

决策咨询系列



国家科学思想库

中国 科学家思想录

第九辑

中国科学院

 科学出版社

决策咨询系列



国家科学思想库

中国 科学家思想录

第九辑

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

中国科学家思想录·第九辑/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2016. 3
ISBN 978-7-03-047272-4

I. 中… II. 中… III. ①自然科学-学术思想-研究-中国 IV. ①N12
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 025437 号

丛书策划: 胡升华 侯 俊

责任编辑: 侯俊琳 牛 玲 刘巧巧 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 黄华斌 陈 敬

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail. sciencep. com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 4 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016 年 4 月第一次印刷 印张: 17 1/4

字数: 310 000

定价: 86.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

丛 书 序

白春礼

中国科学院作为国家科学思想库,长期以来,组织广大院士开展战略研究和决策咨询,完成了一系列咨询报告和院士建议。这些报告和建议从科学家的视角,以科学严谨的方法,讨论了我国科学技术的发展方向、与国家经济社会发展相关联的重大科技问题和政策,以及若干社会公众广为关注的问题,为国家宏观决策提供了重要的科学依据和政策建议,受到党中央和国务院的高度重视。本套丛书按年度汇编1998年以来中国科学院学部完成的咨询报告和院士建议,旨在将这些思想成果服务于社会,科学地引导公众。

当今世界正在发生大变革大调整,新科技革命的曙光已经显现,我国经济社会发展也正处在重要的转型期,转变经济发展方式、实现科学发展越来越需要我国科技加快从跟踪为主向创新跨越转变。在这样一个关键时期,出思想尤为重要。中国科学院作为国家科学思想库,必须依靠自己的智慧和科学的思考,在把握我国科学的发展方向、选择战略性新兴产业的关键核心技术、突破资源瓶颈和生态环境约束、破解社会转型时期复杂社会矛盾、建立与世界更加和谐的关系等方面发挥更大作用。

思想解放是人类社会大变革的前奏。近代以来,文艺复兴和思想启蒙运动极大地解放了思想,引发了科学革命和工业革命,开启了人类现代化进程。我国改革开放的伟大实践,源于关于真理标准的大讨论,这一讨论确立了我党解放思想实事求是的思想路线,极大地激发了中国人民的聪明才智,创造了世界发展史上的又一奇迹。当前,我国正处在现代化建设的关键时期,进一步解放思想,多出科学思想,多出战略思想,多出深刻思想,比以往任何时期都更加紧迫,更

加重要。

思想创新是创新驱动发展的源泉。一部人类文明史，本质上是人类不断思考世界、认识世界到改造世界的历史。一部人类科学史，本质上是人类不断思考自然、认识自然到驾驭自然的历史。反思我们走过的历程，尽管我国在经济建设方面取得了举世瞩目的成就，科技发展也取得了长足的进步，但从思想角度看，我们的经济发展更多地借鉴了人类发展的成功经验，我们的科技发展主要是跟踪世界科技发展前沿，真正中国原创的思想还比较少，“钱学森之问”仍在困扰和拷问着我们。当前我国确立了创新驱动发展的道路，这是一条世界各国都在探索的道路，并无成功经验可以借鉴，需要我们在实践中自主创新。当前我国科技正处在创新跨越的起点，而原创能力已成为制约发展的瓶颈，需要科技界大幅提升思想创新的能力。

思想繁荣是社会和谐的基础。和谐基于相互理解，理解源于思想交流，建设社会主义和谐社会需要思想繁荣。思想繁荣需要提倡学术自由，学术自由需要鼓励学术争鸣，学术争鸣需要批判思维，批判思维需要独立思考。当前我国正处于社会转型期，各种复杂矛盾交织，需要国家采取适当的政策和措施予以解决，但思想繁荣是治本之策。思想繁荣也是我国社会主义文化大发展大繁荣应有之义。

正是基于上述思考，我们把“出思想”和“出成果”、“出人才”并列作为中国科学院新时期的战略使命。面对国家和人民的殷切期望，面对科技创新跨越的机遇与挑战，我们要进一步对国家科学思想库建设加以系统谋划、整体布局，切实加强咨询研究、战略研究和学术研究，努力取得更多的富有科学性、前瞻性、系统性和可操作性的思想成果，为国家宏观决策提供咨询建议和科学依据，为社会公众提供科学思想和精神食粮。

