THE OXFORD INSTITUTE FOR ENERGY STUDIES

EU-CHINA Energy Cooperation Platform 中国 - 欧盟能源合作平台

中国农村能源转型：可再生能源、供暖和交通一体化

中欧合作的潜在领域

侯安德

2023年12月

Funded by the European Union Foreign Policy Instrument

1

演讲概述

演讲内容：

1. 整县光伏项目和热泵
2. 采用双向充电（光伏+热泵+双向充电）
3. 未来中欧合作的潜在领域

主要结论：

1. 在中国华北和华东的大部分地区，将热泵与分布式光伏结合具有极大意义，尤其是与燃气供暖或电供暖相比，这一结合更具价值；
2. 储能有助于进一步增加光伏发电的自发自用，但经济性不好；
3. 双向充电具有可行性，但在目前电价结构下双向充电无法实现经济效益。

2

THE OXFORD INSTITUTE FOR ENERGY STUDIES

第一部分

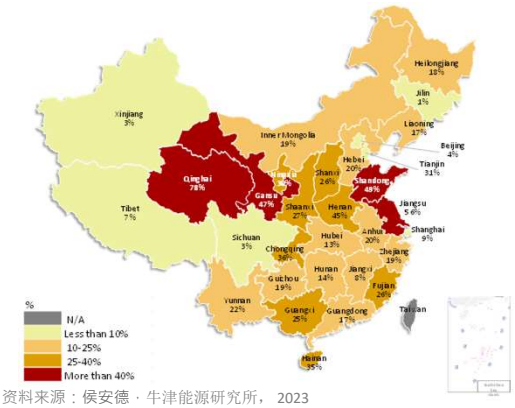
中国农村地区的光伏与热泵

牛津能源研究所中国能源计划

3

2021年整县光伏项目启动

2021年整县光伏县占全省人口比例



资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

2021年整县光伏县总人口

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

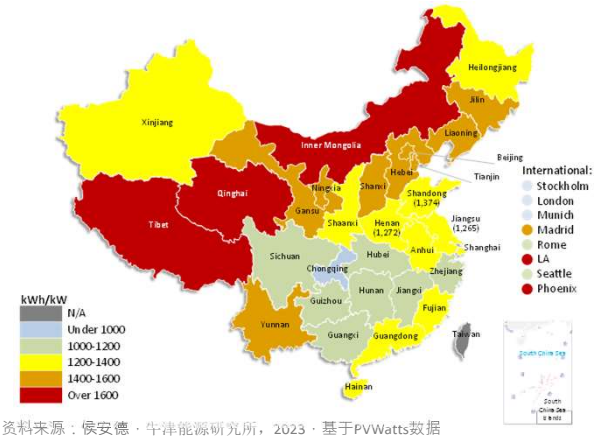
- 截至2021年9月，全国已有半数以上的县加入整县光伏项目，共计676个县
- 参与县最多的省份位于中国沿海地区，尤其是河南、江苏和山东

2023年12月

4

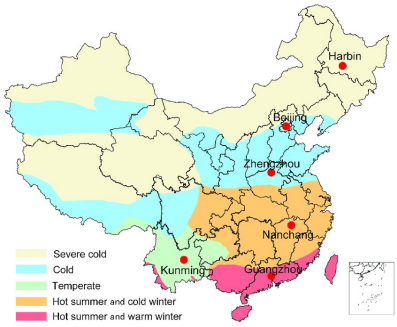
中国沿海地区是否适合发展光伏发电？

2021年整中东部县光伏县太阳能资源充足



资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023，基于PVWatts数据

河南、山东和江苏横跨寒冷和夏热冬冷气候带



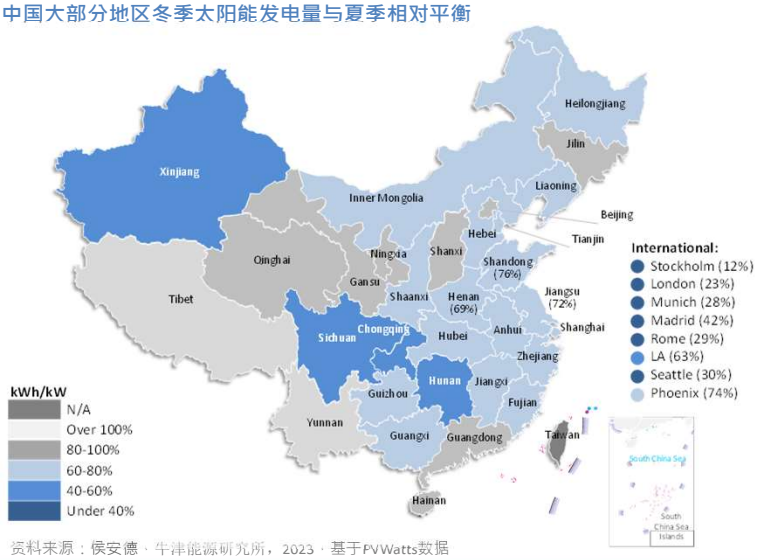
Fan Xinying et al., Energies, 2020 (CC)

- 整县光伏发电项目最多的省份每年拥有约 1300 小时的太阳能资源，资源优于南欧大部分地区

5

光伏发电能否支持冬季供暖？

中国大部分地区冬季太阳能发电量与夏季相对平衡



- 由于中国冬季气候普遍干燥，中国太阳能光伏资源的季节性远低于世界上大多数地区
- 中国中东部大部分地区冬季太阳能发电量高达夏季发电量的65-75%
- 因此，与世界其他地区相比，将光伏发电与电供暖相结合更具可行性

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023，基于PVWatts数据

6

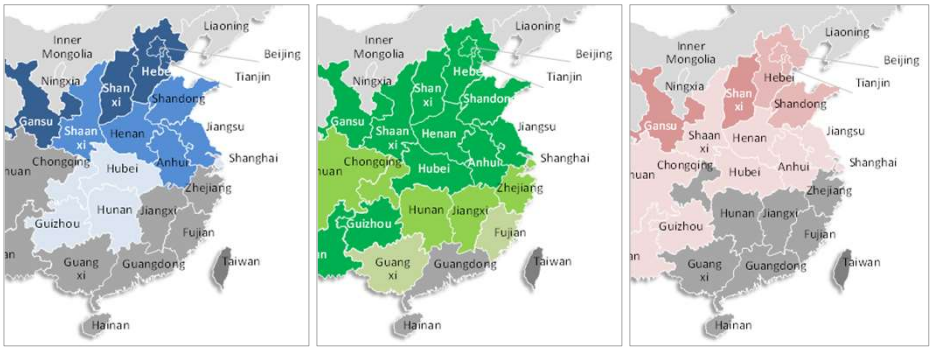
我们能否量化光伏家庭热泵的效益？

- 该分析旨在评估是否将热泵与现有家庭光伏计划结合起来，因此分析只考虑已安装光伏的家庭，即光伏发电是免费的。
- 该分析评估了清洁供暖转型的 4 种方案，可能与建筑能源改造结合：
  用燃气、燃煤或电阻炉供暖，夏季用空调制冷；
  或者用空气源热泵供暖和制冷

