



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、供暖与交通融合发展 ——中欧潜在合作领域

2023 年 11 月



欧盟对外政策工具资助项目

本报告由以下人员编写：

Anders Hove、Michal Meidan、Philip Andrews-Speed， 牛津大学能源研究所  
张素芳， 华北电力大学

中欧能源合作平台 (ECECP)

网站：<http://www.ececp.eu>

电子邮件：[info@ececp.eu](mailto:info@ececp.eu)

中欧能源合作平台于 2019 年 5 月 15 日启动，旨在支持和落实《关于落实中欧能源合作的联合声明》中的举措。ECECP 平台的总体目标是加强中欧能源合作。根据《欧洲绿色协议》、欧洲能源联盟、《全欧洲人共享清洁能源倡议》、气候变化《巴黎协议》和欧盟《全球战略》，通过加强合作，增进欧盟与中国之间的互信和理解，为推动全球能源向清洁能源转型，建立可持续、可靠和安全能源系统的共同愿景做出贡献。ECECP 二期项目由 ICF 国际咨询公司和中国国家发展和改革委员会能源研究所共同实施。

## 免责声明

本报告中所述信息和观点均为作者观点，并不一定反映欧盟、中国国家能源局或 ECECP 的官方意见。欧盟、中国国家能源局或 ECECP 均不对本研究相关数据的准确性负责。欧盟、中国国家能源局、ECECP 或其任何个人代表概不对报告信息的使用负责。有关 ECECP 的更多信息，请访问官方网站 (<http://www.ececp.eu>)。

© 欧盟 2023。版权所有。

英文编辑：Helen Farrell，中文编辑：赤洁乔



# 执行摘要

目前，中国正处于农村地区大力发展分布式屋顶光伏发电的阶段，与此同时，电动汽车（EV）在中国农村地区的应用也在迅速增加。中国也是世界上最大的电热泵市场，此前的一项分析表明，电热泵能促进中国农村地区吸收过剩光伏发电，助力大多数地区取代化石燃料供暖，同时获得可观的经济回报。

本研究扩展了对农村光伏和热泵的分析，包括对电动汽车双向充电潜力的评估。中国农村地区的平均收入低于城市，因此中国农村居民往往选择购买便宜的电动汽车，尤其是两轮和三轮电动车，当然，中国农村地区也常见低速四轮电动汽车。与城市居民相比，农村居民的驾驶时间可预测性较低，出于节省充电费用的目的，他们选择智能充电或双向充电的可能性会更高。

**本研究报告第一章介绍了中国农村能源转型的背景**，回顾了太阳能在农村地区的发展历程和整县光伏计划，以及在农村清洁供暖和推广电动汽车方面所作的努力。光伏和电动汽车市场在农村地区蓬勃发展，尤其是在中国东部地区，因此应该考虑将这两种技术相结合，以改善中国农村地区长期存在的配电网投资不足问题。

**第二章介绍了对中外专家的访谈结果。**访谈结果显示，中欧专家对双向充电作为能源转型组成部分的潜在贡献持有不同观点。在欧洲，专家们认为双向充电的成本高和车型短缺是能源转型的主要障碍，此外，还存在监管障碍，并且欧洲大多数地区尚未建立动态电价机制；而在中国，专家们则认为，一旦双向充电普及开来，许多农村居民可能会选择双向充电，尤其是那些拥有四轮电动汽车、但还能靠小型两轮或三轮电动车完成一些日常劳动的农村家庭。

此外，第二章还介绍了电力市场改革和低碳能源转型领域国际合作方面的专家访谈。中欧专家都乐观地认为，这些领域的合作对中欧双方都是有意义且有益的。尽管中欧在电动汽车领域慢慢成为商业和工业上的竞争对手，但双方专家都认为，双方的市场和经济仍具有高度互补性，双方的经验值得在政策层面上进行交流。正如一位专家所指出的，如果中欧双方都试图仅靠自己的力量找到低碳转型的解决方案，那么双方都无法如期实现气候目标。各自为政只会延缓和削弱清洁能源转型。

**第三章介绍了模型分析。**基于县级每小时太阳能发电数据与气候数据，分析结果如下：

1. 在所研究的大多数中国省份，双向充电每年可节约 250 至 300 元人民币（33 至 40 欧元）左右的电费。如果以较低的价格补偿过剩的太阳能发电量，则每年可节约 600 至 700 元人民币。在双向充电对中国农村家庭具有经济吸引力之前，需要改变双向充电的前期成本和分时电价结构（包括太阳能并网电价）。
2. 双向充电还可将光伏家庭电力自给率从没有双向充电时的 30% 至 40% 提高到约 50% 至 60%。
3. 通过双向充电提高中午光伏发电量，对大多数仅靠住宅充电来完成日常出行的司机帮助不大。
4. 然而，即使采用双向充电，一些家庭在某些时段仍会有富余的太阳能发电量，无法完全实现自发自用，这意味着车辆到家庭（V2H）双向充电并不能完全解决农村配电网投资不足的问题。

总体而言，双向充电在国内外仍是一个热议话题，许多人宣扬其好处，而其他专家仍对其潜力持怀疑态度。目前双向充电仍存在多方面障碍，包括消费者接受程度、电价、市场设计、税收、技术标准以及电池老化带来的不确定性等；另一方面，即使商业应用仅限于少数车辆或用户群体，如大型电动汽车车队，但新车型和具有双向充电能力的联合充电系统（CCS）充电设备以及中国充电桩的快速推出，也会加速双向充电在不同领域的应用。在美国和欧洲，V2H 双向充电似乎很有吸引力，尤其是对于拥有分布式能源的国家来说，V2H 双向充电极具吸引力；而中国最先关注的是双向充电的车队以及双向充电在工业领域的应用。

本研究主题为中国农村地区电动汽车充电与可再生能源以及其他清洁能源技术的融合发展。在这方面，中国目前还没有制定具体政策，尽管 2023 年，中国的几项政策提及或者暗示了在农村地区将使用智能充电或车辆到电网（V2G），从而促进农村地区的可再生能源普及。自 2021 年以来，农村屋顶光伏发电在整县光伏计划的推动下迅速发展，加上电动汽车在农村地区的普及率不断提高，可能会推动政策和实践方面取得重大进展，最终转化为推动 V2G 的政策动力，专门用于村级或户级分布式屋顶光伏发电的综合利用。

## 业务与商业合作前景

欧洲和中国的农村地区有着巨大的差异。就像中国城市比欧洲城市更大、密度更大一样，中国农村地区更贫穷、农业更发达。然而，双方农村地区在收入、就业和能源来源方面具有很大差异。在欧洲，屋顶太阳能光伏在一些较富裕的农村地区很常见，包括一些太阳能资源匮乏的地区；而在中国，屋顶光伏正在河南、河北、山东和江苏等中等收入省份迅速推广，这些省份拥有良好的太阳能资源，在许多情况下，当地的太阳能供应链也在不断发展。对于电动汽车的应用，双方农村地区也存在差异：欧洲农村地区通常更富裕，而中国农村地区则专注于使用电动汽车以节省资金，尤其是使用更小、更便宜的电动汽车。

本研究的访谈结果表明，无论是 V2H 还是 V2G，中国和欧洲农村地区在采用电动汽车双向充电方面都有着各自独特的优势和劣势。欧洲的优势在于其充满活力的实时批发电力市场，并努力将分时电价或动态定价的作用扩展到电动汽车充电领域。然而，欧洲的劣势在于双向充电设备的成本较高，并且需要解决的各种监管障碍等。相比之下，双向充电设备在中国成本很低，中国农村居民已经在考虑采用电动汽车双向充电。然而，居户用电价格的结构，包括消费和太阳能光伏发电过剩，将在短期内抑制中国居民对双向充电的兴趣。

欧洲企业可能会率先提供复杂的、以用户为导向的双向充电服务，这涉及到电力公司和充电服务提供商之间的合作。采用分时电价的某些地区和国家已经存在此类商业模式，正在推广此类商业模式的国家也日益增多。随着越来越多具有双向充电功能的车型进入市场，在家庭或电网应用方面，汽车企业和充电服务提供商将获得更多学习双向充电经验的机会。随着电动汽车充电日益集聚，欧洲企业可能会在双向充电领域获得更多经验，以提供更低的充电价格，尤其是为某种特定类型的电动汽车提供更低的充电价格。

中国企业的优势在于双向充电设备成本较低，而且电网公司有能力将大型试点项目迅速扩展到最近安装了大量分布式屋顶光伏的广大地区。在短期内，中国双向充电市场更有可能由政策和地方试点推动，而不是像欧洲那样由活跃在能源零售市场的商业参与者推动。然而，中国的低成本双向充电产品有助于解决欧洲双向充电的最大障碍之一，中国采用双向充电的速度将是欧洲企业需要关注和学习的重要方面。

