储能在中国清洁电力转型中的重要作用及支持政策

林江
伯克利国家实验室/加州大学伯克利分校

2020.8.28

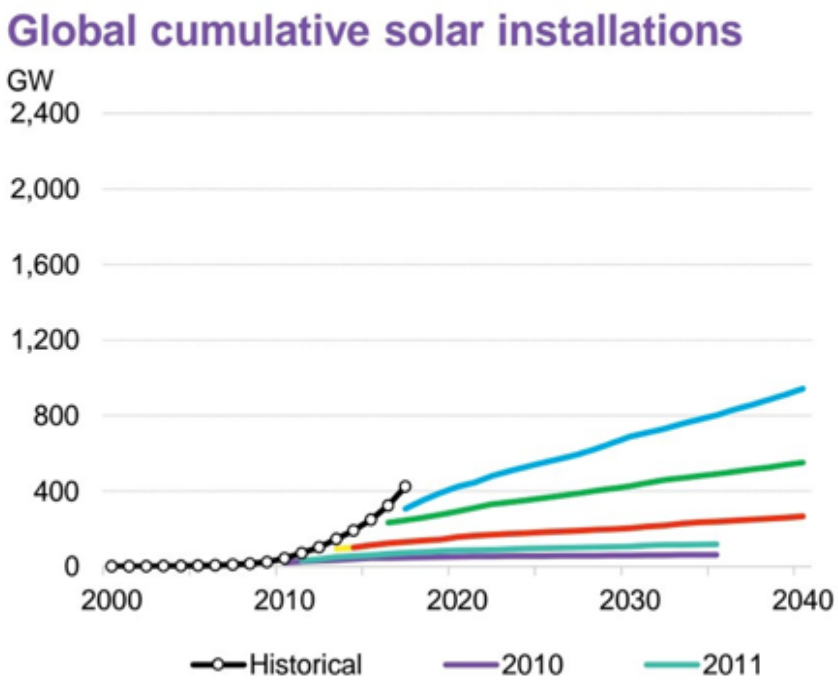
He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1). https://www.nature.com/articles/s41467-020-16184-x

