

8-20-2024

## Analysis of recent development in energy storage technology in China from perspective of patents

Mingming JIANG

*Institute of Energy, Peking University, Beijing 100871, China*

*See next page for additional authors*

### Recommended Citation

JIANG, Mingming and JIN, Zhijun (2024) "Analysis of recent development in energy storage technology in China from perspective of patents," *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*: Vol. 39 : Iss. 8 , Article 16.

DOI: <https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20240424001>

Available at: <https://bulletinofcas.researchcommons.org/journal/vol39/iss8/16>

This Information & Observation is brought to you for free and open access by Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). It has been accepted for inclusion in Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version) by an authorized editor of Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). For more information, please contact [lcyang@cashq.ac.cn](mailto:lcyang@cashq.ac.cn), [yjwen@cashq.ac.cn](mailto:yjwen@cashq.ac.cn).



---

## Analysis of recent development in energy storage technology in China from perspective of patents

### Abstract

The achievement of the “dual carbon” goal is closely tied to the widespread implementation of renewable energy, however, renewable energy generation is characterized by intermittency and volatility. Advanced energy storage technology plays a crucial role in mitigating the fluctuations of new energy sources and enhancing their absorption capacity. Patents serve as important indicators of technological innovation, directly reflecting current research trends and future directions in energy storage technology. This paper primarily relies on the “WIPO IP Portal” website provided by the World Intellectual Property Organization to analyze the comprehensive strength of eight leading countries including the United States, China, France, the United Kingdom, Russia, Japan, Germany, and India. The analysis focuses on various energy storage technologies with statistics on patents issued by researchers or institutions from these countries. Additionally, this study examines China’s current state of energy storage technology based on authorized patents and explores its future development trends across electric energy storage systems (EES), mechanical energy storage systems (MESS), chemical energy storage systems (CESS), thermal energy storage systems (TESS), and hydrogen-based energy storage systems (HESS). It concludes that China’s current focus lies in core components or materials research for efficient cost reduction aiming at large-scale commercial applications. Furthermore, how to integrate a variety of energy storage into a system to use renewable energy such as wind and light for power supply and heating will be the focus of interest in the future.

### Keywords

new energy, energy storage technology, electric energy storage, mechanical energy storage, chemical energy storage, hydrogen energy

### Authors

Mingming JIANG and Zhijun JIN

引用格式:姜明明,金之钧. 专利视角下中国储能技术研究现状分析. 中国科学院院刊, 2024, 39(8): 1468-1485, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240424001.

Jiang M M, Jin Z J. Analysis of recent development in energy storage technology in China from perspective of patents. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(8): 1468-1485, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240424001. (in Chinese)

# 专利视角下中国储能技术研究现状分析

姜明明<sup>1</sup> 金之钧<sup>1,2\*</sup>

1 北京大学 能源研究院 北京 100871

2 中国石化石油勘探开发研究院 北京 102206

**摘要** “双碳”目标的实现,离不开可再生能源的大规模装机应用,但可再生能源发电具有间歇性、波动性等特点,先进的储能技术能够平抑新能源波动并提升消纳能力而备受关注。专利作为技术创新的重要信息载体,能够直接反映出储能技术目前的研究热点,以及未来的热点方向和地位。文章主要基于世界知识产权组织门户网站“WIPO IP Portal”,主要分析对象为储能技术专利数量排名世界前8位的国家——美国、中国、法国、英国、俄罗斯、日本、德国、印度;以每个储能技术为主题词,对这8个国家的研究人员或机构发表专利数量情况进行统计。同时,文章基于已授权专利重点梳理了目前中国所有储能技术及其未来发展态势,主要集中在电气式储能、机械式储能、化学式储能、热能式储能和氢能方面的前沿研究方向。总结出中国目前储能技术集中向核心部件或材料、装置、系统等方面攻关,核心目标是降本增效,早日实现大规模商业化应用;如何整合多种储能成一个系统以利用风、光等可再生能源供电、供热,将是未来最关注的焦点。

**关键词** 新能源, 储能技术, 电气式储能, 机械式储能, 化学式储能, 氢能

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240424001

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240424001

“双碳”目标的实现,离不开可再生能源的大规模装机应用;但是,由于可再生能源发电也存在诸多弊端,如受自然环境影响存在着间歇性、波动性和随机性等特点,对电力系统的调峰能力要求更加灵活,

\*通信作者

资助项目:国家自然科学基金(42302146、42090025),国家重点研发计划(2019YFA0708504)

修改稿收到日期:2024年8月1日

电压、电流等电能质量面临更大挑战<sup>[1,2]</sup>。由于先进的储能技术不仅能够平抑能源的波动，还能提升能源消纳能力，进而备受各界关注<sup>[2]</sup>。在“双碳”目标的有力驱动下，从长远来看，新能源取代化石能源是必然趋势。为了构建和提升新能源消纳和存储体系，科学界和工业界便推动了储能技术的发展和规模化应用。

储能技术在促进能源生产消费、推动能源革命等方面举足轻重，甚至成为继石油、天然气之后能够改变全球能源格局的重要技术；因此，大力发展储能技术对于提高能源利用效率和可持续发展具有积极意义<sup>[3,4]</sup>。在当前全球能源结构转型的背景下，储能技术的国际竞争十分激烈；储能技术涉及领域较多，突破每种储能技术瓶颈，掌握引领能源科技的核心至关重要<sup>[5]</sup>。因此，全面了解和掌握储能技术发展动态是有效应对复杂国际竞争形势的前提，有利于进一步加强优势，弥补不足<sup>[6]</sup>。

专利作为技术创新的重要信息载体<sup>[7]</sup>，它能够直接反映出储能技术目前的研究热点，以及未来的热点方向和地位<sup>[6,7]</sup>。文章主要基于对世界知识产权组织门户网站“WIPO IP Portal”(<https://ipportal.wipo.int/>)公开授权专利的调研<sup>①</sup>，主要分析对象为储能技术专利数量排名世界前8位的国家——美国（USA）、中国（CHN）、法国（FRA）、英国（GBR）、俄罗斯（RUS）、日本（JPN）、德国（GER）、印度（IND）；以每个储能技术名称为主题词，对这8个国家的研究人员或所属机构发表专利数量情况进行统计。需要说明的是，在进行专利的统计时，国别的划分均是以作者通信地址确定；多个国家作者合作完成的成果，均认定为各自国家的成果。此外，本文通过对近3—5年中国境内已授权专利重点分析，整理提炼中国目前常见的储能技术及其未来发展态势，以供全面了解储能技术发展动态。

## 1 储能技术简介与分类

储能技术是指以设备或介质为容器存储能量，并在不同的时间空间释放能量的技术<sup>[3,8]</sup>。不同场景和请求会选择不同的储能系统，根据能量转换方式和储能原理可分为五大类<sup>[8,9]</sup>：

(1) 电气式储能，包括超级电容器、超导磁储能。

(2) 机械式储能，包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能。

(3) 化学式储能，包括纯化学储能（燃料电池、金属空气电池）、电化学储能（铅酸、镍氢、锂离子等常规电池，以及锌溴、全钒氧化还原等液流电池）、热化学储能（太阳能储氢、太阳能解离-重组氨气或甲烷）。

(4) 热能式储能，包括显热储热、潜热储热、含水层储能、液态空气储能。

(5) 氢能，一种来源广泛、能量密度高、可规模化储存的环保低碳二次能源。

## 2 专利发表情况分析

### 2.1 中国储能技术相关专利发表情况分析

截至2022年8月，中国境内申请的储能技术相关专利已达15万项以上。其中，仅锂离子电池49 168项（占比32%）、燃料电池38 179项（占比25%）、氢能26 734项（占比18%）3类就已占中国储能技术专利总数的75%；结合目前实际情况，这3类技术无论是基础研发还是商业化应用，中国都处于领先地位。抽水蓄能11 780项（占比8%）、铅酸电池8 455项（占比6%）、液态空气储能6 555项（占比4%）、金属空气电池3378项（占比2%）4类占专利总数的20%；尽管金属空气电池时间上起步较锂离子电池等较晚，但是目前技术较成熟，已趋向于商业化应用。压缩空气储

① 文中涉及专利数量的数据，如未作特别说明均为对世界知识产权组织网站（“WIPO IP Portal”）公开授权专利的调研结果。

能 2 574 项（占比 2%）、飞轮储能 1 637 项（占比 1%），以及其他储能技术相关专利均不足 1 500 项（达不到 1%），这些技术多以实验室研究为主（图 1）。

## 2.2 世界储能技术相关专利发表情况分析

截至 2022 年 8 月，全球申请的储能技术相关专利已达 36 万项以上。其中，仅燃料电池 166 081 项（占比 45%）、锂离子电池 81 213 项（占比 22%）、氢能 54 881 项（占比 15%）3 类就已占全球储能技术专利总数的 82%；结合目前应用情况，这 3 类技术均处于商业化应用阶段，主要是中国、美国、日本处于领先地位。此外，铅酸电池 17 278 项（占比 5%）、抽水蓄能 16 119 项（占比 4%）、液态空气储能 7 633 项（占比 2%）、金属空气电池 7 080 项（占比 2%）4 类占专利总数的 13%，也是目前较成熟的技术，多个国家已趋向于商业化应用。压缩空气储能 4 284 项（占比 1%）、飞轮储能 3 101 项（占比 1%）、潜热储热 4 761

项（占比 1%）3 项或是未来主要研究的方向。其他储能技术相关专利达不到 1%，多以实验室研究为主（图 2）。从专利数量上看，化学式储能要比物理式储能占比更大，对应着化学式储能目前研究更广、发展更快。