# 目 录

|   |           |
|---|-----------|
| 概述  | 1         |
| <b>1. 通过整合光伏、热泵和电动汽车充电加快中国农村能源转型的总体潜力</b> | <b>3</b>  |
| 1.1 国内外农村智能充电及 V2G 促进可再生能源并网的总体情况及趋势      | 3         |
| 1.2 中国农村光伏政策                              | 5         |
| 1.3 中国电动汽车市场                              | 9         |
| 1.4 电动汽车充电                                | 11        |
| 1.5 国内外智能充电                               | 11        |
| 1.6 中国的 V2G 政策                            | 13        |
| 1.7 中国以外地区的 V2G                           | 15        |
| 1.8 中国农村可再生能源并网、需求响应、电动汽车充电和 V2G 政策       | 17        |
| 1.9 小结：智能充电和 V2G 尚处于起步阶段，但进展正在加快          | 21        |
| <b>2. 专家对电动汽车充电及中欧合作潜力的看法</b>             | <b>22</b> |
| 2.1 概述                                    | 22        |
| 2.2 欧洲和中国农村电动汽车及双向充电的背景                   | 23        |
| 2.3 访谈结果：国际电动汽车充电专家                       | 24        |
| 2.4 中国电动汽车专家对双向充电和农村电动汽车使用的看法             | 38        |
| 2.5 中国对电动汽车充电与可再生能源的融合领域国际合作的看法           | 44        |
| 2.6 国际政策专家对双向充电促进可再生能源并网领域中欧合作的看法         | 48        |
| 2.7 小结                                    | 53        |
| <b>3. V2H 与光伏、热泵相结合的建模与分析</b>             | <b>54</b> |
| 3.1 概述                                    | 54        |
| 3.2 V2H 的电费节约效果                           | 57        |
| 3.3 V2H 电费节约情况的地区差异                       | 58        |
| 3.4 电池和 V2H 特性的敏感性分析                      | 59        |
| 3.5 结论：V2H 在不影响便利的情况下为太阳能和电动汽车用户节省了大量成本   | 65        |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 4. 中欧开展电动汽车充电和 V2G 领域合作的结论与经验 | 67 |
| 5. 图片目录                       | 69 |

## 概述

虽然可再生能源通常位于农村地区，但在中国历史上，能源转型往往侧重于大型集中式项目，而不是从分布式可再生能源中获益的小型社区。同样，对于能效投资、汽车电气化或供暖电气化，农村地区的收入较低，因此往往不是促进此类技术或投资政策的重点。

近年来，这种情况开始发生变化。2021年，中国国家能源局推出了整县光伏试点政策，尽管遇到了一些挫折，但农村地区的家庭太阳能光伏装机容量激增，特别是在山东、河南和江苏等中北部的少数省份。但问题是小村庄往往没有足够的用电需求来吸收当地大幅波动的太阳能发电，同时也超出了配电网容量，导致省级电力供应过剩。虽然政策制定者试图提高局部电网的容量，但为了降低投资成本，必须出台政策，促进当地电力需求和储能，以吸收太阳能峰值发电。

本研究旨在分析农村电气化在促进分布式可再生能源并网，特别是村级分布式屋顶光伏发电并网方面的潜力。该研究基于先前对分布式光伏、热泵和储能之间协同作用的分析，这些协同作用有可能大幅提高当地光伏的自用率——从不带储能时的20%至30%左右提高到带储能时的40%至60%。<sup>1</sup>

以往研究还发现，储能的投资成本过高。因此，无论是通过智能充电还是双向充电，采用电动汽车都有可能促进剩余的光伏发电的消纳。双向充电可以在单个家庭层面上发挥作用，即所谓的车辆到家庭（V2H）或车辆到负载（V2L），也可以通过双向公共充电桩或当地社区专用的共享充电桩，在V2G层面上为整个当地社区提供服务，同时仍然可以降低电网的投资成本。

为了解决这些问题，本研究采用了三种方法。首先，研究分析建立在整县光伏试点背景下的家庭和村级能源消耗模型的基础上，并结合了对目前农村居民主要使用低成本两轮和三轮电动车这一趋势的研究；其次，由于建模的局限性以及未来技术发展和成本的不确定性，本研究结合了对中国电网和电动汽车专家的访谈；第三，为了评估本课题作为在加速中外清洁能源转型，以促进国际合作方面的潜力，本研究将包括对欧洲和美国业内人士的专家访谈，以比较智能充电和双向充电的进展与经验，作为本课题比较与交流的基础。

- 第一章概述了当前可再生能源和电动汽车在农村能源转型中的应用趋势。该章回顾了农村能源转型的相关文献和政策，并简要讨论了欧洲和中国的电力市场、电动汽车充电和双向充电的现状。
- 第二章介绍了本研究进行的共计三十次半结构式专家访谈的结果。本研究共咨询了两组专家：第一组是电动汽车或充电行业的电动汽车和电动汽车充电相关专家，或是学术界、非政府组织或电网公司的电动汽车充电政策方面的专家。第二组是中欧国际合作政策方面的专家，访谈话题主要涉及电力行业。针对每个专家小组，本研究都提供了访谈结果，以比较国际专家和中国专家的回答。
- 第三章专门讨论了农村交通电气化问题，包括传统电动车和三轮车等小型电动车，重点讨论是小型电动车与可再生能源的结合。本研究通过访谈收集数据，分析了农村地区电动汽车充电模型。这些数据用于模拟电力负荷与分布式可再生能源发电之间每小时的匹配情况，并更好地了解智能充电和/或V2G在促进可再生能源自用方面的经济潜力和障碍。

主要比较对象是欧盟，原因如下：第一，中欧各自拥有先进、全面的应对气候变化战略。其次，欧盟和中国都是大型汽车市场和制造者，电动汽车在新车销量中所占比例相近。第三，尽管欧洲农村地区

<sup>1</sup> Anders Hove, 'Synergies between China's Whole County PV program and rural heating electrification,' Oxford Institute for Energy Studies, 2023年5月, <https://www.oxfordenergy.org/publications/synergies-between-chinas-whole-county-pv-program-and-rural-heating-electrification/>.

在收入、能源消耗、汽车保有量等方面与中国存在较大差异，但欧洲和中国农村地区对太阳能和电动汽车的使用率都很高。中欧农村地区在上述所有特征方面都存在很大差异。

建模结果表明，双向充电具有良好的潜力，可以推动中国农村地区节约电力成本，同时提高屋顶太阳能光伏发电的利用率。这与早前对农村地区光伏发电与热泵配对的分析结果相吻合，表明农村能源转型具有巨大潜力，可显著减少化石燃料排放，提高当地对可再生能源的利用率。然而，这一乐观结果面临着许多实际障碍，特别是在投资成本和政策协调方面。电动汽车智能充电和双向充电领域同样机遇与挑战并存。由于新车型和充电桩的出现，以及智能充电和双向充电普及后新政策的实施，许多政策和技术不确定领域在未来三到五年内可能会发生重大变化。虽然中国农村地区的条件与欧洲或北美地区存在明显差异，但国际作为这一领域经验与教训的相互交流提供了一些机会。

# 1. 通过整合光伏、热泵和电动汽车充电 加快中国农村能源转型的总体潜力

## 本章概要

- 随着中国在整县光伏计划下农村屋顶太阳能光伏发电规模扩大，由于中午太阳能供过于求，而农村配电网又很薄弱，人们越来越关注如何实现光伏发电并网。
- 供热和交通电气化为吸收过剩的光伏发电量提供了潜在解决方案，但只有在适当的条件下才能实现，而且这两项技术在国内外都面临障碍。
- 中国在电动汽车应用方面处于领先地位，并发起了一项新的运动，在农村地区推广电动汽车和充电基础设施。许多农村居民已经拥有两轮和三轮电动车。
- 中国从好几个方面进行电力市场改革，鼓励灵活收费，提高当地的太阳能发电利用率，例如普及分时定价等。
- 在中国电力市场和电动汽车政策文件中，V2G 出现的次数越来越多。中国汽车制造商和国际汽车制造商正在推出能够进行双向充电的车型。
- 这些趋势，加之中国许多农村地区广泛部署屋顶光伏，最终可能转化为推动 V2G 的政策动力，以在村级或家庭层面实现分布式屋顶光伏并网。

本研究概述了农村能源转型中可再生能源和电动汽车的应用情况，评估了农村地区光伏和电动汽车的使用情况，以及这些地区光伏并网和电动汽车充电的总体情况及趋势。本报告中的分析为第二章中半结构式访谈以及第三章中建模分析奠定了基础。

