

中国制造2025前沿技术丛书

现代有轨电车 混合动力技术

Hybrid Power Technology of
Modern Tram

© 孙帮成 李明高 李明 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中国制造 2025 前沿技术丛书

现代有轨电车混合动力技术

孙帮成 李明高 李明 等编著



机械工业出版社

新能源技术与混合动力技术是目前轨道交通行业新兴的节能减排技术。轨道交通车辆采用新能源及混合动力技术以达到节能减排的目的,已成为发展趋势。目前有轨电车在国内外市场上已得到较为成熟的应用,超级电容有轨电车、蓄电池有轨电车、超级电容/蓄电池混合动力有轨电车、燃料电池有轨电车在欧洲、日本、中国纷纷亮相并得到迅速发展。

本书针对有轨电车混合动力技术,分6章分别讲解了城市轨道交通新能源技术发展现状、燃料电池基础知识、锂电池基础知识、超级电容基础知识以及超级电容/蓄电池混合动力有轨电车、燃料电池有轨电车相关的技术知识。本书从轨道交通行业及动力电池、超级电容行业基础知识和应用状况出发,结合节能减排等国家政策规划,由浅入深地讲解新能源技术和混合动力技术,为相关研究人员、技术人员提供参考。本书也可以作为新能源技术的入门教程或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车混合动力技术/孙帮成等编著. —北京:机械工业出版社, 2016.6

中国制造2025 前沿技术丛书

ISBN 978-7-111-53323-8

I. ①现… II. ①孙… III. ①有轨电车—混合动力汽车
IV. ①U482.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第061502号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:连景岩 杜凡如 责任编辑:连景岩 杜凡如

版式设计:霍永明 责任校对:肖琳

封面设计:张静 责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·454千字

0 001—1 900册

标准书号:ISBN 978-7-111-53323-8

定价:79.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

现代交通运输工具如汽车、城市轨道车辆为现代社会的发展和人类生活流动性需求做出了重大贡献。目前城市轨道车辆多采用电力驱动,对环境的影响不大,但汽车的大量使用则对环境造成了巨大的影响。全世界大量汽车的应用,已经产生并正在继续引发严重的环境问题。大气污染、全球变暖以及地球石油资源储量的迅速减少,已经成为当前人们关注的重点问题。

新能源与节能减排技术是目前国内外交通行业大力支持的新兴技术。随着燃料电池、超级电容、蓄电池等新能源供电部件功率密度、能量密度及充放电效率等技术水平的提升,现代车辆已开始逐渐采用燃料电池、超级电容、蓄电池等新能源材料作为车辆启动、加速、长距离运行、能量回收的替代能源。混合动力汽车、纯电动汽车、混合动力轻轨车的生产制造在欧洲、日本、中国已迅速发展为重点扶持的新兴产业。

本书针对现代交通行业新能源技术,共6章分别讲解了城市轨道交通新能源技术发展现状、燃料电池基础知识、锂电池基础知识、超级电容基础知识以及超级电容/蓄电池混合动力有轨电车、燃料电池有轨电车相关的技术知识。本书从轨道交通行业及动力电池、超级电容行业基础知识和应用状况出发,结合节能减排等国家政策规划,由浅入深地讲解新能源技术和混合动力技术,为相关研究人员、技术人员提供参考。本书也可以作为新能源技术的入门教程或参考书。

本书主要由孙帮成、李明高、李明编著。此外,参与编写的还有高峰、付稳超、石俊杰、黄烈威、邵楠、刘斌、孔繁冰、于淼、李国清、韩璐、刘楠、臧晓艳、张秋敏、汪星华、唐晨、姚峰、周德来、陈倩倩、邵蓉、李欣伟、张继业、裴春兴等。由于编者水平有限,书中难免有不妥、疏漏之处,欢迎广大读者对本书提出批评和建议,以便做进一步的修改和补充。

编者

前言

第 1 章 城市轨道交通新能源技术发展现状	1
1.1 城市交通运输对环境的影响	1
1.1.1 环境污染	1
1.1.2 全球变暖	2
1.1.3 石油资源	3
1.1.4 引发的思索	5
1.2 城市交通运输发展策略	6
1.2.1 新能源对交通运输的重要性	6
1.2.2 新能源技术加快发展的国际背景	8
1.2.3 中国发展新能源车辆的国内背景	15
1.3 我国城市轨道交通行业新能源技术规划及发展趋势	18
1.3.1 轨道交通行业十二五规划	18
1.3.2 轨道交通行业新能源技术发展规划解读	19
1.3.3 几种有轨电车供电方式对比分析	20
1.3.4 几种有轨电车经济性对比分析	22
第 2 章 燃料电池基础知识	28
2.1 燃料电池的分类方式	28
2.1.1 燃料电池的种类	28
2.1.2 几种典型的燃料电池	33
2.1.3 燃料电池的优缺点	36
2.1.4 燃料电池急需解决的关键问题	37
2.2 燃料电池系统结构与工作原理	38
2.2.1 燃料电池的工作原理	38
2.2.2 质子交换膜燃料电池系统的组成	40
2.2.3 氢气系统概述	42
2.3 燃料电池系统的失效分析	45
2.3.1 燃料电池系统失效方式	45
2.3.2 燃料电池系统控制器	46
2.4 国内外燃料电池技术及应用现状	46
2.4.1 国外燃料电池技术及应用现状	47

