



深圳市物联网产业协会星火沙龙讲座

# 下一代：电化学储能与物联网技术 融合共生发展

报告人：时志强



[www.tj-capt.com](http://www.tj-capt.com)

容创未来（天津）新能源有限公司  
天津工业大学材料科学与工程学院

# CONTENTS

## 目录

- Part 01 多技术体系加速迭代升级**
- Part 02 化学储能技术发展及迭代**
- Part 03 物联网技术发展及应用**
- Part 04 化学储能与物联网融合及共生**
- Part 05 CAPT-容创未来简介**

# Part 01

## 多技术体系加速迭代升级 (信息化/智能化 /数字化)

# 1.1 信息技术的演进-技术迭代



烽火传信



鸿雁传书



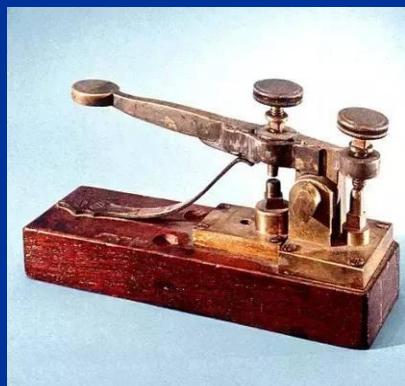
快马驿站



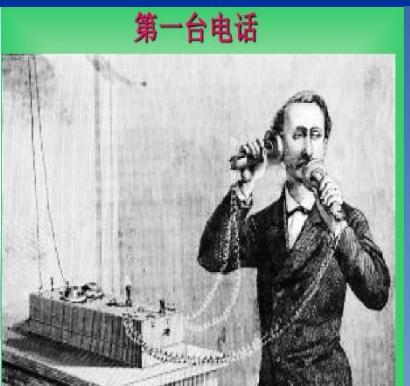
口信



邮差信使



电报 (1844年)



电话 (1876年)



广播通讯



雷达通讯



移动通讯



智能通讯



卫星通讯

## 1.1 信息化技术的演进-移动通讯技术



## 1.2 智能化技术的演进-工业领域

手工劳动  
半机械化  
机械化  
自动化  
智能化  
.....



## 1.2 智能化技术的演进-交通行业



人力车



蓄力车



蒸汽汽车 (1769年)



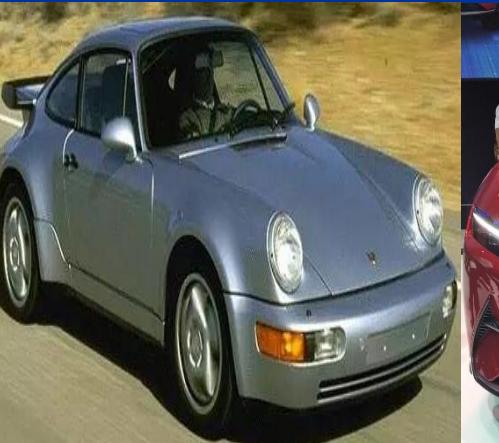
内燃机汽车 (1885年)



四轮汽车  
(1885年)



福特T型汽车 (1911年)  
(标准流水线)



保时捷 (1992年)



汉 (1992年)



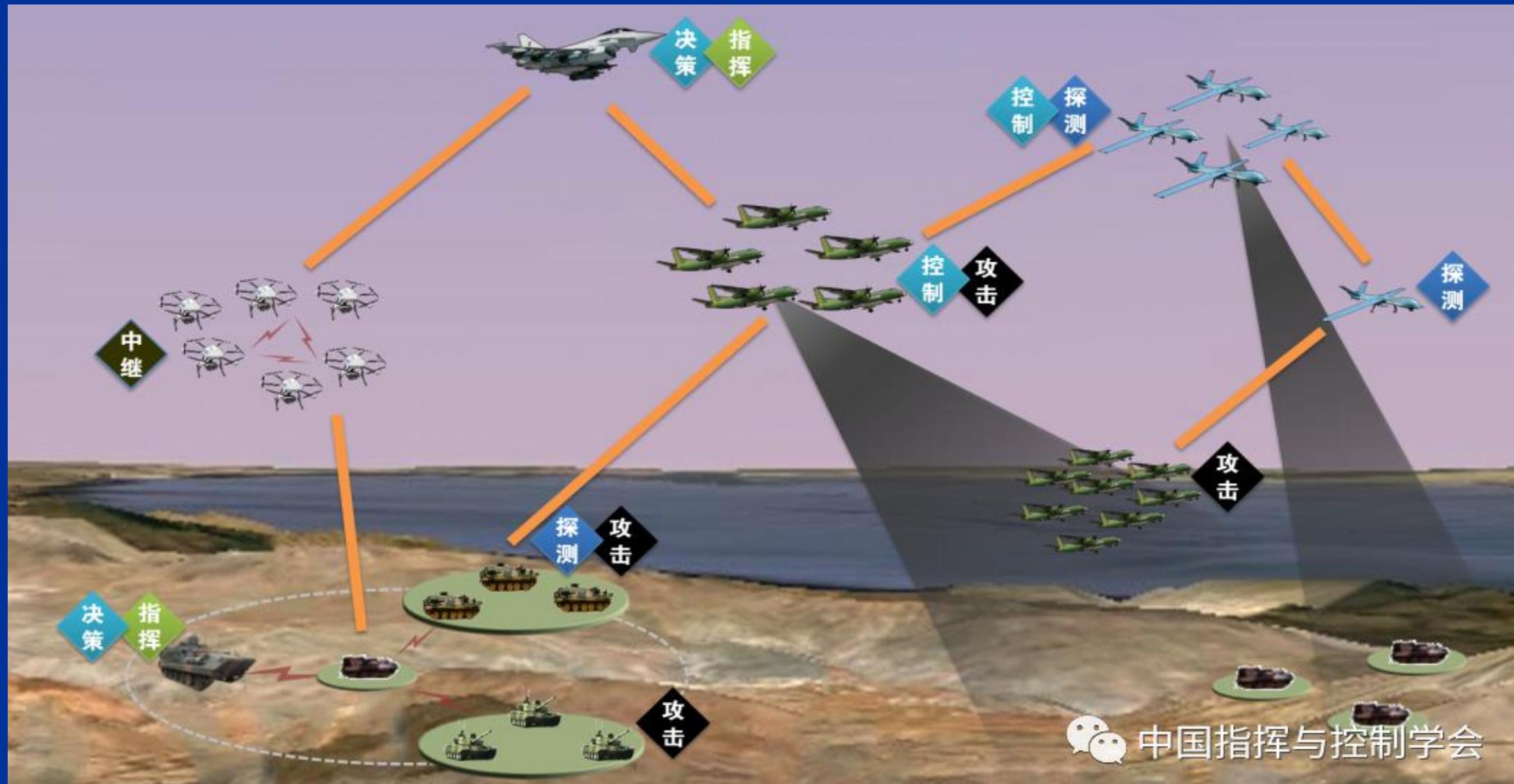
问界5(2023年)



自动驾驶 (20xx年)

## 1.2 智能化技术的演进-军工领域

无人化、智能化、海陆空天一体化



## 1.3 数字化技术

数字化是指将物理事物、信息、过程等转化为数字形式的过程；

什么是数字化？

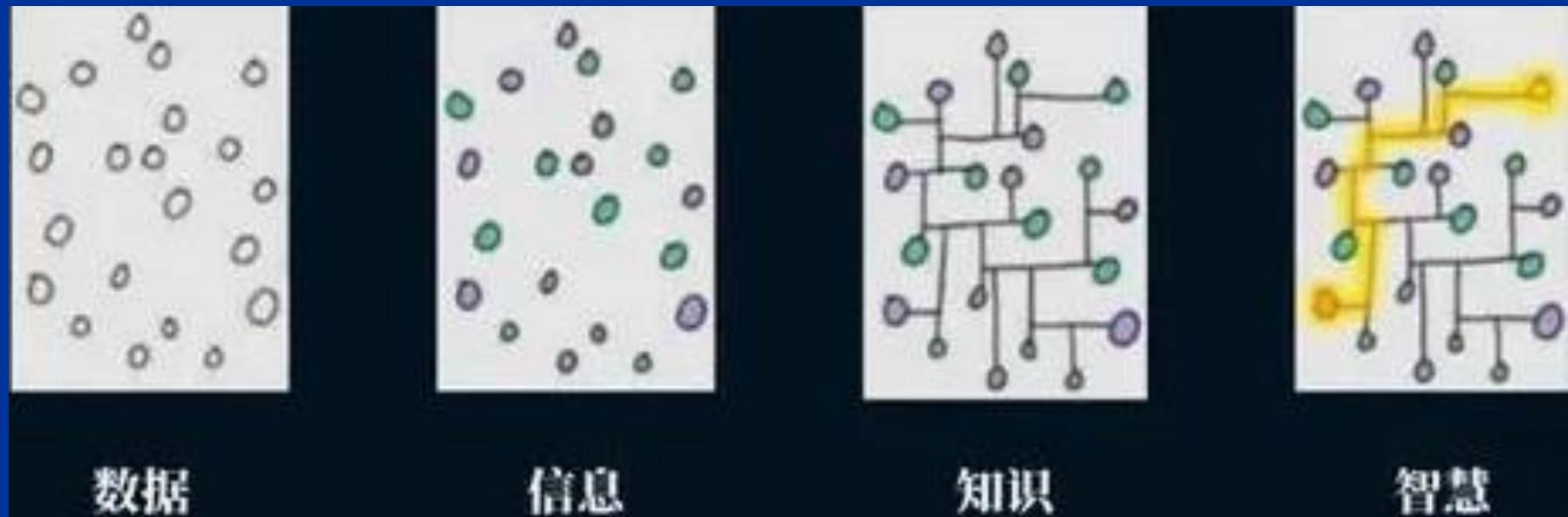
计算机技术

信息技术

人工智能(AI)

.....

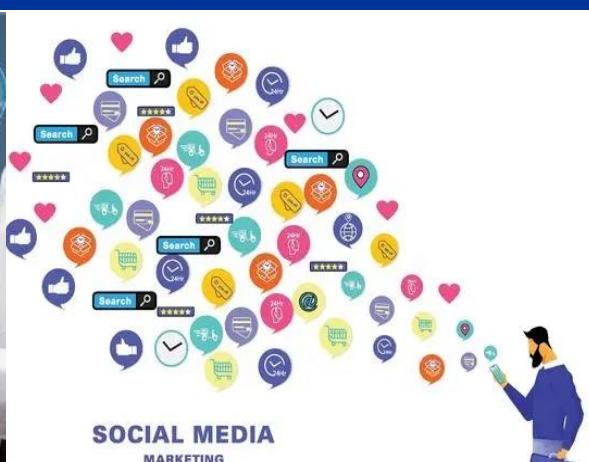
更好地管理和利用信息，提高信息的效率和价值。



数字化



数字化(流程/数据/人资)生产



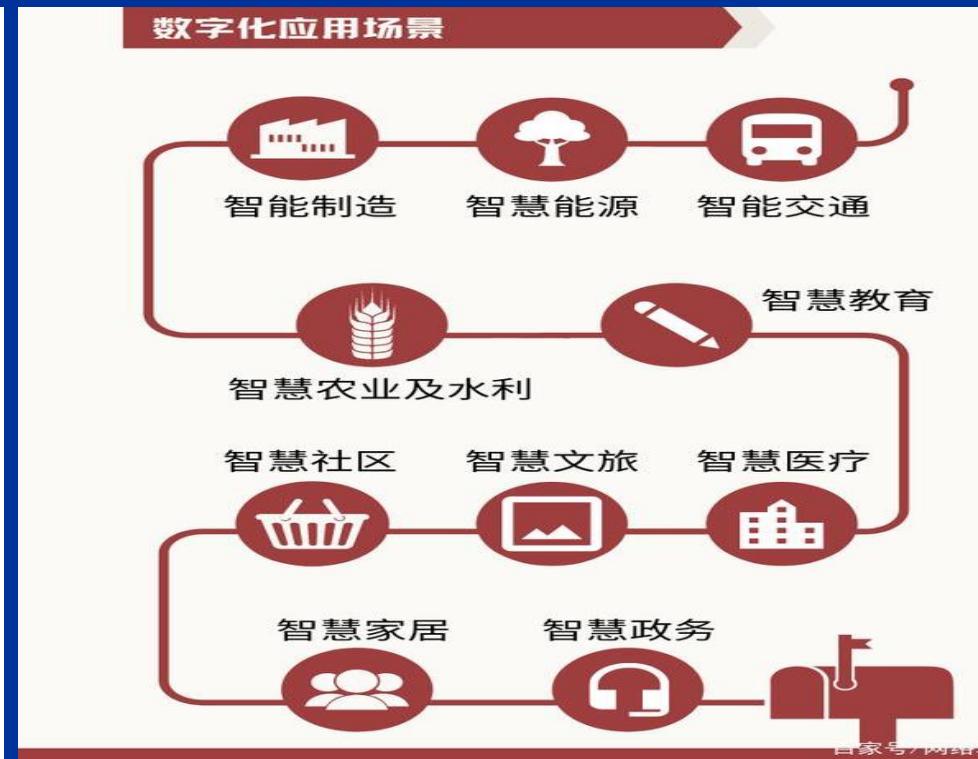
数字化营销



数字化未来

## 1.3 数字化技术

### 加快数字化发展，建设数字中国



“要加强战略布局，加快建设以5G网络、全国一体化数据中心体系、国家产业互联网等为抓手的高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施。

# 1.4 信息化/智能化 /数字化时代加快到来



引领多种技术范式升级及变革

信息技术+人工智能+新能源

物联网、车联网、能源互联网生态系统

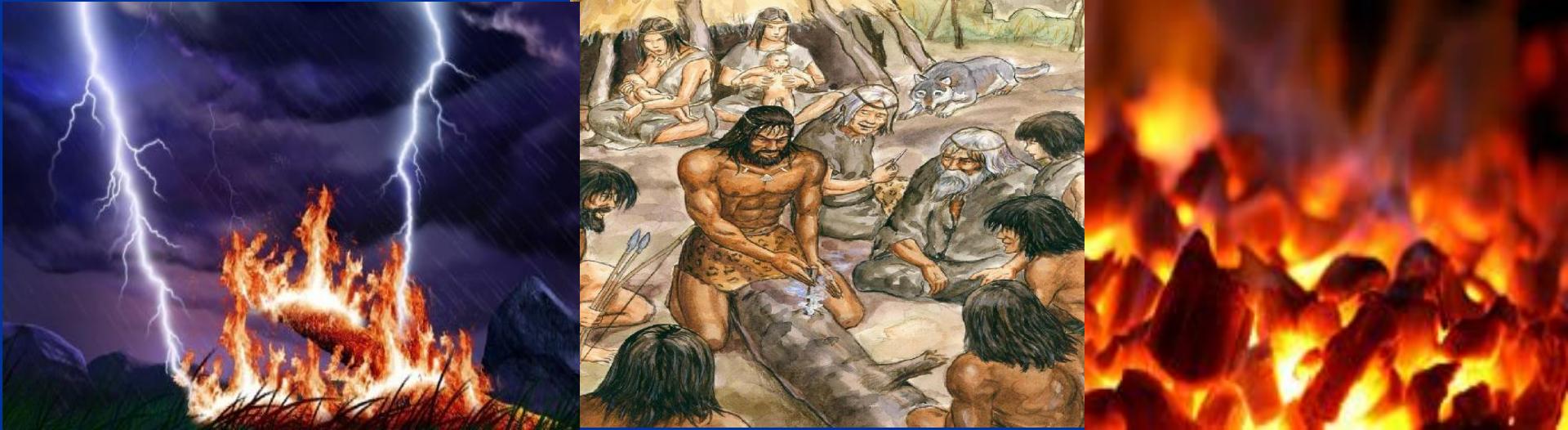


信息与能源互联网时代马斯洛层次需求理论

## Part 02

# 化学储能技术发展及迭代

## 2.1背景-人类对能源利用范式的演进



能源利用方式演化历史

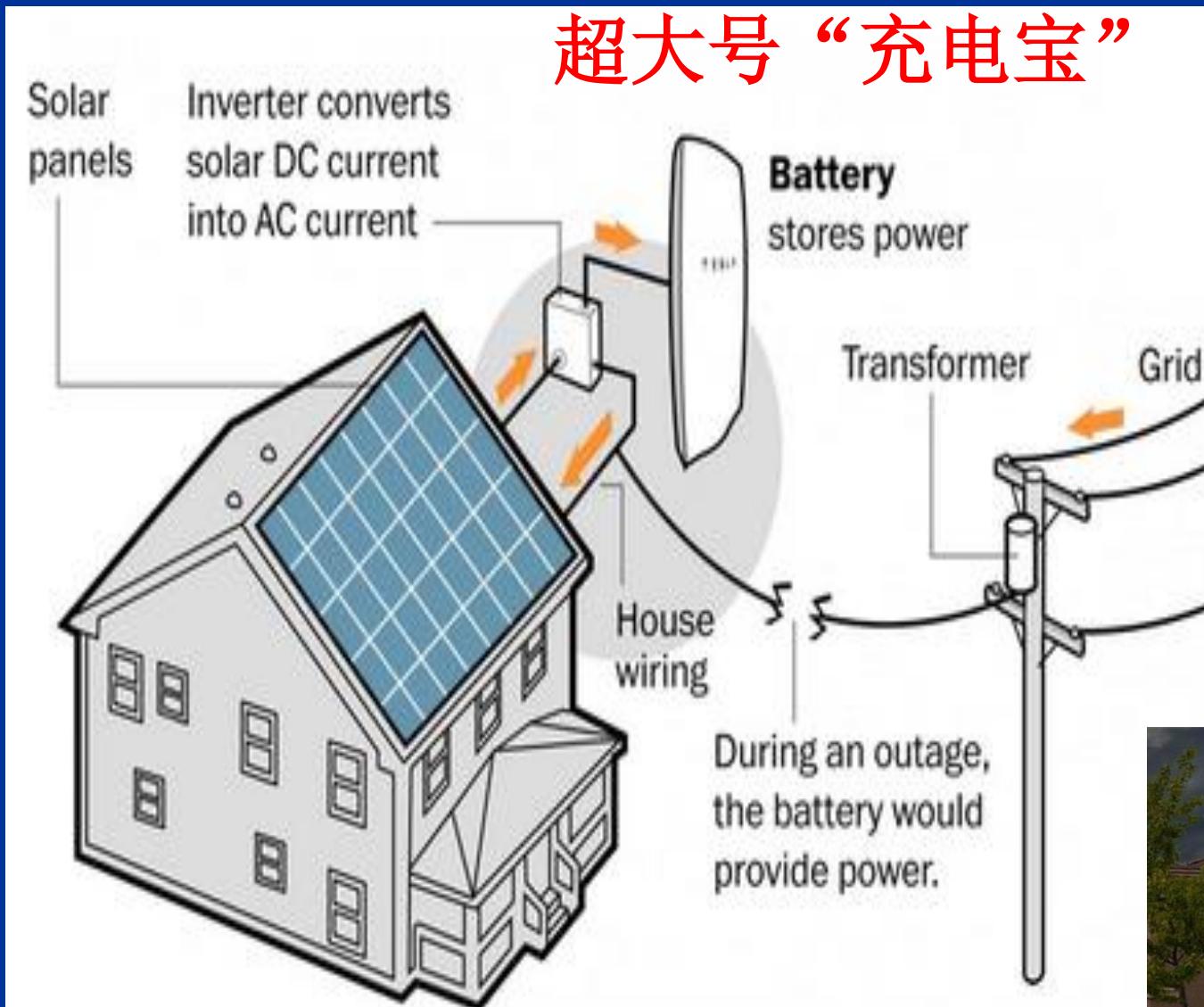


## 2.1背景-人类对新能源利用的期待



## 2.1 背景-人类对能源利用范式的演进-未来

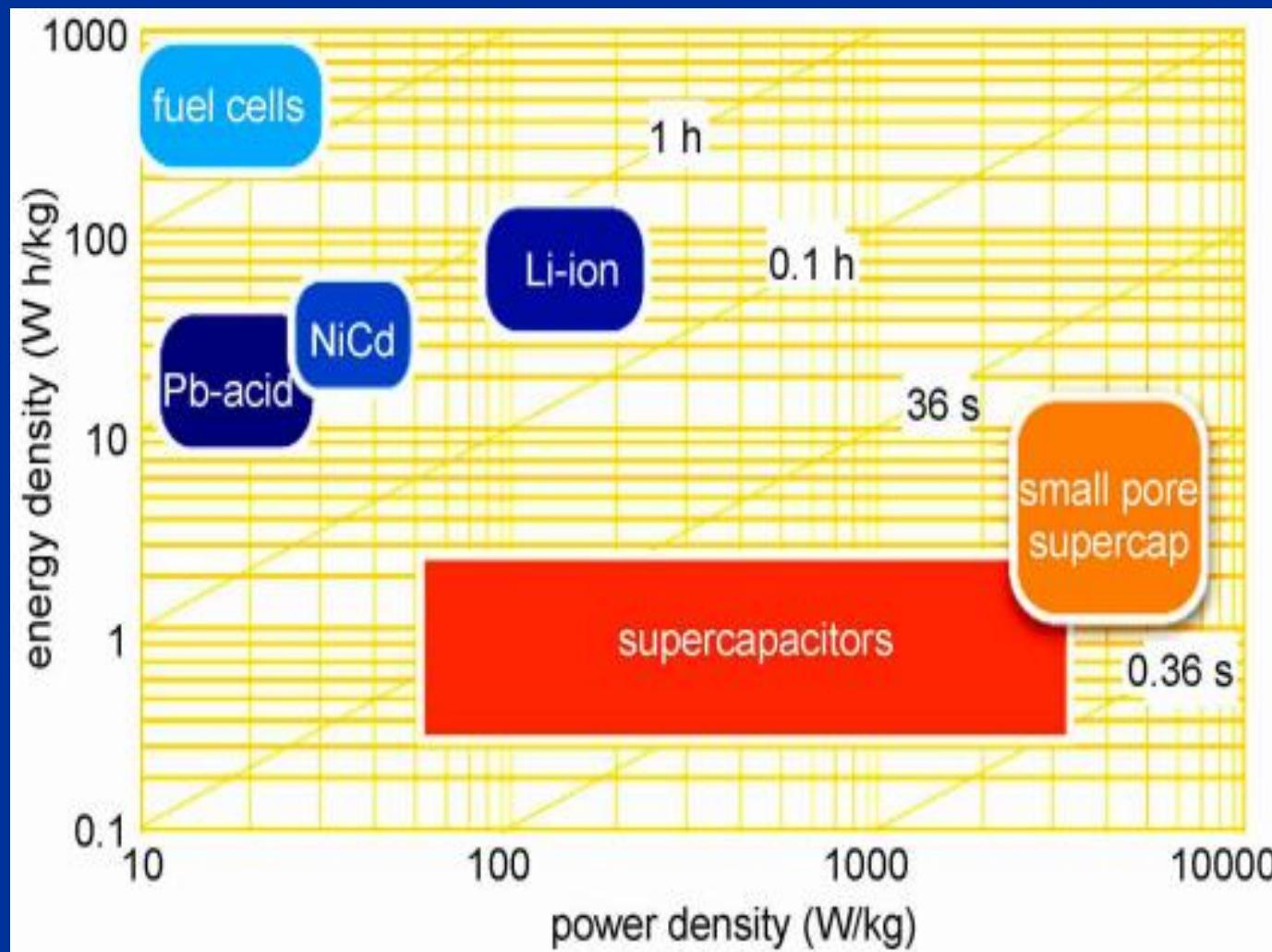
超大号“充电宝”



