

野百合也有春天 ——钠电逆袭之旅大起底

作者：王瑞青，宗国庆；Email: 657635469@qq.com

在化石能源的“引领”下，能源领域曾为人类源源不断地输送能量。然而，聪明的人类很快察觉到，这片繁荣景象背后，潜藏着巨大危机——化石能源正面临枯竭的危机，人类迫切希望改变能源格局。在此危急时刻，二次电池因其高灵活性和高能量转换率脱颖而出。锂离子电池一直是二次电池中炙手可热的人物，自然而然担当起了管理能源之域的责任。在此背景下，与锂离子电池青梅竹马的钠离子电池厚积薄发，大器晚成，因其丰富的资源和独特的性能引起人类的关注。在这些优点加持下，钠离子电池自然不愿屈居人后，也要和锂离子电池争一争这执事之位。

1. 能源之域，危机初现

在能源领域，长期存在一位绝对领导者——化石能源，它有3个得力手下，分别是煤炭、石油和天然气。这三位得力干将每年为人类社会源源不断地提供电力，有数据显示，2006年全球消耗的能源中化石能源占比高达87.9%，即使在2023年，其占比亦超7成以上（79.7%）。由此可见，人类对于化石能源的器重与喜爱。

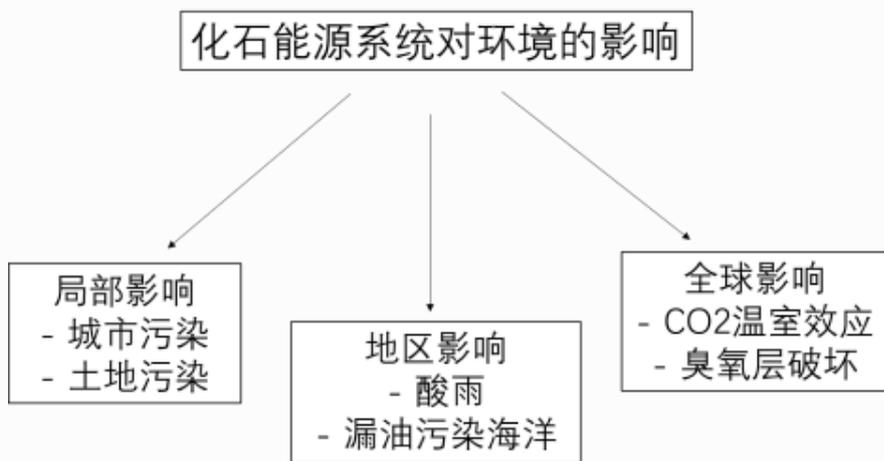
但是聪明的人类发现了化石能源背后潜藏的巨大危机，化石能源不可再生，随着化石能源为人类进贡电力的不断增多，其枯竭是不可避免的，大部分化石能源将在本世纪将被开采殆尽。而且，其在使用过程中会产生大量温室气体及污染气体，从而威胁全球环境安全（图1）。因此，人类迫切需要重新培植能源之域的领导者。

在各种储能技术中，二次电池技术因其高灵活性、高能量转换率和维护简单等优势脱颖而出。二次电池除了在大规模储能领域有很好的发展前景，其在通讯设备和电动汽车领域亦大有作为。近年来，商业化的二次电池

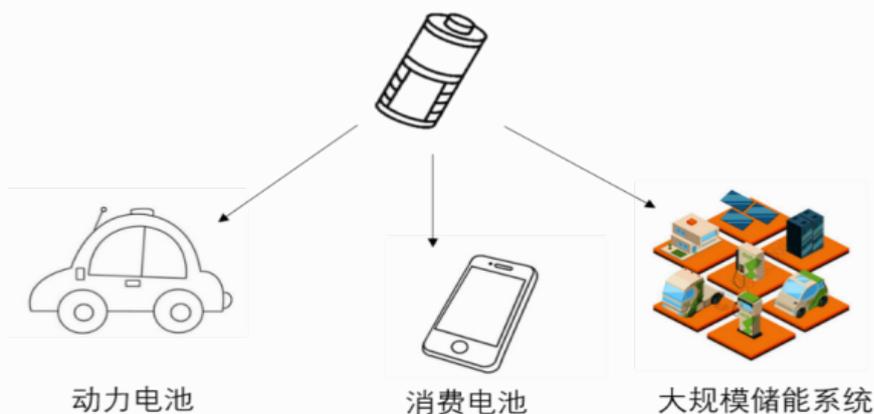
如燃料电池、铅蓄电池和锂离子电池等已经大大缓解了人类能源需求，后起之秀钠电也初露锋芒。其中锂离子电池因其高工作电压、高能量密度、长循环寿命和小体积等特性主导了二次电池市场^[1]，成为人类在能源之域的执事（图2）。

