

本书第一版荣获中国机械工业科学技术二等奖

先进电动汽车技术

XIANJIN DIANDONG QICHE JISHU

第二版

陈全世 主编 朱家琰 田光宇 副主编



化学工业出版社

本书第一版荣获中国机械工业科学技术二等奖

先进电动汽车技术

XIANJIN DIANDONG QICHE JISHU

第二版

陈全世 主编 朱家璠 田光宇 副主编



YZLI0890201027



化学工业出版社

定价：28.00元

·北京·

元 00.22 份 三

本书是作者所在研究团队（清华大学电动车辆研究室）多年来从事纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车的工作体会和经验总结。作者期望通过该书出版与广大读者交流与分享。

本书第一版出版后五年来，电动汽车技术取得许多新进展，作为第二版，就这些新发展，如电池、充电系统、电动车辆运行管理模式、电动车辆在特种车辆中的应用以及国内外电动汽车标准与规范等方面进行全面修订与补充。

本书可供广大从事电动汽车相关领域工程技术人员、管理人员和科研人员参考，也可作为高等院校车辆工程专业本科生和研究生的选修课教材，还可作为其他专业如机械、电机、材料等本科生和研究生教学参考书使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

先进电动汽车技术/陈全世主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-122-15672-3

I. ①先… II. ①陈… III. ①电动汽车 IV. ①U469.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 247995 号

责任编辑: 朱 彤
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 3/4 字数 529 千字 2013 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《先进电动汽车技术》第一版自2007年3月出版以来,恰逢国内外大力研发和推广应用以电动汽车为代表的新能源汽车浪潮,承蒙广大读者关心和厚爱,在社会和读者中产生了积极反响。该书2009年被评为第十届中国石油和化学工业优秀科技图书一等奖,2010年本书荣获中国机械工业科学技术二等奖。

在第一版出版后的5年来,电动汽车技术开始从研发逐渐走向产业化,许多新技术、新材料、新结构、新车型不断涌现,电动汽车产业的商业化创新模式也有了飞速发展,因此,对第一版中的内容就有了更新要求。本书对每一章内容都进行认真审查和更新,尽可能将最新技术和创新成果反映在本书中。

动力电池是电动汽车产业化的最大瓶颈之一,也是近期发展最快、成果最多的领域,因此本书中第4章动力电池系统增加新内容最多,包括目前应用广泛的正极材料为磷酸铁锂、锰酸锂、三元(锰-钴-镍)锂离子电池的性能对比,以及聚合物锂离子电池、电容型锂离子电池等新型锂离子电池。本书还对全球锂资源储藏和生产情况进行了简要介绍。此外,本书还简要介绍了锂-空气电池的基本原理和研发情况。

纯电动汽车、插电式混合动力汽车是近期发展最快的领域,除了乘用车、商用车以外,纯电动工程车、特种车在节能减排的总目标下,也取得了可喜进展。在本书第9章纯电动车辆中,对此进行了补充介绍。

充电系统是关系到电动汽车产业化的关键瓶颈,也是电动汽车推广应用过程中“利益相关方”最多的领域,包括汽车制造商、动力电池生产商、能源(电力)供应商、中间服务商和各级政府。本书第13章中不但介绍了充电系统的关键技术,而且对国内外充电系统建设、运营管理模式进行了介绍,以期引起读者和各“利益相关方”的关注。

技术标准和规范是电动汽车产业化的重要支撑条件。国内外在电动汽车标准方面的竞争也非常激烈,第14章对国内外电动汽车标准体系进行了比较详细的介绍,并收集了迄今为止比较全面的国内外电动汽车标准目录,以供读者查询。

在本书的编写过程中得到了上海教育基金会、威海东生能源科技有限公司、北京精进电驱动有限公司、朝阳立源新能源有限公司、山东沂星电动汽车有限公司、威海广泰空港设备股份公司、上海(北京)电巴新能源科技有限公司、Better Place 中国业务部、北京民航协发机场设备有限公司等单位和个人的大力协助,他们提供了宝贵的技术资料,在此一并表示谢意。

电动汽车技术是近几年来迅速发展的新技术,许多关键技术问题正在研究和解决当中。由于编者知识和水平有限,不足之处在所难免,敬请专家和读者批评指正。

编者

2012年10月

第一版前言

汽车在全球保有量的不断增加使人类面临能源短缺、全球变暖、空气质量水平下降等诸多挑战,同时也推动汽车自身技术的发展,为此汽车工程师正在不断努力研究降低油耗的方法,寻求各种代用燃料以及开发不用或少用汽油的新型车辆;越来越多的人士已认识到各种类型电动汽车和燃料电池汽车是实现清洁汽车的解决方案,全世界的汽车业界也正在为此努力并投入巨大的资金和人力。

本书所论述的先进电动汽车绝不是一百多年前的陈旧电动汽车,或电瓶车技术的重复,它是20世纪末直到目前研究开发出的集机械、电子、汽车、电机、智能控制、化学电源、计算机、新材料等科学领域和工程技术中最新成果于一身,是多种高新技术凝聚的结果。先进电动汽车包括以车载储能装置(包括各种蓄电池、超级电容等)为动力源的纯电动汽车;以电驱动系统(包括车载储能装置和电机)与传统内燃机(包括微型涡轮增压发动机、斯特林发动机等热机)混合的混合动力电动汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV);以氢燃料电池(Fuel Cell)为动力源的燃料电池电动汽车(FCEV)。

电动汽车的最大特点是在行驶过程中很少甚至没有排放污染,热辐射低,噪声低且环境友好。电动汽车可应用多种能源,能节省甚至不消耗汽油或柴油,解决汽车的能源需求问题。毫无疑问,电动汽车是一种节能、环保、可持续发展的新型交通工具,具有广阔的发展前景。

本书主要内容是作者所在的科研团队——清华大学电动车研究室,在国家“八五”~“十五”计划期间的十几年内所承担的国家电动汽车重大项目研究基础上,取得的电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车研究工作的体会和成果。编者力图通过本书将多年的各种研究实践和心得,与有志于从事和希望深入了解先进电动汽车技术的人士进行交流,并希望无保留地与广大读者分享,以推动我国先进电动汽车的技术进步。

本书主要介绍电动汽车的基本构成;关键部件,包括电机及其控制系统、蓄电池、超级电容、氢燃料电池的最新技术;共性技术,电动汽车的高低压电路、整车控制系统、充电站及制氢加氢系统等方面研究进展和发展趋势;3种类型的电动汽车,纯电动汽车、混合动力电动汽车、氢燃料电池电动汽车的结构特点和适用范围;最后介绍了有关电动汽车的标准、法规及相关规范。