## 1.1 国内外农村智能充电及 V2G 促进可再生能源并网的总体情况及趋势

### 中国农村能源转型的背景介绍

从某种意义上说，中国的农村清洁能源转型已经进行了几十年：中国的农村地区已经从传统的非商业能源（如秸秆和木柴）逐步转向煤炭、石油和电力。最近，煤炭的使用已转向更清洁的煤炭形式以及煤炭的替代品，如电力、天然气和太阳能。如今，由于低成本的两轮和三轮电动车的出现，电动汽车在中国农村的普及率有所上升。

尽管在减少农村能源传统污染物排放和增加能源获取方面取得了明显进展，但清洁能源转型在中国农村地区面临着巨大障碍。城乡收入的巨大差距，以及建筑标准和基础设施的巨大差异，使得农村居民和企业往往选择成本最低的材料和能源，即便从长远来看，更清洁的选择更具经济性。因此，农村地区往往依赖于针对农村生计的重大政策举措，如光伏扶贫计划或“与空气污染作斗争”的农村清洁供暖运动。

最近，整县光伏计划试图利用一种独特的模式提高光伏在中国的普及率，以扩大屋顶光伏规模。本研究以之前的研究为基础，评估了利用整县试点项目概念将光伏发电与其他清洁能源技术（即电热泵）相结合的潜力，与传统供暖技术相比，电热泵大幅度提高了能源效率。在本研究中，进一步分析了通过智能充电或 V2G 将光伏、热泵和电动汽车技术相结合的潜力。

在能源结构方面，过去三十年中，中国农村家庭的能源来源发生了深刻变化。煤炭在农村家庭商业能源使用中所占的比例从 1991 年的 93.7% 下降到 2012 年的 57.4%，而在差不多相同时段内，电力消费所占的比例从 4% 左右上升到 27%，石油消费则从 2% 上升到 15%。这些商业能源在很大程度上取代了秸秆和木柴等传统生物质能源，这些能源在 1990 年占家庭能源消耗的 77%，但 2015 年占比只有 38%。然而，中国最偏远的农村地区尽管可以使用电力、煤炭和其他能源，但仍可能继续依赖这些传统能源。在山东和江苏等华东省份，与煤炭或传统生物质能源相比，电力和石油所占比例的变化要大得多。<sup>2</sup>

在几乎同一时间段，中国一直致力于减少农村能源排放，提高清洁能源的可及性，以改善农村生计和室内空气质量，并解决区域空气质量问题。低成本太阳能热水供暖在 21 世纪第一个十年迅速兴起，供暖面积从 2000 年的 1000 万平方米增加到 2018 年的 8000 多万平方米。<sup>3</sup> 农村光伏也是政策重点，下文将进一步讨论。然而，清洁供暖政策的主要重点是通过热泵或电阻加热等实现直接电气化，或通过扩大区域供暖网络，从煤炭转向电力或天然气。在努力淘汰污染最严重的家用煤炉取暖后，中国北方 15 个省份中，有 7 个省份 70% 以上的家庭面积实现了清洁供暖。<sup>4</sup> 尽管电价相对较低，但家庭用电量仍低于美国或欧洲（尽管在过去 20 年里增长强劲），而且农村家庭用电量低于城市家庭。<sup>5</sup>

在中国农村地区，低能效建筑、高能源成本、低舒适度仍是常态。由于建筑质量差，农村居民的能源消耗更多。<sup>6</sup> 过去几十年来，农村地区的建筑材料几乎没有发生变化，仍以低成本、就地取用的材料为主，如混凝土块或砖块等。<sup>7</sup> 农村居民往往就地取材自行建造或翻新房屋，导致气密性差、湿气渗漏严重。在一些地区，只有不到 20% 的新建建筑符合政府规定的能效标准<sup>8</sup>，而现有建筑的能效无疑更低。由于效率低下和收入较低，农村家庭不得不接受比城市更大的室内空气温度变化和湿度变化。在中国农村地区，冬季室内温度保持在 10°C 的情况并不少见。<sup>9</sup>

虽然农村地区的收入低于城市地区，但近几十年来这种情况已经稳步改善。从 2010 年到 2020 年，农村家庭收入增长了 3 倍<sup>10</sup>，城乡收入差距似乎已经达到顶峰。长期以来，中央政府一直把农村发展作为一项优先政策，尽管农村人口在减少，适龄劳动人口选择到城市最大、最发达的沿海地区就业。许多偏远地区都成了“空巢村”，几乎没有适龄劳动人口，大多是照顾孙辈的老年人。这些村庄可能特别不愿意对主要的节能或清洁能源技术进行投资。

2 Xinxin Zhang et al., 'A Review on the Rural Household Energy in China From 1990s—Transition, Regional Heterogeneity, Emissions, Energy-Saving, and Policy,' *Front. Energy Res.* 10, 2022 年 5 月 25 日, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.907803>.

3 同上。

4 Niu Yuhan, 'What next for clean heating in rural China?,' *China Dialogue*, 2023 年 5 月 25 日, <https://chinadialogue.net/en/energy/what-next-for-clean-heating-in-rural-china/>.

5 Dong Wu et al., 'Features and drivers of China's urban-rural household electricity consumption: Evidence from residential survey,' *Journal of Cleaner Production*, 365, 2022 年 9 月 10 日, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132837>.

6 He Bao-jie et al., 'Overview of rural building energy efficiency in China,' *Energy Policy*, 69, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.018>.

7 Baiyi Li et al., 'Energy consumption pattern and indoor thermal environment of residential building in rural China,' *Energy and Built Environment* 1(3), July 2020, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.04.004>; Rongdan Diao et al., 'Thermal performance of building wall materials in villages and towns in hot summer and cold winter zone in China,' *Applied Thermal Engineering*, 128, 2018 年 1 月 5 日, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.159>.

8 Rongdan Diao et al., 'Thermal performance of building wall materials in villages and towns in hot summer and cold winter zone in China,' *Applied Thermal Engineering*, 128, 2018 年 1 月 5 日, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.159>.

9 Baiyi Li et al., 'Energy consumption pattern and indoor thermal environment of residential building in rural China,' *Energy and Built Environment* 1(3), 2020 年 7 月, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.04.004>.

10 'Annual per capita disposable income of rural households in China from 1990 to 2021,' *Statista*, 2022 年 1 月, <https://www.statista.com/statistics/289182/china-per-capita-net-income-rural-households/>.

## 1.2 中国农村光伏政策

中国国内的太阳能光伏产业于 2000 年代初开始起步，最初瞄准的是出口市场，随后瞄准与高压电网相连的电厂项目。然而，从 2010 年代初开始，中国政府也开始强调在农村和城市地区推广分布式太阳能光伏发电的政策。2013 年，中国试点了光伏扶贫项目，并于 2016 年在国家发展和改革委员会、国家能源局、国务院扶贫开发领导小组、国家开发银行和农业发展银行的牵头下，将其转变为一项国家政策。<sup>11</sup> 根据该项目，中国 16 个省 471 个县的 35000 个贫困村获得了包括社区级光伏阵列和家庭光伏在内的光伏投资。

对光伏扶贫项目的研究表明，该项目有助于增加参与村庄的收入，但据报道，项目报告在受益人群方面存在问题。<sup>12</sup> 有效实施的障碍包括：小型太阳能缺乏融资，维护和保养缺乏资金，地方官员缺乏激励措施等。<sup>13</sup> 该项目还存在补贴支付延迟、农村配电网基础设施不足、向农村居民提供的光伏设备质量低劣以及收益分配不灵活等问题。这些问题导致当地居民的光伏发电收入减少。这与其说是由于弃光造成的，不如说是由于发电量低和补偿不足造成的，并最终增加了每千瓦时光伏发电的部署成本。<sup>14</sup>

自光伏扶贫项目实施以来，中国每年安装的各类光伏发电设备不断增加，目前中国每年新增的光伏发电装机容量超过了任何其他类型的电源。光伏发电（包括分布式光伏和屋顶光伏）前期成本的稳步下降，也使人们对分布式光伏发电（包括在更多的农村地区）的兴趣与日俱增。同时，中国西部规划的大型能源基地之间的输电瓶颈也促使政府推动在中国东部采用更多的分布式光伏发电。

