

获2016年国家科学技术学术著作出版基金资助
中国节能与新能源汽车技术研究应用丛书

宁国宝 余卓平 ◎ 编著

创新中的 中国新能源乘用车



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

获2016年国家科学技术学术著作出版基金资助
中国节能与新能源汽车技术研究应用丛书



NUAA2017011533



宁国宝 余卓平 ○ 编著

创新中的 中国新能源乘用车



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书从新能源乘用车的技术、产品、标准体系、规划与政策法规体系、示范应用、产业培育等多角度,较为全面地阐述了我国新能源乘用车的发展情况,系统地介绍了混合动力乘用车、纯电动乘用车、燃料电池乘用车的发展历程和现行的关键技术,重点从动力蓄电池、电驱动系统、变速器、整车控制单元等方面阐述了新能源乘用车关键零部件的发展状况,讲述了电动汽车技术标准体系的必要性和我国目前新能源汽车的技术标准体系,介绍了我国新能源乘用车的推广状况。

本书可为从事新能源乘用车产业以及相关行业的各级领导提供决策支持;为从事新能源乘用车的设计、研发、生产、规划和贸易工作的工程技术人员提供技术参考和信息借鉴;也可作为关心中国新能源乘用车发展的广大读者,全面了解中国新能源乘用车现状和发展前景的普及读本。

图书在版编目(CIP)数据

创新中的中国新能源乘用车 / 宁国宝, 余卓平编著. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2016.9

ISBN 978-7-114-13285-8

I. ①创… II. ①宁… ②余… III. ①新能源—汽车
工业—研究—中国 IV. ①F426.471

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 195514 号

Chuangxin Zhong de Zhongguo Xinnengyuan Chengyongche

书 名: 创新中的中国新能源乘用车

著 作 者: 宁国宝 余卓平

责任编辑: 智景安

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

开 本: 787×980 1/16

印 张: 13

字 数: 233 千

版 次: 2016年9月 第1版

印 次: 2016年9月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13285-8

印 数: 0001~3000 册

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



前 言

本书依托作者多年从事国家“863计划”电动车重大专项项目“燃料电池轿车”、“多能源动力总成控制系统”，上海市重点项目“燃料电池轿车核心技术”、“混合动力汽车核心技术”等多项重大项目的科研与开发经验，从新能源乘用车的发展历程、规划与政策、关键技术、技术标准体系以及综合示范运营等方面阐述了新能源乘用车技术、产品和产业发展状况，并对未来新能源汽车发展趋势进行预测。它对从事新能源乘用车的设计、研发、生产、规划和贸易工作的工程技术人员具有较高的参考价值。

全书共分八章。在我国新能源乘用车发展历程章节中，从我国石油能源短缺现状、城市大气环境恶化现状和急需提升我国汽车工业国际竞争力三个方面，分析我国目前的经济社会发展需求，战略性提出发展电动汽车的必要性，并提出我国电动汽车“三纵三横”的战略规划布局、技术路线、研发体系以及研究与示范、实验考核相结合的开展模式。在新能源乘用车国家规划与政策章节中，分别从中央、地方的规划政策和法规体系两个方面展开阐述。在新能源乘用车关键技术章节中，从“三纵三横”的战略规划布局出发，分别阐述了混合动力乘用车、纯电动乘用车、燃料电池乘用车的发展历程和现行的关键技术，同时，从动力蓄电池、电驱动系统、变速器、整车控制单元等关键技术方面阐述了新能源乘用车关键零部件的发展状况。在新能源乘用车技术标准体系章节中，讲述了电动汽车技术标准体系的必要性和我国目前新能源汽车的技术标准体系。在新能源乘用车综合示范市场及示范运营章节，从“十城千辆”、电动汽车大规模综合示范以及非示范城市节能与新能源汽车应用和推广情况三个角度，阐述了我国新能源乘用车的推广状况。

