

关于我国推行能源消费革命、控制能源消费总量的战略问题的初步探讨

倪维斗¹, 金涌², 麻林巍¹, 胡山鹰²

(1. 清华大学热能工程系, 北京 100084; 2. 清华大学化学工程系, 北京 100084)

摘要: 本文对我国推行能源消费革命、控制能源消费总量的三个关键战略问题进行了初步探讨: ①我国能源消费的历史和未来发展趋势是什么? 有哪些主要特点? ②我国“能源消费革命”的基本概念是什么? 内涵主要涉及哪些方面? ③我国推行能源消费革命的目标和实现途径分别是什么? 最后, 基于对上述问题形成的一些认识, 本文提出了 6 条关于我国推行能源消费革命、控制能源消费总量的战略建议。

关键词: 能源消费革命; 控制能源消费总量; 发展战略; 系统分析

中图分类号: TK0 文献标识码: A

A Preliminary Discussion on Strategic Issues of Promoting the Revolution of Energy Consumption and Controlling the Total Energy Consumption in China

Ni Weidou¹, Jin Yong², Ma Linwei¹, Hu Shanying²

(1. Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This manuscript discussed three key issues related with the promotion of energy consumption revolution and total energy consumption control, including: ① What is the historical and future trends of the energy consumption in China? What are the main characteristics? ② What is the basic concept of ‘energy consumption revolution’? What are its connotations? ③ What is the target and pathway of the energy consumption revolution? After the discussion, based on the main understanding on these issues, we finally proposed 6 strategic suggestions for the promotion of energy consumption revolution and total energy consumption control in China.

Key words: energy consumption revolution; total energy consumption control; development strategy; system analysis

一、前言

21 世纪以来我国能源消费总量迅速增长, 给能源供应和生态环境保护带来了巨大压力。从国家战

略角度, 迫切需要扭转能源使用效率和效益不高、能源浪费严重、能耗持续大量增长的局面。2012 年, 中国共产党第十八次全国代表大会报告提出: 推动能源生产和消费革命, 控制能源消费总量^[1]。2014 年,

收稿日期: 2015-11-12; 修回日期: 2015-11-27

作者简介: 倪维斗, 清华大学热能工程系, 教授, 中国工程院院士, 主要从事热动力系统建模及控制、能源战略和能源系统研究;
E-mail: niwd@tsinghua.edu.cn

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“推动能源生产和消费革命战略研究”(2013-ZD-14)

本刊网址: www.enginsci.cn

习近平主席就能源革命提出五点要求，第一条就是“推动能源消费革命，抑制不合理能源消费”^[2]。因此，如何推进能源消费革命、控制能源消费总量成为国家能源战略领域的热点议题之一。

本文采用系统分析方法，组织了与能源消费革命相关的九个专家团队（见图1），从煤炭化工节能、钢铁节能、建筑节能、交通节能、资源循环再生等与能源消费紧密相关的主要领域，和宏观政策、社会机制、经济发展等与能源消费紧密关联的主要维度，开展了包括问题界定、系统分析（深入各领域和维度分别研究）、系统集成等在内的为期2年左右的共同研究探讨，最终形成了一些对我国推行能源消费革命、控制能源消费总量的战略问题的初步看法。

这些看法被归纳为对三个基本问题的认识，这些问题包括：①我国能源消费的历史和未来发展趋势是什么？有哪些主要特点？②我国“能源消费革命”的基本概念是什么？内涵主要涉及哪些方面？③我国推行能源消费革命的目标和实现途径分别是什么？下文将分别从这三个方面，介绍对于我国推行能源消费革命、控制能源消费总量的战略问题的整体认识，以及最终归纳的战略建议。

