

中国大众交通变革 与应对气候变化和节能减排的责任

电动自行车巨量贡献的由来和远景估计

绿源集团 董事长 倪捷



目 录

一、气候变化问题	3
二、在中国高速发展的大背景下，探索居民交通节能减排的新途径	5
三、交通方式的能源强度及CO ₂ 排放强度的概念和研究方法	7
四、五类大众交通方式的能源强度及CO ₂ 排放强度计算	10
(一) 电动自行车	10
(二) 普通自行车	11
表 2-1 BMR (基础代谢率) 分性别、年龄、身高、体重及平均水平	
表 2-2 骑自行车 10 公里：以三种不同速度骑行，不同体重的个体能量消耗、 时间、功率及与 BMR 条件下的对比	
(三) 两轮摩托车	17
(四) 中国城市公交车	18
表 2-3 美国公共交通出行状况统计 (1994-2007)	
(五) 家庭轿车	21
表 2-4 中美各类出行方式的能源强度和CO ₂ 排放强度比较	
图 2-1 中美两国五类交通方式的能源强度对比	
图 2-2 中美两国五类交通方式CO ₂ 排放强度对比	
五、电动自行车对节能减排的重大贡献	24
(一) 电动自行车替代摩托车的巨大社会效益	25
表 2-5 电动自行车实现总里程由摩托车承担的逆向社会成本 (2004-2009)	
(二) 城市公交车与电动自行车在机动化交通替代的逆向成本分析	27
表 2-6 电动车实现总里程由城市公交车承担的逆向社会成本 (2004-2009)	
(三) 纯环保者的错误：纯自行车交通也不是中国的长期选项	29
表 2-7 电动车替代自行车的部分社会福利计算 (2004-2009)	

(四) 本节小结	32
六、面向 2020 年的展望, 电动自行车应该发挥的巨大作用	34
(一) 居民交通里程增长的相关因素	34
表 2-8 模拟中国三个历史时段与美、日水平的对比。	
(二) 谁来承担 10 万亿人·公里里程	35
(三) 电动自行车未来 10 年的战略责任的持续和扩展	37
表 2-9 以电动自行车作为汽车补充者的效益分析	
表 2-10 以电动自行车补充传统汽车与投放电动汽车的等效关系	
本章总结	43
附录: 表, 各地区 GDP 与每千人拥有车辆关系 (2007 年)	
附录: 图, 各地区 GDP 与每千人拥有车辆的关系 (2007 年)	

一、气候变化问题

《联合国气候变化框架公约》(UN. FCCC) 将气候变化定义为：“经过相当一段时间的观察，在自然气候变化之外，由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变”。这种改变主要表现为全球变暖，它似乎正在造成一系列危害人类及环境的严重问题，越来越多的人相信，这种危害的趋势如果不加以遏制，其后果将是非常严重的，包括自然灾害、物种灭绝、部分地区的生存威胁，甚至冰川融化而可能释放出的史前细菌（或病毒）威胁人类，等等。

国际社会共同应对气候变化问题的共识在 UN. FCCC 的发展下逐步达成，1997 年通过《京都议定书》，2007 年 12 月达成“巴厘岛路线图”，2009 年 12 月将在哥本哈根举行缔约方会议。到目前为止，UN. FCCC 已经收到 185 个国家的批准、接受、支持或签约文件。

国际社会共同应对气候变化问题的科学理论基础是有关“温室气体”(GHG) 所构成的“温室效应”的理论，这种理论建立在地球大气层中已经存在的一个温室气体，这种温室气体就好像是一个“花房隔离层”，短波辐射能量易通过，长波辐射能量被它吸收。由于热物体电磁辐射的波长及发热体的温度成反比，所以太阳辐射的短波能量很容易穿过，而地球反射的长波能量大多数被其吸收，而起到“保温”的作用。形象地说，我们赖以生存的地球好像是一个被包裹在玻璃罩内的球体，好像是一个巨大的农业温室（大花房），正因为此，地球才有一个相对稳定并且适合生存的环境，否则，按照科学家计算，地球的平均温度将会在 -20°C 以下的水平。

然而，事物总是有其相反的一面，人类的工业革命发现了“动力改变生活”的诀窍，沉睡了几千万年的化石燃料（主要指煤炭、石油、天然气）被大量开发出来，从蒸汽机到内燃机，从发电机到汽车，从建筑材料（水泥等）到家庭塑料制品，大规模的工业化和生活现代化覆盖了人类活动的方方面面，人口剧增的同

时人类也毁坏了大量的森林，其结果是加剧了温室气体的排放，那个包裹在地球上空的玻璃球越来越厚重了，温室气体主要由水汽和二氧化碳等气体共同组成，科学家认定的与人类活动有关的主要温室气体有：二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、一氧化二氮（N₂O）和氯氟碳化合物（CFCS）。其中，二氧化碳是最主要的温室气体，其“贡献”水平超过 76%。

温室效应对气候的影响，以及人类活动对CO₂浓度的影响有一些著名的实验和模型。一是夏威夷的冒纳罗亚的观测，它给世界提供了较为准确的数据证据（Measured at Mauna Loa ,Hawaii），数据从 1958 年开始，一直到现在，1958 年的全年均值大约为 315ppm，2009 年已达到 387ppm，逐年上升的趋势十分明显。Mauna Loa的数据还显现出每年的周期性变化，表现出植物和海洋浮游生物对增减大气二氧化碳浓度的规律性变化；二是对冰盖的研究，科学家们对过去 80 万年的冰盖（ice cores）的研究进一步描述了人类活动与大气温室气体浓度的关系，工业革命以前水平（Preindustrial level）大约为 280 ppm左右，当前水平已达 387 ppm，比 1750 年增加 104 ppm，特别是上个世纪，开始呈现出明显的快速上升势头，相反，在 1750 年之前，CO₂浓度基本保持不变，CO₂浓度的曲线与估计的人类社会化石燃料使用量（Fossil Fuel Burning）曲线拟合度很高，从而进一步佐证人类工业革命进程中的重大变化对CO₂浓度的影响；另外，对全球气候的测量以及地质学家对史前地球环境变化的分析假设也旁证地说明了温室效应的理论。

总之，科学家和科学实验所提出的观点已经被国际社会所普遍接受，人类社会广泛行动起来，通过约束自己的行为以防止出现灾难性的气候变化，已经成为维持“可持续发展”的共同责任。其中，最主要的有益行动有两个方向，一是节能减排，减少化石能源的消耗和减少CO₂的排放的行动；二是保护森林（特别是热带雨林），以强化植物对CO₂的吸收作用。

二、在中国高速发展的大背景下， 探索居民交通节能减排的新途径

改革开放 30 年来，中国经济取得了举世瞩目的成就，一直保持着高位经济增长，2008 年按 GDP 排名，中国已进入前三名，再过 1-2 年，中国超过日本成为继美国之后的第二大 GDP 贡献国已没有悬念。同样没有悬念的是，能源消费总量和二氧化碳排放总量，中国也即将超过美国成为全球第一。

作为全球人口最多的、发展最快速、最大的发展中国家，中国以何种方式崛起，中国的崛起在给世界经济注入活力的同时，在应对能源和环境问题方面能否为世界其他发展中国家做出表率，也是国际社会关注的新问题。中国政府庄严承诺，全面实践科学发展观，表现出一个负责任大国的风范，是中华民族理性思考的体现，理应受到国际社会的尊敬，科学发展是实现民族复兴的必由之路。

作为全球最大的发展中经济体，其发展是必然的。从GDP来看，虽然中国已居世界第三，或将成为世界第二，但人均GDP，中国仍然在 100 名左右的水平，2008 年仅为 3315 美元，仅为美国的 7%，日本的 8.6%；从碳排放来看，根据美国能源部的估计，2005 年中国的CO₂排放约为 53.23 亿吨，美国为 59.82 亿吨，日本为 12.3 亿吨，从总量上看中美接近，但人均二氧化碳排放，中国为 4.1 吨，仅为美国人均排放水平的 20%，日本的 42.4%。

具体到人民生活的各个领域，中国都面临很多发展中的问题。例如，居民交通出行的能源消费和二氧化碳排放，中国目前无论从总量上还是从人均水平上看都远远低于发达国家，但是，中国 2009 年已经一举超过美国成为全球最大的汽车市场，在未来的十年内，每年增长近 1000 万辆汽车几乎没有悬念。根据美国能源部公布资料，中国 2007 年，每千人拥有轿车的数量为 30.3 辆，仅相当于美

国 1915-1916 年之间的水平(1915 年为每千人拥有量为 24.77 辆,1916 年为 35.48 辆),到 2020 年,中国轿车达到 1 亿辆,届时总人口大约为 14.8 亿,每千人拥有量为 67.56 辆,也只达到美国 1918 年的水平,这样的发展一点也不过分。但是,到那时,中国汽车保有量就会超过日本成为全球第二。

有人幻想,中国可以像发达国家那样进入“家庭轿车时代”,汽车成为大众交通工具,这其实是不可能的。如果以美国 2007 年每千人 844.41 辆来衡量,中国就可以达到 12.5 亿辆,比现在增加 41 倍,如果每辆每年排放 2 吨CO₂,仅居民交通一项的总排放将达到 25 亿吨,消费成品油近 12.5 亿吨;如果以日本 2007 年千人保有量 625.2 辆来衡量,也将达到 9.25 亿辆,比现在增加 31 倍,能耗和 CO₂排放仍然是天文数字;同样的,以西欧平均水平每千人 587 辆计算,也同样是难以接受的巨大容量。因此,中国家庭轿车承载现代化的步伐必须是一个渐进的过程,适度地高速增长和探索以新能源替代是两个必须兼顾的话题。

面对经济高速增长的同时人民机动化活动需求迫切增加的客观现实,家庭轿车只能发挥有限作用,就算是达到 1 亿辆,装载系数按 1.8 计算,也只能承载总人口 12.2%的人群出行任务,与 87.8%的其他人口相比,它仍然是一个“小众”。因此,“大众型”的交通出行问题应该成为实践科学发展观过程中一个不可忽略的重大科学问题来研究。

本报告试图尽量以具体的科学计算,从节约能源、优化交通能源消费结构和减少CO₂排放的角度,评估四种“大众型”地面交通出行方式的能源强度和排放强度,评价其效率,通过对比,评估电动自行车已经做出的重大贡献和它可以继续发挥的更重要的作用。

三、交通方式的能源强度 及CO₂排放强度的概念和研究方法

交通方式的能源强度及CO₂排放强度的定义：

从技术指标的角度，能源强度通常用出行“人·公里”所需消费的能量（或化石燃料的热量或某种燃料的重量及体积）来表示，可以写成千焦/人·公里，或者100公里油耗，等等。加入“人”的单位，是指计算已经考虑了装载系数（Load Factor）的因素，例如，一辆城市公交车，行驶100公里，消耗成品油30升，如果确定城市公交车的装载系数为21，则其每人·公里的油耗就只有14.29毫升。同样的，CO₂排放强度也是在“人·公里”条件下的数字表达。

能源结构优势（劣势）

是指交通所消耗的能源形态中再生能源的比例较大（或较小）。例如，自行车交通也有一定的能源消耗，但其人类体能消耗可以通过食物（糖类）热量予以补充，食物能源属于生物质能形态，例如，植物通过光合作用获取大气中的碳，能量来源与太阳能有关；大多数海洋鱼类通过摄入浮游生物，获得含碳热量（蛋白质或脂肪），而海洋浮游生物可以吸收无机碳构成自身能量，等等，都属于可循环的再生能源范畴，但自行车交通中也会涉及到一系列不可再生能源的消耗，例如食物加工（加热）所消耗的化石能源，补充水中“加热杀菌”的能源消耗，等等。计算这部分能源强度，比较其优劣，具有重要的数据意义。

