

中国汽车产业低碳化评价指标体系研究

赵福全^{1,2}, 刘斐齐^{1,2}, 刘宗巍^{1,2}, 郝瀚^{1,2}

(1. 清华大学汽车产业与技术战略研究院, 北京 100084; 2. 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 能源安全与气候问题日益成为各个国家关注的焦点, 中国作为大国有责任承担起节能减排的义务。汽车行业作为能耗和排放大户, 更面临着严峻的减排挑战, 低碳化进程刻不容缓。作为新兴的汽车大国, 中国汽车产业总量扩张的趋势势不可挡, 车用能源结构转型也迫在眉睫, 有效寻找我国与其他汽车强国在低碳化发展方面的差距, 明确关键影响因素, 是我国汽车产业未来低碳化发展的关键。本文采用层次分析法, 剖析了汽车产业低碳化发展的影响因素, 并进行了国际化对比。通过寻找我国与其他汽车强国在低碳化发展方面存在的差距, 可为我国未来汽车产业低碳化发展提供参考。

关键词: 汽车产业; 低碳化发展; 评价指标

中图分类号: F416.47 **文献标识码:** A

Research on Evaluation Index System for Low-carbon Development of China's Automobile Industry

Zhao Fuquan^{1,2}, Liu Feiqi^{1,2}, Liu Zongwei^{1,2}, Hao Han^{1,2}

(1. Tsinghua Automotive Strategy Research Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Energy security and climate have become issues of increasing importance globally. China, as a major political and economic power, has a responsibility toward energy conservation and emission reduction. The automobile industry is facing severe emission reduction challenges in following the low carbon process. The trend of the total expansion of China's automobile industry is irresistible and transformation of the vehicle energy structure is also imminent. An initiative to effectively determine the gap between China and other auto powers in low-carbon development and remove the key influence factors will be essential toward realizing low-carbon development of China's automobile industry in the future. This study uses an analytic hierarchy process to analyze the factors that influence China's low-carbon development in the automobile industry and presents comparisons with other countries. This will provide a reference for the low-carbon development of the future automobile industry in China.

Keywords: automobile industry; low-carbon development; evaluation index system

一、前言

能源安全与温室气体排放逐渐成为全人类面临

的共同问题, 发展低碳经济已经是世界各国未来发展的必然选择。2015年《巴黎协定》中各国已经达成协议——较工业化前水平, 将全球平均升温控制

收稿日期: 2018-01-20; 修回日期: 2018-02-06

通讯作者: 郝瀚, 清华大学, 助理教授, 研究方向为低碳交通系统分析; E-mail: hao@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国汽车低碳化系统工程研究”(2016-XY-02)

本刊网址: www.enginsci.cn

在 2℃ 以内 [1]。同时,世界格局愈发复杂,发展中国家和发达国家关于责任和义务分担的矛盾日益突出,进一步加大了全球低碳化发展的难度。低碳化已经逐渐由环境问题转变为经济问题和政治问题,相关经济效益和政治博弈日益凸显。尤其是对于中国而言,一方面,作为发展中国家,面临着经济发展带来的能源需求的增加,不可能选择通过牺牲经济来实现节能低碳的目标;另一方面,作为世界大国,又必须要承担起相应的减排责任。面对如此压力,中国政府选择了积极应对:2009年,哥本哈根会议中,中国承诺到2020年单位国内生产总值 CO₂ 排放比2005年下降40%~45%;2014年,中美气候变化联合声明中,中国承诺2030年左右将实现 CO₂ 排放达峰,非化石能源占一次能源消费比重提高到20%左右;2015年,在《巴黎协定》中,中国承诺到2030年单位国内生产总值 CO₂ 排放比2005年下降60%~65% [1~3]。尤其在2017年美国宣布退出《巴黎协定》后,中国充分体现出大国应有的责任感,做出表率,积极推动产业和经济的低碳化发展 [4]。

汽车产业作为国民经济中的支柱产业,与国家整体产业低碳化的发展息息相关,随着国民经济的发展和居民生活水平的提高,交通出行量的增长将是未来发展的必然趋势,更多的出行需求带来了汽车市场的扩张。2016年,中国石油对外依存度已经超过了65%,道路车辆占据了全国90%的汽油消耗量和45%的柴油消耗量,不仅严重威胁了国家能源安全,也对中国低碳发展造成了一定的困扰 [5~6]。因此,为了满足我国整体低碳化发展的需求,汽车产业低碳化发展是国家和产业的必然选择。控制汽车产业的能源消耗总量,转变能源消费结构,推动新能源和可再生能源的发展等都将是降低碳排放的重要手段和措施 [7]。

汽车强国必然是低碳强国,低碳是强国的核心诉求及重要手段,低碳是全面性、综合性、系统性的指标,在很大程度上涵盖了汽车强国建设的诸多方面和各个环节。同时,汽车产业是一项复杂的系统工程,多种因素间相互关联、影响和制约。很多问题不是仅依靠汽车产业发展就能解决的,需要制造产业、能源产业等产业共同的努力才能实现突破,汽车产业也不应该承担所有的低碳减排责任。因此,需要建立完整的评价指标体系,对影响汽车产业诸

