

中国能源发展空间的国际比较研究

杜祥琬, 刘晓龙, 杨波, 王振海, 康金城

(中国工程院, 北京 100088)

[摘要] 本文提出了中国能源发展空间研究的国际比较分析方法。通过比较美国、加拿大、欧洲各国和日本等发达国家能源消费的发展历程发现, 尽管达到同等发展水平, 不同发达国家的人均能源消费量却差异显著, 由此提出了“两类发达国家”的概念, 即按能源发展方式可分为“美加模式”和“欧日模式”(后者也可细分为“欧洲模式”和“日本模式”)。然后, 从产业、交通、居民生活、商业和服务业4个能源终端消费部门出发, 深入剖析了不同模式差异的原因。基于不同发达国家的比较分析研究和我国实际国情, 对我国能源发展空间进行了分析, 提出我国人均能源消耗在2010年的基础上还有不到一倍的增长空间, 并对我国能源的发展提出了几点建议。

[关键词] 能源; 人均能耗; 国际比较分析

[中图分类号] TK01 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)06-0004-07

1 前言

我国是发展中大国, 改革开放以来, 经济发展取得了举世瞩目的成就, 但能源急剧消耗、环境严重污染的矛盾也愈加突出。我国的能源消耗还有多大的增长空间? 国内有多家机构进行了研究和预测。就人均能耗而言, 如果以美国为标杆, 我国还有约3倍的增长空间; 以“发达国家平均水平”为标杆, 还有约两倍的增长空间, 但这样的增长空间是合理的吗? 根据科学发展观, 研究我国的能源增长空间, 需要适当的方法学。本文以国际比较分析方法, 给出了一些认识和建议。

以美国、加拿大、欧洲各国和日本等为代表的发达国家, 经过多年的发展, 经济社会取得了巨大成就, 但不同国家所走过的能源消费之路却存在很大差异。因此, 总结和借鉴发达国家在发展过程中的经验和教训, 科学认识我国能源增长的合理空间, 对我国走出一条适合本国国情的可持续发展道路具有重要意义。

2 典型发达国家能源消费比较

20世纪的100年中, 全球GDP增长了18倍, 人

类所创造的财富超过以往历史时期的总和, 与此同时, 能源消费量迅猛增长。1900年人类消费的能源仅为 7.2×10^8 toe(吨油当量, $1 \text{ toe} = 41.868 \text{ GJ}$), 2000年则增加到 1.033×10^{10} toe, 100年间累计消费能源 3.8×10^{11} toe^[1]。以美国、加拿大、欧洲各国和日本等为代表的发达国家经过几十年至上百年发展, 目前已经达到相当高的现代化水平, 而能源消费零增长的态势初步显露。

人均能源消耗是刻画一个国家能源消费水平的科学指标之一。从图1可以看出, 随着经济的增长, 即人均GDP的增长, 发达国家的人均能耗经过较快增长, 达到某个值后(不同的发达国家这个值不同), 即使人均GDP增长, 人均能耗也不再增加, 甚至有下降的趋势。以美国和加拿大为代表的发达国家, 在人均GDP达到20 000美元之前, 随着人均GDP的增长, 人均能耗逐渐增加; 当人均GDP达到20 000美元左右时, 人均能耗为7~8 toe/(人·年), 之后, 即使人均GDP继续增长, 但人均能耗始终维持在7~8 toe/(人·年)。以英国、法国和德国为代表的欧洲发达国家, 在人均GDP约为15 000美元之前, 随着人均GDP的增长, 人均能耗逐渐增加; 当

[收稿日期] 2013-04-17

[基金项目] 中国工程院重大咨询研究项目(2011-ZD-4)

[作者简介] 杜祥琬(1938—), 男, 河南开封市人, 中国工程院院士, 主要研究方向为应用物理学; E-mail: duxw@cae.cn

人均 GDP 达到 15 000 美元左右时,人均能耗为 3~4 toe/(人·年),之后,即使人均 GDP 继续增长,但人均能耗始终维持在 3~4 toe/(人·年)(约为美国、加拿大水平的一半)。日本的情况与欧洲国家类似,但较欧洲国家在同一经济水平下,能效更高、能耗更低。发达国家人均电力消费量、人均 CO₂排放量与人均 GDP 的关系也有类似的差异(见图 2、图 3)。