二、对我国能源消费发展趋势的基本判断

（一）对能源服务的规模和水平的引导和控制是影响未来能耗总量的关键因素

过去十多年以来，我国粗放型经济发展方式、

“以需定供”的能源生产供应模式和片面强调能源效率的节能管理模式，导致了能源消费总量的快速增长，并引发了能源资源供应安全、生态环境破坏、应对温室气体减排等诸多“总量型”问题，制约了经济、社会的可持续发展。2001—2010年，我国国内生产总值（GDP）平均增速高达10.5%，一次能源消费总量平均增速达到9.4%，从2001年的 1.47×10^9 tce（tce为吨标准煤）增长到2010年的 3.61×10^9 tce，翻了一番还要多^[3]。

“十一五”以来，我国开始将单位国内生产总值能耗的降低作为约束性五年规划指标，这对促进能效进步、控制能源消费总量的增长有重要作用，但仍然无法控制能源消费总量的过快增长。2014年，我国一次能源消费总量达到 4.26×10^9 tce，比2010年又增加了 6.5×10^8 tce，意味着2011年以来年均能耗总量增长平均在 1.63×10^8 tce左右，新增规模仍然巨大^[3]。

究其原因，主要问题在于：虽然过去十多年我国的能源技术效率在不断进步，但能源服务的规模和水平在快速增长，能效进步所节约的少量能耗迅速被能源服务增长所带来的巨大新增能源需求所抵消。能源服务规模和水平快速增长的情况广泛存在于各个方面，例如，工业部门钢铁、煤化工等高耗能产品产能的迅速扩张，建筑新增面积的迅速上升，小汽车数量和使用量急剧增长等。因此，对能源服务规模和水平的引导和控制，将是影响我国未来能耗水平的关键因素。

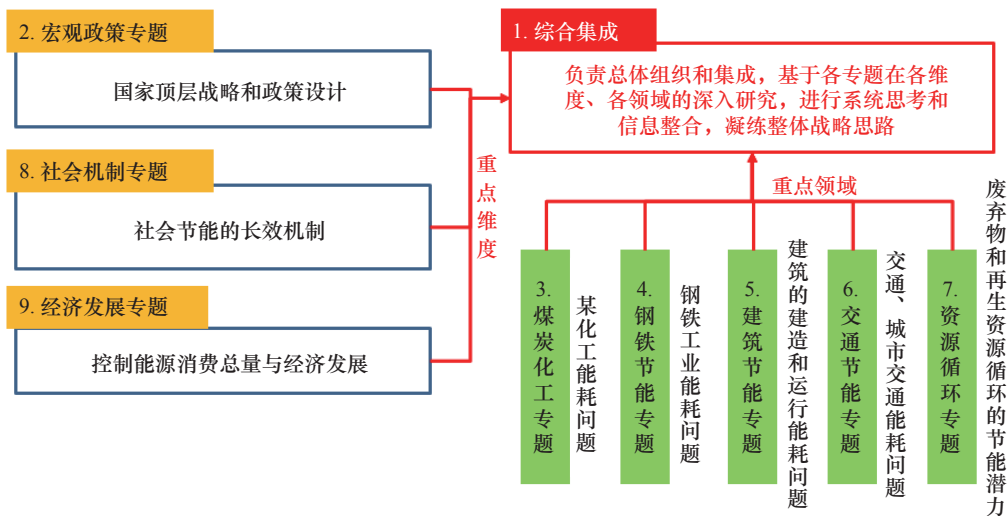


图1 本文采用的系统分析方法所考虑的相关领域和维度示意图

（二）2050 年前我国能源消费总量有望出现“拐点”

按照我国经济建设“三步走”总体战略部署，到 21 世纪中叶，我国人均国民生产总值达到中等发达国家水平，人民过上比较富裕的生活。近年来，国家领导人先后对 2050 年我国发展战略目标进行了进一步的定位和阐述，包括：人均国民生产总值届时达到中等发达国家水平、基本实现现代化、建成美丽中国，最终建成富强民主文明的社会主义国家，实现中华民族的伟大复兴。