多纷繁因素进行梳理提炼,形成影响汽车产业低碳化的若干核心要素,明确汽车产业在低碳化发展过程中需要承担的责任,对未来我国汽车产业的建设提供参考和指引。

基于以上分析,本文采用层次分析法,力求分析汽车产业低碳化发展的影响因素,剖析并挖掘重要影响指标,并进行国际化对比,寻找我国与其他汽车强国在低碳化发展方面存在的差距,借鉴其发展经验,为我国未来汽车产业低碳化发展提供参考。

二、评价指标体系

正是基于汽车产业低碳化评价的重要意义,综合多方专家意见和文献调研情况,提出了较为合理的汽车产业低碳化评价指标体系,该指标可以对国家汽车产业的发展水平进行综合评价和量化比较。该体系共包含产业、产品、能源、基础设施、出行、政策和文化7个一级指标,32个二级指标和37个三级指标,定量指标与定性指标相结合,以明确汽车产业低碳化的关键要素、重要作用及我国的差距所在。以下重点对该指标体系进行说明。

汽车低碳化评价指标体系的建立基于以下3条基本原则 [8]:

(1) 代表性。汽车产业产业链长、涉及领域广,评价指标必须能够覆盖汽车产业及其相关的各个领域,充分代表汽车产业低碳化所需的各类关键要素,尽可能覆盖全面。

(2) 独立性。影响汽车产业低碳化的要素繁多,很多要素间又相互关联,较为相似的要素不宜列为不同的评价指标。因此,所选取的指标必须能够代表某一方向或领域,指标间不能相互替代,并尽可能减少指标的数量来描述一个国家汽车产业低碳化的发展程度。

(3) 指导性。建立汽车产业低碳化评价指标的目的是要将影响汽车产业低碳化发展的相互关联的各种因素以及它们之间的关系梳理清楚。希望通过借鉴国外汽车产业低碳化的发展经验,找出中国汽车产业低碳化发展的差距和症结所在,从而为中国汽车产业低碳化发展寻求未来发展方向和路径。

在一级指标中,主要分成了产业低碳化、产品低碳化、能源低碳化、基础设施低碳化、出行低碳化、政策环境低碳化和文化低碳化7个方面。表1

表 1 汽车产业低碳化评价指标体系

指标名称	指标内涵	考察因素
产业低碳化	汽车生命周期包括“设计—制造—使用—服务—报废”五个环节；产业低碳化不是某一环节的低碳化，而是整个产业内诸要素在生命周期内的相互配合、相互协调，以最终实现整个汽车产业链低碳化的目标	设计低碳化（动力系统；传动系统；轻量化；低阻力）、制造低碳化（节能设备、工艺、技术的普及；资源的综合利用、循环化利用；智能制造）、使用低碳化、服务低碳化、报废低碳化（汽车零部件报废回收；材料的报废回收；电池的报废回收）
产品低碳化	考虑汽车市场的产品构成情况对汽车产业低碳化的影响	从汽车市场各类车型保有量占比情况和销量占比情况进行分析；考虑车辆的老旧程度对于车辆低碳化的影响
能源低碳化	车用能源的生命周期包括“制备—运输—储存—使用”四个环节，能源发展的清洁程度将对交通低碳化产生直接影响；能源低碳化需要考虑各种车用燃料未来碳排放的发展趋势，争取努力实现车用燃料碳排放的最优配比	考虑了传统燃料以及氢能（制造、储备和运输环节）、电力（电力来源、分配和使用；V2G优化）和能源互联网对于车用能源低碳化的影响
基础设施低碳化	一方面考虑基础设施自身建设过程中的低碳化影响；另一方面考虑基础设施建设对于车辆运行低碳化的影响；二者相互协调，使基础设施建设适应或适度超前车辆技术的发展，才能使车辆低碳化维持在较优的状态	考虑了传统基础设施、充电基础设施和智能网联基础设施对于汽车基础设施低碳化的影响；包括自身材料、覆盖情况和利用情况对低碳化产生的影响
出行低碳化	出行低碳化需要从出行需求侧和供给侧同时进行优化，鼓励交通工具的有效组合，降低出行碳排放；出行低碳化涉及到城市规划、交通结构等多方面因素的影响，结果的直接反馈就是居民出行的选择	无法直接通过衡量城市规划情况比较出行低碳化的发展，因此选择比较不同交通工具出行分担率、公共交通保有量情况、车辆年均行驶里程、客货运周转率、驾驶习惯等，来反馈出行情况
政策环境低碳化	政策环境低碳化既需要政策鼓励，也需要规范支撑，努力实现补贴合理到位，惩治有法可依	考虑了国家对于节能与新能源汽车的鼓励政策、油耗法规、回收报废政策、低碳能源政策、路权管理、公共交通推广政策等
文化低碳化	从企业和消费者两个维度进行分析，企业需要有主动的低碳研发意识，引导消费市场；消费者需要有低碳消费意识，改变传统消费理念；只有形成良好的低碳化氛围才能推动汽车产业低碳化的良性发展	企业低碳研发意识；消费者低碳购买意识、出行意识；低碳文化宣传程度等

