

电动汽车的全寿命周期环境影响分析

艾江鸿,李海锋,林鉴军

(重庆大学 经济与工商管理学院,重庆 400030)

摘 要:本文以全寿命周期理论为基础,对电动汽车在全寿命周期过程内对环境造成的影响进行了全面分析,并将电动汽车与燃油汽车对环境造成的影响进行比较。结果表明,电动汽车在全寿命周期过程内对环境造成的污染小于内燃汽车,在可持续发展的理念下,政府应大力推动电动汽车产业的发展。

关键词:全寿命周期理论;电动汽车;环境污染;可持续发展

中图分类号:F407. 61 **文献标识码:**A **文章编号:**1002 - 980X(2010)03 - 0035 - 05

1 研究背景

环保问题在全球汽车产业发展过程中的重要性越来越多地被提及,与传统汽车相对应,电动汽车作为一种环保的交通工具开始成为一支重要的力量登上汽车工业的舞台。加快电动汽车产业的发展不仅有利于我国调整能源结构,而且可以大幅度减少交通工具带来的环境污染。电动汽车主要分为纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车 3 类。在这 3 种电动汽车中,纯电动汽车是未来直接利用电能的交通工具,是混合动力汽车和燃料电池汽车的技术基础,故本文主要把纯电动汽车作为研究对象。关于电动汽车与内燃汽车相比较,在节能减排、环保等方面的优势的相关研究文献有限。有些仅仅是理论陈述,如文献[1]在指出内燃汽车对环境造成的危害后就开始陈述电动汽车的优越性;有的则考虑不够全面,没有考虑电能供给对环境造成的危害,如文献[2]。本文运用全寿命周期理论,从纯电动汽车的全寿命周期的过程出发,不仅考虑电动汽车的生产、使用、报废,而且考虑电能供给过程对环境造成的影响,逐步分析纯电动汽车全寿命周期每一过程相对于内燃汽车排污量减少的相关因素。在可持续发展理念下,政府应大力推动电动汽车产业的发展。

2 全寿命周期理论

全寿命周期理论的概念应用很广泛,特别是在政治、经济、环境、技术、社会等诸多领域经常出现,其基本涵义可以通俗地理解为“从摇篮到坟墓”

(cradle-to-grave)的整个过程。对于纯电动汽车而言,该过程就是从自然中来到回自然中去的全过程,既包括制造产品所需要的原材料的采集、加工等生产过程,也包括产品贮存、运输等流通过程,还包括产品的使用过程以及产品报废或处置等废弃处理过程,这个过程构成了一个完整的产品寿命周期。本文把纯电动汽车的全寿命周期划分为生产、使用和报废 3 个过程,以这 3 个过程为基础研究纯电动汽车对环境的影响。纯电动汽车完整的生命周期包括两部分内容:一部分是电能的生产过程,即电能从电厂(火力发电厂、水电站或风力发电站)经过输变电过程至零售商,最后为电动汽车使用;另一部分是车辆生命周期,即汽车从生产到使用,运行多年后直至报废。如图 1 所示。

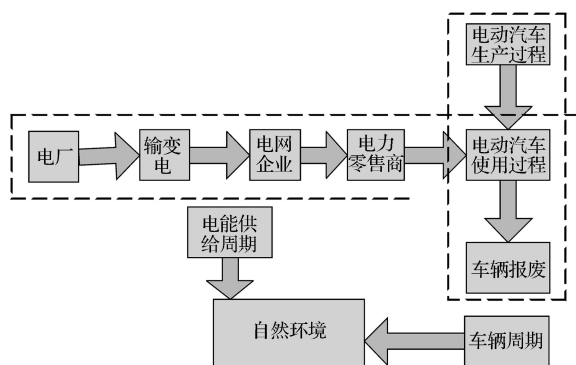


图 1 纯电动汽车全寿命周期环境影响分析示意图

基于对纯电动汽车全寿命周期环境影响过程的初步分析,以传统内燃汽车作为比较对象,对纯电动汽车全寿命周期的排放物和能源转化效率进行分

收稿日期:2010 - 01 - 09

基金项目:国家自然科学基金项目(G031202)

作者简介:艾江鸿(1968—),男,海南三亚人,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;李海锋(1984—),男,河南浉池人,重庆大学经济与工商管理学院硕士研究生,研究方向:能源经济及管理、电力市场;林鉴军(1980—),男,浙江台州人,重庆大学经济与工商管理学院助教讲师,研究方向:能源、经济与环境。

