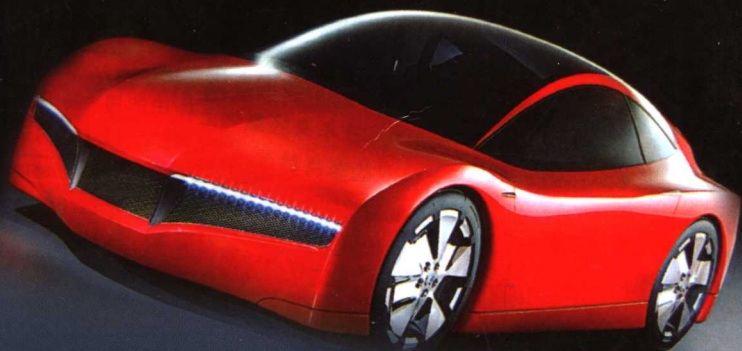


21 世 纪 高 等 教 育 规 划 教 材

DIANDONG QICHE

电动汽车

祝占元 主 编



黄河水利出版社

21 世纪高等教育规划教材

电 动 汽 车

祝占元 主编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书介绍了电动汽车在环境保护及能源结构调整中的优势和发展前景,系统分析了电动汽车的结构特点;重点剖析了电动汽车动力源系统及功率转换器和控制系统类型、结构、特性和工作原理;全面介绍了 EV、HEV、FEV 整车结构类型和特点;简要阐述了能量回收系统、能源管理系统和国产充电器类型。

本书是为高职高专汽车相关专业编写的专业教材,亦可作为相关技术人员的参考用书和供感兴趣人员阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车 / 祝占元主编. — 郑州: 黄河水利出版社, 2007.9

21 世纪高等教育规划教材

ISBN 978-7-80734-251-9

I. 电… II. 祝… III. 电动汽车—高等学校—教材
IV. U469.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 126127 号

出 版 社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371-66026940

传真: 0371-66022620

E-mail: hhslcbs@126.com

承印单位: 黄河水利委员会印刷厂

开本: 787 mm × 1 092 mm 1 / 16

印张: 13

字数: 301 千字

印数: 1—3 100

版次: 2007 年 9 月第 1 版

印次: 2007 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-80734-251-9 / U · 24

定价: 22.00 元

郑州交通职业学院 教材编纂委员会

顾 问 蒋正华 张殿业 李文成

主 任 李顺兴

副主任 李国法 潘洪亮

编 委 (按姓氏音序排列)

郭 建 李子健 李洪涛

路志宏 王全升 徐春华

于 福 杨世英 张昶琳

《电动汽车》编写人员

主 编 祝占元

副主编 谷 鹏 魏冬至 郑治国

主 审 张春耀 薛 川

前 言

各种汽车已成为人类生产和生活文化娱乐活动的重要工具和设施,随着世界汽车保有量的日益增加,汽车带来的环境污染、能源短缺、资源枯竭和安全等问题已给人类造成麻烦。为了保持国民经济的可持续发展,保护人类居住环境和保障能源供给,在寻求解决的途径和办法时,各国政府和汽车行业认识到电动汽车具有良好的环保性能和燃料的多样性能,发展电动汽车既可以保护环境,又可以缓解能源短缺和调整能源结构,保障能源安全。电动汽车的研发已成为汽车行业的热点。

我国把研发电动汽车列为“863”重大科研项目,动员全国人力、物力、财力,采用官、产、学、研四位一体的研发体制,目前已取得重大阶段性成果,示范线路的运营亦获得了宝贵的技术资料和经验,并具备了EV、HEV、FEV整车生产能力。电力助动车无论是产量、销量和保有量,都位于世界前列。为了迎接电动汽车走向市场而做好技术知识储备,我们在专业教学中开了“电动汽车”这门课,力图把电动汽车最新研究成果系统地介绍给学者。本书编写过程中认真落实“面向21世纪教育振兴行动计划”的有关精神,力求基本理论讲清,工作原理讲透,内容够用实用,叙述深入浅出,使读者易读、易懂、易用。本书概括了电动汽车在环境保护和能源结构调整中的优势、电动汽车结构类型、动力传输特点、动力源、驱动装置和控制系统原理和实用技术、各类电动汽车的优缺点比较、能源管理系统和能量回收系统。