对汽车产业低碳化评价指标体系的 7 个一级指标进行了展开说明。

应当指出，这 7 个一级指标之间相互关联、相互影响、相互制约，存在相互交织的复杂逻辑关系，既有短期因素，影响当前汽车市场、汽车产业低碳化发展情况，也有长期因素，影响未来低碳化发展趋势；既有需要国家解决的问题，又有需要企业努力克服的困难，同时需要消费者改变消费与出行意识，推动汽车市场的良性发展来实现目标，更有需要多方共同面对的挑战。如图 1 所示，产业低碳化是其他各项低碳化的基础，产品低碳化、能源低碳化、基础设施低碳化和出行低碳化是各环节低碳化的具体表现，而政策环境低碳化和文化低碳化又决定了整个社会低碳化的发展趋势和氛围。举例说明，节能与新能源汽车的发展，一方面需要国家政策积极引导，对油耗标准、新能源汽车占比提出强制性要求，进行有效监管；另一方面，需要汽车企业积

极推动节能与新能源汽车技术的发展，以满足政府法规，同时优化市场产品结构，为消费者提供更加优良的选择 [9]。电动汽车的发展也对电力清洁化提出了新的要求，同时电池的储能特性也为电力在时间和空间上的分布不均提供了一定的解决方案。基础设施低碳化与出行低碳化息息相关，直接影响消费者的购买选择、出行选择等。在一级指标中，任何一个要素对于汽车产业低碳化都极为关键，任何指标的差距都会使汽车产业低碳化的整体水平受到影响。

三、评价方法

对于低碳化的评价，采用了层次分析法。按照代表性、独立性和全面性的原则确定评价指标体系后，采访专家意见，构造同一级指标的比较矩阵，确定各个元素之间的相对权重；然后利用最

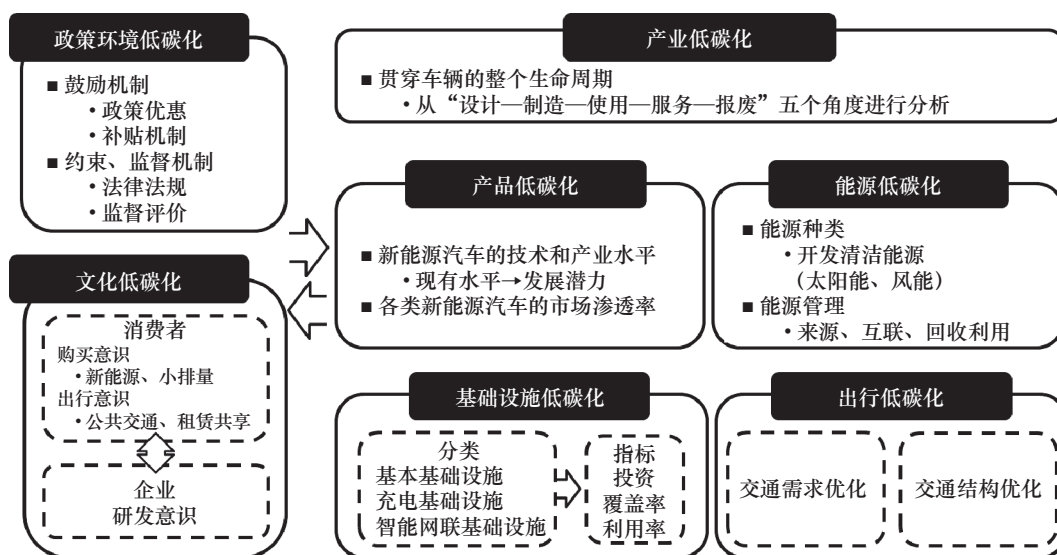


图1 一级指标之间的相互关系

大特征值检验比较矩阵的一致性，用比较矩阵的最大特征根对应的归一化特征向量作为权向量；根据评价指标的特性，划分为定量指标和定性指标：对于定量指标，首先进行数据搜集，然后对指标进行无量纲化处理，最后确定分数线对指标进行分级打分；对于定性指标则通过专家打分，确定各国得分；最后综合考虑各指标权重和分值，得出评价结果 [10~12]。

四、基于指标评价体系的各国汽车产业低碳化评价

按照上述汽车产业低碳化评价指标体系，对德国、美国、日本、法国、意大利、英国、韩国、中国 8 个国家的汽车产业低碳化发展水平进行了综合评价。对各级指标均采用分档评分，量化衡量。为明确各国汽车产业低碳化发展程度的对比，参照实际评分结果，将总体评分分数分为三个区间：8 分以上为第一阵营；7~8 分为第二阵营；7 分以下为第三阵营，评分结果如图 2 所示。

从评价结果来看，在所比较的 8 个国家中，日本、德国得分在 8 分以上，处于汽车产业低碳化发展的第一阵营；法国、意大利、英国、韩国、美国得分在 7~8 分之间，处于汽车产业低碳化发展的第二阵营；中国得分在 7 分以下，处于汽车产业低碳化发展的第三阵营。中国汽车产业低碳化发展与日、德等一流汽车强国相比还存在较大差距。

