

中国车用能源需求和关键材料资源可获性分析

彭天铎^{1,2,3}, 袁志逸^{1,2,3}, 袁杰辉^{1,2,3}, 朱旭峰⁴, 欧训民^{1,2,3}

(1. 清华大学现代管理研究中心, 北京 100084; 2. 清华大学能源环境经济研究所, 北京 100084;
3. 清华大学中国车用能源研究中心, 北京 100084; 4. 清华大学公共管理学院, 北京 100084)

摘要: 随着中国汽车产销量和保有量的迅速增长, 车用能源和资源成为汽车强国战略中的一个重要问题。本研究基于清华大学中国车用能源研究中心所开发的中国汽车保有量预测模型, 对未来汽车规模进行预测, 对车用能源和资源的利用现状、技术发展水平、发展趋势等进行研究, 并提出相应政策建议。研究结果表明, 中国汽车保有量将持续增长, 车用燃料供需矛盾将进一步凸显, 汽车材料所需矿产资源储备、产品性能和技术水平有待提升。建议出台相关政策, 提前布局, 积极应对未来汽车工业面临的能源和资源方面的挑战。

关键词: 汽车保有量; 车用能源; 矿产资源; 发展对策

中图分类号: X24; X37 **文献标识码:** A

Analysis on Vehicle Energy Demand and Key Mineral Resource Availability for Vehicle Production in China

Peng Tianduo^{1,2,3}, Yuan Zhiyi^{1,2,3}, Yuan Jiehui^{1,2,3}, Zhu Xufeng⁴, Ou Xunmin^{1,2,3}

(1. Research Center for Contemporary Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. China Automotive Energy Research Center of Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: With the rapid growth in vehicle production, sales, and ownership, vehicle energy and key mineral resources for vehicle manufacture have become an important issue in China. This study predicts future vehicle ownership and analyzes the current situation in terms of utilization, technical development level, and development trend of vehicle energy and key mineral resources in China, by employing the Chinese vehicle ownership prediction model developed by the China Automotive Energy Research Center of Tsinghua University. The results indicate that China's vehicle ownership will continue to grow and the contradiction between the supply and demand of vehicle energy will be further highlighted. The mineral resource reserves, product performance, and technological level of vehicle materials in China need to be improved. Relevant policies are suggested to cope with the aforementioned challenges.

Keywords: vehicle ownership; vehicle energy; mineral resources; strategic countermeasures

收稿日期: 2018-01-15; 修回日期: 2018-02-08

通讯作者: 欧训民, 清华大学现代管理研究中心、清华大学能源环境经济研究所、清华大学中国车用能源研究中心, 副教授 / 特别研究员, 研究方向为能源可持续发展战略、车用能源战略、全生命周期分析等; E-mail: ouxm@mail.tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“汽车强国战略研究”(2015-XZ-36); 国家自然科学基金项目(71774095); 中国清洁发展机制基金赠款项目(2014095)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

目前，中国已成为全球汽车市场规模增长最快的地区之一，也成为全球最大的汽车消费国和生产国，车用成品油等能源消耗规模逐年上升，近年呈现出快速增长的态势，车用能源问题已成为中国汽车发展战略、能源发展战略中的一个重要问题 [1]。在汽车生产过程中，关键部件、车体、电池、电机等制造需要消耗大量的矿产资源，以碳钢、镁、铝、锂、稀土、铂等为代表的矿产资源储备、产能、技术水平状况对汽车产业发展的重要性将日益凸显。为了积极应对汽车工业快速发展所面临的能源和资源问题，需要对中国车用能源和资源的利用现状、未来面临的挑战及发展路径等进行综合研究。

二、中国汽车保有量现状和发展趋势

随着经济的快速发展，中国人民生活水平已有了长足的进步，汽车普及率也一路走高，2016年，汽车产销量创历史新高，分别达到2811.9万辆和2802.8万辆，连续8年位居全球第一，汽车保有量达到1.94亿量 [2]，千人汽车保有量达到142辆。如果以人均国内生产总值（人均GDP）作为衡量经济发展水平的指标，从世界各主要国家经济发展水平与汽车保有量的发展走势来看，随着经济发展，汽车普及率的上升是必然趋势。相比于发达国家，中国的人均GDP和汽车普及率均处于较低的水平，家庭轿车（即私家乘用车）尚未大规模普及，千人汽车保有量仅约为1921年美国和1975年日本的水平，随着人均GDP的提高，未来汽车保有量还将有较大的增长空间。

