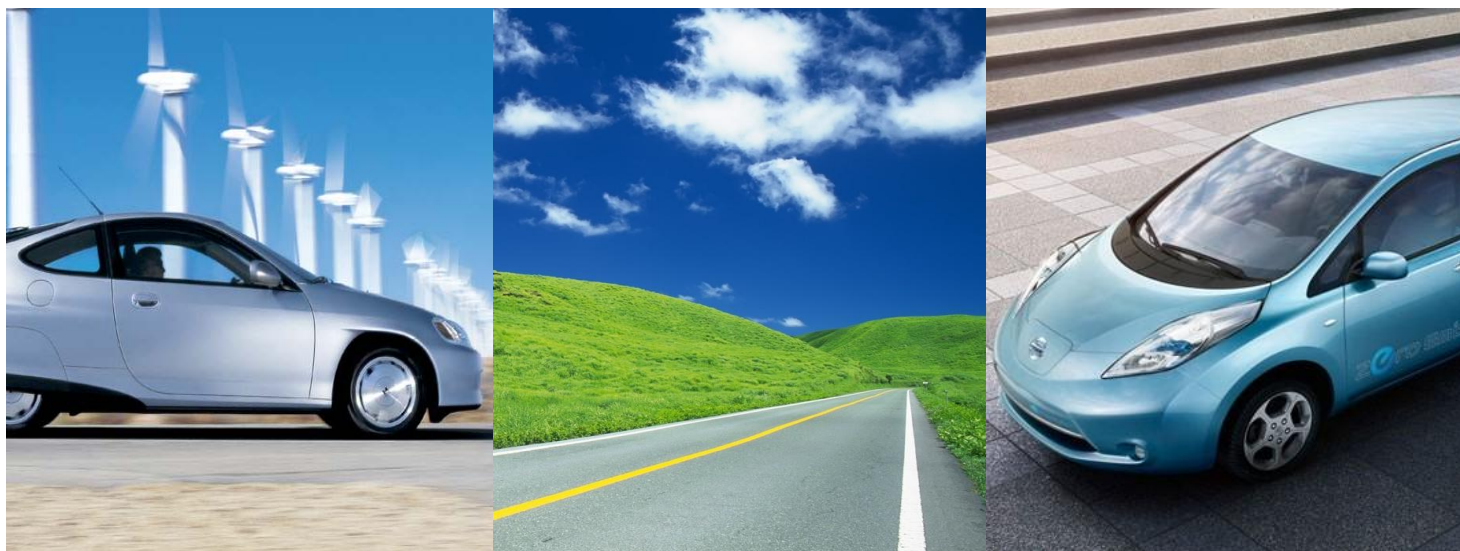




THE CHINA SUSTAINABLE ENERGY PROGRAM
中国可持续能源项目

威廉与佛罗拉·休斯基金会
能源基金会
项目资助号: G-1104-14045



新能源汽车环境影响评价体系研究

*New Energy Vehicle (NEV) Environmental Impact
Assessment System Research*



能源与交通创新中心
2012年6月

致 谢

感谢能源基金会中国可持续能源项目为本报告提供资金支持，同时也诚挚地感谢为本报告提出宝贵意见与建议的所有业内专家与同事。

报告作者

马冬、安锋、康利平、Robert Earley

报告声明

本报告所有观点、解释、结论均属作者个人意见，不代表项目资助方。报告仅限于研究、个人学习或某个组织的内部传阅，不得翻印或者用于商业目的。如有不妥与谬误之处，敬请读者不吝批评和指正。

联系方式

北京市朝阳区光华路丙 12 号数码 01 大厦 1904 室 邮编:100020

电话: 010-65857324 传真: 010-65857394 网站: www.icet.org.cn

目 录

摘 要	1
前 言	2
1、环境友好汽车评价系统简介	4
1.1 系统方法学.....	5
1.2 案例分析.....	9
1.3 存在的问题.....	14
2、新能源汽车环境影响评价发展现状	16
2.1 国外发展现状.....	16
2.2 国内发展现状.....	18
3、纯电动汽车环境影响评价	20
3.1 纯电动汽车方法学.....	20
3.2 案例分析.....	27
4、插电式混合动力汽车环境影响评价	31
4.1 插电式混合动力汽车方法学.....	31
4.2 案例分析.....	33
5、总结	38

图

图 1 中国环境友好汽车在线评价系统网络版	4
图 2 中国环境友好汽车在线评价系统手机版	5
图 3 汽车绿色得分区间	6
图 4 常规能源汽车环境影响指数独立变量	6
图 5 常规能源汽车生命周期环境影响评价	7
图 6 中国电力能源结构	14
图 7 聆风骐达生命周期温室气体排放因子对比	15
图 8 GREET 模型结构	17
图 9 新能源汽车能耗及排放标准体系	18
图 10 新能源汽车能量消耗标准体系	18
图 11 纯电动汽车环境影响指数独立变量	20
图 12 纯电动汽车生命周期环境影响评价	21
图 13 2008 年不同区域电网发电阶段温室气体排放因子	25
图 14 2008 年不同区域电网生命周期温室气体排放因子	26
图 15 插电式混合动力汽车环境影响指数独立变量	31
图 16 插电式混合动力汽车生命周期环境影响评价	32
图 17 插电式混合动力汽车使用系数与纯电动模式行驶里程关系	34

表

表 1 常规能源汽车环境影响指数计算步骤	8
表 2 日产骐达绿色得分计算参数	9
表 3 污染物损害费用	10
表 4 污染物相对健康影响因子	11
表 5 燃料上游相对健康影响	11
表 6 常规能源汽车尾气排放健康影响	12
表 7 纯电动汽车环境影响指数计算步骤	21
表 8 不同区域电网能源结构	22
表 9 燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值	23
表 10 电力上游排放因子	24
表 11 不同电池的寿命系数	27
表 12 日产聆风绿色得分基本计算参数	28
表 13 电力上游相对健康影响	28
表 14 纯电动汽车尾气排放健康影响	29
表 15 插电式混合动力汽车环境影响指数计算步骤	32
表 16 丰田普锐斯绿色得分基本计算参数	33
表 17 燃料及电力上游健康影响	35
表 18 插电式混合动力汽车尾气排放健康影响	36

摘要

为了量化汽车对环境的影响，能源与交通创新中心（iCET）以汽车全生命周期为评价基础，开发了中国环境友好汽车评价系统，为消费者、生产商和政策制定者提供一个准确科学、基于车辆生命周期的环境影响的评价方法。

新能源汽车在使用阶段一方面可以减少对石油能源的依赖，另一方面可以减少温室气体及污染物的排放，在节能环保方面与常规能源汽车相比具有很大的优势，因此作为国家的战略性新兴产业之一，受到广泛关注。电力作为一种新能源，虽然在使用过程中是清洁的，由于我国电力系统清洁能源比例较低，生产技术水平落后，从全生命周期的角度考虑，电力并不是清洁的。同时新能源汽车加大了电池的比重，而电池在生产和回收过程中，同样对环境会产生一定的污染。因此，从生命周期的角度量化分析新能源汽车对环境的影响有着重要的意义。

报告首先介绍了环境友好汽车评价系统的方法学，并以日产骐达作为案例，进行了分析，同时指出了评价系统目前存在的问题。iCET 通过对国内外相关研究进行分析，以环境友好汽车评价系统方法学为基础，加入电力及电池生命周期的环境影响，以日产聆风及丰田普锐斯为案例，对新能源汽车中纯电动汽车和插电式混合动力汽车的环境影响进行了评价，结果显示，从生命周期的角度考虑，新能源汽车与常规能源汽车相比更加绿色环保。此次研究不仅将新能源汽车纳入了环境友好汽车评价系统，同时也指出了研究中发现的一些问题，并为新能源汽车的可持续发展提出了几点建议。

随着我国新能源汽车的快速发展，以生命周期理论为基础，科学评价新能源汽车的环境影响，对于推动我国汽车工业节能减排，实现可持续发展有着重要的意义。

前言

2010 年，中国汽车产销量均超过 1800 万辆，2011 年再次双双突破 1800 万辆¹，继续保持世界最大汽车产销国地位。汽车工业的快速发展，汽车保有量的不断增长，给我国能源供给、环境改善带来巨大压力。研究指出，我国每年汽车燃料消耗量达 1 亿多吨，燃料全生命周期温室气体排放量（包括燃料生产与消耗）达 4 亿多吨²。环保部 2011 年 12 月发布的 2011 年《中国机动车污染防治年报》³中指出机动车污染成为大气环境最突出、最紧迫的问题。

大力发展新能源汽车，对有效应对能源短缺、环境污染带来的挑战，推动汽车工业可持续发展具有重要意义。新能源汽车在使用阶段一方面可以减少对石油能源的依赖，另一方面可以减少温室气体及污染物的排放，在节能环保方面与常规能源汽车相比具有很大的优势。但是从全生命周期的角度考虑，新能源汽车对环境的影响也不能忽视。新能源汽车作为一种能源载体，它的清洁程度依赖于能源本身的清洁程度。对于水电、风电、光伏发电、核电等清洁能源而言，新能源汽车就是一种清洁汽车；对于火电而言，新能源汽车就未必是一种清洁汽车。同时新能源汽车加大了电池的比重，而电池在生产和回收过程中，同样对环境会产生一定的污染。因此，从生命周期的角度研究分析新能源汽车对环境的影响有着重要的意义。

《节能和新能源汽车产业发展规划 2011-2020》指出，到 2015 年纯电动汽车（EV）和插电式混合动力汽车（PHEV）市场保有量达到 50 万辆以上，到 2020 年达到 500 万辆，中/重度混合动力乘用车占乘用车年产销量的 50%以上，我国节能与新能源汽车产业规模位居世界前列⁴。作为战略性新兴产业之一，我国正在逐步加大对新能源汽车的扶持力度，目前，在北京、上海、长春、深圳、杭州、合肥等 6 个城市启动了私人购买新能源汽车补贴试点工作，在国内 25 个城市启动了十城千辆节能与新能源汽车示范推广应用工程。新能源汽车正进入

¹ 2011 年汽车工业经济运行情况信息发布会。

<http://www.caam.org.cn/xiehuidongtai/20120112/1605066975.html>

² 能源与交通创新中心，中国发展低碳汽车燃料政策建议报告。2010 年 12 月。

³ 环境保护部发布机动车污染防治年报。

http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201112/t20111219_221495.htm

⁴ 节能与新能源汽车产业规划 2011-2020

http://www.autoinfo.gov.cn/autoinfo_cn/qinyqc/xzlm/ddczs/webinfo/2011/06/1306764393584856.htm

全面示范推广阶段，因此理性思考新能源汽车的环境影响，对于我国汽车工业真正实现节能减排目标，推动汽车工业可持续发展具有重要意义。

为了推动环境友好汽车的发展，能源与交通创新中心（iCET）在能源基金会中国可持续能源项目、威廉与佛洛拉·休利特基金会以及美国节能理事会的支持下，开发了中国环境友好汽车评价系统。该系统以汽车全生命周期为评价基础，综合考虑汽车使用、燃料生产分配以及汽车生产回收过程中对环境的影响，以排放标准、燃料类型、燃料消耗量以及整备质量为基本评价参数，为每一款车型对环境的影响进行量化。由于方法学和数据来源问题，目前系统仅对常规能源乘用车以及常规混合动力乘用车进行了评价，因此如何衡量新能源汽车对环境的影响，将新能源汽车纳入环境友好汽车评价系统之中，成为本报告研究的重点。

对于新能源汽车的范围，国内有一定的争论。2009年7月实施的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》⁵，规定：新能源汽车，是指采用非常规的车用燃料作为动力来源（或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置），综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车，包括混合动力汽车、纯电动汽车（BEV，包括太阳能汽车）、燃料电池电动汽车（FCEV）、氢发动机汽车、其他新能源（如高效储能器、二甲醚）汽车等各类别产品。而在最新发布的《节能和新能源汽车产业发展规划2011-2020》中，经工信部、科技部、国家发改委等多部门反复论证，新能源汽车的范围明确为插电式混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车，将常规混合动力汽车划归为节能汽车⁶。2012年3月公布的电动汽车科技发展“十二五”专项规划(摘要)⁷也将插电式混合动力汽车划归到纯电动汽车大类，与常规混合动力汽车分开。综合考虑技术及市场因素，本报告将重点研究插电式混合动力和纯电动乘用车对环境的影响，对于其他类型新能源汽车暂不考虑。