本书共分14章。第1、7章由朱家珺编写,第2章由仇斌编写,第3章由宋建国编写,第4章由林成涛、韩晓东编写,第5章由陈勇编写,第6章由常秋英编写,第8章由黄勇编写,第9、10章由朱家珺、陈全世编写,第11章由陈全世编写,第12章由田光宇编写,第13章的13.1~13.5由钱良国编写,第14章由施双蓉编写,其余章节由陈全世编写并担任本书主编。朱家珺、田光宇担任本书副主编。瞿文龙教授对第3章进行了认真审阅,并提出宝贵意见;谢起成教授和博士后江发潮、晏伟光、王健、陈树勇对全书的内容进行系统审阅,提供了有价值的资料,并对插图和参考文献进行核对和补充。清华大学电动车研究室的博士研究生朱元、齐占宇,硕士研究生孙鸿航、李宗华、陈昊、赵立安、张涵、彭涛、李海晨、管华、熊建、梁伟铭、刘国权、黄文华、付正阳、王波、傅春江、项晓波、周伟波、李佳、吴临政、曾帆、周强、张宾、裴晟、赵广平等为本书的写作提供了有价值的资料和热情帮助,在此谨表示衷心感谢。本书的诞生也是清华大学电动车研究室集体努力的结果。

由于电动汽车技术是近十多年来迅速发展的新技术,许多关键技术问题正在研究和解决中,同时由于作者知识和水平所限,不足之处在所难免,敬请广大专家和读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 汽车百年回顾	1
1.2 能源安全和环境保护	5
1.3 美国政府的 PNGV 计划	7
1.4 汽车工业和技术的未来发展方向	11
1.5 从化石燃料时代向低碳和可再生能源时代过渡	12
参考文献	14
第 2 章 整车行驶工况与性能匹配	15
2.1 汽车行驶工况概述	15
2.2 国外汽车行驶工况介绍	16
2.2.1 美国行驶工况	16
2.2.2 欧洲行驶工况	18
2.2.3 日本行驶工况	18
2.3 我国行驶工况的发展状况	19
2.4 行驶工况的特征分析	20
2.5 汽车行驶工况开发方法	21
2.5.1 开发规划	22
2.5.2 数据的获取	22
2.5.3 数据的分析与处理	23
2.5.4 工况的解析与合成	24
2.5.5 工况的验证	24
2.6 行驶工况在整车性能分析和匹配研究中的应用	24
2.6.1 确定动力性能指标	25
2.6.2 整车参数匹配与仿真	25
2.6.3 整车能量消耗和排放试验	26
参考文献	27
第 3 章 驱动电机及其控制系统	28
3.1 概述	28
3.2 直流电机 (DC Motor) 驱动系统	28
3.2.1 直流电机工作原理	28
3.2.2 直流电机数学方程	29
3.2.3 直流电机机械特性分析	30
3.2.4 直流电机控制器原理	31
3.2.5 直流电机驱动系统的特点	32
3.3 交流感应电机驱动系统	32
3.3.1 交流感应电机工作原理	33
3.3.2 基于感应电机稳态模型的变压变频调速	34
3.3.3 交流感应电机矢量控制算法	36
3.3.4 交流感应电机直接转矩控制算法	38
3.3.5 交流感应电机驱动系统特点	39
3.4 交流永磁电机驱动系统	39
3.4.1 交流同步电机工作原理	39
3.4.2 永磁同步电机数学模型及控制系统	40
3.4.3 无刷直流电机工作原理	41
3.4.4 无刷直流电机数学模型及控制系统	42
3.4.5 交流永磁电机驱动系统特点	43
3.5 开关磁阻电机	43
3.5.1 开关磁阻电机工作原理	43
3.5.2 开关磁阻电机的数学模型	44
3.5.3 电动汽车 SR 电机控制系统	45
3.5.4 开关磁阻电机驱动系统的特点	45
3.6 电机驱动系统总结与展望	46
参考文献	47
第 4 章 动力电池系统	49
4.1 概述	49
4.2 动力电池的基本术语	50
4.3 电动车辆对电池性能的要求	52
4.3.1 纯电动汽车对电池的要求	52
4.3.2 混合动力汽车对电池的工作要求	52
4.3.3 可外接充电式混合动力汽车 (PHEV) 对电池的工作要求	53
4.3.4 电动车用电池的具体指标要求举例	53
4.4 电动车用电池的主要种类及特点	55
4.4.1 铅酸电池	55
4.4.2 镍氢电池	56
4.4.3 ZEBRA 电池	58
4.4.4 锂离子电池	58
4.4.5 锂空气电池	60
4.4.6 锂资源	62
4.5 电池测试方法	63
4.5.1 单体、模块与电池组	63
4.5.2 电动汽车动力电池国内标准	63
4.5.3 国外动力电池的试验方法	64
4.6 电池管理系统	65
4.6.1 电池管理系统概述	65
4.6.2 电动汽车电池管理系统举例	65
4.7 电动车用电池管理的关键技术	67

