

二〇〇〇年的中国研究资料

第四十三集

工程热物理学的国内外进展及其前景

中国科协二〇〇〇年的中国研究办公室



前 言

工程热物理学是研究动力机械与装置中工质运动及能量释放,转化与传递过程中基本规律的技术科学。它与能源、交通运输、发电、农机、石油、化工、材料、食品工业以及飞机、舰艇、宇航等国民经济、人民生活与国防建设中许多部门都有着十分密切的关系。

当前世界性的能源问题促进了本学科的发展。国内外,能源利用(包括新能源中的核能、太阳能、地热等)绝大部分都是通过热的形式转化、传递与利用的,即使是水力发电,水轮机也是一种叶轮机械,是本学科的研究对象。因此工程热物理学是能源合理开发与利用的科学基础。2000年时,我国工农业生产总值将翻两番,但是能源总值却只能增加一倍。所以解决能源问题势必将成为发展国民经济的战略重点。解决能源问题无非是“开源”与“节流”两个方面。对我国来讲尤其要重视节能。与先进工业国家相比,我国能耗与产值的比值明显偏高,以内燃机为例,全国保有量已超过四亿马力,年耗油量占我国石油产量的1/3以上。国外中小型柴油机的油耗已降为160~170克/马力·小时,而我国一般为195克/马力·小时,高出20%以上,如果油耗平均降低10%,则每年可节油300多万吨。又如我国目前可供开发利用的工业余热资源,折合标准煤为2000万吨/年。占煤年产量的3%。可见节能大有可为。自然,这要成为现实,就必须建立在科学技术进步的基础上。

当前国际上正在出现一场新的技术革命,这对我们来讲是一个机会,也是一场挑战。我们必须抓住时机,针对我国实际,选择好战略目标,部署力量,迎头赶上。燃气轮机是一种先进动力机械,在航空中已占了绝对优势,并日益广泛地应用在舰艇、石油基地、海洋平台等方面。国际上正在发展的燃气轮机—蒸汽轮机联合循环,装置总热效率能达60%甚至更高,而现代最先进的蒸气动力装置热效率仅为41%左右。至于航空燃气轮机我国远远落后于国际水平。再如以煤代油,更合理地利用煤,这也是国际的发展趋势。对我国来讲更为重要,尤其要充分利用我国蕴藏量很大的劣质煤。这是重要的研究方面,为此必须开展煤的燃烧基础、流化床燃烧、水煤浆等方面的研究。上述仅是几个例子,这些研究课题都是较长期的,需要多方面的配合,必须作好规划。

各种学科相互渗透,研究成果在其它领域内推广使用,这也是当前科学技术发展的一个特点。我国科学家创立的叶轮机械三元流动理论,至今仍是国际先进叶轮机械的设计、分析计算的理论基础。以往偏重应用于燃气轮机中,现在日益推广应用于蒸气轮机、水轮机、各类泵及风机,已取得了可喜的成果。传热传质学是当前本学科中很活跃的一门分支。其活跃的一个主要原因是它广泛地渗透到各个领域,在新能源,如核能、太阳能、地热的开发中所起的作用是显而易见的,在各种余热利用中更是天地广阔;甚至在食品工业中,例如深冻,冷藏保鲜、烘制等过程有不少传热传质学课题。又如,每个

国家在火灾中要牺牲不少生命、财产。安全防火、灭火就是气动、传热传质、燃烧的综合课题。我国这些方面还开展得很少。相信这些方面的研究将是我学科发展的新增长点。

理论分析,数值计算与实验工作,是本学科发展的三个相互联系的方面。针对我国具体情况特别要加强实验工作。发展实验工作,除了要建一些实验设备,保证实验件的加工外,特别要加强发展先进的测量技术。国外引进与国内自行研制相互配合,无论是那一条途径,国内各单位都要加强协作,密切交流,避免重复。

本学科中还有一些重要的,但仍是薄弱的方面,例如国产材料和工质的热物理性质的测定和分析研究、热特性数据库的建立等。所有工业先进国家都注意制订本国的热特性标准,我国这方面工作还处于自流状态,急需统一规划,加强领导,组织协调。

“任重道远”,这是本学科目前状况的概括。“任重”是国民经济与国防建设中有许多问题需要我们去解决。“道远”是我们与国际先进水平相比有很大差距,应该看到如按“常规”的速度前进势难在2000年时赶上当时的世界先进水平。改革是众心所向。

“经济建设必须依靠科学技术,科学技术必须面向经济建设”,这是根本方针。尤其是作为一门技术科学的工程热物理学,为国家的经济振兴作出更多的直接贡献是义不容辞的责任。

我国已形成了一支可喜的工程热物理学科队伍,既有国际著名科学家的先率,又有广大中青年科技工作者的后继。我们要立足国内,面向四化、面向世界,面向未来,前程似锦。

目 录

前言

节能与能源利用

能源与新的技术革命.....	谢焕章 (1)
内燃机的节能.....	史绍熙 (6)
余热资源的开发利用.....	王补宣 朱明善 (13)
工业余能的动力回收.....	凌志光 (19)
发展总能系统是提高能源利用水平的有力措施.....	蔡睿贤 (29)
公元2000年的蒸汽机车.....	顾纬藻 神家锐 (36)
现代热汽机的技术发展.....	叶经纬 (44)

工程热力学

不可逆热力学的研究现状.....	杨东华 (50)
生物热力学.....	谢焕章 (55)
关于“低焓能源转换和利用技术课题”的建议.....	吕灿仁 (60)

气动热力学

叶轮机械气动热力学的动向与展望.....	陈乃兴 吴文权 (62)
增压器气动热力学的研究现状与发展.....	曹孝瑾 (70)