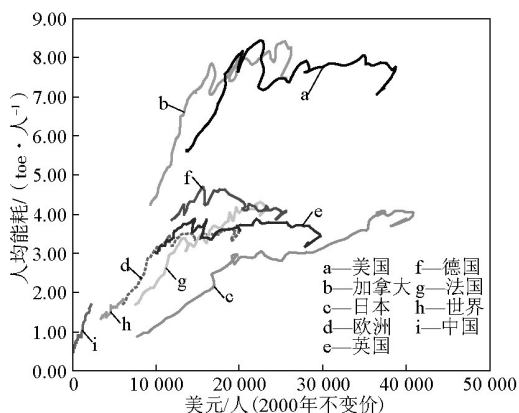


图 1 人均 GDP 与人均能耗关系图^[2]

Fig.1 Per capita GDP and per capita energy consumption^[2]

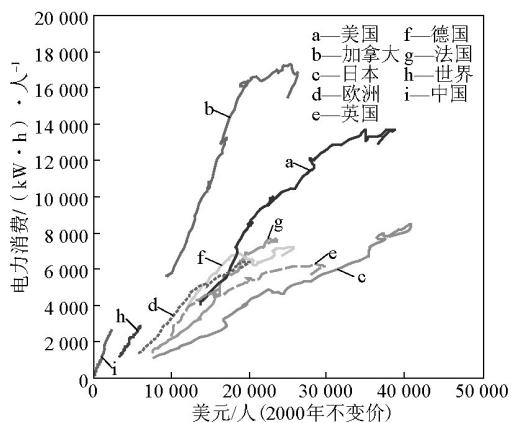


图 2 人均 GDP 与人均电力消费关系图^[2]

Fig.2 Per capita GDP and per capita electricity consumption^[2]

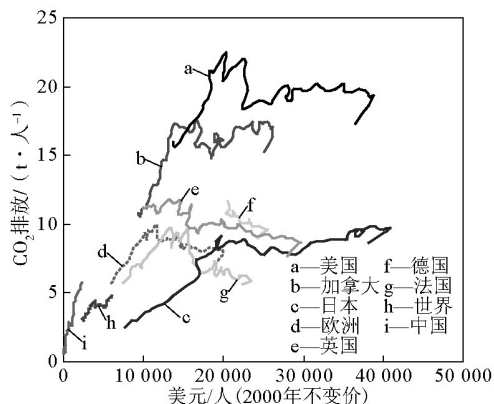


图 3 人均 GDP 与人均 CO₂排放关系图^[2]

Fig.3 Per capita GDP and per capita CO₂ emissions^[2]

从以上分析可得出:尽管达到同等发展水平(人均 GDP 相当),但不同发达国家的能源消费却差异显著,以美国和加拿大为代表的发达国家人均能耗是以英国、法国和德国为代表的欧洲发达国家人均能耗的两倍。而日本较欧洲在同等经济水平下能效更高,但稳定后的人均能耗与欧洲持平,约为美国、加拿大的一半。因此,可以将以美国和加拿大为代表的发达国家的能源发展方式称之为“美加模式”,将欧洲各国和日本等发达国家的能源发展方式称之为“欧日模式”(也可细分为“欧洲模式”和“日本模式”)。可以看出,“美加模式”是一条高耗能、高排放的道路;相比之下,“欧日模式”是较低能耗、较低排放的道路(其中,日本模式是同等经济水平下能耗更低、能效更高的能源发展道路)。

3 “美加模式”和“欧日模式”能源发展方式差异原因的分析

终端能源消费涵盖了向消费者提供的那些不用于燃料转换或加工转换活动的能源产品。这些能源产品被认为消费殆尽,而没有转化成其他形式^[3]。一般地,将终端能源消费分为产业、交通、居民生活、商业和服务业、其他 5 大部门。总体来说,二战以后,发达国家的部门能源消费结构平稳地发生着变化,产业部门能源消费占总能源的比例持续下降,而交通、居民生活、商业和服务业能源消费量及其占总能源的比例稳定上升^[4]。

