

个人乘用车用可替代燃料与我国未来的选择

刘灿,周开壹*,方涵潇

(湖南省交通科学研究院有限公司,长沙 410015)

【摘要】个人乘用车排放量占道路运输二氧化碳(CO₂)排放量的三分之一。因此,逐步实现其燃料由传统石化燃料汽柴油向新能源转变是交通运输行业低碳减排和绿色发展的重要抓手之一。本文对当前可供个人乘用车使用的4大类新能源即生物燃油、燃料乙醇、氢和电的属性,特别是其CO₂减排效果和使用成本进行了分析和对比,并对新能源加注(充电)设施在欧盟和美国的布局战略和实施成果进行了介绍。结合欧美的实践和中国的实际,本文提出了未来个人乘用车用可替代燃油布局的建设,建议我国直接从传统石化汽油跨越至氢和/或电,并将其作为未来个人乘用车的燃料。

【关键词】绿色发展;可替代燃料;综述;个人乘用车;新能源车辆

中图分类号:X22

文献标识码:A

文章编号:1673-288X(2021)01-0084-06

DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202101084

1 个人乘用车采用新能源对交通运输节能减排的意义

全球气候变化是当前威胁整个人类可持续发展的最大环境问题^[1]。空气中日渐增高的温室气体(GHGs, Greenhouse gases)浓度与当前因全球平均气温上升而造成的气候变化有紧密联系。虽然GHGs有多种,但二氧化碳(CO₂)所占的量是最多的,且与人类的活动存在紧密联系。最近5年其在空气中浓度上涨幅度高达3.06%。

世界范围内,交通运输行业是CO₂排放的主要源头行业之一。2016年交通运输行业占世界原油总消费的57.8%,天然气总消费的7.1%,占当年全球CO₂总排放量的24.4%^[2]。2017年美国交通运输行业所排放的GHGs占总排放量的28.7%,排各行业第1,其中个人乘用车(PCs, passenger cars)占交通运输行业所排放的GHGs的41.3%^[3];2016年欧盟EU-28交通运输行业所排放的GHGs占总排放的24%,与1990年相比,仅该行业呈上升趋势,且上升幅度达到60%。因此,交通运输行业对当前空气中不断上升的

CO₂浓度和全球气候变化有直接的影响。

根据2018年国际能源署(IEA, International Energy Agency)出版的《Key World Energy Statistics》,在整个交通运输行业中,2016年能耗排名第一的是道路交通,占整个行业能耗的74.4%;其次是航空业,占11.6%;第三是水路运输,占10.7%;其他运输占3.3%^[4]。作者根据《中国能源统计年鉴2017》数据分析,我国“交通运输行业”(包括仓储和邮政)能源消费仅占全国能源消费的9.1%^[5],低于欧美;但是石油类能源占本行业的92.47%,与美国接近,并且主要用于道路运输的汽油和柴油占本行业能源消费的80%。因此,中国、美国的交通运输行业中CO₂排放的绝对主力均为道路运输,交通运输行业的绿色化发展应该以降低道路运输能耗,切实减少其对化石燃料的依赖和减少CO₂排放为主要抓手。

进一步分析美国道路运输能源消费的组成部分发现:PCs占道路交通能源消费比重为33.1%。而在中国的石油消费中,交通运输占其50%左右,其中又以汽油、柴油为交通运输能耗的绝对主

基金项目:湖南省交通科技项目(201455);隧道运营节能控制技术推广应用

作者简介:刘灿,硕士,助理研究员,主要从事交通运输的环境保护和节能减排工作

通讯作者:周开壹,博士,副研究员,主要从事交通运输节能减排工作

力,PCs 的汽油消费就占全国汽油消费总量的 57%,占全国总石油类燃油消费的 11%^[6]。有研究表明,PCs 所排放的温室气体中,CO₂ 的比例高达 95%^[7-8]。因此,交通运输行业的绿色发展应该以降低道路运输能耗,切实减少其对化石燃料的依赖和减少 CO₂ 排放为主要抓手,其核心任务就是降低 PCs 的能耗、减少对化石燃油的依赖和减少 CO₂ 排放。而可替代燃料(AFs, alternative fuels)是“未来逐步替代传统汽油、柴油以实现交通运输低碳减排重任的最终选择”^[10]。

