



国外能源领域 创新信息

张明龙 张琼妮 © 著

GUOWAI
NENGYUAN LINGYU
CHUANGXIN XINXI



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

国外能源领域创新信息

张明龙 张琼妮 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

国外能源领域创新信息 / 张明龙, 张琼妮著. —北京: 知识产权出版社, 2016.9

ISBN 978-7-5130-4487-5

I. ①国… II. ①张… ②张… III. ①能源开发—研究 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 231367 号

内容提要

本书以 21 世纪国外科技创新活动为基本背景, 集中分析其在能源开发领域取得的创新成果。本书采用取精用宏的方法, 在充分占有原始资料的基础上, 抽绎出典型材料, 高度概括, 精心提炼, 形成各章节的核心内容和思维脉络。本书分析了国外在锂电池、燃料电池, 以及其他电池方面的创新成果; 分析了制造和储存氢气的新技术、新材料和新装置等。本书以通俗易懂的语言, 阐述能源开发方面的前沿学术知识, 宜于雅俗共赏。本书适合能源开发人员、科技管理人员、高校师生、政府工作人员阅读。

责任编辑: 王 辉

国外能源领域创新信息

GUOWAI NENGYUAN LINGYU CHUANGXIN XINXI

张明龙 张琼妮 著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

电 话: 010-82004826

社 址: 北京市海淀区西外太平庄 55 号

责编电话: 010-82000860 转 8381

发行电话: 010-82000860 转 8101/8029

印 刷: 三河市国英印务有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

字 数: 500 千字

ISBN 978-7-5130-4487-5

网 址: <http://www.ipph.cn>

<http://www.laichushu.com>

邮 编: 100081

责编邮箱: wanghui@cnipr.com

发行传真: 010-82000893/82003279

经 销: 新华书店及相关销售网点

印 张: 25

印 次: 2016 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 78.00 元

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

前 言

能源也称作能量资源,是指自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。我国《能源百科全书》,对能源含义作了进一步阐述,指出:“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。”这表明,能源不仅具有多种存在状态,而且是一些可以相互转换能量的源泉,它能够通过直接或间接的方式,满足人们某一方面的能量需求。

一、世界能源发展概述

人类社会的发展离不开能源这个重要的物质基础,它对人类的文明有着巨大的影响。人们常说:石油是工业的血液,煤炭是黑色的金子。能源利用的每次飞跃,都引起生产技术的变革,从而推动社会生产力的发展。现代世界,自从电气时代取代蒸汽时代以来,依靠充足的能源供给,经济获得高速发展。然而,20世纪70年代后期开始,先后出现的两次石油危机,对能源保障敲响了警钟,国际能源安全已上升到国家高度,各国都制定了以能源供应安全为核心的能源政策。

(一) 能源的重要性

能源是国民经济的重要物质基础,它的开发和有效利用程度,以及人均消费量,是生产技术和生活水平的重要标志。能源消费与经济发展的关系,可以通过能源消费弹性系数的变动,获得一个侧面的反映。能源消费弹性,是指一个国家或一个地区在一定时期内,能源消费量随国民经济总量增减而升降的情况。能源消费弹性系数,等于能源消费量与上年比较的增长率,除以国内生产总值与上年比较的增长率。

(二) 能源分类方式

能源种类,是随着人们对世界认识的加深而不断增多的。今天,越来越多的新型能源,走出实验室,进入推广应用市场,开始与常规能源一起满足人们的需求。由于能源种类日渐增多,其分类方式也在不断完善。其中常见的有下述几种:

1.按照能源来自何处划分

可分为:(1)来自地球外部天体的能源,如太阳能等;(2)地球本身含有的能量,如原子核能和地热能等;(3)地球和其他天体相互作用而产生的能量,如潮汐能等。

2.按照能源如何产生划分

可分为:(1)一次能源,即自然存在、可直接利用的能源。它包括已广泛利用的常规能源和尚等推广的新能源。常规能源又可分为水力、生物能(木材、秸秆)等可再生能源,化石燃料即石油、煤炭、天然气、核裂变燃料等不可再生能源。新能源可分为太阳能、风能、潮汐能、地热能等可再生能源,核聚变燃料等不可再生能源。(2)二次能源,是指经过加工转换形态而获得的能源。主要包括:电力、汽油、煤油、柴油、焦炭、煤气、洁净煤、激光、氢能、沼气、热水、余热、余能等。

