

电动汽车 3E 评价与协调发展探析

艾江鸿¹, 夏德建, 任玉珑

(重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400044)

摘 要:电动汽车相对于传统的燃油汽车而言,具有显著的节能减排效果,其发展已成为各方关注的焦点。本文通过评价电动汽车对经济、能源、环境 3E 体系的影响,揭示了经济、能源、环境三位一体在电动汽车发展中的内在规律与联系,以追求 3E 系统整体效益最大化为原则和目的,提出了电动汽车的 3E 协调发展建议。

关键词:电动汽车;3E 评价;3E 协调

中图分类号:F407.61 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2010)04-0026-08

随着经济的快速发展,能源短缺和能源安全已成为制约经济发展的重要因素。尤其对于我国这样一个石油资源短缺的国家来说,寻找替代能源显得尤为紧迫和重要。据国际能源机构预计,到 2020 年交通用油将占到全球石油总消耗的 62% 以上。2020 年以后,全球石油需求与供给之间将出现净缺口,2050 年的缺口甚至将达 500 亿桶^[1]。与此同时,能源消费带来的环境问题也愈发严重,交通能源造成的大气环境污染所占的份额越来越高,已超过了传统工业污染成为头号污染源。从能源—经济—环境可持续发展战略来看,发展电动汽车产业无疑是解决石油资源稀缺和环境污染的最有效途径^[2]。

当前对电动汽车产业的研究还大多是单方面的从经济或能源或环境的角度去研究,或根据工况数据只研究其中某一方面的某种类型的电动车辆与传统车辆的区别,对三者的系统综合评价研究很少,缺乏宏观协调把握三者之间的内在联系和规律。因此,将经济、能源、环境三者作为一个统一整体进行系统综合评价并给予相关的系统协调建议,对实现电动汽车 3E 系统的协调发展有着重要的现实意义。

1 3E 评价及 3E 协调

3E 评价 (economy-energy-environment evaluation) 是指对产品从原材料的获取、产品的生产、使用直至报废处置过程中产生的经济、能源、环境影响的综合评价,包括经济评价 (economy evaluation)、

能源评价 (energy evaluation) 和环境评价 (environment evaluation)。

3E 评价的最初应用可追溯到 1969 年美国可口可乐公司对不同饮料容器的资源消耗和环境释放所作的特征分析。人类社会的生产生活都要以消耗一定的能源为代价,能源效率的高低不仅代表了产品竞争力的大小与前景,还代表了一个企业、地区乃至国家的经济发展水平,这就产生了相应的经济评价与能源评价,我们常用单位 GDP 能耗,能源密度等评价指标来评价产品的能源效率和经济效率。此外,考虑到产品可能对环境造成一定的外部性,也要开展相应的环境评价,即对能源从开采、运输、加工、转化、分配直至最终使用的全过程产生的包括气体污染、水污染、固体废物污染、噪声污染等在内的各种环境污染评价。

协调指的是系统或系统组成要素之间在发展演化过程中的一种彼此和谐的良性状态。能源、经济、环境三者之间具有较强的相关关系,一个系统内部要素的改变会对其他两个系统产生重要的影响。3E 协调 (3E coordination) 就是一个追求能源、经济、环境系统的相对平衡和动态稳定的过程。

3E 协调系统揭示的是若经济、能源、环境三者中的任何一个发生改变,都会对整体产生影响,如果严重忽视其中的某一项,则会对整体造成严重的不协调。3E 协调的出发点便是从 3E 评价中找出对整个大系统产生不协调的因子 (经济、能源、环境三因子之一或其任意组合),然后调整不协调因子对

收稿日期:2010-02-27

作者简介:艾江鸿 (1968—),男,海南人,重庆大学经济与工商管理学院博士研究生,研究方向:电力经济,能源政策;夏德建 (1984—),男,重庆永川人,重庆大学经济与工商管理学院硕士研究生,研究方向:能源与电力技术经济及管理;任玉珑 (1944—),女,湖南长沙人,重庆大学经济与工商管理学院教授,博士生导师,研究方向:电力经济与政策机制研究。

3E 系统的干扰,使系统重归和谐一致的平衡状态。

2 电动汽车 3E 评价

对于电动汽车的 3E 评价,为了突出其与传统汽车的不同,对二者共同之处的分析从略,如生产阶段都存在的钢材、橡胶等资源消耗及间接的污染排放、车辆报废阶段的处置成本等。

2.1 经济评价

电动汽车经济评价主要是针对电动汽车用户的购车及使用成本较传统的燃油车而作出的经适性效益评价。

目前,电动汽车还处在商业化前期,其购车成本是普通汽车的 2~3 倍,高购买成本是其发展的一大瓶颈。混合动力汽车是当今世界各大厂商重点发展的方向。现今日本在混合动力领域做得最好,其本田思域(Civic)混合动力车的基价为 22600 美元,其最大的本土竞争对手丰田普锐斯(Prius)则为 21500 美元,售价却只比普通车贵约 30%^[3]。本田新开发的新型混合动力汽车 Insight 也已于今年 2 月 6 日在日本上市,售价为 189 万日元(约合 21000 美元)^[4]。国内方面,去年率先在深圳上市的第一款商业化电动汽车比亚迪 F3DM 双模电动汽车的售价为 14.98 万元。至于氢燃料电池汽车,由于其必须至少用 200 克白金作催化剂,成本太高,虽然高温燃料电池可不用白金而用较廉价的镍,但其危险极大,而且氢作为二次能源会有能源自耗,必然会产生转换成本,因此目前其并不是很多人鼓吹的理想发展车型。