2 当前可供交通运输使用的可替代燃料

周开壹^[9]的研究显示,在美国实际上真正有一定使用量的 AFs 并不多,主要包括以下 8 种:压缩天然气(CNG, compressed natural gas)、液化天然气(LNG, liquefied natural gas)、液化石油气(LPG, liquefied petroleum gas)、85% 乙醇(Ethanol, 85%)、100% 乙醇(Ethanol-neat)、生物柴油(Bio-diesel)、电力(Electricity)、氢(Hydrogen)。

理论上讲,AFs 适用于交通运输的各种模式和各种运距,但实际应用中特定的 AFs 一般只在经济上适用于某种交通运输模式和特定运距。根据 SHELL 公司、Le Fevre et al(2014)^[10]、美国加利福尼亚能源局(California Energy Commission)和欧盟委员会(2015)^[8]的调研,LNG 主要使用者是重型车辆^①和船舶;而美国能源部(US DoE, Department of Energy)的《Clean Cities 2016 Vehicle Buyer's Guide》推荐大型“皮卡”和中小型货车(短途货运车辆)用 LPG 和 CNG 替代当前的石化燃油。因此,当前适用于个人乘用车的经济性、低碳性都可接受的 AFs 是:(1)生物柴油;(2)燃料乙醇;(3)氢和(4)电。其中,生物柴油可在不需要对车辆进行任何改装的情况下用于任何 2001 年后生产的符合欧盟标准的普通柴油发动机;而生物汽油虽适用于汽油车辆,但需对发动机控制系统进行改装;而氢和电则是采用电机驱动

车辆而非传统汽车的内燃机驱动。

3 个人乘用车可替代燃料的 CO₂ 减排效果和经济性分析

3.1 生物燃油(biofuels)——生物柴油和生物汽油(燃料乙醇)

3.1.1 减排分析

根据美国阿贡国家实验室(Argonne National Laboratory)的研究,采用全生命周期方法(WTW, Well to Wheel^②)计算得出使用纯生物柴油(B100)的柴油发动机,其温室气体排放比使用传统柴油减少 74%。而根据欧盟(2015),纯生物柴油的 CO₂ 排放约为传统石化柴油的 29%~70%;纯生物汽油的这一比例是 5%~90%。

3.1.2 燃料价格和基础设施建设成本

表 1 为美国 2019 年 1 月份普通汽柴油和生物燃油的实际平均零售价格比较和将生物燃油换算成汽油后的价格比较^[11],以及氢和电换算后与汽油(E10)的价格比较。

表 1 AFs 的零售价格(物理单位)与换算成定量汽油价格的比较

AFs 类别	价格/(美元/加仑)		价格/(美元/GGE)	
柴油	2.98		2.65	
纯生物柴油(B100)	3.57	+19.80%	3.50	+32.08%
生物柴油(B20)	2.80	-6.04%	2.52	-4.91%
汽油(E10)	2.27		2.27	
生物汽油(E85)	1.99	-12.33%	2.59	+14.10%
氢	—	—	15.2	+570%
电	—	—	3.161	+39%

来源:美国能源部 US DoE,2019。

说明:GGE:Gasoline Gallon Equivalent。电:美国能源部 US DoE,2019;2019 年 1 月,用于交通运输电价每 kW·h 为 0.098 美元(EIA electric power monthly)。1kW·h 电=0.031GGE(<https://epact.energy.gov/fuel-conversion-factors>)。

