

第 1 章 电动汽车动力电池的发展

伴随环境以及能源短缺问题,以化石燃料为主要能量来源的汽车工业面临着严峻的挑战。用动力电池代替化石燃料发展电动汽车是目前解决这些问题的有效途径。人们习惯上将用动力电池替代或部分替代燃油的包括纯电动汽车、混合动力电动汽车在内的各类电动汽车称为新能源汽车,而将仅采用燃油作为单一能源的汽车称为传统汽车。本章介绍动力电池及电动车辆的发展历程、现状和趋势,并简要介绍动力电池在不同种类电动车辆上的应用。

1.1 电动汽车的发展历程

动力电池是电动车辆的主要能量来源,其技术历经了多次材料体系的变迁。每一次动力电池材料体系的变化都会带来电动车辆的一次发展高潮。最早的铅酸电池技术发展带来了 20 世纪初第一次电动汽车研发和应用高潮,20 世纪 80 年代镍氢电池技术突破带来混合动力电动汽车的产业化,20 世纪 90 年代才出现的锂离子动力电池带来了现在以纯电驱动为主的电动汽车研发和示范应用新纪元。

1.1.1 蓄电池发展简史

1800 年,亚历山大·伏特制成了人类历史上最早的电池,后人称之为伏特电池。1830 年,威廉姆·斯特金解决了伏特电池的弱电流和极化问题,使电池的使用寿命大大延长。1836 年,约翰·丹尼尔进一步改进了伏特电池,后人称之为丹尼尔电池,它是第一个可长时间持续供电的蓄电池。1859 年,法国科学家普兰特·加斯东发明了一种能够产生较大电流的可重复充电的铅酸电池。1899 年 Waldmar Jungner(沃尔德玛·杨格纳)发明了 Ni-Cd 电池。1984 年波兰的飞利浦(Philips)公司成功研制出 LaNi_5 储氢合金,并制备出 MH-Ni 电池。

1991 年,可充电的锂离子蓄电池问世,实验室制成的第一只 18650 型锂离子电池容量仅为 $600\text{mA} \cdot \text{h}$ 。1992 年,索尼公司开始大规模生产民用锂离子电池。1995 年,日本索尼公司首先研制出 $100\text{A} \cdot \text{h}$ 锂离子动力电池并在电动汽车上应用,展示了锂离子电池作为电动汽车用动力电池的优越性能,引起了广泛关注。到目前为止,锂离子动力电池被认为是最有希望的电动汽车用动力蓄电池之一,并在多种电动汽车上推广

应用。近年推出的电动汽车产品绝大多数都采用锂离子动力电池,并形成了以钴酸锂、锰酸锂、镍酸锂、磷酸铁锂为主的电动汽车锂离子动力电池应用体系。如图 1-1 所示即为某电动汽车锂离子电池系统。

其他电池如锌空气电池、钠硫电池等,过去的 100 年中在电动汽车上也有所应用,但由于其电池的特性、价格、制备工艺等问题,均未成为电动汽车应用电池的主流。2003 年,以色列 Bar Ilan(巴依兰)大学的 D. Aurbach 团队研究出极具潜力的充电镁电池,其具有能量密度高、价格低廉、操作安全等优点。作为主要原材料的镁具有资源丰富、价格低廉、无环境污染并且加工处理方便等优点,因而充电镁电池被认为是未来很有发展前景的电池材料。镁空气电池如图 1-2 所示。如今新型高能动力电池不断见诸报道,可以想见,随着技术的进步,动力电池必将向高比能量、高比功率、长寿命、低价格、安全可靠的方向发展。



图 1-1 电动汽车锂离子电池系统



图 1-2 镁空气电池

1.1.2 电动机发展简史

第一个电动机是 1740 年由苏格兰僧侣安德鲁·戈登创建的简单的静电设备。1821 年英国人迈克尔·法拉第发明电动机实验室模型,只要有电流通过线路,线路就会绕着一块永久磁铁不停地转动,成为电动机发展的雏形。1827 年,匈牙利物理学家安幼思·杰德利克开始尝试用电磁线圈进行实验。杰德利克在解决一些技术问题后,称他的设备为“电磁自转机”。虽然只用于教学目的,但第一款杰德利克的设备已包含今日直流电动机的 3 个主要组成部分:定子、转子和换向器。1831 年,美国人约瑟夫·亨利改进了法拉第电动机,使用电磁铁代替永久磁铁,提高了输出功率,从而向实用电动机发展跨出了重要一步。

