

前言	1
1. 背景介绍	3
1.1 世界汽车、能源及环境概况	3
1.1.1 世界汽车保有量发展概况	3
1.1.2 能源概况	4
1.1.3 环境概况	5
1.1.4 清洁汽车发展现状	6
1.2 中国汽车、能源及环境概况	8
1.2.1 汽车保有量及分类构成	8
1.2.2 能源概况	9
1.2.3 环境概况	10
1.2.4 清洁汽车发展现状	10
2. 各类清洁汽车的技术发展状况分析	12
2.1 燃气汽车(LPG汽车和CNG汽车)	12
2.2 醇类燃料(甲醇、乙醇)汽车	16
2.2.1 醇类汽车排放特性分析	16
2.2.2 醇类燃料发动机技术发展状况	18
2.2.3 二甲基醚(DME)燃料简介	18
2.3 混合动力汽车	19
2.3.1 混合动力汽车的技术特性	19
2.3.2 中国混合动力汽车研究状况	20
2.4 电动汽车	20
2.4.1 电动汽车技术的瓶颈	21
2.4.2 中国电动汽车技术发展现状	22
2.5 燃料电池汽车	23
2.5.1 燃料电池技术特性	23
2.5.2 各国燃料电池汽车开发现状	24

3 . 各类清洁汽车的环境和能源效益分析	26
3 . 1 LPG汽车	26
3 . 1 . 1 LPG轿车的排放控制水平	26
3 . 1 . 2 LPG重型发动机（包括公交车用发动机）的排放控制水平	28
3 . 2 CNG汽车	29
3 . 2 . 1 CNG轿车的排放控制水平	29
3 . 2 . 2 CNG公交车的排放控制水平	30
3 . 3醇类汽车的排放控制水平	31
3 . 3 . 1甲醇汽车的排放控制水平	31
3 . 3 . 2乙醇汽车的排放控制水平	31
3 . 4混合动力、电动及燃料电池汽车的排放控制水平	32
3 . 4 . 1混合动力汽车的排放控制水平	32
3 . 4 . 2电动汽车的排放控制水平	32
3 . 4 . 3燃料电池汽车的排放控制水平	33
3 . 5各种清洁汽车温室气体（CO ₂ ）排放的控制水平	34
3 . 5 . 1交通领域控制温室气体现状	34
3 . 5 . 2各种清洁汽车温室气体排放水平	34
3 . 6各类清洁汽车的能源效益分析	35
3 . 6 . 1清洁汽车的燃油经济性	35
3 . 6 . 2发展清洁汽车与优化能源结构	36
4 影响中国清洁汽车产业化的因素分析	37
4 . 1 . 激励性因素	37
4 . 1 . 1日益严重的大气污染促使政府积极采取对策	37
4 . 1 . 2全民环保意识不断增强	37
4 . 1 . 3环境保护法规日益严格和完善	38
4 . 1 . 4巨大的市场需求为清洁汽车产业化提供广阔空间	39
4 . 1 . 5中国能源结构亟待改善	40

4.2 制约性因素.....	40
4.2.1 关键技术不成熟.....	40
4.2.2 清洁汽车的制造成本较高.....	40
4.2.3 基础设施不够完善，需要大量投资.....	41
4.2.4 技术标准缺乏.....	41
4.2.5 管理制度和相关产业政策不完善.....	42
5 中国清洁汽车技术发展路径.....	43
5.1 技术发展路径设计.....	43
5.1.1 遵循的原则及考虑的主要因素.....	43
5.1.2 技术路径的确定.....	44
5.2 技术路径一.....	47
5.2.1 短期（2001~2005年）主要任务和目标.....	47
5.2.2 中期（2006~2010年）主要任务和目标.....	49
5.2.3 长期（2011年~）主要任务和目标.....	49
5.3 技术路径二.....	50
5.3.1 短期(2000~2005年)主要任务和目标.....	50
5.3.2 中期（2006~2010年）主要任务和目标.....	50
5.3.3 长期（2011年~）主要任务和目标.....	51
6 中国发展清洁汽车的环境及能源效益.....	52
6.1 汽车保有量预测.....	52
6.1.1 汽车的分类标准.....	52
6.1.2 预测参数及预测方法.....	53
6.1.3 北京市汽车保有量预测.....	54
6.1.4 12个试点城市汽车保有量预测.....	55
6.1.5 全国汽车保有量预测.....	55
6.2 清洁汽车产业的环境效益评估.....	59
6.2.1 环境效益评估的基本前提和假设.....	59

6.2.2	排放效益模型构建与参数测算	59
6.2.3	北京市清洁汽车产业的环境效益案例分析	62
6.2.4	清洁汽车产业的环境效益评估---“12个示范城市”	63
6.2.5	清洁汽车产业的环境效益评估---全国范围	65
6.3	能源效益分析	66
6.3.1	燃油经济性	66
6.3.2	清洁汽车产业对能源结构的影响分析	66
7	促进中国清洁汽车产业发展的政策建议	67
7.1	清洁汽车政策现状及存在问题分析	67
7.1.1	政策现状	67
7.1.2	存在问题	71
7.1.3	政策建议的着眼点	72
7.2	政策建议	72
7.2.1	研究制定“国家未来汽车发展计划”	72
7.2.2	制定更加严格的分阶段排放限制法规	73
7.2.3	研究制定分阶段车辆燃油消耗限值标准或法规	74
7.2.4	制定合理、有效的财税优惠政策。	74
7.2.5	逐步建立与国际接轨的标准体系。	75
7.2.6	研究开征汽车排放污染治理税的可能性	76
7.2.7	研究制定并逐步强制实施不同用途的车辆清洁汽车使用化率的规划和法规	76
7.2.8	研究建立合理的投融资体制	77
7.2.9	制定对汽车企业的引导约束政策	77
7.2.10	改善汽车交通行驶状况，加快ITS建设	77
7.2.11	广泛开展国际合作	78
7.2.12	进行广泛科普宣传，舆论进行正确引导	78

7.2.13 理顺推动清洁汽车发展的运作机制.....	79
8 结束语	80
参考文献	81

前言

近年来，中国国民经济取得了持续快速发展，随之而来的是环境污染形势越来越严峻。就大气环境来说，大气污染呈多元化的发展趋势，特别是随着机动车保有量的迅速增长，城市大气污染在煤烟污染的同时，机动车排放污染越来越严重。一些大城市的空气污染已由煤油型污染转向煤烟和机动车尾气混合型污染，氮氧化物居高不下，成为主要污染物；交通道路的CO浓度常年超标。由机动车排放污染物引起的城市光化学污染也逐渐突出。

面对如此严峻的环境压力，中国政府采取了一系列控制机动车污染的措施：逐步加严机动车污染物排放标准，以促进汽车生产企业采用先进技术，减少燃油消耗，降低污染物排放；加强对在用车排放污染的监控和治理；加速淘汰排放超标汽车；鼓励开发和使用清洁代用燃料汽车；分阶段淘汰和禁止使用有铅汽油，逐步实现汽油无铅化；实施“空气净化工程——清洁汽车行动”，确立12个清洁汽车行动试点示范城市和一个电动汽车运行示范区，分别重点推广和使用燃气汽车和电动汽车。所有这些措施的实施，为改善中国机动车的排放水平，控制城市机动车排放污染起到了积极的作用。

清洁汽车行动是一项长期而复杂的系统工程，治标必治本。为从根本上提高机动车排放水平，控制城市机动车排放污染，改善城市空气质量，学习和借鉴国外先进技术和经验，研究制定适合中国国情的“清洁汽车技术路径”及配套的政策、标准和法规体系，并由政府主导实施，这是至关重要的。因此，2000年7月，在美国能源基金会的资助下，国家科技部组织中国汽车技术研究中心、清华大学、重庆汽车研究所、吉林工业大学、国家清洁汽车行动项目专家

组及相关企业，与美国能源基金会联合开展了“中国清洁汽车技术路径选择研究”的课题研究工作。

本课题研究的目标是：在系统研究的基础上，提出适合中国国情的清洁汽车技术路径及相关政策建议，为政府制定国家清洁汽车发展战略及相关政策，提供决策参考。

本课题研究的基本思路是：重点比较分析CNGV、LPGV、醇类汽车、电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车等6种清洁汽车的技术成熟度、使用经济性，以及在全寿命周期内与传统燃油汽车相比较的环境效益和能源效益，分析中国在资源、环境、技术及经济现状和基础，结合国际经验，提出中国发展清洁汽车的两条技术路径，并提出为保证技术路径顺利实施所必须的相关政策建议。同时采用专家预测方法，预测未来10年，北京市、12个清洁汽车行动试点示范城市和全国的清洁汽车发展趋势，计算验证2005年，2010年分别的环境和能源效益。

在课题研究中，研究人员采用理论研究与实际调查相结合的方式：充分利用国内外现有研究成果；对12个清洁汽车行动试点示范城市的清洁汽车发展现状、发展规划、资源条件、政策环境及存在的问题和相关建议等进行了一次系统的信函调查；对北京、上海、重庆、广州、长春等5个城市、一汽集团、上汽集团、天汽集团3家汽车企业及部分政府部门和研究机构进行了现场调研；研究建立了清洁汽车环境和能源效益评价数学模型等。

本科题所引用数据除标明来源外，主要引自《中国统计年鉴》、《汽车工业“十五”发展规划研究》、《中国汽车工业年鉴》、《中国汽车工业（2000年版）》、《世界汽车工业统计》、中国汽车工业信息网和中国汽车技术研究中心的行业调查以及本科题组的独立调查和相关课题研究报告。

1. 背景介绍

1.1 世界汽车、能源及环境概况

1.1.1 世界汽车保有量发展概况

现代汽车工业的迅猛发展，彻底改变了整个社会的传统生活习惯和人们的行为方式，汽车给人们带来了巨大的福利和繁荣，推动了社会的发展，并逐步已经成为交通运输的主要手段，对人们的生活方式产生巨大的影响，并对世界能源和环境有着重要的影响。汽车工业作为世界发达国家的支柱产业，发展非常迅速，保有量逐年以近3%的速度增长，目前已超过7亿辆。表1-1 所示1990-1998世界汽车保有量概况。

表1-1 1990-1998世界汽车保有量 单位：百万辆

年份	在用车								
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
总计	555	571	587	606	622	643	666	685	700

世界汽车保有量变化趋势详见图1-1。

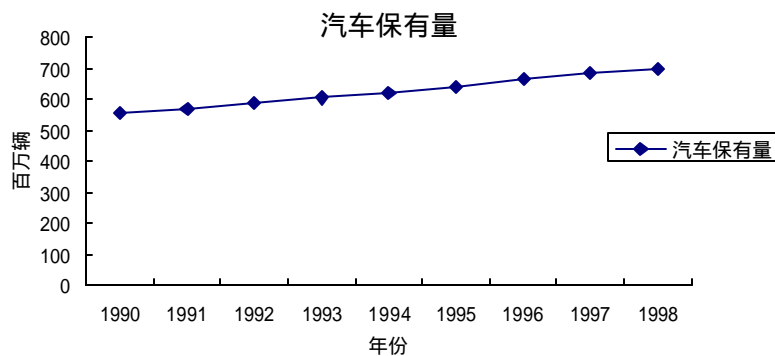


图1-1 世界汽车保有量变化趋势

1.1.2 能源概况

目前，世界一次性能源主要为煤、石油和天然气。而交通领域所消耗的能源较为单一，主要为石油资源。汽车数量的急剧增长加快了有限石油资源的消耗。交通领域如何更加有效地利用剩余石油资源显得十分迫切和必要。解决这方面问题的一个有效途径是开发和利用新型能源汽车，减少汽车对石油资源的过度依赖，这对于改善能源结构，保持汽车工业及社会持续稳定发展具有十分重要意义。

● 石油资源

石油储量及可开采年数变化情况见表1-2。

表1-2 石油可开采年数的变化

石油储量探明的年份	探明的可开采储量R (单位10亿桶)	每年产量P (单位10亿桶/年)	可开采年R/P (年)
1965年	340	12	30
1975年	670	20	33
1985年	710	21	34
1997年	1020	24	43

世界探明可开采石油储量从1965年的3400亿桶增加到1997年的10200亿桶，可开采年数从1965年的30年到1997年为43年。每年探明的储量及相应的可开采年数都在增加，今后趋势尚不明确。但可以肯定的是，石油作为不可再生的资源，储量是有限的，随着社会需求量的不断增加，不远的将来人类势必要面对石油资源枯竭的局面。

● 天然气和煤资源

天然气和煤的储藏量比较丰富。根据平均发热量推算，设石油为1，则天然气与煤的可开采储藏量分别为0.91和4.3。煤的储藏量特别丰富，且随着其深加工技术不断提高，极有希望成为汽车用燃料。

的主要来源之一。天然气作为目前世界上公认的清洁能源，是二十一世纪最有希望的汽车代用燃料。

天然气和煤资源储量对比情况详见表1-3。

表1-3 天然气和煤的储藏量情况

	天然气	煤
探明可开采储藏量	144万亿m ³ (1996)	1.03 万亿吨 (1993)
每年产量	2.3万亿m ³	45亿吨
可开采年数	62	231
平均发热量 (概略)	9800kcal/m ³	6200kcal/kg
可开采储藏 (发热) 量	0.91	4.3

●醇类资源

甲醇和乙醇是可再生资源，可由一些廉价原料如：家庭垃圾、秸秆、木材、甘蔗、粮食，也可以通过煤、煤层气、液化石油气等制造，醇类资源的供应不会枯竭。由于开发利用醇类资源具有改善环境、调节能源结构，以及保持社会经济可持续发展的多重作用，因此发达国家十分重视该类资源的研究工作。

●电力资源

电力资源来源广泛，除可以由煤、石油和天然气等能源获得外，也可通过太阳能、风、水和核能等能源来获得，是可持续利用能源，可以说电力资源是一种永不枯竭的能源。

1.1.3 环境概况

80年代初，世界环境卫生合作及发展组织就曾指出，交通运输行驶的汽车已成为大气污染的重要根源之一。据统计，在一些发达国家中，汽车排放已占大气污染的30-60%。

由于汽车保有量的急剧增加，导致了越来越多的环境问题，例

如对城市结构和生活环境的破坏；市内交通占地的拓宽，用地无限制地蔓延；交通拥挤、事故频发等，合乎生态化的城市生活环境离人们愈加遥远。早在40年代美国洛杉矶地区和70年代日本东京，都曾发生过严重的光化学烟雾事件，其原因就是汽车排放的HC和NO_x在紫外线的作用下形成有毒的光化学烟雾。结果造成数百人死亡，数万人受害，树木枯死，农作物减产；在美国纽约、芝加哥、费城，英国伦敦等城市也发生过光化学烟雾事件。不仅如此，世界出现了三大酸雨区，全球气温升高，臭氧层臭氧浓度降低，以及对流层臭氧浓度升高等全球性危机。

总之，在上述这些环境问题中，机动车排放的CO、HC和NO_x和颗粒等污染物是造成这些危害的重要原因之一。因此，机动车排气污染控制早已为世界各国所关注，纷纷研究和探索减少污染物排放的方法和技术。

1.1.4 清洁汽车发展现状

基于对能源和环境方面的考虑，世界上许多国家愈来愈重视清洁汽车的开发和应用，目前世界上各种清洁汽车保有量已达600多万辆。在各种清洁汽车类别中，压缩天然气（CNG）、液化石油气（LPG）、醇类（甲醇和乙醇）汽车技术比较成熟，福特、丰田、本田、菲亚特等汽车公司还开发了达到超低排放的CNG汽车。上述种类清洁汽车保有量占清洁汽车总保有量的80%以上。表1—4为世界上CNG汽车和LPG汽车的保有量统计数据。

与此同时，电动汽车、混合动力和燃料电池汽车的研究开发工作也取得了可喜的进展，截止1999年，日本丰田公司在国内已经销售了3万辆Prius混合动力汽车。美国通用公司的氢气-1号燃料电池汽车的研制成功，标志着燃料电池技术已逐渐趋于成熟，美国、日本等国计划在2003年前后实现甲醇燃料电池汽车的商业

化。

表1-4 世界部分国家燃气汽车保有量

国 家	加气站数量		燃气汽车数量（万辆）	
	LPG	CNG	LPG	CNG
意大利	1,900	270	105.0	29.0
荷 兰	2000	--	47.0	--
阿根廷	--	496		39.5
澳大利亚	2450	--	33.0	--
韩 国	502	--	27.8	--
日 本	1921	--	30.5	--
美 国	3300	1082	27.2	6.6
墨西哥	1,500	--	30.0	--
俄罗斯	1000	192	45.0	20.5.
加拿大	5,000	112	14.0	3.6
巴 西	--	39	--	1.4
新西兰	--	245	--	2.5
泰 国	92	--	1.9	--
其 他	3100	196	26.7	2.2

美国清洁汽车发展状况详见表1-5。

表1-5 美国代用燃料车发展状况（辆）

	1996年	1997年	1998年
LPG	263000	271000	279000
CNG	60144	73773	85122
LNG	663	965	1136
M85	20265	20656	21370
M100	172	172	172
E85	4536	9389	10872
E95	361	357	357

电气	3280	4040	4761
合计	352421	380352	402790

1.2 中国汽车、能源及环境概况

1.2.1 汽车保有量及分类构成

随着近年来中国国民经济快速稳定增长，中国汽车工业也取得了飞速增长，汽车社会保有量由1990年的551万辆增长到1999年

表1-6 中国汽车保有量及分类构成

年份	总计	普通载货汽车		客车	专用载货车、 专用车及特种车	总计中：私人汽车	
		柴油载货汽车				客车	
1990	551.36	357.57	76.16	162.19	31.36	81.62	24.07
1991	606.11	386.67	83.52	185.24	34.20	96.04	30.36
1992	691.74	427.86	91.56	226.16	37.72	118.20	41.87
1993	817.58	483.27	104.02	285.98	48.33	155.77	59.85
1994	941.95	543.60	110.90	349.74	48.61	205.42	78.62
1995	1040.00	568.58	125.60	417.90	53.52	249.96	114.15
1996	1100.08	558.16	128.40	488.02	53.90	289.67	143.04
1997	1219.09	582.45	144.89	580.56	56.08	358.35	191.27
1998	1319.30	609.31	159.11	654.83	55.16	423.65	230.65
1999	1452.94	665.74	199.05	740.23	56.97	533.88	304.09