在美国,建设生物燃油加注基础设施所需的装备、施工方法和适用的法律都与建设传统汽油、

①在此“重型车辆”是指美国第 8 类车辆(Class 8 Vehicles),全车重量在 15 吨(3 万 3 千磅)以上。

②Well-to-Wheel,从油井到车轮,指从燃油的开采到最终通过内燃机或电机做功到车轮的全过程。

柴油加注基础设施相同。据测算,如果将美国全国传统汽油、柴油使用量的 1/3 替换成生物燃油,对加注基础设施建设的投资约为 200 亿~400 亿美元(包括必要的转运基础设施建设)。

3.2 氢

3.2.1 减排分析

在行驶过程中,使用氢燃料电池的车辆(Hydrogen Fuel Cell Vehicle, HFCV)不排放任何温室气体。氢作为车辆燃料时只在其生产期间排放 CO₂,并且因为生产方法的不同,其 CO₂ 排放的强度有巨大的差别。通过对不同制氢方法的 CO₂ 排放值与传统汽柴油排放值进行比较,可知其排放值从最低的风电仅 7gCO₂eq/km 直到最高的煤气化 128gCO₂eq/km。这反映了两个事实:第一,欧洲和美国对于汽车使用氢燃料的 CO₂ 减排量因为研究方法和生产燃料的不同有差别。在欧洲,“天然气热气法制氢”的排放是 62gCO₂eq/km,而美国使用“分布式天然制氢”的排放高达 124gCO₂eq/km,但没有标明具体制氢方法。第二,HFCV 的 CO₂ 减排效果非常明显,高于生物燃油,当采用风电并通过电解法制氢时其 CO₂ 排放量仅为传统汽油、柴油的 4%和 5%。

3.2.2 燃料价格和基础设施建设成本

用 GGE(Gasoline Gallon Equivalent)计算,氢的价格比 E10 汽油价格高 5 倍。氢加注基础设施的建设成本因加注设施的加注能力、运输的方式(气态或液态)以及生产所采用的工艺存在巨大的差别^[12]。当前氢加注站的建设成本均在 100 万美元以上,最高的接近 1000 万美元。并且生产加注一体站的建设成本比工厂集成生产然后运输的成本要高一些。

据测算,如果将美国全国传统汽、柴油使用量的 1/3 替换成氢燃料,需要对加注基础设施建设的投资约为 2750 亿~4300 亿美元。

3.3 电

3.3.1 减排分析

与 HFCV 相同,纯电动汽车(EV, Electric Vehicle)在行驶过程中不排放任何的温室气体和其他空气污染物。但是,因所使用电力的生产方

式不同,EV 全寿命周期所排放的 CO₂ 差别巨大。EV 的平均 CO₂ 排放水平是传统汽油车的 53%,但如果电力的来源是燃煤发电,那么 EV 的 CO₂ 排放水平甚至超过传统柴油车的排放水平。若电力来自光伏或是风力发电,EV 的排放为零。

3.3.2 燃料价格和基础设施建设成本

电的 GGE 价格比 E10 汽油高 39%。与生物燃油和氢的集中式加注站不同,充电设施还有家庭式的充电桩。在美国,建设一个家庭 Level 2 等级的充电桩成本为 1200 美元,而公共充电站的成本约为每充电端口 5500 美元。价格最高的 Tesla 4 车位常规超级充电站(Supercharger Station)的平均建设成本则为 27 万美元(官方给出的建设成本是常规版本为 15 万美元,附加太阳能充电系统的为 30 万美元)。与氢加注站不同,充电站的建设成本与其充电能力关系不大。据测算,如果全美 1/3 车辆使用电力,需要对充电设施建设投资约 700 亿~1300 亿美元。

3.4 综合比较

AFs 与传统石化汽油、柴油 CO₂ 排放的比较分别见图 1 和图 2; AFs 的价格,依据热量单位和物理单位进行的比较分析分别见图 3 和图 4。对于使用传统柴油的 PCs,从减排能力、燃油使用成本和加注基础设施建设的成本角度,使用由“地沟油”(废弃油脂)生产的生物柴油是当前绿色化性价比最高的选择;而对于使用汽油的 PCs,当前还不存在类似于“地沟油”生物柴油这样极具性价比的直接可替代方案。在未来,无论是使用氢还是电作为普通 PCs 的燃料,从低碳减排的角度来看,最优的方法是通过风能/光伏发电制氢或是直接生产电力。

