

TRANSACTIONS OF

K.C. WONG EDUCATION FOUNDATION

SUPPORTED LECTURES

王宽诚教育基金会

学术讲座汇编

主 编 钱伟长

上海大学出版社

王宽诚教育基金会

学术讲座汇编

(第19集)

主编：钱伟长

上海大学出版社

王宽诚教育基金会《学术讲座汇编》

(第 19 集 2000 年)

钱伟长 主 编

上海大学出版社出版 上海市延长路 149 号

上海上工印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 彩插 1 印张 11.75 字数 266 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—1050 册

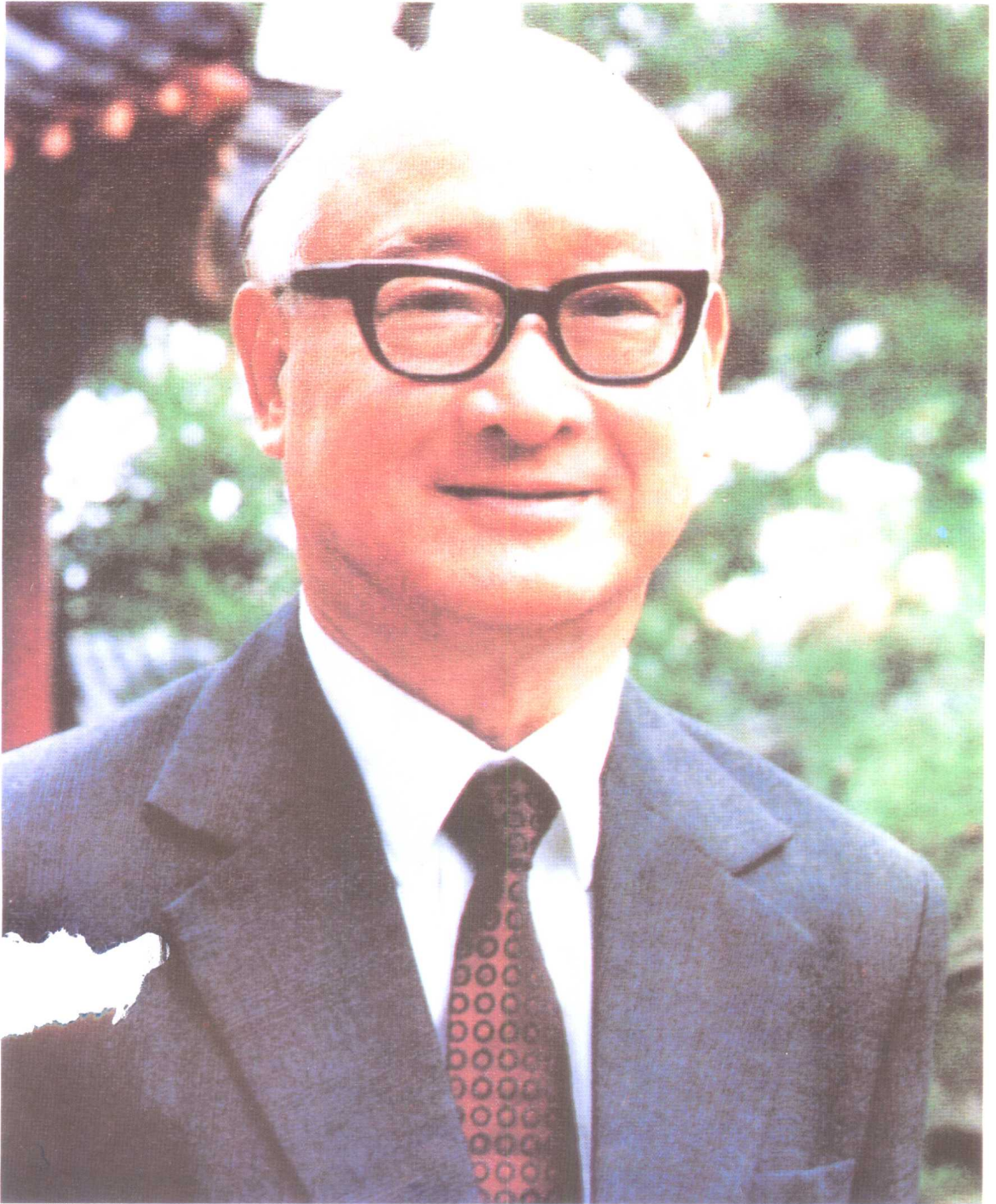
ISBN 7-81058-190-2 / Z · 005

谨以此书纪念本会创建人、故董事会主席王宽诚先生

王宽诚教育基金会

DEDICATED TO THE MEMORY OF MR K.C. WONG ,
FOUNDER OF THE FOUNDATION AND THE LATE
CHAIRMAN OF THE BOARD OF DIRECTORS

K.C. WONG EDUCATION FOUNDATION



王寬誠先生

K. C. WONG (1907–1986)

惠 存

王宽诚教育基金会敬赠

年 月 日

王宽诚教育基金会简介

王宽诚先生（1907-1986）为香港著名爱国人士，热心祖国教育事业，生前为故乡宁波的教育事业做出积极贡献。1985 年独立捐巨资创建王宽诚教育基金会，其宗旨在于为国家培养高级科技人才，为祖国四个现代化效力。