1834 年,德国人莫里茨·赫尔曼·雅可比对亨利的电动机作了重要革新,把水平的电磁铁改为转动的电枢,并加装了换向器,制成了第一个电动机样机。1838 年,制造出世界上第一台实用直流电动机,安装在船上,并试航成功。从此,电动机就完成了从实验室模型到实用电动机的转化。

1835 年,美国一位铁匠汤马斯·达文波特制作出世界上第一台能驱动小电车的应用电动机,并在 1837 年申请了专利。18 世纪 70 年代初期,世界上最早可商品化的电动机由比

利时电机工程师 Zenobe Theo-phile Gamme(泽诺布·特奥·菲力格玛)发明。1888年,美国著名发明家尼古拉·特斯拉应用法拉第的电磁感应原理,发明了交流电动机,即感应电动机。1902年,瑞典工程师丹尼尔森利用特斯拉感应电动机的旋转磁场观念,发明了同步电动机。

电动机的发明使电驱车辆成为可能,为电动汽车的发展提供了条件。

1.1.3 电动汽车的发展历程

电池和电动机的发明和不断发展推动了电动汽车的发展。一百多年来,电动汽车的发展经历了发明、发展、繁荣、衰退和复苏5个阶段。

1. 电动汽车的发明

1839年,苏格兰的罗伯特·安德森(Robert Anderson)给四轮马车装上了电池和电动机,将其成功改造为世界上第一辆靠电力驱动的车辆(见图1-3)。1842年他又与托马斯·戴文波特(Thomas Davenport)合作制作电动汽车,该车采用的是不可充电的玻璃封装蓄电池,自此开创了电动车辆发展和应用的历史。这比德国人戈特利布·戴姆勒(Gottlieb Daimler)和卡尔·本茨(Karl Benz)发明的汽油发动机汽车早了数十年。1847年,美国人摩西·法莫制造了第一辆以蓄电池为动力、可乘坐两人的电动汽车。



图 1-3 世界第一辆电动汽车

2. 电动汽车的发展

1881年11月,法国人古斯塔夫·特鲁夫在巴黎展出了一台电动三轮车。加上乘员后总质量达到了160kg,速度达到了12km/h。1882年,威廉姆·爱德华·阿顿和约翰·培理也制成了一辆电动三轮车,车上还配备了照明灯。这辆车的总质量提高到了168kg,速度提高到了14.5km/h。1890年,威廉姆·莫瑞逊在美国制造了一辆能行驶13h、车速为14mile/h(1mile $\approx$ 1.6km)的电动汽车。1891年,美国人亨利·莫瑞斯制成了第一辆电动四轮车,实现了从三轮向四轮的转变,这是电动车向实用化方向迈出的重要一步。

1895年,由亨利·莫瑞斯和皮德罗·沙龙制造的 Electrobat II,安装了两台驱动电机,能以20mile/h的速度行驶25mile。1897年,美国费城电车公司研究制造的纽约电动出租车实现了电动车的商业化运营。1899年5月,一个名叫卡米勒·杰纳茨的比利时人驾驶一辆44kW双电动机为动力的后轮驱动的子弹头型电动汽车,创造了速度为68mile/h的纪录,并且续航里程达到了约290km。这也是世界上第一辆速度超过100km/h的汽车,如图1-4(a)所示,图1-4(b)所示为后期法国学生复制的子弹头电动汽车。

1899年,贝克汽车公司在美国成立,开始生产电动汽车。公司生产的电动赛车的车速能超过120km/h,而且是第一辆座位上装有安全带的乘用车。1900年,BGS公司生产的电动汽车创造了单次充电行驶180mile的最长里程纪录。



图 1-4 1899 年子弹头电动汽车及其后期复制品

3. 电动汽车的繁荣

19 世纪末期到 1920 年是电动车发展的一个高峰。

据统计,到 1890 年,在全世界 4200 辆汽车中,有 38% 为电动汽车,40% 为蒸汽汽车,22% 为内燃机汽车。到 1911 年,就已经有电动出租汽车在巴黎和伦敦的街头上运营。美国首先实现了早期电动汽车的商业运营,成为发展最快、应用最广的国家。19 世纪末的电动出租汽车如图 1-5 所示。