3.按照能源能否燃烧划分

可分为:(1)燃料型能源,如煤炭、石油、天然气、泥炭、木材等;(2)非燃料型能源,如水能、风能、地热能、潮汐能等。

4.按照能源消耗后是否造成环境污染划分

可分为:(1)污染型能源,包括煤炭、石油等内容;(2)清洁型能源,包括水力、电力、氢能、太阳能、风能以及核能等。

5.按照能源形态特征划分

可分为:固体燃料、液体燃料、气体燃料;水能、电能、氢能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能等。这是世界能源委员会推荐的能源类型划分方式。

(三)新能源开发出现的重要成果

20世纪90年代以来,世界许多国家大力倡导和推广清洁、干净的新能源,以求在促进经济发展的同时加强环境保护。各国政府对新能源的开发利用给予大力支持,重点推进新能源采集、存储、调节、分配和传输技术的开发,加强新型发电技术等方面的研究,从而促使能源领域的创新活动获得不少突破性的进展。

电池开发方面,在大力发展含锂电池特别是锂离子电池的同时,加强研发固体氧化物燃料电池、氢燃料电池、生物燃料电池和太阳能电池,还着手探索钠电池、铝电池、镁电池、钙电池等轻金属电池,镍电池、含铜电池、含铈电池等重金属电池,以及贵金属和金属氧化物电池。

氢能开发方面,在制氢方法、储氢技术和用氢设备等探索中取得了一系列新突破。

太阳能开发方面,在太阳能电池研制、太阳能电站建设、太阳能设备制作,以

及太阳能综合利用等领域,迅速加快了推进步伐。

生物质能开发方面,获取了提炼乙醇、丁醇、生物柴油和“生态石油”的各种新方法,大大拓展了制造生物燃料技术和原料的范围。

风能开发方面,风车质量不断提高,数量成倍增长,风力发电装置产生了不少新样式。

核能开发方面,已经开始建设国际热核聚变实验堆,并积极推进第四代高温气冷核反应堆建设。另外,在海洋能、地热能、动能与热能等方面的开发利用,也出现了一些令人惊叹的新成果。

二、本书的框架结构

本书以 21 世纪国外科技创新活动为考察对象,集中分析其在能源开发领域取得的创新成果。本书以国外能源开发方面的发明创造事实为依据,采用取精用宏的方法,对搜集到的各类消息报道和成果介绍材料统一汇总,通过对比分析,细加考辨,实现同中求异,异中求同,精心设计成研究国外能源创新信息的分析框架。本书分 10 章,其内容梗概如下:

第一章 电池领域的创新信息。主要分析锂电池和锂离子电池、燃料电池,以及其他金属材料电池、无机材料电池和有机材料电池等研制成果。

第二章 氢能开发领域的创新信息。主要考察二硫化钼等制氢催化剂、太阳能制氢催化剂和燃料电池制氢催化剂、制氢技术与设备,以及储氢和用氢材料和装置等方面的创新进展。

第三章 生物质能开发领域的创新信息。主要描述用含油或含糖植物、草类或藻类原料、含纤维素和木质素植物、生产或生活废弃物等制造生物燃料,开发生物电能,及其出现的相关新技术等内容。

第四章 太阳能开发领域的创新信息。主要分析研制无机太阳能电池、有机太阳能电池,以及非电池领域开发利用太阳能的新成果。

第五章 风能开发领域的创新信息。主要考察风力发电建设项目、风力发电设备和利用风能建造节能环保房屋等方面的创新进展。

第六章 核能开发领域的创新信息,主要阐述研制新一代核裂变反应堆的新举措,开发核聚变清洁能源的新进展,同时阐述核辐射污染防治领域的研究成果。

第七章 开发地热能与海洋能的创新信息。先考察开发新型地热采暖系统、建立以干热岩技术为基础的地热发电站等地热能开发新成果。再考察开发海洋燃油资源和可燃冰资源,探索利用海洋能发电,利用波浪动能为船舶提供动力等