析,把全寿命周期理论应用到纯电动汽车对环境影响的过 程的分析,具有前瞻性。

3 纯电动汽车寿命周期内的能源消费与排放

3.1 生产过程

纯电动汽车的生产,和传统汽车的生产基本相同。一般都需要一个主装配线,经过不同的装配阶段直到装配完毕。通过与制造商的探讨以及对原材料加工的能量消耗与排放等公开报道的统计,电动汽车生产过程中的环境影响和内燃汽车同样可以估测。由于计算工厂的每个工作过程对环境造成的影响的工作比较复杂,因此可计算所有过程中的总能源消耗,并包括在能源消耗的计算当中。利用生产电动汽车所必需的原料的重量与生产这些原料的能源与污染强度,可以估测出其能源消耗与排放。

在纯电动汽车的装配过程中需要的能量主要是电能,纯电动汽车与内燃机车所需电能几乎相等。而两者所需的钢铁、塑料与橡胶等原材料制造过程中的能量需要相对较小。表 1 是一个纯电动汽车和 内燃汽车的基本配件原料清单,由原材料、重量、生产这些产品所需要的能量等组成。。

表 1 纯电动汽车和内燃汽车在生产过程中需要的材料清单、能量消耗及污染物排放

项目		电动汽车 (公斤/辆)	内燃汽车 (公斤/辆)
材料清单	钢总重量	972	978
	塑料重量	102	101
	合金重量	141	145
	铝总重量	136	136
	玻璃总重	40	40
	合计	1390	1400
生产过程的 相关能量 消耗与排	能量消耗(吨标准煤)	5.92	5.96
	能量消耗(kWh)	48484.5	48833.31
	空气污染(SO ₂)(kg)	50.83	50.61
	空气污染(PM)(kg)	192.75	194.14
	温室气体(tCO ₂ -eq)	20.31	20.46
	固体废物(kg)	150.39	151.47

在表格 1 的制作过程中,相关数据做了一定的假设和省略。表格 1 中的数值应被视作最低限。固体废物只包括在生产过程中的固体废物,不是全寿命周期过程的废弃物。全寿命周期过程的废弃物将在以下小节讨论。

3.2 产品报废

纯电动汽车电池寿命到期以后,更换电池后仍然是一个标准的电动汽车。如果关键部件失灵,车辆就不可继续运行。为了计算车辆在使用寿命结束后的固体废弃物数量,则需要从总重量中扣除电动汽车中可回收的部件。另外,必须考虑替换部件,特别是电池组、轮胎与电动机。钢铁作为电动汽车中最重的部件,具有很高的回收率,2002 年为 79.9%。同样,整个铜工业 2002 年的回收率,是 88.5%。如果这些材料可被回收,其他的材料,包括纯电动汽车的替换部分,将进入废物流通。

动力电池作为纯电动汽车的动力装置,具有相当的重要性。最初的电动汽车使用铅酸电池,环境污染厉害,且不易回收。随着科技的进步,绿色环保的锂电池得到了迅速发展,锂电池和铅酸电池不一样,不含重金属,不会对水源造成污染。而且锂电池能达到一个很高的能量存储水平,比铅酸电池高 2~3 倍。我国汽车企业比亚迪研制的铁电池,对环境造成危害很小,其含有的大部分化学物质均可在自然界中被环境以无害的方式分解吸收,能够很好地解决二次回收等环保问题,动力电池的残值很高,具有回收再利用的价值。

3.3 使用阶段

纯电动汽车使用过程中的动力补给的方式是利用电网充电。纯电动汽车在使用过程中没有尾气排放,保证了其没有污染物。但它们的确使用电力,而电力的生产将排放出大量的常规污染物与温室气体,而且在其充电的过程中,由于充电基数较小,充电过程可能产生谐波污染。这都是纯电动汽车在使用过程中对环境造成的影响。也就是说纯电动汽车对环境的影响主要来源于电力供应的过程中,即发电厂和充电站对环境造成的影响。

3.3.1 发电厂对环境造成的影响分析

按目前电动汽车厂家公布的资料,绝大部分的纯电动汽车充一次电可以行驶约 150km 路程。比亚迪研制的首款纯电动汽车 F3e 已在 2006 年的北京国际车展上亮相。据介绍,F3e 最高时速达 150 公里,0~100km/h 加速时间只要 13.5 秒,百公里耗电 12 度,一次充电后行驶里程达 350km。纯电动汽车耗费的电能来自于电厂。在中国,目前能源的结构组成是:75%的煤、15%的水力、8%的石油与 2%的核能。典型的中国发电厂的排放因素如图 1