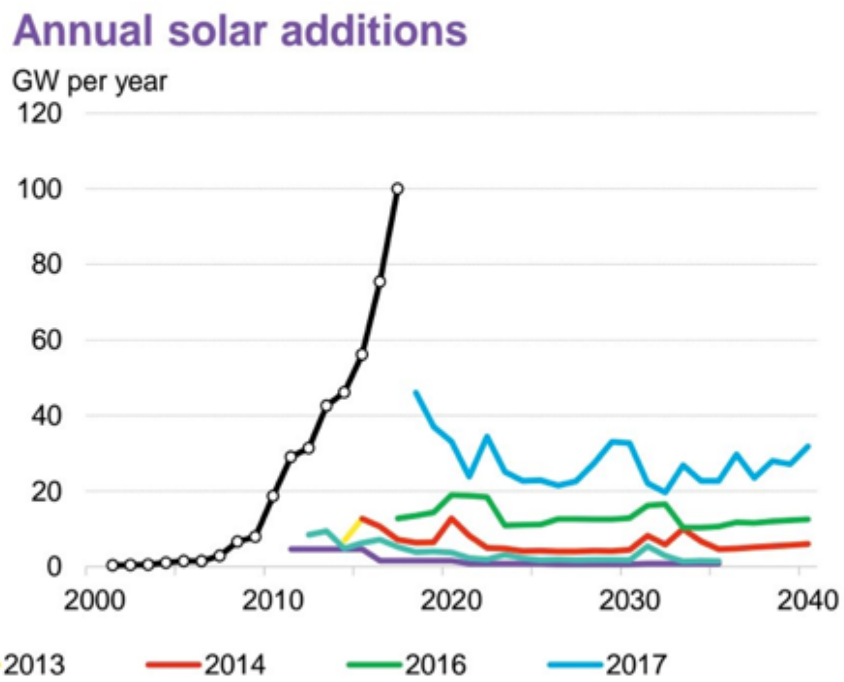
nature communications

各机构往往低估未来可再生能源发展速度

EIA solar capacity forecast evolution

LIEBREICH Associates

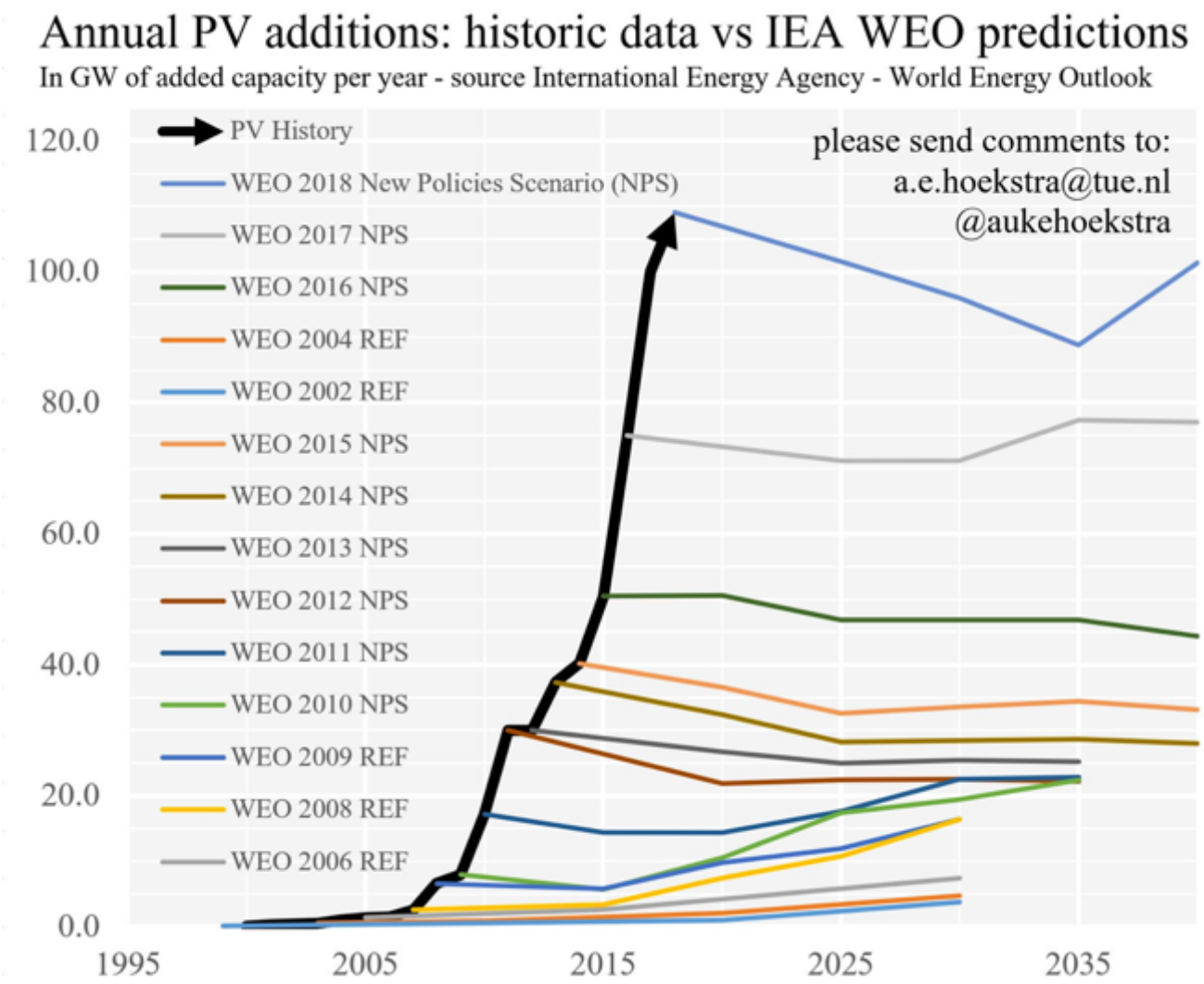




Note: Reference scenario

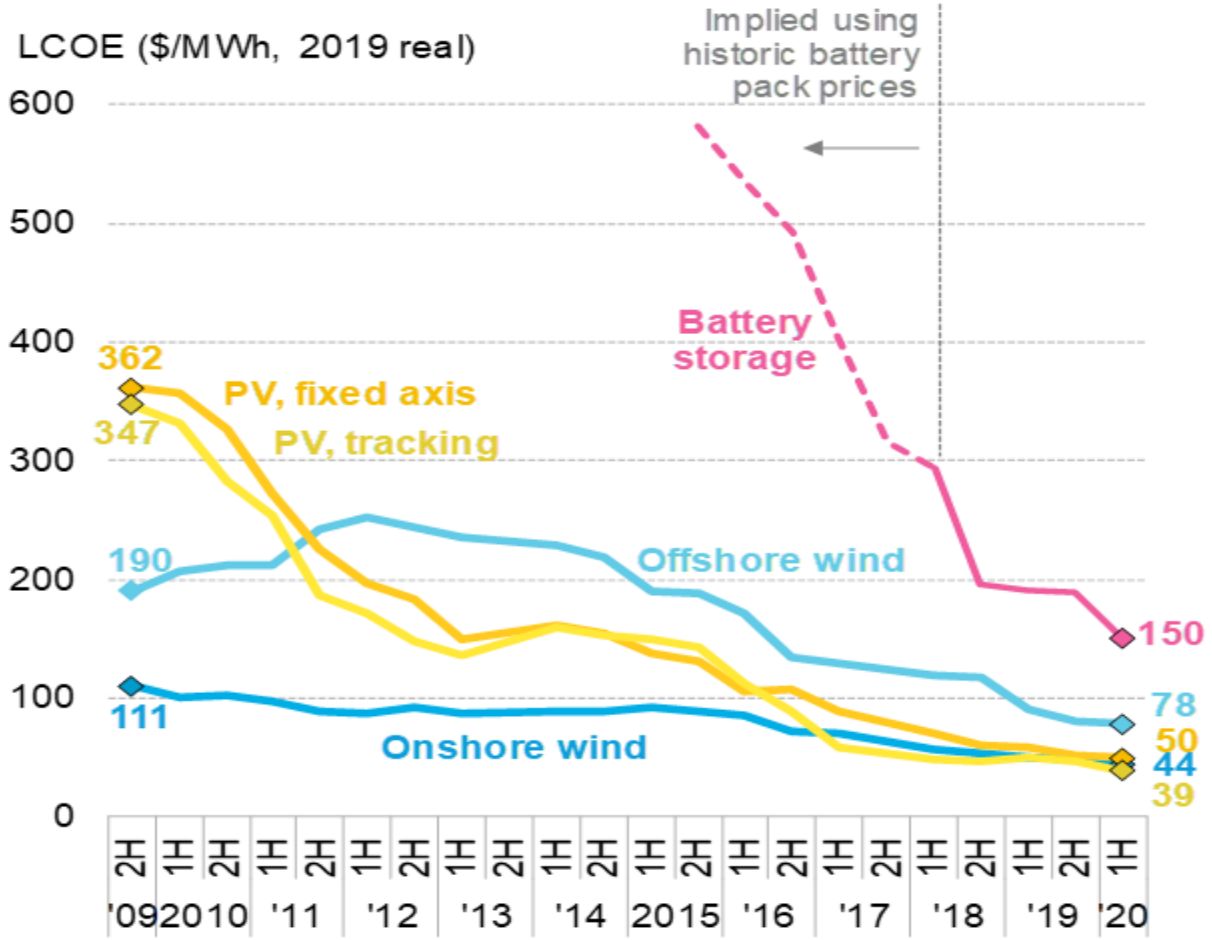
Source: EIA International Energy Outlook

例如：IEA总是低估太阳能光伏的装机



可再生能源成本近年来不断下降，在多国低于火电成本

Figure 2: Global LCOE benchmarks – PV, wind and batteries



Source: BloombergNEF. Note: The global benchmark is a country weighted-average using the latest annual capacity additions. The storage LCOE is reflective of utility-scale projects with four-hour duration, it includes charging costs.