民用汽车可细分为乘用车、大型客运汽车和货运汽车三类。一般来说，一个国家或地区的未来汽车保有量水平与社会经济、人口和城镇化密切相关。历史数据和国际经验表明，乘用车保有量与人均GDP的关系近似呈“S型”曲线的形状，可以采用Gompertz曲线方程进行预测，大型客运汽车和货运汽车的保有量主要和经济总量相关，可采用弹性系数法对中国未来大型客运和货运汽车保有量增长情况进行分析 [3]。

基于以上方法，清华大学中国车用能源研究中心开发了中国汽车保有量预测模型。该模型计算结

果显示，我国民用汽车保有量将持续增长，乘用车保有量到2030年可达到3.8亿~4.2亿辆，2050年达到5亿~6亿辆；大型客运汽车、货运汽车保有量将在2040年分别达到440万辆和3750万辆的峰值水平，继而有所下降，至2050年分别达到430万辆和3680万辆。综合以上预测结果，中国汽车保有量到2030年将达到4.2亿~4.6亿辆，到2050年将达到5.4亿~6.4亿辆（见图1），2030年和2050年的千人汽车保有量分别约为300辆和400辆。

三、中国车用能源消费现状和需求分析

汽车保有量急剧增加引起了车用燃料消耗量的快速增长，并逐步成为石油能源消耗的主体，除少量替代用燃料之外，目前中国车用燃料仍然来自于石油炼制的汽油和柴油。2016年，中国石油表观消费总量约为 5.56×10^8 t，全年汽油消费总量为 1.19×10^8 t、柴油消费总量为 1.63×10^8 t [4]，交通领域石油消费占比接近50%，其中近80%被汽车所消耗。自产石油能力近年来保持在 2×10^8 t左右。车用燃油随着汽车保有量的增长而迅速增长，带动了石油对外依存度持续上升，2016年石油对外依存度达到64.4% [4]。未来中国汽车保有量将进一步提升，车用燃料供需矛盾将进一步凸显。需要多渠道寻找和形成多元化的车用能源供应方式，降低汽车对汽柴油的依赖程度，保障石油安全。

（一）不考虑新能源汽车大规模发展和燃料替代的 车用成品油需求预测

如果不考虑新能源汽车大规模发展和燃料替

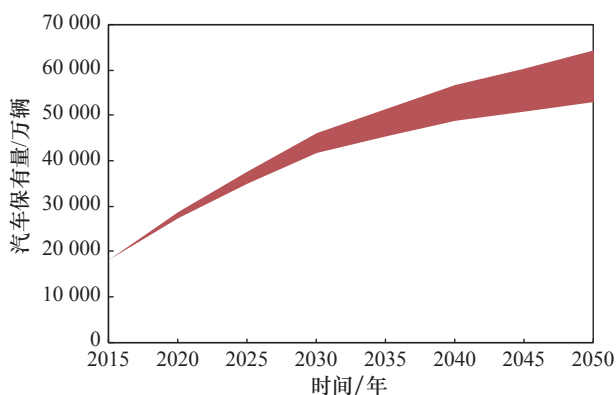


图1 我国汽车保有量预测（2015—2050）

注：带状图表示汽车保有量预测范围。由于未来经济、人口和城镇化率等驱动因素的不确定性，未来汽车保有量的预测存在一定变动范围。

代的作用, 假设未来汽车技术仍以传统内燃机动力为主、电动化率并无显著提升, 那么即使考虑汽车燃油经济性水平持续改善、乘用车使用强度降低、继续优化公共客运和大力改进货运车队管理等影响因素, 短期来看, 中国车用成品油需求量仍呈持续增长的趋势。未来道路交通中乘用车保有量的增长是汽油消费量增长的主要驱动力。2020 年汽油消费将达到 $1.88 \times 10^8 \sim 1.98 \times 10^8$ toe (tons of oil equivalent, 吨油当量), 预计在 2030 年左右达到峰值 $2.35 \times 10^8 \sim 2.60 \times 10^8$ toe, 在运输结构优化、强度降低及能效提高等共同作用下, 2050 年可降至 $1.86 \times 10^8 \sim 2.27 \times 10^8$ toe。目前柴油主要消费在道路营运客车和货运中, 其需求与经济转型和产业结构调整之间关系密切。按当前的发展情况来看, 增加的货运周转量所带来的柴油消费增加, 可被能效提高所补偿, 未来柴油的消费量增速放缓, 2020 年达到 $1.62 \times 10^8 \sim 1.70 \times 10^8$ toe, 预计 2030 年前后达到峰值 $1.60 \times 10^8 \sim 1.77 \times 10^8$ toe, 2050 年可降至 $1.32 \times 10^8 \sim 1.62 \times 10^8$ toe。综合以上预测结果, 2020 年、2030 年、2050 年中国车用成品油需求分别达到 $3.50 \times 10^8 \sim 3.68 \times 10^8$ toe、 $3.95 \times 10^8 \sim 4.37 \times 10^8$ toe、 $3.18 \times 10^8 \sim 3.89 \times 10^8$ toe。