2. 竹马之情，云泥之别

既然锂电能占据执事之位，为何钠电就坐不得？钠离子电池不是横空出世的，它与锂离子电池两小无猜，自幼一同发展。钠电和锂电的研究几乎同时始于20世纪七八十年代，只不过人类最先发现锂电的优越性，随即便



①【图1】化石能源对环境的影响



②【图2】锂离子电池的应用场景

* 基金资助: 江苏省“十四五”教育科学规划重点课题(B/2023/01/06); 南京信息工程大学科研启动经费项目(2023r050)

对其投入了更多的研究热情，应用愈发广泛（图 3）；而钠电逐渐被冷落了，其发展速度自然缓慢许多。

从它们的电化学性能来讲，锂的相对原子质量小，工作电压高，锂离子电池就具有较高质量及体积能量密度。这样的性能使其在发现伊始就备受人们关注。而钠电不仅原子量大，工作电压低，还容易发生结构畸变，导致其循环性能不理想。

再从电池的组件寻找角度来看，在研究初期，石墨被发现能够很好的容纳锂离子，作为锂离子电池的负极材料；而钠离子电池不能使用石墨作为负极材料，在发展初期也没有找到合适的备选物作为不用预掺钠的实用的负极材料。

最后从正极材料的发现来说，1980 年首次报道了钴酸锂的电极性能，1991 年钴酸锂电池正式进入商业化时代，这种材料目前仍被广泛用作锂离子电池的高能正极材料^[2]。而几乎同时被报道的 Na/NaCoO₂ 电池的能量密度远不如钴酸锂^[3]。所以 1980 年



①【图 3】钠离子电池的应用场景（图片来源于视觉中国）

以后掀起了锂离子研究的热潮，而钠离子电池的研究却被慢慢搁置。直到 2000 年前后，加拿大达尔豪斯大学 J.R.Dahn 教授等人将硬碳用作钠离子电池负极，接近锂离子电池中石墨负极材料的可逆循环比容量。那时，人们才开始重新想起钠离子电池。

3. “穷”则思变，厚积薄发

锂电能够当选“执事”，主要凭借其优异的电化学性能。然而，如今锂电的发展受到制约。从资源分布来看，锂元素在地壳中仅占 0.0017%，且分布不均匀，大部分锂资源集中在南美洲。我国锂电产业的发展需要大量从国

外进口锂资源，这大大增加了锂电的使用成本，而且目前也没有有效的锂回收技术。显然资源的限制会影响锂离子电池在目前需求日益增大的大规模储能体系和电动汽车领域的进一步发展^[4]。

但是我们的钠是地壳中含量最丰富的元素之一，在地壳中的丰度约为 2.36%，远高于锂元素，除地壳中的钠元素外，我们占地球面积 70% 的海洋也是有丰富的储钠资源，并且钠资源分布广泛，成本低廉。表 1 列出了钠和锂的性质对比，这样分布广泛、储量大又成本低廉的钠怎么就不能成为锂离子电池的替代品呢？