研究出发点

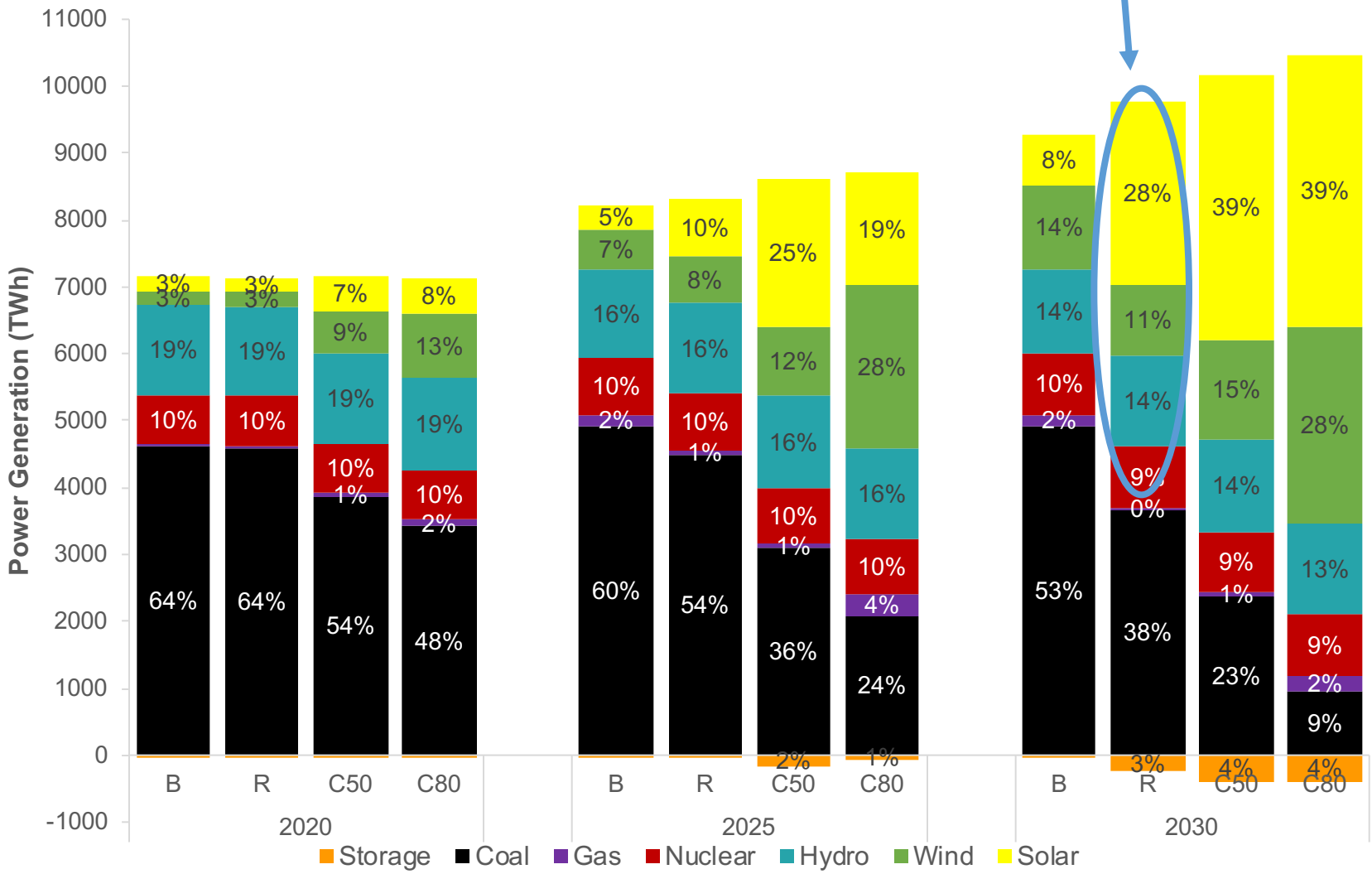
- 如果中国可再生能源和储能成本按照全球趋势下降，那么2030年中国电力系统的最优组合是什么？

本研究的四个情景

	基准情景(B)	低成本情景(R)	碳减排情景1(C50)	碳减排情景2(C80)
基准年 未来全社会用电量	2015， 2030年全社会用电量：8757 TWh			
现有政策	假设现有政策继续执行且2020年以后不再新增煤电			
未来可再生能源成本假设	按照常规成本降低趋势假设	假设成本降低速度更快		
碳减排约束	无	无	假设2030年电力部门碳排放相比2015年排放水平降低一半	假设2030年电力部门碳排放相比2015年排放水平降低80%