海洋能开发新成果。

第八章 开发动能与热能的创新信息。先分析利用人体动能、车辆动能和重力运动发电,研制把动能转换为电能的材料和动能采集装置等动能开发新进展。接着分析开发人体热能资源、余热或废热资源,研制热电材料和微型热电装置等热能开发创新信息。

第九章 多种能源综合开发的创新信息。这里的考察对象,是上面各章尚未涉及或者难以涵盖的一些能源形式。主要分析优化开发石化燃料资源,运用二氧化碳制造燃料,用水开发燃料,以及利用电子自旋、磁流体、摩擦能和压缩空气发电等方面创新信息。

第十章 高效节能环保产品领域的创新信息。研制高效节能环保产品,可以提高产品质量,节约原材料消耗,降低人力成本,特别是可以减少能源消耗,所以也是能源创新领域的重要内容。这里主要分析研究高效节能电器设备、节能环保型交通工具,以及高效先进电力设施建设等方面的新进展。

张明龙 张琼妮

2016年8月12日

目 录

第一章 电池领域的创新信息	1
第一节 研制含锂电池的新进展	1
一、研制锂电池和锂离子电池的新成果	1
二、开发含锂电池配套材料的新成果	23
三、研发锂离子电池的新技术和新工艺	31
第二节 研制燃料电池的新进展	34
一、研发燃料电池的新成果	34
二、开发燃料电池配套材料的新成果	41
三、研制燃料电池出现的新技术	44
第三节 研制其他电池的新进展	46
一、探索轻金属电池的新成果	46
二、用重金属研发电池的新成果	52
三、研制其他类型电池的新成果	55
第二章 氢能开发领域的创新信息	62
第一节 研发制氢催化剂的新进展	62
一、开发二硫化钼等制氢催化剂的新成果	62
二、研制太阳能制氢催化剂的新成果	66
三、开发燃料电池制氢催化剂的新成果	70
第二节 开发制氢技术与设备的新进展	72
一、研发制氢技术的新成果	72
二、研发制氢设备的新成果	84
第三节 储氢和用氢领域研发的新进展	89
一、研制储存氢气的新材料和新装置	89
二、开发储存氢气的新方法	96
三、建设使用氢气的新设施	98

第三章 生物质能开发领域的创新信息	103
第一节 开发生物燃料的新进展	103
一、用含油或含糖植物制造生物燃料	103
二、用草类或藻类原料提取生物燃料	107
三、用含纤维素和木质素植物制造生物燃料	112
四、用生产或生活废弃物制造生物燃料	117
第二节 开发生物电能的新进展	126
一、研制生物电池的新成果	126
二、研究生物能源发电的新成果	137
第三节 开发利用生物质能出现的新技术	142
一、研究用酶开发生物燃料的新技术	142
二、开发生物燃料出现的其他新技术	148
三、探索生物电能开发出现的新技术	157
第四章 太阳能开发领域的创新信息	160
第一节 无机太阳能电池研制的新进展	160
一、研制硅基太阳能电池的新成果	160
二、开发非硅基太阳能电池的新成果	172
三、研制无机太阳能电池的其他新成果	185
第二节 有机太阳能电池开发的新进展	190
一、研制有机太阳能电池的新成果	190
二、开发有机太阳能电池的其他新成果	199
第三节 非电池领域开发利用太阳能的新进展	205
一、开发利用太阳能的新材料和新设备	205
二、探索聚光太阳能热发电模式的新成果	211
三、建设太阳能电站的新进展	214
四、设计建造利用太阳能的节能环保屋	217
第五章 风能开发领域的创新信息	219
第一节 风力发电项目建设的新进展	219
一、日益重视风力发电项目建设	219
二、建设风力发电项目的新成果	222
第二节 研制风力发电设备的新进展	227
一、研制风车与风力电机的新成果	227
二、研制风力发电配套设备的新成果	229
第三节 风能开发利用的其他新进展	232