7

热泵在重点光伏省份具有经济吸引力

中国大部分地区冬季太阳能发电量与夏季相对平衡



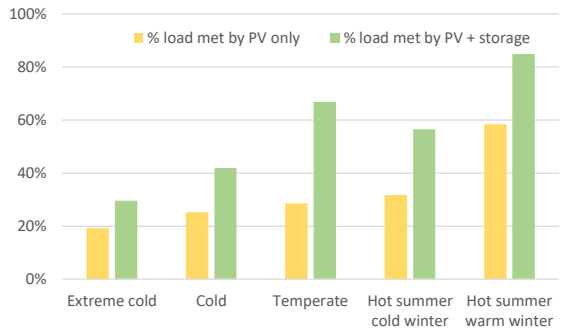
资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

- 该分析考虑了热泵投资回报期与安装新电阻炉供暖、新燃气供暖或新清洁煤供暖的对比情况
- 山东、河南和江苏等主要省份在所有三种情况下的投资回报期都很有吸引力
- 燃气供暖的投资回报期最佳，其次是电阻炉供暖，最后是燃煤供暖
- 热负荷最小、温度最高的省份采用高效热泵的经济效益最低

8

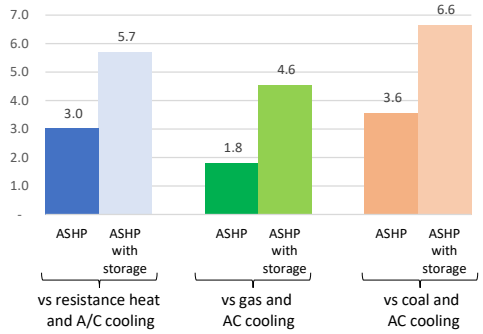
中国沿海地区是否适合发展光伏发电？

按气候区域，光伏与光伏+储能满足的年度热泵家庭负荷比例



资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

有储能和无储能空气源热泵的回收期与替代方案的比较情况



资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

- 由于当地配电网的限制，中国出台政策大力鼓励光伏发电的自发自用
- 热泵可提高光伏发电自用率，尤其是在有储能设备的情况下，光伏发电自用率能大幅度提高
- 然而，储能增加，资本成本会翻倍，从而大大延长投资回报期

9

投资回报具有吸引力，但政策障碍仍然存在

- 与燃气供暖和电阻炉供暖相比，热泵与现有光伏发电结合的投资回报期更具吸引力；
- 投资回报期决于家庭供暖负荷，而家庭供热负荷又取决于温度设定值，而最贫困家庭的温度设定值可能较低；
- 主要障碍包括：
  - 负责供暖和能源效率与光伏发电的部委不同；
  - 对煤炭的经济效益较为熟悉，而对采用热泵的经济效益认识不够；
  - 抵制前期支出，缺乏低成本融资方案

10

THE OXFORD INSTITUTE FOR ENERGY STUDIES

第二部分

农村能源转型中的智能充电与双向充电

11

智能充电、双向充电——中国与世界

- 智能充电与分时电价的现状
- 车辆到电网（V2G）、车辆到家、车辆到负载的现状
- 政策障碍
- V2G对可再生能源并网、碳达峰的影响

12

支持文献

“利用先进的灵活性措施，如智能电动汽车充电、需求侧响应和电力存储，支持极高份额的可变发电的可靠并网...]，同时将电力系统的运营成本降低2-11%，并使对化石燃料发电的需求降低30%。”
——国际能源署，2019年2月

到 2040 年，（中国）新能源汽车保有量将达到 3 亿辆，汽车电池容量约 200 亿千瓦时。乘用车和商用车参与电网调度的电量比例可分别达到 104 亿千瓦时和 5 亿千瓦时.....电动汽车对电网的电力支撑能力约为 30 亿千瓦，相当于非化石能源装机容量的一半。
——王贺武，能源与交通创新中心(iCET)，中国清洁交通伙伴关系

13

反对文献

"对我们来说，用福特 F-150 Lightning 给房子供电需要花费 1.8 万美元。福特充电站专业双向家用充电器是一种昂贵的家庭供电方式”。
- Christian Seabaugh，《汽车趋势》，2023

一个 7 千瓦的 V2G 交流充电器 2 小时可输出 14 千瓦时。假设电价补贴为 3 元，则收入为 42 元。一年中，电网需要调峰的日子屈指可数，仅有 30 天。年潜在收入约为 120 元，增加的成本约为 5000 元。收入加上增加的成本，需要近 40 年才能收回本金。
—充电喵，2022

14

分时电价与智能充电现状

- 公共充电器使用分时电价在中国很常见，但在国际上较为少见
- 分时电价在住宅和商业充电中很常见
- 在加州、英国和欧洲商业层面通过将电动汽车充电器聚合为虚拟发电厂，进行需求响应
- 世界各地正在提供动态电价计划，以满足平衡可再生能源的需求

15

“哑巴”充电也参与需求响应

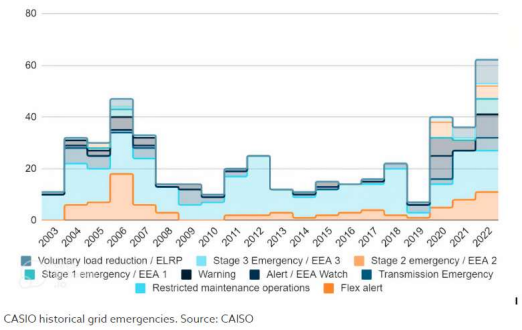
CANARY MEDIA

Californians saved the grid again. They should be paid more for it

Smart thermostats, solar-charged batteries, EVs and other household devices can shore up the stressed grid. Why isn't the state going all in on incentives?