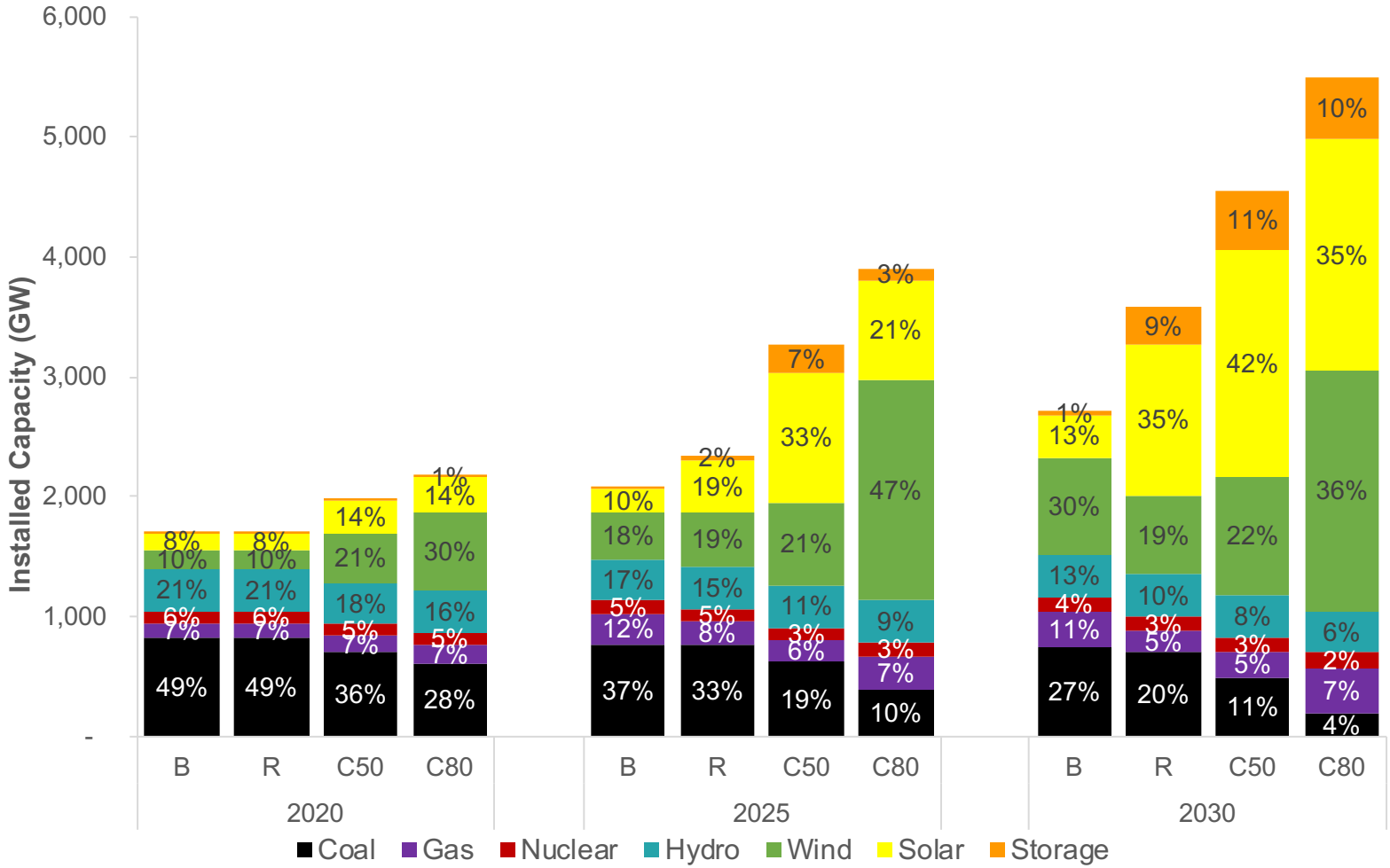
研究结果

R情景下，2030年非化石能源发电占比占62%



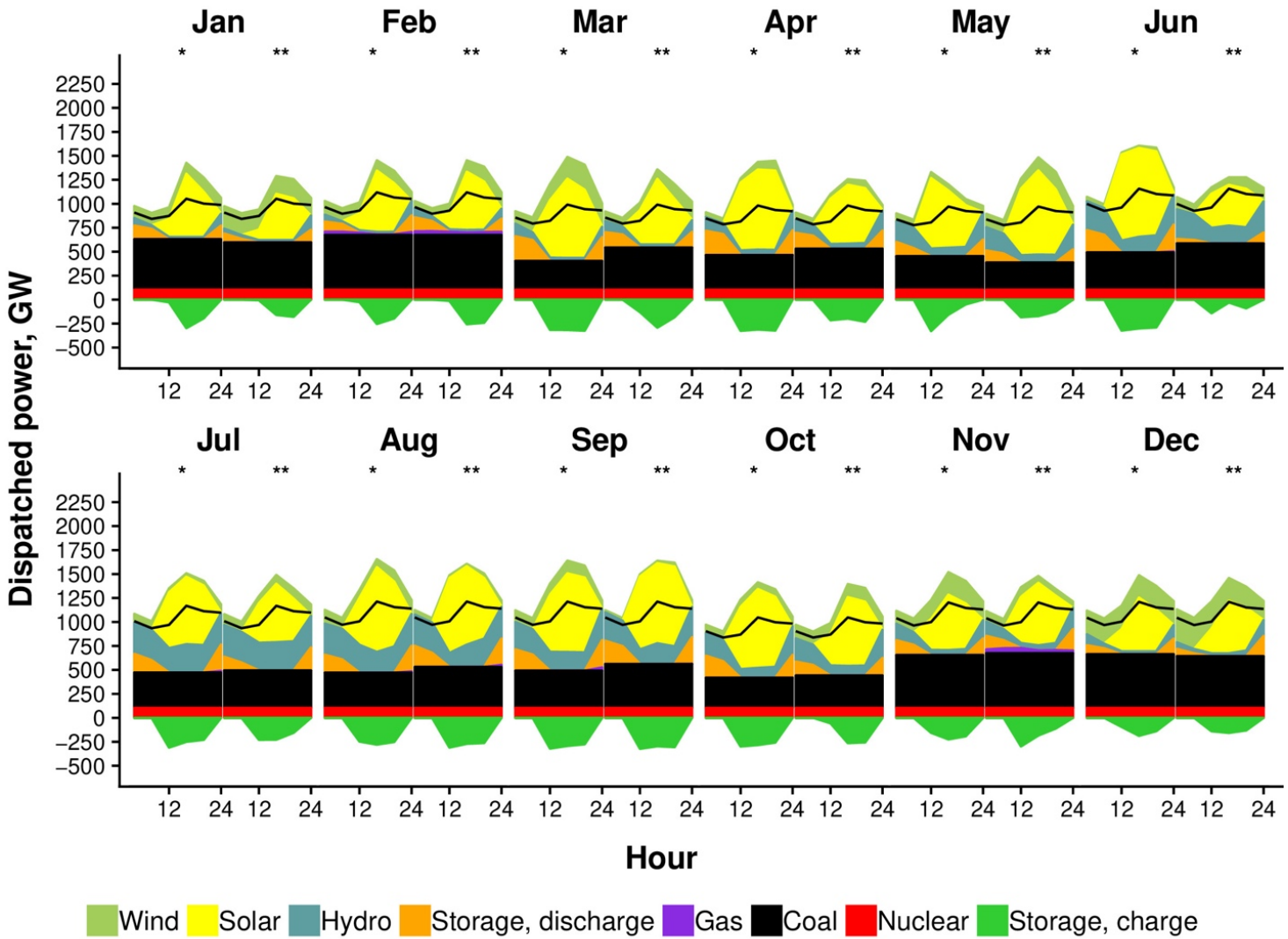
Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