3.1 产业部门终端能源消费

产业部门是指国民经济中物质资料的直接生产部门,包括农业、矿业、制造业和建筑业等,其中制造业和矿业是耗能大户。发达国家产业部门占终端能源消费的比例逐渐降低。2009 年,美国、加拿大、英国、法国、德国和日本产业部门分别占终端能源消费比例为 18%、27%、20%、17%、21% 和 26%。在制造业各部门内部,不同部门的能耗强度差别很大,高能耗、低附加值的原材料制造业的能耗强度为低能耗、高附加值的产品制造业能耗强度的数百倍。总的来看,能耗强度从高到低的前几位分别是化学和石化、钢铁、造纸、有色金属等^[5]。从图 4~图 7 可以看出,美国、欧洲和日本的化学和石化、钢铁、造纸、有色金属的能耗分别占本国产业终端能耗的约 60%、50% 和 50%,加拿大的化学和石化、钢铁、造纸、有色金属和采矿业能耗共占产业终端能耗的近 80%。其中,美国的制造业中能耗强度

最高的化学和石化行业占有相当高的比例;加拿大高能耗强度的采矿和造纸占有绝对高的比例。因此,在产业部门,美国和加拿大的人均能耗较日本和欧洲要高出许多。而日本通过实施节能措施,使能源效率得到了很大提升,与其他国家相比,日本制造业单位产品的能耗也较低^[1]。

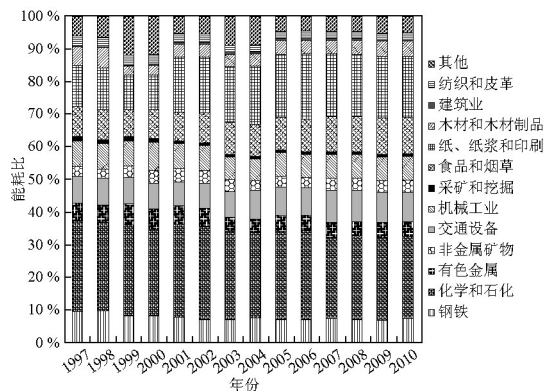


图4 美国产业各部门终端能耗比^[6]

Fig.4 The proportion of the end-use consumption within the industry sector in America^[6]

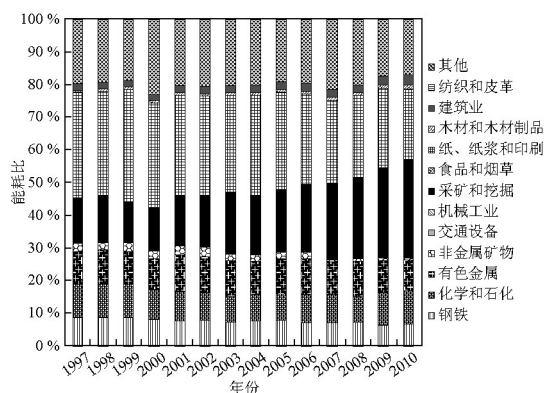


图5 加拿大产业各部门终端能耗比^[6]

Fig.5 The proportion of the end-use consumption within the industry sector in Canada^[6]

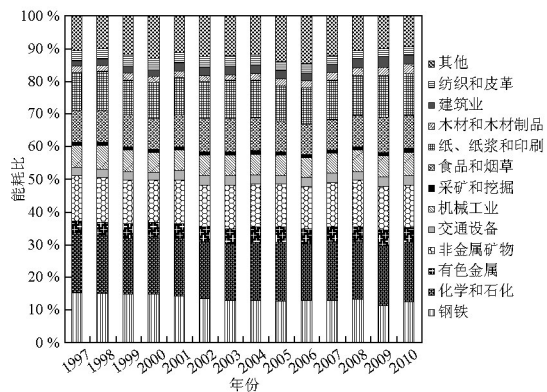


图6 日本产业各部门终端能耗比^[6]

Fig.6 The proportion of the end-use consumption within the industry sector in Japan^[6]

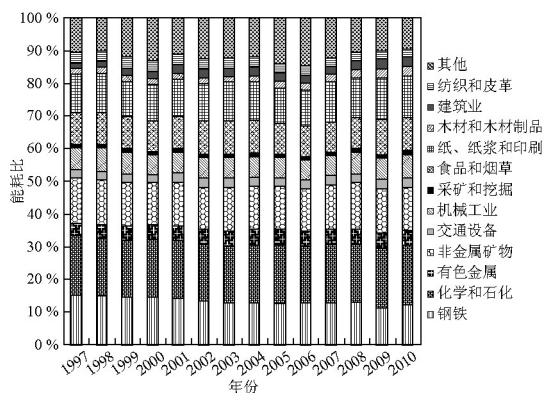


图7 欧洲产业各部门终端能耗比^[6]