15 September 2022

加州电网每年发生的紧急情况次数



CASIO historical grid emergencies. Source: CAISO

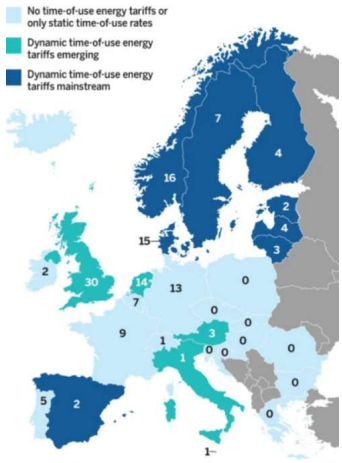
来源：金丝雀影视文化传媒，2022；CAISO，2023年

16

分时电价和动态电价普及率不断提高

- 在欧洲，住宅用电广泛采用分时电价，主要是静态分时电价；
- 爱尔兰、西班牙和法国等国家采用静态分时电价；
- 一些国家允许用户通过用户提醒对可再生能源或低碳能源进行分时收费，例如英国和荷兰等；
- 2023 年监管援助项目调查发现，欧洲有 139 项智能充电收费标准，但主要集中在北欧和英国。

2023 年各国智能电动汽车充电收费标准的数量



资料来源：Julia Hildermaier et al.，RAP，2023

2023年12月

17

不同类别的智能充电

- 分时电价：通常为一整年或更长时间的静态分时电价
  - 德国的峰谷价差从2020年的17%增加到2022年的50%以上
- 可控负荷网络收费：用户允许电网安排或关闭充电，可获得固定费用
- 电动汽车充电聚合，通常为大型充电站运营商或车队业主
- 基于日前市场的动态电价
- 基于价格、碳和可再生能源等多种因素的动态定价（丹麦、英国）

2023年12月

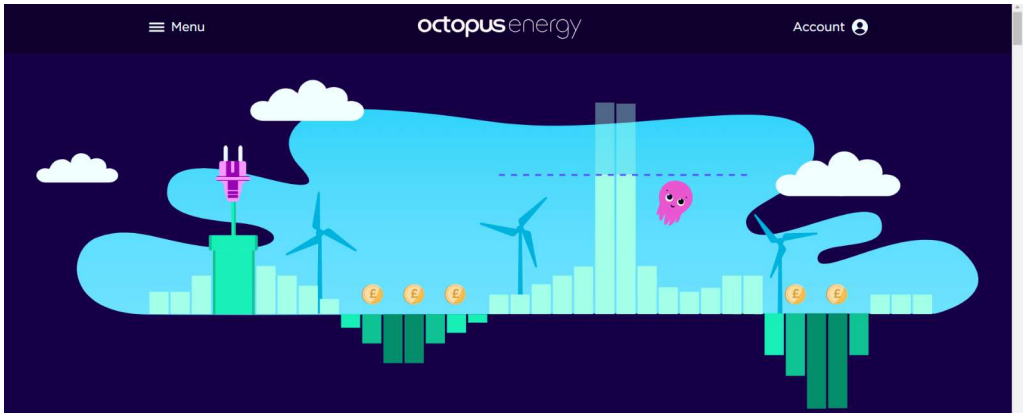
18

动态电价示例

Octopus电动车应用程序
适用于电动汽车车主的应用程序，可控制何时给电动车充电以及早上8点前需要多少电量。
针对住宅用户的Octopus灵活电价
Enel X：JuiceNet 平台
通信、控制和智能平台，可动态匹配驾驶员的历史充电模式、实时输入以及来自电网运营商和公用事业公司的信号，以汇总和管理充电站需求。
Monta
硬件和软件供应商，为充电站业主、企业和住宅业主提供动态电价解决方案
Nuvve：网格集成车辆平台GIVe
该平台可控制进出电动汽车的电流，确保始终满足驾驶员的里程需求，并优化电网可用电力。
The mobility house: Charge Pilot
充电和能源管理系统可以防止负荷峰值费用过高，降低负荷成本，还可以将建筑负荷和光伏系统考虑在内。

19

动态电价示例



- 2023 年冬季，Octopus的充电费用为 0.35 英镑/千瓦时。今年 7 月，由于太阳能发电量高，13:30 时的电费为 0.094 英镑/千瓦时。高峰期价格可高达 1.00 英镑/千瓦时。

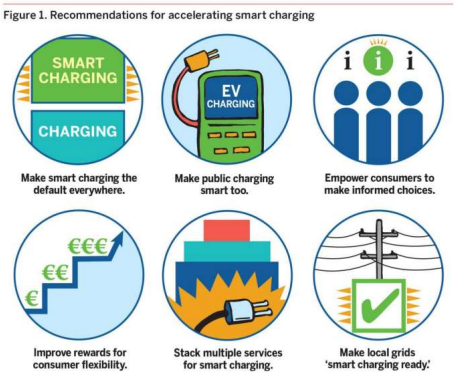
20

动态电价示例

- E.On为丹麦的公共充电站提供基于小时价格和可再生能源发电的动态电价。

欧洲智能充电建议

- 公平性要求所有用户都能因帮助平衡电网中获得经济回报；
- 公共充电应该奖励帮助电网的消费者——这应该是默认的；
- 目前，政策制定者将重点放在更实际的问题上，例如如何让充电更加容易。



资料来源：Jaap Burger · RAP · 2022

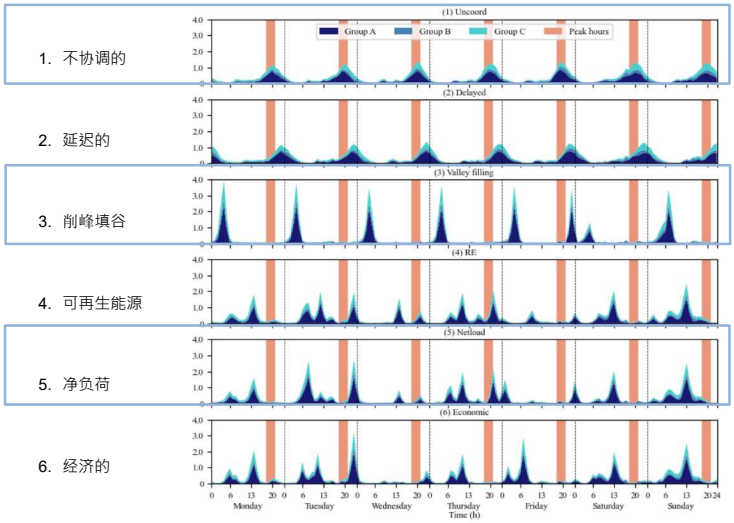
可再生能源智能充电具有可行性，但影响较小

2030 年北京的充电概况，假设行程全部完成且每日充满电

可再生能源充电方案与净负荷或经济性充电方法两者之一类似。

我们发现，通过这些措施，到 2030 年，可再生能源的使用率可提高 1-2%。

1. 不协调的
2. 延迟的
3. 削峰填谷
4. 可再生能源
5. 净负荷
6. 经济的



资料来源：清华大学胡泽春

2023年12月

23

车辆到电网（V2G）现状

- V2G在世界范围内仍处于早期阶段；
- 试点数量呈指数增长：
  - 2020年年中，全球仅有 50 个 V2G 试点项目；
  - 截至2023年8月，共有 27 个国家开展了 128 个 V2G 项目，涉及 6700 个充电器；
  - 许多V2G试点项目现在涉及数百辆汽车，由个人车主而不是车队参与；
- 具备 V2G 功能的车辆和充电设备现在才开始上市；
- 中国和国际政策文件中越来越多地提及 V2G。