在经济状况改善和输电限制的共同作用下，中国政府最终通过了一项新的试点方案，即“整县光伏计划”。该政策<sup>15</sup>于 2021 年 6 月公布，要求参与县为 50% 的政府建筑、40% 的学校和医院等公共建筑、30% 的商业和工业建筑以及 20% 的家庭安装屋顶太阳能。参与该计划的主要好处是，允许各县组织一次招标，由一家公司负责为所有规定的屋顶安装太阳能，这样就有可能大幅降低招揽客户、规划审批、并网程序等各种软性成本，这些软性成本通常导致小型屋顶太阳能的安装成本增加。截至 2021 年 9 月，中国已有 650 多个县或其他实体加入了该计划<sup>16</sup>，约占中国县域总数的一半，人口约占全国总人口的四分之一。

整县光伏计划的实施极大地推动了中国向分布式太阳能光伏，尤其是屋顶太阳能光伏发展这一明显趋势，中国的分布式太阳能光伏最初主要集中在偏远地区的大型电厂级光伏电站。按照国家能源局的报告，2022 年，中国新增太阳能光伏装机容量为 87GW，其中 51.1GW 为分布式光伏。51.1GW 的分布式光伏装机中，约一半是家庭安装的屋顶光伏。新增的屋顶光伏装机大部分集中在整县光伏推进计划最活跃的省份，特别是中国中东部地区的河南、河北、山东、安徽和江苏省。分布式光伏装机（包括工商业和户用）目前约占中国太阳能装机总量的 40%。<sup>17</sup>

11 Huimin Zhang et al., 'Solar photovoltaic interventions have reduced rural poverty in China,' *Nature Communications*, 23 April 2020, at [nature.com/articles/s41467-020-15826-4](https://www.nature.com/articles/s41467-020-15826-4).

12 Sam Geall et al., 'Solar energy for poverty alleviation in China: State ambitions, bureaucratic interests, and local realities,' *Energy Research & Social Science*, Volume 41, July 2018, Pages 238-248, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.035>.

13 Suzanne Fisher Murray, 'Solar PV can help China's poorest,' *China Dialogue*, 2016, <https://chinadialogue.net/en/energy/9420-solar-pv-can-help-china-s-poorest/>.

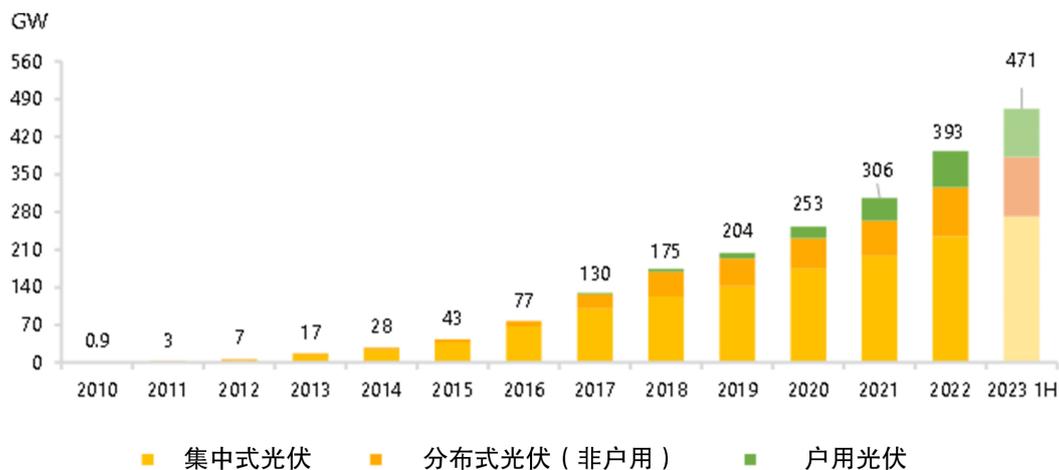
14 Yan Li et al., 'A review of photovoltaic poverty alleviation projects in China: Current status, challenge and policy recommendations,' *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 94, 2018 年 10 月, 第 214-223 页, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.012>.

15 《国家能源局综合司关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》，2021 年 6 月 20 日, <http://www.chic.org.cn/home/index/detail?id=1100>.

16 《国家能源局综合司关于公布整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点名单的通知》，2021 年 9 月 8 日, [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/15/content\\_5637323.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/15/content_5637323.htm).

17 2022 年光伏发电建设运行情况，国家能源局，2023 年 2 月 17 日, [http://www.nea.gov.cn/2023-02/17/c\\_1310698128.htm](http://www.nea.gov.cn/2023-02/17/c_1310698128.htm).

图 1：中国各类太阳能装机总量



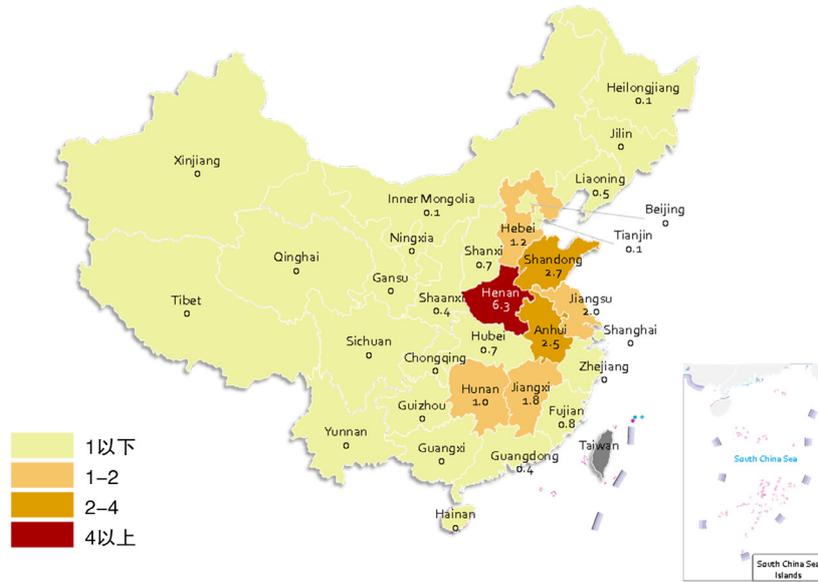
资料来源：牛津能源研究所 (OIES) (基于国家能源局数据)。

图 2：2022 年各省新增户用光伏装机容量 (单位：GW)



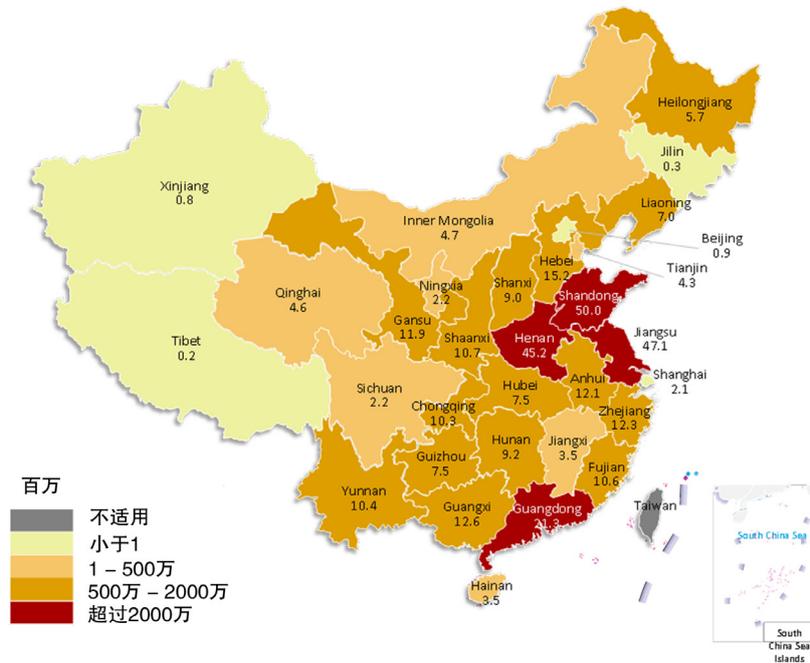
资料来源：国家能源局，2023 年。

图 3：2023 年上半年各省新增户用光伏装机容量（单位：GW）



资料来源：国家能源局，2023 年。

图 4：中国整县光伏项目覆盖县域人口（单位：百万）



资料来源：Anders Hove, 牛津能源研究所，2023 年。

尽管“整县光伏计划”在中国华东地区掀起了一股分布式光伏发电安装热潮，但从初期开始，问题就不断涌现。<sup>18</sup> 规模较小的私营太阳能安装商抱怨道，大型能源公司或与当地有关系的国有企业哪怕缺乏经验或后续跟踪能力，都能赢得招标。大多数县都采用了“一企一县”模式，其中大部分项目都是五大电力公司或地方国企中标。这引发了一些人的批评，他们认为与竞争更为开放的县相比，这些县为居民和企业提供的条件缺乏吸引力。<sup>19</sup> 中国五大电力公司在争取整县光伏发电项目方面表现十分积极。在该计划启动后的四天内，中国国家电力投资集团有限公司（SPIC，简称国家电投）就制定了快速拓展更多县域是市场的计划，目标是 100 个县域，目前已开发了至少 87 个县域。中国大唐发电集团已至少在 51 个县中标。国家能源集团已在 37 个县招标。中国华润集团、中国核工业集团、中国节能环保集团、中国广核集团以及由地方政府推动的地方国有企业也十分活跃。国有建筑巨头正泰集团和中国光伏制造巨头天合光能等系统集成商和建筑巨头也积极参与其中。

