

*THE RESEARCH ON ELECTRIC
VEHICLE INDUSTRY*

电动汽车产业研究

张国昀◎编著

电动汽车是战略性新兴产业，电动汽车的发展能够进一步推进交通的电动化、智能化、网络化进程，促进清洁低碳、安全高效的现代能源体系建设，并有望借助电动汽车实现我国汽车产业的“弯道超车”。



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

*THE RESEARCH ON ELECTRIC
VEHICLE INDUSTRY*

电动汽车产业研究

张国昀◎编著

电动汽车是战略性新兴产业，电动汽车的发展能够进一步推进交通的电动化、智能化、网络化进程，促进清洁低碳、安全高效的现代能源体系建设，并有望借助电动汽车实现我国汽车产业的“弯道超车”。

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车产业研究 / 张国昀编著. —北京:中国石化出版社, 2016. 5
ISBN 978-7-5114-4039-6

I. ①电… II. ①张… III. ①电动汽车-产业发展-研究 IV. ①F416.471

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 100775 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 338 千字

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

定价:80.00 元

序

交通运输是石油消费的主要部分，目前占石油消费量的一半以上。近年来，交通运输出现了明显的“去油化”趋势，如铁路运输的以电代油，城市终端的电物流车等。其中电动汽车备受人们关注，因为电动汽车的发展不仅关系到国家能源供给总体格局，而且与人民群众的出行方式和生活方式等密切相关，电动汽车的大规模推广很可能会引起相关领域颠覆性变化。电动汽车的发展有利于减少污染、降低石油消费和原油对外依存度，符合中国国情，人们甚至希望借助电动汽车实现中国汽车产业的“弯道超车”。电动汽车目前已经上升为国家战略，国家对电动汽车的支持力度非常大，国家和地方都密集出台很多针对电动汽车的优惠政策。因此，全面研究和分析电动汽车产业，不仅有利于科学引导和推进电动汽车产业发展，而且对炼油、成品油销售等相关产业的调整具有重要意义。

本书作者从 20 世纪 90 年代开始从事锂离子电池相关材料的制备和研究工作，多年来一直关注和研究电动汽车和动力电池的发展。目前，作者在中国石油化工集团公司发展计划部从事新能源相关发展战略和项目前期等工作，结合企业实际情况，深入思考了电动汽车今后大规模推广对石化企业的影响，形成了自己独到观点。

本书综述了电动汽车发展简史、进展现状、相关技术和国家政策情况，重点介绍了大家关注度较高的充电时间、电池储能、电池成本等方面的最新进展及发展趋势，基于电动汽车的主要技术特点，分析对比电动汽车相对于燃油汽车的竞争力，提出了今后电动汽车对燃油汽车替代的方向，预测了电动汽车实现大规模燃油替代的时间节点；并在全面分析电动汽车产业发展的基础上，预判了今后电动汽车对炼

油和成品油销售产业的影响；最后对电动汽车、相关新材料、炼油和加油站网络等产业发展提出建议。

手机刚出现时，电池体积大、充电时间长、价格贵，但随即发展迅猛，经过二十年左右，毫无争议、不知不觉中完成了普及过程。电动汽车经历了较长时间发展，笔者认为已基本具备产业化发展条件，技术突破也将发生在不久的将来。当然书中的一些观点或建议可能存在一定争议，希望通过大家共同探讨和研究，进一步启发思路，推进电动汽车及炼油、成品油销售等产业科学健康发展。

戴照明

前 言

电动汽车一般包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车、非插电混合动力汽车和燃料电池汽车。其中非插电混合动力汽车仍以燃油为动力，燃料电池汽车以氢气或其他燃料为动力，本书重点研究讨论纯电动汽车和插电式混合动力。

一、电动汽车是未来汽车发展趋势

首先，电动汽车能量转化效率高。电动汽车直接通过电动机把电池的电能转化为汽车行驶所需的机械能，电动机能量转化效率高；燃油汽车首先要将燃料的化学能转化为热能，再将热能转化为机械能，在热能转化为机械能的过程中，热能损失较大，能量转化效率较低。总体来看，电动汽车的能量转化效率是汽油车的3倍左右，是柴油车的2倍多。