前 言

为国家宏观决策和科学引导公众提供咨询意见、科学依据和政策建议,是中国科学院学部作为国家在科学技术方面最高咨询机构的职责要求,也是学部发挥国家科学思想库作用的主要体现。

长期以来,学部和广大院士围绕我国经济社会可持续发展、科技发展前沿领域和体制机制、应对全球性重大挑战等重大问题,开展战略研究和决策咨询,形成了许多咨询报告和院士建议。这些咨询报告和院士建议为国家宏观决策提供了重要参考依据,许多已经被采纳并成为公共政策。将学部咨询报告和院士建议公开出版发行,对于社会公众了解学部咨询评议工作、理解国家相关政策无疑是有帮助的,对于传承、传播院士们的科学思想和为学精神也大有裨益。

本丛书汇编了1998年以来的学部咨询报告和院士建议。自2009年5月开始启动出版以来,中国科学院院士工作局^①和科学出版社密切合作,将每份文稿分别寄送相关院士征询意见、审读把关。丛书的出版得到了广大院士的热情鼓励和大力支持,并经过出版社诸位同志的辛勤编辑、设计和校对,现终于与广大读者见面了。

希望本丛书能让广大读者了解学部加强国家科学思想库建设所作出的不懈努力,了解广大院士为国家决策发挥参谋、咨询作用提供的诸多可资借鉴的宝贵资料,也期待着广大读者对丛书和以后学部的相关出版工作提出宝贵意见。

中国科学院院士工作局

二〇一〇年十一月

^① 现更名为中国科学院学部工作局。

目 录

丛书序 /i

前 言 /iii

徐建中等	我国工业节能现状调研和对策 /1
郑光美等	加强科普场馆在科普工作中的作用 /26
严陆光等	关于筹建青海大规模光伏发电与水电结合的国家综合能源基地的建议 /38
严陆光等	大力推进新疆大规模综合能源基地的发展 /58
中国科学院学部	发展我国战略性新兴产业调查报告 /80
苏纪兰等	我国围填海工程中的若干科学问题及对策建议 /93
陈祖煜等	关于加强我国重大工程信息数字化、标准化和物联网建设工作的建议 /110
陆大道等	关于避免我国交通建设过度超前的建议 /121
孙鸿烈等	关于黄河黑山峡段开发问题的建议 /135
何祚庥	中国的工业化, 会不会走向“半个”工业化? /174
沈绪榜等	关于 MPP 计算机发展对策的建议 /188
葛昌纯等	关于发展空间太阳能发电系统及其关键材料研究的建议 /193
何祚庥	一个即将在广大农村、小城镇崛起的战略性新兴产业 /198
方精云	对全球变暖的认识及应对策略建议 /208
严陆光	为培育与发展电气工程战略性新兴产业而奋斗 /219
田昭武	关于当前我国政府如何补贴纯电动轿车的建议 /229
李德仁	关于对山西省应县木塔进行现代测绘、数字化建模和三维组装的建议 /233
李曙光	关于建立“国家技术科学研究基金”资助制度的建议 /236
陆大道等	关于在喀什及霍尔果斯建设特殊经济开发区的初步研究和建议 /239
朱森元等	发展地效飞行器, 全面提升我国海洋总体实力的建议 /263

我国工业节能现状调研和对策

徐建中 等

一、我国能源现状

| （一）总体能源现状 |

经过多年发展，中国一次能源生产能力已仅次于美国，居世界第 2 位。2007 年，中国一次能源生产总量达到 23.5 亿吨标准煤，其中生产原油 1.87 亿吨，列世界第 5 位；生产天然气 693 亿米³，列世界第 9 位；生产原煤 25.4 亿吨，列世界第 1 位；水电年发电量 4829 亿千瓦时，列世界第 1 位；核电年发电量 629 亿千瓦时；风电和其他新能源发电装机容量达到 600 万千瓦；太阳能热水器集热面积约 10 800 万米²，列世界第 1 位。生物质燃料乙醇年生产能力 160 万吨，煤炭液化和煤制醇醚、烯烃等煤基多联产示范工程稳步推进。表 1 为 2000~2007 年一次能源发展主要指标。

