

能源科学发展战略研究

中国科学院院士 吴承康

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

中国科学院院士 徐建中

博导、研究员 金红光

(中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080)

摘要:能源科学内涵丰富,是一门综合性强、涉及面广、与国民经济密切相关的学科。每一次能源科学技术的突破,都带来了社会发展和生产力的飞跃。当今世界能源结构正在从以石油、天然气为主的能源系统转向化石燃料、核能、可再生能源等多元化结构。关系全局的主要能源问题有:能源结构,比较低的能源效率,污染日益严重的能源环境,能源安全。解决上述能源问题的根本途径是依靠科学技术进步,因此与其相关的科学问题是我国国民经济发展的重大需求和能源科学技术发展的战略重点。

从能源科学本身发展看,主要有四个特点:(1)学科交叉、综合已成为当代能源科学发展的一个基本趋势与特征,能源科学的各分支学科之间,能源科学与化学、物理学、生物学、数学、材料科学、计算机科学以及信息科学等都在不断交叉与综合;(2)随着经济与社会对能源科技的需求愈来愈高,能源科学研究被放到更大系统中来发展,能源与社会、经济与环境等领域的渗透与综合成为能源科学发展的另一个主要趋势;(3)能源转化利用规律的探索还在不断深化:一方面不断拓宽或突破原有界限与假定,另一方面采用新理论、新方法和新手段;(4)能源科学是能源高新技术创新的源泉和先导,两者紧密相连、相互促进,当代能源技术发展在很大程度上引导着能源科学发展的趋势。

根据我国能源与其技术的现状,并从国家重大需求和能源科学学科发展需要出发,我国能源科学领域学科发展的战略目标应是:建立一支结构合理、精干和稳定的基础性研究的科研队伍,扶持与建设一批比较先进的能源科学的研究基地,为解决制约我国经济发展的能源重大关键问题奠定科学基础,并为相关的能源高新技术和产业的发展提供科学支撑。目标的重点是解决化石能源发展和应用中的关键,可再生能源开拓利用,能源消费结构的改善。

关键词:能源结构 能源效率 能源环境 能源安全

1 能源科学技术的发展趋势

在人类历史上,能源科学技术领域的重大事件都会对社会和经济的发展产生重大影响。二十世纪下半叶,“能源危机”和能源开采、利用造成生态环境的严重污染,使人们深刻认识到可持续发展的重要性。

能源是人类生存和社会发展的必要和重要因素。能源科学是研究能源开发和利用中各类前瞻性、规律性、创新性、统筹性问题的一个科学领域。它涉及多方面的应用技术和专门基础学科,具有很广的覆盖面和高度的综合性。

在此世纪之交,由于世界人口增长、社会发展以及人类活动对地球资源环境造成的严重影响都达到了一个新的转折点,从而给人类提出很大的挑战。能源技术不可能再沿着20世纪的传统方式无限制地发展下去,而必须通过长期的科学研究和技术开发,在21世纪中用新一代能源技术改进或取代现有的传统技术,以满足社会发展和环境保护的需求。

可持续发展的概念正在成为能源技术发展的指导思想。在此发展过程中,有大量的能源科学问题有待开展研究和取得突破。

1.1 世界能源技术发展趋势和中国能源问题

从能源资源和人类技术发展情况来看,21世纪、特别是前半叶人类利用的一次能源组成仍以化石能源为主,但核能、可再生能源的重要性逐渐增加。在化石能源中,世界范围内石油、天然气在前期仍占主要地位,特别是天然气的开发利用将有较大发展。煤的地位在世纪后半叶将更为重要。在能源终端利用形式上,电能的比重将不断增大;而在移动能源方面,未来氢的利用有可能将占有重要地位。在这样的形势下,21世纪前期能源技术发展的重点方向是:石油、天然气勘探开发的新手段,化石能源的高效、清洁、综合利用,安全、高效的核裂变能利用技术,可再生能源(主要是太阳能和生物质能)提高利用效率、降低成本、扩大应用的新技术研究,新的能源系统(如氢能)的研究。

(1) 世界范围的能源结构以油气优质燃料为主

这是提高能源效率、降低能源系统成本、减少环境污染和提供优质服务的选择。1998年世界一次能源消费结构为石油39.9%、天然气23.5%、煤炭26.7%、核电7.3%、水电2.6%；中国的结构为石油19.8%、天然气2.1%、煤炭71.6%、核电水电6.5%。工业化国家以油气燃料为主的能源路线是当前世界能源发展的一个基本趋势和特征，而中国却是世界上以煤炭为主的少数国家之一。