在购置成本方面,电动汽车相对于传统汽车普遍较高,因为电动汽车与传统汽车的电池动力系统存在重大差别,仅电动汽车的电池成本就占了整车成本的一半左右。目前应用在电动车上的电池主要有铅酸电池(Lead-acid batteries)^[5]、镍镉电池(Ni-Cd battery)、镍氢电池(Ni-MH battery)和锂离子电池(Lithium-ion battery)^[6]。铅酸电池的比能量和效率都很低,且循环寿命多在 300 次以下,车主得经常置换新电池,造成的使用成本很高,但因其成熟度高,且价格最低,可以快速充电,因而在一段时间内在起动电源、不间断电源和低档电动自行车等领域仍会有一定份额;镍镉电池有记忆效应,其具有良好的大电流充放电特性,工艺也较成熟,虽然遭遇新兴电池的挑战,未来一段时期仍会在电动工具和特种动力电池应用上有一定的市场,其循环寿命在 500 次左右;镍氢电池和锂离子电池因其高比能量、高比功率及高循环寿命受到市场的追捧,虽然它们的价格较前二者高,但仍有很多企业在研发新技术以降

低购车成本。目前开发的电动汽车所使用电池多为技术成熟的镍氢电池,丰田 Prius 基本上都用 500 次以上循环寿命的镍氢电池作为其混合动力车的辅助电源。但是,这种电池不仅价格昂贵,而且重量偏重、占据车辆空间大。业界普遍看好的电动汽车电池是高能蓄电池家族中的锂离子电池。锂离子电池是综合性能最好的理想电源,其循环寿命可高达 1000 次,但目前尚没有应用此类电池的电动汽车产品正式面市。锂离子电池的单位储能是镍氢电池的 1 倍,质量也更轻,但价格更高,因此外界普遍认为高比能量锂离子电池的高昂价格使得电动汽车无法在中国迅速发展。其实,锂离子电池所使用的材料锂在我国有着丰富的储量,是一种大众化材料。大家普遍认为锂离子价格较贵的原因是常用的钴酸锂电池受国际垄断原因所致,新式锰酸锂离子电池较钴酸锂电池价格低很多,完全可比镍氢电池便宜,价格更为低廉的磷酸铁锂电池(LiFePO₄)^[7]甚至可以便宜到与铅酸电池相竞争。事实上,真正制约锂离子电池的是使电动汽车获得长行驶里程的高容量电池问题,因为锂离子电池容易发热爆炸产生安全问题,因此新式锂离子在安全性能技术上的突破和改进才是纯电动汽车走向经济之路的关键。

在燃油用电经济性方面,纯电动汽车的百公里电耗约 18kWh,小排量经济型轿车耗油约 9L。以电价 0.6 元/kWh、油价 4 元/L 计算,纯电动汽车的百公里耗费仅 10.6 元,而小排量经济型轿车的耗费却达 36 元,百公里成本比约 1:4,成本的经济性比较结果使得电动汽车很有吸引力。电动汽车厂商开发的各类车型的燃油及电耗经济对比:比亚迪 F3DM 双模电动车纯电动状态下百公里耗电仅为 16kWh,电费按 0.6 元/kWh 计算,其行驶百公里耗费约为 9.6 元人民币^[8]。不久前发改委对油价作了新的调整,但各号汽油价仍在 5 元/L 以上的高位,即使以 5 元/L 的价格计,结合我国燃油汽车年均行程 2 万公里(行程下限)和百公里 9.5L 的平均油耗,通过简单计算就能发现我国燃油汽车年均油费至少为 9500 元,而比亚迪推出的双模电动汽车年均电费仅为 1920 元,仅一年就可节省 7580 元。尽管如此,目前对电动汽车经济性评价的负面新闻也比较常见,如有人怀疑电动汽车规模化使用后的电力供应能否跟上,若跟不上需求,大规模充电带来的充电电价是否会大量增加车主的使用成本。这个考虑不是不无道理,由于近年来我国 GDP 增速的高位运行,能源呈现供不应求的态势,电力弹性系数更是远大于 1,因此,如何化解电动汽车产业化发展过程中可能出现的电力供需矛盾,利用各种可再生能源发