Fig.7 The proportion of the end-use consumption within the industry sector in Europe^[6]

3.2 交通部门终端能源消费

交通部门包括航空、公路、铁路、管道、海洋等运输部门。随着经济发展水平的提高,美国、加拿大、欧洲各国和日本交通占终端能源消费的比例逐渐增加。2009年,美国、加拿大、英国、法国、德国和日本交通部门能耗分别占终端能源消费的40%、28%、32%、28%、24%和24%。通过对交通各部门(国内航空、公路运输、铁路运输、管道运输、国内海运等)终端能耗进行比较发现,美国、加拿大、欧洲各国和日本的交通终端能耗的90%以上集中在公路运输^[7]。下面从公路货运和公路客运来进一步分析不同国家的交通终端能源消费情况。

图8给出了美国、加拿大、日本和欧洲国家的千人机动车拥有量(机动车包括轿车、公共汽车、以及货车,但不包括两轮车)。可以看出,美国千人机动车拥有量约为800辆,加拿大、法国、德国、日本约为600辆,英国约为500辆。

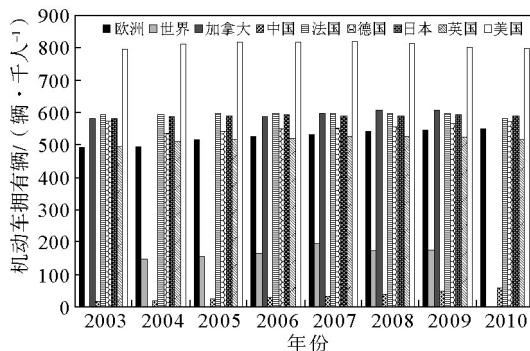


图8 千人机动车拥有量^[2]

Fig.8 Motor vehicles (per 1000 people)^[2]

图9、图10给出了美国、加拿大、英国、法国、德国和日本不同类型交通工具的拥有量。相对于小汽车来说,SUV(运动型多用途汽车)、小型货车和轻型卡车的耗油量更高。可以看出,二战以后,各发达国家的千人小汽车、卡车和公共车的保有量持续增加,其中美国和加拿大的千人小汽车保有量明显高出欧日国家;近二十年来,美国的千人小汽车保有量明显下降,而其他国家稳定增长,但美国的千人SUV、小型货车和轻型卡车等高能耗机动车保有量快速增加,而其他国家却快速下降。

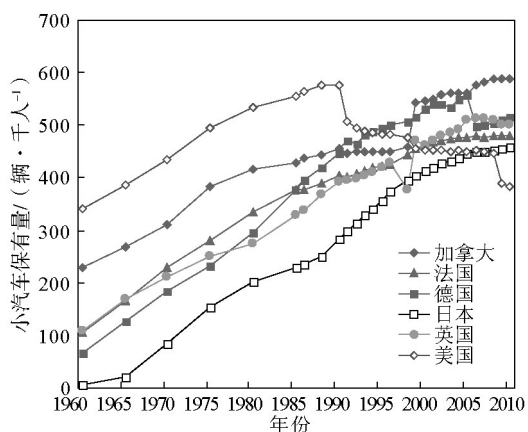


图9 千人小汽车保有量^[7]
(不包括SUV、小型货车和小型卡车等)
Fig.9 Car registrations (per 1 000 people)
(Not including SUVs, minivans, and light trucks)^[7]

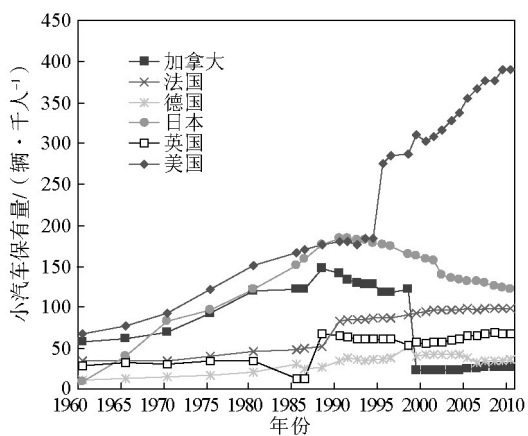


图10 千人卡车和公共车保有量^[7]
(包括SUV、小型货车和轻型卡车等)
Fig.10 Truck and bus registrations (per 1 000 people)
(Including SUVs, minivans, and light trucks)^[7]