⁵ 《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》发布。

<http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/12425871.html>

⁶ 国家敲定新能源汽车范围 常规落选。

<http://auto.163.com/11/0805/07/7AM7BKEM00084IJG.html>

⁷ 电动汽车科技发展“十二五”专项规划(摘要)

<http://www.d1ev.com/news-11273/>

1、环境友好汽车评价系统简介

为了推动环境友好汽车的发展，能源与交通创新中心在能源基金会中国可持续能源项目、威廉与佛洛拉·休利特基金会以及美国节能理事会的支持下，开发了中国环境友好汽车（EFV，Environmentally Friendly Vehicle）评价方法学。该方法学以汽车全生命周期为评价基础，综合考虑汽车生产、使用、回收过程以及燃料生产、分配、使用过程中对环境的影响，以排放标准、燃料类型、燃料消耗量以及整备质量为基本评价参数，为每一款车型对环境的影响进行量化。

基于中国环境友好汽车评价方法学，能源与交通创新中心独立开发了中国第一个环境友好汽车在线评价系统（如图 1），系统基础数据均来自工信部和环保部等国家权威部门公布数据，涵盖八十多个汽车品牌，七千多款车型，数据库将根据新车上市情况不断更新。基于该系统，消费者既可以查询汽车的环境友好指数——绿色得分，又可以基于汽车行驶里程，在线评价汽车的温室气体排放情况。



图 1 中国环境友好汽车在线评价系统网络版⁸

同时为了方便消费者使用，能源与交通创新中心联合中国领先的导航电子地图内容和位置服务解决方案提供商高德软件有限公司，在其自主研发的移动终端

⁸ 环境友好汽车在线评价系统网络版. <http://www.greencarchina.org/home.php>

软件迷你地图的基础上，共同开发了环境友好汽车在线评价系统手机版（如图 2），通过手机可以方便快捷的登录系统进行查询计算。



图 2 中国环境友好汽车在线评价系统手机版⁹

中国环境友好汽车评价系统的目的是为消费者、生产商和政策制定者提供一个准确科学、基于车辆生命周期的环境影响的评价方法。为消费者购买使用环境友好汽车提供指南，引领绿色消费；引导企业调整产品结构、开发环境友好汽车，共同促进汽车工业的健康稳定发展；为政策制定者制定环境友好汽车发展政策提供参考依据，共同构建资源节约型、环境友好型社会。

1.1 系统方法学

中国环境友好汽车评价系统方法学以汽车生命周期分析法为基础，综合考虑车辆和燃料在整个生命周期中对环境的影响，量化每款车型的环境影响，评价出汽车环境影响指数（Environmental Impact Rating, EIR）。

环境影响指数是一个无量纲的数值，用以比较车辆和车用燃料在整个生命周期中带来的环境影响。为了使消费者更易于理解环境影响指数 EIR，通过对环境影响指数进行线性计算得到绿色得分（Green Rating, GR），绿色得分范围为 0-10，对于不会引起任何环境损害的理想的绿色汽车，EIR 值为 0，相应的绿色得分为 10 分。得分越高，说明汽车对环境的影响越小，越环保，如图 3 所示。

⁹ 环境友好汽车在线评价系统手机版 <http://www.greencarchina.org/profile.php?id=4>

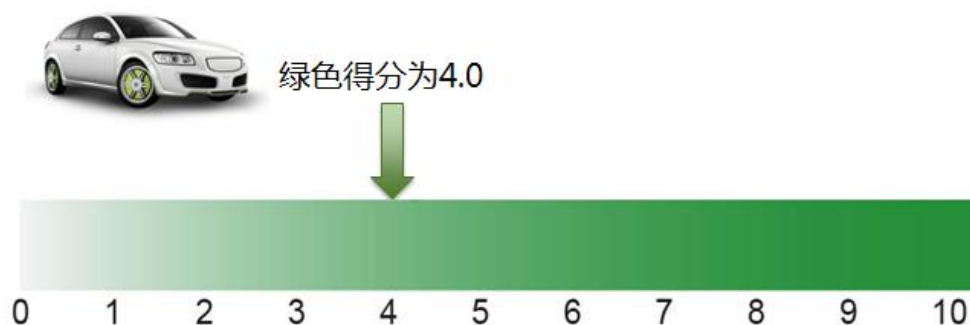


图 3 汽车绿色得分区间

在环境友好汽车评价体系中，环境影响指数的设计包括了汽车生命周期 WTW（Well-to-Wheel,油井到车轮）内三个阶段的环境影响，即车辆的使用阶段，燃料生产和分配阶段以及车辆的生产回收阶段。每一阶段中，车辆对环境的负面影响又被区分为空气污染健康影响和温室气体影响。

而车辆环境影响指数和绿色得分的计算取决于以下四个独立的变量：排放标准、燃料类型、燃料消耗量以及整备质量。这四个变量用于计算不同生命周期阶段的相对环境影响¹⁰。

排放标准

在中国市场上销售的所有车型都应该进行国家环保型式认证，达到规定的排放标准要求。不同阶段排放标准限值与车辆尾气导致的健康影响损害直接相关。通过排放限值可以量化计算得出尾气污染健康影响。

燃料类型和消耗量

燃料类型和燃料消耗量可被用于计算多种影响。首先，车辆使用阶段的温室气体影响可以通过燃料的碳含量和燃料消耗量计算；其次，燃料生产和分配阶段的环境影响与燃料类型和车辆燃料消耗量有关，这些环境影响包括来自于燃料生产和分配环节的上游污染物健康影响以及上游的温室气体影响。

整备质量

车辆生产与回收再利用阶段的环境影响，事实上不可能量化，但也不能忽略。而根据车辆的整备质量对车辆生产周期阶段进行相对环境影响进行评价，是最好的替代方法。

图 4 常规能源汽车环境影响指数独立变量

¹⁰ 能源与交通创新中心.中国环境友好汽车评分体系发展.2006年9月.

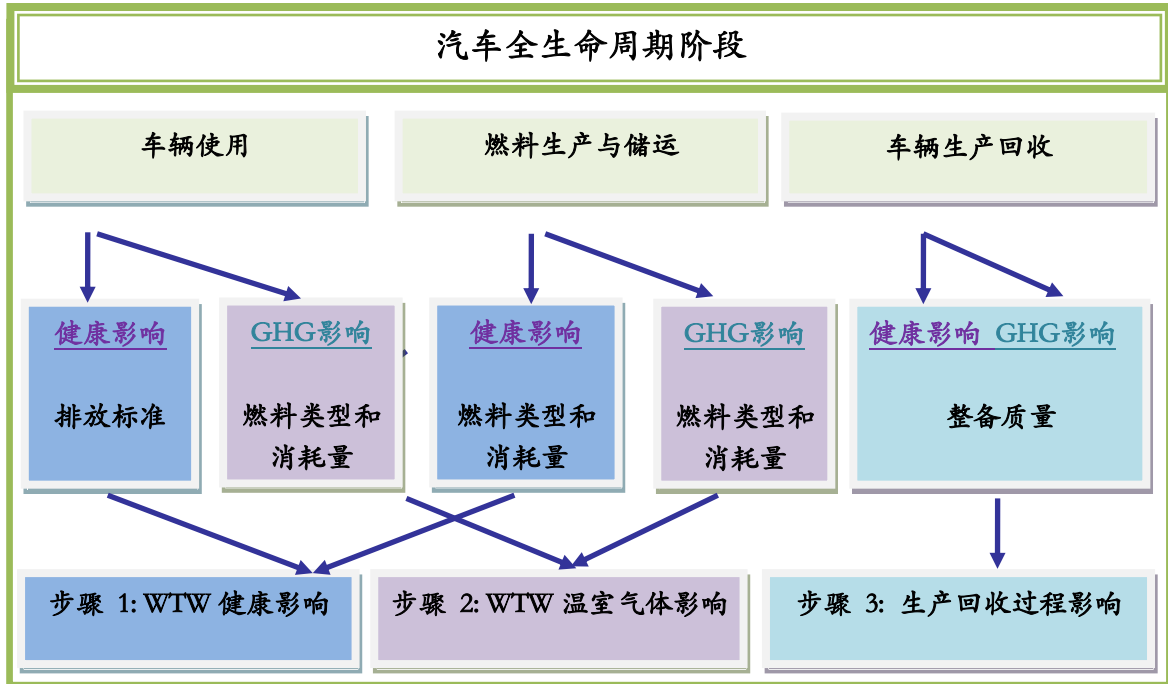


图 5 常规能源汽车生命周期环境影响评价

环境影响指数的计算分为三步：

第一步：计算生命周期 WTW 的相对健康影响指数

第二步：计算生命周期 WTW 的相对温室气体影响指数

第三步：计算汽车生产回收过程中的相对环境影响指数

环境影响指数每一个步骤都需要量化各个车型的相对环境影响，在选取量化基准时，既要考虑到现实情况，又要有一定的示范作用。为了便于比较计算，EFV 评价系统选择了满足国III排放标准，燃料消耗量为 6.9L/100km，整备质量为 1200kg 的汽油车作为量化影响的归一基准。虽然自 2011 年 7 月 1 日起，环保部规定所有生产、进口、销售的轻型汽油车、两用燃料车、单一气体燃料车必须符合国IV标准的要求¹¹，但是环保部发布的 2011 年《中国机动车污染防治年报》中指出，截止到“十一五”末，我国达到国III及以上排放标准的汽车只占汽车总保有量的 41.1%¹²，因此，未来一段时间，满足国III及以上排放标准的汽车将成为主流。中国汽车技术研究中心研究表明，2010 年我国乘用车平均整备质量达

¹¹ 关于实施国家第四阶段轻型汽油车、两用燃料车和单一气体燃料车污染物排放标准的公告。

http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201106/t20110620_212801.htm

¹² 环境保护部发布机动车污染防治年报 机动车污染成为大气环境最突出、最紧迫的问题。

http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201112/t20111219_221495.htm

到 1252kg¹³。2012 年 1 月 1 日开始导入，2015 年全面实施的《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》第三阶段提出全国乘用车新车平均燃料消耗量目标值为 6.9L/100km¹⁴。量化基准既反映了中国乘用车市场的基本情况，又有一定的超前，这样就保证了在具有充分改进空间的同时能有效的为目前市场上的车型评分。

表 1 常规能源汽车环境影响指数计算步骤

步骤	包括的环境影响	独立变量	归一基准
步骤 1	WTW 健康影响	排放标准	国III标准
步骤 2	WTW 温室气体影响	燃料类型、燃料消耗量	汽油，6.9L/100km
步骤 3	生产回收过程影响	整备质量	1200 kg

环境影响指数（EIR）是一个无量纲的数值，用以比较车辆和燃料在整个生命周期中带来的环境影响。环境影响指数分别为健康影响，温室气体影响和生产回收过程影响的加权和。根据国际上其他评价体系的经验，EFV 系统假设健康影响和温室气体影响具有相同的权重且各占 45%；生产回收过程影响的权重为 10%，具体计算如下。

环境影响指数计算

环境影响指数（EIR）= $W_1 \times \text{健康影响} + W_2 \times \text{温室气体影响} + W_3 \times \text{生产过程影响}$

其中 W_1 ， W_2 ， W_3 是权重因子，

W_1 (健康影响) = 0.9 (45%)

W_2 (温室气体影响) = 0.9 (45%)

W_3 (生产回收过程影响) = 0.2 (10%)

绿色得分是为了使消费者更易于理解环境影响指数，通过下面的线性公式直接计算而得：

$$GR = 10 - f \times EIR$$

其中 f 为控制线性函数斜率的系数，为使基准车型绿色得分为 5.0， f 设定为 2.5。对于不会引起任何环境损害的完美的绿色汽车，EIR 值为 0，相应的绿色得分为 10 分。绿色得分是一个相对值，而不是一个绝对值，并不代表汽车的实际

¹³ 国内汽车产量突破 840 万辆 稳居全球第一. <http://auto.163.com/10/0707/17/6B00KUPG000816HJ.html>

¹⁴ 第 3 阶段油耗标准元旦实行 油耗目标 6.9 升. <http://auto.people.com.cn/GB/16195277.html>
《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》国家标准发布.
<http://chinaafc.miit.gov.cn/n2257/n2260/c79834/content.html>