电、政府补贴车主充电电价或电力生产企业是当前及今后各利益相关方关注的焦点。

2.2 能源评价

电动汽车能源评价是指分析电动汽车全生命周期过程中包括电动汽车生产、电能生产、充电能效、放电能效等环节在内的总能源效率。

能源是社会发展的基础,随着我国经济的高速发展,对能源的需求不断增加,能源的供需矛盾日益凸显。国家规划的从 2000 年到 2020 年的能源弹性系数约为 0.5,但是最近几年这个系数都达到了 1 以上,即能源需求远远大于规划。中国自从 1993 年成为石油净进口国以来,石油进口依存度迅速上升,当前我国原油的外贸自由度(依存度)已达到了 50 %左右。2009 年中国能源蓝皮书预测,到 2020 年,中国的石油对外依存度将上升至 64.5 %。中国地质科学院报告预测称,中国未来 20 年的石油需求缺口将达 60 亿吨。汽车行业是石油、天然气等化石能源的耗能大户,有关的统计数据显示,包括摩托车在内,我国的机动车还不到 1 亿辆,但我国已成为仅次于美国之后的世界第二油耗大国。据美国能源部估计,中国轿车在 2020 年将至少达到 67 辆/千人的水平(目前韩国水平是 167 辆/千人),年需石油至少 2 亿吨。假设国民出行像美国一样依赖机动车,我国汽车的消费数量更是将达到七八亿辆以上,届时我国的石油消费将是美国的 3~4 倍,我国国土资源和能源都是难以承受的。显然,提倡全民以私家代步是不科学的,而且有悖我国的现实国情,发展节能电动车正好符合我国的能源战略。

电动汽车的能源消耗主要发生在包括发电燃料开采与车辆制造的生产过程、车辆使用过程及车辆废弃过程,尤以发电厂燃料消耗和采用钢铁、橡胶等材料制造电动汽车的生产阶段为主要能耗阶段。电动汽车发展需要电力跟上作为支撑,而我国是世界上少有的以煤电为主的国家,火电装机在我国电源结构中的比重一直在 75 %以上。据中电联发布的数据,截止到 2008 年底,全国发电设备容量总计 79253 万千瓦,其中火电就达 60132 万千瓦,约占总装机容量的 75.87 %。煤现在是、将来仍是我国能源的主力,虽然其在总能源中所占的比例会逐渐下降,但是总量仍会不断增加,原煤用于发电的比例也会越来越大。当前我国煤炭探明的可采总储量为 1500 亿吨标准煤,如果我国 GDP 继续按照目前的增速增长,电力弹性系数按 1 计算,则我国到 2050 年的能源总消耗至少会在 60 亿吨标准煤以上,也就是说我国在本世纪内就会面临煤炭资源彻底枯竭的境地,其他不可再生资源(如石油)可开采年限就更

短了。我国火电的效率约为 30 %~35 %,而国外高达 40 %~50 %。可喜的是,近年来我国的单位供电煤耗已有了较大下降,中电联公布数据显示我国 2009 年的供电煤耗已降至 342g/kWh,与世界水平的差距缩小。因此,提高我国煤炭利用效率可为我国经济建设节省大量能源。但是,即使在我国推广最新式的“超超临界”火电技术,也最多把我国火力发电效率提升至 50 %。提高能源利用效率的根本目的是为了节约化石能源,但这样做很可能没有经济效益,而且化石能源终究会有耗竭的一天,所以还不如大力发展可再生能源。可再生能源将对车用动力产生革命性的影响,这是今后交通能源发展的必由之路。如果所有的电力都由可再生资源产生,那么电动汽车使用中的总能源需求就是这种资源所产生的电力。如果电力的一部分是由矿物质燃料发电厂产生,那么电动汽车总能耗就必须包括燃料中的主要能量,如煤的能量密度大约是 29GJ/吨,天然气的能量密度大约是 39MJ/m³。

电动汽车具有明显的节能效益。目前内燃机的全循环效率(from well to well,从油井到车轮,简称 WTW)约为 12 %~14 %。纯电动汽车能非常有效地将电力转化成动力,其 WTW 较高,一般为 29.6 %~36.8 % (其中火力发电效率为 43 %~53 %,电传输效率为 92 %~93 %,锂离子电池充放电效率为 83 %~85 %,电机驱动效率为 92 %~93 %,传动系效率为 90 %左右,若采用轮毂电机还可去掉传动系达到更高的效率);混合动力汽车方面,丰田 Prius 混合动力的 WTW 高达 32 %,油耗可降低 50 %;氢燃料电池电动汽车的 WTW 则过多依赖于如何制氢,即是由煤制氢、油制氢、天然气制氢、电解制氢还是核反应堆制氢,其中用油制氢的丰田燃料电池汽车 WTW 仅达到 18 %^[9]。表 1 是美国能源部给出的不同类型车辆从矿井到车轮的 WTW 数据。

表 1 不同类型车辆的全循环效率 %

车辆类型	总效率(矿井到车轮)
汽油内燃机汽车	12
油气混合动力汽车	15
柴油内燃机汽车	17
柴油混合动力汽车	18
压缩天然气内燃机汽车	13
压缩氢气内燃机汽车	12
汽油制氢燃料电池车	18
甲醇制氢燃料电池车	15
乙醇制氢燃料电池车	9
天然气制氢燃料电池车	22
电解水制氢燃料电池车	88