本书由宁国宝、余卓平教授编著，参加编写的人员还有郑修成、梁成翔。由于编写时间较为仓促，书中错误和疏漏之处在所难免，恳切希望使用本书的广大读者批评指正。

编著者

2016年3月

目 录



第一章 我国新能源乘用车发展历程.....1

第一节 新能源汽车概述.....2

第二节 发展新能源汽车是我国经济社会重大战略需求.....7

第三节 我国新能源汽车“三纵三横”战略规划布局.....15

第四节 我国新能源汽车产业推进路线.....18

第五节 我国新能源汽车科技发展历程.....20

第二章 新能源乘用车国家规划与政策29

第一节 “十五”期间国家新能源汽车规划、政策与法规.....30

第二节 “十一五”期间国家新能源汽车规划、政策与法规.....30



第三节 “十二五”期间国家新能源汽车规划、 政策与法规	31
--------------------------------------	----

第三章 插电式混合动力乘用车技术

第一节 国外混合动力乘用车技术发展历程	43
第二节 国内混合动力乘用车技术发展历程	46
第三节 混合动力乘用车关键技术	48
第四节 混合动力乘用车技术进展	74

第四章 纯电动乘用车技术

第一节 纯电动乘用车发展概述	77
第二节 纯电动乘用车关键技术	79
第三节 我国纯电动乘用车产业化 与应用示范	96

第五章 燃料电池乘用车技术

第一节 燃料电池技术特点	97
第二节 燃料电池主要类型	98
第三节 质子交换膜燃料电池 (PEMFC)	99
第四节 国外燃料电池乘用车技术发展历程	101
第五节 我国燃料电池乘用车开发总体思路、 技术路线与策略	106
第六节 燃料电池乘用车关键技术	107
第七节 燃料电池乘用车试验考核 与示范推广	111
第八节 氢燃料	115



第六章 新能源乘用车关键零部件技术 119

- 第一节 车用动力蓄电池技术 119
- 第二节 电驱动系统 138
- 第三节 变速器技术 148
- 第四节 整车控制单元 170

第七章 新能源乘用车技术标准体系 175

- 第一节 新能源汽车技术标准发展概述 175
- 第二节 新能源汽车技术标准体系 175
- 第三节 我国新能源汽车标准的技术创新
与发展思路 180

第八章 新能源乘用车综合示范市场及示范运营 181

- 第一节 “十城千辆”节能与新能源汽车示范
推广试点工程 182
- 第二节 推广工作与重大活动有效结合，助推
新能源汽车示范运营 187
- 第三节 非示范城市节能与新能源汽车应用
与推广情况 192

参考文献 197



第一章 我国新能源乘用车发展历程

“衣食住行”是人类生活四大基本需求，汽车是现代社会人类出行的基本工具，轿车进入家庭已经是不争的事实，成为我国居民消费的主要商品之一。汽车工业已经成为我国国民经济支柱产业，2012 年，我国汽车工业总产值达 5.29 万亿元，占国内生产总值 10.2%；汽车产业吸纳了 4 000 万人就业，约占总就业人口的 10%。

然而，全球汽车工业正面临能源、环境保护、可持续发展等一些严峻问题。以我国为例，在汽车人均保有量低于国际平均水平现状下，我国汽车已经消耗了我国国内生产的所有石油；而我国自 1993 年由石油出口国变成进口国以来，2013 年对外石油依存度超过 58%，超过国际公认的能源安全 50% 警戒线，汽车发展与国家能源保障安全的矛盾日益突出。随着我国经济持续快速发展和城镇化进程加速推进，今后较长一段时期汽车需求量仍将保持增长势头，由此带来的能源紧张和环境污染问题将更加突出，因此，实现汽车能源动力电动化、能源多元清洁化发展已迫在眉睫。

加快培育和发展节能汽车与新能源汽车，既是有效缓解能源和环境压力、推动汽车产业可持续发展的紧迫任务，也是加快汽车产业转型升级、培育新的经济增长点和国际竞争优势的战略举措。