由于以煤炭为主要的一次能源，所引起的污染问题格外严重，而煤炭的开采、燃烧、污染治理等一系列问题都更为复杂，其科学问题的解决也更为困难。同时，由于主要的发达国家都以油、气为主要一次能源，它们在煤的科研、开发中投入的力量相对比较少，这使得我国的能源科学技术工作者必须更多地依靠自己的力量来解决这些困难的科学问题。这在世界上也是很特殊的。

(2) 一次能源转换成电能的比重不断提高

工业化国家几十年的实践表明：电力增长越快，一次能源需求增长就越慢。单位国民生产总值(GDP)消耗电能的比例越大，它的能耗就越少，温室气体和其他污染物的排放量也由此而降低。

我国一次能源转换成电能的比重虽然逐年有所提高(如从1990年的24.3%提高到1994年的28.7%)，但远远不如工业化国家。1990年OECD(经济合作发展组织)国家为41.3%。而且治理电力工业集中的污染源远较低效直接燃煤的分散源易于操作和经济。提高能源利用效率、节约能源是世界能源技术发展的一个基本趋势。提高一次能源转换成电能的比重，发展先进发电技术对此具有重要的意义。

(3) 环境保护成为制定能源战略的重要因素

1992年世界环发大会之后，工业化国家明确提出并实施可持续发展能源战略，而且所有保护环境和提高能源利用效率的项目都构成履行全球气候变化框架公约的行动，从而成为国际政治问题。

能源生产利用对生态环境造成的损害，正是中国环境问题的核心，其中主要是大量直接烧煤造成的城市大气污染，以及过度消耗生物质能引起的农村生态破坏，还有CO₂温室气体排放问题。如不采取有效的限制措施，我国2020年CO₂排放量将居世界第一位。因此，发展清洁能源技术是中国能源战略的一个基本选择。

(4) 小型能源系统的分散化与多样化

随着太阳能、风力发电和燃料电池等能源的商业应用，由几千个联网的小型发电装置供电的电力系统有可能成为现实。分散化的小型新型能源系统的产生与发展，与计算机从大型机向个人小型计算机转移以及计算机网络的发展有相似之处。

从长远的观点看，农村广大而经济发展又极不平衡的中国更加需要和适宜使用、发展这种新型的分散能源系统。随着可再生能源以及核能在中国的发展，这种分散的能源系统还将为调整和改善能源结构、以及能源供应的多元化做出积极贡献。

1.2 能源科学国际发展趋势

在新世纪开始之时，除了继续大力开展提高能源转换效率、减少对环境的污染、利用端节能等工作之外，正着眼于用新的概念和技术取代传统技术，以求在能源和环境科技方面有重大的突破。

美国在减少煤的污染方面已开发了多年洁净煤技术(Clean Coal Technology, CCT)演示计划，取得了不少可推广应用的成果。研究发展先进的发电系统，主要是各类联合循环，目标在于进一步提高效率，降低污染，洁净煤计划的前三轮主要针对减缓酸雨的技术；第4、5轮主要考虑2000年以后的能源供应形势与需求，并重视控制CO₂排放。由于要求把CO₂排放量控制在1990年水平，而电力需求又不断增加，这就要求煤炭的利用效率更高，SO₂、NO_x、CO₂的排放更少。为了在21世纪实现发电效率的大幅度提高和CO₂排放的大幅度降低，美国能源部提出并启动了21世纪远景计划("Vision 21")。预计到2050年，新型系统的CO₂等有害物将有可能实现准零排放，燃煤发电效率达到60%及天然气发电效率达75%。

欧共体推出的未来能源计划的重点是促进欧洲能源利用新技术的开发，减少石油的依赖和煤炭造成的环境污染，增加生物质能源和其他再生能源的利用。目前在改善能源转换和利用的研究开发中优先考虑的是减少污染排放及提高能源转换和利用效率。正在研究开发的项目有整体煤气化联合循环发电；煤与生物质及工业、城市或农业废弃物联合气化(或燃烧)；固体燃料气化燃料电池联合循环；循环流化床燃烧技术等。