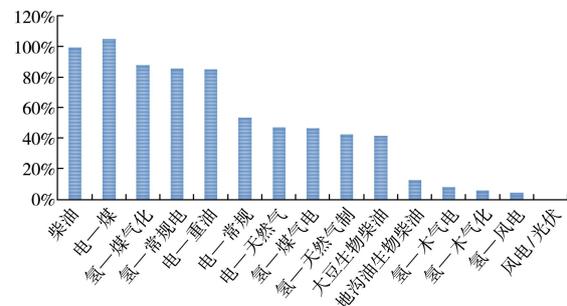


图 1 可替代燃油 CO₂ 排放水平 (与石化柴油比较)

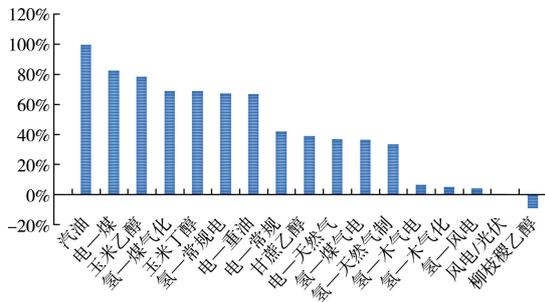


图2 可替代燃油 CO₂ 排放水平 (与石化汽油比较)

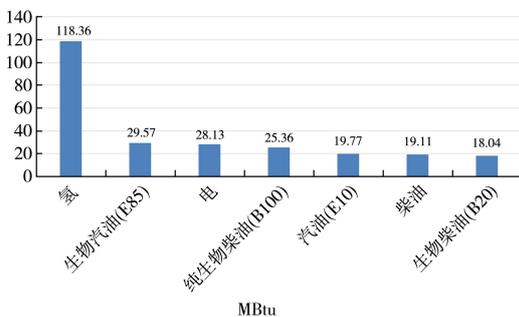


图3 AFs 的价格 (热量单位, 2016 美元/MBtu)

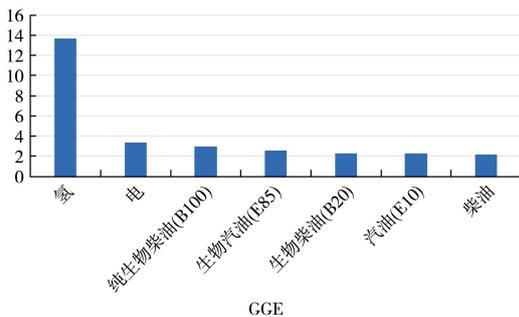


图4 AFs 的价格 (物理单位, 2016 美元/GGE)

4 欧盟和美国的可替代燃料加注基础设施布局策略和建设成绩

4.1 欧洲的布局和加注设施建设成绩

截至2019年7月,欧盟EU-28国家有充电桩170149个,其中快充桩(>22kW)27245个,排名前5位的国家荷兰、德国、法国、英国和挪威的充电桩数量占欧盟EU-28总数的74.21%;有加氢站274座,其中于2019年新建的加氢站为123座,出现了井喷式的发展;有E85生物汽油加注站3834座,分布于11个国家,其中瑞典

有1700座^[13]③。

4.2 美国普通个人乘用车可替代燃油加注基础设施建设成绩

截至2019年5月30日,美国全国建成的可用于PCs的AFs加注基础设施见表2^[14]。

表2 美国已建成的可用于普通PCs的AFs加注基础设施数量和分布

可替代燃油名称(Afs)	加注站/点数量			分布的州
	公用	私人	总计	
生物柴油(Biodiesel)	215	474	689	48/50
天然气(CNG)	908	673	1581	48/50
生物汽油(E85)	3406	314	3720	46/50
电	21613	3005	24618	50/50
氢	46	17	63	12/50
液化天然气(LNG)	66	55	121	31/50
液化石油气(LPG)	3019	266	3285	50/50