本文统计了世界主要国家储能技术的累计专利发表情况：横向上，不同国家在每一项储能技术上的专利数量对比；纵向上，同一国家在不同储能技术上的专利数量对比（表 1）。在大部分储能技术上，中国在专利数量上都处于领先地位，这侧面说明中国在这些储能技术上也处于世界前沿地位；然而，仍然有一些储能技术是中国处于劣势的。电气式储能方面，美国在超级电容器技术方面较为领先；化学式储能方面，日本在燃料电池技术方面较为领先，中国处于第 2 位，美国处于第 3 位；热能式储能方面，日本在潜热储热技术方面领先，中国紧随其后，美国第 3 位，这或许

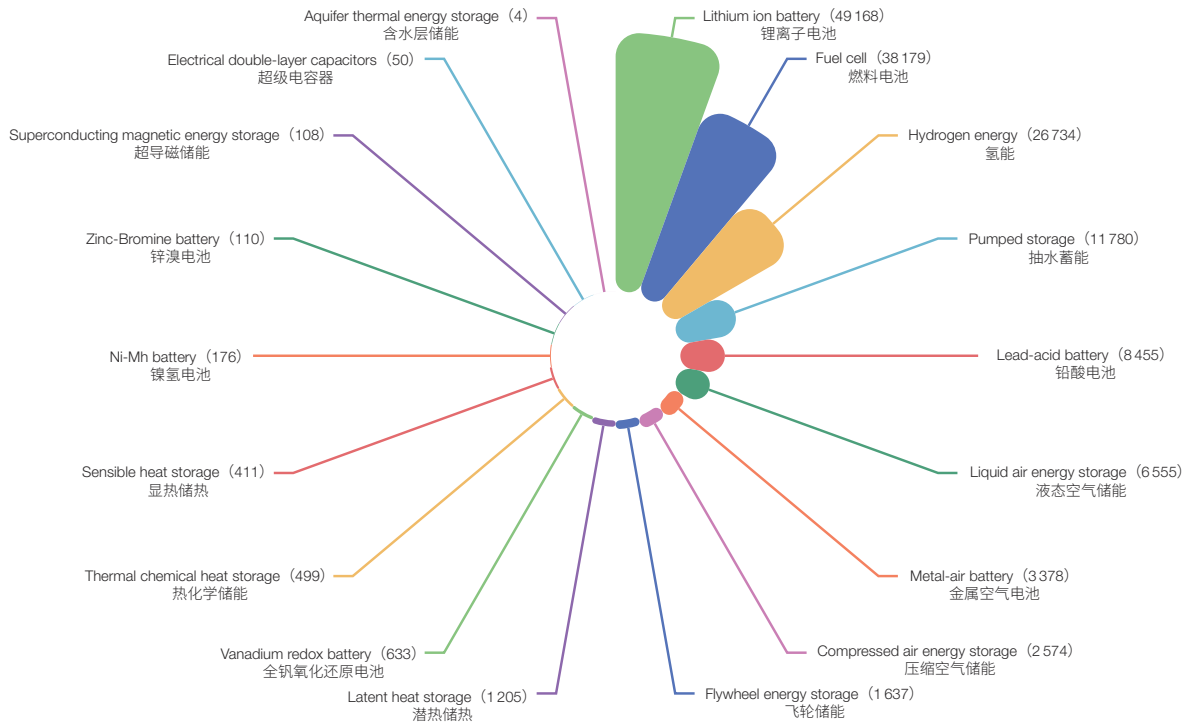


图 1 中国储能技术的累计专利申请情况

Figure 1 Patents statistics of energy storage technology in China

图中括号内数字表示累计专利发表数量，数据统计截至 2022 年 8 月

The numbers in brackets in Figure 1 indicate the number of patents published as of August 2022

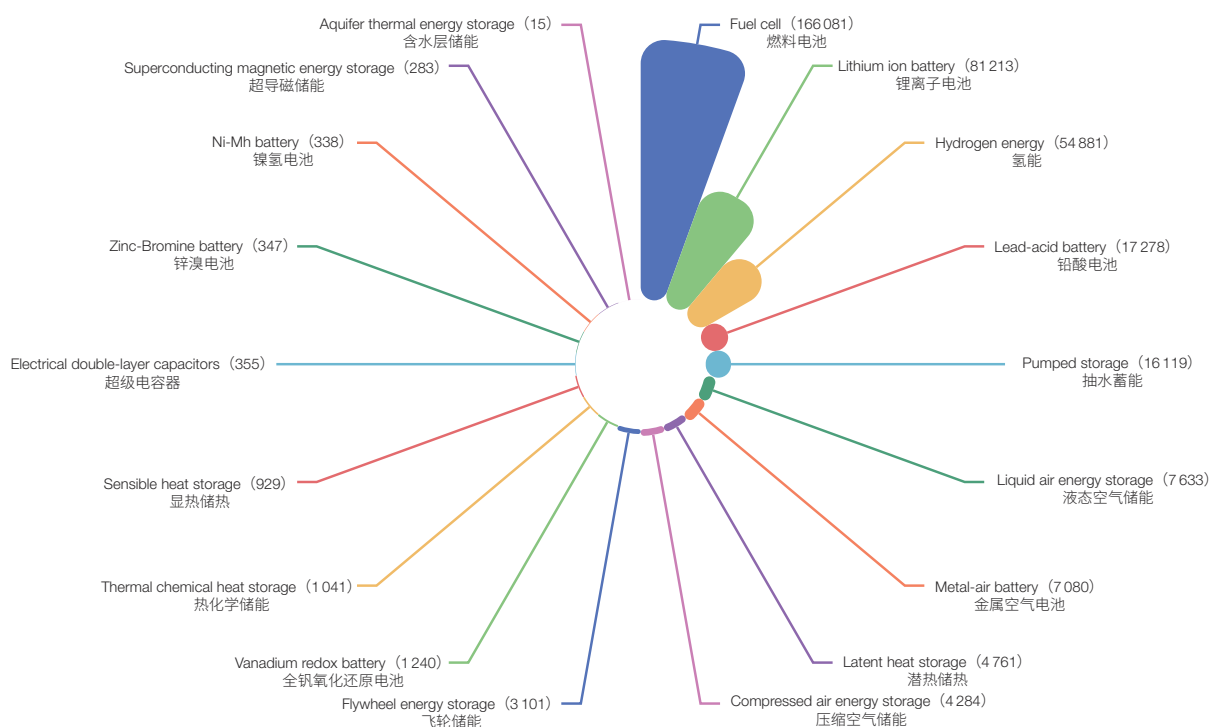


图2 世界储能技术的累计专利申请情况

Figure 2 World patents statistics of energy storage technology

图中括号内数字表示累计专利发表数量，数据统计截至2022年8月

The numbers in brackets in Figure 2 indicate the number of patents published as of August 2022

与日本独特的地理环境和地质背景息息相关。需要注意，中国虽然在含水层储能方面看似领先，实则和其他国家一样都处于实验室研发的起步阶段（图3）。可以明确的是，中国在锂离子电池、氢能、抽水蓄能、铅酸电池等储能技术方面处于领先的地位。

### 3 储能技术前沿研究方向

文章通过对世界知识产权组织公开授权专利的调研结果进行分析近3年中国储能技术相关专利的高频词及相应专利内容，总结并提炼中国储能技术前沿研究方向。

#### 3.1 电气式储能

##### 3.1.1 超级电容器

超级电容器的主要组成部分有双电极、电解液、隔膜、集流体等<sup>[10]</sup>。在电极材料与电解液接触面上，电荷发生分离和转移，故而电极材料决定并影响着超

级电容器的性能<sup>[10]</sup>。主攻技术方向主要体现在2个方面。

**方向1: 导电基膜的配方。**由于导电基膜作为涂抹在集流体上的第一层电极材料，它和粘合剂的配方工艺影响超级电容器的成本、性能、使用寿命，同时也可能影响环境污染等；这是关系到电极材料规模化生产的核心技术<sup>[11]</sup>。

**方向2: 电极材料的选择和制备。**不同电极材料的结构和组分也会导致超级电容器具备不同的容量、寿命等，主要为碳材料、导电高分子、金属氧化物，如：副品红碱@高比表面石墨烯复合材料<sup>[12]</sup>、不含金属离子的金属有机聚合物<sup>[13]</sup>、氧化钌（RuO<sub>2</sub>）金属氧化物/氢氧化物和导电聚合物<sup>[14]</sup>。

##### 3.1.2 超导磁储能

超导磁储能的主要组成部分有超导磁体、功率调节系统、监控系统等<sup>[15]</sup>。磁体的载流能力决定了超导



表1 世界主要国家储能技术的累计专利申请统计

Table 1 Patents statistics of energy storage technologies in major countries of world

类别	专利数量(项)									
	中国	德国	法国	英国	印度	日本	俄罗斯	美国	世界总量	
超级电容器	50	19	1	10	7	38	34	101	565	
超导磁储能	108	9	0	13	6	14	4	67	396	
抽水蓄能	11 780	176	93	747	111	615	223	1 004	19 088	
压缩空气储能	2 574	58	16	84	96	198	39	540	5 315	
飞轮储能	1 637	114	12	82	59	148	40	511	4067	
纯化学储能	燃料电池	38 179	4 711	541	2 403	2 575	47 695	1 040	35 965	26 1011
	金属空气电池	3 378	46	20	358	69	971	45	1 110	9 699
电化学储能	铅酸电池	8 455	174	79	509	393	3 357	169	1 887	23 846
	镍氢电池	176	8	1	3	1	42	2	40	435
	锂/钠离子电池	49 168	563	126	150	648	12 833	225	9 618	105 376
	锌溴电池	110	1	0	13	7	67	0	56	491
	全钒氧化还原电池	633	4	0	3	39	135	8	136	1 565
热化学储能	499	12	8	23	12	175	17	153	1 441	
显热储热	411	4	15	19	27	155	7	107	1 263	
潜热储热	1 205	308	14	88	80	1 554	22	614	7 441	
含水层储能	4	1	0	1	0	1	0	2	20	
液态空气储能	6 555	22	9	49	39	159	40	363	8 314	
氢能	26 734	756	199	1 194	891	6 346	981	8 407	73 655	