除了批评企业中标这一问题外，整县光伏计划其他方面也受到了批评。据报道，除非是县城首选的企业中标，否则各县会一直在阻止新太阳能安装项目。国家能源局试图阻止各县随意叫停新项目，但各县仍继续抵制该计划的开放竞争。此外，尽管国家能源局指示建筑业主和居民应受益并保留自身权利，但地方政府仍试图要求获得屋顶所有权<sup>20</sup>，以获取计划的经济利益。一位专家将整县光伏推进计划在地方上的实施比喻为“歪嘴和尚念错经”。<sup>21</sup>

鉴于上述困难和其他未提及的困难，参与县在实现整县光伏推进计划目标方面的进展不尽相同。陕西等有些省份进展甚微，省内一些县仅增加了几百千瓦的光伏装机。<sup>22</sup> 然而，按人口加权计算，参与县最多的省份却显示出强劲的安装势头，其中以河南为首，2023 年新增分布式光伏装机 7.4GW，其中户用光伏装机 6.3GW，其次是山东，户用光伏装机 2.7GW，安徽 2.4GW，江苏 2GW。值得注意的是，河南和山东的户用光伏新增装机容量增幅最大，江苏和浙江的工商业光伏装机容量增幅最大。<sup>23</sup>

尽管该计划有望大幅提高农村太阳能光伏装机容量，但除了政策障碍外，许多农村地区配电网的不足也对该计划规模进一步扩大构成了挑战。国家能源局在其政策文件中列举了地方政府阻碍光伏新装的例子，指出在整县推进分布式光伏发电的过程中，部分地区出现了分布式发电并网在短时间内超过电网承载能力的现象，分布式光伏发电的备案和并网申请被推迟。<sup>24</sup> 换句话说，屋顶光伏发电快速发展，某些地方官员便以电网容量不足为由阻止新增装机。

即使是光伏发电装机较多的东部发达省份，也遇到了地方电网的问题。许多地区都曾出现过局部供应过剩的情况，尤其是在一些规模较小、位置较偏远的“空巢村”村庄，大部分劳动适龄人口都已迁往城市，剩下的主要是老年人或小孩儿。因此，国家能源局表示，由于配电网的承载能力不足，分布式光伏发电参与电力市场的矛盾已提上日程。<sup>25</sup> 中国政府清楚地认识到有必要加强农村电网，并开发其他解决方案来缓解当地电网瓶颈。双向充电可能是解决方案之一。

政策制定者试图调整电价，以提高分布式太阳能的利用率。在 2010 年代，中国已经在零售层面普及了分时电价。峰值电价呈上升趋势，谷值电价呈下降趋势，目前峰值电价比次峰值时段电价高出约 70%，

18 “分布式光伏，山东为何整县推不进？”，华夏能源网，2022 年 3 月 10 日，<https://m.jiemian.com/article/7191779.html>；“光伏‘整县推进’为何陷入‘四方尴尬’？”微能网，2022 年 4 月 12 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/5aeB7XsRgLEMYJpSCPeJlQ>。

19 “一项 676 个县参与的浩大工程：‘整县光伏’”，2023 年 7 月 10 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/dTF-wtolhyvz0eE9m7fA2A>。

20 代腾腾，“分布式光伏整县推进两周年：备案暂停、‘一刀切’仍屡禁不止”，光伏們，2023 年 6 月 7 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/FJX6BUV0fCJBq5k0DAyl5w>。

21 “光伏‘整县推进’扭曲变形，大量民营企业主被逼到死亡边缘……”华夏能源网，2022 年 8 月 15 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/eKxd1zIz1BV-eHmQBETrZA>。

22 “难点何在？整县光伏并网率仅 6%！”，光伏联播，2023 年 4 月 25 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/nO6wSQv2TDtp078fZxESGQ>。

23 “国家能源局公布 2023 年各省装机明细数据”，微能网，2023 年 7 月 27 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/I2ZDrRbV3-5CNJir2lEMgw>。

24 “国家能源局：不得以任何方式增加新能源不合理投资成本！”，中国电力网，2023 年 4 月 19 日，<http://mm.chinapower.com.cn/tyndf/zcdt/20230426/198097.html>。

25 “分布式‘狂飙’”，南方能源观察，2023 年 7 月 31 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/NEwtighOiUeHL4YQmnnCEg>。

谷值电价比次谷值时段电价低 58%，在一些省份，傍晚和早晨的超峰值电价比峰值电价高出 20%。<sup>26</sup> 最近，在国家发改委 / 国家能源局的 2023 年电价工作方案中，中央政府敦促各省、地方和电网公司将零售分时电价颗粒度从每天三至五个价格段增加到五个以上，并对其进行调整，以反映峰值需求以及风能与太阳能出力情况。<sup>27</sup> 中国各省已开始实行分时电价，其中包括中午的低电价，而此前的低电价主要集中在夜间。截至 2023 年年中，至少有 10 个省份降低了午间零售价格，以鼓励将用电负荷转移到太阳能过剩的时段。<sup>28</sup>

分时电价能促进午间太阳能的自用，也能推动储能设备的安装，但同时，分时电价存在很大的局限性。首先，分时电价通常是提前一年或者更早前设定好的。可再生能源的出力不稳，每天甚至每小时都会发生巨大变化。在某些日子里，正午的太阳能发电可能会出现过剩，而在其他日子里，同一时段的电力供应则可能出现短缺。这种缺乏灵活性的现象会加剧配电网容量不足问题，而不是减少配电网压力。

此外，由于收入增加、新电器的使用以及供暖和交通的电气化，在任何情况下建设地方电网的工作都是必要的。一些村庄已经使用微电网来增加当地中午太阳能电力的消耗。<sup>29</sup> 研究表明，在加强农村电网建设方面，面临的主要挑战是协调好有关各方的参与，而不仅仅是建设电网的成本。<sup>30</sup>

在某种程度上，供暖和交通部门电气化会导致地方电网建设的需求增加，但也可能大幅增加光伏发电的自用。根据具体情况，增加自用可以降低对额外电网投资的需求，同时提供更便宜的供暖和交通服务。如上所述，之前的研究表明，在中国大部分地区，热泵与储能相结合可以提高当地光伏发电的自用电量。尽管与世界其他地区相比，中国冬季光伏出力与夏季光伏出力之比相对较高，但在整县光伏计划的前几大参与省份中，单独使用热泵只能消耗光伏发电量的 20% 至 30%，用于自用。在这些省份中，增加两小时的储能可以将这一自用率提高到 40% 或最高 60%，但与采用热泵 + 光伏相比，储能的资本成本的投资回报周期要长得多。<sup>31</sup>

### 1.3 中国电动汽车市场

中国是世界领先的电动汽车生产国和最大的电动汽车市场。在中国，新能源汽车（NEV）包括纯电动汽车（BEV）、插电式混合动力汽车（PHEV）和燃料电池汽车（FCV）。大部分新能源汽车都是纯电动汽车或插电式混合动力汽车。虽然中国的新能源汽车市场份额超过 30%，但在过去三年中出现了大幅增长，新能源汽车销量从 2020 年每年约 100 万辆增长到 2022 年的 580 万辆。2023 年 9 月，工业和信息化部将全年新能源汽车销量目标或预测值定为 900 万辆，年增长率约为 50%。<sup>32</sup> 去年，中国提前三年实现了 2025 年新能源汽车占比 20% 的目标（该目标于 2019 年制定，此后一直未作调整）。

26 “全国 23 个省市完善分时电价机制政策汇总”，国际能源网，2021 年 12 月 9 日，<https://m.in-en.com/article/html/energy-2310448.shtml>。

27 《国家发改委、能源局发布关于做好 2023 年电力中长期合同签订履约工作的通知》，国家发改委，2022 年 12 月 2 日，<https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=19042>。

28 “10 省中午执行谷段电价！”，微能网，2023 年 8 月 1 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/S0M8tB6jd9vao8skngWvMg>。