数据来源:Price,Phylipsen,et al. 2001;国家统计局 2003,2004,2005;中国数据在线 2007;Mao,Lu,et al. 2007。
相关数据来源:国家统计局 2003 年统计数据。
相关数据来源统计数据:www.chinaev.org。
国家统计局 2006 年数据。

所示。从图 1 可以看出,风力发电站在发电过程中没有气体排放;同时水力发电站在发电过程也没有气体排放,这是不正确的,因为洪水与腐烂的生物所产生的生物过程会排放温室气体。此外,淹没一个生态系统减少了从大气中吸收碳的净数量,称为净生态产品(net eco-product)。评估表明,在整个大坝的寿命周期中,淹没于水库里的生物物质的平均温室气体排放率大概是 20gCO₂/kw (说明:这

个是水库的排放率,图 2 是火力发电厂的排放率,单位不一样)。这个数据取决于很多因素,特别是水利发电站是否处在干旱的环境中。对普通的电动汽车来说,来自于水力电力的排放率大约是 0.3g/km,来自于火力发电的排放率大约是 13.5g/km。因为我国的绝大部分城市严重地依赖于火力发电,来自于水库的二氧化碳排放可忽略不计。

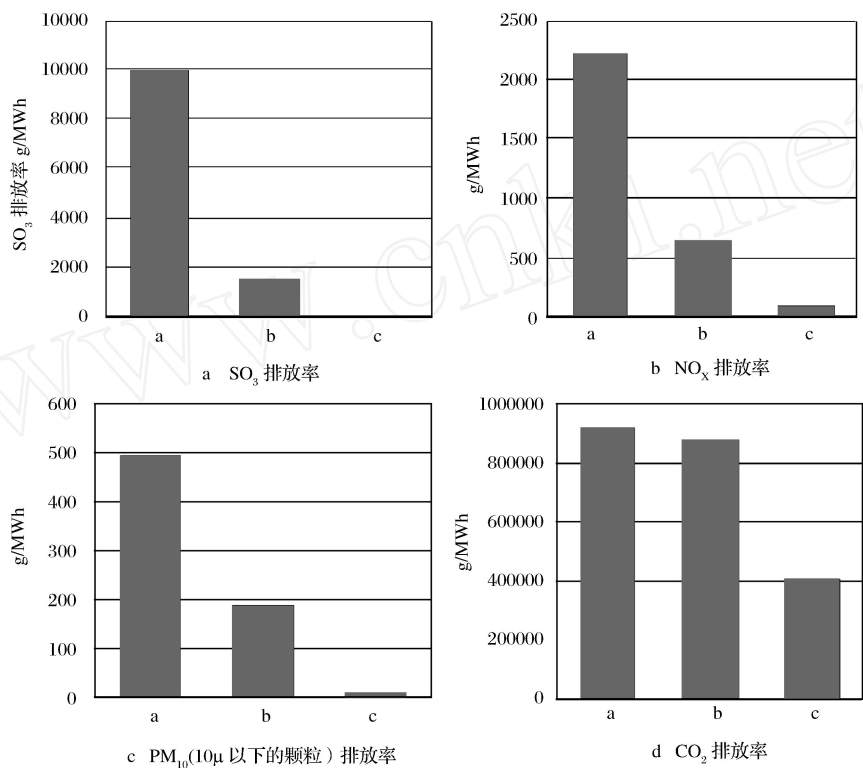


图 2 中国电厂的排放率

注 a 表示中国平均烧煤锅炉;b 表示新烧煤锅炉;c 表示天然气组合循环涡轮。

资料来源:中国能源基金会文件 2005。

绝大部分的中国电力是由火力发电厂产生的,但是一个城市真实的能源结构取决于它的地理位置。中国的电网按区域划分主要分为东北、华北、西北、华中、华东和南方电网 6 大电网,并划分为两大电力公司国家电网公司和南方电网公司,电网之间的连通水平有限。这些电网的每一个都有不同的能源结构,并且电网中的每个城市的绝大部分电力都来自该电网。为了计算由于发电产生的污染,因此必须确定电网中的能源组成。如四川和上海是两个例子,两个省份的能源结构有很大的差异。四川的能源结构组成是 60 %的水力发电与 40 %的火力

