



China EV100
中国电动汽车百人会

中国电动汽车百人会论坛 2021
China EV100 Forum

新发展格局与汽车产业变革

AUTOMOTIVE REVOLUTION UNDER THE "DUAL CIRCULATION" DEVELOPMENT PATTERN

2021年1月15日-17日 中国·北京

January 15-17, 2021 Beijing, China

主办单位：中国电动汽车百人会

Hosted by: China EV100

协办单位：国家新能源汽车重点专项总体专家组

Co-hosted by: Expert's Group for National NEV R&D Program

清华大学

Tsinghua University

中国汽车工程学会

China Society of Automotive Engineers

中国汽车工业协会

China Association of Automobile Manufacturers

中国汽车技术研究中心

China Automotive Technology & Research Center

中国汽车工程研究院

China Automotive Engineering Research Institute

承办单位：车百会新能源汽车发展研究院

Organized by: China EV100 Research Institute of New Energy Vehicle Development

1. 迎接第三次能源革命，引发第四次工业革命

以蒸汽机为动力、煤炭为载体、火车为交通工具的第一次能源革命，让英国超过了荷兰；以内燃机为动力、汽柴油为载体、汽车为交通工具的第二次能源革命让美国超越了英国。

正在到来的第三次能源革命，以电池（光伏、锂离子、氢燃料）为动力、电和氢为载体、电动车为交通工具，也催生和加速了以绿色和智能为基础的第四次工业革命。

背景：动力变革与能源革命

每次能源革命都是先发明了新动力装置和交通工具，然后带动对能源资源的开发利用，并引发工业革命

◆ 第一次能源革命

动力：蒸汽机，能源：煤炭，能源载体：煤，交通工具：火车

◆ 第二次能源革命

动力—内燃机，能源—石油和天然气，能源载体：汽/柴油，交通工具：汽车

◆ 第三次能源革命？

动力：电池（光伏电池/锂离子电池/氢燃料电池），能源：可再生能源，能源载体：电和氢，交通工具：电动车

第四次工业革命：以可再生能源为基础的**绿色化**和以数字网络为基础的**智能化**



中国似乎有机会抓住这次变革超越美国。

2. 动力电池技术结构创新为主，材料改进为辅

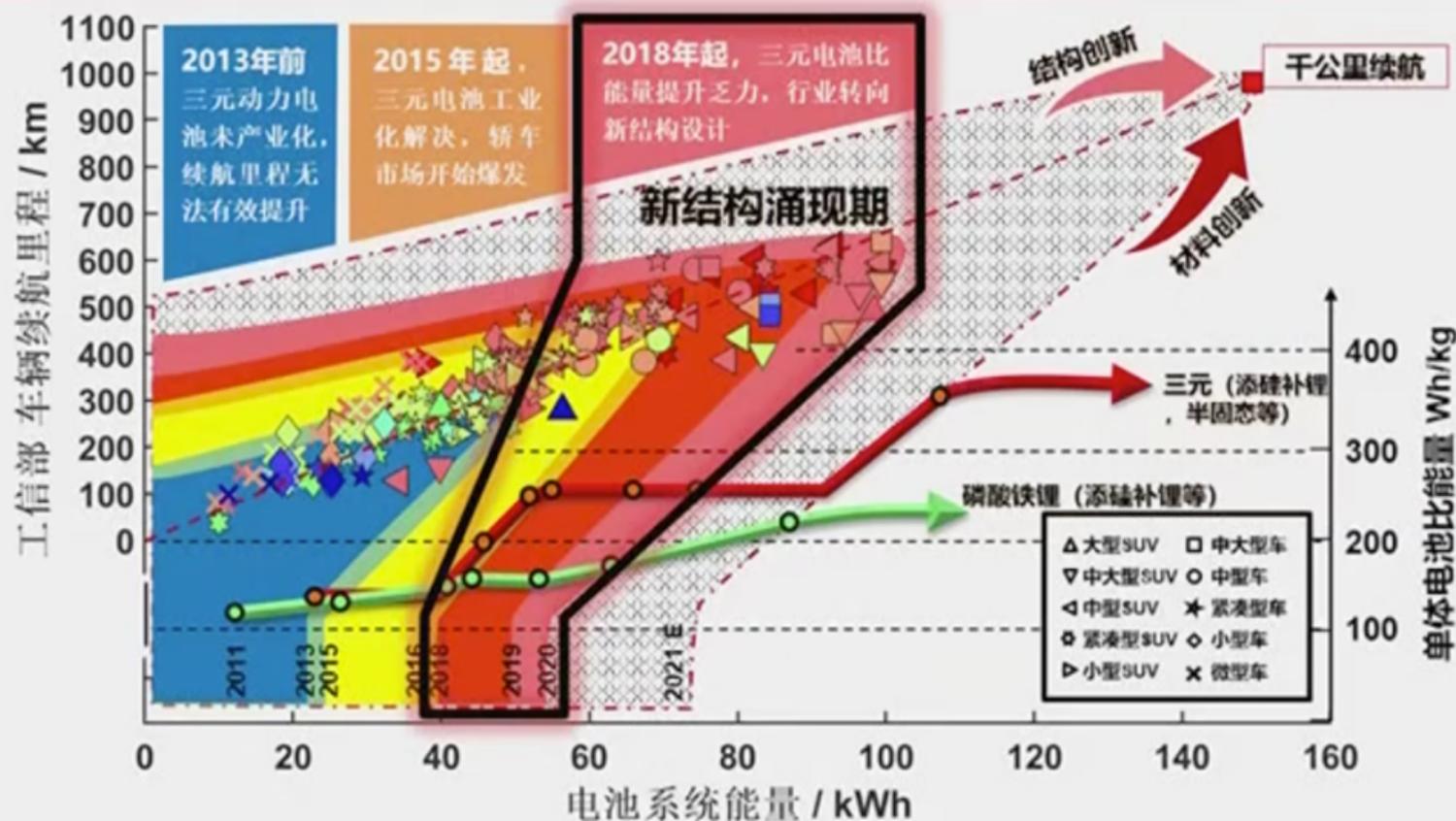
经历了从磷酸铁锂到三元锂电池的升级，这几年，中国动力电池的创新主要集中在结构上，代表为宁德时代的CTP、比亚迪的刀片电池和国轩高科J2M（卷芯到模组），而更加激进的MIV（模组到车）、CTV（电芯到车）等底盘电池概念还需要进一步研究。

材料体系上出现了低钴、添硅补锂、半固态等技术，但依然无法平衡能量密度、寿命、快充、安全、成本等性能，近年尚无大突破。

汽车人参考认为现有正负极材料体系能量密度300Wh/kg基本到顶，下一步就是固态电池的突破。

中国纯电动车动力电池技术创新活跃

- ◆ 中国动力电池技术创新模式从政府主导向市场主导转型, 从行业政治操作向公司商业运作转型;
- ◆ 电池材料创新要平衡比能量、寿命、快充、安全、成本等相互矛盾的性能指标, 近年尚无大突破;
- ◆ 电池系统结构大创新辅以电池单体材料小改进成为近年来中国动力电池技术创新的鲜明特征。