表 1 中信息表明:用油产生电的纯电动汽车、用油制氢的氢燃料电池汽车及油电混合动力汽车均能做到节油。作为二次能源的电或氢气(由电解产生就是三次能源)可通过提高能源利用效率达到节能的目的。为彻底解决石油资源短缺难题,只能是纯电动汽车或燃料电池汽车,油电混合动力汽车只能部分缓解对石油的需求。

2.3 环境评价

电动汽车全生命周期的环境评价包括对电动汽车电能所需的电力生产过程中的污染物排放、电动汽车使用过程中的污染物排放及废旧电池污染等方面的环评。

燃油机动车排放的尾气会造成严重的大气污染,主要污染源 CO₂ 量的计算可参照燃油反应的化学方程式:2C₈H₁₈(汽油)+25O₂=16CO₂+18H₂O。标准状况下,汽油的平均密度一般为 730g/L,730g 汽油完全燃烧排放的 CO₂=730g×(44×16)/(114×2)=2.25kg。我国汽车目前油耗比发达国家多 20%以上,平均油耗为每百公里 9.5L,一般汽车的年均行程在 2 万公里以上,按 2 万公里计,则一辆汽车每年排放的 CO₂ 就达 4 吨之多。

电动汽车相对于传统燃油车有着明显的减排效果,对于不同类型的电动汽车而言,减排效果也存在差别。混合动力汽车由燃油系统和蓄电池系统两部分组成,启动和刹车时用蓄电池,平稳开车时用燃油,不仅可节省 50%的油耗,还可以大大减轻污染。丰田公司旗下的 Prius 混联型混合动力汽车的燃油内燃机加速时以电力助动,正常行驶时由内燃机推动,在减速时又能对电池充电,其排放的 NO_x 却只有通常汽车的 10%,CO₂ 排放量也降低了 50%。纯电动汽车相较于燃油汽车的减排效果更为明显,基本实现了零排放。参见表 2 纯电动汽车与燃油汽车主要废气排放比较。

表 2 电动汽车与燃油汽车的废气排放比较^[10] g/km

废气组成	燃油汽车	电动汽车
CO	17	0
HC	2.7	0
NO _x	0.74	0(0.023)
CO ₂	320	0(130)

注:括号中数据考虑了电厂排放废气。

使用清洁能源发电来供应电动汽车的电能需要实现污染物的超低排放,由于我国高度依赖火力发电,因此电动汽车全生命周期的很大一部分污染物排放都来源于电力生产,即电动汽车生产阶段,而在使用阶段基本不产生污染物。

表 3 是美国能源部给出的不同类型车辆从矿井

到车轮的全循环总排放数据。

表 3 不同类型车辆的废气排放量 克/英里

车辆类型	总排放
汽油内燃机汽车	374
油气混合动力汽车	258
柴油内燃机汽车	271
柴油混合动力汽车	237
压缩天然气内燃机汽车	310
压缩氢气内燃机汽车	310
汽油制氢燃料电池车	216
甲醇制氢燃料电池车	209
乙醇制氢燃料电池车	6
天然气制氢燃料电池车	145
电解水制氢燃料电池车	436

表 3 中信息表明:用油产生电的纯电动汽车、用油制氢的氢燃料电池汽车及油电混合动力汽车能大幅度减少污染。电动汽车的驱动能源电能或氢气可通过再生能源渠道来实现减排。

此外,电动汽车电池技术的不同也会造成不同程度的环境污染。铅酸电池的污染极大,镍镉电池的材质镉(Cd)(强致癌物)对环境污染也很重,而镍氢电池和锂离子电池对环境都很友好。电动汽车燃料电池对环境的影响主要取决于何种燃料作为其动力源。为了减轻电动汽车充电电池对环境的不良影响,制定相应的废旧电池处理标准和管理体制是大有必要的。当锂电池安全技术有所突破时,电动汽车充电电池对环境的污染还可进一步减轻。

3 电动汽车 3E 协调

3.1 经济协调

电动汽车高昂的购置成本,是其迅速走向市场的一大阻碍,能否实现“低价”上市是关键。为了吸引大部分渴望买车而又不能实现自己购车梦想的人成功圆梦,政府的财税补贴在电动汽车发展初期能起到较好的降价激励作用。其实,比亚迪双模 14.98 万元的购置价格相对中高档燃油轿车而言算不上高价,加上政府对电动汽车发展初期研发和上市的财税支持,这个价位还有下降空间。据中央新闻消息称,售价 7 万元的奇瑞 S18 纯电动汽车可享受国家新实施的新能源汽车补贴政策,得到国家 6 万元的补贴,使消费者只花 1 万块钱就买到电动汽车的梦想。尽管如些低的售价和国家大幅度补贴使得购车成本猛挫几乎为零的报道让渴望买车的群众产生了质疑(此补贴目前还只是针对政府企业购车的政策,稍后才会出台针对个人购车的补贴政策),但它给出的却是一个无疑的讯号:电动汽车在中国的发展将走低价路线,让国民以较低成本实现拥有

