

Present Situation and Prospect of New Energy Vehicle Power Battery

Yi Zhou, Yang Bai, Wan Yan

Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd., Shanghai
Email: Yi_Zhou@PATAAC.com.cn

Received: Apr. 7th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

Batteries, as the core component of the new-energy vehicle (NEV), play an important role in the development of NEV. Considering the development tendency of NEV, we raise a possible development route for the batteries in NEV, which is Nickel-metal hydride battery, Lithium ion battery, All solid state battery, Fuel cell and Lithium air battery. The current states of the above batteries are analyzed based on the overall arrangement of major vehicle companies in NEV field. We focus on the problems occurred in the development process of the batteries, and try to give some solutions for these problems or predict the improvement direction. Finally, we compare the advantages and disadvantages of these batteries, and then forecast the key point and research orientation of batteries in NEV in the next 10 years.

Keywords

New-Energy Vehicle, Nickel-Metal Hydride Battery, Lithium Ion Battery, All Solid State Battery, Fuel Cell, Lithium Air Battery

新能源汽车动力电池发展现状及展望

周 祿, 白 阳, 闫 婉

泛亚汽车技术中心有限公司, 上海
Email: Yi_Zhou@PATAAC.com.cn

收稿日期: 2017年4月7日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘 要

动力电池作为新能源汽车的核心部件对其的发展起着至关重要的作用。本文结合新能源汽车的发展趋势,

提出了车用动力电池发展的路线：镍氢电池—传统锂离子电池—全固态锂离子电池—燃料电池—锂空气电池。结合各大汽车企业在新能源汽车领域的布局，分析了镍氢电池、锂离子电池、全固态锂离子电池、燃料电池及锂空气电池的发展现状。重点解析了各类动力电池现阶段遇到的一些问题，并针对性的给出可行的解决方案及发展方向。最后考虑各类电池的优劣，展望了未来十年内动力电池的发展重点及研究方向。

关键词

新能源汽车，镍氢电池，锂离子电池，全固态锂离子电池，燃料电池，锂空气电池

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着能源危机和环境污染的日益严重，人们对新型清洁能源的需求也越来越迫切。传统汽车作为化石燃料的消耗大户以及随之排出的废气带来的环境问题，直接加剧了人们对应用新能源的渴望。进入“十三五”以来，中国汽车产业节能减排的自觉性将进一步加强，汽车的减排已经成为业内努力的方向[1] [2] [3]。采用新能源以及轻量化车身是促进汽车节能减排的有效途径。其中，新能源汽车更能在根本上解决能源及排放的问题。

近年来，新能源汽车得到了蓬勃的发展。特斯拉集团率先推出了以锂离子电池为驱动系统的纯电动汽车，让人们看到了新能源汽车的可行性与优势。先进的电池管理系统、炫酷的外观及辅助功能使其在国际上占据了领先的地位。在国内，比亚迪公司先后推出了秦、唐等油电混动的新能源汽车，使得电动车的价格更加的亲民化，广大车主对新能源汽车业逐渐地从观望态度转变到跃跃欲试。与此同时，通用、宝马、大众等国际大型车企也瞄准了新能源汽车的市场，陆续的推出了旗下品牌的新能源汽车，掀起了新能源汽车的潮流。近一年来，一些互联网公司、投资公司也开始投资或转型到新能源汽车领域，开始打造自己的品牌。这一现象更加说明了新能源汽车已经成为未来汽车的主要趋势。在这样一个美好的大环境下，2017年新能源汽车将迎来重要的一年，各大品牌的新能源汽车将会陆续的问世。

新能源汽车的核心部件是动力电池，其发展是以动力电池的发展为前提；而动力电池必须满足新能源汽车的需求才能使用，其发展又离不开新能源汽车发展的引导，根据新能源汽车的发展方向可以反映出动力电池的发展路径。

新能源汽车按工作原理可以分为混合动力汽车和纯电动汽车[4]。纯电动汽车以动力电池系统完全取代内燃机，可以真正做到零排放。但为了和传统汽车相竞争，其续航里程一直是人们关注的重点。现阶段动力电池的能量密度还较低，续航里程仍然较短，仅靠增加电芯数量提升又面临着安全及成本的问题。目前能够做到续航里程在400公里以上的纯电动汽车仅有特斯拉一家，这得益于其先进的电池管理系统能够控制7000多节电芯，但也付出了巨大的成本代价。除此之外的车型续航里程均在300公里以内。为满足节能减排的需求及传统汽车向新能源汽车的平稳过渡，混合动力汽车不失为当下最优的选择。混合动力汽车同时拥有内燃机和动力电池作为驱动系统[5] [6]，这对动力电池的功率性能要求较高，能量方面满足一定的续航里程即可。随着人们生活质量的不断提升以及科技的发展，长续航里程的纯电动汽车将是新能源汽车发展的最终目标。电池能量密度的不足使得有限体积的电池系统不足以满足更高的续航里