统计数据来源: 第一电动网, 所有(曾)市售电动乘用车; 作图与分析: 清华大学电池安全实验室

3. 电池低温续航开始受到关注

提高动力电池低温续航能力，可以降低行驶阻力，减少用电附件的能耗，或者提升动力系统能量转换效率，增加电池的容量，汽车人参考已进行过呼吁和解读，不再进行详细阐述。

低温续航问题改善途径

中国电动车环境适应性问题技术需求迫切，技术创新活跃

1. 电池热管理系统效能优化，提高冬季续驶里程

PTC加热

云端控制，提前预热

热泵空调

补气增焓，提升低温效能

电机激励加热

方案创新，提升性能、降低噪声

2. 面向冬季工况的动力系统废能综合利用

- 回收电机运行废热，用于电池加热
- 无法回馈至电池的制动电能可用于PTC加热，提高回馈制动占比

3. 充电场景下电池的插枪保温和脉冲加热

- ◆ 慢充桩插枪保温
- ◆ 快充桩脉冲保温

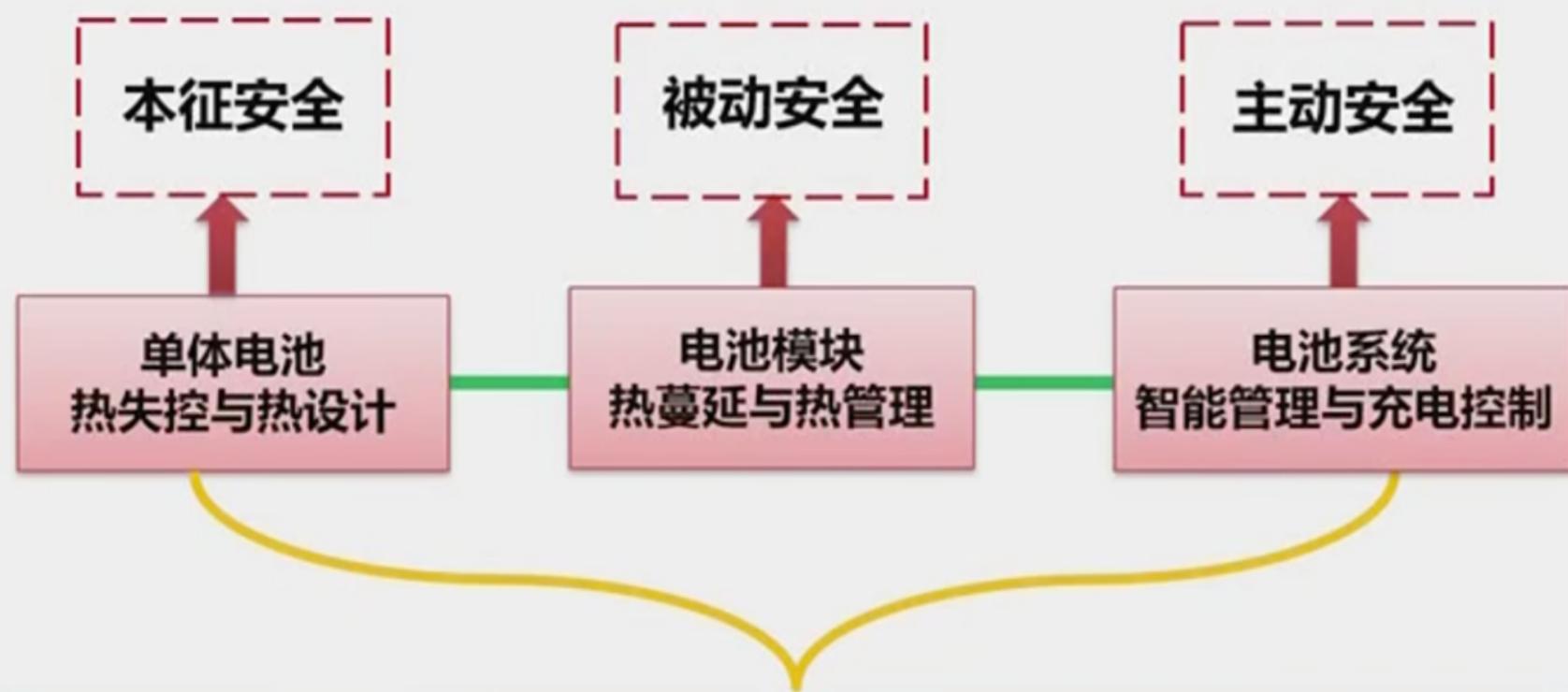
4. 解决电池热失控，下一步是大数据主动安全

按照欧阳院士说法，现有国标电池热失控五分钟不起火不爆炸，可能会加严到半个小时。

除了进行热失控设计和热管理，将来的发展会引入大数据进行主动安全预警技术。

纯电动汽车动力电池热安全解决途径