主要化石能源的能源数值：

单位：能源的公制单位为焦耳（J）、千焦（KJ）。除公制单位以外，国际上常用的能量单位有千卡或称为大卡（kcal）和Btu（British thermal Unit），中文称英热或英国热量单位，国内常用的还有公斤·标准煤和吨·标准煤。它们

的换算为:

$$1 \text{ Btu}=1.055 \text{ KJ}$$

$$1 \text{ kcal}=4.186 \text{ KJ}$$

$$1 \text{ 公斤标准煤 (1 kg SC)}=7000\text{kcal}=29302\text{KJ}$$

车用汽油和柴油, 参考 DOE 数据手册, 本报告采用:

每加仑汽油的热值为 125000 Btu

每加仑柴油的热值为 138700 Btu

当采用重量表述为, 汽油的比重取 $0.72\text{g}/\text{cm}^3$, 柴油取 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$

$$1 \text{ 公斤汽油}=1.39 \text{ 升}=0.367 \text{ 加仑}=45010.2 \text{ Btu}$$

$$=47485.8 \text{ KJ}=11344 \text{ kcal}=1.62 \text{ kg SC}$$

$$1 \text{ 公斤柴油}=1.18 \text{ 升}=0.311 \text{ 加仑}=43168.4 \text{ Btu}$$

$$=45542.6 \text{ KJ}=10879.7 \text{ kcal}=1.55 \text{ kg SC}$$

每度电所涉及的化石燃料的消耗与每个国家火力发电在总发电量中的比例, 以及其发(配)电效率水平有关, 地区之间也会有差异。按照社会平均水平, 国家电网的目标为, 到 2010 年, 每度电的能源消耗降低到 360 克标准煤, 目前大约大于这项指标。本报告采用折中数据, 每度电按 380 克标准煤计算, 即:

$$1 \text{ kwh 电}=0.38 \text{ kg SC}=2660 \text{ kcal}=11135 \text{ KJ}=10550 \text{ Btu}$$

每种化石能源的CO₂排放:

DOE附件中用于CO₂排放的参考数据为碳系数(carbon coefficient), 碳系数乘以 44/12 为CO₂排放系数;DOE碳系数单位为:Million Metric tons carbon per quadrillion Btu, 即万亿Btu能量所排放的百万吨碳, 折算成较小的单位表达式, 可以写成每Btu能量排放碳(毫克), 即mg/Btu, 以此单位, 本报告采用的有:

发电用的燃煤 (coal in electric utility), 其碳系数为 25.98 mg/Btu,

CO₂排放系数为 95.26 mg/Btu;

车用汽油 (Motor Gasoline), 碳系数为 19.34 mg/Btu, CO₂排放系数为 70.9 mg/Btu. 车用柴油参考汽油。

以上系数数据的假定条件为 100%充分消耗。

以此碳系数 (CO₂排放系数) 计算各种含有化石能源的具体能源形态:

A: 中国用电的CO₂排放

火力发电的化石燃料热值为每度电 10550 Btu, 火电占总发电量的比例为 80%, 其他 20%假设为低碳 (零碳) 的绿色电力 (如核电、水电、风电、太阳能发电等等), 那么, 在中国, 每度电的CO₂排放为:

$$1 \text{ kwh} = 0.8 \times 10550 \times 95.26 \text{ mg} = 0.8 \text{ kg CO}_2.$$

B: 每公斤燃油的CO₂排放:

$$\text{每公斤汽油的排放} = 45010 \times 70.9 \text{ mg} = 3.19 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{每升汽油的排放} = 3.19 \times 0.72 \text{ mg} = 2.3 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{每公斤柴油的排放} = 43168 \times 70.9 \text{ mg} = 3.06 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{每升柴油的排放} = 3.06 \times 0.85 \text{ mg} = 2.6 \text{ kg CO}_2$$

四、五类大众交通方式的能源强度 及CO₂排放强度计算

(一) 电动自行车

中国居民目前广泛使用的“电动自行车”，其基本技术特征是具有一个小功率的电力驱动系统，电机类型大多数属于直流无刷电机（BLDC）。以轮毂形式安装于后轮，电池的储能平均水平为 0.58 千瓦时（kwh），电池重量大约为 17.2 公斤，在农村广泛使用的电动两轮车，储能水平可以达到接近 1 千瓦时（kwh），电池重量增加一倍，有些城市流行使用小容量电池，储能水平大约为 0.4 千瓦时（kwh）。

中国人的平均体重大约在 50-80 公斤，车辆重量平均大约也在 50-80 公斤的水平，因此，两者合计的总质量大约在 100-160 公斤范围内，取其平均值为 130 公斤，带人时可以达到 180-200 公斤左右。

电动自行车在国内中小城市的行驶速度较快，全国范围内的大城市拥挤的时段速度较慢，其平均速度可达每小时 20 公里（5.56 m/s），道路摩擦系数比汽车的 0.018-0.020 小 10-20%，如取 0.017，在 20 km/h 的时速下，电动自行车平均功率为： $P=130 \times 9.8 \times 0.017 \times 5.56=120W$

再考虑装载系数 1.2，电机效率为 80%，起动刹车及坡度损耗增加 10%，风阻损耗增加 10%，充电效率 90%（增加 11%）等因素，每小时（20 公里）电动自行车的电耗调整为：

$$E=120 \times 1.2 \times 1.25 \times 1.1 \times 1.1 \times 1.11=236 \text{ 瓦时}=0.236 \text{ 千瓦时}$$

每 100 公里电耗的社会平均水平为 1189 瓦时 =1.2 千瓦时（kwh）

根据以上计算，中国各种电动自行车其社会平均的能源强度和CO₂排放指标可以表述为：

每车行驶 1 公里，耗电 12 Wh，为 32 kcal，排放CO₂9.6 mg。

每车行驶 100 公里耗电 1.2 kwh，

1.2 kwh 电/100 km=3192 kcal/100 km=31.9 kcal/km

CO₂排放：

1.2 × 0.8 kg/100 km=0.96 kg/100 km=9.6 g/km

取装载系数为 1.2，电动自行车的能耗强度和CO₂排放强度为：

26.6 kcal/人·公里和 8 g/人·公里

（二）普通自行车

广义的能量消耗取决于不同个体的种族、性别、身高、体重和年龄在以何种强度（速度）骑行自行车。

基础代谢率 BMR (Basal Metabolic Rate) 是刻画人体生物功率水平的基准指标，其单位是千卡/天。一般而言，BMR 与体重和身高成正比，与年龄成反比，早在 1919 年就建立的 Harris-Benedict 数学模型为：

男性：BMR (kcal/day)=13.7516 × 体重 (kg) +5.0033 × 身高 (cm)

-6.755 × 年龄 (年) +66.4730

女性：BMR (kcal/day)=9.5634 × 体重 (kg) +1.8496 × 身高 (cm)

-4.6756 × 年龄 (年) +655.0955

分别将男性身高 170 厘米，体重 75 公斤、年龄 25 岁和女性身高 160 厘米，体重 50 公斤，年龄 25 岁的条件代入，得出的 BMR 分别为 1780.4 kcal/day 和 1312.3 kcal/day，每小时基础代谢能量消耗为 74.18 kcal 和 54.7 kcal，每秒为 86.2 焦耳和 63.6 焦耳。上述两种情况的人体基础代谢功率分别是 86 瓦和 64

瓦。

表 2-1 为不同性别、年龄、身高和体重条件下，按照 Harris-Benedict 模型而计算的人体基础代谢率水平，这表达了维持人体生命特征所必须消耗的能量，例如，大脑功能、肝脏功能，肾脏功能、生殖系统功能等等。

表 2-1 BMR（基础代谢率）分性别、年龄、身高、体重及平均水平(kcal/day)

男性									
年龄	20 岁				30 岁				等体重 平均值
身高 km 体重 kg	160	165	170	175	160	165	170	175	
50	1419	1444	1470	1495	1352	1377	1402	1427	/
60	1557	1582	1607	1632	1489	1514	1539	1564	/
70	1695	1720	1745	1770	1627	1652	1677	1702	/
80	1832	1857	1882	1907	1764	1789	1815	1840	/
等身高平均值	1626	1651	1676	1701	1558	1583	1608	1633	/
年龄	40 岁				50 岁				/
身高 km 体重 kg	160	165	170	175	160	165	170	175	/
50	1284	1309	1334	1359	1217	1242	1267	1292	1356
60	1422	1447	1472	1497	1354	1379	1404	1429	1493
70	1559	1584	1609	1634	1492	1517	1542	1567	1631
80	1697	1722	1747	1772	1629	1654	1679	1704	1768
等身高平均值	1491	1516	1541	1566	1423	1448	1473	1498	1562
女性									
年龄	20 岁				30 岁				/
身高 km 体重 kg	150	155	160	165	150	155	160	165	/
50	1317	1415	1425	1434	1270	1280	1289	1298	/
60	1413	1511	1520	1529	1366	1375	1385	1394	/
70	1508	1607	1616	1625	1462	1471	1480	1489	/
80	1604	1702	1711	1721	1557	1567	1576	1585	/
等身高平均值	1461	1559	1568	1577	1414	1423	1432	1442	/

		女性								
年龄		40岁				50岁				/
身高 km 体重 kg	150	155	160	165	150	155	160	165	/	
	50	1224	1233	1242	1251	1177	1186	1195	1205	1278
60	1319	1329	1338	1347	1273	1282	1291	1300	1373	
70	1415	1424	1433	1443	1368	1377	1387	1396	1469	
80	1511	1520	1529	1538	1464	1473	1482	1492	1564	
等身高平均值	1367	1376	1386	1395	1320	1330	1339	1348	1421	

【备注】计算公式：
 男性：BMR (kcal/day)=13.7516×体重(kg)+5.0033×身高(cm)-6.755×年龄(年)+66.4730
 女性：BMR (kcal/day)=9.5634×体重(kg)+1.8496×身高(cm)-4.6756×年龄(年)+655.0955

骑自行车属于一个有氧运动过程，与跑步、游泳等活动一样，大幅度地超过基础代谢水平而需要消耗人体储备的生物能量，吸氧量增加，呼出CO₂也增加，所消耗的能量通过食物予以补充；在运动过程中，由于运动强度超过人体基础代谢水平若干倍，会导致血液循环加快和基础体温上升，必须予以补充水分，以保持人体的健康状态。

运动科学详细测量过各种有氧运动的能量消耗水平。表 2-2 为不同体重以三种不同速度（9 km/h、16 km/h、21 km/h）骑行 10 公里的技术数据。

表 2-2 骑自行车 10 公里：以三种不同速度骑行，不同体重的个体能量消耗、时间、功率及与 BMR 条件下的对比

项目 体重 kg	消耗能量 (kcal)	骑车时间 (min)	骑车功率 (W)	平均 BMR (kcal/day)		骑车时间段的 BMR (kcal)		倍数	
				男	女	男	女	男	女
较慢速：9 km/h									
50	216	67	225	1356	1278	63.1	59.5	3.4	3.6
60	257	67	268	1493	1373	69.5	63.9	3.7	4.0
70	299	67	311	1631	1469	75.9	68.3	3.9	4.4
80	340	67	354	1768	1564	82.3	72.8	4.1	4.7
平均	278	67	289.5	1562	1421	72.7	66.1	3.8	4.2