本书由张春耀、薛川担任主审,祝占元担任主编,谷鹏、魏冬至、郑治国担任副主编。本书共分7章,分别由孙迎春(第1章),张梅红(第2章),张连清、黄晓云(第3章),牛本宽(第4章),魏冬至(第5章),谷鹏(第6章),王运超(第7章)等编写。曹尚杰、房颖、冯雪丽、朱方亮、祝鹏辉等参与了资料的收集、整理、绘图和校对等工作。

本书在编写过程中查阅了大量的书籍、文献、论文和资料，引用了其中的一些技术资料。在此，谨向这些书籍、文献、论文和资料的作者表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，虽尽全力，但疏漏错误之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月

目 录

前 言

第 1 章 概 论	(1)
1.1 电动汽车定义和类型	(1)
1.2 发展电动汽车势在必行	(6)
1.3 电动汽车构造特点	(8)
1.4 电动汽车发展情况	(13)
复习思考题	(17)
作 业 题	(17)
第 2 章 动力蓄电池及储能装置	(18)
2.1 电动汽车用动力电池	(18)
2.2 铅酸蓄电池	(22)
2.3 碱性可充电电池	(30)
2.4 有机电解液电池	(37)
2.5 物理电池和超级电容	(39)
2.6 燃料电池	(44)
2.7 电池性能的检测方法	(55)
2.8 超级电容器性能检测方法	(61)
2.9 能源管理	(63)
复习思考题	(66)
作 业 题	(67)
第 3 章 电动汽车的驱动装置	(71)
3.1 电动汽车用电动机分类和要求	(71)
3.2 直流电动机	(73)
3.3 异步电动机	(77)
3.4 永磁无刷电动机	(83)
3.5 开关磁阻电动机	(90)
复习思考题	(100)
作 业 题	(101)
第 4 章 电动车驱动装置调速控制技术	(104)
4.1 电动车驱动电机调速控制方式	(104)
4.2 直流斩波调速技术	(110)
4.3 变频调速技术	(115)
4.4 电动汽车上电动机的制动控制系统	(118)

4.5	PMC 电动车辆调速控制系统	(122)
	复习思考题	(125)
第 5 章	纯电动汽车(EV)	(126)
5.1	EV 概述	(126)
5.2	EV 的基本组成部分	(126)
5.3	EV 的控制策略和控制系统	(142)
5.4	EV 实车介绍	(142)
	复习思考题	(150)
第 6 章	燃料电池电动汽车	(151)
6.1	燃料电池电动汽车的发展概况	(151)
6.2	燃料电池电动汽车的结构	(152)
6.3	以氢为燃料的燃料电池发动机系统	(158)
6.4	以甲醇为燃料的燃料电池发动机系统	(159)
6.5	燃料电池汽车的驱动形式及装置	(164)
6.6	电动汽车制动能量回馈系统	(166)
6.7	能量管理策略与优化	(172)
	复习思考题	(176)
第 7 章	混合动力汽车(HEV)	(178)
7.1	HEV 的组成、分类、特点	(178)
7.2	各种 HEV 动力系统及其控制	(181)
7.3	HEV 发展车型	(188)
	复习思考题	(199)
	参考文献	(200)

第 1 章 概 论

1.1 电动汽车定义和类型

1.1.1 电动汽车是电动车辆的一种

所谓电动车辆是指用电能驱动电动机作为牵引或驱动行驶的车辆。车辆使用的电力可以用多种形式供给,如公用电网、专用电网和储电装置。储电装置有各种蓄电池、燃料电池、太阳能电池等。人们根据用途和条件已能生产使用的各种电动车辆,按常规可分为以下类型,如图 1-1 所示。

