

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2012.00245

能源开发利用与低碳问题

据宜文¹, 何家雄², 夏磊¹, 卜红玲¹, 董莹¹

(1. 中国科学院计算地球动力学重点实验室, 中国科学院研究生院地球科学学院, 北京 100049;
2. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘要: 煤、石油与天然气等化石能源的开发和利用与全球环境变化密切相关, 而改善全球环境污染与气候变暖问题的关键在于实现能源低碳化和发展可再生能源。本文深入剖析了能源开发利用与低碳问题。首先, 总结了能源革命的发展历史, 阐述能源发展对世界文明和人类发展的重要影响。然后, 详细分析了能源开发和利用的研究进展, 及其开发利用过程中所产生的环境问题, 如大气污染和水污染。最后, 列举了能源开发利用与低碳问题的重要举措, 探讨了未来能源的发展趋势, 提出中国能源发展的4点建议: 1) 坚持高碳能源低碳化利用, 提高能源利用率; 2) 提倡使用低碳能源, 大力发展非常规油气; 3) 加强国际合作, 开拓海外油气市场; 4) 大力发展各种新型低碳能源和可再生能源。发展低碳能源在中国具有非常重大的意义。调整能源结构, 发展低碳经济是中国能源经济可持续发展战略的根本。

关键词: 化石能源; 能源开发; 能源利用; 气候变化; 低碳

中图分类号: TE09 文献标识码: A 文章编号: 1674-4969(2012)03-0245-15

引言

能源问题一直以来都受到人类社会的广泛关注。当今世界政治、经济、外交和军事等活动皆与能源有着密不可分的关系。煤炭作为一种高碳的能源, 其开采和利用过程都会给环境造成破坏, 如碳排放、水质污染、地面塌陷、固体废弃物堆积和粉尘的污染等; 石油和天然气在勘探和开采过程中也会对周边的环境带来隐患, 如海上采油、油船事故所造成的海洋污染。化石能源不可再生, 石油资源短缺, 环境问题突出, 这严重制约社会经济的发展, 能源安全更是影响和损害国家的形象。化石燃料(煤炭、石油和天然气)是构成世界经济和社会发展的关键物质基础, 也是引起全球大气中 CH_4 和 CO_2 浓度增高和气候变暖的根

源。目前, 全球日益严重的气候和环境问题, 越来越引起人们对能源结构的关注, 特别是对化石能源消费的关注^[1]。

全球气候问题(温室效应等)让人们认识到发展低碳能源的重要性。发展低碳能源将为世界经济带来新的机遇。能源低碳化是全球能源的发展趋势, 也是中国能源的发展目标。中国发展低碳能源的意义非常重大, 实现低碳化的、有序的能源结构是中国能源战略定位的根本^[2]。“低碳革命”已经箭在弦上, 新能源的开发和高效使用将成为这场“革命”的核心内容。因此, 能源与低碳问题已经是世界热点问题, 如何走好这条低碳之路, 如何将新能源开发和高效利用渗透到生活中的方方面面, 是中国能源发展必须解决的问题。

收稿日期: 2012-07-18; 修回日期: 2012-07-31

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项课题(XDA05030100)

作者简介: 据宜文(1963-), 男, 博士, 教授, 主要从事能源地质和构造地质方面的研究。E-mail: juyw03@163.com

何家雄(1956-), 男, 博士, 研究员, 主要从事油气地质与资源评价预测方面的研究。

前人对能源与低碳问题已有研究, 但是将能源开发利用与低碳相结合还有待进一步综合探讨。本文对能源开发利用与低碳问题进行了深入剖析, 阐述了能源发展对世界文明和人类发展的重要影响, 详细分析了能源开发利用的研究进展以及能源开发利用过程中所产生的环境问题, 最后列举了能源开发利用与低碳问题的重要举措, 探讨了未来能源的发展趋势。研究能源开发利用与低碳问题关系到国民经济命脉和社会发展, 对世界能源革命与经济发展具有极为重要的指导意义。

1 能源革命的发展历史

人类文明的每一次进步都和能源利用息息相关。能源作为“工业的粮食”、“现代工业的血液”, 其开发利用也带来了相当大的负面效应。能源对环境造成的巨大影响, 远甚于其他产业。人类从19世纪开始工业化进程以来, 已经经历了两次能源构成的转型。

图1为世界能源构成变化的历史轨迹图, 如

图所示: 曲线从A点(第一次转型, 1850年, 可再生柴薪能源占80%, 煤炭占20%)开始, 至B点前, 煤炭比率一直在增加; 20世纪初的20年间, 主体能源从煤向石油转变, 其推动力是汽车和飞机的普遍使用, 曲线从B点(第二次转型)开始, 化石能源的比例逐步上升。而从现在开始, 人类将开始第三次能源大转型, 即重点转向可再生能源, 并且能源内部结构发生重组^{[3]2}, 大致的发展方向如图1中的红色箭头所示。预计到2030年, 非化石能源的比例约占到40%, 而油气和煤炭的比例各占30%左右; 到2100年, 非化石能源的比例则趋近60%, 油气和煤炭的比例显著降低, 各占20%左右。由此可见, 人类能源的利用呈现出从高碳到低碳的发展趋势。

远古时代的人类完全靠采集自然物得以生存, 依赖自然界的太阳光热延续后代。自从火种被人类发现并加以利用以来, 化石能源也就开始被人类所利用。随着人类文明的进步, 能源革命随之发展。能源革命的发展历程大致可以概括为以下

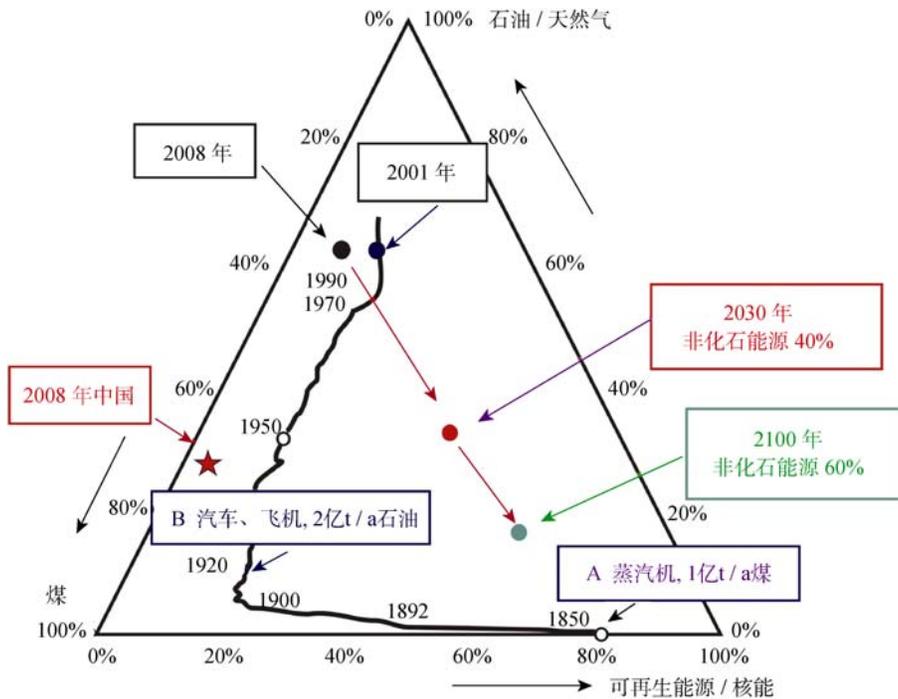


图1 世界一次能源构成的变化轨迹以及发展趋势

图片来源: 文献[3]2。

4个方面^[4]:

1) 柴薪马车——农业文明

这里的“柴薪”主要是指人类发明取火方式之后,用树枝、杂草等作为燃料,用于燃烧、煮食和取暖。柴薪在这里充当了第一代主体能源。柴薪的使用是人类在能量转化方面最早的一次技术革命。从利用自然火到利用人工火的转变,标志着以柴薪为主要能源的时代到来,原始社会的人类把树枝、杂草等作为燃料,用于生活和生产(如煮饭、取暖等),这就是第一次能源革命。由于当时人口基数小,生产力相对低下,柴薪充当了一种易获取且数量庞大的可再生资源,它不仅被用于燃烧,还被用于从事一些生产活动,比如手工生产和交通运输活动等。从远古时代直至中世纪,在马车的“低吟声”中,人类度过了近一万年的“柴薪马车”的农业文明时代。

2) 煤炭蒸汽机——工业文明

农业文明时期的人类以柴薪作为主体能源,由于各地大量采伐木材,加之柴薪的燃烧不充分、效率低,释放出污染大气且有损人类健康的气体,导致许多森林地貌变为荒野,生态环境逐步恶化。为了使能源与环境协调发展,人类不得不寻找替代柴薪的新能源。18世纪,木材已不适应日益增长的能源需求,而瓦特蒸汽机的发明和广泛应用,使得人类吹响了向长眠于地下的丰富矿物燃料——煤炭资源进军的号角。始于18世纪西欧的工业革命将煤炭的利用推向了高峰。煤气灯的使用,照亮了人类的漫漫长夜;蒸汽机的发明,使煤炭一跃成为第二代主体能源^{[5][22]}。可以说蒸汽机的发明是第二次能源革命的导火线,同时也是人类在能量转化方面新的里程碑,从此人类开始了机械动力的劳作生涯。

3) 石油内燃机——现代文明

现代文明是伴随着几个重大能源历史事件而产生的。1854年,美国宾夕法尼亚州打出了世界上第一口油井;1908年,福特成功研制出世界第

一辆汽车。此后,汽车、飞机、柴油机轮船、内燃机车、石油发电等如雨后春笋般涌现,将人类狂飙似地领到了现代文明时代。到20世纪60年代,全球能源消耗中,石油的消费量超过煤炭,成为主体能源^[6]。西南财经大学能源经济研究所所长刘建生认为,人类今天的文明正是建立在宝贵而又稀少的化石能源的大量使用上^[7]。

4) 绿色能源革命——未来文明

随着经济全球化进程的加快,全球人口的急剧膨胀,人类的能源消费也大幅度增长。汽车作为现代化象征,它的普及造成当今社会的环境污染与能源短缺。众所周知,煤炭、石油均为化石能源,是古生物在地下历经数亿年沉积变迁而形成的,不可再生,其储量极为有限。以目前能源利用情况来看,世界上的煤、石油和天然气等生物化石能源将在几十年至200年内逐渐耗尽。因而,如何把握好能源与环境问题,如何做到可持续发展显得至关重要,而开发和利用绿色能源已成为当今能源产业的当务之急。20世纪60年代以来,“能源革命”的呼声日渐高涨,人们期盼着绿色能源为21世纪人类社会的发展提供持久清洁的动力^{[5][23]}。天然气作为一种极为清洁的能源,首先被人类重新审视。它环保、附加值高、取之不尽、技术高新,具有巨大的产业前景。绿色能源革命就是以绿色能源,包括新能源(如非常规天然气和核能)和可再生能源(包括水电能、太阳能、地热能和氢能等),逐步代替矿物能源,也就是逐步摆脱高碳能源,向着低碳能源迈进。

2 能源开发利用的研究进展

自20世纪50年代以来,世界能源消费结构的大致变化趋势是,煤炭消费量降低,而石油和天然气消费量逐渐升高。据有关资料显示,在一些发达国家,油气在整个能源消费中可占到60%~70%。目前,能源勘探的主要领域是新区、海洋、老油区挖潜、深层勘探以及非常规油气勘探。其中,新区是勘探程度较低的地区,海洋勘

探领域的扩大主要是深水勘探,老油区挖潜是隐蔽油气藏勘探,深层勘探是指深层天然气勘探,非常规油气勘探主要包括致密砂岩气、煤层气、页岩气和天然气水合物等勘探。其总趋势是充分运用新技术、新方法和新理论,降低勘探风险和成本,提高综合效益。

2.1 煤炭的开发利用

煤是一种固体可燃有机岩,一般是由植物遗体埋藏在地下、经复杂的生物化学和物理化学变化、再经地质作用、逐渐形成的固体可燃性矿物。它曾被人们誉为“黑色的金子”、“工业的食粮”。中国是煤炭大国,煤炭是其能源消费的主体,农村生产和生活中使用的能源大约有75%来自煤炭。

煤炭资源的勘探一般是针对某一地区的具体特点和勘探要求,运用相关的地质理论和勘探技术手段,以较少的投入和时间,取得能够满足使用要求的地质资料的思路 and 具体部署^[8]。然而,煤炭资源在地壳中的分布会受各种地质条件控制,在不同变质作用的基础上,可形成多种构造变形煤,如脆性变形系列、韧性变形系列和过渡的脆韧性变形系列^[9]。这就使得煤炭资源的勘探过程中必不可少地球物理的勘探,而常用地球物理的勘探方法有重力勘探、磁法勘探、地球物理测井和遥感物探等,其中以地震法、电法和测井技术的应用最为广泛。运用地球物理与地质相结合的勘探方法,使煤炭资源的勘探工作取得了重要进展。

李增学和邵龙义等利用层序地层学的方法对深部煤炭资源的形成环境进行了深入研究,提出了幕式聚煤作用、海侵过程成煤等新的认识^[10-12]。随着煤矿开采深度的增加,浅部煤炭资源的赋存及其开采在前人的研究中取得了一系列的进展,而对于深部煤层及其中的煤层气资源也有了一定的研究。据宜文等对华北陆块中新生代盆山的主要含煤区进行了研究探讨,指出了华北陆块盆山演化对其含煤区深部煤和煤层气的制约作用,并得出结论:华北不同地区的盆山演化特征不仅导致了含煤盆地结构的复杂多变,也使煤层埋深及

煤的储层物性发生了不同程度的变化^[13]。由此可见,盆地分析技术在煤炭资源的勘探与开发过程中起到了举足轻重的作用,而以洁净煤技术为核心的煤的地球化学研究^[14]已成为当前国际上煤田地质学领域的前沿课题之一,也是深部煤炭资源今后研究的重点方向之一。

2.2 石油及天然气的开发利用

随着现代文明的到来,石油和天然气成为人类极为重要的能源。与煤炭相比,其含碳量相对较低。由于其得天独厚的条件,石油和天然气在人类的现代化进程中发挥了举足轻重的作用。因而,石油和天然气的勘探研发也如火如荼地进行着。随着一系列油气藏的发现,目前在新区寻找大型油气田成为了各国的主要研究领域。新区是一个国家石油生产持续增长的基础,新区油气田的重大发现能保持一个国家或地区石油生产的可持续。半个世纪以来,中国已经先后发现了大庆、胜利、辽河及中原等大油田。随着海洋地球物理勘探和海上钻井技术的发展,海洋油气勘探工作也逐渐加快了步伐。海洋石油勘探不仅可在浅海大陆架开展勘探工作,甚至可到更深的水域开展勘探工作。

随着中浅层勘探程度的不断提高,人们已经逐渐地把油气勘探的目标转向盆地更深的部位^[15]。据付锁堂等的研究,柴达木盆地北缘广泛存在埋深大于4500m、镜质组发射率大于1.3%的中下侏罗纪气源岩^[16]。由此可见,4000m以下的深层油气资源勘探领域已经受到了人们的关注。尤其在一些多层系含油气地区,开展深部层系的油气勘探已取得重要突破,中国工程院院士康玉柱认为深层油气资源潜力巨大^[17]。除此之外,隐蔽油气藏勘探也取得了重大进展,与勘探程度较高的地区(如背斜和断层油气藏)相比,较难发现的以岩性、地层油气藏为主体的隐蔽油气藏就成为目前极为主要的勘探目标。一般大型构造油气藏在勘探的早期容易被发现,而寻找大量的、单个规模较小的隐蔽油气藏是中高勘探成熟区油气勘探的主要任务。朱光辉等对中国碎屑岩隐蔽