传热传质学

燃气轮机冷却技术的中外概况.....	李静 葛绍岩 (75)
热管技术的发展及其前景.....	马同泽 (78)
工业炉中热辐射的强化与控制.....	过增元 (84)
能源的合理利用与热泵技术的发展.....	江淑琴 (90)

燃烧学

内燃机燃烧的研究.....	史绍熙 赵奎翰 (94)
水煤浆技术的现状及前景.....	黄兆祥 (102)
水煤浆用作燃气轮机及联合循环燃料.....	王应时 (116)
流化床燃烧——一种高效低污染燃烧技术.....	张绪伟 (118)
一门新兴的分支学科——数值计算燃烧学.....	王应时 周力行 范维澄 (125)

能源与新的技术革命

谢 焕 章

近年来，世界上在科学技术上，社会生产上出现了不少前所未有的发展苗头。对于科学技术即将出现重大突破的预测和带来社会生活新变化的种种动向，应该引起人们的注意和重视。本文企图从历史的观点，从技术发展史的角度，来讨论能源和动力技术与新的技术革命的关系，论述能源和动力技术在新的技术革命中的重要作用。只是抛砖引玉，希望引起大家更多的讨论。

对于技术革命的含义和划分，各作者的看法和提法，差别很大。有的认为即将来临的是第三次技术革命，有的认为是第四次，有的认为是第五次等等。其中每一次所指的内容也不相同。所以有必要首先明确技术革命的含义和定义，什么叫技术革命？要能称得上“革命”两个字，它所指的内容显然与技术进步、技术革新、技术突破和技术变革是有区别的。例如，把家庭生活的自动化，办公室中办公用具和办公程序的自动化也称为“革命”，恐怕是不恰当的。作者认为，在人类生产技术上的重大变化，要能引起工业上或农业上的产业革命，才能称得上技术革命。那么什么是产业革命？哪几次产业的重大变化可称得上产业革命？在这个问题上也有各种不同的意见和看法。但是，在十八世纪以蒸气机为核心的产业革命却是全世界都一致公认的。既然全世界公认这一次是产业革命，那么就以这一次的历史事实，发生的重大变化和重大影响作为产业革命的标准和定义。

作者认为要称得上产业革命，不仅要能在国民经济的实际产业结构发生重大变化，不仅在生产技术、生产结构和生产领域中发生重大变化，并且要在人的劳动方式、生活方式和社会生活领域，包括生产关系和上层建筑等方面都发生重大变化，才能称得上产业革命。

十八世纪首先在英国掀起，十九世纪遍及全世界的那一次产业革命，确实称得上产业革命。能引起如此规模的产业革命的相应的技术上的重大变化，重大飞跃和发展，才能称得上技术革命。

考察一下动力和能源在这次产业革命中所起的重大作用，是很有意义的。

在这一次产业革命中，英国和后来许多国家的生产技术和产业结构发生了重大的变化。蒸汽机的出现，改变了当时主要依靠马和牛作为动力的能源结构。在产业革命前，当时在欧洲的能源主要就是1400万头马和2400万头牛。例如在德国一个金属矿山，是用500头马来拖动各种生产机械的。由于生产动力和能源的变化，使纺织厂、炼铁厂、加工工厂、矿井和各种工厂的生产面貌完全改观。把蒸汽机用于交通运输后，又出现了蒸汽机

车，铁道、蒸汽轮船等。交通运输的前进又反过来促进煤铁工业和其他工业的发展，一个技术发明推动另一个技术发明，一个生产部门的革新推动另一个生产部门的革新，各生产部门既起链锁反应，又发生反馈作用。很快把英国的社会生产面貌形成了机器大工业的产业结构。

各种产品的产量大幅度成倍增加，从煤和铁的产量数字来看：英国在1700年的煤产量为2.6百万吨；到1913年增为220百万吨。英国在1740年的铁产量为1.7万吨；到1850年猛增至225万吨。而动力技术和能源结构的飞跃发展，是各种产品大幅度增长的先决条件。例如英国的煤矿本来因水淹而有不少停止了生产。蒸气机的出现不仅排干了矿井中的积水，并且在起重和输送方面，蒸气机大大提高了生产能力。铁产量的大规模增产，只有在蒸气机带动了炼铁炉鼓风机才有可能。原料的来源和成品的运输也都离不开蒸气机动力。

在英国逐步形成机器大工业的生产面貌和产业结构的过程中，动力技术的飞跃发展是这次产业革命的关键和核心。

马克思说：“蒸汽大王在前一世纪中翻转了整个世界”。这句话是否可理解为蒸气动力和能源技术方面的技术革命，在前一世纪中掀起和主导了整个世界的产业革命。在《大趋势》这本书中，有这样一句话“能源是任何文明的先决条件”。这些都充分说明了动力技术和能源结构在发展生产和产业革命中的关键作用和重大作用。

在这一次产业革命中，也确实发生了社会生活方面的重大变化。新的资本主义的生产方式取代了过去的封建主义的生产方式，使资本主义的现代工厂制确立起来。造成了大工业资本家和产业工人阶级两个对立的阶级。

这是近代，由封建制度向资本主义制度转变的时代所发生的情况。

古代的情况如何？由奴隶制度向封建制度转变的时代情况如何？回忆一下历史，分析一下历史的规律，对我们考虑未来的技术革命是有益的。

人类早期是以采集果实，渔猎为生。后来发展到开荒种地，利用奴隶人力掘地耕种，生产力水平是很低的。大约在公元前五世纪的时候，在我国春秋时代，逐渐出现了原始的用牛拉犁的生产技术。牛拉犁就是人类第一次利用人的肌肉以外的动力来用于生产的。马克思说：“兽力的使用是人类最早的发明之一”。牛拉犁促进了大片荒地的开垦和农业生产的发展。奴隶主强迫奴隶去开垦井田以外的荒地，出现了大片的私田，私田的出现促使统治者实行按亩数收税的规定。私田的主人逐渐改变了井田制的剥削方式，令种田人交纳收获物的一部分作为地租。这样，占有私田的奴隶主贵族就转变成封建地主。原来耕种井田的奴隶就转变为农民。人类第一次动力技术的发明和利用，牛拉犁的发明和逐渐广泛使用，在促使井田制的瓦解，奴隶制的衰落和封建制的兴起中起着重要的促进作用。