R情景下，2030年风电、太阳能光伏和储能占总装机（3600GW)的一半以上



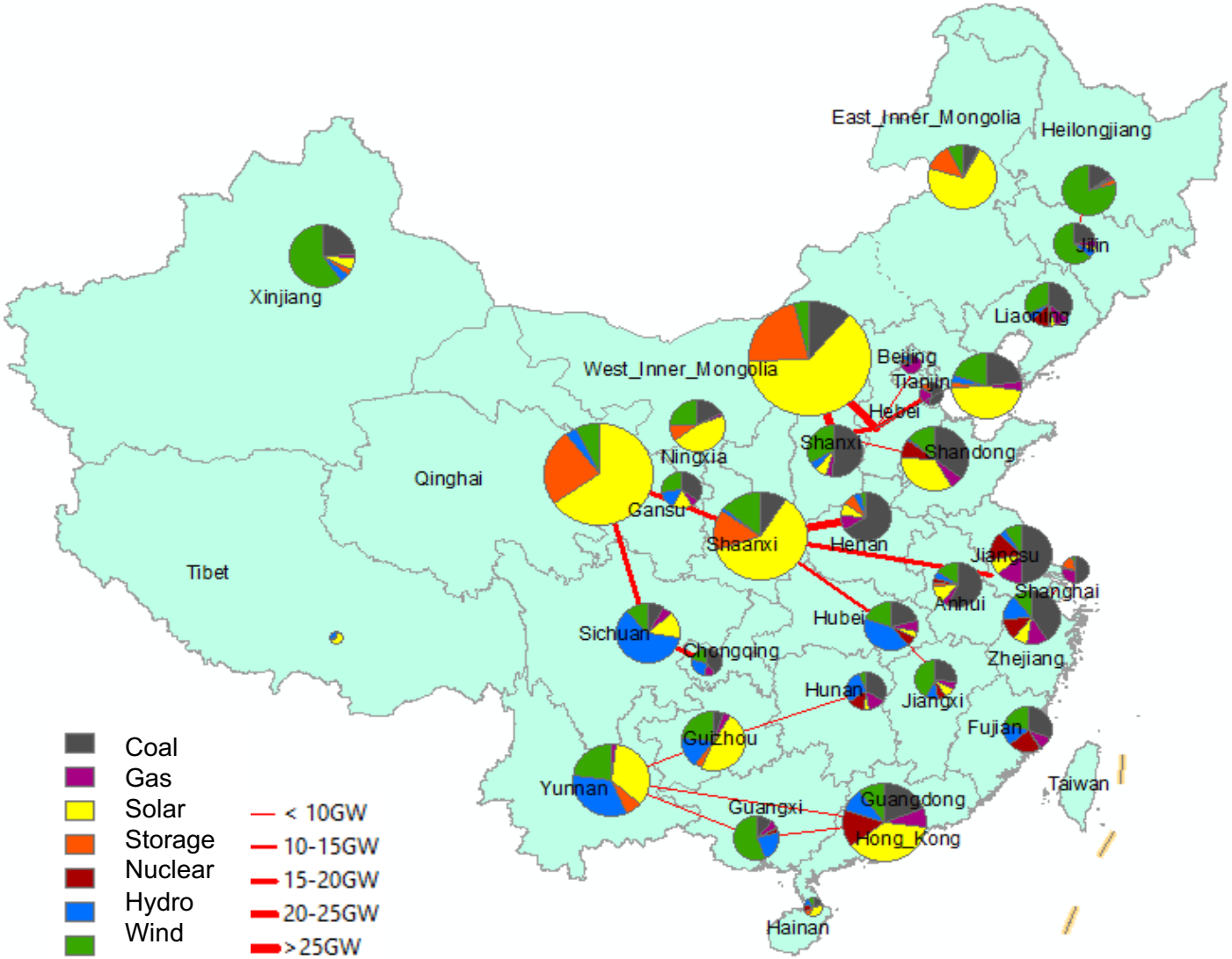
Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