4.7.1 电池模型应用	67	6.6.2 常压式燃料电池	118
4.7.2 SOC 估计	70	6.7 燃料电池的相关计算	120
4.7.3 电池组热管理	72	6.7.1 燃料电池单体的电压及效率的 计算	120
4.8 动力电池技术前景展望	75	6.7.2 空气流量计算	123
4.8.1 电动汽车动力电池类别	75	6.7.3 氢气流量	124
4.8.2 电容型电池	76	6.7.4 水的生成量计算	124
4.8.3 聚合物锂离子电池	77	参考文献	124
4.8.4 动力电池的发展展望	78		
参考文献	79		
第5章 超级电容与飞轮储能装置	81	第7章 电动助力转向、制动及其他 电动化辅助系统	125
5.1 超级电容的研究现状	81	7.1 电动助力转向系统	125
5.2 超级电容的储能机理及分类	82	7.1.1 电动助力转向系统概述	125
5.2.1 超级电容的储能机理	82	7.1.2 电动助力转向系统的分类	125
5.2.2 超级电容的分类	83	7.2 用于电动车辆的气压制动系统	131
5.3 碳镍体系超级电容	85	7.2.1 电动车辆的空气压缩机控制 回路	131
5.3.1 充电过程	85	7.2.2 电动制动空气压缩机	132
5.3.2 放电过程	85	7.3 电动制动器 (EMB)	134
5.4 超级电容的模型	86	7.4 电动空调制冷压缩机	135
5.4.1 超级电容的理论模型	86	7.4.1 制冷方式	135
5.4.2 超级电容等效电路模型	87	7.4.2 电动压缩机驱动方式	138
5.5 超级电容在电动汽车上的应用	90	7.4.3 高效节能压缩机的选用	139
5.5.1 超级电容与动力电池的比较	90	参考文献	141
5.5.2 超级电容组的电压均衡问题	90		
5.5.3 超级电容在车辆上的应用	91	第8章 电动汽车的电气系统	142
5.5.4 车用超级电容的发展方向	92	8.1 电气系统概述	142
5.6 飞轮储能装置	94	8.1.1 低压电气的控制逻辑	142
5.6.1 飞轮储能装置的结构及原理	94	8.1.2 高压电气系统	142
5.6.2 飞轮储能装置与其他储能装置 的比较	96	8.2 电源变换器	143
5.6.3 飞轮储能装置发展现状	96	8.2.1 电动汽车中的电源变换器	143
5.6.4 飞轮储能装置关键技术	98	8.2.2 降压变换器	144
参考文献	99	8.2.3 升压变换器	145
		8.2.4 双向电源变换器	146
第6章 质子交换膜燃料电池	100	8.3 电气系统的电磁兼容性	148
6.1 燃料电池概述	100	8.3.1 电磁兼容概述	148
6.1.1 燃料电池的分类	100	8.3.2 电磁噪声的分析	148
6.1.2 车用燃料电池及其关键技术	101	8.3.3 电磁噪声的传播	149
6.1.3 燃料电池的性能指标	103	8.3.4 减少电磁干扰的主要措施	151
6.2 质子交换膜燃料电池的工作原理	104	8.4 电动汽车的电气安全技术	155
6.3 膜电极	105	8.4.1 电气绝缘检测的一般方法	155
6.3.1 聚合物电解质膜	106	8.4.2 电动汽车电气绝缘性能的描述	156
6.3.2 电催化剂	109	8.4.3 绝缘电阻检测原理	156
6.4 双极板	111	参考文献	157
6.5 燃料电池的水管理和热管理	112	第9章 纯电动车辆	158
6.5.1 燃料电池的水管理	112	9.1 纯电动车辆概述	158
6.5.2 燃料电池的热管理	115	9.2 美国的电动汽车计划	158
6.6 增压式燃料电池和常压式燃料电池	117	9.2.1 美国通用汽车公司的 EV-1 纯 电动轿车	159
6.6.1 增压式燃料电池	117		

9.2.2 美国 TESLA Motors 公司的纯电动跑车 Tesla Roadster	161	匹配方法	205
9.3 法国的电动汽车发展历程和标致-雪铁龙 (PSA) 集团的纯电动轿车	162	11.2.1 理想的动力驱动系统的参数优化匹配方法	205
9.4 日本的纯电动汽车研发概况	163	11.2.2 实用的动力驱动系统的参数优化匹配方法	206
9.5 中国的纯电动汽车和电动汽车示范基地	164	11.2.3 整车参数、动力性指标与目标工况	208
9.6 轻型 (低速) 电动车	166	11.3 燃料电池汽车燃料经济性的计算	208
9.6.1 车型和用途简介	166	11.3.1 燃料电池系统氢气消耗量的计量方法	208
9.6.2 中小型电动牵引车	169	11.3.2 蓄电池等效氢气消耗量的折算	210
9.6.3 轻型电动车的一般结构	170	11.4 燃料电池汽车动力驱动系统的参数匹配举例	212
9.6.4 四轮轻型电动车的安全设计标准	172	11.4.1 车辆行驶需求功率及功率谱分析	212
9.7 机场地面支持与服务电动车辆	173	11.4.2 驱动电机参数的选择	216
9.7.1 概述	173	11.5 传动系速比的选择	218
9.7.2 我国近年开发的机场地面支持与服务电动车辆	173	11.5.1 传动系最小传动比的选择	219
参考文献	177	11.5.2 传动系最大传动比的选择	219
第 10 章 混合动力电动汽车	178	11.5.3 固定速比齿轮传动系的传动比选择	220
10.1 混合动力电动汽车概述	178	11.6 动力源参数匹配与系统构型分析	221
10.2 传统内燃机车辆的能量利用情况	179	11.6.1 双动力源之间的基本能量分配策略	221
10.3 混合动力驱动系统的节能潜力	181	11.6.2 “FC+B ₂ DC/DC (功率混合型)”构型的能量分配策略	222
10.4 混合动力汽车的排放问题	182	11.6.3 “FC ₂ DC/DC+B (能量混合型)”构型的能量分配策略	224
10.5 混合动力电动车的分类	182	11.6.4 燃料电池系统的特性参数	224
10.5.1 串联混合动力系统	184	11.6.5 蓄电池系统的参数选择	225
10.5.2 并联混合动力系统	185	11.7 国外燃料电池汽车的研究进展	226
10.5.3 混联式混合动力电动车	188	11.7.1 美国通用汽车公司	226
10.6 混合动力电动车的能量管理与控制策略	192	11.7.2 美国福特汽车公司	228
10.6.1 串联式混合动力系统的工作模式	192	11.7.3 加拿大巴拉德动力系统	228
10.6.2 并联式混合动力系统的工作模式	193	11.7.4 戴姆勒-奔驰汽车公司	229
10.6.3 混合动力系统的能量管理策略	193	11.7.5 日本丰田汽车公司	232
10.7 可外接充电式混合动力汽车 (PHEV)	194	11.7.6 日本本田汽车公司	233
10.7.1 PHEV 的发展背景	194	参考文献	235
10.7.2 PHEV 的工作模式	195	第 12 章 整车控制与系统仿真	236
10.7.3 PHEV 的研发现状	196	12.1 整车控制系统及其功能分析	236
10.7.4 当前 PHEV 研究的主要问题	199	12.1.1 控制对象	236
10.8 不同类型混合动力车与传统汽油车总效率的比较	200	12.1.2 整车控制系统结构	237
参考文献	201	12.1.3 整车控制器功能	238
第 11 章 燃料电池汽车	203	12.2 整车控制器开发	239
11.1 燃料电池汽车的基本结构	203	12.2.1 开发模式	239
11.2 燃料电池汽车动力系统的参数		12.2.2 硬件在环开发系统	241
		12.2.3 仿真模型	243

12.2.4	快速控制器原型	248
12.3	能量管理策略及其优化	251
12.3.1	混联式混合动力系统	251
12.3.2	燃料电池串联式系统	254
12.4	整车通信系统	256
12.4.1	CAN 总线及其应用	256
12.4.2	TTCAN 协议及通信实时性分析	259
12.4.3	FlexRay 总线及其应用	262
12.5	整车容错控制系统	264
12.5.1	容错单元及容错控制系统	265
12.5.2	容错的 CAN 通信系统	267
	参考文献	269