中国动力电池安全问题研究早，热失控科学与技术走在世界前列



安全是所有汽车追求的永恒主题，安全是靠安全技术保障的

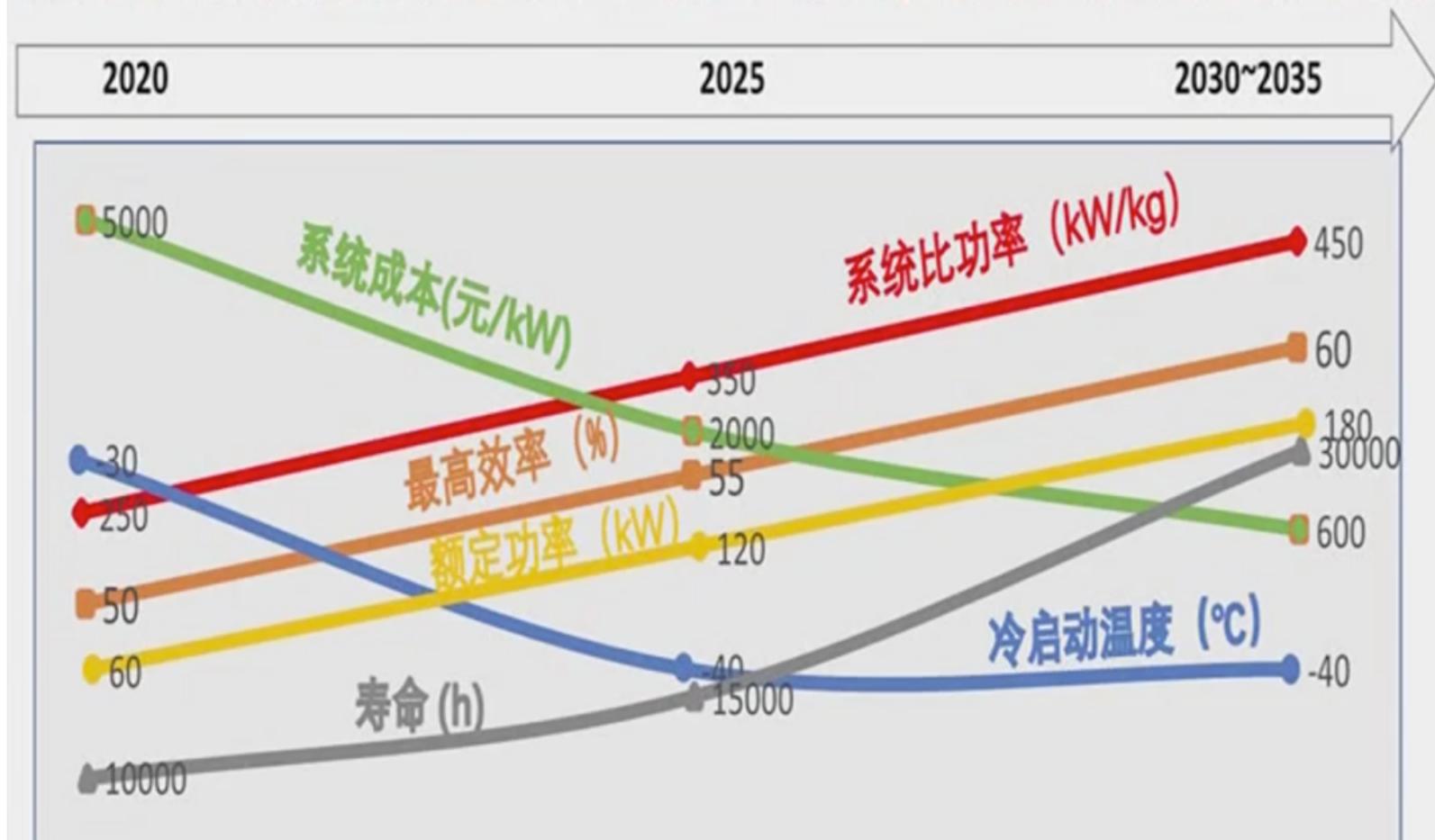
5. 氢燃料电池，成本会是最大拦路虎

氢燃料电池在功率密度、冷启动温度、寿命、最高效率等指标上均有大幅改善。

但需要在今后时间左右将系统成本下降80%以上，很像十年前锂离子成本下降过程。

商用车燃料电池发动机技术路线图

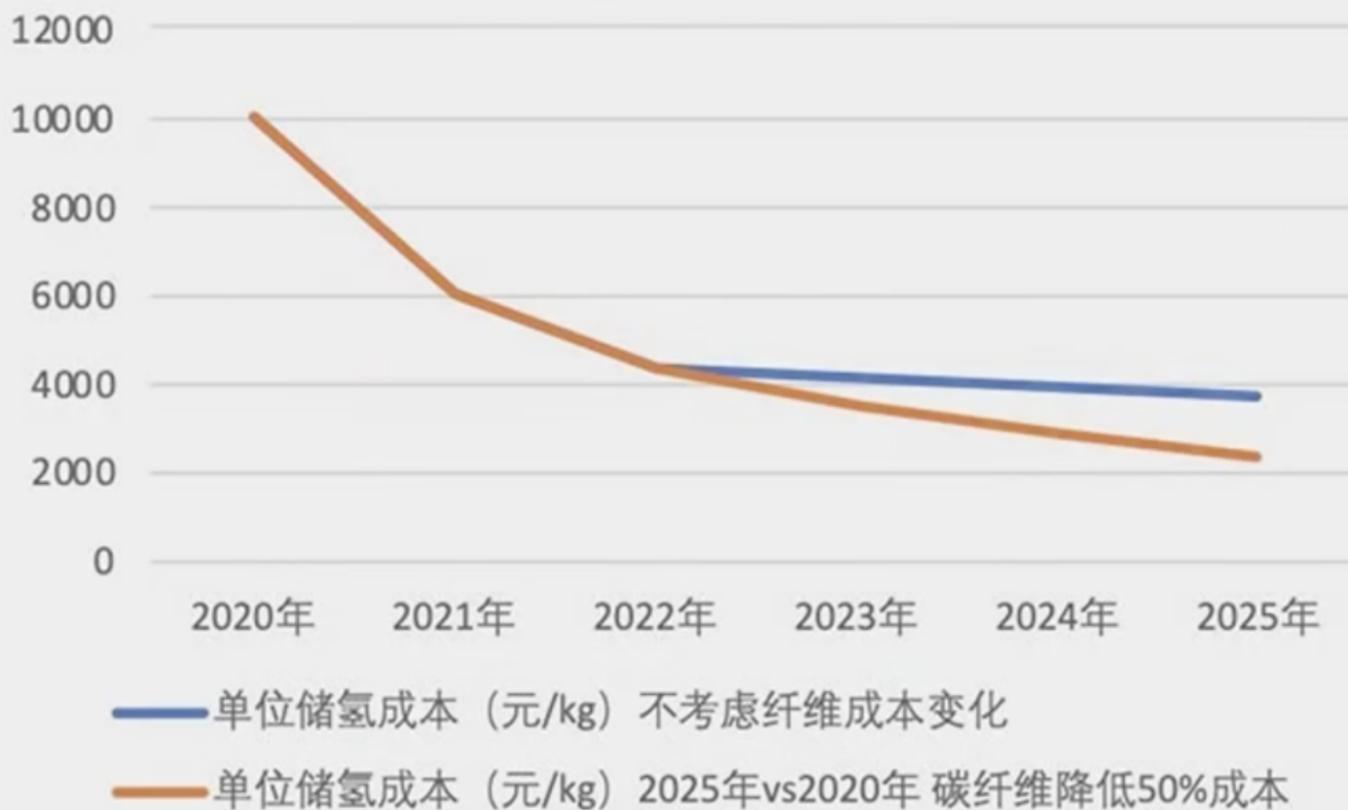
今后十年左右燃料电池系统成本下降80%以上，与过去十年锂离子电池成本下降过程相似



另外，储存氢气的成本依然还是很高，下降没有那么明显。

燃料电池汽车关键部件技术经济性预测

国产70MPa塑料内胆碳纤维缠绕车载储氢瓶单位储氢（公斤）成本预期



基于商用车估算百万辆燃料电池汽车氢气需求，没有想象中那么多；与此同时，由于加氢效率比天然气更低，加氢站需要更多。

2020版氢能与燃料电池汽车技术路线图



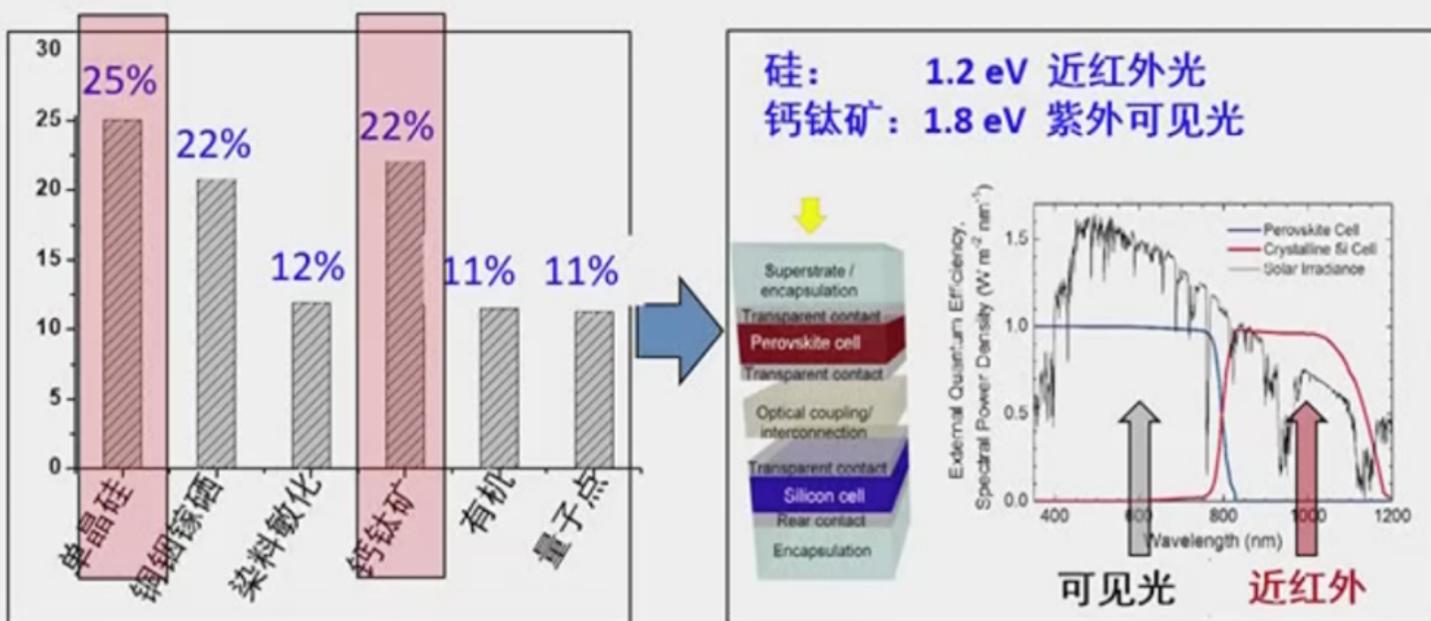
有待解决的问题: 氢能产业链的自主化程度和技术水平, 和燃料电池比还有差距。电解绿氢技术、氢储运技术以及氢安全技术还需改进提升, 氢燃料成本总体偏高。