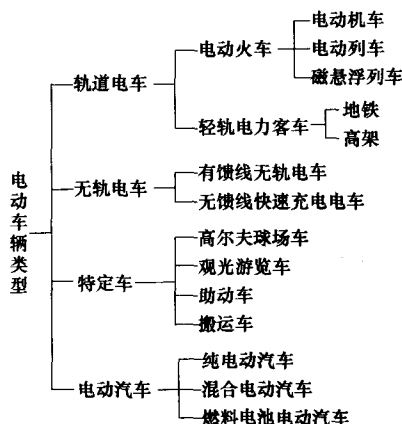


图 1-1 电动车辆类型

1.1.1.1 轨道电车

无轨与有轨原依城市公用交通专用的有铺设轨道的电动车和无轨道的电动车而言。这里有轨的含义为车辆车轮在专有的铁轨上行驶,如铁路与火车、地铁、城市高架轻轨铁路(称为轻轨交通)与客车。轨道电动车辆的特点是单相馈电制,电力网供给电力、功率、电压等级和车辆速度选配灵活,运行管理电子化、信息化、部分智能化,转向系统由路轨导引(见图 1-2)。

1.1.1.2 无轨电车

无轨电车即指原城市公用交通线路上运行的电动车辆。这种车辆名义上叫无轨,指的是道路上无轨,实际上也是受限制的。这是因为车辆所需的动力必须由专用直流动力网供给。其馈电方式是将正负双线架在路边的线路上,馈电杆高有 3 m 左右,所以车辆受电杆的限制,车辆也只能在一定的宽度范围内活动,和轨道车一样,无轨电车一般在

行车途中要超越其他车辆也比较困难。我国生产的新型电车，将馈电线路改为沿站设充电点，电车采用到站充电，去掉馈电杆，这样就给车辆比较大的活动空间，使车辆免受“甩辫子”之苦(见图 1-3)。



图 1-2 轨道电车



图 1-3 无轨电车

1.1.1.3 特定车

特定车是指在特指的有限活动空间或有某种专用用途的一种小型电动车辆，性能参数要求不高，但非常适用于某种场所，如高尔夫球场用的高尔夫球场车。1998 年美国在举办亚特兰大奥运会时，在高尔夫球场投放了 250 辆专用电动车，成为该届奥运会的一大亮点。



图 1-4 特定车

我国近几年在汕头、武汉、北京、上海、天津等地的公园、游览区、观光区投放的步行街观光车、公园休闲车等示范车在示范区受到游客的关注(见图 1-4)。再如我国这几年迅速发展的电动自行车、电动摩托车、电动三轮车深受不求行远但求灵活方便的人的欢迎，也可作为身体行动不便的弱势群体的行动辅助工具。

1.1.1.4 电动汽车

电动汽车是电动车的一种，也是汽车的一种，即使之全部或部分用电能驱动作为动力系统的汽车。电动汽车必须具有汽车应有的性能和属性，但动力线路与原内燃机动力线路不同，又具有电力车辆的基本特征。依内燃机汽车分类方法，电动汽车一般分为蓄电池电动汽车(Battery Powered Electric Vehicle, 简称 EV)、混合动力电动汽车(Hybrid Electric Vehicle, 简称 HEV)和燃料电池汽车(Fuel Cell Electric Vehicle, 简称 FEV 或 FCEV)(见图 1-5、图 1-6)三类。其中蓄电池电动汽车亦叫二次电池电动汽车、纯电动汽车等。人们常把混合动力汽车作为丰田普瑞斯(prius)内燃机+蓄电池(或燃料电池)的代名词，一般人一提起混合动力汽车就认为是以内燃机为主以蓄电池为辅的汽车。按照 GB 定义“由两种和两种以上的储能器、能源或转换器作为驱动能源，其中至少有一种能提供电能的车辆称为混合动力电动汽车”来判定，混合动力汽车所含的类型要广泛得多。本书根据市场上拥有的车辆多少和使用维修的需要，只限于研究分析内燃机+电能的汽