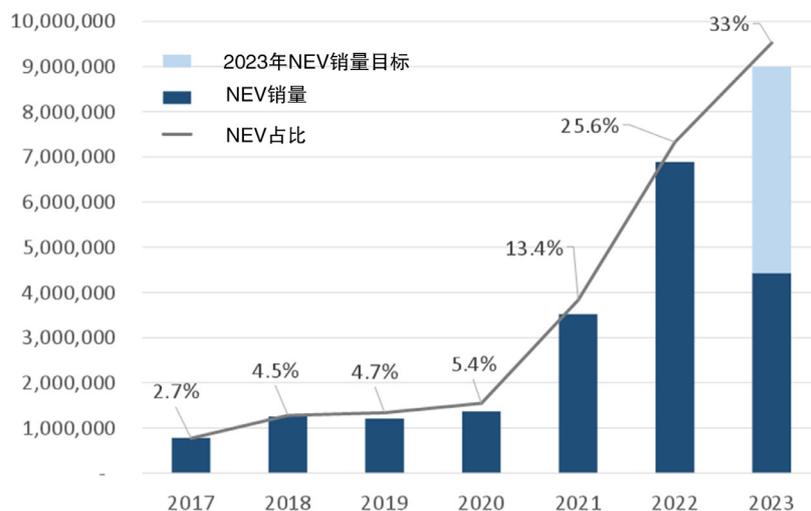
29 Lixin Zhu and Ruisheng Sui, ‘Villagers Embrace Solar Energy Project in Shanxi,’ China Daily, 2021 年 9 月 13 日，<https://www.chinadaily.com.cn/a/202109/13/WS613ea40ea310efa1bd66ef09.html>。

30 杨晓冉，“农村电网巩固升级再提速”，中国能源报，2023 年 7 月 30 日，[https://mp.weixin.qq.com/s/yjy8QVv2sMsx\\_LsWO-VxDg](https://mp.weixin.qq.com/s/yjy8QVv2sMsx_LsWO-VxDg)。

31 Anders Hove, ‘Synergies between China’s Whole County PV program and rural heating electrification,’ Oxford Institute for Energy Studies, 2023 年 5 月，<https://www.oxfordenergy.org/publications/synergies-between-chinas-whole-county-pv-program-and-rural-heating-electrification/>。

32 《工业和信息化部等七部门关于印发汽车行业稳增长工作方案》，工业和信息化部，2023 年 9 月 1 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/p52GfxG7ajFVW-qWCluvvQ>。

图 5：2017–2023 年中国新能源汽车销量占乘用车市场的份额



资料来源：中国汽车工业协会（CAAM），2023年；工信部2023年9月目标。

中国早期电动汽车市场的特点是“杠铃模式”，主要城市的高端汽车面向豪华车用户市场，低成本、短途城市汽车，以及两轮和三轮汽车面向低端市场。2023年上半年，国内电动乘用车总销量为290万辆，同比增长40%。大多数月份市场份额保持在30%以上，6月份超过33%。最小的乘用车（A00级）的销量下降了42%，而A0级紧凑型轿车的销量上升，更大的B级轿车以及SUV和MPV的销量飙升。分析师认为这一变化的原因是最小、最便宜的车型市场达到饱和。同时，在大城市以外，续航里程更长、体积更大的混合动力车越来越多。<sup>33</sup>

大多数农村消费者对购车价格比较敏感。在农村市场推广的大多数新能源汽车的售价低于15万元人民币（2万欧元）。小型宏光MINI电动汽车的受欢迎程度在一定程度上说明了农村地区的需求，直到最近，小型宏光MINI电动汽车仍是中国最畅销的电动汽车，售价在3万至5万元人民币（4000至6000欧元）之间。<sup>34</sup>

两轮和三轮电动车在农村地区很常见，部分原因是它们的成本相对较低。在2022年对山东省一个农村村庄（人口1140人）的调查中，研究人员发现了560辆两轮电动车，400辆三轮电动车，50辆四轮电动汽车，以及170辆四轮内燃机汽车。<sup>35</sup>因此，就小型汽车而言，农村地区不一定在电动汽车的普及方面落后。此外，虽然与城市地区相比，中国农村地区的汽车保有量较低，但其增长速度很快。2007年，每百户保有量不到两辆，2020年，这一数字增加到每百户超过25辆。<sup>36</sup>

典型的三轮车包括载客三轮车、小型货运车等，逐渐被体积和电池容量相近的小型四轮货运车所取代。

33 舒畅，“2023年上半年新能源 & 纯电乘用车市场总结”，电动汽车观察家，2023年7月27日，[https://mp.weixin.qq.com/s/\\_XZUDn6TQwY6gT\\_mPRbHg](https://mp.weixin.qq.com/s/_XZUDn6TQwY6gT_mPRbHg)。

34 Du Junzhi, ‘How new energy vehicles find their market in rural China,’ CGTN, 2022年4月30日，<https://news.cgtn.com/news/2022-04-30/How-new-energy-vehicles-find-their-market-in-rural-China-19E67ADnaww/index.html>。

35 Bing Xue et al., ‘Pursuing a low-carbon rural energy transition in China and Germany,’ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2022年5月，[https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user\\_upload/china/media\\_elements/publications/2022/GIZ\\_Rural\\_energy\\_transition\\_report\\_EN.pdf](https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/GIZ_Rural_energy_transition_report_EN.pdf)。

36 Yan Wang et al., ‘Impact of the Built Environment and Bicycling Psychological Factors on the Acceptable Bicycling Distance of Rural Residents,’ Sustainability, 11, 2019, <https://doi.org/10.3390/su11164404>; Yan Li, ‘Vehicle ownership, sustainable mobility and well-being in rural China,’ Environment, Development and Sustainability, 2023年9月22日，<https://doi.org/10.1007/s10668-023-03890-x>; ‘Number of cars per 100 households in urban and rural China between 2019 and 2020,’ Statista, 2023年3月23日，<https://www.statista.com/statistics/233678/number-of-cars-per-100-households-in-china-by-income/>。

最小的个人三轮车价格在人民币 2500–6000 元之间，中档三轮货运车价格在人民币 10000–15000 元之间。市面上销售的三轮车电池容量从 1.5kWh 到 15kWh 不等。<sup>37</sup>

2023 年，中国中央政府采取措施鼓励农村地区更多地使用电动汽车。2023 年 6 月 15 日，工信部与国家能源局、国家发改委和商务部共同宣布了一系列 2023 年新能源汽车下乡活动。该系列活动将由中国汽车工业协会负责协调，包括由电动汽车制造商推荐适合农村市场的电动汽车车型，制定促销政策，改善农村地区的售后服务；协调充电单位完善农村充电设施，推出充电优惠政策；组织现场汽车销售或虚拟展览。<sup>38</sup>

## 1.4 电动汽车充电

作为全球最大的电动汽车市场，中国在充电基础设施方面自然也处于领先地位。根据电动汽车充电基础设施促进联盟（EVCIPA）的年中数据，截至 2023 年 7 月，中国拥有 690 万个充电站，比去年同期增长了 74%。其中，220 万个是公共充电站，分为 90 万个直流充电桩和 130 万个交流充电桩。<sup>39</sup> 较发达的沿海省份在电动汽车充电用电量中占比最高，其中广东、浙江、江苏、上海、湖北、北京、山东、安徽、河南和福建占比最高。据估计，7 月份电动汽车充电用电量为 3.25TWh。<sup>40</sup>（按年计算，约占全国用电量的 0.5%）

过去几年，随着电动汽车在中国的普及，充电价格也发生了巨大变化。早期，中国对充电（尤其是公共充电）实行分时定价，而最近高峰时期的充电价格有所上涨。据报道，与几年前相比，一些城市的充电价格上涨了 80%。许多司机选择在夜间充电，以避免高昂的费用。<sup>41</sup> 此外，在电力短缺期间，例如 2022 年年中，四川一些地方政府和电网公司会在中午完全关闭充电桩，甚至一关就是好几天，导致市民无法使用电动汽车，四川甚至鼓励人们重新启用内燃机汽车。<sup>42</sup> 实际上，在停电期间无法优先使用电动汽车充电桩或降低充电速度，是一种无补偿和非自愿的需求响应，同时也向消费者发出了一个强有力的信号，即在紧急情况或电力短缺时段，电动汽车充电桩可能是不可靠的。

## 1.5 国内外智能充电

智能充电有助于改善全球可再生能源并网，这一点早已得到认可。国际能源署在 2019 年一份关于中国电力系统的报告中写道：“利用先进的灵活性措施，如电动汽车智能充电、需求侧响应和电力存储，可以支持可靠地可变发电的极高比例并网……同时降低 2%–11% 的电力系统运营成本，减少高达 30% 的化石发电容量需求。”同样，国际能源署 2023 年 5 月对印度进行的一项研究发现，在大量部署屋顶太阳能的农村地区，智能充电尤其有助于降低配电系统成本。<sup>43</sup>