6. 光伏与风电的储能，锂离子电池和氢燃料电池两条腿走路

中国的光伏发电成本已经与煤电相当，第三代光伏电池的效率可以突破30%，技术正在兴起。

可再生能源的载体：电和氢

- 在中国光伏发电成本已经与煤电相当，IEA预测光伏将是综合成本最便宜的能源
- 硅基光伏与钙钛矿相结合的第三代光伏电池技术正在兴起、效率潜力巨大



单节太阳能电池

新型高效材料设计

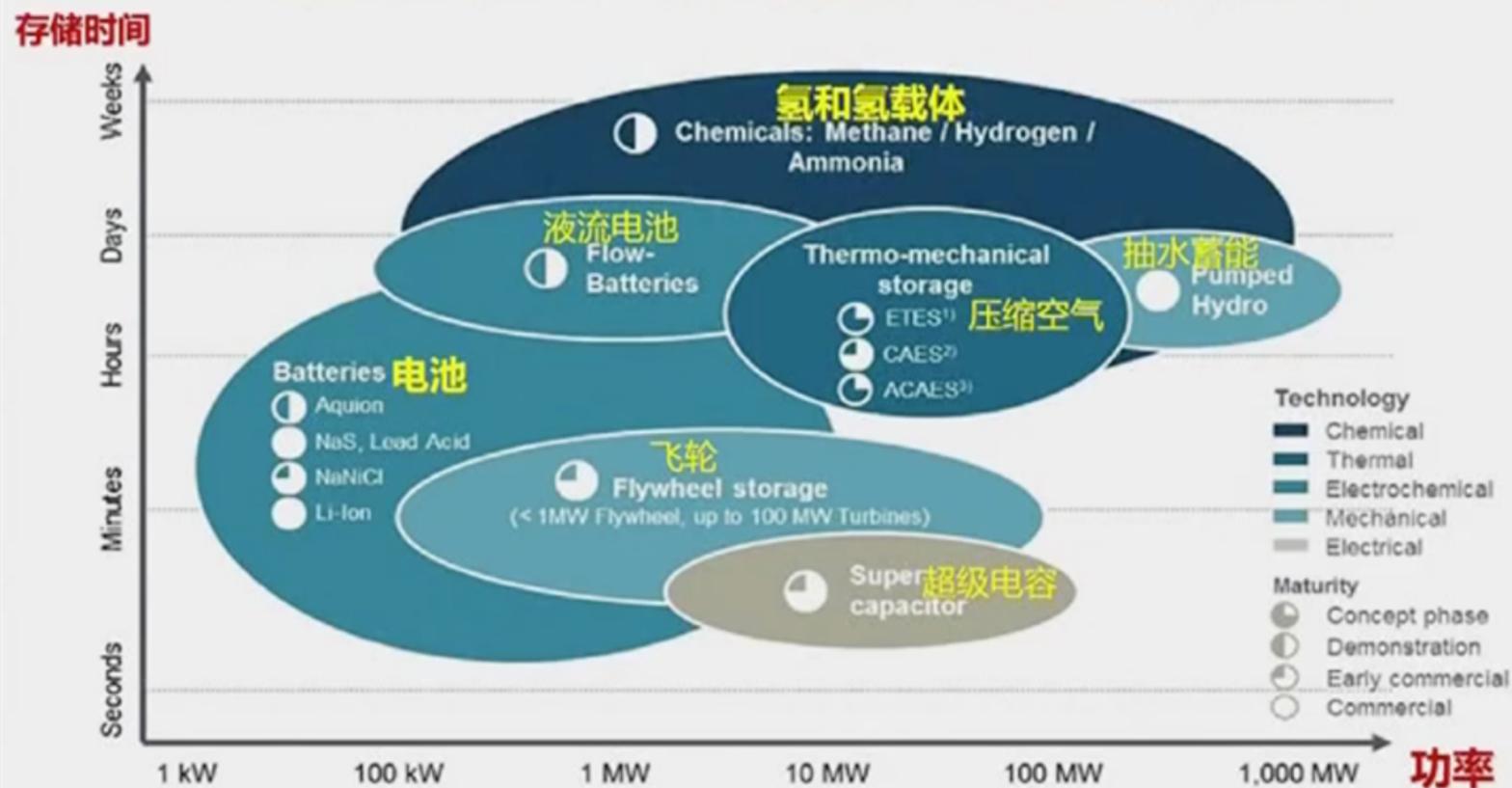
界面修饰方法

叠层太阳能电池
将突破效率30%

电和氢是可再生能源最主要的储能方式。

智慧能源系统的核心技术：储能技术

电池和氢能各有特点，两者互补性强，共同构成主流储能方式



¹⁾ Electro-Thermal Energy Storage

²⁾ Compressed Air Energy Storage

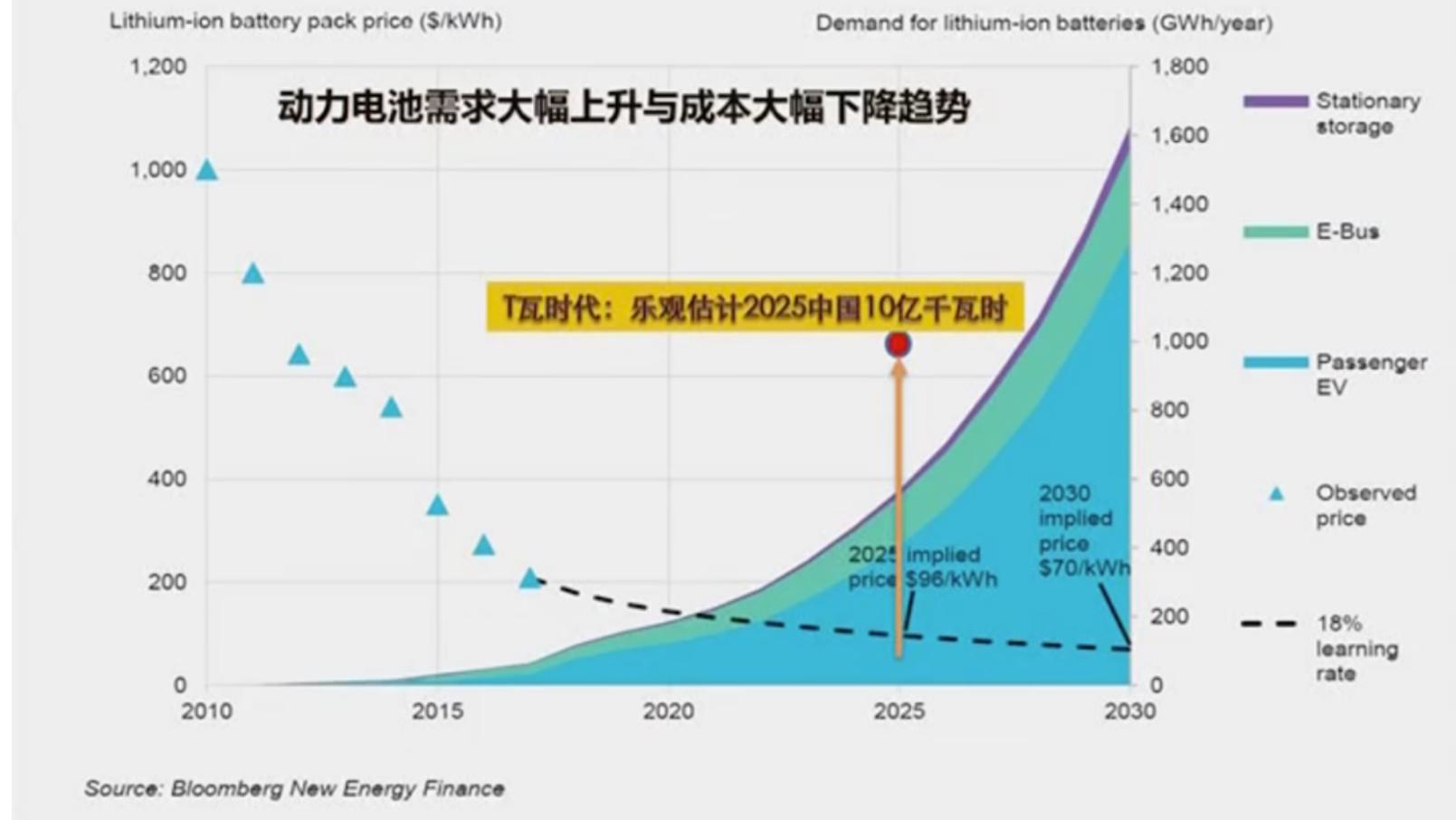
³⁾ Adiabatic Compressed Air Energy Storage