环境影响，而实际的环境影响也是也是非常难于衡量的。因此，在同一个评价体系中相互比较才更有意义。

环境友好汽车评价系统独立变量的选取，既要考虑数据的代表性、易用性，又要考虑数据的权威性、可取性。燃料类型、燃料消耗量以及整备质量数据来自工信部汽车燃料消耗量网站¹⁵，其中燃料消耗量为综合工况下百公里油耗。排放标准数据来自环保部机动车排污监控中心网站¹⁶。由于工信部网站数据中不包括汽车尾气排放标准，因此在整理数据时做了大量的匹配工作。系统数据库涵盖了国产车和进口车在内的八十多个汽车品牌，七千多款车型，数据库将根据新车上市情况不断更新。

1.2 案例分析

报告选取了常规能源汽车日产骐达（TIIDA）作为案例车型，其绿色得分计算参数如表 2 所示。

表 2 日产骐达绿色得分计算参数¹⁷

车型	型号	燃料类型	燃料消耗	排放标准	整备质量
	DFL7165VTC1	汽油	7.8 L/100km	国IV	1326kg

步骤 1 WTW 健康影响

WTW 健康影响主要是评价车辆生命周期的空气污染健康影响，包括燃料上游健康影响和尾气排放健康影响两部分。其中燃料上游健康影响是燃料类型和燃料消耗量的函数，不同的燃料类型与消耗量的相对健康影响是不同的。而尾气排放健康影响与排放标准息息相关，排放标准越高，相对健康影响就越低。

为了量化不同污染物对环境的影响，美国汽车环境影响评价模型 ACEEE 利用环境经济学方法将各种污染物在其生产使用等环节带来的环境损害货币化，如表 3 所示。

¹⁵ 中国汽车燃料消耗量网站. <http://chinaafc.miit.gov.cn/index.html>

¹⁶ 机动车环保网. <http://www.vecc-sepa.org.cn/index.jsp>

¹⁷ http://tiida.dongfeng-nissan.com.cn/data_gts.php
<http://chinaafc.miit.gov.cn/n2257/n2280/index.html#>

表 3 污染物损害费用¹⁸

污染物	污染物损害费用 (\$/kg)		
	机动车	炼油厂	发电厂
CO	0.04	0.008	0.004
HC	0.47	0.094	0.047
NO _x	6.24	1.25	0.462
PM ₁₀	50.09	10.02	5.01
SO ₂	29.42	5.88	2.94

从表 3 可以看出，ACEEE 模型假设炼油厂的污染物损害的费用是机动车污染物损害费用的 1/5，发电厂污染物的损害费用是机动车污染物损害费用的 1/10。研究表明，由于各污染源的位置及其特征(烟囱高度、直径、排放温度与速度)、气象特征(风速、风向、稳定度)、污染特征(气体或蒸汽或颗粒物、可反应性、可溶解性)以及受体特征(位置、人口密度)等不同，暴露效率也不同¹⁹。暴露效率 (Exposure Efficiency) 也叫吸入因子 (Intake Factor)，是指污染源排放的物质最终被人体吸收或消化的量占总排放量的比例。虽然发电厂的排放量很大，但由于距离城区较远，而且排放高度较高，但浓度贡献并不很高，暴露效率最低。炼油厂虽然排放强度小于发电厂，但他们位置分布接近城区或在城区之内，排放高度低于发电厂，浓度贡献较大，暴露效率位于发电厂和机动车之间。机动车主要集中在城区，人口密集，排放高度接近地面，浓度贡献最大，因此暴露效率也最高。

为了进一步简化计算，EFV 评价系统以机动车 NO_x 污染物的损害费用作为归一基准，将所有机动车污染物损害归一化，得到尾气排放相对健康影响因子。EFV 系统采用 ACEEE 模型的假设，将燃料上游健康影响假设为尾气排放健康影响的 1/5，将电力上游相对健康影响假设为尾气排放健康影响的 1/10，得到不同污染物相对健康影响因子，如表 4 所示。

¹⁸ Kliesch, J. 2006. Rating the Environmental Impacts of Motor Vehicles: ACEEE's Green Book® Methodology, 2006 Edition. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy.

¹⁹ 应高祥等. 北京城市大气污染源的暴露效率研究. 城市环境与城市生态. 2002 年 8 月.

表 4 污染物相对健康影响因子

污染物	机动车污染物 损害费用 (\$/kg)	尾气排放相对健康 影响因子 Rt	燃料上游相对健康 影响因子 Rf	电力上游相对健康 影响因子 Re
CO	0.04	0.006	0.001	0.001
HC	0.47	0.075	0.015	0.008
NOx	6.24	1.000	0.200	0.100
PM ₁₀	50.09	8.027	1.605	0.803
SO ₂	29.42	4.715	0.943	0.471

1) 燃料上游健康影响

燃料的上游生产输运过程中会排放大量的污染物。由于缺乏中国燃料上游排放因子数据，表 5 中燃料（汽油）上游的排放因子 Ef 采用了美国 ACEEE 模型相关研究结果²⁰。

表 5 燃料上游相对健康影响

污染物	燃料上游相对健康影响因子 Rf	燃料上游排放因子 Ef (g/L)
CO	0.001	2.219
HC	0.015	1.611
NOx	0.200	2.615
PM ₁₀	1.605	0.106
SO ₂	0.943	2.034
RF 燃料上游相对健康影响指数		2.638

由表 5 得到燃料（汽油）上游的相对健康影响指数 $RF = \sum Rf \times Ef = 2.638$ ，其中，Rf 为燃料上游相对健康影响因子，Ef 为燃料（汽油）上游排放因子。

燃料上游健康影响 = $Fc/100 \times RF$ ，其中，Fc 为燃料消耗，RF 为燃料上游相对健康影响指数，因此：

$$\text{案例值} = 7.8/100 \times 2.638 = 0.206$$

$$\text{基准值} = 6.9/100 \times 2.638 = 0.182$$

²⁰ Kliesch, J. 2006. Rating the Environmental Impacts of Motor Vehicles: ACEEE's Green Book® Methodology, 2006 Edition. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy.

2) 尾气排放健康影响

EFV 评价系统采用 GB18352.3-2005 《轻型汽车污染物排放限值及测量方法》国III阶段排放限值作为量化基准, 因为所有在中国生产销售的车辆必须通过国家环保部的排放型式认证。为了便于计算, EFV 采用了国III标准中 I 型试验排放限值要求。

表 6 常规能源汽车尾气排放健康影响

污染物	尾气排放相对健康影响因子 Rt	国 III 汽油车排放限值 Et (g/km)	国 IV 汽油车排放限值 Et (g/km)
CO	0.006	2.3	1.0
HC	0.075	0.20	0.10
NOx	1.000	0.15	0.08
PM ₁₀	8.027	0.025	0.01
RT 尾气排放相对健康影响指数		0.379	0.174

RT 尾气排放健康影响= $\sum Rt \times Et$, 其中 Rt 为尾气排放相对健康影响因子, Et 为对应排放标准限值, 因此:

$$\text{案例值} = \sum Rt \times Et = 0.174$$

$$\text{基准值} = \sum Rt \times Et = 0.379$$

3) WTW 健康影响

将案例 WTW 健康影响值做整体归一化处理:

$$\text{WTW 健康影响} = \text{案例值} / \text{基准值} = (0.206 + 0.174) / (0.182 + 0.379) = 0.677$$

步骤 2 WTW GHG 影响

WTW GHG 影响主要涵盖了车辆燃料从生产、分配到消耗过程中带来的温室气体的影响。对于每一个车型而言, 燃料生命周期的温室气体排放是燃料类型和燃料消耗量的函数。

$$1) \text{ 车辆全生命周期 GHG 影响} = \text{燃料消耗} \times F_1 \times F_2$$

其中, $F_1=23.565$, 为汽油燃料消耗 L/100km 到 GHG 排放 g/km 转换系数; $F_2=1.284$, 为汽油燃料生命周期内汽车尾气排放 GHG 转换系数。

F_1 、 F_2 由美国阿贡国家实验室 GREET 模型计算得到²¹。

²¹ GREET 1_2011 Fuel_Specs and Results Tabs, 2011.

$$\text{案例值}=7.8 \times 23.565 \times 1.284=236.008 \text{ (g/km)}$$

$$\text{基准值}=6.9 \times 23.565 \times 1.284=208.776 \text{ (g/km)}$$

$$2) \text{ WTW GHG 影响}=\text{案例值}/\text{基准值}=236.008/208.776=1.130$$

步骤3 生产回收对环境的影响

量化车辆生产回收过程中的健康影响和环境影响是非常困难的，然而，根据ACEEE的研究，一辆车自身以及其使用的燃料在生命周期内总的能源消耗至少有10%是发生在生产回收阶段(DeCicco and Thomas, 1999)。因此，任何一个基于车辆生命周期影响的评价必须包括对车辆生产回收过程影响的考虑。EFV系统选取整备质量为评价生产回收过程对环境的影响参数，通过将不同车辆参数进行标准化，来量化车辆的相对健康影响。

1) 生产回收对环境的影响通过设定标准质量(目前设定为1200kg)进行标准化。

$$\text{案例值}=1326\text{kg}$$

$$\text{基准值}=1200\text{kg}$$

$$2) \text{ 生产回收对环境的影响}=\text{案例值}/\text{基准值}=1326/1200=1.105$$

绿色得分计算

1) 环境影响指数

环境影响指数(EIR)是一个无量纲的数值，用以比较车辆和燃料在整个生命周期中带来的环境影响。 W_1 、 W_2 和 W_3 分别为健康影响，温室气体影响和生产回收过程影响的权重系数。根据国际经验，EFV系统假设健康影响和温室气体影响具有相同的权重，生产回收过程影响的权重为总权重的10%。

$$\begin{aligned} \text{环境影响指数} &= W_1 \times \text{健康影响} + W_2 \times \text{GHG 影响} + W_3 \times \text{生产回收过程影响} \\ &= 0.9 \times 0.677 + 0.9 \times 1.130 + 0.2 \times 1.105 = 1.847 \end{aligned}$$

其中， W 为权重系数， $W_1 = 0.9(45\%)$ ， $W_2 = 0.9(45\%)$ ， $W_3 = 0.2(10\%)$

2) 绿色得分

绿色得分是为了使消费者更易于理解环境影响指数EIR，通过下面的线性公式直接计算而得：

$$\text{绿色得分} = 10 - f \times \text{EIR} = 10 - 2.5 \times 1.847 = 5.38$$

基准车型的健康影响、温室气体影响和生产回收过程影响均为 1，因此，基准车型的环境影响指数为 2，为使基准车型的绿色得分为 5，f 被设定为 2.5。

1.3 存在的问题

由于方法学和数据来源问题，目前 EFV 数据库仅包括常规能源乘用车以及常规混合动力乘用车，暂不包括插电式混合动力及纯电动等新能源乘用车。插电式混合动力汽车及纯电动汽车与常规能源汽车有很大的不同。这些新型汽车引入了新的能源，电力。如果单从使用阶段的汽车油耗和排放角度考虑，对于纯电动汽车而言，油耗和排放均为零，但从生命周期的角度考虑，情况并非如此。对于电力而言，原料的开采运输，电力的生产、输送以及充电转换等过程都伴随着能量的消耗和污染的产生。我国电力能源结构以火电为主，火电占全国平均发电比例的 80%以上²²，而且能源结构地区差异较大，如图 6。

