	21.7	9.7	0.4

为了减少石油依赖中东的情况，美国鼓励发展天然气汽车。近期拟改装成 100 万辆天然气汽车。美国南部阿肯色州等 8 个州已经联合起来在相互联接的高速公路旁建立天然气供气站及其网络，以确保天然气汽车的供气。

美国也是天然气生产大国和消费大国。90 年代初，美国的天然气年生产量约在 5200~5300 亿立方米，约为我国的 32~34 倍。

2. 日本的燃料概况

日本是各种能源都缺乏的岛国，几乎全部石油依靠进口，其中 70% 以上来自中东。所以，

国际石油价格和能源供应情况是制约日本经济发展的重要因素。

日本每年从国外进口石油 3.2~3.5 亿吨,仅次于美国,是世界第二大石油进口国。主要从沙特、伊朗、阿联酋、科威特、阿曼等中东国家进口。其次来自印尼、非洲、文莱。从中国进口原油约占其总进口量的 3%。

另外,日本还从中国进口大量的煤和其他资源。

由于日本是能源、资源缺乏的国家,他们很注意石油系燃料的充分利用和各种代用燃料的研究。在日本进口的石油中,有 2.3~2.5 亿吨用于内燃机燃料。其中只有 10%左右用于汽油(汽油的燃烧效率低于柴油和重油),9.0%~9.5%用于煤油(含航空煤油)。汽油所占的比例是西方工业国家中最低的(美国汽油占原油的比例高达 40%以上)。柴油占 14%~15%左右,重油和渣油占 38%~40%。日本的造船工业和海运事业发达,所以船用重油和渣油量大,从而可以减少炼油成本。

日本对醇类、植物油、天然气等作为内燃机的燃料进行了长期的研究和试用,并取得一定的成果。他们对船用中、低速柴油机燃用重油和渣油也进行了深入的研究。

日本从 1969 年开始,从美国的阿拉斯加进口液化天然气,后来又从文莱、印尼、中东进口液化天然气,以减少石油的进口量。日本每年进口 1 亿吨左右的煤炭。

将煤气化和液化作为内燃机的燃料,在日本也受到重视。加氢液化和溶剂分解液化等方法都在进行中。日本也很重视在国外开采石油和天然气,每年在国外开采的原油达 40Mt。

3. 西欧的燃料概况

西欧最大的石油生产国是挪威,现在年产 110~130Mt 原油。其次是英国,目前年产原油 100~110Mt 左右。丹麦年产原油已达 8.3~9.0Mt,自用有余。这 3 国的产油都得益于他们之间的北海(北海油田)及其近海油田。

意大利和法国在液体、固体和气体燃料方面都贫乏。石油和天然气均依靠进口。进口主要来源于中东和北非。正因为如此,法国大力发展核能发电。其核能发电量占全部发电量的 73%,居世界之首(表 1-9)。

表 1-9 几个国家核能发电占总发电份额的比例/%

法 国	比利时	韩 国	西班牙	美 国	中 国	欧共体
73	60	17.5	35	~22	0.19	33

德国煤产量较多,而石油和天然气产量很少,石油的 90%以上要靠进口。所以,德国在第二次世界大战期间就已开始研究煤的液化技术,期望它作为内燃机燃料。

80 年代初期,德国已造出甲醇发动机和氢发动机,以便减轻内燃机燃料对石油的依赖,并且开始在干线公路上设置加醇站和加醇网络。在储氢材料的研究方面,德国也是首屈一指的。他们已可以依靠汽车本身携带的储氢材料释放出的氢供给汽车发动机作燃料。