表 1 中国 2000~2007 年一次能源发展主要指标

指 标	2000 年	2005 年	2006 年	2007 年	年均增长率/%
一次能源生产总量/亿吨标准煤	12.90	20.59	22.11	23.54	9.0
原煤比例/%	72	76.5	76.7	76.6	9.9
石油比例/%	18.1	12.6	11.9	11.3	1.9
天然气比例/%	2.8	3.2	3.5	3.9	14.3
水电及可再生能源比例/%	7.2	7.7	7.9	8.2	11.0
一次能源消费总量/亿吨标准煤	13.86	22.47	24.62	26.56	9.7
原煤比例/%	67.8	69.1	69.4	69.5	10.1
石油比例/%	23.2	21.0	20.4	19.7	7.2
天然气比例/%	2.4	2.8	3.0	3.5	15.8
水电及可再生能源比例/%	6.7	7.1	7.2	7.3	11.1

从表 1 中看出，一次能源生产总量中，原煤一直以来占据主导地位，比例为 70% 以上；石油的比例有较大的下降，天然气的比例变化不大，新能源包括可再生能源的比例有所上升。据国土资源部统计报告，截至 2006 年年底，中国探明可采煤炭储量 2000 亿吨，按全国年产 25 亿吨煤炭计算，中国煤炭资源可供开采



约 80 年；石油探明储量约 895 亿吨，其中可采储量为 20.4 亿吨；从天然气资源来看，中国天然气远景资源可达 44 万亿米³，可采资源为 2.39 万亿米³；目前中国煤层气探明地质储量 31.5 万亿米³；中国水能的经济可开发量为 401.8 吉瓦。

中国一次能源供需总体基本平衡，但生产与消费结构上的差异表现为：一方面煤炭供应充足，除满足国内需求以外，还有部分出口（2007 年约 5318.7 万吨）；另一方面则是石油供给严重不足，每年需要花费大量外汇进口，2007 年进口石油 2.11 亿吨，石油进口依存度已经近 50%，国家石油安全问题日益突出。

（二）工业用能现状

我国的工业产品产量仍保持一个较大的增长速度。有近 60% 的产品的增长率大于 15%，说明我国仍属于工业化的发展阶段（表 2）。工业部门是我国国内生产总值（GDP）的重要来源，其工业增加值在 GDP 中的比例由 2000 年的 40.85% 增加到 2007 年的 42.69%；同时，它也是我国能源消费的最主要用户，如表 3 所示，我国工业能耗由 2000 年的 8.96 亿吨标准煤增加到 2007 年的 19.02 亿吨标准煤，占能源总消费量的比例由 2000 年的 68.79% 上升到 2007 年的 71.6%。工业能源消费量增长速度高于能源总消费量增长速度是我国近 20 多年能源总消费量快速增加的重要因素。高耗能工业能源消费量占工业能源消费量的比例（近 80%）很大，导致单位工业产值能耗高于其他产业单位能耗。表 4 为中国工业万元增加值能耗与其他部门万元增加值能耗比较，2007 年工业万元产值能耗为 1.77 万吨标准煤，是农业的 6.04 倍，建筑业的 6.16 倍，运输邮电业的 1.25 倍，批发零售业的 5.40 倍（表 3、表 4）。

由于我国以工业为主的产业结构和能源消费结构将长期不变，所以在国内能源资源紧缺和供需矛盾激化的情况下，工业节能对解决工业以致整个国民经济发展中的能源问题有着重要战略意义。

表 2 2007 年主要工业产品产量及其增长速度

产品名称	产量	比上年增长/%
纱/万吨	2 000.0	14.7
布/亿米	660.0	10.3
化学纤维/万吨	2 390.0	15.3
成品糖/万吨	1 271.4	34.0
卷烟/亿支	21 413.8	5.9
彩色电视机/万台	8 433.0	0.7
家用电冰箱/万台	4 397.1	24.5
房间空气调节器/万台	8 014.3	17.0
一次能源生产总量/亿吨标准煤	23.7	7.0