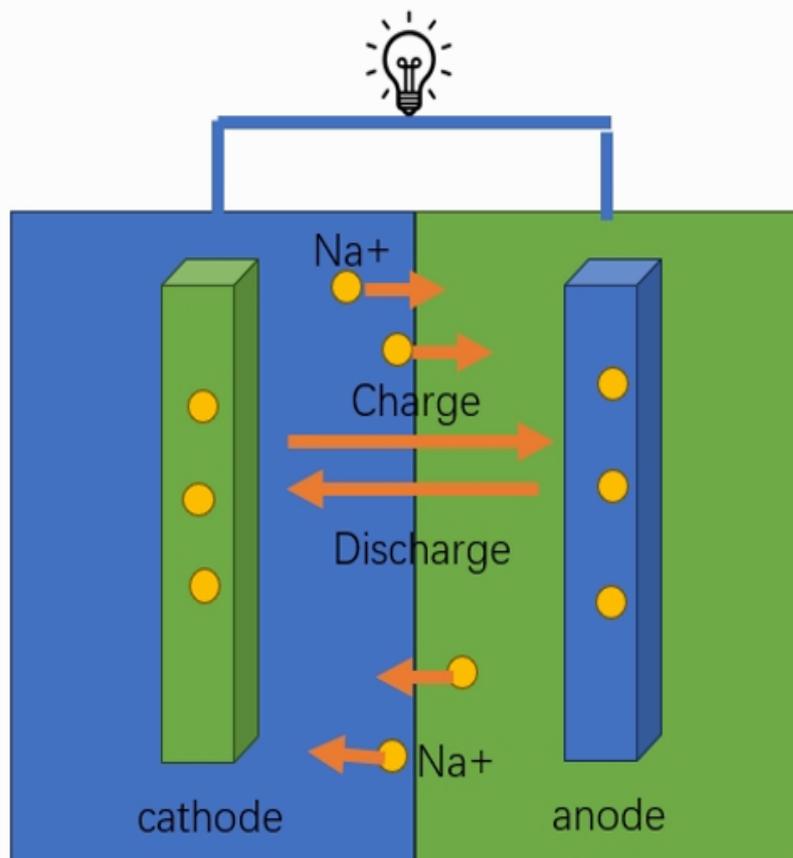
表 1 钠和锂的性质对比

名称	锂	钠
离子半径	0.76 Å	1.02 Å
相对原子质量	6.94	23
电势	-3.01 V	-2.71 V
地壳丰度	17 ppm	23600 ppm

再从电池工作原理来看，钠电和锂电的工作原理相近，二者均依靠离子通过电解液在正极和负极之间迁移来工作。充电时，离子从正极脱嵌，放电时，离子从负极脱嵌。所以我们先前对锂离子电池的研究也可以迁移到钠离子电池中。我们将离子在正负极之间来回迁移的电化学行为，称之为“摇椅式电池”。

因为电池工作原理相似，在生产环节，用现有的锂电池制造设备完全可以制造出钠离子电池（图4），生产材料和电芯制造技术也已经十分成熟。从部件制造方面，锂电的集流体只能使用较为昂贵的铜箔，才能保证在使用过程中不发生额外的化学反应，而钠离子较高的稳定性则可以使用更为便宜又大量的铝箔^[5]。

从正极材料方面来看，如今锂电在新能源汽车领域使用最多的正极材料是磷酸铁锂和三元锂材料。这两种材料比容量都很高，也就是说续航能力强，就这个能力而言，三元锂材料更胜一筹。但是，



④【图4】钠离子电池内部结构

三元锂中的“三元”一般是指镍、钴和锰，钴元素储量少，加了三元锂电池的成本。另一方面安全性也是一个关键问题，三元锂正极在充放电过程中经历体积的周期性变化，这会导致电解质界面击穿，与电解质反应。同时， Ni^{2+} 和 Li^+ 半径相近，容易发生阳

离子混合，破坏热稳定性，高温下容易分解^[6]。这也就是我们常说的电动车的电池冒黑烟，甚至发生爆炸。相较而言，磷酸铁锂作为正极材料的电池电车在保持高的续航能力的同时，拥有更高的安全性和更低的成本，受到更多的关注。表2列出了三种电池的对比。

表2 三元锂电池、磷酸铁锂电池与钠电部分性能对比

性能	三元锂电池	磷酸铁锂电池	钠电池
能量密度	高	较低	低
充电性能	快	较慢	快
低温稳定性	较好	较差	好
安全性能	较差	好	好

钠离子电池的正极材料分为以下几类：金属氧化物、普鲁士蓝类似物、有机化合物、聚阴离子型化合物。这些材料通常不含贵金属，成本较低。尤其是普鲁士蓝类似物和层状氧化物，材料分布广泛，且合成简单。我国钠电正极

材料研究也一般集中在普鲁士蓝类似物和层状金属氧化物方面，比如宁德时代选择的正极材料为普鲁士蓝类似物和层状金属氧化物，孚能科技选择的是层状氧化物。宁德时代是国内钠离子电池行业公认的龙头企业，早在 2021 年

宁德时代就率先发布了第一代钠离子电池，当时的电芯单体能量密度达到了 160 Wh/kg，为全球最高水平。作为对比，当时比亚迪发布的刀片电池能量密度约在 140 Wh/kg 左右。表 3 列出了我国重点钠离子电池企业的技术线路。