体重 kg \ 项目	消耗能量 (kcal)	骑车时间 (min)	骑车功率 (W)	平均 BMR (kcal/day)		骑车时间段的 BMR (kcal)		倍数	
				男	女	男	女	男	女
中速：16 km/h									
50	207	38	380	1356	1278	35.8	33.7	5.8	6.1
60	247	38	453	1493	1373	39.4	36.2	6.3	6.8
70	287	38	527	1631	1469	43.0	38.8	6.7	7.4
80	326	38	599	1768	1564	46.7	41.3	7.0	7.9
平均	266.8	38	489.7	1562	1421	41.2	37.5	6.4	7.1
较高速：21 km/h									
50	227	28.6	554	1356	1278	26.9	25.4	8.4	8.9
60	270	28.6	659	1493	1373	29.7	27.3	9.1	9.9
70	314	28.6	766	1631	1469	32.4	29.2	9.7	10.8
80	357	28.6	871	1768	1564	35.1	31.1	10.2	11.5
平均	292	28.6	712.3	1562	1421	31.0	28.2	9.3	10.3
注： 1、表中的“平均 BMR”是根据性别、年龄等计算得出的平均能量消耗。 2、表中“倍数”是指骑车的能量消耗比上骑车时间段平均的 BMR。									

通过对上表的分析,骑行自行车 10 公里所消耗的人体生物能量约为 210-350 kcal 之间, 如果从纯粹物理学(运动学)的角度来看, 自行车重约 20 公斤, 当人体重量为 70 公斤时, 总质量为 90 公斤, 摩擦系数仍取 0.017, 骑行 10 公里条件下, 其物理做功水平为:

$$90 \times 9.8 \times 0.017 \times 10 = 149.9 \text{ KJ} = 35.8 \text{ kcal}$$

人体运动消耗大约为 300 kcal, 是物理运动做功的 8.4 倍, 人体“做功”的效率仅为 12%, 而电动自行车的电机效率可达 80%以上, 显然, 人体动作从物理学的角度看属于一种“低效率”的动作形态。

以三种不同速度骑行自行车, 其生物能量消耗强度比基础代谢条件下的消耗强度大幅度增加, 体重越大增幅越大, 速度越快增幅越大。

骑自行车运动的运动等级如何界定? 生理学家在界定四种状态下的呼吸水平的一般尺度为: 睡眠时, 呼吸水平为每小时 0.3 立方米, 二氧化碳含量为 0.013

立方米 (约 23.4 克); 非睡眠的轻微活动, 每小时 0.5 立方米, 二氧化碳的含量为 0.02 立方米 (约 36 克); 正常工作, 每小时 2-3 立方米, 二氧化碳含量为 0.08-0.13 立方米 (144-234 克); 剧烈运动为 7-8 立方米, 二氧化碳的含量为 0.33-0.38 立方米 (约 594-684 克)。剧烈运动比轻微活动增加排放 16.5 倍, 正常工作比轻微活动增加 4 倍。以此可以看出, 骑自行车运动属于一种低于剧烈运动的亚剧烈运动, 但高于正常活动水平。

世界卫生组织 (WHO) 测算人体正常状态下每天的二氧化碳排放为 2.3 公斤, 如果睡眠 8 小时, 休息时间 8 小时, 正常工作 8 小时, 其正常工作时间的碳排放强度为每小时 228 克 (约 1.82 公斤二氧化碳)。骑车 10 公里而消耗的能量对应的排放可能达到 400 克水平 (亚剧烈运动), 将等效于正常工作 8 小时 22% 的能量。所以, 骑自行车交通对于那些工作体能消耗不大, 身体积累脂肪较多的人群是“非常适合”的交通方式; 对于那些平常体力工作强度较大, 脂肪积累不多, 以及体能较弱, 不适宜剧烈运动的女性和某些慢性疾病的患者而言, 是“不适合”的交通方式, 它会加剧身体的负担, 分散工作精力, 除非及时补充大量有效食物热量和水, 否则会影响到这个人群的健康状态和生活质量。

根据骑自行车能量消耗与 BMR 同时段的消耗的比值来看, 适合的自行车速度应该在 9 km/h-16 km/h 之间选择, 女性和年长者稍慢, 男性和年轻者稍快, 比基础 BMR 的功率水平高约 5 倍。因此, 在本报告中以每小时 13 公里的水平界定自行车的交通速度, 即符合生理学“较适宜”的要求, 也与中国交通的实际状态相符合。

此时, 每 10 公里的生物能量消耗大约为 270 kcal。对于无多余脂肪用于消耗的一般定义下的“个人”而言, 消耗的能量完全要通过食物能量补充, 人体消化食物需要增加 10% 的能量, 因此, 骑自行车 10 公里摄入食物的最低热量为 297 kcal, 此热量相当于碳水化合物 (谷物类) 74 克, 或蛋白质 74 克, 或脂肪 33 克。每天骑车 10 公里, 每年所需要增加的最廉价的食物为, 大米 27 公斤, 按每 500 克 1.5 元计算, 年食物最低成本为 81 元。

以谷物类为例, 食物加工需要消耗一定量的化石类能源 (如天然气、电力等),

例如，用电饭煲做饭，每 250 克米需加水约 500 克，耗电约 0.12 千瓦时，即 320 千卡；另外，食物运输能源也有较大比例，假设中国谷物类商品的平均运输距离约 1000 公里，按每吨公里能源综合费用 0.15 元计算，分担到 250 克谷物的运输能源消耗量约 166 千卡；其他的涉及化石能源的消耗（例如化肥、农药等）较难计算，假设与运输能源相当（约 166 千卡）；三项合计为 652 千卡。也即，每消费 250 克碳水化合物（谷物类）消费所分摊的不可再生的化石能源量大约为 652 千卡。其本身所包含的生物（可再生）能源量为 1000 千卡，两者比为 0.65。这是现代化生活所带来的代价，如果人类仍然停留在纯粹自然的生活状态，以柴做饭，自耕自足，就不会有上述“可怕的”计算，当然，更不会有所谓的“人类活动影响气候变化”的议题。

回到我们讨论的“骑自行车”所涉及的化石能源消耗问题：自行车 10 公里所需要增加的 297 千卡能量，全部以“谷物类碳水化合物”来补充，需要量为 74 克，所涉及的化石能源消费为 193 千卡，二氧化碳排放按照电力排放的强度计算（0.8 公斤/千瓦时）为 58 克。每人·公里为能源强度为 19.3 千卡，排放强度为 5.8 克二氧化碳。最低食物成本为每公里 0.026 元。

如果食物补充的比例结构变化，例如增加动植物蛋白和脂肪的因素，食物成本肯定大幅度增加，相应的能源消耗和排放也会相应增加。

在中国，骑自行车交通方式还具备另外一个特别的化石能源消耗项目，这是由“饮用水”而造成的。在欧美各国，很多饮用水直接由工业化处理程序获得，饮用水的能耗较低；但在中国，公共设施不完善，无法向每个居民提供可直接饮用的低能耗水，大多数个体仍保持着“烧开水”、“喝开水”、“喝茶”的习惯，每公斤水从 20 摄氏度到 100 摄氏度的杀菌过程需要 80 kcal 的能量，电、煤、天然气或其他化石燃料的加热效率在 40-85% 之间。如以电加热，每公斤开水需耗电约 0.12 千瓦时，增加 CO₂ 排放 96 克；如以天然气加热，加热燃烧效率为 40%，液态天然气的热值为每加仑 90800 Btu，则需消耗液态天然气 33 毫升，天然气的 CO₂ 排放系数为 54.7 mg/Btu，烧开水 1 公斤的 CO₂ 排放为 43.4 克，取两种方式的平均值，开水 1 公斤的能源强度为 260 kcal，所涉及的 CO₂ 排放为 70 克。显然

“烧开水”是一种对化石燃料消耗较高的水处理形态。

世界卫生组织（WHO）认为保持人的健康，水摄入最为关键，每人每天的基础补水量为 2.5 升，其来源可以直接摄入，也包含食物中的含水量。额外的消耗必须及时补充，否则将危害健康。例如，乘飞机 3 小时建议补充水约 1.5 升；身体有氧运动前 30 分钟应喝水 500 毫升，期间，每 30 分钟应该喝水 500 毫升，等等。

骑自行车交通时，身体呈现的功率强度已经比基础代谢水平（BMR）高了 5 倍以上。因此，人力骑车 5 公里（约 20-30 分钟）比骑电动自行车多补充 500 毫升水是必要的，此项所对应的能源增加值为每公里 100 毫升“开水”的能耗，为 26 kcal/km，CO₂排放强度为 7 g/km。

综上所述，人力自行车形态所涉及的化石燃料的消耗主要表现为：

A) 所需要食物能量的加工成本，每人·公里的能源强度为 19.3 千卡，排放强度为 5.8 克二氧化碳。最低食物成本为每公里 0.026 元。

B) 人力驱动车辆属于一种额外的亚剧烈运动状态，带来了体温的上升和新陈代谢的加剧，对水的补充是保障健康所必须的。而中国目前的社会水处理没有完善低能耗供饮用水，烧开水和喝开水的形式普遍存在。以每公里比机动交通方式增加 0.1 公斤水来计算，其开水加热的能源强度增加值为 26 千卡，CO₂排放增加值为 7 克；

两项合计，人力自行车的化石类能源强度为：

45.3 kcal/人公里，相应的CO₂排放强度为：12.8 g/人公里。

（三） 两轮摩托车

两轮燃油摩托车的能源强度计算比较简单，当速度大于 40 km/h 时，摩擦阻力与风阻几乎相等，超过这个速度风阻功耗比例将大幅度提高，风阻力与速度的平方成正比，风阻功耗与速度的 3 次方成正比。燃油摩托车是一种适合高速骑行的车辆，其功率设计要比“低速电动自行车”高 8 倍以上，可以达到 8-10 KW 水

平。

美国 DOE 交通能耗数据手册称,在美国约有 700 万辆摩托车,每英里的能源消耗值为 2224 Btu,即每公里 1382 Btu,即 348.4 kcal/km;100 km 能耗为 34836 kcal,折合 1.1 加仑汽油,约 4.16 升。显然,这是非常高的能源消费状态。

中国摩托车的行驶速度普遍低于美国,功率配置比较低,按照国家对新投放的摩托车的燃油经济限制值(每 100 公里不大于 2.5 升)来计算摩托车的实际行驶能耗,此指标将被调整为:

能耗: $2.5 \text{ L}/100\text{km}=830.7 \text{ Btu}/\text{km}=209.4 \text{ kcal}/\text{km}$

CO₂排放: $5.75 \text{ kg}/100\text{km}=57.5\text{g}/\text{km}$

中国摩托车平均装载系数取与美国相同,为 1.2 (平均每 5 辆有一辆带一位乘客)。分担到每人·公里的指标调整为:

能耗强度: $174 \text{ kcal}/\text{人}\cdot\text{公里}$

CO₂排放: $48 \text{ g}/\text{人}\cdot\text{公里}$

(四) 中国城市公交车

查阅美国能源部(DOE)交通数据手册,全美公共交通协会(APTA)出版的 2009 年公共交通指标手册(2009 Public Transportation Fact Book)公布了从 1994 年到 2007 年的数据,见表 2-3,用人·车里程除以车里程,即为美国地面公共交通的装载系数,可以看出,美国城市公交车的装载系数大约在 8.6-9.4 之间,13 年的平均水平为 9.