一、研究风能开发对周围环境影响的新成果	232
二、利用风能建造节能环保房屋的新成果	232
第六章 核能开发与核辐射防治的创新信息	236
第一节 核能开发利用的新进展	236
一、研制新一代核裂变反应堆	236
二、开发核聚变清洁能源的新进展	238
三、研究安全利用放射性资源的新成效	244
四、建设核电站及其相关管理的新进展	249
第二节 核辐射污染防治的新进展	253
一、研究防治核辐射污染的新方法	253
二、开发防治核辐射污染的新材料	256
三、研制防治核辐射污染的新设备	258
四、研制防治辐射伤害的新药物	259
第七章 开发地热能与海洋能的创新信息	262
第一节 地热能开发利用的新进展	262
一、地热资源开发现状概述	262
二、开发利用地热资源的新进展	265
第二节 海洋能开发利用的新进展	267
一、海洋燃油与可燃冰资源开发的新成果	267
二、开发利用海洋能发电的新成果	270
三、开发利用波浪动能的新成果	278
第八章 开发动能与热能的创新信息	280
第一节 动能资源开发利用的新进展	280
一、人体动能资源开发的新成果	280
二、研究利用车辆和重力的动能资源	285
三、研制可用动能发电的新材料和新设备	286
第二节 热能资源与热电材料开发的新进展	288
一、开发人体热能资源的新成果	288
二、开发余热或废热资源的新成果	290
三、研制热电转换材料的新成果	294
四、研制微型热电效应发电装置的新成果	298
第九章 多种能源综合开发的创新信息	300
第一节 优化开发石化燃料资源的新进展	300
一、开发化石能源及煤的创新信息	300

二、合理开发利用石油资源的新成果	304
三、开发利用天然气资源的新成果	311
四、分解利用石脑油的新成果	313
第二节 运用二氧化碳制造燃料的新进展	314
一、利用光合作用或细菌把二氧化碳变为燃料	314
二、运用催化剂把二氧化碳转化为燃料	317
第三节 用水开发能源的新进展	321
一、以水为原料开发能源	321
二、利用水滴落或蒸发产生的能量发电	323
第四节 开发其他能源形式的新进展	326
一、利用离子和电子运动发电的新成果	326
二、开发利用其他能源形式的新成果	327
第十章 高效节能环保产品领域的创新信息	331
第一节 研制高效节能电器设备的新进展	331
一、研制高效节能电子元器件的新成果	331
二、研制高效节能家用电器的新成果	334
三、研制高效节能仪器设备的新成果	338
四、研制高效节能动力设备及部件的新成果	341
第二节 研制节能环保型交通工具的新进展	345
一、研制节能环保型汽车的新成果	345
二、设计制造节能环保型飞机的新成果	351
三、研制节能环保型火车与船舶的新成果	358
四、研制节能环保交通配套设施的新成果	360
第三节 高效先进电力设施建设的创新信息	367
一、建设高效先进的电力传输系统	367
二、建设有利于可再生能源发展的高效基础设施	373
参考文献和资料来源	379
后 记	385

第一章 电池领域的创新信息

电池通常表现为在杯、壶、罐、槽等容器的部分空间内,放置电解质溶液和金属电极以产生电流,从而把化学能转化为电能的装置。目前,其概念已经拓展到能产生电能的小型装置,如太阳能电池等。本书对氢能、生物质能和太阳能电池开发,各安排一章篇幅分别阐述,其中含有氢燃料电池、生物燃料电池和太阳能电池等内容。本章着重分析含锂电池、固体氧化物燃料电池,以及其他金属电池等。21 世纪以来,国外在含锂电池领域的研究主要集中在开发不同材质的新型含锂电池、具有轻薄柔韧特点的新型含锂电池、大容量高性能的锂离子电池,以及用于电动汽车的锂离子电池;研制高性能锂离子电池阳极材料、高质量锂金属电池阳极材料、高强度锂离子电池阴极材料及锂离子电池其他配套材料。研发提高锂离子电池储能量和效率的新技术、提高锂离子电池安全性的新技术;开发降低锂离子电池成本的新工艺、延长锂离子电池寿命的新工艺。燃料电池领域的研究主要集中在研制多材质多用途的固体氧化物燃料电池、把热能转化为电能的燃料电池、用于航海舰船的燃料电池;开发微小型或便携式燃料电池、高效能或高温型的燃料电池;研制燃料电池催化剂,以及超薄电解片、无机复合材料和超级晶格材料等配套材料;开发改善燃料电池性能和降低其成本的新技术。其他电池领域的研究主要集中在研制钠电池、铝电池、镁电池、钙电池等轻金属电池,镍电池、含铜电池、含铈电池等重金属电池,以及贵金属和金属氧化物电池;还探索用无机材料、有机材料和核材料研制新型电池。