电动汽车的梦想。

为了体现电动汽车的经济性,政府的具体工作可细化为以下几方面:尽快推动电动汽车标准体系的出台,赋予电动汽车商业化“准生证”;借鉴日本、法国、意大利、以色列^[11]等国在电动汽车充电设施建设方面的经验,做好我国电动汽车充电网络的覆盖,为电动汽车的商业化扫除后顾之忧;推动电动汽车产业联盟,形成电动汽车产业链条,整合调度产业资源,促进地方做大做强,但要防止地方保护和重复建设造成资源浪费;积极开展电动汽车商业化运行示范工程,做好电动汽车运行试点、推广及节能环保理念宣传;为电动汽车高昂的研发费用提供多渠道信贷支持,对其产品上市给予减免税乃至收回成本再纳税等财税优惠政策;对使用清洁能源供给电动汽车充电的发电方,政府应广开绿色通道,并给予相应的财政补贴、调整相关的上网规定,使清洁能源电力能更多地并入电网为电动汽车提供供电服务,如太阳能发电的成本高达每度 2 元,为降低太阳能发电成本,政府的政策扶持不容忽视,容许从太阳能发电系统生产出来的多余电力“逆流”向电网馈电或允许按不同功率等级和安装方式生产出来的电力以相应价格出售等政策优惠可成为我国发展太阳能发电的参考。

由于电动汽车是新生事物,因此消费者必然会有很多疑虑,诸如电能供给能否跟上、如何及时给车补电、电池寿命的长短、中途用车出现问题找谁解决等。为了打消消费者的疑虑,充电设施建设应尽快行动起来,如可考虑建设覆盖城区的充电站网络,在高速公路或区县公路沿线附近建续电装置,在小区车库建设集中充电站或在私人住宅建充电桩等;电动汽车动力电池难在“低成本”、“高容量”、“高安全”等要求上,电池的频繁更换会造成消费者的高使用成本,加快研发锂动力电池、磷酸铁锂电池等高比能量、发热量低、寿命更长久的电池是当务之急,并力争做到为顾客提供免费或低价的更换电池服务,给顾客树立电池性能良好的印象;研究多种形式的充电电价,引导电动车主结合自身利益选择适合自身利益的充电形式,实行分时电价(如实行峰谷电价,即在用电高峰时调高电价,用电低谷时调低电价,考虑用户的用电需求弹性而确定调价幅度)^[12]。改变电动汽车用户的充电习惯,使私家车主更多地将在充电时间安排在夜间用电低谷时段,既可减轻用户的充电使用成本,还可提高电厂的发电效率,减小电动汽车充电对电网的冲击;电力公司在联动上游发电厂增加电力装机容量保障电动汽车增长不断带来的电力需求的同时,还需确保国民经济其他行业正常

进行的用电需求;对于中途行车出现的故障问题,可考虑在车辆与故障排除单位终端建立网络跟踪联系,第一时间出动专业人员处理消费者所遇难题。

3.2 能源与环境协调

电动汽车的产业化过程也是对电能的大量消耗过程,它的发展要求我们在保证国民经济正常运行的基础上加大对电力的投入,而增加电力供应又需改变我国传统的电源结构。从某种意义上讲,电动汽车的产业化发展加速了我国的电源多元化趋势。由于火电污染大,虽然电动汽车发展避免了燃用石油、天然气等化石能源带来的环境污染,但如果大量使用火力发电增加其充电电能配给则会造成发电源头新的污染,这就违背了我国积极发展电动汽车的初衷。电动汽车发展必然要求我国调整目前高火电比例的电源结构,调整的总体思想就是降低火电比重,而逐渐提高其他新能源发电的比例。短期内火电仍将在我国电源结构中占据主要位置,但增长速率将放缓,而水电、风电、太阳能发电、核电等清洁能源发电将受到高度重视,投资比例会不断提高。中国目前正在积极寻求利用可再生能源发电,为探求我国电动汽车发展的电力供应来源多样化提供了许多新的思考,以下几种发电形式在应对电动汽车发展的电力需求上将扮演不同的角色。

3.2.1 火电(thermal power)

我国煤炭的地理分布总体表现为北多南少、西多东少,尤其是山西、内蒙、陕西等北方省区集中了我国煤炭资源的大部,而广大的南方省份的煤炭探明储量不但分散而且极其稀少。鉴于我国煤炭资源的分布现状,我国西部北部等省区本土电动汽车发展的电力供应应充分利用煤炭等丰裕资源建设安装有烟气脱硫等减排装置的大型火电厂进行集中供电以减轻大气污染。外省区的电动车发展带来的电量增加需求应立足于本地的能源供需形势,因地制宜来满足电动车产业化进程中所需的大量电力。而在我国资源稀缺地区,尤其是我国东部经济发达而各种资源又都稀缺的地区,更应做好资源发电安排来应对电动车发展所需的激增电量产生的外调资源压力,特别是要削减高比重的火电装机来纾解外煤运输瓶颈和输入型污染。

3.2.2 水电(hydro power)

我国水电资源无论是储量还是可开采量都居于世界第一位,但是多种原因使得过去几年来,国家核准的项目总数并不多。我国水电开发的程度相对发达国家较低,目前仅为 23%,而发达国家的平均水电开发程度已达 60%以上。鉴于水电的巨大发展潜力及清洁可再生优点,其必将是我国电动汽车发