其次，电动汽车终端无污染。燃油机动车在行驶过程中会排放颗粒物、氮氧化物、一氧化碳、碳氢化合物等污染物。汽车已经成为造成空气污染的主要因素之一，其中柴油车排放颗粒物和氮氧化物多一些，汽油车排放一氧化碳和碳氢化合物多一些。电动汽车在行驶过程中没有污染物排放，噪声也远小于燃油汽车；发电过程，火电可以对污染物进行集中处理，而且电还可以来自水电、风能、光伏等可再生能源。

再其次，电动汽车符合未来能源发展趋势。电动汽车将是未来新型能源供应体系中的重要环节。美国华盛顿特区经济趋势基金会总裁、前欧盟委员会主席顾问杰里米·里夫金在其著作《第三次工业革命》中提出，第三次工业革命的支柱包括五个：一是向可再生能源转型；二是将每一大洲的建筑转化为微型发电厂，以便就地收集可再生能源；

三是在每一栋建筑物以及基础设施中使用氢和其他存储技术，以存储间歇式能源；四是利用互联网技术将每一大洲的电力网转化为能源共享网络，这一共享网络的工作原理类似于互联网（成千上万的建筑物能够就地生产出少量的能源，这些能源多余的部分既可以被电网回收，也可以被各大洲之间通过联网而共享）；五是将运输工具转向插电式以及燃料电池动力车，这种电动车所需要的电可以通过洲与洲之间共享的电网平台进行买卖。我国目前正在研究发展能源互联网的一些基本思路与杰里米·里夫金《第三次工业革命》的论述有相近之处，其中电动汽车也是未来能源系统的重要组成部分。

二、电动汽车符合中国国情

首先，我国石油对外依存度高。我国石油资源短缺，自1993年成为石油净进口国以来，原油进口逐年增加，对外依存度不断攀升。2004年，原油净进口首次超过1亿吨，达到1.17亿吨，对外依存度40%；2009年，原油净进口超过2亿吨，达到2.19亿吨，对外依存度54%。

其次，我国环保压力重。机动车尾气排放已经成为我国空气污染的重要来源，是造成雾霾、光化学烟雾污染的重要原因之一，尤其是一些人口密集的大城市，尾气排放直接威胁群众健康。2013年1月，我国爆发了大范围雾霾，雾霾覆盖面积一度达到140多万平方公里，北京、天津、河北、河南、山东、江苏、安徽、湖北、湖南等地区空气质量明显下降，多次出现5级以上重度污染。2014年、2015年，雾霾现象没有出现好转，反而有加重趋势。根据国家环保部《中国机动车污染防治年报（2014）》中的数据，2013年，全国机动车保有量达到2.32亿辆，其中汽车占54.3%，低速汽车占4.6%，摩托车占41.1%。汽车中，汽油车占83.5%，柴油车占15.2%，燃气车占1.3%。当年全国机动车排放污染物4570.9万吨，其中氮氧化物640.6万吨，碳氢化合物431.2万吨，一氧化碳3439.7万吨，颗粒物59.4万吨。汽车是机动车污染物排放总量的主要贡献者，其排放的氮氧化物和颗粒物超过90%，碳氢化合物和一氧化碳超过89%。柴油车排放的氮氧化物

接近汽车排放的 70%，颗粒物超过 90%；而汽油车的一氧化碳和碳氢化合物排放较高，超过汽车排放总量的 70%。

再其次，我国汽车产业迫切需要弯道超车。改革开放初期，我国百废待兴，汽车产业发展水平非常低，很多汽车产业发展的一般技术都不具备，更谈不上核心技术。当时为加快汽车产业发展，我国采取了以市场换技术、全面合资的发展道路。经过多年的开放引进，我国汽车产业有了长足进步，目前已成为世界最大的汽车消费市场，2014 年汽车销量达到 2349.2 万辆。但市场换技术效果并不理想，电动转向、制动系统、悬挂系统、发动机控制等核心零部件仍由外方控制，一些技术不得不选择引进。国内的合资车很多核心零部件都需要进口或者从其他厂购买，而这些核心零部件生产商基本都是外资控制的，汽车产业中的很大一部分利润都被核心零部件生产商赚走了。长期保持较高的开放度，缺乏自主创新突破核心技术，是我国自主品牌传统汽车产业竞争力不强的主要原因，由于差距较大，赶超国际先进水平，需要较长时间。与传统汽车不同，电动汽车更容易实现“弯道超车”。电动汽车的技术路线与传统汽车的内燃机技术路线存在根本的不同，是一个全新的路径。国外汽车企业在发动机、变速箱等核心技术方面具有明显优势，中国可能较前沿技术落后很多，但在纯电动汽车的电池、电机和电控等核心零部件方面，中国目前的技术水平并没有落后太多。因此，中国可以越过传统汽车的技术积累，直接发展电动汽车。