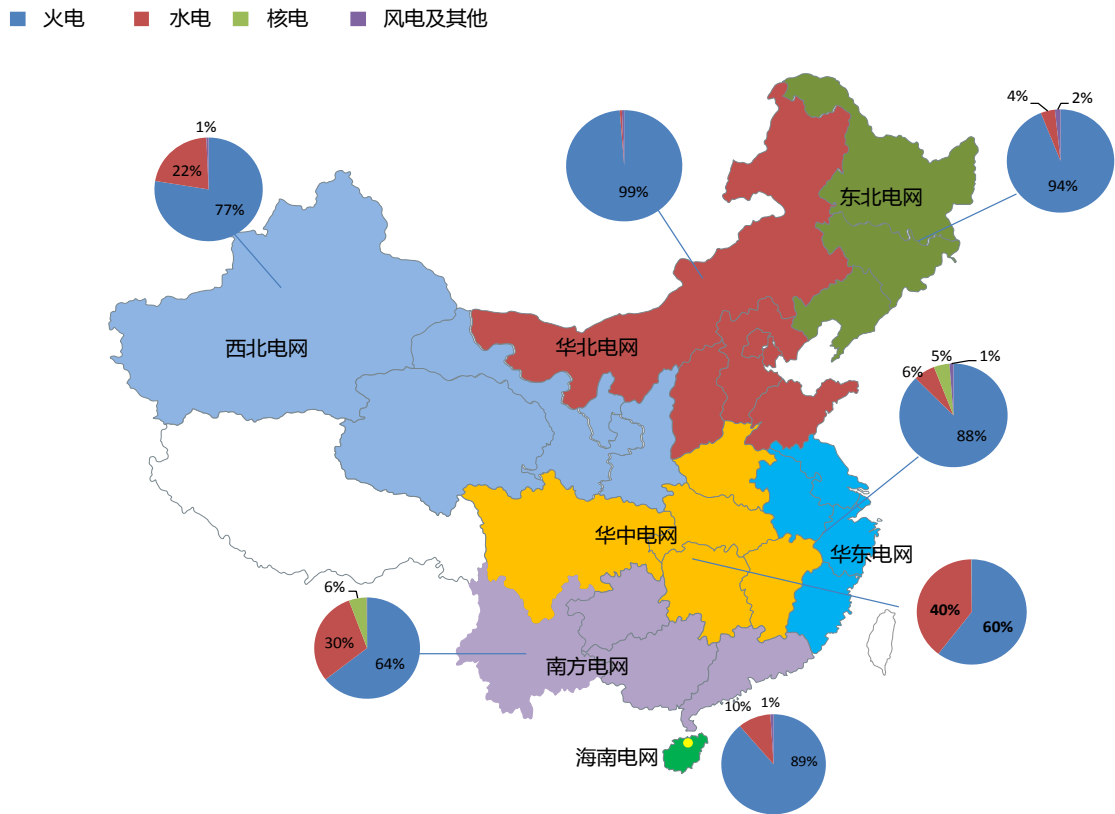


图 6 中国电力能源结构

²² 中国电力年鉴 2009.中国统计出版社：北京,2009.

能源与交通创新中心采用生命周期的研究方法，对日产聆风和日产骐达进行了案例分析²³，结果发现，从全生命周期的角度考虑，以现有的技术条件，在中国推广电动汽车的温室气体减排潜力并不是很大，如图 7。在华中、南方等清洁能源比例较大的电网，电动汽车的减排潜力较大，其他电网减排潜力不明显，在东北、华北两个电网推广电动汽车甚至会导致温室气体排放的增加，从平均水平来看，电动汽车的减排优势也不明显。因此，在大力发展新能源汽车的同时，应加大清洁能源比例，降低现有火力发电的温室气体及污染排放，使电动汽车成为真正的清洁汽车，推动交通领域的节能减排。

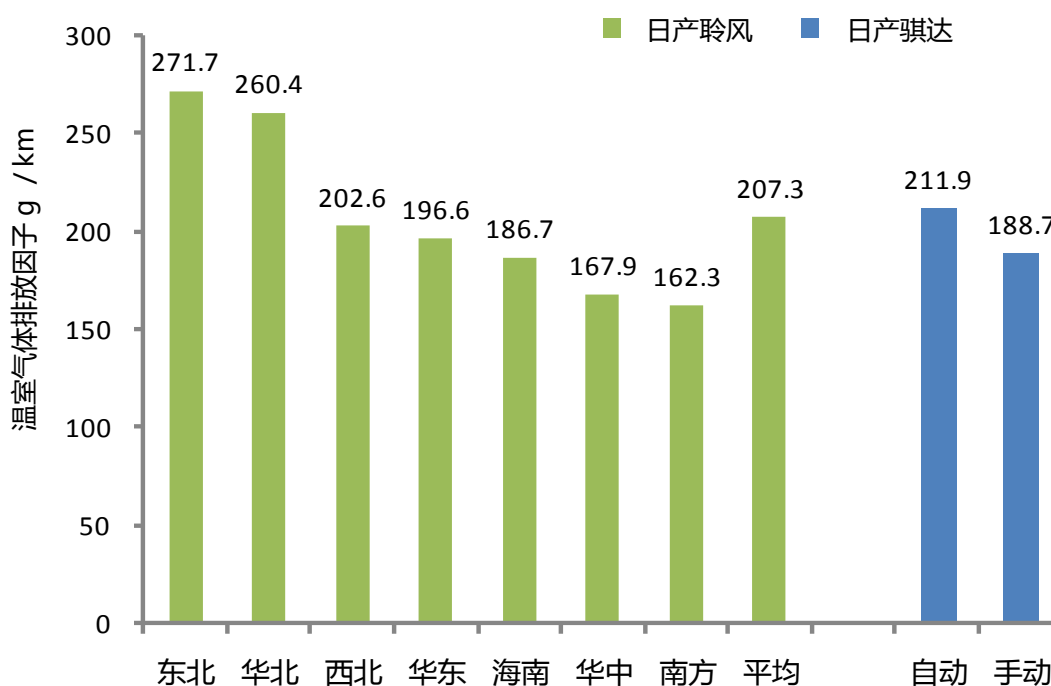


图 7 聆风骐达生命周期温室气体排放因子对比

同时新能源汽车中电池占据很大比重，而电池的生产 and 回收也会对环境产生一定的影响。因此如何衡量新能源汽车对环境的影响，将新能源汽车纳入环境友好汽车评价系统之中，成为本次研究的重点。

²³ 中国电动汽车可持续发展背景研究报告.能源与交通创新中心,2011.

2、新能源汽车环境影响评价发展现状

2.1 国外发展现状

2.1.1 ACEEE 模型

美国节能理事会 ACEEE (American Council for an Energy Efficient Economy)²⁴ 是一家总部位于美国华盛顿的非盈利性组织，他们研究开发的 ACEEE 模型，从全生命周期的角度评价了汽车的环境影响。

ACEEE 模型主要考虑的参数有尾气排放、燃料经济性、汽车整备质量。其中尾气排放采用美国环保局 (EPA) 认证时获得的排放数据。燃料经济性也是基于 EPA 的试验循环确定的，用来评价温室气体排放、燃料生产和运输过程造成的空气污染、以及其他与燃料消耗率有关的排放。整备质量用作评价汽车制造影响的基础，ACEEE 采用了制造环节的平均排放因子和汽车各种原材料的平均质量进行评价，确定汽车单位质量各污染物的平均排放。

对于新能源汽车的排放因子，主要考虑所消耗电力在生产过程中的排放。美国 EPA 对于新能源汽车分别给出了基于城市和高速工况下的电力消耗。对于混合动力，包括插电式和常规混合动力，ACEEE 分别给予城市和高速工况 43% 和 57% 的权重。ACEEE 采用了 DeLucchi 的生命周期排放模型中电力生产过程中不同污染物的排放因子，经过整合计算可以得到新能源汽车的排放因子。ACEEE 不仅考虑了新能源汽车的整备质量，而且考虑了电池组的质量，并将汽车使用寿命中更换的电池也计算在内。

2.1.2 GREET 模型

美国阿贡国家实验室 (ANL, Argonne National Laboratory) 交通技术研发中心从 1995 年开始一直致力于汽车及燃料的生命周期评价，开发了基于生命周期评价 (LCA, life cycle analysis) 理论的能源环境评价模型 GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation) 模型²⁵。

²⁴ 美国节能理事会网站. <http://www.aceee.org/>

²⁵ 美国阿贡国家实验室 GREET 模型. <http://greet.es.anl.gov/>

REET 模型分为两个系列，REET1 系列为从生命周期 WTW（Well to Wheel）的燃料生命周期评价模型，REET2 系列为从原材料获取到车辆报废的汽车生命周期评价模型。如图 8 所示。

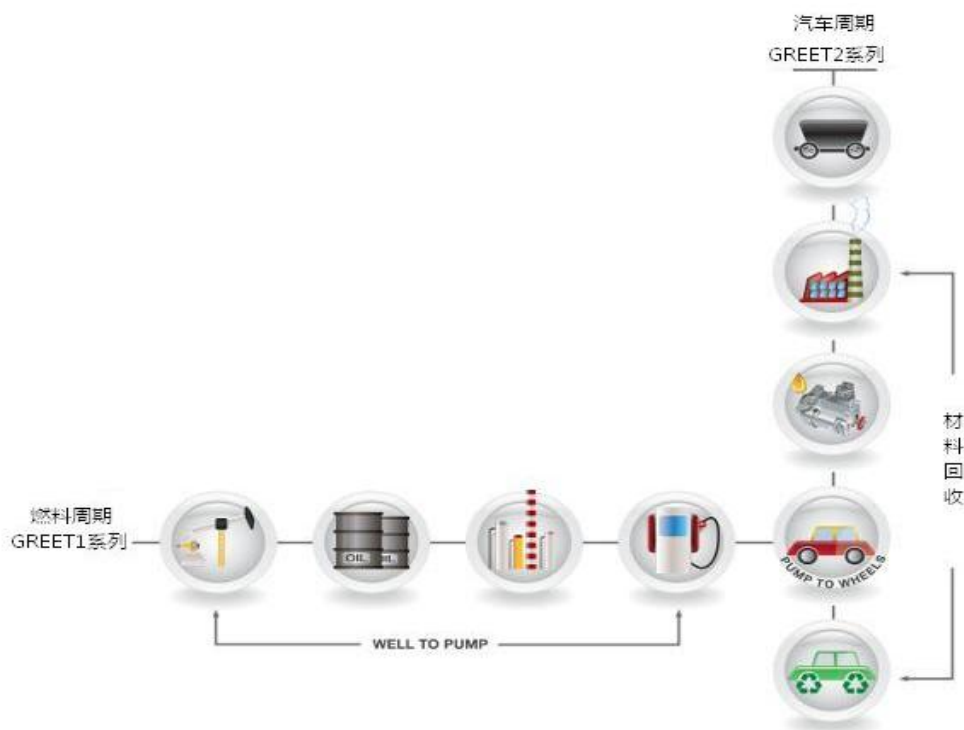


图 8 REET 模型结构

REET1 系列模型采用生命周期 WTW（Well to Wheel）分析法，将燃料的生命周期分为燃料生成过程 WTP（Well to Pump）和汽车运行过程 PTW（Pump to Wheel）两个阶段，综合考虑燃料生命周期内的能源消耗及环境影响。模型利用生命周期的评价方法，对不同汽车燃料生命周期过程中的排放和能耗进行了分析评价，目前模型已经发展到了 REET1_2011 版本。REET2 系列模型主要评价了汽车在生产和回收过程中的能源消耗和污染排放，目前模型已经发展到了 REET2.7 版本。

评价的燃料类型主要包括汽油，柴油，天然气，煤炭，生物质，电力等，评价的车型主要包括乘用车和轻型卡车，评价的车辆技术类型包括了传统的点燃式及压燃式汽车，混合动力汽车，纯电动汽车及燃料电池汽车等。对于一个给定的车型，REET 模型可以分别计算出车辆的燃料消耗量，温室气体排放量以及污染物排放量。

2.2 国内发展现状

中国目前针对不同类型的新能源汽车建立了比较全面的能耗和排放标准，基本覆盖了纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车等。已经制定的标准有《GB/T 18386-2005 电动汽车能量消耗率和续驶里程试验方法》、《GB/T 19753-2005 轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法》、《GB/T 19754-2005 重型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法》、《GB/T 19755-2005 轻型混合动力电动汽车污染物排放测量方法》，正在制定中的标准有《重型混合动力电动汽车污染物排放测量方法》、《重型混合动力电动汽车污染物排放车载测量方法》等。