2023年12月

24

V2G现状：即将推出的车型

2022年之前的V2G/V2L：
- 日产
- 雷诺
- 起亚
- 三菱

2023年V2G/V2L：
- 日产
- 雷诺
- 起亚
- 三菱
- 福特
- 大众/保时捷
- Rivian

2025年V2G/V2L：
- 日产
- 雷诺
- 起亚
- 三菱
- 福特
- 通用汽车
- 现代
- 大众/保时捷
- Rivian
- 长城汽车
- 比亚迪
- 吉利
- 一汽
- 小鹏
- 蔚来
- 赛力斯汽车
- 广汽怡安

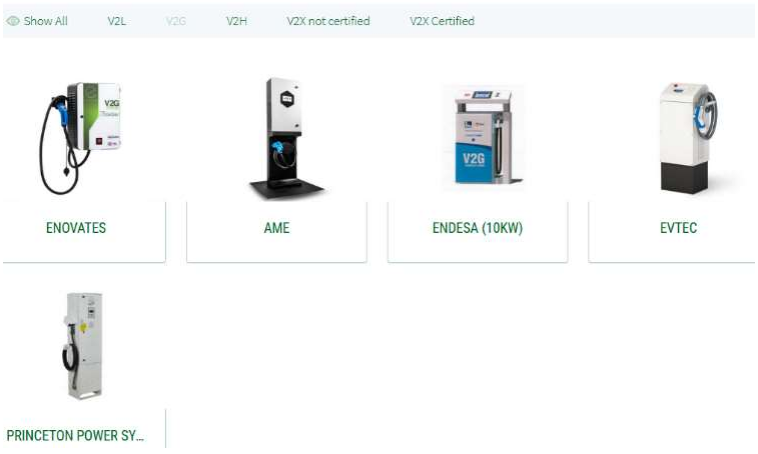
2023年12月

25

V2G现状：CHAdeMO是唯一标准化充电协议

- CHAdeMO是用于V2G的唯一标准化充电协议，并参与了大多数V2G项目
- CHAdeMO是用于V2X（包括V2G）的唯一标准化充电协议，量产车在以其为标准。
- 日产到2022年才推出双向家用充电器
- 2025年组合充电系统（CCS）标准准备好了吗？
- 理论上来说，北美充电标准（NACS）具有可行性，但特斯拉表示其“优先级较低”。

CHAdeMO V2G充电器



2023年12月

26

V2G 现状：充电器成本是个大问题

- 据报道，福特家用充电器价值10,000美元
- 英国为OVO V2G试用提供的家用充电器比普通家用充电器贵3700英镑
- Wallbox Quasar 在欧洲的售价为 4000 欧元，仅具备 CHAdeMO 功能
- Wallbox Quasar 2将以类似的价格提供双向CCS
- Ampora 承诺推出 1500 美元的双向 CCS 充电器
- 中国的双向家庭充电预估费用为30000元人民币

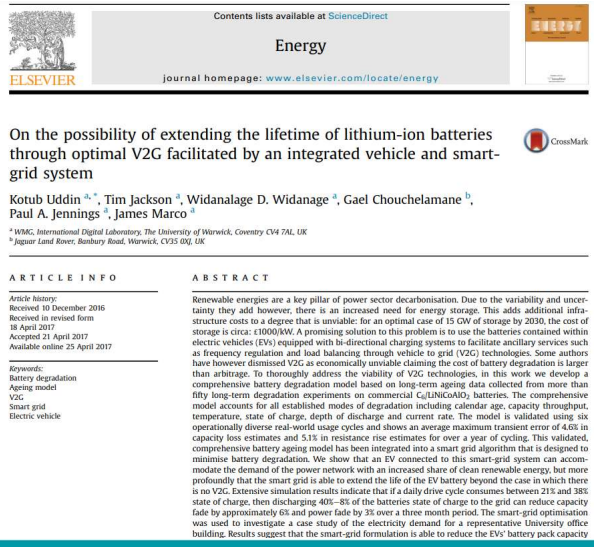
27

V2G现状：V2G 或 V2L 还存在很多其他问题

- 基础设施成本较高
- 缺乏标准
- 用户缺乏兴趣
- 缺乏激励措施
- 对电池寿命的担忧
- 对电网对V2G总需求的担忧

28

V2G现状：对电池寿命的影响常被夸大



Contents lists available at ScienceDirect

Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy

On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system

Kotub Uddin [a, *], Tim Jackson [a], Widanalage D. Widanage [a], Gael Chouchelamane [b], Paul A. Jennings [a], James Marco [a]

[a] WMG, International Digital Laboratory, The University of Warwick, Coventry CV4 7AL, UK
[b] Jaguar Land Rover, Banbury Road, Warwick, CV35 0XJ, UK

ARTICLE INFO

Article history:
Received 10 December 2016
Received in revised form
18 April 2017
Accepted 21 April 2017
Available online 25 April 2017