车范围。具体分类见图 1-7。



图 1-5 混合动力电动车

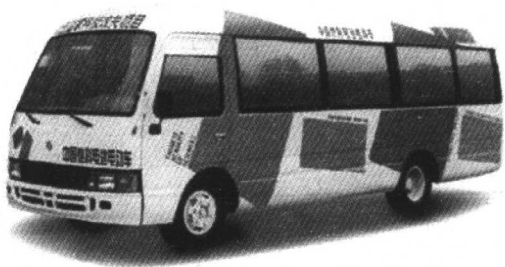


图 1-6 燃料电池电动车

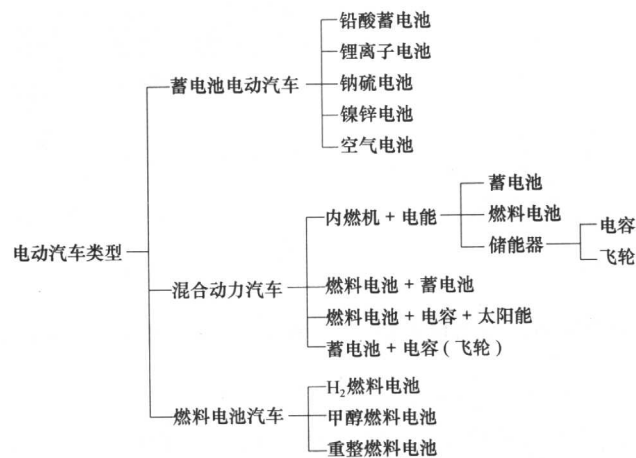


图 1-7 电动汽车的分类

1.1.2 电动汽车的优势

电动汽车包括上述三种类型，这里叙述电动汽车优势时，对于混合动力汽车仅限于以电力运行时具备电动车的优势。

1.1.2.1 可以实现零排放，对环境友好

以蓄电池、超级电容为动力的汽车没有排放物，可以实现零排放。以纯氢氧为燃料的汽车在运行中只生成水(H₂O)，不排放任何有害气体，能够实现有害气体零排放。以富氢气体为燃料的燃料电池，在富氢气体制取氢气的过程中，排出二氧化碳气体，但仅是内燃机排放量的 40%，燃料电池是以电化学原理发电，不经过内燃机燃烧过程的热能—机械能转换过程，几乎没有产生氮、硫氧化物的条件，所以对大气造成的危害甚少。混合动力汽车在城市公交、公共场所，以及对排放控制有特殊要求的地方，可以仅使用储存的电力，不发动内燃机，也能做到零排放。

上述说法仅就汽车载体而言，严格说来，从燃料的来源和净化提纯全过程综合评价，电动汽车就整体来说是绿色交通工具，少排放、零排放，对环境不造成或少造成不良影

响。表 1-1 列出了燃料制备过程中氮氧化物排放值。图 1-8 为各种汽车排放量比较。

图 1-9 列出了电力与其他能源生产和使用的总的 CO₂ 排放量比较, EV₁ 表示合金储氢燃料电池电动车, EV₂ 表示液氢燃料电池电动汽车, EV₃ 为压缩氢气燃料电池汽车, EV₄ 表示甲醇燃料电池汽车。

表 1-1 NO_x 排放量比较

燃料的种类	汽油	柴油	电力	甲醇	氢
NO _x 排放量(g/MJ)	0.113	0.056	0.047	0.019 ~ 0.022	0.022 ~ 0.042