牛拉犁这一动力技术，在当时的社会生活中影响如何呢？牛拉犁动力技术使粮食生产增加，使社会上非生产的人，就是可以从事其他社会活动的人，逐渐增多起来。使兴办水利事业成为可能。战国时期是兴修水利极盛时代，如魏国的引漳工程，韩国的郑国渠，蜀郡的都江堰，都是在差不多时候建设起来的。水利建设又使农业生产进一步增加。战国初年，魏国每亩只生产一石五斗。郑国渠建成后，关中平原亩产增到三石四

斗，提高2.26倍。农民富裕起来，可养活社会上非生产的人数更增加。各诸侯国富强起来，才有能力进行养兵用兵和制备武器等。牛拉犁动力技术使农业生产改变面貌后，各诸侯国才有能力进行大规模战争，促成在政治上日益走向统一。应该说秦始皇统一中国，与牛拉犁动力技术和古代的能源情况有一定的联系。如果说蒸汽机在近代欧洲翻转了整个世界，那么牛拉犁动力技术翻转了整个古代中国。

牛拉犁的影响是深远的。在建立和巩固我国的封建统一的中央集权政权方面，起过重要的经济基础作用。在秦始皇以后，汉武帝任用赵过推广“用耦犁，二牛三人”的牛耕法，进一步达到深耕，使当时农业生产获得了前所未有的发展。

欧洲的情况不同，直到罗马帝国末期（公元500年左右），人力还是普遍使用的唯一动力。他们也作过利用牲畜动力的企图，但马具压在马的气管上，使马的动力不能充分发挥出来。罗马帝国以后，欧洲和小亚细亚都缺乏奴隶，才不得不寻求其他动力来源。直到公元1000年，西欧人才大量利用牲畜动力来生产。因此农业生产的经济基础，没有象中国汉、唐代那样发达，封建统治体系没有像中国那样强大，巩固和发展了中央的集权化。

因此，人类第一次发明自身以外的动力——牛拉犁等兽力的利用，它的作用和影响，本质上，原则上与十八世纪的那次产业革命相似。也是不仅在生产技术、生产结构和生产领域中发生重大变化，并且在劳动方式、生活方式和社会生活领域，包括生产关系和上层建筑等都发生了重大变化。因此，以牛拉犁为代表的动力技术，使农业的生产面貌改观，使社会的政治制度转变，称得上人类的第一次技术革命。十八世纪以蒸汽机动力技术为核心的革命，称为人类的第二次技术革命。

历史上的两次技术革命，都是以动力技术和能源结构的发展为主导的，这是历史的规律。

温故而知新。了解过去，可以懂得现在，可以预测未来。从人类过去的技术革命的规律来看，未来的新的技术革命，恐怕还要依靠新能源的突破。

结合我国实际情况，为未来的技术革命准备基础条件，为抓住机会迎接新的技术革命，我国应大力加强能源建设，重点发展新能源研究。

任何一个国家，要发展生产，改善人民生活，提高产品的数量和质量，必须要使用更大的动力，消耗更多的能源。一个国家的发达程度与能源消耗之间，大体上存在着线性关系，这是一条被长期的历史所证实的规律。

动力和能源在整个国民经济中占有极其重要的地位，它是四化建设的重要物质的基础，是实现四个现代化的“先行官”。也是未来新的技术革命中的前沿骨干。在整个国民经济中，动力和能源是关系到全局的关键工业。抓住了这个纲，就能促进各种工业和农业等的全面发展。在动力和能源技术上取得突破，就能促进各技术领域的突飞猛进。

电子技术，信息科学是十分重要的。但构成客观世界的三大要素是：物质、能量和信息。而信息是物质和能量在空间上和时间上分布的不均匀程度。所以主体还是物质和能量。在发展建设中，能源的能量翻一番，物质产值至少翻两番。所以还是能量和能源更重要。

总之，作者建议在迎接新的技术革命时，我国采取的对策之一是：在加速发展电子

技术、信息科学、生物工程、新型材料和海洋开发等新技术的同时，重点发展能源技术和新能源技术。

如何发展能源？恐怕应该结合我国实际情况，多样化地发展能源技术和能源工业。既要大力发展传统能源，又要积极研究新能源。应该传统能源和新能源并举，集中与分散相结合，并且注重再生能源的开发。我国水力资源世界第一，地势西高东低落差大，发展潜力很大。但目前只利用了3%左右。应该大力推广分散的，因地制宜的小水电，和集中的大型水电并举，结合发展。我国地形复杂，应该因地制宜地多样化地发展多种能源技术。例如草原利用风力和太阳能的条件较好。草原有了动力以后，生产和生活的面貌就会大变。日本记者参观了有风力发电和太阳能利用的草原后，在日本报纸上赞叹说“现代化的春风，吹进了内蒙古草原。”这春风的前锋就是动力和能源。我国沿海地区可以发展潮汐、海浪和海水温差发电。其他如地热、氢、沼气等等都属于再生能源，都应努力开发利用。至于非再生能源，从长远来看，不宜消耗太多。