从表 2-3 中可以看出,13 年来美国城市公交车均处于非常高的能耗状态,车·英里能耗,2007 年为 39408 Btu。如以汽油衡量,每英里耗油高达 1.19 升;以柴油衡量,每英里耗油也达 1.07 升,100 公里油耗,汽油为 74 升,柴油为 66.5 升,是名副其实的“油老虎”!更严重的是,美国公交车的平均装载系数在 8.6-9.4 之间徘徊,人·英里能耗强度高达 4315 Btu,这项指标已经超过美国小汽车(Car)

的 3514 Btu 的水平，高出 22.8%，每英里多耗能 800 Btu，这在全球范围内均属罕见。

表 2-3 美国公共交通出行状况统计（1994-2007）

年份	车辆数量	车·里程 (百万英里)	人·里程 (百万英里)	装载系数	总能耗 (万亿 Btu)	车·英里 能耗 Btu	人·英里 能耗 Btu
1994	68,766	2,176	19,019	8.74	81	37242.6	4,261
1995	67,802	2,198	19,005	8.65	81.8	37197.2	4,302
1996	72,353	2,234	19,280	8.63	83.6	37403.5	4,334
1997	73,425	2,259	19,793	8.76	87.6	38771.1	4,425
1998	77,788	2,188	20,542	9.39	90.1	41159.1	4,384
1999	74,885	2,290	21,391	9.34	92.6	40418.7	4,327
2000	75,665	2,329	21,433	9.20	96.6	41494.8	4,509
2001	76,675	2,389	22,209	9.30	91.5	38301.0	4,120
2002	76,806	2,425	22,029	9.08	90.3	37244.9	4,100
2003	78,000	2,435	21,438	8.80	89.4	36721.9	4,171
2004	81,630	2,484	21,550	8.68	93	37460.9	4,318
2005	82,642	2,498	21,998	8.81	92.4	36986.2	4,200
2006	83,689	2,507	22,985	9.17	97.9	39047.9	4,259
2007	65,808	2,314	21,132	9.13	91.2	39405.6	4,315
平均值	75,424	2,338	20,986	9	90	38,490	4,288

数据来源：美国公共交通协会、2009 年公共交通指标手册。

本报告第一部分曾对中国公交车的装载系数进行过计算研究，按照《中国统计年鉴》公布的数据，并假设平均每人出行里程为 8 公里（5 英里），平均每人乘车 30 分钟，平均车速为 16 km/h，各地公交车的装载系数有所差异，均反映出这些地区的特点。从全国平均水平来看，全国平均的装载系数高达 21，如果车里程能耗相同，中国公交的人·里程能耗就可以比美国下降 56.7%。

事实上，中国城市公交车的豪华程度远远达不到美国水平，无论是车体质量

还是空调等设施，中国城市公交车都比较简陋，100 公里运行油耗不可能达到 74 升汽油和 66.5 升柴油的水平。由于缺乏准确的运行数据，我们只能进行估计，按汽油估算，中国城市公交的 100 公里运行平均油耗在 25 升至 40 升之间，取平均值为 32.5 升；按柴油估计取平均值为 29.2 升/100 公里，即每公里油料能耗为 10747 Btu（每英里为 17293 Btu），相当于美国公交车的 43.9%。

取装载系数为 21，中国公交车目前平均能源强度为：

$$10747 \div 21 = 511.76 \text{ Btu/人} \cdot \text{公里} = 129 \text{ kcal/人} \cdot \text{公里}$$

美国为：

$$4315 \text{ Btu/人} \cdot \text{英里} = 2681.8 \text{ Btu/人} \cdot \text{公里} = 675.9 \text{ kcal/人} \cdot \text{公里}$$

显然，中国目前公交车的能源强度仅为美国的 19.1%，能源效率为美国的 5.2 倍。

可以从目前实际的公交票价来分析上述的估计是否合理。如果公交车的人·公里能耗为 129 Kcal，就相当于每人·公里分担汽油消耗为 15.5 毫升，或柴油 13.9 毫升，每次人次平均里程按 8 公里计算，每人分担的汽油为 124 毫升，或柴油 111.2 毫升，按每升汽（柴）油 5.9 元计算，票价中分担的油料费用在 0.66-0.73 元范围内，平均票价按 1.5 元计算，油料费用占比例为 45-48%。可以看出，按理论状态计算的公交车能耗水平与当前消费者承担的费用状态是接近的，与实际情况的拟合度较高。

当以下各种情况出现时，中国公交车的能源强度会有所变化：

A，提高公交车的舒适性，增加空调车的数量以及加大空调功率，都会增加车辆的每公里油耗。

B，增加公交线路或延长服务时间，较大程度上满足少数人的特殊时间段的特殊需要，会导致装载系数的下降，公交车的能源效能也会随之降低。

显然，合理设计线路、车型、调峰平谷、提高或保持营运效率和舒适度之间的平衡是公交节能的关键。就目前情况来看，中国公交车的能源经济性是非常好

的,不仅大大低于美国,也低于日本,日本的公交车的能源强度为 160 Kcal/人·公里。中国目前的水平只有日本的 80%, 公交车交通能源效率比日本高 25%。

因此,本报告以全国平均的尺度估计中国公交车的能源强度为:

129 kcal/人·公里 (511Btu/人·公里)

按柴油的CO₂转换系数 73.15 mg/Btu计算,其CO₂排放的强度为:

37g/人·公里。

(五) 家庭轿车

美国能源部交通能源数据手册对美国家庭轿车(Car)的实际能源强度的公开值为每英里 5517 Btu,相当于每 100 公里平均油耗为 10.57 升。

这项指标在中国无需调减,原因是中国道路的拥堵程度已经超过美国,油耗加大,同时,中国汽车制造业技术基本照搬国外,并无明显的节能特色。

但是美国 2007 年的家庭轿车(Car)的装载系数取值为 1.57,在 24 年前(1983 年),这项指标为 1.8,中国家庭轿车的利用率可以参照美国 24 年前的水平,取值 1.8,这样,中国家庭轿车的能耗强度及CO₂排放会比美国略低:

即,美国为: $5517/1.57 \text{ Btu/英里} \cdot \text{人} = 2184 \text{ Btu/人} \cdot \text{公里}$

$= 550 \text{ Kcal/人} \cdot \text{公里}$

对应的CO₂排放为: **155 克/人·公里**

中国为: $5517/1.8 \text{ Btu/英里} \cdot \text{人} = 1905 \text{ Btu/人} \cdot \text{公里}$

=480 Kcal/人·公里

对应的CO₂排放强度为: **135 克/人·公里**

至此,我们已经将五类大众交通出行方式和家庭轿车出行方式的化石燃料的能源强度和对应的CO₂排放强度讨论完毕,表 2-4 予以汇总。

表 2-4 中美各类出行方式的能源强度和CO₂排放强度比较

交通形态	中国			美国		
	装载系数	能源强度 (千卡/ 人·公 里)	CO ₂ 排 放 强度(克/ 人·公 里)	装载系数	能源强度 (千卡/ 人·公 里)	CO ₂ 排 放 强度(克/ 人·公 里)
电动自行车	1.2	26.6	8.0	/	/	/
自行车	1.0	45.3	12.8	/	/	/
摩托车	1.2	174.0	48.0	1.20	290.0	80.0
城市公交	21.0	129.0	35.0	9.10	675.9	183.0
家庭轿车	1.8	480.0	135.0	1.57	550.0	155.0

图 2-1 中美两国五类交通方式的能源强度对比

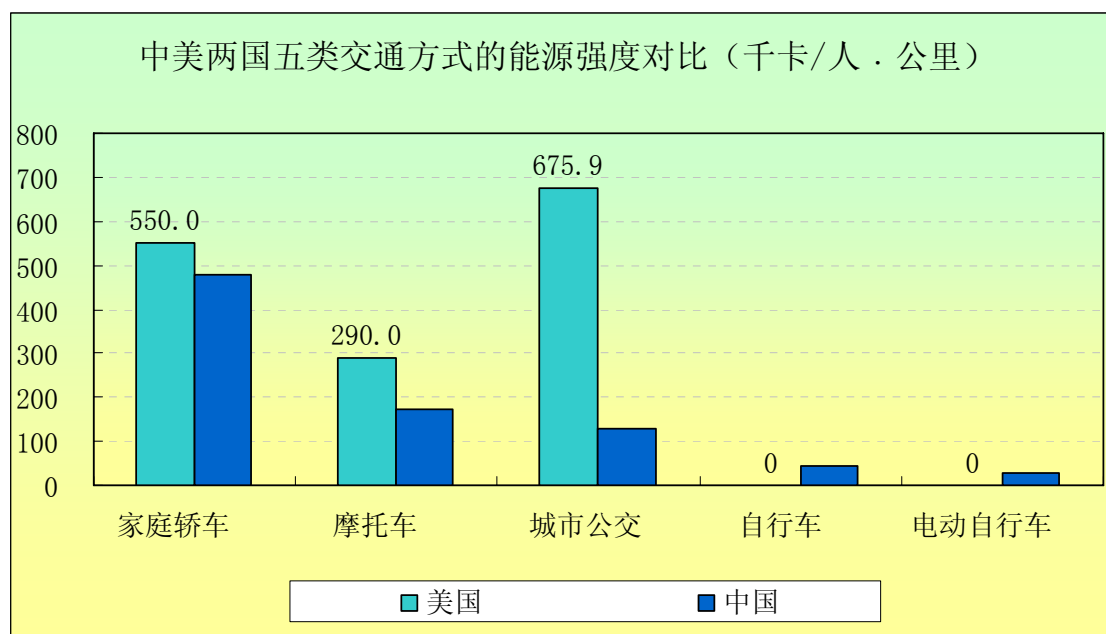
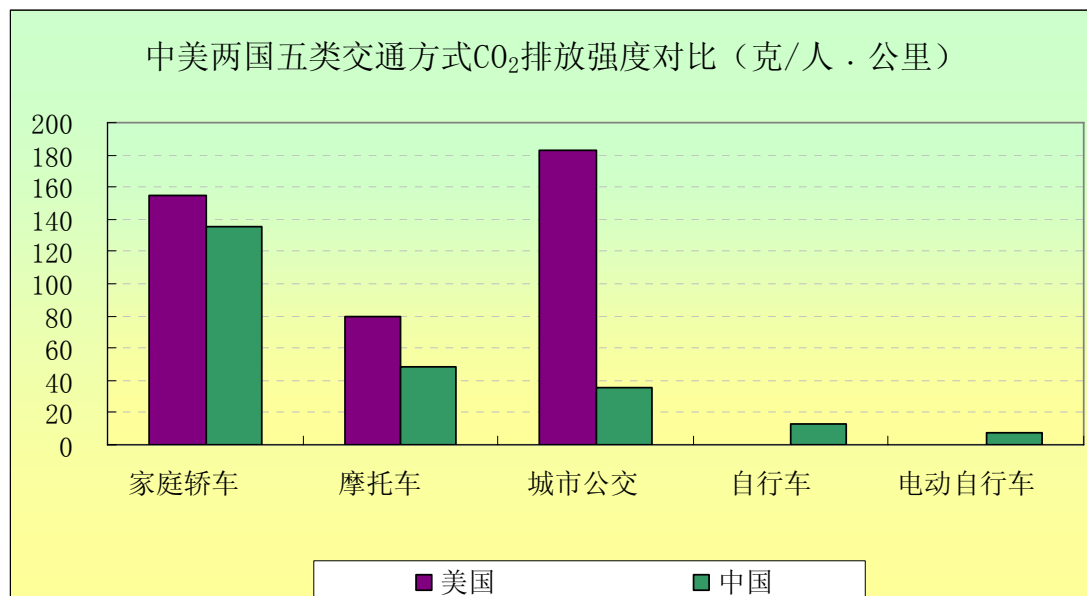


图 2-2 中美两国五类交通方式CO₂排放强度对比



五、电动自行车对节能减排的重大贡献

前节，我们尽可能详尽的描述每一种大众出行方式所涉及的化石能源消费强度和CO₂排放强度的各种细节，并予以数量化的描述，不厌其烦的讨论人力自行车和城市公交车所内涵的因素变化，甚至从维护人体健康的角度描述人力自行车可能会涉及的化石能源消费（食物加热和水加热问题），其目的是对电动自行车所呈现出的“巨量替代”进行社会责任分析。

如果一种交通方式比另一种交通方式消费更少的化石能源，更少的CO₂排放强度，更少的承担交通安全死亡代价，那么这种交通方式对社会的贡献就可以通过她广泛使用而呈现出巨大的社会效益。