注:美国共50个州。数据来源于US DoE, <http://www.afdc.energy.gov>,经作者分析整理得出本表数据。

5 欧美可替代燃油加注基础设施布局分析和中国未来的选择

2013年,生物汽油占欧盟所有成员国总汽油用量的3.42%,生物柴油占5.37%,两者共占交通运输燃料消耗的4.80%。2011年美国交通运输行业生物燃油的消费占其全部传统石化汽油、柴油消费总量的5.64%^④。2015年该值上升到7.78%^[15],而2012年全美生物燃油消费占全世界生物燃油消费的47.01%。根据欧盟委员会(2016)和美国能源部(US DoE)的数据,2012年我国生物燃油占“交通运输、仓储和邮政”大领域中传统石化汽油、柴油消费总量的1.9%(其中汽油占比5.3%),占全世界生物燃油消费的3.20%(其中汽油占比3.00%)^[13,16]。最新数据表明,2017年我国可再生液体燃料消费只有300万吨,不到全国成品油消费的1%^[5]。

③本段数据根据 <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/hydrogen/filling-stations-stats> 的原始数据由作者综合而成。

④原始数据来源于US Transport Statistics 2015, Table 4—10, 包括E85, B100和Ethanol in gasohol。

数据表明:我国交通运输行业 AFs 的使用与欧洲和美国差距明显。首先是我国 AFs 消费的总量较小,其次是在交通运输行业能源消费的比重过低。欧美之所以能够将 AFs 在交通运输行业的使用率提升至 5% 甚至以上是由于其执行从燃油加注基础设施建设开始的推广政策,而非我国首先从车辆的推广着手。近年来我国正在实施车辆推广与能源加注站共同发展的系列政策。2018 年,我国新能源汽车销售 125.6 万辆,同比增长 61.7%;新能源汽车保有量大约 300 万辆,保有量占全球的 50% 以上。充电基础设施建设规模持续高速增长,截至 2018 年 12 月底,公共充电桩保有数量 33.1 万个,私人充电桩数量 47.7 万个,规模持续保持世界首位^[17]。根据《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020 年)》,到 2020 年,我国将新增集中式充换电站超过 1.2 万座,分散式充电桩超过 480 万个,满足全国 500 万辆电动汽车充电需求^[18]。2018 年我国充电基础设施建设增速有所放缓,充电行业的发展已由初期的“跑马圈地”“超前投建”,逐渐调整为目前的“切合需求”“合理超前”的模式。因此,为促进交通运输行业绿色发展,实现生态文明,必须进一步加强 AFs 加注基础设施的大规模建设。

欧美国家个人乘用车中柴油车占较大的比例,而我国所占比例则很小。因此,未来可以不用考虑在该领域使用生物柴油。我国目前生物汽油在“交通运输、仓储和邮政”的大领域占传统石化汽油总消费的 5.3%,但美国生物汽油从 2006 年至 2010 年飞速增长过后,2013 年至 2015 年的增长不明显,3 年间增长幅度仅 5.5%^[19],增速明显放缓;而欧盟 EU-28 在经过 2012 年和 2013 年生物汽油消费量的下降后,从 2014 年开始就没有回升而是保持稳定。虽然没有最近几年美国和欧洲交通运输行业的用电量数据,但美国道路交通运输能源加注设施中充电桩/站数量从 2011 年开始出现爆发式增长,从 2014 年开始纯电动汽车的销量在美国和欧洲均稳步增长。与此同时,欧盟 EU-28 国家的氢加注站在 2019 年呈井喷式增长。这些现象均表明,电力和氢取