注：数据统计截至2022年8月

Note: The data is available as of August 2022

磁储能的性能<sup>[16]</sup>。主攻技术方向主要体现在4个方面。

**方向1：适用于电压等级高的变流器。**作为超导磁储能的核心，变流器的核心作用是实现超导磁体与电网的能量变换。电压等级较低时可用单相斩波器，电压等级较高时可用中点钳位型单相斩波器，但这种斩波器存在着结构控制逻辑复杂和扩展性差等缺点，而且易产生中点电位漂移；当超导磁体与电网侧电压相近时，极易损坏超导磁体<sup>[17,18]</sup>。

**方向2：耐高温超导储能磁体。**常规高温磁体载流能力较差，增大电感、带材用量、制冷成本等才能增加其储能量；将超导储能线圈改用类准各向性导体(Like-QIS)螺旋缠绕是目前的一种研究方向<sup>[19]</sup>。

**方向3：降低储能磁体制作成本。**多以使用氧化

钇钡铜(YBCO)磁体材料为主，但其价格昂贵。采用混合磁体，如在磁场较高处使用YBCO带材，磁场较低处使用二硼化镁(MgB<sub>2</sub>)带材，可以显著降低制作成本，有利于储能磁体大型化<sup>[20]</sup>。

**方向4：超导储能系统控制。**以往的变流器在执行指令时没有兼顾自身安全状态、可响应能力及温升检测，存在巨大的安全风险<sup>[21]</sup>。

### 3.2 机械式储能

#### 3.2.1 抽水蓄能

抽水蓄能的核心即动能和势能的转化<sup>[22]</sup>，作为技术最成熟和装机最多的储能，已经不再局限于常规发电应用，逐步向城市建设融入。主攻技术方向主要体现在3个方面。

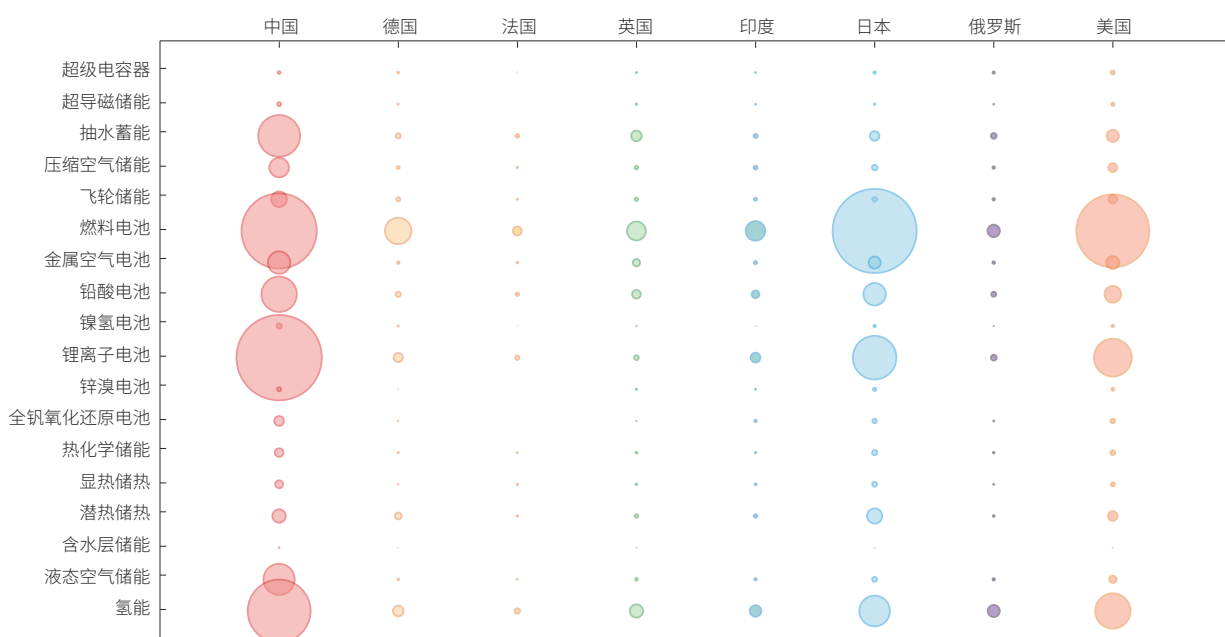


图3 世界主要国家储能技术的累计专利申请情况

Figure 3 Patents statistics of energy storage technologies in major countries of world

圆圈的大小代表对应专利申请数量的多少，数据统计截至2022年8月

The size of circle represents the number of patents published, and the data is available as of August 2022

**方向1: 适用于地下的定位装置。**运维关系着已建成的电厂日常运作，现有的全球定位系统（GPS）无法准确地对水工枢纽工程和地下厂房洞室群定位；开发适用于抽水蓄能电厂的定位装置刻不容缓，特别是在融合5G通信技术背景下<sup>[23]</sup>。

**方向2: 融入零碳建筑功能系统设计。**由于风能、光能等可再生能源发电的随机性，为了稳定地实现近零碳排放，基于风光水氢一体化的建筑功能系统概念被提出，以尽量实现能源利用率的最大化并减少能源浪费<sup>[24]</sup>。

**方向3: 分布式抽水蓄能电站。**海绵城市能够有效应对雨水频发，但建设的难点在于如何在短时间内将流入地下的雨水疏通、储存并利用，建设服务于分布式抽水蓄能电站可以解决这一问题<sup>[25]</sup>。

### 3.2.2 压缩空气储能

压缩空气储能主要由气体存储空间、电动机和发电机等构成<sup>[26]</sup>，气体存储空间规模的大小牵制着该技

术的发展<sup>[27]</sup>，主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 地下废弃空间压缩空气储能。**主要集中在地下盐穴，可用盐穴资源受限远远不能满足大规模储气库的需求，利用地下废弃空间作为气体存储空间可以很好地解决这一问题<sup>[28]</sup>。

**方向2: 快速响应的光热压缩空气储能。**目前的技术存在3个问题：①采用的大压比准绝热压缩方法，缺陷是压缩过程功耗增大，限制了系统效率的提高；②常规系统采用单一电储能工作模式，一定程度上限制了可再生能源的消纳途径；③大型机械设备都存在升温速率限制，即不能短时间达到额定温度和负荷，系统响应时间增加。快速响应的光热压缩空气储能技术能彻底解决这些问题<sup>[29]</sup>。

**方向3: 低成本储气装置。**目前所用的高压储气罐一般采用厚钢板卷板再进行焊接，材料和人工成本昂贵且钢板焊接缝有破裂的风险。地下盐穴存储很大程度上受限于地理位置和盐穴状态，不能小型化推广



以实现终端用户的商业化应用<sup>[30]</sup>。

### 3.2.3 飞轮储能

飞轮储能主要由飞轮、电动机和发电机等构成<sup>[31,32]</sup>，主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1：涡轮直驱飞轮储能。**这一储能装置，能解决在偏远地点传统的电力驱动受供电条件限制，以及装置体积大、重量沉、难以实现轻量化的问题<sup>[33]</sup>。

**方向2：飞轮储能系统中的永磁转子。**高速永磁同步电机转子和同轴连接构成储能飞轮，提高转速会提高能量储存密度，也会导致电机转子产生过大离心力而危害安全运行；需要永磁转子在高转速下转子结构稳定，且转子内部永磁体温升不会过高<sup>[34]</sup>。

**方向3：融入其他电站建设协同调频。**① 辅助参与建设抽水蓄能调峰、调频电站<sup>[35]</sup>；② 对城市供电系统中的冗余电能进行调节，缓解市电电网的供电压力<sup>[36]</sup>；③ 协同火力发电机组调频控制，以实现动态工况下飞轮储能系统出力的自适应调整<sup>[37]</sup>；④ 与风力发电等新能源场站协同视作整体，提升风储运行灵活性与调频的可靠性<sup>[38]</sup>。

## 3.3 化学式储能

### 3.3.1 纯化学储能

#### 3.3.1.1 燃料电池

燃料电池主要由阳极、阴极、氢气、氧气、催化剂等构成<sup>[39,40]</sup>，主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1：氢燃料电池发电系统。**目前的氢燃料电池发电系统存在诸多问题，如：以氢燃料电池为发电系统的新能源车只有一个储氢罐供气的问题，没有替代储氢罐；由于没有大规模普及，一旦损坏就会影响使用。燃料电池内的催化剂对于温度有一定要求，在寒冷地区难以满足时，会存在导致性能下降等问题<sup>[41,42]</sup>。

**方向2：氢燃料电池低温适用性。**低温环境会影响氢燃料电池反应性能进而影响启动，且反应过程会生成水，低温会结冰，导致电池被破坏，需要适用于

北方具有防冻功能的氢燃料电池<sup>[41,42]</sup>。

**方向3：燃料电池电堆及系统。**燃料电池电堆在工作时排放的氢气如果直接排放到大气或密闭空间都会产生安全隐患<sup>[42,43]</sup>。燃料电池电堆的输出功率受限于活性区面积与电堆节数，难以满足固定式发电用大功率系统的动力需求<sup>[44,45]</sup>。

#### 3.3.1.2 金属空气电池

金属空气电池主要由金属正极、多孔阴极和碱性电解液等构成<sup>[46,47]</sup>，主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1：良好的正极反应固体催化剂。**铂炭 (Pt/C) 或铂 (Pt) 合金贵金属催化剂在地壳中的储量低，开采成本高，目标产物选择性较差；而氧化物催化剂电子转移速率低，导致其正极反应活性差，阻碍了其在金属空气电池中大规模应用<sup>[48,49]</sup>。用光热耦合双功能催化剂以降低极化程度，将目前被广泛研究的钙钛矿镍酸镧 (LaNiO<sub>3</sub>) 用于镁空气电池研究，能解决这一问题<sup>[49]</sup>。