王宽诚先生在世时聘请海内外著名学者担任基金会考选委员会和学务委员会委员，共商大计，确定采用“送出去”和“请进来”的方针，为国家培育各科专门人才，并为提高内地和港澳高等院校的教学水平，资助学术界人士互访，用以促进中外文化交流。在此方针指导下，1985、1986 两年，基金会在国家教委支持下，选派学生 85 名前往英、美、加拿大和德国、瑞士、澳大利亚各国攻读博士学位，并计划资助内地学者赴港澳讲学，资助港澳学者到内地讲学，资助美国学者来国内讲学。正当基金会事业初具规模，蓬勃发展之时，王宽诚先生一病不起，于 1986 年年底逝世。这是基金会的重大损失，共事同仁，无不深切怀念，不胜惋惜。

王宽诚教育基金会在新任董事会主席张二铭先生和胡百全、林延新等董事的主持下，继承王宽诚先生为国家培育人才的遗愿，继续努力，除按计划执行外，并开发与英国、法国及德国等学术机构合作的新项目。王宽诚教育基金会过去和现在的工作态度一贯以王宽诚先生所倡导的“公正”两字为守则，谅今后基金会亦将秉此行事，奉行不辍，借此王宽诚教育基金会《学术讲座汇编》出版之际，特简明介绍如上。王宽诚教育基金会日常工作繁重，王明远、王明勤、林延新等董事均不辞劳累，做出积极贡献。

钱伟长

二〇〇〇年六月

前 言

王宽诚教育基金会是由已故全国政协常委、香港著名工商企业家王宽诚先生（1907-1986）出于爱国热忱，出资一亿美元于 1985 年在香港注册登记创立的。

1987 年，基金会开设“学术讲座”项目，此项目由当时的全国政协常委、现任全国政协副主席、著名科学家、中国科学院院士、上海大学校长、王宽诚教育基金会贷款留学生考选委员会主任委员兼学务委员会主任委员钱伟长教授主持，由钱伟长教授亲自起草设立“学术讲座”的规定，资助内地学者前往香港、澳门讲学，资助美国学者和港澳学者前来国内和内地讲学，用以促进中外学术交流，提高内地及港澳高等学校的教学质量。

本汇编收集的文章，均系各地学者在“学术讲座”活动中的讲稿。文章作者中，有年逾八旬的学术界硕彦，亦有由王宽诚教育基金会考选委员会推荐的学者和后起之秀，文章内容有科学技术，有历史文化，有经济专论，有文学，有宗教和中国古籍研究。本汇编涉及的学术领域颇为广泛，而每篇文章都有一定的深度和广度，分期分册以《王宽诚教育基金会学术讲座汇编》的名义出版，并无偿分送港澳和国内外部分高等院校、科研机构和图书馆，以广流传。