Keywords:
Battery degradation
Ageing model
V2G
Smart grid
Electric vehicle

ABSTRACT

Renewable energies are a key pillar of power sector decarbonisation. Due to the variability and uncertainty they add however, there is an increased need for energy storage. This adds additional infrastructure costs to a degree that is unviable: for an optimal case of 15 GW of storage by 2030, the cost of storage is circa: £1000/kW. A promising solution to this problem is to use the batteries contained within electric vehicles (EVs) equipped with bi-directional charging systems to facilitate ancillary services such as frequency regulation and load balancing through vehicle to grid (V2G) technologies. Some authors have however dismissed V2G as economically unviable claiming the cost of battery degradation is larger than arbitrage. To thoroughly address the viability of V2G technologies, in this work we develop a comprehensive battery degradation model based on long-term ageing data collected from more than fifty long-term degradation experiments on commercial C_6/LiNiCoAlO$_2$ batteries. The comprehensive model accounts for all established modes of degradation including calendar age, capacity throughput, temperature, state of charge, depth of discharge and current rate. The model is validated using six operationally diverse real-world usage cycles and shows an average maximum transient error of 4.6% in capacity loss estimates and 5.1% in resistance rise estimates for over a year of cycling. This validated, comprehensive battery ageing model has been integrated into a smart grid algorithm that is designed to minimise battery degradation. We show that an EV connected to this smart-grid system can accommodate the demand of the power network with an increased share of clean renewable energy, but more profoundly that the smart grid is able to extend the life of the EV battery beyond the case in which there is no V2G. Extensive simulation results indicate that if a daily drive cycle consumes between 21% and 38% state of charge, then discharging 40%–8% of the batteries state of charge to the grid can reduce capacity fade by approximately 6% and power fade by 3% over a three month period. The smart-grid optimisation was used to investigate a case study of the electricity demand for a representative University office building. Results suggest that the smart-grid formulation is able to reduce the EVs' battery pack capacity

“如果每天的驾驶消耗21%到38%的电量，那么三个月内，将电池电量的 40% 放电到电网，可以减少约 6% 的容量衰减和 3% 的功率衰减。”

综合文献综述表明，电池会出现一些退化，但如果循环次数保持在较小的范围内，电池退化是可控的。

荷兰的研究表明，电池退化主要是消费者在使用 V2G 之前遇到的问题；而在使用 V2G 之后，消费者们对出行便利性更感兴趣。

中国政策文件中越来越多地提及V2G

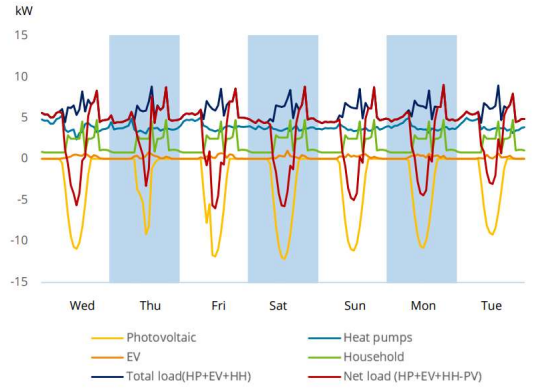
- 《电力需求侧管理办法: 征求意见稿》，国家发展和改革委员会，2023 年 3 月 5 日
- 《关于加快推进充电基础设施建设 更好支持新能源汽车下乡和乡村振兴的实施意见》，国家发展和改革委员会、国家能源局，2023年5月14日
- 《关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见》, 中国国务院，2023 年 6 月 8 日
- 《关于实施农村电网巩固提升工程的指导意见》，国家发展和改革委员会、国家能源局、国家乡村振兴局，2023 年 7 月 4 日

然而，目前的重点是研究、探索与试验。
国家电网上报了至少 42 个 V2G 试点项目，涉及 6000 多辆汽车。

东桥头模拟显示出 V2L 的潜力

- 我们对山东东桥头的模拟显示，冬季太阳能光伏发电量通常会超过家庭、热泵和电动汽车电池的用电需求……但需要进行电力存储；
- 东桥头有 1000 多辆两轮和三轮电动车，即大约每户 2 辆，以及 50 辆四轮电动车（占住户的 10%）——大约 6 兆瓦时的容量，即每户 14 千瓦时；
- 这表明有必要提高电动汽车的使用率，以平衡屋顶太阳能发电量。

拥有屋顶光伏、空气源热泵和电动车的家庭冬季发电和耗能情况



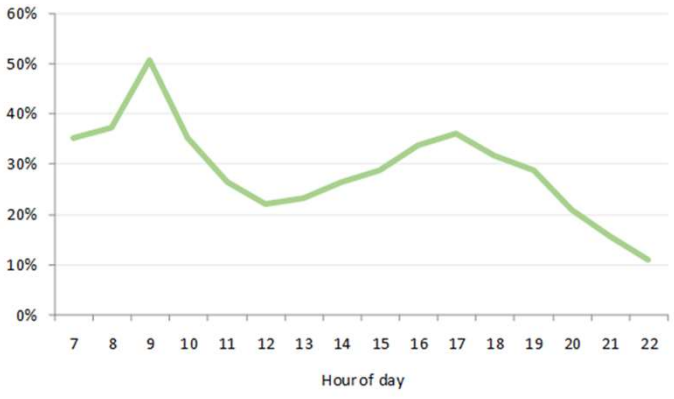
资料来源：GIZ，2022

2023年12月

31

农村居民的车辆使用更加多样化

基准情况下电动车离家的时间百分比



- 中国专家普遍认为，农村驾驶员对双向充电（车辆到家或 V2H）更感兴趣
- 经济动机更强
- 驾驶模式更多样化
- 该图显示了本研究的模拟驾驶时间

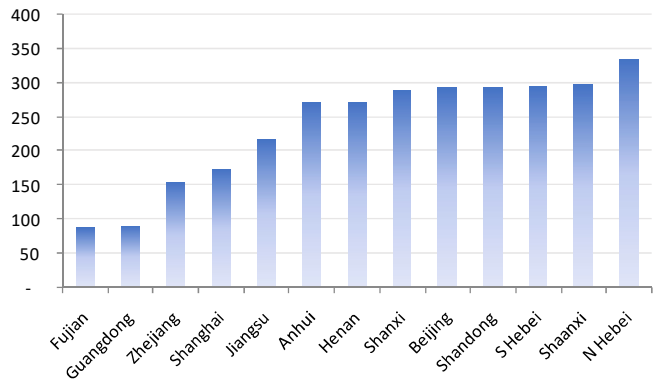
资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

2023年12月

32

双向充电仅能节省少量费用

V2H 与非高峰充电相比，基准情况下每年节省的电费（人民币）

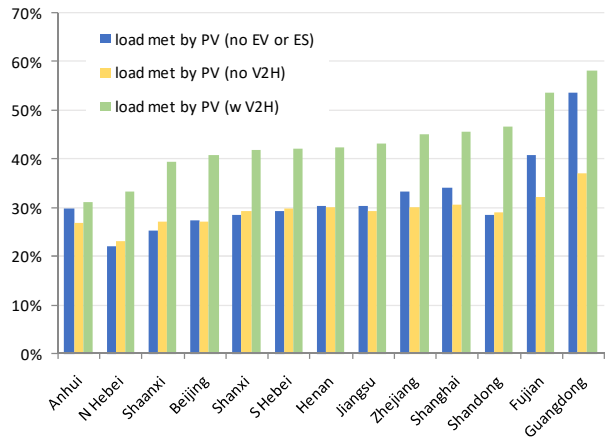


- 研究比较了各省整县光伏发电项目的电费节省情况；
- 与热泵分析类似，供暖需求较高的省份电费节省效果最佳；
- 然而，节省的资金相当有限，远远不足以收回充电器的成本溢价。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