2.4.2	国内燃料电池技术及应用现状	50
2.4.3	国内外氢能及配套基础设施发展现状	51
<hr/>		
第3章	超级电容基础知识及应用技术	56
3.1	超级电容结构与工作原理	56
3.1.1	超级电容的种类	56
3.1.2	超级电容的结构原理	57
3.1.3	超级电容的基本特征与技术指标	60
3.1.4	超级电容的数学模型	61
3.1.5	超级电容的应用特性	62
3.2	超级电容器在新能源车辆上的应用	64
3.2.1	超级电容器在纯电动公交车/有轨电车上的应用	64
3.2.2	超级电容器在油电混合动力车辆上的应用	64
3.2.3	超级电容器使用的注意事项	65
3.3	超级电容的发展	66
3.3.1	超级电容技术的发展趋势	66
3.3.2	国外的超级电容产品	67
3.3.3	国内的超级电容产品	68
<hr/>		
第4章	动力电池基础知识	73
4.1	电池的基本构成及性能指标	73
4.1.1	电池的类型	73
4.1.2	电池的基本构成	74
4.1.3	电池及电池组的相关概念	74
4.1.4	电池的性能指标	75
4.1.5	常用蓄电池	79
4.1.6	电动车辆对动力电池的要求	82
4.2	锂电池结构与工作原理	86
4.2.1	锂离子电池的种类与特点	86
4.2.2	锂离子电池的结构与工作原理	88
4.2.3	锂离子电池的充放电特性	90
4.2.4	锂离子电池的充放电方法	91
4.2.5	锂离子电池的模型	96
4.2.6	锂离子电池的热特性与冷却方法	97
4.2.7	锂离子电池的失效机理	101
4.2.8	锂离子电池使用安全性的影响因素	102
4.2.9	磷酸铁锂电池的外特性	103
4.2.10	动力电池使用寿命的影响因素	105
4.3	动力电池管理系统	106

4.3.1	动力电池管理系统的基本构成和功能	107
4.3.2	动力电池管理系统的设计	110
4.3.3	动力电池状态监测的相关问题	112
4.4	动力电池的特性测试	114
4.4.1	动力电池特性测试的内容	114
4.4.2	动力电池特性测试的相关标准及主要测试项目	118
4.4.3	动力电池特性测试的相关仪器设备	120
4.4.4	动力电池特性仿真分析工具	121
4.4.5	动力电池特性测试平台实例	123
4.5	动力电池 SOC 的评估	133
4.5.1	动力电池 SOC 评估的作用	133
4.5.2	动力电池 SOC 的评估方法	134
4.5.3	动力电池 SOC 评估的难点	136
4.5.4	提高动力电池一致性的措施	138
4.6	动力电池的均衡控制	138
4.6.1	动力电池均衡控制管理的意义	139
4.6.2	动力电池均衡控制管理的难点	139
4.6.3	动力电池均衡控制管理的方法	139
4.7	电池组的匹配设计	143
4.7.1	电动车辆能耗经济性评价参数	143
4.7.2	电池组的功能要求	145
4.8	动力电池的梯次利用与回收	146
4.8.1	动力电池梯次利用	146
4.8.2	动力电池回收	146
4.9	国内外动力锂电池产品发展现状及主要生产厂家	147
4.9.1	国外主要动力锂电池产品生产厂家	147
4.9.2	国内主要动力锂电池产品生产厂家	148

第 5 章 超级电容/动力电池混合动力有轨电车 151

5.1	发展混合动力轨道交通车辆的背景及意义	151
5.1.1	背景及意义	151
5.1.2	国内外混合动力轨道车辆	151
5.1.3	混合动力轨道车辆技术分析	155
5.1.4	混合动力轨道车辆应用前景分析	158
5.2	混合动力系统的组成及技术参数	158
5.2.1	DC/DC 变流器主要技术参数	160
5.2.2	混合动力电源箱主要技术参数	160
5.2.3	牵引逆变器	161
5.2.4	制动电阻	161