基于上述原因，我国对电动汽车发展的支持力度很大，特别是 2014 年以来，国家密集出台了相关支持政策，促进了近两年来电动汽车产销量的快速增加。

三、电动汽车推广对炼油产业影响深远

电动汽车的发展与燃油汽车密切相关，只有当电动汽车综合竞争力强于燃油汽车后，电动汽车才能真正市场化，开始大规模替代燃油汽车。同时电动汽车的大规模推广会直接影响燃油汽车，进而对炼油产业产生深远影响。

本书第一章介绍了电动汽车产业发展简史和目前进展情况；第二

章详细介绍了电池、电驱、电控、混合动力、轻量化、充换电、电动汽车与电网互动等电动汽车相关的技术；第三章从国外、国内、地方等3个层面详细说明了目前电动汽车产业政策情况；第四章全面分析比较了电动汽车与燃油汽车及其他燃油替代的竞争力，预测了电动汽车今后主要替代方向和大规模替代的时间节点；第五章结合炼油产业目前现状，系统分析预测了今后电动汽车大规模推广后对炼油及成品油销售的影响；第六章在上述分析基础上，对电动汽车、相关新材料、炼油、加油站网络等产业发展提出建议。

由于本书涉及专业多、知识领域广，且作者水平有限，书中涉及的内容和观点难免会存在疏漏或不当之处，恳请读者批评指正，并在使用过程中加以甄别。

目 录

第一章 电动汽车产业演化及现状	(1)
第一节 世界电动汽车产业发展简史	(1)
一、电动汽车的产生	(1)
二、电动汽车发展的第一个机遇期(19 世纪 90 年代到 20 世纪初) ...	(2)
三、电动汽车发展的第二个机遇期(三次石油危机期间)	(2)
四、电动汽车发展的第三个机遇期(2008 年至今)	(4)
第二节 世界电动汽车产业发展现状	(5)
一、产业现状	(5)
二、技术总体现状	(7)
三、商业模式创新	(8)
第三节 中国电动汽车发展简史	(11)
一、“八五”期间	(11)
二、“九五”期间	(11)
三、“十五”期间	(12)
四、“十一五”期间	(12)
五、“十二五”期间	(13)
第四节 中国电动汽车发展现状	(14)
一、产业现状	(14)
二、技术总体现状	(17)
三、商业模式创新	(21)
四、关于低速电动汽车	(25)
第五节 小结	(27)
第二章 电动汽车技术	(29)
第一节 自身相关技术	(29)
一、电池技术	(29)

二、电驱技术	(41)
三、电控技术	(49)
四、混合动力技术	(54)
五、轻量化技术	(60)
六、典型电动汽车核心技术分析	(65)
第二节 其他相关技术	(83)
一、充换电相关技术	(83)
二、电动汽车与电网互动(V2G)技术	(92)
第三节 电动汽车的几个争议问题	(104)
一、辐射问题	(104)
二、动力电池回收处理问题	(107)
三、污染转移问题	(111)
第四节 小结	(112)
第三章 电动汽车产业政策	(114)
第一节 国外电动汽车产业政策	(114)
一、美国	(114)
二、日本	(118)
三、德国	(123)
四、其他国家	(126)
第二节 我国电动汽车产业政策	(130)
一、电动汽车政策历程	(130)
二、宏观综合政策	(132)
三、行业管理政策	(140)
四、推广应用政策	(141)
五、税收优惠政策	(146)
六、科技创新政策	(147)
七、基础设施政策	(150)
八、相关电力政策	(154)
第三节 国内各地方电动汽车产业政策	(156)
一、地方政府新能源汽车推广应用政策概况	(156)
二、补贴政策	(157)
三、基础设施支持政策	(161)