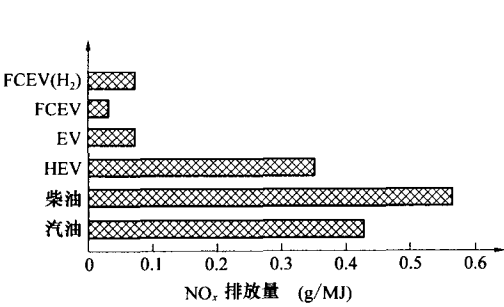


图 1-8 各种汽车 NO_x 排放量比较

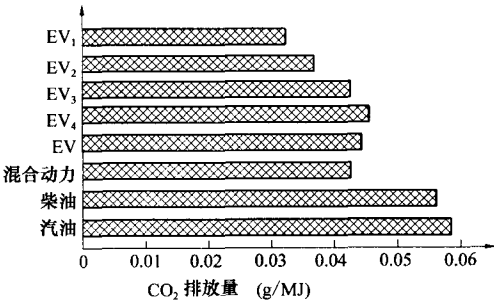


图 1-9 汽车使用周期全过程 CO₂ 排放量比较

1.1.2.2 噪声低

与内燃机相比，振源明显减少。没有燃烧过程、配气机构的机械运动和活塞连杆机构的运动，只有与其相当的空压机、散热风扇、传动机构噪声，噪声级明显低于内燃机汽车。经试验表明 4.5MW、11MW 磷酸燃料电池噪声水平不高于 55dB，仅是内燃机汽车的 40%。表 1-2 为汽车噪声构成比较，电动车主要的噪声源是轮胎和电动机。

表 1-2 汽车噪声构成比较

噪声源	加速所占比例(%)		等速所占比例(%)	
	内燃机	电动机	内燃机	电动机
轮胎	22.9	65 ~ 70	80.4	85
发动机	34.4	20 ~ 25	19.6	15
牵引(传动)	2.8	1		
冷却系统	1.9	0		
进气系统	11.6	0		
排气系统	23.4			
其他	3	2 ~ 5		

图 1-10 为各种汽车噪声当量比较, 以汽油机或柴油发动机加速时的噪声作为 1 个当量单位进行比较。

1.1.2.3 热效率高

从理论上推理热电转化效率可达85%~90%。因为燃料电池是按电化学原理等温地直接将化学能转化为电能，它不通过热力过程，因此不受卡诺循环的限制，即不遵守卡诺定理。但是实际上，电池在工作时由于各种制约条件限制，在目前技术水平条件下，各类电池的实际能量转化效率均在40%~60%。若实现热电联供，燃料的总利用率在80%以上。表1-3是丰田汽车公司试验时测试的数据，电动汽车的综合效率均比汽油发动机高。

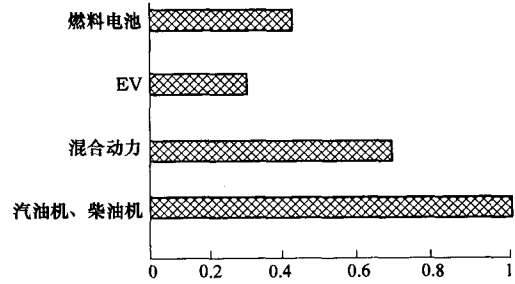


图 1-10 噪声比较

表 1-3 各类汽车综合效率比较

类 型	汽油	电力	混合动力(汽油机)	燃料电池(压缩比)
燃料生产效率(%)	88	26	88	58
汽车运用效率(%)	16	80	30	50
综合效率(%)	14.08	20.8	26.4	29

日本石谷久在燃料电池研究课题中对汽油、电力、甲醇、压缩天然气、柴油、压缩氢和液氢几种燃料和多种组合方式进行了比较。在内燃机中，柴油机的最好，压缩氢较差；在内燃机+电能的混合动力中，以柴油机混合动力车效率最高；在燃料电池汽车中以纯氢燃料电池电动车最节能（见图1-11）。