然而，国际能源署也指出了智能充电面临的主要障碍。在 2023 年 8 月的一项研究中，国际能源署指出，发展中国家的法规和市场设计对利用电动汽车提高配电网的灵活性构成了障碍。特别是，缺乏现货市场和辅助服务市场，电网公司鼓励智能充电的激励措施不足，充电基础设施和相关通信协议的标准不一致，

37 此处为作者分析，基于截至 2023 年 8 月的淘宝价格。

38 《关于开展 2023 年新能源汽车下乡活动的通知》，工业和信息化部，2023 年 6 月 23 日，[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content\\_6886788.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content_6886788.htm)

39 “2023 年 7 月全国电动汽车充换电基础设施运行情况”，中国充电联盟，2023 年 8 月 10 日，[https://mp.weixin.qq.com/s/xBhOVSgQv8-KHCn\\_e09-Ig](https://mp.weixin.qq.com/s/xBhOVSgQv8-KHCn_e09-Ig)。

40 同上。

41 曹婷婷，“开电车，不省钱了吗？”，超电实验室，2023 年 8 月 11 日，[https://mp.weixin.qq.com/s/Se4He80B4kcZ\\_m7qgQNCsA](https://mp.weixin.qq.com/s/Se4He80B4kcZ_m7qgQNCsA)。

42 Zeyi Yang, ‘China’s heat wave is causing havoc for electric vehicle drivers,’ MIT Technology Review, 2022 年 8 月 26 日，<https://www.technologyreview.com/2022/08/26/1058727/chinas-heat-wave-electric-vehicle/>。

43 Zoe Hungerford, ‘How can smart charging steer electric vehicle uptake in India?,’ International Energy Agency, 2023 年 5 月，<https://www.iea.org/commentaries/how-can-smart-charging-steer-electric-vehicle-uptake-in-india>。

这些都可能阻碍智能充电。<sup>44</sup>

尽管电动汽车行业和充电服务提供商提供了各种智能充电技术解决方案，但人们普遍认为，政策才是鼓励智能充电的关键。然而，各国在制定大众认可的政策标准方面都处于滞后状态。国际能源署指出，政策制定者可以主动为安装智能充电基础设施提供补贴，或者像英国那样强制安装此类基础设施。英国认为，私人企业不太可能仅凭激励措施就接受一项标准或自愿安装智能充电桩。<sup>45</sup> 2023年，法规援助项目(RAP)考查了欧洲智能充电的现状，发现欧洲大部分地区要么没有智能充电，要么只有分时电价。然而，与中国一样，分时电价变得更加精细，为改变消费模式提供了更大的动力。少数国家提供基于动态电价的智能充电（换句话说，电价每天或每小时发生变化，而不是静态的分时电价和分段电价），这些国家提供各种不同的定价方案。在某些情况下，充电费用仅基于价格，或基于可再生能源可用性或当前电网电力结构的碳排放量等综合因素。<sup>46</sup> 在丹麦，公共充电站提供与可再生能源可用性相关的动态电价，充电桩屏幕还显示可再生能源发电和电网碳排放的实时信息。<sup>47</sup> 这种动态电价比分时电价更能促进可再生能源并网。最近一份对美国加州智能充电的评估报告估计，与分时电价相比，使用智能充电可以大幅度地降低电网费用，而分时电价有可能导致非高峰时段大量充电，从而使得可再生能源降低出力（弃风、弃光）进一步恶化。<sup>48</sup>

而哪种用户会倾向于使用智能充电或双向充电呢？答案很明显。那些关注总持有成本的用户，如车队所有者，以及拥有专用停车位和私人充电桩的个人消费者，如独栋房屋的房主，最有可能使用智能充电或双向充电—尽管法规援助项目指出，那些缺乏家庭充电设施的用户也可能会利用智能充电或双向充电。<sup>49</sup>

中国国内已有多项关于智能充电对可再生能源并网影响的研究。《自然》杂志(Nature)能源版块的一项早期研究发现，智能充电对缓解京津冀地区可再生能源的降低出力影响不大，而且由于火电厂发电量的增加，电动汽车充电有可能会增加空气污染物的排放。然而，该分析假设电动汽车充电集中在某些时段，并且没有对集中时段充电采取任何控制，并且没有考虑充电与可再生能源的发电出力密切协调的问题。<sup>50</sup>

随后，清华大学环境学院对可再生能源协调性充电的研究表明，在改善空气质量方面，电动汽车仅能带来微小的环境效益，但与《自然》的研究不同，清华大学的分析表明，电动汽车对碳排放或其他排放均无不利影响。<sup>51</sup> 一项研究分析了基于不同发电波动和驾驶模式带来的不同充电情景。该分析显示，基于低电价、削峰填谷（净负荷）优化和可再生能源可用性的不同充电情景之间存在相似性。这些模式在不同情景之间的相似性表明，一套单一的激励措施，如根据特定日期的净负荷进行定价，就足以实现多个目标，但前提条件是驾驶人员需做出响应。<sup>52</sup>

在充电行为方面，与大多数国家一样，中国电动汽车驾驶者在日常驾驶中很少使用大部分电池容量。

44 'Facilitating Decarbonisation in Emerging Economies Through Smart Charging,' International Energy Agency, 2023年8月, [https://iea.blob.core.windows.net/assets/5a566669-2883-4d8d-9c2f-61dbd92a6a6f/Decarbonisationthroughsmartcharging\\_.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/5a566669-2883-4d8d-9c2f-61dbd92a6a6f/Decarbonisationthroughsmartcharging_.pdf).

45 'Grid Integration of Electric Vehicles: A manual for policy makers,' International Energy Agency, 2022年12月, <https://www.iea.org/reports/grid-integration-of-electric-vehicles>.

46 Julia Hildermeier et al., 'A Review of Tariffs and Services for Smart Charging of Electric Vehicles in Europe,' *Energies* 16:1, 2023, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/88>.

47 Michelle Lewis, 'This EV fast charging station tells you when its power is at its cheapest and greenest,' *Electrek*, 2023年9月22日, <https://electrek.co/2023/09/22/ev-fast-charging-station-better-energy/>.

48 Julia K. Szinai et al., 'Reduced grid operating costs and renewable energy curtailment with electric vehicle charge management,' *Energy Policy* 136, 2020年1月, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111051>.

49 Julia Hildermeier et al., 'A Review of Tariffs and Services for Smart Charging of Electric Vehicles in Europe,' *Energies* 16:1, 2023, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/88>.

50 Xinyu Chen et al., 'Impacts of fleet types and charging modes for electric vehicles on emissions under different penetrations of wind power,' *Nature Energy* 3, 2018年4月30日, <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0133-0>.

51 Yiliang Jiang et al., 'The future air quality impact of electric vehicle promotion and coordinated charging in the Beijing-Tianjin-Hebei region,' *Environmental Pollution* 332, 2023年6月2日, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121928>.

52 Jiahui Chen et al., 'Emission mitigation potential from coordinated charging schemes for future private electric vehicles,' *Applied Energy* 308, 2022年2月15日, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118385>.

另一项研究调查了北京的驾驶模式和充电模式，发现电动汽车车主通常每天只释放约 13% 的电池容量，但季节性差异可以高达 20%。<sup>53</sup> 就北京的驾驶模式、停车和充电而言，大多数驾驶者都希望给电动汽车充满电，但很少在车辆电池电量（SOC）很低时才开始充电。大多数情况下给电动汽车充电都是随机的，取决于是否有时间充电或者是否方便充电，而不是一定要给汽车充电。该研究的作者还考虑了北京的分时电价，以及根据出行模式、电池电量和停车时间，研究智能充电放在哪些地方具有吸引力。<sup>54</sup> 其他研究发现，城市和农村乘用电动汽车用户的停车时间、充电时间和驾驶时间大致相似。农村电动汽车用户的平均出行距离要远得多，但出行次数与城市电动汽车用户差不多。根据年龄和工作日与周末的使用情况，农村电动汽车用户每天出行次数比城市电动汽车用户多 26% 到 42%。<sup>55</sup>

随着电动汽车的普及步伐加快，引入各种形式的智能充电会带来众多好处。根据驾驶模式和充电模式，分析人士估计，到 2050 年，中国的电动汽车充电如果采用无限制充电，峰值负荷可能会增加 8%，但如果采用作者所称的“最后一分钟充电”协议，<sup>56</sup> 峰值负荷仅会增加 2.6%。在中国，将智能充电与光伏相结合的前景也十分广阔。在深圳，一项将电动汽车智能充电与光伏结合的研究显示，在光伏普及率大幅度提升后，几年时间里，就可获得可观的经济效益。<sup>57</sup>