日本新能源综合开发机构(NEDO)新日光计划中，开展了新的能量释放方式的研究，如新型高温空气燃烧方式(节能30%，NO_x降低50%)、具有O₂/CO₂燃烧的动力循环等，以达到同时解决能源和环境问题；发展氢能的世界能源网络项目(World Energy - Network)，它包括氢的制造(电解、太阳能热化学制氢)、氢的储运、氢能的转化和利用(燃料电池汽车及发电、氢氧联合循环)三个部分；也开展“煤气化联合循环动力系统”和“煤气化制氢”等项目，目的在于提高效率，降低废气排放，如超临界蒸汽循环，流化床燃烧及煤气化联合循环发电，煤气化燃料电池联合发电技术，烟道气的脱硫脱氮等。值得注意的是，政府资助的大量研究经费正在从煤的研究转移到全球温室效应方面的研究。

由温室气体引起的全球变暖，是当前也是未来能源和环境问题中最引人关注的热点及难点。含碳化石燃料燃烧排放的CO₂是主要的温室气体源。全球气候变暖会对人类生存和社会发展带来不利的、甚至是灾难性的后果。为控制温室气体的排放、保护全球气候，1992年6月在巴西里约热内卢召开了联合国环境与发展大会，会议签署了“气候变化框架公约”。1997年又召开了京都会议，制定了各类国家降低温室气体排放的指标，2010年发达国家温室气体排放比1990年减少5.2%(欧盟8%，日本6%，美国7%)。发展中国家未作限定。公约的核心是节约能源、提高能源利用效率以达到控制和减少CO₂的排放的目的，这将成为下个世纪能源科学的一个主要议题。中国政府也签署了该公约，这对于能源结构以煤炭为主并且在相当时期内不可能根本改变的我国将是一种严峻的挑战。

1.3 我国能源科学需要解决的重要问题

能源科学内涵丰富，研究对象广泛，综合性强、涉及面广、与国民经济密切相关。能源问题是社会与经济发展的一个长期制约因素，在我国突出的关系全局的主要能源问题有：

(1) 能源结构

我国是世界上以煤炭为主的少数国家之一，远远偏离当

前世界能源消费以油气燃料为主的基本趋势和特征。1997年我国一次能源的消费构成为:煤炭占73.5%,原油占18.6%,天然气占2.2%和水电占5.7%。煤炭高效、洁净利用的难度远比油、气燃料大得多。而且我国大量的煤炭是直接燃烧使用,用于工业锅炉、窑炉、炊事和采暖的煤炭占47.3%,用于发电或热电联产的煤炭只有38.1%,而美国为89.5%。

我国终端能源消费结构也不合理,电力占终端能源的比重明显偏低,国家电气化程度不高:1998年一次能源转换成电能的比重只有32.6%,世界发达国家平均皆超过40%,有的达到45%;1997年人均生产用电101.4 kWh,约为美国消费量的2%,至今仍有5000万人尚未用上电。

(2) 能源效率

能源效率是指终端用户使用能源得到的有效能量与消耗的能源量之比。我国能源从开采、加工与转换、贮运以及终端利用的能源系统总效率很低,不到10%,只有欧洲地区的一半。通常能源效率是指后三个环节的效率,约为30%,比世界先进水平低约10个百分点。我国能源强度远高于世界平均水平,1994年我国GDP能耗(kgce/美元)为2.04,工业发达国家(IEA)平均为0.3。1998年,我国供电煤耗为404 gce/kWh(kgce-千克标准煤),约比世界先进水平高70-80 gce/kWh。

我国能源利用率低的主要原因除了产业结构方面的问题以外,是由于能源科技和管理水平落后,还因终端能源以煤为主、油、气与电的比重较小的不合理消费结构所致。节能旨在减少能源的损失和浪费,以使能源资源得到更有效的利用,与能源效率问题紧密相关。我国能源效率很低,故能源系统的各个环节都有很大的节约能源的潜力。

(3) 能源环境

除了煤炭开采运输所造成的严重污染以外,我国能源环境问题的核心是大量直接燃煤造成的城市大气污染和农村过度消耗生物质能引起的生态破坏(我国农村消耗的生物质能,其数量是全国其他商品能源的22%),还有日益严重的车辆尾气的污染(大城市大气污染类型已向汽车尾气型转变)。