西班牙和葡萄牙也缺乏石油和天然气。为此,他们拟从北非的产油国阿尔及利亚和摩洛哥修筑一条天然气输气管经直布罗陀海峡通向西班牙和葡萄牙。该项巨大工程正在实施。

4. 独联体的燃料概况

前苏联在煤、石油和天然气方面都是储量大国、产量大国和耗量大国。这三种能源主要储藏在俄罗斯、哈萨克斯坦和乌克兰。阿塞拜疆的石油原来亦是蕴量丰富的。巴库(俄罗斯)、休斯顿(美国)和大庆(中国)是除中东以外著名的石油城,但现在前二者的产油峰值期已过。

前苏联原是世界第一产油大国，曾年产原油在 6.3 亿吨以上。现在俄罗斯的年产油量仍达 3.5 亿吨，仅次于沙特而居第二(表 1-2)。按其储量和产油能力，在其经济复苏后，其年产油仍可达到 4~4.5 亿吨，与沙特并驾齐驱。

俄罗斯的天然气自用有余，还以管道输送到乌克兰、白俄罗斯和东欧国家。

哈萨克斯坦是前苏联中另一个产油和产气大国。新近在里海西北岸发现重大油气田，正拟与美国和阿曼等联合开采，并拟联合建输气管送气至欧洲。它亦与我国协议合作开采石油和天然气，并拟建输油、输气管输入我国中、东部地区。

独联体年开采油页岩油 30Mt 左右。其中 25Mt 左右作电站锅炉燃料，另 5Mt 作化工原料。页岩油中含各种氢氧化物。独联体依靠石油制成合成橡胶，其产量占世界第二位。

三、其他产油国家的石油和天然气概况

1. 中东地区的石油概况

中东地区是迄今为止发现和正在开采的世界最大的石油库区。其储量占世界石油总储量的 60%(未计及我国最近发现的塔克拉玛干储油区)。其中沙特的储油量占世界储油量的 1/4 左右(同上)。如果除中国和独联体以外，则中东的石油储量占世界石油储量的 70%~75%。

中东的储油和产油国家主要有沙特、伊朗、伊拉克、阿联酋、科威特、阿曼、卡塔尔等。其石油储量见表 1-1。中东的石油产量占世界石油产量的 36%。所谓欧佩克(石油输出国组织)国家，主要也是中东国家。

伊朗是中东第二大产油国，其年产油量在 1.8~1.9 亿吨(表 1-2)。伊拉克在海湾战争前的年产油量曾达到 1.5~1.6 亿吨。

欧佩克年产油量在 12~13 亿吨，占世界产油量的 35%~40%。

苏联解体后，沙特是目前世界上年产油最多的国家，达 4.5 吨左右；而美国是世界上每年从中东进口石油最多的国家，年进口量在 3.5~4.0 亿吨。所以，沙特的产量和美国的需量是决定国际石油价格两大要素。

2. 非洲的石油概况

到目前为止，非洲已经发现的石油藏区在北非和西非几内亚湾一带。北非的地中海沿岸国家，如阿尔及利亚、利比亚和摩洛哥等国，都拥有石油和天然气，并且将把这里出产的天然气通过直布罗陀海峡输送到西欧去。

几内亚湾海域及沿岸是非洲的第二大产油区。其中以尼日利亚为西非最大的产油国，其储油量在 24~25 亿吨左右。据预测，还有 40 亿吨左右有待探明。喀麦隆、加蓬、贝宁、多哥和加纳的沿海和近海海域，也蕴藏着大量的石油。

现在国际上各大石油公司如壳牌(Shell)、美孚(Mobil)、雪夫隆(Chevron)、德士古(Texaco)等都云集于此，展开大规模的钻探和开采。现已达到年产近百万吨石油。在这里投资开采石油风险少、战事少(与中东比)、油区面积大(遍及整个几内亚湾海域)、自喷井多(达 95%)，海域浅、成本低、油质好(含硫量不大于 0.2%)。预计在不久的将来，西非将成为国际上一个重要的石油供应基地。