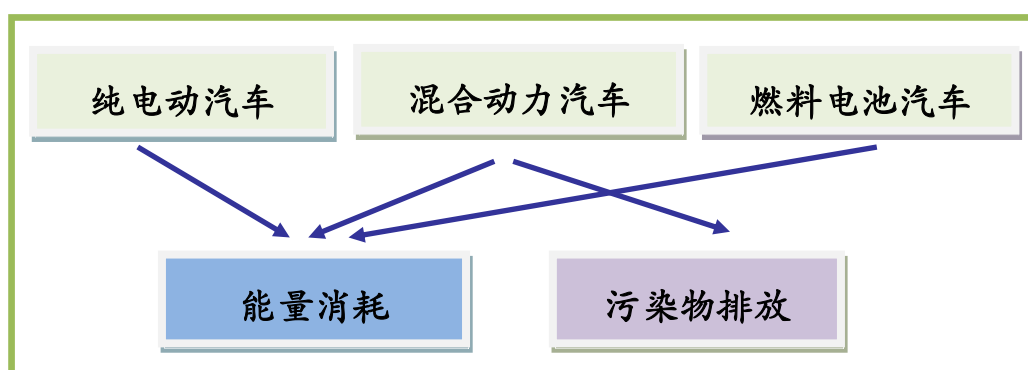


图9 新能源汽车能耗及排放标准体系

我国的新能源汽车标准体系中，对于纯电动汽车只有能量消耗标准，没有污染物排放标准。对于混合动力汽车，分为轻型和重型汽车两大类，每一类都涵盖了能量消耗量和污染物排放标准。

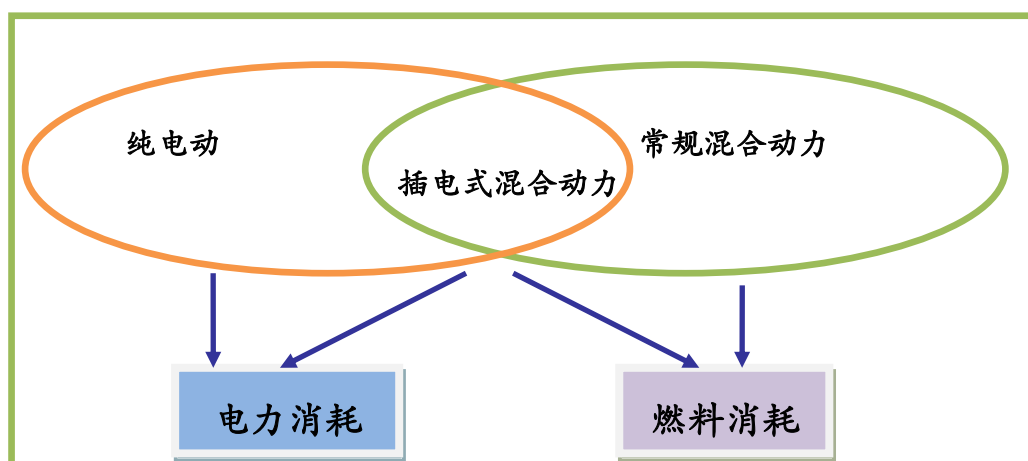


图10 新能源汽车能量消耗标准体系

能量消耗标准中，对于纯电动汽车而言，只有电力消耗。对于混合动力汽车，按充电模式的不同分为两类，不可外接充电式（NOVC, Not Off- Vehicle Charging）即常规混合动力，可外接充电式（OVC, Off-Vehicle Charging）既插电式混合动力。常规混合动力汽车由于对外界没有外接电力，因此只有燃料消耗，测试方法及限值参照传统汽车标准进行一定的修正。而对于插电式混合动力汽车，既可以使用燃料，也可以使用外接电力，因此不仅有燃料消耗，而且有电力消耗。测试方法为分别测量电池处于充电终止最高荷电状态下及放电终止最低荷电状态下的电力和燃料消耗量，然后再根据纯电动和混合动力状态下的行驶里程进行加权平均，得到插电式混合动力汽车的电力和燃料消耗量值²⁶。

排放标准中包括了轻型混合动力汽车和重型混合动力汽车，其中重型混合动力汽车包括底盘测功机法和车载法，两个标准都是基于整车的。对于纯电动汽车的限值目前正在制定中，对于混合动力汽车的能耗和排放标准限值都是按照目前国家的能耗和排放标准执行，没有特殊要求。

对于新能源汽车的能耗及排放，目前还没有建立起官方的发布平台，只有一些零散的企业及研究机构的数据，缺乏相关的官方认证数据。因此建立新能源汽车能耗及排放官方数据发布平台，对于加强新能源汽车的研究及管理有着重要的意义。

²⁶GB/T 19753-2005 《轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法》

3、纯电动汽车环境影响评价

3.1 纯电动汽车方法学

在环境友好汽车评价体系中，环境影响指数的设计包括了汽车生命周期 WTW（Well-to-Wheel,油井到车轮）三个阶段的环境影响，即车辆的使用阶段，燃料生产和分配阶段以及车辆的生产回收阶段。每一阶段中，车辆对环境的负面影响又被区分为空气污染健康影响和温室气体影响。对于纯电动汽车（EV），我们认为使用阶段为零排放，因此主要的环境影响来自电力原料的开采运输，电力的生产、输送以及充电转换等阶段以及车辆、电池等的生产回收阶段。

基于以上假设，我们在确定计算参数时，主要选取了以下四个独立的变量：电力消耗量，电池类型，电池质量以及整备质量。这四个变量用于计算不同生命周期阶段的相对环境影响。

电力消耗量

上游原料的开采运输，电力的生产、输送以及充电转换等过程都伴随着能量的消耗和污染的产生。为了与常规能源汽车对应，新能源汽车的电力消耗采用 kWh/100km 来量化电力消耗对温室气体和人体健康的影响。

电池类型和电池质量

一般认为电池在使用过程中的污染比较小，主要的污染来自生产和回收过程中。不同的电池类型对环境的影响也不同。电池的质量是衡量电池环境污染的一个重要指标。

整备质量

车辆生产与回收再利用阶段的环境影响，事实上不可能量化，但也不能忽略。而根据车辆的整备质量对车辆生产周期阶段进行相对环境影响进行评价，是最好的替代方法。

图 11 纯电动汽车环境影响指数独立变量

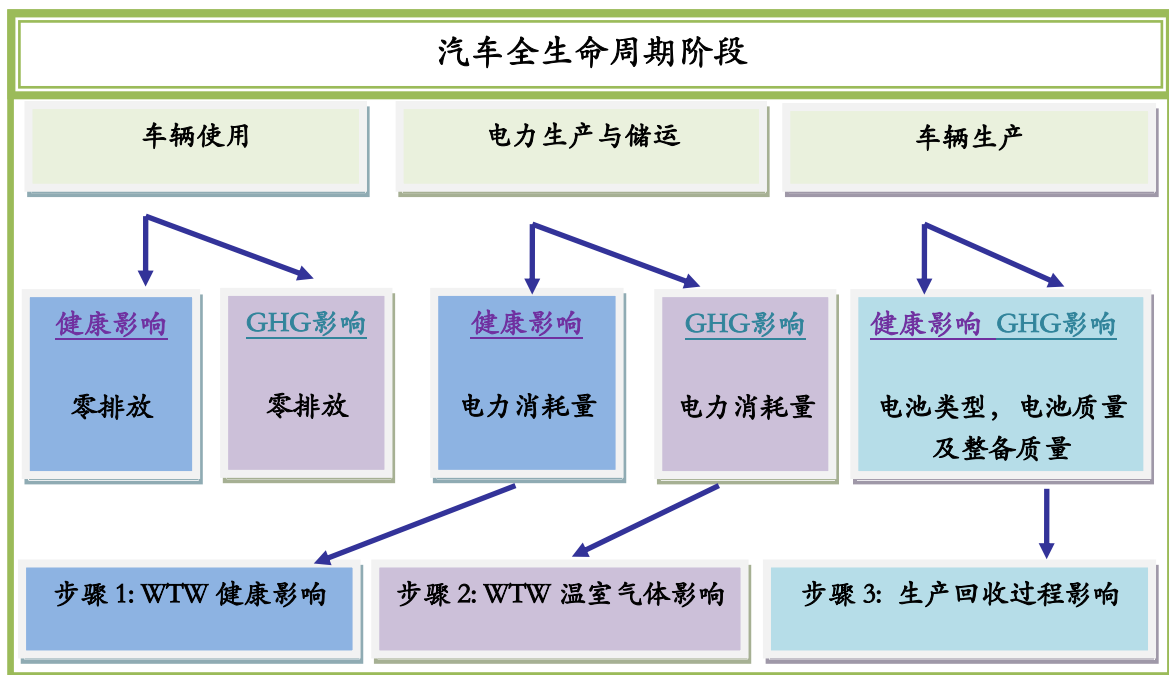


图 12 纯电动汽车生命周期环境影响评价

环境影响指数的计算分为三步：

第一步：计算生命周期 WTW 的相对健康影响指数

第二步：计算生命周期 WTW 的相对温室气体影响指数

第三步：计算汽车生产回收过程中的相对环境影响指数

环境影响指数每一个步骤都需要量化各个车型的相对环境影响，在此，我们选择了达到国III排放标准，燃油消耗量为 6.9L/100km，基准质量为 1200kg 的汽油车作为量化影响的归一基准。基准和权重因子的设定目标是保证这个基准车型能够得到 5.0 的绿色得分，这样就能够在保证了充分的改进空间的同时能有效的为目前市场上的车型评分。为了将纯电动汽车纳入 EFV 评价体系，归一基准保持不变。

表 7 纯电动汽车环境影响指数计算步骤

步骤	包括的环境影响	独立变量	归一基准
步骤 1	WTW 健康影响	电力消耗量	国 III 标准
步骤 2	WTW 温室气体影响	电力消耗量	6.9L/100km
步骤 3	生产回收过程影响	电池类型、电池质量、整备质量	1200 kg

汽车环境影响指数为三种影响的加权和，如下。

环境影响指数计算

环境影响指数 (EIR) = $W_1 \times \text{健康影响} + W_2 \times \text{温室气体影响} + W_3 \times \text{生产过程影响}$

其中 W_1, W_2, W_3 是权重因子,

W_1 (健康影响) = 0.9 (45%)

W_2 (温室气体影响) = 0.9 (45%)

W_3 (生产回收过程影响) = 0.2 (10%)

绿色得分是为了使消费者更易于理解环境影响指数,通过下面的线性公式直接计算而得:

$$GR = 10 - f \times EIR$$

其中 f 为控制线性函数斜率的系数,为使基准车型绿色得分为 5.0, f 设定为 2.5。对于不会引起任何环境损害的完美的绿色汽车, EIR 值为 0, 相应的绿色得分为 10 分。

3.1.1 电力全生命周期环境影响评价

我国电力结构以火电为主,约占 80%;水电次之,约占 17%;核电、风电、生物质发电等所占比例非常少,不到 3%。各区域资源分布不均,电力结构差异较大,其中华中电网可再生能源发电约占 40%,而华北电网却不到 1%。

表 8 不同区域电网能源结构²⁷

不同区域电网	火电	水电	核电	风电及其他
华北	98.8%	0.6%	0.0%	0.6%
东北	94.0%	4.3%	0.0%	1.7%
华东	87.7%	6.4%	4.7%	1.2%
华中	60.4%	39.5%	0.0%	0.1%
西北	77.6%	21.7%	0.0%	0.7%
南方	64.4%	30.0%	5.5%	0.1%
海南	88.8%	10.2%	0.0%	1.0%
总计	80.8%	16.6%	2.0%	0.7%

²⁷ 中国电力年鉴 2009.中国统计出版社:北京,2009.