王宽诚教育基金会除资助“学术讲座”学者进行学术交流之外，在钱伟长教授主持的项目下，还资助由国内有关高等院校推荐的学者前往欧美亚澳参加国际学术会议，出访的学者均向所出席的会议提交论文，这些论文亦颇有水平，本汇编亦将其收入，以供参考。

王宽诚教育基金会学务委员会

凡 例

(一)编排次序

本书所收集的王宽诚教育基金会学术讲座的讲稿及由王宽诚教育基金会资助学者赴欧美亚澳参加国际学术会议的论文均按照收到文稿日期先后或文稿内容编排刊列，不分类别。

(二)分期分册出版并作简明介绍

因文稿较多，为求便于携带，有利阅读与检索，故分期分册出版，每册约150页至200页不等。为便于读者查考，每篇学术讲座的讲稿均注明作者姓名、学位、职务、讲学日期、地点、访问院校名称。国内及港澳学者到欧、美、澳及亚洲的国家和地区参加国际学术会议的论文均注明学者姓名、参加会议的名称、时间、地点和推荐的单位。上述两类文章均注明由王宽诚教育基金会资助字样。

(三)文字种类

本书为学术性文章汇编，均以学术讲座学者之讲稿原稿或参加国际学术会议学者向会议提交的论文原稿文字为准，原讲稿或论文是中文的，即以中文刊出，原讲稿或论文是外文的，仍以外文刊出。

**为促进国内外学术交流
免费赠送有关单位**

目 录 CONTENTS

论未来的中国能源	林宗虎 (1)
气液两相流的涡街问题研究	林宗虎 (11)
Parallel Computation on Cow	陈国良 (37)
五四精神与现代审美意识的觉醒	吴中杰 (49)
市场经济与市场文艺	吴中杰 (63)
Recent Developments of Anaerobic Wastewater Treatment in (Sub-)Tropical Regions	方汉平 (71)
Study of Biofilm Using Atomic Force Microscopy (AFM)	方汉平 (82)
《廣韻》版本考	余迺永 (92)
康复医学常用之统计分析方法概论	卢成皆 (103)
Stabilization to Nonlinear Systems with Short Time Delay in State Feedback	胡海岩 (107)
Investigation on the abrasion mechanisms of synthetic polycrystalline diamond compacts	孙家枢 (116)
A Method for Uniform Modeling and Solution of Topological Optimization of Skeleton and Continuum Structures	隋允康 (122)
A Fuzzy Neural Network Based on the TS Model with Dynamic Consequent Parameters and its Application to Steam Temperature Control System	谢克明 (129)
Characterization and Properties of RuO ₂ -SnO ₂ Nanomaterials	唐 电 (137)
Multi-level Intelligent Control Using Three-Step Learning Strategy: Analysis and Implementation	费敏锐 (142)
Comparison of Physical Passivation of Hg _{1-x} Cd _x Te	桑文斌 (151)
Equilibrium Partial Pressures and Crystal Growth of Cd _{1-x} Zn _x Te	桑文斌 (157)
Overview of Recent Flutter Boundary Prediction Techniques Based on Testing Data Analysis	裴承鸣 (163)

论未来的中国能源

林宗虎¹

(西安交通大学，西安 710049)

本文从世界能源的发展过程与展望，结合我国能源工业的现况与发展趋势，对我国未来的能源工业进行了展望。

1. 世界能源的发展过程与展望

1.1 世界能源的发展过程

现有的能源一般可分为两类，一类为一次能源，这种能源以现成形式存在于自然界中；另一类称为二次能源，这类能源需要依靠其他能源来制取或产生。一次能源又可按照能否再生而进一步分为再生能源和非再生能源。前者不会随其本身的转化或人类的利用而日益减少而后者则将随人类的利用而逐渐减少。具体分类可参见表 1。