程,因此高能量密度的动力电池将是未来发展的主要方向。常用的动力电池包括锂离子电池、镍氢电池,以及燃料电池。不同的电池特点不同应用的领域也不同,镍氢电池功率及安全性能较高,在混合动力中发挥优势;锂离子电池能量密度较高且可以继续提升,是纯电动汽车的首选;燃料电池加氢速度快,可以更快地完成能量补充过程。长远来看,新能源汽车对动力电池的需求将向着高能量密度(包括质量能量密度和体积能量密度)、高安全性发展,同时需要解决其充电时间比起传统内燃机加油时间过长的问题。从这个角度出发,动力电池发展最有可能的一条路径如下:

镍氢电池—传统锂离子电池—全固态锂离子电池—燃料电池—锂空气电池。

2. 技术路线分析

2.1. 镍氢电池

镍氢电池于1990年商品化,其在电池市场中占有相当大的份额,是混合动力汽车(HEV)领域中应用最为成熟的二次电池之一[7][8]。仅2014年,全球镍氢电池HEV销量为84万辆,其中丰田销量约为63万辆,占全球的75%。本田销量约为13万辆,占全球的15%,现代销量约为3万辆,占3.5%。福特2.3万辆,占2.7%[9]。从长远来看,未来几年全球镍氢动力电池将持续稳定增长。

镍氢电池是功率型电池,使用寿命长、安全性好,但能量密度低。通常其功率密度高达400~600 W/kg,快速充电能力强,充电18 min可恢复40%~80%的容量,但能量密度仅为75~80 Wh/kg,换算成体积能量密度为200 Wh/L。根据新能源汽车发展方向,动力电芯将朝向能量密度越来越高的方向发展。因此镍氢电池被高能量密度动力电池取代是必然。但在满足高性能需求的电池出现之前,镍氢电池不会迅速退出舞台,结合其特点将会向高安全和低成本的方向发展。

(1) 强化独特性能优势

镍氢电池的安全性高、内阻较小(18~35 mΩ,仅为锂电池的四分之一左右)、功率密度大、实际使用寿命长、使用温度范围宽,这些性能要优于目前的锂离子电池。锂离子电池受到电解液的限制低温性能较差,而镍氢电池在低温下放电性能优异,-20℃下能放出额定容量的85%。镍氢电池在滥用条件下的安全性能也较高。这些都是镍氢电池在动力电池市场占据一席之地的重要因素。继续提高镍氢电池的性能使其在特定领域无法被取代是其发展的方向之一。研究电池材料及反应机理进一步降低内压、拓宽温区、加强快速充放、提高寿命等途径可以继续强化镍氢电池优势[10][11][12]。

(2) 低成本化

镍氢电池中含有的镍、钴和稀土金属等是稀缺、用途广泛、品位低、价值较高的有价金属元素,这些原材料占据了总成本的很大一部分[13][14]。当镍氢电池寿命结束时,这些材料也就变成了放错位置的资源。如果对镍氢电池中这些有价金属进行合理的回收利用,不仅可以减少环境污染,而且还能重新利用资源并降低电池生产成本。现阶段镍氢电池的回收工作也是广大科研工作者的研究热点。湿法冶金是常用的贵金属回收的工艺,在此基础上开发新工艺,联用酸浸、无机沉淀和有机溶剂萃取等方法可以有效地提高生产效率[15]。

2.2. 传统锂离子电池

1990年Sony将以钴酸锂为正极、石墨为负极的锂离子电池成功商业化,开启了锂离子电池的时代。锂离子电池出现至今,以其优异的性能吸引着人们的眼球[16]。近年来,新技术和新材料更是雨后春笋般地出现,锂离子电池的性能也随之不断地飞跃。随着性能的不断提高,锂离子电池可以更好地满足动力电源的需求,越来越多地应用在新能源汽车之中。