续表

产品名称	产量	比上年增长/%
原煤/亿吨	25.36	6.9
原油/亿吨	1.87	1.1
天然气/亿米 ³	693.1	18.4
发电量/亿千瓦时	32 777.2	14.4
其中：火电/亿千瓦时	27 218.3	14.9
水电/亿千瓦时	4 828.8	10.8
粗钢/万吨	48 966.0	16.8
钢材/万吨	56 894.4	21.3
10种有色金属/万吨	2 350.8	22.7
其中：精炼铜（铜）/万吨	344.1	14.6
电解铝/万吨	1 228.4	32.6
氧化铝/万吨	1 945.3	46.7
水泥/亿吨	13.6	9.9
硫酸/万吨	5 500.0	9.3
纯碱/万吨	1 771.8	13.6
烧碱/万吨	1 759.3	16.4
乙烯/万吨	1 047.7	11.4
化肥（折100%）/万吨	5 786.9	8.3
发电设备/万千瓦	12 991.0	11.1
汽车/万辆	888.7	22.1
其中：轿车/万辆	479.8	24.0
大中型拖拉机/万台	20.3	1.9
集成电路/亿块	411.6	22.6
程控交换机/万线	5 387.1	-27.2
移动通信手持机/万台	54 857.9	14.3
微型电子计算机/万台	12 073.4	29.3

表3 2000~2007年中国能源消耗总量部门构成

项 目	2000 年	2005 年	2006 年	2007 年	年均增长率/%
能源消耗总量/亿吨标准煤	13.03	22.33	24.63	26.56	10.71
能源消耗总量的部门构成/%					
农、林、牧、渔、水利业	4.44	3.57	3.41	3.10	5.19
工业	68.79	70.78	71.12	71.60	11.34
建筑业	1.10	1.53	1.51	1.52	15.92
交通运输、仓储及邮电通信业	7.61	7.47	7.55	7.77	11.04
批发和零售贸易餐饮业	2.22	2.25	2.24	2.24	10.88
其他	4.39	3.94	3.87	3.67	7.90
生活消费	11.44	10.48	10.31	10.09	8.73



表 4 2000~2007 中国工业万元增加值能耗与其他部门万元增加值能耗比较

(单位: 万吨标准煤/万元)

项 目	2000 年	2005 年	2006 年	2007 年
单位 GDP 能耗	1.31	1.22	1.16	1.06
工业	2.24	2.05	1.92	1.77
农业	0.39	0.36	0.35	0.29
建筑业	0.26	0.34	0.31	0.29
运输邮电业	1.61	1.54	1.49	1.41
批发零售业	0.35	0.37	0.36	0.33

| (三) 国际能源的形势 |

据世界能源的利用状况统计数据 and 能源利用区域现状及预测, 未来 20 年内化石能源仍然占据能源消耗的主要地位, 同时, 新能源以及可再生能源逐步增加。另外, 中国总的能源消耗量还将持续一段较长时间的高增长期。据国际能源署 (IEA) 2006 年预测, 至 2030 年, 世界范围内能源消耗的年增长率为 1.8%, 而中国则为 3.5%, 远高于经济合作与发展组织 (OECD) 成员国; 我国的能耗在全世界总能耗的比例将由现在的约 14% 上升至约 20%, 总能耗折合标准煤约为 48.5 亿吨。这表明我国的能源利用率是非常低下的; 同时, 这一数字也接近我国传统能源的最大产量。这对我国能源的稳定供应构成了严重的威胁。因此, 必须提高我国的能源利用率, 将人均能耗水平大幅度降低。显然, 这是一个非常艰巨的任务, 需要节能和科学用能的共同作用。

这就是说, 面对如此严峻的形势, 如何保证我国能源长期、经济、清洁、安全的供应和保护生态环境, 如何保护我国经济的可持续发展, 是我们正面对的十分重要而困难的问题。为此, 应该有新的思路和新的技术途径, 尤其应该对我国的高耗能产业进行深入的分析, 将科学用能作为指导以实现节约化石能源的目的。与此同时, 还必须大力开发可再生能源和新能源, 以替代化石能源。

二、我国工业用能存在的问题

能源从开采、加工、转换、输送、分配到终端利用, 有大量的能量被损失和浪费。中间环节和终端利用效率的乘积通常称为“能源效率”。目前, 我国能源效率约为 33%, 比发达国家低约 10 个百分点。特别是单位产品的能耗与国际先进水平相比有较大差距。根据 2005 年的统计数据, 几种高耗能产品能耗的国际比较 (中国: 国际先进水平) 为: 火电供电煤耗 370 克标准煤/千瓦时: 312 克标准煤/千瓦时; 钢可比能耗值 714 千克标准煤/吨: 610 千克标准煤/吨; 水泥综合能耗 153.0 千克标准煤/吨: 127.3 千克标准煤/吨; 乙烯综合能耗 986 千克