到了 1912 年,已经有几十万辆电动汽车遍及全世界,被广泛使用于出租车、送货车、公共汽车等领域。据统计,1912 年,在美国登记的电动汽车数量达到了 3.4 万辆。电动汽车产销量在 1912 年达到最大,在 20 世纪 20 年代仍有不俗表现。



图 1-5 19 世纪末的电动出租汽车

4. 电动汽车的衰退

然而电动汽车的黄金时代并没维持多久。由于在美国得克萨斯州发现了石油,使得汽油价格下跌,大大降低了汽油车的使用成本。在 1890—1920 年期间,全世界的石油生产量增长了 10 倍。1911 年,查尔斯·科特林(Charles Kettering)发明了内燃机自动起动技术;1908 年,福特汽车公司推出了 T 型车,并开始大批量生产,内燃机汽车的成本大幅度下降,1912 年电动车售价 1750 美元,而汽油车只要 650 美元。

1913 年,福特建立了内燃机汽车装配流水线,几乎使装配速度提高了 8 倍,最终使每工作日每隔 10s 就有一台 T 型车驶下生产线。内燃机汽车进入了标准化、大批量生产阶段。亨利·福特以大批量流水线生产方式生产汽油车使得汽油车价格更加低廉,其价格从 1909 年的 850 美元降到了 1925 年的 260 美元。内燃机汽车应用方便、价格低廉的优点逐步显现。虽然同一时期电动汽车用的动力电池技术也在飞速发展,在 1910—1925 年间,电池存储的能量提高了 35%,寿命增长了 300%,电动汽车的行驶里程增长了 230%,与此同时,价格降低了 63%,但汽油的质量能量密度是电池的 100 倍,体积能量密度是电池的 40 倍。在使用性能方面,燃油汽车的续航里程是电动汽车的 2~3 倍,动力电池充电时间也明显长于内燃机汽车燃油的加注时间。因此,电动汽车续航里程短、充电时间长成为无法与内燃机汽

车相抗衡的致命因素。随着道路交通系统的改善,导致对长距离运输车辆的需求不断增加,电动汽车的黄金时代仅仅维持了 20 多年,便走向衰退。

第一次世界大战后,电力牵引技术应用的重点转移到公共交通领域,如火车、有轨电车和无轨电车。随着内燃机汽车设计和制造技术的发展,在很多地区,有轨电车和无轨电车也逐步被柴油驱动的内燃机汽车取代了。这一方面是由于电动汽车技术多年没有大的进步,车速低、加速度小;另一方面是由于其使用区域受限以及电力供应网络和建设维护费用偏高。20 世纪 20 年代,电动汽车几乎消失了。

5. 电动汽车的复苏

第二次世界大战后,欧洲和日本的石油供给紧张,电动汽车在局部地区出现了复苏迹象。1943 年,仅仅在日本就有 3000 多辆电动汽车处于注册状态。20 世纪 40 年代,电动汽车续航里程只有 50~60km,最高速度仅为 30~35km/h,其性能仅能满足短途、低速运输的需要。

进入 20 世纪 60 年代,内燃机汽车大批量的使用导致了严重的空气污染。不仅如此,更严重的是内燃机汽车对石油的过分依赖,导致一系列的政治问题和国家安全问题。70 年代初,世界石油危机对美国乃至世界经济产生了重大影响,而电动汽车由于其良好的环保性能和能摆脱对石油的依赖性,重新得到社会各界的重视。

20 世纪 70 年代末期,德国戴姆勒-奔驰汽车公司生产了一批 LE306 电动汽车,采用铅酸电池,电压 180V,容量 180A·h,铅酸电池质量为 1000kg;装有他励直流电动机,电动机最高转速为 6000r/min;有效载荷为 1450kg,总质量为 4400kg;最高速度为 50km/h,最大爬坡度为 16%,原地起步加速到 50km/h 的时间为 14s,续航里程可达 120km。

意大利为了降低空气污染,于 20 世纪 80 年代末建立了电动汽车车队,共投入 52 辆电动汽车试验,所有车均用铅酸电池。1990 年菲亚特汽车公司生产“熊猫一览 lef/ra”,载重量为 1330kg,车速为 70km/h,续航里程为 100km,采用铅酸电池或镍镉电池,车速可达 100km/h,续航里程达 180km。