家用用电系统 (Powerwall Home Battery)



## 2.1 背景-当前储能器件的现状



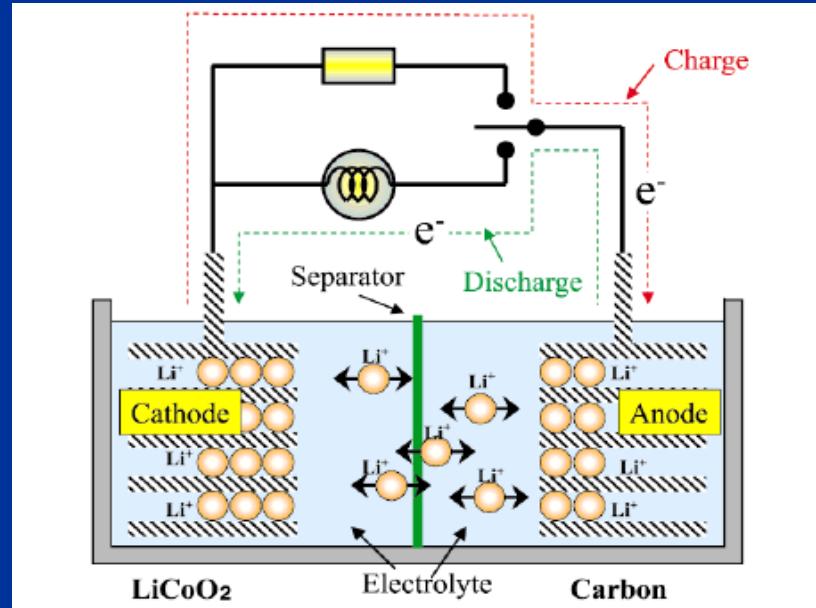
典型储能器件的Ragone图

## 2.2 锂离子电池

**研究起源：**20世纪70年代，发明“摇椅电池”的概念；  
锂枝晶的问题。

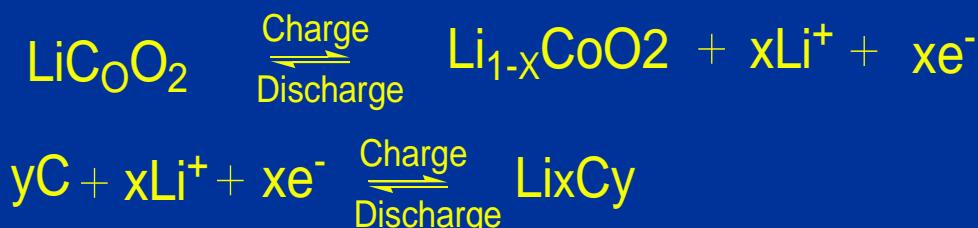
**样品诞生：**1990年前后，日本索尼公司和加拿大的  
Moli公司先后量产。

**规模量产：**1992年。



锂离子电池工作原理示意图

- 锂离子电池是指正、负极都可以嵌入、脱嵌Li<sup>+</sup>的二次电池。
- 正极采用锂化合物Li<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub>、Li<sub>x</sub>NiO<sub>2</sub>或Li<sub>x</sub>MnO<sub>2</sub>
- 负极采用锂-碳层间化合物Li<sub>x</sub>C<sub>6</sub>。
- 电解质为溶解有锂盐LiPF<sub>6</sub>、LiAsF<sub>6</sub>等有机溶液。



## 2.2 锂离子电池-生产流程



锂离子电池的生产工艺流程图

## 2.2 锂离子电池-应用



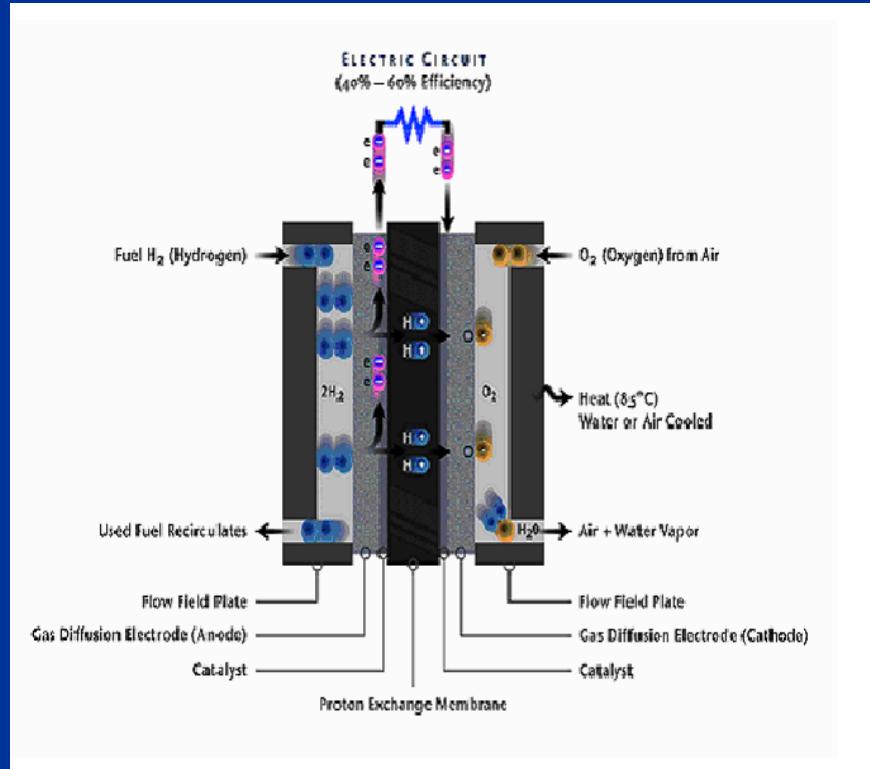
电子器件领域



“电+电”混合电动车

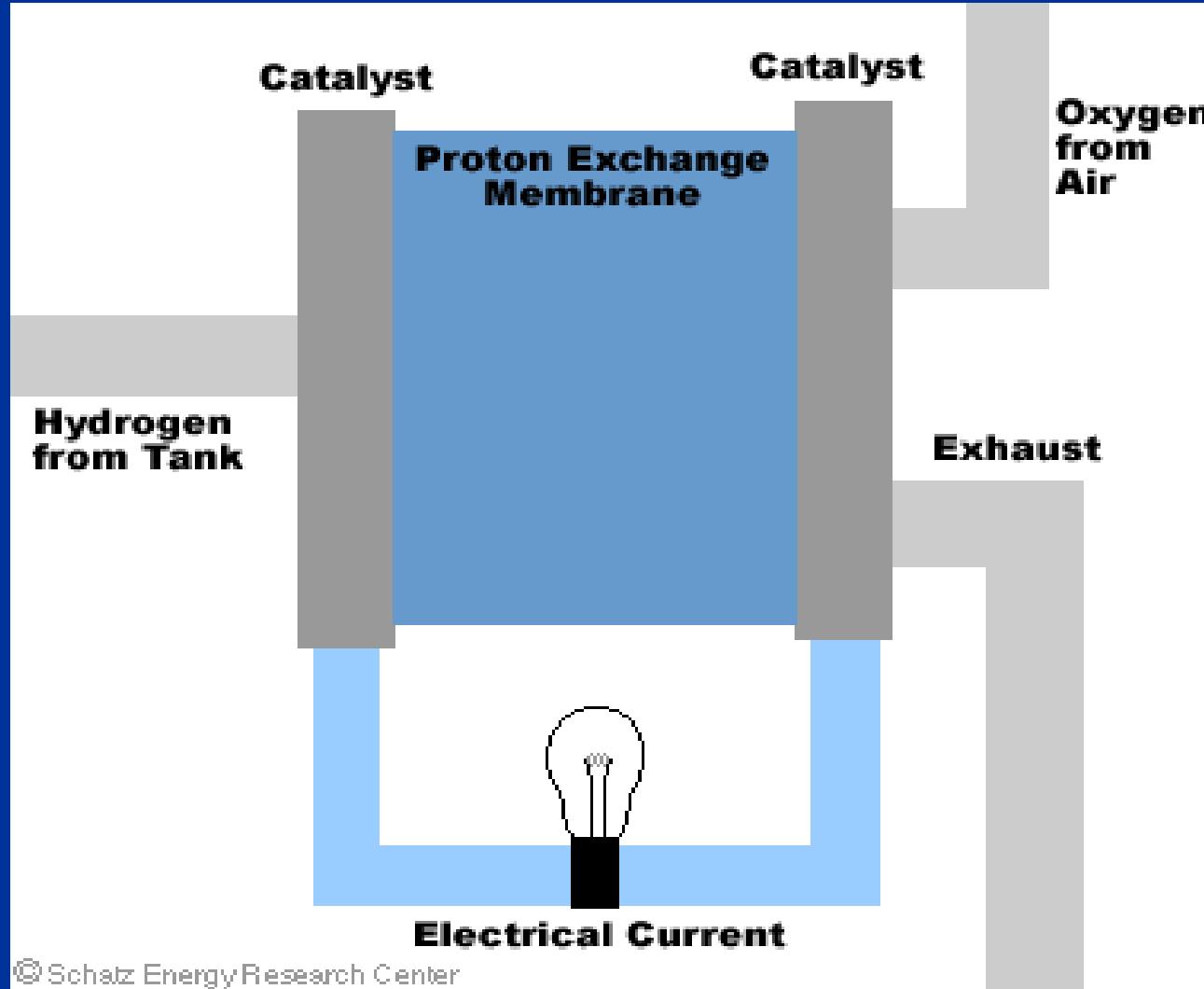
航天军工

## 2.3 燃料电池



工作原理 (PEMFC)

# 原理动画演示



# 直接甲醇燃料电池

世界最小的  
甲醇燃料电池

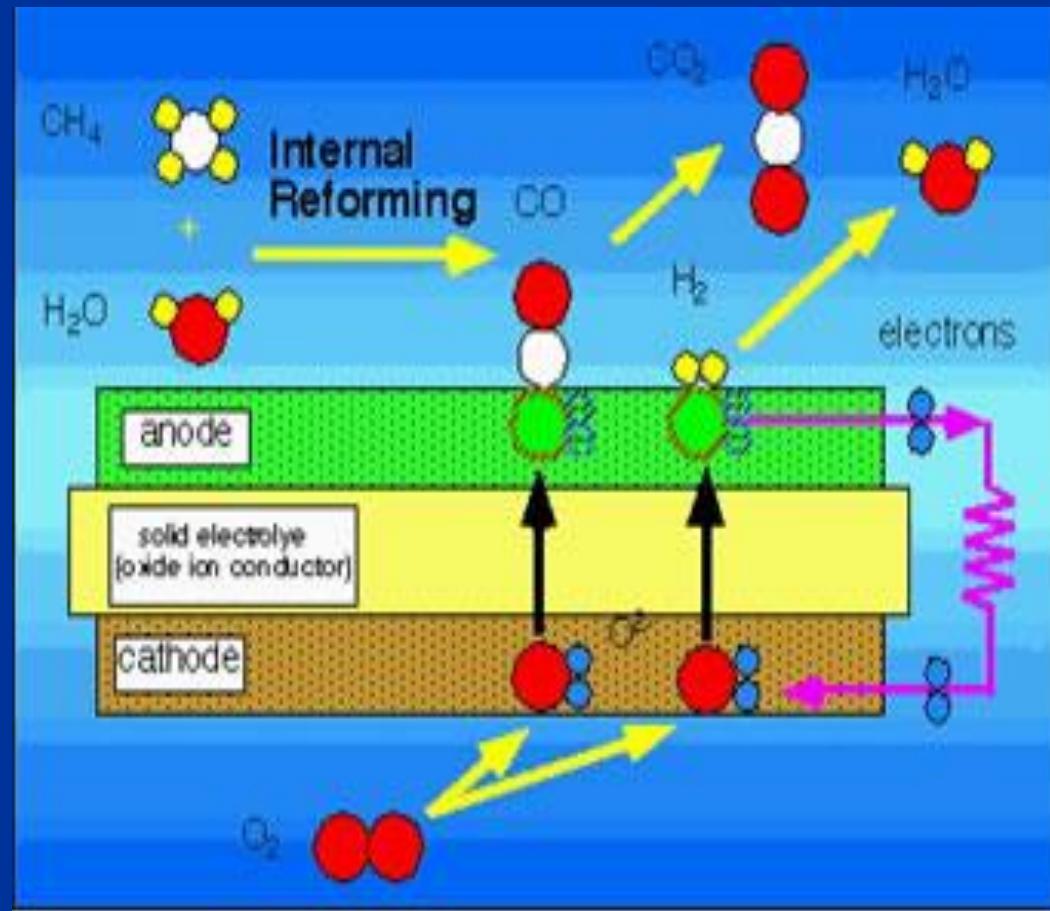


日本则武公司的产品在改进后，达到了 $160\text{mW/cm}^2$ 的高功率密度，性能约为原来的1.5倍。据分析，之所以能达到如此高的性能，主要原因在于使用了有机物和无机物的混合技术来制作电解质材料，从而大大减少了甲醇透过电解质膜的“甲醇渗透”现象，并提高了电解质膜的形状稳定性。则武公司从事燃料直接使用液态甲醇的DMFC电解质膜的开发，由于DMFC具有无需燃料改质器、可在低温下工作等优点。

# 固体氧化物燃料电池

固体氧化物燃料电池采用固体氧化物作为电解质，除了高效，环境友好的特点外，它无材料腐蚀和电解液腐蚀等问题；在高的工作温度下电池排出的高质量余热可以充分利用，使其综合效率可由50%提高到70%以上；它的燃料适用范围广，不仅能用H<sub>2</sub>，还可直接用CO、天然气（甲烷）、煤汽化气，碳氢化合物、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S等作燃料。这类电池最适合于分散和集中发电。

其工作原理如图所示：



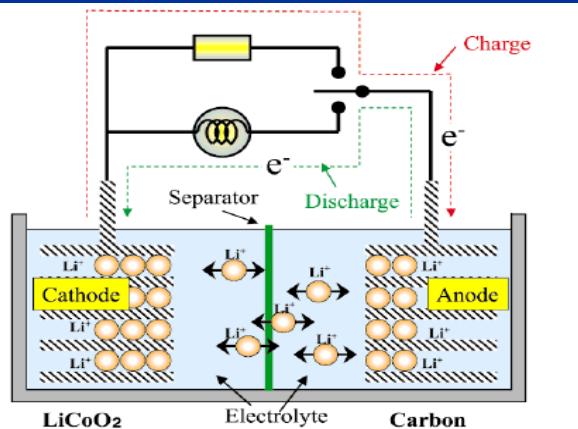
## 2.3 超级电容器

超级电容器特点

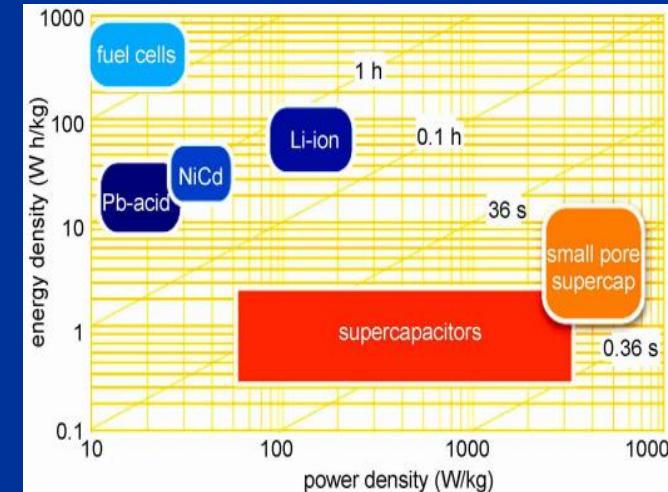
1. 高的比功率密度 $>1000\text{W/kg}$ ;
2. 长的使用寿命10年, 免维护;
3. 高比能:  $1 \sim 10\text{Wh/kg}$ (功率密度型)  
 $15 \sim 30\text{Wh/kg}$ (能量密度型)
4. 能量的实际利用效率高( $>98\%$ );
5. 良好的放置性能。



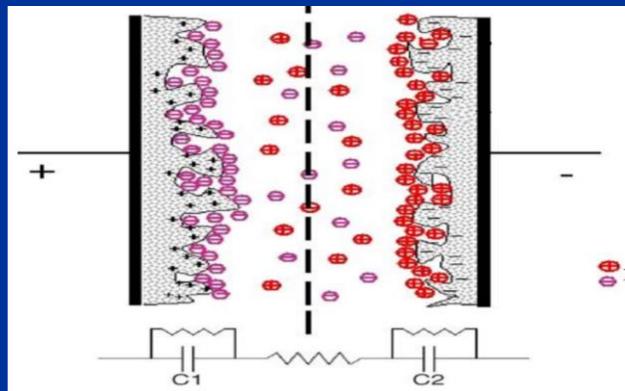
## 2.4 储能电源技术-电池与超级电容器



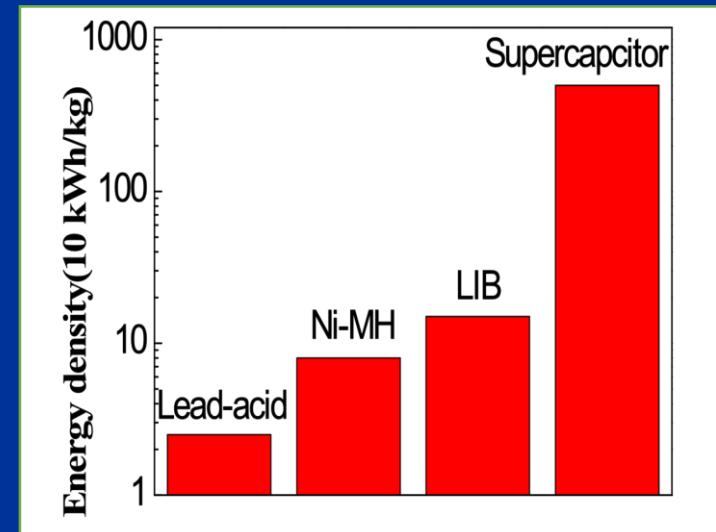
锂离子电池工作模型示意图



典型储能器件的Ragone图



活性炭孔内的双电层储能示意图



典型储能器件全寿命周期总储能量

1. 快速充放电(秒/分钟级)

锂离子电池的10倍

2. 大功率 (> 1000W/kg)

锂离子电池的5倍

3. 长寿命 (100万次)

锂离子电池的200倍

4. 物理储能, 安全性高

远高于锂离子电池。

### • 军工领域



无人机、舰载机、火  
箭炮、鱼雷等



驱逐舰、航母防空；  
陆盾防空速射炮



新概念武器：激光武  
器、微波武器等

### • 储能式公共交通车辆



储能式现代有轨电车  
超快充30s充满；制  
动能量回收>20%



纯电动公交车  
站台充电时间≤30s

### • 电网与新能源



智能电网  
DVR/DTU/FTU



风力发电



太阳能发电

### • 工业节能领域



地铁、高铁等能量回馈



石油钻井



港口机械

# Part 02

## 超级电容器技术进展

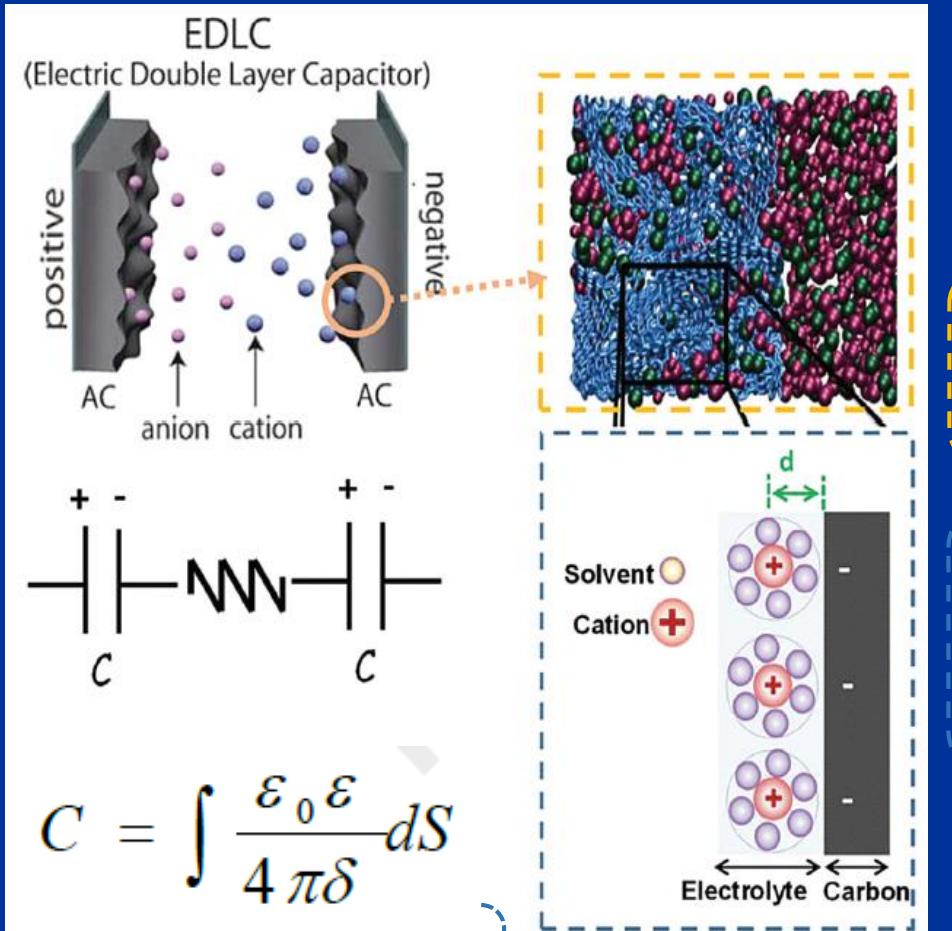
2.1 双电层电容器

2.2 混合型超级电容器

2.3 电池型超级电容器

# 2.1 | 双电层电容器

### 2.1.1 双电层理论-多孔炭电极理论容量



$$\frac{1}{C_{\text{cell}}} = \frac{1}{C_+} + \frac{1}{C_-}$$

$$C_{\text{cell}} = \frac{C_+ C_-}{C_+ + C_-}$$

$$C_{\text{cell}} = 1/2C_+ = 1/2C_-$$

$$C_+ \approx C_-$$

K. Naoi, et al., Energy Environ. Sci., 2012, 5, 9363–9373

C

$$\Xi = 1/2 C V^2$$

V

**S**：形成有效双电层的表面积

微孔炭、中孔炭、石墨烯，……

$\delta$ : 电极表面至电解质离子中心的距离

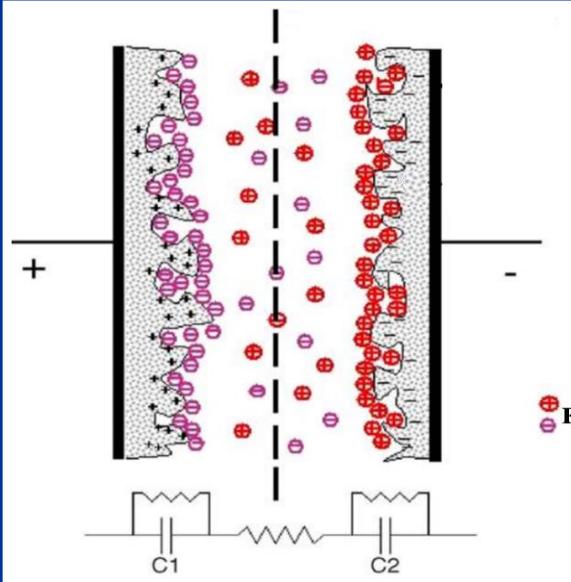
- ① 减小电解质离子尺寸
  - ② 设计与制备特殊限域结构

$\epsilon$ : 溶剂的介电常数

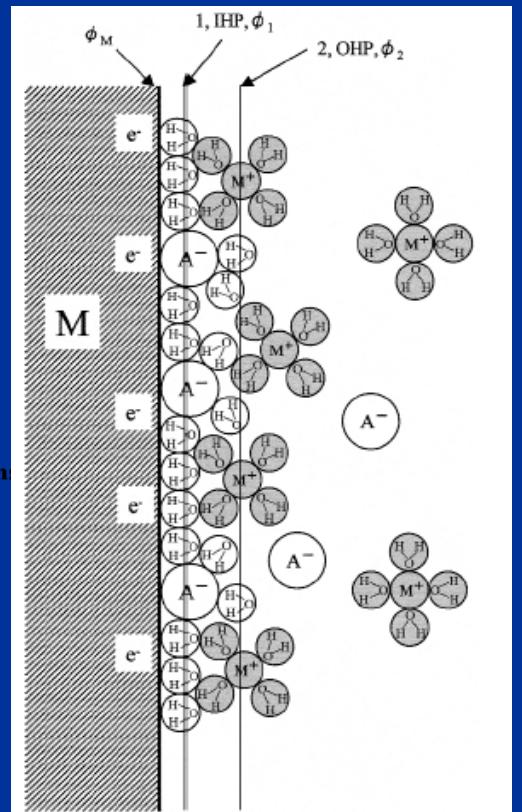
超高功率密度是超级电容器相对于其他储能器件最大的优势。如何保持功率密度的同时，提升超级电容器的能量密度是该领域的核心研究方向。