为此，以欧美日为代表的发达国家加快汽车技术变革，将新能源汽车列入国家战略，围绕智能型新能源汽车动力电动化，投入大量人力、资金，超前部署，支撑其汽车工业产业转型升级，试图抢占未来世界与未来经济增长点，引领全球汽车技术变革，支撑未来汽车“能源利用高效化”、“尾气零排放”发展愿景^[1]。

我国高度重视新能源汽车发展，新能源汽车战略性新兴产业发展态势总体良好。从“十五”开始，我国发挥集中力量办大事的体制优势，汇聚行业优势力量，发挥我国具有发展电动汽车的资源优势（锂矿资源、稀土资源），有组织地开展新能源汽车技术攻关。

经过 10 年努力，我国基本掌握了新能源汽车蓄电池、电动机和电控系统三大共性核心技术，初步建立了新能源汽车技术体系，初步显现了以珠三角、长三角、京津冀、中部地区为代表的产业集群，在动力蓄电池产业规模、混合动力客车技术上全球领先。

第一节 新能源汽车概述

一、汽车定义与分类

（一）汽车定义

汽车^[2]，英文名称：Motor Vehicle，指由动力驱动，具有 4 个或者 4 个以上车轮的非轨道承载的车辆，主要用于：

- 载运人员和/或货物；
- 牵引载运人员和/或货物的车辆；
- 特殊用途。

挂车^[2]，英文名称：Trailer，指其设计和技术特性需由汽车牵引，才能正常使用的一种无动力的道路车辆，分为牵引杆挂车、半挂车、中置轴挂车，用于：

- 载运人员和/或货物；
- 特殊用途。

挂车包括牵引杆挂车、半挂车、中置轴挂车。

汽车列车^[2]，英文名称：Combination Vehicles，指一辆汽车与一辆或多辆挂车的组合。包括：乘用车列车、客车列车、货车列车、牵引杆挂车列车、铰接列车、双挂列车、双半挂列车、平板列车。

（二）汽车分类

1988 年，我国发布国家推荐性标准 GB/T 3730.1—88《汽车和挂车的术语和定义车辆类型》^[3]，该标准明确将我国汽车分为载货汽车、客车和轿车 3 种类型。各类车辆根据不同的划分标准进行了细分类，具体为：

轿车按照发动机排量划分为微型轿车（1L 以下）、轻级轿车（1 ~ 1.6L）、中级轿车（1.6 ~ 2.5L）、中高级轿车（2.5 ~ 4L）、高级轿车（4L 以上）。

客车按照长度划分为微型客车（不超过 3.5m）、小型客车（3.5 ~ 7m）、中型客车（7 ~ 10m）和大型客车（10m 以上）。

货车按照载质量划分为微型货车（1.8t 以下）、轻型货车（1.8 ~ 6t）、中型货车（6 ~ 14t）、重型货车（14t 以上）。

2001 年，我国发布国家推荐性标准 GB/T 3730.1—2001《汽车和挂车类型的术语和定义》，该标准代替 1988 年发布的推荐性标准 GB/T 3730.1—88《汽车和挂车的术语和定义 车辆类型》，标准对汽车的类型给出了术语和定义。此外，2001 年我国发布 GB/T 15089—2001《机动车辆及挂车分类》^[4]。

1. 乘用车^[2]

英文名称：Passenger Vehicle，是在其设计和技术特性上主要用于载运乘客及其随身行李和/或临时物品的汽车，包括驾驶员座位在内最多不超过 9 个座位。它也可以牵引一辆挂车。