新能源的研究开发途径也是多方面的。气球下面挂着风力发电机到对流层顶上去发电，将电流导引至地面，这是一种。利用细菌发电，细菌把阳光转变为电能，又是一种。利用海水温差发电，利用矿井深处温差发电，利用肌肉生化原理产生机械功等等，都是值得研究开发的。在新能源中应该重点加以研究的是可控核聚变反应。核聚变反应所释放的能量比核裂变反应释放的能量大得多。一公斤氘聚变反应所放出的热量相当于约2万吨优质煤。并且氘在海水中几乎是取之不尽用之不竭的。所以核聚变反应实际上也是属于再生能源。如果能够实现可控核聚变并能实际应用，则人类将可获得几乎是无穷无尽的巨大动力和能源。但要实现可控核聚变必须克服一系列技术难关。第一个难关是点燃温度高，要求能产生约一亿度的超高温。再一个难关是反应时间和粒子密度要满足所谓劳逊条件，意思是要有一定的约束密度。约束的方案有磁约束和惯性约束两种。磁约束聚变用平行于器壁的磁力线，使带电粒子不会横越磁场而与器壁接触。惯性约束聚变是在等离子体受热膨胀还来不及飞散的极短时间内完成聚变反应。后者实现的可能性比较大。我国已经建立了惯性约束聚变反应的实验装置。

如果可控核聚变成功和实际应用的话，将是一种理想的能源。人类将可以获得实际上无穷无尽的巨大动力。可以想象，那时人类将可以按照人的意志来改造地球，移山造海将成为可能。例如：如果有巨大的动力的话，我国大西北的黄土高原将可以逐步推平，全部变为可耕地。黄河长江将可以任意挖深，按照人的意志来改道和重新安排。各条大河的水将可以不全部流入大海，而通过四通八达的人工河道去灌溉戈壁大沙漠，把沙漠改造成鱼米之乡将不是不可实现的幻想。新的生态平衡将在各学科的配合下逐步发展起来。无穷无尽的能源将可以使农业工厂（即农业工厂化）普遍发展起来（农业工厂化需要能源）。农产品将逐步丰富到各取所需的地步。用可控核聚变反应作为能源的同步人造小太阳，将可以按照人的意志来改造气候。这样翻天覆地的巨大变化，才是真正的第三次技术革命。当然不是孤立的发展能源，而是在各种新技术革命的密切配合的发展下，才能实现上述的巨大变化。

第三次技术革命将给我国提供一个机会。在国外各种议论新技术革命的书，尽管讲得有声有色，但都忽视了一个重要观点，就是社会政治制度这个上层建筑对经济发展

和技术发展的能动作用和促进作用。只要稍学一点技术史就知道政策对技术的发展有非常密切的关系。十八世纪英国统治者用悬赏奖励的政策来鼓励提高纺纱生产技术，汉武帝任用赵过来推广牛拉犁技术。正确的政策对农业发展影响很大。从反面来讲，朱元璋当场击碎“水晶刻漏”的不正确政策在我国近代科技落后方面也起了一定的作用。大家都看到我国在三中全会和十二大以后，出现了欣欣向荣的大转折。当今的现实生活，说明政策对发展生产多么重要。

在未来的第三次技术革命中，我国的社会主义公有制和计划经济制度将发挥出优越的作用。可以有意识地集中力量，重点发展骨干技术，如可控核聚变新能源，从而推动各行各业全面迅速发展。资本主义社会利润支配一切和根深蒂固的私有制和私有观念，资产阶级自由化、个人化和各自为政，将阻碍改造地球的第三次技术革命的发展。例如，美国的矿山、铁道、湖泊……往往为私人所有，怎么能统一改造呢。只考虑各人的享受，追求什么“高感情”，分散化，什么个性“解放”（其实是个性放荡）。怎么能集中力量统一意志，搞大规模的，高度组织化的新技术革命呢。西方较强的资本主义的制度，正像过去中国的强有力的封建制度一样将阻碍社会的继续发展。历史证明，先进和落后在一定条件下可以互相转化。在一定条件下，先进中孕育着落后，落后中孕育着先进，这种事例在技术史中屡见不鲜。在未来的第三次技术革命中，我国超越西方资本主义国家而重新像古代一样在世界上处于领先地位的可能性是存在的。

内燃机的节能

史 绍 熙

一、内燃机节能的重要性及节能潜力的估计

我国进行“四化”建设需要巨大数量的能源。1979年我国能源消费量是1952年的12倍。到2000年,我国工农业总产值计划翻两番,而预测我国能源生产只能翻一番,这意味着要满足国民经济发展对能源的需求,一半靠增产,一半靠节约。

内燃机是应用范围最广,热效率最高的一种热力发动机。它广泛应用于国民经济各个领域和国防建设部门。特别在水陆交通运输及农用动力中占有压倒优势。内燃机所消耗的石油,在美国达全国石油消耗总量的50%以上,在印度亦达50%以上。在我国,目前内燃机每年消耗的油料约占全国石油总产量的34%左右,其中农用内燃机每年耗油占内燃机总耗油量的29.4%,汽车用内燃机每年耗油占32.4%,水运系统每年耗油约占11.8%,其它(机车用、工程和矿山机械用、发电用、摩托车用等)约占26.4%。今后随着国民经济的发展,内燃机的数量和燃油消耗量必将继续增加。因此,内燃机是石油用户中的一个大户,也是节能潜力最大的领域之一。

目前我国内燃机保有量为三百多MW,其中汽车用内燃机约130MW(208万辆),农用内燃机约110MW,其余为船用内燃机、机车用内燃机、工业用内燃机和军用内燃机等。

我国目前生产的各类内燃机,特别是汽车用内燃机,油耗一般偏高。此外,我国道路质量较差,使用及维修技术水平又低,以致实际油耗还要高。因此,我国内燃机节能的潜力是很大的,如果采取各种措施,使内燃机的油耗下降10%,则每年可节油340万吨,等于开发一个新的中等油田。