Valera-Medina A, Xiao H, Owen-Jones M, et al. Ammonia for power[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2018, 69: 63-102.

锂离子电池适合短周期、分布式、小规模的光伏储能。

智慧能源系统的核心技术：电池储能技术

以锂离子电池为代表的动力电池是短周期分布式小规模可再生能源储存的最佳选择



氢燃料电池适合于长周期、集中式、大规模的风电和光伏的储能。

智慧能源系统的核心技术：氢能储能技术

氢能是**集中式**可再生能源大规模长周期储存的最佳途径



- ◆ **能源利用充分性**：氢能大容量长时间的储能模式对再生电力的利用更充分。
- ◆ **规模储能经济性**：固定式储能电池成本比储氢容器成本大约高**10**倍，但车载储能优势下降到**3~5**倍（燃料电池的效率导致储能量比车载动力电池高一倍，同时，储氢体积能量密度低需要更高压力），对降低电价有帮助。
- ◆ **与电网基础发电电源互补性**：作为大容量长周期高功率灵活能源使用；
- ◆ **制运储方式灵活性**：长管拖车经济运输半径300公里以内；1千公里以上可长途输电-当地制氢，或天然气管道掺氢等

*与化石能源分析全链条效率一样，可再生能源生产—运输—储存—利用要讲究全链条成本（并非效率）。电生产和传输成本低，但储存成本高；氢生产成本比电高，储存成本比电低。

7. 电动汽车能做的事，不要用燃料电池

在实现碳中和条件下，只能采用电解水制氢气，价格变动范围大。

我国有成本优势的是碱性电解，现在商用的是质子膜电解，未来发展是效率更高的固体氧化电解。

可再生能源的载体：电和氢

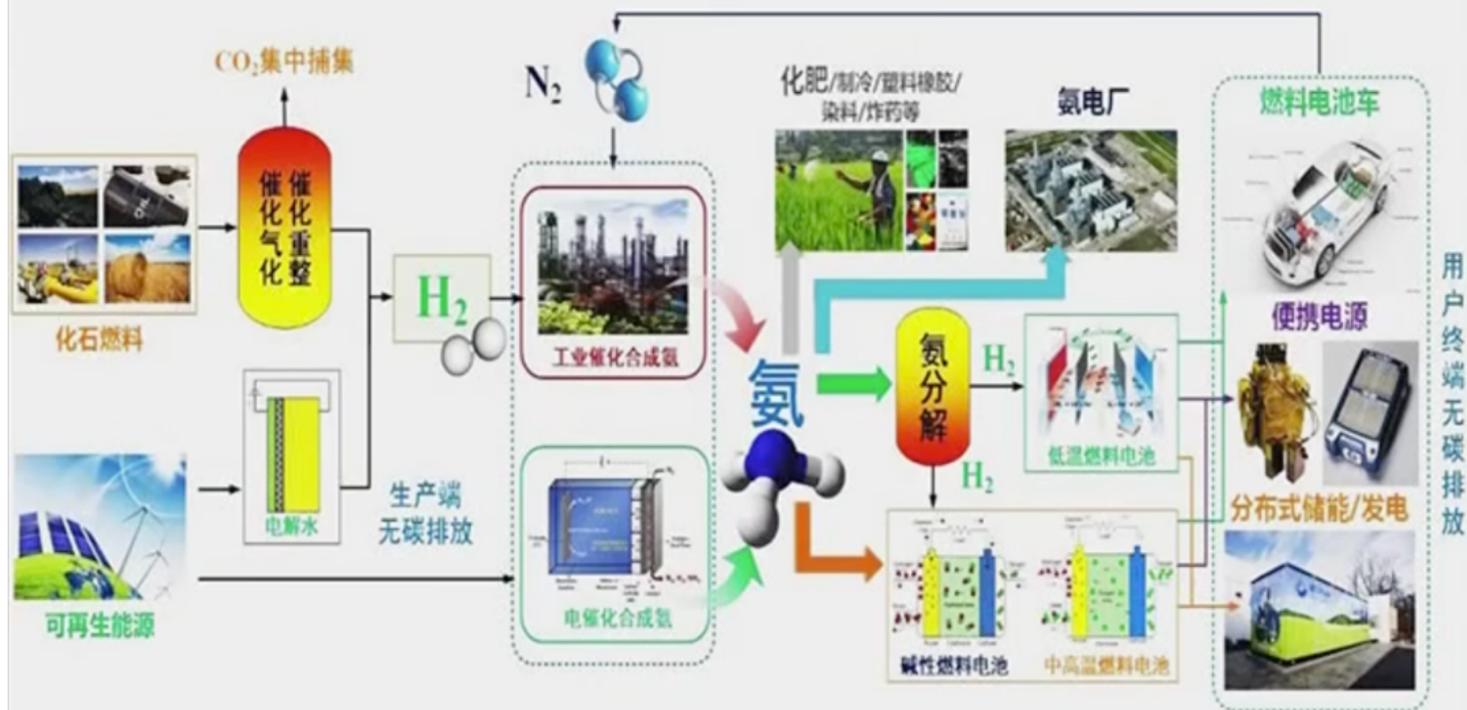
电解制氢技术对比

	碱性电解 AEC	质子膜电解 PEMEC	固体氧化物电解 SOEC
运行参数			
电池温度 (°C)	60-90	50-80	700-900
典型压力 (bar)	10-30	20-50	1-15
电流密度 (A/cm ²)	0.25-0.45	1.0-2.0	0.2-1.0
负载弹性 (额定负载%)	20-100	0-100	-100/+100
冷启动时间	1-2h	5-10min	Hours
热启动时间	1-5min	< 10s	15min
效率			
电解池效率 (LHV)	63-71%	60-68%	~100%
电解池能耗(kWh/Nm ³)	4.2-4.8	4.4-5.0	3
系统效率 (LHV)	51-60%	46-60%	76-81%
系统能耗 (kWh/Nm ³)	5.0-5.9	5.0-6.5	3.7-3.9
生命周期 (kh)	55-120	60-100	8-20
投资成本 (¥/kW)	6000-12000	11000-16800	> 16000