第 13 章 充电装置与氢系统基础

	设施	270
13.1	充电装置与电动汽车	270
13.2	电动汽车充电装置的分类	271
13.3	电动汽车充电技术和充电装置	273
13.4	电动汽车充电模式的选择	274
13.4.1	充电站的主要结构和功能	274
13.4.2	电动汽车的充电方式	274
13.4.3	几种电动汽车充换电模式简介	275
13.5	电动汽车充电装置的展望	278
13.6	燃料电池汽车和氢能	278
13.6.1	燃料电池和氢能	279
13.6.2	氢的基本性质	279
13.7	氢的制取	279
13.7.1	电解水制氢	281
13.7.2	天然气蒸汽重整制氢	281
13.7.3	来自焦化厂、氯碱工厂或石油	

	精炼厂的副产品氢	282
13.7.4	集中与分布制氢的氢成本比较	282
13.8	加氢站构成与系统方案	283
13.8.1	加氢站组成	283
13.8.2	加氢站系统类型	284
13.8.3	加氢机	285
13.8.4	加氢站建设成本	285
13.8.5	全球主要燃料电池大客车示范项目的加氢站	287
13.9	氢安全	292
	参考文献	293

第 14 章 电动汽车标准与规范

14.1	我国电动汽车标准的制定	295
14.2	国外电动车辆标准化组织及所制定 的标准简介	296
14.2.1	国际标准化组织	296
14.2.2	国际电工委员会 (IEC)	297
14.2.3	欧洲标准化技术委员会/电驱 道路车辆技术委员会	298
14.2.4	联合国世界车辆法规协调论坛 (UN/WP29)	298
14.2.5	美国汽车工程师学会	299
14.2.6	美国电动运输协会标准	300
14.2.7	日本工业标准调查会 (JISC)	300
14.2.8	日本电动车辆协会	300
附录 14.1	我国已经发布的电动汽车和 电动摩托车相关标准	301
附录 14.2	国外电动汽车相关标准	303
	参考文献	308

第 1 章 概 述

1.1 汽车百年回顾

许多国家都申明自己是第一个制造汽油机汽车的国家,对此尽管仍有争论,但是一个多世纪之前,德国人卡尔·奔驰(Karl Benz)在1886年制造的机动三轮车(见图1-1)比较符合近代汽车的特征,该车采用四冲程单缸水平布置水冷汽油发动机,卡尔·奔驰根据当时流行的机动三轮,在座位后面开发了一个车架,通过它将排量为984mL、0.9马力(1马力=0.735kW)的汽油机置于后轴之上,采用带与链传动来驱动后轮,最高车速为15km/h。同时,这辆车是第一个装有差速器的车。另外,车辆转向是用连接在齿轮齿条上的一根操纵杆,控制单前轮转动来实现的(见图1-2)。

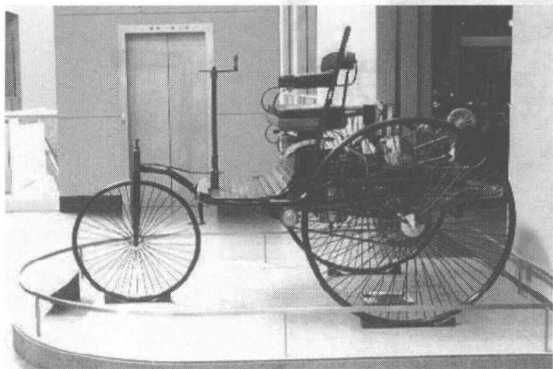


图 1-1 卡尔·奔驰发明的第一辆汽车

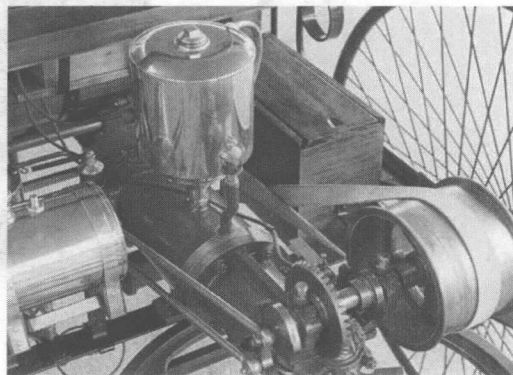


图 1-2 卡尔·奔驰第一辆汽车的转向系统

谈到汽车工业,不能不提到美国福特汽车公司创始人亨利·福特(Henry Ford),1863年亨利·福特生于美国迪尔伯恩市(Dearborn)附近的一个农场。1896年亨利·福特在底特律(Detroit)家中的棚屋内,完成了他的第一部4轮汽车,并于深夜试车成功。

1903年福特汽车公司正式成立,并卖出福特汽车公司第一部汽车——A型车。1908年福特推出T型车,见图1-3,这是一款大众能担负得起的车型,并最早开始大量生产。世界汽车工业革命就此开始。

T型车采用直列四缸水冷汽油机,排量为2896mL,在1600r/min时功率为20马力,它有两个前进挡和一个倒挡,所采用的行星式传动系统与发动机连接成一个整体的结构(见图1-4),是福特公司的专利。图1-5为不带车身的T型车底盘。

1913年,福特汽车公司又开发出世界上第一条汽车装配流水线(见图1-6)。据统计,在福特汽车制造厂内,移民工人来自世界各地,共使用30多种语言,根本谈不上沟通与协作。但是,这一创举加上零件互换性技术的采用,在管理者和工程师的安排下,使得大批量、低成本生产汽车成为可能,并创造了可观的利润。1914年1月5日,福特公司宣布向工人支付8小时5美元的工资,这是当时9小时工作制工资的两倍,使美国工人的生活发生了巨大的变化。到了1915年,第100万辆福特T型车下线。