1976 年,美国国会通过了《纯电动汽车和混合动力电动汽车的研究开发和样车试用法令》(The Electric and Hybrid Vehicle Research Development and Demonstration),拨款 1.6 亿美元资助电动汽车的开发。1977 年,第一次国际电动汽车会议在美国举行,公开展出了 100 多辆电动汽车。1978 年,美国通过《第 95-238 公法》(Federal Nonnuclear Act),增加对电动汽车研发的拨款,政府同时责成能源部电力研究所与电力公司加快研制电动汽车的技术,并加大资金投入,责成国家阿岗实验室与电池公司合作研制供电动汽车用的高性能蓄电池。从此,国际上开始了第二轮的电动汽车研发高潮。图 1-6 为 20 世纪 80 年代 Bradley 生产的 GTElectrics 电动跑车。

1988 年,在美国洛杉矶地区的市议会上曾有人提出引入国际竞争机制,年产 1 万辆电动汽车,包括 5000 辆货车和 5000 辆两座乘用车并推向市场。继洛杉矶倡议之后,1989 年 12 月 13 日,加利福尼亚州空气资源委员会(CARB)对汽车排放制定了规划,该项规划要求到 20 世纪 90 年代,在加利福尼亚州销售的所有车辆中,有 2%要符合零排放标准(zero-emission-vehicles),满足该标准的车辆只能是纯电动汽车或氢燃料电池电动汽车。随后,美国纽约、马萨诸塞等州也颁布了类似的法律。

1991 年美国通用汽车公司、福特汽车公司和克莱斯勒汽车公司共同商议,成立了先进



图 1-6 GTElectrics 电动跑车

电池联合体(USABC),共同研究开发新一代电动汽车所需要的高能电池。1991 年 10 月,USABC 与美国能源部签订协议,在 1991—1995 年的 4 年间投资 2.26 亿美元来资助电动汽车用高能电池的研究。1991 年 10 月,美国电力研究院(ERPI)也加入了先进电池联合体,参与高能电池与电动汽车的开发。他们研发的主要有镍氢、钠硫、锂聚合物和锂离子等高能电池,其中镍氢、锂聚合物和锂离子电池投入商业化生产。美国通用汽车公司还在底特律建成 EV-1(纯电动汽车)电动轿车总装线,每天生产 10 台电动轿车。但经过 13 年的探索,蓄电池技术还是未能获得关键性突破,以通用汽车公司为代表的汽车厂商不再积极鼓励发展纯电动汽车,转向了对燃料电池车的研究。

2009 年奥巴马上台后又转向了率先实现混合动力车商业化、燃料电池车作为远期目标的电动汽车发展战略。在国家战略的引导下,美国各类电动汽车技术成果颇丰,先后提出了针对纯电动汽车与混合动力汽车的四大类标准,并形成了世界上最完善的燃料电池汽车标准体系。截至 2012 年,在混合动力汽车、燃料电池汽车等电动汽车关键技术领域,美国获得授权专利数量占据了全球专利总数的 22%。

进入 21 世纪后,欧洲电动汽车产业快速发展,到 2014 年年底欧盟各国电动汽车保有量均大幅增长,如图 1-7 所示。欧洲的汽车企业也纷纷在传统内燃机汽车的技术优势的基础上推出了自己的插电式混合动力和纯电动汽车品牌,如雷诺推出的雷诺 ZOE、雷诺 KangrooZOE、雷诺 twizy 三款纯电动汽车,宝马推出的纯电动跑车 i3、插电式混合动力跑车 i8,大众推出的插电式混合动力车辆高尔夫 TwinDrive 等。

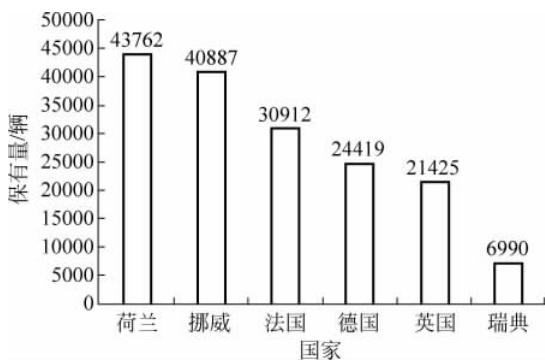


图 1-7 2014 年年底欧洲主要国家电动汽车保有量

1.2 动力电池技术及其发展趋势

应用在电动汽车上的储能技术主要是电化学储能技术,即铅酸、镍氢、镍镉、锂离子、钠硫等电池储能技术。过去这些储能技术分别在比能量、比功率、充电技术、使用寿命、安全性和成本等几方面存在严重不足,制约了电动汽车的发展。近年来,电动汽车电池技术的研发受到了各国能源、交通、电力等部门的重视,电池的多种性能得到了提高,如锂离子电池技术在安全性方面取得了突破性进展。这些将有望推动电动汽车的大规模商业化。