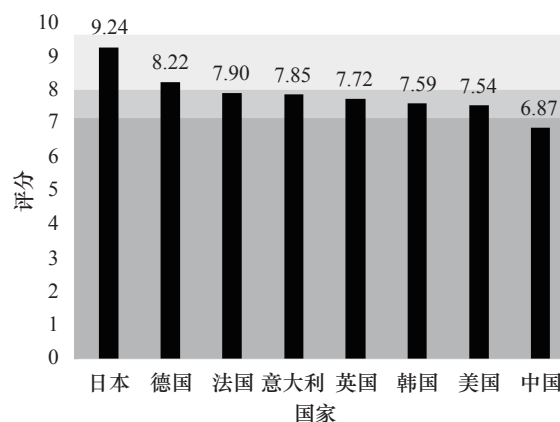


图2 各国汽车产业低碳化发展评价结果

五、我国汽车产业低碳化发展与其他国家的差距分析

从产业低碳化角度来看，日本和德国位于第一阵营，美国、法国、意大利、韩国、英国位于第二阵营，中国位于第三阵营。日本作为汽车强国，大力推广节能汽车的发展，智能制造设备推广程度高，资源综合利用效果好，车辆回收处理程度高，在车辆生命周期的各个环节都处于绝对优势。中国汽车产业发展起步较晚，技术成熟度不高，同时中国制造业发展较弱，也限制了中国汽车产业低碳化发展的程度。

从产品低碳化角度来看，日本位于第一阵营，其他国家位于第二阵营。由于汽车产品在全球市场自由流通，所以各国产品低碳化并无较大差异。日

本提倡小型汽车的发展，又致力于本土轻型轿车的推广，市场结构明显优于其他国家。由于美国消费者的购买习惯偏向大型化，美国本土品牌也更加注重动力性的发展，因此，美国产品低碳化情况略差于其他国家。相比之下，中国由于汽车产业短期内发展迅速，车辆更新换代较快，此外受强制报废法规的约束，在用车辆结构相对较优，产品低碳化处于平均水平。

从能源低碳化角度来看，日本仍处于第一阵营，中国处于第三阵营，其他国家处于第二阵营。能源方面，日本一方面受地理条件所限，能源资源较为匮乏；另一方面，由于缺乏能源供应，日本大力发展核电，使其电力结构也优于其他国家。欧洲国家受资源约束和政策引导，大力发展可再生能源，其能源结构也处于较为优良的状态。中国虽然对石油依赖度不断提高，但本国开采部分仍受开采技术、开采工艺等影响，能耗较大，低碳化程度低。同时，中国电力结构多依赖火力发电，虽然逐步向非化石能源发电转型，但电力结构仍难以在短时间内实现大的转变。

从基础设施低碳化角度来看，日本、法国、德国和美国处于第一阵营，其他国家处于第二阵营。日本、法国和德国的公共交通基础设施较为完善，美国和法国公路基础设施建设较为完善，德国充电基础设施建设较为完善。作为发展中国家，虽然中国基础设施建设速度较快，但基础薄弱，发展情况仍较其他国家存在一定差距。中国人口增长带来的出行需求的增长，也使中国面临着更大的基础设施建设需求。

从出行低碳化角度来看，日本处于第一阵营，其他国家处于第二阵营，但美国明显落后于其他国家。如上文所述，日本对低碳出行宣传和执行力度较大，整个社会低碳化程度较高。美国受地理环境和文化影响，公共交通发展较弱，导致美国出行低碳化方面相对其他国家发展较差。中国目前还处于交通需求不断增长的阶段，一线城市受路权管制政策、道路拥堵情况等因素影响，公共交通分担率维持在相对较高的水平；对于二三线城市，受经济发展因素限制，私家车保有量相对较低，但增长速度相当可观，优化交通出行结构将直接影响未来出行的碳排放情况。

从政策环境低碳化角度来看，美国和日本处于

第一阵营，其他国家处于第二阵营，韩国政策环境低碳化水平相对较弱。美国无论是在国家层面还是各州层面，都在积极推动油耗法规的发展，同时无论是电动汽车还是充电基础设施的推广都得到了政府的支持。日本虽然对电动汽车的推广政策并不多，但其节能汽车技术政策、低碳能源的发展和推动公共交通发展的政策都十分到位且有效。中国目前也在积极推动节能与新能源汽车的发展，各项规划中也对能源的清洁发展提出了期望，同时路权的管理成为限制出行低碳化发展的有效手段。

从文化低碳化角度来看，日本、德国、法国和意大利处于第一阵营，韩国、英国、美国和中国处于第二阵营。消费者的意识主要影响到市场的构成和出行方式的选择，是影响车辆使用阶段低碳化最为主要的影响因素之一。目前，中国市场受家庭结构影响，车辆偏向大型化发展，且中国消费者仍将汽车作为财富的象征，中国自主品牌汽车企业为满足消费者购买偏好，也在大力发展 SUV 车型，以扩大市场份额；但另一方面，随着新能源汽车政策的推动，中国自主品牌也加大了对电动汽车的研发和推广力度，积极响应国家政策，希望能够实现技术反超。