发电;上海的能源结构组成是 98 %的火力发电与 2 %的水力发电。发电厂分布在全国,并且为相应的人口中心提供服务。随着人口中心距离火力发电厂距离的增大,人口在绝大部分的污染物中的暴露随之减少。电动汽车的使用主要位于城市即人口密集区,就是说电动汽车的排放是非当地性的。相对于内燃汽车,纯电动汽车对公共健康有很大好处。

3.3.2 充电站对环境造成的影响分析

纯电动汽车驶入充电站进行电能补给时,单一辆电动汽车由于充电基数标本小,充电电流过大

见《中国能源基础》(2006)。
Pacca、Horvath,2002。
Zhu、Zheng,et al,2005。

(快速充电要 400A 电流,中等充电也需要 150A,充电六小时以上的普通充电电流也要 20A),因此不仅会对电网产生强大的谐波污染,也会对人体健康造成很大危害。从人体生理学来说,人体细胞在受到刺激兴奋时,会在细胞静息电位基础上发生快速电波动或可逆翻转,如果其频率与谐波频率相接近,电网谐波的电磁辐射就会直接影响人的脑磁场与心磁场,容易引起人体的心脑血管等疾病。解决方法只能是对充电系统进行主动或被动式的滤波。

谐波治理标准(GB/ T14549-93),该标准对不同电压等级下的各次谐波允许注入值都作了具体规定(略),其规定了公用电网谐波电压(相电压)的限值。如表格 2。

表 2 不同电压等级下的各次谐波允许注入值

电网标称电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率(%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

谐波治理就是在谐波源处安装滤波器,就近吸收谐波源产生的谐波电流,现在广泛采用的滤波器为无源滤波器,另外有利用时域补偿原理的有源滤波器,这种滤波器的优点是能做到适时补偿,且不增加电网的容性元件,但造价较高。无源滤波装置,吸收高次谐波,而所有滤波支路对基波呈现容性,满足无功补偿要求,不必另装并联电容器补偿装置,这种方法经济、简便,国内外广泛采用。

4 纯电动汽车全寿命周期内的总环境影响

基于现有国家有关部门公布的已有资料和互联网上的相关数据,估计了纯电动汽车全寿命周期内各个阶段的能源消耗与排放,分阶段分析了纯电动汽车对环境的影响。纯电动汽车对环境的影响主要取决于发电厂的燃料。如果所有的电力都由可再生资源产生(如风电、水电),那么电动汽车对环境的污染将大幅降低。而当前我国能源结构主要是以煤电为主,总能源消耗必须包括燃料中的主要能量。例如:煤的能量密度大约是 29 GJ/t,天然气的能量密

度大约是 39MJ/m³。利用矿物质燃料发电的平均效率大约是 33.4%。纯电动汽车能有效地将能量(电力)转化成动力,很大一部分的电动汽车能源消耗与排放是在生产阶段产生,特别是能量消耗剧烈的阶段,比如钢铁与电池的生产——纯电动汽车在其寿命周期内利用最多的两种原料。

5 环境影响的分布

从前文分析得出纯电动汽车和内燃汽车寿命周期不同阶段对环境的影响是不同的。内燃汽车在使用阶段消耗了绝大部分的能源,绝大部分污染物质是在此过程中排放的,所以它们造成的环境影响主要是对所处地方的影响(即城市等人口密集区)。纯电动汽车可有效地使用能源,使用阶段对环境的影响只是其全寿命周期总影响中的一小部分。此外,它们没有尾气排放,使用阶段对地域和全国的影响来自发电厂的影响。这些发电厂的排放具有跨境效应,可影响到很远的其他地方。纯电动汽车全寿命周期产生的环境影响大部分不在其使用的城市。考虑到火力发电站以煤为燃料发电,在能量转换时会产生有害气体和温室气体 CO₂ 排放,纯电动汽车也可比汽、柴油车和混合动力汽车清洁得多。日本富士重工公司曾测算过:将于今年上市的斯巴鲁 R1 微型汽油车的油耗为 5.71 升/百公里,而每燃烧 1 升汽油,便会产生 2.32 千克 CO₂,所以 R1 微型汽油车行驶 1 万公里后,便会产生 1.325 吨 CO₂。而与 R1 微型汽油车同一尺寸的 R1e 纯电动微型汽车每行驶 10 公里会消耗 1 度电。据日本东京电力公司测算,每发 1 度电会产生 0.381 千克 CO₂,所以 R1e 纯电动微型车行驶 1 万公里后,相当于火力发电厂排出 0.381 吨 CO₂,只相当于汽油车的 28.7%。从以上分析可以得出,纯电动汽车的能源利用效率远高于内燃汽车。与内燃汽车相比,纯电动汽车在环保方面相对于内燃汽车具有优越性。