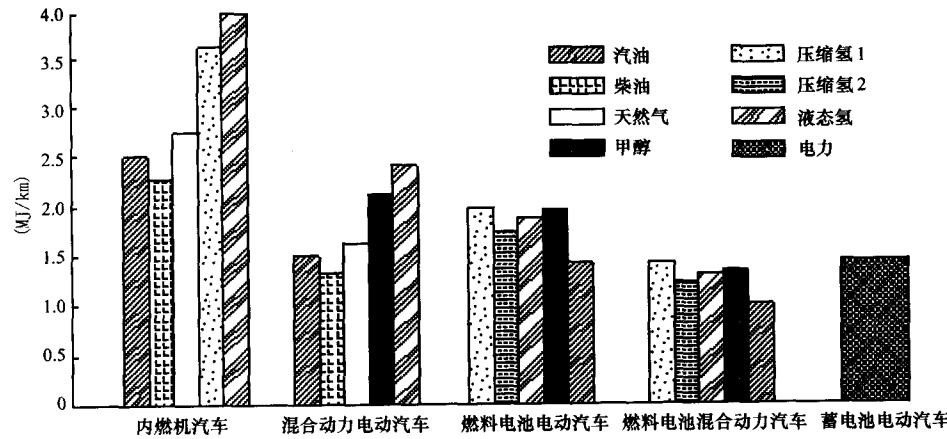


图 1-11 各种车辆单位里程能量消耗率比较

1.1.2.4 能量回馈机会多

根据电动汽车的能源组合机制，很容易利用电动机可逆发电的功能回收制动能或下坡时势能转化的电能，使汽车的续驶里程增加，稳定性提高。近几年开发的新型电动汽车都具有能量回收系统，这样设计的车子经实地测试可使汽车续驶里程增加10%~15%。

1.1.2.5 可以解决汽车面临的能源等可持续发展的问题

纯电动汽车所用的蓄电池所蓄的电，可以由公用电网中得到，故所有获取电能的方法都可以用做电动汽车的能源获取途径，如水力发电、核电、热电、风电、地热电和太阳能等均可；燃料电池可以利用氢、甲醇等非化石燃料作能源，因此电动汽车改变了传统汽车依靠石油燃料的格局，发展电动汽车是解决人类可持续发展，化石能源面临枯竭问题的可行方法，具有重要的能源战略意义。

1.2 发展电动汽车势在必行

汽车已成为当今人类社会不可缺少的交通工具，是城市居民日常生活的一部分。汽车是关联度最高的产业之一，它可以拉动 3.27 倍的相关产业和解决 10%左右的社会总劳动力的就业问题。汽车与人们的紧密度越来越紧，它对人类社会进步产生着巨大的推动作用，世界上汽车保有量也与日俱增。但是汽车的飞速发展和数量的日益增多给人类带来了麻烦，尤其是影响人类可持续发展的环境污染问题和出现能源短缺问题。

1.2.1 以内燃机为动力的汽车环境危害成为当今主要环境危害之一

汽车在其生命全周期内对公共环境和人类健康甚至生命产生一系列危害。这些危害包括汽车在生产过程中、使用中和报废后的大气污染、水源污染、废弃物、环境噪声、电源污染等，其主要是大气污染，可分为直接危害和间接危害。所谓直接危害是指汽车排放的 CO、HC(碳氢化合物)和 NO_x 气体，空气中含有浓度时，对人的敏感器官和血、心等造成中毒或损伤；所谓间接危害指 CO₂、SO₂、氟卤烃等类积累起来会对酸雨的形成、温室效应的加剧和臭氧层的破坏起到加速作用。汽车所带来的污染物对动植物环境的影响，如图 1-12 所示。特别是在大城市中，汽车行驶所排放的气体、颗粒、蒸发物已成为城市