R情景下的电力装机可满足电力可靠性需求



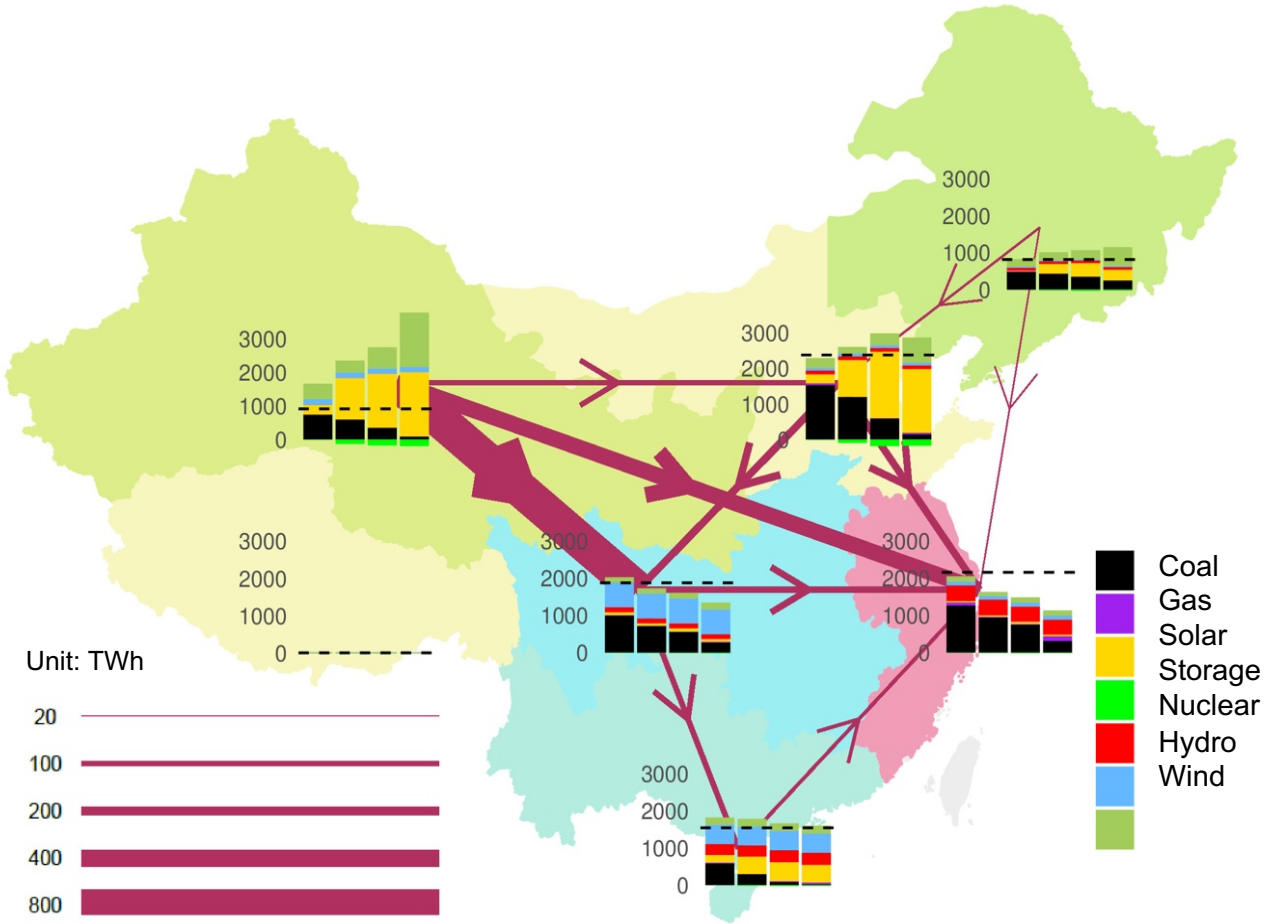
Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

需建立额外的跨省和跨区域电网传输线



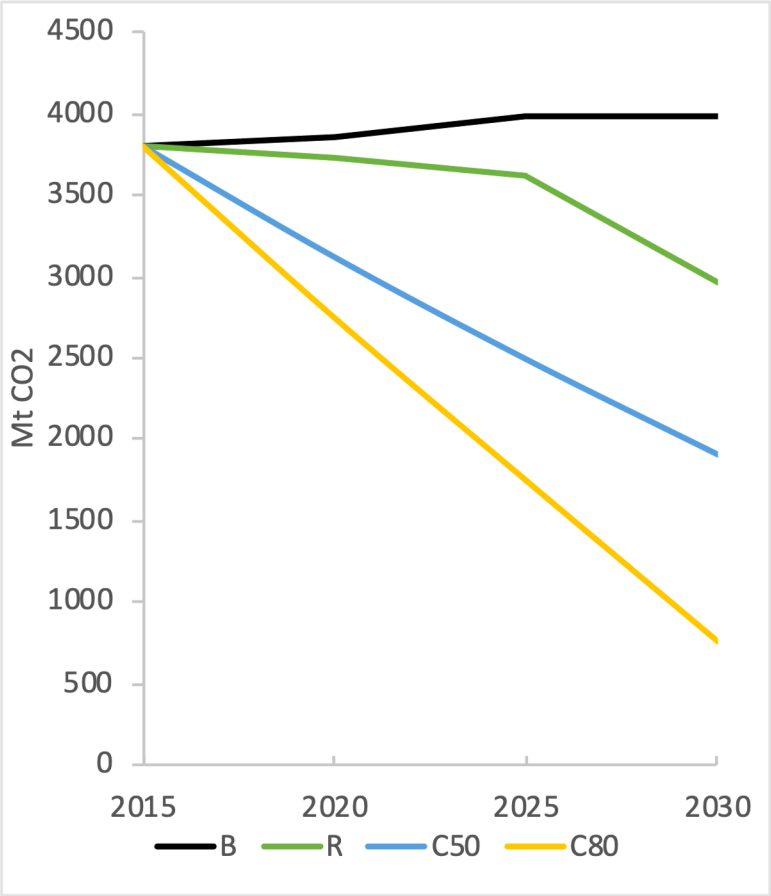
Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