然而现状是锂离子电池还不足以单独为整车在全性能工作下提供动力输出,因此新能源汽车仍以混合

动力汽车为主，少量企业推出的纯电动汽车续航里程仍然较低，仅能满足城市的日常生活。而新能源汽车未来的发展目标是具有长续航里程的纯电动汽车，动力电池的总能量需要从现有混合动力汽车的 10 kWh 提高到 40 kWh 以上才能满足需求，同时还要满足在尺寸上与现有动力电池具有可比性。在有限的空间内放置高能量的动力电池，这无疑是对锂离子电池能量密度、安全及寿命的一大挑战。

锂离子电池最核心的部件就是电极材料，电极材料的创新决定了锂离子电池的发展。想要提高锂离子电池的性能，需要从电极材料入手。现阶段负极材料均选择以石墨为主的碳材料，因此正极材料的性能决定了锂离子电池的性能，电池的命名也是因正极材料而定。常见的正极材料如表 1 所示。最早成熟使用的正极材料是钴酸锂材料[17]，其电化学性能优异，比能量较高。但由于钴元素的价格昂贵以及毒性较高，人们开始寻找可以替代钴酸锂的材料或者减少钴的使用量。相对于钴酸锂，磷酸铁锂更加安全、环保且成本较低。其循环性能也是常见的正极材料中最好的[18]。但由于反应机理的限制其储能密度较为不足，额定电压仅有 3.2 V、比能量也仅为 140 mAh/g，还是不能满足人们对能量密度日益增长的需求。正极材料继续发展，人们尝试了不同的金属锂盐，发现镍可以提高比能量、锰在保持能量的状态下环境十分友好、稳定性较高，但也都存在着一些不足。随后，人们将不同金属元素有机结合开发了三元材料[19][20]，如镍钴锰和镍钴铝材料。通过协同作用发挥各元素的优势，使得性能更上一个台阶，同时可以通过调控各元素的比例来获得不同的性能，以满足不同的需求。现阶段的三元电池可以将额定电压做到 3.65~3.7 V，比能量高达 180 mAh/g，但是安全性及寿命成为了制约其发展的关键因素，仍需要进一步的改善。

提高锂离子电池的能量密度，可以根据能量密度的计算公式 $E = 1/2CU^2$ 考虑，途径有二：其一提高电池的容量，其二提高电池的电压。从电芯层面来讲，提高锂离子电池性能的关键在于优化正负极材料及改善电解液。

(1) 正极材料

三元镍锰钴(NMC)电池是高能量密度电芯的代表，有望达到 350 wh/kg。通过改变 NMC 材料不同元素之间的组分可满足不同的性能需求，镍、钴、锰在体系中分别起到稳定结构、提高体积能量密度、平衡成本的作用，但含量过高也会带来负面的影响，钴过多导致实际容量降低、镍过多导致析锂、锰过多导致层状结构的破坏。一般而言，基于安全性和循环性的考虑，三元动力电池主要采用 333、442 和 532 这几个 Ni 含量相对较低的系列，但是由于 PHEV/EV 对能量密度的要求越来越高，622 也越来越受到重视。未来的研究重点可以放在降低 Ni、Co 元素比例、优化掺杂、表面包覆的改进手段等方向上[21]。目

Table 1. Comparison of anode materials for lithium ion battery
表 1. 锂离子电池常用正极材料性能对比

参数	钴酸锂	磷酸铁锂	镍酸锂	锰酸锂	镍钴锰	镍钴铝
振实密度/g·cm ⁻³	2.8~3.0	1.0~1.4	2.4~2.6	2.2~2.4	2.0~2.3	2.0~2.4
比表面/m ² ·g ⁻¹	0.4~0.6	12~20	0.3~0.7	0.4~0.8	0.2~0.4	
比能量/mAh·g ⁻¹	140~155	130~140	190~210	100~115	155~165	180
电压平台/V	3.7	3.2	3.8	3.7	3.65	3.7
循环性能	300	2000	—	500	800	
过渡金属	贫乏	非常丰富	贫乏	丰富	丰富	丰富
原料成本	很高	低廉	很高	低廉	较高	较高
环保	含钴	无毒	含镍	无毒	含钴镍	含钴镍
安全性能	差	优良	差	较好	较好	差

的在于降低产业化成本，提高三元材料的振实密度、改善高低温和高截止电压下的循环稳定性和倍率性能。可以预料，随着三元材料研究的不断深入，该类正极材料必将得到更大规模的应用。磷酸铁锂电池虽然电压相对较低、比能量也较小，但是安全性能是各类材料中最高的。这得益于晶体中的 P-O 键稳固，难以分解，即便在高温或过充时也不会像钴酸锂一样结构崩塌发热或是形成强氧化性物质。因此在新新能源汽车对动力电池安全需求的形势下，磷酸铁锂电池还是能够占据很大市场的。此外，高压正极材料也是一个研究方向，但是技术尚不成熟所以只停留在基础研究阶段，其中报道的电压最高的 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 可达 5.0 V，但可能还需要电解液的配合才行[22] [23]。总之，正极材料的发展方向将朝向高能量和高安全性。