V2H能提高光伏发电的自用率

基准情况下各地区光伏自用比例

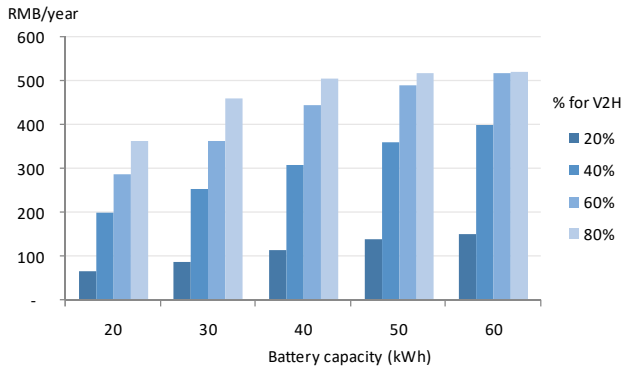


- 在提高中午光伏发电的自用率方面，V2H与储能具有相似的优势；
- 与热泵一样，V2H不能完全消除在特定时间将光伏发电送入电网的需要；
- 测试结果对驾驶距离和电池容量很敏感。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

40 千瓦时足以实现 V2H 电费节省作用

给定电池容量（千瓦）与V2H电池使用百分比的每年电费节省量（人民币）



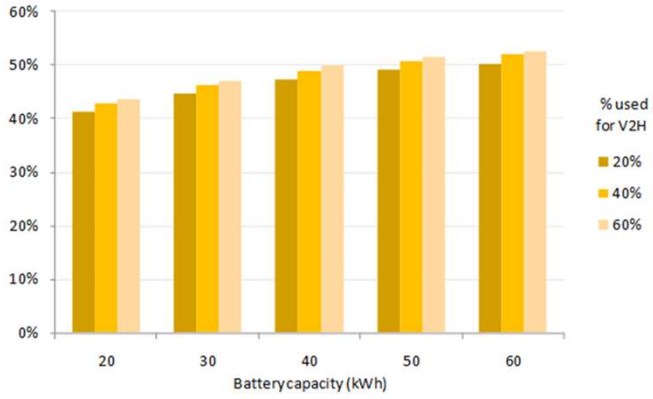
- 一般来说，仅使用20%的电池容量来吸收太阳能发电太少，电费节省效果并不明显；
- 使用60%或80%，电费节省效果更佳，但可能会缩短电池寿命；
- 40-60千瓦时的电池在电费节省作用方面差别不大

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

35

自用率敏感度不高

光伏发电满足家庭电力负荷的百分比取决于电池大小（千瓦）和用于V2H的电池容量比例



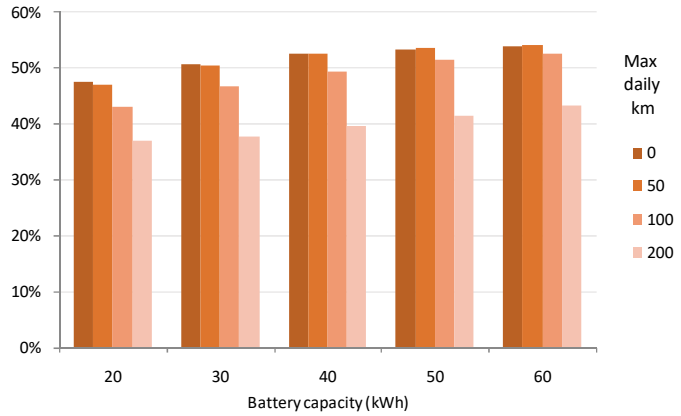
- 光伏发电自用百分比对电池大小和用于V2H的电池容量百分比的假设不是很敏感；
- 对于较大电池来说尤其如此；
- 如果政策目标是自发自用，少量的V2H就足够了

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

36

自发自用对驾驶距离的敏感度不高

家庭自发自用（百分比）与电动汽车电池容量（千瓦）和每日最大行驶距离（公里）的比较情况



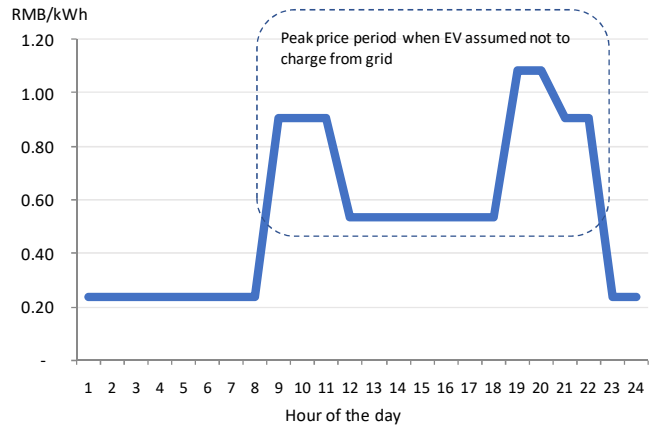
资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

- 驾驶模式是一个重要因素，但只有在日行驶里程达到较高水平（如最高日行驶200 公里）之后才能体现其重要性；
- 对于大多数除节假日外行驶里程很少超过100公里的司机来说，驾驶模式对光伏发电自用或每年电费节省的影响很小；
- V2H几乎不会影响到不额外充电即完成日常出行的能力。

37

电价结构至关重要

基准情况住宅分时电价及电动汽车充电时间



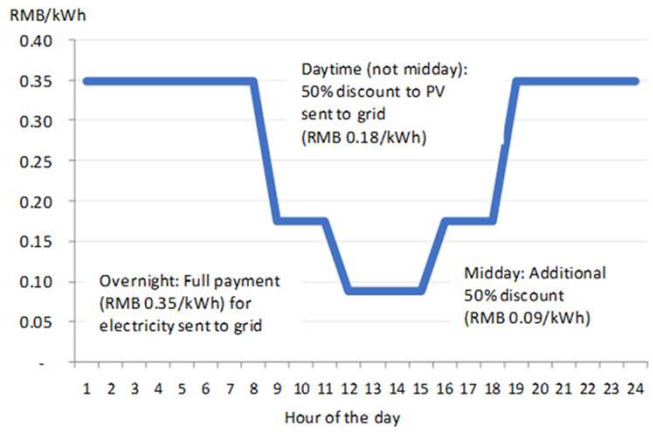
资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

