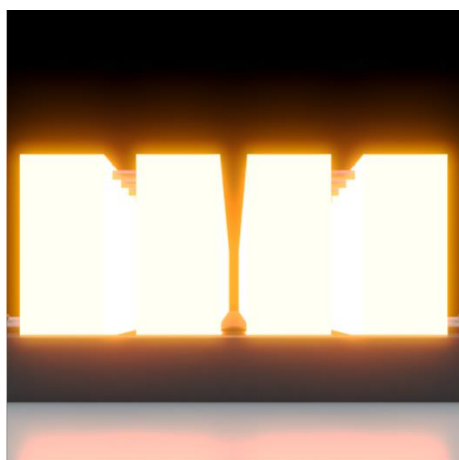


## 五花八门的长时储能技术

太阳能和风能的装机量增多并不意味着我们无可阻拦地迈向新能源时代——光风的不稳定性高，尽管上周连天骄阳似火，无碍下周持续阴雨连天，这就给电网的稳定性带来极大的隐患，而现代社会高度依赖电力，电网电压和频率的稳定性容不得半点闪失——这就严重阻碍了能源结构的转型。办法总比困难多，长时储能系统就是该问题的一个解决手段——长时储能系统可以把盈余的风光电能存起来，在需要的时候放出来，避免我们的生活陷入到令人害怕的黑暗，寒冷和饥饿中去。

下面我们就“八卦”一些未来可期并且让人感到“脑洞大开”的储能技术。



首先是 **Fourth power** 公司的“阳光盒子”技术，该公司宣称其产品储能成本低至锂电的  $1/10$ ，可以满足  $5\sim 500$  小时的能源存储，使用寿命达 30 年以上！

怎么一个阳光盒子呢？——收集能量时，该系统利用太阳能和风能产生的盈余电能去加热液态锡金属，液态锡金属会把热能从加热器件传到巨大的石墨块中进行保存，该过程石墨块可以升温至  $2500^{\circ}\text{C}$ ！利用能量的时候，让液态锡流经石墨块并升温到  $2400^{\circ}\text{C}$ ，然后将其泵

入石墨微管道群，这些管道白热化后发出强烈的光，这些光通过热光伏

（TPV）电池收集再次转化为电能。在如此高的温度下（ $2500^{\circ}\text{C}$ ），几乎所有的热传递都以光的形式发生，而不是传导或对流热，这些 TPV 系统能够利用光伏原理收集能量——工作时，石墨块有  $1/2$  太阳表面温度，发出巨大的光亮，这一定就是“阳光盒子”的由来吧！

上述过程理论机制并不复杂，实际上工程难度高，技术硬核：**Fourth power** 公司研制了特殊的石墨机械泵，可以在  $2500^{\circ}\text{C}$  的极端高温的情况下工作，是吉尼斯世界纪录的保持者，极高的温度使得该设备能量密度和输出功率可达同行  $10\sim 100$  倍；在系统的工作条件下，其热光伏（TPV）效率达到了前所未有的  $41\%$ ！

其中也不乏工程师们的神来之笔——采用液态金属锡作为传递热能的载体。虽然是金属，锡在较低的温度（ $232^{\circ}\text{C}$ ）就会熔化，可以运送相当可观的热，又有着低廉的价格和优异的安全性。

图片：来自 **Fourth Power** 官网。



Form Energy's battery modules are grouped together in environmentally protected enclosures. Hundreds of these enclosures are grouped together in modular megawatt-scale power blocks. Depending on the system size, tens to hundreds of these power blocks will be connected to the electricity grid. For scale, in its least-dense configuration, a 1-megawatt system comprises half an acre of land. Higher-density configurations would achieve more than 3 MW per acre. This rendering shows a 56-MW Form Energy battery system.  
Image courtesy of Form Energy.



其次是 Form energy 公司的“暖宝宝”储能技术——该公司利用铁-氧气进行储能，化学机制和暖宝宝类似，所以称之为暖宝宝技术。

MIT 的一位材料系老教授和两位博士毕业生，以及 Tesla 副总裁四人都对长时储能颇有兴趣，一次偶然的机会让四人一拍即合，心潮澎湃地联手成立了该公司。他们宣称其铁-空气电池技术可以存储 100 小时以上的电能，且成本可以和传统火力发电厂媲美。