油气藏勘探的进展与问题进行了探讨,总结了伴随碎屑岩隐蔽油气藏勘探过程的新理论、新技术的进展情况,包括层序地层理论、波折带理论、复式输导体系、相势控藏及三元控藏理论^[18]。这些理论推动了隐蔽油气藏从个别识别到定性和定量预测的转变,促进了盆地不同构造位置、不同层系、不同领域隐蔽油气藏的勘探。

近十几年来,世界天然气的产量增长幅度超过石油,且其快速增长的趋势仍在继续。在不远的将来,天然气有望取代石油成为第一能源。天然气勘探包括常规和非常规天然气勘探。常规天然气勘探是极为重要的研究领域。在地下呈吸附态、游离态或固态存在的非常规天然气,如致密砂岩气、煤层气、页岩气和天然气水合物等,越来越受到重视。随着压裂等相关技术的成熟,页岩气作为一种自生自储、吸附成藏、连续聚集的非常规天然气,其开发也迈入快速发展阶段,其储量巨大、分布广泛的特点蕴含了巨大的开发价值^[19]。目前,美国已成功实现了页岩气的商业开采与应用,获得了良好的经济效益。除美国大范围的勘探开发外,加拿大也开始了规模化生产,中国和澳大利亚等国也开始了实验性研究。

据相关资料显示,目前世界油气勘探开发呈现出以下几点趋势:1) 北极油气资源争夺战升温;2) 新发现油气储量大幅度下降;3) 页岩油气资源开发成热点;4) 上游油气资产并购仍活跃。鉴于上述情况,笔者认为,常规油气的勘探研究工作仍须努力,非常规能源的勘探与开采研究更加迫在眉睫。中国工程院院士翟光明指出,中国非

常规油气资源丰富,致密砂岩气、煤层气、油砂、油页岩和页岩气是目前最为现实的非常规油气资源。然而,由于非常规油气地质条件复杂和特殊,部分开发技术适用性差、不成熟,低渗透储层单井产量低,缺乏有效增产技术,综合利用效率低,环境污染严重等因素^[20],要在中国实现非常规能源对常规能源的替代,还需要开展大量的研究工作。

3 能源开发利用过程中的环境问题

煤、石油、天然气等化石能源不仅为人类社会带来了巨大的经济效益,其负面环境效应也极为突出。近年来,随着人口的急剧增加,大气污染、废水污染、固体废物污染、土地资源污染等环境问题越发严重,而温室气体带来的全球气候变化无疑最为引人瞩目。这一系列问题的来源主要是煤、石油、天然气开发利用过程中所产生的CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄、颗粒物、有毒金属等。据统计,2007年中国40%的城市生活污水未经处理直接排放,197条受监测的河流中有50%的水质受到硝酸铵、高锰酸钾和石油的严重污染,60%的湖泊富营养化;在受监测的287个大城市中,只有60%的城市空气质量符合标准^[21]。

2011年,世界一次能源消耗构成为:煤30.3%、石油33.1%、天然气23.7%、其他(核、水力发电、可再生能源)12.9%^[22]。中国的一次能源结构如表1所示,煤炭约占70%,石油约占19%,天然气约占4%,水电等约占7%^[23]。中国是以煤炭为主要能源的国家,煤炭所带来的大气问题是环境问题的核心。

表1 1980—2010年中国能源消费总量及构成

年份	能源消费总量/万 t 标准煤	占能源消费总量的比例/%			
		煤炭	石油	天然气	水电、核电、风电
1980	60 275	72.2	20.7	3.1	4.0
1990	98 703	76.2	16.6	2.1	5.1
1995	131 176	74.6	17.5	1.8	6.1
2000	145 531	69.2	22.2	2.2	6.4
2005	235 997	70.8	19.8	2.6	6.8
2010	324 939	68.0	19.0	4.4	8.6

数据来源:文献[23]。

3.1 全球气候变暖

全球气候变暖是能源生产利用过程所带来的首要问题。CO₂、CH₄和N₂O等温室气体是影响气候变化的主要因素。图2为国际上估算的中国从1971年到2009年CO₂的排放总量。以1t标准煤为单位,煤炭的燃烧约排放2.66t CO₂,石油的燃烧约排放2.02t CO₂,天然气的燃烧约排放1.47t CO₂^[24]。根据《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》^[25],能源活动是中国CO₂排放的最主要来源,占全国CO₂排放总量的90.95%,而这些CO₂排放则全部来源于化石燃料的燃烧,其中工业部门

的排放占43.75%,能源生产和加工转换部门的排放占34.40%,交通部门的排放占5.92%;CH₄排放主要来源于农业活动、能源活动和废弃物处置;能源活动是甲烷的第二大排放源,占27.33%,其中煤炭开采和矿后活动排放占75.6%,生物质燃烧排放占22.91%,石油、天然气系统逃逸排放占1.32%;N₂O排放主要来源于农业活动,工业生产过程和能源活动也有少量排放。

科学观测表明,地球大气中的CO₂浓度已从工业革命前的280ppmv上升到了目前的379ppmv(见图3);全球平均气温也在近百年内升高了0.74℃(见图4),特别是近30年来升温明显^{[27]347}。