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国。燃煤释放的SO₂,占全国排放总量的85%,CO₂占85%,NO_x占60%,烟尘占75%。我国酸雨区由南向北迅速扩大,已超过国土面积的40%。1998年酸雨沉降造成的经济损失约占GDP的2%。温室气体CO₂排放的潜在影响是21世纪能源领域面临挑战的关键因素,我国1995年CO₂的排放量约为821 Mt,占世界总量的13.2%。

我国农村人口多、能源短缺,且沿用传统落后的用能方式,带来了一系列生态环境问题:生物质能过度消耗,森林植被不断减少,水土流失和沙漠化严重,耕地有机质含量下降等。

(4) 能源安全

能源安全是指能源可靠供应的保障。首先是石油天然气供应问题,油、气是当今世界主要的一次能源,也是涉及国家安全的重要战略物质。1973年石油危机的冲击,造成那些主要靠中东进口石油的国家经济混乱和社会动荡的局面,给人们留下深刻的印象。现在许多国家都十分重视建立能源(石油)保障体系,重点是战略石油储备。预计,2010-2020年后世界石油产量将逐步下降,而消费仍将不断增加,可能开始出现供不应求的局面,世界油气资源的争夺将加剧。我

国石油、天然气资源相对少,人均石油探明剩余可采储量仅为世界平均值的1/10。从1993年起,我国已成为石油净进口国,1996年石油净进口量为1393.4万t,随着石油供需缺口逐年加大,不断增加石油进口将是大势所趋。但大量从国外进口石油,有可能引起国际石油市场振荡和油价攀升,油源和运输通道也易受到别国控制。

大量研究和历史经验表明,解决上述能源问题的根本途径是依靠科学技术进步,因此与其相关的科学问题是我国国民经济发展的重大需求和能源科学技术发展的战略重点。

2 能源科学的特点

作为技术科学的一个领域,能源科学是研究能源在开采和利用中的基本规律及其应用的科学。由于能源的多样性,由于其开采方法和利用方法的多样性,能源科学的研究必然要涉及到众多的学科,必须将这些学科有机地加以综合。这就构成了能源科学的一个显著特点:很强的综合性。也正是这种综合性,使得能源科学的研究更困难,周期更长。

同时,由于上述同样的原因,使得能源科学与工程技术有着非常紧密的联系,以至在许多场合人们常常说“能源科学技术”。大体上,可以说,能源科学的任务是揭示所研究现象的普遍规律和基本特征,并在此基础上为工程设计提供理论依据和相应的计算方法;而能源技术则是根据能源科学的研究结果,为能源工程提供完整的设计方法与手段,确保工程目标的实现。

从能源科学本身发展看,主要有以下几个特点:

(1) 学科交叉、综合已成为当代能源科学发展的一个基本趋势与特征。除了传统的作为能源科学主要基础的工程热物理学、电工学、化学工程学等本身的发展以外,能源科学的各分支学科之间,能源科学与化学、物理学、应用力学、生物学、数学、材料科学、计算机科学以及信息科学等都在不断交叉与综合,在学科边界上,涌现出许多新兴的边缘学科分支或前沿学科,如广义总能系统学、多相流体力学、化学流体力学、能源化学、能源生物学、超导电工学、电工环境学等。能源领域的知识已突破传统的学科界线。

(2) 随着经济与社会对能源科技的需求愈来愈高,能源科学研究被放到更大系统中来发展,这就是能源、社会、经济与环境的综合。领域的渗透与综合成为能源科学发展的另一个主要趋势,能源科学研究向经济、环境、信息、建筑、海洋以及空间等领域纵深方向渗透发展,人们越来越关注不同领域交叉的科学(如能源环境学、能源经济学、能源管理学、电力信息学等)发展与应用。

(3) 同时,能源基础学科的发展仍然遵循本身内在规律,在不断深化与分化。能源转化利用规律的探索还在不断深化:一方面不断拓宽或突破原有界限与假定,更加逼近自然的本质;另一方面采用新理论、新方法和新手段,以获得更好的应用结果。例如,许多学科引入模糊逻辑和人工神经网络新方法,还有对非线性问题研究等。这样,许多经典学科从原理到方法都得到很大的扩充和完善。另外,随着高新技术发展,能源科学中极端问题研究逐渐成为研究热点与重点,从而推动基础性研究向微观化、宏观化及复杂化方向深化与开拓。大量研究表明,特殊情况下的许多规律,与通常条件相应规律有着重大、甚至本质的区别。