1.2.1 国内外动力电池技术现状

1. 车用电池发展

在 19 世纪末到 20 世纪初之间,电动汽车由于缺乏成熟的电池技术和合适的电池材料发展得非常缓慢,以内燃机为动力的传统汽车占领了市场。第一代现代电动汽车 EV1 由美国通用汽车公司在 1996 年制造,它采用的是铅酸电池技术。1999 年研发的第二代通用汽车公司的电动汽车以镍氢电池为动力源,一次充电的行驶里程是前者的 1.5 倍,同样因无竞争力而退出市场。同期,日本丰田汽车公司利用镍氢电池技术制造了将内燃机和电动机相结合的第三代电动汽车,即混合动力车(hybrid electric vehicle, HEV)。HEV 是具备多个动力源(主要是汽油机、柴油机和电动机),根据情况同时或者分别使用几个动力源的机动车辆。镍氢电池成为在电动汽车电池技术的研究领域和市场应用中最受关注的电池。

2006 年锂离子电池技术的迅速发展,特别是在安全性方面的大幅提高,使之逐步被应用于纯电动车和混合动力车,成为镍氢电池强劲的竞争者。2007 年,插电式的混合动力车(plug-in HEV, PHEV)诞生了。PHEV 与 HEV 最大的不同是它的电池能量可来自于电网,而不完全依靠内燃机化石燃料提供。当电池电量高时,PHEV 采用纯电动车模式(动力完全来自电池)行驶,电池电量降低时,进入传统的 HEV 模式。

2008 年,金融危机、国际油价的高位震荡和节能减排等产生巨大的外部压力,使全球汽车产业正式进入能源转型时期。世界各国对发展电动汽车实现交通能源转型这样的技术路线达成了高度共识;电动汽车电池产业同样进入了加速发展的新阶段。纵观电动车的整个发展过程,出现过多种不同类型的汽车和电池,其中产生巨大影响并商业化使用直到现在的电动汽车电池主要有铅酸电池、镍氢电池和锂离子电池。

2. 基本特性

表 1-1 列出了现阶段在电动汽车上使用的主流电池类型及其基本特性。其中铅酸蓄电池由于技术成熟、成本低,在电动汽车尤其是纯电动汽车上应用广泛。锂离子动力电池具有容量高、比能量高、循环寿命长、无记忆效应等优点,因而成为当前电动汽车用动力电池技术研究开发的主要方向,尤其是 Plug-in 混合动力概念的推出,又为锂离子电池的应用拓展了广阔的市场空间。

表 1-1 电动汽车用蓄电池概况

电 池 类 型	铅酸蓄电池	镍 镉 电 池	镍 氢 电 池	钠 硫 电 池	锂离子电 池
比能量/(W·h/kg)	35	55	60~70	100	120
比功率/(W/kg)	130	170	170	150	300
循环寿命/次	400~600	500 以上	1000 以上	350	1000 以上
优点	技术成熟, 廉价, 可靠性高	比能量较高, 寿命长, 耐过充放性好	比能量高, 寿命长	比能量高	比能量高, 寿命长
缺点	比能量低, 耐过充放性差	镉有毒, 价高, 高温充电性差	价高, 高温充电性差	高温工作稳定	价高, 存在一定安全性问题

当前,国际上各大电池公司纷纷投入巨资研制开发锂离子动力电池,在技术上取得了一系列重大突破。如美国的 A123 公司研制的锂离子动力电池,电池容量为 $2.3\text{A}\cdot\text{h}$,循环寿命长达 1000 次以上,能够以 70A 电流持续放电,120A 电流瞬时放电,产品安全可靠。美国 Valence 公司研制的 U-charge 磷酸铁锂电池,除了能量密度高、安全性好以外,可在 $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的宽温度范围内放电及储存,其质量比铅酸电池轻了 36%,一次充电后的运行时间是铅酸电池的 2 倍,循环寿命是铅酸电池的 6~7 倍。随着锂离子动力电池技术的不断发展,其在电动汽车上的应用前景被汽车企业普遍看好,在近两年国际车展上,各大汽车公司展出的绝大多数纯电动汽车和混合动力汽车都采用了锂离子动力电池。