**方向2：提高金属空气电池负极稳定性。**在金属空气电池放电结束间歇期，如何对金属负极上的电解液和副产物残留进行处理以清洗金属空气电池，或为负极表面增加疏水保护层以减少对金属负极的腐蚀和反应活性影响，已成为当前亟待解决的问题<sup>[50,51]</sup>。

**方向3：混合有机电解液。**钠氧电池 (SOB) 及钾氧电池 (KOB) 反应产物为超氧化物，可逆性很高；通过高供体数有机溶剂和低供体数有机溶剂的协同，使2种有机溶剂的优势互补，提高超氧化物金属空气电池的性能<sup>[52]</sup>。

### 3.3.2 电化学储能

#### 3.3.2.1 铅酸电池

铅酸电池主要由铅及氧化物、电解液等构成<sup>[39]</sup>，主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1：正极铅膏制备。**铅酸电池正极活性物质二氧化铅 (PbO<sub>2</sub>) 导电性较差、孔率低，通常在和膏

时加入大量含碳类组分导电剂以期改善其性能,但正极的强氧化性会将其氧化成二氧化碳,导致电池使用寿命缩短<sup>[53,54]</sup>。加入何种导电剂能够提高铅酸电池的循环稳定性是一项重要研究课题<sup>[53]</sup>。

**方向2: 负极铅膏制备。**铅酸电池负极多采用铅粉和碳粉混合,二者密度差较大,很难得到均匀混合的负极浆料,这样碳材料与硫酸铅之间的接触面积依然较小,影响铅碳电池的性能<sup>[54,55]</sup>。

**方向3: 电极板栅制备。**铅酸电池电极板栅主要材料是纯铅或者铅锡钙合金等;在制备铅基复合材料时,熔融铅具有高表面能,与其他元素或者材料不相亲,导致板栅中材料分布不均匀,进而导致板栅的机械性能差、导电性差<sup>[54]</sup>。

### 3.3.2.2 镍氢电池

镍氢电池主要由镍和储氢合金等构成<sup>[39]</sup>,主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 负极用V基储氢合金制备。**目前主要使用AB<sub>5</sub>型储氢合金,一般含有镨(Pr)、钕(Nd)、钴(Co)等昂贵的原材料;而钒(V)基固溶体储氢合金是第三代新型储氢材料,如Ti-V-Cr合金(钒合金)具有储氢容量大、生产成本较低等优点<sup>[56]</sup>。如何制备具备高电化学容量、高循环稳定与高倍率放电性能的V基储氢合金,是需要深入研究的问题。

**方向2: 镍氢电池模组成型一体化。**如果模组采用大单体的电池模块进行组合形成大的供电体,一旦一个大单体出现问题,也会影响其他电池组。镍氢电池发生故障多以发热、发烫为主,这种情况下无法短时间阻止电池出现爆燃<sup>[57]</sup>。

**方向3: 生产高压镍氢电池。**高压镍氢电池通过单电芯内部串联的方式提高电压;由于是以电池组式的生产,使得其内阻大,散热效果不足,容易产生高温或爆炸,目前生产方式制作昂贵,体积大,成本很高<sup>[58]</sup>。

### 3.3.2.3 锂离子电池/钠离子电池

锂矿资源日渐匮乏,且锂离子电池危险系数较高<sup>[59]</sup>,由于钠储量丰富、成本低廉,且分布广泛,钠离子电池被认为是一种极具竞争力的储能技术<sup>[60]</sup>。锂离子电池主攻技术方向主要体现在1个方面。

**方向1: 高镍三元正极材料制备。**层状高镍三元正极材料具有高容量和倍率性能及更低的成本,受到广泛关注。镍含量越高,可进行充电比容量越大,但是稳定性较低<sup>[61]</sup>。需要提高层状结构的稳定性,才能改善三元正极材料的循环稳定性<sup>[61]</sup>。

钠离子电池主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 正极材料制备。**与锂离子电池层状金属氧化物正极材料不同,制备比容量高、循环寿命长、功率密度大的钠离子电池正极材料,并适合于大规模生产及应用是主要难点。如:高容量氧变价钠离子电池正极材料Na<sub>0.75</sub>Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.7</sub>Me<sub>0.1</sub>O<sub>2</sub><sup>[62]</sup>。

**方向2: 负极材料制备。**同样,目前商业化很成熟的锂离子电池石墨负极并不适用于钠离子电池,石墨烯作为负极材料,只水洗一次不能将杂质洗干净;普通石墨烯负极材料质量较差,容易氧化<sup>[63]</sup>。

**方向3: 电解液制备。**电解液影响电池的循环、倍率性能等,电解液中的添加剂是提升性能的关键。开发能提高钠离子电池性能的电解液添加剂是近几年的研究热点<sup>[64,65]</sup>。

### 3.3.2.4 锌溴电池

锌溴电池主要由正负极储罐、隔膜、双极板等构成<sup>[66]</sup>,主攻技术方向主要体现在2个方面。

**方向1: 无隔膜静态锌溴电池。**传统的锌溴液流电池中,存在正极活性面积低、锌箔负极不稳定等问题,且需采用循环泵来驱动电池中电解液的循环流动,以降低电池能量密度<sup>[67,68]</sup>。隔膜的使用会使电池系统成本增加,影响电池循环寿命。水系锌溴(Zn-Br<sub>2</sub>)电池就属于无隔膜静态,具有廉价、无污染、高安全性和高稳定性等特点,被视为下一代最具

潜力的大规模储能技术<sup>[67,68]</sup>。

**方向2: 隔膜与电解液恢复剂。**无论是传统锌溴液流电池还是现在的锌溴静态电池的工作电压(低于2.0 V)和能量密度受限于隔膜和电解液的技术依然存在较大不足,这限制了锌溴电池的进一步推广应用<sup>[69]</sup>。设计分隔负极与隔膜的隔离框解决负极碳毡与隔膜之间产生大量的锌而引发的诸多问题,或在电池性能下降后在电解液中添加恢复剂等<sup>[70]</sup>。

### 3.3.2.5 全钒氧化还原电池

全钒氧化还原电池主要由不同价态V离子正负极电解液、电极和离子交换膜等构成<sup>[71]</sup>,主攻技术方向主要体现在1个方面。

**方向1: 电极材料的制备。**聚丙烯腈碳毡是当前全钒氧化还原电池使用最普遍的电极材料,对电解液流动产生的压力较小,有利于活性物质的传导,但由于其具有较差的电化学性能而制约了大规模商业化应用<sup>[72]</sup>。对聚丙烯腈碳毡电极材料进行改性可以克服其缺陷,包括金属离子掺杂改性、非金属元素掺杂改性等。将电极材料浸没在三氧化二铋( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ )溶液中,高温煅烧改性;或加入N,N-二甲基甲酰胺再处理等,都会表现出更好的电化学性能<sup>[72]</sup>。

### 3.3.3 热化学储能

热化学主要是利用储热材料能够发生可逆化学反应进行能量存储与释放<sup>[73]</sup>,主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 水合盐热化学吸附材料。**水合盐热化学吸附材料是一种常用的热化学储热材料,具有环保、安全和低成本等优势;但目前使用时存在速率慢、反应不均匀、膨胀结块和导热性能低等问题,影响传热性能,进而限制商业化应用<sup>[74,75]</sup>。

**方向2: 金属氧化物储热材料。**金属氧化物体系材料,如 $\text{Co}_3\text{O}_4$ (四氧化三钴)/ $\text{CoO}$ (氧化亚钴)、 $\text{MnO}_2$ (二氧化锰)/ $\text{Mn}_2\text{O}_3$ (三氧化二锰)、 $\text{CuO}$ (氧化铜)/ $\text{Cu}_2\text{O}$ (氧化亚铜)、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (氧化铁)/ $\text{FeO}$ (氧

化亚铁)、 $\text{Mn}_3\text{O}_4$ (四氧化三锰)/ $\text{MnO}$ (氧化亚锰)等,具有操作温度范围大、产品无腐蚀性、不需要气体存储等优点;但这些金属氧化物存在反应温度区间固定等问题,无法满足特定的场景需求,温度不能线性调节,需要可温度调节的储热材料<sup>[76,77]</sup>。

**方向3: 低反应温度钴基储热介质。**聚光太阳能集热电站的主要成本来自于储热介质,主要存在昂贵的钴基储热介质会增加成本等问题;此外,钴基储热介质反应温度高,导致太阳能镜场总面积增加,这也大幅增加了成本<sup>[78]</sup>。

## 3.4 热能式储能

### 3.4.1 显热储热/潜热储热

显热储热虽然比潜热储热起步早,技术更成熟,但二者可优势互补<sup>[79,80]</sup>,主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 利用太阳能的储热装置。**通过太阳能集热并将转化的热量用来供暖和日用等;常规太阳能供暖以水为传热介质,然而水的温差范围不大,大面积配置大体积水箱会提高保温成本和水的用量<sup>[81,82]</sup>。结合显热和潜热材料共同设计储热装置利用太阳能的研究亟待开展<sup>[81,82]</sup>。

**方向2: 潜热储热材料及装置。**相变储热材料对热能具有高存储密度,单位体积相变储热材料的储热能力往往是水储热能力的几倍<sup>[81]</sup>。因此,对于新型储热材料及储热装置的研究有待进一步开展<sup>[82,83]</sup>。

**方向3: 显热与潜热储热技术结合。**显热储存装置存在体积庞大、储热密度低等问题,潜热储存装置存在相变材料导热系数低、换热流体与相变材料之间的换热能力较差等问题,极大地影响了储热装置的效率。因此,将2种储热技术优势进行整合的研究及储热装置研究有待开展<sup>[84]</sup>。