展起来后大量电能需求的重要来源之一。但是,我国水力资源的自然分布极不均衡,3/4 以上的水力资源都分布在我国季风区,尤其是我国地势三大阶梯的中西部交接处(如我国西南横断山区)。因此,这些地区应大力发展水电来满足当地或附近地区的电动汽车电力需求,减少外部矿产资源调入的压力,减轻环境成本的负担转移。

3.2.3 风电(wind power)

我国风力资源十分丰富,相当于 10 亿千瓦的电力容量,居世界第一位,而且具备了规模化和产业化发展的基础。同时,风电的生产几乎不会伴随包括 CO₂ 在内的任何有害气体的排放,是一种值得大力发展的绿色能源。我国风力资源的分布较广,全国 2/3 的省、市、自治区都有数量不等的可利用风能,但主要集中在三北、西藏和沿海地区。据统计,如果中国的风力资源开发 60%,那么仅风能一项就可支撑中国目前每年全部的电能需求^[13]。我国沿海各省的能源匮乏,煤、气、油及常规水电资源都不多,与经济发展的资源需求相去甚远,唯有风能(尤其是海上风能)富集。沿海地区可观的风力资源,是今后解决东部电动汽车能源需求的有效途径之一,可优先考虑风电对其产生的社会电力缺口进行弥补,以减少电网调度和外购电给当地带来的压力。同时沿海各省抽水蓄能资源丰富,能够满足风电大量开发后的配套要求。我国内陆地区的风电也有巨大的增长潜力,尤其是新疆内蒙等内陆干旱地区,电动汽车在这些地区的发展也可以利用风力等优势资源大做文章。

3.2.4 核电(nuclear power)

核电作为一种清洁高效的能源,近年来在我国也得到了大力发展。从我国核电三十多年发展的历史来看,其生产拥有良好的安全纪录,当前正进入“积极发展”阶段。通过自主创新与引进消化吸收国外先进核电技术相结合,目前我国核电技术已经具备了接近世界先进水平的研发能力。核电为调整我国能源结构、确保能源安全和环境保护做出了重要贡献。当前,我国已对 2007 年核电中长期发展规划做出新的战略调整,计划到 2020 年,我国核电运行装机容量要突破 4000 万千瓦达到 7000 万千瓦,核电装机容量将占电力总装机容量的比例也由之前的 4%调整为 5%^[14]。目前正值全球掀起核电复苏潮,作为一种低原料输入高能量产出的发电方式,我国也应在做好核电安全工作的基础上,大力发展核电为电动车发展增加的电能需求贡献一份力量。目前来看,沿海电动汽车的发展可利用核电这一新能源发电形式来补充其电力需求。长远来看,内陆核电

建设和商业核电发展也将对我国电动汽车的普及提供更多的选择余地。

3.2.5 太阳能发电(solar power)

太阳能发电就是利用光电设备将太阳光的光能转化为电能的发电形式。太阳能资源取之不尽、用之不竭,用其发电几乎不产生任何污染。与其他可再生能源相比,太阳能在可再生能源中有相对优势,因为它散布在全球的每一个角落,其将是未来最有效最常用的能源之一。我国的太阳能资源十分丰富,北方、沿海等很多地区,每年日照量都在 2000 小时以上,青藏高原、新疆、海南等地区更是太阳辐射能中心,对其的开发利用具有广阔前景。据估算,我国各地太阳年辐射总量达 335 ~ 837 KJ/(cm²·a),每年到达地球表面的太阳辐射能约相当于 130 万亿吨标煤,其总量属现今世界上可以开发的最大能源,相当于上万个三峡工程的发电量^[15]。

太阳能这一天然清洁能源用以电动汽车的电力供应已不再是无稽之谈,太阳能电动汽车就是在车上安装接收太阳能的光电反应极板来为电动汽车前行提供动力的成功尝试。当有太阳光时太阳能电动汽车就利用太阳能发电行驶,无太阳时就使用车内的另一套驱动系统行驶。此外,还可以通过太阳能发电装置的充电插口或将各分散太阳能发电装置并网集中为充电站(桩)供电来实现电动汽车的续电。由于太阳能资源同风力一样具有不稳定性,而且只有白天可以利用,故白天充电时可利用太阳能蓄电,晚上充电则可利用白天工作期间贮满太阳能的大容量电池蓄电。另一种可考虑的充电做法是:通过政府出台相应政策允许家庭将白天剩余的太阳能发电量卖给电力公司,使电力公司白天在配给电量给其他用电客户时减少自发电。私家车车主夜间再从电力公司处购电,而此时的电力公司可利用自有资源发电卖给夜间需要充电的电动车车主。具体计费收取办法可通过在私家车车库的充电插口处安装计量装置,到期由客户集中补上电费,或使用电力公司为电动车车主专门发放的事先已充值的 IC 卡分散进行每次充电结算。阴雨天电动汽车的充电也可考虑由车主从电网购电解决。

遍布的太阳能不像水电、风电那样受地理条件的限制,为我国电动汽车提供了广阔的发展空间,目前太阳能发电的成本还较高,待条件成熟时其必将成为我国电动汽车电源供给的一颗新秀。