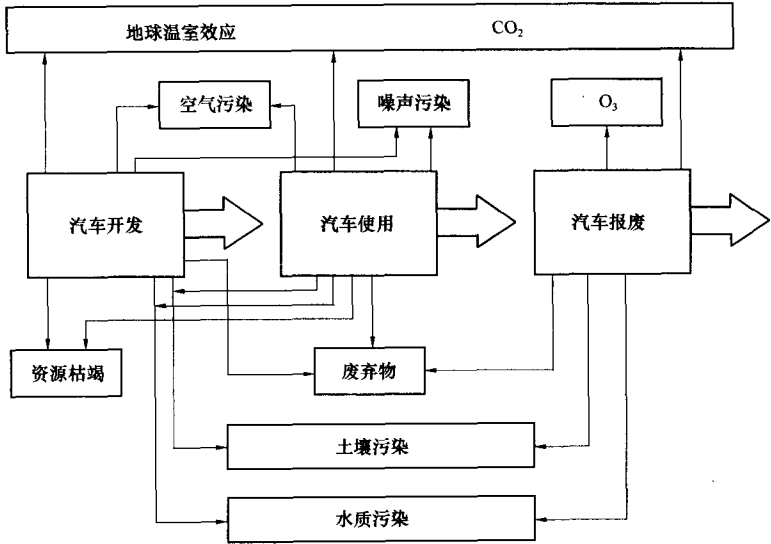


图 1-12 汽车生命周期与环境关系

空气污染的主要来源。比如，2004 年中国环保状况公告中披露被测的 342 个城市中，空气质量达到居住区标准的城市有 131 个，仅占 38.6%。又比如，北京 1995 年统计，汽车所排放出的 CO、NO_x 占总排放量的 76.5%和 68.4%。CO₂ 排放量与燃料消耗率成正比，经科学家计算，地球大气层 CO₂ 安全容纳指数为 8，可现在实际上已超过 7。其中交通部门消耗的燃料所产生的 CO₂ 占总数的 20%，汽车占交通总数的 56%，如图 1-13 所示。

但是汽车的社会保有量还是有增无减，比如我国现有汽车保有量 3 600 万辆，至“十一五”末，保有量将超过 1 亿辆，预计到 2020 年我国汽车保有量将会达到 1.5 亿辆；如果按人均拥有量计算，以现有美国水平为参照点，则会达到 10 亿辆，按现在世界平均水平计算也会达到 2 亿辆。全世界预计 2020 年机动车社会保有量将会超过 10 亿辆。尽管降低汽车有害排放物的呼声日渐高昂，各国政府不同程度地采取措施，如美国已经出台了部分汽车零排放的法规，我国颁布了限制排放值和百公里油耗值，但需求数量上升的数字(15%)远远超过限值的下降速度(6%)，CO₂ 和其他有害气体总量不但没有改观反而会上升。人类都迫不及待地寻求解决替代内燃机汽车的办法，这时才真正认识到电动车辆的价值，并重新投入巨大的人力、物力、财力研发电动汽车。

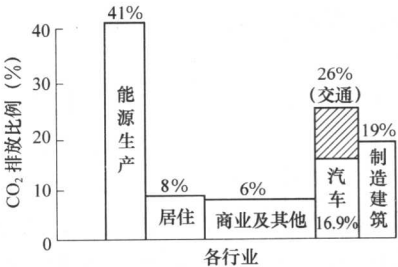


图 1-13 1998 年世界不同燃料燃烧 CO₂ 排放比例

1.2.2 电动车能解决内燃机汽车不能解决的常规燃料枯竭问题

一次能源再丰富，毕竟是个有限数字，尽管每年都有新的油田、气田被发现，但这些能源是有限的，总有一天会消耗殆尽。反过来，随着世界人口增加和生活水平的提高，人类对能源需求更加旺盛，能源消耗总量逐年增加，尤其是汽车燃油消耗加快，也就意味着石油资源的枯竭速度在加剧(见图 1-14)。所以现在各大国都把发展电动汽车纳入正常规划之中。