5.2.5 牵引电机	162
5.2.6 控制系统	162
5.3 混合动力系统性能参数估算	162
5.3.1 混合动力系统相关参数	162
5.3.2 车辆纵向动力学分析模型	164
5.3.3 系统参数匹配计算方法	167
5.3.4 储能设备能力计算	169
5.3.5 动力电池及超级电容数量的确定	172
5.3.6 混合动力有轨电车的制动能量回收	174
5.4 双向 DC/DC 变流器工作原理	175
5.4.1 混合动力有轨电车双向 DC/DC 变流器的工作要求	175
5.4.2 混合动力有轨电车双向 DC/DC 变流器拓扑结构的选择	175
5.4.3 混合动力有轨电车双向 DC/DC 变流器模型	177
5.5 复合电源系统工作原理及仿真研究	180
5.5.1 超级电容与动力电池模型	181
5.5.2 复合电源系统控制方式	183
5.5.3 复合电源功率分配控制策略	185
5.5.4 功率流分配策略算法	187
5.5.5 复合电源供电能力仿真分析	188
5.6 混合动力有轨电车运行仿真研究	195
5.6.1 混合动力仿真软件	195
5.6.2 国内某线路的混合动力方案设计	197
5.6.3 结论	214
5.7 储能式有轨电车应用展望	214

第 6 章 燃料电池/超级电容/动力电池混合动力有轨电	
车开发	215
6.1 氢燃料电池轨道车辆效益分析	215
6.2 混合动力系统组成及技术参数	217
6.3 混合动力系统详细设计方案	219
6.3.1 车辆设备布局优化设计	219
6.3.2 混合动力电源箱 DC/DC 主要技术参数	220
6.3.3 超级电容主要技术参数	221
6.3.4 动力电池组技术参数	222
6.3.5 燃料电池系统技术参数	222
6.4 混合动力系统匹配设计与牵引特性分析	224
6.4.1 牵引特性分析	224
6.4.2 能量控制策略	227

6.5	混合动力系统集成设计技术	230
6.5.1	气路接口	230
6.5.2	冷却接口	232
6.5.3	电气/机械接口	233
6.5.4	冷起动系统	237
6.5.5	防冻保护	238
6.5.6	氢气泄漏检测	239
6.6	能量综合利用及节能减排技术	239
6.6.1	燃料电池有轨电车运行能耗影响因素权重分析	239
6.6.2	系统功耗优化分配与节能分析	254
6.6.3	动力电池箱综合冷却方案设计/引空调风冷却技术	257
6.6.4	燃料电池系统冷却装置减振降噪技术	265
6.6.5	余热利用技术	270
6.7	燃料电池混合动力有轨电车高压氢气加注方案	272
6.7.1	加注系统方案	272
6.7.2	加注方案说明	273
6.7.3	加注说明	276
6.7.4	紧急事故处理预案	278
6.8	燃料电池混合动力有轨电车应用展望	280
6.8.1	氢燃料有轨电车最佳解决方案需求分析	280
6.8.2	顶层设计指标分析	280
6.8.3	下一代燃料电池系统技术需求分析	282
6.8.4	模块化设计	283

参考文献	285
------------	-----

城市轨道交通新能源技术发展现状

第 1 章

2015年初,前央视知名记者柴静做的关于国内雾霾状况的调查纪录片《穹顶之下》发布,它的发布可谓是一石激起千层浪,使国人对环境保护问题和清洁能源的关注度迅速提高。其实早在2014年11月12日,中美就共同宣布了关于2020年后的气候变化行动,中国首次正式提出非化石能源占一次能源消费比例从2015年的15%提升到2030年的20%左右。纵观近年来的发展趋势,绿色能源产业已经不是“选择”而是“必须”。

城市轨道交通车辆、无轨电车、汽车等现代交通工具为现代社会的发展和人类生活流动性需求做出了重大贡献。但汽车的大量使用对环境造成了巨大的影响。全世界大量汽车的应用,已经产生并正在继续引发严重的环境问题。城市环境可持续发展、大气污染、全球变暖以及地球石油资源储量的迅速减少,已经成为当前人们关注的重点问题。目前城市轨道交通车辆多采用电力驱动,需架设错综复杂的电网,严重影响了城市景观和城区规划;同时,由于城市轨道交通车辆用电量占城市用电量比例很大(据相关报道,北京的城轨车辆用电量占总用电量20%~30%),对城市电力供给造成了较大的压力,节能减排的需求较大。

近年来,在与交通运输相关的研究开发领域中,轨道交通车辆由于其大运量、安全性高、高效率等优势,受到城市居民的青睐。发展城市轨道交通,缓解汽车带给城市地面公共交通的拥堵、环境污染等压力,已成为城市发展的第一要务。同时,人们致力于发展高效、清洁和安全的新能源材料及供电装备,将其应用于城市轨道交通车辆、无轨电车、汽车等城市交通工具,实现无电网运行,以减少电网架设和燃油不完全燃烧带来的环境破坏。