## 2.1.2 双电层理论-多孔炭电极高容量化设计



双电层电容器的储能原理示意图



单电极电容量:

$$C_d = \frac{\partial Q}{\partial V} = \frac{\epsilon}{4\pi d}$$

$$C = \int \frac{\epsilon}{4\pi d} dS$$

高比表面积活性炭( $S_{BET}$ 1000-3000m<sup>2</sup>/g)

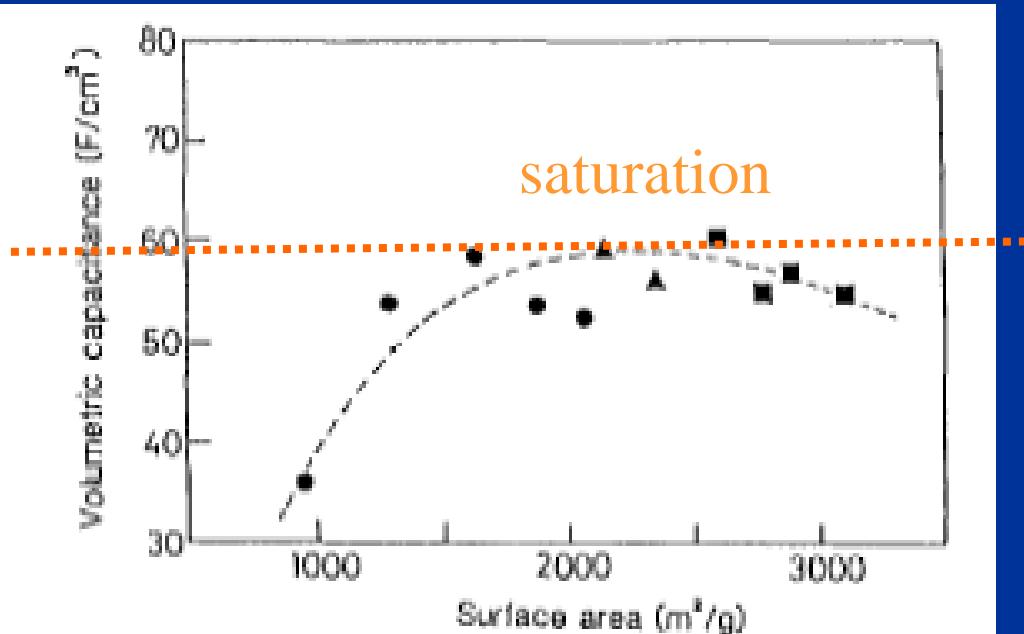


Fig. 5. Volumetric capacitance of PTFE-bonded carbon electrode vs. surface area of activated carbon used for the electrode.

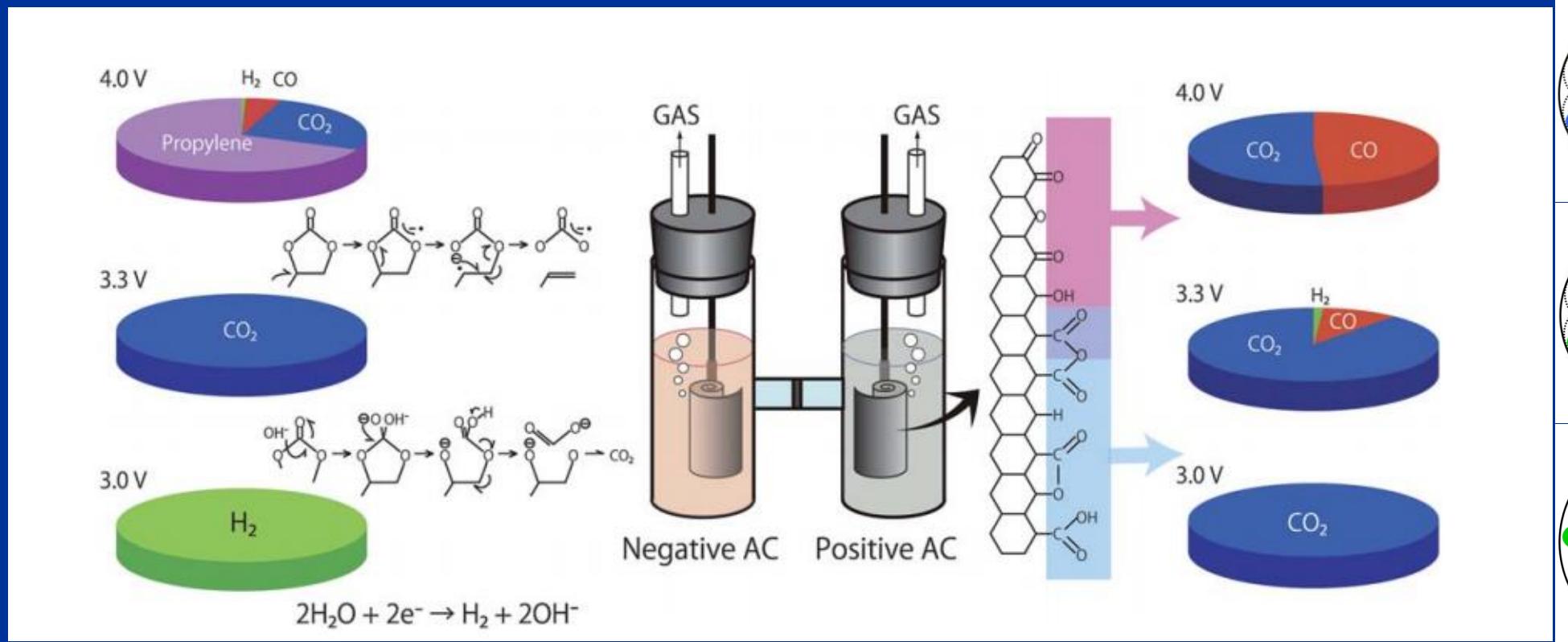
T. Morimoto et al., J. Power Sources 60 (1996) 239.

R. KÖtz, et al. Carbon 2005, 43:1303.

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$



## 2.1.3 双电层理论-多孔炭电极高电压化设计



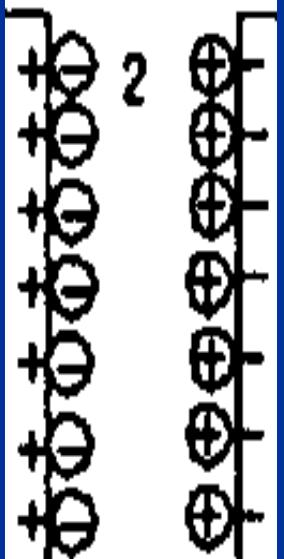
超过2.7 V会导致电容的显著降低和活性炭电极的损坏。  
超过3.0 V会引起致命的，不希望发生的法拉第反应，减少电容。  
这是决定EDLC寿命的最关键指标。

高电压劣化原因：

1. 活性炭表面反应活性提高；
2. 孔表面的离子面密度增加；

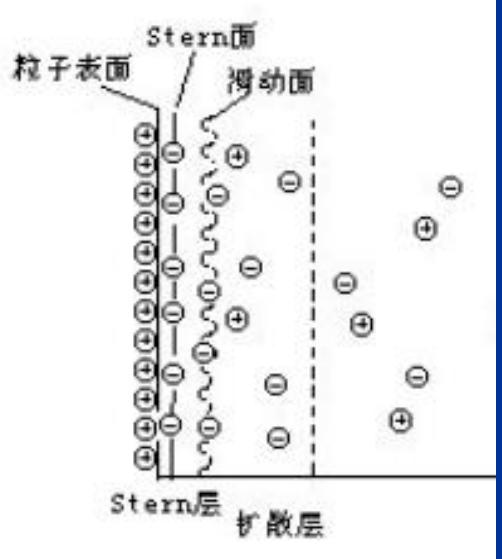
Naoi, K., Ishimoto, S., Miyamoto, J.-i. & Naoi, W. Second generation ‘nanohybrid supercapacitor’: Evolution of capacitive energy storage devices. *Energy & Environmental Science* 5, 9363 (2012).

## 2.1.4 双电层理论-电解液溶剂化结构



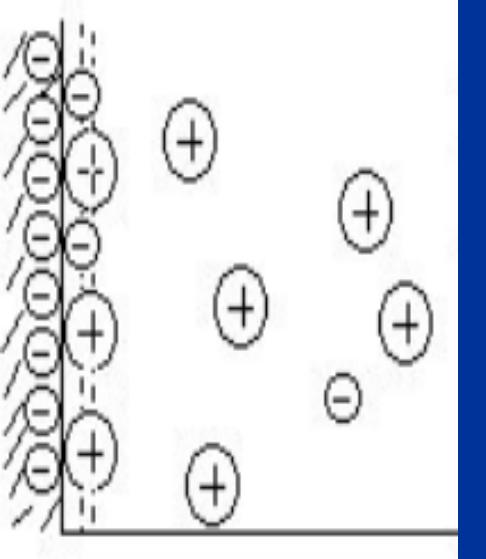
平板双电层

1879年



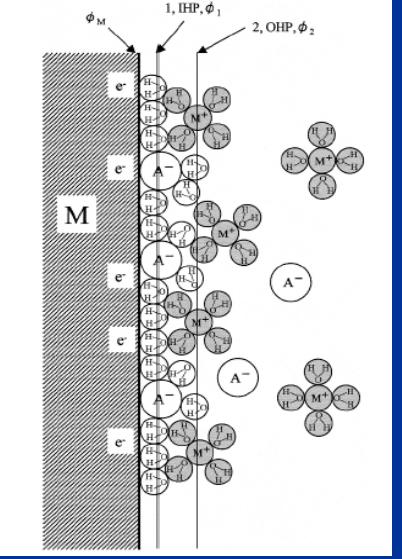
Stern模型

1924年



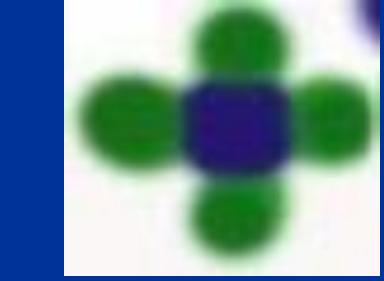
特性吸附(Grahame)模型

1947年



溶剂化(Brockris)模型  
(改进的Stern model)

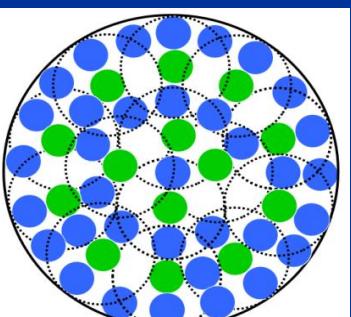
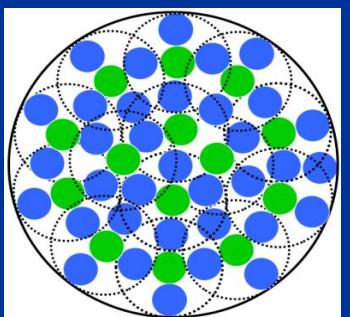
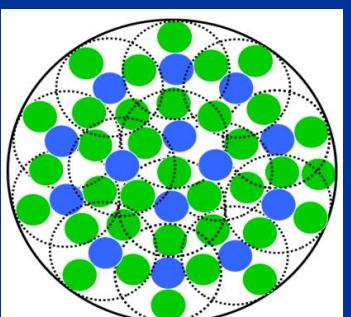
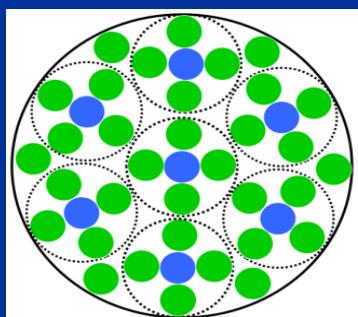
1974年



溶剂化离子 溶剂分子 非溶剂化离子

溶剂化离子尺寸：

$$0.6 + 0.7 + 0.6 = 1.9 \text{ nm}$$



$$C = \int \frac{\epsilon_0 \epsilon}{4 \pi \delta} dS$$

多孔电极：双电层结构伴随充电电压的系列变化



## 2.1.5 双电层结构及高耐压机理研究

### ● 电解液溶剂化结构分析和耐电压机理研究

大量游离的水分子 → 几乎没有游离的水分子  
 $\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 强溶剂化 → DMF 以游离的形式存在  
 整体稀溶液，局部存在  
 $\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 强溶剂化

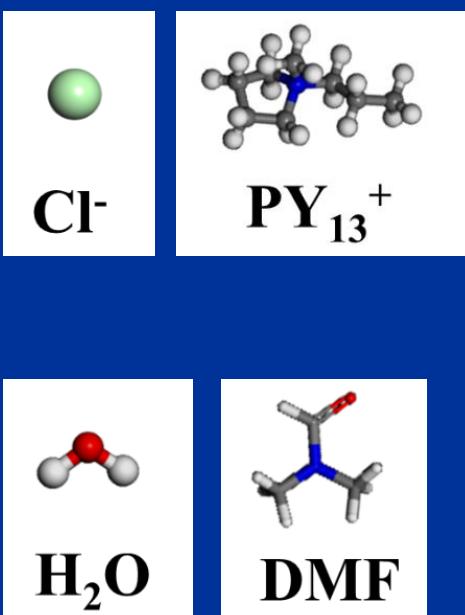
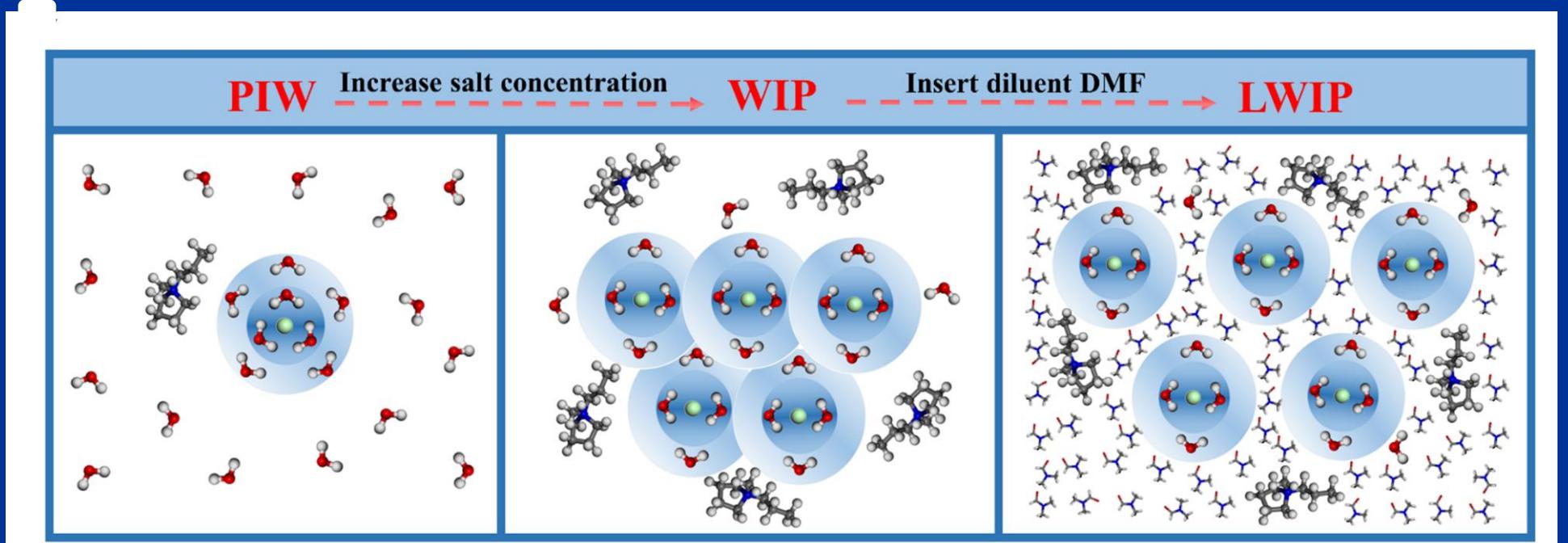


图10 “ $\text{Cl}^--\text{H}_2\text{O}$ ” 溶剂化示意图 (三种不同体系: 低浓度; 高浓度; 局部高浓度)

## 2.1.6 双电层结构及高耐压机理研究

### ● 电解液溶剂化结构分析和耐电压机理研究

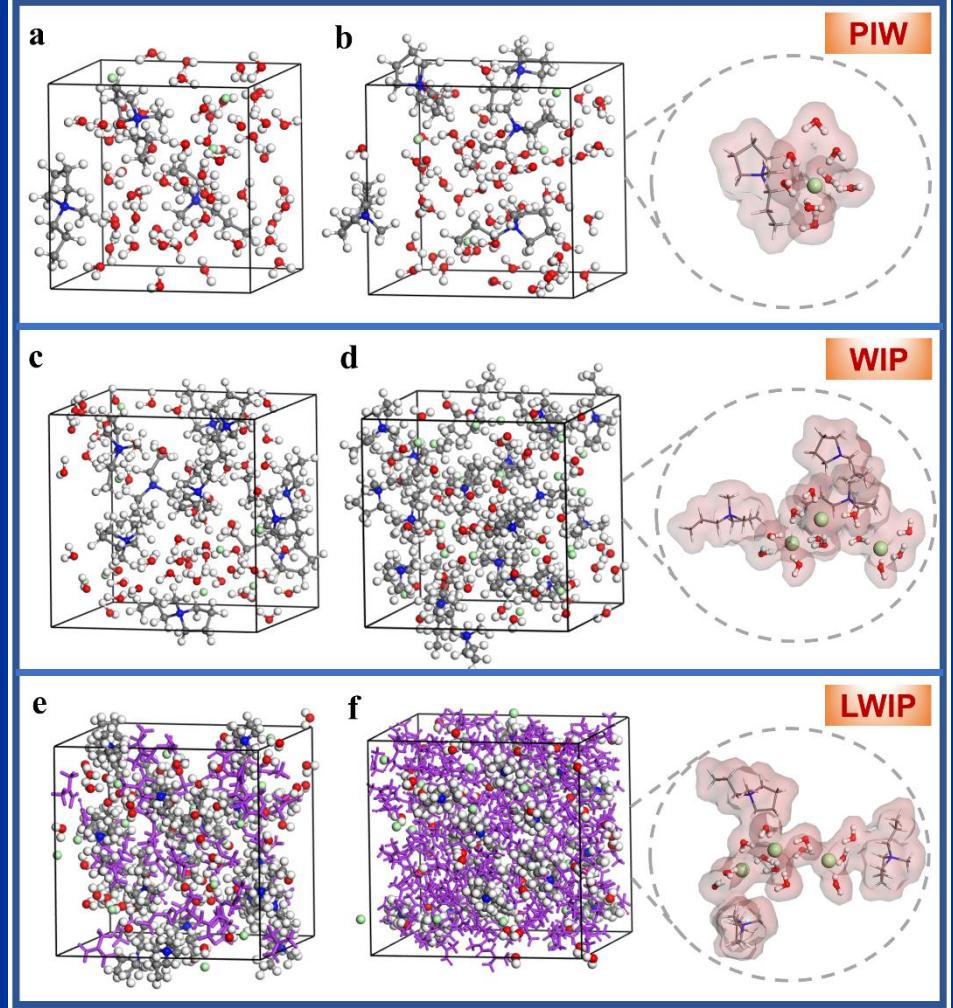


图6 分子动力学模拟 (MD) 快照和 $\text{Cl}^-$ 周围溶剂化

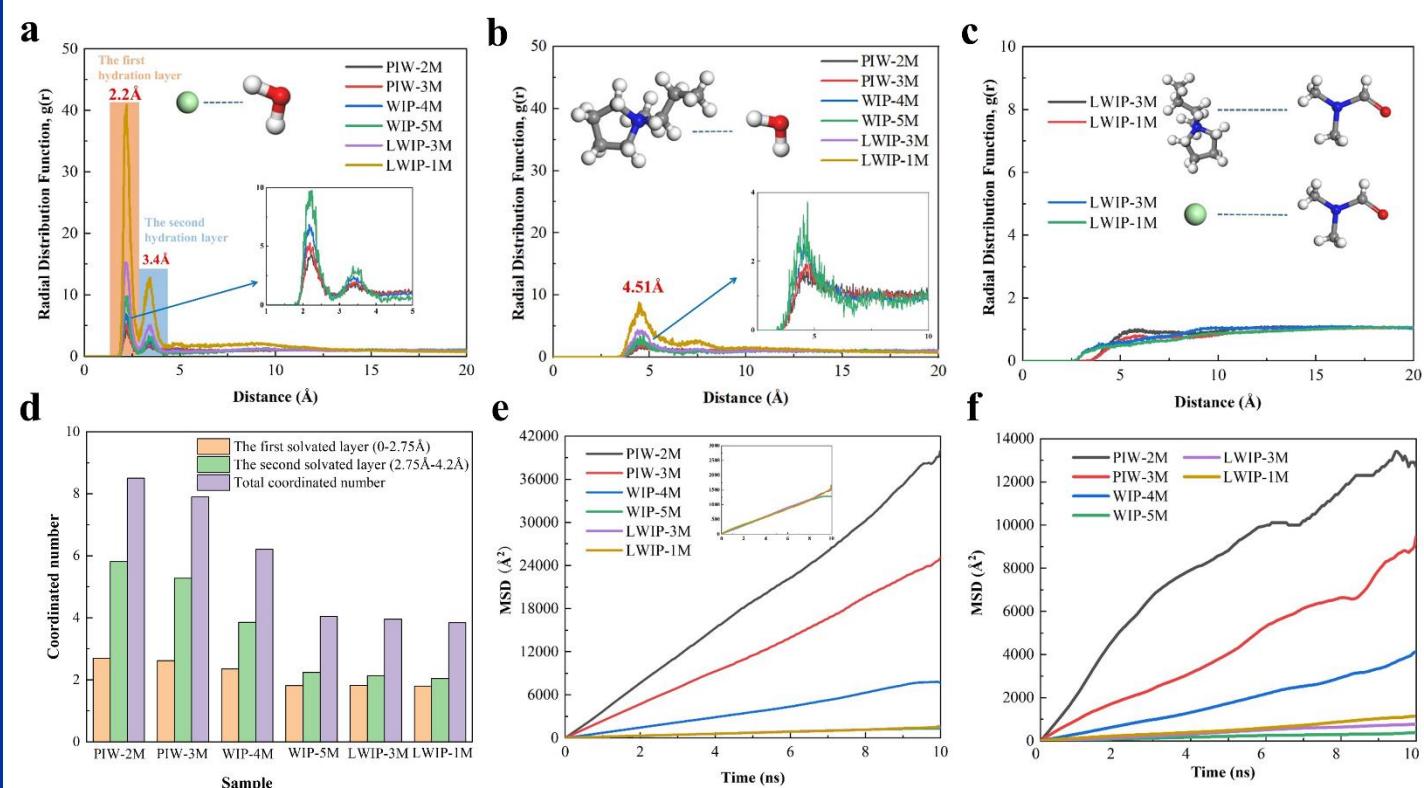


图7 MD的计算数据(a) (b)(c) RDF;(d) CN;(e)(f)MSD

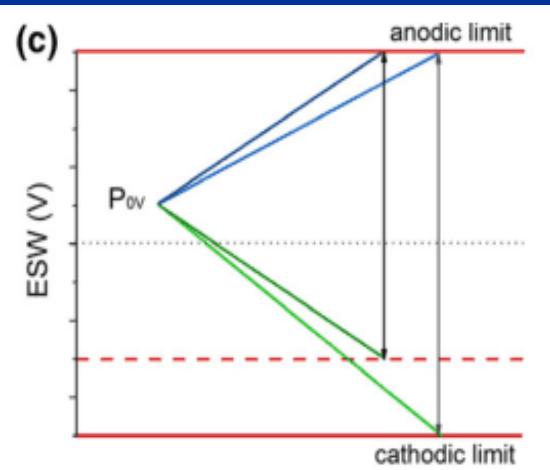
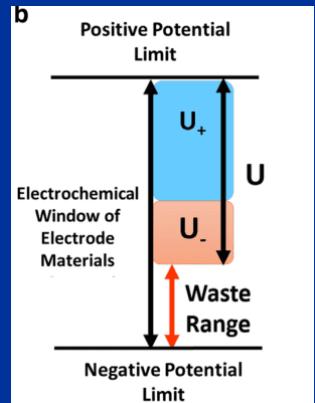
### MD结果:

- ✓  $\text{Cl}^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ 强溶剂化“锁水”
- ✓ DMF惰性，不参与溶剂化，同时促进阴阳离子与水的溶剂化

## 2.1.7 多孔炭电极高耐压化设计、基础与中试研究



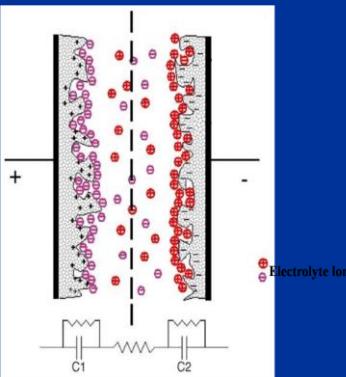
$$E = \frac{1}{2} C V^2$$



电压平衡技术

$$V \leq 2.7V$$

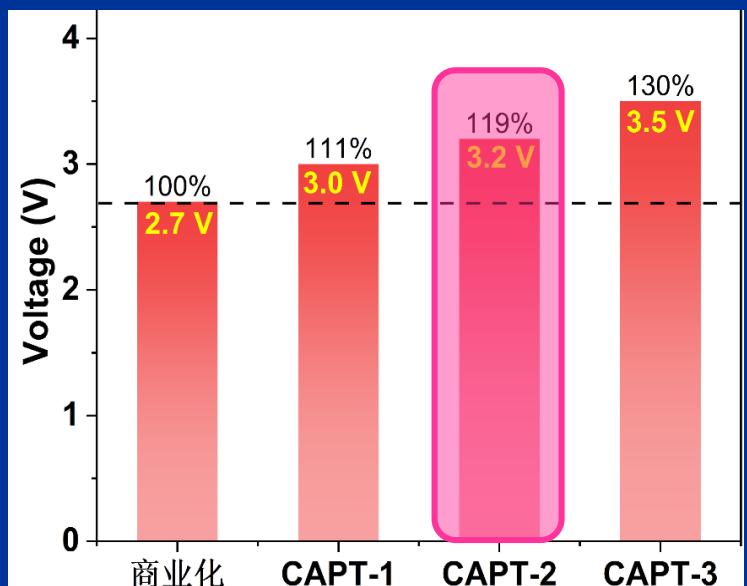
$$E \leq 6 \sim 8 \text{ Wh/kg}$$



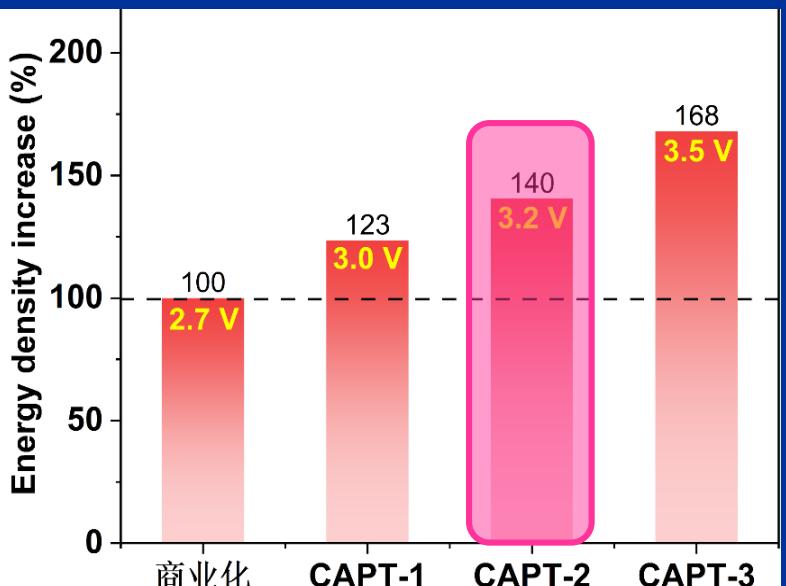
EDLC储能原理示意图

1. 高耐压多孔炭设计
2. 粘结剂
3. 炭电极设计
4. 正/负极的结构控制
5. 正极/负极电压均衡化
6. 新型电解液开发及应用

高工作电压



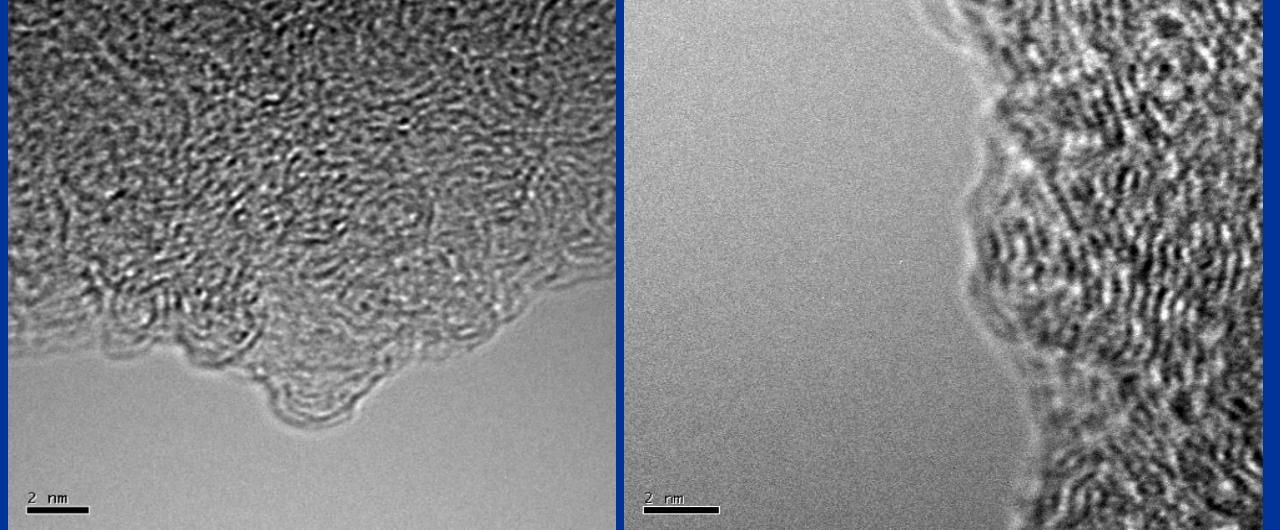
高能量密度



## 2.1.8 高耐压微晶炭的结构设计与应用研究

振实密度: **0.5 g/cm<sup>3</sup>**

压实密度: **0.85 g/cm<sup>3</sup>**



(a) 循环前

(b) 循环后

新型微晶炭电极循环前、后的HRTEM照片

[1] 时志强, 等. 物理化学学报. 2008, 24(2): 237-242.

[2] 时志强, 等. 无机材料学报. 2008, 3(4):799-804.

[3] 时志强, 炭基电化学电容器电极材料的制备与电容性能研究. 天津: 天津大学, 2007.06.

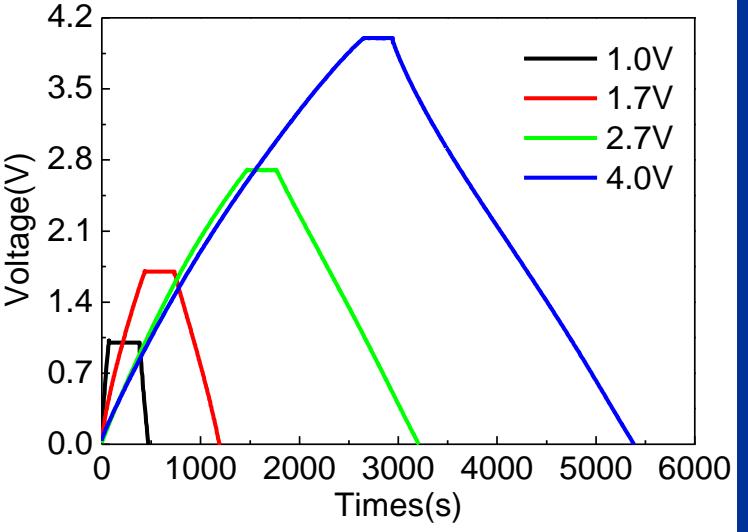


表 不同电压下的比电容/电容量/能量密度

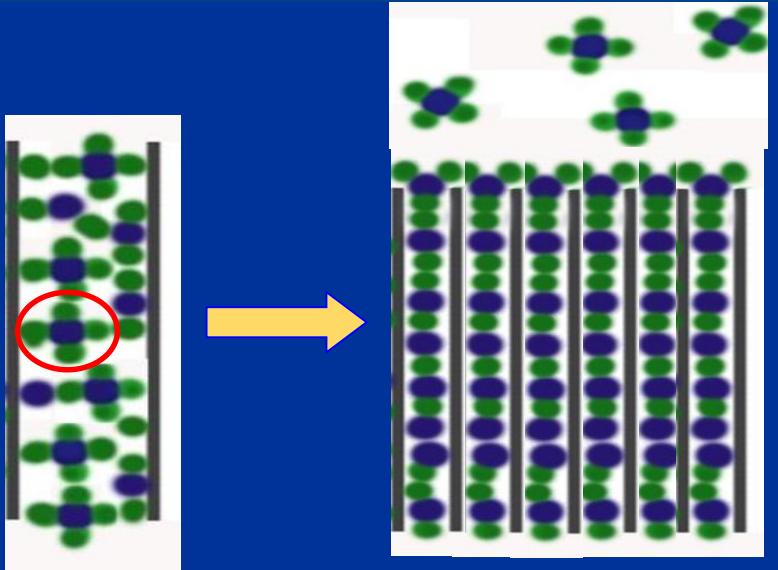
最高工作电压 (V)	比电容 (F/g)	比容量 (mAh/g)	能量密度* (Wh/kg)
1.0	30.2	22.7	4.2
1.7	30.5	25.1	12.2
2.7	32.0	30.5	32.4
<b>3.5</b>	<b>32.5</b>	<b>32.8</b>	<b>45.8</b>
4.0	35.0	35.7	77.8

\*注: 基于两电极质量计算。



## 2.1.9 高耐压插层炭的结构设计及储能应用

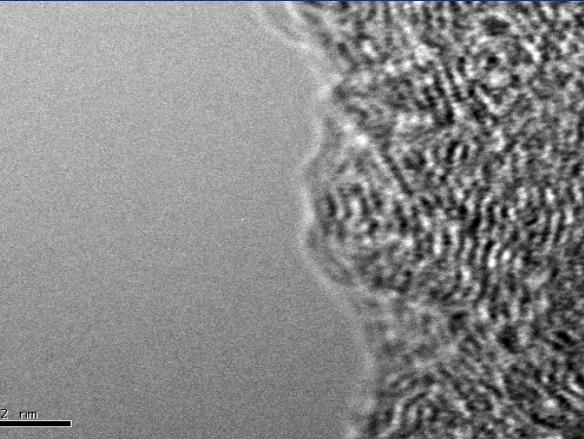
正极高容量化



锂离子电容器的纳米孔炭正极设计

活性炭正极的比电容:

$$C = \int \frac{\epsilon}{4\pi d} dS$$



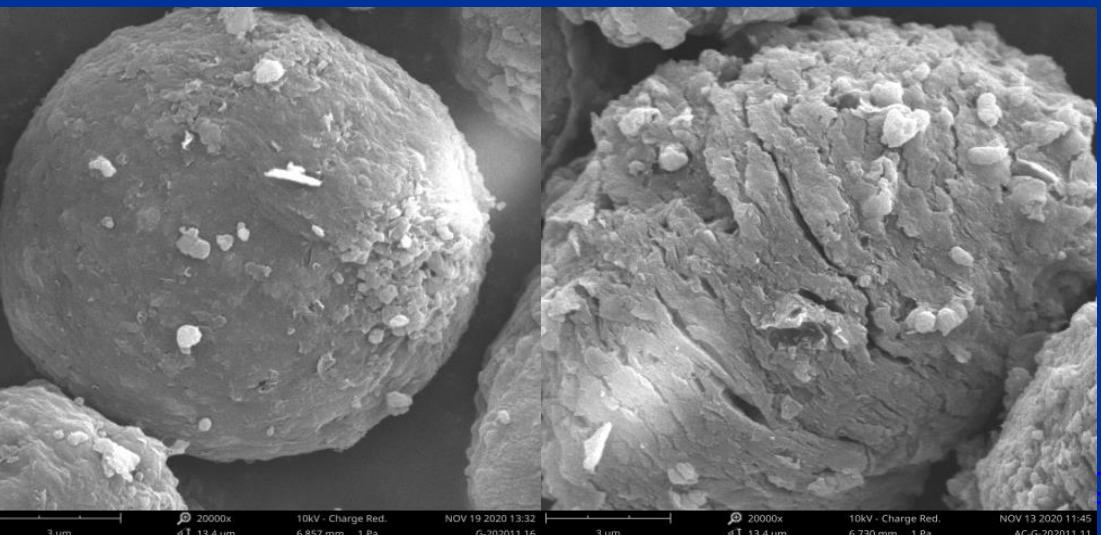
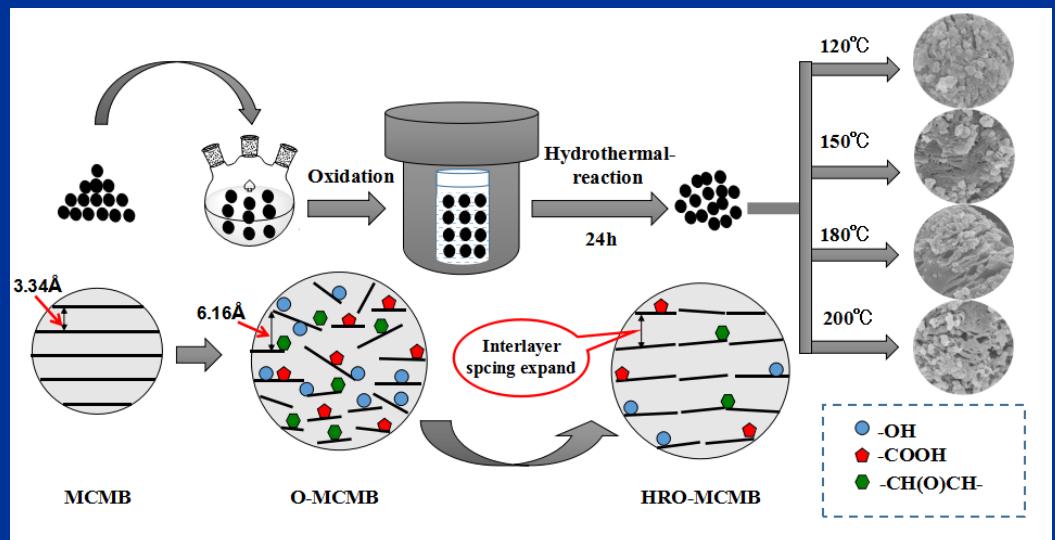
溶剂化离子



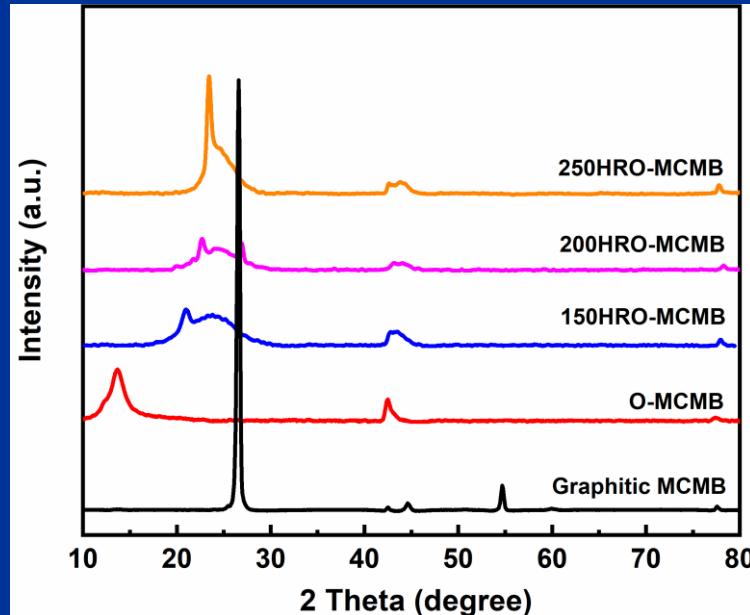
非溶剂化离子



溶剂分子



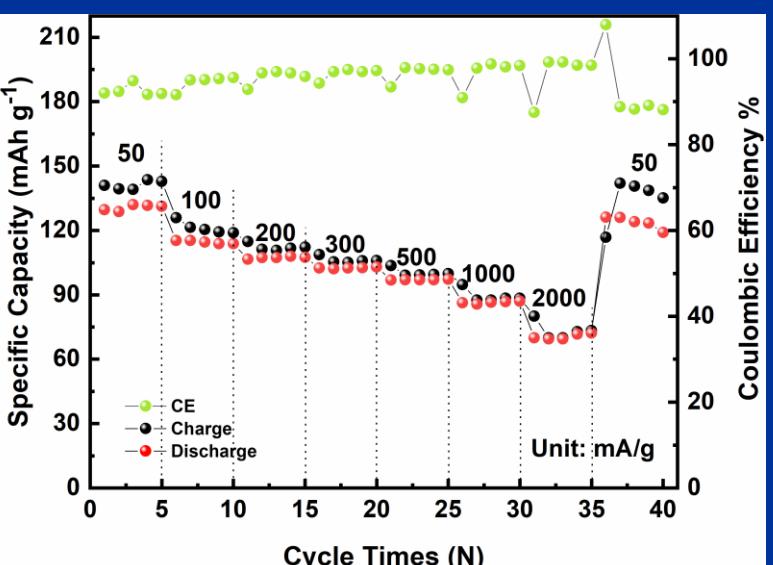
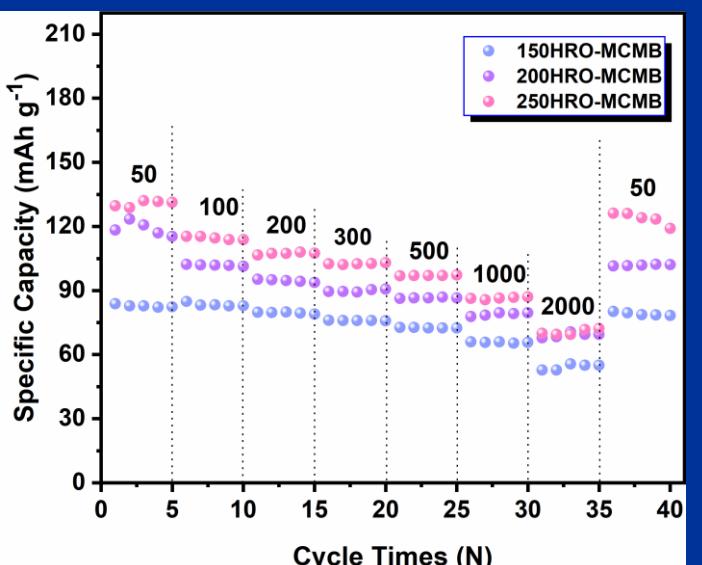
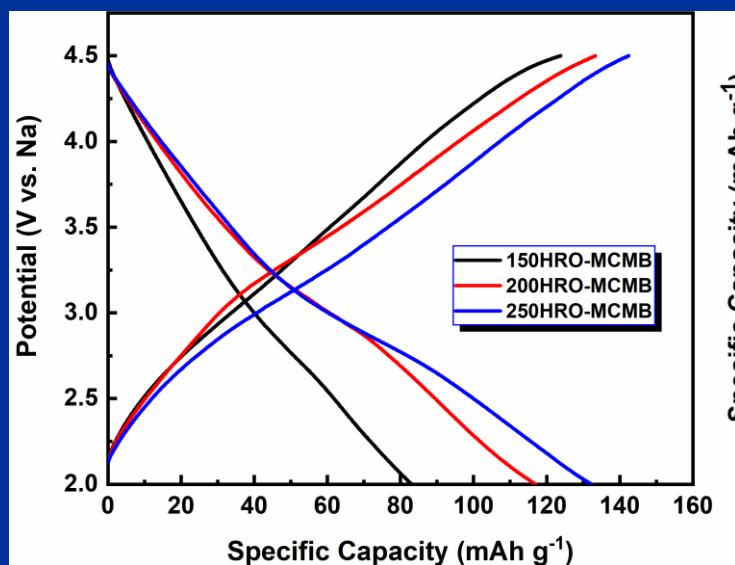
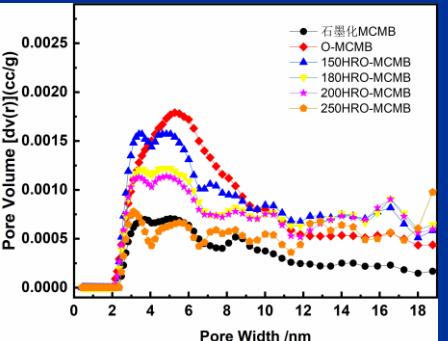
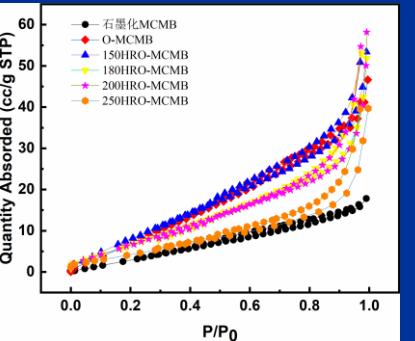
## 2.1.9 高耐压插层炭的结构设计及储能应用