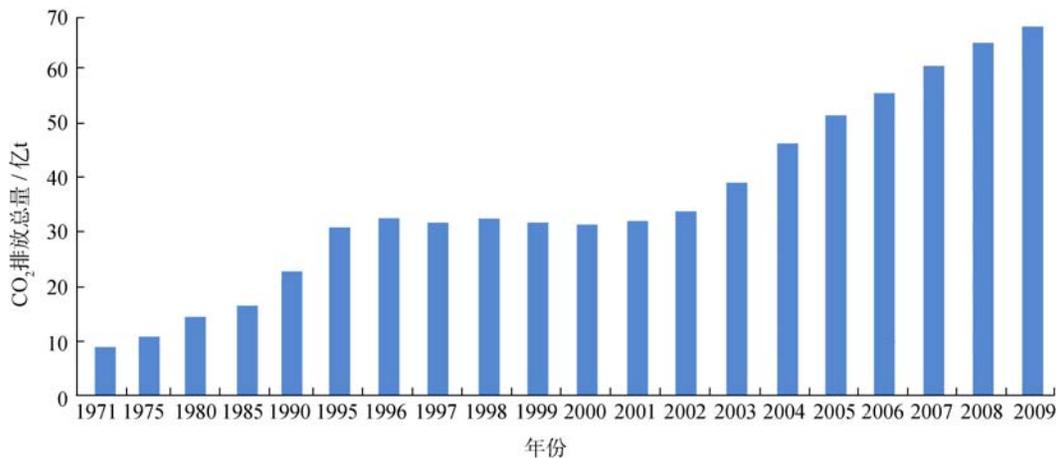


图2 1971—2009年中国CO₂排放总量

数据来源:文献[26]。

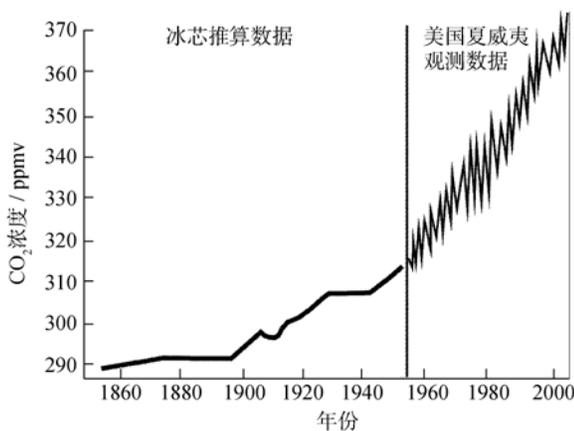


图3 150年来大气中CO₂浓度变化

图片来源:文献[27]347。

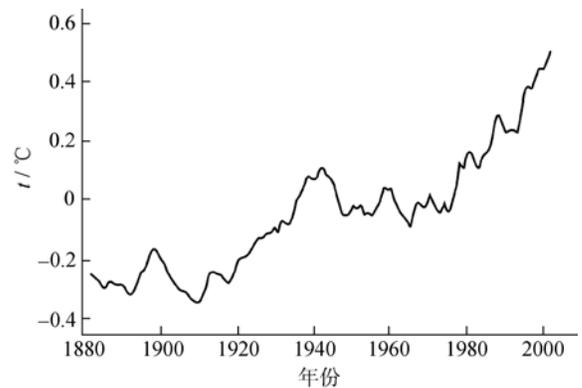


图4 近百年来全球平均气温变化

图片来源:文献[27]347。

CO₂等温室气体的增加将带来一系列的气候问

题:全球变暖、极地冰盖融化、海平面上升、陆地积雪地区退缩、北半球高纬度大陆的冻土带减

薄或融化。此外, 温室气体增加还将导致 21 世纪高温、热浪以及强降水频率增加, 台风、飓风等热带气旋强度加强, 并造成干旱、洪水等自然灾害频发, 生物种类和生态多样性受到破坏, 各种疾病在人类中蔓延。目前全球有 90 % 的百万以上人口的大城市位于沿海地区, 海平面上升将导致不可估量的灾难。

3.2 大气污染

据《中国环境状况公报》显示^[28], 中国每年向大气排放 SO₂ 2 000 万~2 500 万 t、烟尘约 800 万 t、工业粉尘约 450 万 t、NO_x 约 2 400 万 t (见图 5)。其中, 中国每年 CO₂ 排放量的 71 %、SO₂ 排放量的 87 %、NO_x 排放量的 67 %、烟尘的 60 % 都来自于燃煤^[29]。由此可见, 中国以煤炭为主的能源结构导致了大气污染以 CO₂、SO₂ 和 NO_x 为主。大气中高浓度的各类有害气体会对人类的呼吸系统、皮肤等造成一定伤害, 而其形成的光化学烟雾也会使人类出现中毒等症状。

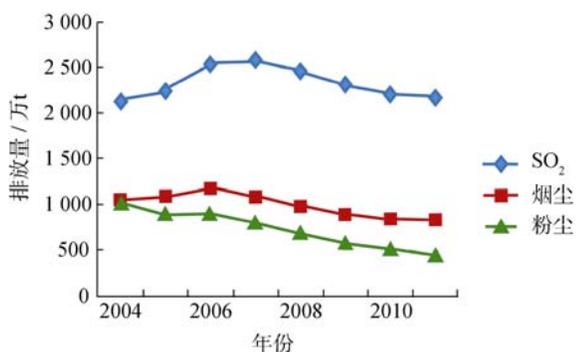


图 5 中国主要大气污染物排放情况

数据来源: 文献^[23]。

能源生产利用过程中产生的 SO₂、NO_x 带来酸雨的问题已经成为三大全球性大气环境问题之一。人类燃烧化石能源所排放的 SO₂ 和 NO_x 在大气中经过氧化形成硫酸、硝酸等酸性物质, 以降水或干沉降的形式回到地面, 形成酸沉降。21 世纪以来, 随着化石能源的广泛开发利用, 全世界的酸雨污染范围日益扩大, 原本只发生在北美和欧洲工业发达国家的酸雨, 逐渐向发展中国家扩

展, 中国西南地区已成为世界第三大酸雨区。SO₂ 不仅对人类身体造成一定的危害, 其形成的酸雨还会严重腐蚀建筑物, 酸化河流、湖泊, 危害淡水生态系统, 并且可以使土壤酸化, 危害植物生长, 进而影响到食物链和生态平衡。近年来, 随着耗煤量的增加, SO₂ 的排放量不断增长, 从而导致酸雨危害越来越严重。

3.3 水污染

能源生产利用过程中对水资源的污染也是不容忽视的。在煤炭开发活动过程中, 人为强制性地改变地下水系统, 导致一些可开发利用的地下水资源不复存在, 矿坑水、选矿废水、冶炼废水等未经处理而被排放, 对周围环境和生态系统产生严重影响。当前全国煤矿外排矿井水达 22 亿 t、选煤水 0.28 亿 t、其他工业废水 0.3 亿 t、生活污水 4 亿 t^[30]。石油和天然气勘探开采利用过程中产生的水污染主要有: 1) 油田勘探开采利用过程中的井喷事故、采油废水、钻井废水、洗井废水、处理人工注水产生的污水、炼油废水等; 2) 气田开采过程中产生的地层水; 3) 海洋油气污染^[31]。能源生产利用过程中产生的废水含有大量的悬浮物, 有时呈现出高矿化度或酸性, 对周围生态环境具有严重影响, 不仅破坏了人类的饮用水源, 还危害河流、湖泊中动植物的生长发育, 破坏自然景观。

3.4 固体废物污染

固体废物是指人类生产、生活中产生的不再需要或没有利用价值而被遗弃的固体、半固体物质。能源生产利用过程产生的固体废弃物主要有采矿废石(煤矸石)、选矿尾矿、燃烧排放的粉煤灰和炉渣、化工生产及冶炼废渣等。煤矸石是煤炭生产过程中产生的主要废渣, 约占煤炭产量的 10 % 以上。中国历年积存的煤矸石达 10 亿 t, 现在每年仍继续排放近 1 亿 t。煤炭开采方面, 中国每年生产 1 亿 t 煤炭, 排放矸石 1 400 万 t 左右; 煤炭洗选加工方面, 每洗选 1 亿 t 炼焦煤排放矸

石量 2 000 万 t, 每洗选 1 亿 t 动力煤, 排放矸石量 1 500 万 t。煤矸石弃置不用, 既浪费土地资源, 又会挥发各种硫化物气体, 污染大气和水源, 影响生态环境。矸石山还会自燃引发火灾, 或在雨季崩塌, 淤塞河流, 造成灾害, 危急人民的生命财产安全。总体来说, 固体废物是重要的环境污染源, 不仅直接污染环境, 而且通过水、大气、土壤等媒介间接污染环境; 固体废物倾倒在河流中还会造成严重的水资源污染, 污染地表水和地下水, 同时还将堵塞航道。由此可见, 固体废弃物对环境的影响力是巨大的, 应该采取有效的措施, 处理固体废弃物, 降低其污染程度。

4 能源发展趋势与低碳问题

人类社会的发展伴随着各种能源的开发和利用, 能源不仅为人类社会带来进步, 随着全球人口数量的上升和经济规模的不断增长, 也带来了环境问题, 困扰着人类。全球气候变化问题的出现使人类更加关注能源的开发利用, 加快了节能减排、由高碳能源向低碳和无碳能源转变的步伐。特别是 2009 年底哥本哈根会议的召开, 开启了世界走向低碳能源的新时代, 图 6 为世界能源发展趋势图。