上述10%的节油指标,要求并不过高。最近,美国为了改善内燃机性能,特别是降低油耗,组织了第一流水平的研究所(圣地亚研究所等)、高等学校(普林斯顿,加州大学等)和生产工厂(通用汽车公司,寇明斯公司等),根据美国能源部提出的要求,共同合作,进行发动机燃烧技术的研究。计划从1982年至1986年共投资2000万美元,其最终目标是降低油耗20~30%。他们确定于1984~1986年最后三年的重点项目是:代用燃料在DISC内燃机上应用的研究,稀薄燃烧界限及控制柴油机排放颗粒的研究,并完成某种燃烧方式的数学模型。美国的这种以能源部(政府)为中心,由研究所、大学、工厂三者结合,共同研究内燃机燃烧技术的计划,引起了各国的注意,值得我们参考。

二、内燃机节能的措施

内燃机的节能措施可以分为四大方面:一是提高发动机的热效率,二是燃用劣质燃

油，三是燃用非石油制品燃料（即代用燃料），四是节约在制造内燃机过程中所消耗的能量。

内燃机节能是一项涉及面很广而又十分复杂的问题，它涉及产品的设计、生产和使用过程中的许多问题，例如产品设计、制造工艺、材料油料、配套情况、运行条件、操作规程、管理制度等等。而产品设计的优劣是最根本的问题。设计一个新产品或改进一个老产品都牵涉到许多工程热物理问题，如工程热力学、传热学、燃烧学、流体力学等。只有在研究好这些方面的问题的基础上，才能设计出优良的燃烧系统、燃料供应系统、冷却系统、进排气系统、增压系统，才能提高内燃机的热效率，提高能源的利用率。或使内燃机能燃用劣质燃油和非石油制品燃料，以节约短缺的石油资源。根据我国的实际情况，建议采取下列节能措施、分步实施。

（1）改善现有产品的使用管理，对管理人员及操作人员进行节能技术的培训，制定节能法令，确定产品能耗指标，实行节约奖惩制度等。

（2）调整汽油、柴油价格。目前汽、柴油差价过大，从下表可以看到，此差价要比其它国家大得多。价格的不合理导致油料生产和使用的不合理，从而造成石油严重浪费。因此，必须合理调整油料价格。例如，由于农用柴油价格过低（145元/吨），有些地方的农民甚至把农用柴油当作生活用燃料使用，造成很大浪费。各种锅炉目前每年要烧掉3300万吨燃油（重油、原油）。因此提高重油价格，有利于限制烧油，鼓励烧煤。

国外柴油与汽油价格之比

	美 国	日 本	西 德	英 国	法 国	意大利	中 国
柴油/汽油价格比	0.9	0.66	1.01	0.8	0.75	0.87	0.4

另一方面，汽油价格过高，限制了汽油在农村的广泛使用，也限制了炼油厂增产柴油的积极性。如汽油不减价，则目前六吨以下载重汽车必须用汽油机的规定，不仅对使用部门极为不利，而且由于汽油机的热效率比柴油机一般约低30%，对节约能源也是很不利。这些问题涉及油料政策、农业政策和其它政策，必须进行专题研究，妥善解决。

（3）实现产品的系列化、通用化和标准化，制订产品发展规划。

内燃机系列化、通用化和标准化的目的在于用尽可能少的机型，通过合理变型，最大限度地满足各种用途的需要。产品的三化不仅有利于组织生产，而且有利于维修、使用和管理，从而可以大量节约内燃机生产和使用过程中所消耗的能量，这是一项重要的技术政策。

可是，我国内燃机的系列化、通用化和标准化工作，特别是中、小功率柴油机的三化，至今还没有实现。目前，中、小功率柴油机缸径档次过密，而且同一缸径的柴油机，结构上也各不相同，从而造成了机型杂乱，品种过多而又不全，构成不合理，配套适应性差等的混乱局面，造成能源的巨大浪费。要改变这一局面，必须及早实现产品的三化，这是一项迫切和严重的任务。

（4）改进现有产品，提高产品质量，合理配套机具。

产品质量的低劣是造成能源浪费的根本原因，目前我国生产的内燃机质量一般说还

不高, 不仅油耗偏高, 寿命也较短。此外, 由于发动机与机具配套不合理而造成的能源损失也很大, 如对现有产品进行改进, 提高加工质量, 改善产品性能, 合理配套机具, 限期要求产品的油耗比原来的平均下降 5 % 是完全可能的。

为了提高产品质量, 必须加强关键零部件、附件及有关工艺、材料的研究改建工作, 并组织好这些零附件的专业化生产。如高压油泵、喷油器、化油器、增压器、活塞、活塞环、缸套、轴承和滤清器等。

(5) 研制下一代产品, 逐步淘汰落后产品。

这是一项重要措施, 要有计划地组织力量, 研制新产品, 使之在今后 4~5 年内投产。要根据我国实际情况, 采用适用的技术, 应用已有成果, 改进设计, 提高工艺, 使新产品达到较先进水平, 要求油耗率、排放率、可靠性和使用寿命接近现有国外同类产品, 在新产品中应包括适合我国广大农村使用的沼气发动机。

到 2000 年我国内燃机科学技术将会发展到一个新的高度, 国际上七十年代和八十年代初发展起来的新技术, 如无涡流直接喷射式柴油机、高增压柴油机、绝热柴油机、复合式发动机、稀混合气汽油机、高压压缩比汽油机和热气发动机等, 将会逐步发展并在经济建设中发挥作用。为此, 必须大力进行有关这些热力发动机的关键热物理问题的研究。包括各种内燃机的燃烧过程、有关热力学、传热学和气动力学等的研究。