### 3.4.2 含水层储能

含水层储能通过热交换器向储能井抽提或注入冷热水,多用作夏季供冷、冬季供暖<sup>[85,86]</sup>,主攻技术方



向主要体现在3个方面。

**方向1: 中深层高温含水层储能井回灌系统。**目前浅层含水层储能井采用的PVC井管不适用中深层高温含水层储能系统高温、高压环境,需要新的成井材料、工艺和与之相配套的回灌系统<sup>[87]</sup>。

**方向2: 含水层储能井的二次成井。**含水层储能井需要彻底洗井,否则会影响地下水回灌。强力活塞洗井方法会使聚氯乙烯(PVC)井壁管破裂的概率增大,而其他洗井方法无法达到完全消除泥浆护壁,这限制了含水层储能井抽水和回灌的水量,影响整个系统的运行效率<sup>[88]</sup>。

**方向3: 与其他热源耦合供能。**夏季燃气三联供系统产生的余热无法进行有效的回收,而冬季需要进行独立的热量补给,将二者耦合能降低供能系统的运行成本,达到节能环保的目的<sup>[84,89]</sup>。北方冬季供暖从地下提取的热量大于夏季制冷输入到地下的热量,多年运行后效率下降,冷热严重失衡,而太阳能热水采暖需要大量的储存空间,二者可耦合供能<sup>[84,89]</sup>。

### 3.4.3 液态空气储能

液态空气储能是解决大规模可再生能源并网和平抑电网的一种技术<sup>[90,91]</sup>,主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 优化液态空气储能发电系统。**空气在分子筛纯化系统吸附和再生时,均需要增加额外的设备和能耗,系统的运行效率较低且经济性较差;且传统系统存在蓄冷单元占地面积较大、膨胀和压缩单元噪声大等问题<sup>[92,93]</sup>。

**方向2: 液态空气储能工程应用。**由于制造工艺和成本的限制,较难实现工程应用;国内压缩机出口温度很难保持均准,压缩热的回收和液态空气汽化冷能回收的循环效率低;还需解决对于不同品位压缩热进行统一利用存在回收利用率低、能量浪费的问题<sup>[94,95]</sup>。

**方向3: 与其他能源耦合供电。**①利用不稳定的

可再生能源电解水生产氢气并存储,但氢气的存储和运输成本极高;氢能与液态空气的联合储能发电,将氢能就地使用会大幅降低氢能利用的经济性<sup>[96]</sup>。②受昼夜和天气影响,光伏发电是间歇性的,这将对微电网产生一定冲击,从而影响电能质量;而储能装置是平衡其波动的解决方案<sup>[97]</sup>。

## 3.5 氢能储能

氢能作为环保低碳的二次能源<sup>[98]</sup>,它的制备、存储、运输等方面一直是近几年居高不下的热点<sup>[99]</sup>,主攻技术方向主要体现在3个方面。

**方向1: 镁基储氢材料制备。**氢化镁拥有7.6%(质量分数)的高储氢量,一直是储氢领域热门材料,但存在放氢焓变高74.5 kJ/mol且热传导困难等问题,不利于大规模应用<sup>[56,100]</sup>;金属取代的有机氢化物的放氢焓变比较低,如含有纳米镍(Ni)@载体催化剂的液态有机物储氢(LOHC)-二氢化镁(MgH<sub>2</sub>)镁基储氢材料很有前景<sup>[100,101]</sup>。

**方向2: 氢能储存与加氢站建设。**①露天氢气储罐存在被自然灾害等破坏的风险,容量小、使用寿命短、维护成本高,将氢能地下储存很有必要<sup>[102]</sup>。②国内99 MPa级站用储氢容器制造工艺难度较大,对大型设备要求很高,制作工艺效率非常低下<sup>[103]</sup>。③利用谷电在加氢站水电解制氢,以降低氢制取和运输成本;利用固态金属储氢,以提高储氢密度和储氢安全性<sup>[101]</sup>。

**方向3: 海陆氢能储运。**液氢储运具有单位体积储氢密度高、纯度高和输送效率高等优势,便于大规模的氢气运输和利用;但是,目前陆地和海上制氢由于环境限制缺乏较为成熟的氢气运输方式,国内多采用高压气态运输,国外液态运输略多<sup>[104]</sup>。

## 4 结论

目前,储能技术百花齐放、各有千秋(表2),储能技术集中向核心部件或材料、装置、系统等方面

表2 各项储能技术目前主攻方向

Table 2 Current research hotspots of various energy storage technologies in China

储能技术	目前主攻技术方向	
超级电容器	电极材料(金属氧化物、碳材料、导电高分子)及其导电基膜	
超导磁储能	研发耐高温且成本低的超导储能磁体及适应变压等级高的变流器,超导储能系统控制	
抽水蓄能	适用于地下的定位装置,建设分布式抽水蓄能电站,以及将抽水蓄能融入城市建设	
压缩空气储能	地下废弃空间压缩空气储能及光热压缩空气储能、低成本储气装置	
飞轮储能	永磁转子、轻量化涡轮直驱飞轮储能及如何协同其他电站调频	
纯化学储能	燃料电池	氢燃料电池发电系统及其低温适用性、燃料电池电堆及系统等
	金属空气电池	提高负极稳定性、良好的正极反应固体催化剂与有机电解液等
电化学储能	铅酸电池	制备高性能、导电性好的电极板栅、正极和负极铅膏
	镍氢电池	电池模组一体化、制备负极V基储氢合金,以及生产高压镍氢电池
	锂/钠离子电池	锂离子电池高镍三元正极,钠离子电池的正极、负极及其电解液制备
	锌溴电池	无隔膜静态或水系锌溴电池、隔膜分割框和电解液恢复剂
	全钒氧化还原电池	电极材料的制备
热化学储能	水合盐热化学吸附材料、金属氧化物储热材料、钴基储热介质	
显热储热/潜热储热	显热与潜热结合技术、利用太阳能的储热装置及潜热储热材料	
含水层储能	中深层高温含水层储能并回灌系统、与其他热源耦合供能	
液态空气储能	优化液态空气储能发电、二次成井、与其他能源耦合供电及工程应用	
氢能	镁基储氢材料、氢能地下储存、储氢容器及氢能储运	

攻关。例如,化学式储能多向正极、负极、电解液等方面弥补缺陷,核心目标是已成型技术的降本增效及有发展潜力的材料规模量产,早日实现大规模商业化应用。如何整合多种储能成一个系统以利用风、光等可再生能源供电、供热,将是未来最关注的焦点。

### 参考文献

- 1 Alamri B R, Alamri A R. Technical review of energy storage technologies when integrated with intermittent renewable energy// 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply. Nanjing: IEEE, 2009: 1-5.
- 2 Gallo A B, Simões-Moreira J R, Costa H K M, et al. Energy storage in the energy transition context: A technology review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 65: 800-822.
- 3 陈海生, 李泓, 马文涛, 等. 2021年中国储能技术研究进展. 储能科学与技术, 2022, 11(3): 1052-1076.  
Chen H S, Li H, Ma W T, et al. Research progress of energy

- storage technology in China in 2021. Energy Storage Science and Technology, 2022, 11(3): 1052-1076. (in Chinese)
- 4 Aneke M, Wang M H. Energy storage technologies and real life applications—A state of the art review. Applied Energy, 2016, 179: 350-377.
- 5 赵晏强, 周伯柱, 仇华炳. 国际储能关键技术竞争态势. 科技促进发展, 2017, 13(10): 745-751.  
Zhao Y Q, Zhou B Z, Qiu H B. The trends of energy storage technology. Science & Technology for Development, 2017, 13 (10): 745-751. (in Chinese)
- 6 张子岩, 张俊艳. 基于高质量专利的储能关键技术国际竞争态势. 储能科学与技术, 2022, 11(1): 321-334.  
Zhang Z Y, Zhang J Y. International competition of key energy storage technologies based on high-quality patents. Energy Storage Science and Technology, 2022, 11(1): 321-334. (in Chinese)
- 7 仇洁洁, 郜星月, 蒋贵凤. 专利视角下储能技术研究热点分析. 科技创新与应用, 2014, 4(32): 38-39.  
Qiu J J, Gao X Y, Jiang G H. Analysis of research hotspots of