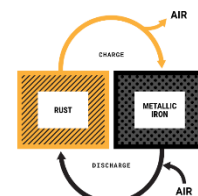
铁-氧气电池的基础原理即为“可逆的铁生锈”。放电时，在液态环境中，负极一侧铁失去电子然后“生锈”，氧气在正极侧得到电子；光电和风电盈余时，对电池进行充电，可以让上述过程逆方向进行，铁锈变成铁，放出氧气。电池原理看似简单，工程上面需要下诸多功夫——如何让“生锈”“脱锈”这个过程速率加快？如何让过程较为完美的可逆，不至于让电池成为巨大的铁锈疙瘩回不来？

——上图就是一个巨大的铁-氧气电池电堆，从几十条上百条粗细不一的管道，旁边那黑的白的水桶，还有那帅气的外形……不简单程度可见一斑！

原理图：

THE BATTERY CYCLE

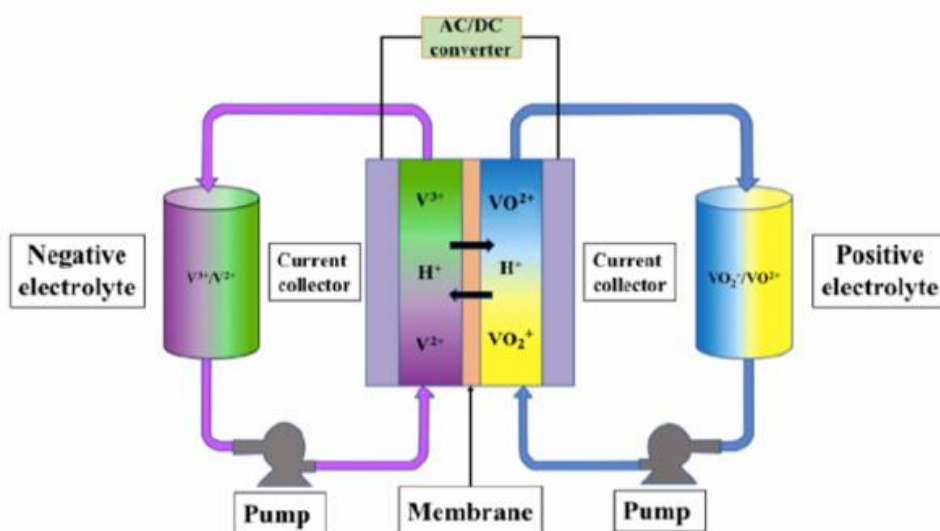
- The basic principle of operation is reversible rusting
- While discharging, the battery breathes in oxygen from the air and converts iron metal to rust
- While charging, the application of an electrical current converts the rust back to iron and the battery breathes out oxygen



长时储能设施一辈子也不打算给它挪一下的，所以不需要过多考虑重量问题，考虑到地球就是一个巨大的“iron ball”，以及几乎取之不尽的水和空气——该技术真的有化腐朽为神奇的味道（铁-空气电池早就被市场淘汰）——而且，铁和水和空气这仨凑一起——没酸没碱没重金属没活泼金属没热失控风险没内高压——这个电池大概率是世界上最安全的电池了，没有之一。

第三是全钒液流电池，钒有四个价态，2价钒离子是紫色的，3价钒离子是绿色的，4价钒离子是蓝色的还有5价钒离子是黄色的。液流电池技术早在1974年就被Thaller提出，全钒液流电池是液流电池家族之中最为成熟的技术。相比于传统电池，液流电池最鲜明的特点就是搭配“两泵两罐”。对于全钒液流电池来说，一侧储液罐是 $V^{2+}/V^{3+}$ ，另一侧储液罐是 $V^{4+}/V^{5+}$ 。放电时，两侧的泵把电解液分别泵到电堆内部， $V^{5+}$ 和 $V^{2+}$ 电极上得失电子分别生成 $V^{4+}$ 和 $V^{3+}$ ；充电时，可以利用盈余的风光电能，通过电解的方式可以把 $V^{5+}/V^{2+}$ 浓度完全恢复。