六、中国汽车低碳化发展战略

（一）中国汽车产业低碳化时序预测

通过与几大汽车强国的对比可知，目前中国汽车产业低碳化发展与世界其他汽车强国的差距还是客观存在的。但同时，在产品低碳化、出行低碳化、政策环境低碳化方面，中国低碳化程度相对较好，与其他国家之间的差距较小，甚至优于部分国家。根据对中国汽车产业现状的深入分析，以及对未来趋势的研判，对中国汽车产业实现低碳化的时序做出了预测，如图 3 所示。

2015—2020 年，中国将实现由第三阵营向第二阵营的转变，于 2020 年达到 7 分，初步进入第二阵营。2020—2035 年有望成为中国汽车产业低碳化发展的高速成长期，如果各方面发展控制到位，借助制造业和能源低碳化的发展趋势，中国汽车产业有望在这段时间内实现由第二阵营向第一阵营的过渡。中国大约在 2030 年达到 8 分，跨入汽车产业低碳化第一阵营的门槛，符合我国预期在 2030 年

温室气体排放达峰的战略目标。2035—2050年，中国汽车产业低碳化发展进入攻坚克难期，速度将逐渐放缓，进入平稳增长期。这一时期内，中国汽车产业将在第一阵营内，逐渐发展成为汽车产业低碳化的世界领军国。

总体而言，中国汽车产业的低碳化进步将经历先急后缓的趋势，这是因为前期迫于国内环境及国际政治责任的双重压力，中国必须在短期内实现温室气体的快速减排，同时中国汽车产业的低碳化基础较差，因而在面对巨大减排压力的同时，初期的减排也相对容易实现；然而当实现阶段性目标后，优化空间将不断缩小、后续减碳的挑战将更加巨大，因此进步趋势将逐步放缓。最

终，中国汽车产业低碳化进程将与世界先进汽车强国持平。

（二）中国汽车产业低碳化发展战略

1. 国家行动

汽车产业低碳化发展是顺应全球低碳化发展趋势的必然选择。尤其对于中国而言，推动中国汽车产业低碳化，一方面能够促进中国实现温室气体排放2030年达峰的目标；另一方面能够有效缓解中国对于石化资源的依赖，积极推动可再生能源在中国的快速发展，有效改善中国中长期的能源结构。