(2) 负极材料

如果说对正极的要求是工作电压(vs. Li^+/Li ，下同)越高越好，那么对负极的要求就是电压越低越好。目前的商用的碳负极电压为 0.15 V 左右，已经可以满足现有的需求。但从能量密度及电压上考虑，更为理想的负极材料就是金属锂负极，但它在液态电解液下容易产生锂枝晶造成安全问题限制了应用。现阶段公认的解决方法就是使用固态电解质。硅碳负极也是受到大家关注的材料，其比能量接近现有石墨负极的 2~3 倍，但由于稳定性及体积效应等问题实际应用比较困难。钛酸锂材料是安全性能非常高的负极材料，也受到了广泛的关注，具有优异的倍率及循环性能。但其嵌锂电压高达 1.5 V，作为负极后使得电芯电压降低，进而降低能量密度。其未来的发展将会发挥高安全的优势与高压正极材料配合使用，发挥功率及寿命优势。

(3) 电解质材料

传统锂离子电池使用有机电解液[24]，选用的锂盐一般为 LiPH_6 、 LiBF_4 、 LiClO_4 、 LiAsF_6 、 LiCF_3SO_3 、 $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ 等物质，而有机溶剂一般选用碳酸乙烯酯、碳酸丙烯酯、碳酸二乙酯、碳酸二甲酯、碳酸甲乙酯中的两种或两种以上的混合物，最高可以在 4.5 V 左右工作，电压值已经到了极限，在现有体系下继续提高几乎是不可能的。动力电池的发展，在电解液角度上可以做的工作有限。能量密度和安全性的关系是此消彼长的关系，如何能够在保证安全性的前提下提高能量密度，是目前大家都很关注的问题。一方面通过改善电解液组分，适当的改变其工作温度范围。近日，日本东京大学发现了水系电解液——常温熔融水合物，可以使电池的能量密度和安全性摆脱此消彼长的关系。使用该电解液可以在保证目前市售相同体系电芯能量密度的前提下提高大电流放电能力，可谓效果显著。遗憾的是这样技术离实际应用还有很长的距离。另一方面就是向固态电解质发展，以提高其安全性。

2.3. 全固态锂离子电池

陈立泉院士在报告中指出，全固态电池潜力巨大，可以达到 500 Wh/kg，有望成为新一代锂电池。而传统液态锂离子电池的能量密度极限仅有 260 wh/kg [25] [26]。传统锂离子电池因采用液态电解液，正负极材料都受到了限制，工作条件也不能太苛刻否则就会产生安全性问题。提高锂离子电池的能量，可以使用高容量正极材料和金属锂负极。但金属锂负极易和电解液反应形成锂枝晶造成电池的安全隐患，正极材料在电解液中的不稳定性也使高能量密度的电芯像一颗炸弹一样。由此可见，电解液是限制电芯能量密度及安全性的的重要因素。

固态锂离子电池，就是将传统锂离子电池的电解液换成固态电解质[27] [28] [29]。目前常见的固态电解质有有机电解质(PEO、聚硅氧烷基、单离子导体等)、氧化物电解质(锂镧锆氧、LISICON、NASICON 等)和硫化物电解质等。固态电解质一方面可以抑制电极材料的体积变化与副反应(尤其抑制锂枝晶)，另一方面不与空气发生反应提高安全性。固态锂离子电池的特点是高能量密度和高安全性，是未来新能源汽车亟需的动力电池，因此国内外机构及学者进行了广泛的研究。在国内，中科院物理所[30]、上