(4) 能源科学是能源高新技术创新的源泉和先导,两者紧密相连、相互促进。当代能源及其技术发展的基本趋势与特

征在很大程度上引导着能源科学发展的趋势。例如,目前世界范围能源结构多元化发展趋势,迫切需要众多新能源开拓利用技术,也就推动了新能源工程学迅速发展;为了解决化石能源效率和环境问题,人们高度重视不断提高一次能源转化为电能的比重和先进发电技术,从而使新型热力循环和能源动力系统的发明和验证成为许多国家科研的重点;能源利用中环境生态问题及其相关技术需求,则使煤炭高效、洁净利用以及电磁兼容性等的研究成为世界热门课题。

能源科学的发展,更多的和经常的是在原有学科框架基础上的创新,它们在形式上可能不如基础科学或某些新兴科学领域的成果那样激动人心,但它们对人类社会和经济的发展,却有着重要的作用。这一特点在技术科学的一些领域中不同程度地存在着,是应当特别加以重视的,对这种创新也同样应给予支持。用于能源科学研究的设备,通常规模大;由于研究问题的复杂,往往周期长。同时,所需要的经费多,这些决定着对于能源科学研究,要给予更多的投资,更需加强技术科学层次的研究工作。

3 能源科学技术的内容

能源科技包括以下的一些关键技术及其相关的科学问题:

3.1 石油天然气工业关键技术

(1) 石油、天然气勘探技术

在油气资源勘探方面,发展含油气盆地分析和油气系统的多学科油气地质理论研究与应用,在勘探开发方面发展地球物理方法地震勘探、测井和钻井技术。天然气水合物的开发利用的研究。

(2) 油气田开采技术

运用强化采油的新技术,提高挖潜剩余油的能力;应用各种水平井及复杂结构井的开采技术;发展各种物理化学驱油新技术。发展稠油油田开采技术;发展大型水力压裂增产技术;开发开采海上油田(包括向深海发展)及油气集输的大位移井应用技术。

(3) 石油炼制技术

主要包括催化裂化、催化加氢、催化重整和热加工等技术以及相关的催化剂和炼油装置的控制与优化技术等。

3.2 煤炭工业关键技术

我国能源以煤为主,造成严重的煤烟型污染。据粗略估计,燃煤造成的 SO_2 、 CO_2 、 NO_x 、 TSP (总悬浮颗粒)的排放量分别约占总量的 85%、85%、60%和 70%。 SO_2 的排放量现居世界第 1 位,酸雨复盖面积已达到国土面积的 40%。我国大城市 NO_x 及 TSP 污染严重程度已居世界前茅。环境污染所造成的危害及巨大经济损失已受到国际和国内的关注。我国温室气体 CO_2 的排放量已占全球总排放量的 13%,仅次于美国,居第 2 位。我国人均 CO_2 排放量虽然显著低于发达国家,但增长趋势不可忽视。中国发展洁净煤技术的目标:一是减少环境污染;二是提高煤炭利用效率,减少消费,降低 CO_2 排放量;三是通过转化,改善终端能源结构,保证终端能源的可靠供应。中国洁净煤计划包括四个技术领域:

(1) 煤炭加工。煤炭加工是主要应用物理方法,使原煤脱灰、脱硫,把原煤加工成一定品种的煤炭产品,包括选煤、型煤、水煤浆等。原煤经过加工后,可显著提高燃烧效率,减少烟尘及 SO_2 的排放。因此,煤炭加工不仅是合理用煤的前提,也是提高燃煤效率,减少污染物排放的有效途径。

(2) 高效洁净燃烧。我国绝大部分的煤直接用于燃烧,因此高效、洁净燃烧是洁净煤技术的核心。高效、洁净燃烧包括高效洁净燃烧器、煤气化燃烧、循环流化床燃烧、加压流化床燃烧等先进技术。

(3) 煤炭转化。煤炭转化主要包括煤炭气化、液化及进一步利用的燃料电池等;煤炭高效洁净地转化为气、油、电的多联供系统;煤炭高效洁净地转化为清洁燃料的氢气和回收二氧化碳。