表 3 中国重点钠离子电池企业的技术线路

序号	公司名称	技术路线
1	宁德时代	方壳；普鲁士蓝；层状氧化物；硬碳
2	鹏辉能源	聚阴离子；层状氧化物；硬碳
3	派能科技	软包；层状氧化物
4	孚能科技	层状氧化物
5	传艺科技	层状氧化物；聚刚离子；硬碳

大家在使用以锂电为能源的新能源汽车时，有没有发现这样的情况，在冬天，汽车充电时间变长，电量会很快耗尽，也就是我们所说的续航能力变差了和锂电的低温性能差。今年冬天要比往常冷很多，相信选择新能源汽车回乡的朋友们对锂电这一特性会有很深的体会。很多新能源汽车在大雪天气下，续航能力差，被迫停在路上。一位北京极氪车主向《IT 时报》记者吐槽，续航理论最高 732 公里，但现在实际只能续航 500 多公里。另

一位呼和浩特的新能源出租车马师傅则表示，才跑了 1 小时，原本 430 公里的续航便只剩下 200 公里，一天要跑 4 次充电站。极端气温下非正常掉电，是锂电池作为动能的最大弊端，冬季零下环境中，三元锂电池普遍缩水 25% 左右，磷酸铁锂电池更是缩水 30% 左右^[7]。

这时钠离子电池的优越性就显现出来了，钠离子电池对高低温的适应性要好很多。中国科学院物理研究所曾对钠离子电池做过实验，80℃ 高温下循环充放电

900 次，钠电池的电量保持率能达到 80%；在零下 20℃ 的低温环境中，钠电池也能具备 90% 以上的电量保持率。

2023 年成为国内钠电池元年。连续两天，国内钠电池电动汽车领域捷报频传。12 月 28 日，孚能科技与江铃集团新能源汽车合作的首款钠离子电池纯电 A00 级车型——江铃易至 EV3（青春版）正式下线。该车型续航 251 公里，定位于满足年轻一代日常上班代步、跨城出行等多样化场景需求。而在 12 月 27 日，

钠电池制造商中科海钠宣布与江淮钇为联合推出的钠电版花仙子电动汽车正式下线，预计将于明年1月开始批量交付新车。据工业和信息化部此前发布的公告，该车型同样为A00级车型，续航里程达到252公里。全球首批下线的两款钠电池车，均定位于低续航的短途车型。

4. 行而不辍，未来可期

古语云：“金无足赤，人无完人”，钠电同样存在一些不足。相较于锂电，钠电的最大缺陷在于其电池能量密度比

成熟的锂离子电池低。目前，磷酸铁锂电池能量密度能达到140~180 wh/kg，而钠电池只能达到120~140 wh/kg。这样大的能量密度的差距，意味着为了能提供相同的电能，车辆要为钠离子电池预留更大的空间。不过针对钠离子体积较大的特点，元素掺杂改性要比锂离子电池更加容易，希望后续能够找到更好的方式改善钠离子电池的电化学性能。为钠电成为新的执事增添优势。

《中国钠离子电池行业发展

白皮书（2023年）》分析，钠离子电池产业链将在2023年和2024年完成客户产品验证、良品率提升、产业链各环节培养以及示范项目推广，预计将在2025年真正体现钠离子电池的成本优势，实现真正意义上经济学的产业化发展。所以说，虽然钠电在短期内不能取代锂电长时间占据的能源领域的执事位置，但是钠电成本低廉，来源广泛，低温性能优异等方面的独特优势，让它也有足够的资本拿到逆袭剧本，前途一片光明。

参考文献

- [1] 朱晓辉, 庄宇航, 赵旸, 等. 钠离子电池层状正极材料研究进展[J]. 储能科学与技术, 2020, 9(5): 1340-1349.
- [2] 杨志伟. 钠离子电池在新能源汽车领域的应用趋势[J]. 汽车维修技师, 2024(2): 9.
- [3] Ding C, Chen Z, Cao C. Advances in Mn-based electrode materials for aqueous sodium-ion batteries[J]. Nano-Micro Lett, 2023, 15(1): 192.
- [4] 沈春蕾. 电动汽车迎来“钠时代” [N]. 2024-01-15(3).
- [5] 沈毅斌. 钠离子电池, 上车![N]. 2024-01-12(7).
- [6] Ma X, Guo H, Gao J, Manipulating of P_2/O_3 Composite sodium layered oxide cathode through Ti substitution and synthesis temperature[J]. Nanomaterials, 2023, 13(8): 1349.
- [7] 刘峤. 钠离子电池, 开辟储能新赛道[N]. 2024-02-29(9).