- 在本研究中，必须假定住宅用电采用分时电价，而目前大多数人并不采用这种电价方式。
- 这条分时电价曲线代表了中国许多地区的典型价格模式（商业和工业用户），采用了五个电价时段

38

降低光伏发电并网费用对 V2H 至关重要

向电网输送剩余屋顶光伏发电量的假设分时付费表（人民币/千瓦时）

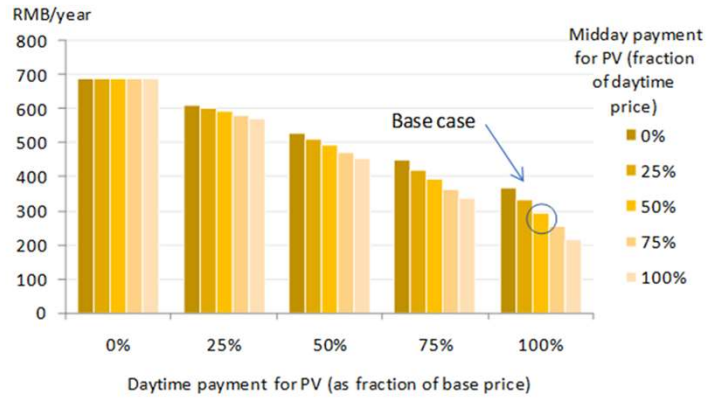


- 第二个重要因素是为送入电网的多余太阳能所支付的费用；
- 如果所有太阳能都得到全额补偿，那么为以后储存太阳能就没有价值了；
- 基准情况假设正午太阳能补偿为其他时段的一半；
- 敏感性分析考虑了 3 个价格时段：正午（最低价格）、肩峰（中间价格）和傍晚/早晨（全价）。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

支付更少，节省多多

每年节省的费用取决于白天送入电网的太阳能发电量（横轴）和中午发送到电网的太阳能（图例中的百分比）的支付百分比



- 该图显示了对白天光伏发电量进行全天折扣、或仅对中午进行折扣、或对两者都进行折扣的敏感度；
- 如果任何时候向电网输送的光伏发电都无需付费，则 V2H 每年可节省约 700 元人民币；
- 两个时间段的敏感度大致相同。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

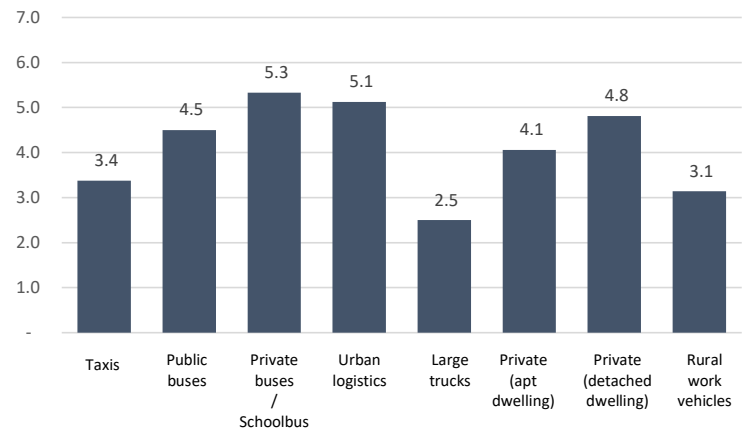
双向充电综述

- 智能充电和动态充电在许多国家已成为主流，但仍需努力；
- V2G 仍处于早期阶段，尚有争议，现在充电器和电动车已投入商用，即将迎来重大考验；
- V2L 和 V2H 对拥有分布式太阳能或配电网薄弱的农村地区大有裨益，但成本是个问题——成本节省效果不佳；
- 电价和剩余太阳能价格是决定 V2H 可行性的主要因素

41

国际分析师对一些V2G案例持乐观态度

双向充电对欧洲不同车辆用例的吸引力



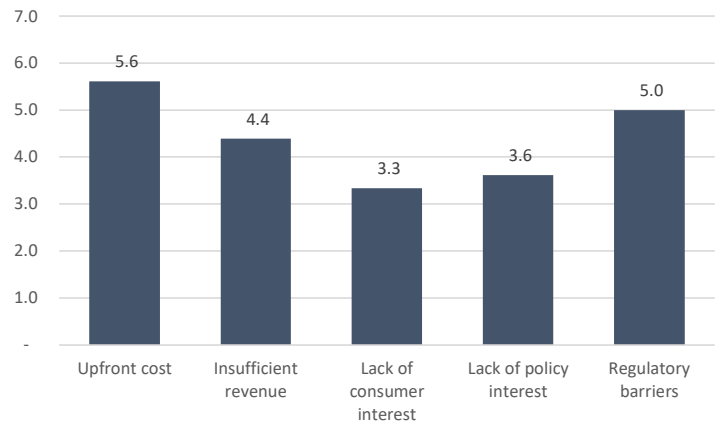
- 国际专家对双向充电的看法大相径庭；
- 一些专家认为双向充电只适用于车队，总体上持怀疑态度；
- 公共汽车、城市物流和私家车主认为双向充电最有前途。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

42

前期成本和监管障碍最为重要

不同障碍对欧洲双向充电的重要性



- 国际专家认为前期成本是迄今为止最重要的障碍；
- 不过，专家们也提出了一些监管障碍，以及许多地区缺乏动态电价的问题。

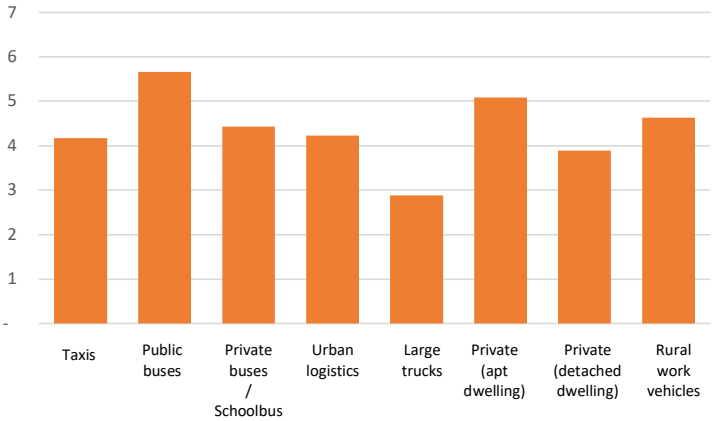
资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