(4) 污染控制。主要包括烟气净化(除灰、脱硫脱硝),二氧化碳回收的发电系统;瓦斯抽出(煤层气开发),煤矸石、电厂粉煤灰和其他排出物、煤泥水和矿井水的综合利用等。

3.3 核能转换利用科学与技术

目前,裂变核能已在世界能源供应中处于重要的地位,核发电量占世界总发电量的 1/6 左右,而将来核聚变可能成为人类取之不尽的理想能源。核能利用的相关科学是研究核能释放和转换利用的学科。其应用基础研究将为提高现有核反应堆型及其系统的安全性和探索更先进的新堆型与系统提供科学源泉与途径。其前沿科学内容:

(1) 核废料处理与利用,长寿命锕系元素利用与处理;新型安全堆型:如加速器驱动的新一代核能系统;压水堆安全性;非能动安全技术;快堆核燃料增殖;先进核燃料循环技术;核能热利用新技术。

(2) 核聚变等离子体各种加热方法及其机制,稳态聚变堆基本物理问题;聚变堆中的粒子;洁净核能系统的概念;高重复频率、高效率、高功率输出的驱动器。

(3) 新型核能能量转换系统。

3.4 可再生能源利用技术

可再生能源将成为未来可持续发展能源系统的主体,包括水能、风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等。目前水电技术已较成熟,生物质能、太阳能、风能有一定的初级应用。从长远发展的规模和技术前景来看,太阳能和生物质能是最重要的新型可再生能源,应重点研究发展。应用基础研究要为各种可再生能源低成本、规模、稳定、高效的开拓利用提供科学支撑和途径。其内容是:

1) 太阳能:新型光伏电池;太阳能集热(高聚光比聚光系统)储热和热动力循环,太阳能制冷与泵热;光电化学、光敏及光分解作用,太阳能制氢。

2) 生物质能:生物转换(沼气,厌氧消化理论),固体生物质气化、液化(酒精、甲醇、甲烷等),光合微生物制氢、微生物电池;高效、低污染生物质能发电系统;完全循环型生物质能利用系统(速生薪柴林工程);生物质能多联产总系统。

3) 海洋能:潮汐发电及生态环境影响;聚波方式与技术,波能装置控制;潮流能利用方式。

4) 地热能:干热岩地热开发技术;中低温地热发电;地热介质的综合利用;地热能开发的环保问题。

5) 风能:风能材料及其强度;新型风能利用系统;风力发电控制和并网运行。

3.5 氢能

氢能可能是未来最主要的优质清洁的固定发电和移动装置能源载体。其前沿技术:氢的规模经济制备:高分子电解水制氢,太阳能热化学制氢,生物制氢;氢的储运:高密度储氢新方法和材料;氢能转换利用系统:氢燃料电池,氢能汽车,氢内燃机,氢氧联合循环发电技术。

3.6 能源环境技术

能源转换利用过程中对生态环境的影响及防治对策的技术。其内容是:

- 1) 能源转换利用过程中有害物的生成、迁移与控制技术。
- 2) 废弃物无公害、资源化利用技术。
- 3) 低污染、无污染排放的能源动力系统。
- 4) 能源转换利用系统环境污染与温室效应的控制。
- 5) 燃煤生态工程: 燃烧产生的 CO_2 回收与利用, 脱硫灰渣对沙漠改造和盐碱土壤改良的技术。

3.7 电力工业技术

一些关键技术及其集成的若干种洁净发电系统构成当今火电的技术前沿:

- (1) 燃气轮机 (Gas Turbine)。
- (2) 煤气化与高温净化。
- (3) 流化床燃煤 (PFBC, AFBC)。
- (4) 燃料电池 (FC)。
- (5) 系统集成技术与燃煤联合循环 (CFCC) 发电系统, 整体煤气化联合循环 (IGCC), 增压流化床燃煤联合循环 (PFBC-CC, 第二代 PFBC-CC), 常压流化床燃煤联合循环 (AFBC-CC, 第二代 AFBC-CC), 整体煤气化燃料电池联合循环 (IGFC-CC) 等。

3.8 节能技术

当前, 国际上从减少温室气体排放的角度出发, 强化了节能的紧迫感。我国政府从中国能源面临的挑战出发, 明确了“开发和节能并重”和节能优先的方针, 《节能法》的颁布及实施, 进一步加大了节能的力度。今后节能技术主要的发展方向是:

- (1) 用先进方法、技术和设备改造电力工业和主要耗能行业, 如高效超临界发电机组、联合循环发电、热电联产及中低压余热发电技术、高效输配电系统、连铸连轧等工艺、节能建材工艺和余热回收技术等;
- (2) 研究开发和推广节电、节油新技术。发展新一代节电产品, 如电机调速技术、节能家用电器、节能汽车等;
- (3) 开发推广建筑综合节能新技术。发展建筑节能体系, 做好建筑物保温、密封、减少采暖空调、照明能耗, 充分利用自然光、自然通风及太阳能。

4 本学科存在的主要问题

- (1) 简单运用传统经验进行具体工程项目的开发工作较多, 研究运用技术科学基础不够。
- (2) 在发展新技术方面, 创新概念少, 自主概念少, 往往是跟着外国人提出的一种概念和已经发表的文献, 缺乏自己独立自主的见解和正确分析判断, 跟着上马, 以致往往在人家已下马之后, 不得不跟着下马。应结合我国实际, 做出科学分析, 提出自己独立的见解。要做到这一点, 需要有深厚的技术科学基础。
- (3) 能源项目规模大, 投资多, 周期长, 全新概念不是很多, 需要看准方向, 长期坚持, 及时总结, 调整发展。
- (4) 我国能源领域研究开发的投入明显过低, 1997 年用于能源科技的国家投入为 0.87 亿元, “九五”期间科技攻关计划中能源技术领域的投入为 5.5 亿元。1997 年能源研究与开发 (R&D) 费用占国家 GDP 的比例为 0.0013%, 占国家 R&D 投入结构中份额为 0.2%, 均比工业发达国家相应值低一个数量级。能源科技研究投资不足, 能源 R&D 在国家

R&D 投入结构中失调以及能源技术与装备严重依赖进口, 是影响我国能源领域科技发展落后的主要原因之一。我国能源领域的基础研究、应用研究和发展研究三类研究经费的比例结构也不合理, 我国基础研究的比例仅为世界一般值的一半左右。而且基础性研究课题的投资强度也小, 仅为发达国家的 1/10, 甚至几十分之一。国家自然科学基金单项平均资助金额仅为 15 万元左右 (三年), 每年批准率不足 20%。

5 重点发展方向的展望

结合我国情况, 重点发展方向应当是以下一些技术:

5.1 石油天然气工业关键技术

油气地球物理勘探与钻井新技术, 海洋石油天然气开发技术, 提高石油采收率新技术, 在注水开发后期的油田, 应用三次采油等方法提高石油采收率。

5.2 煤炭高效洁净利用关键技术

我国煤炭开发利用关键是解决生产效率低、不安全和环境严重污染两个方面的问题, 并应逐渐发展两大技术: 一是安全、高效开采技术; 二是高效、洁净利用的洁净煤技术: 煤炭安全、高效开采技术; 煤层气开发技术; 煤洗选、加工、处理技术; 洁净煤燃烧技术; 煤炭气化技术。

5.3 电力工业关键技术

超临界、超超临界蒸汽参数发电技术, 燃气蒸汽联合循环发电技术, 洁净煤发电技术, 热电联产及多联供技术, 先进压水堆发电技术, 燃料电池发电技术, 全国大区电网互联和灵活的交流输配电技术。

5.4 节能技术

中低温余热利用系统和低温能源利用新技术, 热泵技术, 建筑节能, 新型低温储能 (含冰蓄冷及电力调峰) 系统, 节能电器, 交通运输节能, 高能耗工业的节能新工艺流程。

5.5 核能释放与利用的科学问题

核废料处理及再利用, 提高安全性, 新的安全堆型探索; 快堆与高温气冷堆; 受控核聚变堆关键技术。

5.6 可再生能源与氢能开拓与利用的科学问题

低价、高效、长寿新型光伏发电技术; 生物质能转换的化学生物技术; 光热利用新技术 (发电、制冷等); 氢能规模制备、储运、利用技术。

5.7 能源环境技术

能源转换利用中有害元素控制与无公害定向转换技术; 城市废弃物无公害、资源化利用技术; 回收利用 CO_2 的能源环境系统探讨; 燃煤生态工程, 煤基制氢及氢能利用系统。