1995 年我国石油天然气总公司，与马来西亚、加拿大和苏丹政府四方联合开采苏丹的石油。这是我国首次进入非洲开采石油。

3. 东南亚和拉丁美洲的石油、天然气概况

印度尼西亚、文莱、马来西亚和越南等东南亚国家都有丰富的石油和天然气储量。菲律宾、泰国和新加坡在这方面少一些。为此，东盟六国已决定共同投资 100 亿美元，修建 6000km 长的陆上-海底输气管道，将上述六国的主要城市输气管道统一连接起来，组成东盟天然气供气网络。

东南亚国家由于经济快速增长，对能源的需求也迅速提高。他们除了增加开采石油外，还转而重视煤和天然气的充分利用。

印尼苏门答腊岛上米纳斯原油是石蜡基原油，含烷烃多，含硫量很低，类似于我国大庆原油。米纳斯原油与文莱原油是日本进口原油的第二来源（第一是中东）。东南亚出口到日本的原油占日本年进口原油量的 18%~20%。

印尼东加里曼丹省的阿塔卡(Attaka)产的原油质优，属中间基轻质原油。其含硫量只有 0.05%~0.07%；含盐(NaCl)量低于 5.7mg/L(低于大庆原油)，凝点低至-48.3℃(大庆原油凝点高达 31℃)，密度只有 0.8128g/mL。馏程在 343℃以下的轻油收率高达 82.3%(质)；344~552℃的减压馏分油只占 15.7%(质)；553℃以上的渣油只占 2%(质)。我国上海石油化工股份公司炼油厂已加工该原油。

拉丁美洲最大的石油生产国是委内瑞拉和墨西哥。委内瑞拉 1996 年出口石油 1.3~1.4 亿吨。是世界上的石油出口大国。

墨西哥的石油出口额占其总出口额的 30%，其石油外汇收入占其总收入的 20%。

厄瓜多尔的石油储量在 200~250Mt，年产石油 14~15Mt。

1994 年我国首次进入南美洲开采石油，接管了秘鲁塔拉拉油田。这是一个已有近百年历史的老油田，但经中方人员努力，年产量已从 80kt 上升到 320kt，甚至开采出日产 400t 的高产油井。

1996 年我国进入委内瑞拉开采石油。现在已有两个油田由我国负责开采。其总储量在一亿吨以上。

第三节 内燃机燃料的发展趋势

一、石油系燃料的发展趋势

1973 年中东战争和石油危机以来，内燃机燃料正在经历着一场深刻的变革。这场变革是长期的(可能要半个世纪以上)，但变革的方向都是无可置疑的。因为内燃机用的传统燃料是石油系燃料，而它在地球上的储量是有限的，并且其分布是极不均匀的，加上现在每年全世界要消耗石油 33~35 亿吨。储量、耗量与分布不均之间的矛盾更加突出。以至于三次中东战争、海湾战争和两伊战争，从某种角度看，在相当程度上，实质就是为石油而战。因此，说它们是石油战争，也并不过份。

但石油终将枯竭，这在 21 世纪内将成为现实。只是各国、各地枯竭期到来的时间先后不同而已。至于局部枯竭，则早已是事实，如我国的玉门油矿、美国的中西部油田。著名的巴库油田、休斯顿油田亦将难免于最终枯竭。