海硅酸盐所[31]、宁波材料所[32]等研究团队具有较强的科研实力，在固态电池上具有领先地位并已经准备中试，着手布局固态电池的产业链。目前固态锂离子电池尚处于研究的中后期阶段，如何从实验室走向产业化是人们需要考虑的一些问题。如何低成本的把实验室的改性技术用于实际生产、如何寻找新工艺保证批量生产的质量与性能是研究的重点。而这一切的基础是对固态电池机理的深入研究。固态电解质电导率总体偏低导致了其倍率性能整体偏低，内阻较大，充电速度慢，且成本总体偏高，现在的固态电池如果要和普通锂离子电池在传统市场上竞争，并没有太大的优势。因此，发挥固态电池本身高安全性、高温稳定性、可能达到的柔性等其它多功能特性，与传统锂离子电池在差异化的市场中进行竞争，可能是固态电池近期内比较有希望的市场突破方向。使用固态电解质带来问题是固固界面增加的阻抗导致地倍率性能及大电流充放电能力的下降，在这方面可以开展以下工作：(1) 采取对正极材料进行包覆工艺，针对不同的电极材料采取不同的包覆层，使其和电解质界面充分接触。(2) 将电极材料与电解质粉体混合后在于电解质层烧结成为一个整体以增大电极材料和电解质的接触面积实现界面的充分接触。(3) 制备离子液体基复合电解质，将离子液体固定在无机骨架中，提高性能。(4) 通过加压的方式增加固固界面的接触面积。马里兰大学胡良兵教授[33]团队通过在石榴石电解质和电极材料之间掺入一层超薄氧化铝，将阻抗减小了 300 倍，解决了高阻抗问题。这实质上消除了电池内电流动的屏障，允许所存储能量的有效充放电。

从能量密度及续航能力上来说，固态电池无疑是新能源汽车的一个良好选择。随着研发和工业技术的不断发展，在国内外广大专家的努力攻克下，全固态电池中的科学和工艺上的问题会逐渐得到缓解，在未来几年，固态电池产品的市场会迎来蓬勃发展的机遇。

2.4. 燃料电池

相比于上述电池作为储能装置，燃料电池可谓是一种“产能”装置。它是一种不燃烧燃料而直接以电化学反应方式将燃料的化学能转变为电能的高效发电装置。其工作的基本原理如图 1 所示。氢分子在阳极催化剂作用下分解成氢离子和电子，氢离子经电解质向阴极运动，电子则通过外部电路流向阴极；氧气在阴极催化剂作用下分解成为氧原子，并与外电路的电子和穿过电解质的氢离子结合生成稳定结构的水，完成电化学反应放出热量并提供电力。燃料电池具有明显的优点，如转化效率高、环境污染小、燃料补充快、制备简单等。燃料电池能量密度高，接近汽油和柴油的能量密度，代表了电动汽车的未来发

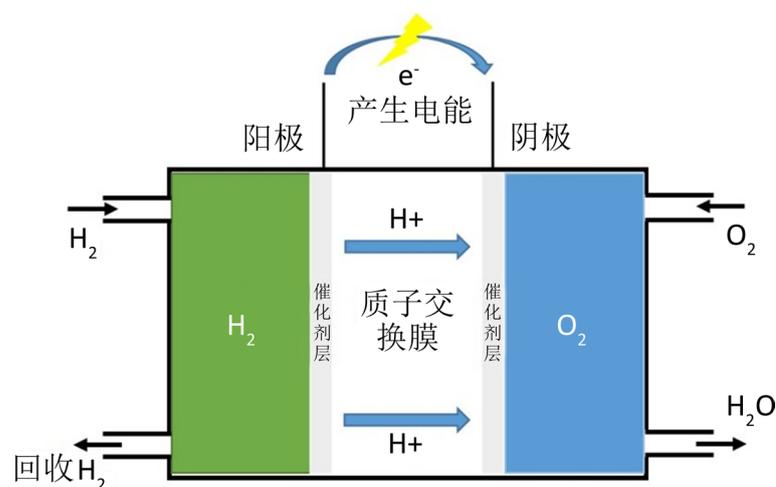


Figure 1. Schematic diagram of working principle for hydrogen cell
图 1. 氢燃料电池工作原理示意图

展方向，也是各国重点研发的领域之一。

燃料电池车的性能相比于传统汽车及锂离子电池新能源汽车而言具有一定的优势，在环境友好性及续航里程上是其他汽车望尘莫及的，因此燃料电池车具有非常光明的市场潜力[34]。在世界范围内，美国和日本在燃料电池技术上占据着领先的地位，世界上第一辆量产版氢燃料电池车就是现代公司生产的 ix35。除此之外，通用、奔驰、马自达在概念车及产品布局上都展开了燃料电池的推进工作。从世界范围来看，燃料电池车并没有出现的广泛的出现。这是因为燃料电池的发展还存在着很多技术问题没有解决。限制其发展的原因如下：(1) 成本方面：贵金属催化剂的成本一直居高不下；(2) 寿命方面：高温时质子交换膜容易失活限制燃料电池的寿命而低温下气体流道易发生结冰，这对寿命的影响比较大；(3) 产氢方面：车用燃料电池的燃料为氢和氧，其中对氢纯度的要求是极高的，几乎为纯氢。而纯氢的制备现阶段也只能采取电解水的方式，这样就把燃料电池置于第三级能源装置，即需要化石燃料发电、电产氢、氢再发电的模式，此过程的意义值得商榷；(4) 配套设施：就像锂离子电池新能源汽车的充电桩一样，燃料电池的加氢站建设也面临着一个蛋鸡先后的逻辑。而受到制氢储氢技术的限制，配套设施也是难以搭建；(5) 能量输出状态：燃料电池由于受到反应机理的限制，较难得到稳定的功率输出，因此暂时还不能直接单独作为动力系统。