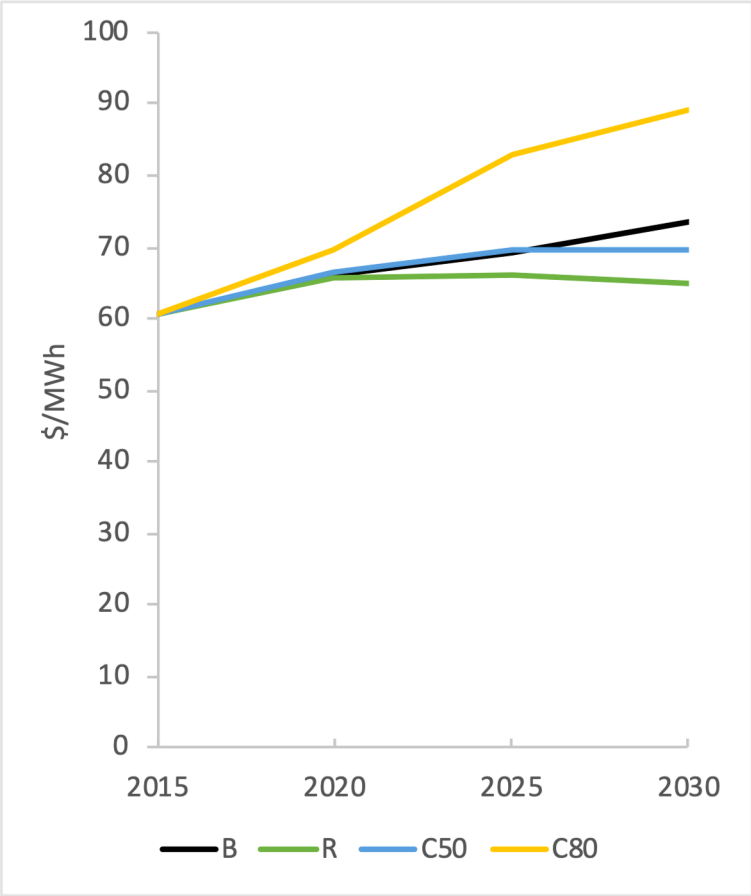
不同区域能源发展情况有差别：西北地区主要电力输出区，华东地区主要电力输入区



Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

可以以更低的电力系统成本实现50%的碳减排

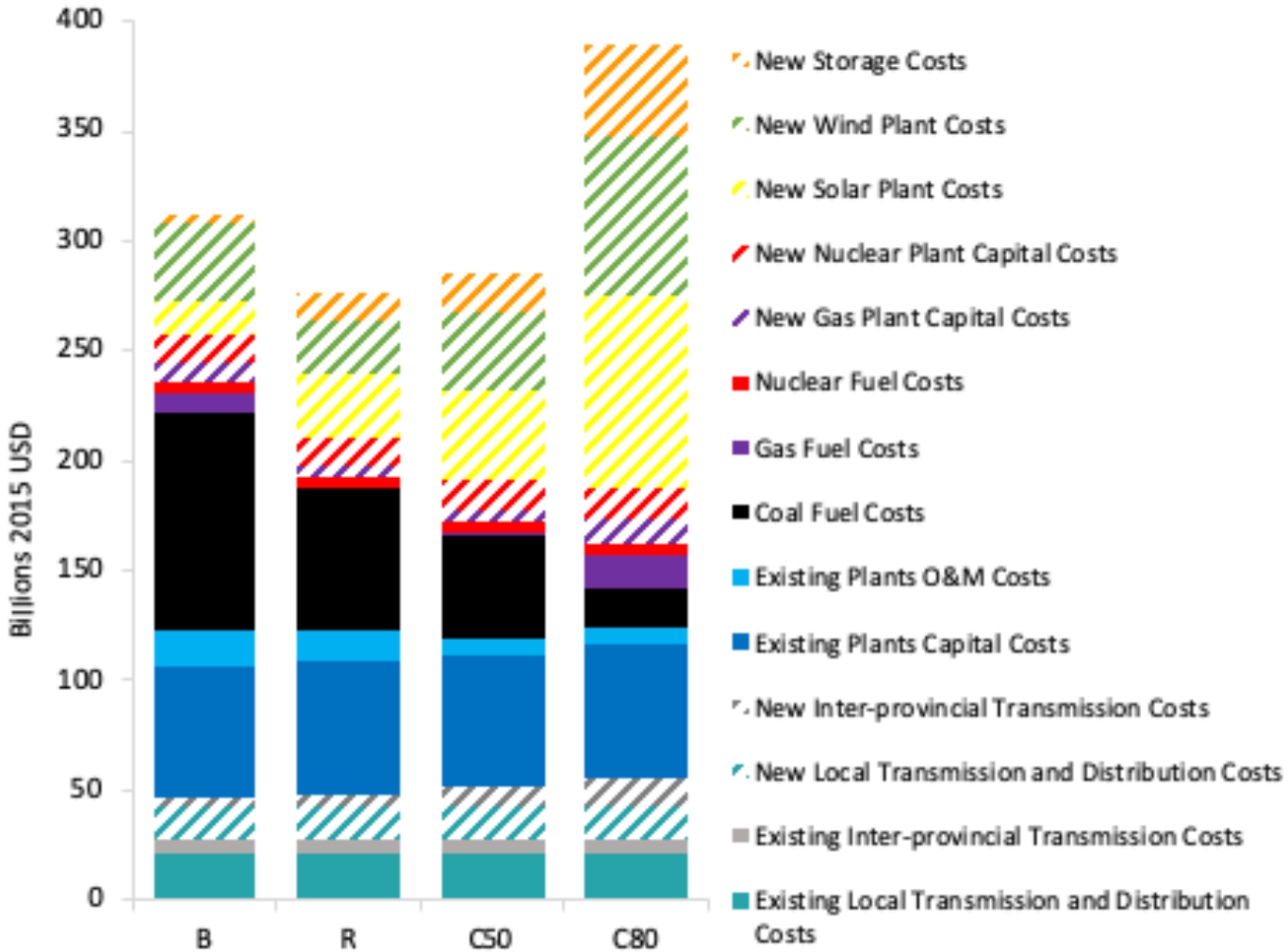




Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

成本结构从燃料为主转向资本投资为主

2030年



Source: He, Gang, Jiang Lin, et al. 2020. “Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system.” *Nature Communications* 11(1).

主要结论

- 2010年到2018年，全球平均太阳能光伏发电、陆上风电、电池储能成本降低迅速，分别为77%，35%和85%。
- 如果可再生能源成本进一步以如此快的速度下降，2030年中国可实现62%的非化石能源发电量，并且总电力系统成本降低11%
  - 2020年后不需要新建火电厂满足电量需求和可靠性需求
  - 碳减排成本相当于-$36/吨
- 2030年可再生能源和储能发展规模：660GW风电，1260GW光电，307GW电池储能和抽水蓄能
  - 与现在的规模相比：210GW风电（2019年），205GW光电（2019年），30GW抽水蓄能(2019年)
- 2030年中国电力部门可以以更少的成本（成本减少6%）将该部门二氧化碳和空气污染物排放降低到2015年水平的一半
  - 碳减排成本相当于-$9/吨