的1453万辆，年均增长率超过10%，数据详见表1-

6。预计在今后相当长的一段时间内将保持较高的增长速度，中国汽车总保有量、普通载货车及客车保有量变化趋势详见图1-2。

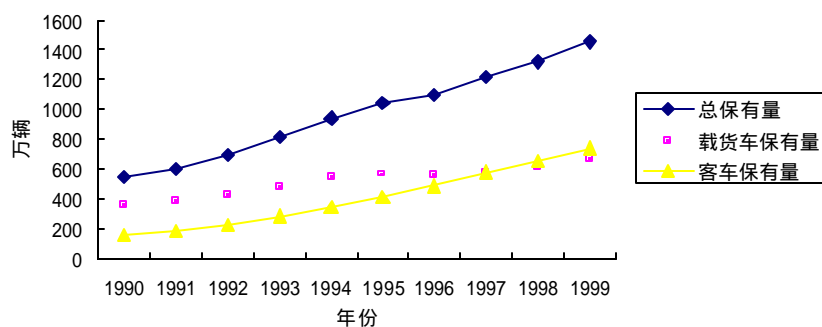


图1-2 中国汽车总保有量、载货车及客车保有量变化趋势

1.2.2 能源概况

中国面临的能源基本情况是：在一次性能源储量中，石油资源位居第二。根据有关专家估计，按世界通用储量标准计算，中国最终石油可采资源大体为140亿吨。截至1996底，已探明石油可采石油储量为52.8亿吨。石油在一次性能源消耗结构中所占比重为23.4%。1998年汽车消耗汽油和柴油量分别占国内生产量的85%和18.9%。1991-

1998年度汽油和柴油的年均消耗量分别增长4.3%和8.5%，而1990年到1999年石油产量的年均增长率仅为1.6%。随着石油消耗速度快速增长，国内生产量已远不能满足国内的需求，早在1993年中国已成为石油净进口国。

中国天然气资源比较丰富，根据全国油气资源评价，中国气层资源蕴藏量为38万亿立方米，其中可开采资源量为10.5万亿立方米，现已探明9500亿立方米。天然气在一次性能源消费结构中的比重为2.8%。

中国煤炭资源最为丰富，占一次性能源消费结构的67.1%，已探明的煤炭储量为7300亿吨，占世界总量的45%左右，其中可开采储量1010亿吨，占世界可开采储量的15%以上，因此，煤炭资源的深加工及高效利用在中国具有良好的发展前景。

表1-7 中国石油产品生产状况

年份	原油产量	汽油			柴油产量		
		生产量 (A)	汽车消耗量 (B)	B/A (%)	生产量 (A')	汽车消耗量 (B')	B' /A' (%)
1990	13830.6	2157.1	1984.5	92.0	2609.4	452.5	17.3
1993	14493.0	3141.4	2722.5	86.5	3474.0	705.6	20.3
1996	15733.4	3281.0	2818.5	85.9	4419.0	809.1	18.3
1999	16000.0	3741.3	3198.8	85.5	6302.7	1285.7	20.4

1.2.3 环境概况

1998年，全国322个城市环境统计资料表明，89个城市空气质量达到国家二级标准，占27.6%，93个城市空气质量处于国家三级标准，占28.9%，140个城市空气质量超过国家三级标准，占43.5%，属于严重污染型城市。造成城市大气污染的主要根源之一是机动车排放物，部分城市机动车排放物分担率的一组数据可说明之。详见表1-8。

表1-8 部分城市机动车排放物分担率 单位：%

城市名称	CO	NO _x	HC	SO ₂
北京市	83	46	74	-
上海市	61.8	20.9	--	--
重庆市	79.5	77	--	-
深圳市	--	78.1	--	--
德阳市	53.7	49.2	73.3	-
西安市	--	23.1	--	25.2

1.2.4 清洁汽车发展现状

中国十分重视清洁汽车的研究开发和应用，早在“八五”期间就组织实施了国家电动汽车关键技术攻关项目；“九五”期间又进行了示范运营尝试。1999年4月，正式启动国家清洁汽车行动项目，重点开展燃油汽车清洁化，燃气汽车关键技术攻关及产业化，并确

定了12个清洁汽车示范城市。示范城市的清洁汽车发展情况见表1-9。

表1-9 12个示范城市的清洁汽车发展概况

加气站		LPG		CNG		总计	
		小 计	156	小 计	72	合 计	228
		其中： 油气合建	106	其中： 油气合建	23	其中： 油气合建	129
燃 气 汽 车	出租 车	新 车	20202	447		20649	
		改装车	30282	3879		34161	
		小 计	50650	4391		55041	
	大 型 公 交	新 车	35	2158		2193	
		改装车	6039	4102		10141	
		小 计	6074	6260		12334	
	中 巴	新 车	400	179		579	
		改装车	638	1791		2429	
		小 计	1038	1970		3008	
	总 计		57762		12621		70383

2. 各类清洁汽车的技术发展状况分析

处于商业化应用及研究开发阶段的清洁汽车种类包括：CNG汽车、LPG汽车、醇类汽车、混合动力汽车、电动汽车和燃料电池汽车等。

2.1 燃气汽车(LPG汽车和CNG汽车)

燃气汽车相关技术已经成熟，并进入商业化阶段。这类相关技术涵盖了燃气汽车的各个方面，它涉及到燃料供给系统包括各种车载储气装置、安全保障系统、形形色色的调压器与混合器及喷射器等关键部件；涉及到整车的结构、整车布置；涉及到发动机燃烧室、点火系统、进气系统、以及燃用燃气时发动机的耐久性和可靠性；涉及到燃气的成分、质量以及其加工和制备的工艺；涉及到加气机、压缩机、站用储气装置等相关基础设施；形成了比较完备的标准法规体系。更重要的是，电子控制技术的研究和应用水平、排放控制技术的研究和应用水平已经达到与燃油汽车的相关技术同步发展的程度。

从燃气汽车燃料供给控制技术的发展来看，大致可分为第一代技术、第二代技术和第三代技术三个阶段：

第一代技术

第一代技术对应于汽车化油器技术，它在不改变汽车原有燃烧系统的前提下，加装一套燃气供给系统，采用文丘里管或比例调节式机械控制混合器，利用发动机进气真空的变化调节燃气供给量，以适应发动机不同工况对供气量的要求，保证发动机的正常燃烧。它无电控系统和尾气后处理装置，这种技术成本较低，对发动机或整车排放的改善效果有限，与化油器汽车燃用汽油时相比，匹配较好的液化石油气系统，车辆燃用LPG或CNG时，其CO排放有加大幅度

的降低，HC排放的降低幅度仅次于CO，NO_x下降较少（或不下降），相对于柴油机而言，其可见污染物排放的改善十分明显。

然而根据不同的匹配特点，各种污染物排放量的降低程度有所不同。表2-1所示为5辆国产轿车采用第一代技术改装的汽油/LPG

表2-1 燃用LPG和燃用汽油的排放结果对比

序号	燃料	15工况排放 (g/test)			怠速排放	
		CO	THC	NO _x	CO(%)	THC(ppm)
1	LPG	21.2	10.7	3.7	0.15	215
	汽油	49.3	9.9	6.8	2.1	345
	增、减	-57%	+8%	-45.6%	-92.9%	-37.7%
2	LPG	18.5	8.6	6.5	0.1	180
	汽油	52.0	11.8	6.8	1.75	280
	增、减	-64.4%	-27.1%	-4.4%	-94.3%	-35.7%
3	LPG	12.2	11.3	3.5	0.45	185
	汽油	52.7	9.3	7.1	2.9	260
	增、减	-76.9%	+21.5%	-50.7%	-84.5%	-28.8%
4	LPG	9.7	12.8	4.4	0.15	150
	汽油	54.1	13.0	6.9	1.7	270
	增、减	-82.1%	-1.5%	-36.2%	-91.2%	-44.4%
5	LPG	6.0	10.7	5.3	0.15	255
	汽油	88.0	14.3	6.5	3.7	290
	增、减	-93.2%	-25.2%	-18.5%	-95.9%	-12.1%

两用燃料轿车的燃用LPG和燃用汽油时工况法排放和怠速排放测试结果的对比情况。可以看出，燃用LPG时CO平均降低74.7%（工况法）、91.7%（怠速法），THC降低4.86%（工况法）、31.7%（怠速法），NO_x下降31.1%（工况法）。

大量的统计结果表明，装用这一简单系统的汽车，其排放水平可以达到GB14761.1-1993（即ECER15/04）标准的要求，但难以达到GB14761-1999（即欧洲1号）排放标准的要求。

第二代技术

第二代技术是在第一阶段的基础上，采用闭环电控技术，根据安装在排气管上三元催化器前的氧传感器的信号，加上其他传感器（如发动机转速、节气门位置、水温等）信号，通过电脑控制供给发动机的燃气量，使发动机空燃比保持在理论空燃比附近以充分发挥三元催化器的效率。第二代技术示意图见图2-

1。这种技术方案可以使汽车排放水平达到欧洲1号乃至欧洲II号法规的要求。目前第二代技术在国外仍大量使用。国内在这方面也做了大量的研究工作，取得了令人满意的效果。

我国在主要轿车车型如夏利、捷达、桑塔纳、小红旗、富康等开展了LPG和（或CNG）第二代技术的研究开发工作，取得了良好的效果，基本掌握了核心技术，具备产业化的技术基础。

第三代技术

第三代技术对应于汽油闭环电控喷射技术。主要特征是完全意义上的闭环电控喷射加上与所用燃料相适应的三元催化器。控制精度可与汽油电控喷射媲美，根据所采用技术的先进程度不同，其排放可达到欧洲II号乃至更高的排放法规的要求。福特汽车公司开发的电控喷射单一燃料CNG轿车、以及单一燃料CNG卡车，其排放指标可以达到美国加州ULEV和SULEV排放法规的要求。

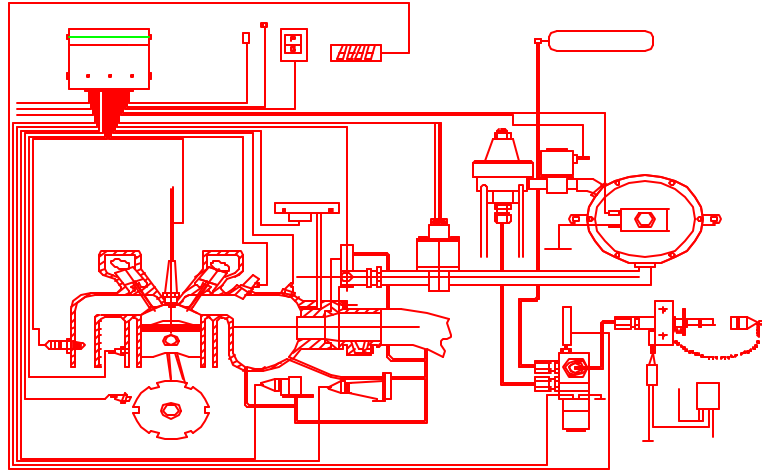


图2-1 燃气汽车第二代技术示意图

表2-2 Ford1996 crown victoria单燃料CNG轿车排放指标 g/英里

	行驶里程	NMOG	CO	NOx
ULEV 限值	50,000英里	0.04	2.1	0.3
	100,000英里	0.055	2.6	0.3
Crown victoria (4.6L)	50,000英里	0.029	0.3	0.04
	100,000英里	0.042	0.4	0.06

资料来源：SAE Trans.952743

表2-3 Ford的两种CNG卡车车型排放指标 g/英里

	行驶里程	NMOG	CO	NOx	HCHO
SULEV 限值	50,000英里	0.059	2.5	0.3	0.006
	120,000英里	0.084	3.7	0.45	0.008
F- 250型卡车 (2950kg)	4,000英里	0.004	0.71	0.02	0.000
	50,000英里	0.008	0.73	0.10	0.000
	120,000英里	0.015	0.76	0.22	0.000
E- 250/350型卡车 (363 0kg)	4,000英里	0.006	0.33	0.09	0.000
	50,000英里	0.010	0.52	0.14	0.000
	120,000英里	0.015	0.82	0.23	0.002

资料来源：SAE Paper 971662

在第三代技术中，还有单点电控喷射和多点电控喷射、进气道

喷射和缸内直接喷射、气态喷射和液态喷射之分，目前国外在第三代技术方面已经基本成熟，处于产业化初期阶段，尚没有大批量使用。中国国家科技部在清洁汽车关键技术攻关和产业化项目中，组织了全国轿车和发动机主机厂、汽车行业主要科研院所及有关高校的技术力量，开展轿车、中巴和大型工公交客车燃气发动机第三代技术的研究工作，同时制定了产业化发展目标。目前项目进展顺利，取得了一些阶段性成果，预计在不久将来实现产业化并推广应用。

天然气存储技术

天然气储存技术是影响天然气汽车发展的重要因素，CNG气瓶大体上分为3种类型：全钢制、金属内胆玻璃纤维或碳纤维缠绕、全复合材料。由于其容重比小，因此CNG汽车的续驶里程比汽油和柴油车短。鉴于这一原因，许多国家开展了LNG技术的研究和应用。天然气以-

162 的液态存储于真空隔热容器中，其单位质量（包括气瓶）相当于CNG储存方式的3倍多，从而大大延长天然气汽车的续驶里程，目前仍有一些技术问题及成本问题需要解决。据报道，截止1997年底，全球约有LNG汽车680辆，增长速度较慢，然而，LNG的储存技术的研究工作始终进行着，一旦其成本能够大幅降低，对天然气汽车的推广应用将是一个很大的推进。所以，天然气汽车今后的研究工作除了进一步改进燃烧过程外，储存技术将是研究开发的重要内容。

2.2 醇类燃料（甲醇、乙醇）汽车

2.2.1 醇类汽车排放特性分析

醇类燃料（主要指甲醇和乙醇）是一类清洁的汽车替代燃料，其分子式分别为 CH_3OH 和 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 。与汽油和柴油相比，醇类燃料氢碳

原子比大且是含氧燃料，甲醇分子含氧量达50%，乙醇分子含氧量达35%（甲醇和乙醇与汽油的特性见表2-

4），因此比汽油和柴油更容易完全燃烧。除了常规有害排放物较少外，温室气体——

二氧化碳的排放量也比燃用汽油和柴油低。表2-

5所列为Ford公司开发的金牛座E-85和M-

85轿车的排放试验结果与燃用汽油的对比，在控制排放污染方面具有一定的效果。

汽车燃用醇类时，通常是以灵活燃料的形式进行，既可以燃用纯汽油、也可燃用汽油和醇类的混合物（如M85、E85等）、还可以燃用纯醇类燃料，主要通过车载燃料电脑识别系统所获得的信息，控制相应的运转参数，使车辆处于良好的运行状态。

表2-4 醇类燃料与汽油的特性对比

名称	分子式	密度 (kg/l)	理论 空燃比	辛烷值 (RON)	自燃温度()	火焰速度(m/s)
汽油	C ₄ -C ₁₂	0.73	14.7	88-100	257	4-6
甲醇	CH ₃ OH	0.792	6.45	108	464	2-4
乙醇	C ₂ H ₅ OH	0.790	9.0	108.6	423	--

资料来源：《Alternative Fuel Vehicle Guide Book》

表2-5 Ford 金牛座E-85和M-85汽车的排放结果

车辆	燃料	发动机排出(FG)(g/英里)			尾气(TP)(g/英里)		
		HC	CO	NOX	HC	CO	NO _x
E-FFV	E85	0.98	11.9	1.73	0.104	1.27	0.05
E-FFV	一般汽油	1.78	11.3	2.31	0.107	1.4	0.057
M-FFV	加州第二阶段汽油	1.87	11.25	2	0.44	0.61	0.058
M-FFV	M85	0.72	10.5	1.44	0.054	0.055	0.066

资料来源:SAE Trans.952751

2.2.2 醇类燃料发动机技术发展状况

就发动机燃用醇类燃料而言，国际上技术已经成熟。我国30年前也已开展了醇类燃料发动机的基础研究工作，基本上了解燃用醇类燃料的相关技术。目前国际上普遍认为，除了大比例掺用醇类燃料时，必须优化发动机燃烧系统参数外，无论醇类燃料掺用比例多少，还必须考虑其对车载和站用燃料供给系统的腐蚀性、储存分层问题以及甲醇的毒性。甲醇燃烧产生废气为燃烧或燃烧不完全的气体，也具有较强的腐蚀性，不仅对金属有腐蚀作用，而且对橡胶和塑料也有腐蚀作用。另外，甲醇在发动机汽缸中燃烧时产生一些酸性物，要用专用的润滑油。但这些问题，在国际上已有较为成熟的解决方案。

2.2.3 二甲基醚（DME）燃料简介

近年来，国外对二甲基醚（DME）的研究和应用非常重视，DME可通过甲醇脱水获得，或由 $\text{CO}+\text{H}_2$ 直接合成，来源丰富。DME具有良好的自燃特性，其十六烷值为55-60，应用于柴油机可使其性能得到显著提高，烟度、噪声、 NO_x 排放均有明显降低。日本在这方面的研究工作进展较快，如日本交通公害研究所对DME开展了大量的研究，大型的DME生产基地正在建设之中。