标准煤/吨：629 千克标准煤/吨。这说明我国工业部门的能源利用水平低，同时也说明工业部门的节能降耗具有巨大潜力。

降低工业能耗，是一项巨大的系统工程，包括工业结构的调整优化、工业能源管理的改善、节能技术的改造创新、工艺流程改进、产品更新换代等，需要细致工作、全面规划。通过对各个高耗能工业领域能源利用问题的分析研究，分析个性问题，提炼共性问题，本报告就以下问题展开论述，从科学技术角度出发提出实现工业领域节能降耗的基本路线。

|(一) 工业生产过程工艺、技术和设备落后|

过程工业通常是指化工、冶金、电力、食品等连续生产的工业，其产值占我国工业总产值的 37%，占制造业的 46.9%，是国民经济的基础产业。应特别关注相关的领域，其多数是以物质转化为核心的过程工业，如化工、冶金、能源、材料、资源和环境等，此外也包括一些高新技术产业，如生物工程、纳米材料、医药等。过程工业的节能可以从两个方面来进行：一是整个工业系统或工艺流程进行优化，保证其在良好的工况下运行；二是对某一过程工业的具体环节进行能流分析和改进。过程工业系统的优化包括对现有系统的最优操作、最优改造和对新系统的最优设计，大体上可以归纳为两类问题：一是流程结构基本固定的系统参数优化；二是系统流程结构优化，包括对新系统的多方案最优综合和对旧系统改造方案的优化选择。具体过程工业环节的节能通常采用一些辅助专业软件来进行，如注汽锅炉运行状态评定专家系统。通过在线检测锅炉运行参数，计算、分析和诊断其运行状态，并将调整后的参数反馈给控制系统加以调整，从而保证该设备的最佳运行状态。

我国电力、钢铁、建材、煤炭、化工、有色金属、纺织等行业中均有很大比例的落后设备和工艺在使用。譬如，电力行业中效率低、污染严重的小火电占有很大比例，2007 年 200 000 千瓦以下的火电发电机组容量占 27% 左右；钢铁工业小焦炉、小高炉、小转炉、小电炉、落后轧机仍占有相当大的比例，全国现有高炉 1250 座，1000 米³以下的有 1130 座，占炼铁能力的 60% 以上；钢铁工业中不符合产业政策的落后炼铁能力约 10⁸ 吨，落后炼钢能力约 55 × 10⁶ 吨，全行业落后产能占总产能的 20% 左右；燃煤工业锅炉单台锅炉容量小，设备陈旧老化，全国燃煤锅炉约 48 万台，占工业锅炉总容量的 85% 左右，平均容量约 3.4 蒸吨/小时，其中 20 蒸吨/小时以下超过 80%；煤炭工业中技术落后、效率低、浪费资源和污染环境严重的小煤矿占有很高比例；我国水泥行业近 50% 还采用立窑和湿法等落后工艺。