1.1 城市交通运输对环境的影响

1.1.1 环境污染

目前,大部分燃油类地面交通车辆(汽车、摩托车等机动车辆)依靠烃类燃料的燃烧,获得其所必需的能量。在很多情况下,发动机内烃类燃料的燃烧是非理想化的,即除生成二氧化碳(CO_2)和水之外,燃烧生成物还含有一定量的一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、铅(Pb)、细微颗粒物及硫化物等,所有这些生成物不但污染环境,对人的健康也是有害的。这些一次污染物还会通过大气化学反应生成光化学烟雾、酸沉降等二次污染物。全球大气污染的42%源于交通车辆产生的污染。随着城市机动车辆数量的快速增长,机动车辆排气污染已成为城市大气污染的主要原因。一些城市机动车辆排放的污染物对多项大气污染指标的影响率已达到70%。机动车辆排放污染已对城市大气环境

构成了严重威胁。因此,必须研究改善城市机动车辆排放污染的对策和措施。

主要污染物对环境的影响情况如表 1-1 所示。

表 1-1 主要污染物对环境的影响情况

污染物	对环境的影响情况
二氧化碳	<p>随着城市车辆的激增,全球二氧化碳排放总量逐年增加,世界碳排放问题日益突出,2009 年世界二氧化碳排放总量达到 300.6 亿 t。据国际能源署 2007 年统计,全球 23% 的二氧化碳来自于交通运输,可见车辆对碳排放量的影响之大。</p> <p>2009 年,我国二氧化碳排放总量达到 72.2 亿 t,占全球 19.1%,已成为世界第一大二氧化碳排放国,美国以 18.4% 的二氧化碳排放量位于第二位。因此,推广使用新能源车辆,减少二氧化碳排放量,是各国节能减排的必然选择</p>
氮氧化物	<p>虽然氮是惰性气体,但发动机内的高温和高压环境易造成氮氧化物(NO_x)的产生。其中最易生成的氮氧化物是一氧化氮(NO),一旦 NO 排放在空气中,它与氧反应生成 NO_2。由于紫外线辐射作用,随后 NO_2 被分解回归到 NO,并生成攻击活细胞薄膜的、有高度活性的氧原子。二氧化氮在一定程度上形成了刺激性的褐色烟雾,其对人体最突出的危害是刺激眼睛和上呼吸道。同样,二氧化氮与空气中的水反应,生成硝酸(H_2NO_3),硝酸在雨中稀释,即形成酸雨,对人类生活造成巨大的影响</p>
一氧化碳	<p>一氧化碳是因缺氧而导致碳氢化合物不完全燃烧生成的气体。一氧化碳与血液中的血红蛋白结合的速度比氧气快 250 倍。一氧化碳一旦到达人和动物的血细胞,就会替代氧附着于血红蛋白,很快就减少了到达器官的氧供给量,并降低了生命体的体力和智力,危害中枢神经系统,造成人的感觉、反应、理解力、记忆力等机能障碍,重者危害血液循环系统,导致生命危险,因此吸入一氧化碳即意味着中毒。</p> <p>眩晕是一氧化碳中毒的最初症状,它能迅速导致死亡</p>
未完全燃烧的碳氢化合物	<p>未完全燃烧的碳氢化合物是烃类不完全燃烧的结果,对生命体是有害的,其中有些是直接的毒物或致癌的化学制品,如颗粒状物、苯等物质。同样,未完全燃烧的碳氢化合物也是烟雾的成分。日光的紫外线辐射与未完全燃烧的碳氢化合物和大气中的 NO 互相作用,产生臭氧和其他生成物。臭氧是无色的,但非常危险,当其侵入活细胞薄膜时,引发生命体加速老化或产生致死的毒物。</p> <p>小孩、老人和哮喘患者在高浓度臭氧环境下受紫外线辐射均会受到极大的损害</p>
其他的污染物质	<p>燃料的杂质产生在污染物质的排放中,主要杂质是硫,它主要存在于内燃机和喷气发动机燃料之中。硫(或硫的化合物,如硫化氢)同氧一起燃烧将生成氧化硫化合物(SO_x)。二氧化硫(SO_2)是燃烧中的主要生成物,当其与空气接触时,将产生三氧化硫(SO_3),如果三氧化硫和水反应,则会生成硫酸,成为酸雨的主要成分。</p> <p>为改善发动机的性能或寿命,石油公司在其燃料产品中添加了铅的化合物。四乙基铅(常简称为“铅”)被用于改善汽油的抗爆性,因此得以有更好的发动机性能。然而这一化合物的燃烧会析出铅金属,而铅是导致“铅中毒”等神经疾病的缘由。目前,在大多数发达国家中,已禁用四乙基铅,且其已被其他化合物替代</p>