第一节 研制含锂电池的新进展

一、研制锂电池和锂离子电池的新成果

(一)开发不同材质的新型含锂电池

1. 开发锂空气电池的新进展

(1)研制出高性能的锂空气电池。2009 年 3 月 1 日,日本产业技术综合研究所发表新闻公报说,来自该所和日本学术振兴会研究人员组成的一个研究小组,研制出一种新型锂空气电池。专家指出,这种电池将来有望为车辆提供动力。

研究人员说,迄今报告的锂空气电池存在固体反应生成物氧化锂堆积到正极

阻碍电解液与空气接触进而导致电池放电中止等问题。而最新研发的这种锂空气电池解决了这一问题,大大提高了电池的放电性能。

据悉,研究人员在负极(金属锂)一侧使用有机电解液,在正极(空气)一侧使用水性电解液,两者之间用固体电解质隔离,防止两种电解液混合。中间的固体电解质只有锂离子能通过。新型锂空气电池放电反应生成的固体物质不是氧化锂,而是易溶于水性电解液的氢氧化锂。这样就不会引起正极的碳孔被堵塞,从而解决了以往锂空气电池固体反应生成物,阻碍电解液与空气接触的问题。

在实验中,研究人员分别用碱性水溶性凝胶和碱性水溶液作正极的电解液,结果发现,这种新型锂空气电池的放电性能都比以往该类型电池大幅提高,特别是如果用碱性水溶液作正极电解液可使电池在空气中以 0.1 安培/克的放电率放电,那么电池可连续放电 20 天。

研究人员说,这种新型锂空气电池无须充电,只需更换正极的水性电解液,通过卡盒等方式更换负极的金属锂就可以连续使用。正极生成的氢氧化锂可以从使用过的水性电解液中回收,再提炼出金属锂,金属锂则可再次作为燃料循环使用。研究人员表示,这种新型锂空气电池,将来有望发展成“金属锂燃料电池”。

(2) 开发出能量密度提高 3 倍的碳纤维锂空气电池。2011 年 7 月,麻省理工学院机械工程和材料科学与工程系杨绍红教授领导,该系研究生罗伯特·米切尔、贝塔·加兰特等人参加的一个研究小组,在《能源和环境科学》杂志上发表论文称,他们研制出一种新式碳纤维锂空气电池,其能量密度是现在广泛应用于手机、汽车中可充电锂离子电池的 4 倍。

2010 年,该研究小组通过使用稀有金属晶体,改进了锂空气电池的能量密度。从理论上来讲,锂空气电池的能量密度大于锂离子电池,因为它用一个多孔的碳电极取代了笨重的固态电极,碳电极能通过从漂过其上方的空气中捕获氧气来存储能量,氧气与锂离子结合在一起会形成氧化锂。

最新研究朝前迈进了一步,制造出的碳纤维电极比其他碳电极拥有更多孔隙,因此,当电池放电时,有更多孔隙来存储固体氧化锂。

米切尔说:“我们利用化学气相沉积过程,种植了垂直排列的碳纳米纤维阵列,这些像毯子一样的阵列,就是导电性高、密度低的储能‘支架’。”

加兰特解释道,在放电过程中,过氧化锂粒子会出现在碳纤维上,碳会增加电池的重量,因此,让碳的数量最小、为过氧化锂留出足够的空间非常重要,过氧化锂是锂空气电池放电过程中形成的活性化学物质。

杨绍红表示:“我们新制造出的像毯子一样的材料,拥有 90% 以上的孔隙空间,其能量密度是同样重量的锂离子电池的 4 倍。而 2010 年我们已经证明,碳粒子能被用来为锂空气电池制造有效的电极,但那时的碳结构只有 70% 的孔隙空间。”