由于DME可以煤为原料制取，符合我国国情，研究开发DME技术具有较好的应用前景。我国在DME的开发和作为汽车燃料的应用方面的工作基本属于空白。

2.3 混合动力汽车

2.3.1 混合动力汽车的技术特性

混合动力汽车将先进的发动机、电机、能量储存装置、电控系统结合起来，它综合了发动机驱动和电力驱动系统的优点，克服了电动汽车关于动力电池、续驶里程等方面的难题，在提供与目前传统的燃油发动机几乎同样的动力性的同时，其燃油经济性得到很大改善，有害排放大大降低甚至接近零排放的水平。混合动力汽车按动力耦合形式不同可分为两个类型：串联式混合驱动系统和并联式混合驱动系统。早期研究多偏重并联驱动系统，其能量传递效率较高。近年来混合动力汽车研究多选用串联驱动方式，其特点是首先将机械能转化为电能，再由电机驱动车轮，结构简单，对原动机改动小。随着驱动机构零部件的优化，串联驱动的效率也在不断提高。

混合动力汽车作为电动汽车实现质的突破前的过渡技术产品，具有常规燃油汽车和现有纯电动汽车不可比拟的优势，但其价格一直是人们关心的问题，而丰田公司推出的Prius混合动力汽车，汽车成本和性能已经达到实用化程度，截至1999年在日本本土销售3万多辆。因此，混合动力汽车的推广应用前景是比较乐观的。图2-2为Prius与Corolla燃油经济性的比较，燃油经济性提高了两倍。图2-3为Prius的排放结果，可以看出，其排放值仅约为限值十分之一。

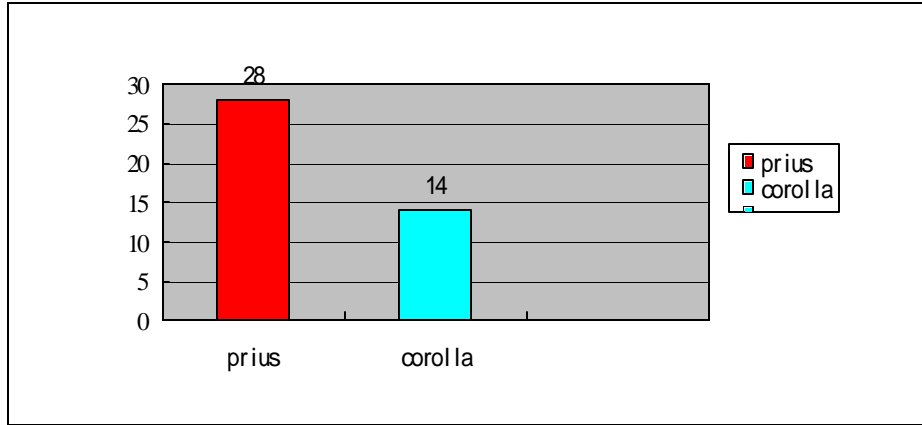


图2-2 prius与Corolla 1.5L自动排挡车燃料消耗的比较 (km/l)

资料来源：第2届北京国际电动汽车及代用燃料汽车技术交流、研讨会—丰田汽车公司《汽车的环境对策以及丰田对电动汽车及代用燃料汽车的开发》

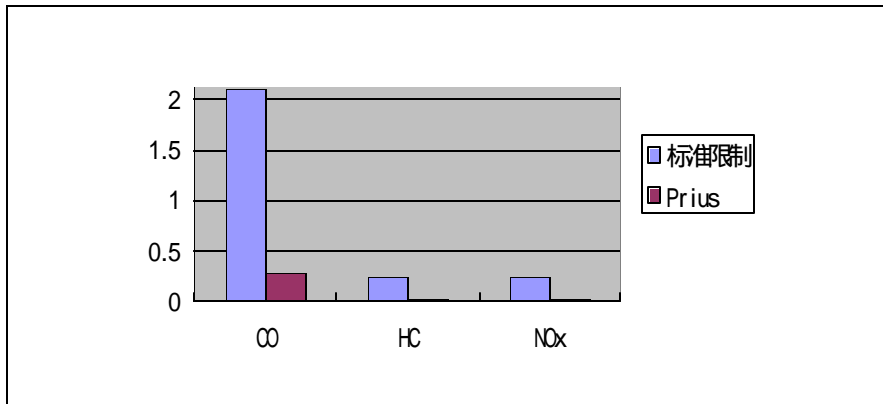


图2-3 prius的尾气排放 (10.15工况)

资料来源：第2届北京国际电动汽车及代用燃料汽车技术交流、研讨会—丰田汽车公司《汽车的环境对策以及丰田对电动汽车及代用燃料汽车的开发》

2.3.2 中国混合动力汽车研究状况

我国在混合动力汽车方面的研究、应用工作还处于起步阶段，目前只有少数高等院校和科研机构开展了一些前期工作。

2.4 电动汽车

电动汽车是满足零排放标准要求的最好的汽车，同时具有噪声

低、能源多样性等优点，而且电动汽车的夜晚充电还具有电网调峰的作用。因此，发达国家为改善大气环境，投入巨额资金开展电动汽车的关键技术研究。然而由于电动汽车的关键技术——电池技术迄今尚无突破，美国政府不得不取消了关于1998年2%、2001年5%的销售零排放车的限制条款，而用达到超低排放标准的CNG汽车代替。

2.4.1 电动汽车技术的瓶颈

电动汽车的发展过程中所遇到的主要困难集中在动力电池。1991年美国通用、福特和克莱斯勒、电力研究所以及美国能源部组成先进电池联合体——

USABC开展有关电池的研究，并颁布了中长期目标，资助对镍氢、钠硫、锂硫化二铁、锂聚合物和锂离子等5种电池的研究，1996年开始的第二轮资助仅给予最有希望的3种电池：镍氢、锂离子和锂聚合物，镍氢电池的性能指标已经达到中期目标规定的各项要求（除成本外，价格约为400-500美元/kWh）。通用公司和奥旺力公司组建的镍氢电池公司在1998年投产，其比能量可达70-80Wh/kg，充放电寿命600次；日本松下公司生产的镍氢电池的比能量为60-65Wh/kg，低于美国，但充放电寿命为1000次，比美国的长。

锂是最轻的金属，储量丰富，价格不贵。锂电池最有希望达到USABC远期目标。其比能量已经达到100-120Wh/kg，比锂离子电池比能量更高、安全性能更好、价格更低的锂聚合物固体电解质电池的研究收到广泛重视，比能量已达到155Wh/kg，充放电寿命600次。

2.4.2 中国电动汽车技术发展现状

中国在电动汽车的关键技术方面深入开展了一些研发工作。从1982年开始，在上海市科委及机电局的组织领导下，进行了电动汽车研制；1982年，开封电瓶车厂试制了三种电动汽车；广东益威电动汽车有限公司生产了EV6460N型电动轻型客车；中国远望集团总公司于1996年3月研制成功了远望电动客车，并投入使用；“八五”期间，清华大学完成了电动轻型客车的研究任务。另外，还有一些科研单位对蓄电池进行了深入、专门的研究。中国在纯电动车领域已作了大量工作，但迄今为止，大部分成果仍停留在试制、试验阶段。最近我国“863”攻关项目之一，车用镍氢动力电池的研究和产业化项目已经通过专家鉴定验收，其技术指标达到了国际同类产品的先进水平（其中比能量为65Wh/kg）。

尽管电池性能不断提高，但仍然不能满足汽车的要求，而且价格也较昂贵；此外，电池组重量过重、车辆续驶里程过短、电池循环使用寿命及可靠性较差，影响了电动汽车的实际使用 and 商业化，而截止目前人们尚无法预计解决电池问题的时间。各类电池性能及成本对比情况详见表2-6。

此外，还开展了大量的有关电机和电控技术方面的研究工作，相关技术已趋成熟。80年代后期以来，由于电力电子技术的飞速发展，滑差控制、矢量控制、直接转矩控制等交流电机的调速技术日趋成熟，交流电机（同步和异步）已经取代直流电机而成为电动汽车电机的主流，其效率可达90%以上。开关磁阻电机在电动汽车上的应用也开展了一些探索性工作。

表2-6 各类电池性能对比

电池种类	铅酸	镍镉	镍氢	锂离子	锂聚合物	钠硫	钠镍	USABC目标
比功率	高+	高	高	中-高	低-中	低-中	中	200-400W/kg
比能量 (35-44	50	60-80	90	140	110	80-90	80-200

Wh/kg)								
批量成本 (美元/ kWh)	120- 150	300- 350	250- 350	<200	---	250- 450	230- 345	70-150
寿命 (循环)	100+	500+	500+	500+	---	1-2yrs	600	5-10yrs

2.5 燃料电池汽车

燃料电池是一个化学装置，它直接把化学能转化为电能而不经热能这一中间环节，因而其效率不受卡诺效应的限制（例如，理论上可逆工作的碳-氧电池可以使99.7%的燃烧焓转变为有用功，尽管实际工作的燃料电池都是不可逆的，但其化学能转化为电能的效率要比其它发电装置的效率高得多）。表2-7所示为不同种类燃料电池的效率比较。

表2-7 不同种类燃料电池效率比较

序号	燃料	反应方程	效率%
1	氢	$H_2(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$	83.0
2	甲烷	$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + CO_2(g)$	91.9
3	丙烷	$C_3H_8(g) + 5O_2 \rightarrow 4H_2O(l) + 3CO_2(g)$	95.0
4	甲醇	$CH_3OH(l) + 3/2O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + CO_2(g)$	96.7

资料来源：《高等工程热力学》

2.5.1 燃料电池技术特性

值得一提的是，当燃料电池汽车以氢为燃料时，其排放物为水，CO、CO₂和HC的排放为零；即使采用其他燃料时，其CO、CO₂和HC的排放也很低且没有NO_x和PM排放。因此燃料电池汽车是零排放或超低

排放的汽车。丰田公司称燃料电池汽车是21世纪最有希望的车辆之一。

燃料电池的种类很多，有质子交换膜（PEM）燃料电池、磷酸（P AFC）燃料电池、碱性燃料电池（AFC）、熔态碳酸盐燃料电池（MCFC）、固态氧化物燃料电池等等，可用于燃料电池的燃料种类也非常多，有氢、甲烷、丙烷、甲醇、一氧化碳等。表2-

8所示为丰田的氢燃料电池汽车的技术参数，通过将2kg的氢气吸藏在100kg的氢气吸藏合金中，实现了250km的续驶里程。表2-

9所示为丰田甲醇改质型燃料电池汽车的性能参数。

表2-8 氢燃料电池电动汽车

燃料	种 类	固体高分子型
种类	额定输出	20kW
燃 料		氢气
驱动 电机	种类	交流同步电机
	最高输出	45kW
	最大扭矩	165Nm
动力	最高车速	100km/h以上
性能	续驶里程	250km

表2-9 甲醇改质型燃料电池电动汽车

燃料	种 类	固体高分子型
种类	额定输出	25kW
燃 料		甲醇
驱动 电机	种类	交流同步电机
	最高输出	50kW
	最大扭矩	190Nm以上
动力	最高车速	125km/h以上
性能	续驶里程	500km

2.5.2 各国燃料电池汽车开发现状

美国通用汽车公司在燃料电池汽车的研究方面进展较快，今年

在北京展示的氢气-

1号燃料电池电动汽车，代表了当今世界先进水平，表2-

10所示为氢气—

1号燃料电池电动汽车的性能参数。其排放物只有水，属于零排放车。

表2-10 氢气—1号燃料电池电动汽车

车 型	基于赛飞利紧凑型箱式车的5座原型车
不锈钢液氢储罐	长:1000mm, 直径: 400mm, 容积75升 (5kg氢气)
电池组	200块燃料电池串联, 电压: 125-200V, 长/宽/高: 590/270/500
电机	三相异步电机, 电压250-300V, 功率55kW-60kW, 扭矩251-305Nm
减速器	安装在电动机上的单级减速器, 整体重量68kg, 前轮驱动
备用电池	行李仓地板下的备用电池提供短期的峰值输出
自重	1575kg
动力性	最高车速140km/h, 0-100km/h加速时间: 16s
续驶里程	400km

氢气-

1号的推出，使人们看到了新型汽车清洁动力的曙光。尽管燃料电池电动汽车价格昂贵，与实际应用还有一定的距离，必须进一步缩小燃料电池和改质器的体积，降低其成本。但其近乎完美的工作原理、优良的能量效率和环保性能，具有极强的吸引力。

丰田、尼桑、本田等汽车公司计划在2003年将其燃料电池汽车投放市场，而值得注意的是，他们采用的均为甲醇燃料电池。

我国煤炭资源丰富，可以从中获得大量的甲醇，因此除了发展甲醇代用燃料汽车外，还应积极开展甲醇燃料电池技术的研究，推进甲醇燃料电池汽车的研发和产业化进程。

3. 各类清洁汽车的环境和能源效益分析

清洁汽车不仅具有良好的环境效益，还具有较好的能源效益。环境效益方面，LPG汽车、CNG汽车、醇类燃料汽车的排放较传统燃油汽车的排放大大降低，电动汽车、混合动力汽车以及燃料电池汽车的排放达到超低或零排放水平；能源效益方面，LPG汽车、CNG汽车、醇类燃料汽车具有良好的能源替代效益，电动汽车、混合动力汽车以及燃料电池汽车具有能源替代和直接节能的双重效益。同时清洁汽车的应用很大程度上改善了能源结构。对此将分别进行分析。

另外，为了评价清洁汽车所带来的环境效益，对不同类型清洁汽车减排效果进行了统计分析，获得了清洁汽车与所替代的传统车辆的单车环保效益参数，为全面分析环境效益提供技术依据。

3.1 LPG汽车

LPG是清洁燃料的一种，相对于汽油和柴油两种传统燃料来说，汽车燃用LPG具有较好的环境效益。为了评价LPG汽车所带来的环境效益，以下对搜集到的不同类型LPG汽车的排放指标，与被其替代的传统燃油汽车的排放指标进行了统计对比，得到了相应的改善效果的参数，为全面分析环境效益提供技术依据。

3.1.1 LPG轿车的排放控制水平

表3-

1中列出了目前我们所掌握的LPG轿车的排放数据，其中有我们实际试验测试的结果、有国内轿车企业试验结果、有荷兰TNO对国外各种轿车的试验数据也有荷兰为我国的几个轿车匹配的结果。图3-1为轿车燃用LPG与燃用汽油时排放对比的平均值。

表3-1 轿车燃用LPG时排放相对于燃用汽油时排放的比例

序号	CO	HC+NOx	序号	CO	HC+NOx
1	75.0%	76.7%	18	75.0%	26.9%
2	54.2%	84.2%	19	45.7%	61.5%
3	30.4%	77.8%	20	43.0%	86.2%
4	26.7%	18.2%	21	35.6%	81.2%
5	25.1%	90.8%	22	23.1%	90.2%
6	127.0%	70.3%	23	17.9%	86.4%
7	105.3%	75.7%	24	6.8%	76.9%
8	80.0%	86.5%	25	26.3%	97.0%
9	38.9%	24.1%	26	54.2%	25.8%
10	36.8%	20.8%	27	92.4%	127.2%
11	35.2%	14.8%	28	52.4%	89.6%
12	12.8%	26.7%	29	80.0%	106.9%
13	25.7%	47.5%	30	44.2%	90.2%
14	60.7%	41.5%	31	101.7%	62.5%
15	51.5%	85.4%	32	18.7%	69.4%
16	62.8%	73.2%	33	91.8%	68.6%
17	78.6%	26.7%	平均值	52.3%	66.6%

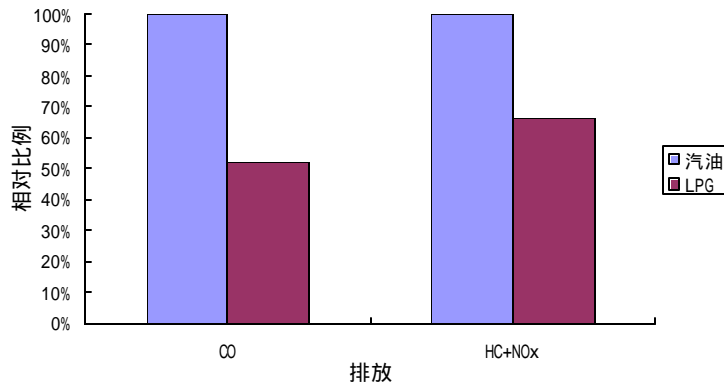


图3-1 轿车燃用LPG与燃用汽油时排放对比

3.1.2 LPG重型发动机（包括公交车用发动机）的排放控制水平

国内燃用LPG的重型发动机（主要用于公交客车或极少量用于其他用途）种类不多，而做过工况法排放的就更少。所以，这一部分的分析将以国外权威机构提供的平均数据为准，同时还参考了中国部分数据，此外考虑到我国国家科技部清洁汽车行动中产业化项目：“大型公交车用柴油机改为单一燃料LPG发动机的研究开发”的技术指标为欧洲II号排放法规的要求，最后进行综合分析得出，用LPG发动机替代传统的重型发动机后的平均单机排放改善效果。

●与汽油机相比的排放控制水平

在中国的重型发动机中（尤其是公交车用发动机中），汽油机占有相当的比例。因此发展清洁燃料发动机替代传统的汽油机，是发展清洁汽车、改善城市环境的重要工作内容。表3-2中列出了为美国加州研究中心发动机、我国CA6102发动机相关的排放改善效果，以及未来新开发的发动机应达到的欧洲II排放标准与现有发动机排放水平相比改善效果。

表3-2 LPG发动机排放与柴油机对比

	加州研究中心 发动机	CA6102(目前水平) (两用燃料LPG)	欧洲II与 目前水平	本研究中将采用 的相对数值
CO	13.6%	56.7%	9.8%	26.7%
HC	9.6%	35.7%	42.1%	29.1%
NOx	49.1%	76.2%	24.5%	49.9%