钒液流电池结构示意图

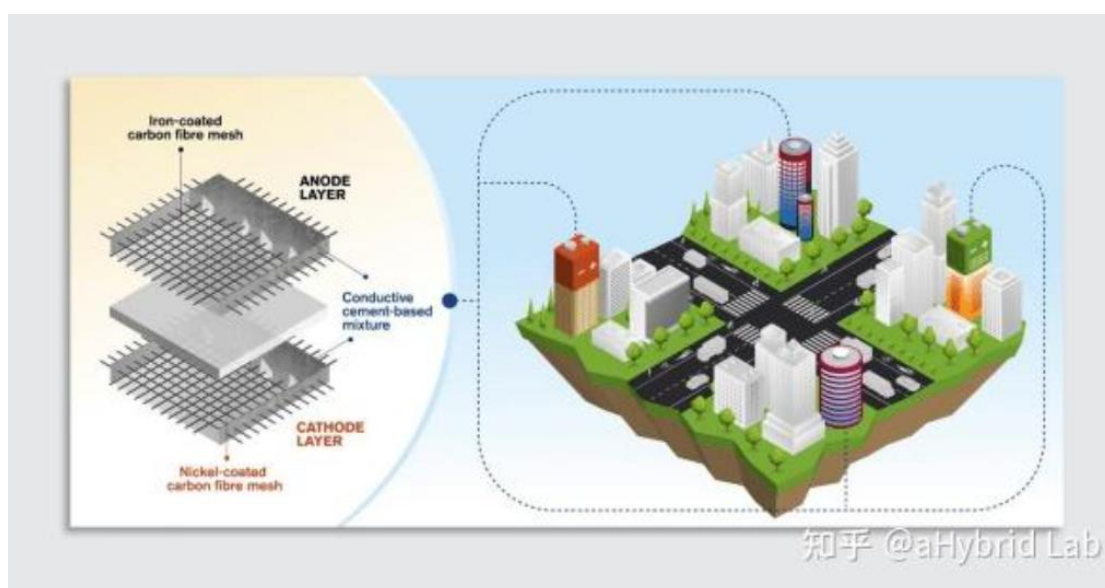


液流电池的一大特点是能量存储装置和能量转化装置的解耦，能量与功率的解耦——电解液被装两个罐子里，电量耗尽时，你可以不去充电，因为把溶液以旧换新一样行之有效。倘若未来液流电池可以用在汽车里面，没电了，把液体抽出来，换新就行——跟内燃机加汽油类似，但是多了一个抽出“废油”的过程，或许你会觉得麻烦，但不要忘了，这“废油”并非“废”了，把太阳能电池和风力发电机涡轮发出的电对它进行电解，它就可以焕然一新，恍然大悟的你一定会感叹它点石成金一般的奇妙！如果是全钒液流电池（VRFB），它“吃”阳光的同时，正极侧会逐渐变成耀眼的亮黄色，美丽神奇。能量载体可流动，能量与功率解耦，储能时长灵活、扩容容易且选址方便，本征安全性高，这都让液流电池成为颇有前景的长时储能技术。





家变充电宝的混凝土电池——



[Image: Yen Strandqvist/Chalmers University of Technology]

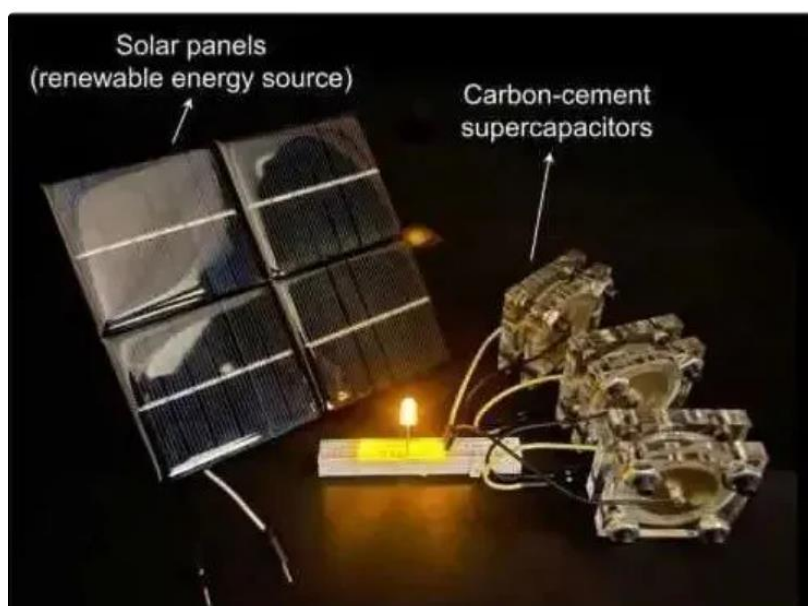
城市化和水泥森林是导致温室效应的一大原因，而我们可以施以魔法，把导致气候变化的罪魁祸首变成扭转乾坤的“电容器标兵”！