1.1.2 全球变暖

大量数据和现象表明,未来 50~100 年人类将完全进入一个逐渐变暖的世界。由于人类

活动的影响,温室气体和硫化物气溶胶的浓度增加过快。有科学家预测,未来100年全球地表平均温度将上升 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$,到2050年我国平均气温将上升 2.2°C 。

全球变暖是温室效应的结果,而温室效应是由二氧化碳和其他气体(如大气中的甲烷)引发的。这些气体截获了由地面反射的日光的红外辐射,因而在大气中截留了能量,并使之升温。地球温度的升高导致其生态系统被破坏,并引发影响人类的许多自然界的灾害,使气候变化风险加剧。

由于自然界灾难引起的伤害之广,使人们对自然界灾难的关注多于对生态灾害的关注。全球变暖被认为是导致如“厄尔尼诺”气象征兆的原因,该气象征兆干扰了南太平洋区域,并定期引发龙卷风、洪水和干旱。极地冰盖的融化是全球变暖的另一主要后果,它提升了海平面,而且可引发沿海区域的洪水。

近几十年的观测表明,人类活动是造成气候变暖的原因。近年来人类社会对能源的大量消耗带来了温室气体排放问题,而气候变暖又是由于大气中聚集了二氧化碳等大量温室气体。二氧化碳是碳氢化合物和煤燃烧的生成物,是全球最重要的温室气体,是造成气候变化的主要原因,而它主要来自化石燃料的燃烧,运输工具对二氧化碳的排放占有大量的比例。虽然二氧化碳可被植物吸收,并由海洋以化合成碳酸盐的方式收集。但这些自然的同化过程是有限的,它不可能同化所有二氧化碳,其结果是在大气中形成二氧化碳的累积。

交通领域二氧化碳排放成为关注重点。据国际能源机构(International Energy Agency,简称IEA)估计,城市机动车辆二氧化碳总排放量将从1990年的29亿吨增加到2020年的60亿吨。汽车对地球环境造成了巨大影响。

控制消费和节约能源是减少二氧化碳排放量的重要途径。仅在工业发达国家,人均能源的消费指数为 $1\sim 3$ 不等,这就表明,节约能源的余地是极大的。当然,还可以考虑保持适当的消费水平,同时用那些不会产生温室效应的替代品来取代那些会造成污染的能源。

为了减少机动车对全球气候变暖的影响,削减温室气体的排放,机动车辆应尽量采用小排量和稀薄燃烧发动机,最大限度地提高能源利用效率,从而减少对全球气候变暖的影响。为了减少二氧化碳的排放量,各国开始制定并实施城市机动车辆二氧化碳排放法规。2008年,欧盟要求小汽车二氧化碳排放降低到 $140\text{g}/\text{km}$,对于汽油车,对应油耗 $6\text{L}/100\text{km}$ 以下;2012年,降低到 $120\text{g}/\text{km}$;2020年,降低到 $100\text{g}/\text{km}$ 。如果我国采用一系列先进技术,包括电动汽车、天然气汽车和以天然气为燃料的内燃机技术,到2030年,我国汽车二氧化碳的排放总量有可能降低45%。

1.1.3 石油资源

石油是从地下采掘的矿物燃料,是活性物质分解的生成物,这些物质几百万年前(奥陶纪系)被埋藏在稳定的地质层中。该生成过程需要历经上百万年,这也是石油资源有限的原因。

世界能源主要包括石油、天然气、煤炭等,而目前全球交通运输业的燃料绝大部分来自于石油及其衍生品——汽油和柴油等。《BP世界能源统计》显示,截至2009年底,全球已探明的石油储量为13331亿桶,可开采45.7年。以同样的方式计算,现有天然气储量能满足62.8年的开采,而煤炭储量可开采119年。

2007年,在世界能源消耗总量中,石油占35%,煤炭占29%,天然气占24%,其他占

12%。随着时间的推移,能源消耗结构会发生变化,新型能源消耗的比例将不断增加。

截至2010年1月1日,全球前10大探明石油储量国排名见表1-2,石油储量总共为11279亿桶,占世界石油储量的84.6%。

表 1-2 全球前 10 大探明石油储量国排名

排名	国家	储量/亿桶	所占比例
1	沙特阿拉伯	2599	21.8%
2	加拿大	1752	14.69%
3	伊朗	1376	11.54%
4	伊拉克	1150	9.65%
5	科威特	1015	8.51%
6	委内瑞拉	994	8.34%
7	阿联酋	978	8.2%
8	俄罗斯	600	5.03%
9	利比亚	443	3.72%
10	尼日利亚	372	3.12%