注：以所参照的汽油机的排放为100%。

●与柴油机相比的排放水平

城市公交车中还有相当一部分的柴油车，燃用LPG是解决柴油机排放的重要措施之一。表3-

3中列出了为美国加州研究中心发动机、日本丰田15B-

FLPG相对于原柴油机排放改善效果，以及未来新开发的发动机应达到的欧洲II排放标准与现有柴油机排放水平相比改善效果。

表3-3 LPG发动机排放与柴油机对比

	加州研究中心 发动机	丰田 15B-FLPG	欧洲II与 目前水平	本研究中将采 用的相对数值
CO	66.4%	62.5%	53%	60.6%
HC	11.8%	49.5%	52.9%	38.1%
NOx	32.2%	34.1%	49.6%	38.6%
PM(*)	忽略	忽略	忽略	忽略

注：以所参照的柴油机的排放为100%。

3.2 CNG汽车

3.2.1 CNG轿车的排放控制水平

表3-

4所列为本田公司、日产公司、菲亚特公司、德国大众公司以及我国天津汽车公司CNG轿车的排放与原汽油车排放的比较。可以看出，燃用天然气时汽车排放有较大幅度的降低。

表3-4 CNG轿车的排放与汽油轿车排放的对比

	本田	日产	夏利		菲亚特		大众公司
			1	2	当前技术	专门技术	
CO	40%	12.5%	11.6%	76.8%	32.6%	21.7%	30%
HC+NOx	40.3%	23.7%	65%	73%	32.5%	15.0%	37%
平均相对值			CO: 32.2%		HC+NOx : 40.9%		

注：以所参照的汽油轿车排放为100%

3.2.2 CNG公交车的排放控制水平

下面给出了加州研究中心、德国大众公司、通用汽车公司提供的CNG汽车排放与柴油机排放的对比，此外与LPG大型发动机的状况相同，清洁汽车行动攻关项目“大型公交车用单一燃料CNG发动机”均达到欧洲II排放法规要求，且课题即将在2001年完成，并同时实现产业化。在不久的将来，该种发动机可能在公交车领域将占据重要地位，为此在表3-

5中还给出了欧洲II排放标准限值与一台国产柴油发动机排放的对比。从表3-

5中可以粗略看出，用达到欧II的CNG发动机替代柴油机后最保守的环保效果预测。表3-

6则是与汽油发动机汽车的对比，表中同样列出了欧洲II排放标准限值与一台国产发动机排放的对比。

表3-5 CNG发动机与柴油机排放对比

	加州研究中心	德国大众公司	通用汽车公司	欧洲II排放法规限值
CO	66.7%	40%	30%	53%
HC	12.6%	15%	13%	52.9%
Nox	33.4%	10%	13%	49.6%
PM	忽略	忽略	忽略	忽略
平均值	CO: 47.4%		HC: 23.4%	NOx: 26.5%

注：以柴油机排放为100%)

表3-6 CNG发动机与汽油机排放对比

	加州研究中心	德国大众公司	美国AQIRP 研究报告	欧洲II排放法规 限值
CO	13.7%	30%	20%—60%	9.8%
HC	10.2%	25%	10%	42.1%
Nox	50.9%	40%	20%-90%	24.5%

平均值	CO: 23.4%	HC:21.8%	NOx: 34.4%
-----	-----------	----------	------------

注：以所参照的汽油机排放为100%。

3.3 醇类汽车的排放控制水平

3.3.1 甲醇汽车的排放控制水平

经过多年的试验表明，甲醇燃料除节能外，更引人注目的是它能减少大气的污染。首先，甲醇辛烷值高，可以与不添加四乙基铅的汽油混合，减少了排气中铅的污染；其次，甲醇的理论空燃比小，有利于完全燃烧，CO、HC和NO_x的排放量减少，但掺烧汽油后，甲醇和甲醛的排放有所增加。目前常用的混合形式有：M5 - M20（M5甲醇混合是指甲醇体积浓度为5%的汽油），M50 - M85，M85 - M100。由于甲醇热值是石油系燃料的一半，并且十六烷值低，不能压缩点火，在用作柴油机燃料时，需要其它辅助着火手段。根据美国AQIRP研究报告，M85汽车的排放性能与传统汽油车相比，HC降低31%，CO降低13%，NO_x降低6%。

3.3.2 乙醇汽车的排放控制水平

乙醇可由各种谷物、纤维生物质和植物等合成，属可再生能源。燃用乙醇或乙醇-汽油混合燃料的汽车，也可降低污染物的排放。根据美国AQIRP研究报告，E85汽车的排放性能与传统汽油车相比，HC降低5%，CO增加7%，NO_x降低40-50%。

3.4 混合动力、电动及燃料电池汽车的排放控制水平

3.4.1 混合动力汽车的排放控制水平

大量的研究已表明发动机在瞬变工况下污染物排放大大超过稳定工况时的排放。混合动力汽车的优势就在于能够保证发动机始终处于相对稳定的工况下运行，发动机的各个参数比较容易有针对性地进行优化匹配，从而获得较高的效率和良好的排放性能。混合动力汽车比内燃机汽车的排放低得多，但只有在特殊情况下才可以达到纯电力汽车的排放水平。目前日本丰田的Prius混合动力汽车技术已经成熟，而且已经批量生产、投放市场。表3-7给出了Prius与同时期的汽油车排放的对比，可以看出混合动力汽车相对于传统的燃油车的环境效益有大幅度提高。

表3-7 Prius与传统汽车的排放对比

	与日产汽油车相比	与丰田汽油车相比	平均值
CO	24.2%	26.4%	25.3%
HC	11.1%	13.3%	12.2%
NO _x	15.0%	16.7%	15.9%

注：（1）以传统汽车的排放为100%；

（2）表中所列两种汽油车车型排放满足日本现行标准，具有较高的排放控制水平。若与我国现有轿车相比，Prius的环保效益将更加明显。

3.4.2 电动汽车的排放控制水平

如果不考虑电厂的类型、燃料和排放控制，电池驱动的电动汽车将明显地降低CO和HC（指有机气体和挥发性有机化合物）的排放，并大大地削减NO_x的排放。尽管电动汽车会产生额外的硫氧化物和颗粒污染物，但这并不很严重，因为对于这些相应的污染物，汽车

源污染的贡献率只占1%左右。总体上，对于空气质量的影响，轻型车排放HC、CO、NO_x大幅度削减的影响将远远大于其产生的硫氧化物增加的影响，从而达到有效改善空气质量的目的。

若考虑到环境条件的不同，则电动汽车的环境效益会有所差异。例如，如果用天然气发电（如日本），则硫氧化物的排放将会降低；但如果主要采用燃煤发电（如英国和美国），则会导致硫氧化物的增加。如果采用太阳能、原子能、风能和水力能发电，则对空气不会造成污染。如果还是采用化石燃料，则控制空气污染显得尤为重要。电动汽车与传统汽车排放的对比情况详见表3-8。

表 3-8 电动汽车与传统燃油汽车的排放变化百分数比较

	HC	CO	NO _x	SO ₂	颗粒物
法国	-99	-99	-91	-58	-59
德国	-98	-99	-66	+96	-96
日本	-99	-99	-66	-40	+10
英国	-98	-99	-34	+407	+165
美国	-96	-99	-67	+203	+122
平均	-98	-99	-64.8	+121.6	+28.4

3.4.3 燃料电池汽车的排放控制水平

以氢为燃料的燃料电池汽车是真正的零排放汽车，水是其唯一的排放物。甲醇燃料电池汽车的甲醇反应器会产生很少量的NO_x和CO，燃料供应和贮存系统也会有少量的甲醇蒸发。以汽油和其它石油产品为燃料的燃料电池汽车也会产生一定的排放物，不是源于燃料电池本身，而是来自反应器、燃料箱等。

总之，燃料电池汽车是一种零排放或接近零排放的汽车，是一种非常理想的清洁汽车。

3.5 各种清洁汽车温室气体 (CO₂) 排放的控制水平

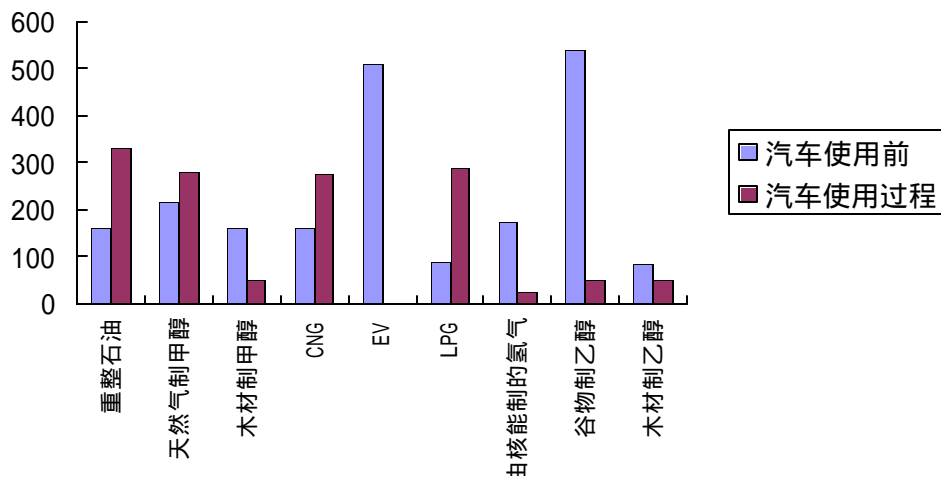
3.5.1 交通领域控制温室气体现状

世界各国对于只有大幅度地削减温室气体的排放，才能避免经济和生态危机这一点的认识上已基本达成共识。CO₂是温室气体，对大气环境具有深远的影响，全球交通运输领域二氧化碳排放量约占总量的25%；这个数字包括地面、空中和水上运输方式。在西欧，公路运输二氧化碳排放量约占总量的15%。欧美、日本等发达国家对CO₂排放的控制非常重视，欧洲轿车工业最近作出了到2008年底之前将1990年的二氧化碳平均排放值降低25%的承诺。

3.5.2 各种清洁汽车温室气体排放水平

根据国内外的有关文献，CNG汽车、LPG汽车较传统燃油汽车的温室气体 (CO₂) 排放量分别降低25%和15%左右。

如果现在引进电池驱动的电动汽车，就会更有效控制温室气体的排放。随着车用能源效率的提高和电厂的改进，其效果将会更稳定。虽然从表面上看电动汽车和燃料电池汽车并不排放CO₂、混合动力汽车和醇类汽车的CO₂排放也很少，但考虑到电动汽车的电力生产过程、燃料电池的氢燃料的生产方式全过程，以及乙醇加工制备过程中产生的CO₂排放量，可以看出这类清洁汽车的温室气体排放并不



为零。图3-

2给出了各种燃料、不同的生产方式和来源CO₂排放的对比。

图3-2 各种能源全周期CO₂当量(g/英里)排放对比

此外，在燃料相同的情况下，燃料消耗量与CO₂排放量成正比关系，由于混合动力汽车的效率大约为汽油车的2倍，那么，其CO₂排放量也约为同档次汽油车的50%。因此，提高车辆和发动机效率，降低燃料消耗是减少CO₂排放的最为直接的措施。

3.6 各类清洁汽车的能源效益分析

随着世界范围内石油资源短缺问题的日益严重，怎样节约用油已成为各国关注的问题。中国石油储量低于世界范围的平均水平，目前已成为石油净进口国，因此节约用油至关重要。

3.6.1 清洁汽车的燃油经济性

由于燃油经济性问题在另外的一个专题里进行了深入研究，因此这里仅作简要的定性分析。

● C N G、L P G的燃油经济性

对于燃气汽车的经济性，可以把C N G、L P G按热当量折合成汽(柴)油后进行评价；也可以直接按百公里耗用燃料的费用来比较。根据对燃气汽车运行成本分析资料，与汽油车相比，L P G汽车可节约燃料费20%左右，C N G汽车可节约燃料费30%以上。若实行燃油税后，节省燃料费的比例还会提高。

● 混合动力、电动汽车和燃料电池汽车的燃油经济性

假设未来的内燃机汽车的燃料利用效率为城区35英里/加仑(mpg)、高速路为46mpg，那么混合动力汽车一般可比同等的内燃机汽车节约15%到35%的汽油。另外，不同类型(如扩展行程汽车、串联模式、并联模式)的混合动力车能耗会有所差异，但都比传统燃油

车降低油耗。

纯电动汽车同混合动力汽车的总能耗接近，如果考虑到电动汽车不用石油而用煤炭、核能、太阳能、水力、风力等转化的电能，那么可以节约大量的石油。据有关专家对石油有效利用情况分析，若利用上述类型的电能，则电动汽车比燃油汽车节能70%左右，能源费用可节省50%左右，这对于中国这样一个人口众多、能源紧缺的国家是相当重要的。

●燃料电池汽车的燃油经济性

由于燃料电池的化学能转化为电能的效率要比其它发电装置的效率高得多，因此燃料电池汽车的燃油经济性要优于电动汽车和混合动力汽车。

3.6.2 发展清洁汽车与优化能源结构

开发和广泛应用清洁汽车不仅可以产生直接的能源效益，而且可以改善和优化能源结构，改变交通领域过分依赖有限石油资源的现状，实现交通领域能源利用的多元化和洁净化，尤其是推动煤炭资源的高效利用，提高我国能源的安全性。

4 影响中国清洁汽车产业化的因素分析

4.1 激励性因素

4.1.1 日益严重的大气污染促使政府积极采取对策

自改革开放以来，汽车工业发展迅速，汽车保有量大幅增长。在城市中，由于车辆比较集中，交通污染问题尤为突出，汽车尾气成为城市大气环境的主要污染源，中国主要城市的空气质量迅速下降。

世界卫生组织监测并定期公布的全世界大气污染最严重的10个城市情况表明，1991年度中国占3个，1995年度中国占2个，1998年中国占了7个。日益下降的城市环境质量严重地制约我国社会经济发展，损害了中国的国际形象。

中国各级政府积极采取一系列措施，治理日益严重的大气污染。例如，积极推广使用无铅汽油和尾气净化技术、加强国际合作实现电喷技术产业化。1999年4月国家13个部委联合启动了“空气净化工程—清洁汽车行动”，加速了燃气汽车技术标准的制定，实施了一些关键技术攻关项目，标志着中国政府治理交通领域大气污染工作步入实质性阶段，为清洁汽车的发展奠定了良好基础。

4.1.2 全民环保意识不断增强

随着经济发展，人们的收入水平、文化素质不断提高，对生活质量的的要求越来越高。与此相对的是环境质量日趋变坏，大气和水污染、固体垃圾、温室效应问题有目共睹，严重威胁人们的生存环境，人们的环境危机意识不断增强。

作为人口居住密集区的大中城市，环境污染尤其是大气污染状况日益严重，人们普遍意识到改善和保护环境的重要性。这为推进清洁汽车产业化打下了良好的基础。

4.1.3 环境保护法规日益严格和完善

●国际方面

车辆排放法规日益严格，欧洲、美国和日本有计划地制定和实施了严格的排放法规，（见表4-1、4-2）。温室气体排放控制日益受到关注，一些发达国家对减少二氧化碳排放作出了承诺。将燃油经济性问题逐步纳入到法规的约束范围

。

表4-1 欧洲汽车排放标准

标准	日期	碳氢化合物+氮氧化物克/公里	一氧化碳克/公里	碳氢化合物克/公里	氮氧化物克/公里
欧洲1号	1993	0.97	2.72	--	--
欧洲2号	1997	0.5	2.20	--	--
欧洲3号	2000	--	2.30	0.2	0.15
欧洲4号	2005	--	1.00	0.10	0.08

表4-2 美国相关汽车排放标准

50000英里以内 (g/英里)					
标准	CO	NMOG	NO _x	微粒	甲醛
1993	3.4	0.25	0.4	0.08	-
TLEV	3.4	0.125	0.4	0.08	0.015
LEV	3.4	0.075	0.2	0.08	0.015
ULEV	1.7	0.040	0.2	0.04	0.008
100000英里以内 (g/英里)					
标准	CO	NMOG	NO _x	微粒	甲醛
1993	4.2	0.31	1.0	0.08	-
TLEV	4.2	0.156	0.6	0.08	0.018

LEV	4.2	0.090	0.3	0.08	0.018
ULEV	2.1	0.055	0.3	0.04	0.011

注：1993年加利福尼亚州排放标准规定是NMHC。

TLEV：过渡性低排放汽车（transitional low emission vehicles）

LEV：低排放汽车（low emission vehicles）

ULEV：超低排放汽车（ultra low emission vehicles）

●中国方面

国家环保局、科技部、国家机械局联合发布了《机动车排放污染防治技术政策》，首次明确提出分阶段的排放控制目标，即轿车的排放水平于2000年达到相当于欧洲第一阶段水平；最大总质量不大于3-

5吨的其它轻型车（包括柴油车）的排放水平2000年之后达到相当于欧洲第一阶段水平；所有轻型汽车（含轿车）的排放水平，应于2004年前后达到相当于欧洲的第二阶段的水平，2010年前后争取与国际排放控制水平接轨；重型汽车（总质量大于3-5吨）的排放控制水平，2001年前后达到相当于欧洲第一阶段的水平，2005年前后柴油车达到相当于欧洲第二阶段的水平，2010年前后争取与国际排放控制水平接轨。这一阶段性的排放控制目标对推动清洁汽车产业化发展起到了积极的作用。

4.1.4 巨大的市场需求为清洁汽车产业化提供广阔空间

中国未来汽车市场容量巨大，而大中城市构成了汽车的主体需求。为了应对日益严峻的环境压力，在大中城市必然会形成清洁汽车的广阔市场。目前我国12个清洁汽车示范城市无一例外地制定了清洁汽车的中长期发展规划，大力投入基础设施建设，为清洁汽车的持续、大面积推广应用，营造了一个良好的市场环境。截止到2000年3月即清洁汽车行动实行不到一年的时间里，清洁汽车（主要为燃气汽车）的保有量达到了47,360辆，预计今后将保持快速的增长速度。