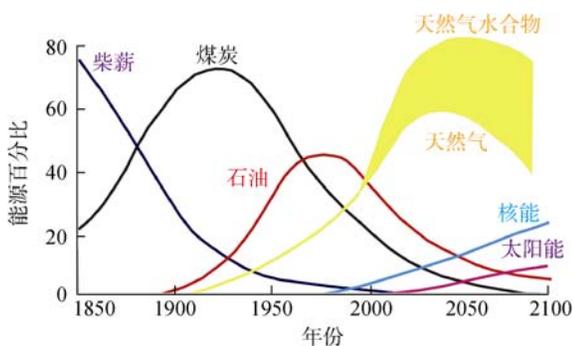


图 6 世界能源发展趋势图

“低碳经济”一词最早在 2003 年英国的能源白皮书《我们能源的未来：创建低碳经济》中出现, 是指通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源开发等多种手段, 尽可能地减少煤炭石油

等高碳能源消耗, 减少温室气体排放, 达到经济社会发展与生态环境保护双赢的一种经济发展形态。低碳经济的实质是提高能源效率和改善清洁能源结构, 核心是能源技术创新和制度创新。而低碳能源则是指一种含碳分子量少或无碳分子结构的能源, 广义上是一种既节能又减排的能源。使用低碳能源这种清洁能源一方面可以减少全球的 CO₂ 排放, 一方面也可以减少其他污染物的排放。

对于如何实现能源的低碳化, 存在两种观点: 一种是主体能源由化石能源向新能源和可再生能源转移, 如非化石能源对高碳能源的替代; 另一种是高碳能源的低碳化利用, 即采用洁净煤技术大量减少碳排放^[32]¹⁰。针对中国以煤炭为主的能源结构, 对于未来能源发展, 一方面要稳定传统化石能源的发展, 提高煤炭清洁、高效利用率, 开拓国内外油气市场, 大力加强非常规天然气资源的开发利用; 另一方面要通过学习和借鉴国外先进技术, 坚持自主创新, 提高能源开发利用水平, 大力发展新能源和可再生能源。

4.1 常规能源发展趋势与低碳问题

在 21 世纪上半叶, 煤炭、石油和天然气等化石燃料仍将是一次能源构成的主体。BP 集团预测, 到 2030 年全球能源需求可能将增长 39%, 即每年增长 1.6%, 这一增幅几乎全部来自非经合组织国家; 在此期间, 经合组织国家的能源消费预计将仅增 4%。全球能源仍将由化石燃料为主, 预计到 2030 年化石燃料将占全球能源需求的 81%, 较目前水平下降 6%。这一时期, 替代燃料也将增加, 天然气和可再生能源消费将增加, 而煤和石油消费则相应下降^[33]。

中国石油、天然气资源短缺, 煤炭在未来相当长时期内仍将是其最主要的一次能源。现阶段, 中国煤炭生产消费量平稳增长, 如 2012 年一季度国内煤炭销售同比增长 5.7%。但是这种增长趋势只是暂时的, 中国一次能源消费结构将逐渐由高

污染高碳的煤炭向石油、天然气及可再生能源过渡, 煤炭所占比重也将逐步降低。目前, 绝大多数煤炭都用于工业生产和火力发电, 而煤炭的直接燃烧利用, 热效率相对较低, 且造成污染和 CO₂ 排放, 不符合可持续发展的要求。因此, 国家提倡煤炭转化利用, 充分利用国内煤炭资源丰富的优势, 适度有序发展煤化工、煤制油等技术, 使之成为今后国家能源行业的一个重要补充。煤炭转化利用还存在诸多问题与挑战, 如综合利用效率低下、环境污染严重、水资源短缺及 CO₂ 排放量较大等。由此可见, 发展煤炭清洁高效利用技术迫在眉睫。中国科学院围绕关键核心技术集中开展攻关, 在煤间接法合成油、煤制乙二醇、甲醇制烯烃、煤的循环流化床燃烧等多项核心单元技术上实现了突破, 形成了自主知识产权的产业化技术。表 2 显示了煤炭低碳化方法的碳减排效果。

石油和天然气, 不仅是工业运行的“血液”, 而且深入到社会生活的方方面面, 在国民经济中的重要性也日益凸显。经过近 50 年的开采, 大庆、胜利等东部主力油田的石油产量逐年降低, 各大油田纷纷面临含水率过高的问题; 西部油区由于地质条件恶劣、地质构造复杂多变的原因, 难以把握油气聚集规律, 勘探和开采上都面临巨大难题。根据国内油气资源的分布特点及未来发展潜力, 未来中国油气勘探的总体思路将继续围绕“深化东部, 强化中西部, 加快海上, 开拓新区”展开^[34]。笔者认为, 在这一总体思路的指导下, 未来油气勘探开发将主要集中在以下 4 个方面:

1) 研发新技术, 提高老油田采收率。尽管中

国东部老油田已面临“油尽灯枯”的局面, 其产量占全国石油产量的比重也逐年降低, 但不可否认的是, 这些老油田依旧是中国石油生产的主力。2011 年全国石油产量 2.01 亿 t, 其中大庆油田的石油产量仍稳定在 4 000 万 t, 胜利油田为 2 734 万 t^[35]。因此, 笔者认为, 要想稳定国内石油产量, 就必须立足老区, 研发新技术, 完善管理水平, 提高老油区的采收率, 减缓产量递减的趋势。

2) 注重低渗透油气资源勘探。随着油气开采技术的不断提高以及常规石油储量的日益减少, 低渗透油气资源将逐渐成为未来中国石油勘探开发的主要对象。中国低渗透油气资源丰富, 主要集中在鄂尔多斯盆地、松辽盆地、四川盆地等。根据中国石油天然气集团公司第三次油气资源评价结果, 中国陆上主要盆地可探明的重稠油、低渗透和特低渗透石油资源量约为 215.9 亿 t, 占可探明石油资源量的 49.8%, 其中重油 31.1 亿 t, 低渗透和特低渗透石油 184.8 亿 t^[36]。相信未来中国油气产量中低渗透石油所占比例将持续增大, 这对确保油气安全供应具有重要意义。

3) 海上油气勘探区域逐步由浅水转向深海。大陆架油气资源约占全球海洋油气资源的 60%, 而深水、超深水的资源量约占 30%。近年来, 中国海上石油勘探主要集中在近海新生代的沉积盆地, 主要包括渤海、东海、珠江口、琼东南、莺歌海、北部湾、南黄海七个含油气盆地, 其中石油储量、产量以渤海、珠江口和北部湾盆地为主; 天然气主要分布在莺歌海、琼东南、东海盆地。

表 2 煤炭低碳化方法的减排清单

低碳化方法	减排力度
煤炭洗选	CO ₂ 减排量 (相当于节省铁路运力) 约为 0.1 万 t / (亿 t · km)
煤液化技术	直接液化, 每吨油品的 CO ₂ 排放量约为 3.5 t; 间接液化, 每吨油品的 CO ₂ 排放量约为 6 t
煤制醇醚、烯烃技术	煤制甲醇, 生产每吨甲醇的 CO ₂ 排放量约为 2.8 t; 煤制二甲醚, 生产每吨二甲醚的 CO ₂ 排放量约为 4.2 t; 煤制烯烃, 生产每吨烯烃的 CO ₂ 排放量约为 8 t
煤制天然气技术	生产 1 000 m ³ 天然气的 CO ₂ 排放量约为 4.4 t, 能效在 55%~60%
CO ₂ 捕获与封存技术	CO ₂ 便于捕获与封存, CO ₂ 富集浓度高达 90% 以上, 可实现 CO ₂ 近零排放

数据来源: 文献[32]12。

随着在浅水区和老油区发现新油田的难度增大, 人们逐渐把目光投到深水区(水深 $>300\text{ m}$)。2000—2007 年在全球被动陆缘深水区共发现 33 个大型油气田, 占全球同期油气大发现的 42%^[37]。近年来在深水区仍不断有新油气田被发现。深海作业难度大、风险高, 掌握深海钻探技术至关重要, 这就需要国家加大深水勘探领域的科技投入, 同时结合世界含油气深水盆地勘探实例, 分析国内被动陆缘深水勘探潜力, 为将来向深水区进军提供重要的技术和理论依据。