5.8 农村能源技术

沼气技术; 生物质气化、液体燃料、发电技术; 生物质加工处理技术。

6 措施及建议

- 1) 能源与环保的立法, 价格政策, 倾斜政策。
- 2) 对能源科学技术 (不是具体生产项目) 给予强大支持, 由国家、产业联合支持。科教部门专门支持。
- 3) 对较远见效的方向, 如先进概念的发电系统、太阳能、核能要给予重视和布局研究发展工作。
- 4) 培养基础扎实, 知识面广, 解决问题能力强的能源科学方面青年人才。
- 5) 加大能源科技研究开发的投入: 我国能源 R&D 经费占国家 R&D 总经费的比例比国际上发达国家的相应值小一个数量级。能源 R&D 投入过低导致我国科技自主研究开发

能力薄弱,能源有关产业缺乏国际竞争力,并在国际技术贸易中长期依赖进口。

6) 能源领域科技发展涉及面广、周期长、投资大,更要统筹安排好相应研究资源配置,处理好发展常规能源科技和开拓新能源科技的配合,自主开发和引进、消化及再创新的关系,基础研究,高技术创新及科技攻关之间的衔接与协调等。为此,应设置国家级能源研究开发领导机构,以便更好统筹安排与协调能源领域有关的国家计划与规划,并更好优化配置有限的研究资源。

7) 从我国目前科研队伍断层的实际情况出发,还要注重人才培养,特别是国际前沿领域高水平的学术带头人。加强国际合作交流与积极吸引在国外的留学人员,将在一定程度上缓解高水平的学术带头人不足的困难,而且将使我国能源科学开展许多新领域研究能起步于更高的起点。

参考文献

- [1] S-863 计划软科学研究能源技术领域组. 能源技术领域发展战略研究(2001年-2010年)(版本号4.0). S-863 计划国家科委软科学研究报告之五, Z96003, 1999
- [2] 《国家重点基础研究发展规划》能源领域战略调研专家组. 能源领域战略研究报告, 1999. 3
- [3] 《科技发展“十五”计划和2015年远景研究》前期研究专题. 工业领域重大科技问题研究—能源领域(第二稿). 能源领域研究组, 1999. 8
- [4] 《能源百科全书》编辑委员会、中国大百科全书出版社编辑部编. 《能源百科全书》. 北京: 中国大百科全书出版社, 1997
- [5] 美国国家总统办公厅科技政策办公室. 品力之等译. 《美国国家关键技术报告(1995年版)》, 1996
- [6] President's Committee of Advisors on Science and Technology, USA, *Powerful Partnerships: the Federal Role in International Cooperation on Energy Innovation, Panel on International Cooperation in Energy Research, Development, Demonstration, and Deployment, June 1999*

The Strategic Development of Energy Science

Member of The CAS WU Chengkang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Member of The CAS XU Jianzhong

Professor JIN Hongguang

(Institute of Engineering Thermophysics, CAS, Beijing 100080)

Abstract: On the basis of change of energy consumption in the world, this investigation points out the tendency of energy consumption structure and the main aspects of energy science. Furthermore, from the viewpoint of science and technology, we have clarified the characteristics of energy science. Finally, we have provided key subjects in energy science and several opinions for strategic development in energy science in China.

Key words: energy structure, energy efficiency, environment, energy security



作者简介

吴承康(WU Chengkang, 1929~),男,1957年获美国麻省理工学院科学博士学位。回国后在中科院动力室、力学所等单位从事燃烧、高温气体动力学、电弧等离子体、能源等方面的研究。现任力学所研究员,1991年当选为中国科学院院士。



徐建中(XU Jianzhong, 1940~),男,中国科学院工程热物理研究所研究员。1958年至1963年在中国科学技术大学学习,1963年至1967年为中国科学院力学研究所研究生。毕业后,先后在中科院力学所和工程热物理所从事科研工作,主要领域为动力装置气动热力学和工程热物理。曾获国家自然科学二等奖、中科院科学进步一等奖等多项奖励。1984年被批准为首批国家级“有突出贡献中青年科技专家”,1995年当选为中国科学院院士。



金红光(JIN Hongguang, 1957~),男,中国科学院工程热物理研究所研究员,博士生导师,1991—1999年日本东京工业大学博士、助研、副教授,主要从事能源动力总系统和化学环境研究,获1999年度国家杰出青年基金。

(责任编辑:曙光)