长期以来,美国公路客运能耗占公路交通能耗的比例基本维持在72%左右,公路货运能耗约占

28%。2007年,美国公路客运能耗中,轿车和轻型汽车能耗约占99%;2008年,美国公路货运能耗中,中重型卡车能耗约占公路货运能耗的74%,轻型卡车约占26%。近年来,日本公路客运和货运能耗结构发生了较大的变化,公路货运能耗持续下降,公路客运能耗持续上升,到2009年,公路客运能耗约占公路交通能耗的60%,公路货运能耗约占40%^[8]。

图11、图12给出了美国、加拿大、英国、法国、德国和日本的公路客运强度和公路货运强度。从图11可以看出,近年来,发达国家的公路年客运强度几乎保持不变,美国以26 000~27 000人千米/人高出英国、法国和德国等欧洲国家约一倍,高出日本近四倍,加拿大的公路客运强度也远高于欧洲和日本。从图12可以看出,美国和加拿大的公路货运强度约为日本的一倍,比英国、法国和德国等欧洲国家也高。研究发现,与客运相比,货运强度(即人均货运周转量)与经济发展水平的关联性较弱,而与经济结构、资源禀赋、产业布局等因素的关系更为密切,国别间差距很大^[5]。因此,在交通部门,美国比欧日国家人均能耗高出许多,加拿大的人均能耗较欧日国家也高。而日本交通部门采取各种措施降低能耗,比如针对家用小汽车,政府部门通过推进燃油税的征收、促使汽车厂家通过提高发动机效率、降低汽车重量、降低空气及路面摩擦等技术,提高了汽车能效,同等质量的日本汽车能耗要比欧美生产的汽车低20%^[1],所以日本的人均交通能耗远远低于其他国家。

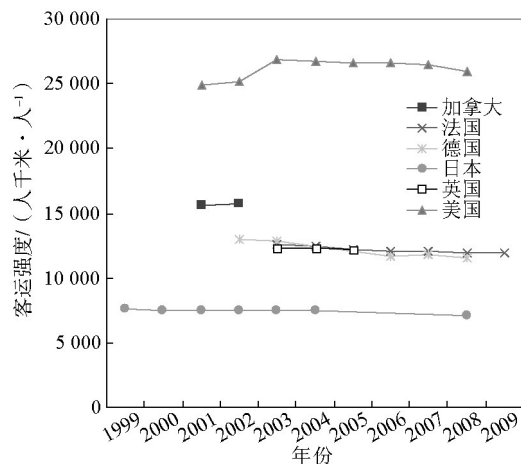


图11 公路客运强度比较^[2]
Fig.11 Roads, passengers carried^[2]

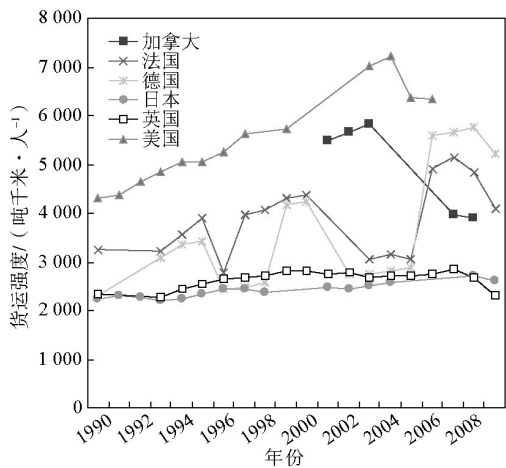


图 12 公路货运强度比较^[2]

Fig.12 Roads, goods transported^[2]