。

4.1.5 中国能源结构亟待改善

中国人均石油存储量仅为世界平均值的10%。从1993年起，中国已成为石油净进口国。预计到2000年石油进口依存度（净进口量占需求量的比例）将超过20%，2010年将达到30%。石油安全问题已成为中国社会经济能否可持续发展的重大影响因素。一方面存在石油短缺，而另一方面我国具有丰富的煤炭、天然气资源。水电资源也较为丰富，约占1999年一次性能源消费结构的6.7%，而且在2003年三峡工程项目的投入运营后，水电比重将会有较大的提高。为了平衡和有效利用能源，发挥我国的能源优势，避其劣势，大力发展新型能源汽车将成为有效途径。

4.2 制约性因素

4.2.1 关键技术不成熟

●电动汽车的动力电池能量密度低、充电时间长、使用寿命短和可靠性低，造成电动汽车续航里程较短，限制了电动汽车的推广应用。

●燃料电池汽车的燃料电池系统的体积大，输出功率的密度小；另外，燃料电池的安全度和可靠性有待提高。

4.2.2 清洁汽车的制造成本较高

影响清洁汽车商业化过程的主要因素表现在成本过高，如何在短时期内降低成本将是决定清洁汽车能否产业化的关键。当然，在考虑成本因素时，仅考虑到制造成本是不完全的，还应考虑到产品的寿命期长短，以及行驶成本高低。考虑到未来发展因素以及整个使用周期的行驶成本等因素，清洁汽车的总成本将接近或者低于传

统燃油汽车。

但是在短期内，无论从制造技术还是产业化规模角度看，清洁汽车的制造成本高于传统燃油车的成本。

4.2.3 基础设施不够完善，需要大量投资

清洁汽车产业化发展还受到相关基础设施的影响，主要表现：

●LPG加气站网络建设

一个10立方米以下的加气站（也称撬装站）需要投资40万人民币；一级站（ $m^3 40 < Vol < 60$ ）需要投资300万元人民币；二级站（ $m^3 20 < Vol < 40$ ）需要投资200万元人民币；三级站（ $Vol < 20 m^3$ ）需要投资150万元人民币。若为相当规模加油站投资的十倍。

●CNG加气站网络建设（不含脱硫脱水设备）

一级站需要投资250万元，约采用进口设备需要300万元；二级站需要投资200万元；三级站需要投资约150万元。也相当于同等规模加油站投资的十倍。

●电动汽车充电站网络和燃料电池汽车的氢燃料供应基础设施建设同样也需要大量投资。

因此，基础设施的建设是决定中国清洁汽车产业今后能否快速的发展主要原因之一，如何筹集资金和出台支持性政策是要解决的首要问题。

4.2.4 技术标准缺乏

尽管自1999年4月实施“空气净化工程——清洁汽车行动”以来，中国在清洁汽车产业发展方面取得了很大的成效，出台了一些燃气汽车方面的技术标准。但是由于时间短，再

加上清洁汽车自身技术发展方面存在较大的不确定性，没能形成一套较为完善技术标准体系，技术标准的缺乏直接影响了燃气汽车的产业化进程，导致行业管理的低效率。

4.2.5 管理制度和相关产业政策不完善

清洁汽车产业的发展是一个巨大的系统工程，清洁汽车产业链示意图见图4-1。

清洁汽车产业化涉及到环节复杂，并具有较大的外部环境和能源效益。在充分发挥市场机制调节作用的基础上，还必须加强政府的宏观调控作用，以克服市场失灵的缺陷，政府的支持和引导是清洁汽车产业能否健康快速发展的重要性因素之一。目前政府对清洁汽车产业发展的总体战略还不够清晰，未能建立一套规范的管理制度体系，相应的科技、税收、投资等公共政策缺乏，这将极大地制约清洁汽车产业的发展。

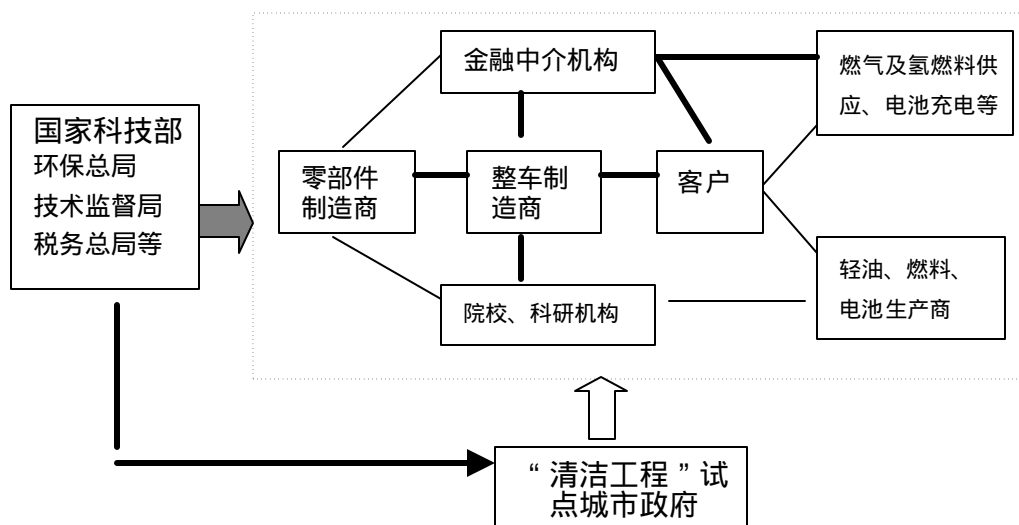


图4-1 清洁汽车产业链示意图

5 中国清洁汽车技术发展路径

5.1 技术发展路径设计

5.1.1 遵循的原则及考虑的主要因素

路径设计时应遵循的原则：

- 市场导向
- 政府支持
- 因地制宜与多元化
- 优化能源结构
- 经济效益与社会效益兼顾
- 技术经济性
- 阶段性与前瞻性相结合
- 技术创新与技术提升相结合

路径设计时考虑的主要因素：

- 汽车的市场需求

中国是世界汽车工业最大的潜在市场，未来十年，随着中国经济的持续快速增长，这种潜在需求将变为现实购买力。因此，未来十年，中国汽车市场具有很大发展潜力。

- 环境对汽车排放的容量

社会环境对汽车排放容量有限，环境压力巨大。

- 资源状况

石油资源有限，煤炭资源丰富，天然气资源有区域优势，电力资源（尤其是水电资源）发展潜力巨大。目前汽车消耗能源主要来自石油资源。

- 各种清洁汽车的环境、能源效益

各类清洁汽车的环境和能源效益大小顺序为：燃油汽车→
燃气汽车、醇类汽车 → 混合动力汽车
燃料电池汽车、电动汽车渐次提高，而技术难度渐次增大。另外，
清洁汽车产生的环境效益直接贡献给社会，具有很强的外部性，仅
依靠市场调节是难以奏效的。

●各种清洁汽车的技术成熟度及成本

LPG、CNG、醇类汽车的技术已基本成熟，可直接进行产业化
生产和使用；混合动力汽车技术在国际上已有重大突破，已有小批
量生产和使用，中国基础薄弱；世界范围内电动和燃料电池汽车的
关键技术尚有待于突破。清洁汽车的制造成本高于传统燃油汽车，
但整个寿命期成本接近或低于传统燃油汽车，尤其从未来发展趋势
看，清洁汽车总成本将低于传统燃油汽车的总成本。

●技术标准和管理制度

缺乏统一的技术标准，管理基础薄弱，管理制度不规范、不健
全。

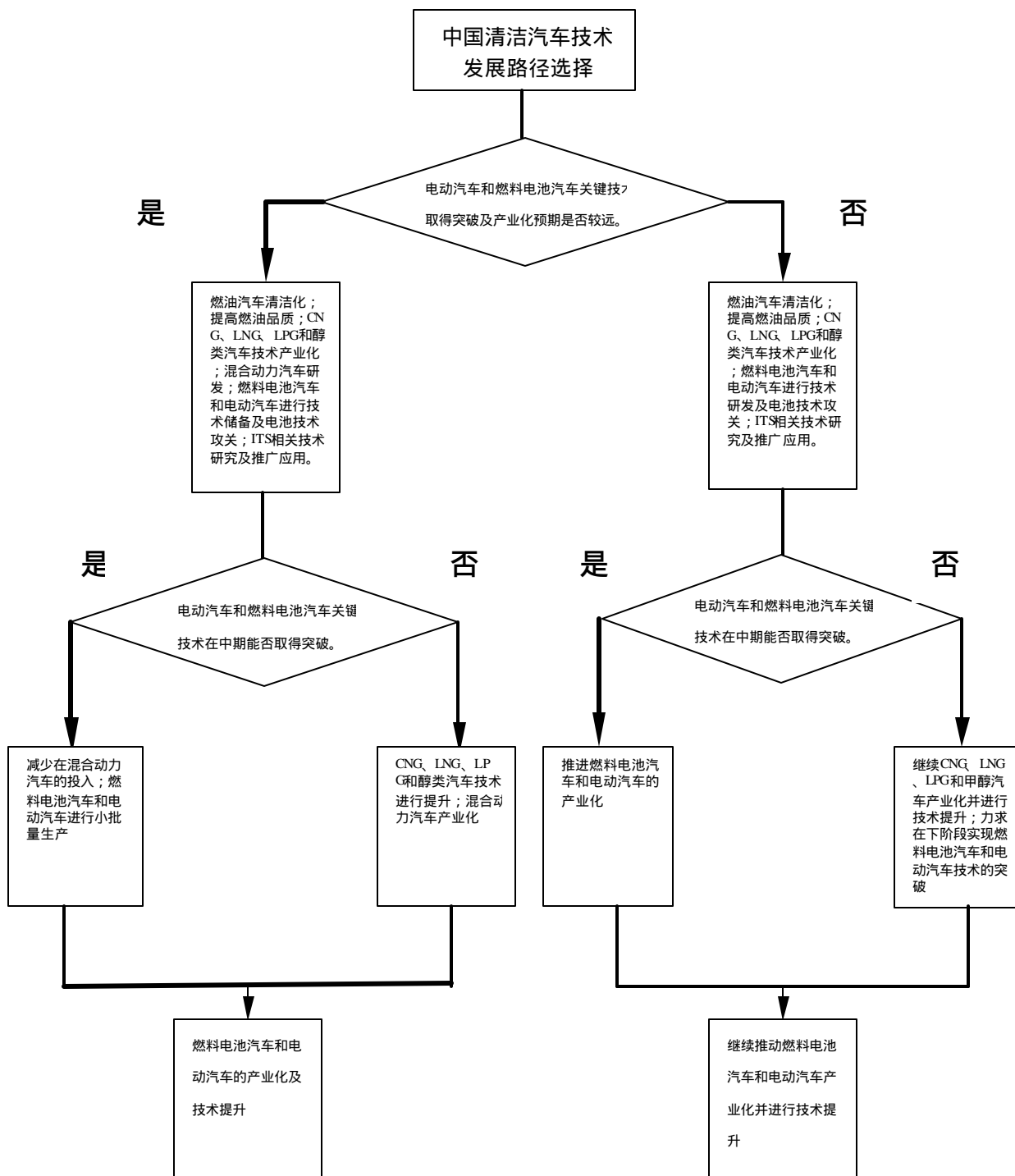
5.1.2 技术路径的确定

基于上述认识，提出如下技术发展路径，详见表5-1和图5-1。

表5-1 中国清洁汽车技术路径选择简表

时期 路径	短期 (~2005年)	中期 (2006~2010年)	长期 (2011年~)
路径一	1. 燃油汽车清洁化 2. 提高燃油品质 3. CNG、LNG、LPG和醇类汽车技术产业化； 4. 混合动力汽车技术研发； 5. 燃料电池汽车和电动汽车进行技术储备及电池技术攻关。 6. ITS相关技术研究及推广应用	燃料电池汽车和电动汽车技术需进一步研发： 1. CNG、LNG、LPG和醇类汽车技术进行提升； 2. 混合动力汽车产业化。	燃料电池汽车和电动汽车的产业化及技术提升
		燃料电池汽车和电动汽车技术获得突破： 1. 减少在混合动力汽车的投入； 2. 燃料电池汽车和电动汽车进行小批量生产。	
路径二	1. 燃油汽车清洁化 2. 提高燃油品质 3. CNG、LNG、LPG和醇类汽车技术产业化； 4. 混合动力汽车技术研发； 5. 燃料电池汽车和电动汽车进行技术研发及电池技术攻关。 6. ITS相关技术研究及推广应用	燃料电池汽车和电动汽车技术获得突破： 推进燃料电池汽车和电动汽车的产业化	继续推动燃料电池汽车和电动汽车产业化并进行技术提升
		燃料电池汽车和电动汽车技术尚须继续研究： 1. 继续CNG、LNG、LPG和甲醇汽车产业化并进行技术提升； 2. 力求在下阶段实现燃料电池汽车和电动汽车技术的突破	

图5-1 中国清洁汽车技术发展路径选择



5.2 技术路径一

本方案对各种清洁汽车技术的基本估计是，燃气汽车及醇类汽车技术基本成熟，已具备产业化基本条件，具有长期发展的资源优势；燃料电池汽车和电动汽车关键技术取得突破及产业化预期较远，并存在较大不确定性。因此国外技术基本成熟的混合动力汽车可作为近期进行研发、中期产业化的重要选择；对燃料电池和电动汽车的电池等关键技术继续深入地进行研发，一旦取得突破，则将加快燃料电池汽车和电动汽车的产业化。

5.2.1 短期（2001~2005年）主要任务和目标

- 加快燃油汽车的清洁化进程，提高燃油经济性水平。

燃油汽车在相当长的时间内仍然是在用车和新增车辆的主体。因此，提高燃油汽车技术水平，改善其排放和油耗性能，对于实现车辆总体环境和能源效益意义重大。现阶段，应在进一步筛选、优化关键技术基础上，在燃油汽车上推广应用电控燃油喷射技术和三效催化技术等，实现规模生产，从轿车、微型车和轻型客车入手，逐步扩展到载货汽车

- 提高燃油品质。

我国燃油品质是汽车排放性能进一步提高的重要制约因素之一。此阶段，应研究开发新的燃油炼制技术，改进工艺和设备，提高燃油品质。

- 因地制宜，大力发展和推广适合本地区的代用燃料汽车。

CNG、LPG及醇类等代用燃料汽车技术已基本成熟，我国不同地区分别有各自的资源优势。国家应鼓励各地区根据自身的资源状况和技术优势，选择合适的代用燃料汽车进行产业化发展。代用燃料汽车优先利用于出租车、公交车，逐步扩展到邮政、环卫、建筑等城市专用车及公务车。燃气汽车的发展应尽快实现两个转变：

第一、从在用车改装向新车生产转变。

燃气汽车只有良好的匹配才能发挥较佳的环保和经济效益。由于在用车不同车辆技术条件差异较大，在用车改装很难实现良好的环保效能，且技术成本也较高，因此应尽快实现由在用车改装向新车制造过渡。

第二、由机械式双燃料或两用燃料向电控喷射单一燃料燃气汽车过渡。

如前所述，电控喷射单一燃料燃气汽车比机械式双燃料汽车具有无可比拟的环境和能源效益，且技术也基本成熟，应尽快推广应用，在2005年前，普及第三代技术，提高燃气品质。同时应逐步实现燃气部件装置的标准化，提高通用性和互换性，以实现部件规模化生产，降低生产成本。

值得注意的是，在我国由于煤炭资源相当充足，且由煤生产甲醇已是成熟的产业，因此甲醇汽车具有很大的发展潜力。而LPG汽车由于对石油资源的依存性较高，其发展将同样受到资源制约。在燃气资源可选择的情况下，应优先发展中国具有资源优势的CNG汽车。

●燃料电池和电动汽车关键技术攻关。

进行广泛的国际技术交流合作，对国际上最新的燃料电池技术、电动汽车技术进行跟踪，同时继续组织技术力量对燃料电池和电动汽车动力电池进行研究和开发。

●混合动力汽车研发。

混合动力汽车技术在美国和日本已基本成熟，并投入小批量生产，我国应加大科研开发投入，组织国内产、学、研等技术力量进行重点技术攻关和整车开发。为中期实现产业化奠定基础。

●ITS相关技术研究及应用。在推进清洁汽车产业的同时，应进一步搞好交通道路建设，合理规划，统筹安排，使城市交通网络更

加合理高效，加快以信息技术为中心的智能交通系统建设，发挥城市交通线路的最大功效，减少交通拥挤现象，从而促进城市环保。

5.2.2 中期（2006~2010年）主要任务和目标

密切关注燃料电池汽车和电动汽车技术发展状况，视情调整混合动力汽车与燃料电池汽车和电动汽车的优先发展顺序。

●此阶段主要是推广应用混合动力汽车，并使其产业化。同时进一步提升代用燃料汽车技术，以LPG、CNG、LNG、甲醇等代用燃料汽车为代表。重点发展LNG汽车。

●在此发展阶段，要对清洁汽车技术的进一步研究、积累，形成滚动式研究发展。特别针对燃料电池汽车和电动汽车的关键技术，国家应组织技术力量进行技术攻关。例如：电动汽车的蓄电池及其回收技术，燃料电池的裂化装置、车用燃料电池堆栈技术等。

●由于燃料电池汽车和电动汽车技术在环境和能源安全性方面具有很大优势，所以如果在此阶段取得一些突破性技术进展，则可减少对混合动力汽车产业的投入，形成燃料电池汽车和电动汽车的小批量生产，为下一阶段的产业化做准备。