这意味着 2050 年前我国人均国内生产总值要在 2010 年的基础上增长 5~6 倍，才能实现上述战略目标。根据人均能耗随人均国内生产总值增长的一般国际经验估算，2030 年我国能源消费总量可能达到 $5.6 \times 10^9 \sim 6 \times 10^9$ tce，意味着 2030 年前能源消费总量的持续增长可能难以避免。但此后，随着经济进一步的发展，遵循部分发达国家人均能源消费随着经济的发展呈现先增长后下降的一般规律，我国可能出现能源消费总量的“拐点”。例如，美国的人均能源消费在人均国内生产总值处于 17 000 美元左右之前，随着人均国内生产总值的迅速增长，到 17 000 美元左右，达到人均能耗的第一个波峰，随后人均能耗基本维持稳定；到人均国内生产总值 36 000 美元左右达到第二个波峰点，人均能源消费开始出现下降趋势。

根据我国各部门未来能源消费增长的趋势看，随着高耗能产品的蓄积量陆续达到高峰，工业用能增长有望在“十三五”期间显著回落，此后工业用能增速将大大趋缓，甚至将在 2020—2030 年有所下滑。根据国际经验，我国商业建筑的能耗也有望在 2020—2030 年达到峰值，而考虑我国居民生活用能方式较为节俭，生活建筑的能耗可能将长期处于较低水平。虽然交通部门的能耗增长可能维持较长时间，但如果能大力发展公共交通、提高燃油技术水平并有效地抑制汽车消费过快增长，未来我国交通部门能耗增长也有望得到有效控制。

因此，总体来看，我国 2050 年前出现能源消费总量的拐点是较为可能的。工业、建筑、交通部门有望在此前陆续达到能耗增长的拐点。控制能源消费总量应是一个可行的目标。

（三）我国各省市能源消费特点差异较大

我国各省市由于经济发展水平、产业结构、资

源和环境禀赋的差异，能源消费特点具有较大的差距。例如，依据对 2007 年 30 个省市的能源消费总量分解结果，大致可分为四类区域^[4]：①东部经济相对发达、能效相对较高的一类地区，例如，上海、广东、北京、江苏、浙江、福建和天津，经济发展水平较高，三产比重较大，能源强度相对较低。在这些地区实施能源消费总量控制、推行强力节能措施将相对容易；②西部能源和高耗能产品大量出口的二类地区，例如，陕西、青海、新疆、贵州、黑龙江、山西、内蒙古、宁夏等，经济发展总体落后于一类地区，但彼此差异较大。虽然这些地区能耗和能源强度相对较高，但相当一部分能耗是为其他地区的发展服务。在这些地区实施能源消费总量控制、推行强力节能措施需要按部就班地进行；③重工业较为发达的三类地区，例如，河北、山东、吉林、河南、甘肃、辽宁等，经济发展水平适中，重工业在经济发展中占据重要地位，能源强度较高，仅次于二类地区。在这些地区实施能源消费总量控制、推行强力节能措施的重点应是控制重工业的发展，避免过产能和优化产业结构；④中部和西南经济欠发达的四类地区，例如，广西、海南、江西、重庆、安徽、云南、湖南、四川和湖北等，经济发展水平相对最为落后，一产占比相对较大，但能源强度也相对较低，仅高于一类地区。这些地区并不是近中期实施能源消费总量控制、推行强力节能措施的重点地区，但应该避免这些地区走重工业地区的老路，着重发展本地特色产业，走低耗能发展之路。

因此，总体上看，推行能源消费革命、控制能源消费总量需要因地制宜。应优先考虑一类、二类地区的转型，其次是稳步推行三类地区的转型，最后才是四类地区的发展问题。当前，雾霾天气引发了全社会对能源环境问题的深刻反思，有助于推行能源消费革命、控制能源消费总量，尤其是在能源净消费、污染严重的东中部城市群区域。