3.3 居民生活部门终端能源消费

居民生活部门能源消耗是指居民居住建筑内的能源消耗,包括家庭取暖、制冷、热水、家电以及住宅公共能源等消费,但不包括家庭交通能源消费。随着居民生活水平的提高,居民生活部门能源消费比例逐年上升。2009年,美国、加拿大、英国、法国、德国和日本居民生活部门终端能耗分别占终端能源消费的18%、16%、30%、28%、29%和15%。图13给出了美国、加拿大、英国和日本的人均家庭能耗密度。可以看出,美国和加拿大的人均家庭能耗是日本的2倍多,是英国的约1.5倍。研究表明,居民能耗与家庭建筑面积成正比^[5]。美国的人均家庭居住面积是日本的2倍左右,由此可以看出两国的单位面积家庭能耗比较接近。随着技术水平的提高,居民生活部门的能效不断提高,但人均家庭能耗却变化不大,主要是因为越来越大的人均住房面积抵消了这些效率的提高^[9]。

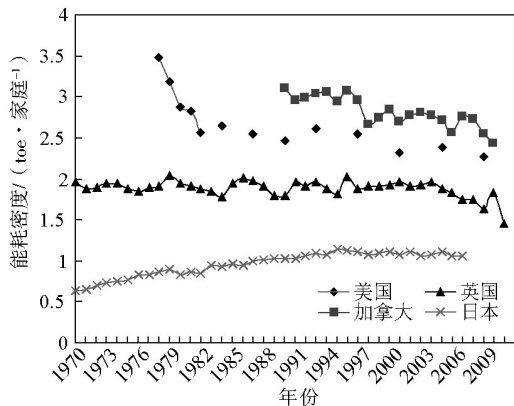


图 13 人均家庭能耗密度^[10-13]

Fig.13 Energy consumption density per household^[10-13]

数据表明^[10-13],在居民生活部门终端能耗中,美国、加拿大和英国的取暖占比大于60%,美国近年来的取暖能源消耗比例有所下降。而日本的取暖仅占居民生活能源消耗的30%。这是除人均住房面积的差异外,不同国家气候环境的差异造成的^[5]。

3.4 商业和服务业部门终端能源消费

商业和服务业部门涵盖了除居民住宅、交通和产业部门能源消费外的全部(不含军事),包括商业、卫生、娱乐、办公、餐饮、仓储甚至教堂等,能源消费的主体是商用建筑。2009年,美国、加拿大、英国、法国、德国和日本的商业和服务业部门终端能耗分别占终端能源消费的14%、16%、11%、13%、13%和21%。研究表明,商业和服务业终端能源消费中供热、空调、照明和通风等占主要部分^[9,11-13],均与建筑面积成正比^[5]。美国与日本相比,除了取暖所占比例稍高,其他比例几乎相差无几。而加拿大和英国的取暖比例占商业和服务部门终端能耗的近50%,这除与建筑面积相关外,还与本国的气候环境有很大的关系。在商业和服务业部门终端能耗中,办公、商业、教育、卫生和餐饮占绝大部分^[10-13]。

图14、图15详细分析了2003年美国和日本商业各分部门面积比例和能耗密度。与美国相比,日本高密度商业分部门的能效与其相当,而日本建筑面积最大的商业分部门的能效高于美国,这就是美国的商业部门人均能耗高于日本的原因。

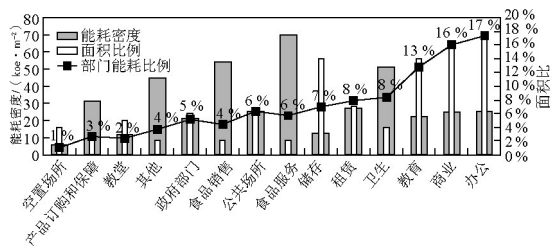


图 14 美国 2003 年商业分部门面积比和能耗密度^[9]

Fig.14 Area ratio and energy consumption density within the commercial and public services sector in 2003 in the USA^[9]

注:koe为千克标油

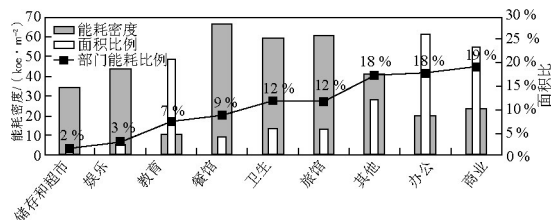


图 15 日本 2003 年商业分部门面积比和能耗密度^[12]

Fig.15 Area ratio and energy consumption density within the commercial and public services sector in 2003 in Japan^[12]