第四节 国家电动汽车标准体系	(165)
一、中国电动汽车标准化工作历程	(165)
二、目前电动汽车标准化体系情况	(167)
三、电动汽车标准化工作路线图	(171)
第五节 小结	(172)
第四章 竞争力分析	(174)
第一节 完全替代型	(174)
一、天然气替代	(174)
二、氢气	(183)
三、二甲醚	(195)
第二节 添加替代型	(195)
一、甲醇	(195)
二、燃料乙醇	(197)
三、生物柴油	(199)
四、DMMn	(201)
第三节 竞争力分析	(202)
一、完全替代型竞争力分析	(202)
二、添加替代型竞争力分析	(215)
三、不同车型燃油替代经济竞争力分析	(217)
第四节 燃油替代方向预测	(225)
一、汽油替代方向预测	(225)
二、柴油替代方向预测	(228)
第五章 对炼油及成品油销售的影响预测	(230)
第一节 国内外炼油现状	(230)
一、世界炼油及成品油贸易情况	(230)
二、国内炼油及成品油市场情况	(238)
第二节 成品油消费预测	(249)
一、汽油	(249)
二、柴油	(255)
三、煤油	(261)
四、小结	(261)
第三节 对炼油产业影响	(264)

一、影响油价	(264)
二、影响总量	(270)
三、影响结构	(270)
四、影响布局	(275)
第四节 对加油站影响	(276)
一、电动汽车发展对加油站的影响	(277)
二、发达国家加油站发展历程	(279)
三、中国加油站业务现状	(280)
四、今后加油站发展趋势	(281)
第六章 发展展望	(283)
一、关于电动汽车展望	(283)
二、关于电动汽车相关新材料展望	(284)
三、关于炼油产业展望	(285)
四、关于加油站网络展望	(286)
参考文献	(287)

第一章 电动汽车产业演化及现状

第一节 世界电动汽车产业发展简史

一、电动汽车的产生

1834 年，苏格兰人托马斯·德文博特(Thomas Davenport)制造了第一辆电动三轮车，它由一组不可充电的干电池驱动。

1859 年，法国物理学家噶斯顿·普朗特(Gaston Plante)发明了世界上第一个可以充电的铅蓄电池。1881 年，法国人古斯塔夫·特鲁夫(Gustave Trouve)在巴黎国际电力博览会上展示了第一台可充电三轮电动车，它由 1 台电机和 6 节铅酸蓄电池组成，加上乘员后，总重量 160kg，速度仅为 12km/h。

1891 年，威廉·莫里森(William Morrison)制成了第一辆电动四轮车，实现了三轮到四轮的过渡，成为现代汽车的雏形。1899 年，德国人波尔舍发明轮毂电机，来替代当时在汽车上普遍使用的链条传动。

1899 年 4 月 29 日，比利时人卡米乐·热纳茨(Camile Jenatzy)驾驶着一辆名为“永无止境号(La Jamais Contente)”炮弹外形电动汽车，以 105.88km/h 的速度刷新了由汽油发动机保持的世界汽车最高车速纪录，这是汽车速度第一次突破 100km/h 大关。

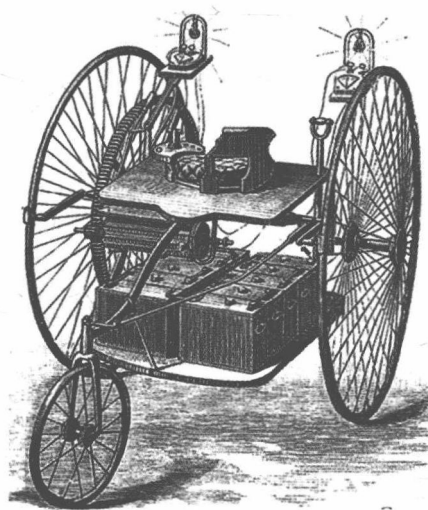


图 1-1 1881 年 Gustave Trouve 的三轮电动车

图片来源: http://news.cn2che.com/news_info.aspx?mark=admin&id=90299



二、电动汽车发展的第一个机遇期(19世纪90年代到20世纪初)