(a) 无涡流直接喷射式柴油机

美国寇明斯公司研究发展成功一种无涡流或低涡流高喷油压力的直接喷射式燃烧系统, 采用这种燃烧系统的柴油机与一般强涡流、低喷油压力的直接喷射式柴油机相比, 在发动机性能和排气污染方面具有明显的优越性。寇明斯公司认为, 下一代汽车用柴油机是无涡流或低涡流、高喷油压力 (100~150 MPa)、涡轮增压带中间冷却的柴油机。这种发动机具有最佳的综合性能。这种燃烧过程及其系统值得我们进行进一步研究。但是, 要采用这种燃烧系统, 必须首先解决新的高喷油压力的燃油喷射系统。

(b) 高增压柴油机

柴油机采用排气涡轮增压是提高柴油机功率、减轻单位马力重量、缩小外型尺寸、节约材料、降低油耗的一项重要措施。因此, 近三十年来世界各国对柴油机的增压及增压器的研究, 进行了大量工作, 增压度逐步提高, 取得了很大进展。开始是低增压, 而后实现中增压, 现在高增压已成为发展趋势。目前四冲程柴油机的平均有效压力已从不增压的 0.6 MPa 达 2.5 MPa, 二冲程机已从 0.4 MPa 达 1.5 MPa。进一步提高增压度的中心问题是如何控制最高燃烧压力和压力升高率, 使之不超过允许的限度而同时又使发动机具有较高的热效率。这是目前高增压柴油机在燃烧方面的主要研究课题。

(c) 绝热柴油机

柴油机的热平衡表明, 损失于排气和冷却系统的能量, 占燃油总能量的 2/3。美国陆军坦克机动车研究发展部和寇明斯公司正在研究大幅度减少现在排气和冷却系统中的能量损失, 发展不带传统的柴油机冷却系统的高温发动机, 即绝热发动机。这种发动机是采用能在高温条件下工作的耐热材料, 把活塞、气缸盖、气门、气缸套和排气道等作为高温绝热件, 不进行冷却, 设法将原来散失在排气和冷却水中的热能转变成有效功率。

不增压的绝热发动机的燃油消耗率比传统的水冷式发动机没有多大改善。而且, 随

着发动机绝热程度的提高, 输出功率急剧下降, 这是由于气缸内温度高, 充量系数低, 而高温排气的能量又不能利用的缘故。

带中间冷却的涡轮增压发动机进行绝热后, 与不绝热的发动机相比, 功率有所提高, 但燃油消耗率改善很少。

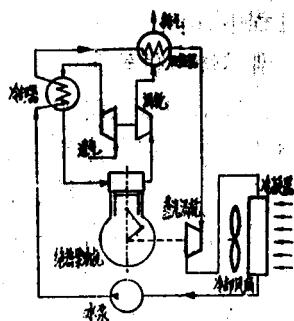


图 1

绝热涡轮增压朗肯循环发动机是绝热涡轮增压柴油机采用朗肯底循环(Rankine bottom cycle)来回收排气热能, 即通过余热锅炉产生蒸汽, 驱动蒸汽涡轮, 发出功率, 以回收更多的排气余热(图 1)。这种发动机的燃油消耗率可达 $166\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, NOX 为 $7.4\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。所谓朗肯循环是由两个等压过程(加热和冷却)和两个绝热过程(膨胀和压缩)组成的最简单的蒸汽动力循环, 所用工质一般为水蒸汽。这种循环可使柴油机增加功率 $10\sim 22\%$, 预计热效率可达 63% 。

绝热涡轮复合和朗肯循环发动机的热效率最高, 估计可达 $155\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, NOX 为 $6\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

上述最后两种发动机必须重新使用原来取消了的冷却风扇、散热器和水泵, 使整个系统更为复杂。

· 凡是不受体积和重量限制的场合, 如发电、船舶和机车等在附加朗肯底循环装置后, 都可收到明显的经济效益, 在当前能源短缺的情况下是具有重要意义的。

绝热发动机的技术关键是解决耐高温陶瓷材料及其使用技术问题和研制耐高温气缸润滑油的问题。在工程热物理方面, 应着重研究这种绝热复合式发动机的最佳热力循环和最佳参数问题, 以及研究在这种高温发动机中燃用劣质燃油的问题。

(d) 稀混合气汽油机

在汽油机中, 混合气的着火界限是空气-燃料比(A/F)从 $10:1$ (浓)到 $20:1$ (稀), 理论混合比为 14.6 。通常, 当 A/F 为 $15\sim 17$ 时, 汽油机的热效率最高; 大于 17 时, 燃烧速度即减慢, 燃烧不完全, 燃料消耗率增加。混合气再稀, 则燃烧即不稳定, 直至灭火。汽油机在部分负荷下的热效率很低, 如能使之燃烧稀混合气, 则可大大提高部分负荷时的燃料经济性, 同时还可减少大气污染。所以, 近年来国外对这种燃烧过程进行了各种方案的研究, 包括非均质的(分层燃烧)和均质的稀混合气燃烧过程。