已经证实的储藏量是指经地质和工程信息预示的储藏量,即在现阶段经济和运行条件下,今后由已知的储油层可被开采的储藏量。因此,它并不能构成地球总储藏量的指标。

在温带、亚热带和热带等地区,地表面层附近的石油是便于开采的。地质学家认为,极地地区(如西伯利亚、美国或加拿大等国家),石油储量很多。在上述地区内,气候和对生态的关注是勘探石油或开采石油的主要障碍。因政治和技术原因,估算地球的石油总储量是一项困难的任务。由美国地质勘探局(U. S. Geological Survey, USGS)在2000年估计的尚未勘探的油资源量列于表1-3中。

表 1-3 美国地质勘探局对尚未勘探的石油资源的估计(2000年)

区域	已知储藏量(2000年)/ 10^9 t	R/P 比值	尚未勘探的石油资源(2000年)/ 10^9 t
北美地区	8.5	13.8	19.8
南美和中美地区	13.6	39	14.9
欧洲	2.5	7.7	3.0
撒哈拉沙漠以南的非洲地区和南极洲	10	26.8	9.7
中东和北非地区	92.5	83.2	31.2
前苏联地区	9.0	22.7	15.7
亚太地区	6.0	15.9	4.0
全世界(潜在的增长量)	142.1	39.9	98.3 (91.5)

石油的消耗量(对应的生产量)与发达国家和发展中国家的经济增长同步逐年增加。其中,随着某些人口大量聚居国家的迅速发展,石油消耗量很可能出现快速的增长,特别是在亚太地区。

近年来,全球石油消耗量的发展趋势在明显增长。增长最快的地区是亚太地区,全世界

大多数人口居住在该地区。石油消耗量激增，将导致污染物迅速扩散，二氧化碳排放量成倍增加。

石油在交通领域的消费逐年增长。国际能源署（IEA）的统计数据表明，2001年全球57%的石油消费在交通领域（其中美国达到67%）。预计到2020年交通用油占全球石油总消耗的62%以上。美国能源部预测，2020年以后，全球石油需求与常规石油供给之间将出现净缺口，2050年的供需缺口几乎相当于2000年世界石油总产量的两倍。

我国是一个能源短缺的国家，已探明石油储量约160亿桶，约占世界储量的1.1%，但却是一个能源消费大国。我国的石油消耗量仅次于美国，位居世界第二，原油消费年均增长率在6%以上。

目前世界汽车保有量约8亿辆，预计到2030年车保有量将突破20亿辆，主要增量来自发展中国家。我国汽车产销量逐年增加，目前我国已连续成为世界第一汽车生产大国和第一新车销售市场。

在交通领域，汽车消费的快速增长导致石油消耗加速增长。我国机动车燃油消耗量约占全国总油耗的1/3，这也使得我国石油对外依存度每年都在不断攀升。据预测，到2020年我国石油消耗的76%依赖进口，而汽车用油消耗占国内总用油量的57%。目前，全国汽油的消耗主要是汽车消耗，约占87%，而汽车柴油的消耗占38%左右。从我国单车耗油量来看，平均单车所耗油的实际值约2.5t，比美国高10%~25%，比日本高1倍以上。

1.1.4 引发的思索

石油短缺、环境污染、气候变暖是全球汽车产业面对的共同挑战，各国政府及产业界纷纷提出各自的发展战略，积极应对，以保持汽车产业的可持续发展，并提高未来的国际竞争力。新能源车辆已成为21世纪汽车工业的发展热点。

与矿物燃料燃烧相伴随的环境污染、全球变暖以及可预见的资源枯竭等众多问题，虽然与之相关的代价难以估量，但其损失是庞大而非直接的，且可以是资金上的代价、人的代价或两者共有的代价。

由污染引发的代价并非仅限于健康上的危害，它还包括重新栽培因酸雨而毁坏的森林，以及清洗和整修受到酸雨侵蚀的历史遗迹等代价。当然，对人类健康的危害是最大的代价。

同样，与全球变暖相联系的代价也是难以确定的。它可包括因龙卷风造成的破坏、由于干旱毁损的庄稼、因洪水导致的资产毁坏以及为救济受害居民而实施国际援助等各方面的代价，其总量可能是巨大的。

目前，全球已达成共识，城市机动车辆能源转型势在必行。另外，减少排气污染、净化环境已成为车用燃料发展的大方向。以欧盟为例，欧盟15国制定的《汽车—油料发展规划》要求，1995年~2020年，道路运输排放的7种主要污染物[CO、NO_x、挥发性有机物(VOC)、苯、柴油颗粒物(PM)、CO₂、SO₂]要大大降低，除CO₂外，其他各种污染物到2020年平均相对值降低到10。

从汽车行业来看，随着我国成为全球第一大汽车消费国，汽车工业带来的能源短缺、环境污染等问题日益严重。统计数据表明，目前我国汽车保有量主要集中在经济发达地区或中心城市，汽车废气排放已成为城市大气污染的主要来源；同时，我国的石油资源严重不足，石油消费与进口量逐年增加，进口占比超过50%。在未来30年内，我国的汽车保有量还将