三、我国能源消费革命的基本概念剖析

（一）对能源消费革命内涵的三点基本认识

（1）推行能源消费革命并不是要遏制经济发展，而是要在发展经济的同时实现能源消费增长方式的根本变革，提高整个经济发展过程中用能的效率和效益，避免不合理的能源消费。可能导致能源大量

浪费的问题包括：①最终形成的经济结构、生活方式和用能方式不合理，导致推倒重来，再次经历大拆大建的改造过程，造成巨大的能源浪费；②发展过程中建设和运行的管理粗放，导致大量固定资产和基础设施的利用率或寿命不足，带来严重的建设能耗浪费；③没有及时采用先进适用技术，导致能效落后而带来的能源浪费^[5]。

(2) 推行能源消费革命要求能源消费的增长方式在短期内发生彻底的、激烈的变化，并使得能源消费的增长规模和结构发生显著变化，理念和管理的变革是关键。“革命”要求事物在短期发生彻底的、激烈的变化。但整体能源系统的建设和改造是个长周期的慢过程，能够“革命”的主要是能源系统的新增部分，要使能源消费的整体规模和结构短期内发生显著变化是非常困难的。因此，近期“革命”的主要抓手应是体制、机制问题和由此导致的能源浪费，理念和管理的变革将是在短期内根本变革能源消费增长方式的关键所在。

(3) 控制能源消费总量是实现能源消费增长方式革命的重要途径——要求以总能耗作为约束条件，以经济增长、提高服务水平作为目标函数，其本身就是发展理念上的革命。传统发展理念是以经济增长（增加国内生产总值）和提高服务水平（增加舒适性）作为约束条件，以降低能耗作为目标函数，寄希望于发展可再生能源和节能技术，实现高经济增长和高服务标准下的低能耗。而实际上，这导致了高耗能、能源浪费的现象愈演愈烈——发展高耗能产业最容易增加国内生产总值，对服务水平（舒适性）要求越来越高、没有止境。控制能源消费总量本身就是理念上的革命：要求以总能耗作为约束条件，以经济增长、提高服务水平作为目标函数。要求各行业、各地区在给定的总能耗约束条件下做文章，以创新来驱动发展：寻求以技术和管理的重大创新来换取经济增长和服务水平的提高；若缺乏创新，就只能约束经济增长和服务水平提高。

（二）能源消费革命的基本定义

根据上述对于能源消费革命内涵的认识，能源消费革命的根本目的在于转变粗放的经济增长方式和能源消费增长方式，通过理念、管理和技术的一系列变革，提高整个经济发展过程的用能效率和效益。而控制能源消费总量除了作为革命的目标外，

本身也是一个推行能源消费革命的重要途径，其本身就是发展理念上的革命。

从系统学角度看，能源消费革命可以理解是为能源消费系统的一个彻底的、激烈的变化过程。能源消费系统从静态的角度看，是由生产（工业、农业、建筑业等）、建筑（商业和民用建筑）、交通（客运和货运）等终端用能系统构成。它们消费电力、燃料、热等能源载体，利用终端用能设备产生有用能，驱动生产过程、电器、机动车辆等被动系统提供人们所需的最终服务，例如，热舒适性、照明、结构性支撑、周转量等^[6]。能源消费革命首先需要该系统在最终稳定下来形成，形成一个合理的结构和高效的用能方式，这需要极大地降低产业的能源强度、提高单位能耗创造的附加值。此外，需要严格控制建筑、交通的服务量和极大地提高用能效率。从全球形势来看，在能源安全和气候变化问题日益严峻的情况下，我国需要实现比历史上中等发达国家更低的人均能耗和更高的能效，才能称得上是“革命”。

此外，能源消费革命要求优化系统的动态过程，以最小的能耗代价完成从现在的能源消费系统到最终稳定下来的能源系统的平稳过渡。这要求对于过程涉及的大范围、大规模技术更替有良好的控制，要求设施设备均能得到寿命周期内的充分利用，减少建设型能耗的浪费；要求先进适用技术及时得到应用，并加速新技术的采用，不断提高技术能效。这需要彻底转变目前粗放的、以服务量为主要考核目标的经济、社会运行管理方式，转变成以能耗为约束条件、强调能源精心利用的运行管理方式。