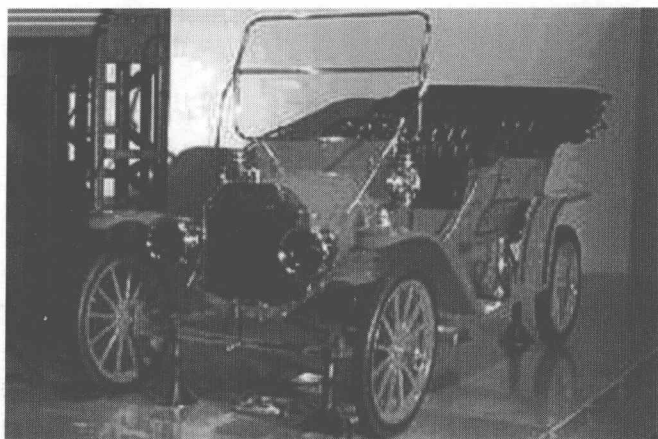


图 1-3 亨利·福特的 T 型车

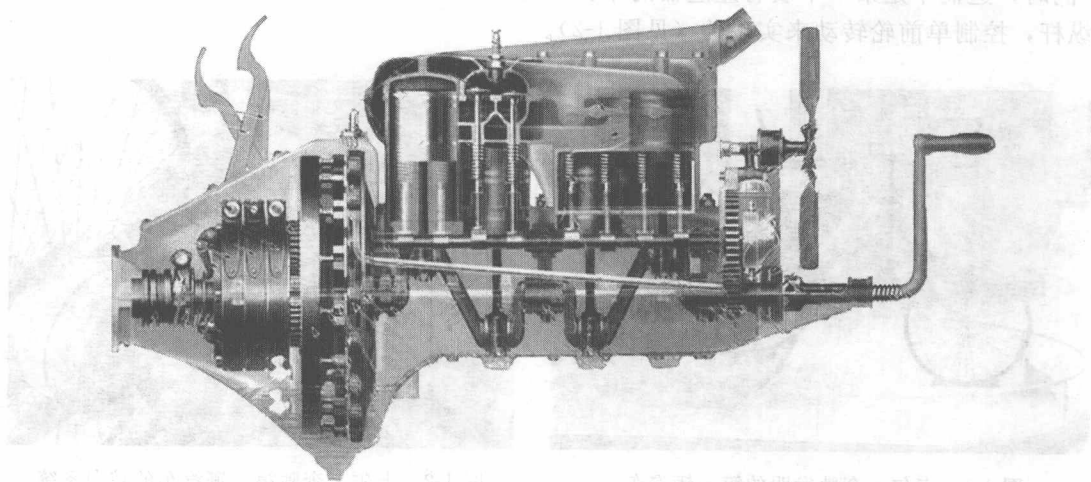


图 1-4 T 型车所采用的行星式传动系统

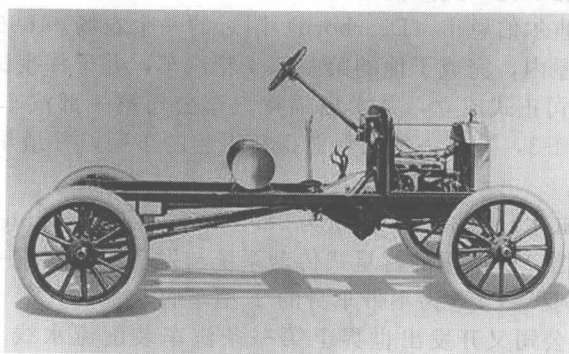


图 1-5 不带车身的 T 型车底盘

1927 年亨利·福特和艾德塞尔·福特亲自将第 1500 万辆 T 型车开下装配线，正式结束了 T 型车的生产。T 型车全球总产量为 15458781 辆，T 型汽车问世和流水线大规模生产，使汽车的价格直线下降。到了 1918 年，福特汽车公司的汽车产量已占到美国汽车产量的一

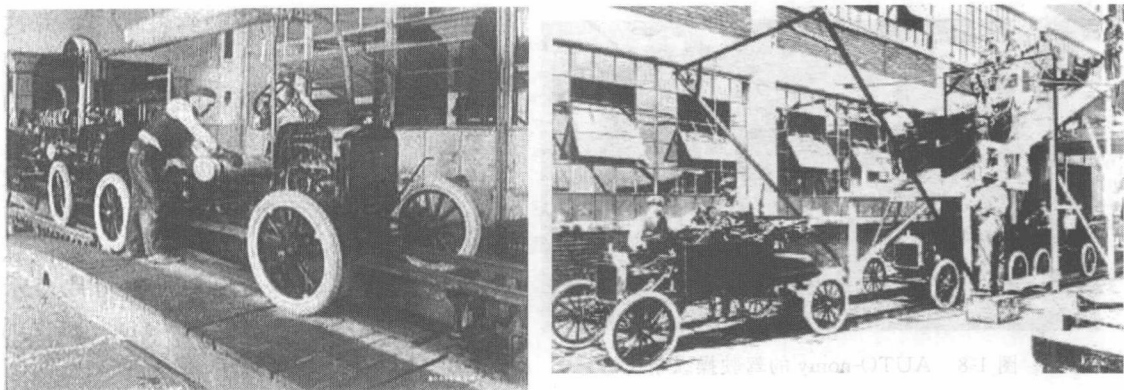


图 1-6 福特汽车公司开发的世界上第一条汽车装配流水线

半, 福特 T 型汽车的售价也降到 260 美元一辆, 本厂工人两个月的工资就能买得起, 从而把汽车从富人的玩物变成了大众也能享用的个人交通工具。汽车的大规模生产和普及引发了社会生产和生活方式的变革, 创造了无数的就业机会。汽车工业还和钢铁工业、机械工业中的机床工业、合成材料工业、轮胎制造业、城市建设、公路工程、石油化工、高科技应用、金融、保险、服务业等相关, 这一产业群的规模, 相当于汽车工业本身的 2.5~3 倍。汽车工业的发展极大地促进了社会经济的发展。在不到 100 年的时间里, 汽车已成为人们生活中不可缺少的部分, 它无形中缩短了社会整体的空间和时间距离, 扩大了人们的生活领地范围, 加快了人们的生活节奏。

一百多年来, 汽车的结构不断得到改进, 性能不断提高, 保有量也不断增加。据估计, 未来 25~35 年内全球石油消耗将增加两倍。需求的增加将恶化我们今天已非常熟悉的一个问题, 即依靠不均衡地分布在世界上的单一能源, 将会引发能源安全和国家安全问题。此外, 汽车数量的增加不可避免地带来交通阻塞、道路拥挤、空气污染、能源紧张等一系列世界性问题。

人类已进入 21 世纪, 在新世纪里我们将使用什么样的汽车? 在世界各地的汽车展览会上, 人们从各种各样的概念车上寻找答案。2002 年初, 通用汽车公司在底特律北美国际汽车展上首次透露正在考虑的称为 Hy-Wire 的概念车 (意思是用“氢和导线”来驱动和驾驶的汽车, Hy 代表氢, Wire 代表传输控制信号的导线), 8 个月后, 2002 年 9 月 26 日在巴黎汽车展上, 一辆可开动的 Hy-Wire 概念车向公众亮相, 这是一辆将氢燃料电池和控制信号导线传输技术结合在一起的革命性设计的概念车。它还有一个名字“Auto-nomy”。通用公司展示的革命性设计, 很可能就是我们未来使用的汽车。图 1-7 给出该车设计的大致概念。

这辆车分为车身和底盘两大部分, 底盘设计类似“四轮滑板”, 车身头部没有发动机舱, 因为它没有传统的内燃机, 而是采用燃料电池作为动力源, 车身与底盘之间没有任何机械杆件和液压管路连接。上部车身内没有油门、离合器、制动器等踏板, 也没有传统的方向盘, 只有一个看上去像飞机上的驾驶部件。开车人驾驶车辆的所有动作均被转变为数字式电信号, 然后通过导线传入“四轮滑板”上的控制部件, 实现对车辆的