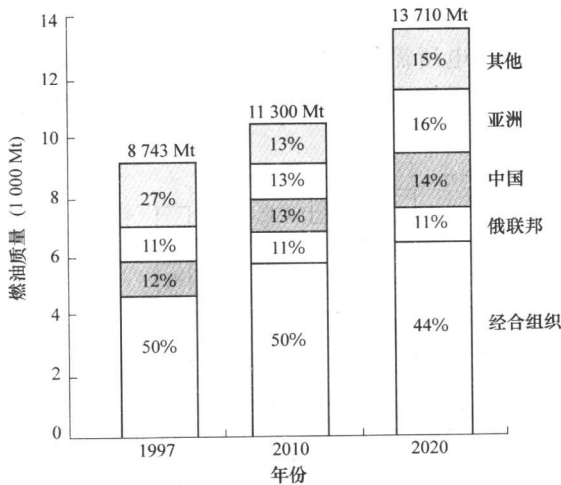


图 1-14 世界能源消耗量及预测

我国汽车保有量如果依美国或日本等发达国家发展速度预计, 2005 ~ 2020 年是汽车高增长期, 我国 2020 年燃料需求量增长为 1997 年的 1.996 倍, 国内石油存储量和开采量有限, 从 1993 年起需从国外进口石油, 每年递增 1 000 万 t, 2000 年进口石油 7 000 多万 t, 2004 年进口 1.2 亿 t, 预计 2010 年进口石油将达到 1.82 亿 ~ 2 亿 t, 石油进口依存度高达 51.4% ~ 52.6%, 而美国则改变能源策略, 根据布什计划, 到 2020 年, 每天减少石油用量 1 100 万桶, 即相当于美国现在每天进口的石油数量, 换句话说, 美国已不必进口石油, 石油进口依存度很小。我国现在每年石油进口总量仅为美国进口总量的 1/5, 如果积极研发替代新能源、新型动力汽车, 将会逐渐缓和或改变这种被动的局面, 所以我国在“863”计划中把研发电动汽车作为一项新课题, 研发电动汽车势在必行。如若没有这样的紧迫感, 我们就会被卷入 2010 年世界能源短缺 8%、2040 年世界能源短缺 24% 的能源危机旋涡之中, 将会处于十分被动的地位。

1.3 电动汽车构造特点

各种各样的内燃机汽车已融入人类的生活中, 研发电动汽车的目的只是改变原汽车的能源品种和对环境的危害, 所以电动汽车结构除了内燃机和与之有关的进气系统、燃料供给系统、排气系统、传动系统、启动系统、冷却系统外, 汽车造型、车身、底盘系统, 甚至驾驶员操作习惯亦保留下来。虽然电动汽车处于研发、示范、推广阶段, 结构形式多样, 但概括起来电动车一般形成了电源供给系统、驱动系统、控制系统和能源管理系统等四个子系统。

1.3.1 电源供给系统

电动汽车电源供给系统主要由储能装置、变换装置和电源馈电线路组成(见图 1-15)。根据电动汽车不同类型, 储能装置不尽相同。对于纯电动汽车, 储能装置主要有各种蓄电池所组成的电源组件, 有的还配有超级电容或飞轮储能电池作辅助电源。蓄电池一般充满电后再安装, 车上配有充电装置, 可以在车上充电。对于以燃料电池为动力的电动汽车, 要有供电电池发电所需的燃料储备装置, 根据燃料电池的类型, 供给的燃料不同。如纯氢燃料电池则需配有储氢罐, 富氢型燃料电池则需有富氢燃料供给和重整装置等。

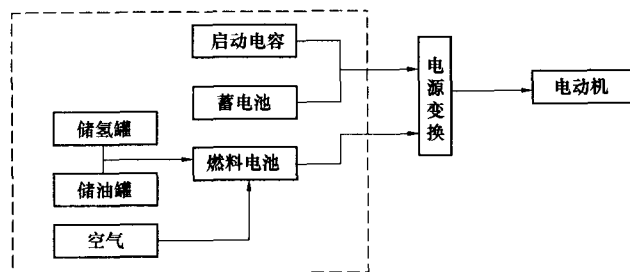


图 1-15 电动汽车电源供给系统