根据以上分析,发达国家不同能源发展模式人均能耗差异的原因和不同国家各终端部门能耗对比(见表1)概括如下。

1)在产业部门,不同产业的能耗强度差异巨大,不同国家间的产业结构,尤其是高能耗产业的结构和比例差异是主要原因,而日本通过大力实施节能措施提高能效,与其他国家相比,单位产品能耗最低。

2)在交通部门,90%以上的能源消耗在公路交通,公路运输强度、车型比例和车辆保有量的差异

是部门能耗差异的主要原因。在公路客运中,消费观念和生活方式的差异与能耗强度关系最为密切;在公路货运中,经济结构、资源禀赋、产业布局等因素的差异与能耗强度关系最为密切。

3)在居民生活部门,人均家庭居住面积的差异是主要原因;其次,不同国家气候环境的差异也是一个重要原因。

4)在商业和服务业部门,人均建筑面积的差异是主要原因;其次,不同国家气候环境差异,以及部门内部建筑面积比例和能耗密度差异也是重要原因。

表1 2009年不同国家不同终端部门与美国能耗对比表

Table 1 Contrast of different end-use sector energy consumption of different countries in 2009

	美国	加拿大	日本	英国	法国	德国
产业部门	1	1.5	0.72	0.56	0.47	0.58
交通部门	1	0.7	0.30	0.40	0.35	0.30
居民生活部门	1	0.89	0.42	0.83	0.78	0.81
商业和服务业部门	1	1.14	0.75	0.39	0.46	0.46

注:假设美国各部门的指数都为1

4 中国能源发展空间分析

改革开放三十多年来,我国经济持续高速增长,成就举世瞩目。然而,能源消费也随之快速增长。2011年,我国人均GDP达到2 640美元(2000年不变价),能源消费 2.436×10^9 toe,人均1.8 toe。21世纪以来,能源供应紧随需求拉动,出现超高速增长,我国能源消费总量已成为世界第一。为了实现国民经济和社会发展的宏伟战略目标,必须正确认识我国能源发展的合理空间。

认识1:高耗能高排放的“美加模式”走不通。根据分析可知,“美加模式”年人均能耗大约稳定在7~8 toe,如果以“美加模式”为标杆,那么我国能源消耗的增长比2010年约有3倍的空间,即不考虑人口的增长,年均能源消费总量将达到近 1×10^{10} toe。届时,我国年能源消费总量将是2010年全球能源消费总量的79%。如果世界各国都达到美国的年人均能耗,则需要四个多地球才能满足,这是不可能的,所以“美加模式”不可复制、不可推广。但从图16曲线的趋势看,如果我国能源消耗按照现在的增长势头走下去,其指向将是高能耗的“美加模式”,这是一条走不通的路。

认识2:我国走“欧日模式”发展之路的能源发展空间分析。根据分析可知,“欧日模式”年人均能

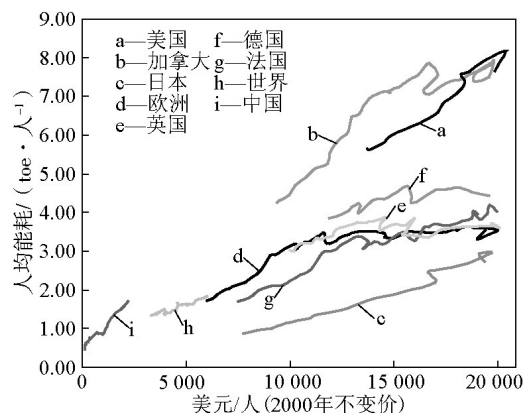


图16 人均GDP与人均能耗关系图^[2]

Fig.16 Per capita GDP and per capita energy consumption^[2]

耗大约稳定在3~4 toe,如果走“欧日模式”的能源发展道路,那么我国能源消耗的增长比2010年约有一倍的空间,即不考虑人口的增长,年能源消耗总量将需要 4.6×10^9 toe,这比文献[14]中给出的2050年的能源需求量还高出几亿吨油当量。从图16可以看出,我国现阶段的能效水平比欧洲相同人均GDP下的能效水平还低很多,如果不及时采取有效措施提高能效,控制能耗总量,想控制到“欧日模式”的水平也是很困难的。如果我国走“日本模式”,那么需要比走“欧洲模式”付出更大的努力,必须极大地