- in energy storage technology from the perspective of patent. Technology Innovation and Application, 2014, 4(32): 38-39. (in Chinese)
- 8 Bradbury K. Energy Storage Technology Review. Carolina: Duke University, 2010: 1-34.
- 9 吴皓文, 王军, 龚迎莉, 等. 储能技术发展现状及应用前景分析. 电力学报, 2021, 36(5): 434-443.  
Wu H W, Wang J, Gong Y L, et al. Development status and application prospect analysis of energy storage technology. Journal of Electric Power, 2021, 36(5): 434-443. (in Chinese)
- 10 Afif A, Rahman S M, Tasfiah Azad A, et al. Advanced materials and technologies for hybrid supercapacitors for energy storage—A review. Journal of Energy Storage, 2019, 25: 100852.
- 11 周海国, 马春印. 一种超级电容器用导电涂料及其制备方法: 中国, CN115093738A. 2022-09-23.  
Zhou H G, Ma C Y. A conductive coating for supercapacitor and a preparation method thereof: China, CN115093738A. 2022-09-23. (in Chinese)
- 12 武义, 杨国庆, 李卫东, 等. 一种改性石墨烯复合材料及超级电容器: 中国, CN114709083A. 2022-07-05.  
Wu Y, Yang G Q, Li W D, et al. A Modified graphene composite material and its Supercapacitor: China, CN114709083A. 2022-07-05. (in Chinese)
- 13 唐政, 李卫东, 张俊峰. 一种超级电容器电极材料及其制备方法: 中国, CN115083793A. 2022-09-20.  
Tang Z, Li W D, Zhang J F. A supercapacitor electrode material and a preparation method thereof: China, CN115083793A. 2022-09-20. (in Chinese)
- 14 孔姝颖, 张禹, 向薪竹, 等. 一种电化学性能优异的柔性超级电容器电极的制备方法: 中国, CN115064392A. 2022-09-16.  
Kong S Y, Zhang Y, Xiang X Z, et al. A method for preparing flexible Supercapacitor electrode with excellent Electrochemical Performance: China, CN115064392A. 2022-09-16. (in Chinese)
- 15 Holla R V. Energy storage methods—Superconducting magnetic energy storage—A review. The Journal of Undergraduate Research, 2015, 8(1): 49-54.
- 16 Vulusala G V S, Madichetty S. Application of superconducting magnetic energy storage in electrical power and energy systems: A review. International Journal of Energy Research, 2018, 42(2): 358-368.
- 17 张芳, 沈浩明. 用于超导磁储能系统的斩波器: 中国, CN111313702A. 2020-06-19.  
Zhang F, Shen H M. Chopper for superconducting magnetic energy storage system: China, CN111313702A. 2020-06-19. (in Chinese)
- 18 马文忠, 丁安敏, 陈爱忠, 等. 一种超导磁储能系统及其DC/DC换流器: 中国, CN113572358A, 2021-10-29.  
Ma W Z, Ding A M, Chen A Z, et al. A superconducting magnetic energy storage system and its DC/DC Converter: China, CN113572358A. 2021-10-29. (in Chinese)
- 19 张馨丹, 王银顺, 王建宏, 等. 一种高温超导储能磁体: 中国, CN114743752A. 2022-07-12.  
Zhang X D, Wang Y S, Wang J H, et al. A high temperature superconducting energy storage magnet: China, CN114743752A. 2022-07-12. (in Chinese)
- 20 刘忠林, 周立平. 一种新型混合结构的高温超导储能磁体一种新型混合结构的高温超导储能磁体: 中国, CN113690010A. 2021-11-23.  
Liu Z L, Zhou L P. A new hybrid structure high temperature superconducting energy storage magnet: China, CN113690010A. 2021-11-23. (in Chinese)
- 21 郭树强, 任丽, 徐颖, 等. 一种基于磁体状态预测的超导储能系统控制方法及装置: 中国, CN114156916A. 2023-07-25.  
Guo S Q, Ren L, Xu Y, et al. A control method and device of superconducting energy storage system based on magnet state prediction: China, CN114156916A. 2023-07-25. (in Chinese)
- 22 Kong Y G, Kong Z G, Liu Z Q, et al. Pumped storage power stations in China: The past, the present, and the future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 71: 720-731.
- 23 叶萌, 黄观金, 张国翊, 等. 一种用于抽水蓄能电厂的5G融合定位装置: 中国, CN114200497A. 2022-03-18.  
Ye M, Huang G J, Zhang G Y, et al. A 5G fusion positioning device for pumped storage power plants: China, CN114200497A. 2022-03-18. (in Chinese)
- 24 黄健, 侯健生, 季克勤, 等. 基于风-光-水-氢一体化的建筑



- 供能系统: 中国, CN114781872A. 2022-07-22.
- Huang J, Hou J S, Ji K J, et al. Building energy supply system based on wind-light-water-hydrogen integration: China, CN114781872A. 2022-07-22. (in Chinese)
- 25 陈昕, 何杰, 张鹏, 等. 一种服务于海绵城市的分布式抽水蓄能电站: 中国, CN217480110U. 2022-09-23.
- Chen X, He J, Zhang P, et al. A distributed pumped storage power station serving sponge city: China, CN217480110U. 2022-09-23. (in Chinese)
- 26 Budt M, Wolf D, Span R, et al. A review on compressed air energy storage: Basic principles, past milestones and recent developments. *Applied Energy*, 2016, 170: 250-268.
- 27 Al Katsaprakakis D, Christakis D G, Stefanakis I, et al. Technical details regarding the design, the construction and the operation of seawater pumped storage systems. *Energy*, 2013, 55: 619-630.
- 28 宋大为, 罗永泉. 利用地下废弃空间进行压缩空气储能的方法: 中国, CN114458380A. 2022-05-10.
- Song D W, Luo Y Q. Method of compressed air energy storage using underground waste space: China, CN114458380A. 2022-05-10. (in Chinese)
- 29 谢宁宁, 孙长平, 尹立坤, 等. 一种快速响应的光热压缩空气储能系统及方法: 中国, CN114517716A. 2022-05-20.
- Xie N N, Sun C P, Yin L K, et al. A fast response photothermal compressed air energy storage system and method: China, CN114517716A. 2022-05-20. (in Chinese)
- 30 王勇. 一种用于空气压缩储能的智能型低成本储气装置: 中国, CN115095788A. 2022-09-23.
- Wang Y. An intelligent low-cost gas storage device for compressed air energy storage: China, CN115095788A. 2022-09-23. (in Chinese)
- 31 Amiryar M, Pullen K. A review of flywheel energy storage system technologies and their applications. *Applied Sciences*, 2017, 7(3): 286.
- 32 Mousavi G S M, Faraji F, Majazi A, et al. A comprehensive review of Flywheel Energy Storage system technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 67: 477-490.
- 33 胡东旭, 卫炳坤, 魏路, 等. 一种涡轮直驱飞轮储能装置: 中国, CN114865842A. 2022-08-05.
- Hu D X, Wei B K, Wei L, et al. A turbine direct drive flywheel energy storage device: China, CN114865842A. 2022-08-05. (in Chinese)
- 34 陈益广, 藏柏棋, 苏江. 一种飞轮储能系统用高速永磁同步电机的内置式永磁转子: 中国, CN115021444A. 2022-09-06.
- Chen Y G, Zang B Q, Su J. A built-in permanent magnet rotor for high speed permanent magnet synchronous motor for flywheel energy storage system: China, CN115021444A. 2022-09-06. (in Chinese)
- 35 陈辉, 许春, 田延贵, 等. 一种基于飞轮储能辅助的抽水蓄能调峰、调频电站: 中国, CN217427681U. 2022-09-13.
- Chen H, Xu C, Tian Y G, et al. A kind of pumped-storage peak-regulating and frequency-regulating power station based on flywheel energy storage assistance: China, CN217427681U. 2022-09-13. (in Chinese)
- 36 李树胜, 王佳良, 李光军, 等. 基于飞轮储能的一体化供电系统装置及控制方法: 中国, CN114977239A. 2022-08-30.
- Li S S, Wang J L, Li G J, et al. integrated power supply system device and control method based on flywheel energy storage: China, CN114977239A. 2022-08-30. (in Chinese)
- 37 洪烽, 梁璐, 贾欣怡, 等. 一种火电-飞轮储能协同调频控制方法及系统: 中国, CN115000991A. 2022-09-02.
- Hong F, Liang L, Jia X Y, et al. a thermal power-flywheel energy storage collaborative frequency modulation control method and system: China, CN115000991A. 2022-09-02. (in Chinese)
- 38 李相俊, 姜倩, 贾学翠, 等. 一种含飞轮储能的风电场多目标协调频率优化方法和装置: 中国, CN202210893920. 2022-09-23.
- Li X J, Jiang Q, Jia X C, et al. A multi-objective coordinated frequency optimization method and device for wind farms with flywheel energy storage: China, CN202210893920. 2022-09-23. (in Chinese)
- 39 Sazali N, Wan Salleh W N, Jamaludin A S, et al. New perspectives on fuel cell technology: A brief review. *Membranes*, 2020, 10(5): 99. (in Chinese)
- 40 Mekhilef S, Saidur R, Safari A. Comparative study of different fuel cell technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(1): 981-989.
- 41 齐志刚. 一种具有高效冷却系统的燃料电池: 中国,