在上述情况下，本文初步给出了能源消费革命的定义：能源消费革命是指以最低的过程累计能耗为代价的，从目前高耗能、高排放的能源消费系统尽快过渡到低耗能、低排放的能源消费系统的发展过程，以及为此所需要进行理念、管理和技术的一系列根本性变革。

能源消费革命的内涵如下：

(1) 革命的作用对象为消耗能源载体产出最终服务的能源消费系统，包括生产（工业为主）、建筑和交通能源消费子系统；

(2) 革命的目标是形成一个低耗能、低排放的能源消费系统，其能效水平应显著高于发达国家历史上相同经济社会阶段的水平；

(3) 实现革命需要经历一个较为艰巨的过程，

不仅整个能源消费系统需要进行大规模的技术变革,而且变革过程要避免建设能耗的浪费,强调技术设施的充分利用,而不是盲目地大拆大建;

(4) 革命的着力点在于理念、管理和技术的根本变革。例如,改变传统以服务水平为约束条件、以降低能耗为目标的发展理念,形成以控制总能耗为约束条件、以提高服务水平为目标的发展新理念;改变强调短期产出和建设规模的粗放运行管理方式,形成以强调设施设备寿命周期充分利用的精细运行管理方式;加速新技术的发展和应用,基于市场经济规律及时采用先进适用技术。

四、我国能源消费革命的目标和实现途径分析

(一) 推行能源消费革命、控制能源消费总量的目标

在进行能源消费国际比较的基础上,综合考虑我国经济社会发展、生态环境约束、能源政策取向、能源效率进步前景以及不同能源供应潜力和需求约束,初步提出 2020 和 2030 年我国能源消费总量及主要控制品种的控制目标如下:

(1) 到 2020 年,我国能源消费总量控制在 $4.7 \times 10^9 \sim 4.9 \times 10^9$ tce。其中,煤炭消费量控制在 $4.1 \times 10^9 \sim 4.2 \times 10^9$ t,占比降至 60% 左右,基本达到峰值水平;石油消费量控制在 $5.5 \times 10^8 \sim 5.8 \times 10^8$ t,占比降至 16.5% 左右。非化石能源消费达到 7.2×10^9 tce,占比达 15%。

(2) 到 2030 年,我国能源消费总量控制在 $5.6 \times 10^9 \sim 6 \times 10^9$ tce。其中,煤炭消费量较 2020 年水平有所下降,占比降至 50% 左右;石油消费量控制在 6.5×10^8 t 左右,占比降至 16.0% 左右。非化石能源消费超过 1.2×10^9 tce,占比达 21.6%。

根据对我国未来经济发展与能源消费的预测,借鉴国际经验,初步预测我国能源消费总量的理论拐点出现在 2040 年左右,对应的能源消费总量将达到 5.5×10^9 tce 左右,人均能耗不到 4 tce,远低于美国、德国能源消费拐点的人均能耗水平(约 $11.1 \text{ tce} \cdot \text{人}^{-1}$ 和 $6.6 \text{ tce} \cdot \text{人}^{-1}$)。因此,建议以人均能耗不超过 4 tce,能耗总量不超过 6×10^9 tce,作为我国 2050 年前推行能源消费革命,控制能源消费总量的最终目标。应在 2040 年前后达到峰值,此后能源消费总量基本不增长。此前,2020 年控制目标为 $4.8 \times 10^9 \sim 5 \times 10^9$ tce(考虑仍处于建设期),2030 年控制目标为 $5.4 \times 10^9 \sim 5.6 \times 10^9$ tce。