XRD	$d(002)/\text{nm}$
O-MCMB	0.6470
HRO-150-MCMB	0.4205
HRO-200-MCMB	0.3922
HRO-250-MCMB	0.3793

	石MCMB	O-MCMB	150HRO-MCMB	200HRO-MCMB	250HRO-MCMB
as(BET)	$22.1\text{m}^2\text{g}^{-1}$	$53.6\text{m}^2\text{g}^{-1}$	$46.7\text{m}^2\text{g}^{-1}$	$34.9\text{m}^2\text{g}^{-1}$	$20.9\text{m}^2\text{g}^{-1}$
Total pore volume	$0.0275\text{m}^3\text{g}^{-1}$	$0.0682\text{m}^3\text{g}^{-1}$	$0.082\text{m}^3\text{g}^{-1}$	$0.082\text{m}^3\text{g}^{-1}$	$0.056\text{m}^3\text{g}^{-1}$
Mean pore diameter	4.974nm	5.0914nm	7.0226nm	9.3632nm	10.84nm

Raman	$I_D/I_G$
MCMB	0.21
O-MCMB	0.8083
150HRO-MCMB	0.8362
200HRO-MCMB	1.0762
250HRO-MCMB	1.2273



## 2.2 | 混合型超级电容器

## 2.1 单体的非对称化设计原理



### (a) 高容量化目标

#### (a) 对称型(AC/AC)超级电容器:

当 $C_1=C_2$ 时, 电容器的电容量计算如下:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{2C_1} = \frac{C_1 \cdot C_2}{2C_2} = \frac{C_1}{2} = \frac{C_2}{2}$$

#### (b) 非对称型超级电容器:

当电容器电极 $C_1 \ll C_2$ 时, 电容器总电容量由电容量小的电极控制, 电容器的电容量计算如下:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_2} = C_1$$

当电容器电极 $C_1 \gg C_2$ 时, 电容器总电容量由电容量小的电极控制, 电容器的电容量计算如下:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1} = C_2$$

注:  $C$ : 电容器的总电容量;

$C_1$ 电容器正极电容量;  $C_2$ 电容器负极电容量。

经典非对称超级电容体系:

1. MOx/AC非对称体系;

2. AC/Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>

3. 锂离子电容器

4. 铅炭超级电池

5. 镍炭电容器

.....



## 2.1 单体的非对称化设计原理



### (b) 高电压化目标

$$V = \Delta U = U^+ - U^-$$

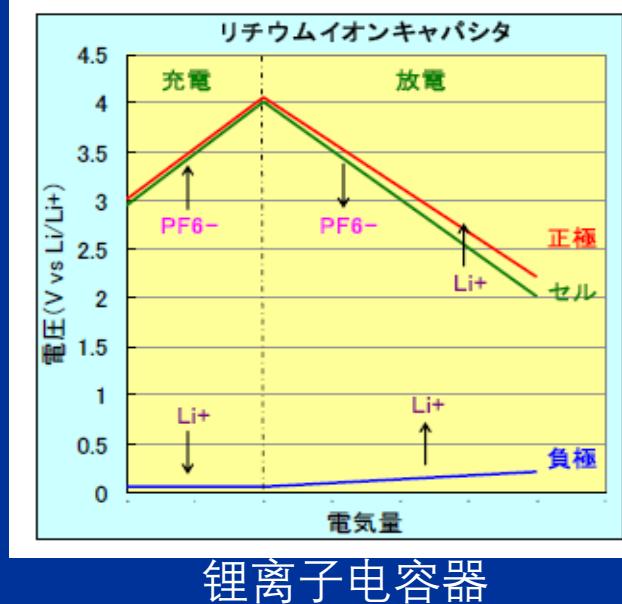
$\Delta U$ : 正极与负极的电势差, 单位: 伏特(V);

$U^+$ : 正极电势, 单位: 伏特(V);

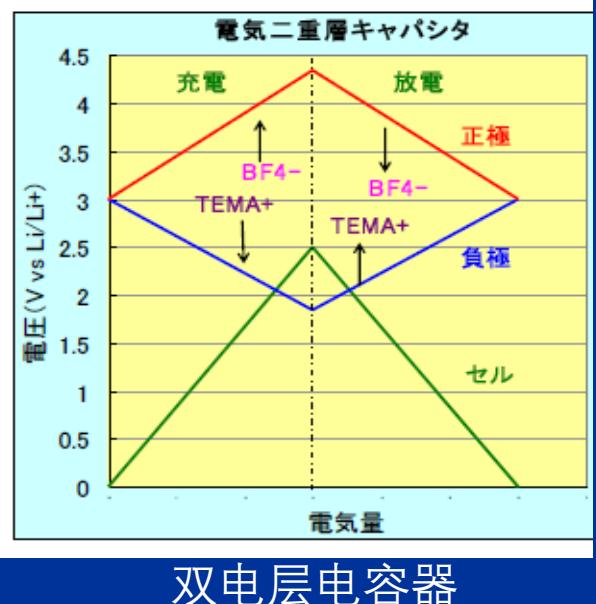
$U^-$ : 负极电势, 单位: 伏特(V);

高电压化决定因素:

1. 正极材料选择;
2. 负极材料选择;
3. 正极/负极材料容量平衡设计。



锂离子电容器



双电层电容器

应用范例:

- 1.AC/G体系: 3.0~3.8(4.0/4.2)V;
- 2.AC/LTO体系: 2.8V;



## 2.1 单体的非对称化设计原理



- (c) 高功率密度
- (d) 长循环寿命
- (e) 高温性能
- (f) 低温性能
- (g) 自放电性能
- .....

- 1. 正极材料；
- 2. 正极的结构设计与工艺；
- 3. 负极材料；
- 4. 负极的结构设计与工艺；
- 5. 电极的预锂化工艺；
- 6. 正极/负极材料容量平衡设计
- 7. 电解液优化
- 8. 单体结构设计
- 9. 封装工艺
- .....



### Comprise of LIC

positive electrode: AC

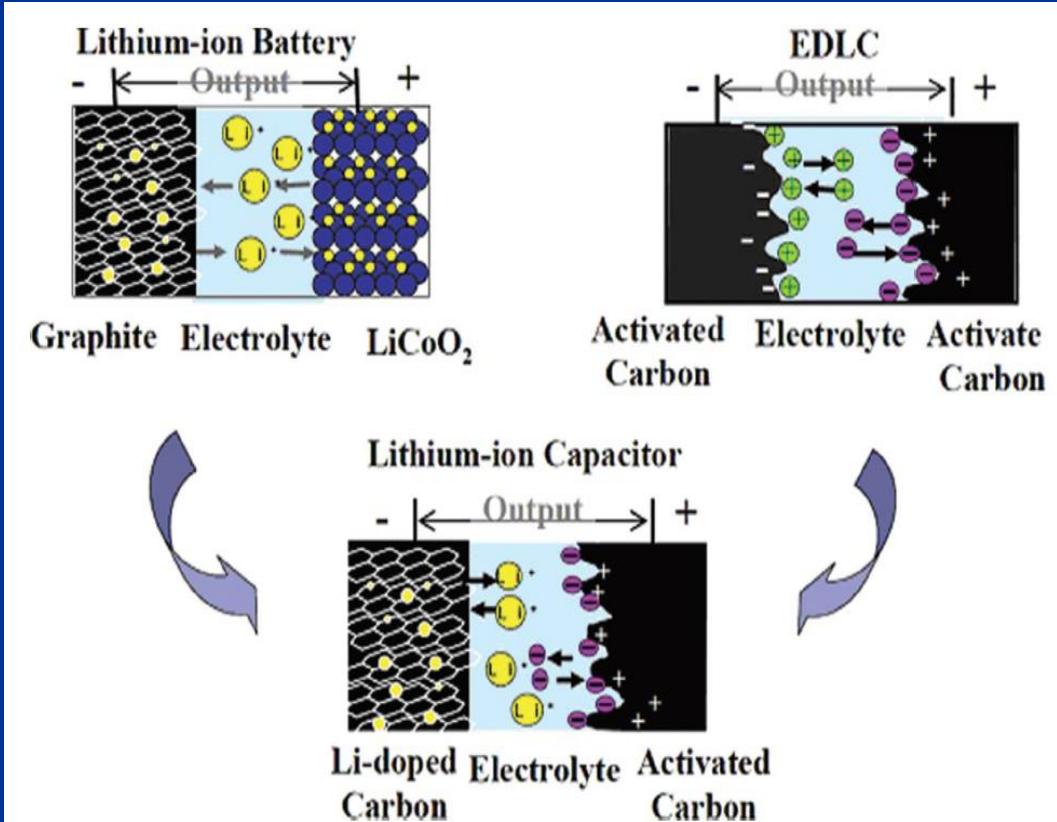
negative electrode: Carbon

Electrolyte:  $\text{LiPF}_6/\text{EC+DEC}$

### Research goals:

Working potential: 2~4V; Energy density: 30Wh/kg;

Power density: 5kW/kg; Cycle life: 10~100k



锂离子电容器的设计及储能原理示意图

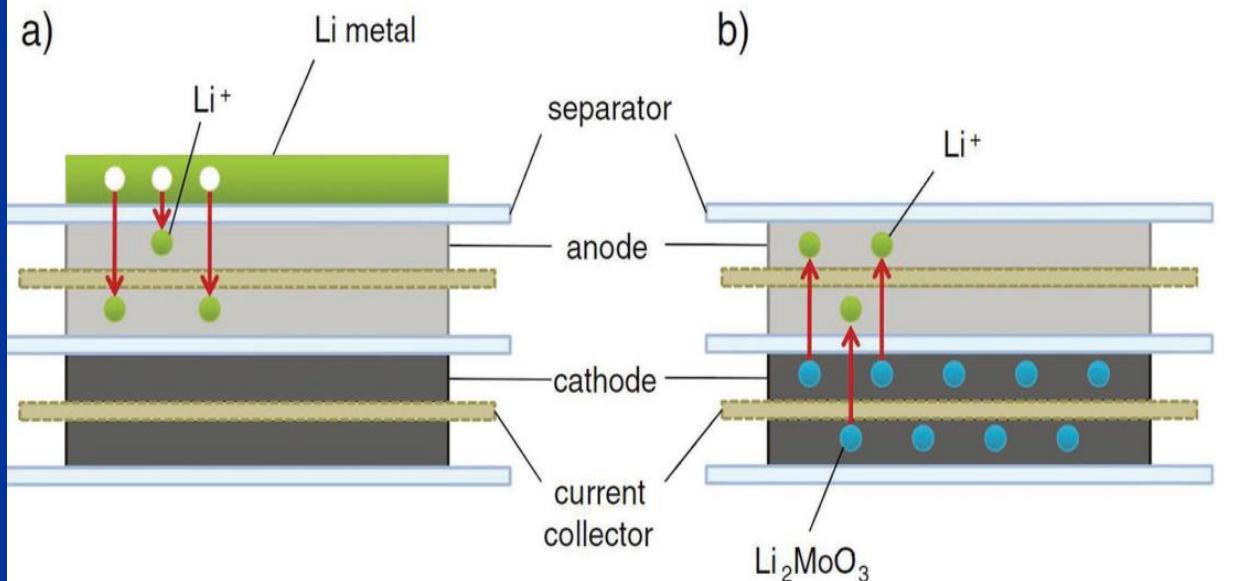
## 2.3 | 电池型电容器

# 6.1 LMO-AC//HC体系



## LMO-AC// HC

Li<sub>2</sub>MoO<sub>3</sub>



Park M S , Lim Y G , Kim J H , et al. Advanced Energy Materials, 2011, 1(6):1002-1006.

LIC

对比项目

NHC

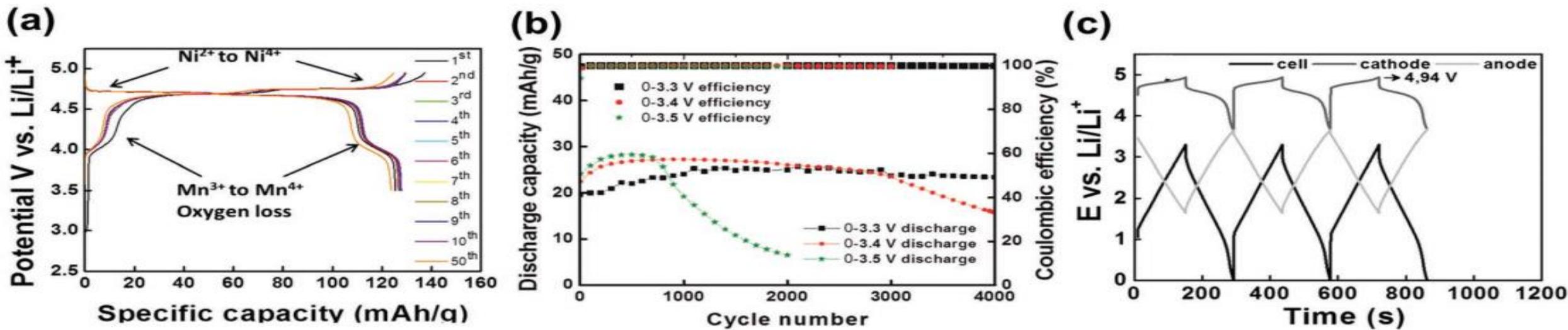
LIC	对比项目	NHC
活性炭	正极材料	活性炭+高锂金属氧化物, CNT
石墨、硬炭、软炭等	负极材料	硬炭CNF, CNT
必需	预嵌锂工艺	不需要
锂盐/EC, PC	电解液	锂盐/PC, DMC, AN等
高于EDLC	直流内阻	接近EDLC内阻
多孔铝箔、铜箔	集流体	铝箔/铜箔
-30°C	低温性能	-30°C

公司	类型	电容量(F)	电压(V)	直流内阻(mΩ)	质量比能量(Wh/kg)	质量比功率(kW/kg)
中车新能源	电池电容	60000	3.6	0.4	39	1.8



# 6.1 LMO-AC//HC体系

## LNMC// AC



$\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$  cathode

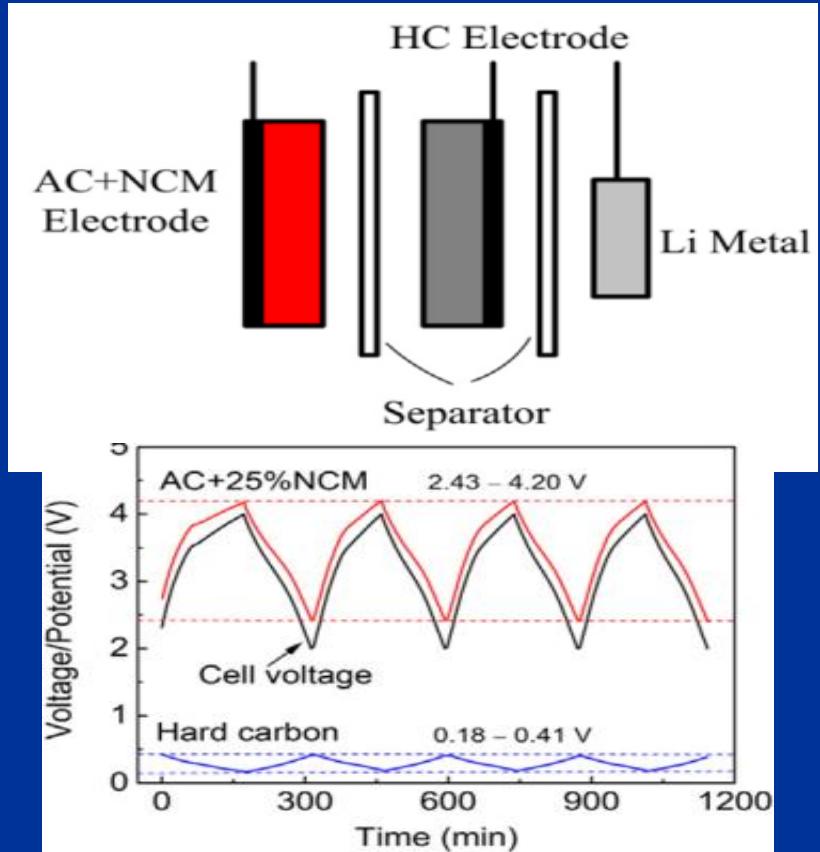
AC // $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$

3.3V AC // $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$  after 3000 cycles

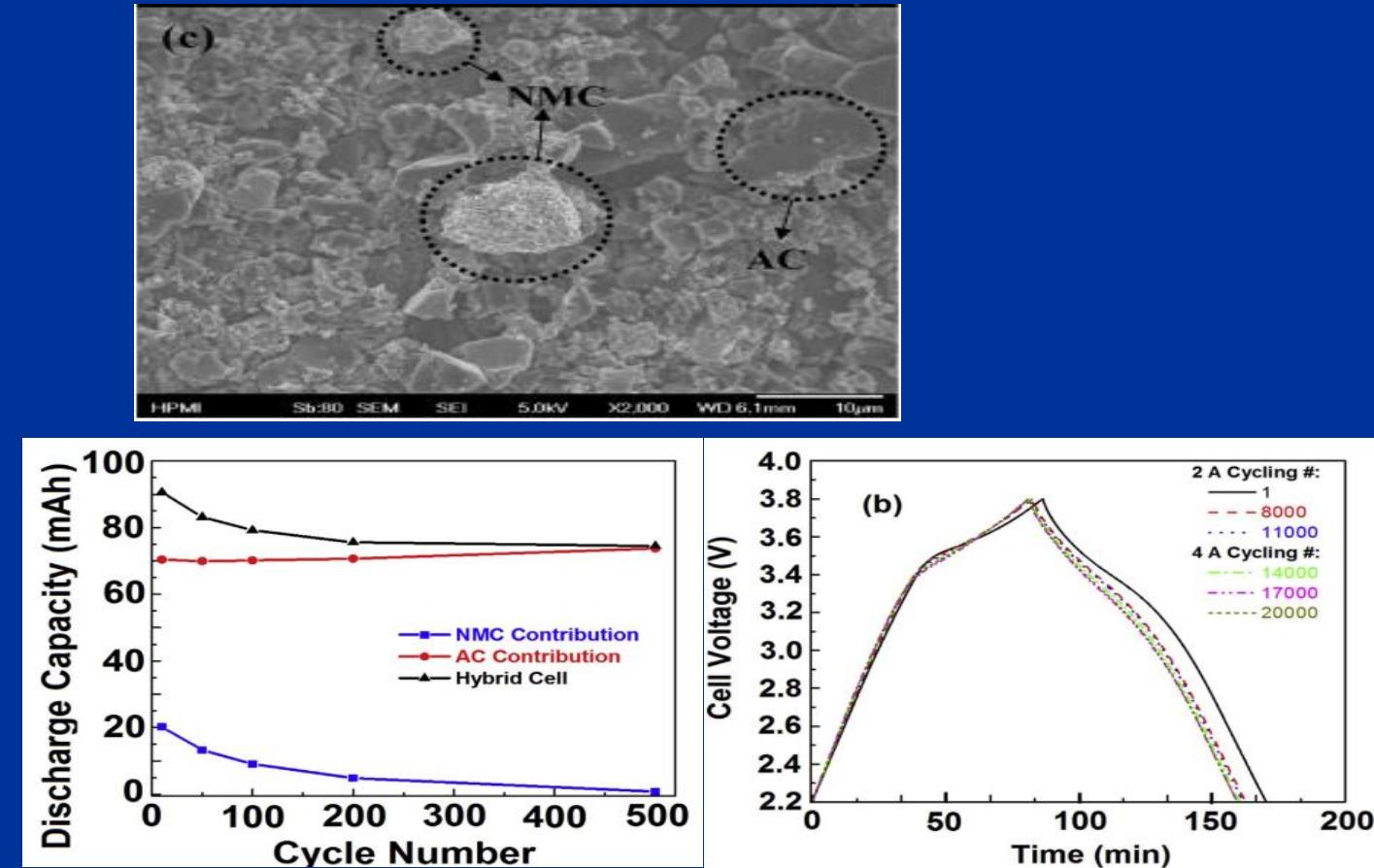
A. Brandt, Menne, M. Winter, A. Bhaskar, J. Electrochem. Soc. 2014, 161, A1139.

## 6.2 NCM-AC//HC体系

### NCM-AC//HC



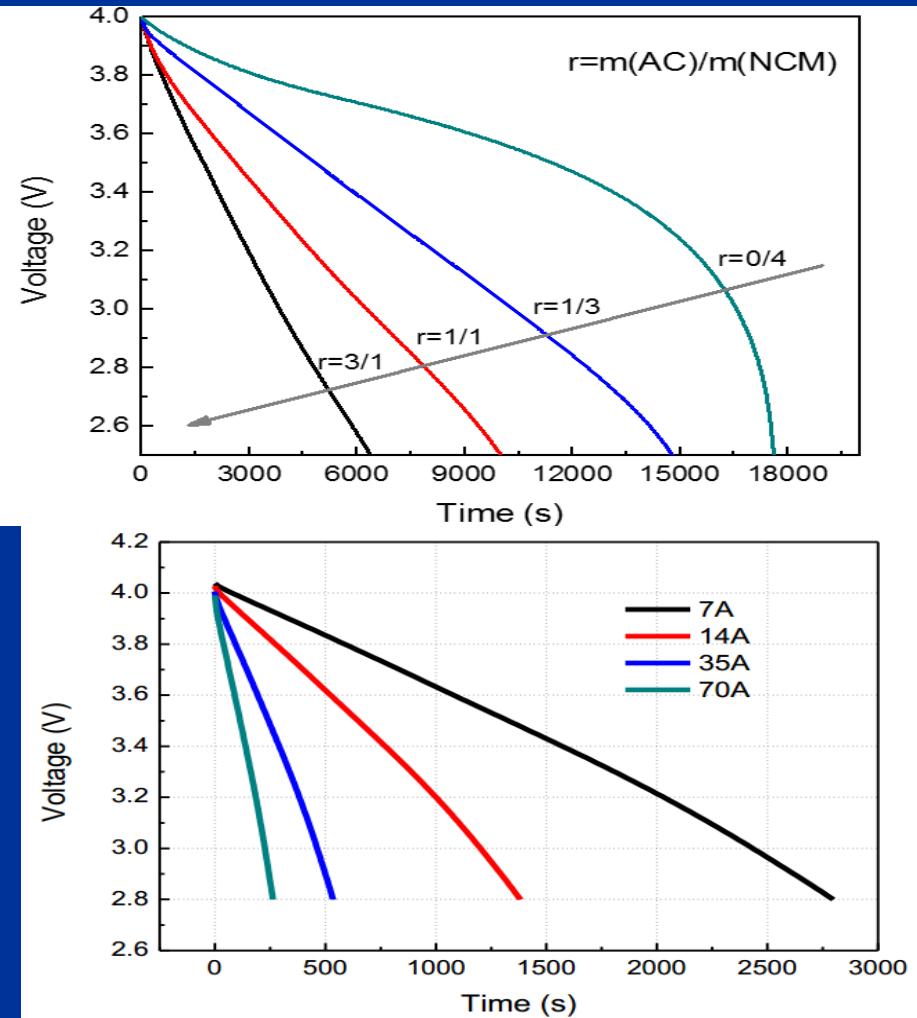
Sun X , Zhang X , Zhang H , et al.  
J Power Sources. 2014, 270(3):318-325.