所以，有识之士都在积极呼吁研究内燃机的代用燃料，这是世界性的大课题，是人类必经之路。

当然，在 21 世纪的 20~30 年代前，内燃机的主要燃料仍将是石油系燃料，其他代用燃

料只起辅助作用或局部代用。但是,随着石油的枯竭,内燃机燃料终将被代用燃料所接替。

为了充分合理利用现有石油的资源,石油系燃料本身正在向重质化、宽馏分化以及按地区、季节供应不同凝点的燃油等的方向发展。

燃油的重质化方向:汽油、柴油、重油和渣油都在向重质化方向发展。这是增加轻油和降低成本的一种有效方法。例如,过去的汽油终馏点在 180°C 左右,现在已延伸到 $200\sim 210^{\circ}\text{C}$ 。馏分馏出的温度愈高,则其密度愈大。所以,重质化了的汽油密度比以前略有增加。柴油的终馏点过去为 330°C 左右,现在延至 350°C ,甚至有的国家延至 $360\sim 370^{\circ}\text{C}$ 。也就是把原来划入重油的馏分,划出一部分作为柴油使用。这样划了以后,加上用 350°C 以上馏分经过二次加工,再提炼出轻油,剩下的渣油(残油),其相对分子质量和密度更大,粘度更高,金属和杂质含量更多,成了名符其实的“渣油”。现在国外大型低速船用柴油机已燃用雷氏1号粘度高达 $5000\sim 6000\text{s}$ 的重油和渣油。

上面已提到汽油的馏程宽度比70年代以前放宽了,但馏程放宽最明显的是柴油。这种柴油称为宽馏分柴油。过去的柴油馏程为 $180\sim 330^{\circ}\text{C}$ 或 $200\sim 350^{\circ}\text{C}$,现在为了多产柴油,把原属重油的部分馏分划入柴油,即把 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ (甚至 420°C)的这一段馏分划入柴油。这样做后,柴油的粘度太高。为了减小其粘度,再把一部分属于汽油或煤油的馏分,也划入柴油,即将其初馏点从原来的 $180\sim 200^{\circ}\text{C}$ 左右,放低到 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$ 。这样,宽馏分柴油的馏程宽达 $230\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。即初馏点为 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$,终馏点为 $400\sim 420^{\circ}\text{C}$,甚至更高。这样做,大大增加了柴油的产量。

宽馏分柴油在德国、俄罗斯和欧共体国家早就实行,我国在80年代进行试验研究。这对于柴油用量多的国家来说是一种有效的节能措施。因为柴油机的热效率比汽油机的热效率约高25%左右。

按汽油的挥发性或柴油的凝点在不同地区或季节供应不同型号的油,这也是一种节约能源的方法。跨纬度较大的美国、日本、俄罗斯等国,都这样做了(详见第五、第七章)。其指导思想是把挥发性好的汽油和凝点低的柴油用于寒区和冬季;而把挥发性差的汽油和凝点高的柴油用于温暖地域和温暖季节。

不仅如此,为节约能源,降低运行成本以及提高适应能力,内燃机也从改进自身的供油系统、燃烧系统、甚至增压系统入手,使自己能燃用更重、更差一些的燃料。如原来燃用柴油的中速机改为燃用重油;原来燃用重油的低速机改燃用渣油;原来燃用粘度稍大和密度稍大的渣油,现改燃用粘度和密度更大、杂质更多的渣油。从某种角度看,这也是一种燃用代用燃料,即由原来燃用质量较好的石油系燃料改为燃用质量较差的石油系燃料。现在新制造的大型低速船用柴油机,已几乎全部可以燃用渣油。其有关的结构都已围绕着这一点作了不断改进。这再一次证实燃料与内燃机休戚与共的密切关系。

另外,各主要工业国家都在逐步降低柴油机的十六烷值。50~60年代时,各国柴油的十六烷值都在 $50\sim 60$,甚至超过60。现在已降至 $45\sim 48$ 。美国和加拿大甚至订立不低于40的标准。我国在新的国家标准中,也已将柴油的十六烷值订为不低于45。根据作者的长期研究,十六烷值是柴油着火性能的一种表现性能指标。柴油着火性能的本质性指标是其芳烃含量,特别是其多环芳烃的含量。美国和加拿大的柴油十六烷值订为不低于40,是因为其柴油的芳烃含量不超过30%,所以是可行的。如果柴油的十六烷值低于45,而其芳烃含量已超过30%,甚至超过35%,则其着火性能将明显恶化,其适应高速柴油机燃烧过程的能力急剧变差。所以,目前我国柴油的十六烷值订为不低于45已是极限,再低下去将不合适。