1) 局部影响。

若发电厂远离城区,纯电动汽车在局部就几乎没有环境污染。而每增加一辆内燃汽车,都会造成市区局部污染的增加。现在大部分新建的火电厂都远离城市。而且我国“十一五”能源规划大力发展新

相关数据来自于 www.chinaev.org。
谐波:电力系统中非线性(时变或时不变)负载时,即使电源都以工频 50 HZ 供电,当工频电压或电流作用于非线性负载时,就会产生不同于工频的其他频率的正弦电压或电流,这些不同于工频频率的正弦电压或电流,用富氏级数展开,就是人们称的电力谐波。
Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004。
相关数据来源于 www.chinaev.org。
相关数据来源于 www.chinaev.org。

能源产业,核电、水电,风电比重将大幅增加。从长远来看,纯电动汽车不失为一种环保清洁的交通工具。

2) 整体影响。

纯电动汽车的能源利用效率很高,它的整个寿命周期过程二氧化碳排放低于其他任何一种机动车辆。随着全球气候变化所带来的环境影响越来越明显,在交通部门使用可再生能源是非常吸引人的。国际社会与中国都做出了大力发展新能源汽车的长期发展战略,与纯电动汽车相比,很难找到另外一种低温室气体排放和机动化的交通工具。

6 结论

本文运用全寿命周期理论分析纯电动汽车全寿命周期过程对环境造成的影响,考虑了几乎所有可对环境产生影响的因素,并对这些影响因素进行了具体的分析,具有一定的前瞻性和优越性,如下:

1) 全寿命周期理论不仅从电动汽车的“出生”到“死亡”来考虑其对环境造成的影响,而且考虑了电能供给的过程中对环境的影响,考虑到新能源发电的比例不断增加,电动汽车的绿色环保将更加具有优势。

2) 运用全寿命周期理论对电动汽车对环境造成的影响进行分析,将分析建立在全面的、科学的基础上,避免了片面性和盲目性,从全局出发,论证了电

动汽车是汽车产业可持续发展的方向。

本文在运用全寿命周期理论来分析电动汽车对环境造成的影响时,仅局限于纯电动车的全寿命周期对环境造成的影响,没有考虑混合动力汽车,另外电动汽车全寿命周期的每一过程对环境造成的影响都有深入研究的价值,这些都是今后笔者努力的方向。

参考文献

- [1] 张承海. 汽车产业与资源环境[J]. 公路与汽运, 2006(6): 1-3.
- [2] 何玮. 环境保护与汽车工业的可持续发展[J]. 中国环保产业, 2005(4): 19-20.
- [3] 陈宗璋, 吴振军. 电动汽车现状与发展趋势[J]. 大众用电, 2008(2): 35-36.
- [4] 董良, 侯璐瑶. 全寿命周期成本管理与可持续发展[J]. 国家电网, 2008(12): 31.
- [5] 张旭梅, 刘飞. 产品生命周期成本概念及分析方法[J]. 工业工程与管理, 2001(3): 26-29.
- [6] 魏名山. 汽车与环境[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 97-101.
- [7] EMBARQ. Componente III Pruebas de tecnología de Autobuses[R]. 2006: 120-122.
- [8] 中国能源基金会. Electric Utilities 2005, 201-205.
- [9] Environment Canada. Environmental Implications of the Automobile [C] // SOE FactSheet No. 93-1, 2005: 145-147.

Analysis on Impact of Electric Vehicle on Environment in Total Life-cycle

Ai Jianghong, Li Haifeng, Lin Jianjun

(College of Economics Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract : Based on the total life cycle theory, this paper analyzes the impacts of electric vehicles on environment in total life cycle, and compares it with fuel cars. The results show that the environment pollution caused by electric vehicles in total life cycle environmental is lower than that caused by internal-combustion vehicles; in the concept of sustainable development, government should actively promote the development of electric vehicle industry.

Key words : total life-cycle theory; electric vehicle; environment pollution; sustainable development