研究人员指出,因为这种碳纤维电极碳粒子的排列非常有序,而其他电极中

的碳粒子非常混乱,因此,比较容易使用扫描式电子显微镜来观察这种电极在充电中间状态的行为,这有助于他们改进电池的效能,也有助于解释为什么现有系统在经过多次充电放电循环后,性能会下降。但把这种碳纤维锂空气电池商品化还需进一步研究。

(3)通过项目形式推进研制高质量的锂空气电池。2012年4月23日,《日刊工业新闻》报道,日本旭化成公司和中央硝子公司两家企业,开始参加美国国际商用机器公司阿尔马登研究中心正在进行的高质量锂空气电池研究项目。

锂空气电池作为新一代大容量电池而备受瞩目。其工作原理是用金属锂做负极,由碳基材料组成的多孔电极做正极,放电过程中,锂在负极失去电子成为锂离子,电子通过外电路到达多孔正极,并将空气中的氧气还原,向负载提供能量;充电过程正好相反,锂离子在负极被还原成金属锂。

由于锂空气电池使用了碳基电极和空气流替代锂离子电池较重的传统部件,因此电池重量更轻,其性能是锂离子电池的10倍。搭载锂空气电池的电动汽车充电一回可行驶800千米。但目前的有关研究中存在电解质挥发问题、空气腐蚀、高效氧还原催化剂等技术难关。

按该项目研究分工,旭化成公司将利用其掌握的先进膜技术负责开发重要的有关膜部件;中央硝子公司负责开发新型电解液和高性能添加剂。研究小组计划到2020年实现锂空气电池的大量生产和推广应用。

(4)开发多方面改善性能的锂空气电池。2012年7月,有关媒体报道,日本中央大学大石克嘉教授主持的一个研究小组,成功开发出能有效消除锂空气电池中二氧化碳成分的技术,大幅提升了这种电池的性能。

金属空气电池是下一代电池发展的重要方向,其原理为利用金属与空气中的氧气发生反应而放电。理论上金属空气电池的容量可以3倍于普通锂离子电池。不过,反应时很容易吸收空气中的二氧化碳,而二氧化碳会导致电解液的劣化和电池性能的下降。

该技术是在直径约5毫米的硅棒或铜棒外包裹两层金属薄膜材料,内层为氧化硅或氧化铜,外层为用以吸收二氧化碳的氧化锂。氧化锂通电后温度上升至700℃,将二氧化碳释放到外界。利用这种装置,基本上可以去除空气中含量仅为0.04%的二氧化碳。通过外层氧化锂对二氧化碳成分的不断吸收和放出,电池就可反复高效使用。

大石教授希望用半年到一年的时间,把装置的直径减小到1毫米左右,实现装置的小型化和实用化。他还计划把该装置加工成螺旋状,通过加大其表面积更加有效地吸收二氧化碳。

2. 研发锂硫电池的新进展

(1)应用纳米技术研发新型锂硫电池。2012年5月,有关媒体报道,德国慕尼黑大学和加拿大滑铁卢大学联合组成的一个国际研究小组,研发新型锂硫电池取

得重大进展。研究人员应用纳米技术对锂硫电池技术进行重大改进,使用碳纳米微粒构成多孔电极,使其吸附硫的能力大大增强,电池达到最高的性能,未来有望替代目前的锂离子电池。

锂硫电池两个电极由锂电极和硫碳电极构成,在两个电极之间进行锂离子交换,硫材料在这个系统中起重要作用。理想情况下每个硫原子可以接受两个锂离子,由于硫的重量轻,是一种非常理想的储能材料,同时硫本身不导电,因此在充放电过程中电子不易迁移流失。

此项研发成果的关键是,研究人员把硫材料制成了表面积尽可能大的,能接受电子的电极材料。同时,又将其与导电的基体材料对接。

为此,研究人员用碳纳米微粒制成一种多孔结构的支架,这种碳纳米微粒多孔结构具有十分独特的表面性能,其空隙率达到 $2.32 \text{ 厘米}^3/\text{克}$,比表面积达到 $2445 \text{ 米}^2/\text{克}$,也即在一小块方糖大小的材料中,具有与 10 个网球场相当的表面积。在孔径只有 3~6 纳米的孔隙中,硫原子可以非常均匀地分布,因此几乎所有硫原子都有与锂离子接触并将锂离子接受的可能,同时这些硫原子又与具有导电性的碳材料紧密相连,因此分布在这种多孔碳纳米微粒中的硫材料具有了优良的电性能并且非常稳定,其储存电能密度达到 $1200\text{mAh}/\text{克}$,并且循环充放电性能良好。