Hagen M , Cao W J , Shelliheri A , et al.  
Journal of Power Sources, 2018, 379:212-218.

## 6.2 NCM-AC//HC体系

### Hi-energy SCs: From 3.8V to 4.0V



Cathode	Energy density (Wh/kg)	Power density (kW/kg)	Life duration (万cycles)	Cost
AC	15~26 (3.8V)	10 ~ 20	10~100	High
AC/NCM(LMO)=3/1	30~45 (4.0V)			
AC/NCM(LMO)=2/2	45~70 (4.0V)	10 ~ 25	5~50	Low
AC/NCM(LMO)=1/3	70~85 (4.0V)			

#### 核心技术：

- 通过设计AC/NCM (LMO) 配比自由调控能量-功率耦合关系特性；
- 水系AC与油系NCM (LMO) 实现同体系匀浆与涂布；
- 引入NCM (LMO) 后仍能保持高倍率下的长寿命特性。

# “电池型” 电容器的应用

## THEORY OF NEW ENERGY BUS 新能源公交理论



- 快充轻载的设计思路，只需装载一趟的电量
- 电池组比锂电客车轻1.3吨，整车重量轻，相当于载客量多20人
- 回收能量多，整车能耗低
- 5-8min充满，24h不间断运营
- 分布式智能充电，场地利用率高，无需夜间看守



长客武汉东湖线（100%低地板，全程无触网）



中铁工程机械研究设计院和上海奥威联合打造的80吨超级电容编组列车平道最大牵引达3500吨，能够胜任4%的大坡道重载荷的牵引要求，为国内同类型机车之最。

# Part 03

## 物联网技术简介

### 3.1物联网与互

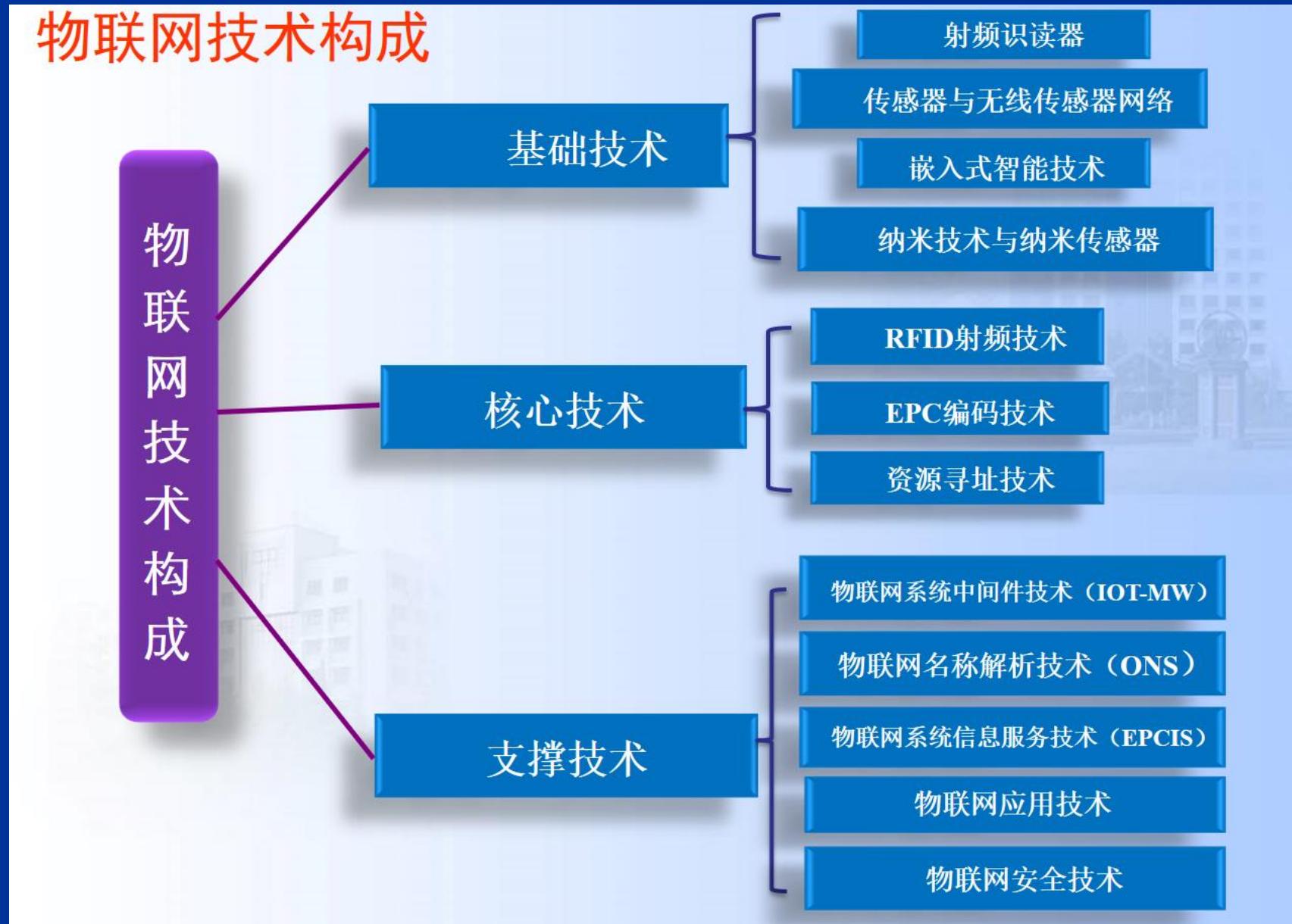
物联网（Internet of Things，简称 IoT）是指通过各种信息传感设备，按约定的协议，实现对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的网络。”，是通过按约定的协议，实现对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的网络。

两者联系  
3、技术上的相  
维网将成为物联网

物联网的



## 3.2 物联网技术构成



### 3.3 物联网的发展概括

**中国：2009年8月 感知中国**

美国：2008年底 IBM向美国政府提出的“智慧的地球”战略

- 强调传感等感知技术的应用，提出建设智慧型基础设施

欧盟：2009年6月 物联网行动计划

- 具体而务实，强调RFID的广泛应用，注重信息安全

日本：2009年8月 i-Japan战略

- 在u-Japan的基础上，强调电子政务和社会信息服务应用

**对我国启示**

- 依靠技术革命，调整产业结构，转变经济增长方式，应对世界新技术革命的挑战
- 学习和借鉴发达国家的各种泛在网络战略，进一步推进信息化战略，在下一轮信息化革命中占据制高点

**共同点：**

- 融合各种信息技术，突破互联网的限制，将物体接入信息网络，实现“物联网”
- 在网络泛在的基础上，将信息技术应用到各个领域，从而影响到国民经济和社会生活的方方面面
- 未来信息产业的发展在由信息网络向全面感知和智能应用两个方向拓展、延伸和突破。

## 3.4 物联网技术应用

### \* 智能家居



## 3.4 物联网技术应用

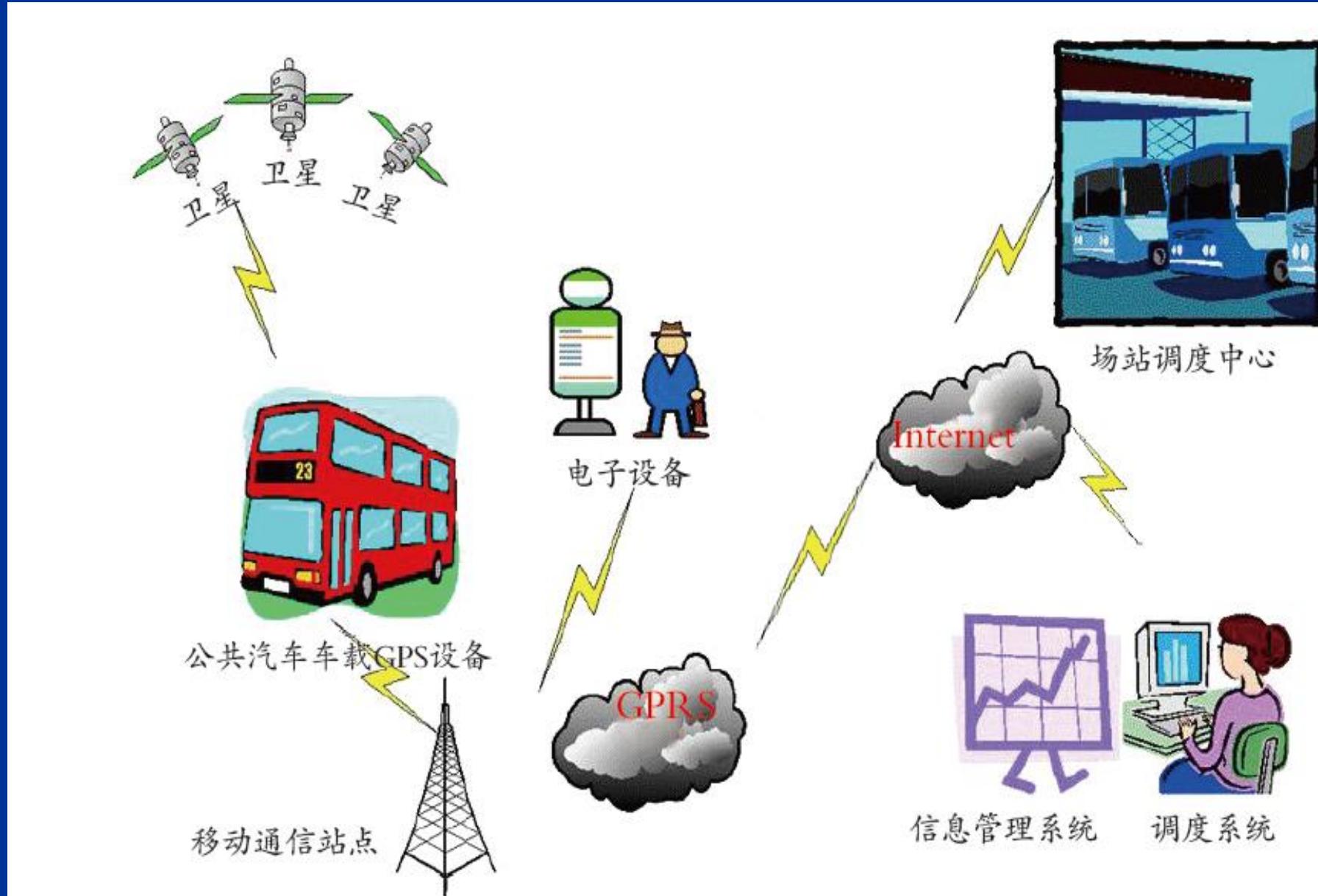
### \* 智能农业



## 3.4 物联网技术应用

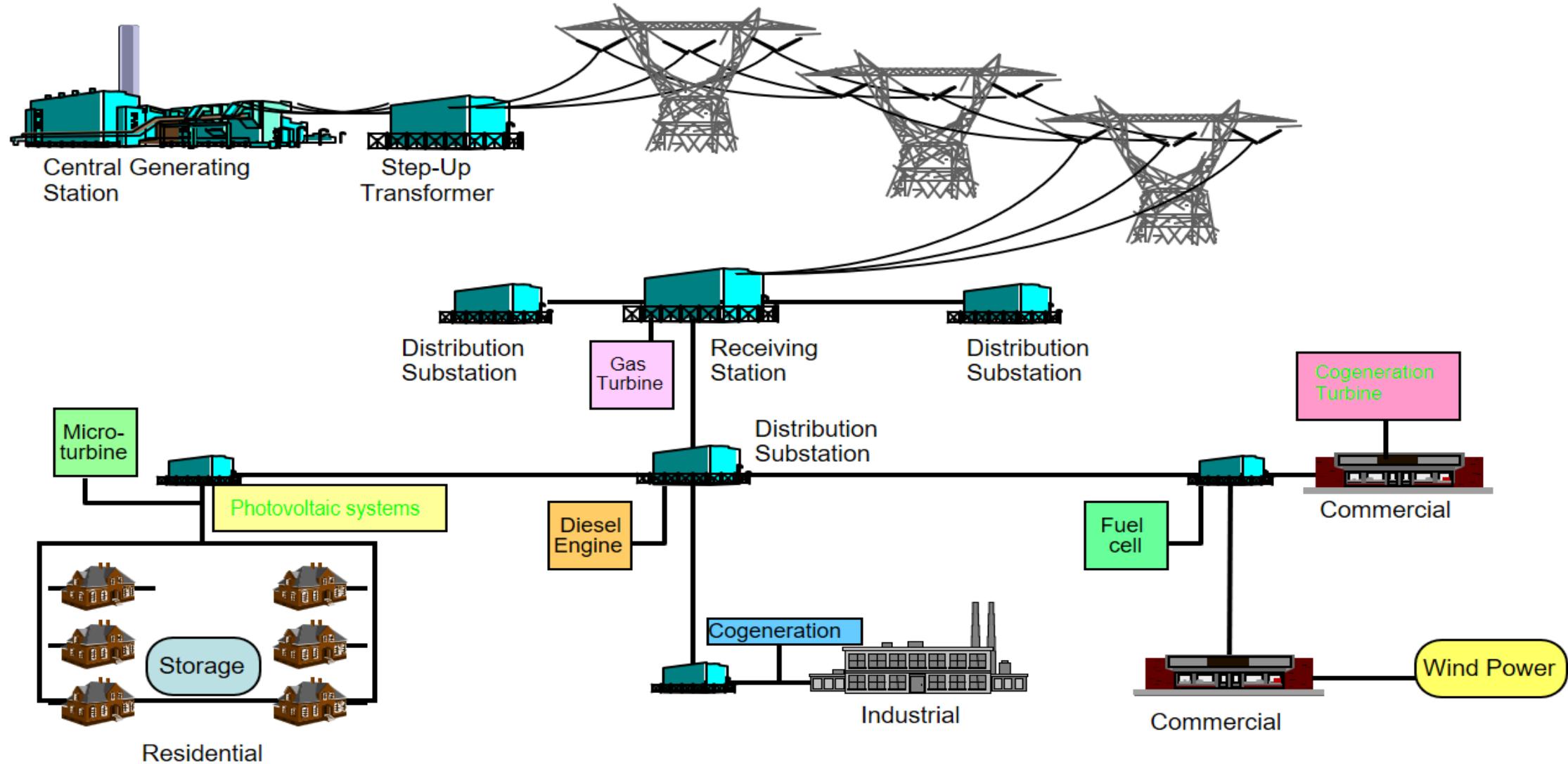
### \* 智能医疗



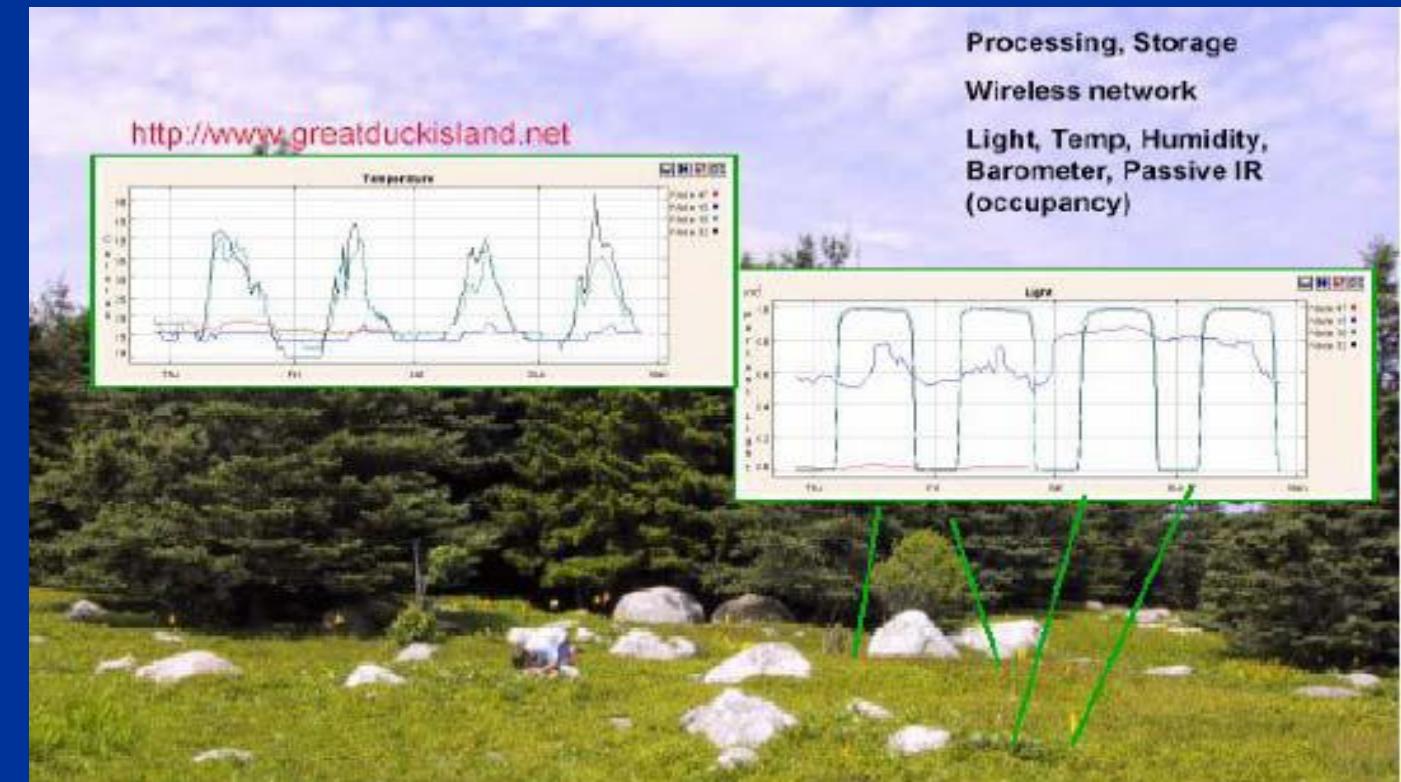


### 3.4 物联网技术应用

## 电力系统



2002年，由英特尔的研究小组和加州大学伯克利分校以及巴港大西洋大学的科学家把无线传感器网络技术应用于监视大鸭岛海鸟的栖息情况。位于缅因州海岸大鸭岛上的海燕由于环境恶劣，海燕又十分机警，研究人员无法采用通常方法进行跟踪观察。为此他们使用了包括光、湿度、气压计、红外传感器、摄像头在内的近10种传感器类型数百个节点，系统通过自组织无线网络，将数据传输到300英尺外的基站计算机内，再由此经卫星传输至加州的服务器。在那之后，全球的研究人员都可以通过互联网察看该地区各个节点的数据，掌握第一手的环境资料，为生态环境研究者提供了一个极为有效便利的平台。



大鸭岛生态环境监测系统

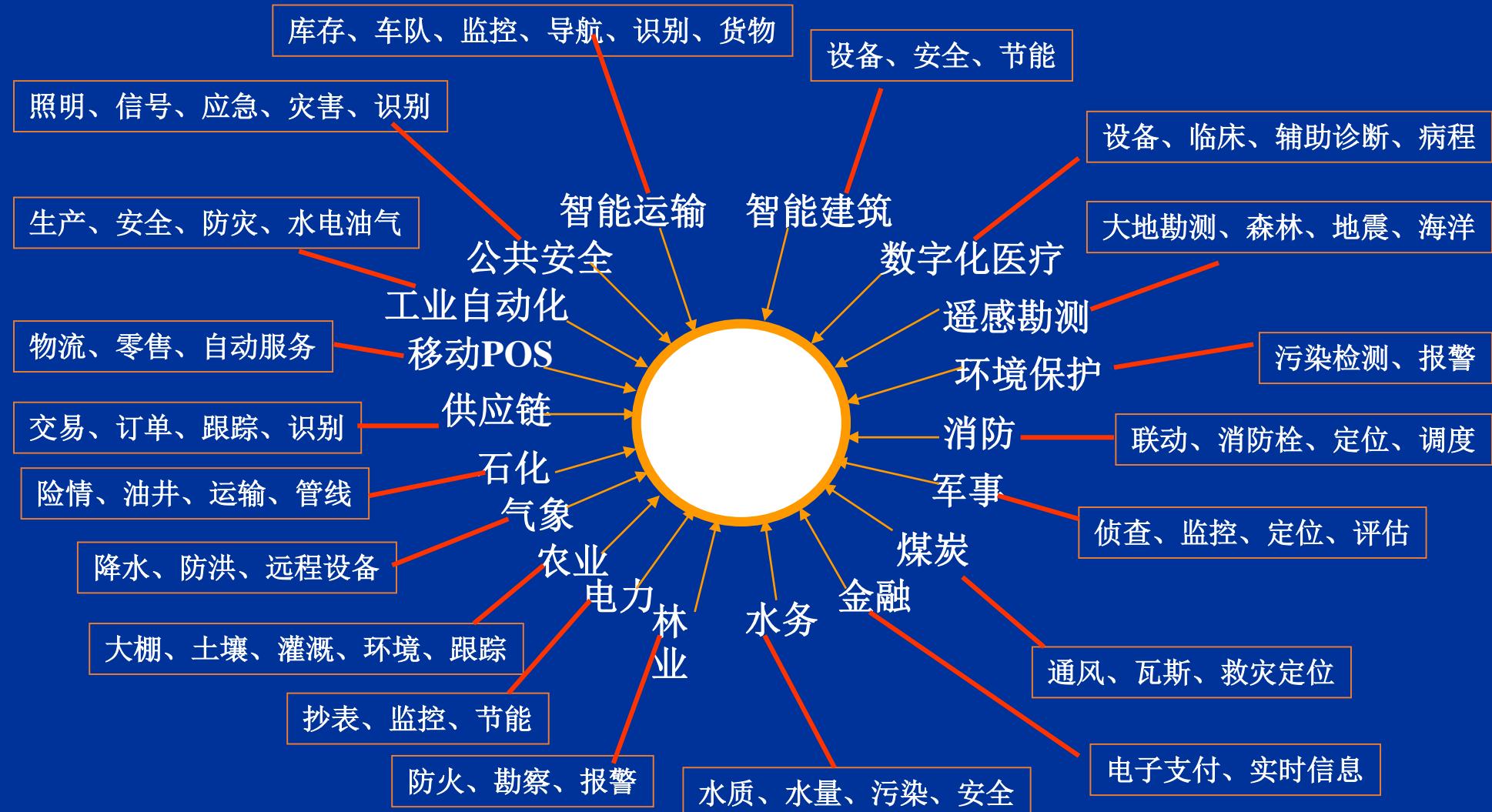
## 3.4 物联网技术应用

### 文物保护

对珍贵的古老建筑进行保护，是文物保护单位长期以来的一个工作重点。将具有温度、湿度、压力、加速度、光照等传感器的节点布放在重点保护对象当中，无需拉线钻孔，便可有效地对建筑物进行长期的监测。此外，对于珍贵文物而言，在保存地点的墙角、天花板等位置，监测环境的温度、湿度是否超过安全值，可以更妥善地保护展览品的品质。