(二) 新能源汽车的发展和燃料替代对车用成品油替代效果

新能源汽车使用电机驱动, 能量转化效率高, 能够有效降低石油资源消耗量, 是实现燃料替代、节约能源的有效途径。在政策的大力推动下, 中国新能源汽车发展形势喜人, 2016 年年销量已突破 50 万辆, 居世界第一位 [5], 根据《节能与新能源汽车产业发展规划 (2012—2020)》, 力争到 2020 年新能源汽车累积产销量达到 500 万辆 [6]。随着新能源汽车技术进步、成本下降及基础设施的不断完善, 新能

源汽车市场份额将快速增长, 电动汽车将逐步替代部分乘用车和大型客车, 燃料电池汽车将逐步替代部分乘用车和部分大型客运和货运汽车。如果新能源汽车得到大力发展, 根据模型测算结果, 2020 年、2030 年、2050 年将可分别替代成品油 9.33×10^6 toe、 5.71×10^7 toe、 1.87×10^8 toe 左右。新能源汽车大力发展时的占比, 如表 1 所示。

发展天然气汽车, 对改善目前交通部门的能源结构、实现汽车燃料结构的多样化、低碳化转型有着重要意义, 《节能与新能源汽车技术路线图》重点提出了适度推动以天然气为主的替代燃料商用车稳定发展 [7]。2015 年, 中国天然气汽车保有量约为 500 万辆, 位居世界第一, 替代了约 1.5×10^7 t 汽油和 8×10^6 t 柴油的消费 [4]。随着国家对天然气汽车的逐步重视, 未来天然气汽车的成品油替代作用将愈加显著。在这种情景下, 预测 2020 年减少成品油消费量 4.4×10^7 toe 左右; 2030 年之后, 受新能源汽车、其他液体燃料等发展的影响, 天然气汽车增长速度减缓, 2050 年其替代成品油消费量预计为 4.3×10^7 toe 左右。

其他液体燃料如燃料乙醇、生物柴油等生物燃料, 燃料甲醇、煤制油等煤基燃料具有明显的石油替代效应, 能够降低车用燃料对石油的依赖。2015 年, 液体燃料替代成品油约 8.45×10^6 t [4], 随着替代燃料的使用范围不断拓宽, 根据我国能源结构、国家相关能源发展规划及鼓励政策, 结合各种替代燃料的发展态势, 近中期生物燃料、煤制油等将获得进一步推广, 液体燃料使用量保持上升的趋势不变。远期来看, 受技术、原料以及新能源汽车发展的影响, 其消耗量增长趋势变缓, 2050 年预计可替代成品油约 3.3×10^7 t。大力发展燃料替代与新能源汽车对汽车成品油需求削减量的贡献情况, 如图 2 所示。

表 1 新能源汽车大力发展时的占比

年份	乘用车		货运汽车		客运汽车		%
	EV	FCV	EV	FCV	EV	FCV	
2010	0	0	0	0	0	0	
2020	2	0	0	0	20	0	
2030	16	0	0	1	45	1	
2040	33	3	0	13	50	13	
2050	52	5	0	32	55	32	

注: EV 为电动汽车, FCV 为燃料电池汽车。

四、中国车用矿产资源利用形势和发展趋势

(一) 车用钢材供应充足，高强度钢前景乐观

未来一段时期内，钢材仍将是中国汽车车体制造、零部件制造等方面的主要原材料。在汽车行业中，钢材材料在所有同类用途材料的使用率占比仍将保持在60%~70%，就目前产能而言，车用钢材供应充足。随着汽车轻量化趋势的到来，高强度钢材料也将成为汽车行业采用的主要材料，当前中国高强度钢在汽车制造中的总体应用比例保持在50%左右，尽管应用比例与国外差别不大，但用钢的强度级别与国外仍有一定差距，尤其是超高强度钢用量很少[7]。随着国内对高强度钢需求的提高，相关厂商正加大研发力度，努力提升技术水平和产品性能，未来车用高强度钢的应用比例和强度级别将逐步提升。