4) 加大海外投资力度, 加强国际合作。国际能源格局风云变幻, 国内油气产量供不应求。应迅速发展石油产业, 开拓海外市场。在“十一五”期间, 中国石油天然气集团公司海外业务已完成了全球业务布点, 预计到“十二五”时期末, 将基本建成中亚、非洲、南美、中东以及亚太 5 个规模不同的油气合作区, 西、北、南、东部四大陆上跨境油气输送通道也将全面建成^[38], 这表明, 其国际业务进入规模发展的新阶段, 必将缓解国内油气资源紧张的局势。

4.2 非常规能源发展趋势与低碳问题

随着国际油价居高不下, 以致密砂岩气、页岩气、煤层气等为代表的非常规能源, 已引起世界能源巨头的广泛关注, 无论是发达国家还是发展中国家均积

极致力于非常规能源开发技术的研究。从目前的能源消费结构看, 化石能源大约占世界一次能源消费量的 90% 以上, 世界主要经济体系对化石能源仍具有很强的依赖性。然而, 统计结果显示, 常规石油产量呈现下降趋势, 全球能源消费结构将会逐渐发生转变。非常规油气资源, 因其储量丰富、价格低廉、碳排放少, 符合低碳环保的要求, 必将对世界经济、全球气候变化产生深远的影响。非常规油气主要包括重油砂、致密砂岩气、煤层气、页岩气、天然气水合物等, 下面简单介绍致密砂岩气、煤层气、页岩气和天然气水合物的发展趋势。

1) 致密砂岩气

致密砂岩气, 简称致密气, 主要赋存在孔隙度和渗透率较低的储层中, 多发现于砂岩地层。早在 20 世纪 60 年代, 中国就在四川盆地发现有大量的致密气, 由于当时技术相对落后, 发展较为缓慢。随着中国天然气产业的迅速发展, 对致密砂岩气的研究也取得了突破性的进展。如图 7 所示, 中国致密砂岩气的地质储量自 2000 年以后迅速增长, 到 2011 年年底, 其累计探明地质储量已达到 3.3 万亿 m^3 ; 而致密气的年产量在 2005 年后才得到快速提高。截至 2011 年年底, 致密气产量达 256 亿 m^3 , 约占全国天然气总产量的 1/4, 成为中国天然气勘探开发中重要的领域^[39]。中国致密砂岩

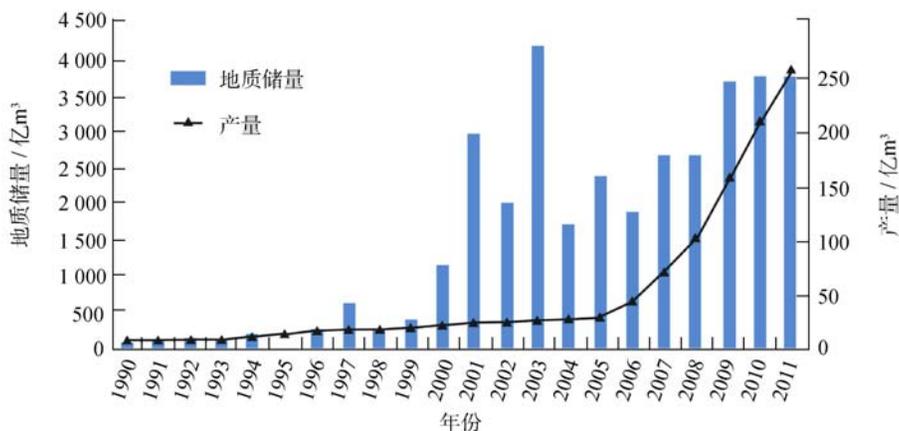


图 7 1990—2011 年中国致密气地质储量和产量的增长形势图

图片来源: 文献[40]。

气的勘探前景是可观的, 部分地区已能够实现规模化生产, 说明中国已基本掌握了致密气的开发技术, 目前的关键在于完善技术, 扩大生产规模, 提高生产效率, 把致密气产业做大做强。

2) 煤层气

煤矿瓦斯一直是煤矿安全生产的重大隐患, 先采气后采煤可以大大降低煤层中的瓦斯含量, 有效减少重特大瓦斯突出事故, 提高煤矿的经济效益。煤层气的主要成分(CH_4)作为一种温室气体, 其温室效应是 CO_2 的 21 倍。优先开采煤层气, 可以有效避免煤炭生产过程中大量温室气体的排放, 变废为宝, 避免资源浪费。煤层气井的生产是通过抽排煤层中的承压水, 从而降低压力使煤层中吸附的甲烷气解吸释放出来的全过程^[41]。中国煤层气资源丰富, 主要集中在晋陕蒙、新疆、冀豫皖和云贵川渝等四个含气区, 埋藏 2 000m 以浅的煤层气资源总量为 36.82 万亿 m^3 , 居世界第三位^[42]。截至 2009 年底, 中国已建煤层气产能 25 亿 m^3/a , 全年煤层气产量超过 10 亿 m^3 , 2010 年地面煤层气抽采量为 15.8 亿 m^3 。目前, 在沁水盆地南部的晋城地区已建成中国第一个数字化、规模化煤层气田示范工程, 并实现商业化运营^[43]。随后的工作重心应放在新富集优势区选择上, 提高资源探明量, 为煤层气规模化生产提供有利的资源基础。对清洁能源的需求是推动煤层气发展的重要动力, 通过发展煤层气产业, 不仅可以大大减少 CH_4 等温室气体排放, 还能获得良好的收益。

3) 页岩气

页岩气以吸附态或游离态赋存于含有机质较高的页岩中, 主要成分为 CH_4 。由于水平井分段压裂技术的成功突破, 页岩气的开发利用发展迅速。页岩气作为一种低碳能源, 逐渐博得社会大众的认可。美国是最早实现页岩气商业化开发的国家, 其页岩气产量在天然气总产量中的比重与日俱增, 2009 年的产量接近 1 000 亿 m^3 ^[44]。中国页岩气资源量丰富, 分布区域广泛, 盆地和变形区包括塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地、

渤海湾和准格尔盆地的边缘斜坡部位, 具有很好的资源勘探前景^[45]。但是, 中国页岩气勘探开发历程较短, 仍处于试验性阶段, 尚未实现商业化开发。未来的工作重心应放在探明可采资源量, 分析页岩气的富集和分布规律, 选择优势区域进行勘探开发, 同时加强与国外机构在开发、技术合作研究等方面的合作, 学习和借鉴国外先进技术, 为日后页岩气的大规模开发利用做好准备。

4) 天然气水合物

天然气水合物, 又称可燃冰, 是一种分布于深海沉积物或陆域的永久冻土中、由天然气与水在高压低温条件下形成的类冰状的结晶物质。单位体积天然气水合物最多能释放出 164 m^3 的天然气, 是一种新型清洁能源, 潜在资源量极其巨大, 总资源量约为 1.8 万~2.1 万亿 m^3 。天然气水合物开采的基本思路是利用各种手段打破水合物稳定带的平衡条件, 促使水合物在储层内分解, 然后将分解的 CH_4 回收到地面^[46]。目前, 假想的天然气水合物开采方法包括: 热解法、降压法、 CO_2 置换法、添加化学试剂法和水力提升法^[47]。2011 年, 第 7 届国际天然气水合物大会在英国爱丁堡举行, 会议以“崇尚创新, 努力实现科学开发”为主旨, 详细探讨了国际天然气水合物勘察开发研究的新进展, 总结了天然气水合物客体与载体相互作用、水合物形成和分解过程的认识和成果, 阐述了过去 25 年间人们对海洋天然气水合物的研究经历^[48]。2007 年, 中国在南海神狐海域钻井获得天然气水合物的实物样品, 2009 年在祁连山冻土区也获得天然气水合物的样品, 这表明中国在天然气水合物方面的研究取得突破性进展, 但与世界先进国家相比, 不管在科研实力还是技术水平上仍比较落后。人类对天然气水合物勘察开发仍处于起步阶段, 进行商业化开采还为时过早。