| (二) 余热、余能巨大浪费 |

在各个工业过程的能源利用中,总是存在着温度与压力的改变及伴生可燃物,如果能对这部分能量进行充分的回收利用(如利用工业锅炉的余热、余压进行发电和供热,对伴生可燃气回收利用,开展垃圾/固体废弃物发电应用等),可以降低能源的消耗量,提高能源的利用效率。目前,我国钢铁、建材、煤炭、化工、有色、纺织等行业的余热、余能没有得到充分回收利用。我国钢铁企业副产大量的焦炉气、高炉气、转炉气等可燃气,同时还伴生红焦显热及炉顶煤气压力能等大量物理能,吨钢余热、余能的总量约为455千克标准煤,我国钢铁企业对这部分余热、余能回收利用率仅为45.6%,与发达国家90%以上的利用率相比差距较大。我国钢铁企业许多高炉尚未配套炉顶压差(TRT)发电设备,TRT技术在发达国家已经实现普及应用,日本的普及率已达到100%,而我国只有250余座高炉配套了TRT装置,1000米³以上高炉TRT的普及率超过90%,而中小型高炉TRT的普及率还很低;焦炉气、高炉气、转炉气大量放散,2007年放散的焦炉煤气约175亿米³,相当于西气东输天然气体积量的1.45倍,全国高炉煤气散放量达到614亿米³,约折合标准煤880万吨;另外干熄焦技术在普及率只有30%左右。我国现有干法窑水泥生产线,尚有大量未配套余热发电装置。钢铁企业的焦炉气、高炉气、转炉气,煤矿的煤层气,焦化企业的焦炉气等可燃气大量放空,造成能源的严重浪费,同时污染了环境。据统计,目前我国每年因煤炭生产直接排放的煤层气在130亿米³以上,折合标准煤在1600万吨以上,因生产焦炭产生的富余炼焦气也在200亿米³左右,折合标准煤约1100万吨。另外,城市的垃圾污染问题日益严重,通过相关研究将垃圾和能源这一废一宝紧密联系起来。比如,可以利用垃圾发电来缓解能源需求,还可以降低污染。

| (三) 能源转换、利用技术水平落后 |

动力机械能耗占我国工业能耗的大部分,由于工业的日益发展和各种形式产业群体的出现,各类电动机、工业风机、压缩机、泵等的用量骤增。我国现拥有3700余万台的泵和风机,这些设备更新力度低,很多老式低效率高耗能设备仍在运行,风机系统和各种泵类电能综合利用率为30%~40%,远低于国际先进水平70%以上,因此每年造成的电力浪费达上百亿千瓦时。开展动力机械行业的节能在节能、安全、环保三方面具有重要意义。

各个工业生产过程中,涉及热的传递和输运。以应用广泛的换热器为例,它应用于化工、石油、动力和原子能等工业部门,并且日常生活中取暖用的暖气散

热片、汽轮机装置中的凝汽器和航天火箭上的油冷却器等都是换热器。这也是工业用能过程热损失的主要环节之一。可以通过降低热阻,提高换热效率。也可以增加流体的流速和扰动性,减薄边界层,降低热阻提高给热系数。但增加流体流速会使能量消耗增加,故设计时应在减小热阻和降低能耗之间作合理的协调。在电力的输运及变电过程中,由于热能的产生而存在电能的耗散,一方面通过技术手段降低这部分的热产;另一方面通过先进的换热手段,把产生的热能及时地疏散,以不影响电力的输送效率,达到节能的目的。

能量通常以电的形式被广泛地应用。电力电子技术无处不在、具有巨大的节能潜力。预计全球未来将有 95% 以上的电能要经过电力电子技术的处理后才能使用。电力电子行业涉及三个领域:电力电子元器件(上游)、电力电子装置(中游)、电力电子技术在各个行业的应用(下游)。应用电力电子技术改造传统设备,单台节电率平均可达 20% 左右,节电总量将达 500 亿千瓦时。

| (四) 环境污染严重 |

2006 年,全国废气排放中二氧化硫(SO_2)排放量 2588.8 万吨,比上年增加 1.5%;全国废水排放总量为 536.8 亿吨,比上年增加 2.3%;废水中 COD(化学需氧量)排放量 1428 万吨,比上年增加 1.0%。我国电力、冶金、水泥等工业的 SO_2 、 NO_x (氮氧化物)、COD、粉尘颗粒及固体废弃物等污染物排放严重,其中两项主要污染物 COD 和 SO_2 排放量工业分别占全国的 37% 和 87% 左右。各种污染物排放严重,主要原因是:消耗的能源总量持续增长;前几年建设的工业项目陆续建成投产,而部分污染防治设施未同步建成或同步运行;近期投产的火电装机容量大多配套建设了脱硫设施,但是投运效率较低;城市化进程加快,污水排放量增加,一部分城市污水集中处理厂及配套管网未能按计划建设或投入运行。当前,主要的污染物排放量的削减任务非常艰巨。