(二) 车用镁资源量较低，产品性能有待提升

镁合金铸件是汽车轻量化的一种关键材料。发达国家平均每辆汽车使用的镁合金约为10 kg，而中国平均不到1.5 kg[7]。根据技术路线图，中国单车平均用镁量在2020年、2025年、2030年分别达到15 kg、25 kg、45 kg，结合汽车产销规模，预计当年在汽车产业上的镁合金总量将分别达到 4.5×10^5 t、 8.8×10^5 t、 1.71×10^6 t。中国镁合金加工产品在尺寸精度、内在质量及性能稳定性方面相比国外仍有较大差距，性能仍有待提升。

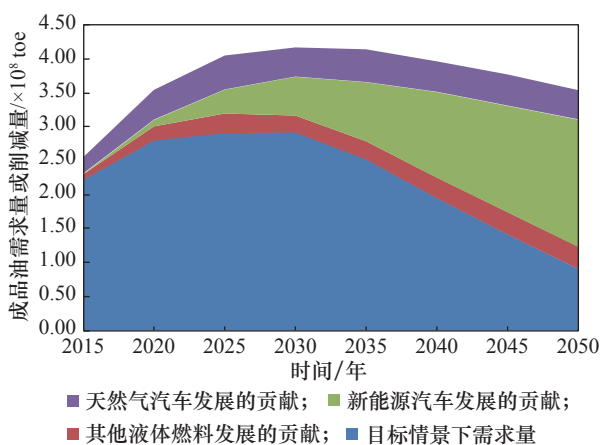


图2 大力发展燃料替代与新能源汽车对汽车成品油需求削减量的贡献

注：目标情景量即考虑新能源汽车的发展和燃料替代的效果后的成品油消费量。

(三) 铝资源对外依存度高，面临多种挑战

铝合金是实现汽车轻量化的重要途径。铝是中国大宗紧缺矿种之一，截至2015年年底，查明储量 4.71×10^9 t，仅居世界第7位，对外依存度超过40% [8]，进口比例过大导致我国铝制品有关行业易受出口国政策影响。中国是铝生产和消费大国，近年来铝材的产量呈稳定上升态势，但与发达国家相比，平均每辆汽车的用铝量为105 kg，较之于发达国家140~150 kg的水平仍有不小差距，预计到2030年将超过350 kg [7]。此外，当前国内铝行业能耗较高、排放较大、污染严重，铝合金零部件技术性能有待提升，未来车用铝合金的应用面临许多挑战。

(四) 锂资源供应不足，短期约束明显

锂离子电池的正极材料由锂的氧化物制造而成，电池能量密度高、寿命周期长，是电动汽车动力电池的核心材料。2015年中国锂资源已探明储量约 5.1×10^6 t，位列全球第5位，但盐湖型储量超过80%，开采加工难度大，长期以来年开采量只占世界总量的5%，关键锂材料和产品依赖国外进口[5]。随着新能源汽车产业的兴起，锂资源下游需求将大幅增长，而上游锂矿开发却受制于资源、技术等因素，短期内无法快速扩产来扩大供给，锂产业亟待突破。

(五) 稀土储量丰富，供应能力充足

稀土是混合动力车和电动车所采用的电机和电池的关键原料，在新能源汽车制造过程中的作用无可替代。中国是世界稀土资源储量大国，2015年总储量约 5.5×10^7 t（以稀土氧化物REO计），占世界总储量的44%，且具有矿种和稀土元素齐全、品位高及矿点分布合理等优势[5]，就目前产能而言，完全可以满足新能源汽车未来的发展目标。按照稀土行业“十三五”规划，未来合理开发、有序生产、高效利用、科技创新、协同发展的稀土行业新格局形成后，将为新能源汽车产业的发展提供有力支撑[9]。

(六) 铂资源紧缺，长期制约凸显

铂族金属主要应用于燃料电池和催化式排气净化器，是汽车产品中最昂贵的材料之一。中国是世

界第一大铂消费国,需求逐年增长,2013 年消费量达 73.1 t,而中国每年铂族金属矿产量只有 2~3 t,远远不能满足国内需求,除再生资源回收外,进口成为满足铂族金属需求的主要途径 [10]。铂资源的匮乏和昂贵成本直接制约了燃料电池的大规模商业化应用,随着中国汽车规模的不断扩大,铂使用量将不断增加,铂资源对外依赖程度将进一步提升。