1) 普通乘用车

车身：封闭式，侧窗中柱有或者无。

车顶（顶盖）：固定式，硬顶。有的顶盖一部分可以开启。

座位：4 个或者 4 个以上座位，至少两排。

后座椅可以折叠或移动，以形成装载空间。

车门：2 个或者 4 个侧门，可有一后开启门。

2) 活顶乘用车

车身：具有固定侧围框架的可开启式车身。

车顶（顶盖）：车顶为硬顶或者软顶，至少有两个位置：（1）封闭；（2）开启或者拆除。

可开启式车身可以通过使用一个或数个硬顶部件和/或合拢软顶将开启的车身关闭。

座位：4 个或者 4 个以上座位，至少两排。

车门：2 个或者 4 个侧门。

车窗：4 个或者 4 个以上侧窗。

3) 高级乘用车

车身：封闭式。前后座之间可以设有隔板。

车顶（顶盖）：固定式，硬顶。有的顶盖一部分可以开启。



座位：4个或4个以上座位，至少两排。后排座椅前可安装折叠式座椅。

车门：4个或6个侧门，也可有一个后开启门。

车窗：6个或6个以上侧窗。

4) 小型乘用车

车身：封闭式，通常后部空间较小。

车顶（顶盖）：固定式，硬顶。有的顶盖一部分可以开启。

座位：2个或2个以上的座位，至少一排。

车门：2个侧门，也可有一个后开启门。

车窗：2个或2个以上侧窗。

5) 敞篷车

车身：可开启式。

车顶（顶盖）：车顶可为软顶或硬顶，至少有两个位置：第一个位置遮覆车身；第二个位置车顶卷收或可拆除。

座位：2个或2个以上的座位，至少一排。

车门：2个或4个侧门。

车窗：2个或2个以上侧窗。

6) 仓背乘用车

车身：封闭式，侧窗中柱可有可无。

车顶（顶盖）：固定式，硬顶。有的顶盖一部分可以开启。

座位：4个或4个以上座位，至少两排。

后排座椅可折叠或可移动，以形成一个装载空间。

车门：2个或4个侧门，车身后部有一仓门。

7) 旅行车

车身：封闭式。车尾外形可提供较大的内部空间。

车顶（顶盖）：固定式，硬顶。有的顶盖一部分可以开启。

座位：4个或4个以上座位，至少两排。座椅的一排或多排可拆除，或装有向前翻倒的座椅靠背，以提供装载平台。

车门：2个或4个侧门，并有一后开启门。

车窗：4个或4个以上侧窗。

8) 多用途乘用车

普通乘用车、活顶乘用车、高级乘用车、小型乘用车、敞篷车、仓背乘用车、旅行车几种车型以外的，只有单一车室载运乘客及其行李或物品的乘用车。但是，如果这种车辆同时具有下列两个条件，则不属于乘用车而属于货车：

(1) 除驾驶员以外的座位数不超过 6 个。

只要车辆具有可使用的座椅安装点，就应算“座位”存在。

(2) 整车质量与座位数满足下列计算公式：

$$P - (M + N \times 68) > N \times 68$$

式中：P——最大设计总质量；

M——整车整备质量与 1 位驾驶员质量之和；

N——除驾驶员以外的座位数。

9) 短头乘用车

一种乘用车，它一半以上的发动机长度位于车辆前风窗玻璃最前点以后，并且转向盘的中心位于车辆总长的前四分之一部分内。

10) 越野乘用车

在其设计上所有车轮同时驱动（包括一个驱动轴可以脱开的车辆），或其几何特性（接近角、离去角、纵向通过角、最小离地间隙）、技术特性（驱动轴数、差速锁止机构或其他型式机构）和它的性能（爬坡度）允许在非道路上行驶的一种乘用车。

11) 专用乘用车

运载乘员或物品并完成特定功能的乘用车，它具备完成特定功能所需的特殊车身和/或装备。例如：旅居车、防弹车、救护车、殡仪车等。

其中普通乘用车、活顶乘用车、高级乘用车、小型乘用车、敞篷车和仓背乘用车也可俗称轿车。

2. 商用车^[2]