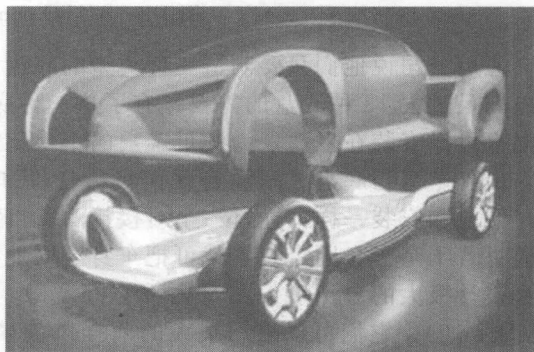


图 1-7 AUTO-nomy 的底盘和车身结构示意图



图 1-8 AUTO-nomy 的驾驶操纵系统

转向、制动、加速等各种驾驶动作,开这种车就像开飞机一样。驾驶员轻轻操作符合人体工程学设计的“手把”,可使车辆加速、行进、制动、停车和转向。

从图 1-8 中可以看到车内前半部布置情况,在操纵部件上还有一个 147mm 的彩色电子监视器,有关车辆的主要信息(速度、里程、燃料情况等)都可以显示在上面,而且通过置于车两侧和后面传统后视镜处的摄像机,还可显示车子后面的路况。另外,在驾驶员两侧还有第二个监

视器,告诉你有关音响、车内温度、湿度和导航信息。

车辆的所有部件如传动系统、电子控制装置、燃料电池堆、燃料箱等全部装入中部 279.4mm (11in)、两端 228.6mm (9in) 厚的底板中,通用公司把它叫做“四轮滑板底盘”(见图 1-9)。因为燃料电池与内燃机不同,它在形状和尺寸上可以根据安装空间来变化。这种“四轮滑板底盘”重心很低,车辆的稳定性极好。

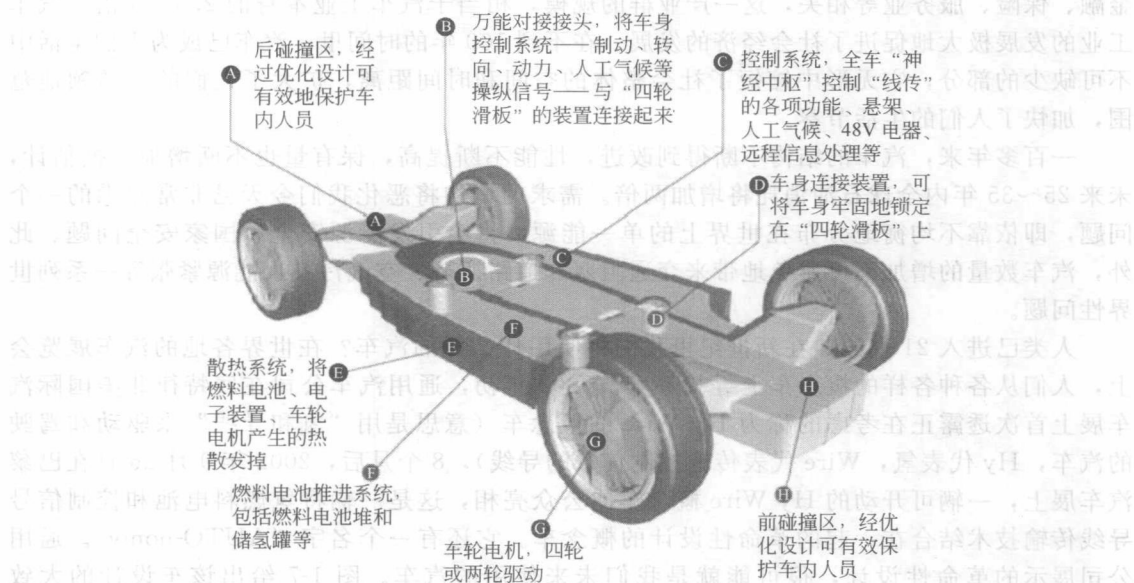


图 1-9 AUTO-nomy 的四轮滑板底盘

通用公司说他们只要制造三种类型的底盘:标准底盘、四轮驱动底盘和运动车底盘,就可以满足过去 13 种底盘的需要。有了这三种底盘,各式各样的车身甚至不同的电机和燃料电池都可以安装上面,为满足客户的个性化需求带来极大的方便。

由于车身与底盘之间没有任何机械杆件和液压连接,因此车身的安装和更换就十分方便,像电脑安装一样,通过一个对接接头就可完成全铝底盘和玻璃钢车身之间的电气连接,再通过若干个车身固定装置就可把车身牢固地与底盘连接在一起。这种全新的车辆结构给予车身设计极大的自由度,车身内部空间宽敞,座位前放腿空间可以很大,舒适性大大提高(见图 1-10)。它们可以采用很大的前挡风玻璃,使车内每个人都有宽阔的道路视野,滑板式底盘上表面,使玻璃钢地板和钢车身地板十分平坦,车门之间的 B 型立柱可以取消,四

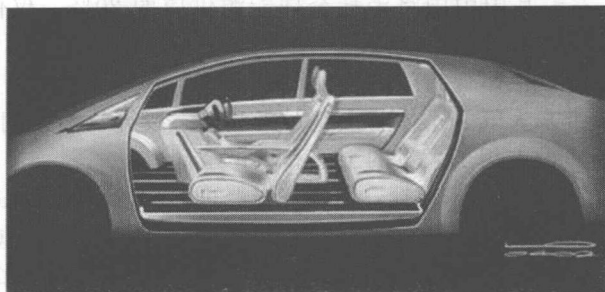


图 1-10 Hy-Wire 车身内部布置

门可同时打开,进出车厢更加方便。对于车主来说,最酷的可能是他只要购一个滑板式底盘,再配上几个不同车身,根据需要通过更换车身就可以拥有好几种用途的车,同时又大大地节省了开支。

2003年1月在北美国际汽车展上展出的“Hy-Wire”(哈-瓦依尔)技术规格如下。

整车采用氢燃料电池和数字导线传送驾驶信号,前轮驱动,5座豪华轿车;车身长5m,轴距3114mm,钢及玻璃纤维;最高车速160km/h;整车质量1900kg。

滑板底盘:全铝车架,长×宽×高4357mm×1670mm×279mm。

燃料储存系统:3个碳复合材料高压储氢罐,压力35MPa,储氢量2kg,总重75kg。

燃料电池:由200个单体组成,电压125~200V,持续功率94kW,峰值129kW,功率密度1.60kW/L、0.94kW/kg。

驱动电机:三相异步电机带行星齿轮减速(传动比为8.67:1),工作电压250~380V,最高转速12000r/min,最大功率60kW,最大转矩215N·m,总重92kg。