19世纪90年代到20世纪初,电动汽车进入一个黄金时代。电动汽车广泛成为美国、英国、德国、法国的私人车辆,占据了汽车的主要市场。1903年纽约《汽车时代》杂志统计,在美国4000多辆机动车中,蒸汽汽车占40%,电动汽车占38%,内燃机汽车占22%。电动汽车在1912年达到全盛期,全美国注册的电动汽车达到3.4万辆,居各种机动车首位。各种四轮装饰豪华的电动汽车,成为贵族们的新宠。富有的家族能够乘坐配有专职司机和跟班的豪华型电动轿车出入剧院、时装商店及其他社交场所。

随着内燃机汽车的发展,电动汽车逐步被内燃机汽车替代,1930年左右电动汽车基本上从市场上消失了。当时内燃机汽车替代电动汽车是必然的,原因有3个:一是内燃机技术水平的提升。内燃机汽车速度更快,加一次油续驶里程是电动汽车的3倍左右,且成本低。亨利·福特把流水线大批量生产引入了汽车工业,内燃机汽车价格大幅下降,1915年福特汽车的售价为440美元,而1912年一辆电动双座敞篷车的售价为1750美元。此外燃油汽车启动器和消声器的发明也大大促进了内燃机汽车的发展。二是石油的大规模发现和汽油价格降低。美国的得克萨斯、俄克拉荷马、加利福尼亚都发现了大油田,这使得汽油价格大幅降低,普通民众也能够消费得起汽油。三是外部环境有利于内燃机汽车发展。当时很多乡村地区没有电力供应,续驶里程更长、价格更加便宜的汽油车更加适用;当时城市之间公路网络逐渐发达,速度更快、行驶里程更长的汽油车比电动汽车更加适合作交通工具。

三、电动汽车发展的第二个机遇期(三次石油危机期间)

石油危机和汽车排放污染给电动汽车发展带来了第二次机遇。20世纪三次石油危机的产生,促使各国,尤其是美国、日本、中国及欧洲等原油依靠进口国家重新开始加大政策支持力度,大力研究和发展电动汽车,为电动汽车发展提供了很好的机遇。三次石油危机分别发生在1973~1974年,1978~1980年,1990年。

第一次石油危机(1973~1974年):1973年10月第四次中东战争爆发,为打击以色列及其支持者,石油输出国组织的阿拉伯成员国当年12月宣布收回石油标价权,并将原油价格从每桶3.011美元提高到10.651美元,使油价猛然上涨了两倍多,从而触发了第二次世界大战之后最严重的全球经济危机。持续三年的



石油危机对发达国家的经济造成了严重的冲击。在这场危机中,美国的工业生产下降了14%,日本的工业生产下降了20%以上,所有的工业化国家的经济增长都明显放慢。

第二次石油危机(1978~1980年):1978年底,世界第二大石油出口国伊朗的政局发生剧烈变化,伊朗亲美的温和派国王巴列维下台,引发第二次石油危机。此时又爆发了两伊战争,全球石油产量受到影响,从每天580万桶骤降到100万桶以下。随着产量的剧减,油价在1979年开始暴涨,从每桶13美元猛增至1980年的34美元。

第三次石油危机(1990年):1990年8月初伊拉克攻占科威特以后,伊拉克遭受国际经济制裁,使得伊拉克的原油供应中断,当时油价一路飞涨,三个月的时间石油从每桶14美元到突破40美元。美国、英国经济加速陷入衰退,全球GDP增长率在1991年跌破2%。

同时,环保问题也是促进人们关注和发展电动汽车的重要原因。在这段时间之前,美国汽车保有量大的城市已经出现了由于燃油汽车排放造成的环境污染和对公众健康的威胁。比较典型的是洛杉矶光化学烟雾事件,从1943年开始,洛杉矶每年从夏季至早秋,只要是晴朗的日子,城市上空就会出现一种弥漫天空的浅蓝色烟雾,使整座城市上空变得浑浊不清。在1952年12月的一次光化学烟雾事件中,洛杉矶市65岁以上的老人死亡400多人。1955年9月,由于大气污染和高温,短短两天之内,65岁以上的老人又死亡400余人,许多人出现眼睛痛、头痛、呼吸困难等症状甚至死亡。直到20世纪70年代,洛杉矶市还被称为“美国的烟雾城”。