从国家的角度来看，如图4所示，对于汽车产业，仍需继续推动新能源汽车的发展，找出最适合

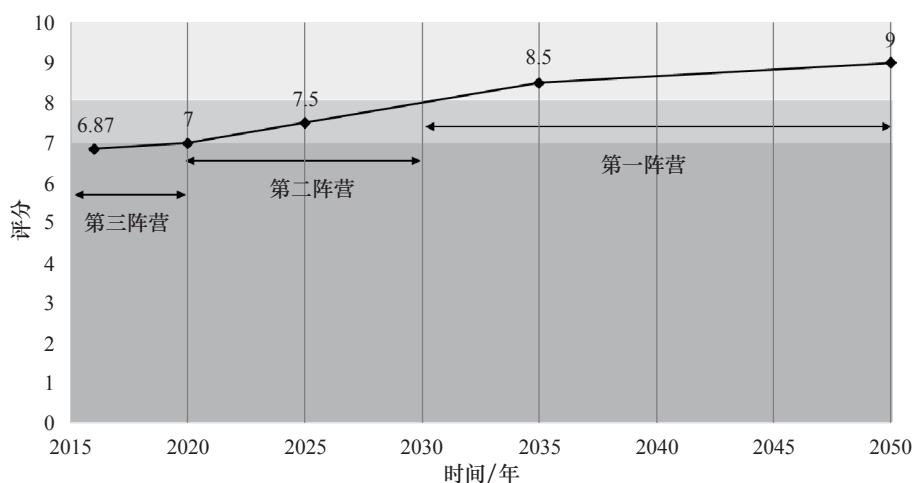


图3 中国汽车产业低碳化指标评价预测

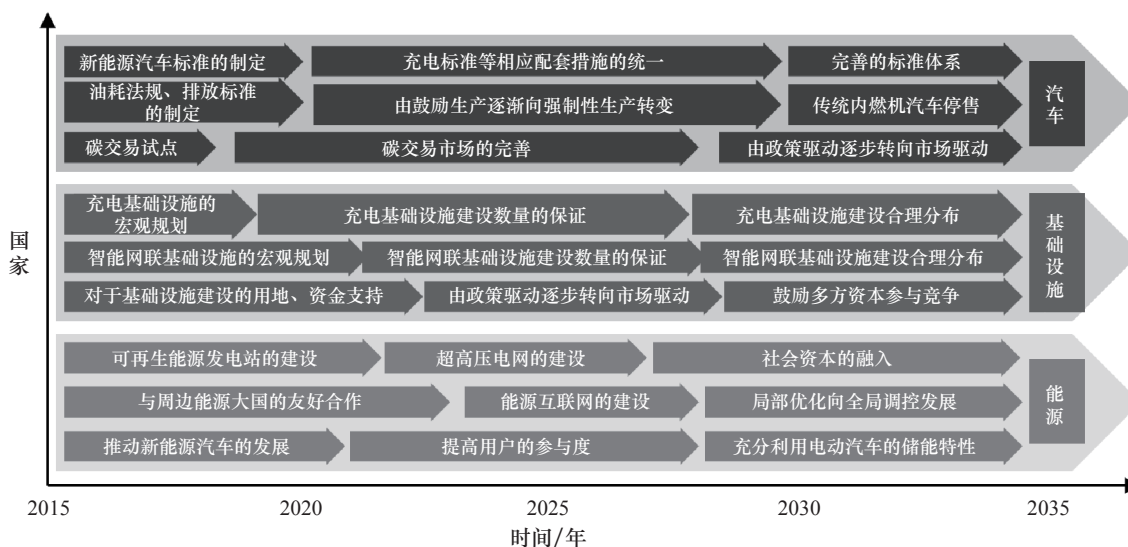


图4 汽车产业低碳化发展战略建议

中国国情的新能源汽车类型，实现政策推动与经济手段相结合，改善中国汽车市场的产品结构。同时，国家还需要进一步完善油耗法规、排放标准的立法与有效的执法。中国汽车市场正处于转型期，但目前仍以传统化石燃料汽车产品为主，推动节能技术的快速导入，以法规推动汽车企业的进步，是未来国家需要重点考量的内容。最后，对于汽车市场的发展，应由政策驱动逐步转向市场驱动，由经济补贴逐步转向市场自由选择，汽车产业也逐渐融合到碳排放权交易中，使汽车产业的碳排放逐渐转向完全的市场管理 [13]。

由于基础设施建设前期投资成本高、回收周期长，必须依赖国家政策以及财政支持来进行初期推广。协调基础设施建设的时间、发展节奏、产品质量将成为城市规划的关键举措 [14]。尤其是在目前电动汽车发展速度加快、智能网联汽车发展速度不确定的情况下，国家必须制定有效可行的规划，以协调电动汽车和智能网联汽车与相应基础设施建设的协同发展，来满足汽车产业未来快速发展的需求。同时，随着汽车市场的逐步完善，政策驱动逐步放宽，最终转变为市场驱动发展。

类似于基础设施建设，能源同样面临着高投资、长周期的风险。尤其我国目前正在经历着能源结构转型，可再生能源发电站及超高压电网的建设都离不开大量资金的投入和土地的占用。同时，由于能源关系到国家安全问题，与周边国家的能源合作必须由国家进行统一管控，控制好能源的输入和输出。在缓解我国能源危机的同时，真正实现能源结构的优化转型。最后，国家应制定相关政策并做好战略布局，充分利用好未来保有量巨大的电动汽车的储能特性与这类能源的可移动特性，协调好区域用电，有效实现错峰用电 [15]。国家相关电力公司应探讨主动开放管理权限，以便充分利用电动汽车来协调小区域的电网用电。

2. 产业行动

中国汽车产业想要实现低碳化，就必须协调好汽车产业与能源、交通基础设施等其他产业之间的相互关系，营造良好的产业氛围，以期实现车辆全生命周期的节能减排。同时，由于汽车产业涉及领域广、产业链长，也需要明确汽车产业自身在节能减排过程中的应负责任，不能盲目承担减排义务。例如，汽车产业在积极推动新能源汽车的发展，但

能源的清洁度需要能源公司、电力公司共同努力才能实现突破。要实现制造业的低碳化，需要企业引进先进的设备、工艺和技术，但是实现设备的高效、低能耗的运行，需要整个制造业共同努力才能实现突破。

汽车产业在实现低碳化的进程中，必须依靠各产业的相互配合和协作，才能真正实现汽车产业低碳化的良性发展和有效运转，而仅仅依靠汽车产业自身，很多问题是无法有效解决和实现突破的。未来有效协调产业关系，实现产业间互相推动技术进步，明确碳排放责任关系，都将成为中国社会整体实现低碳化的关键。

3. 企业行动

对于企业而言，如图 5 所示，首先是实现车辆全生命周期的低碳化，这里包括轻量化材料的应用（设计）、节能设备的更替（制造）、后市场服务时效性的提高（服务）及车辆可回收再利用率的提升（报废）等。在产品方面，企业需要紧跟国家政策，一方面积极推动传统燃料汽车节能技术的发展；另一方面加大新能源汽车技术的研发及产业化投入，尤其是自主品牌企业要紧紧抓住新能源汽车这个实现技术突破和超越的良好契机来实现产品的低碳化。在智能网联汽车发展方面，无论是传统汽车企业还是新入汽车企业都要加快发展步伐。构建智能交通系统，实现车辆的高效利用，将成为未来智能网联汽车发展的重点之一。最后，随着汽车共享模式的推广，未来商业模式的转变也将对汽车产业提出全新的要求。未来分时租赁、共享汽车的广泛普及将大幅度提高车辆的利用率并有效避免闲置资源带来的浪费，同时这也将加快车辆的更新并优化在用车辆的市场结构。综合来看，未来汽车企业需要在传统汽车制造、节能与新能源汽车技术、智能网联汽车、商业模式等多方面不断突破，以推动汽车产业的低碳化发展。