例如，最简单的计算可以是这样进行的：

2009年，中国境内有1.2亿辆电动自行车正在被使用，按平均日出行里程25公里，装载系数1.2（有20%的电动车带一位乘客）。那么这种交通工具的总出行里程就达到1.314万亿人公里；如果这个巨量的总里程是由另外一种交通方式（例如摩托车）来实现的，由于摩托车的人·公里能源消费比电动自行车增加147.4千卡，放大到1.314万亿人公里，电动车替代摩托车的节能总量就达到193.2万亿千卡，每亿千卡相当于14.28吨标准煤，于是节能总量达到2758.3万吨标准煤，或节约汽油当量1700万吨；同样的，摩托车的人·公里CO₂排放比电动自行车增加40克，放大到1.314万亿人·公里，电动自行车替代摩托车的一年所减少的CO₂排放就达到5256万吨。

一年减少化石能源消费2758.3万吨标准煤和减少CO₂排放5256万吨，这是一个什么概念？是多还是少？它在国家实践科学发展观中应该具备什么地位？抽象的数据具有相当的模糊性。类比的实例可以帮助我们了解这个问题：

例如，国家从1999年开始大力推广11类重点产品技术替代性节能计划，制

定了 23 项节能标准强制实施，估计其节能总潜力。室内空调，2010 年相比 2005 年的节能总潜力为 415.4 万吨标准煤，家用电冰箱的总潜力为 337.8 万吨标准煤，中小型三相异步电机为 532.8 万吨标准煤，管型荧光镇流器（节能灯）为 594.8 万吨标准煤，等等。所有 11 项重点节能项目的总节能潜力为 2952.6 万吨标准煤。电动自行车替代摩托车增长一项就达到了其总节能潜力的 93.42%！其效果是空调节能项目的 5.5 倍，是冰箱项目的 6.77 倍；

再例如，减少排放 5356 万吨二氧化碳，其效果也是惊人的，2006 年，我国大约有 2000 万辆家庭经济性轿车，以每周加油 15 升计算，全年总油耗为 234 亿升，每升油的 CO₂ 排放为 2.3 公斤，总排放为 3588 万吨，电动车替代摩托车一年的总减排量相当于 2006 年全国经济性家庭轿车排放总和的 1.5 倍。

事实确实如此，经历了 2003 年 SARS 之后，中国电动自行车出现井喷式上升，2004 年增加量超过 1000 万辆，随后的 2005、2006、2007、2008、2009 五年，每年的增加量超过 2000 万辆，到 2009 年底全国总保有量预计超过 1.2 亿辆，全国主要地区的每个县级行政单位都有少则十几家，多则几十家的“专卖店”，从零售到服务，总整车制造到零部件生产形成另外一个数量近百万的就业群体，过去 5 年，也只有短短 1800 多天，从中国人口密集的东部地区开始，每天平均有超过 5 万人转向购买和使用电动自行车，从而构成了惠及近亿家庭的交通出行方式的巨大机动化转变。这种转变到目前也没有停止其步伐，在未来的 10 年以及今后相当长的历史时期，中国个人交通工具的电动化仍然会在相当大的范围内进行深刻的变化。作为全球最大的发展中国家，以最低的能源消耗、最低的 CO₂ 排放和最低的交通安全代价实现居民出行的动力化和便利化，为其他发展中国家做出了榜样，也值得发达国家借鉴。

（一） 电动自行车替代摩托车的巨大社会效益

中国电动自行车依托巨量的自行车交通习惯群体，在经济活力增加、城市化进程加快和制造业吸纳大量农民工就业的大背景下，与燃油摩托车展开激烈竞

争，吸纳更多的群体在燃油摩托车和电动自行车之间选择电动自行车。从这个角度来看，她是摩托车的“竞争品”，并取得了明显的竞争胜利。摩托车在 2005 年之后，其增量明显放缓，有些电动自行车热销的地区，官方统计资料中显示的每百户家庭摩托车保有量出现负增长。这种局面到底是增加社会福利还是相反？通过社会成本的分析可以明确地回答这个问题。

电动自行车与摩托车相比，每亿人·公里能耗减少 147.4 亿千卡（0.21 万吨标准煤），CO₂排放减少 0.4 万吨，亿人公里涉及死亡人数，摩托车 5 年平均值为 2.21，电动自行车仅为 0.3 人，差值为 1.91 人，表 2-5 为电动车从 2004 年到 2009 年实现总里程由摩托车承担的逆向社会成本表：

表 2-5 电动自行车实现总里程由摩托车承担的逆向社会成本（2004-2009 年）

年份	电动自行车		摩托车		
	服务里程 (亿·人公里)	服务车辆 (万辆)	增加能耗 (万吨标准煤)	增加排放 CO ₂ (万吨)	增加死亡 概率 (人)
2004	1168	2000	245.3	467.2	2231
2005	3504	4000	735.8	1401.6	6693
2006	6570	6000	1379.7	2628.0	12549
2007	8870	8000	1862.7	3548.0	16942
2008	10951	10000	2299.7	4380.4	20916
2009	13140	12000	2759.4	5256.0	25097
合计	44203	12000	9282.6	17681.2	84428

显然，每一项都是一个巨大的数量，摩托车承担电动自行车机动化里程的社会成本极其巨大，这也从反面证实了中国电动自行车的贡献非常大，无论是节能减排还是降低交通死亡概率，都呈现出巨量的效果。特别是 6 年减少死亡概率 **84428** 人，充分体现了电动自行车的重大社会责任。

值得警惕的是，目前有人以“电动自行车越来越像摩托车”（继承了摩托车的“血统”）为借口，建议国家将数量巨大的所谓“超标电动自行车”按照摩托车来进行交通管理，走机动车道路，与汽车为伍，一旦实施将严重恶化电动自行车的安全状态，上表已经非常清楚地表明，如果电动自行车与摩托车有相同的“亿人公里死亡概率”，以 2009 年的电动自行车总里程来衡量，仅仅一年就可能增加超过 2 万人的死亡概率。显然，这是一种偏颇的危险建议，违反科学规律，应该予以反对。事实上，无论我们如何去定义现实已经存在的电动自行车，都应该从实际出发，尊重统计数据所反应出来的规律，谨慎分析，科学决策，不应该被“教条主义”和“血统主义”所迷惑，违反“不折腾”的原则而“瞎折腾”，将付出血的代价。

（二） 城市公交车与电动自行车在机动化交通替代的逆向成本分析

有人片面理解大力发展公共交通的含义，甚至“责怪”政府对电动自行车高速增长的容忍态度是与“发展公共交通”相矛盾的，主张禁限电动自行车。

事实上，在中国电动自行车高速发展的 5 年里，城市公共交通也得到了有效地发展和改善，肇事死亡人数从 2003 年的每年 1910 人下降到 2007 年的 1202 人，减少 37%，车辆总数和客运总量同期增加了 40% 以上。两者呈现共生共荣，相互补充，和谐发展的良好局面。

当然，我们也可以按照“禁限电动自行车全力扩张公交车”的思路来分析计算：如果 6 年来全部电动自行车总里程由地面公共交通承担，那么，社会将承受怎样的成本？计算的前提有两条：

首先，本报告得出的中国目前公交车的装载系数为 21，已比美国高出 2.3 倍，再大幅提高装载系数势必影响乘车人的便利性和舒适性。因此，仍然假设装载系数不变（取 21）；

其次，每车年运行 5.6 万公里也不做调整，每车年运送乘客里程为 117 万人·公里，每增加 1 亿人·公里增加需增加的公交车数量为 85.3 辆；

第三，公交车每亿人·公里肇事死亡人数与电动车每亿人·公里涉及死亡人数基本相近，不做对比；公交车的每人·公里化石能源消耗比电动自行车增加102.4千卡，每亿人·公里增加1462.8吨标准煤。每人·公里增加CO₂排放27克，每亿人·公里增加排放2700吨。

于是，如果按照公交车全部承担电动自行车所实现的机动化里程的设想，由此而带来的社会成本的增加如表2-6：

表2-6 电动车实现总里程由城市公交车承担的逆向社会成本（2004-2009年）

年份 \ 项目	电动自行车		由城市公交车承担的逆向成本			
	服务总里程 (亿人·公里)	服务车辆 (万辆)	增加车辆 (万辆)	增加车里程 (亿公里)	增加能耗 (万吨标准煤)	增加CO ₂ 排放(万吨)
2004	1168	2000	9.93	55.6	170.9	315.4
2005	3504	4000	29.79	166.8	512.6	946.1
2006	6570	6000	55.86	312.8	961.1	1773.9
2007	8870	8000	75.42	422.4	1297.5	2394.9
2008	10951	10000	93.12	521.5	1601.9	2956.8
2009	13140	12000	111.73	625.7	1922.1	3547.8
合计	44203	12000	111.73	2104.8	6466.0	11934.8

显然，表2-6所表现出的各项逆向成本仍然可以用“巨量”来形容。事实上，如果全部禁止电动自行车而由公交车来替代其出行功能，其严重的恶果还不仅仅体现在上述理性计算中，还会牵动一系列因素进一步恶化其效果：

第一，农村和城郊因素。目前电动自行车用户的很大比例来自农村或郊区，出行时间没有规律，公交线路如果要全面覆盖这些线路并兼顾特别的出行时间，势必降低其效率（降低装载系数），从而进一步增加其能耗和CO₂排放的强度。

第二，点对点效应。电动自行车骑行总是会遵循最短路径原则，它所表现得里程是最小必要里程，而公交车的路径为预先设定的规定道路，也不能随时停车

上下客，不能对所有交通者实现最短路径。因此，以电动自行车交通里程考核公交车的乘客里程是不足的，公交车将发生的乘客里程能耗将大于计算理论值。

第三，需求新增 111 万辆城市公交车将是 2007 年实际数量的 3.2 倍，由此而带来的机动车道路拥挤是必然的，它进一步延缓公交车行驶速度，从而导致更多人寻求家庭轿车的解决方案，能耗和排放情况的进一步恶化是可以想象的。事实上，2007 年全国出租车的总数也只有 97 万辆，增加 111 万量再加上现实存在的 34 万辆，合计达到 145 万辆，将是出租车总量的 1.6 倍，道路上的大型公交车比出租车还多，再加上已经很多的小汽车，那将是怎样的景象呢？

综上所述，电动自行车 5-6 年的快速增长，与城市公交车形成了相互补充的关系，两者都发挥了承接自行车交通方式转型的重要作用，最理想的结局应该是两者进一步联合，优势互补，共同构筑起一种面向 2020 年的最高效的大众低碳交通模式，为“发展大公交”而禁限电动自行车是不可取的选择。

（三） 纯环保者的错误：纯自行车交通也不是中国的长期选项

一些纯环保主义者，误认为自行车交通不需要消耗任何矿物类能源，电动自行车明显是需要充电的，所以他们在自行车和电动自行车的“投票”中不假思索地支持自行车，支持公交车也不支持电动自行车。

事实上，纯环保主义和环境科学(environmental science)专家是有差别的，前者热心于简单的鼓动传播和哲学概念（包括执着的理念），不太关心其背后的科学分析。以自行车与电动自行车的比较为例，前者只看到自行车在骑行过程中没有任何矿物能源的消耗，而电动自行车明显地使用了电力，用了电就不能说是环保的，火电烧煤不说，就是水电也会给鱼类物种带来危险。本报告（第四章第（二）节）细致分析了自行车交通所涉及的化石类能源的消耗（主要由最低食物加热和水加热组成），最后的指标是每公里耗能大约为 45 千卡，100 公里耗能 643 克标准煤，约 1.7 千瓦时电，电动自行车虽然直接使用电能，但它比自行车节约了可观的食物和水消耗，100 公里耗电只有 1.2 千瓦时，考虑装载系数后下