采用氨分解产氢也是一个方向。

可再生能源的载体：氢的载体E-FUEL

液氨  **液氨** **氨分解产氢** $(2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2 -92.5 \text{ kJ})$ 质量储氢密度：17.8wt%
体积储氢密度：12kg-H₂/100L

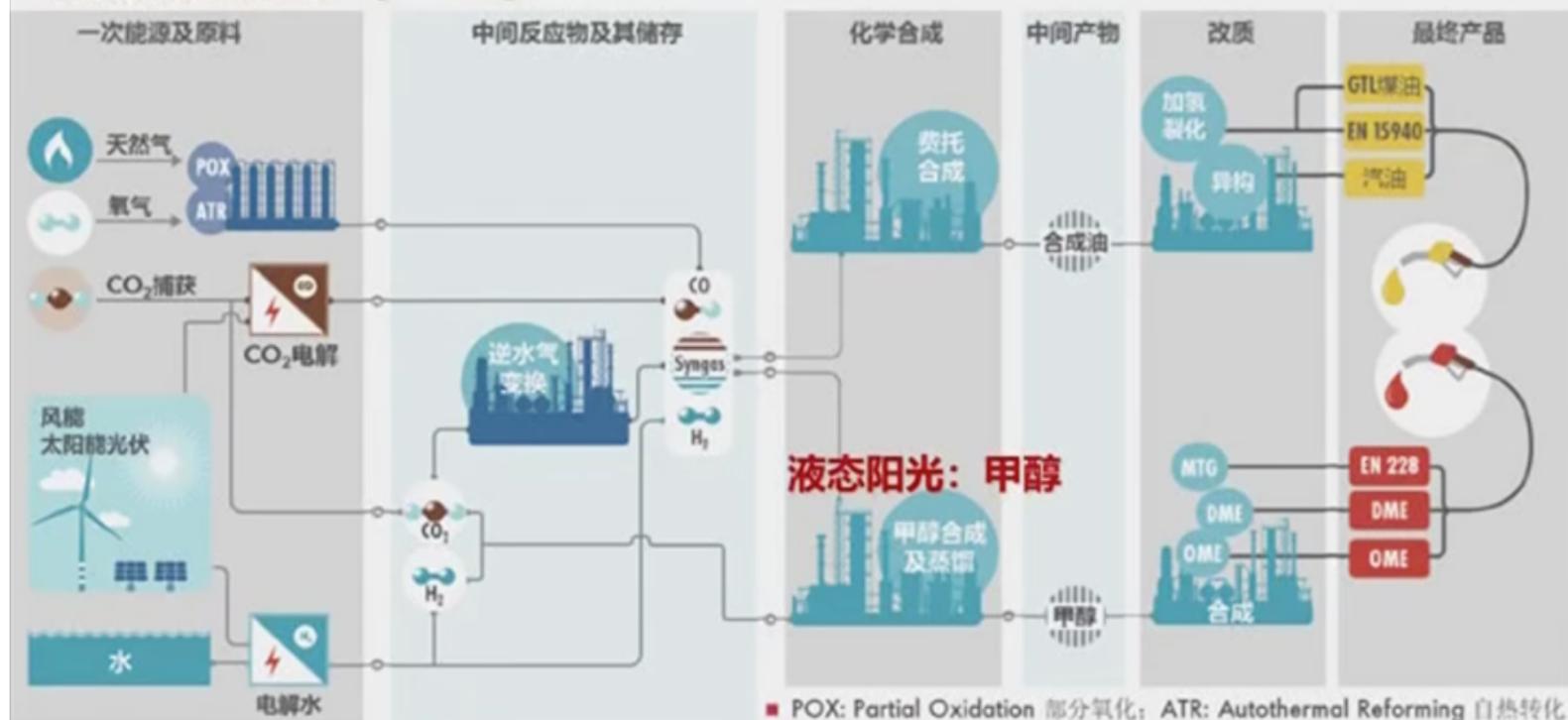


Chen, Nature Reviews Materials, 2016, 1, 16059.

目前在很火的“液态阳光”，即“清洁甲醇”，利用光伏等可再生能源产生的电力电解水，制成氢，再捕获二氧化碳，生成甲醇，但捕获二氧化碳成本很高，仅可用于飞机和远洋货轮。

可再生能源的载体：氢的载体E-FUEL

电合成燃料 (PTL)



- ◆ PTL 燃料使用端不需要建立新基础设施，然而在生产端仍将需要建立大量基础设施；
- ◆ 生产1 升的PTL 燃料需2.9~3.6 kg CO₂ 如从空气中捕获，需要建大型碳捕集及利用设施；
- ◆ Agora et.al 预测为实现2050 年成为商用燃料的目标，PTL 燃料交付成本应约为每升1美元。

From壳牌公司

针对于氢气的运输，目前测算下来特高压和长输送管道是成本最低的。

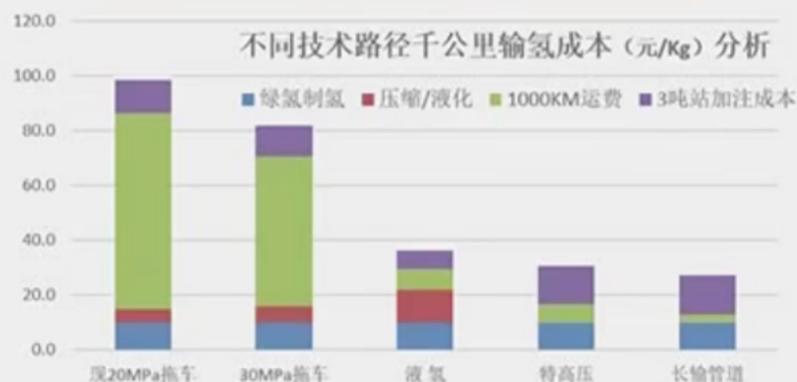
智慧能源系统的核心技术：能源互联网新功能

输氢通道比较：特高压是我国绿氢输送的优势通道



绿氢的输送通道和特高压输送通道重合，绿氢已经被电网视为灵活负荷，可在谷段利用特高通道长途输电，当地输氢。

（我国特高压跨区输电能力已达1.8亿千瓦，2019年输电4650亿度，其中清洁能源70%）



单位：元/Kg	现20MPa拖车	30MPa拖车	液氢	特高压	长输管道
绿氢制氢	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
压缩/液化	5	6	12	0	0
1000KM运费	71.43	54.76	7.5	6.67	3.11
3吨站加注成本	12	11	7	14	14
加氢枪出口成本	98.4	81.8	36.5	30.7	27.1