4.3 未来能源与低碳问题

人们将步入低碳时代, 传统化石能源的使用将逐渐减少, 取而代之的是绿色能源、可再生能

源。发展绿色能源是实现低碳经济的重要举措,也是减少 CO₂ 排放最直接最有效的手段。因此,随着常规化石能源逐渐走下舞台,煤层气、页岩气、致密砂岩气等非常规能源将崭露头角,为世界能源供给提供可靠保证。中国发展非常规油气正是“未雨绸缪”的考虑。

当前化石能源,尤其是石油的价格波动已经危及世界各国的经济稳定。目前,中国石油对外依存度已超过 50%,相当一部分的石油要从阿拉伯国家进口,并经过马六甲海峡运输到中国本土,一旦出现特殊情况,如局部地区尤其是中东地区发生战争,或马六甲海峡被封锁,就会对国家能源安全造成威胁,后果不堪设想。因此,单从减少石油对外依存度方面考虑,发展低碳能源也是势在必行的。

从经济角度讲,发展低碳能源将为国家经济发展提供一个新的机遇,而低碳市场也将成为未来全球竞争的前沿阵地。金融危机造成中国对外出口比重降低,那么如何来减缓外需降低所带来的损失呢?这就必须通过发展内需来弥补,而如何选择投资产业显得极为重要。如果依旧对传统产业进行投资,就势必造成产能过剩、库存增加、资源浪费。若把资金投入新兴能源产业发展上,虽然在短期内效益不明显,但是从国家可持续发展的角度来说,最终会得到相当丰厚的收益。煤炭、常规油气及非常规油气等天然化石能源随着增长的社会经济发展需求与人类的开发利用,必将逐渐趋于枯竭,而新型低碳能源或可再生能源,如生物乙醇燃料、生物柴油、风能、水能、核能、太阳能等,将是未来能源的发展趋势和必然选择。

能源革命以来,经济发展的现实表明:低碳能源是低碳经济的基本保证,清洁生产是低碳经济的关键环节,循环利用是低碳经济的有效方法,持续发展是低碳经济的根本方向^[49]。谁能抢先发展低碳经济、低碳技术和低碳产业,谁就能在 21

世纪的竞争中抢占世界经济、国际贸易、政治外交、金融投资、技术创新乃至文化道德领域的战略制高点^[50]。

5 结论

长期以来,能源一直是困扰中国经济发展的热点和难点问题。能源问题能否得到解决,直接关系到国民经济能否可持续发展。国际能源格局变幻莫测,中国正面临着来自各方面的挑战:能源的生产量不能满足增长的能源消费需求;能源消费结构不合理,能源利用效率不高;开发和利用新能源和可再生能源的技术相对匮乏;供需矛盾和资源环境制约长期存在。目前,国际社会提倡低碳经济、低碳生活。所谓低碳经济,就是一种低 CO₂ 排放的经济发展方式^[51]。走低碳经济发展道路已成为实现可持续发展的重要措施,而能源的开发利用是控制 CO₂ 排放的关键所在。笔者综合分析国内外能源发展现状,对中国能源发展战略特提出以下 4 点建议:

1) 坚持高碳能源低碳化利用,提高能源利用率。中国能源以高碳能源为主,因此如何将高碳的煤炭低碳化或减少煤炭的利用是中国降低碳排放的关键。尽管煤气化、煤制油等技术已取得关键性的突破,但由于成本过高,尚未进入规模化生产。假如有朝一日,石油价格节节攀升,超过煤制油的成本时,完全可以通过该技术生产石油。

2) 提倡使用低碳能源,大力发展非常规油气。中国应逐渐调整能源结构,减少煤炭、石油的使用,同时加大低碳能源产业的投资,注重致密砂岩气、煤层气、页岩气等非常规油气的发展,借鉴国外先进技术和经验,提高自身技术和管理水平,从示范性工程到商业化、产业化、规模化。这就必须以政府扶持作为强有力的后盾,倘若没有政府的支持,新兴的能源产业也不可能顺利地发展,在这点上可以借鉴美国在发展煤层气产业初期所推行的一系列政策。

3) 加强国际合作,开拓海外油气市场。目前,

世界各国都在紧锣密鼓地布局全球油气资源地,中国在海外油气资源产业上游的激烈竞争中取得了突破性进展。要加强与世界主要油气生产国的合作,通过援助油气生产国,建立战略伙伴关系,稳定油气供应。

4) 大力发展各种新型低碳能源和可再生能源。煤炭资源、常规油气及非常规油气等天然化石能源随着增长的社会经济发展需求与人类的开发利用必将会逐渐趋于枯竭,而新型低碳能源或可再生能源,如生物乙醇燃料、生物柴油、风能、水能、核能、太阳能等,将是未来能源的发展趋势和必然选择。因此,大力发展和开发研制、利用各种新型低碳能源和可再生能源,是今后逐步替代天然化石能源、保障人类能源安全和经济社会重大需求以及未来能源发展和开发利用的必然趋势。

低碳是一个全球性问题,但是要让低碳生活真正走入百姓家,真正使可持续发展的科学发展观深入人心,还需要较长的时间。这是一项艰巨的任务,需要增强人们对可持续发展和低碳问题的理解,只有当节能减排、保护环境成为一种道德驱使,才能推动可持续发展,真正实现低碳生活。

参考文献

[1] 张玉卓. 从高碳能源到低碳能源: 煤炭清洁转化的前景[J]. 中国能源, 2008, 30 (4): 20-22.

[2] 陈柳钦. 低碳能源: 中国能源可持续发展的必由之路[J]. 能源战略, 2012, 644 (33): 31-38.

[3] 华贲. 中国低碳能源战略刍议[EB/OL]. (2009-09-18) [2012-07-16]. <http://www.china5e.com/show.php?contentid=49637&page=2>.

[4] 文理教研网. 人教版《17.4 能源革命》教学设计[EB/OL]. (2012-02-06)[2012-07-16]. <http://www.czwljyw.com/wl/ja/1137.html>.

[5] 二十一世纪呼唤绿色能源[J]. 世界环境, 2004, 4.

[6] 熊焰. 低碳之路: 重新定义世界和我们的生活[M]. 北京: 中国经济出版社, 2010: 17

[7] 刘建生. 化石能源与现代铭文: 一份能源一份财富[EB/OL].(2008-08-04)[2012-07-16].<http://business.sohu.com/20080804/n258565766.shtml>.

[8] 陈华飞, 王金香, 赵蕪. 煤田地质勘探与开发[J]. 价值工程, 2012, 7: 32.

[9] 琚宜文, 姜波, 侯泉林, 等. 构造煤结构-成因新分类及其地质意义[J]. 煤炭学报, 2004, 29 (5): 513-517.

[10] 李增学, 王明镇, 余继峰, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层层序与海侵成煤特点[J]. 沉积学报, 2006, 24 (6): 835-839.

[11] 邵龙义, 郝黎明, 张鹏飞. 旋回频率曲线在幕式聚煤作用研究中的应用: 以中国西南地区上二叠统为例[C]. 2001 年全国沉积学大会摘要论文集. 中国矿业大学出版社, 2001: 220-221.

[12] 邵龙义, 鲁静, 汪皓, 等. 中国含煤岩系层序地层学研究进展[J]. 沉积学报, 2009, 27 (5): 904-914.

[13] 琚宜文, 卫明明, 薛传东. 华北盆地演化对深部煤与煤层气赋存的制约[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40 (3): 390-398.