## 3.4 物联网技术应用



# Part 04 | 化学储能与物联网融合及共生

# 4.1 新能源是信息化/智能化 /数字化的底层支撑

引领多种技术范式升级及变革



信息技术+人工智能+新能源

物联网、车联网、能源互联网生态系统



信息与能源互联网时代马斯洛层次需求理论

## 4.2 智能化微电网技术

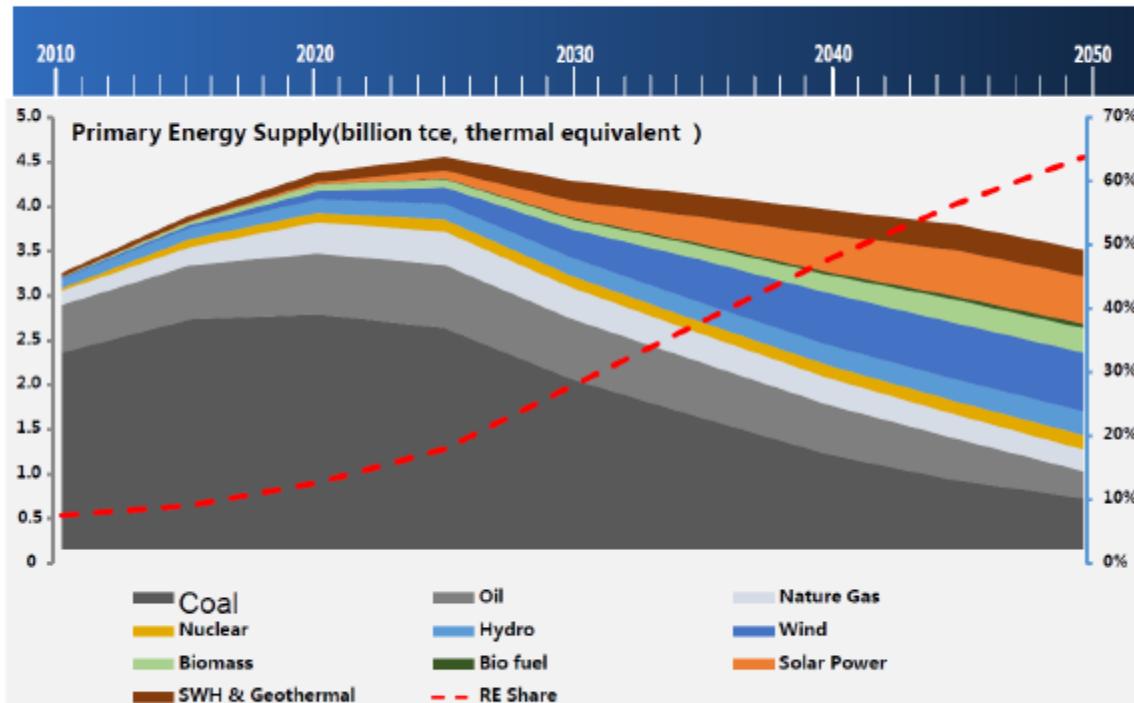
微电网是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等按照一定的拓扑结构组成的小型发配电系统。

微型    清洁    自治    友好

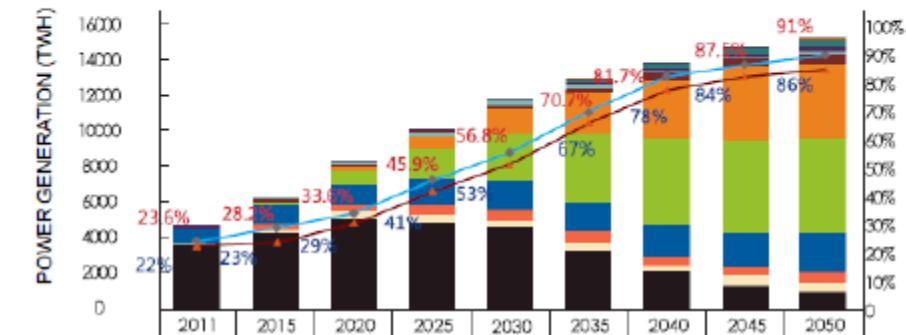


# 中国未来能源消耗预测

## China's Primary Energy Consumption



## Electricity



	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Ocean energy						4	4	4	4
Geothermal power						30	90	90	90
Biomass pellets power						80	180	202	202
Straw and stalks power	10	20	59	87	129	187	244	283	297
Biogas power	1	63	118	118	118	118	111	126	139
Municipal Solid Waste power	12	30	50	75	112	197	315	413	462
Solar power	5	61	228	718	1496	2445	3400	4214	4310
Wind power	97	252	753	1513	2595	3904	4741	5130	5350
Hydropower	889	1031	1221	1620	1794	1790	1851	2014	2187
Nuclear power	88	300	354	449	463	484	544	569	649
Oil power	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Natural gas power	67	267	522	559	563	553	524	467	466
Coal power	3508	4223	4994	4868	4566	3263	2018	1387	1038

@中国发改委能源研究所，2015年4月

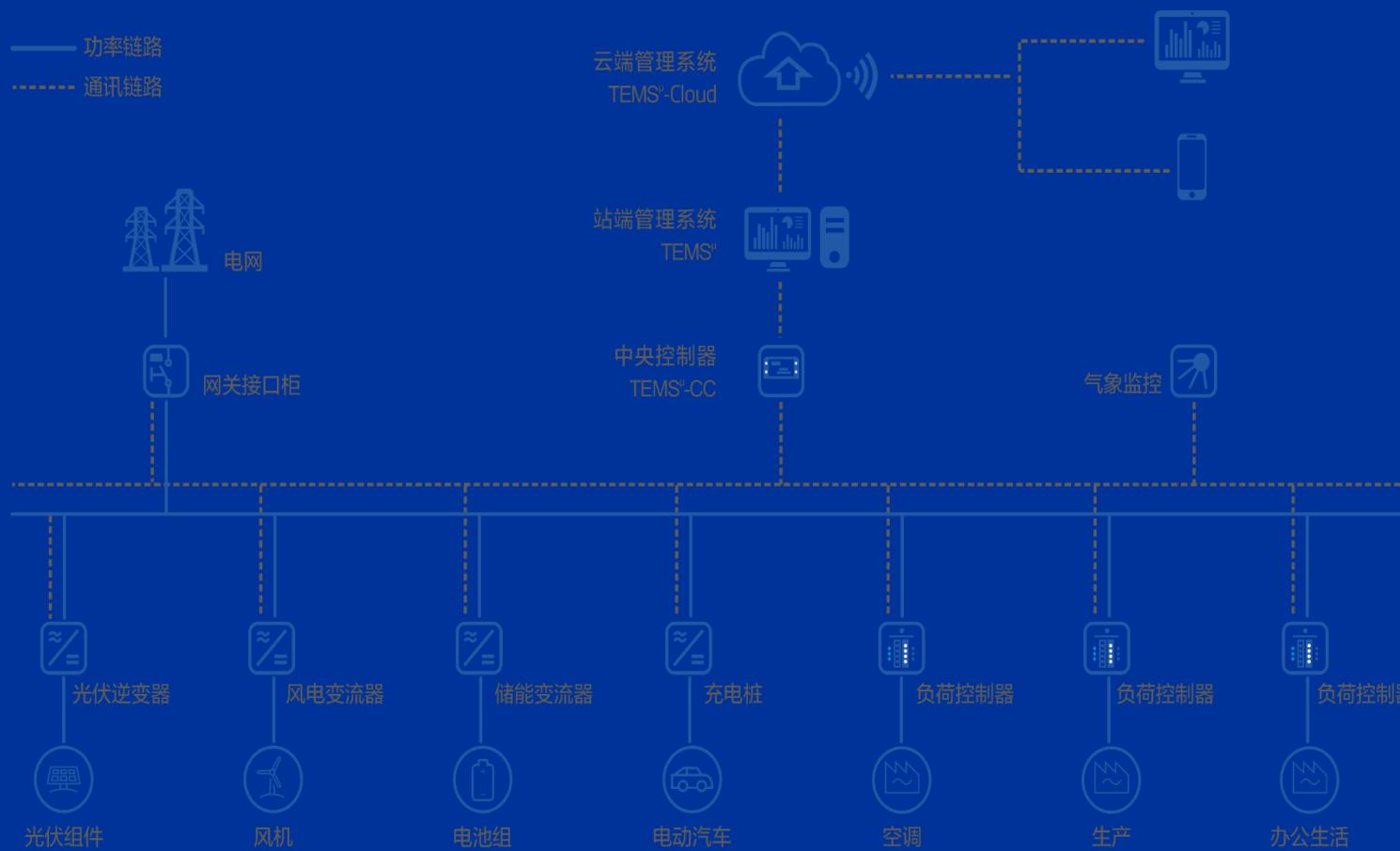
■ 2025能源消费到达峰值

■ 2050:新能源比例占能源消费66%

- 电力占终端能源消费的62%
- 91%电力来自新能源

## 4.3 离、并网型微电网系统

- 管理层：三层、双端微网能量管理系统（TEMS<sup>μ</sup>）
- 执行层：光伏逆变器、储能变流器、电化学储能等全系列电力电子设备

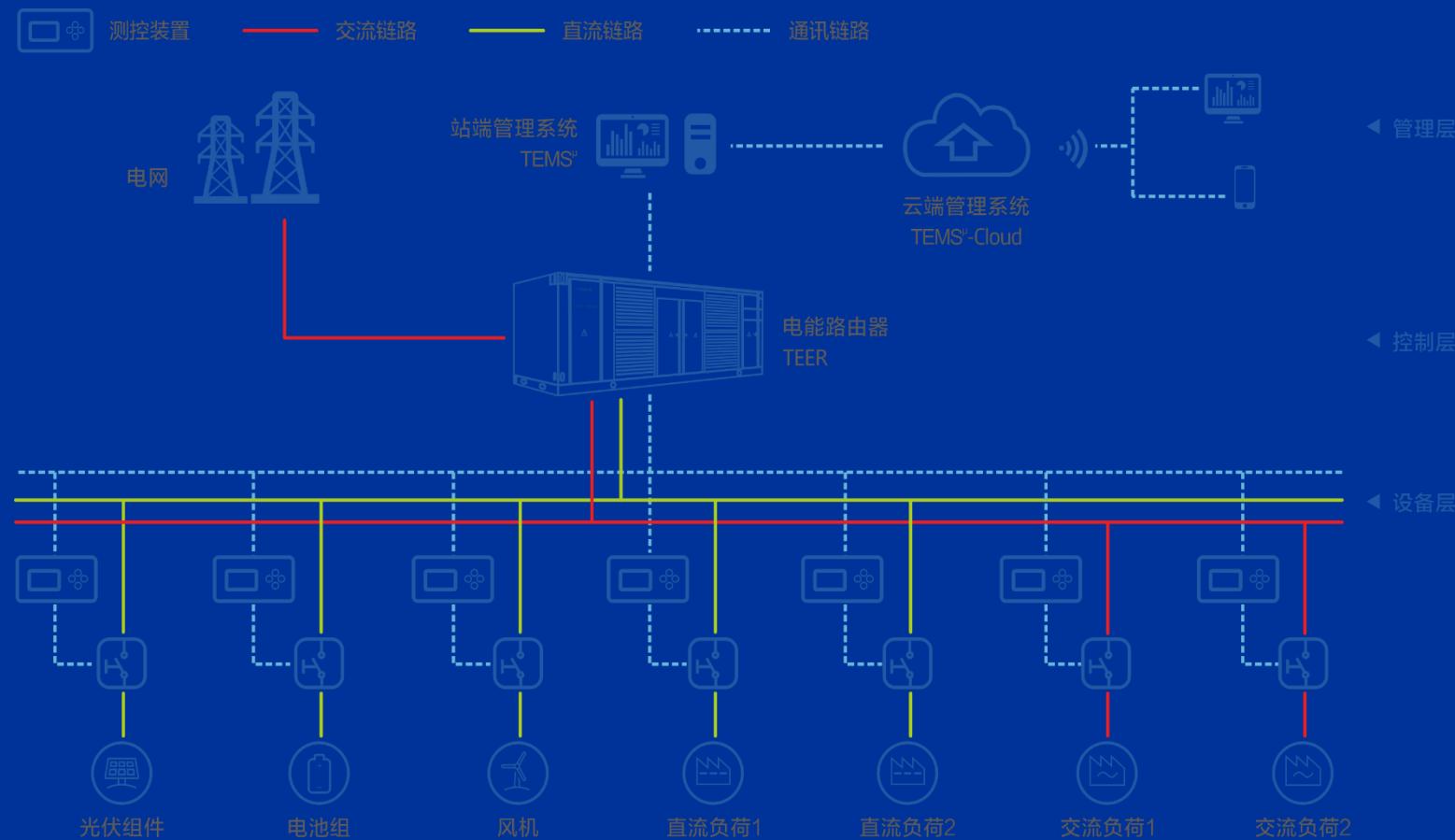


### 方案价值

- “基础+电度” 双重降费，经济绿色双赢，降低园区综合用  
电成本
  - 降低基础容量，减少基础电费
  - ✓ 赚取峰谷电价差，减少电度电费
  - ✓ 提升光伏自发自用比例，最大化利用可再生能源
  - ✓ 用能精细化管理，节约用电
- 离并网稳定切换，提高供电可靠性，降低停电成本（**超级UPS**）
- 友好接入电网，提供辅助服务

## 4.4 交直流混合微网

- 微电网的“网-源-荷-储”由电能路由器统一接入，效率高；并离网无缝切换，稳定可靠
- 采用能量路由器替代传统逆变器、储能变流器、网关接口柜和中央控制器，高度集成了一、二次设备



### 方案价值

- 交直流双路供电，提高供电可靠性
- 减少电能变换环节，降低损耗  
(最大降低5.0%，平均2.5%)
- 提高设备利用率，减少电缆使用，
- 系统高度集成，缩短施工周期
- IRR提升1%

# Part 04 | CAPT-容创未来简介



# 4.1 超级电容器方向研究历程



活性炭的研究

涂布法炭电极

活性炭中试  
“双炭离子插层”  
博士后基金项目：  
200801213  
20080430730

无溶剂法 炭电极  
“双炭离子插层”电容器  
天津市支撑计划：  
09ZCKFGX02400  
国家自然基金：50902102

锂离子电容器  
双炭电极电池/电容器体系  
863项目：2011AA11A232  
国家自然基金：51172160

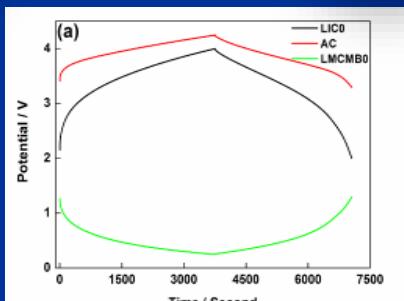
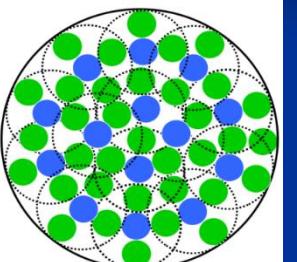
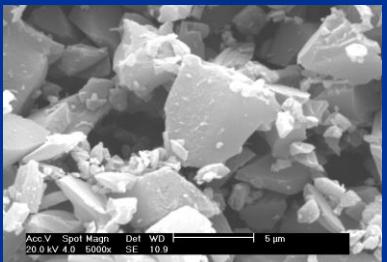
2004

2006

2008

2010

2012



活性炭技术

“干法”电极技术

高耐压电解液技术

双电层结构控制

预锂化控制技术

2022

2020

2018

2016

2014

3.2V圆柱形超级  
电容器的产业化  
工艺研究

新型季铵盐类电解质  
及其高电压研究  
国家自然基金：  
2217090549

石墨烯超级电容  
器的设计与应用  
研究  
广东电网电力研  
究院示范项目

双电层/锂离子电容器产  
业化工艺研究  
超级电容器专用活性炭产  
业化研究  
市项目：15ZCZDGX00270  
14RCHZGX00859

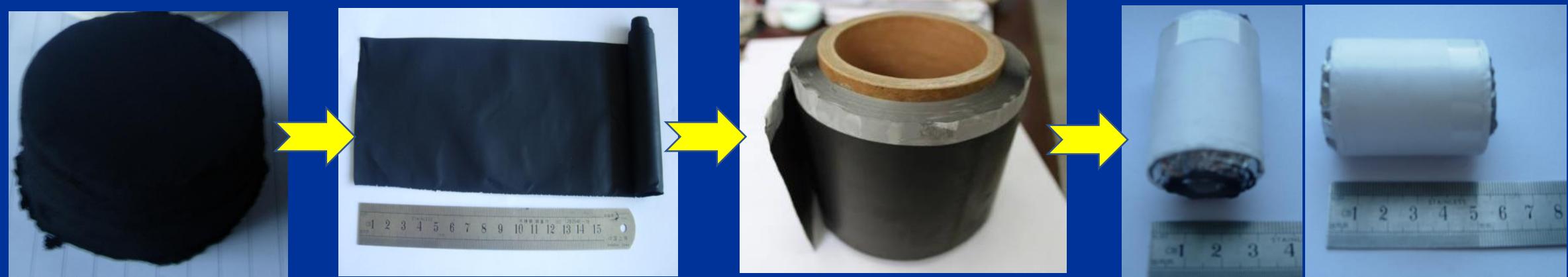
高比能、低成本的双电层  
电容器  
863项目：2013AA050905

## 4.2 核心技术——(1) 干法炭膜电极制备技术

CDI：电容去离子技术



EDLC：双电层电容器



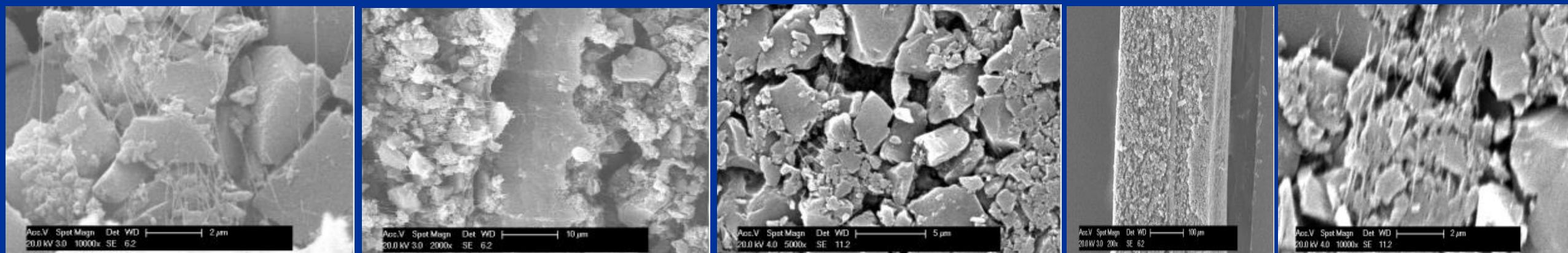
“纤维化”

“干法” 活性炭膜

活性炭膜复合电极

活性炭 “电芯”

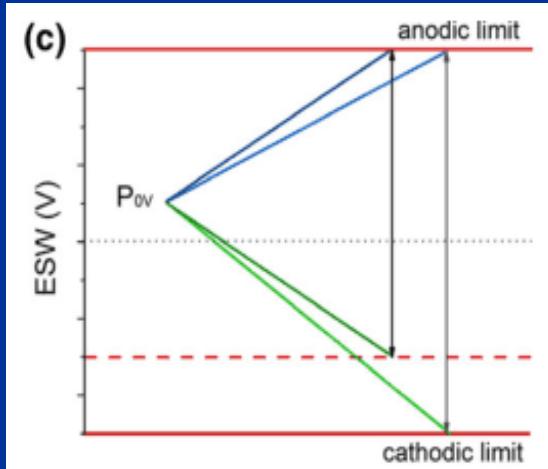
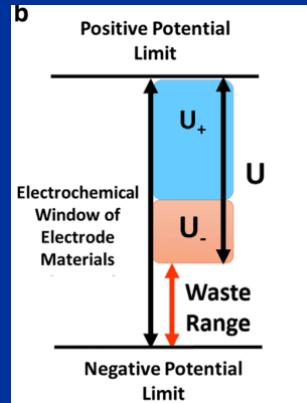
活性炭 “干法” 膜电极制备的工艺流程图