(二) 推行能源消费革命、控制能源消费总量的实现途径

推行能源消费革命、控制能源消费总量的实现途径总体可以归纳为“三个层面、三大路径”(见图 2)。三个层面是国家、地区和行业,三大路径分别是理念、管理和技术的革命。

1. 国家层面实施途径

(1) 理念革命。尽快转变以追求经济发展、服务水平提高为主导,兼顾资源环境约束的价值观,形成追求经济发展、服务水平和资源环境保护并重的价值观。将人均能耗和人均服务水平的控制,引入到“三步走”的国家战略愿景中。在经济发展水平达到中等发达国家水平的同时,实现更低的人均能耗和人均碳排放。例如,以人均能耗不超过 4 tce 为引导目标,并细化到产业能源强度、建筑面积、汽车保有量等具体服务水平目标的控制上。

(2) 管理革命。改革涉及能源消费增长机制的相关宏观经济、社会运行的体制、机制。重构能源

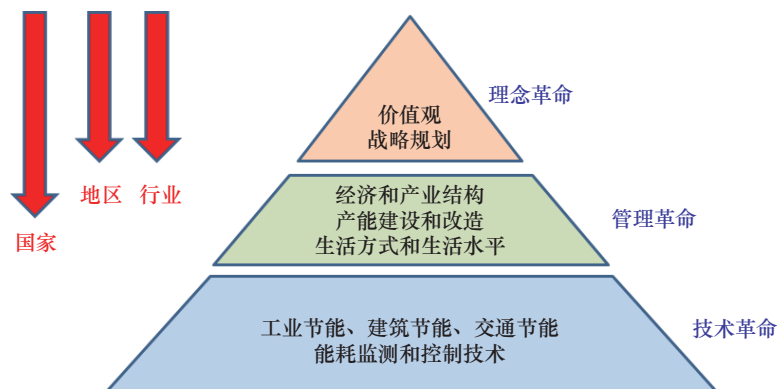


图 2 我国能源消费革命的实施途径示意图

需求侧管理体系，从偏重能源供应侧集中管理、忽视能源需求侧管理和能源需求侧分散管理的体制，改变为能源供应侧和需求侧并重，能源需求侧集中管理的体制。对能耗增长的控制，要从以行政手段为主、市场手段为辅，转变为以市场手段为主、行政手段为辅。完善能源价格体制、建立统一和竞争有序的能源市场，依靠市场来调节能源消费的增长。使能源价格能够合理地反映资源、环境成本，并能够倒逼经济结构和产业结构的转型。除技术能效外，必须引入单位服务能耗、产能和设施寿命和利用率等指标，来考核和监管产能和设施的建设和改造。

(3) 技术革命。必须重视终端节能的“放大效应”，将提高量大面广的终端设备能效作为重要的能源技术创新方向。制订强制性的能耗标准，限时淘汰能效落后的终端设备。高度重视“被动”节能，应将建筑被动节能（建筑物隔热、自然采光、通风等）、交通被动节能（交通工具轻量化、交通动力电气化）和废弃资源循环利用作为国家技术攻关的重大方向。

2. 地区层面实施途径

各省市、各地区视实际情况，参照国家政策推行能源消费革命、控制能源消费总量的宏观目标，修订各自的长期战略规划，变革区域管理的价值观和战略理念。因地制宜，设计各自的经济、社会发展长期战略愿景，以及对经济结构、产业结构、生活方式和生活水平的引导和控制目标。以提高产能和设施的利用率作为区域发展的重要考核指标和管理工作。促进新技术的采用和推进节能技术重大创新。

东部经济相对发达、能源强度较低的地区应作为优化经济结构、产业结构和引导低耗能生活方式、生活水平率先示范的地区，加紧推进理念、管理和技术的革新；重工业发达的地区应作为产能控制和提高利用率重点示范的地区，加紧推进经济增长方式的变革和工业用能方式的变革；西部能源出口地区应作为避免资源依赖、发展中转型的示范地区，稳步推进变革；西南部经济欠发达地区的工作应循序渐进，强调发展本地特色产业和特有低耗能发展之路。