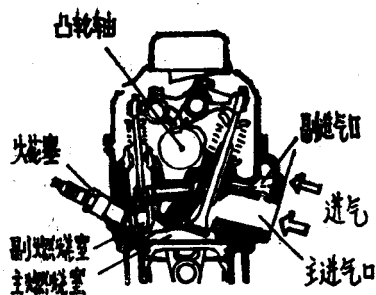


图 2

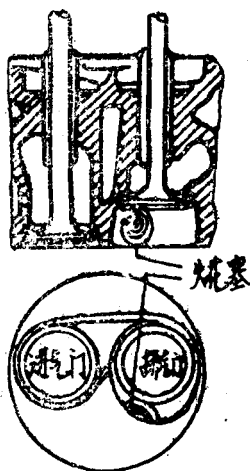


图 3

“火球”式高压压缩比发动机最值得注意。这是一种结构最简单而性能又良好的发动机。一个直径较小的圆柱形燃烧室位于气缸盖排气门的下方，如图3所示。进气门下的浅坑有一凹槽与燃烧室相通，火花塞位于燃烧室周边。在压缩过程中，混合气被压入燃烧室产生强烈紊流。当活塞接近上止点时，在气门凹坑内的充量经凹槽切向流入燃烧室，产生一有控制的涡流运动。这种燃烧系统具有很高的机械效率，在燃用97号汽油时，试验发动机的压缩比可以从8.5提高至16，一般可提高到31.5~14.6。火球燃烧室油耗低，平均有效压力高，在道路试验中，油耗率比分开式燃烧室高速柴油机还低10%，排气污染可达欧洲标准。

上述稀混合气汽油机和高压压缩比汽油机还存在不少问题，需要在稀混合气燃烧理论和抗爆技术方面，进行更深入的研究工作。

(f) 热气发动机（斯特林发动机）

斯特林发动机是外燃机，但往往是内燃机工作者所关注和研究的问题。它可以燃用多种燃料，特别是可以用沸腾炉烧煤。同时它的排气比较洁净，噪声低、振动小。因此，在石油短缺、污染严重的情况下，斯特林发动机的研究发展，就成为近年来各国所

例如，日本本田公司研制的CV CC发动机，其燃烧室（图2）分成主副两部分，中间有通道相连，除了常规的进气门外，在副燃烧室（预燃室）中还装有一副进气门及火花塞。在进气过程中，由主、副两个化油器分别向主、副燃烧室供给稀的和较浓的混合气。预燃室中点火时的A/F值为12.5~13.5。然后利用由预燃室中喷出的火焰对主燃烧室的稀混合气（A/F=20~21.5）进行点火。这种燃烧的方式总A/F值最高达23:1，最经济的A/F为20:1，大大超过一般汽油机的最经济A/F值16~17。因此，燃料经济性最高可提高20%。同时，由于稀混合气抗爆性较好，燃油辛烷值可降低6~7个单位。此外，因为燃烧温度较低，NOX比一般汽油机低得多。

(e) 高压压缩比汽油机

近年来出现的所谓高压压缩比发动机是指在化油器式均质混合气汽油机上采用高压压缩比来提高燃料经济性的发动机。其中瑞士M·G·May发明的

重视的课题。

在过去相当长的一个时期内,人们曾试图用氢或氮替代空气作为斯特林发动机的工质,以提高发动机的热效率,以便与汽车用高速柴油机相竞争。但是,由于密封问题很难解决,以致这一努力至今尚未能达到预期的效果。如果仍以空气为工质,则这种发动机只有在低速、低压,即低比功率情况下,才能获得比较满意的热效率。因此,斯特林发动机以空气为工质,用水作密封,以煤为燃料,用作固定式、船舶用或机车用发动机是比较合适的。这样就可扬长避短,发挥这种发动机的优越性。

加拿大Calgary大学G. Walker等教授在这方面进行了许多工作。

在斯特林发动机中有四个换热器,即加热器、回热器、冷却器和预热器,提高换热器的效率是提高斯特林发动机热效率的关键,因此,传热问题是这种发动机的关键热物理问题,必须加强这方面的研究工作。

(6) 开展内燃机燃用劣质燃料、多种燃料和代用燃料的有关热物理问题的研究工作。

(a) 劣质燃料

预计今后在交通运输方面所用燃料除部分船舶和机车可能改烧煤外,主要还是液体燃料,短期内不会改变。由于出现石油危机,各国都十分重视如何使柴油机能够燃用品质更低劣的劣质燃油问题。这不仅限于低、中速柴油机,而且有扩大至高速柴油机的趋势。

预测未来劣质燃料的指标是:

粘度 (50°C)	600~700 $\mu\text{m}^2/\text{s}$
比重 (15°C)	0.99
残碳	18~22%
沥青	15%

(b) 煤液化燃料和其它代用燃料的研究

由于石油短缺,美、英、西德、日等国均在进行煤合成液化燃料的研究,如美国已制造出SRC-II合成燃料,由美国能源部推荐作为固定式柴油机燃料。使用这种燃料主要有三个问题:一是含氢量少、十六烷值低、着火性能很差。二是含氮量多(达9100ppm,而柴油中只含200ppm),燃烧后NOX污染严重。三是排气臭味重、刺激性大。目前只能与柴油(至少25%)混合使用,还有不少问题,有待研究解决。

甲醇可由煤或天然气或城乡废物中制取,是一种很有前途的代用燃料,但由于它的十六烷值低并且不容易与柴油机相混合,限制了在柴油机上的使用。最近我国在采用复合式燃烧系统的X2105型柴油机上进行了试验研究,试验结果表明:用乳化法把柴油与甲醇进行混合,可以燃用含甲醇量在30%以下的混合燃料,发动机工作平稳,性能良好。热效率比纯柴油时稍高,排气中NOX含量有所下降,而HC及CO含量稍有上升。当甲醇含量为12%时热效率最高,且排放指标也优于柴油。当甲醇和柴油分别供入发动机时(如煤气-柴油双燃料发动机那样),甲醇量可增加至总燃料量的82%,而且在半负荷以上时,发动机功率和热效率均较上述乳化混合法为高。