在我国,权威部门对动力电池的测试结果表明,中国研制的动力蓄电池的功率密度和能量密度实测数据达到了同类型电池的国际先进水平,电池安全性能也有了很大的提高。镍氢动力蓄电池荷电保持能力大幅度提升,常温搁置 28 天,荷电保持能力可达到 95% 以上;新型锂离子动力电池功率密度可达到 2000W/kg 以上。

3. 典型电池应用

1) 铅酸电池

尽管新电池技术不断地产生,但铅酸蓄电池至今仍作为动力源应用于旅游观光车、电动叉车或者一些短距离行驶的公交车上。表 1-2 所示为铅酸蓄电池的性能指标和作为某种汽车动力源的应用情况。

表 1-2 铅酸蓄电池的性能指标及其在电动汽车的应用情况

质量比能量 ($\text{W}\cdot\text{h/kg}$)	体积比能量 ($\text{W}\cdot\text{h/L}$)	比功率/(W/kg)	循环次数	单体电压/V
30~50	60~75	90~200	500~800	2.105
电动汽车电池组 单体容量/($\text{A}\cdot\text{h}$)	电动汽车电池组 单体质量/kg	电动汽车电池组 单体电压/V	电动汽车类型	
150	42	12	短距离电动汽车(如观光车)	

应用于电动汽车的新一代阀控式密封铅酸蓄电池(valve-regulated lead acid battery, VRLA)无须维护,允许深度放电,可循环使用;然而 VRLA 依旧有着铅酸蓄电池比能量和比功率低的致命弱点,根本原因是金属铅的密度大。充放电方式也会严重影响它的使用寿命,长期过充电产生的气体会导致极板的活性物质脱落,不适合放电到低于额定容量的

20%,反复过度放电同样导致寿命急剧缩短;此外,在没有定期充满的情况下会有硫酸盐晶体析出,使电池的孔隙度降低,限制活性物质的进入,导致电池的容量减小。掌握铅酸电池变流放电情况下的电池特性对延长电池寿命有重要意义。

铅酸电池作为电动汽车电池的未来研究重点是解决比能量低的问题,以及高倍率部分荷电状态时寿命严重缩短的问题。

2) 镍氢电池

碱性电池由镍基和碱性溶液电解液构成,主要有镍镉电池、镍锌电池和镍氢电池3种,其中镍氢电池最具有应用于电动汽车的竞争力。镍氢电池相对于镍镉电池,比能量较高并对环境无污染。商业化的HEV大多数采用镍氢电池技术,其性能指标及在电动汽车的应用情况如表1-3所示。相对铅酸电池,镍氢电池在体积比能量方面提高了3倍,在比功率方面提高了10倍。

表 1-3 镍氢电池的性能指标及其在电动汽车的应用情况

质量比能量 ($\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$)	体积比能量 ($\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}$)	比功率/(W/kg)	循环次数	单体电压/V
30~110	140~490	250~1200	500~1500	1.2
电动汽车电池组 单体容量/($\text{A} \cdot \text{h}$)	电动汽车电池组 单体质量/kg	电动汽车电池组 单体电压/V	电动汽车类型	
90	2.2	1.2	混合动力车 (如混合动力公共汽车)	

镍氢电池广泛应用受限的原因是其在低温时容量减小和高温时充电耐受性的限制;此外,价格也是制约镍氢电池发展的主要因素,原材料如金属镍非常昂贵。镍氢电池显然能够比铅酸电池储存更多的能量,但过放电会造成永久性损伤,荷电状态(state of charge, SOC)必须被限制在一个较小的范围内,电池储存的大部分能量并没有被实际使用,如丰田Prius只能使用电池20%的能量。