查尔默斯理工大学建筑与土木工程系教授 **Luping Tang** 和瑞典工程技术公司 **Delta** 的高级开发科学家 **Emma Zhang**，在水泥材料中加入短碳纤维使混凝土具有一定的导电性，而后又加入两张巨大的碳纤维网，一张网上面涂上铁，另一张网上涂上镍——两张网就形成了一个巨大的电极，加上内部有导电性的短碳纤维-混凝土混合物，一个巨大的电池就诞生了！该电池能量密度为每平方材料 **7 Wh**。这种电池可以和屋顶上的太阳能或者风能装置联手，未来倘若能量密度可以得到提高，这将是强大且奇妙的储能方式。

无独有偶，MIT 的工程师们在水泥中混入炭黑，水泥凝固的过程中，因为炭黑有着疏水的特点，便会在水泥的缝隙中留下来，形成巨大的树枝状的导电网络，工程师们将这种材料浸入常规电解质材料中，例如氯化钾，最后利用薄薄的空间或绝缘层隔开，就会形成一个巨大的**电容器**，可以存储电能并达到 **10000 次**以上的稳定充放电循环。

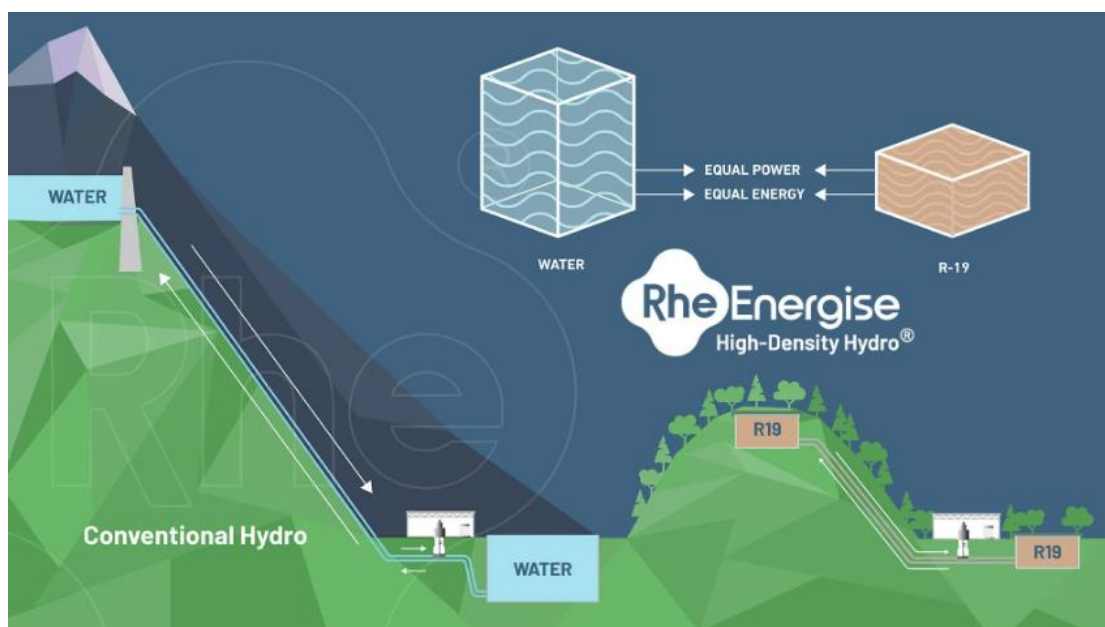
电缆连接屋顶上的太阳能板，使用这种材料制成的地基在未来甚至可以用来储存与房屋一天内使用量相当的太阳能。





高密度重力储能——RheEnergise 公司在水力发电的原理上别出心裁。

该系统依靠盈余的光风电驱动泵将高密度的液体 R-19 泵到位于高处的储液管中，当光电和风电不足的时候，液体在重力的作用下下流并经过发电机的涡轮产生电能。采用液体密度 3 倍（或者更高）于水的液体进行重力储能，可以将储能设施的体积缩小到原来的  $\frac{1}{3}$  或者更小，不仅可以减小设施的成本，而且较小的设施也意味着更广泛的应用场合。从物理和工程的角度观之，该技术处处体现着极简主义的色彩，另外它也有高安全性，长服务寿命等诸多优点。



除了上述几种外，还有压缩空气储能，熔融盐储能以及用我们早已习以为常的锂电池进行储能，抽水蓄能等。

想象一下，在没有阳光的日子里，这些长时储能系统提供能量，让我们的城市得以明亮，让我们的居室保持温暖，让我们仍然能够用社交媒体和远方的家人朋友聊天……直到阳光美好如初。这些五花八门的储能技术不仅让我领略到了工程学的魅力和强大，也让我感受到了一种智力的冲动——我不知道这些技术背后的工程师们是怀着怎样的心情去工作的，这些技术真的栩栩如生。