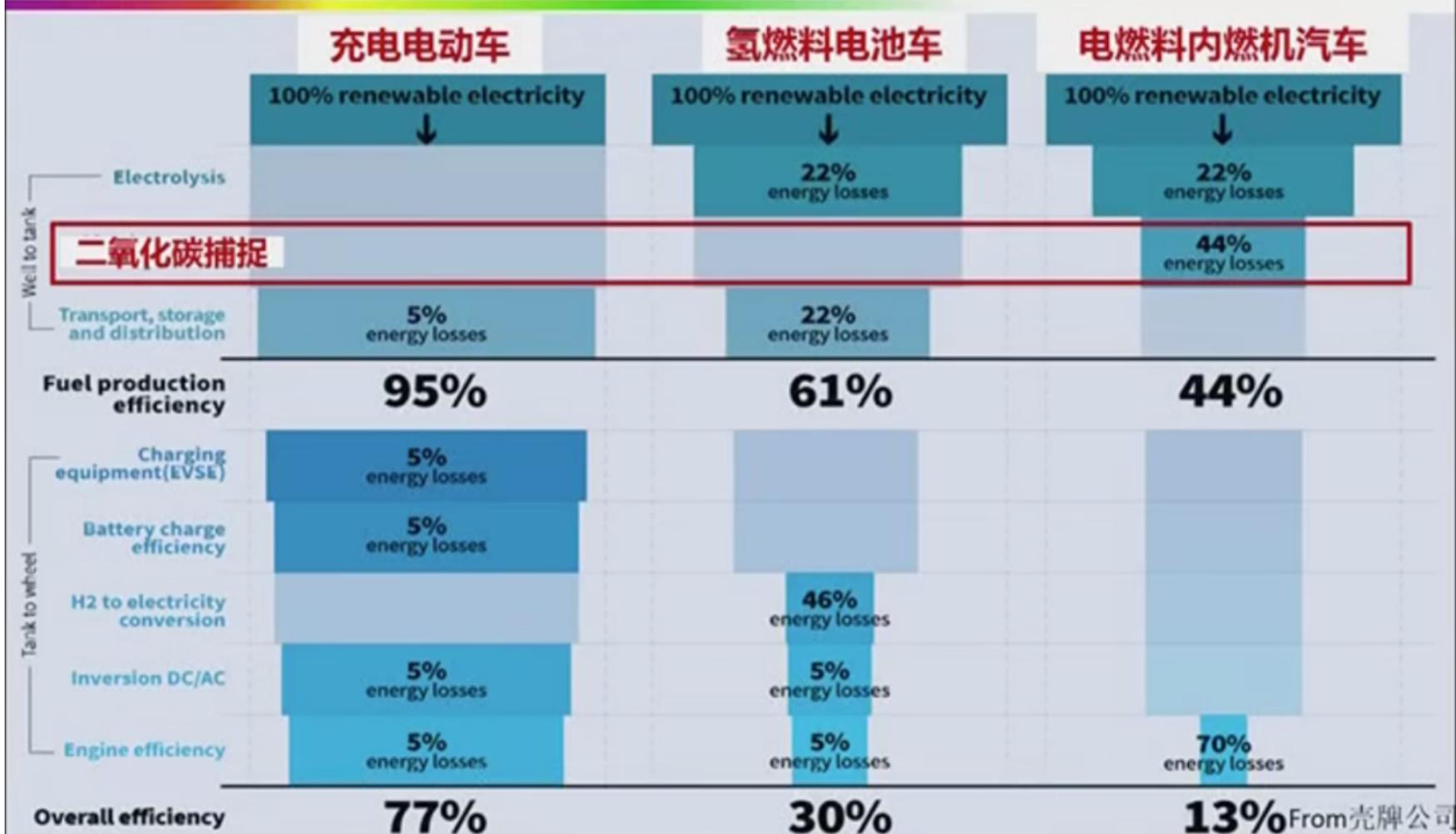
初步结论：

当可再生能源发电为0.12元/KWH，过网费为8分时，通过特高压千公里输电（输氢）通道，在用户侧制氢（谷段约8小时/天）加氢（>3吨/天），可实现加氢枪出口价格在30-40元/Kg，比柴油具有竞争力。

计算依据：特高压输电综合费用（过网费）为0.08元，中长期可再生能源发电成本按0.12元/度计算；氢气长输管线参照西气东输0.28元/KM/千方的综合费用（含增压）计算，
绿氢制氢和液化按照每天8小时计算；液氢液化规模按照30吨/天，运输按照4吨/车计算；绿制氢能力大于2000Nm³/H。

如果所有电力都来源于可再生能源，将电动汽车、氢燃料电池汽车、绿色甲醇的内燃机汽车进行比较，全生命周期能源效率，还是电动汽车最高。

基于可再生能源的能源动力组合全链条能效分析



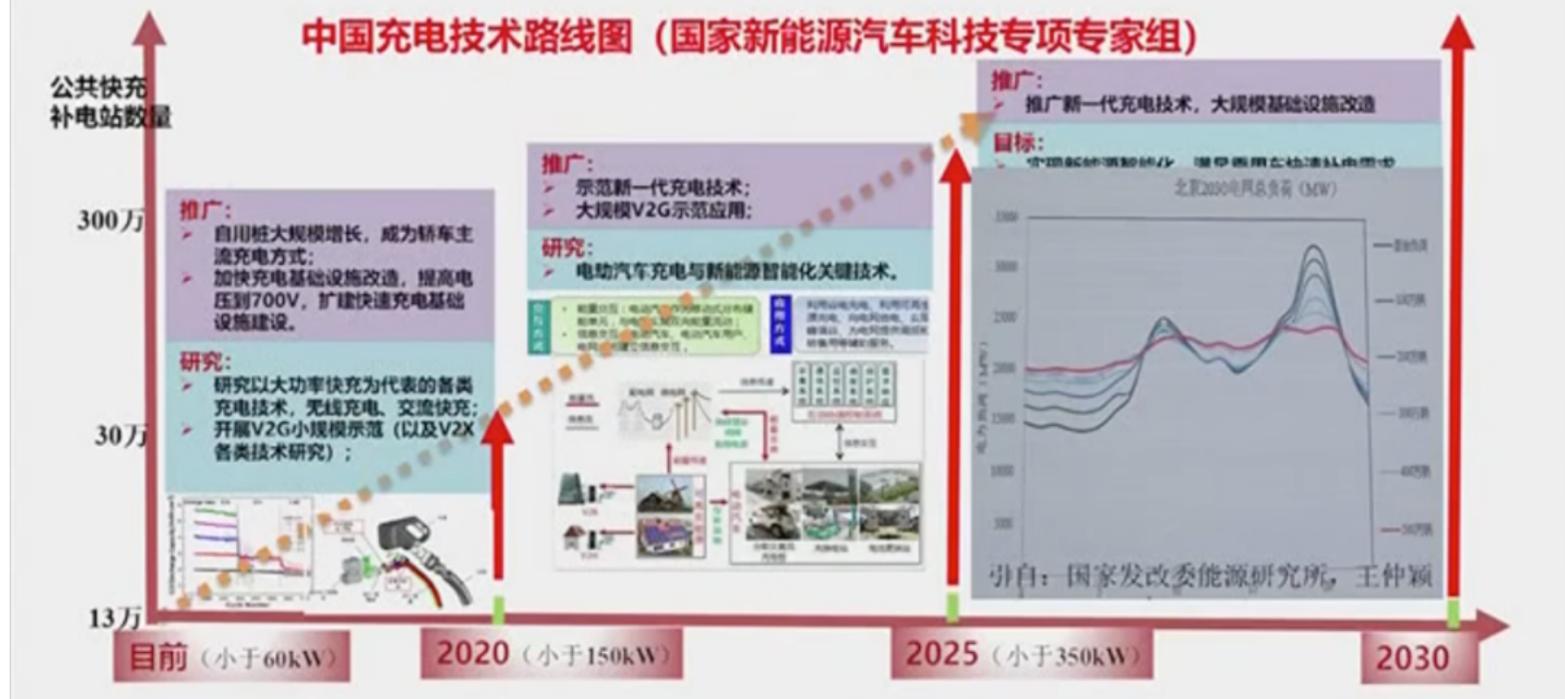
如果电价相同，总体能效差别等于成本差别。充电电池能干的事就别用氢燃料电池；制氢用的电价有可能比充电电价便宜吗？