大量增加，大气环境污染、能源短缺问题将更为严重。

面对温室气体排放大幅增加，能源问题日益严重，环境污染不断加剧，选择开发以新能源车辆为代表的节能环保汽车变得尤为重要。在此背景下，中国发展新能源车辆，不仅有利于降低对石油的依赖，保证我国的能源安全，也有利于我国的环境保护和可持续发展，并为我国汽车产业实现跨越式发展提供重要的战略机遇。

我国国Ⅱ、国Ⅲ、国Ⅳ排放标准见表 1-4。

表 1-4 我国各标准规定的排放限值

单位: g/km

	国Ⅱ	国Ⅲ	国Ⅳ
一氧化碳 (CO)	2.20	2.20	1.00
总碳氢化合物 (HC)	—	0.20	0.10
氮氧化物 (NO _x)	—	0.15	0.08
碳氢化合物和氮氧化物 (HC + NO _x)	0.50	—	—

有关专家指出，未来 5~10 年，我国发展新能源交通运输需要在以下四个方面加倍努力：

(1) 减少石油消耗和二氧化碳排放 交通运输业的石油消费比重日益增大，唯有发展新能源及相关车辆，才能减少石油消耗，降低对石油的依赖程度，同时有效抑制二氧化碳排放，缓解城市大气环境恶化。

(2) 完善新能源技术创新和产业化的制度环境 充分借鉴现代市场经济国家的发展经验，通过加强法治建设、转变政府职能、优化竞争环境、改革监管机制，以及在构建金融、人才、科研等支撑平台建设等方面工作，建立并完善我国新能源技术创新和产业化的制度环境。

(3) 制定有力的国家新能源交通工具发展战略 制定思路明确、步骤清晰和推进有力的国家新能源交通工具发展战略。

(4) 加强对关键零部件和上游核心技术的研发 将研发资金和人才等重要资源，从整车环节逐步转向以“三电”为重点的关键零部件领域，将主要投入对象从科研院所和高等院校转向企业，同时加强对事关新能源交通工具发展成败的重点领域、核心技术和关键材料的研发和产业化应用，以增强我国新能源交通工具的国际竞争力。

1.2 城市交通运输发展策略

现代车辆采用新能源技术以达到节能减排的目的，已成为当今世界的发展趋势。目前电动汽车在国内市场上已成熟应用，混合动力汽车、混合动力有轨电车在欧洲、日本、中国已迅速发展成为新兴产业。

1.2.1 新能源对交通运输的重要性

全球石油资源可维持石油供应的年数完全取决于新储油地的发现以及石油储备量。历史数据表明，新储油地的发现进程缓慢，而另一方面，石油消耗量则呈现如图 1-1 所示的高增长率。假如新储油地的发现及石油消耗量遵循现在的趋势，则全世界石油资源约可用至

2038年。目前新储油地的发现已日益困难,开采新油地的成本也越来越高。如果石油消耗率不能显著降低,那么石油供应的困境将不会发生大的变化。

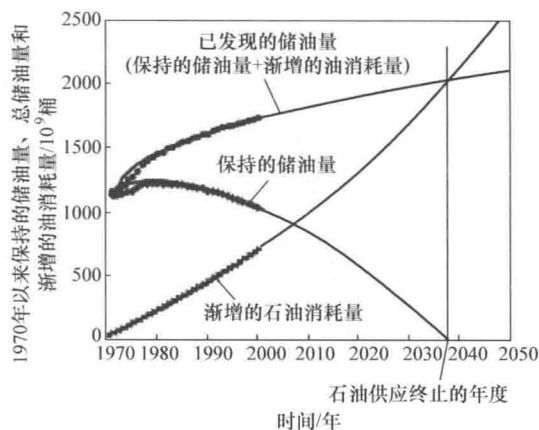


图 1-1 全球石油的新发现、保持的储量以及渐增的消耗量

世界上大部分工业化国家和发展中国家的石油消费结构虽然各不相同,但交通运输部门基本上都是首要的石油使用者,如图 1-2 所示。可以看出,世界范围内石油应用方面的增量大多数出现在交通运输部门,且所占比例持续增大。

就发展中国家而论,交通运输部门石油消耗量涨幅较大,预计至 2020 年其增长量接近非交通运输部门能量的消耗总和。但是,发展中国家不像工业化国家,其石油消耗总增量的 42% 规划用于非交通运输部门。发展中国家的非交通运输部门所对应的石油消耗量的增长,部分原因是以石油产品替代非商品化燃料(如燃烧木材用于家庭制热和烹饪)。