- CN115149039A. 2022-10-04.
- Qi Z G. A fuel cell with efficient cooling system: China, CN115149039A. 2022-10-04. (in Chinese)
- 42 齐志刚. 一种具有防冻功能的寒冷地区用燃料电池装置: 中国, CN115149031A. 2022-10-04.
- Qi Z G. A fuel cell device with anti-freezing function for cold areas: China, CN115149031A. 2022-10-04. (in Chinese)
- 43 赵海柱, 刘坚, 陈志星. 一种氢气排放处理系统及燃料电池: 中国, CN115084602A. 2022-09-20.
- Zhao H G, Liu J, Chen Z X. A hydrogen emission treatment system and fuel cell: China, CN115084602A. 2022-09-20. (in Chinese)
- 44 陆维, 宋耀颖, 孙颖, 等. 燃料电池、燃料电池电堆和燃料电池电堆系统: 中国, CN115133062A. 2022-09-30.
- Lu W, Song Y Y, Sun Y, et al. Fuel cell, fuel cell stack and fuel cell stack system: China, CN115133062A. 2022-09-30. (in Chinese)
- 45 陈志星, 刘坚. 一种氢燃料电池发电系统及其发电方法: 中国, CN115085278A. 2022-09-20.
- Chen Z X, Liu J. A hydrogen fuel cell power generation system and its power generation method: China, CN115085278A. 2022-09-20. (in Chinese)
- 46 Li M, Bi X X, Wang R Y, et al. Relating catalysis between fuel cell and metal-air batteries. *Matter*, 2020, 2(1): 32-49.
- 47 Wang C L, Yu Y C, Niu J J, et al. Recent progress of metal-air batteries—A mini review. *Applied Sciences*, 2019, 9(14): 2787.
- 48 努丽燕娜, 张鹏, 曾小勤, 等. 一种镁金属空气电池正极催化材料及其制备方法: 中国, CN115000430A. 2022-09-02.
- Nuli Y N, Zhang P, Zeng X Q, et al. A magnesium metal air battery positive electrode catalytic material and its preparation method: China, CN115000430A. 2022-09-02. (in Chinese)
- 49 徐吉静, 郑丽君, 李飞. 一种金属空气电池用光热耦合双功能催化剂及其应用: 中国, CN114883582A. 2022-08-09.
- Xu J J, Zheng L J, Li F. A photothermal coupled bifocal catalyst for metal-air batteries and its application: China, CN114883582A. 2022-08-09. (in Chinese)
- 50 张涛, 张易楠, 孙壮. 一种金属空气电池负极表面疏水保护层及其制备方法和应用: 中国, CN114824268A. 2022-07-29.
- Zhang T, Zhang Y N, Sun Z. A hydrophobic protective layer for metal air battery negative electrode surface, preparation method and application thereof: China, CN114824268A. 2022-07-29. (in Chinese)
- 51 刘汉康, 周天培, 马桂鑫, 等. 金属空气电池清洗液及其制备方法、应用: 中国, CN115109655A. 2022-09-27.
- Liu H K, Zhou T P, Ma G X, et al. Metal air battery cleaning fluid and its preparation method and application: China, CN115109655A. 2022-09-27. (in Chinese)
- 52 任晓迪, 邱呈雨. 一种用于超氧化物金属空气电池的混合有机电解液: 中国, CN115101856A. 2022-09-23.
- Ren X D, Qiu C Y. A kind of mixed organic electrolyte for superoxide metal air battery: China, CN115101856A. 2022-09-23. (in Chinese)
- 53 杨树斌. 铅酸电池的正极铅膏、正极及其制备方法、电池和电动车: 中国, CN114975895A. 2022-08-30.
- Yang S B. Positive electrode lead paste, positive electrode and preparation method of lead-acid battery, battery and electric vehicle: China, CN114975895A. 2022-08-30. (in Chinese)
- 54 杨树斌. 金属铅复合材料及其用途、铅酸电池电极板栅及其制备方法、电极、电池、电动车: 中国, CN114976036A. 2022-08-30.
- Yang S B. Metal lead composite material and its application, lead-acid battery electrode plate grid and its preparation method, electrode, battery, electric vehicle: China, CN114976036A. 2022-08-30. (in Chinese)
- 55 杨树斌. 铅酸电池的负极铅膏、负极及其制备方法、铅烯电池、电动车: 中国, CN114976291A. 2022-08-30.
- Yang S B. Negative lead paste, negative electrode and preparation method of lead-acid battery, lead-ene battery, electric vehicle: China, CN114976291A. 2022-08-30. (in Chinese)
- 56 杭州明, 杨丽, 史立秋, 等. 一种镍氢电池负极用V基储氢合金及其制备方法和应用: 中国, CN114725363A. 2022-07-08.
- Hang Z M, Yang L, Shi L Q, et al. A V-base hydrogen storage alloy for Ni-Mh battery negative electrode and its preparation method and application: China, CN114725363A. 2022-07-08. (in Chinese)
- 57 范永弟. 一种基于模组成型的一体化镍氢电池: 中国,

- CN114899504A. 2022-08-12.
- Fan Y D. The invention relates to an integrated nickel-metal hydride battery based on mode composition: China, CN114899504A. 2022-08-12. (in Chinese)
- 58 卞立宪, 卞榕毅, 卢佳萍, 等. 圆柱形高压镍氢电池生产工艺: 中国, CN115117466A. 2022-09-27.
- Bian L X, Bian R Y, Lu J P, et al. Production process of cylindrical high-voltage nickel-metal hydride battery: China, CN115117466A. 2022-09-27. (in Chinese)
- 59 Koehler U. General overview of non-lithium battery systems and their safety issues// *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications*. Amsterdam: Elsevier, 2019: 21-46.
- 60 Fang S, Bresser D, Passerini S. Transition metal oxide anodes for electrochemical energy storage in lithium- and sodium-ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 2020, 10 (1): 1902485.
- 61 罗明洋, 雷英, 罗涵钰, 等. 一种高镍三元正极材料及其制备方法和锂离子电池: 中国, CN115028216A. 2022-09-09.
- Luo M Y, Lei Y, Luo H Y, et al. A high-nickel ternary cathode material and its preparation method and lithium-ion battery: China, CN115028216A. 2022-09-09. (in Chinese)
- 62 周永宁, 马萃, 李瑛瑛. 一种高容量氧变价钠离子电池正极材料及其制备方法: 中国, CN115010186A. 2022-09-06.
- Zhou Y N, Ma C, Li X L. A positive electrode material for high-capacity oxy-variant sodium ion battery and its preparation method: China, CN115010186A. 2022-09-06. (in Chinese)
- 63 金庭安, 赵琬, 冉闯, 等. 一种钠离子电池泡沫石墨负极的制备方法: 中国, CN108615887A. 2021-09-07.
- Jin T A, Zhao L, Ran C, et al. Preparation method of graphene anode for sodium ion cell foam: China, CN108615887A. 2021-09-07. (in Chinese)
- 64 黄玉希, 刘鹏, 徐雄文, 等. 一种电解液添加剂、电解液及钠离子电池: 中国, CN114649590A. 2022-06-21.
- Huang Y X, Liu P, Xu X W, et al. A kind of electrolyte additive, electrolyte and sodium ion battery: China, CN114649590A. 2022-06-21. (in Chinese)
- 65 许名飞, 许赫奕, 王飞蓉, 等. 一种提高钠离子电池高温循环性能的电解液: 中国, CN114865090A. 2022-08-05.
- Xu M F, Xu H Y, Wang F R, et al. An electrolyte for improving high temperature cycle performance of sodium ion battery: China, CN114865090A. 2022-08-05. (in Chinese)
- 66 Jiang T Y, Lin H, Sun Q Y, et al. Recent progress of electrode materials for zinc bromide flow battery. *International Journal of Electrochemical Science*, 2018, 13(6): 5603-5611.
- 67 许鹏程, 张华民, 李先锋, 等. 一种无隔膜静态锌溴电池: 中国, CN108134141A. 2018-06-08.
- Xu P C, Zhang H M, Li X F, et al. A static Zinc-bromine battery without diaphragm: China, CN108134141A, 2018-06-08. (in Chinese)
- 68 俞海云, 姚思远, 胡文旭, 等. 一种用于锌溴电池的电解液: 中国, CN114725538A. 2022-07-08.
- Yu H Y, Yao S Y, Hu W X, et al. An electrolyte for Zinc-bromine battery: China, CN114725538A. 2022-07-08. (in Chinese)
- 69 赖勤志, 张华民, 李先锋, 等. 一种锌溴液流电池性能恢复方法: 中国, CN108134120A. 2018-06-08.
- Lai Q Z, Zhang H M, Li X F, et al. A method for performance recovery of Zinc-bromine flow battery: China, CN108134120A. 2018-06-08. (in Chinese)
- 70 陈维, 郑新华. 一种水系锌溴电池: 中国, CN113991191A. 2022-01-28.
- Chen W, Zheng X H. A water-based Zinc-bromine battery: China, CN113991191A. 2022-01-28. (in Chinese)
- 71 Kear G, Shah A A, Walsh F C. Development of the all-vanadium redox flow battery for energy storage: A review of technological, financial and policy aspects. *International Journal of Energy Research*, 2012, 36(11): 1105-1120.
- 72 付武祥. 一种全钒氧化还原电池电极材料的制备方法: 中国, CN112897581A. 2021-06-04.
- Fu W X. Preparation method of electrode Material for all-vanadium redox battery: China, CN112897581A. 2021-06-04. (in Chinese)
- 73 Carrillo A J, González-Aguilar J, Romero M, et al. Solar energy on demand: A review on high temperature thermochemical heat storage systems and materials. *Chemical Reviews*, 2019, 119(7): 4777-4816.
- 74 张叶龙, 谈玲华, 丁玉龙, 等. 一种高效传质传热的热化学