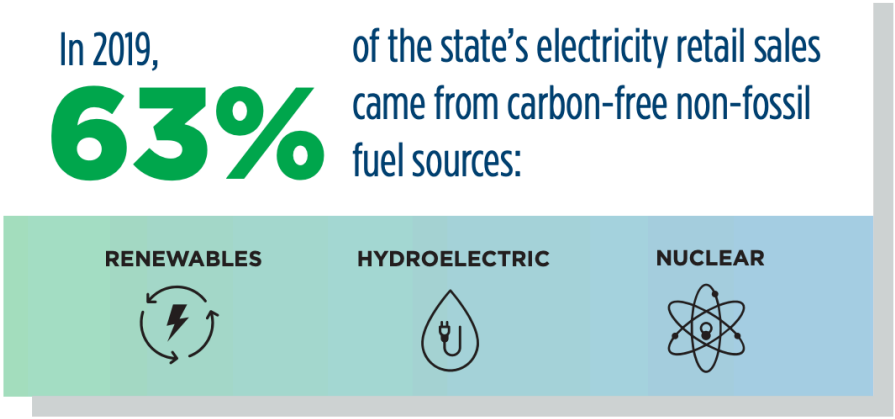
加州储能政策

加州可再生能源目标

Senate Bill 100 (2018): 2045年电力部门零碳化

可再生能源发电目标

2025年50%， 2030年67%， 2045年100%



加州储能政策和商业模式

1. 采购要求
2. 监管调整
3. 财政激励
4. 支持机制
   - 分时电价
   - 净计量电价

商业模式

- Behind-the-meter (BTM)
- Transmission interconnected
- Distribution interconnected

1. 采购要求

- **Assembly Bill 2514 (2010):** 要求三大电力公司购买一定的储能- San Diego Gas & Electric (SDG&E), Pacific Gas & Electric (PG&E) and Southern California Edison (SCE)
  - 2013: 2020年1.3GW
  - 2017: 2024年1.5GW
- **Assembly Bill 2868 (2016)**: 再增加0.5GW分布式储能采购要求
- **Senate Bill 801 (2017):** 要求SCE购买 20 MW储能满足电力可靠性
- 成本偿还机制
  - 过网费（传输网和配电网）
  - 发电费
  - CPUC成本分配机制

2. 监管调整

CPUC要求电力资源规划中要考虑储能全部的经济效益

2018

2019

CPUC要求把储能考虑进 Effective Load Carrying Capability计算中

3. 财政激励

Self-Generation Incentive Program: 给安装储能设备提供返现
ITC：储能和太阳能光伏捆绑安装享受太阳能税收减免

2008
CPUC把储能技术纳入SGIP

2009
Senate Bill 412 独立储能纳入SGIP

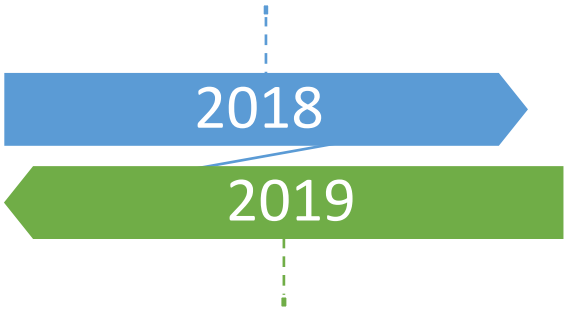
2017
CPUC把SGIP资金从8300万美元提高到1.66亿美元，其中80%用于储能项目

2018
Senate Bill 700
项目延长到2025年，格外增加8亿美元用于支持BTM储能

2019
Assembly Bill 1144 10%的资金专门用于火灾高发区储能项目

4.支持机制
分时电价

CPUC 批准向分时电价的强制性转变



三大电力公司逐步将所有用户转向分时电价

分时电价：通常夏季下午和晚上价格最高，冬季夜里和周末价格最低

PG&E

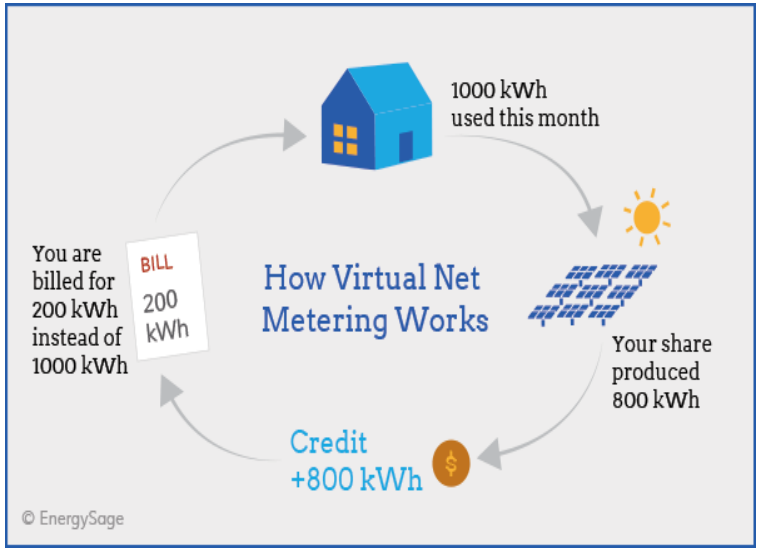
- 居民电价

之前是阶梯电价，用量越多电价越高
改变为分时电价后，高峰期为4-9pm电价最高

- 工商业电价

之前高峰期为中午12点-下午六点
改变后高峰期为4-9pm
之前夏季是六个月，
改变后夏季是四个月（6-9月）

4. 支持机制
储能净计量电价



- 2019年净计量除了包含太阳能光伏，还包括储能
- New ruling in 2019: CPUC allows storage customers that charge their battery entirely from solar, to receive full net-metering (NEM) credit when energy from the storage system is exported back to the grid.

储能的商业模式

	收入来源	相关政策
Behind-the-meter **电表后端储能**	Fixed payments from customers for energy storage equipment and energy management service 向用户提供能源管理服务后获得固定收入	零售电价结构 净计量 直接资金支持和奖励
Transmission interconnected **与电网连接的大规模储能项目**	Capacity and ancillary service 容量收入, 提供辅助服务收入 Participation in wholesale markets 参与批发市场获得收入	采购要求 资金支持和奖励
Distribution interconnected **与电网连接的分布式储能项目**	Capacity and ancillary service Participation in wholesale markets; Fixed payments from customers for providing energy bill management service	零售电价结构 净计量 资金支持和奖励 采购要求

谢谢!

林江
J_lin@lbl.gov

劳伦斯伯克利国家实验室http://china.lbl.gov
http://btjrc.lbl.gov