表 1 能源的分类

一 次 能 源		二 次 能 源
再生能源	非再生能源	
风能、水能、太阳能、地热能、海洋能 (温差能、潮汐能、波浪能、海流能等)、 生物质能(草木燃料等)	化石燃烧(煤、石油、 天然气、油页岩等)	电能、氢能、汽油、 柴油等

纵观人类开发使用能源的历史可以看到能源的开发使用是和科技发展密切相关的，自人类学会使用火以后，首先以较易获得的草木作为燃料，其中也少量利用水能作为动力。到公元 500 年时，草木燃料的消耗仍占总能耗的 90%以上。这一时期从远古延续到中世纪，一般称为柴薪时期。18 世纪蒸汽机发明后，特别在 19 世纪末蒸汽发电开展后，煤炭就转为世界主要能源，而世界能源使用就进入煤炭时期。自内燃机发明后，随着飞机、汽车、内燃机车、柴油机轮船和石油发电的纷纷兴起，到 1950 年全球石油消费量已超过煤炭，成为世界主要能源。随后，随着天然气的开采和应用，世界能源使用就转为石油、天然气时期。

¹ 林宗虎，中国工程院院士，西安交通大学教授，校学术委员会副主任，博士生导师。由王宽诚教育基金会资助，于1999年11月赴香港科技大学、香港理工大学、香港大学等校讲学，此为其讲稿。

自 1970 年后，世界一次能源消费逐年变化情况，如图 1 所示。由图可见，石油和天然气总耗量已远超过煤的耗量。而核能和水能开发利用也在逐年增大。此外，也可看到，世界能源的利用是逐步从高碳燃料走向低碳燃料，因为低碳燃料产生的 CO₂ 少，可减少 CO₂ 造成的温室效应。