降到 1 千瓦时，比自行车减低 40%。这样的结果是隐藏在“感觉”背后的科学，必须要用系统的全面理性的方法才能够理解，仅仅相信常识的人很难发现。

上面描述的事实，还可以从物理学的角度去理解。定义体力功率为人体平均每秒消耗的热量（焦耳），用 $1W=1\text{ J/S}$ 来衡量，当体重为 70 公斤，保持时速 16 km/h 骑车时，其人体消耗功率可达到 527W，而电动车承载同样体重的人以 16 km/h 的速度骑行时（车重 60 公斤），其电功率仅为 127 W，人体运动用于“前进”的效率与电机效率有至少 4 倍的差距。因此，当我们仅仅计算需补充的食物的加热能耗和需补充水的加热杀菌能耗时，自行车交通方式的能耗强度已经大于电动自行车了，CO₂排放也同样。以上还仅仅是“平坦路面”的情况，遇到上坡或风雨天气、炎热天气，两者在物理学效率上的差距还会被进一步放大。

对这个问题的误解，不仅纯环保主义如此，大量的“公众意识精英者”也类似。特别是那些有减肥需求的热能丰裕者，那些平常较少运动的脑力劳动者，他们都非常热衷于“赞美”自行车交通方式。经常出现在媒体报道中的典型案例是，荷兰首都阿姆斯特丹在保持自行车交通传统的同时又在自行车与快速轨道交通联合方面取得了异常成功。这个成功令人兴奋不已，认为自行车交通方式可以长久地发挥重要功能。

其实，造就荷兰自行车交通有效成功的原因是多方面的，依笔者之见，其中一个重要的客观原因与荷兰地理特点有关，荷兰在日耳曼语中叫尼德兰（Netherland），意为“低地之国”，所以，她是全世界最著名的低地国家，其国土面积的一半是低于海拔 1 米的，部分地区甚至是围海造地形成的，阿姆斯特丹就是如此，“平坦”就是荷兰地形最突出的特点。地势平坦再加上西方人食物结构中富集热量，为这个地区的自行车交通创造了优良的条件。

中国的情况不一样，虽然到目前为止，中国仍然是一个自行车交通最大数量的国家，过去自行车交通的数量更加巨大，然而，造成这个事实的主要原因不是人民热爱运动，热爱用自行车消耗过多的食物，或者主动地节能减排，相反，自行车交通群体的主体部分是中低收入群体，他们没有彻底摆脱贫困，他们每年可以用于交通项目的支出非常少，买不起摩托车，更谈不上汽车，他们的食物结构

中脂肪等高热量食物比重较小，购买食物占其总支出的比例仍然比较高。对于这样一个广大的群体，称赞自行车有利于更多地消耗他们来之不易的食物，从而有益于“健身”，建议他们将有限的精力、体能和时间投入到无效（没有收入的）的交通行程中去，无疑是不道德的。

特别是随着城市越来越大，居住地与工作地的距离越来越远，加上中国的大多数地区并不像荷兰那样平坦，有时还不得不面对一个长达 200 米的慢坡，自行车交通的辛苦是可以想象的。这时，城市的管理者，人民事务的条例制定者仍然无动于衷，甚至禁止或者限制他们用可以防止体力透支的电动自行车进行机动化替代，采用的借口如果仅仅是“自行车更环保”，就不免有些过分缺乏同情心了。

当然，对于那些有必要通过体力运动消耗脂肪、强壮身体的人而言，自行车交通无疑是他们最理想的选择。

正因为此，我们才用几乎繁杂的计算，来描述自行车交通中所涉及的不可再生的能源成份，以及由此而引发的CO₂排放。目的在于理清概念，科学评价事物的本来面目。

表 2-7 所描述的是电动自行车替代自行车在节约化石能源和CO₂排放方面的量化指标，主要是减少食物和水加热的能耗而带来的社会福利。每亿人·公里死亡人数电动自行车比普通自行车更优秀，每亿人·公里死亡概率减少约 1 人，这一点从两者交通事故的“死伤比率”差异上都得到实证，电动自行车的“死伤比率”比自行车低 50%左右，面对同样的交通距离，电动自行车机动性提高，活动在道路上的时间比自行车更短，减少了发生事故的概率，每亿公里事故代价下降。因此，以电动自行车替代自行车取得了十分明显的安全福利，当然更大的福利是节约了人民的体力和时间，这将在以后的讨论中给予描述。

表 2-7 电动车替代自行车的部分社会福利计算（2004-2009 年）

项目 年份	电动自行车		电动自行车替代自行车的部分社会福利		
	服务总里程 (亿人·公里)	服务车辆 (万辆)	减少化石能源能耗 (万吨标准煤)	减少CO ₂ 排 放(万吨)	减少死亡概 率(人)
2004	1168	2000	31.2	56.1	1168
2005	3504	4000	93.6	168.2	3504
2006	6570	6000	175.5	315.4	6570
2007	8870	8000	237.0	425.8	8870
2008	10951	10000	292.5	525.6	10951
2009	13140	12000	351.0	630.7	13140
合计	44203	12000	1180.9	2121.7	44203.0

（四） 本节小结

当我们在 2009 年底的时间节点上，回顾前 5-6 年里发生的电动自行车交通现象时，通过对减少化石能源消费和CO₂排放的贡献量的计算，已经得到了明确的答案。中国巨量消费者的自发选择，取得了巨大的理性成果。电动自行车作为大众交通工具的成功应用，看到了实现交通便捷的同时减少对不可再生能源的依赖性消耗的新途径，也是发展中国家的人民在改善生活幸福指数的同时减少二氧化碳排放的成功案例，值得骄傲！

当今世界，需要公益号召。每一项公益号召都会有其有益于人类社会的量化指标。

例如，公益广告号召：全国空调调高一度！一台空调每年可节约 22 千瓦时，全国空调可以节约 264 万吨CO₂排放。然而，以电动车替代摩托车，一年可以减少约 5000 万吨CO₂排放，减排效果是这项公益号召的 19 倍。

再例如，公益广告号召：煮饭时提前把米放在水中浸泡 10 分钟，每次可以节约 0.025 千瓦时电，全国 8.18 亿用户，一年可以节电 8 亿千瓦时。8 亿千瓦时

电的CO₂排放为 64 万吨。然而，以电动车替代摩托车减排 5000 万吨，减排效果是这项公益号召的 78 倍。

从全球来看，1975 年美国国会通过 CAFÉ (Corporate Average Fuel Economy) 标准, 对在美国销售的轿车和轻卡 (passenger cars and light trucks) 燃油经济性进行考核公布以达到节能的目的。最近 3 年，美国政府加强了对 CAFÉ 的要求，2007 年 12 月 19 日，布什总统签署 EISA (能源独立和安全法案)，要求 CAFÉ 在 2020 年达到 35MPG 的水平，2009 年 5 月 19 日，奥巴马总统进一步提出更严厉的要求，这项要求希望在 2016 年就达到平均 35.5MPG，其中，passenger cars (乘用车) 要达到 39MPG 的水平。评估美国政府的进行来达到减排效果，以乘用车为例，2007 年全美共销售 7867510 辆，平均 CAFE 为 MPG=31.2，按美国每车平均行驶 11654 英里 (1.87 万公里) 计算，新销售的 7867510 辆汽车估计每年消耗 29.4 亿加仑，如果提前实现奥巴马要求在 2016 年实现的目标，每年消耗下降为 23.5 亿加仑。目标的能耗与当前相比可节约 5.89 亿加仑。每减少 1 加仑的汽油消耗可以减少二氧化碳排放 8.69 公斤，5.89 亿加仑对应的减排总量为 512 万吨。

显然，发生在中国的，以电动自行车替代摩托车一年的减排效果是美国实施 CAFÉ 提升计划在乘用车上的成果的 10 倍左右 (计划在 2016 年实现)，中国每年新增 2000 万辆电动自行车的减排值大约也达到其 2 倍。

总而言之，中国电动车替代摩托车的自发成就已经远远大于部分官方重点推动的节能减排行动，但这项成就并没有引起足够的公平对待，甚至有些地方管理者还在尽量阻止人民使用电动自行车，斤斤计较于“伪问题”，违背了科学发展，和谐发展的大局，令人遗憾！

六、面向 2020 年展望， 电动自行车应该发挥的巨大作用

（一）居民交通里程增长的相关因素

通常，每个国家的人均年交通里程与这个国家的人均国民收入、人均 GDP、城市直径、功能分布距离、以及中小学密度等因素密切相关。一般而言，工业化国家的人均交通里程都会远远高于农业国家，发达国家大于发展中国家。但是，人均交通里程的增长幅度，发展中国家将远远大于发达国家。快速的发展中国家其总居民里程和人均交通里程都将呈现高速增加态势。

30 年来，中国交通人均里程已经呈现出一种爆发式的增长历程，特别是城市化进程和大量农业劳动力转向制造业，极大地增加了推进人民活动程度。虽然与发达的经济体相比（如美国、日本等），中国的人均交通里程仍处于一个非常低的水平，但是，在未来的 10-20 年里，只要经济仍然维持高位增长，其差距就一定会缩小。

国内各地区也有差别，大中城市及长三角、珠三角、以及沿海经济开放区，其人均交通里程肯定远远大于经济欠发达的中西部地区。人均交通里程与 GDP 保持同步增长的关系。（见附录）

基于上述判断，假设人均里程增幅比 GDP 增幅低 20-40%，过去 15 年，按 6.4% 计算，每 5 年增长 36%，15 年增加 2.5 倍。1994 年的人均交通里程大约只有今天的 40%，如果以当时平均每天交通 5 公里为标准估计，当时的人均出行里程就只有每年 1800 公里。2009 年增加了 2.5 倍，今天的人均活动距离可能已经达到 4500 公里（平均每天 12.3 公里）！展望 2020 年，如果按每年平均增加 5%，10 年增长 63%，那时，中国居民的人均里程将达到 7335 公里，平均每天约为 20

公里。表 2-8 概括地表达了中国三个时期的人均里程和总里程，以及与美国、日本的对比。

表 2-8 模拟中国三个历史时段与美、日水平的对比。

	人口 (亿)	个人汽车 出行里程 (亿人·公 里/年)	汽车里程 人均强度 (公里/ 年)	其他(亿 人·公里/ 年)	总里程(亿 人·公里/ 年)	总人均 里程(公里 /年)
美国 2007 年	3	41830	13943	500	42300	14100
日本 2000 年	1.74	8496.9	6654	5655	14161	8139
日本 2004 年	1.79	8573.3	6728	5716	14289	7983
中国 1994 年	11.98	/	/	/	21600	1800
中国 2009 年	13	/	/	/	58500	4500
中国 2020 年	14.8	14000	945.9	94558	108558	7335

可以看出，按照上述假设的条件，15 年前（1994 年）中国的人均里程仅为美国 2007 年的 12.8%，2009 年为其 31%，到 2020 年，这项指标将上升到美国 2007 年的 52%，比日本 2000 年到 2004 年的水平略低。而到这个时刻，中国将面临一个 10 万亿人·公里的居民出行总量，为美国 2007 年的 2.5 倍。如何达到最低的能耗和最高的道路利用水平？这是一个需要思考的问题。

（二）谁来承担 10 万亿人·公里里程

短短的 10 年要面对 10 万亿人·公里的居民出行量，发展什么样的交通才可以取得最令人敬佩的成绩？回答这个问题仍然需要数字分析

首先，家庭轿车的增长是没有悬念的。绝大多数的专家认为，到 2020 年，中国家庭轿车的保有量一定会超过一亿辆，如不控制可能更大些。以 14.8 亿总人口来平均，每千人汽车保有量达到 67.56 辆。那时的估计城市化率为 60%，城镇人口约 8.88 亿，城市总户数约 2.96 亿户，以城镇家庭来平均，每三户将拥有

一辆轿车。关键问题是每辆轿车每年行驶多少公里？是多用车还是少用车？按日本水平大约为每车行驶 7800 公里，而美国水平为 1.26 万公里（日均 34.5 公里）。按日本模式，取装载系数高达 1.8，1 亿辆轿车的总里程为 1.4 万亿人·公里，分担 14% 的出行量。这时，道路上的小汽车已经是现在 3 倍，拥挤问题可想而知。