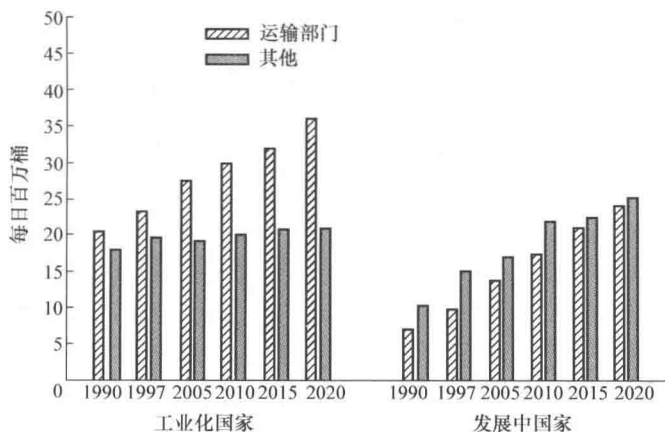


图 1-2 运输和其他部门的全球石油消耗量

改进车辆的燃油经济性对石油供应有决定性的影响。以汽车行业为例,迄今为止,最有前途的技术是混合动力电动汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车。混合动力电动汽车采用目前的内燃机为其主要动力源,并以动力电池和电机组成峰值电源,它比单独由内燃机提供动力

的车辆具有高得多的运行效率。这一技术用于工业化生产的硬件和软件已基本成熟。随着电池技术的快速发展,纯电动汽车技术得以完善,已逐步推广运用。此外,燃料电池汽车比混合动力电动汽车将有更高的效率且更为清洁,已逐步开始商业化运行。

对于城市轨道交通车辆来说,传统城轨车辆采用的电力驱动供电技术,效率远高于采用燃油作为驱动能源的无轨电车和汽车等。而如果采用新能源供电技术(如超级电容、动力电池、燃料电池等),不仅能减少架网成本,而且能实现城市环境保持和车辆的节能运行。

1.2.2 新能源技术加快发展的国际背景

过去一百多年,世界各国工业的发展均建立在化石能源应用的基础上。目前世界能源消费的40%、交通能源的90%仍然依赖石油,几乎所有的发达国家都是石油进口国。因此,能源安全长期作为发达国家的重要战略目标,目前的国际政治和军事冲突,大多与石油有关。

当前,全球新能源产业格局正在发生重大变革,世界城市交通车辆研发和制造格局也在发生重大调整。世界金融危机爆发后,发达国家均将发展新能源车辆作为实施新能源战略、巩固和提升产业竞争力的重要途径。中国应深刻把握和认识全球新能源产业格局调整的方向,积极参与新一轮新能源技术革命,以快速提升车辆产业的国际竞争力。

1.2.2.1 新能源日益成为发达经济体重要的战略领域

在资源、环境和金融危机三大压力下,目前世界能源领域正面临着重大变革,主要体现在以化石能源为主向化石及其他能源并重,进而向替代能源和可再生能源为主的能源体系转变。相对于轨道交通车辆,新能源材料及供电技术在汽车行业应用得更早且较早形成规模。

(1) 日本的新能源战略 日本是一个资源匮乏、石油对外依存度较高的国家,最高时曾接近80%。在经历了1973年和1978年两次石油危机后,日本政府和企业均认识到开发新能源的重要性,开始推动新能源的开发和推广利用。日本能源政策的目标定位是实现能源安全、经济增长和环境保护的共同发展。日本的能源政策主要包括以下内容:

1) 石油安全。由于日本进口石油大部分来自政治格局极不稳定的中东地区,因此日本提出旨在分散风险的综合资源战略。强化石油与天然气的自主开发,降低石油依存度;大力推行能源外交,除中东地区外,也重视发展与亚洲、非洲和拉丁美洲资源国的合作,促进石油供应来源的多元化。近年来,日本将油气进口多元化的战略重点,更多地转向能源丰富的俄罗斯。

2) 石油储备政策。20世纪70年代初,日本先后制定了《石油储备法》和《天然气储备法》,将石油的战略储备确定为一项基本国策。日本建立了战略石油和天然气储备制度,通过立法强制国家和企业进行石油储备。国家石油储备由政府直接控制,储备方式为国家储备基地及从民间租用储库;企业储备没有将生产性库存和义务储备截然分开,只对数量有要求,并不要求储备种类及储备方式。

3) 节约能源政策。为了鼓励企业和全社会节能,日本实施多项财税政策:

① 税制改革。使用指定节能设备,可选择享受设备标准进价30%的特别折旧或7%的税额减免(适用于中小企业)。

② 补助金制度。对于企业引进节能设备、实施节能技术改造给予总投资额的1/3~1/2的补助;对于企业和家庭引进高效热水器给予固定金额的补助;对于住宅、建筑物引进高效