“Hy-wire”是全球合作的产品,美国、德国、意大利和瑞典都参与了概念车的开发。美国通用公司的设计人员和工程师负责开发车辆底盘和设计车身,以及负责整车和电气系统的集成。在德国美因兹通用研究机构的工程师负责燃料电池推进系统的集成。

通用汽车公司接连不断地展示其Hy-Wire概念样车,反映了人们在寻求一种全新的汽车设计概念,以解决现有汽车给环境、能源和社会带来的诸多问题。对比在本文开头所介绍的一个世纪以前出现的汽车,Hy-Wire在原动力、驾驶控制方法、结构形态方面有着与众不同的鲜明特色,它是否能成为汽车发展的主流方向,有待实践检验,而且实现产品的商业化还有很长的路要走。但是不管怎样,它的出现应该看成是汽车发展史上的一件重要事情。

1.2 能源安全和环境保护

一百多年来,汽车工业的发展,在推动经济发展的同时,也带来能源紧缺和环境恶化,今天的世界经济离不开石油。专家预计,到2015年左右,世界石油产量在达到年产45亿吨的高峰后将出现递减,届时能够继续增产的可能只剩下中东和个别非欧佩克国家。全球能源仍将继续依赖于海湾国家,沙特仍将是世界石油市场稳定供应的关键国家。

我国也是世界石油生产大国。但近10年来,我国原油消费量以年均5.77%的速度增加,而同期国内原油供应增长速度仅为1.67%。目前,中国石油的年产量基本维持在1.5亿吨左右,石油进口数量则以每年上千万吨的速度增加。根据中国海关发布的统计数字,中国2003年全年的原油进口总量约为9100万吨,比2002年上升了31%,2004年的进口量就达到了1.2亿吨。国际能源署发表的报告预测,从目前到2030年,全球能源需求每年的平

均增长率将达到 3% 左右，其中中国将消耗全球能源供应的 20%，仅低于美国目前所占的份额。

除了能源安全问题外，汽车保有量的增加还带来一系列环境问题：每年要消耗世界大量的能源、材料等资源；带来大气、水体与土壤污染和固态废弃物污染问题；带来环境噪声污染问题；公路和停车场建设占用了大量的土地和城市空间。

总之，汽车给人们的“行”带来便捷，但也带来严重的全球环境恶化问题。在世界范围内，各国大城市都面临着不同程度的汽车排放污染。美国的资料表明，城市大气污染量的 63%（主要包括二氧化碳 CO₂、一氧化碳 CO、烃类化合物 HC、氮氧化物 NO_x、氧化硫 SO_x 等污染物）来自燃油汽车的废气排放，80% 的城市噪声污染源于城市交通。汽车的大量使用所产生的废气、噪声以及扬起的尘土，对自然环境造成严重污染并危害人体健康，见表 1-1。

表 1-1 车辆排放物及对人体健康的影响

废气排放物	对人体健康的影响
一氧化碳	降低血液携带氧气的能力，使思考及反应减慢，引起慢性呼吸系统疾病及心脏功能失效
烃类化合物	致癌物质
氮氧化合物	使身体易于被病毒入侵，导致肺炎、支气管炎
铅	破坏脑部组织及中央神经系统，尤其影响儿童的脑发育
臭氧	破坏肺组织，降低身体防疫能力，可引起咳嗽

现今，许多大城市空气污染已经超过健康许可标准，直接危害市民健康和生活环境。根据数字显示，长时间在人口稠密的地区行驶的普通柴油车辆，所排放的空气污染物——“悬浮粒子”，特别是其中称为“可吸入悬浮粒子”（RSP）的较微细悬浮粒子，严重影响城市居民的健康，更与肺癌、心脏病等高死亡率疾病有关，其他疾病如长期咳嗽、胸肺病和支气管炎也都和 RSP 有关系；而老人、儿童和哮喘病患者更加容易受 RSP 影响，引发呼吸道疾病。

汽车排放的废气中的 CO₂ 会造成温室效应，使得地球变暖。据联合国估计，到 2020 年全球平均温度增幅将达 1.3~2.5℃，到 2070 年全球平均温度增幅达 2.4~5.1℃；而 NO_x 与 SO_x 等会形成酸雨，泥土、湖泊及河流将被酸化；pH 值下降；水中及植被生态将被严重破坏，造成鱼类、花草树木等死亡。图 1-11 所示为汽车尾气 and 工业废气对环境的污染。

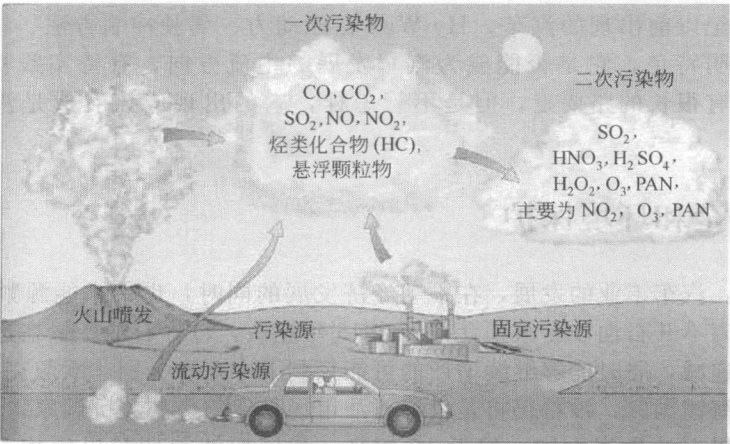


图 1-11 汽车尾气和工业废气对环境的污染

欧洲从 1970 年开始制定控制汽车排放污染物的法规，以后又陆续多次严加控制汽车排放标准。欧盟成立后于 2000 年 1 月实施欧 III，2005 年实施了欧 IV，2008 年实施欧 V，对汽车排放提出极为严格的法规要求。欧洲汽车排放标准见表 1-2。

表 1-2 欧洲汽车排放标准

年 份	汽油机/(g/km)			柴油机/(g/km)	
	CO	NO _x	HC	NO _x	PM
1986 年	15	4.6	—	—	—
1989 年	—	—	—	14.0	0.5
1992 年(欧 I)	2.8	1.0	—	8.0	0.36
1996 年(欧 II)	2.3	0.3	—	8.0	0.25
2000 年(欧 III)	2.3	0.15	0.2	5.0	0.10
2005 年(欧 IV)	1.0	0.08	0.1	5.0	0.02
2008 年(欧 V)	—	—	—	2.0	0.02