代其他各种可替代能源并成为未来乘用车主要能源是一个必然趋势。

6 总结

根据上述对欧盟和美国的 AFs 加注基础设施布局策略分析和对我国新能源在车辆中的实际应用情况研究,建议我国跳过欧美国家走过的“传统石化汽油→可再生能源(生物燃油)→可替代能源(电、氢)”路线,直接从传统石化汽油跨越至氢和/或电,将其作为未来个人乘用车的燃料。

虽然氢或电能源的车辆在使用过程中不排放任何的温室气体,但是如果生产 AFs 使用的能源是煤,减排效应将非常不明显。电解法制氢是氢燃料生产的一个重要方法,不论我国最终选择氢或是电作为 PCs 的替代能源,都应该将新能源发电,特别是太阳能光伏发电与 AFs 加注基础设施相融合,以实现道路交通运输低碳发展,助力我国实现 2030 年碳达峰和 2060 年前碳中和愿景。

参考文献:

- [1] <https://www.theguardian.com/business/2016/jan/14/climate-change-disaster-is-biggest-threat-to-global-economy-in-2016-say-experts>, and <http://edition.cnn.com/2015/01/21/us/climate-change-us-obama/>.
- [2] International Energy Agency(IEA). Key World Energy Statistics [R]. 2017.
- [3] International Energy Agency(IEA). CO₂ emissions from fuel combustion 2018 overview [R]. 2018. Retrieved from <https://www.iea.org/statistics/co2emissions/>.
- [4] United States Environmental Protection Agency(USEPA). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2017 [R]. 2019.
- [5] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴(2017) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [6] DAVID F, MARK D L, LU H et al. Key China Energy Statistics 2014 [M]. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2014.
- [7] U.S. EPA. Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle [R]. 2014.
- [8] EC. State of the art on alternative fuels transport systems in the European Union [R]. 2015.
- [9] 周开壹. 美国交通运输能耗统计报表及其数据来源 [J]. 综合运输, 2016, 38(12): 49-58.

- [10] CHRISTOPHER L F, MIKE M, NICK W. LNG in transportation a report published by cedigaz[R].2014.
- [11] U.S.Department of Energy.Clean cities alternative fuel price report[R].2019.
- [12] QIN N, PAUL B, SETHA S. Hydrogen fueling stations infrastructure[R].Sciences Engineering Medicine,2014.
- [13] European alternative fuels observatory[R].<https://www.eafo.eu/>.
- [14] U.S.Department of Energy. Alternative fuels data center[R].2019.Retrieved from <https://afdc.energy.gov/>.
- [15] US EIA.Monthly Energy Review November 2016[R].2016.
- [16] US DoE.Clean cities Alternative fuel price report[R].2016.
- [17] 中国电动汽车充电基础设施促进联盟.2018—2019 年度充电基础设施产业发展报告[R].2019.
- [18] 国家发展改革委,国家能源局,工业和信息化部,住房城乡建设部.电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020年)[R].2015.
- [19] <http://www.afdc.energy.gov/data/10323>.

Alternative fuels for passenger cars and possible options for China

LIU Can, ZHOU Kaiyi^{*}, FANG Hanxiao

(Hunan Communications Research Institute Co., Ltd., Changsha 410015, China)

Abstract: CO₂ emissions from passenger cars account for one-thirds of CO₂ emissions coming from road transportation. Therefore it is crucial to make a change for passenger cars fuels from traditional petrol gasoline and diesel to alternative fuels in order to realize de-carbonization and green development in the entire transportation sector. Through literature review, this paper analyzes and compares the properties, especially the CO₂ emission reduction capacity and the cost performance of alternative fuels for passenger cars such as bio-fuel, ethanol, hydrogen and electricity. This paper also introduces the planned charging and fueling infrastructure deployment strategies of the EU and the US as well as the actual deployment outcomes. By fully understanding those lessons learned and China's current situation, the author made suggestions for properly deploying alternative fuel charging(fueling)infrastructure in the future in China. Furthermore, it is also suggested to move directly from traditional petrol gasoline to hydrogen and/or electricity as the fuel for future passenger cars in China.

Keywords: green development; alternative fuels; review; passenger cars; alternative fuel vehicle