3.2.6 生物能发电(bio-energy power)

生物能发电是一种利用秸秆等农作物废弃物进行循环利用的燃烧发电形式。到目前为止,我国农村地区还普遍存在大量燃用秸秆做饭、取暖等生活

习惯,既严重污染了大气,又导致土壤中有机质大量减少,土地肥力下降。2007年,我国第一个自主研发的软质秸秆发电项目在江苏淮安建成并投入运营,该项目的成功投运,开创了我国软质秸秆发电的先河。据了解,我国生物质资源的最新估计数字为20亿吨,每年仅农作物秸秆产量就约有7亿吨,可开发的生物质能资源总量每年约为5亿吨标煤,远期每年约为10亿吨标煤,若综合加上荒山、荒坡种植及各种能源林,远期的生物质能资源每年可接近15亿吨标煤^[16]。如果我国生物质能利用量达到5亿吨标煤,就可解决目前全国能源消费的20%左右,每年还可减少排放CO₂量近3.5亿吨,减少SO₂、氮氧化物NO_x、烟尘排放量近2500万吨。

生物质在我国的分布很广,其地域性特征不是太明显,利用生物质发电具有显著的经济效益和环境效益,将其作为电源发电后并入电网,可为电动汽车在中国发展带来的电能需求起到强有力的支撑作用。

3.2.7 天然气发电(natural gas power)

我国的天然气开发取得了很大成绩,基本具备了天然气发电技术,可以确保天然气发电的可靠性和安全性。同燃煤发电相比,天然气是一种清洁优质的能源,使用天然气发电不产生灰渣,几乎不排放SO₂和悬浮颗粒物,CO₂排放量减少58%,NO_x排放量减少80%以上。利用天然气发电可减轻日趋沉重的环保压力,必将带来巨大的社会效益。从经济上看,天然气发电不需要储煤、上煤等设施,热效率也要比燃煤发电高约20%,单位千瓦造价可节省投资1/3,占地减少1/2,耗水量减少1/2。

我国具有较为丰富的天然气资源,主要分布在中西部地区(如新疆、四川等省),而天然气消费市场主要分布在东部经济发达地区。针对我国电动汽车发展所需电能的电源优化问题,中西部地区可利用天然气这一资源禀赋进行天然气发电,就地转化自身优势。天然气消费高而自身储量又有限的东南沿海诸省和东北等地,可利用我国的边贸优势从东南亚(如马来西亚)或俄罗斯远东地区(如库页岛)等国际天然气市场引进管道天然气(pipeline gas)、液化天然气(liquefied natural gas, LNG)等为我国所用。

3.2.8 其他发电形式

对生产生活垃圾或废弃燃料的重新利用可以实现我国节能及电源供给的多样化。目前我国垃圾发电(waste-to-energy)的最主要形式还是以焚烧为主,这种发电方式与传统小火电的发电系统设备、总体工艺区别不大^[17]。将垃圾视为一种可循环使用的资源用以发电,实现其变废为宝的商业价值,有着

重要的环境效益与运营效益。垃圾发电的地域不限,只要有人类活动的地方就会制造垃圾,尤其是城乡制造的垃圾更多,因此就近将这些废弃物加以利用变为电动汽车的动力源,可成功实现节能环保的双丰收。

地热发电(geothermal power)和潮汐发电(tidal power)等新能源发电形式在我国乃至世界都只是局限在一些个别地区,如地热资源蕴藏丰富的冰岛、我国西藏的羊八井等地,潮汐发电也只能在沿海地区潮涨潮退时加以利用。因此这些受地理位置影响明显的发电形式也只能因地制宜加以利用,作为当地电动汽车电力来源的一个补充。

总而言之,将垃圾发电、地热发电、潮汐发电及其他的发电形式并入电网,都可为电动汽车在当地发展带来的电力增量需求提供有益的补缺作用,各地应当根据自己的区情、省情而相应用好这些不同形式的发电资源,实现电动汽车电源供应的多元化。

3.2.9 其他方面

能效方面,我国锂资源和稀土资源十分丰富,充分利用廉价锂资源和蕴藏量居世界首位的稀土矿研发锂动力电池与稀土永磁无刷电机技术,提高电动车辆动力系统的能量转化率具有重要意义。加快电池和整车能量管理系统、智能及快充技术、低阻力轮胎、轻量化和低风阻车身、制动能量回收等技术的进步与完善将使电动汽车日渐走向经济化、实用化。

环境方面,鉴于铅酸蓄电池硫酸液在生产、使用和废弃过程中,对自然环境会造成毁灭性污染,且不具有良好大电流放电特性的致命伤,亟须使用新工艺、新技术、新材料、新结构的电池对其更新换代。而具有无记忆效应、对环境比较友好等优良特性的电池新秀锂离子电池等可作为替代铅蓄电池的较好选择,应做好这方面的研发并完善对废旧电池的回收利用及对市场需求的调研和预测工作,力争减少电动汽车电池给环境带来的破坏。