2005 年,我国的二氧化碳(CO_2)排放量为 53.2 亿吨,接近美国的 59.6 亿吨。据 IEA 预测,至 2030 年,中国的 CO_2 排放量将保持 4.2% 的年增长率,高于美国 1.3% 的年增长率。我国的 CO_2 排放面对严峻的形势。

| (五) 节能与科学用能的研究和指导薄弱 |

节能是指加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理及环境和社会可以承受的措施,从能源生产到消费的各个环节,降低消耗,减少损失和污染物排放,制止浪费,有效、合理地利用能源。因此,“节能”可以分为“节约”和“科学用能”两个层面。节约是指通过倡导“勤俭节约”等宣传教育手段,以及减少跑



冒滴漏、制定“节能规范”等管理手段，提高人的自觉性和节能管理水平，以达到节能的目的。节能的另一个层面是科学用能。“科学用能”主要包含三个层面的含义：一是通过“分配得当、各得所需、温度对口、梯级利用”的方式，不断提高能源及各种资源的综合利用效率，降低环境资源代价；二是通过解决能源与环境的协调相容问题，把能源转换过程与物质转换过程紧密结合在一起，特别注重控制废弃物与污染物的形成、迁移与转化，将能源转换利用过程与分离污染物的过程有机地结合在一起，降低甚至避免分离过程额外的能量消耗，实现在能源利用的同时，分离、回收污染物；三是转变传统的能源利用模式，发展资源、能源、环境一体化模式，实现资源再循环，最大限度地减少“废物”和“废能”。

节能的主要推动力是要大力倡导和推动“科学用能”。也可以说，我国节能的根本出路在于科学用能，在于努力发展和应用科学用能的理论、方法和技术。不难看出，节能和科学用能是长远解决我国能源问题首先要考虑和关注的重大问题，应当是我国能源发展战略的基本指导思想和核心，是根本的出发点。

因此，在能耗密集的行业加强节能工作，可采取措施包括：革新技术、改进工艺、充分利用工业余能和伴生可燃物、能的综合梯级利用、积极发展替代能源、以储能促进节能，以及制定政策、加强管理等。可以说，依靠技术进步是促进耗能产品能耗下降的主要的途径。

三、工业节能的关键技术路线

| （一）热能的综合梯级利用 |

从能的本质来看，能量既有数量又有品质的差别，只有综合考虑能量的数量和品质两方面的属性，才能够科学地判定能量是否得到了充分的利用。物理能梯级利用的经典表述为“温度对口、梯级利用”，其含义是将不同品位（温度）的热能实现对口利用，尽量缩小放热侧和吸热侧之间的品位差，使不可逆损失达到最小，即通过不同系统和过程的集成优化，实现对不同品质能的有效利用。

1. 先进的燃烧技术

对于化石能源一般需要通过燃烧进行热功转换，实现能源的利用。因此，需要开展先进燃烧技术的研究，提高燃烧效率和热功转换效率，实现能源的充分利用。

我国燃煤工业锅炉（占工业锅炉总容量的85%左右）效率低，污染重，节能潜力巨大。锅炉设计效率为72%~80%，平均运行效率只有65%左右，而国

外先进水平约 85%；工业窑炉每年消耗原煤约 3 亿多吨，平均能效比国外先进水平低 10% 以上。因此，需要开展先进燃烧技术的研究，提高燃烧效率和热功转换效率，实现能源的充分利用。

开展先进燃烧技术研究，包括：水煤浆燃烧技术、循环流化床燃烧技术、煤粉燃烧技术、高温空气燃烧技术、高温燃烧两段脱硫技术、低 NO_x /低 SO_x 燃烧技术、高效燃气辐射管技术、天然气燃气热处理技术、煤炭节能燃烧技术、蓄热式燃烧技术、脉冲燃烧技术及多功能分层给煤装置等。相关的燃气设备与技术包括：燃气锅炉/热处理炉、燃气供热（水）设备、燃气采暖技术设备、燃气中央空调各类燃气用具及零配件等。提高锅炉的效率，推广应用机电一体化技术、自动控制技术，以提高工业锅炉自动控制和燃烧监测水平。通过上述技术的改进，可以提高能源的热功转换效率。

2. 先进换热器技术

换热器是将热流体的部分热量传递给冷流体的设备，又称热交换器。它广泛应用于化工、石油、动力和原子能等工业部门，日常生活中取暖用的暖气散热片、汽轮机装置中的凝汽器和航天火箭上的油冷却器等，都是换热器。它的主要功能是保证工艺过程对介质所要求的特定温度，同时也是提高能源利用率的主要设备之一。