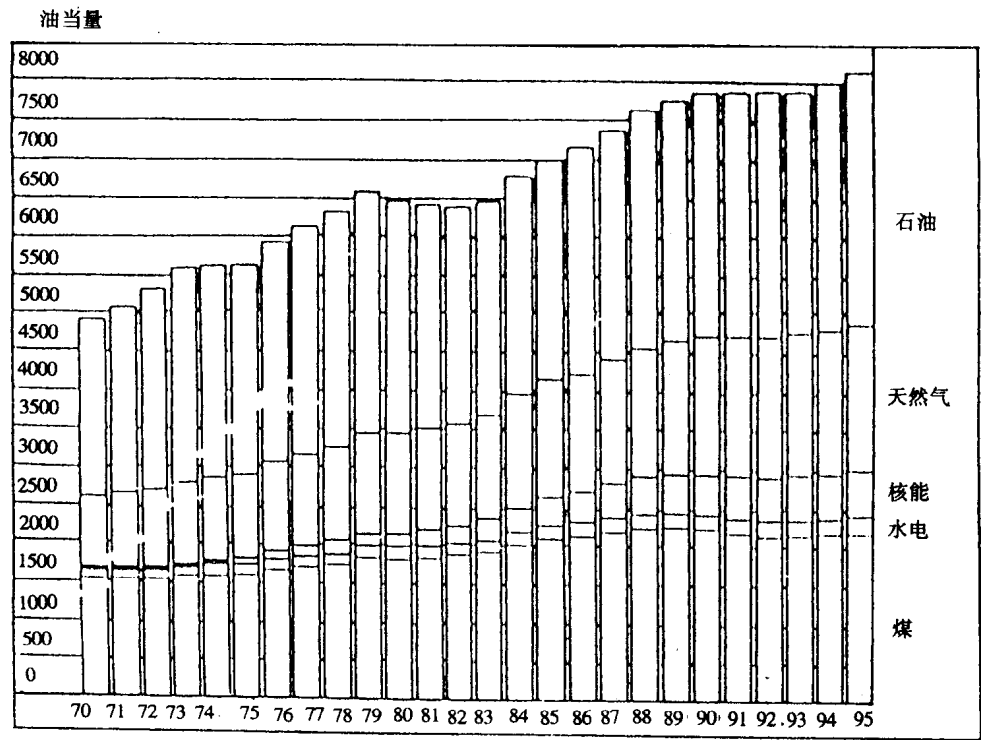


图 1 世界一次能源消费逐年变化情况示意图

70 年代起，各国都在考虑如何将石油、天然气能源时期过渡到可持续发展能源时期。可持续发展能源包括再生能源和其他用之不尽的新能源。出于这样考虑的原因是多方面的。随着社会和经济的发展，世界人口将从目前的 60 亿逐步增长到 2050 年的 100 多亿（联合国预计），差不多 50 年增加一倍。但随着工业增长和生活水平的提高，实际能源消费增长速度远比人口增长速度快，约 35 年翻一番，这就要求除化石燃料外，必须开发可持续发展能源以满足不断迅速增长的巨额能源耗费的需要。

其次，世界化石燃料资源有限，可开采时间不长（表 2）。由于矿物燃料很快面临枯竭，也促使人们必须考虑如何尽快过渡到可持续发展能源时期。

表 2 世界化石燃料的可开采年限（单位：年）
（根据世界能源委员会《1992 年世界能源资源调查》报告）

燃 料 名 称	石 油	天 然 气	煤	铀
已探明可采储量的可开采年	49	57	262	60
最终剩余可采储量的可开采年（包括未探明可采储量）	72	113	17	230

此外，由于大量燃用化石燃料，全球每年向大气排放有害气体和粉尘达 $3 \times 10^{10} \text{t}$ ，由 CO_2 产生的温室效应可使海平面上升，危及低地与岛屿并使气候恶化发生洪水和风暴。有害气体造成酸雨并破坏农田、森林和湖泊。大气中的粉尘、 SO_2 和 NO_x 还直接危害人体健康。因此，必须控制化石燃料的消耗，使人类的能源使用时期迅速转入清洁的可持续发展能源时期。

据专家们估计，人类的能源使用从石油、天然气时期过渡到可持续发展能源时期需要 100~150 年。

1.2 全球可持续发展能源的储量及利用经济性

全球可利用的再生能源储量列于表 3。

表 3 全球可利用的再生能源储量

名 称	储量, kW	名 称	储量, kW
太阳能	1.74×10^{14}	海 洋 能	温差能 5×10^{10}
水 能	3.96×10^9		潮汐能 3×10^9
风 能	3.5×10^{12}		波浪能和海流能 8×10^9
电热能	3.3×10^{10}	生 物 质 能	11.4×10^{10}

目前全球能耗折算到电功率为 $1.1 \times 10^{10} \text{kW}$ ，所以这些能源的储量大大超过全球能耗所需。单以太阳能为例，其储量约为全球能耗的 1.6 万倍。但实际上，要大规模开采这些储存的能源存在各种技术上的困难。由于地球大气层的散射和吸收，到达地面的太阳能远低于表 3 中所列的数值,在其他再生能源的全面利用方面也存在技术问题。

表 4 列有根据《1992 年世界能源资源调查》报告得出的全球再生能源在技术上可转换成二次能源的储量。

表 4 全球再生能源可转换成二次能源的储量（单位：亿吨标准煤）

名 称	储 量	名 称	储 量
太阳能	32.28	生物质能	64.56
水 能	32.28	海 洋 能	温差能 10.76
风 能	23.67		潮汐能 0.43
电热能	21.52		波浪能和海流能 0.053
		总 计	185.55

由表 4 可见，再生能源在技术上可转换成二次能源的储量为 $185.55 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤，约为目前全球化石燃料消耗量的 2 倍。

再生能源的发电成本除水能低于化石燃料发电成本外，其他的可参见表 5（世界观察研究所 1991 年发表的资料）。

近 10 年来，再生能源技术迅速发展，发电成本下降较快而化石燃料因资源逐渐紧缺，开采难度加大，石油、煤炭等发电成本已上升到 5~7 美分/(kW.h) 并随时间后移而增加。到 2000 年，几种主要再生能源的发电成本已与上述化石燃料的发电成本大致相当。再往

后，则可达到低于化石燃料的发电成本。

表 5 主要再生能源发电成本及预测，美分/(kW·h)