8. 充电功率太大是问题，换电适合于重卡

电动汽车充电最大的问题在于充电功率太大，极端情况下，能够与全国电网总装机功率相当。

智慧能源系统的核心技术：智能充电车网互动与共享储能

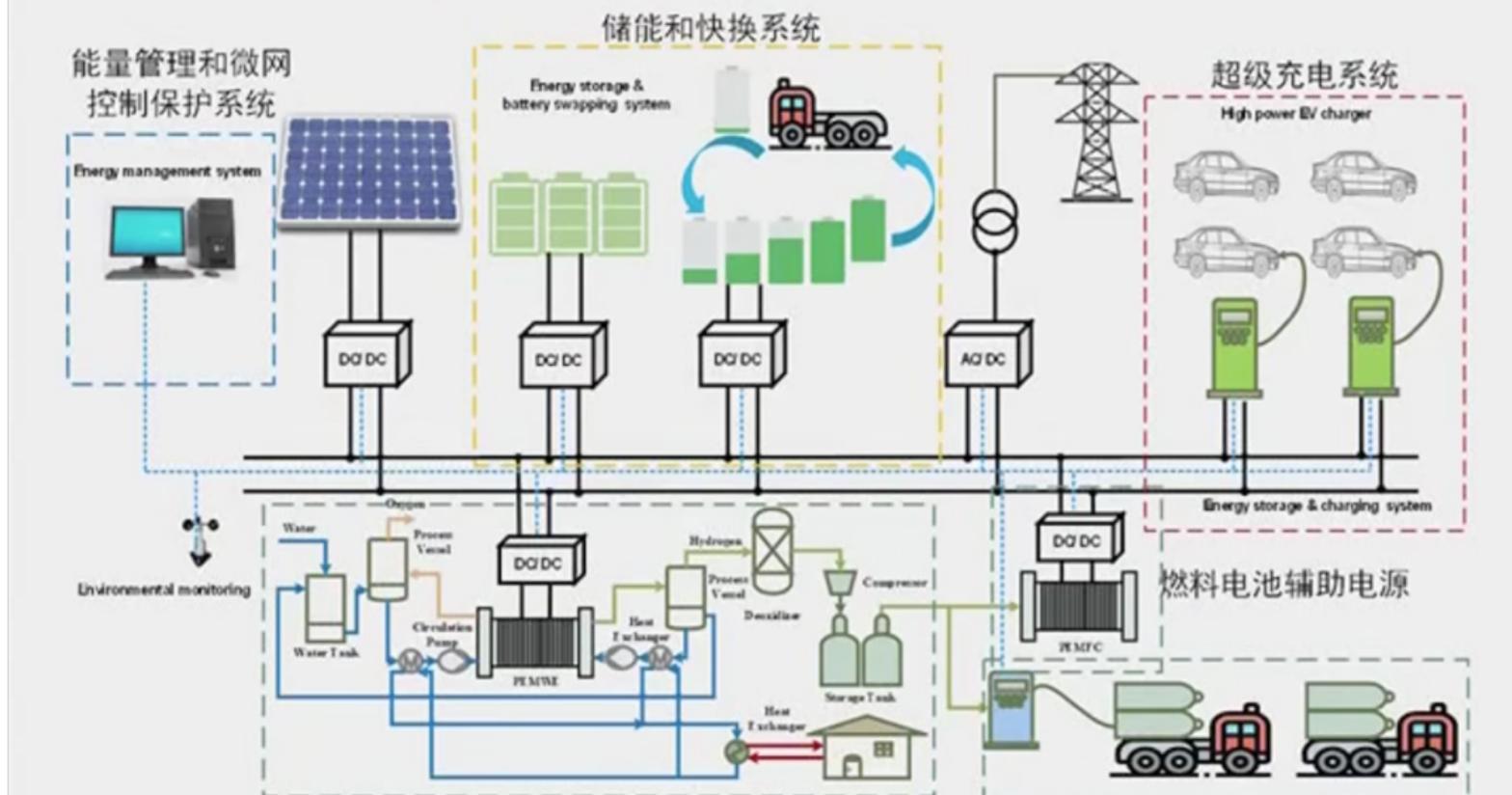
- 如有1亿辆电动汽车，车载电池能量达50亿度电左右，储能潜力巨大，充电功率巨大，耗电量不大（如果3亿辆中国乘用车全部都改为电动轿车，每辆车平均65千瓦时，则车载储能容量约200亿千瓦时，与中国每天消费总电量基本相当；如果10%的电动车按50千瓦中等速率同时充电，则3亿辆车的充电总功率达15亿千瓦与全国电网总装机功率相当。按平均每辆轿车年行驶2万公里，则3亿辆车每天消费电量约20亿千瓦时，占比10%）



换电比较适用于共享车、出租车，最佳的场景是电动中重卡。

智慧能源系统的核心技术：光-储-充-换多能互补微网系统

- ◆ 对于商业目的的乘用车如共享车、出租车等，原则上换电是一种不错的商业模式
- ◆ 换电的最佳应用场景是电动中重卡；充换电站一体化，换电电池放电快充，形成互补
- ◆ 最终的微网形态将是光-储-充-换多能互补一体化微网系统。



家用充电既可以“充电”，又可以“卖电”，可将电动汽车的使用成本降低为零。

智慧能源系统的核心技术：光-储-充-换多能互补微网系统

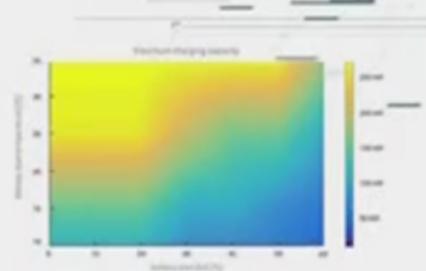
- ◆ 对于私家乘用车而言，基于V2G和大功率快充技术的发展前景和电池底盘一体化趋势，中长期更被看好的方式可能还是充电，平时在家或者单位慢充（或车网互动），高速公路长途时超快补电（SOC低于50%）。
- ◆ 2020年中电联公布了中日两国合作制定的大功率快充新标准——“超级充电”，中电联预计2025年可以全面提供超充服务。

安全快充系统集成技术

200km@5min

无析锂安全快充技术

Charging performance depends on battery temperature and State of Charge (SoC).



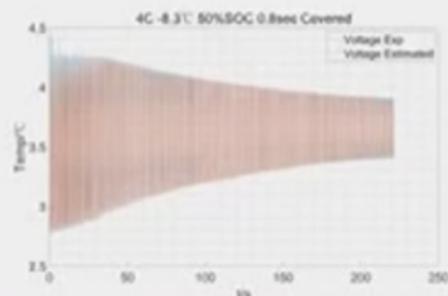
<45°C

外部强制冷却技术



8°C/min

低温脉冲加热技术



9. 未来十年，进入“太瓦”时代

未来十年交通智慧能源生态建设

黄金组合：分布式光伏+电池+电动汽车+物联网+区块链

1T：光伏进入太瓦时代（“2毛钱”电价时代）

1T：电池进入太瓦时代（“5毛钱”电池时代）

1亿：电动汽车进入亿辆时代

——**分布式光-储-充一体化智慧能源系统**

白银组合：集中式风电与光伏+氢能+燃料电池汽车+物联网+区块链

1T：光伏进入太瓦时代

1T：风能进入太瓦时代

1百万：燃料电池汽车进入百万辆时代（1亿千瓦发电功率）

——**集中式风-光-氢一体化智慧能源系统**