3. 行业层面实施途径

(1) 工业部门。高耗能产品应有清晰的产能控制目标和节能技术路线。除产能控制、结构调整和

技术节能外，工业部门节能的最大节能潜力可能来自于资源循环利用和跨行业集成。初步估计，如果充分利用各种废弃资源，2030年前总节能量将达到 4.3×10^8 tce。其中废钢铁、废塑料利用节能占据较大比重。提高废钢电炉炼钢的产能比重，也是钢铁工业节能的重大方向之一。

(2) 建筑部门。首要措施应是通过理念和管理革命，严格控制建筑面积总量和稳步控制新建建筑面积。强调以单位面积耗能，而非技术能效，作为考核建筑能效的主要指标。其次，在技术层面上。可将建筑能耗分为北方采暖、公共建筑、城镇建筑、农村建筑四类能耗。2012年这四类能耗各占建筑运行1/4左右。主要技术措施包括：①北方采暖节能。全面利用工业余热、电厂余热；②公共建筑节能——以“分散”、易于用户分别调控用能时段和服务水平的方式来提供室内环境；③城镇住宅节能——引导绿色健康生活方式；④农村住宅节能，探索建设北方的“无煤村”与南方的“生态村”。

(3) 交通部门。进一步加强交通部门的节能减排行动，执行更加严厉的交通政策和方法，包括：①优化交通运输结构，大力发展绿色物流；②采用先进的发动机技术；③推广先进车辆技术；④提高铁路电气化和铁路货运比例，同时采用新型高效机车，提高能源利用效率；⑤加强管理节能，减少非机动车或非运输能耗。

对于交通部门用能属于“重中之重”的城市交通，主要革命途径包括：①“避免”部分出行需求：通过形成职住均衡的城市土地利用结构，可减少部分城市交通出行需求，并有利于缓解交通拥堵；②推广以步行、自行车为主体的绿色交通；③提高公共交通分担率，提高公交舒适性和便捷性；④提高道路交通管理水平，对城市交通状态进行智能识别、智能调控；⑤推广节能、环保的轻型、小排量、新能源汽车。

五、关于推行能源消费革命、控制能源消费总量的战略建议

根据上述认识，本文最终提出了对我国推行能源消费革命、控制能源消费总量的六条战略建议：①尽快将能源消费总量的控制引入国家战略愿景和国民经济和社会发展规划，增强全社会的节能意识和行动；②大力完善能源需求侧管理体制和机制，基

于信息和网络技术构建能源需求侧智能管理平台；③严格控制高耗能产品产能和利用率，大力发展资源循环产业；④严格控制建筑面积总量和建设速度，改革建筑用能统计体系和能耗标准，实施建筑用能分类管理和技术变革；⑤控制交通用油总量，优化交通体系和大力提高能效，创新城市交通发展模式；⑥因地制宜，有序地推进能源消费革命、控制能源消费总量的区域示范。

参考文献

- [1] 胡锦涛. 十八大报告（全文）[EB/OL]. [2012-11-19]. http://www.xj.xinhuanet.com/2012-11/19/c_113722546.htm.
- [2] 习近平. 积极推动我国能源生产和消费革命[EB/OL]. [2014-06-13]. http://news.xinhuanet.com/politics/2014-06/13/c_1111139161.htm.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [4] Li Zheng, Pan Linying, Fu Feng, et al. China's regional disparities in energy consumption: An input-output analysis [J]. *Energy*, 2014, 78: 426–438.
- [5] 麻林巍, 李政, 倪维斗, 等. 对我国中长期(2030、2050)节能发展战略的系统分析[J]. *中国工程科学*, 2011, 13(6): 25–29.
- [6] Ma Linwei, Allwood Jullian, Cullen Jonathan M, et al. The use of energy in China: Tracing the flow of energy from primary source to demand driver[J]. *Energy*, 2012, 40(1): 174–188.