●积极探索新能源的利用，如核能、太阳能、风能、潮汐发电等，扩大可利用的能源范围，探求大规模应用的途径。

5.2.3 长期（2011年~）主要任务和目标

此阶段的发展目标：

●对代用燃料汽车和混合动力汽车进一步产业化，对其技术进一步提升和完善，并扩大其应用范围。

●将燃料电池汽车和电动汽车产业化。逐步扩大其使用范围，以求获得良好的社会效益、环保和能源效益。

●继续开发新能源利用技术。

5.3 技术路径二

本方案对各种清洁汽车技术的基本估计是：燃料电池汽车、电动汽车技术近期内有望取得突破；中期有望实现产业化；混合动力汽车仅作为短期过渡性产品。

对于LPG、CNG、甲醇等燃气汽车的规划发展方案与路径一相同，同样分三个阶段实现我国清洁汽车产业化，详见5.3.1、5.3.2、5.3.3。

5.3.1 短期(2000~2005年)主要任务和目标

●大力推进以CNG、LPG和醇类清洁汽车（特别是甲醇汽车）为主的代用燃料汽车产业化。进一步降低其生产制造成本，同时加大对代用燃料汽车基础设施的投入，并给予政策倾斜。

●加快燃油汽车的清洁化进程，提高其燃油经济性水平，并相应地不断提高燃油品质。

●组织国内高校和科研院所等技术力量，并广泛开展国际合作，进行燃料电池汽车和电动汽车的技术研究开发，对关键技术由科技部牵头进行技术攻关。

●对新能源利用技术进行开发，如获取核能、太阳能等的新技术，降低汽车工业对石油的依赖性。

5.3.2 中期（2006~2010年）主要任务和目标

根据燃料电池汽车和电动汽车的技术发展状况，可选择两种发展路径：

●燃料电池汽车和电动汽车技术已取得突破性进展。政府应从资金、政策、法规等方面给予支持，充分调动企业积极性，加大对燃料电池汽车和电动汽车的投入，积极推进其产业化。

继续产业化的同时，对CNG、LNG、LPG和甲醇汽车技术要进

一步深入研究，降低其生产制造成本，也要对这些种类清洁汽车的节能和排放进行进一步的改进。

●燃料电池汽车和电动汽车技术尚须进一步研发。政府组织科研力量，并进行国际技术合作，继续对燃料电池汽车和电动汽车技术进行的研究开发，进行技术储备，保证在下一阶段能够实现其产业化。

对CNG、LNG、LPG和甲醇汽车进一步产业化，并进行技术提升。形成以大中城市、示范城市为核心，不断向周边地区辐射发展的良好格局。

5.3.3 长期（2011年~）主要任务和目标

●已在燃料电池和电动汽车技术领域取得突破性进展，国家大力推动其产业化深入发展，并继续进行技术提升，包括续航里程的进一步提高、蓄电池的回收利用等技术。

●对CNG、LNG、LPG和甲醇汽车技术继续进行提升，达到与世界先进国家的技术水平同步发展的阶段。

●继续探求可利用的新能源，提高我国的能源安全性。

6. 中国发展清洁汽车的环境及能源效益

下面假定清洁汽车技术按照第一种路径发展，在此条件下首先预测北京市、“12个试点示范城市”及全国的清洁汽车未来保有量；其次对环境和能源效益做出评价，包括一些简要的对比分析。

6.1 汽车保有量预测

6.1.1 汽车的分类标准

●汽车的总分类

将汽车共分为轿车、客车、货车三类。其中轿车类分为出租车和非出租车；客车分为公交车和非公交车；货车不再分类。从研究汽车清洁化的角度，又可将汽车分为传统汽车和清洁汽车。传统汽车的进一步分类详见图6-1。

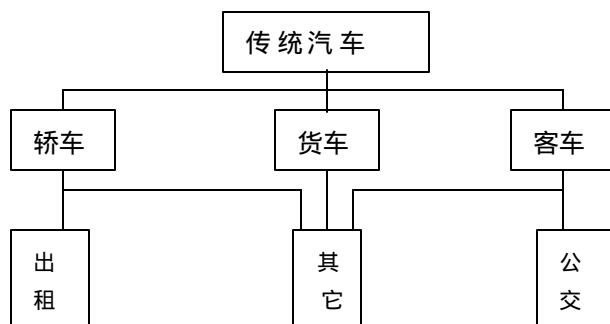


图6-1 传统汽车的分类

●清洁汽车的分类

将清洁汽车划分为六类，即CNG汽车、LPG汽车、醇类汽车、电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车。其中每类车又分为出租车、公交车和其它三类。其它类车主要包括城市小型货运、城市公益、城市专业大型货运、公务等四类用车；另外，随着醇类和二甲醚

等代用燃料车的应用，一部分客车和货车将进入清洁汽车的行列。详见图6-2。

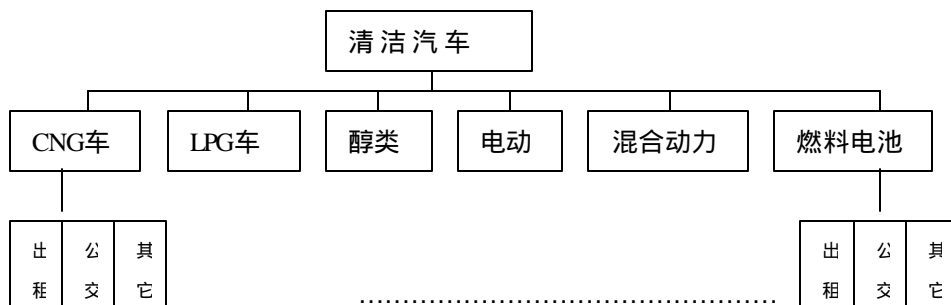


图6-2 清洁汽车分类示意图

6.1.2 预测参数及预测方法

●考虑到各种影响因素，确定短期和中期各种汽车保有量的增长率参数。详见表6-1假定条件如下：

表6-1 各种汽车保有量的增长率参数

年份	预测项目	北京市	12个清洁汽车示范城市	全国	
2001~2005年	载货汽车年均增长率：	1%	2%	--	
	客车年均增长率：	轿车增长率：	15%	12%	--
		出租车增长率：	5%	5%	5%
		公交车增长率：	8%	6%	5%
		其它客车增长率：	10%	10%	--
2005~2010年	载货汽车年均增长率：	1%	2%	3%	
	客车年均增长率：	轿车增长率：	10%	10%	10%
		出租车增长率：	3%	3%	--
		公交车增长率：	5%	5%	--
		其它客车增长率：	5%	5%	--

●预测方法

对汽车总保有量的预测，首先确定了各类汽车增长率参数，然后加以计算获得；对于清洁汽车的预测，由于清洁汽车保有量历史数据较少，未来发展的不确定性较大，因此采用了专家预测方法。

6.1.3北京市汽车保有量预测

北京市作为典型城市，汽车保有量快速增长的趋势表现得尤为突出，九十年代以来其平均增长率超过15%，在1994-95，1996-97年间表现得尤为明显，其年增长速率超过了20%。但1998年之后，增长速度呈下降趋势，1997-98年度约增长12%，1998-99年度约增长10%。近几年增长最快的为轿车、微型客车等车型。其他车型增长速度较小。

北京市车型结构情况可以从两个角度分析，一是北京市城区的车型结构；二是整个北京市的车型结构。根据一份统计资料推算，在北京市城区运营车辆中，小型车辆（包括轿车、吉普车和微型客车）占绝大多数，相当于总运营车辆的80%左右。按照轿车、客车和载货车三种车型分类，其比例分别为49.3%，45.5%，5.2%。整个北京市的车型结构可根据北京市汽车保有量数据推测，1999年轿车、客车和货车的比例分别为44.0%、34.6%、21.4%。也即城区货车比例远低于整个北京市的比例。

另外一个值得注意的现象是出租车和公交运营车的行驶里程和保有量变化情况。出租车和公交运营车的行驶公里数较大，出租车年行驶里程为8-10万公里，公交车（包括小公共汽车）年行驶里程为6万公里左右。北京市公交车辆在95年之前数量基本上没有什么变化，而在95年之后则有很大幅度的增长，这与大力发展公共交通的政策是密切相关

的，到2000年3月底达到0.9万辆。而出租车的增长趋势则有所不同，它在90年代初期增长速度较快，但从92年以来就一直稳定在6-7万辆的水平，到2000年底达到7.3万辆。这主要是由于行政限制（牌照限制）的缘故。尽管这两类车的保有量所占份额较小，但因行驶里程较大，一般为轿车、客车行驶里程的3-4倍，因此排放物分担率比重较大，是城市尤其是市区内的较大流动污染源。

汽车保有量的结构和运行里程等特性对于决定清洁汽车替代传统汽车的种类产生重要影响；同时，各类清洁汽车自身的技术特性和成本、相应的基础设施投资数量也对清洁汽车替代传统汽车的种类产生作用。

北京市汽车保有量和清洁汽车保有量预测结果详见表6-2，6-3。

6.1.4 12个试点城市汽车保有量预测

预测结果详见表6-4，6-5。

6.1.5 全国汽车保有量预测

预测结果详见表6-6，6-7。

表6-2 北京市汽车保有量预测 单位：万辆

年份 项目		1999	2000	2005	2010
		轿车	合计	41.6	47.8
	出租	7.3	7.6	9.7	11.3
客车	合计	32.7	35.9	57.9	73.8
	公交	0.9	1.0	1.4	1.8
载货车		20.2	20.4	21.5	22.6
总计		94.5	104.1	175.6	251.3

表6-3 北京市清洁汽车保有量预测 单位：万辆

年份 项目		1999	2000	2005	2010
		LPG 汽车	合计	1.7	2.22
	出租	1.4	1.7	7.2	7.0
	公交	0.3	0.5	0.7	0.8
	其它		0.02	3.0	8.0
CNG 汽车	合计	0.04	0.1	6.5	10.0
	出租			1.0	1.5
	公交	0.04	0.1	0.5	0.5
	其它			5.0	8.0
醇类 汽车	合计			3.4	6.0
	出租			0.3	0.8
	公交			0.1	0.2
	其它			3.0	5.0
电动 汽车	合计			0.35	2.1
	出租				
	公交			0.05	0.1
	其它			0.3	2.0
混合 动力 汽车	合计			0.8	6.2
	出租			0.2	1.0
	公交			0.1	0.2
	其它			0.5	5.0
燃料 电池 汽车	合计			0.3	5.1
	出租				
	公交				0.1
	其它			0.3	5.0
总计	合计	1.74	2.32	22.25	45.2
	出租				
	公交				
	其它				

表6-4 12个示范城市汽车保有量预测 单位：万辆

年份		1999	2000	2005	2010
项目					
轿车	合计	171.4	192.0	338.3	544.8
	出租	22.3	23.4	29.9	34.7
客车	合计	70.9	77.9	125.5	160.2
	公交	4.5	4.7	6.3	8.1
载货车		114.3	116.3	128.4	141.8
总计		356.6	386.2	592.2	846.8

表6-5 12个示范城市清洁汽车保有量预测 单位：万辆

年份		1999	2000	2005	2010
项目					
LPG 汽车	合计		6.4	31.5	43.5
	出租		5.5	16.5	15.0
	公交		0.7	3.0	3.5
	其它		0.2	12.0	25.0
CNG 汽车	合计		1.2	24.5	37.5
	出租		0.5	7.5	10.0
	公交		0.4	2.0	2.5
	其它		0.3	15.0	25.0
醇类 汽车	合计			15.5	27.0
	出租			3.0	6.0
	公交			0.5	1.0
	其它			12.0	20.0
电动 汽车	合计			1.1	8.3
	出租				
	公交			0.1	0.3
	其它			1.0	8
混合 动力 汽车	合计			6.2	19.5
	出租			1.0	3.0
	公交			0.2	0.5
	其它			5.0	16
燃料 电池 汽车	合计			5.1	16.2
	出租				
	公交			0.1	0.2
	其它			5.0	16
总计	合计		7.6	83.9	152.0
	出租		6.0		
	公交		1.1		
	其它		0.5		

表6-6 中国汽车保有量预测 单位：万辆

年份		1999	2000	2005	2010
项目					
轿车	合计	465	540	1050	1543
	出租	79.1	83.1	106.2	135.5
客车	合计	310.9	350	620	791
	公交	20.6	21.6	27.6	35.2
载货车		677.1	750	920	1067
总计		1453	1640	2590	3401

表6-7 中国清洁汽车保有量预测 单位：万辆

年份		1999	2000	2005	2010
项目					
LPG 汽车	合计			68.9	104.8
	出租			29.3	35.1
	公交			6.6	9.1
	其它			33	60.6
CNG 汽车	合计			53.6	90.4
	出租			13.3	23.4
	公交			4.4	6.5
	其它			35.9	60.5
醇类 汽车	合计			33.9	65.1
	出租			5.3	14.1
	公交			1.1	2.6
	其它			27.5	48.4
电动 汽车	合计			2.4	20
	出租				
	公交			0.2	0.8
	其它			2.2	19.2
混合 动力 汽车	合计			13.6	47
	出租			1.8	7.0
	公交			0.4	1.3
	其它			11.4	38.7
燃料 电池 汽车	合计			11.2	39
	出租				
	公交			0.2	0.8
	其它			11	38.2
总计	合计			183.6	366.3
	出租				
	公交				
	其它				

6.2 清洁汽车产业的环境效益评估

6.2.1 环境效益评估的基本前提和假设

●评估周期分为短期（2001-2005年）、中期（2006-2010年）和长期（2011年之后）三个阶段。短期和中期评估主要通过数量方法，长期评估主要采用定性描述方法评估。

●假定被替代传统汽车与清洁汽车的运行工况相同，劣化规律和技术发展水平同步，因而减排比为常值。

●评价方法采用全周期法（LCA），除汽车自身产生的污染外，还包括所用燃料的生产、分销和储运等环节造成的环境污染，这主要体现在相关参数的确定方面。

●排放效益采用模型计算方法评估；温室效应问题作简要的定性描述。

6.2.2 排放效益模型构建与参数测算

●排放效益测算模型构建

假定 i, j 分别表示第 i 种传统汽车和第 j 种清洁汽车，其中：

$i=1$ (出租车)，

2(公交车)

3(其它)；

$j=1$ (CNG汽车)

2(LPG汽车)

3(醇醚类汽车)

4(混合动力车)

5(电动车)

6(燃料电池汽车)。

e_i^t 表示第 i 种传统汽车行驶每公里的排放相对数量（设定轿车行驶每公里的排放相对量为 1），数据通过专家会议法获得。

n_i^t 表示第 i 种传统汽车保有量，数据通过预测获得。

假定 m_i^t

表示第 i 种传统汽车每年行驶公里的相对数（设定轿车每年的行驶公里数为 1），数据参照傅立新等人对“北京市机动车污染物排放特征”研究的有关资料测定。

$$q_i^t = e_i^t \cdot n_i^t \cdot m_i^t \quad (i=1,2,3) \quad (1)$$

q_i^t 表示第 i 类传统汽车每年排放的相对数量。

$$Q^t = \sum q_i^t \quad (2)$$

Q^t 表示传统汽车排放的相对数量。

a_{ij}^{c-t} 表示用于替代第 i 种传统汽车的第 j 种清洁汽车行驶每公里的减排比率，数据通过前面部分研究获得。

$$e_{ij}^{c-t} = e_i^t \cdot a_{ij}^{c-t} \quad (3)$$

表示用于替代第 i 种传统汽车的第 j 种清洁汽车行驶每公里的减排相对数量。

n_{ij}^c 表示第 j 种清洁汽车替代第 i 种传统汽车的数量，也即该种清洁汽车的保有量，数据通过预测获得。

m_{ij}^c

表示用于替代第 i 种传统汽车的第 j 种清洁汽车每年行驶公里的相对数，（设定轿车每年的行驶公里数为 1），数据参照傅立新等人对“北京市机动车污染物排放特征”研究的有关资料测定。

$$q_{ij}^{c-t} = e_{ij}^{c-t} \cdot n_{ij}^c \cdot m_{ij}^c \quad (i=1,2,3; \quad j=1,2 \dots 6) \quad (4)$$

q_{ij}^{c-t} 表示第 j 种清洁汽车替代第 i 种传统汽车所产生的减排量。

$$Q^{c-t} = \sum q_{ij}^{c-t} \quad (i=1,2,3 \quad j=1,2 \dots 6) \quad (5)$$

Q^{c-t} 表示清洁汽车产业所产生的减排相对量。

最后，我们可以定义清洁汽车产业所产生的排放效益计算公式为：

$$\text{排放效益} = Q^{C-T} / Q^T \quad (6)$$

●基本参数

见表6-8，6-9，6-10；

表6-8 轿车、客车和货车的相关参数

	排放物种类	轿车	客车	货车
各类车排放的相对量 (以轿车为1)	CO	1	10.4	10.4
	HC+NX	1	25.5	25.5
	颗粒物	1	25	30
行驶里程		3.1	2.2	2.2

表6-9 清洁汽车替代轿车、客车和货车的减排比率

	CO			HC+NO _x			颗粒物		
	轿车	客车	货车	轿车	客车	货车	轿车	客车	货车
LPG	0.477	0.5635	0.5635	0.334	0.675	0.675	1	0.8	0.8
CNG	0.678	0.646	0.646	0.591	0.7345	0.7345	1	0.8	0.8
醇类	0.13	0.01	0.01	0.185	0.2175	0.2175	1	0.8	0.8
电动	0.99	0.99	0.99	0.814	0.814	0.814	1	0.9	0.9
混合动力	0.747	0.747	0.747	0.86	0.86	0.86	1	0.9	0.9
燃料电池	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9

表6-10 清洁汽车替代其它类车的比例

	轿车	客车	货车
LPG汽车	0.2	0.4	0.4
CNG汽车	0.3	0.4	0.3
醇类汽车	0.3	0.3	0.4
电动汽车	0.4	0.5	0.1
混合动力汽车	0.4	0.4	0.2