燃料电池的进一步推广需要解决上述的一些难题，可以从以下几个角度去考虑。在燃料电池内部，要进一步研究催化剂和隔膜以提高性能，降低成本；而站在电堆的角度则需要解决氢气的来源、动力系统及配套设施。

(1) 催化剂

催化剂现在面临的最大问题就是成本，可以从两个角度出发。第一，由于催化剂本身并不参与反应，同时反应也仅在催化剂的表层进行，可以改进制备工艺减薄催化剂层以达到减小用量的目的[35]。第二，寻找改型具有同样催化能力且成本相对较低的金属代替或部分代替铂的使用[36]。归根结底就是减小铂的使用量。

(2) 氢气

氢气的获得方式大致可分为两类：一类是电解水，另一类是收集化工反应副产物，效率均比较低。随着科技的发展，开发利用太阳能、风能等电解水制氢将会解决氢气的来源问题。此外，储氢材料和储氢技术的发展也会决定着燃料电池的发展。现阶段在 700 Bar 压力下的氢气依然是气态，如果能通过加压或低温储存的方式得到液氢将能储存更多的氢气。

(3) 基础设施

配套设施的建立不仅仅是技术问题，而且还是一个政策问题。安全是对加氢站的严峻考验。如果加氢站技术成熟，则可以采用两种方式进行，一种是像现在的传统车一样直接将氢气加到车载储氢罐中，这要求储氢罐式固定式的。另一种就是像换电池一样，将储氢罐做成移动式的直接更换。

2.5. 锂空气电池

假设锂离子电池技术完全发展，其充电时间和内燃机的加油时间相比仍然较长，这也是为什么锂离子电池系统是过渡动力系统的原因。而燃料电池受到功率不稳的影响，不能单独作为动力电源使用，其仍需要锂离子电池的配合。虽然燃料电池加氢时间较短，但是受限于锂离子电池和燃料电池不足的双重约束，仍然不是最理想的选择。而兼具锂离子电池的稳定输出以及燃料电池快速加燃料的锂空气电池成为未来电动车的更好选择。

锂空气电池是一种用锂作阳极，以空气中的氧气作为阴极反应物的电池。放电过程：阳极的锂释放电子后成为锂离子(Li^+)， Li^+ 穿过电解质材料，在阴极与氧气、以及从外电路流过来的电子结合生成氧化

锂(Li_2O)或者过氧化锂(Li_2O_2), 并留在阴极。锂空气电池的开路电压为 2.91 V, 比能量高达 5.21 kWh/kg (包含氧气质量) [37]。而燃料电池的理论开路电压仅有 1.4 V, 比能量为 3.6 kWh/kg。锂空气电池具有比燃料电池更高的能量密度。

锂空气电池受到反应原理及电池尺寸的限制, 不适合在个人消费品领域应用。其超高的能量密度使其非常适合作为新能源汽车的动力电池。由于空气可以直接作为燃料使用, 锂空气电池相比于锂离子电池和燃料电池具有更大的优势。

根据锂空气电池的现状分析, 目前锂空气电池存在的最大问题就在电极材料、电解质和催化剂上[38] [39]。如何解决有机液体电解质容易挥发的问题提高电池的放电容量、使用寿命及电池的安全性; 如何避免气体进入电池以及锂负极的腐蚀问题; 寻找廉价高效的氧还原催化剂等问题将会成为锂空气电池发展的重点方向。

具体的方式为:

(1) 研发新的材料及制备方法, 例如固态电解质及抗氧化电解质, 防止内部放电产物碳酸盐化。在空气电极方面可以进一步纳米结构改性, 优化反应物的传输通道, 优化放电产物的沉积空间。