目前火力发电的方式主要有汽轮机发电、燃气轮机发电及内燃机发电，其中汽轮机发电比例最大，燃气轮机发电近年来有所发展，内燃机发电比例最小。就能量转换的形式而言，火力发电原理就是将燃料（煤、石油、天然气）的化学能经燃烧释放出热能，再进一步将热能转变为电能。对电力的全生命周期环境影响评价主要分为两部分，一部分是污染物的排放，一部分是温室气体的排放。

污染物排放分析

火力发电是我国重要的电力来源，占到全国发电总量的 80% 以上，在对国家经济社会发展做出贡献的同时，也对环境的改善有重要的影响。发电过程中主要产生的大气污染物有二氧化硫、氮氧化物、烟尘等，此外还有水污染物、固体废弃物等。2009 年全国电力行业氮氧化物排放总量为 1692.7 万吨，约占全国排放总量的 49%；二氧化硫排放总量为 2214.4 万吨，约占全国排放总量的 46.4%²⁸。

“十二五”规划纲要提出，“十二五”期间全国二氧化硫排放量要下降 8%，氮氧化物排放量要下降 10%。环保部 2012 年 1 月 1 日实施的《火电厂大气污染物排放标准》进一步加严了对二氧化硫、氮氧化物、烟尘、汞等排放限制，对实现国家“十二五”规划减排目标有重要意义。表 9 为燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值。

表 9 燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值²⁹

污染物	适用条件	限值 (mg/m ³)	污染物排放 监控位置
烟尘	全部	30	烟囱或烟道
二氧化硫	新建锅炉	100 200	
	现有锅炉	200 400	
氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	全部	100 200	
汞及其化合物	全部	0.03	

我国火力发电设备中，燃煤机组发电量占全国总发电量的比重大，机组设备技术水平低，整体能效不高，平均能效约为 36%³⁰。我国超临界机组只占火电总

²⁸ 设立标准减排坐标 推进火电环保进程。

http://www.cenews.com.cn/xwhy/lcfb/201112/t20111206_709943.html

²⁹ GB13223-2011 火电厂大气污染物排放标准。

³⁰ 提高能源效率，是最有效的能源解决方案。<https://w1.siemens.com.cn/energy-efficiency/>

装机容量的 4.3%，燃气-蒸汽联合循环机组仅占火电总装机容量的 2.3%。由中国电力企业联合会与美国环保协会共同编著的《中国电力减排研究 2011》显示，截至 2010 年底，全国 6000 千瓦及以上火电机组平均供电标准煤耗为 333 g/kWh，同比下降 7 g/kWh。火电烟尘排放绩效为 0.5 g/kWh。全国脱硫机组容量达到 5.6 亿 kw，占煤电机组的比例约为 86%，火电二氧化硫排放绩效为 2.7 g/kWh；脱硝机组接近 9000 万 kw，约占煤电机组容量的 14%³¹。相对于脱硫产业而言，脱硝产业还不成熟，仍处于初步阶段。由于脱硝成本较高，设备的投运率并不高。因此国家在进一步加严标准的同时，还应当制定相关的政策措施，加大对电力企业的资金和技术扶持，推进电力行业的节能减排。

由于国家标准限值为浓度值，而且污染物种类只包括二氧化硫、氮氧化物、烟尘等，为了与燃料上游排放因子相对应，电力上游排放因子中 PM₁₀ 及 SO₂ 的排放因子采用了《中国电力减排研究 2011》中的数据，其他排放因子采用了美国 ACEEE 模型中电力上游排放因子³²。电力上游阶段，包括原料开采运输、电力生产与输送、以及电动汽车充电和电池能量转化等阶段。虽然发电厂污染物排放较大，但是由于发电厂距离城区较远，而且排放高度较高，浓度贡献并不大，因此将电力上游相对健康影响因子假设为尾气排放健康影响因子的 1/10。

表 10 电力上游排放因子

污染物	电力上游相对健康影响因子 Re(同表 4)	电力上游排放因子 Ee(g/kWh)
CO	0.001	0.095
HC	0.008	0.010
NOx	0.100	2.031
PM ₁₀	0.803	0.5
SO ₂	0.471	2.7

³¹王志轩等.《中国电力减排研究 2011》.

³² Kliesch, J. 2006. Rating the Environmental Impacts of Motor Vehicles: ACEEE's Green Book® Methodology, 2006 Edition. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy.

温室气体排放分析

电厂发电是电力温室气体排放的主要来源，而电力在电动汽车的使用阶段通常被认为是零排放。电力生命周期温室气体排放评价主要综合考虑了原料开采运输、电力生产与输送、以及电动汽车充电和电池能量转化等阶段的损失。基于各区域电网 2008 年发电量及同年发电能源的消耗量，计算得出各区域发电温室气体排放因子，平均水平为 734 g CO₂e/kWh³³，东北、华北电网煤电比例高，排放高，华中、南方电网则反之，如图 13。

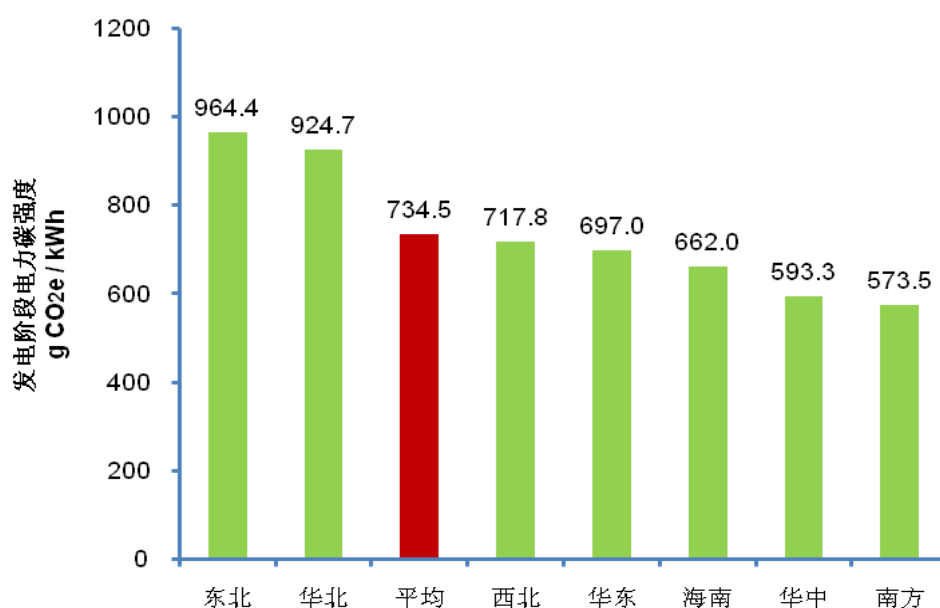


图 13 2008 年不同区域电网发电阶段温室气体排放因子

为了与常规能源汽车对应，新能源汽车的电力消耗采用 kWh/100km 来量化电力消耗对温室气体和人体健康的影响。虽然我国不同区域电网的污染物排放和温室气体排放差异较大，但是为了便于比较，在评价过程中污染物排放和温室气体排放采用了平均值。

研究发现，中国电力温室气体排放中煤电排放占 97.5%，油电、气电排放比例不到 3%。而煤电上游阶段（开采、加工、运输）排放占煤电总排放的 5%；2008 年电力输送平均损耗为 6.6%；电动汽车充电效率约为 88%（一般水平），电池能量转化效率约为 96%（一般水平）；综合考虑“从矿井到电池组”各阶段的贡献，得出电力生命周期温室气体排放因子，如图 14。

³³ 中国电动汽车可持续发展背景研究报告.能源与交通创新中心,2011.

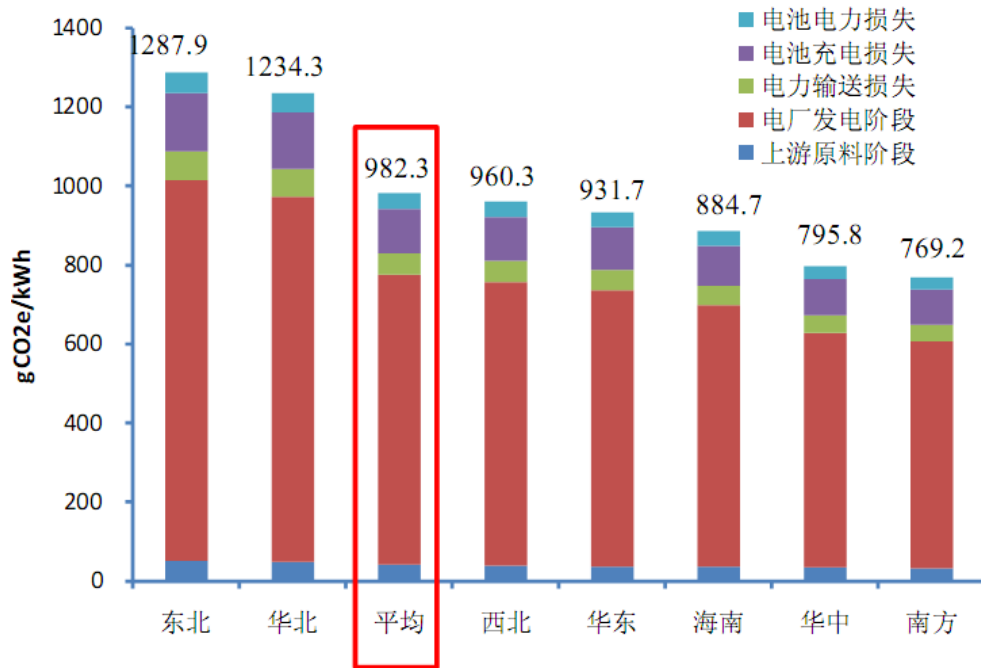


图 14 2008 年不同区域电网生命周期温室气体排放因子

中国电力生命周期平均排放因子为 982 g CO₂e/kWh。东北、华北电网相对较高，处于平均值之上，均超过 1200 g CO₂e/kWh；其他区域电网低于平均水平，南方电网排放因子最低，为 769 g CO₂e/kWh，仅为东北 60%。发电阶段对生命周期排放因子的贡献最高，达四分之三。

3.1.2 电池全生命周期环境影响评价

与常规能源汽车相比，新能源汽车中电池占据很大比重，而电池的生产和回收也会对环境产生一定的影响。当前在电动汽车上得到广泛应用的有铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池以及燃料电池。电池中含有的主要有害物质包括大量的金属物质以及酸、碱等电解质溶液。其中金属物质主要有铅、镉、锌、铜、汞、锰、镍、锂等。电池的生产与回收过程中如果处理不当，就会使这些金属及有害物质进入土壤、水体及大气，造成严重的环境污染。这些污染物还可以通过各种不同的途径进入人体，在人体内长期积累，从而损害人的神经、血液和消化系统等，引起人体生理病变，甚至癌变。在这些污染物中，铅污染问题最为突出。例如近年来多地发生的血铅超标事件，就是由于电池生产企业的铅排放超标导致的。

目前，环保部正在制定《电池工业污染物排放标准》，标准规定了电池工业水污染物排放标准限值和大气污染物排放标准限值，对于提高电池工业生产工艺，降低污染排放将发挥重要作用，从而有利于保护生态环境和保障人民身体健康。但是在废旧电池的回收处理方面，目前国家还没有制定相关的标准法规，也没有建立起完善的回收处理体系，因此，随着新能源汽车的快速发展，动力电池的回收处理问题必须引起行业的关注。

衡量电池环境污染的指标主要是电池的种类和质量。不同种类的电池对环境的影响是不同的。同时电池质量的大小，也直接影响着电池对环境污染的多少，因此评价采用电池种类和质量作为衡量电池环境污染的指标。由于不同种类电池的使用寿命不同，因此在汽车生命周期内，可能需要更换新的电池，所以我们将汽车使用寿命与电池使用寿命的比值定义为电池的寿命系数 LF (Life Factor)。国家《机动车强制报废标准规定》中指出一般乘用车的使用年限是 15 年，但考虑到经济社会的发展情况，将汽车的使用寿命假设 10 年。不同种类电池的使用寿命也各不相同，由于缺乏具体的统计数据，为了便于计算，假设铅酸电池为 5 年，镍氢及锂离子电池为 10 年。不同种类电池的寿命系数如表 11。

表 11 不同电池的寿命系数

电池种类	使用寿命 (年)	寿命系数 LF
铅酸电池	5	2
镍氢电池	10	1
锂离子电池	10	1

3.2 案例分析

报告选取了纯电动汽车日产聆风 (LEAF) 作为案例车型，其绿色得分计算参数如表 12 所示。

表 12 日产聆风绿色得分基本计算参数³⁴

车型	型号	电力消耗	电池类型	电池质量	整备质量
	2012 款 日产聆风	21.1kWh/100km	锂离子 电池	280kg	1520kg

其中，美国能源部和环保署官方公布的日产聆风在美国综合工况下的电力消耗为 34kWh/100mile，为了便于比较，将其转换成百公里耗电量为 21.1kWh/100km。电池质量目前没有官方数据，一些研究报告指出约为 280kg³⁵。

步骤 1 WTW 健康影响

WTW 健康影响主要是评价车辆从生命周期的空气污染健康影响，包括燃料上游健康影响和尾气排放健康影响两部分。对于纯电动车而言，一般认为，电力在使用过程中为零排放，因此 WTW 健康影响只包括电力上游健康影响。

1) 电力上游健康影响=电力消耗/100×RE

表 13 电力上游排放因子中 PM₁₀ 及 SO₂ 采用了中国电力企业联合会的研究结果³⁶，其他排放因子引用了美国 ACEEE 相关研究结果³⁷。电力上游健康影响是电力消耗量的函数，不同电力消耗量的相对健康影响是不同的。

表 13 电力上游相对健康影响

污染物	电力上游相对健康影响因子 Re	电力上游排放因子 Ee (g/kWh)
CO	0.001	0.095
HC	0.008	0.010
NOx	0.100	2.031
PM ₁₀	0.803	0.5
SO ₂	0.471	2.7
RE 电力上游相对健康影响指数		1.876

³⁴ <http://www.nissan.com.cn/minisite/leaf/format.php>
<http://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=32154>

³⁵ <http://wenku.baidu.com/view/ba501376a417866fb84a8e85.html>

³⁶ 王志轩等.《中国电力减排研究 2011》.