英文名称：Commercial Vehicle，是在设计和技术特性上适用于运送人员和货物的汽车，并且可以牵引挂车。商用车主要划分为客车、货车、半挂牵引车。

1) 客车

(1) 定义。在设计和技术特性上用于载运乘客及其随身行李的商用车辆，包括驾驶员座位在内座位数超过 9 座。客车有单层的或双层的，也可牵引一挂车。

(2) 类型。客车可以细分为小型客车、城市客车、长途客车、铰接客车、无轨电车、越野客车、专用客车。

2) 货车

(1) 定义。一种主要为载运货物而设计和装备的商用车辆，它能否牵引一挂车均可。

(2) 类型。货车可以细分为普通货车、多用途货车、全挂牵引车、越野货车、专业作业车、专用货车。

3) 半挂牵引车

是指汽车有特殊装置用于牵引半挂车的商用车辆。

二、节能汽车

节能汽车是指以内燃机为主要动力系统，综合工况燃料消耗量提前达到下一阶段目标值标准的汽车。

常规混合动力汽车主要按动力系统电气化水平进行分类，是指动力蓄电池容量较小，大部分工况下主要由内燃机提供驱动功率的电动汽车。根据 2012 年国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划（2012～2020 年）》和 2012 年科技部发布的《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》，常规混合动力汽车属于节能汽车的一种。

三、新能源汽车

新能源汽车是一个广义概念，当前主要指采用新型动力系统，完全或主要依靠新型能源驱动的汽车。新能源汽车主要包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车。新能源汽车有时候也可以狭义理解为纯电驱动汽车。

纯电驱动汽车是按动力系统电气化水平进行分类，指全部或大部工况下主要由电动机提供驱动功率的电动汽车，例如纯电动汽车、插电式电动汽车、增程式电动汽车以及燃料电池电动汽车。

四、新能源乘用车

新能源乘用车是指采用新型动力系统，完全或主要依靠新型能源驱动的，在其设计和特性上主要用于载运乘客及其随身行李和/或临时物品的汽车，包括驾驶员座位在内最多不超过 9 个座位。

第二节 发展新能源汽车是我国经济社会重大战略需求

发展新能源汽车是我国应对能源安全、改善大气环境、加速汽车产业升级转型，提升我国汽车竞争力的有效手段，是我国经济社会发展的重大需求。

一、发展新能源汽车是代替传统的内燃机汽车成为人类生存发展的客观选择

目前，人类生存发展所依存的能源主要是不可再生的石油化工能源，而且世界上能源分布极不平衡，这包括能源组成结构的不平衡和能源地区分布的不平衡。表 1-1 是世界能源分布数据。

世界能源储藏量、年产量及可采年数预测（2000 年整理预测）表 1-1

能源类别		石油	天然气	煤	铀
已探明可采储藏量		1 兆 529 百万桶 (1998 年)	146.39 兆 m ³ (1998 年)	9842 亿 t (1996 年)	436.3 万 t (1997 年)
地区分布 (%)	北美	8.1	5.7	26	17.4
	中南美	8.5	4.2	2.3	6.2
	西欧	2.0	3.6	7.5	3.0
	中东	64.0	33.8	0.1	0
	亚太	4.1	7.0	29.7	15.1
	非洲	7.2	7.0	6.2	17.4
	原苏联、东欧	6.1	38.7	28.3	31.0
可采年数 (全世界)		41 年	63.4 年	212 年	72 年

由表 1-1 的统计数据可以看出，按照目前已探明的储量和年开采量，以现在世界耗能水平计算，作为目前主要能源的石油可开采 41 年，天然气可开采 63.4 年；虽然世界上煤资源储量比较丰富，但由于煤炭资源可利用范围有限，而且煤炭能源使用过程中会造成严重的环境污染，因此煤炭资源在世界能源利用中所占的比例逐年下降。因此，在未来 50 年左右，世界上的最主要的传统能源（不包括利用价值较低的煤炭资源）将枯竭，如果没有出现新的替代能源形式，50 年后人类将面临世界范围内的能源危机。