其次，是承载着社会希望的轨道交通。在大中城市，大力发展高效率的轨道交通已是必然。但是，轨道交通到底可以分担多少亿人·公里的出行任务？按照《中国统计年鉴》的数据，2007 年的总轨道客运量约为 22 亿人次，平均每人次的里程在《中国统计年鉴》里没有记载，我们可以通过美国 DOE 公布的有关美国轨道交通的情况来类比。在美国，有两种与居民短途出行相关的轨道交通，一种是大城市郊区的环线，称之为“Commuter Rail”，2007 年的总运量人次为 4.59 亿人次，总乘客里程为 111.53 亿英里，平均每次的出行里程为 24.3 英里（约 39 公里），另外一种是我们熟悉地铁和轻轨，成为“Rail Transit”，2007 年总运量人次为 38.79 亿人次，总乘客里程为 180.7 亿英里，平均每次为 4.7 英里（约 7.5 公里），这种轨道交通比较符合中国情况，按 0.1 和 0.9 加权平均，我们估算，中国轨道交通的平均里程大约在 6.7 英里左右，约 11 公里。以此得出，2007 年中国轨道交通的总乘客里程约为 242 亿人·公里。

大胆假设，以超常规的速度投资建设轨道交通体系，从 2007 年起每年增加 21%，四年增长 2.2 倍，2020 年比 2007 年增加 13 倍，总乘客里程可以达到 3146 亿人·公里，是美国目前水平的 6.7 倍。但即使如此，也只有全国估计总里程（12 万亿人·公里）的 3.2%。当然，从局部来看，大中城市的轨道交通将有效缓解地面交通压力，是重要的民生工程。

第三，是考察地面公交车的发展潜力。2007 年，全国公交客运次是 533 亿人次，每次按平均里程 8 公里计算，城市公交车的总里程约为 4264 亿人·公里，投入运行车辆按 35 万辆，平均每车的年乘客里程为 120 万人·公里，平均票价按 1.5 元/公里计算，每辆车的年营业收入为 22.5 万元，其总规模约为 788 亿。

从 2001 年到 2007 年，全国公交车数量增加了 11.5 万辆，平均每年增加约 2 万辆；假设从 2007 年到 2020 年，年增加量提高一倍，每年增加 4 万辆，到 2020

年，全国新增 52 万辆，加上 2007 年的 35 万辆，合计总量将达到 87 万辆，这个数量与 2001 年全国营运出租车的出租车总量相同。

当大公交车与小出租车数量（目前 95 万辆）基本相同时，可能已经是饱和的状态。因此，这样的估计（比现在增加 2.5 倍）属于激进的推测。

但是，即便如此，87 万辆公交车可以承担的交通总乘客里程只能达到 1.04 万亿人·公里，与 10 万亿相比，只占其 10.4%。

至此，我们已经可以看出，上述讨论的三种交通方式（工具）最大客运量只能达到 2.8 万亿人·公里，以 14.8 亿人口来平均，只有每年 1861 公里，以城市人口 8.88 亿来平均，也只有每年 3102 公里，前者平均每天里程仅为 5 人·公里/天，后者为 8.5 人·公里/天。设想一下，送一个上学的儿童去读书并兼上下班，每天需要多少公里？家长和子女的里程合计会超过 40 公里。一个居住在城郊经济适用房中的普通白领进城上班，每天需要多少交通里程？也许就会超过 30 公里。

显然，答案已经非常明显，家庭汽车增加 3 倍，公交车增加 2.5 倍和轨道交通增加 13 倍，只能承担约 30% 的活动距离，而 10 万亿人公里的出行需求是 GDP 的持续增长下的普遍小康水平的必然选择。面对缺口，唯有寄希望于“其他类”交通方式同步和谐发展才能顺利解决。“其他类”或许包括摩托车、电动自行车、自行车、出租车、企业通勤车和短途步行，等等，在“其他”的选项中，电动自行车是属于节能、安全、和机动性好的轻型交通方式，乐于被民众自发采纳，增加的空间具备柔性，可以发挥至关重要的作用，而不是相反。

（三） 电动自行车未来 10 年的战略责任的持续和扩展

过去的 5-6 年，电动自行车突然崛起，总量突破 1.2 亿辆，承载了近 1.3 万亿人公里的出行。在这期间，其主要定位是：A，自行车的升级者；B，摩托车的竞争者；C，地面公交的合作者。但在未来 10 年里，除了上述定位外，它还将找到一个新的定位：家庭轿车的补充者。

通过对购买群体的分析，我们惊奇地发现，2008年后，一种新的电动自行车消费现象正在兴起：不少已经购买汽车的家庭又买了一辆甚至几辆两轮电动自行车，中国汽车早期的消费特质正在消失，经过一段时间的汽车迷恋之后，面对日益拥挤的道路，面对日益上涨的费用，汽车族的心态成熟了，他们中的很多人已经不需要通过拥有汽车来证明自己的社会地位，理性替代虚荣。他们已经不坚持非要每次都开车出门了：例如，接送小孩上学，校门口太拥挤了，开汽车并不方便还是骑电动自行车方便；菜场附近设有停车场，路也不远，还是骑电动自行车快；要小酌几杯，开汽车太危险了，还是骑电动自行车好，等等。于是，一种“汽车族”时常用电动自行车出行的浪潮正在兴起，这无疑是一种节能、健康、理性的生活方式。

“拥有汽车，但很少用汽车”，汽车用于一家人外出、休息日探亲访友以及在高速公路上快速行驶，而电动自行车用于短途交通，服务于平常生活。如果富裕起来的中国新阶层都能采用这种双相模式，中国就又一次为发达国家和发展中国家在交通节能方面树立了榜样。电动自行车如果能够成为“汽车主流社会”的一个有益补充者，就找到了在居民交通领域大幅度减少CO₂排放的新途径。

我们注意到，2008年美国交通部发布了一个“可以在非机动车道行驶的机动性车辆的框架”的文件，规定了四种其有机动性属性的车辆可以利用非机动车道和人行道交通。他们是：维修性车辆、雪车、机动轮椅和电动自行车。这是美国官方文件(23.U.S.C, 第217节)，其对“电动自行车”的定义也非常宽松，最高时速为20 mph(32 km/h)，电机最大重量不大于100磅。这个定义基本覆盖了中国目前广泛使用的所有电动自行车（超标的和不超标的）范围，美国2008年后的各类电动自行车已经开始呈现销售上升的势头。

我们不敢估计电动自行车在美国也能达到它在中国所实现的节能成果，但可以估计，只要管理者遵循“不折腾”的理性原则，在未来的10年内，中国电动自行车一定会延伸发挥“汽车补充者”的重要作用，在1亿辆家庭轿车到来的时刻，中国仍然以最出色的交通能源效率领先于世界其他国家和地区。

汽车族以电动自行车作为补充性交通，减少汽车出行里程，可以获得多大的

减排效益？粗略估算一下，原来是汽车日均行驶 30 公里，装载系数为 1.8，能源 480 kcal/人·公里，排放强度为 135 克/人·公里，年总消耗 946 万千瓦，油耗为 1135 升（约 817 公斤），排放 2.61 吨CO₂。如果其中的 30%由电动自行车来补充，电动自行车可以替代 5913 人公里，减少能源强度为 453.4 kcal/人·公里，减排强度为 127 克/人·公里，每车年节约 268.1 万千瓦，节油 312.7 公斤，减排 719 公斤，减少油费约 2000 元。如果放大到 1 亿辆家庭轿车的水平，那么，补充 30%的电动自行车交通，其总节油高达 2251.4 万吨，减排量高达 7509 万吨 CO₂。

显然，补充水平越高，节能减排的效果越明显。表 2-9 是按 2020 年中国拥有 1 亿辆家庭轿车，每车年里程 10950 公里，乘客里程 19710 人公里，装载系数为 1.8，电动自行车补充率从 5%到 50%的节能减排计算表：

表 2-9 以电动自行车作为汽车补充者的效益分析（1 亿辆家庭轿车）

补充率	汽车乘客里程（亿人·公里）	电动自行车补充里程（亿人·公里）	补充里程节能数量（万吨标准煤）	CO ₂ 减排量（万吨）	总节油量（万吨）	CO ₂ 总排放（万吨）	每车年排放（吨）
0	19710	0	0	0	0	26608.5	2.66
5%	18725	985.5	638.3	1251.6	264.7	25356.9	2.54
10%	17739	1971	1276.6	2503.2	817.3	24105.3	2.41
15%	16754	2957	1915.0	3754.8	1225.9	22853.7	2.29
20%	15768	3942	2553.3	5006.3	1634.6	21602.2	2.16
25%	14783	4928	3191.6	6257.9	2043.2	20350.6	2.04
30%	13797	5913	3829.9	7509.5	2451.9	19099.0	1.91
35%	128	6899	4468.3	8761.1	2860.5	17847.4	1.78
40%	11826	7884	5106.6	10012.7	3269.2	16595.8	1.66
45%	10841	8870	5744.9	11264.3	3677.8	15344.2	1.53
50%	9855	9855	6383.2	12515.9	4086.5	14092.7	1.41
*本报告采用的数据：汽车的能源强度为 480 kcal/人·公里，电动车的能源强度为 26.6kcal/人·公里，汽车的CO ₂ 排放为 135 克/人·公里，而电动自行车的CO ₂ 排放为 8 克/人·公里。							

可以看出，以电动自行车作为汽车补充品的效果是惊人的。从节能减排的效果来看，每年可减少的CO₂排放和成品油消费都是巨量数字，当补充率达到 40% 时，相当于平均每车的年排放下降到 1.66 吨，到 50% 时，下降到 1.41 吨。日本丰田生产的目前最节能的油电混合功力汽车，MPG 可达到 45，相当于百公里油耗为 5.023 升，一年行驶 10950 公里，耗油 572.7 升，碳排放 1.32 吨，每公里 CO₂ 排放为 120 克，而当电动自行车补充汽车 50% 的乘客里程时，综合的每车年排放已经与此接近，这意味着“2020 年全国已经普及最节能的油电混合功力汽车”！

再看目前非常热门的纯电动汽车的技术数据，其上路试验的百公里电耗大约 12 千瓦时，全年如果行驶 1 万公里，耗电约 1200 千瓦时，如果到那个时候煤电仍占 80% 的比例，每千瓦时 CO₂ 排放强度会保持在 0.8 公斤，全年总排放为 0.96 吨。于是“电动自行车补充汽车里程 50%”的效果，等效于 7353 万辆纯电动汽车替代传统汽车的减排效果。

其计算过程为，设汽车中纯电动汽车的比例为 X，满足的约束为：

$$(1-X) \times \text{传统汽车的年排放} + X \times \text{电动汽车的年排放}$$

$$= \text{电动自行车补充汽车后的车平均排放}$$

电动车补充传统汽车里程为 50% 时，车均排放为 1.41，有：

$$X = (2.66 - 1.41) / (2.66 - 0.96) = 0.735$$

所以，就相当于纯电动汽车投放了 7350 万辆。

如果电动自行车补充里程为 30%，X 被调整为：

$$X = (2.66 - 1.9) / (2.66 - 0.96) = 0.447$$

相当于纯电动汽车投放市场共 4470 辆的效果。

表 2-10 以电动自行车补充传统汽车与投放电动汽车的等效关系（2020 年家庭轿车为 1 亿辆）

补充率	经电动自行车补充后的车年平均排放（吨）	电动汽车的平均年排放（吨）	等效替代率（X）	等效于投放电动汽车数量（万辆）
0	2.66	0.96	0	0
5%	2.53	0.96	0.076	765
10%	2.41	0.96	0.147	1471
15%	2.29	0.96	0.218	2176
20%	2.16	0.96	0.294	2941
25%	2.04	0.96	0.365	3647
30%	1.91	0.96	0.441	4412
35%	1.78	0.96	0.518	5176
40%	1.66	0.96	0.588	5882
45%	1.53	0.96	0.665	6647
50%	1.41	0.96	0.735	7353