提高能效水平,切实控制能耗总量才可能会实现。

认识3:以“发达国家平均水平”作标杆,将会导致比“欧日模式”更耗能的“准美国模式”。如果将“美加模式”和“欧日模式”的年人均能耗取平均值称为“发达国家平均水平”的年人均能耗,那么此值约为6 toe。如果以此作为标杆,那么我国能源消耗的增长比2010年约有两倍的空间,即不考虑人口的增长,年能源消耗总量将需要70多亿吨油当量,这是比“欧日模式”更高碳的“准美国模式”,也是一条走不通的路。我国需要特别警惕这个现实危险。

认识4:我国走“可持续发展”的能源发展空间分析。改革开放以来,我国经济发展取得了巨大成就,但粗放的发展方式导致了严重的资源消耗和环境污染等问题,如此下去,发展将不可持续。作为人口众多、人均资源少的发展中国家,我国应充分发挥后发优势,采用先进的科学技术,走出一条比发达国家更为资源节约、环境友好的“新型工业化道路”。因此,我国绝对不能走向“美加模式”或“发达国家平均水平”的能源发展道路,而要走向比“欧日模式”更低能耗、更高能效的能源发展道路,也就是说,我国年能源消耗的增长空间不到2010年能耗的一倍。

因此,为了我国能走出一条更加绿色、低碳、科学的可持续发展道路,充分借鉴和总结发达国家的经验和教训,建议:加快调整产业结构,切实控制高能耗产业比例,转变经济发展方式;通过各种方式节能降耗减排,努力提高能效;全面推行低碳、节能的生活理念。

5 结语

分析了不同发达国家在发展过程中能源消耗的不同模式,并从发展方式上解析了产生这种差异的原因。我国经过多年的发展,经济取得巨大成就的同时,能源消耗急剧增加,不仅总量跃居世界首位,而且单位GDP能耗也比世界平均水平高出一倍。如果继续按照目前这种粗放的发展方式,即以

高能源消耗带动GDP的增长,那么我国将会走向高能耗的走不通的“美加模式”或“准美国模式”;如果经过努力,及时采取各种措施,可能会走向“欧日模式”,但要深刻认识到走“欧日模式”的艰巨性。而按科学发展观,从实际国情出发,我国应走中国特色的“新型工业化道路”,建设资源节约型、环境友好型社会,能源增长的空间理应低于“欧日模式”,即年能源消耗的合理增长空间不到2010年能耗的一倍。但目前一些地方粗放发展的冲动仍然很强,高碳发展的现实危险值得警惕。因此,要充分认识到我国能源发展面临的挑战,及时采取措施,大力节能并提高能效水平,走出一条具有中国特色的低能耗、低碳的能源可持续发展道路。

参考文献

- [1] 王安建,王高尚,陈其慎,等.能源与国家经济发展[M].北京:地质出版社,2008.
- [2] The World Bank. World development indicators[EB/OL]. <http://data.worldbank.org.cn/indicator/all>.
- [3] 国际能源署.能源统计手册[R].
- [4] 国家电网公司.国际能源与电力统计手册2011(下册)[DB/CD].2012.
- [5] 吴宗鑫,刘滨,齐志新.美国和日本能源消费的比较对我国的启示[J].能源政策研究,2005,2:7-8.
- [6] IEA. Energy balances of OECD countries 历年数据[DB/CD].
- [7] Oak Ridge National Laboratory. Transportation energy data book (Edition 31)[R]. U.S., 2012.
- [8] 史立新.交通能源消费及碳排放研究2011[M].北京:中国经济出版社,2011.
- [9] Department of energy. 2011 buildings energy data book[R]. U.S., 2012.
- [10] Energy Information Administration. Annual energy review 2011 [R]. U.S., 2012.
- [11] Energy Publications Office of Energy Efficiency. Energy use data handbook 2010[R]. Canada, 2011.
- [12] The Energy Data and Modeling Center. Handbook of energy & economic statistics in Japan 2009[R]. Japan, 2009.
- [13] Department of Energy & Climate Change, National statistics. energy consumption in the United Kingdom 2012[R]. United Kingdom, 2012.
- [14] 中国工程院.中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究[M].北京:科学出版社,2011.

(下转19页)