4. 消费者行动

消费者作为汽车的购买者、使用者，直接决定了汽车市场的产品结构。如图 6 所示，在车辆使用方面，消费者应转变消费意识，认识到汽车作为移动出行的代步工具对于节能减排的巨大影响，而并非财富象征。应主动淘汰老旧车辆，优先选购节能与新能源汽车，为社会的节能减排主动做出贡献 [16]。在出行方面，消费者应改变出行

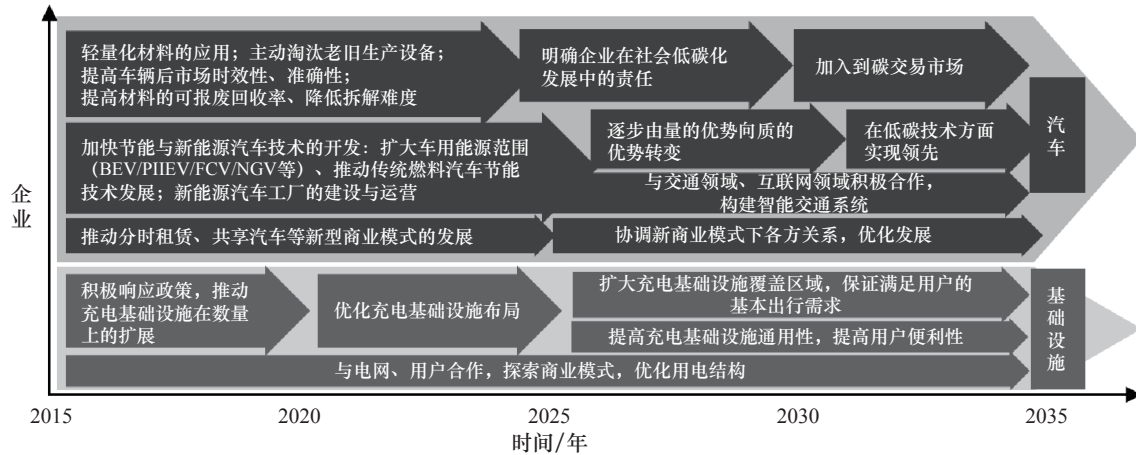


图5 汽车产业低碳化发展企业战略

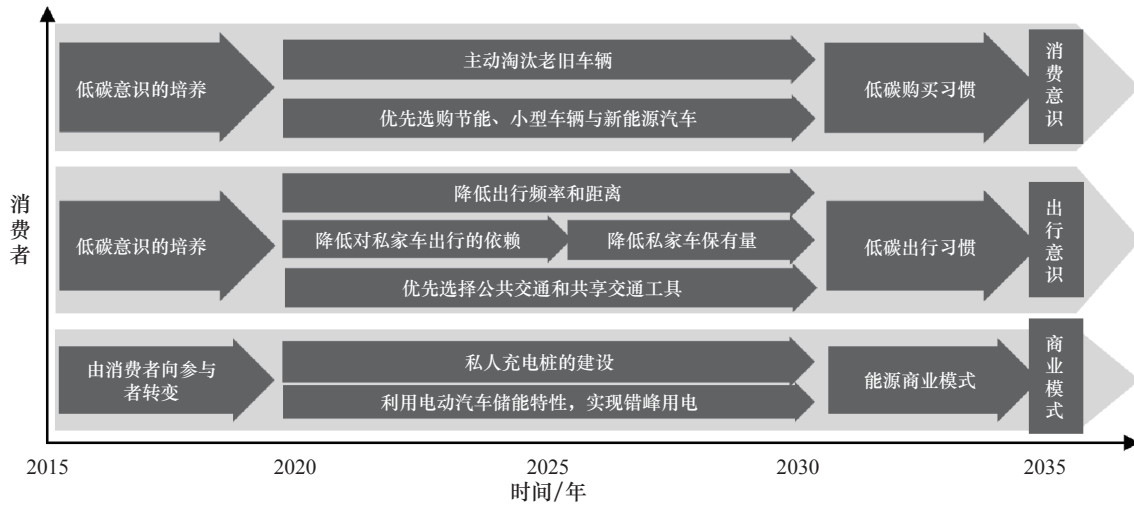


图6 汽车产业低碳化发展消费者行为

意识，优先选择公共交通和共享交通工具，降低日常出行的频率和距离，减少出行碳排放。在能源利用方面，消费者可利用电动汽车电池的储能特性，实现电力的错时使用，缓解电网压力。

七、结语

本研究通过建立评价中国汽车产业低碳化发展的模型，对8个国家汽车产业低碳化发展的水平进行了量化评价。研究表明，先进的制造业、清洁的能源结构、普及的低碳意识的综合作用，使日本和德国目前处于低碳化发展较为领先的水平，中国仍处于较为落后的水平。中国产业目前正在向低碳化迅速转型，汽车产品的结构也在不断优化，但受制于制造业和能源业的发展水平，未来低碳化仍