其计算过程为：设纯电动汽车的比例为 X，满足的约束为：
 $(1-X) \times \text{传统汽车的年排放} + X \times \text{电动汽车的年排放} = \text{电动自行车补充汽车后的车平均排放}$ 。

表 2-10 具体列举了以电动自行车补充传统汽车与投放纯电动汽车所等效的结果，证明了实施居民交通的节能减排是有多种途径的，两种看似不同的节能型交通工具（电动汽车和电动自行车）具有等效的节能减排的成果。官方和媒体异常关注电动汽车的进展，忽略鼓励传统汽车使用者在自己认为方便的时候选择电动自行车出行的政策引导，甚至不知不觉地为电动自行车的使用制造各种政策障碍，仿佛只有电动汽车才是他们的最爱，这样的节能公益有很大片面性，“做秀”多于实际，是缺乏系统性思考的表现。

优秀的战略决策者应该制定一项好政策：大力宣传鼓励传统汽车的拥有者再购买 1-2 辆两轮电动自行车，甚至对汽车购买者再购买电动自行车实施减税优惠，以大幅度的提高补充比例，一方面达到上述描述的减排效果，等价于投放新能源汽车；另一方面，减少汽车出行可以有效地减少汽车对道路的占用时间，缓解拥堵和停车压力，减少尾气排放则有利于改善大气环境。从这个角度看，电动自行车对汽车的补充性出行甚至比直接投放电动汽车更为有效！

对汽车消费者而言，汽车好比是枪，电动自行车好比是刀，该用枪时就用枪，能用刀时不用枪，刀枪配齐了才是特种兵。两者补充，相得益彰，既省钱又方便，同时也对节能减排做出了贡献。

总之，由于中国处于一个人类社会能够清醒地认识发展应该遵循轨迹的历史时间，比美国、日本有更好的后发优势，真正体会科学发展观，摆脱浮躁、静心思考，一定能够走出一条优美的发展轨迹，体现中华民族的理性智慧。



本章总结

中国作为全球人口最多，发展最快的发展中大国，在承担大国责任的同时谋求自身的最好发展，在应对气候变化已经成为国际社会共识的今天，讨论中国居民交通的最佳发展战略，会给我们带来更清晰的图像。

本章从讨论各种大众出行方式的能源强度和排放强度出发，回顾了过去 5-6 年电动自行车已经做出的重大贡献，并进一步展望面向 2020 年的困局和突破口，分析对比充分表明，电动自行车快速崛起的“中国现象”是值得深思的好现象，它或许证实了，我们已经找到了一条解决发展中问题的最佳道路。

电动自行车是在中国经济高速发展和全球日益重视环境、能源问题的大背景下产生的，科学技术水平和中国市场需求正好合拍。消费者、商业推广者、技术研究者和各种制造商，共同推动了他的成长，顺势成型，草根成长。尽管遇到多次反对和质疑，但每一次都能够引起更深刻的思考，一次磨难积累一份基础，如《西游记》描述的过程，历经磨难，终成正果。

聚焦电动自行车产品定位的关键点，大约能够看出其生命力的自然基因。

首先，它是人力自行车交通的替代者（升级者），替代的数学特征就是此消彼长。省力、省时、省钱的特性构成了替代基因，中低收入群体收入的提高有效的跨越了购买成本的门槛，因为机动性提高带来的收入增加和生活便利又进一步加速了替代进程。管理者要限期禁止购买电动自行车的每一次传言，就造成一次基层老百姓的抢购热潮，2002 年的北京是如此，2003 年的福州也是如此。因此，说它代表了最广大的人民群众的需要是不过份的。从宏观上看，电动自行车对自行车的替代大幅度降低了这个群体的安全代价，大幅度降低了这个群体的食物需要量，对改善恩格尔系数有正面的作用，甚至，在化石能源的消耗方面也存在一定的优势，另外，电动自行车对地形不平坦的敏感性也远远低于自行车，这对未

来构筑个人交通与大规模的轨道交通联合体系会有所帮助。

其次，它是燃油摩托车的有力竞争者。竞争的数学特征是遏制了摩托车的快速增长势头，竞争就是势均力敌，摩托车在机动性（速度）、续行里程、荷载能力和陡坡上的行驶能力上远远强于最初的电动自行车，而电动自行车在充电便利性、上牌手续、驾驶执照、费用特性以及对人群的适应性（包括了中老年和女性客户）方面优于燃油摩托车。于是，这场竞争从城市打到农村，从东部发达地区打到中西部广大地区……

在这场竞争中，电动车通过日益缩小与摩托车在性能、外观和舒适性方面的差距，提高爬坡能力、荷载能力和续行里程，强力争夺农村市场。大约在 2005 年开始取得第一次胜利，随后进一步扩大成果。两类产品的和平竞争是有利于消费者的理性行为，也是产业技术进步的重要推动力。

然而，有些教条者认为，这场竞争是“乱了秩序”、“混了血统”，试图将电动自行车赶上机动车道，这是最危险的决策，有可能社会要为此付出沉重的代价。建议有关部门再次认真调查，重新决策，秉承“不懈怠、不动摇、不折腾”的工作准则，使决策更加务实理性。

第三，电动自行车是公共交通的合作者。“合作”的数学特征是共同增长，在电动自行车快速发展的 5-6 年里，公交车的各项指标也在稳定成长，安全代价也稳步下降。这说明两者不存在“替代和竞争”的关系，属于大众交通的两个方面。在未来的 10 年里，这种合作的关系将发挥更大的作用，电动自行车弥补了公交车在“点到点”和“运行时间段”方面的弱点，但公交车弥补了恶劣天气条件下骑车艰难的弱点。个别地区以电动自行车与“公交车”争夺客源为由，片面理解“发展大公交”的战略，认为要发展公交就要禁止（或者限制）电动自行车，这其实是一个思想误区。

第四，电动车将是轿车交通的补充者。“补充”的数学特征是补充者的增加并不影响主体数量的增长，汽车发展遵循着他自己的内部逻辑，它是生活现代化的标志性产品，也是拉动经济发展的重要引擎，几乎没有人会因为电动自行车的

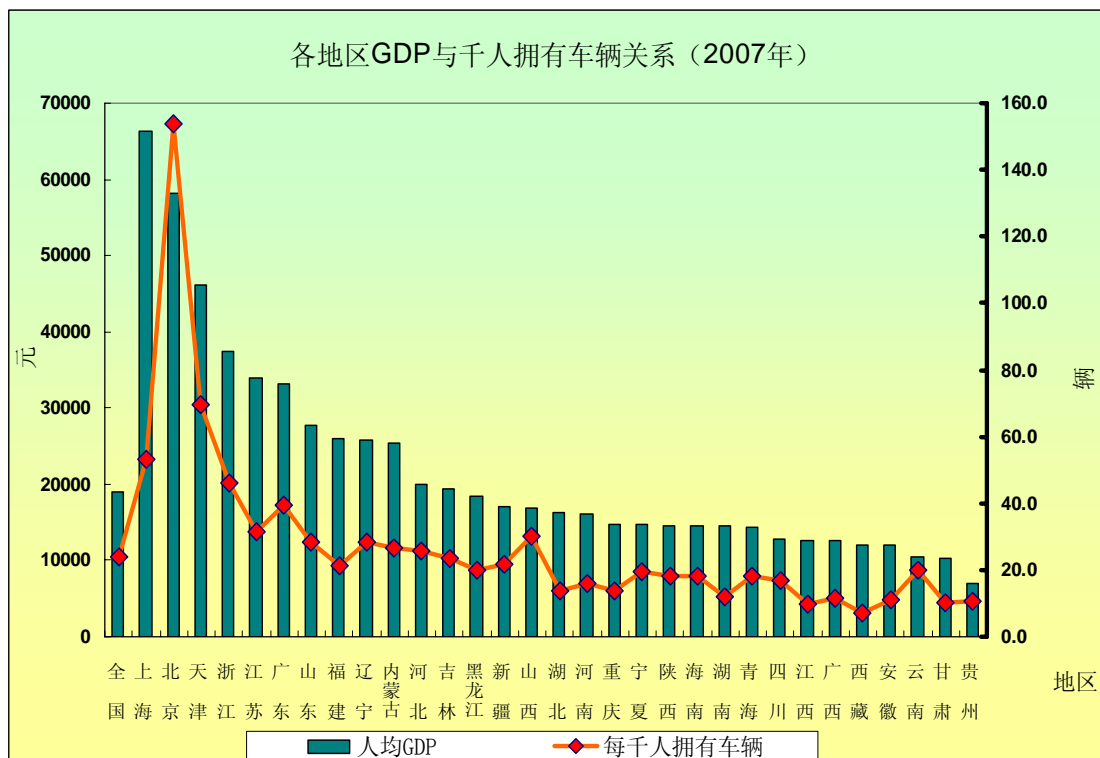
因素而影响购买汽车的决策。电动自行车对汽车的补充作用主要体现在为汽车减少使用里程提供选择性条件，由此而引发的社会效益和个人效益是非常深远的，她会使汽车这种高能耗的交通工具“绿色化”，补充率的提高等效于大量投放市场的汽车进入新的能效水平。

附录：表，各地区 GDP 与每千人拥有车辆关系(2007 年)

地区	人口 (万)	总 GDP (亿元)	人均 GDP (元)	载客汽车数量 (辆)	每千人 拥有车辆 (辆)	GDP/车辆数 (万元/车)
全 国	132129	250173	18934	31827355	24.1	78.6
上 海	1858	12331	66367	984767	53.0	125.2
北 京	1633	9505	58204	2511521	153.8	37.8
天 津	1115	5143	46122	774030	69.4	66.4
浙 江	5060	18930	37411	2329056	46.0	81.3
江 苏	7625	25870	33928	2414944	31.7	107.1
广 东	9449	31324	33151	3736815	39.5	83.8
山 东	9367	26047	27807	2660123	28.4	97.9
福 建	3581	9278	25908	762902	21.3	121.6
辽 宁	4298	11058	25729	1227620	28.6	90.1
内 蒙 古	2405	6107	25393	643648	26.8	94.9
河 北	6943	13801	19877	1798730	25.9	76.7
吉 林	2730	5292	19383	637601	23.4	83.0
黑 龙 江	3824	7066	18478	770121	20.1	91.8
新 疆	2095	3561	16999	456007	21.8	78.1
山 西	3393	5749	16945	1028553	30.3	55.9
湖 北	5699	9236	16206	786169	13.8	117.5
河 南	9360	14987	16012	1483381	15.8	101.0
重 庆	2816	4128	14660	380803	13.5	108.4
宁 夏	610	894	14649	118249	19.4	75.6
陕 西	3748	5475	14607	685341	18.3	79.9
海 南	845	1230	14555	155240	18.4	79.2
湖 南	6355	9210	14492	768018	12.1	119.9

地区	人口 (万)	总 GDP (亿元)	人均 GDP (元)	载客汽车数量 (辆)	每千人 拥有车辆 (辆)	GDP/车辆数 (万元/车)
青海	552	787	14257	99444	18.0	79.1
四川	8127	10478	12893	1371323	16.9	76.4
江西	4368	5518	12633	431064	9.9	128.0
广西	4768	5986	12555	556680	11.7	107.5
西藏	284	344	12109	20312	7.2	169.3
安徽	6118	7369	12045	667781	10.9	110.4
云南	4514	4758	10540	891749	19.8	53.4
甘肃	2617	2708	10346	271738	10.4	99.6
贵州	3762	2601	6915	403625	10.7	64.5

附录：图，各地区 GDP 与每千人拥有车辆的关系（2007 年）



（完成于 2009 年 10 月 21 日）