二、发展新能源汽车是解决我国石油能源短缺的重要出路

能源是经济社会发展的基础，也是影响经济社会发展的主要因素。从能源结构来看，我国能源结构中一次能源仍然是以煤炭资源为主，其中煤炭约占我国一次能源总量 70%，石油约占 20%，剩余为燃气、水力发电等；从能源资源来看，我国煤储量约占世界储量 45%，而石油储量仅占 4.5%；从我国交通领域的能源消费结构来看，交通领域的能源消耗约 70% 来自于石油，约 25% 的能源来自于电力。综合我国资源特点、能源结构和交通领域能源消耗特点分析得到：我国不适合发展以传统石油为主要能量的传统内燃机汽车，实现交通领域能源多元化、能源利用高效化和清洁化、动力系统电动化是我国交通系统转型的必经之路，发展电动汽车是解决我国石油短缺、保障我国能源安全、实现交通领域节能减排的根本出路。

（一）我国现有能源资源特点

我国能源资源短缺，常规石油化工能源可持续供应能力不足。一方面，油气人均剩余可采储量仅为世界平均水平的 6%，石油年产量仅能维持在 2 亿 t 左右，常规天然气新增产量仅能满足新增需求的 30% 左右。煤炭超强度开采。另一方面，粗放式发展导致我国能源需求过快增长，从 1993 年开始，我国由石油净出口国变成进口国，石油对外依存度从 21 世纪初的 26% 上升至 2011 年的 57%，到 2013 年的 58.1%，已经远远超过国际公认的能源安全 50% 警戒线。

交通领域的石油需求的快速增长，直接导致我国原油生产和进口量快速增长，石油对外依存度逐年提高，图 1-1 给出过去 10 年我国原油生产量、进口量、消费总量及对外依存度统计数据。

（二）我国能源保障压力大

我国能源安全保障压力巨大。我国油气进口来源相对集中，进口通道受制于人，远洋自主运输能力不足，金融支撑体系亟待加强，能源储备应急体系不健全，应对国际市场波动和突发性事件能力不足，能源安全保障压力巨大。

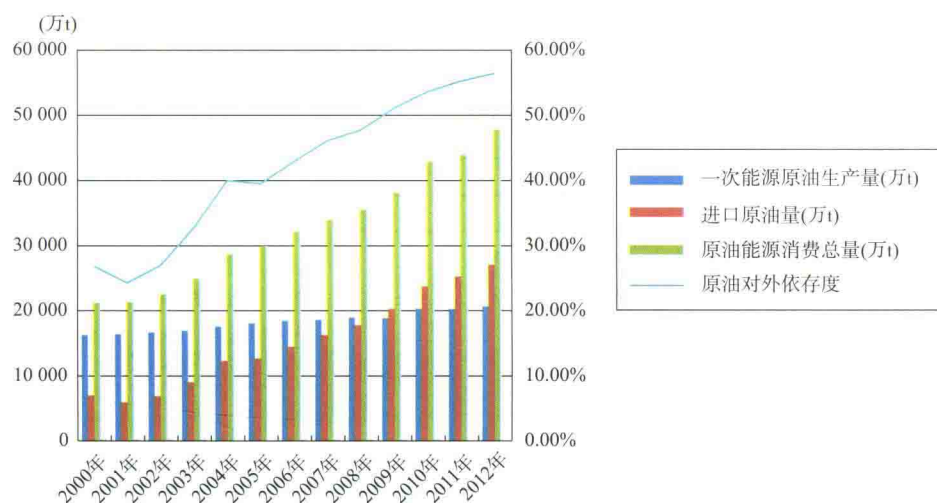


图 1-1 我国原油生产量、进口量、消费总量及对外依存度逐年变化图

注：原油对外依存度是指我国进口原油占国内原油消耗的比重。这里的进口原油指的是净进口量（总的进口原油量减去出口量），后者为国内原油自产量加上净进口量（也称表观消费量）。