³⁷ Kliesch, J. 2006. Rating the Environmental Impacts of Motor Vehicles: ACEEE's Green Book® Methodology, 2006 Edition. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy.

由表 13 得到电力上游相对健康影响指数 $RE = \sum Re \times Ee = 1.876$ ，其中 Re 为电力上游相对健康影响因子， Ee 为电力上游排放因子。

电力上游健康影响 $= Ec / 100 \times RE$ ，其中， Ec 为电力消耗， RE 为电力上游相对健康影响指数，基准值保持不变，因此：

$$\text{案例值} = 21.1 / 100 \times 1.876 = 0.396$$

$$\text{基准值} = 6.9 / 100 \times 2.638 = 0.182$$

2) 尾气排放健康影响

我们同样假设电动汽车在使用过程中的尾气排放因子为零，因此电动汽车尾气排放相对健康影响指数为零。

表 14 纯电动汽车尾气排放健康影响

污染物	尾气排放相对健康影响因子 R_t	电力使用排放因子 E_u (g/km)
CO	0.006	0
HC	0.075	0
NO _x	1.000	0
PM ₁₀	8.027	0
RT 尾气排放相对健康影响指数		0

纯电动汽车尾气排放相对健康影响指数 $RT = \sum R_t \times E_u = 0$ ，其中， R_t 为尾气排放相对健康影响因子， E_u 为电力使用排放因子。基准值保持不变，因此：

$$\text{案例值} = \sum R_t \times E_u = 0$$

$$\text{基准值} = \sum R_t \times E_t = 0.379$$

3) WTW 健康影响

将案例 WTW 健康影响值做整体归一化处理：

$$\text{WTW 健康影响} = \text{案例值} / \text{基准值} = (0.396 + 0) / (0.182 + 0.379) = 0.706$$

步骤 2 WTW GHG 影响

1) 车辆全生命周期温室气体影响

由于我国平均发电温室气体排放因子为 734.5g/kWh，所以从 kWh/100km 到 GHG 排放 g/km 转换系数为 7.345。电力生命周期温室气体排放因子为

982.3g/kWh,电网发电温室气体排放因子为 734.5g/kWh,因此将电力全生命周期 GHG 转换系数假设为 1.337。

如前所述,对于燃料,车辆全生命周期温室气体影响=燃料消耗 $\times F_1 \times F_2$
 $F_1=23.565$,为汽油燃料消耗L/100km到GHG排放g/km转换系数; $F_2=1.284$,
为汽油燃料全生命周期GHG转换系数。

对于电力,车辆全生命周期温室气体影响=燃料消耗 $\times F_3 \times F_4$
 $F_3=7.345$,为电力消耗kWh/100km到GHG排放g/km转换系数; $F_4=1.337$,
为电力全生命周期GHG排放转换系数。基准值保持不变,因此:

$$\text{案例值}=21.1 \times 7.345 \times 1.337=207.208$$

$$\text{基准值}=6.9 \times 23.565 \times 1.284=208.776$$

$$2) \text{ WTW GHG 影响}=\text{案例值}/\text{基准值}=207.208/208.776=0.992$$

步骤3 生产回收对环境的影响

1) 生产回收对环境的影响通过设定标准质量(目前设定为1200kg)进行标准化。其中, M_1 为整备质量, M_2 为电池质量, LF 为电池寿命系数,基准值保持不变,因此:

$$\text{案例值}=(M_1-M_2)+M_2 \times LF=(1520-280) \text{ kg}+280 \text{ kg} \times 1=1520 \text{ kg}$$

$$\text{基准值}=1200 \text{ kg}$$

$$2) \text{ 生产回收对环境的影响}=\text{案例值}/\text{基准值}=1520/1200=1.267$$

绿色得分计算

1) 环境影响指数

环境影响指数是一个无量纲的数值,用以比较车辆和燃料在整个生命周期中带来的环境影响。

$$\begin{aligned} \text{环境影响指数} &= W_1 \times \text{健康影响} + W_2 \times \text{GHG 影响} + W_3 \times \text{生产回收过程影响} \\ &= 0.9 \times 0.706 + 0.9 \times 0.992 + 0.2 \times 1.267 = 1.782 \end{aligned}$$

其中, W 为权重系数, $W_1=0.9(45\%)$, $W_2=0.9(45\%)$, $W_3=0.2(10\%)$

2) 绿色得分

绿色得分是为了使消费者更易于理解环境影响指数EIR,通过下面的线性公式直接计算而得:绿色得分= $10-f \times \text{EIR}=10-2.5 \times 1.782=5.55$

4、插电式混合动力汽车环境影响评价

4.1 插电式混合动力汽车方法学

在环境友好汽车评价体系中，环境影响指数的设计包括了汽车全生命周期生命周期（Well-to-Wheel, WTW）三个阶段的环境影响，即车辆的使用阶段，燃料生产和分配阶段以及车辆的生产回收阶段。每一阶段中，车辆对环境的负面影响又被区分为空气污染健康影响和温室气体影响。对于插电式混合动力（PHEV），我们将对其燃料消耗部分与电力消耗部分分别进行评价，燃料消耗部分参考常规能源汽车方法学，电力消耗部分参考纯电动汽车方法学，从而综合分析 PHEV 对环境的影响。

因此我们在选取计算参数时同时考虑了燃料消耗和电力消耗方面的影响，主要选取了以下七个独立的变量：燃料类型、燃料消耗量、排放标准、电力消耗量，电池类型，电池质量以及整备质量，这七个变量用于计算不同生命周期阶段的相对环境影响。

排放标准

在中国市场上销售的所有车型都应该进行国家环保型式认证，达到规定的排放标准要求。不同阶段排放标准限值与车辆尾气导致的健康影响损害直接相关。通过排放限值可以量化计算得出尾气污染健康影响得分。

燃料类型和消耗量

燃料类型和燃料消耗量可被用于计算多种影响。首先，车辆使用阶段的温室气体影响可以通过燃料的碳含量和燃料消耗量计算；其次，燃料生产和分配阶段的环境影响与燃料类型和车辆燃料消耗量有关，这些环境影响包括来自于燃料生产和分配环节的上游污染物健康影响以及上游的温室气体影响。

电力消耗

上游原料的开采运输，电力的生产、输送以及充电转换等过程都伴随着能量的消耗和污染的产生。为了与常规能源汽车对应，新能源汽车的电力消耗采用 kWh/100km 来量化电力消耗对温室气体和人体健康的影响。

电池类型和电池质量

一般认为电池在使用过程中的污染比较小，主要的污染来自生产和回收过程中。不同的电池类型对环境的影响也不同。电池的质量是衡量电池环境污染的一个重要指标。

车辆整备质量

车辆生产与回收再利用阶段的环境影响，事实上不可能量化，但也不能忽略。而根据车辆的整备质量对车辆生产周期阶段进行相对环境影响进行评价，是最好的替代方法。

图 15 插电式混合动力汽车环境影响指数独立变量

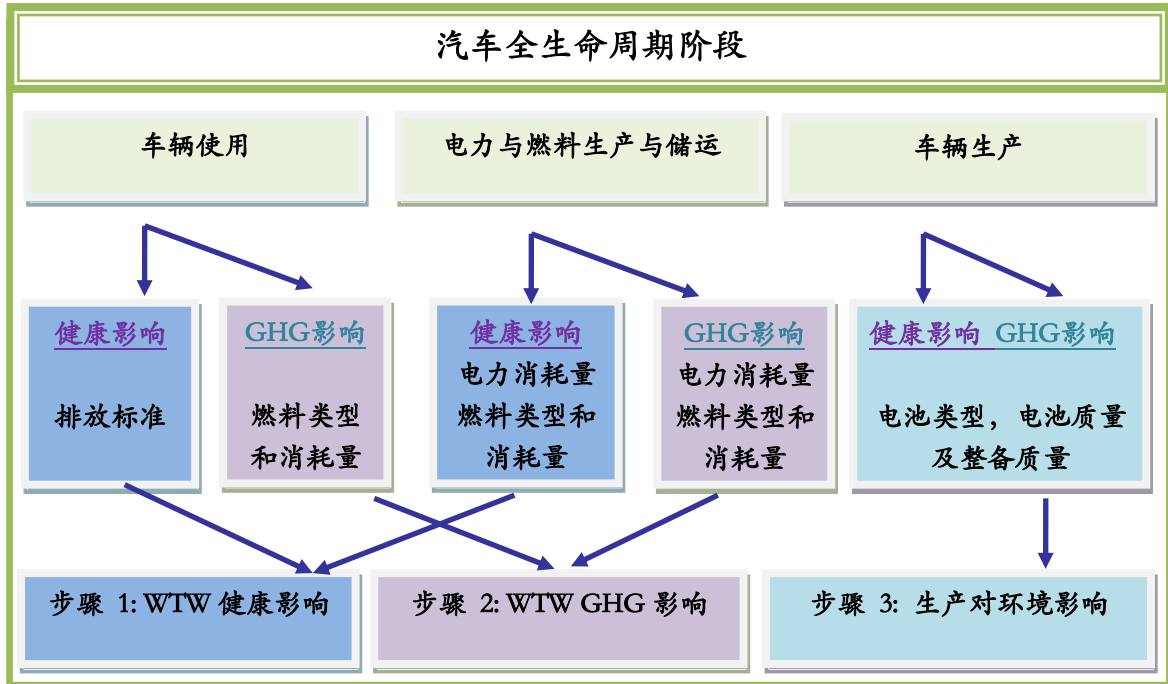


图 16 插电式混合动力汽车生命周期环境影响评价

环境影响指数的计算分为三步：

- 第一步：计算生命周期 WTW 的相对健康影响指数；
- 第二步：计算生命周期 WTW 的相对温室气体影响指数；
- 第三步：计算汽车生产回收过程中的相对环境影响指数；

环境影响指数每一个步骤都需要量化各个车型的相对环境影响，在此，我们选择了达到国III排放标准，燃油消耗量为 6.9L/100km，基准质量为 1200kg 的汽油车作为量化影响的基准。标准化和权重因子的设定目标是保证这个基准车型能够得到 5.0 的绿色得分，这样就能够在保证了充分的改进空间的同时能有效的为目前市场上的车型评分。为了将插电式混合动力汽车纳入 EFV 评价体系，归一基准同样保持不变。

表 15 插电式混合动力汽车环境影响指数计算步骤

步骤	包括的环境影响	独立变量	归一基准
步骤 1	WTW 健康影响	排放标准、电力消耗量	国 III 标准
步骤 2	WTW 温室气体影响	燃料类型、燃料消耗量、电力消耗量	6.9L/100km
步骤 3	生产回收过程对环境的影响	电池类型、电池质量、整备质量	1200 kg

汽车环境影响指数为三种影响的加权和，如下。

环境影响指数计算

环境影响指数 (EIR) = $W_1 \times \text{健康影响} + W_2 \times \text{温室气体影响} + W_3 \times \text{生产过程影响}$

其中 W_1, W_2, W_3 是权重因子,

W_1 (健康影响) = 0.9 (45%)

W_2 (温室气体影响) = 0.9 (45%)

W_3 (生产过程影响) = 0.2 (10%)

绿色得分是为了使消费者更易于理解环境影响指数,通过下面的线性公式直接计算而得:

$$GR = 10 - f \times EIR$$

其中 f 为控制线性函数斜率的系数,为使基准车型绿色得分为 5.0, f 设定为 2.5。对于不会引起任何环境损害的完美的绿色汽车, EIR 值为 0, 相应的绿色得分为 10 分。