日本在 2005 年开始实施 JP2005 法规（相当于欧 V），这是目前世界上最严格的排放法规。我国的北京、上海、广州等一些大城市都提前执行较严的排放标准。

由于环境保护的压力，一些国家和地区已把生产和销售低污染汽车作为法定目标，20 世纪 90 年代初，美国加州“空气资源管理局 California Air Resources Board (CARB)”制定了从 1998 年起逐步增加零污染汽车销售比例的法定目标。虽然这一要求实际并没有达到，但是，对促进零排放和低污染汽车的研发起到了很大作用。

总之，人类社会不能没有汽车，但汽车自身必须要有根本性的变化。能源和环境这两大因素对未来汽车技术发展的走向，起着至关重要的导向作用。许多汽车制造商正在积极行动，研究、开发、制造零污染或低污染汽车。

1.3 美国政府的 PNGV 计划

在汽车发展史上，20 世纪 90 年代美国的 PNGV 计划是值得提及的事。由于 20 世纪发生的几次能源危机以及环境恶化的压力，再加上 20 世纪 80 年代以来，日本汽车大举进入美国市场，美国企业制造的汽车，市场占有率不断降低，美国的汽车工业受到日本的严重挑战。面对这种情况，美国政府与企业界行动起来，从 1988 年开始，美国汽车业在非竞争基础上，组织技术合作、研究与开发。到了 1992 年，美国三大汽车公司——通用、福特和克莱斯勒联手成立了美国汽车研究理事会（United States Council for Automobile Research，简称 USCAR），在汽车技术的研究与开发上结成战略联盟，以提高汽车燃料效率，减少有害气体和二氧化碳的排放，提高在汽车技术领域的领导地位，改善美国汽车工业的总体竞争能力，以应对日本汽车工业的挑战。1993 年 9 月，美国政府宣布与三大汽车公司合作进行一项推动美国汽车技术革命的合作计划，即新一代汽车伙伴计划（The Partnership for a New Generation of Vehicles, PNGV），其组织框架见图 1-12。

PNGV 计划中提出的三大目标：

① 改善和增强美国汽车制造厂的竞争力。提高各汽车制造厂的制造技术及生产力，降低生产成本及时间，减少对环境的冲击，并提高产品制造品质。

② 将具有商业可行性的新技术应用于传统车辆上。在传统车辆上，应用新技术的研发过程中，需工业界提供最新的商业化技术，以提高车辆的燃油效率及改善废气的排放，但也必须兼顾车辆的安全性能。

③ 开发出 3 倍于现有车辆燃油效率的新一代车辆。2000 年是美国 PNGV 计划具有标志性意义的一年，在这一年里，美国的三大汽车公司福特、通用和戴姆勒-克莱斯勒都陆续推出了各自的 PNGV 概念车。以下对美国三大汽车公司推出的 PNGV 概念车做简单介绍。

三大公司在 PNGV 计划中，使用了 20 世纪 90 年代初的车型为蓝本，即戴姆勒-克莱斯

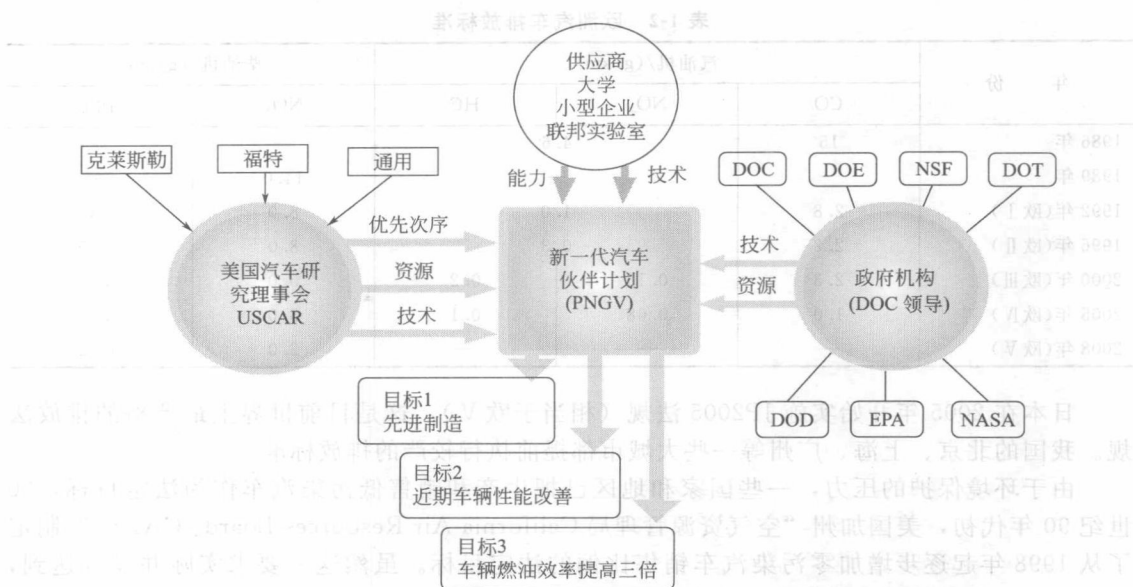


图 1-12 美国 PNGV 计划的组织框架

勒的 CONCORDE (和谐)、福特的 TAURUS (金牛座)、通用的 LUMINA (鲁米娜)。这三种蓝本车型均为：发动机排气量 3L 左右，车长 4.5~5.0m，整备质量 1500kg 左右，售价约 2 万美元。福特公司开发的 Prodigy (天才) 概念车 (图 1-13)，在 2000 年北美国际车展中首次亮相。燃料的经济性是这款概念车的最显著特征，达到每百公里 3.3L。与“世界第一辆 3L 汽车”德国大众的 LUPO (路波，其车身长度不到 3.5m，虽然省油，但损失了舒适性和使用性能) 相比较而言，该车优秀的燃料经济性，丝毫没有影响到消费者所关心的另外一些性能，如驾驶性能、时尚的外观、宽大的车厢内部空间及价格的可接受性。Prodigy 由于采用轻质材料，虽然重量比金牛座车型 (Taurus) 降低了 1/3，但乘客和行李厢的空间却保持不变。另外，Prodigy 采用了最先进的空气动力学设计原理，因而大大降低了车体的空气阻力，相当于以前车型的 2/3。Prodigy 的动力系统是福特 P2000LSR 混合动力系统，采用了 1.2L 四缸柴油发动机和镍氢蓄电池。

美国通用汽车公司的概念车 Precept (图 1-14) 是一辆四门、五人座轿车，其驱动系统由一台 3 缸 1.3L 直喷式柴油发动机与两台电动机 (包括驱动前轮的电动机和驱动后轮的柴油-电动机组) 及一台手动/自动变速箱组成，电动机可吸收刹车过程中的制动能量，并给车上的电池组充电。



图 1-13 福特公司开发的 Prodigy (天才) 概念车



图 1-14 美国通用汽车公司的概念车 Precept