燃料电池汽车	0.5	0.4	0.1
--------	-----	-----	-----

注：上述替代比例通过专家预测法获得。

出租车、公交车的年行驶里程分别为7万公里、6万公里。

6.2.3 北京市清洁汽车产业的环境效益案例分析

●第一步：2005年、2010年北京市清洁汽车占汽车总量的比例分别为13%和18%；北京市汽车保有量和清洁汽车保有量和车型结构情况，详见图6-3，6-4；

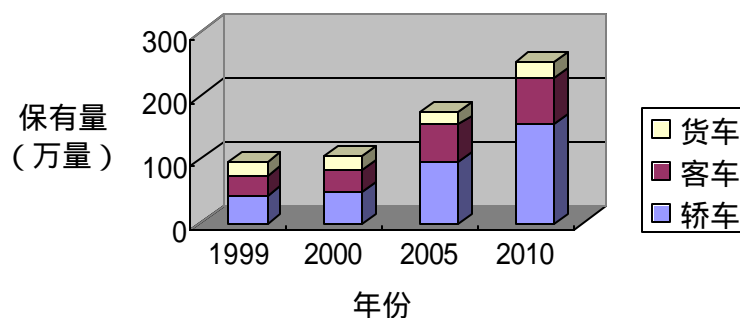


图6-3 北京市汽车保有量及车型结构情况

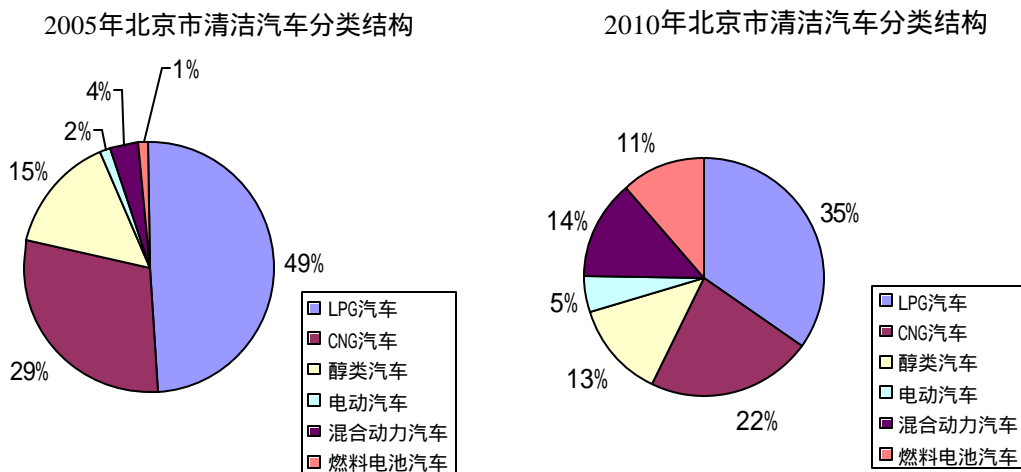


图6-4 北京市清洁汽车保有量分类结构图

●第二步：按给出的基础参数，计算出出租车、公交车和其它类车型的排放相对量。清洁汽车所替代的其它类车型主要包括邮电、环卫、工程等城市专用车以及公务用车等车型。

●第三步：将基础数据和相应参数带入模型计算。

计算结果详见表6-11

表6-11 北京市清洁汽车的排放效益

项目	CO	NO _x	颗粒物
年份	(%)	(%)	(%)
2005	7%	4%	10%
2010	11%	6%	15%

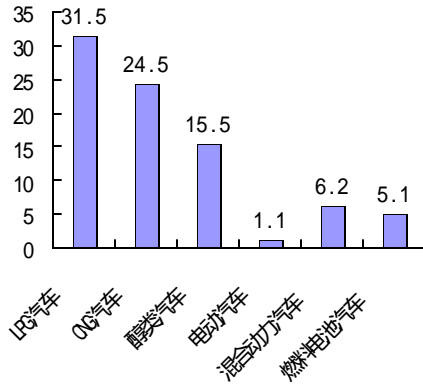
影响排放效益的主要变量包括清洁汽车保有量、分类结构及清洁汽车行驶里程等，从2005年到2010年，清洁汽车保有量占汽车总保有比例增加了5%，并且LPG、CNG和醇类汽车比例降低了23%，超低排放类清洁汽车（包括电动、混合动力和燃料电池汽车）比例增加了23%，因此产生了较为明显的排放效益。当未来汽车排放达到超低排放标准时，大幅度提高清洁汽车的保有量可能是满足法规要求的唯一有效途径。

6.2.4 清洁汽车产业的环境效益评估---“12个示范城市”

●第一步：2005年、2010年12个示范城市清洁汽车保有量占汽车总量的比例分别为14%和18%；12个示范城市汽车保有量和清洁汽车保有量和车型结构情况，详见图6-5,6-6；

●第二步：按给出的基础参数，计算出出租车、公交车和其它类车型的排放相对量。

2005年12个示范城市清洁汽车分类结构



2010年12个示范城市清洁汽车分类结构

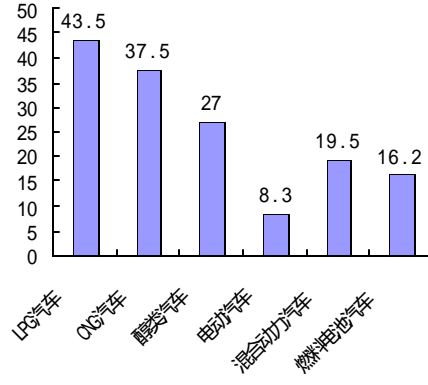


图6-5 12个示范城市清洁汽车保有量分类结构图

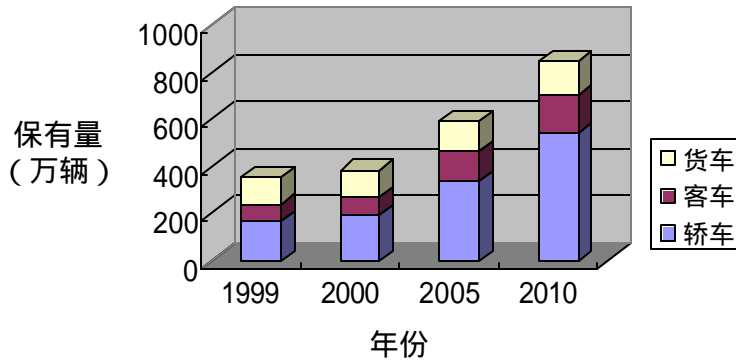


图6-6 12个示范城市汽车保有量及车型结构情况

●第三步：将基础数据和相应参数带入模型计算。

计算结果详见表6-12。

表6-12 12个示范城市清洁汽车产业的排放效益

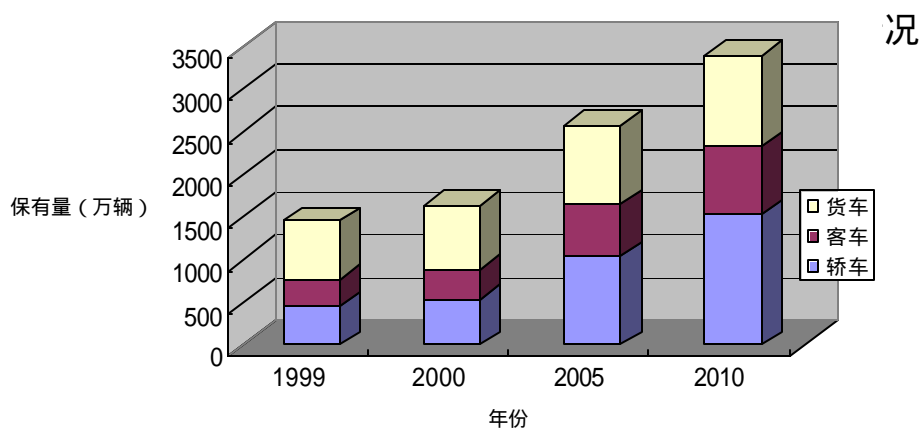
项目	CO	HC+NO _x	颗粒物
年份	(%)	(%)	(%)
2005	8%	6%	12%
2010	11%	7%	16%

12个示范城市的排放效益与北京市情况基本相同，这与影响变量数值相近的事实相一致。

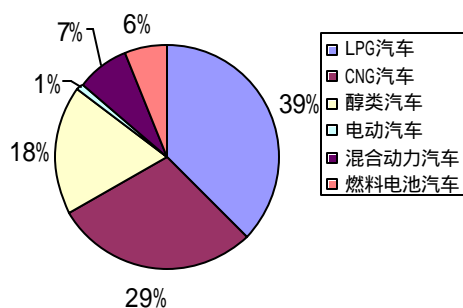
6.2.5 清洁汽车产业的环境效益评估---全国范围

●第一步：2005年、2010年全国洁汽车保有量占汽车总量的比例分别为7%和11%；全国汽车保有量和清洁汽车保有量和车型结构情况，详见图6-7，6-8；

●第二步：按给出的基础参数，计算出租车、公交车和其它类车型的排放相对量。



2005年全国清洁汽车分类结构



2010年全国清洁汽车分类结构

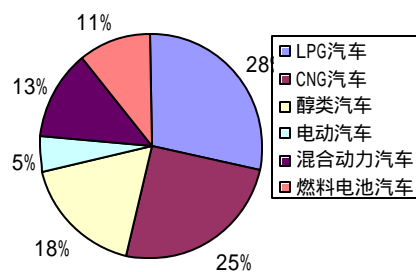


图6-8 全国清洁汽车保有量分类结构图

●第三步：将基础数据和相应参数带入模型计算。

全国清洁汽车排放效益低于12个示范城市的结果，一是因为全国清洁汽车保有量比例（11%）低于12个示范城市（18%）。结果详见表6-113。

表6-13 清洁汽车产业的排放效益

项目	CO	HC+NO _x	颗粒物
年份	(%)	(%)	(%)
2005	2%	2%	6%
2010	3%	4%	9%

6.3 能源效益分析

6.3.1 燃油经济性

由于清洁汽车的应用，减少了传统燃油消耗量，提高了燃油经济性。因这方面的分析由另外专题报告完成，在此不再赘述。

6.3.2 清洁汽车产业对能源结构的影响分析

清洁汽车的应用充分利用各种能源，减少了对石油资源的过分依赖。而且可以有效利用调峰电量，提高了电能的利用效率。同时，由于对醇类燃料的需求，促进了煤炭洁净高效利用。

总之，清洁汽车的利用对改善能源结构，提高能源安全性起到了积极的推动作用。

7 促进中国清洁汽车产业发展的政策建议

清洁汽车的发展是集“燃料”、“汽车”、“供应站”于一体系统工程，因而中国发展清洁汽车所产生的社会、经济、环境及能源效益是整个系统的贡献，而不仅仅是由“汽车”单一环节产生。因此在政策制定中，应统筹考虑清洁汽车产业的各个环节的成本和效益，以制定合理的政策给予扶植和支持。

7.1 清洁汽车政策现状及存在问题分析

7.1.1 政策现状

我国政府深刻认识到日益严重的环境问题和国家能源结构亟待改善的严峻局面，在治理汽车排放污染问题，改善我国能源消耗结构方面，国家有关部委相继制定了一些限制性或鼓励性的政策法规，以降低机动车排放、保护大气环境，这些举措收到了一定成效。

1999年，由科技部、国家环保总局、国家计委、国家经贸委、教育部、国家机械工业局等13个部委发起，一些省市政府和部分大型企业集团参与的“空气净化工程--清洁汽车行动”正式实施，并成立了国家清洁汽车领导小组。提出了“清洁汽车行动”的总体目标、指导原则、工作思路、有关要求等方面的宏观指导性意见，对关于组织管理、生产企业、标准法规、产品和运营管理、技术保障、示范城市和有关政策等做出了具体规定，初步确定了12个清洁汽车示范城市。

目前，国家推进清洁汽车产业化发展的有关政策主要集中在以下几个方面：

- 环保政策

进入八十年代以来，机动车排气污染控制在各级政府的支持下已在全国各地陆续展开。从1995年《中华人民共和国大气污染防治法》第一次修订以后，以北京市为代表的一批大城市发布了更严格的环保法规。随着1999年《中华人民共和国大气污染防治法》的修订和2000年新的《中华人民共和国大气污染防治法实施细则》的制定，我国已逐步制定并正在完善治理机动车污染的环保法规。目前，国家环保总局、科技部和国家机械工业局已联合发布了《机动车排放污染防治技术政策》，对新生产汽车、摩托车及其发动机产品、在用汽车及其排放控制技术、摩托车和车用燃料等作出了一系列规定。

推广使用清洁能源是实现清洁汽车行动的一个重要环节，我国政府对提升燃油品质十分重视，国务院办公厅国发办[1998]129号文（关于限期停止生产、销售使用含铅车用汽油的通知），要求全国2000年1月1日停止生产70#汽油和含铅汽油，这一目标已顺利完成。国家环保总局制定的《车用汽油有害物质控制标准》，对汽油中烯烃含量和芳香烃含量提出了具体要求。目前，国家正在修订轻柴油标准。同时，各地方政府以及一些企业也制定了自己的天然气和液化石油气的品质标准。

●能源政策

中国现行能源政策的总体目标是：大力调整能源结构，降低煤炭直接消费比例，鼓励采用清洁煤技术；大幅度提高天然气、水电消费比例；逐步对石油进行保护性开发；鼓励开发高效、洁净、经济的新能源。其中，近期国家重大工程—

“西气东输工程”及其政策、鼓励开发和利用煤制甲醇技术等相关政策措施将对清洁汽车的发展创造良好的条件。

●技术标准

到目前，国家技术监督局共组织制定汽车领域国家标准约279项，行业标准539项，包括了术语、互换性、试验方法、试验设备及条件、性能要求等方面的内容。

在燃气汽车方面：现已制定出“天然气和液化石油气汽车国家标准体系表”，其中技术标准包括：基础、整车、专用装置及部件、车用储气瓶及附件、气体质量、加气站和售气机共约34项标准，其中有：

GB/T 17676-1999天然气汽车和液化石油气汽车标志

GB 17258-1998车用压缩天然气钢瓶

GB 17259-1998机动车用液化石油气钢瓶等多项标准已发布实施。

在电动汽车标准方面，目前正在制定和准备颁布的标准主要包括：整车、电池和电机及其控制系统三方面。

混合动力汽车的标准制定目前正处于研究拟定阶段。

为保护环境，改善大气质量，国家技术监督局根据我国原有标准的情况，结合联合国欧洲经济委员会ECE法规，组织制定了四项燃油汽车排放标准，分别是GB14761-

1999汽车排放污染物限值及测试方法、GB3847-

1999压燃式发动机和装用压燃式发动机的车辆排气污染物限值及测试方法、GB17961-

1999压燃式发动机和装用压燃式发动机的车辆排气污染物限值及测试方法、GB/T17962-

1999汽车用发动机净功率测试方法。这四项标准制定后，我国汽车排放标准体系在标准数量和技术要求方面都与ECE法规协调一致。

●基础设施政策

政府对清洁汽车产业的基础设施及道路、交通设施的建设十分关注。在《关于实施“空气净化工程-

清洁汽车行动”的若干意见》中，明确提出：加气站及配套设施是燃气汽车运营的基础条件，试点示范城市要予以充分重视，要编制加气站及配套设施建设规划，保证车辆改装与加气站建设同步进行。对车用燃气加气站与输气管线要加强统一管理和安全监察，保证运营安全与燃气质量。

同时公安、交通和城建部门大力发展交通道路工程，前一阶段在全国开展了“道路畅通工程”，并卓有成效地进行了ITS的推广实施。

●财政税收政策

为保护生态环境，促进低污染排放汽车的生产和消费，推进汽车工业技术进步，经国务院批准，财政部和国家税务总局发出通知，对低污染排放汽车实行减征30%消费税的政策。并计划对加气站建设的投资方向调节税进行减免工作。对部分或全部改装双燃料（单燃料）汽车的改装费用提供政府财政补贴，燃气汽车的运行税费享受优惠，并运用行政手段调控燃气价格，控制油气之间的价差。为加大实施清洁汽车的力度，国家要求各级政府设立清洁汽车发展资金予以支持，引入新的机制，广泛吸纳国内外资金，共同参与相关基础设施的建设和开发。科技部有关科技计划和中小企业创新基金，向清洁汽车产业倾斜。目前国家税务总局正会同有关部门对清洁汽车产业进行深入考察，以进一步制定更为有效、合理的税收政策。

●组织、生产管理政策

在组织管理方面：国家成立了全国清洁汽车行动领导小组，由相关部委的主要领导同志组成；12个清洁汽车示范城市则组成了由主要市级领导负责的地方清洁汽车领导机构。

在生产管理方面：国家要求将生产燃气汽车、混合动力汽车和电动汽车的企业及其产品，应按汽车工业产业政策的要求，纳入全

国汽车、民用改装车和摩托车生产企业及其产品目录的管理范围，统一规划。并对在用车改装燃气汽车的企业资格认定、技术标准、技术人员等作出了一系列规定，同时要求严格燃气汽车的管理制度，确保燃气汽车的运行安全。

●科技政策

“九五”期间，国家组织了对清洁汽车关键技术攻关招标工作，鼓励高科技企业进行技术开发和创新。各地政府相继组建了一些燃气汽车的技术研发中心和培训中心，为燃气汽车的推广应用工作提供技术和人才的长久支撑。我国政府还开展了积极的国际交流与合作，并签署了相关的燃气汽车技术国际合作协议。