4.2 案例分析

报告选取了插电式混合动力汽车丰田普锐斯 (Prius) 作为案例车型,其绿色得分计算参数如表 16 所示。

表 16 丰田普锐斯绿色得分基本计算参数³⁸

车型	型号	燃料类型	燃料消耗	排放标准	电力消耗	电池类型	电池质量	整备质量
	2012 款 丰田 普锐斯	汽油	3.36L/100km	国 IV	7.2kWh/100km	锂离子 电池	80kg	1436kg

³⁸ <http://www.toyota.com/prius-plug-in/specs.html>
<http://www.ftms.com.cn/vehicles/prius/standard.php>

其中，丰田官方网站公布的普锐斯整备质量和电池质量为 3165 磅和 176 磅，约为 1436kg 和 80kg。纯电动模式的燃料经济性为 87MPG，美国 EPA 假设 1 加仑汽油的能量约等于 33.7 kWh 电力的能量，因此纯电动模式的电力消耗约为 24.0kWh/100km，混合动力模式的燃料经济性为 49MPG，约合 4.8L/100km。由于插电式混合动力有两种运行模式，既可以采用纯电动模式，也可以采用混合动力模式，因此能量消耗的计算比较复杂，除与车辆本身的性能有关，还与消费者的使用习惯有很大的关系。如果经常短途使用，电力消耗较多，燃料消耗较少，如果经常长途使用，电力消耗较少，而燃料消耗较多。因此计算中要使用实际消耗的电力和燃料消耗，为了得到这些数据，ACEEE 方法学中提到了使用系数 (UF, Utility Factor) 的概念³⁹，既纯电动模式行驶里程占总行驶里程的比例。使用系数需要长期大量的调查统计数据，由于目前没有国内的统计数据，研究采用了美国 SAE 的调查研究结果⁴⁰，如图 17 所示。

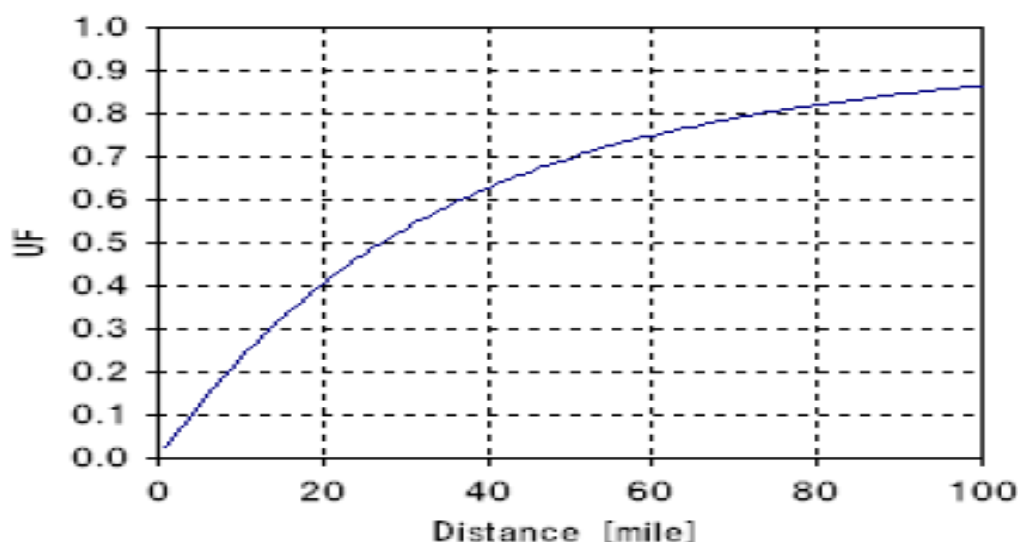


图 17 插电式混合动力汽车使用系数与纯电动模式行驶里程关系

普锐斯在纯电动模式下行驶里程为 15mile，因此假设普锐斯的使用系数为 0.3，实际运行过程中电力及燃料的平均消耗量为：

$$E_c = E \times UF = 24 \times 0.3 = 7.2 \text{ kWh}/100\text{km}$$

$$F_c = F \times (1 - UF) = 4.8 \times (1 - 0.3) = 3.36 \text{ L}/100\text{km}$$

³⁹ Vaidyanathan, Shruti & Langer, Therese. Rating the Environmental Impacts of Motor Vehicles: ACEEE's Green Book? Methodology, 2011 Edition Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy, September 2011 Transportation Program, ACEEE Report T111

⁴⁰ <http://www.sae.org/events/gim/presentations/2009/chrisnevers.pdf>

其中， E_c 为平均电力消耗， F_c 为平均燃料消耗， E 为纯电动模式电力消耗， F 为混合动力模式燃料消耗， UF 为使用系数。

步骤 1 WTW 健康影响

插电式混合动力汽车既使用燃料也使用电力，因此 WTW 健康影响包括燃料健康影响及电力健康影响。燃料健康影响包括上游健康影响和尾气排放健康影响，由于电力在使用过程中我们假设为零排放，因此电力健康影响只包括上游健康影响。

1) 燃料及电力上游健康影响

$$RF \text{ 为燃料上游相对健康影响} = \sum R_f \times E_f = 2.638,$$

$$RE \text{ 为电力上游相对健康影响} = \sum R_e \times E_e = 1.255, \text{ 如表 17。}$$

表 17 燃料及电力上游健康影响

污染物	R_f 燃料上游 相对健康影响因子	E_f 燃料上游 排放因子 g/L	R_e 电力上游 相对健康影响因子	E_e 电力上游 排放因子 g/kWh
CO	0.001	2.219	0.001	0.095
HC	0.015	1.611	0.008	0.010
NO _x	0.200	2.615	0.100	2.031
PM ₁₀	1.606	0.106	0.803	0.5
SO ₂	0.943	2.034	0.471	2.7
RF 燃料上游相对 健康影响		2.638	RE 电力上游相对 健康影响	1.876

$$\text{燃料上游相对健康影响} = \text{燃料消耗} / 100RF$$

$$\text{电力上游相对健康影响} = \text{电力消耗} / 100RE, \text{ 基准保持不变, 因此:}$$

$$\text{案例值} = 3.36 / 100 \times 2.638 + 7.2 / 100 \times 1.876 = 0.224$$

$$\text{基准值} = 6.9 / 100 \times 2.638 = 0.182$$

2) 尾气排放健康影响

我们同样假设插电式混合汽车在使用过程中的电力消耗尾气排放为零，因此尾气排放相对健康影响为燃料消耗的尾气排放。

$$RT \text{ 尾气排放健康影响} = \sum R_t \times E_t$$

表 18 插电式混合动力汽车尾气排放健康影响

污染物	Rt 尾气排放相对健康影响因子	Et 国Ⅲ汽油车排放限值 g/km	Et 国Ⅳ汽油车排放限值 g/km	Eu 电力使用排放因子 g/km
CO	0.007	2.3	1.0	0
HC	0.075	0.20	0.10	0
NOx	1.000	0.15	0.08	0
PM ₁₀	8.027	0.025	0.01	0
RT 尾气排放相对健康影响		0.379	0.174	0

$$\text{案例值} = \sum R_t \times E_t = 0.174$$

$$\text{基准值} = \sum R_t \times E_t = 0.379$$

3) WTW 健康影响

$$\text{WTW 健康影响} = \text{案例值} / \text{基准值} = (0.224 + 0.174) / (0.182 + 0.379) = 0.709$$

步骤 2 WTW GHG 影响

1) 车辆全生命周期温室气体影响

对于燃料，车辆全生命周期温室气体影响=燃料消耗×F₁×F₂

F₁=23.565, 为汽油燃料消耗 L/100km 到 GHG 排放 g/km 转换系数； F₂=1.284, 为汽油燃料全生命周期 GHG 转换系数。

对于电力，车辆全生命周期温室气体影响=燃料消耗×F₃×F₄

F₃=7.345, 为电力消耗 kWh/100km 到 GHG 排放 g/km 转换系数； F₄=1.337, 为电力全生命周期 GHG 转换系数。

$$\text{案例值} = 3.36 \times 23.565 \times 1.284 + 7.2 \times 7.345 \times 1.337 = 172.371$$

$$\text{基准值} = 6.9 \times 23.565 \times 1.284 = 208.776$$

$$2) \text{ WTW GHG 影响} = \text{案例值} / \text{基准值} = 172.371 / 208.776 = 0.826$$

步骤 3 生产回收对环境影响

1) 生产回收对环境的影响通过设定标准质量(目前设定为 1200kg)进行标准化。其中，M1 为整备质量，M2 为电池质量，LF 为电池寿命系数。

$$\text{案例值} = (M1 - M2) + M2 * LF = (1436 - 80) \text{ kg} + 80 \text{ kg} * 1 = 1436 \text{ kg}$$

$$\text{基准值} = 1200 \text{ kg}$$

$$2) \text{ 生产回收对环境的影响} = \text{案例值} / \text{基准值} = 1436 / 1200 = 1.197$$

绿色得分计算

1) 环境影响指数

环境影响指数是一个无量纲的数值，用以比较车辆和燃料在整个生命周期中带来的环境影响。

$$\begin{aligned}\text{环境影响指数} &= W_1 \times \text{健康影响} + W_2 \times \text{GHG 影响} + W_3 \times \text{生产回收过程影响} \\ &= 0.9 \times 0.709 + 0.9 \times 0.826 + 0.2 \times 1.197 = 1.621\end{aligned}$$

其中，W 为权重系数， $W_1 = 0.9(45\%)$ ， $W_2 = 0.9(45\%)$ ， $W_3 = 0.2(10\%)$

2) 绿色得分

绿色得分是为了使消费者更易于理解环境影响指数 EIR，通过下面的线性公式直接计算而得：

$$\text{绿色得分} = 10 - f \times \text{EIR} = 10 - 2.5 \times 1.621 = 5.95$$

小结

案例分析结果显示，日产骐达绿色得分为 5.38，日产聆风绿色得分为 5.55，丰田普锐斯绿色得分为 5.95，从生命周期的角度考虑，新能源汽车与常规能源汽车相比更加绿色环保。如果进一步提高电力系统的清洁程度，新能源汽车在交通领域的节能减排将发挥更大的作用。

构建环境友好汽车评价体系，量化汽车对环境的影响，对改善环境，促进汽车行业可持续发展有着重要的意义。与常规能源汽车相比，新能源汽车目前还处于起步阶段，车型较少而且缺乏相关数据，随着新能源汽车数据的不断积累以及方法学的不断完善，常规能源汽车与新能源汽车的环境影响对比研究将成为下一步工作的重点。

5、总结

基于环境友好汽车评价系统，iCET 通过加入对电力及电池生命周期的环境影响，对新能源汽车中纯电动和插电式混合动力乘用车的环境影响进行了评价，将新能源汽车纳入了环境友好汽车评价系统，对于进一步完善评价系统，推动低碳交通发展有着重要的意义。随着新能源汽车的快速发展，理性思考新能源汽车的环境影响，从而科学规划，有序开展，将有利于我国汽车工业的可持续发展。

同时在研究中我们也发现了一些问题：对于新能源汽车的排放及能耗，目前还没有建立起官方的发布平台，只有一些零散的企业及研究机构的数据，缺乏相关的官方认证数据，对研究工作带来很大困难。由于我国不同区域电网间的能源结构及排放状况差异很大，因此对不同区域分别进行分析非常必要，但是由于目前缺乏不同区域电网详细的污染物及温室气体排放因子数据，相关研究并不是很多。国际上对能源系统生命周期环境影响研究比较成熟，但是基于中国国情的能源系统生命周期环境影响研究还不是很多，缺乏本地化的基础研究数据。

基于对新能源汽车环境影响评价的研究，提出以下几点建议：

- 1) 制定新能源汽车能耗及污染排放标准体系，建立新能源汽车官方数据库；
- 2) 深入研究新能源汽车生命周期环境影响，分区域制定示范推广政策；
- 3) 优化调整能源结构，加大清洁能源比例，尤其是可再生能源比例；
- 4) 提高现有火力发电的发电效率，进一步减少电力上游能耗及排放；
- 5) 加快电厂脱硫脱硝设备改造升级，降低电力生产过程中的污染排放；
- 6) 制定电池生产及回收环境标准，加强电池生产回收管理。

iCET 希望通过对中国环境友好汽车评价系统的推广，促进全社会对环境友好汽车的关注，从而推动我国汽车工业健康稳定发展。