五、政策建议

(一) 明确技术路线图,区分近中期和远期战略发展重点,分阶段、多元化推进不同汽车技术路线

坚持发展电动汽车,兼顾高效发动机、混合动力汽车、替代燃料汽车、氢能和燃料电池方面的技术。同时,注重对技术交叉融合创新的引导,加强新能源汽车与可再生能源、智能电网、智能交通、智能互联网的联动和融合发展,进行较为系统性的政策设计。

(二) 加强新能源汽车基础设施建设,做好顶层规划,完善政策支持体系

新能源汽车发展与新型城镇化建设、智能电网建设、交通枢纽规划、区域经济规划、通信网络等互相融合。加快充电基础设施建设,鼓励中石化、中石油等油气供应企业和社会资本进入充电基础设施建设与服务领域。加大充电基础设施建设财政补贴力度。

(三) 着力进行轻量化材料制造领域产业升级,加大自主创新,提高产品性能

加快建立自主研发体系,采用产学研合作的模式,加快开发新型的适合汽车轻量化需求的新产品。着力降低高强度钢、铝合金和镁合金的生产制造过程中的污染物排放强度,提高产品应用的安全性,降低单位产品的生产成本。

(四) 促进矿产资源的合理开发和有效利用,优化相关矿产资源使用结构,最大限度发挥我国矿产资源的经济和环境效益

“开源”与“节流”相结合,科学规划国内资

源开发利用,积极开发利用境外矿产资源,开展国际合作。以“一带一路”为发展契机,深入推进矿业合作,加大合作勘查、矿业投资,充分发挥沿路各方互补优势和合作潜力,促进矿产资源的开发利用,实现互利共赢。建立战略矿产储存制度,保证汽车行业长远平稳发展。加大科技攻关,降低技术成本,开发车用替代性材料,减少单车稀缺矿产品种的使用量。

参考文献

- [1] Lyu C J, Ou X M, Zhang X L. China automotive energy consumption and greenhouse gas emission outlook to 2050 [J]. *Mitigation and Adaption Strategy for Global Change*, 2015, 20(5): 627-650.
- [2] 中国汽车工业协会. 2016 中国汽车工业统计 [EB/OL]. (2017-05-10) [2017-11-25]. <http://www.caam.org.cn/data>. China Association of Automobile Manufacturers. China automobile statistics 2016 [EB/OL]. (2017-05-10) [2017-11-25]. <http://www.caam.org.cn/data>.
- [3] Wu T, Zhang M B, Ou X M. Analysis of future vehicle energy demand in china based on a Gompertz function method and computable general equilibrium model [J]. *Energies*, 2014, 7(11): 7454-7482.
- [4] 刘朝全, 姜学峰. 2016 国内外油气行业发展报告 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2017. Liu C Q, Jiang X F. Domestic and foreign oil and gas industry development annual report 2016 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.
- [5] 中国电动汽车百人会. 中国电动汽车百人会 2017 年度报告 [R]. 北京: 中国电动汽车百人会, 2017. China EV 100. China EV 100 annual research report [R]. Beijing: China EV 100, 2017.
- [6] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)的通知 [EB/OL]. (2012-07-09) [2017-11-28]. http://www.gov.cn/zwjk/2012-07/09/content_2179032.htm. State Council of the PRC. Development plan of energy efficient and new energy vehicles (2012—2020) issued by State Council of the PRC [EB/OL]. (2012-07-09) [2017-11-28]. http://www.gov.cn/zwjk/2012-07/09/content_2179032.htm.
- [7] 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016. Society of Automotive Engineering of China. Technology roadmap for energy saving and new energy vehicles [M]. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [8] 中国地质调查局. 中国地质调查百项成果 [M]. 北京: 地质出版社, 2016. China Geological Survey. Hundred achievements of geological survey in China [M]. Beijing: Geological Press, 2016.
- [9] 中华人民共和国工业和信息化部. 《稀土行业发展规划(2016—2020 年)》正式发布 [EB/OL]. (2016-10-18) [2017-12-05]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5288767/content.html>. Ministry of Industry and Information Technology of the PRC. De-

velopment plan of rare earth industries (2016 — 2020) officially released. (2016-10-18) [2017-12-05]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5288767/content.html>.

[10] 梁海峰, 李颖. 世界铂资源形势及中国铂资源保障研究 [J]. 地

质评论, 2015, 619(z1): 899–901.

Liang H F, Li Y. World platinum resources situation and China platinum resource protection research [J]. Geological Review, 2015, 619(z1): 899–901.