4 结语

汽车发展将从传统的内燃机汽车过渡到混合动力汽车,最终走向纯电动汽车或燃料电池汽车。与之对应,汽车燃料也将由传统石油,经历一个燃料多元化的中间阶段,然后过渡到清洁可再生能源。由于电动汽车牵涉到电力、交通等多个行业和材料、能源等不同学科,需要各个领域的高效协同才能处理好电动汽车在经济、能源及环境诸方面的影响,因此,不能简单地从电动汽车的使用环节来评估其发展的总体影响,而是应从其对自然资源的需求到生命终止的报废处理全过程作系统、全面的考虑,使其

全生命周期的自然资源需求及环境污染成本最小化,功能效率发挥最大化。

通过 3E 评价发现,电动汽车在经济、能源、环境三方面的影响与传统燃油燃气汽车相比存在着明显的优势:目前其经济性还不十分明显,但还有巨大的下降空间;能源利用上其可减少化石燃料的使用,减轻能源需求高速增长的压力;环境贡献上其污染物排放较小,尤其可通过优化电源结构实现超低量排放,具有巨大的环境福利。发展电动汽车对我国构建“资源节约型、环境友好型”的可持续经济社会有着重要的现实意义。

通过 3E 协调分析发现,我国电动汽车发展起来后的用电量会有较大增加。对于这部分增量需求,火电仍将是主要来源,但其比重及增速都将放缓,而水电、风电、太阳能发电、生物质发电等清洁能源发电形式都还有着巨大的发展潜力,利用核能、地热能、垃圾废弃物等新能源或循环资源发电也可大有作为。电源多元化是电动汽车产业发展的必然趋势,利用不同电源的地理分布特点因地制宜开展或采取优势互补方式相互支援发展对应的发电形式,对电动汽车在我国不同区域的发展提供稳定可靠的电能补给必是大势所趋。

参考文献

- [1] REN Y L, WU R, HAN W J, etc. Economic, Environmental and Energy Life Cycle Assessments of Natural Gas Based Automotive Fuels in Chongqing China[C]. ISAFIX-IV, 2002.
- [2] 欧阳明高. 我国节能与新能源汽车发展战略与对策[J]. 汽车工程, 2006, 28(4): 317-321.
- [3] 陈志杰. 本田 Insight 再战普锐斯[N]. 南方日报, 2008-09-19.
- [4] 果实. 2010 款本田 Insight 在日本上市, 售 189 万日元 [EB/OL]. [2009-02-06]. <http://auto.sina.com.cn/news/2009-02-06/1037455634.shtml>.
- [5] 王琰, 张立华, 吴喜攀. 未来的汽车用铅酸蓄电池[J]. 蓄电池, 2008: 130-136.
- [6] 柯路. 锂空气电池有望解决新能源车发展瓶颈[J]. 技术与市场, 2009, 6(4): 91.
- [7] 马贵龙, 孙延先, 乔峰华. 磷酸铁锂电池的新发展[J]. 中国自行车, 2008: 24-27.
- [8] 牛洪军. 比亚迪 F3DM 双模电动汽车的售价为 14.98 万元——推广有待政策扶持[N]. 中国证券报, 2008-12-16.
- [9] 庆承瑞, 何祚庥等. 中国能源战略思考——大力发展可再生能源是中国能源发展的必由之路[M]. 北京师范大学出版社, 2009: 165.
- [10] 刑文. 电动汽车的环境效益分析[J]. 环境导报, 2003, 24: 23.
- [11] 国家电网公司电动汽车考察团. 法国和意大利电动汽车考察报告[J]. 需求侧管理, 2008, 10(1): 1-4.
- [12] 滕耘, 胡天军, 卫振林. 电动汽车充电电价定价分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(3): 126-130.
- [13] 国际能源署(IEA). 世界能源展望 2008 (World Energy Outlook) [M]. 2008.
- [14] 冉永平. 我国核电接近世界先进水平[N]. 人民日报, 2009-03-27.
- [15] ljwzmznd. 高层住宅太阳能一体化设计体系 [EB/OL]. [2009-06-15]. <http://www.examda.com/jianzhu/jingyan/20090615/090053961.html>.
- [16] 中国科学技术信息研究所. 秸秆是怎么发电的 [EB/OL]. [2008-01-21]. http://www.chinajilin.com.cn/content/2008-01/21/content_1112101.htm
- [17] 李兆球, 吴立. 城市生活垃圾焚烧发电设施关键工艺的操作方法[J]. 新疆环境保护, 2003, 25(2): 43-45.

Analysis on 3E Evaluation and Coordinated Development of Electric Vehicle

Ai Jianghong, Xia Dejian, Ren Yulong

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract : Compared with the conventional fuel vehicles, the electric cars have significant effect of energy-saving and emission reduction, its development has become the focus attention of various parties. Through the evaluation of electric vehicles on economy, energy, environment impact in 3E system, this paper reveals the inherent developmental laws of electric vehicles in the trinity of economy, energy and environment. As to contact the internal laws of 3E system in pursuit of the overall efficiency maximization as principle and purpose, it recommends some electric cars 3E coordinated developmental proposals.

Key words : electric vehicles; 3E evaluation; 3E coordination