数据来源：国家统计局。

（三）交通领域能源消耗量持续增加

随着我国经济的快速发展，近年来，我国的汽车行业发展迅速。国家统计局数据显示，2012 年末全国民用汽车保有量达到 12 089 万辆（包括三轮汽车和低速货车 1 145 万辆），比 2011 年末增长 14.3%，其中私人汽车保有量 9 309 万辆，增长 18.3%；民用轿车保有量 5 989 万辆，增长 20.7%，其中私人轿车 5 308 万辆，增长 22.8%。

图 1-2 给出了我国过去 10 年的交通运输、仓储和邮政行业的石油消费总量及我国石油能源消费总量统计数据，可以看出：随着汽车保有量的快速增长，交通领域的石油资源消耗也在快速增长。当前，交通运输、仓储和邮政行业石油消耗总量超过了我国石油能源消耗总量 30%，而且是推动石油消费总量的主要因素。

(四) 新时期下的我国交通工具技术转型发展

未来我国能源发展将由偏向保障供给为主，向科学调控能源生产和消费总量转变；由资源依赖型的发展模式，向科技创新驱动型的发展模式转变；由严重依赖煤炭资源，向绿色、多元、低碳化能源发展转变；由各种能源品种独立发展，向多种能源互补与系统的融合协调转变；由生态环境保护滞后于能源发展，向生态环境保护和能源协调发展转变；由过度依赖国内能源供应，向立足国内和加强国际合作转变。

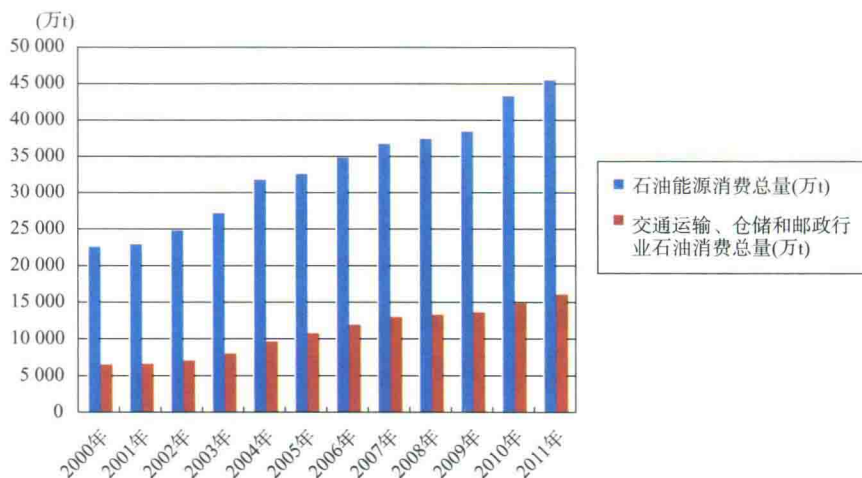


图 1-2 交通运输等行业石油消费总量与石油能源消费总量逐年变化图

数据来源：国家统计局。

在国家能源发展总体策略推动下，发展以电能载体的新能源汽车，满足交通系统能源多元化、清洁化和高效化需求，是适合我国交通能源多元化发展需求，减少交通系统对石油资源过分依赖，适应我国以煤炭为主，清洁能源快速发展的客观选择，是解决我国石油短缺的根本出路。

三、发展新能源汽车是缓解城市大气环境恶化的有效途径

世界汽车工业可持续发展面临的重大难题就是大气环境污染，在我国表现得尤为突出。发展电动汽车可以大幅度提高燃料的利用效率，特别是以电能、氢能燃料电池为动力的新一代电动汽车的油箱到车轮（T2W）可以实现零排放，这是我国城市污染治理、雾霾治理的主攻方向之一。