[14] 周强. 中国煤中微量元素的研究[J]. 洁净煤技术, 2010, 16 (1): 12-15.

[15] 妥进才. 深层油气研究现状及进展[J]. 地球科学进展, 2002, 17 (4): 565-571.

[16] 付锁堂, 汪立群, 徐子远, 等. 柴北缘深层气藏形成的地质条件及有利勘探区带[J]. 天然气地质学, 2009, 20 (6): 841-846.

[17] 中国低碳网. 工程院院士康玉柱: 深层油气资源潜力巨大[EB/OL].(2008-05-11)[2012-07-16].http://www.51xuewen.com/group/2004/topic_21862.htm.

[18] 朱光辉, 蒋恕, 蔡东升, 等. 中国碎屑岩隐蔽油气藏勘探进展与问题[J]. 石油天然气学报, 2007, 29 (2):1-9.

[19] 曹勇. 油气资源业: 页岩气将开启非常规油气资源新时代[EB/OL]. (2012-07-09)[2012-07-16].<http://www.p5w.net/stock/lzft/hyyj/201207/t4355933.htm>.

[20] 翟光明. 关于非常规油气资源勘探开发的几点思考[J]. 天然气工业, 2008, 28 (12): 1-3.

[21] Fu B J. Blue Skies for China[J]. Science, 2008, 321 (5889): 611.

[22] 中国天然气工业网. 2011 年世界各国一次能源消费结构[EB/OL]. (2012-06-28) [2012-07-16]. http://www.cngascn.com/html/news/show_news_w1_1_19057.html.

[23] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[DB/OL]. (2004/2005/2006/2007/2008/2009/2010/2011)[2012-07-01]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj>.

[24] 周学双, 童莉, 赵秋月, 等. 中国高碳资源低碳化利用的环保思索[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20 (5): 12-16.

- [25] 国家发展和改革委员会. 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004: 13-22.
- [26] International Energy Agency. CO₂ Emissions from Fuel Combustion: Highlights[M]. 2011 edition. Paris: International Energy Agency Publications, 2011: 47.
- [27] 江泽民. 对中国能源问题的思考[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42 (3): 345-359.
- [28] 中华人民共和国环境保护部. 中国环境状况公报[R]. 中华人民共和国环境保护部, 2008/2009/2010/2011.
- [29] Xu X C, Chen C H, Qi H Y, .et al. Development of Coal Combustion Pollution Control for SO₂ and NO_x in China[J]. Fuel Processing Technology, 2000, 62: 153-160.
- [30] 汪龙琴, 张明清, 周锡德, 等. 煤矿水污染及防治技术[J]. 洁净煤技术, 2007, 13 (1): 82-85.
- [31] 王庆一. 中国的能源与环境: 问题及对策[J]. 能源与环境, 2005, 3: 4-11.
- [32] 申宝宏, 赵路正. 高碳能源低碳化利用途径分析[J]. 中国能源, 2010, 32 (1): 10-13.
- [33] BP 上市有限公司. BP2030 世界能源展望[R]. 伦敦: BP 上市有限公司, 2012: 11.
- [34] 王建良. 未来中国油气勘探开发新趋势[J]. 中国经济周刊, 2010, 40: 49.
- [35] 国土资源部. 2011 年石油产量 2.01 亿吨, 天然气首破千亿立方米[EB/OL]. (2008-05-11) [2012-07-16]. <http://finance.sina.com.cn/chanjing/cyxw/20120223/131711438241.shtml>.
- [36] 赵靖舟, 吴少波, 武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准: 以鄂尔多斯盆地为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19 (3): 28-31.
- [37] 郑民, 贾承造, 李建忠, 等. 全球被动陆缘深水勘探领域富油气特征及与我国南海被动陆缘深水区对比[J]. 地质科技情报, 2010, 29 (6): 45-54.
- [38] 21 世纪经济报道. 中石油拟在“十二五”末建成五大海外油气合作区[EB/OL]. (2010-11-26)[2012-7-16]. <http://money.163.com/10/1126/00/6MCHB6O200253B0H.html>.
- [39] 杨涛, 张国生, 梁坤, 等. 全球致密气勘探开发进展及中国发展趋势预测[J]. 中国工程科学, 2012, 14 (6): 64-68.
- [40] 邱中建, 赵文智, 邓松涛. 我国致密砂岩气和页岩气的发展前景和战略意义[J]. 中国工程科学, 2012, 14 (6): 4-8.
- [41] 李国富, 田永东. 煤层气井排水采气机理浅探[J]. 中国煤炭, 2002, 28 (7): 33-35.
- [42] 孙茂远, 范志强. 中国煤层气开发利用现状及产业化战略选择[J]. 天然气工业, 2007, 27 (3): 1-5.
- [43] 赵贤正. 沁水盆地煤层气勘探开发回顾与展望[J]. 中国煤层气, 2010, 7 (6): 3-4.
- [44] 李武广, 杨胜来, 殷丹丹, 等. 页岩气开发技术与策略综述[J]. 天然气与石油, 2011, 29 (1): 34-37.
- [45] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24 (7): 15-18.
- [46] 董刚, 龚建明, 王家生. 从天然气水合物赋存状态和成藏类型探讨天然气水合物的开采方法[J]. 海洋地质前言, 2011, 27 (6): 59-64.
- [47] 窦斌, 蒋国盛, 秦明举, 等. 水力输送法开采海底浅层天然气水合物技术研究[J]. 地质与勘探, 2009, 45 (4): 427-430.
- [48] 唐金荣, 苏新, 许振强, 等. 国际天然气水合物勘察开发研究新进展: 第七届爱丁堡国际天然气水合物大会特邀报告综述[J]. 地质通报, 2011, 30 (12): 1927-1933.
- [49] 姜鑫民. 选择适合中国国情的低碳之路[J]. 中国金融, 2009, 24: 45-47.
- [50] 戴彦德, 朱跃中, 白泉. 中国 2050 年低碳发展之路: 能源需求暨碳排放情景分析[J]. 经济研究参考, 2010, 26: 2-33.
- [51] 成思危. 新能源与低碳经济[J]. 经济界, 2010, 3: 4-9.

The Development and Utilization of Energy Resources and the Issue of Low-Carbon

Ju Yiwen¹, He Jiaxiong², Xia Lei¹, Bu Hongling¹, Dong Ying¹

(1. *Key Lab of Computational Geodynamics of Chinese Academy of Sciences, College of Earth Sciences, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

2. *Key Lab of Marginal Sea Geology of Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)*

Abstract: The development and utilization of fossil energy including coal, oil, natural gas etc is closely related to global environmental change. The key to the solvency of the global environmental pollution and climate change is developing low-carbon and renewable energy. In this paper, we analyze in depth the relationship between the development and utilization of energy resources and the issue of low-carbon. This article first summarizes the history of the development of the energy revolution, described the impact of energy development on world civilization and human development; then, the article provides a detailed analysis of the progress in energy development and utilization, and the environmental problems caused by the process of development and utilization, such as air and water pollution; finally, some important measures for the development and utilization of energy resources are listed and the trend in energy development is discussed. This article puts forward 4 suggestions for China's energy development: (a) Improve energy efficiency by insisting on utilizing high-carbon energy with the model of low-carbon utilization; (b) Promote the use of low-carbon energy, and exert great efforts to develop unconventional oil and gas; (c) Strengthen international cooperation to develop overseas oil and gas market. (d) Make great efforts to develop new types of low-carbon energy and renewable energy. The development of low-carbon energy in China has great significance. The adjustment of energy structure and the development of low-carbon economy are the fundamental strategy of sustainable development of China's energy economy.

Key words: fossil fuels; development of energy resources; utilization of energy resources; climate change; low carbon