随着上述政策和法规的逐步深入实施，我国的清洁汽车产业也步入了一个良性发展阶段，主要表现在：

●全国清洁汽车保有量稳步大幅增加，相关配套基础设施不断增加。目前，12个示范城市的清洁汽车保有量为：7.6万辆，预计到2005年，将突破83万辆。

●各地对清洁汽车产业的资金投入不断增加，资金来源不断扩展。

●大专院校、科研院所和汽车企业的科研积极性增加、力度加大。通过产学研合作方式，加速发展燃气汽车相关零部件、尾气三元催化转化等成熟技术，并促进其产业化。

7.1.2 存在问题

经过我们对12个清洁汽车示范城市函调和派员实地考察，并组织专家开会研讨，发现在清洁汽车行动的启动实施过程中也存在一些问题，值得国家和各地政府注意：

●目前对清洁汽车产业发展的关注较单一地集中在燃气汽车产业化上，缺乏一个总体的具有前瞻性的国家汽车发展计划，国家应

制定一个通观全局的清洁汽车发展计划和发展阶段时间表，并不断对一些关键技术给予前期的科研、资金、人员等方面的投入，以便形成后续的良好发展循环。虽然国家制定了一些关于混合动力汽车和电动汽车等的科研计划，但各地政府明显组织准备不足，对清洁汽车的长远发展没有充分认识。

●从推进清洁汽车产业化的角度看，缺乏系统的、全面的科技、财税、投资的政策。清洁汽车的发展应该是一项政府行为，需要政府通过政策和法规的手段给予扶持。特别是国家税务部门应有一定的优惠政策，目前没有落实，而这个问题是地方政府无能为力的。

●尽管各地建立了安全保障体系，制定了一些管理规定和标准，从长远看，由于这些标准的多样性，必将导致日后管理和技术进步上的不便，但目前我国还没有制定出一系列完整的全国统一的技术标准和安全保障体系。

7.1.3 政策建议的着眼点

清洁汽车产业是一项长期复杂，但利国利民的社会公益事业。为推动其不断发展壮大、快速增长，各级政府的有关部门在制定相关的产业政策时，应着眼于如何能够有效地使清洁汽车产业持续健康地发展，既能行之有效地解决目前发展中遇到的迫切需要解决的问题，又能考虑到长远的发展规划。

7.2 政策建议

7.2.1 研究制定“国家未来汽车发展计划”

汽车产品是一种特殊的社会化产品，没有任何一种产品象汽车一样具有如此高的社会关联性，它与社会环境、能源、安全、技术

及经济紧密相关，这就决定了一方面汽车技术的提升对社会影响重大；另一方面它又是庞大的系统工程，政府的主导作用至关重要。

参照美国PNGV (Partnership of New Generation Vehicle) 和英国 FVP (Foresight Vehicle Programmer) 计划，结合中国汽车工业实际情况，建议发挥政府主导作用，制定我国未来汽车发展计划。研究提出国家未来汽车发展目标；明确发展思路和基本原则；选择合适的技术路线；制定具体保障措施，并组织产业界、科研机构（含大学）、投资机构、社会团体和相关政府部门及国外合作伙伴等各方面资源，分工协作，共同参与，保证未来汽车计划实施效果。

7.2.2 制定更加严格的分阶段排放限制法规

在开发推广清洁汽车的同时，应对传统燃油汽车的排放进行更加严格的限制，可结合欧洲排放法规，规定：所有轻型汽车（含轿车）的排放控制水平，应于2004年前后达到欧2水平，2010年前后争取与国际排放水平接轨；重型车（最大总质量大于3.5吨）与摩托车的排放控制水平，2001年前后达到相当于欧1水平，2005年前后柴油车达到相当于欧2水平，2010年前后争取与国际排放控制水平接轨。

在中国特定的发展阶段，机动车的污染控制是一个长期的逐步过程，具体措施应根据各地污染水平和控制能力，进行分类：1、重点控制地区。这类地区是指经济发达，机动车保有量增长迅速，空气质量严重超标，交通流量长期超负荷运行，且短期内难以改变的地区，如北京、上海、广州等地。2、个别特殊地区。这类地区是指经济欠发达，机动车保有量较少，基本没有空气污染问题的个别地区，如：西藏、青海等地。3、一般控制地区。除上述两类地区以外的地区，均属于一般控制地区。照国外的经验，对于车辆比较集中和污染比较严重的重点控制地区，应抓紧制定地方环保法规和

汽车排放标准，例如北京、天津、上海、重庆、深圳等地，应该率先制定这样的法规和标准，它们应比全国性的法规和标准更严格。对于申请、销售的汽车必须符合法规要求，否则不准销售，不予上牌照。这样对于一些生产技术相对落后的企业，或不重视汽车排放技术研究的生产企业有优胜劣汰的作用，同时也能不断促进企业进行清洁汽车技术研究的不断进步。

7.2.3 研究制定分阶段车辆燃油消耗限值标准或法规

车辆燃油消耗水平和其环境和能源效益直接密切相关。我国目前水平较低，国家应学习美国、日本经验，研究制定适合中国条件的车辆燃油消耗限值标准或法规，并逐步实施。中国汽车燃油经济性前期研究课题已论述，此略。

7.2.4 制定合理、有效的财税优惠政策。

为了推动清洁汽车的研究开发、市场销售及推广应用，政府应制定相应的法规政策，给予适当的鼓励和扶持，并投资兴建基础设施。

- 将加气站等清洁汽车应用的基础设施的建设和布点规划纳入当地政府城市总体规划，保证建站用地需要，必要时，可运用行政划拨手段。加气站建设投资方向调节税实行零税率，竣工验收之后，自投产之日起3~5年内免征其所得税；免除其所有行政事业性收费；加气站所用原料天然气或液化石油气价格，参照国家规定的工业用气价格标准酌情制定；运用市场经济杠杆，使天然气和液化石油气与汽、柴油保持一定的差价（30~50%）。

- 根据财政部、国家税务总局关于对低污染排放小汽车减征消费税的通知，达到欧2标准的汽车，减免30%消费税。建议，达到欧3标准的汽车，减免40%消费税；达到欧4或美国加州汽车超低排放

限值标准的汽车，减免50%消费税。对于清洁汽车的购置（目前主要是燃气汽车），免收其排污费，减免清洁汽车的停车场费；给予维护维修优惠等等。与此对应，对购买排污较严重的传统燃油汽车的用户征收较高的消费税，同时建议国家增加开征营业性机动车流动污染源超标排污费项目，从而，引导汽车消费走向，推广清洁汽车的应用。

●参照对低污染排放小汽车减征消费税的政策精神，制定并实施低燃油消耗的税收优惠政策，鼓励低耗燃油汽车和清洁汽车的发展。

●对于将燃油汽车改装成LPG、CNG或醇类等清洁汽车，政府可给予一些补贴，如：一次性现金补贴等。

●对于研究开发清洁汽车的企事业单位、科研机构、大转院校，则给予费用补贴或提供低息贷款或贷款贴息。制定相应政策，支持特殊用途的电动汽车、电池、代用燃料汽车的研究开发和应用。鼓励外商投资科研开发清洁汽车的高新设备，政府实行补贴（或免税五年，减税50%）的优惠政策。

●对清洁汽车专用装置生产和购置，技术引进设备进口按高科技产品对待，给予一定程度的减免税。生产清洁汽车及专用件的企业，给予3年流动资金低息贷款政策。鼓励外商投资清洁汽车及其专用零部件生产，享受开发区（减、免税）政策。

7.2.5 逐步建立与国际接轨的标准体系。

标准化是以科学技术和实践经验为基础，应用简化、统一、协调、优选的原则，把科研成果和先进技术转化为标准，并加以实施。标准化是国民经济和社会发展中一项重要的技术基础工作，是推动汽车工业发展和技术进步不可缺少的方面，它是发展中国清洁汽车的重要技术保障。

标准、安全体系的建立应考虑如下几个方面：安全性、互换性、技术条件、试验方法、基础标准、整车标准、零部件标准等，对于燃气汽车还要有气体标准、车用储气瓶标准、建站标准，在我国大中城市要发展燃气汽车产业，子母站和油气混合站技术至关重要，因此应给予高度重视。

应尽快改变清洁汽车标准滞后于产业发展的现状。在制定清洁汽车标准时，既要与国际标准接轨，又要考虑我国环境保护的需要，考虑企业产品质量和市场竞争的需要；要保证标准的技术先进性，充分发挥标准的技术导向作用；应保持标准高度的系统性、完整性，注重成龙配套、协调统一。

7.2.6 研究开征汽车排放污染治理税的可能性

开征汽车排放污染治理税，对于促进汽车技术进步，鼓励清洁汽车发展，限制高污染汽车的使用，加速排放超标汽车的淘汰，最大限度地控制汽车排放污染，改善城市大气环境状况，具有重要意义。同时又可获得专项基金，用于汽车排放和城市空气环境治理。

开征汽车排放污染治理税应遵循如下基本原则：

首先，应不增加汽车生产、销售和使用者的新的负担，应从消费税、购置税或即将开征的燃油税中分列；

其次，应实行合理的差别税率，充分鼓励清洁汽车的生产和使用。

7.2.7

研究制定并逐步强制实施不同用途的车辆清洁汽车使用化率的规划和法规

应针对城市特别是大中城市的出租汽车、公交汽车、大型货运车辆，以及部分专用汽车，制定不同阶段的清洁汽车保有化率的要

求，并强制实施。同时应规定政府部门和燃料提供者的车队必须购买一定数量的清洁汽车，而且购买的数量要逐年增加，例如可参照美国1992年10月美国国会通过的《能源政策法》（EPACT），规定2001年必须有10%是清洁汽车，2005年必须有25%以上，同时也应规定集团购车时必须够买一定比例的清洁汽车。私人拥有和营运20辆以上汽车者，必须购买一定数量的清洁汽车。

7.2.8 研究建立合理的投融资体制

针对如何解决发展清洁汽车产业所需资金的问题，建议国家允许多种资本进入清洁汽车产业，如国外金融资本、国内民营资本等。可建立一些环保性的基金或专项的促进清洁汽车发展的基金会，包括政府或国外大的投资公司建立的风险基金和非赢利性的公益基金，同时还可以充分利用银行的专项贷款，如世界银行的贷款。鼓励各种研究机构进行研究开发关键技术的工作，但应在国家的宏观管理和协调下进行，以避免分散投资、重复建设，同时加强各方的技术、资金交流。对于地方和企业投资的积极性，国家应该给予鼓励，但发展要纳入国家规划，认真加以引导，统一组织实施。

7.2.9 制定对汽车企业的引导约束政策

在制定和实施鼓励汽车生产和使用的优惠政策的同时，应借鉴国外政府对汽车企业的引导约束政策，今后可逐步研究制定一个针对各汽车生产企业的“捆绑生产和销售政策”，即汽车生产和销售企业，必须保证清洁汽车有一定的生产和销售份额，否则要接受严厉的制裁。

7.2.10 改善汽车交通行驶状况，加快ITS建设

随着我国经济的飞速发展以及机动车保有量的激增，使现有基

基础设施所能提供的交通供给能力下我国现实和潜在的巨大交通需求相比仍然严重短缺，城市交通堵塞现象日益严重，致使机动车长期处于怠速或低速这种低效率、高排放的状态下，致使城市大气环境污染加剧。因此，加快以信息技术为中心的智能交通系统建设，充分发挥现有基础设施的潜力，提高运输效率，缓解交通堵塞也将成为今后降低汽车排放污染，改善城市大气质量的主要工作之一。

建议国家让科技部、交通部和公安部等相关部委牵头，组织有关高技术企业、科研院所和高校加大ITS研究力度，以及结合目前我国正在进行的道路畅通工程，进一步推广智能交通系统的应用范围。同时，国家应该建设发达的公交、地铁等公共交通系统，以减轻由于私人购车数量剧增所造成的城市大气环境的进一步恶化。

7.2.11 广泛开展国际合作

我国在开展代用燃料汽车、电池技术、实用性电动汽车的研究与应用的同时，要与国外进行广泛的接触与交流。有的项目要寻求合适的伙伴，联合、合作开发，以加速我国在这些领域的研究开发步伐，推动实用化的进程，以支持我国汽车工业形成新的经济增长点。为避免采用的国外技术太分散，不利于今后国产化的专业化生产，因此，要求在选择引进技术方面能够相对集中，提倡“竞争前联合”，以利于国家统一组织技术引进。

7.2.12 进行广泛科普宣传，舆论进行正确引导

发展清洁汽车是一项利国利民的绿色工程，应利用各种媒介（电视、报纸、讲座等，如在中央电视台的科技博览栏目制作系列科教节目，在焦点访谈节目中制作专题报道等多种形式。）广泛进行科普教育，使我国人民认识到发展清洁汽车能够改善城市环境，调整我国能源结构，形成国民经济新的增长点，使全社会都能增强环

保节能意识，支持清洁汽车产业的发展。

7.2.13 理顺推动清洁汽车发展的运作机制

清洁汽车产业发展的技术实施主体是企业，而政府应起到支持和引导作用，应建立规范的管理运作机制，建议进一步加强全国清洁汽车行动领导小组办公室的管理和引导作用，同时吸纳骨干技术企业成员参与管理决策，设置中间性的非赢利性的政府技术支撑单位提供技术咨询服务和进行技术性管理工作，进一步搞好清洁汽车信息网（www.cleanauto.com.cn）的建设，充分发挥互连网的优势，试点示范城市组建由主要市领导负责实施“清洁汽车行动”领导机构，负责地方“清洁汽车行动计划”的组织与实施。同时，可定期召开全国性的清洁汽车产业技术信息交流会，以便充分发挥各方力量的作用，使作为技术实施主体的企业能够有利可图，保持其不断深入研究清洁汽车技术、不断将新技术产业化的积极性，从而达到推动我国清洁汽车产业发展的最终目的。

8结束语

清洁汽车是一个新生事物，中国发展清洁汽车的意义，首先，是改善环境尤其是城市大气污染的一个战略举措；其次是改善能源结构，维护国家经济安全的有效措施；第三，是国家发展汽车产业的一种必然性战略选择。

清洁汽车的产业化发展是一个复杂的系统工程，涉及到政府、企业、国际与国内、技术、金融、环保、相关基础设施等各个方面，这些方面又是相互关联和相互作用的。因此，课题组经过系统研究技术自身发展以及与其相关的其它方面的影响，提出了中国发展清洁汽车产业的重要因素-----

中国清洁汽车技术发展路径。明确了技术实施的主体是企业；政府在其中要起到支持和引导作用。在此前提下，我们完成了中国清洁汽车技术发展路径的研究工作。

本科题在研究过程中，与国家科技部、清洁汽车行动试点示范城市、相关企业的管理人员和有关专家进行了广泛的交流与合作，研究成果以被国家科技部等相关政府部门在制定“十五”规划中充分采纳，并对地方及有关企业制定各自发展战略起到了积极的引导作用。

本课题的圆满完成得益于科技部卓有成效的组织领导和美国能源基金会的大力支持。本课题的完成是同中国汽车技术研究中心、清华大学、吉林工业大学、重庆汽车研究所和北京卡达克汽车技术开发有限责任公司的大力协作和艰苦研究密不可分的。

参考文献

- [1] 苏长荪. 高等工程热力学. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [2] 吴志新. 我国汽车排放状况及对策, 全国汽车排放控制技术研讨会, 1997年, 上海。
- [3] 李洧. 有铅汽油、无铅汽油与汽车排放. 中国汽车工程学会发动机分会1998年会。
- [4] 张科. 试论与产油国合资建设炼油厂得必要性. 国际石油经济, 2000年第3期。
- [5] 卢向前等. 美国及世界炼油工业二十五年回顾与展望. 国际石油经济, 2000年第3期。
- [6] 张红卫等. 燃气汽车排放污染物控制技术水平与对策. 世界汽车, 1998年第12期。
- [7] 王秉刚等. 发展天然气汽车是解决能源和环境保护问题的战略性措施. 世界汽车, 1997年第12期。
- [8] 李揆等. 开展混合动力汽车的研究刻不容缓. 汽车技术, 1997年第5期
- [9] 孙逢春等. 电动汽车. 北京: 北京理工大学出版社, 1997。
- [10] 陈小复. 电动车、复合动力电动汽车和燃料电池. 上海汽车, 1997年第8期。
- [11] 黄震. 超低排放二甲醚(DME)燃气汽车研究开发. 国际燃气汽车技术研讨会, 2000年, 上海。
- [12] 棚泽, 正澄. 汽车的环境对策以及丰田对电动汽车及代用燃料汽车的开发. 第二界北京国际电动汽车及代用燃料汽车技术专题报告, 1998。
- [13] 俞伯伟等. 清洁汽油的应用与发展及发动机油质量的要求. '98上海清洁汽油与环境国际研讨会。

[14]姚国欣.加速成品油升级换代迎接“入世”后得新挑战.国际石油经济.2000年第3期。

[15]全国清洁汽车行动协调领导小组.国家燃气汽车重要文件及相关标准汇编.2000年,北京。

[16]中国汽车技术研究中心、中国汽车工业协会.2000中国汽车工业.2000年,天津。

[17]中国统计年鉴编委会.中国统计年鉴1999.中国统计出版社,1999年,北京。

[18]中国统计年鉴编委会.中国统计年鉴2000.中国统计出版社,2000年,北京。

[19]Richard L.bechtold. Alternative Fuels Guidebook. SAE,INC 1997

[20]John G.Ingersoll. Natural Gas Vehicles. The Fairmot Press, INC 1997

[21]E.Larrode et.al The Electric Automobile. SAE Paper 981135

[22]Walter Kreucher. Energer, Environment,and Economics-Balancing Resources and Technology for a Batter Tomorrow, EV/SFV TECH PSE Beijing '96

[23]P.L.Daum. Alternative Fuel Vehicles. Beijing EV &SFV TECH PSE '98

[24]Kathleen C.Taylor. PEM Fuel Cell Technology for Transportation Applications. GM-China Electric Vehicle Program.

[25] T.H.Fleisch et al, DME the Diesel Fuel for 21st Century? Presented at AVL Conference Engine and Enverionment 1995,Graz Austria.