碳纳米多孔结构还可以有效解决所谓“多硫化物”问题,多硫化物是电解过程的中间产物,对电池的充放电过程会产生严重影响,因为碳纳米多孔结构可以吸附这种有害中间产物,待其转化为无害的二锂硫化物后释放。

(2)通过新型电极研发高性能锂硫电池。2012 年 6 月 12 日,德国弗劳恩霍夫材料与射线技术研究所与合作伙伴弗劳恩霍夫化工技术研究所和德国基尔大学联合组成的一个研究小组,在德累斯顿市举办的第九届国际纳米技术研讨会上,展示了他们研发的基于碳纳米管的含硫电极材料。该材料被应用在锂硫电池中,可以获得高达 $900 \text{ 毫安时}/\text{克}$ 的质量比容量。

越来越多的移动应用,促使电能储存成为当今的一项关键技术,而大多数应用的瓶颈是电池系统的能量密度,它在很大程度上决定了充电后的使用时间。为了显著改进现有电池系统的性能,研究人员不断进行电极材料的研发。这其中,硫被视为一种非常有潜力的材料。硫的理论比容量超过 $1600 \text{ 毫安时}/\text{克}$ 。

用硫做电池的阴极,比以前使用的电极有明显的优点:一方面是通过高的含硫量获得更高的能量密度。另一方面,硫是一种廉价、无毒、储量丰富的资源。但是,硫导电性很低,它必须被放置在导电的凹模中,并尽可能在纳米尺度上接触,才可以在电化学中使用。

该研究小组利用碳纳米管巨大的比表面积与良好的导电性等特性,采用特殊的生产工艺,造出基于碳纳米管的含硫电极。他们用一种简单的涂层方法,使垂直排列的碳纳米管直接在金属基板(如铝、镍、不锈钢)上面成长,然后把硫渗透进

这种结构中,形成所谓的硫纳米森林,在完全不加黏合剂或其他添加剂的情况下,得到了稳定而且结构紧凑的电极。

该研究小组把这些材料应用在锂硫电池中,进一步测试其性能。目前的结果表明,渗入适当的硫以后,新材料可以得到特别高的电池容量,基于硫的质量计算,能达到创纪录的 1300 毫安时/克。而根据硫碳复合材料的质量计算,也能达到 900 毫安时/克,远高于其他含有黏结剂的电极。

(3)研制能量密度为传统电池 4 倍的全固态锂硫电池。2013 年 6 月,美国能源部下属的橡树岭国家实验室梁诚督领导的一个研究小组,在德国《应用化学》国际版上发表研究成果称,他们设计出了一种全新的全固态锂硫电池,其能量密度约为目前电子设备中广泛使用的锂离子电池的 4 倍,且成本更低廉。

梁诚督表示:“新电池中用到的电解质也是固体,这种设计思路完全颠覆了已延续 150 年到 200 年的两个电极加一堆电解液的固有电池概念,也解决了其他化学家一直担心的易燃问题。”

几十年来,科学家们一直很看好锂硫电池,它比锂离子电池效率高且成本低。但寿命短是其最大弱点,因此一直未被商用。另外,电池内使用液体电解质也成为科学家们的桎梏。一方面,液体电解质会通过溶解多硫化物,从而帮助锂离子在电池中传导。但另一方面,不利的是这一溶解过程会使电池过早地被损坏。

现在,该研究小组的新设计方法清除了这些障碍。首先,他们合成出一种富含硫的新物质,并把它作为电池的阴极。它能传导锂离子和传统电池阴极中使用的硫金属锂化物,随后,再把它与由锂制成的阳极以及固体电解质结合在一起,制造出这种能量密度大的全固态电池。

梁诚督表示:“电解质由液体变成固体这一转变消除了硫溶解的问题,而且,由于液体电解质容易同锂金属发生反应,所以新电池使用固体电解质后安全性也更高。另外,新锂硫电池中使用的硫是处理石油后剩下的副产品,来源丰富且成本低廉,也能存储更多能量,这就使新电池具有成本低廉、能量密度大等优点。”