再生能源名称	1980 年	1988 年	2000 年	2030 年
风力发电	32	8	5	3
地热发电	4	4	4	4
太阳热能发电：天然气辅助型	24	8	6	-
镜面聚焦型	85	16	8	5
生物质能发电	5	5	-	-

另一种可长期利用的能源为核聚变能，其聚变燃料为氘、氚、锂-6 等。每公斤海水中含有 0.034 g 氘，因而地球海洋中所含的氘足够人类用几十亿年，是一种取之不尽的清洁能源。但开发技术难度较大，至少要在 2050 年后才有实用可能性。

1.3 可持续发展能源与常规能源的新技术和应用前景

太阳能的主要应用技术概况参见表 6。

表 6 太阳能应用技术

技术名称	特 点	应用状况
太阳能发电	利用镜面或反射槽将太阳光聚焦在收集器上，由中间介质吸热产生蒸汽再经汽轮发电机组发电	美国单台最大容量：槽式 80MW；塔式 10MW
太阳能供热	利用小型太阳能装置为房屋采暖供热	已大量应用
太阳能光伏发电	利用光电池的光电转换效应应用太阳光能发电	美国已建成单台为 3.7MW 的太阳能光伏电站
太阳能卫星发电	发射带有大型太阳能电池板的发电卫星，电能由微波传到地面再转成电能应用	美国计划在 1999 年试射
太阳能制氢	利用太阳能分解水制氢以将分散的低品位太阳能转化为热值高的氢能。后者可替代石油制品用作发动机燃料	在试验中

风力发电机单台机组最大功率约为 5000kW。全球装机容量已近 4000MW，并在不断发展。全球水力发电装机容量已达 60×10^4 MW 并仍在不断发展，海洋能发电自 60 年代末期起步，目前发展情况参见表 7。

太阳能、风能、地热能、水能和海洋能等可再生能源除具有可持续性和清洁等优点外，也存在能量密度低、需占地大、具有时间性或季节性及不易直接储存等局限性，因此除再生能源外，各国还在开发其他新能源，其中实际上可用之不竭的一种能源型式为受控热核聚变发电。受控热核聚变是以氘氚等为燃料在加热到上亿度高温并在一定约束时间内发生持续核聚变反应，聚合成较重的原子核，同时释放出巨大能量，以此能量加热工质产生蒸

汽再用汽轮发电机发电。这种能源放射性废物少，安全性好，但技术难度大，造价高。试验已证实其科学可行性，预计在 2050 年后有望建成受控热核聚变电站。

表 7 海洋能发电技术

技术名称	特 点	应用状况
温差发电	利用海洋表面温度高，深处温度低所造成的温差（20~24℃）发电	已有 10~100MW 的示范电站
潮汐发电	利用潮汐涨落筑坝蓄水，再用水轮机发电	已建成的电站容量达 400MW，计划中的可达 8000MW
波浪发电	利用波浪上下运动产生空气流或水流而使轮机转动发电	尚在小型试验装置阶段