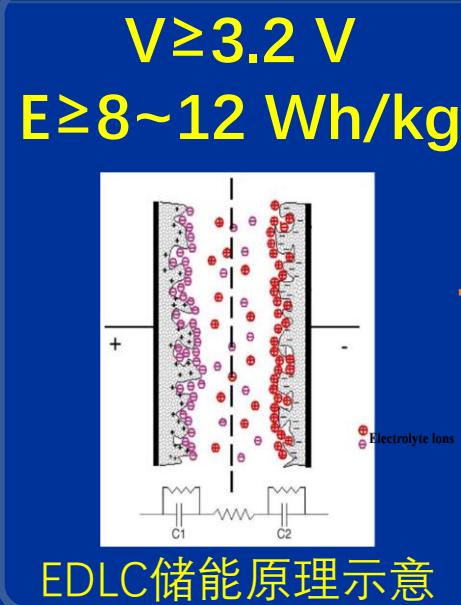
干法炭膜电极的微观SEM图

## 4.2 核心技术——(2) 高电压平衡技术

$$E=1/2CV^2$$

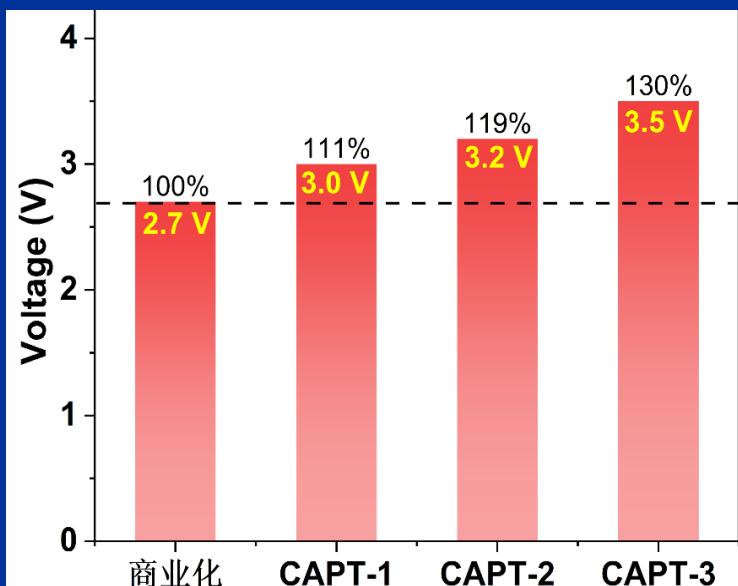


电压平衡技术

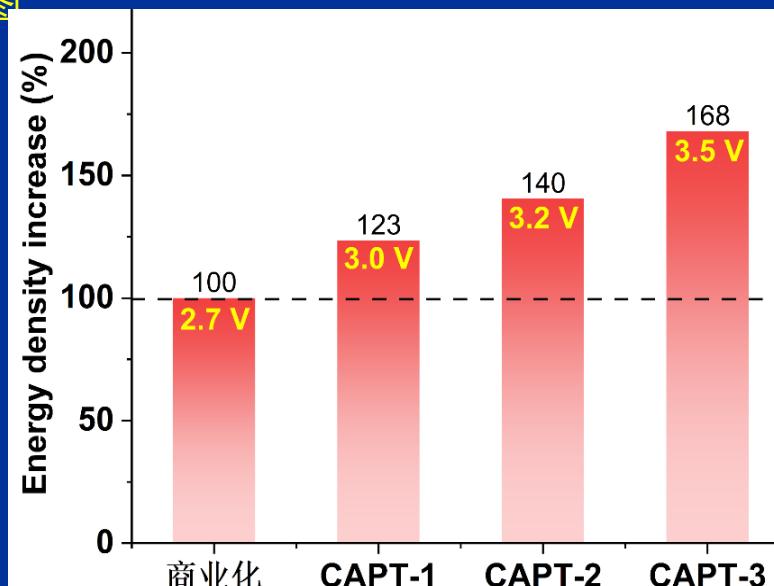


- 1.高耐压多孔炭设计
- 2.粘结剂
- 3.炭电极设计
- 4.正/负极的结构控制
- 5.正极/负极电压均衡化
- 6.新型电解液开发及应用

高工作电压



高能量密度



## 4.2 核心技术——(3) 超低温(-60°C)电解液技术

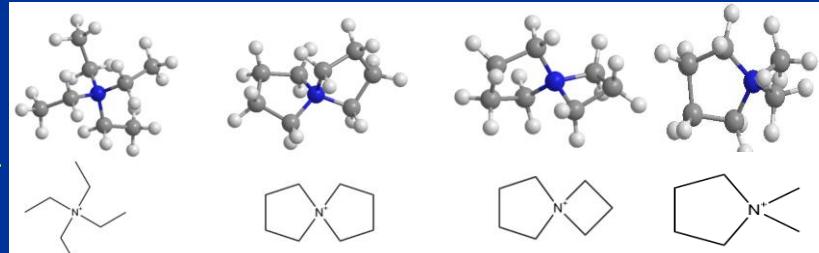


极寒天气



空间宇航

### 超低温电解液



Cation	TEA	SBP	AP	P11
Length(Å)	7.36	7.29	6.85	6.46
Height(Å)	7.16	5.27	5.07	4.87
Volume(Å³)	123	114	98	89

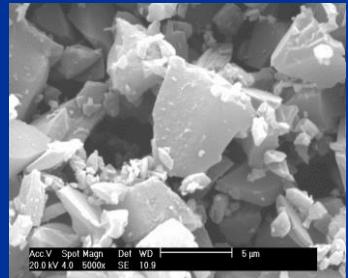
- 低温工作范围 (-30°C) 比锂离子电池更宽
- 低温性能差 (< -30°C)
- (比容量和能量密度随温度降低而大幅下降)
- 超级电容器在某些极端条件 (< - 60°C) 下完全可用



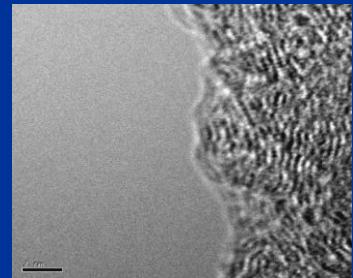
超低温(-60°C)电解质盐(液)合成与制备

## 关键材料及核心技术

### 关键材料



活性炭技术



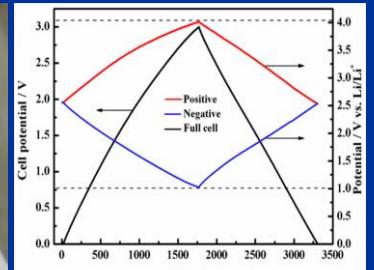
高耐压微晶炭技术

### 电极技术

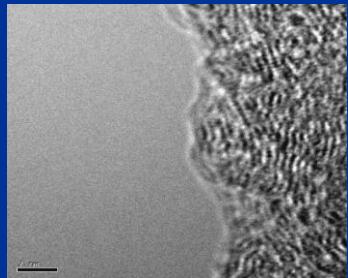


“干法”电极技术

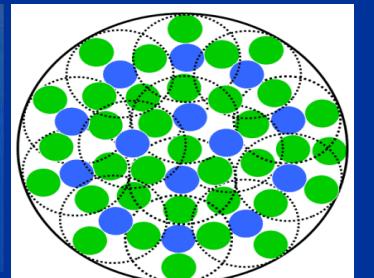
### 器件技术



电压平衡技术



高耐压电解液技术



双电层结构控制

## 超级电容器中试及产业化工艺技术



混浆



涂布



连轧辊压



分切



卷绕



检测



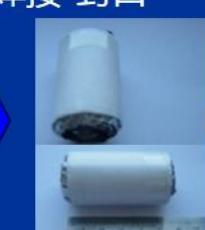
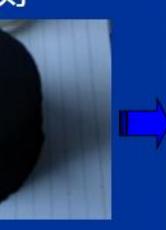
化成



焊接-封口



连续注液



生产流程：混浆→涂布→辊压→分切→卷绕→入壳→注液→封口→套管→化成→检测→包装出厂

## 4.4 技术成果



2.7伏、3.0伏、3.2伏和3.8伏四个电压系列  
纽扣型、引针型、牛角型、全极耳100种产品单体、模组与系统



V型



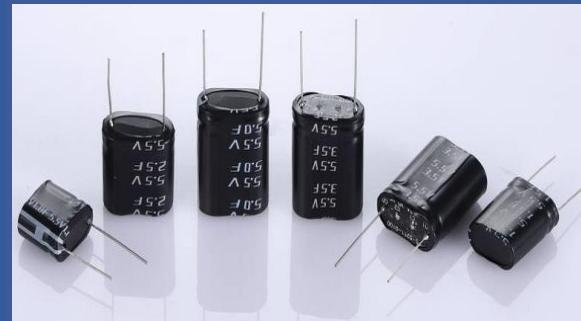
H型



C型



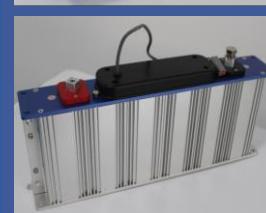
纽扣型EDLC  
5.5V/6.0V



引针圆柱型EDLC  
2.7V/3.0V/3.2V  
5.5V/6.0/6.4V模组



锂离子电容器  
3.8V-LIC



模组产品  
12~800V

# 4.5 知识产权、获奖及标准



专利情况：12项；授权3项



## 获奖情况：

- 1.中国电工技术学会科学技术奖二等奖；  
高能量密度新型锂离子超级电容器的研制。(2018)
- 2.第一届全国博士后创新创业大赛总决赛创新组银奖；  
新一代超快充储能器件——高比能超级电容器产业化，2021年12月；
- 3.第十一届全国创新创业大赛（天津赛区）一等奖——新一代超快充储能器件——“双碳”基高比能超级电容器产业化项目，2022年8月
- 4.第二届天津市“海河英才”创业大赛海外人才创业赛二等奖，  
2021年9月。
- 5.天津市博士后揭榜领题赛三等奖——新一代超快充储能器件——“双碳”基高比能超级电容器产业化项目，2022年。
- 6.2022中国无锡“太湖杯”国际精英创新创业大赛三等奖。(2022)

## 标准制定（11项）：

牵头：行业标准1项、团体标准1项；  
参与：行业标准1项、团体标准8项。

## 4.6 产业化落地-全国布局及规划

# 容创未来 (天津) 新能源有限公司



## 4.6 产业化落地-全国布局及规划

1亿只/年产能

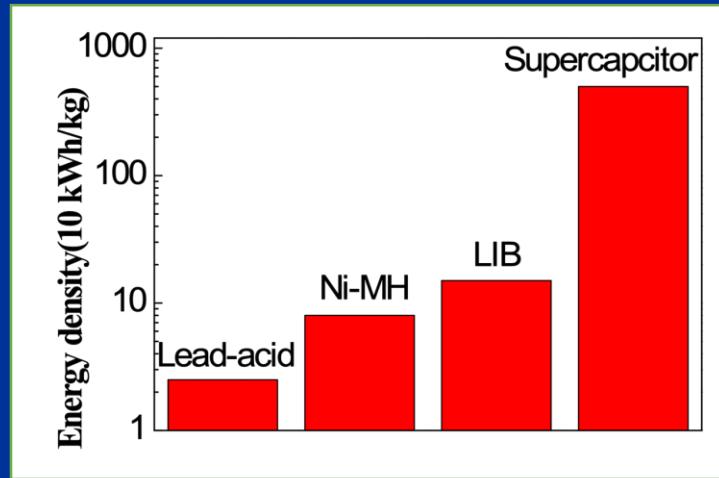




# Part

## 5. 超级电容器与物联网技术的融合应用

# 5.1 市场规模



典型储能器件全寿命周期储存的总能量

图表8 全球超级电容器的市场规模 (单位: 亿美元)



BP Energy Outlook 2016 edition;  
中国产业信息网; 中国知网; 平安证券研究所

据英国分析机构IDTechEx预计，2016年全球超级电容器市场规模达到200亿美元，到2025年超级电容器市场将超过1000亿美元，年均复合增长率达到29%。

## 中国超级电容器产业：

2018-2021年，年复合增长 > 30%。

2021-2027年，年复合增长 > 20%。



《超级电容产业白皮书2022》 2022.9.03

# 5.2 发展中的市场



## 目标市场

01 智能四表  
(水/电/气/热)



02 智慧物流  
(AGV/RGV)



03 智能电网  
(DVR/DTU  
/FTU)



04 储能市场



## 市场分析

市场规模: 30亿/年

市场规模: 100亿/年

智能电网/能源管理

市场规模: 1000亿/年

电网储能、工商业储能  
家庭储能

市场规模: 5000亿/年

## 市场策略

1. 锁定大客户

ABC电子 (国网) 南网xx(南网)  
安xx (最大民营)

2. 分包合作

.....

国产替代  
(高性价比/服务)

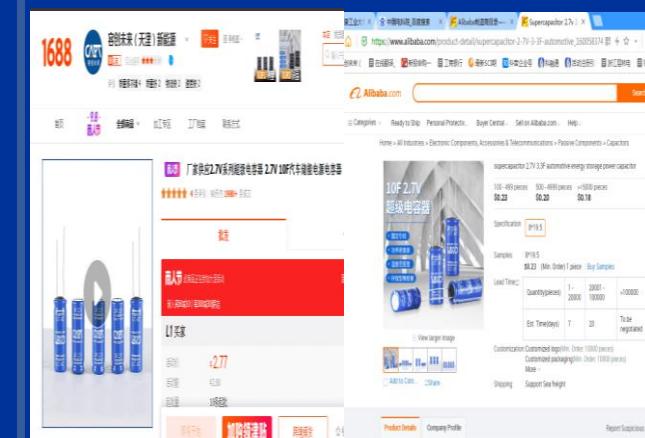
捆绑销售  
(高性价比/服务)

项目研发  
技术方案导入

## 线上销售模式



百度

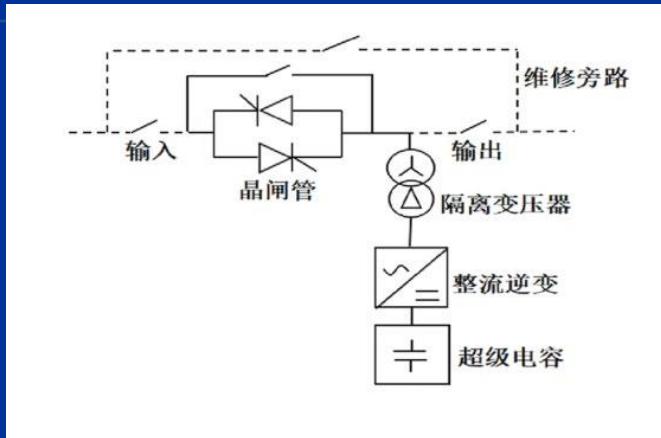


华强电子网

1688

Alibaba

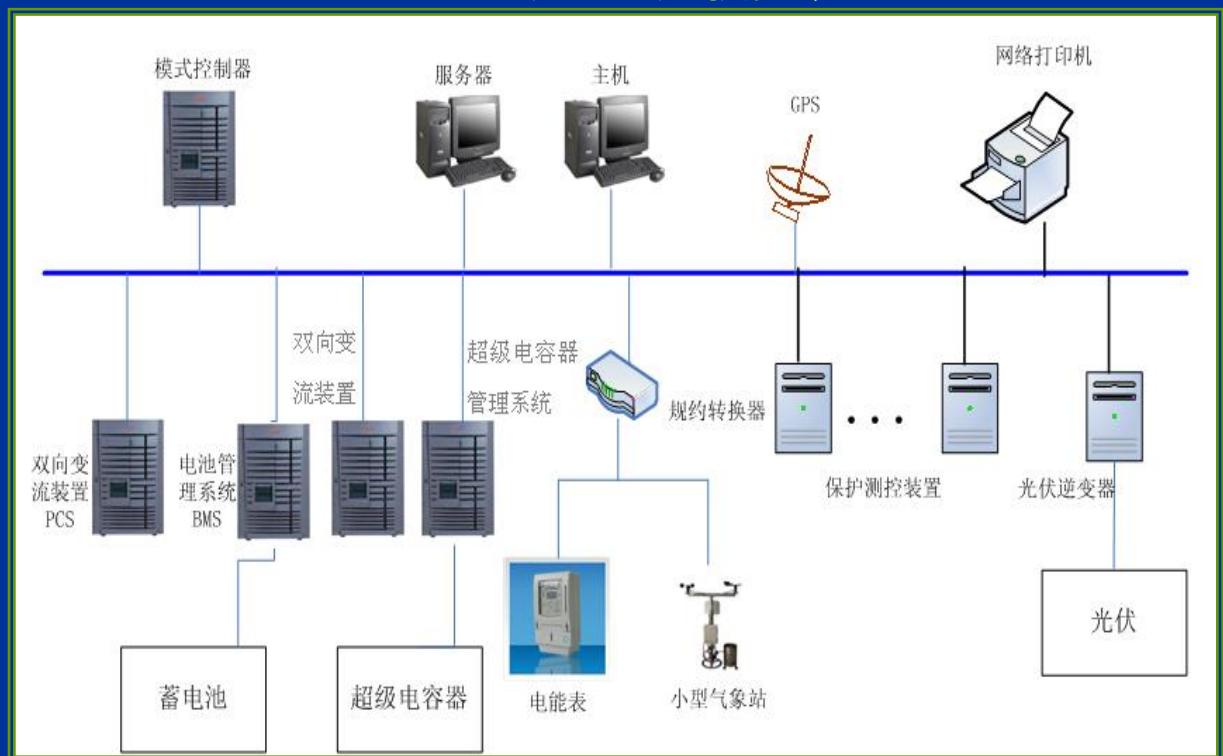
## 5.3 智能电网-局域微网



DVR 动态电压恢复装置



直流电压暂升暂降治理装置



### ● 提供短时供电

有助于从并网模式向孤网模式转换时两种模式的平稳过渡。

### ● 用作能量缓冲装置

可在负荷低落时储存电源的多余电能，在负荷高峰时回馈给微电网以调整功率需求；

### ● 改善微电网的电能质量

对于瞬时停电、电压骤升、骤降等暂态问题，利用超级电容器可提供快速功率缓冲，吸收或补充电能，提供有功功率支撑进行有功或无功补偿，以稳定、平滑电网电压波动。

### 华能投运全球容量最大储能调频系统

华能罗源发电有限公司 西安热工研究院有限公司

“5MW超级电容+15MW锂电池”的混合储能模式

8堆高效率超级电容和24堆高功率锂电池组成

耦合2台66万千瓦高效超超临界燃煤发电机组

#### 调频效果：

- ◆ 机组的调频响应时间可提高14倍以上
- ◆ 调节速率可提升4倍以上
- ◆ 调节精度可提升3倍以上
- ◆ 机组整体调节性能实现跃升



5MW超级电容器储能系统

## 5.5 电网储能：整流逆变



储能变流器连接于超级电容器组、储能电池组和电网（或负荷）之间，实现电能双向转换，既可以把超级电容器组和储能电池组的直流电逆变成交流电输送给电网或者交流复合使用，也可以把电网的交流电整流为直流电，给系统反向充电



大功率电源系统

- 利用超级电容器的超长循环寿命和充放电次数，以及超级电容器的快速容量响应特性，实现新能源发电功率和输出电压的稳定，提高新能源电网的供电品质。
- 利用混合储能的功率和能量优势，实现供电网络中的功率供给削峰填谷，提高电能质量及新能源利用率。



# 5.6 智能电网后备电源

## 风电变桨后备电源

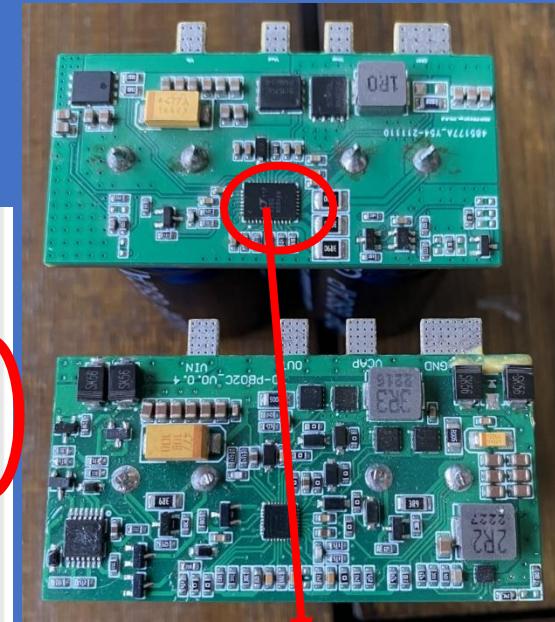
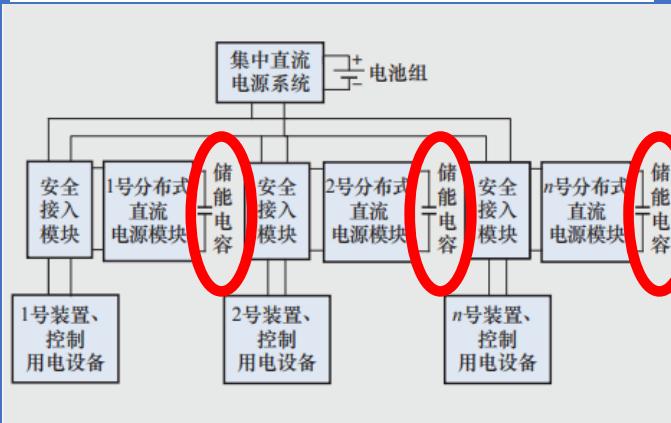
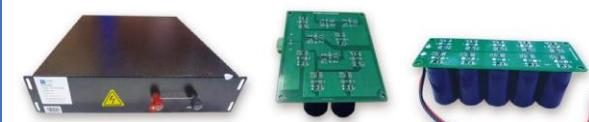


单体串并联方式	1并60串			
所需电压	160V			
所需容量/F	5.8	10	12	13

## 创新型直流屏后备电源系统

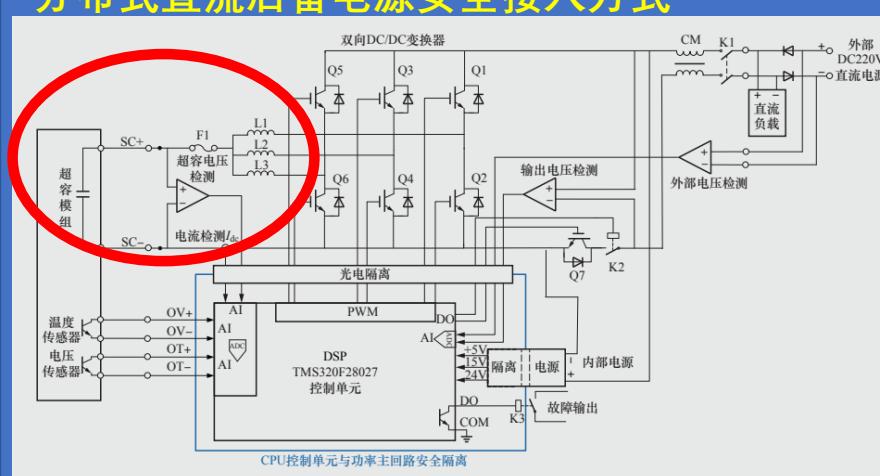


## 配网自动化终端智能后备电源



ADI芯片功能

- ◆ 高效率的同步降压CC/CV为1至4个系列超级电容器充电
- ◆ 备份时的升压模式提供了更大的超级电容器中储存的能量
- ◆ 14位ADC, 用于监测系统电压/电流、电容和ESR。
- ◆ 主动过压保护分流器 内部主动平衡器-无平衡电阻



直流后备电源原理

## 5.7 电能回馈电源



### 能量回收再利用

抽油机带动抽油杆上下往复运动，电动机会周期性的进入倒发电状态，如果倒发电功率较大，电能被反馈回电网，引起末端电网电压波动，造成谐波污染。而超级电容电能回馈电源可以实现对抽油机回馈能量的回收再利用，同时提高了系统的功率因数，降低线损，可以节约抽油机运行能量至少 20%，优化供配电网容量配置。

## 5.8 智能化表计

### 高速宽带载波智能电表

高频采集

断电数据上传

台区关系自动识别

.....



# 5.9 动力能源系统

智慧物流



智慧物流  
(AGV、RGV)

储能模组/系统

**48V/120V/200V**

广东LYH智能装备股份有限公司

物联网后备电源



超级电容器方案

直流输入: 9~58V

输出: 12V(恒压)

输出电流: 5A

时间: 10s (6s)

发热: 小

锂离子电池方案

直流输入: 9~58V

输出: 12V (不稳定)

锂离子电池: 60W

发热量: 大

安全性: 较差



## 六、总结

- 1.超级电容器是一种典型的可数字化能源技术，是一项具有能源革命意义的新技术；其广泛应用必将极大推进“泛能源互联网”时代的早日到来。
- 2.物联网技术是信息化、智能化、数字化推广的支撑技术。
- 3.未来以物联网技术、电化学储能技术等支撑的新型基础建设，具有显著的技术优势，发展前景广阔。

# 感谢各位同仁的聆听!





CAPT-容创未来：助力“双碳减排”，贡献美好生活！

## 【缔造赋能永动的超级电容器】



CAPT-微信号  
15822693987



容创未来-新能源有限公司