有较大的提升空间，需要多产业协同发展。在发展初期，仍需要国家战略引导以及资金支持，后期国家可逐步缩减支持力度，发挥市场在低碳化发展过程中的重要作用。本评价指标体系对于中国汽车产业寻找自身发展不足，谋求低碳化突破点具有重要指导意义，并为未来发展规划提供了强有力的参考依据。

参考文献

- [1] Rogelj J, den Elzen M, Höhne N, et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C [J]. Nature, 2016, 534(7609): 631-639.
- [2] Yi W J, Zou L L, Guo J, et al. How can China reach its CO₂ intensity reduction targets by 2020? A regional allocation based on equity and development [J]. Energy Policy, 2011, 39(5): 2407-2415.
- [3] den Elzen M, Fekete H, Höhne N, et al. Greenhouse gas emissions

- from current and enhanced policies of China until 2030: Can emissions peak before 2030? [J]. *Energy Policy*, 2016, 89: 224–236.
- [4] 冯帅. 应对气候变化能力建设行动的国际进展与中国策略——以前《巴黎协定》时期为中心 [J]. *中国科技论坛*, 2017 (5): 174–179.
- Feng S. International developments of capacity-building action for response to climate change and China's countermeasures – Taking the period of Paris Agreement's preimplementation for example [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2017 (5): 174–179.
- [5] 赵雪. 2016 中国原油对外依存度超65% [J]. *中国石油石化*, 2017 (2): 15.
- Zhao X. China's crude oil foreign dependence over 65% in 2016 [J]. *China Petrochem*, 2017 (2): 15.
- [6] Wu Y, Zhang S, Hao J, et al. On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 332–349.
- [7] Hao H, Qiao Q, Liu Z, et al. Comparing the life cycle greenhouse gas emissions from vehicle production in China and the USA: Implications for targeting the reduction opportunities [J]. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2017, 19(5): 1509–1522.
- [8] 赵福全, 刘宗巍, 郝瀚, 等. 汽车强国综合评价指标体系研究 [J]. *汽车工程学报*, 2016, 6(2):79–86.
- Zhao F Q, Liu Z W, Hao H, et al. A comprehensive evaluation system for automotive industry of different nations [J]. *Chinese Journal of Automotive Engineering*, 2016, 6(2): 79–86.
- [9] 弋亚群, 向琴. 我国新能源汽车产业分析 [J]. *中国软科学*, 2009 (s1): 60–63.
- Yi Y Q, Xiang Q. An analysis of the new energy automotive industry in China [J]. *China Soft Science*, 2009 (s1): 60–63.
- [10] 白雪梅, 赵松山. 层次分析法在评价综合实力中的应用 [J]. *统计与决策*, 1997 (10): 9–10.
- Bai X M, Zhao S S. Application of analytic hierarchy process in evaluation of comprehensive strength [J]. *Statistics and Decision*, 1997 (10): 9–10.
- [11] 金志农, 李端妹, 金莹, 等. 地方科研机构绩效考核指标及其权重计算——基于专家分析法和层次分析法的对比研究 [J]. *科技管理研究*, 2009, 29(12): 103–106.
- Jin Z N, Li D M, Jin Y, et al. Index and weight calculation of performance evaluation of local research institutions – A comparative study based on expert analysis and analytic hierarchy process [J]. *Science and Technology Management Research*, 2009, 29(12): 103–106.
- [12] 阳玉香. 低碳经济评价指标体系的构建及实证 [J]. *统计与决策*, 2012 (16): 63–66.
- Yang Y X. Construction and demonstration of low carbon economy evaluation index system [J]. *Statistics and Decision*, 2012 (16): 63–66.
- [13] 刘惠萍, 宋艳. 启动全国碳排放权交易市场的难点与对策研究 [J]. *经济纵横*, 2017 (1): 40–45.
- Liu H P, Song Y. Difficulties and countermeasures of starting the nationwide carbon emissions trading market [J]. *Economic Review*, 2017 (1): 40–45.
- [14] 张勇, 蒲勇健, 史乐峰. 电动汽车充电基础设施建设与政府策略分析 [J]. *中国软科学*, 2014 (6): 167–181.
- Zhang Y, Pu Y J, Shi L F. Analysis on electric vehicle charging infrastructure and government strategy [J]. *China Soft Science*, 2014 (6): 167–181.
- [15] 鲍健强, 欧万彬, 叶瑞克. 电动汽车与智能电网: 两大战略性新兴产业的交互 [J]. *科技管理研究*, 2011, 31(22): 24–28.
- Bao J Q, Ou W B, Ye R K. Electric vehicles and smart grid: The interaction of two new strategic industries [J]. *Science and Technology Management Research*, 2011, 31(22): 24–28.
- [16] 郭立珍. 我国低碳消费文化建设路径探析 [J]. *现代经济探讨*, 2011 (8): 42–45.
- Guo L Z. Research on the path of low carbon consumption culture construction in China [J]. *Modern Economic Research*, 2011 (8): 42–45.