(2) 研究性价比更高的催化剂, 开发少铂或无铂金属催化剂的制备工艺, 如纳米喷涂、纳米薄膜等技术。同时开发新型催化剂, 通过改变材料形貌、元素掺杂等方式提高现有金属氧化物的性能。应用石墨烯作为正极材料, 既可以作为多孔材料提供反应位点, 同时可以预先将催化剂纳米颗粒附着在石墨烯表面, 以减小催化剂用量提高催化剂整体比表面积, 达到提高性能降低成本的目标。

(3) 进一步明确反应机理, 研究氧气在各种电解质中的还原和析出的本质、电极材料和电解质之间的界面接触情况, 为锂空气电池的发展打下坚实的基础。

综合上面的分析, 锂空气电池还有很长的一段路要走。相信经过时间的积累及不懈的努力, 锂空气电池的商业化终将成为事实。届时整个能源的结构也会发生巨大的改变。

3. 总结与展望

从目前的技术来看, 动力电池可以预见的发展路线就是镍氢电池、锂离子电池、全固态锂离子电池、燃料电池和锂空气电池。

伴随着锂离子电池的成熟发展, 镍氢电池将面对着前所未有的巨大挑战。锂离子电池正在向着更安全和更高能量的两条路线发展。预计在 2020 年, 锂离子电池会得到进一步的改良, 高能量的电极材料将会得到应用, 同时电池的安全性问题得到改善。固态电解质将会应用于改良的高能量密度的锂离子电池中, 考虑到界面问题仍会添加一些液态电解质以提高性能, 半固态电池或者准固态电池将作为过渡型电池。到 2025 年固态电池将会得到全面的发展, 届时动力的电池的能量密度将会有显著的提高。而到 2030 年, 燃料电池、锂空气电池等将会得到初步的发展。

随着科技的不断发展, 动力电池的发展也将会越来越快。性能优良的电池可以通过以下途径实现:

- 一、寻找性能更优的电极材料, 如三元材料、金属锂、碳硅复合材料以及石墨烯等;
- 二、研究材料接触界面的机理提高电子及离子的迁移速率;
- 三、降低贵金属催化剂的用量, 可以通过纳米化、薄膜化工艺实现, 并开发金属氧化物等贵金属催化剂的取代材料;
- 四、新型电池的机理研究与发展以及现有问题的重点解决。

新能源汽车在未来的占有额将会越来越高, 无论是从能源环境还是智能化的角度考虑, 新能源汽车都具有极大的优势。动力电池作为新能源汽车的核心, 从市场的角度出发其高速发展也是必然的趋势。随着广大企业和科研单位的不懈努力, 动力电池及新能源汽车的未来将会越来越光明。

参考文献 (References)