测试结果表明,新电池在 60℃ 的温度下,经过 300 次充放电循环后,电容可以维持在 1200 毫安小时/克,而传统锂离子电池的平均电容为 140~170 毫安小时/克。梁诚督表示,因为锂硫电池携带的电压,为锂离子电池的一半,平均电容为其 8 倍,所以,新电池的能量密度约为传统锂离子电池的 4 倍。

尽管新电池仍然处于演示阶段,但研究人员希望尽快将这项研究由实验室推向商业应用,他们正在为此技术申请专利。

(4)研制出一种廉价高功率的锂硫电池。2014 年 6 月 4 日,物理学家组织网报道,一种工业废品、一点塑料,再加上不太高的温度,或许就是引爆下一个电池革命的导火线。美国国家标准与技术研究所材料科学家克里斯托弗·索尔斯、亚利桑那大学的化学家杰弗里·佩恩等人,与韩国首尔国立大学研究人员一起组成一个研究小组,他们把几种材料混合在一起,研制出一种廉价、高功率的锂硫

电池。

研究人员表示,新电池的性能可与目前市场上占主流的电池相媲美,而且,经过 500 次充放电循环后功能无损。过去数十年来,锂离子电池的能量密度不断提高,广泛应用于智能手机等领域。但锂离子电池需要笨重的阴极(一般由氧化钴等材料制成),来“收纳”锂离子,限制了电池能量密度的进一步提高。这意味着,对诸如长距离电动汽车等,需要更大能量密度的应用来说,锂离子电池有点力不从心。

因此,科学家们将目光投向了锂离子电池更纤瘦的“表妹”,即锂硫电池身上,后者的阴极主要由硫制成。硫的“体重”仅为钴的一半,因此,同样体积的硫收纳的锂离子数为氧化钴的两倍,这就使得锂硫电池的能量密度为锂离子电池的数倍。

但硫阴极也有两大劣势:首先,硫容易与锂结合,形成的化合物会结晶;其次,不断的充放电循环使硫阴极容易破裂,因此,一块典型的锂硫电池经过几次循环就成了无用之物。

据报道,在最新研究中,为了制造出稳定的硫阴极,研究人员将硫加热到 185°C ,将硫元素由 8 个原子组成的环路融化成长链,随后,他们让硫链同二异丁烯混合,二异丁烯让硫链连接在一起,最终得到了一种混合聚合物。他们把这一过程称为“逆向硫化”,因为它与制造橡胶轮胎的过程类似,关键的区别在于:在轮胎中,含碳材料会聚集成一大块,硫则点缀其中。

研究人员解释道,添加二异丁烯使硫阴极不那么容易破碎,也阻止了锂硫化合物结晶。研究表明,硫和二异丁烯的最佳混合为二异丁烯占总质量的 10%~20%。如果太少,无法保护阴极;如果太多,电化学性能不活跃的二异丁烯会降低电池的能量密度。

测试表明,经过 500 次循环后,电池的能量密度仍为最初的一半多。佩恩表示,其他还处于实验阶段的锂硫电池也有同样的性能,但其制造成本高昂,很难进行工业化生产。索尔斯表示,尽管如此,这种锂硫电池短期内也不会上市,硫暴露在空气中很容易燃烧,因此,任何经济可行的锂硫电池都需要经过非常严苛的安全测试,才能投放市场。

(5) 开发出硫阴极更加经久耐用的锂硫电池。2015 年 1 月,加拿大固态能源材料研究中心主任、滑铁卢大学化学教授琳达·纳扎尔领导,该校博士后萧亮和研究生康纳·哈特、庞泉等人组成的研究小组,在《自然·通讯》杂志上发表论文称,他们在锂硫电池技术上取得了一项重大突破。他们借助一种超薄纳米材料,开发出一种更加经久耐用的硫阴极。该成果有望制造出重量更轻、性能更好、价格更便宜的电动汽车电池。

据报道,该研究小组发现的这种新材料能够保持硫阴极的稳定性,克服了目前制造锂硫电池所面临的主要障碍。在理论上,同样重量的锂硫电池不但能够为