在常规的化石燃料发电和核能发电技术方面，至今也开发了多种旨在提高循环效率和改善环境污染的新型高效低污染发电技术，这些技术的特点和应用状况可参见表 8。

表 8 常规化石燃料发电和核能发电新技术

技术名称	特 点	应用状况
增压流化床 燃气——蒸 汽联合循环	采用增压流化床锅炉燃烧煤加白云石以脱硫，保持低床温以减少 NO _x 形成，烟气驱动燃气轮机发电，锅炉产生的蒸气带汽机发电	已有几万 kW 规模的示范电厂，预期效率可达 45%~48%，美国正建 2×175MW 电厂，有望在 2020 年商业化
整体煤气化 燃气——蒸 汽联合循环	用煤及石灰石先在气化炉中气化，除尘后进入燃气轮机发电。尾气入余热锅炉产生蒸汽发电，是一种相当洁净的高效燃煤发电技术	美、德已有示范电厂，预期效率可达 45%~48%，有望在 2020 年商业化
磁流体发电 ——蒸汽联 合循环	煤与富氧空气在燃烧室中燃烧产生 3000K 高温烟气，加 1% 钾盐提高燃气电导率并可脱硫和降低 NO _x 的生成量，高温烟气进入发电通道与强磁场相互作用后将热能直接换成电能，尾气入余热锅炉产生蒸汽发电	已经 1500kW 试验机组试验，再经中试和示范电站阶段后有望在 2030 年商业化，效率预期可达 45%~55%
燃料电池	以煤为初始燃料，与熔融碳酸盐型等燃料电池化学反应后发电	美国正进行 2MW 级示范，日本制成 56kW 电堆，发电效率可达 40%~60%，有望在 2020 年商业化
快中子增殖 反应堆	以贫铀与钍作燃料，以金属钠为载热剂，其优点为铀利用率可达 70%（乏燃料处理后可再应用），而常规的以水为载热剂的热中子反应堆，铀-235 利用率只有 1% 且大量核废料难以处理	法国 1200MW 快堆已运行，可望在 2020 年后商业化
高温气冷堆	一种热中子堆，以低浓铀、钍等为燃料，以氦气为载热剂，高温氦气驱动燃气轮机发电或经产生蒸汽后发电，由于氦气初温高，其循环效率可达 45%~48%	可望在 2020 年后商业化

从以上论述可以看到，人类对能源的利用从第三时期转入可持续发展能源的第四时期的前景是美好的，无论在能源储量和应用技术方面都是大有希望的，但在最近这 100 ~ 150 年间从第三时期到第四时期的过渡阶段必将是多种能源同时并存的局面。在这过渡时期，各国都在根据自己的国情制定本国的能源发展和研究规划，例如美国经济发达，资源丰富，因此在未来能源开发和应用技术方面进行了近乎全面的研究，单为太阳能卫星发电就投资 600 亿美元，计划在 2050 年左右发射 100 枚太阳能发电卫星，期望解决美国能源需要的 30 %。日本是一个岛国，既无资源又缺乏土地，因而加紧对热核聚变发电进行开发研究。这项研究因开支浩大，美国等国近期都在大量削减经费或暂停研究，但日本却在加大研究经费力度，计划将月球上含量丰富的氦-3 液化后用航天飞机运回日本，发展氦-3 和氘-2 的受控热核聚变研究，建立热核反应电站。预计，只要每年运回 20 t 氦-3 就足以提供全球所需能量并还有富余。

我国如何过渡到应用可持续发展能源的道路，自然也应根据我国的资源、经济和国情来确定。

2. 我国能源的储量和特点

我国能源的储量和现况有以下几个特点：

(1) 能源总储量不少但人均能源资源不足

我国化石燃料及可开采年限列于表 9。由表可见，煤炭储量丰富，占世界第三位，但其人均值只有世界平均值的一半。我国石油及天然气储量较少，分别为世界第 10 位及第 11 位。其相应的人均值就更少，仅为世界平均值的 11 %，天然气储量人均值为世界平均值的 4 %。如按 1992 年的开采量，在 100 年内，这些储量都将枯竭。

表 9 我国化石燃料储量及可开采年限

能 源 种 类	探明储量 ($\times 10^8$)	折合标准煤， $\times 10^8\text{t}$	1992 年 开 采 量 ($\times 10^8$)	可开采年限， (a)
煤 碳	1145t	817	11.2t	102
石 油	32.6t	47	1.42t	23
天 然 气	11270m ³	15	185m ³	61
铀	0.00051t		如供 0.4 kW 核 电站应用	30

我国再生能源储量列于表 10。

我国再生能源储量不少，但人均值较低。以水能为例，我国可开发的水能约 $3.8 \times 10^8\text{kW}$ ，占世界首位，但人均值只有 0.31kW。

(2) 我国能源结构以高碳能源煤炭为主

该能源污染环境，运输不便。根据 1995 年的统计，我国煤炭消费占一次能源消费的比例达 75 %，为世界比例的 3 倍，石油消费比例不到世界的一半，天然气的比例不到世界