- 吸附储热材料及其制备方法: 中国, CN114015418A. 2022-02-08.
- Zhang Y L, Tan L H, Ding Y L, et al. A thermochemical adsorption heat storage material with high efficiency for mass and heat transfer and a preparation method thereof: China, CN114015418A. 2022-02-08. (in Chinese)
- 75 赵倩, 肖益民, 林建泉, 等. 一种热化学吸附储热复合材料及其应用: 中国, CN114479775A. 2022-05-13.
- Zhao Q, Xiao Y M, Lin J Q, et al. A thermochemical adsorption heat storage composite and its application: China, CN114479775A. 2022-05-13. (in Chinese)
- 76 肖刚, 袁鹏, 倪明江, 等. 热化学储热材料、热化学储热模块及制备方法: 中国, CN113582240A. 2021-11-02.
- Xiao G, Yuan P, Ni M J, et al. Thermochemical heat storage material, thermochemical heat storage module and Preparation Method: China, CN113582240A. 2021-11-02. (in Chinese)
- 77 宣益民, 刘向雷, 宋超, 等. 一种多孔复合钙基颗粒及其制备方法和应用: 中国, CN113308228A. 2021-08-27.
- Xuan Y M, Liu X L, Song C, et al. A porous composite calcium-based particle and its preparation method and application: China, CN113308228A. 2021-08-27. (in Chinese)
- 78 刘磊, 周子健, 刘小伟, 等. 一种Mg修饰的低反应温度、高储热密度钴基热化学储热材料及其制备方法: 中国, CN115058230A. 2022-09-16.
- Liu L, Zhou Z J, Liu X W, et al. Cobalt based thermochemical heat storage material modified with Mg at low reaction temperature and high heat storage density and its preparation method: China, CN115058230A. 2022-09-16. (in Chinese)
- 79 Panchal H, Patel J, Chaudhary S. A comprehensive review of solar cooker with sensible and latent heat storage materials. *International Journal of Ambient Energy*, 2019, 40(3): 329-334.
- 80 Khatod K J, Katekar V P, Deshmukh S S. An evaluation for the optimal sensible heat storage material for maximizing solar still productivity: A state-of-the-art review. *Journal of Energy Storage*, 2022, 50: 104622.
- 81 孙东, 宋长山, 范路, 等. 一种相变储热装置及其储热方法: 中国, CN114440681A. 2022-05-06.
- Sun D, Song C S, Fan L, et al. A phase-change heat storage device and a heat storage method: China, CN114440681A. 2022-05-06. (in Chinese)
- 82 李元元, 程晓敏, 王启扬, 等. 一种太阳能供暖用悬浮式显热-潜热储热装置: 中国, CN103557733A. 2014-02-05.
- Li Y Y, Cheng X M, Wang Q Y, et al. A kind of suspended sensible heat-latent heat storage device for solar heating: China, CN103557733A. 2014-02-05. (in Chinese)
- 83 曾阔, 左宏杨, 孔佳月, 等. 一种热解反应装置及分布式聚光太阳能驱动热解反应系统: 中国, CN113403097A. 2021-09-17.
- Zeng K, Zuo H Y, Kong J Y, et al. A pyrolysis reaction device and a distributed concentrated solar energy driven pyrolysis reaction system: China, CN113403097A. 2021-09-17. (in Chinese)
- 84 欧阳鑫南, 程鹏, 陈北领, 等. 太阳能和含水层储能耦合热量平衡系统: 中国, CN212673413U. 2021-03-09.
- Ouyang X N, Cheng P, Chen B L, et al. Solar energy and aquifer energy storage coupling heat balance system: China, CN212673413U. 2021-03-09. (in Chinese)
- 85 Fleuchaus P, Schüppler S, Godschalk B, et al. Performance analysis of aquifer thermal energy storage (ATES). *Renewable Energy*, 2020, 146: 1536-1548.
- 86 Fleuchaus P, Schüppler S, Bloemendal M, et al. Risk analysis of high-temperature aquifer thermal energy storage (HT-ATES). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 133: 110153.
- 87 欧阳鑫南, 戴志清, 鄒小波, 等. 一种中深层高温含水层储能井回灌系统: 中国, CN113686035A. 2021-11-23.
- Ouyang X N, Dai Z Q, Wu X B, et al. A recharge system for energy storage well in middle and deep layer with high temperature aquifer: China, CN113686035A. 2021-11-23. (in Chinese)
- 88 杜刚, 万军, 欧阳鑫南. 一种含水层储能井的二次成井方法: 中国, CN111395995A. 2020-07-10.
- Du G, Wan J, Ouyang X N. A secondary well completion method for aquifer energy storage well: China, CN111395995A. 2020-07-10. (in Chinese)
- 89 欧阳鑫南, 程鹏, 孟超, 等. 一种燃气三联供与含水层储能

- 系统耦合供能系统: 中国, CN212618577U. 2021-02-26.
- Ouyang X N, Cheng P, Meng C, et al. A coupling energy supply system of gas triple supply and aquifer energy storage system: China, CN212618577U. 2021-02-26. (in Chinese)
- 90 Dzido A, Krawczyk P, Wołowicz M, et al. Comparison of advanced air liquefaction systems in Liquid Air Energy Storage applications. *Renewable Energy*, 2022, 184: 727-739.
- 91 Borri E, Tafone A, Zsembinski G, et al. Recent trends on liquid air energy storage: A bibliometric analysis. *Applied Sciences*, 2020, 10(8): 2773.
- 92 季伟, 郭璐娜, 陈六彪, 等. 半地下式液态空气储能发电系统: 中国, CN215633191U. 2022-01-25.
- Ji W, Guo L N, Chen L B, et al. Semi-underground liquid air energy storage power generation system: China, CN215633191U. 2022-01-25. (in Chinese)
- 93 季伟, 郭璐娜, 陈六彪, 等. 液态空气储能发电系统: 中国, CN113202588A. 2021-08-03.
- Ji W, Guo L N, Chen L B, et al. Liquid air energy storage power generation system: China, CN113202588A. 2021-08-03. (in Chinese)
- 94 王晨, 卞咏, 薛鲁, 等. 一种面向工程应用的液态空气储能系统及方法: 中国, CN114658546A. 2022-06-24.
- Wang C, Bian Y, Xue L, et al. Liquid air energy storage system for engineering application and method: China, CN114658546A. 2022-06-04. (in Chinese)
- 95 折晓会, 王晨, 张小松, 等. 液态空气储能冷-热-电-空气四联供装置及方法: 中国, CN114087847A. 2022-02-25.
- Zhe X H, Wang C, Zhang X S, et al. Liquid air energy storage cold-hot-electric-air quadruple power supply device and method: China, CN114087847A. 2022-02-25. (in Chinese)
- 96 季伟, 郭璐娜, 陈六彪, 等. 氢气与液态空气的联合储能发电系统: 中国, CN113294243A. 2021-08-24.
- Ji W, Guo L N, Chen L B, et al. Hydrogen and liquid air combined energy storage power generation system: China, CN113294243A. 2021-08-24. (in Chinese)
- 97 王春生, 谢浩, 曹原, 等. 一种含光伏发电和液态空气储能的微电网优化调度方法: 中国, CN113659627A. 2021-11-16.
- Wang C S, Xie H, Cao Y, et al. A microgrid optimization scheduling method containing photovoltaic power generation and liquid air energy storage: China, CN113659627A. 2021-11-16. (in Chinese)
- 98 Schrottenboer A H, Veenstra A A T, Uit Het Broek M A J, et al. A green hydrogen energy system: Optimal control strategies for integrated hydrogen storage and power generation with wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 168: 112744.
- 99 Yue M L, Lambert H, Pahon E, et al. Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 146: 111180.
- 100 吴勇, 余洪慈, 谢镭, 等. 一种镁基储氢材料及其制备方法: 中国, CN115108532A. 2022-09-27.
- Wu Y, Yu H E, Xie L, et al. A magnesium-based hydrogen storage material and its preparation method: China, CN115108532A. 2022-09-27. (in Chinese)
- 101 赵立前, 刘春枝, 李国辉. 一种利用固态金属储氢和供氢的加氢系统: 中国, CN115095791A. 2022-09-23.
- Zhao L Q, Liu C Z, Li G H. A hydrogenation system using solid metal for hydrogen storage and hydrogen supply: China, CN115095791A. 2022-09-23. (in Chinese)
- 102 冯宪高, 魏颖, 陈世福, 等. 一种高压氢气地下储存结构及存储方式: 中国, CN115059869A. 2022-09-16.
- Feng X G, Wei Y, Chen S F, et al. A high-pressure hydrogen underground storage structure and storage method: China, CN115059869A. 2022-09-16. (in Chinese)
- 103 袁卓伟, 董朝正, 宫丽丽, 等. 一种复合成型的99MPa级加氢站用储氢容器制法: 中国, CN115091732A. 2022-09-23.
- Yuan Z W, Dong C Z, Gong L L, et al. A composite forming hydrogen storage container for 99MPa grade hydrogenation station: China, CN115091732A. 2022-09-23. (in Chinese)
- 104 孙崇正, 李玉星, 樊欣, 等. 一种海上氢能储运系统: 中国, CN115095790A. 2022-09-23.
- Sun C Z, Li Y X, Fan X, et al. An offshore hydrogen energy storage and transportation system: China, CN115095790A. 2022-09-23. (in Chinese)



## Analysis of recent development in energy storage technology in China from perspective of patents

JIANG Mingming<sup>1</sup> JIN Zhijun<sup>1,2\*</sup>

(1 Institute of Energy, Peking University, Beijing 100871, China;

2 Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 102206, China)

**Abstract** The achievement of the “dual carbon” goal is closely tied to the widespread implementation of renewable energy, however, renewable energy generation is characterized by intermittency and volatility. Advanced energy storage technology plays a crucial role in mitigating the fluctuations of new energy sources and enhancing their absorption capacity. Patents serve as important indicators of technological innovation, directly reflecting current research trends and future directions in energy storage technology. This paper primarily relies on the “WIPO IP Portal” website provided by the World Intellectual Property Organization to analyze the comprehensive strength of eight leading countries including the United States, China, France, the United Kingdom, Russia, Japan, Germany, and India. The analysis focuses on various energy storage technologies with statistics on patents issued by researchers or institutions from these countries. Additionally, this study examines China's current state of energy storage technology based on authorized patents and explores its future development trends across electric energy storage systems (EESS), mechanical energy storage systems (MESS), chemical energy storage systems (CESS), thermal energy storage systems (TESS), and hydrogen-based energy storage systems (HESS). It concludes that China's current focus lies in core components or materials research for efficient cost reduction aiming at large-scale commercial applications. Furthermore, how to integrate a variety of energy storage into a system to use renewable energy such as wind and light for power supply and heating will be the focus of interest in the future.

**Keywords** new energy, energy storage technology, electric energy storage, mechanical energy storage, chemical energy storage, hydrogen energy

**姜明明** 北京大学能源研究院博士研究生。主要研究领域:油气地球化学、储能技术战略等。  
E-mail: jiangmingming1997@163.com, jmm@pku.edu.cn

**Jiang Mingming** Doctoral Student in Institute of Energy, Peking University. His research focuses on oil and gas geochemistry, energy storage technology & strategy, etc. E-mail: jiangmingming1997@163.com, jmm@pku.edu.cn

**金之钧** 中国科学院院士,俄罗斯自然科学院外籍院士。北京大学能源研究院院长、博雅讲席教授、博士生导师。主要研究领域:石油地质理论研究、能源战略等。E-mail: jzj1957@pku.edu.cn, jinzi.syky@sinopec.com

**Jin Zhijun** Academician of the Chinese Academy of Sciences, Foreign Member of the Russian Academy of Natural Sciences. Boya Professor, Doctoral Supervisor, and Dean of the Institute of Energy, Peking University. His research focuses on petroleum geology, energy strategy, etc. E-mail: jzj1957@pku.edu.cn, jinzi.syky@sinopec.com

■责任编辑:岳凌生

\*Corresponding author