3) 锂离子电池

锂离子电池的传统结构包括石墨阳极、锂离子金属氧化物构成的阴极和电解液(有机溶剂溶解的锂盐溶液)。最常见的锂离子电池以碳为阳极,以碳酸乙烯酯和碳酸二甲酯溶解六氟磷酸锂溶液为电解液,以二氧化锰酸锂为阴极;轻巧结实,比能量大,单体电压约为3.7V。表1-4所示为锂离子电池的性能指标及其在电动汽车的应用情况。可以看出,相较镍氢电池,锂离子电池具有相对较高的工作电压和较大的比能量,是镍氢电池的3倍。锂离子电池体积小,质量轻,循环寿命长,自放电率低,无记忆效应且无污染。

表 1-4 锂离子电池的性能指标及其在电动汽车的应用情况

质量比能量 ($\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$)	体积比能量 ($\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}$)	比功率/(W/kg)	循环次数	单体电压/V
100~250	250~360	250~340	400~2000	3.7
电动汽车电池组 单体容量/($\text{A} \cdot \text{h}$)	电动汽车电池组 单体质量/kg	电动汽车电池组 单体电压/V	电动汽车类型	
400	14.4	3.2	纯电动车 (如私家车、纯电动公共汽车)	

锂离子电池技术的先进性和在新兴关键市场(电动汽车领域)的应用,已激发全球范围内的研发热潮,因此锂离子电池势必将在电动汽车和新能源领域占据重要位置。目前在电动汽车中,应用较多的锂离子电池是磷酸铁锂电池,它热稳定性和安全性较好,同时价格相对便宜。这些因素使磷酸铁锂电池成为小型电动汽车和 PHEV 动力电池的首选。然而在锂离子电池中,磷酸锂电池的比能量、比功率以及运行电压相对较低,在大型纯电动车应用方面钴酸锂和锰酸锂电池等更具优势。

1.2.2 动力电池的发展趋势

铅酸电池经过 100 多年的发展,技术成熟,初期采购成本比镍氢电池和锂离子电池低得多,而且电池结构方面的新技术继续提高了铅酸电池的性能,因此在一定时间内铅酸电池仍然会被较为广泛使用。目前来看铅酸电池比较适合低速、低成本的电动车辆,我国绝大多数电动自行车的电池采用铅酸电池。但是铅及其化合物对人体有毒,而且铅酸电池性能大幅度提高的可能性不大,从长远来看,铅酸电池将被其他新型电池所取代。

镍氢电池和锂离子电池属于新型动力电池。在镍氢动力电池研发和产业化方面,日本走在了前列。目前,在已经产业化的混合动力电动汽车上普遍采用了镍氢电池,使用寿命已经能够达到 10 年。镍氢电池的功率密度高、技术成熟,在电动车辆用动力电池中将被持续稳定应用。

在锂离子电池领域,随着锂离子电池材料的研究和发展,尤其是磷酸铁锂、钛酸锂等电极材料的出现,大大提高了锂离子电池的循环寿命,降低了电池的材料成本或使用成本,在能量密度、功率密度、安全性、可靠性、循环寿命、成本等方面取得突破性进展,为电动汽车发展注入了新的活力,使锂离子电池成为近期内最有发展前途和推广应用前景的动力电池。

在整个新能源汽车发展中,纯电动汽车产品的开发理念由以往单纯重视性能、一味追求动力性和续航里程,转为以提高整车性价比为中心,综合考虑动力性、续航里程和成本的设计理念,产品更加接近消费者需求。不同类型的动力电池性能、价格具有明显差异,能适应不同的消费层次和满足不同的需要。铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池和燃料电池在未来一段时间内仍将是国内外电动汽车用动力电池的主要类型,会共同占有电动汽车用动力电池的市场。

在电池技术发展预测方面,日本政府在《下一代车辆燃料行动计划》中,对电动汽车用动力电池的性能发展进行了预测(见表 1-5)。从表中可以看出,2015 年,先进型电池的性能要比 2010 年的水平高 1.5 倍,成本降为当前电池的 1/7;预计到 2030 年,电池性能提高 7 倍,成本是当前的 1/40。德国国家电动汽车发展计划(2009 年)预测,至 2015 年,电池系统普遍能够达到的能量密度为 $200\text{W} \cdot \text{h/kg}$,为当前使用的锂离子电池密度的 2 倍;博世(Bosch)公司预测,2016 年,电池能量密度可以达到 $250\text{W} \cdot \text{h/kg}$,2020 年,电池能量密度可以达到 $350\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。因此,电动汽车用动力电池能量密度如果在近年出现质的飞跃,电动汽车续航里程将不再是困扰电动汽车发展的瓶颈问题。