- [1] 唐葆君, 马也. “十三五”北京市新能源汽车节能减排潜力[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(2): 13-17.
- [2] 杜敏, 佟洪金. 四川省主要污染物排放现状分析及“十三五”减排对策研究[J]. 四川环境, 2016, 35(5): 88-94.
- [3] 叶丽. “十二五”节能减排进度超预期“十三五”减排指标有望调整[J]. 节能, 2016(1): 66.
- [4] 汪炼. 浅谈插电式混合动力汽车与增程式纯电动汽车的区别[J]. 工程建设标准化, 2015(1): 286.
- [5] 陈小丹, 岳明玥, 马改, 等. 混合动力汽车用锂离子动力电池技术进展[J]. 电源技术, 2016, 40(9): 1884-1887.
- [6] 李和芳, 陈阳亮, 王超. 论混合动力汽车及日本成为混动先驱的原因[J]. 产业与科技论坛, 2016, 15(8): 49-50.
- [7] 中国镍氢电池行业发展回顾与市场前景预测报告(2016-2022).
- [8] 曹生彪, 皇甫益. 混合动力汽车用镍氢电池的现状与发展分析[J]. 电池, 2016, 46(5).
- [9] 中国镍氢电池行业深度调研与竞争策略分析报告(2014-2018).
- [10] 赵丽君, 周立春, 刘文, 等. 镍氢电池隔膜纸的特性及研究进展[J]. 纸和造纸, 2016, 35(1): 27-33.
- [11] 同艳维, 张雪峰, 方民宪. 镍氢电池负极材料 $V_2Ti_{0.5}Cr_{0.5}Ni_{1-x}Mo_x$ ($x = 0.02 \sim 0.08$) 的结构和电化学性能[J]. 无机材料学报, 2016, 31(2): 148-152.
- [12] 刘金晶. 镍氢电池组快速充电功率预测方法[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北方工业大学, 2016.
- [13] 郑瑞娟, 凌宝龙, 钟坚海, 等. 废旧镍氢电池中稀土元素的提取研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2014, 42(5): 43-48.
- [14] 王昶, 魏美芹, 姚海琳, 等. 我国 HEV 废旧镍氢电池包中稀贵金属资源化利用环境效益分析[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7346-7353.
- [15] 杨志远. 废旧镍氢电池中镍钴回收工艺的研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [16] Van Noorden, R. (2014) The Rechargeable Revolution: A Better Battery. *Nature*, **507**, 26-28. <https://doi.org/10.1038/507026a>
- [17] 岳广飞, 王磊. 钴酸锂行业研究情报分析[J]. 科技视界, 2016(5): 123-124.
- [18] 杜远超, 华政, 梁风, 等. 液相法合成磷酸铁锂正极材料[J]. 化学进展, 2017, 29(1): 137-148.
- [19] 朱广焱, 刘雪省, 潘磊, 等. 三元材料在锂离子动力电池上的应用[J]. 电源技术, 2009, 33(7): 547-551.
- [20] 冯海兰, 陈彦彬, 刘亚飞, 等. 高能量密度锂离子电池正极材料镍钴铝酸锂(NCA)技术及产业发展现状[J]. 新材料产业, 2015(9): 23-27.
- [21] 《高工锂电》1月刊/文[EB/OL]. <http://www.gg-lb.com/asdisp2-65b095fb-17014-.html>
- [22] 杨则恒, 姚宏旭, 夏剑锋, 等. 高电压正极材料 $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$ 的制备及电化学性能[J]. 硅酸盐学报, 2013, 41(1): 1-6.
- [23] 冯福山, 方海升, 杨斌, 等. 升温速率对高电压正极材料 $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$ 晶粒形貌及电化学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(2): 347-353.
- [24] 庄全超, 武山, 刘文元, 等. 锂离子电池有机电解液研究[J]. 电化学, 2001, 7(4): 403-412.
- [25] 陈立泉. 四十年固态锂电池——回顾与展望[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(5): 605-606.
- [26] 李泓, 许晓雄. 固态锂电池研发愿景和策略[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(5): 607-614.
- [27] 郑子山, 张中太, 唐子龙, 等. 锂无机固体电解质[J]. 化学进展, 2003, 15(2): 101-106.
- [28] 柳红东, 胡忠利, 阮海波. 无机固体电解质 $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ 的制备及掺杂改性研究进展[J]. 材料导报, 2016, 30(7): 71-75.
- [29] Zhao, X.-Y., Wang, J.-L., et al. (2016) A Novel Organosilicon-Based Ionic Plastic Crystal as Solid-State Electrolyte for Lithium-Ion Batteries [新型有机硅基离子塑晶材料作为固态电解质用于锂离子电池]. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, **17**, 155-162. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1500099>
- [30] 张舒, 王少飞, 凌仕刚, 等. 锂离子电池基础科学问题(X)——全固态锂离子电池[J]. 储能科学与技术, 2014, 3(4): 376-394.
- [31] 赵宁, 李忆秋, 张静娴, 等. 纳米锂镧铝氧粉体复合聚氧化乙烯制备的固态电解质电化学性能的研究[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(5): 754-761.
- [32] 黄祯, 杨菁, 陈晓添, 等. 无机固体电解质材料的基础与应用研究[J]. 储能科学与技术, 2015, 4(1): 1-18.

- [33] Hu, X.G., *et al.* (2016) Negating Interfacial Impedance in Garnet-Based Solid-State Li Metal Batteries. *Nature Materials*.
- [34] 蓝莹, 翟东升, 夏军, 等. 基于专利的燃料电池汽车技术功效布局分析[J]. 情报杂志, 2016, 35(1): 39-44.
- [35] 朱红, 骆明川, 蔡业政, 等. 核壳结构催化剂应用于质子交换膜燃料电池氧还原的研究进展[J]. 物理化学学报, 2016, 32(10): 2462-2474.
- [36] 孙公权. 基于贵金属替代的新型动力燃料电池关键技术和理论基础研究立项报告[J]. 科技创新导报, 2016, 13(10): 169-170.
- [37] 刘艳. 纳米 MnO_2 /介孔碳复合材料的制备及其在锂空气电池中的应用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2012.
- [38] 张涛, 张晓平, 温兆银. 固态锂空气电池研究进展[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(5): 702-712.
- [39] 吴爱明, 夏国锋, 沈水云, 等. 非水体系锂-空气电池研究进展[J]. 物理化学学报, 2016, 32(8): 1866-1879.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aepe@hanspub.org