2023年12月

43

中国专家对V2G案例同样持乐观态度

中国不同双向充电用例的吸引力



- 中国专家对V2G用例的看法与国际专家相似；
- 公共汽车和公寓居民更具吸引力；
- 与欧洲专家相比，中国专家认为农村用户使用V2G的可能性更大。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

2023年12月

44

THE OXFORD INSTITUTE FOR ENERGY STUDIES

第三部分

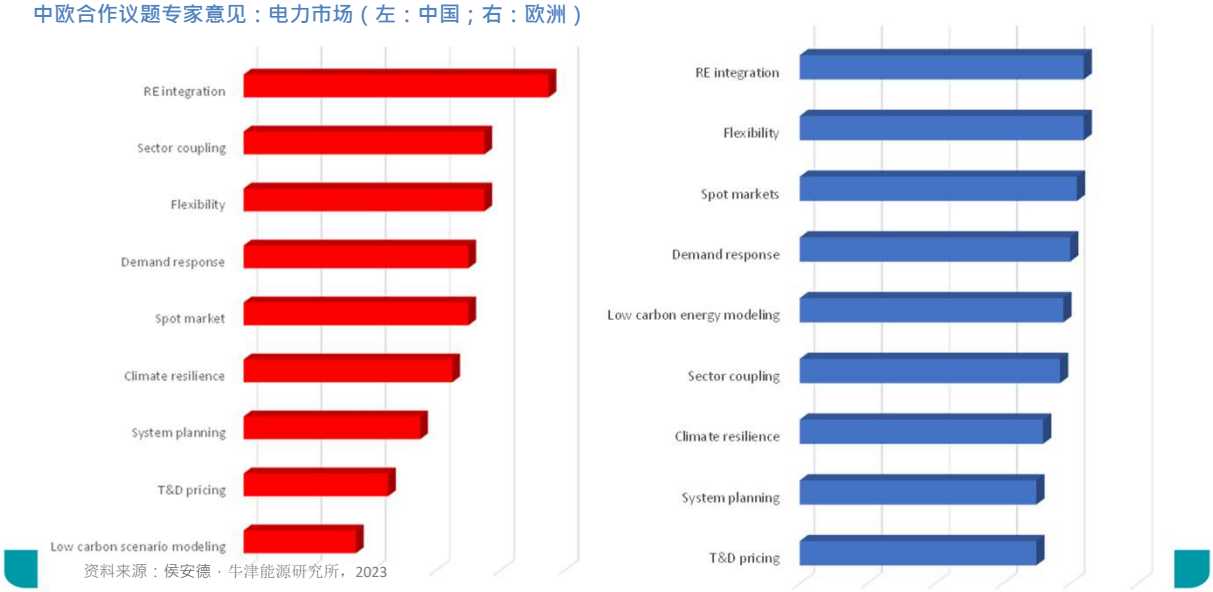
中欧合作潜力

牛津能源研究所中国能源计划

45

电力市场合作观点高度重合

中欧合作议题专家意见：电力市场（左：中国；右：欧洲）

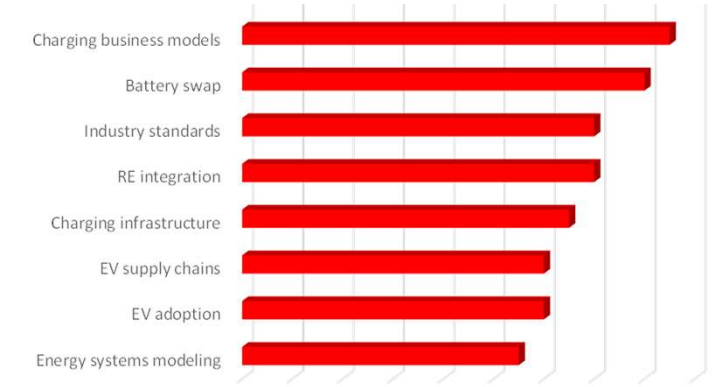


资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

46

中国与欧盟对电动汽车领域合作的看法类似

中国专家对中欧合作主题的看法：电动汽车



- 中国专家有兴趣了解充电的商业模式，并希望在电池交换和行业标准方面进行合作；
- 接受咨询的中国专家对能源系统建模并不是特别感兴趣。

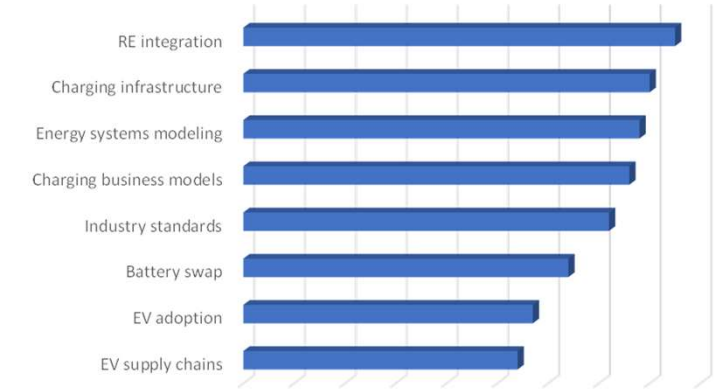
资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

2023年12月

47

中国与欧盟对电动汽车领域合作的看法类似

欧洲专家对中欧合作主题的看法：电动汽车



- 欧洲专家对可再生能源整合和充电基础设施方面的合作更感兴趣；
- 欧洲专家对能源系统建模更感兴趣。

资料来源：侯安德，牛津能源研究所，2023

2023年12月

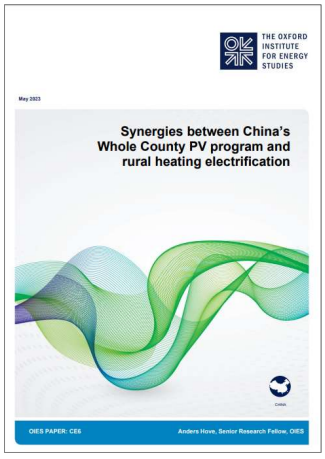
48

总结

双向充电与农村能源转型：
目前，双向充电对农村居民来说成本较高；
新的分时电价和较低的剩余太阳能发电价格是双向充电的有利因素；
专家对双向充电的看法不一，但对某些使用情况持乐观态度。

欧盟与中国在电力市场和电动汽车方面合作：
双方在可再生能源整合和灵活性方面的合作兴趣高度重合；
双方对电动汽车合作持有不同看法，但在许多领域可以双方可以相互学习（换电、可再生能源并网）以及开展务实合作（标准）。

谢谢大家！



https://www.oxfordenergy.org/publications/synergies-between-chinas-whole-county-pv-program-and-ruar-heating-electrifications/synergies-between-chin