换热器既可是一种单独的设备，如加热器、冷却器和凝汽器等，也可是某一工艺设备的组成部分，如氨合成塔内的热交换器。早期的换热器只能采用简单的结构，而且传热面积小、体积大、笨重。随着制造工艺的发展，管壳式换热器得到了广泛应用，它不仅单位体积具有较大的传热面积，而且传热效果也较好。

设计不同的换热方式来适用于不同的工业生产过程。换热器按传热方式的不同可分为混合式、蓄热式和间壁式三类。混合式换热器是通过冷、热流体的直接接触、混合进行热量交换的换热器，又称接触式换热器。蓄热式换热器是利用冷、热流体交替流经蓄热室中的蓄热体（填料）表面，从而进行热量交换的换热器，如炼焦炉下方预热空气的蓄热室。这类换热器主要用于回收和利用高温废气的热量。以回收冷量为目的的同类设备称为蓄冷器，多用于空气分离装置中。间壁式换热器的冷、热流体被固体间壁隔开，并通过间壁进行热量交换的换热器，因此又称表面式换热器，这类换热器应用最广。

降低热阻，提高换热效率。在传热过程中，降低间壁式换热器中的热阻，以提高传热系数是一个重要的问题。热阻主要来源于间壁两侧黏滞于传热面上的流体薄层（称为边界层）和换热器使用中在壁两侧形成的污垢层，而金属壁的热阻相对较小。增加流体的流速和扰动性，可减薄边界层，降低热阻提高给热系数。



但增加流体流速会使能量消耗增加,故设计时应在减小热阻和降低能耗之间作合理的协调。为了降低污垢的热阻,可设法延缓污垢的形成,并定期清洗传热面。

换热器材料的选择。一般换热器都用金属材料制成,其中碳素钢和低合金钢大多用于制造中、低压换热器;不锈钢除主要用于不同的耐腐蚀条件外,奥氏体不锈钢还可作为耐高、低温的材料;铜、铝及其合金多用于制造低温换热器;镍合金则用于高温条件下;非金属材料除制作垫片零件外,有些已开始用于制作非金属材料的耐蚀换热器,如石墨换热器、氟塑料换热器和玻璃换热器等。

3. 热声技术的应用

热声技术是基于热致声效应的一种技术,它可以将热能转化为声能,进而用于发电或制冷等。特别是热声发电技术是一种全新的热发电技术,可将热能转化为声能并直接由直线发电机等换能设备产生电能。热声发动机无机械运动部件,可实现高效率的声学斯特林循环,且采用外燃式工作,因此热声发电技术具有可靠性高、制造成本低、热率高(30%~40%)及环保等优点。而且热声发电技术可利用太阳能、工业余热及任何燃料燃烧产生的热能来工作,因而热声发电技术正在成为能源动力研究领域里的一项前沿技术,极具发展潜力和应用前景。

热声理论得到快速发展的同时,热声制冷和热声发电技术在实验、应用方面的进展很快。介观热力学理论较好阐释了热声系统有别于传统热力学循环的工作机理,明确了对流动的交变特性产生影响的流体雷诺数、物性、声学雷诺数、温度梯度等相关因素及其影响规律。我国研制的两级斯特林型脉冲管制冷机可以达到 18.3 开左右的制冷温度,今后将探索工作频率在 100 赫兹以上的更高频脉冲管制冷机的工作机理。在室温区,研制的行波热声制冷机,在 -22°C 时有 300 瓦的制冷量,行波热声制冷机部分的制冷系数在 1.5 左右。

4. 燃气-蒸汽联合循环与整体煤气化联合循环

联合循环的本质,即将简单蒸汽循环与简单燃气轮机循环结合起来,利用燃气轮机循环(顶循环)高初温的优势,由燃气轮机将高品位的烟气热先转化为一部分功输出,同时利用燃气轮机的排烟产生蒸汽,驱动蒸汽轮机做功,从而充分发挥蒸汽循环(底循环)高压比、低排热温度的优势,实际联合循环的热转功效率已经接近 60%。显然,物理能(热)的梯级利用是复合循环相对于简单循环取得性能飞跃的根本原因。基于物理能的梯级利用原理,进一步提高联合循环性