20世纪90年代,美国和日本等国家都对电动汽车进行了初步推广。1996年12月,通用公司推出了近几十年来的首款量产的电动汽车——雪佛兰EV1,主要用于出租。EV1电动汽车车身结构采用玻璃纤维,能量来源于32块铅酸电池,配置2台42kW三相感应电机,车身自重1吨左右。EV1最高速度128km/h,百公里加速时间小于9秒,续驶里程超过110km,能够满足人们的日常短途出行需求。1997年,丰田公司在美国实行《零排放法案》的加利福尼亚州、纽约州、马赛诸塞州推广RAV4。RAV4电池采用当时先进的镍氢电池,电动机采用永磁同步电动机,最高时速125km/h,续驶里程215公里。RAV4的年平均销售量300辆左右,只用于租赁。另外,丰田公司混合动力轿车Prius也是在1997年批量投放市场,截至2015年7月底,Prius已累计销售352.7万辆,是迄今为止全球推广最成功的混合动力汽车。

以电为能源的 EV1 和 RAV4 电动汽车的推广时间都比较短, EV1 于 1999 年宣布停止项目, 出租的汽车也全部召回, 除了几辆在博物馆用作展品, 其余全部集中进行了销毁。RAV4 也于 2003 年停止生产。

这期间电动汽车没有推广成功的根本原因在于电动汽车的续驶里程短、成本高、充电不方便等缺点。也有人把这期间电动汽车推广的失败部分归于石油和金融寡头对电动汽车的遏制, 如 2006 年, 美国纪录片《谁消灭了电动汽车》详细纪录了 EV1 从开始推广到最后基本全部销毁的过程, 影片通过大量的走访调查, 并进行了深刻分析和探究, 认为电动汽车的陨落原来是一场谋杀, 因为它威胁到了石油巨头们的利益。美国作为汽油的头号消费国, 拥有多家世界顶级石油巨头, 它们在整个经济社会中起到举足轻重的作用, 如果大家都去购买电动车, 将威胁石油公司将近上万亿美元的产业, 因此石油巨头们会想方设法阻止电动汽车的推广。

四、电动汽车发展的第三个机遇期(2008 年至今)

2008 年以来, 电动汽车又迎来了很好的发展机遇期。原因有 5 个: 一是国际原油价格持续高位。2003 年以来, 美国、亚洲及其他新兴经济体经济发展迅速, 石油需求量大增, 再加上 2003 年的伊拉克战争、投机资金等因素, 2003 年到 2008 年 6 年时间内, 国际原油价格暴涨, 由 20 美元/桶涨至 147 美元/桶, 之后经过短时间的暴跌后, 很快回升, 一直到 2014 年上半年一直保持在 100 美元/桶左右的高位。油价的高起不仅促进了页岩油气等相对高成本油气资源的快速发展, 也有力推动了天然气汽车、电动汽车等替代能源的发展。二是内燃机技术的发展提升空间有限, 汽油车能效低, 27% 左右, 柴油机虽然能效高, 但污染大, 能效、功率与环保无法兼得。三是锂离子电池技术日渐成熟, 引入作为电动汽车动力电池。以前的电动汽车主要适用铅酸电池和镍氢电池, 能量密度低且寿命短, 相应的电动汽车续驶里程短, 无法达到和燃油汽车相当的水平, 而且适用一段时间后需要重新购买和更换电池。锂离子电池能量密度是镍氢电池的 2 倍左右, 是铅酸电池的 4 倍左右, 特斯拉 Model S 搭载 85kWh 锂离子电池, 续驶里程可以达到 480 公里。而且其循环寿命 2000 次左右, 远高于镍氢电池(一般小于 1000 次)和铅酸电池(一般小于 800 次)。锂离子电池于 20 世纪 90 年代初期, 由日本索尼公司率先研发而且商业化, 正极材料为钴酸锂, 负极为石墨。开始主要用于摄像机、手机等高档电子产品, 经过十多年的发展, 技术不断成熟, 已具备用作电动汽车动力电池的条件。目前电动汽车已普遍采用锂离子电池作为动力电