美国和其它国家正在开展用甲醇代替汽油作为汽车燃料的研究。美国政府签署了一项在三年内总计拨款1300万美元的法令草案来支持这项工作。我国亦应积极开展以甲醇

为内燃机燃料的研究工作。

(7) 开展内燃机余热利用的研究

充分利用内燃机的余热是内燃机节能的一个重要方面。内燃机把燃料的热能转变为机械能进行第一次利用后，可以通过排气涡轮增压器把内燃机排气中的余热进行第二次利用。然后还可将涡轮排气中和冷却水中的余热用氟里昂涡轮或其它方法再次进行回收。这样，使能量获得梯级利用，可以大大提高能源的利用率。

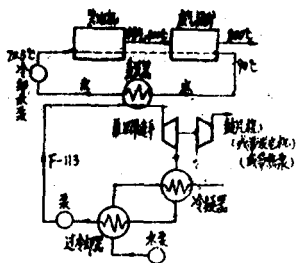


图 4

图4所示是用氟里昂涡轮回收柴油机余热的一个例子。在一台缸径为200mm、行程为260mm、功率为588.4kW的涡轮增压船用柴油机中，用这一方法可以从柴油机余热中回收相当于55.1kW的能量，约为柴油机功率的10%。

发动机余热利用问题不仅对大、中功率内燃机是重要的，而且对功率较小的内燃机也是不可忽视的。日本政府不久前规定，要求到1988年从汽车发动机中回收12

%的热能。我国也应采取措施,充分利用内燃机的余热,这就需要在传热学和热力学方面进行研究,特别是对小温差传热问题和提高低沸点工质涡轮的热效率问题进行研究工作,以提高余热的利用率。

(8) 开展用微处理机控制发动机运行状态的研究。

这种控制技术主要是对发动机参数进行监控，并利用反馈系统使发动机始终在最佳状态下运转，使燃料消耗率经常保持为最佳值。采用这一方法可以节油10~30%。

三、结 论

根据上述分析,为了提高内燃机的热效率,降低油耗,减少排污,除了要改进管理、材料和工艺等外,在内燃机热物理方面应进行如下研究工作:

1. 进一步开展内燃机燃烧过程基本理论的研究, 如燃油的雾化、汽化、着火理论以及燃烧反应动力学等的研究。此外, 还应进行建立内燃机燃烧过程的数学模型的研究工作。
2. 进一步进行柴油机燃烧过程和燃烧系统的研究, 包括直接喷射式柴油机燃烧过程和高增压柴油机燃烧过程的研究。
3. 进一步开展汽油机燃烧过程和燃烧系统的研究, 包括稀混合气燃烧过程和高压缩比汽油机燃烧过程的研究。
4. 开展绝热柴油机和斯特林发动机中关键热物理问题的研究。
5. 开展内燃机燃用非石油制品燃料(代用燃料)的研究工作。

余热资源的开发利用

王补宣 朱明善

十年来,由于1973年12月的中东战争引起“石油危机”,触发了能源供应的紧缺感,国际上已把“节能”看作是继煤炭、石油和天然气、水力、核能之后实用的“第五能源”。太阳能固然是到处可以无偿地取用不尽、又无污染、也不会影响生态平衡的自然再生能源,吸引着人们的注意,它与大规模推广应用的核能一起,被称作21世纪的主要能源。然而太阳能的分散性、昼夜间断性,现有利用技术仍远未能解决装备的经济竞争性。为了节约能源消耗,首要的自然是要提高设备的能量利用率,尽可能地减少废弃不用的排放余热。可是,无论在目前还是在将来,也不论工艺过程本身的能量利用率如何提高,总还要排放出相当数量的余热,而且随着生产的发展和耗能总量的增加,排放余热的相对量虽然会随着科学技术的发展逐步有所减小,但绝对总量仍还会进一步有所增长。因此,余热利用应被提高到工业二次能源开发利用的战略高度。

余热资源是多种多样的。从排弃的物态看,可以有固体、熔融体、液体、蒸汽和气体。从温度的高低看,有的低至 -200°C (可被看作是“余冷”资源),有的高达 1300°C 。国际惯例常把 400°C 以上的称为“高位”余热, 200°C 或 250°C 至 400°C 的称为“中位”余热,而 200°C 或 250°C 以下亦即 $300\sim 500\text{K}$ 的称为“低位”余热。

从学术上,非常明显的是:温度越低,“烟”(或称“有效能”)越小,余热利用的经济价值也越低,如果不从技术上突破,很难收到实际的经济效益,所以,在开发利用余热资源时,照例首先注目的是高、中位余热,利用后被排放的又将是低位余热。这表明,低位余热在整个余热资源中所占比重势必随着节能工作的持续深入而逐步提高。有的余热资源,例如熔渣的温度可以很高,但由于粘结性大、流动性差,还会有腐蚀,如何有效地开发其余热,在技术上尚存在许多难题需要研究解决。

据美国1970年发电除外的六大用能行业(冶金、化工、炼油、造纸、建材和食品工业)的统计,全年排放余热总量约占行业总用能量的74%;全国1970年耗能总量折合20多亿吨标准煤,能量平均利用效率将近50%。日本虽是资本主义国家中第二个工业生产大国,90%以上的能源供应仰赖于国外,1974年全国耗能总量相当于5亿5千万吨标准煤,能量平均利用效率超过50%,亦即未利用的余热占了将近一半相当于2亿7千万吨标准煤;其中属于 250°C 以下的低位余热占了64%以上,相当于1.7亿吨标准煤。十年来,先进的工业国家迫于形势,都程度不同地加强了节能。最近美国能源部的一项研究报告,统计了1973年12月以来采取紧急措施的具体效果,数字表明:1973年前耗能总量平均年增长2.9%,1973年以后却每年下降2.4%,反映了节能的巨大收益,目前仰赖国外的石油供应率已从1973年12月的大约70%强下降到了1983年大约46%。当然,这几年