## 1.6 中国的 V2G 政策

V2G 在中国备受关注。在上海开展的几项智能充电试点项目中，一项关于 V2G 的研究发现，利用 V2G 获取低价电力可带来巨大的经济效益，但 V2G 与太阳能光伏发电（而非仅按使用时间发电）搭配使用可带来更大的效益。<sup>58</sup> 对智能充电和 V2G 的另一项研究表明，它们在减少山西省芮城县农村地区碳排放方面具有巨大潜力，该地区因最早采用可再生能源，并致力于在农村地区部署可再生能源作为扶贫战略而闻名。<sup>59</sup>

模拟研究也发现了 V2G 带来的实质性好处。研究包括开发规划模型，考虑到配电网中的限制因素和当前及未来光伏和电动汽车的部署情况，从而优化 V2G 的应用。<sup>60</sup> 2019 年的一篇文章基于对可再生能源渗透率和电力部门碳排放的预测，对智能充电和 V2G 的整体影响进行了研究。作者发现，V2G 提供的好处大于智能充电：“尽管智能充电在短期内是一种具有成本效益的电动汽车（需求响应）协调策略，但从长远来看，V2G 从经济角度可能更具吸引力。”<sup>61</sup>

在中国的大众媒体和社交媒体上，人们对 V2G 的成本和效益展开了激烈讨论。一些主要专家认为，V2G 有助于提高间歇性可再生能源的利用率。能源与交通创新中心（ICET）的王贺武对此表示支持，他指出，到 2040 年，中国将有 3 亿辆电动汽车上路行驶，电池规模将达到 200 亿千瓦时，如果 V2G 得到普及，足以平衡全国每天的可再生能源出力。<sup>62</sup> 清华大学电动汽车专家欧阳明高提出了采用 V2G 的三步走过程：

53 Yang Zhao et al., 'Assessment of battery utilization and energy consumption in the large-scale development of urban electric vehicles,' Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) 118, 2021 年 4 月 19 日, <https://doi.org/10.1073/pnas.2017318118>

54 Mingdong Sun et al., 'Uncovering travel and charging patterns of private electric vehicles with trajectory data: evidence and policy implications,' Transportation 49, 2022, <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10216-1>.

55 Bo Li et al., 'Electric vehicle's impacts on China's electricity load profiles based on driving patterns and demographics,' Energy Reports 8, 2021 年 4 月, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.003>.

56 同上。

57 Takuro Kobashi et al., 'Techno-economic assessment of photovoltaics plus electric vehicles towards household-sector decarbonization in Kyoto and Shenzhen by the year 2030,' Journal of Cleaner Production 253, 2020 年 4 月 21 日, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119933>.

58 Jianhong Chen et al., 'Strategic integration of vehicle-to-home system with home distributed photovoltaic power generation in Shanghai,' Applied Energy, 263, 2020 年 4 月 1 日, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114603>.

59 Dexi Sun and Jianjun Xia, 'Research on road transport planning aiming at near zero carbon emissions: Taking Ruicheng County as an example,' Energy 263, 2023 年 1 月 15 日, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125834>.

60 Lizi Luo et al., 'Coordinated allocation of distributed generation resources and electric vehicle charging stations in distribution systems with vehicle-to-grid interaction,' Energy 192, 2020 年 2 月 1 日, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116631>.

61 Jian Liu and Caifu Zhong, 'An economic evaluation of the coordination between electric vehicle storage and distributed renewable energy,' Energy 186, 2019 年 11 月, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.151>.

62 王贺武, “道路交通碳排放或将在 2025 年前达峰”, 2023 年 8 月 9 日, [https://mp.weixin.qq.com/s/v0h\\_dsYJ0H78ALmxgHnGUw](https://mp.weixin.qq.com/s/v0h_dsYJ0H78ALmxgHnGUw).

首先建立行业标准和安全措施，然后开始升级充电基础设施，同时在 2030 年之前采用智能充电，然后在 2040 年之前在主要交通通道和充电站推进 V2G。<sup>63</sup> 对于 V2G 技术而言，一些中国评论人士认为，无论是家用充电桩，还是商业用户或电网运营商，V2G 永远不可能实现经济实惠。<sup>64</sup> 其中一个原因是成本较高：将一个家用充电桩升级为具有 V2G 功能的充电桩需要增加 7000 元人民币的成本<sup>65</sup>，虽然私人电动汽车在大多数时间都是处于停放状态，并且停放的汽车有可用的电池容量来提供 V2G 服务，但由于大多数汽车都是夜间通宵充电，因此在一年中，汽车停放时间与调峰需求时间之间的重叠时段相对较少。

其他常见的 V2G 主要障碍包括：改造现有充电基础设施的成本高昂、对安全的担忧、消费者缺乏兴趣、对电池老化的担忧（无论这种担忧是否合理）、缺乏 V2G 家庭充电桩。此外，对于主要在家中慢速充电的电动汽车而言，很少有时间将电力返送回电网。聚合商可以解决市场参与者协调方面的一些问题<sup>66</sup>，但其他一些障碍短期内还无法解决。例如，V2G 的法规和定价可能需要电力市场改革以及中央和地方政府及电网公司的配套政策。（关于中国电力市场政策和电动汽车充电的讨论见下文）评论员指出，有关 V2G 的实际操作，中国在固定式储能方面的经验具有警示作用，即“打补丁”式的中国地方法规调整阻碍了国家政策的制定。<sup>67</sup>

与此同时，在中国运营的大公司已经在新能源车型中推广 V2G 技术。日产汽车一直夸耀日产聆风（Leaf）的双向充电功能，但直到 2022 年才开始销售双向家用充电桩。<sup>68</sup> 雷诺、福特和大众都表示正在开发 V2G 技术，而长城汽车、比亚迪、吉利、一汽、小鹏、蔚来汽车和赛力斯汽车等中国本土品牌已经探索或官宣了 V2G 技术。<sup>69</sup> V2G 技术也是 2023 年上海车展的主要主题，广汽怡安和东风汽车展示了 V2G 技术。<sup>70</sup> 广汽埃安还宣传了 V2G 技术对个人车主的潜在好处。最近，2023 年 7 月，换电先驱蔚来汽车完成了首批 20 个 V2G 充电点（在祁连山国家公园试点，下面将详细讨论），推出了 20kW 版本的 V2G 充电桩，并计划将其用于虚拟电厂。<sup>71</sup>

V2G 在中国仍处于早期试点阶段。中国最大的 V2G 试点项目于 2022 年在祁连山国家公园启动，其充电站与光伏电站位于同一地点。<sup>72</sup> 其他 V2G 试点主要由国家电网在其自有设施或大型工业园区开展。据国网电动汽车服务有限公司报告，截至 2021 年 4 月，该公司已在浙江、上海、江苏、河北等 15 个省市完成了 42 个 V2G 试点项目，部署了 612 个 V2G 终端，涉及近 4000 辆电动汽车。国家电网最大的示范项目是在保定长城汽车产业园，安装了 50 套 15kW 直流 V2G 充电桩。<sup>73</sup>

目前，与 V2G 相关的地方政府举措很少。目前唯一公布的政策是广东省的一项政策，作为电动汽车普及的主要省份之一，广东省计划鼓励大型电动汽车车队（如物流车辆）使用 V2G，并致力于推动光伏、储能和充电融合发展。<sup>74</sup>

63 张越月、王伟，“欧阳明高：从有序充电到消纳绿电，V2G 技术应更有作为”，能源评论·首席能源观，2022 年 3 月 7 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/q9IEleDL5Dpn4w5FH7uJBw>。

64 “V2G 这门生意，可能真的不是想象中那样的美”，电力喵，2022 年 8 月 29 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/mwPFfzH0znG8VBTXL-LA7Q>。

65 根据淘宝上 2023 年年中双向家用充电器的产品信息，如 Star Charge 220 伏、6.6kW 双向直流充电器，价格可能高达 2 万元，低于欧洲同类设备的价格。

66 “V2G 技术介绍系列”，充电桩管家，2023 年 3 月 15 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/N2Iavwd-fu63JVh6Z19HQQ>。

67 刘冠伟，“为什么我看好电动汽车有序充电，不看好车电互联（V2G）”，搜狐网，2020，[https://www.sohu.com/a/395114261\\_100209427](https://www.sohu.com/a/395114261_100209427)。

68 Umar Shakir, ‘The Nissan Leaf can now officially power buildings using bidirectional charging,’ The Verge, 2022 年 9 月 12 日，<https://www.theverge.com/2022/9/12/23349971/nissan-leaf-bidirectional-charging-approved-v2h-v2g-fermata-energy>。

69 张长隆、石雪倩，“V2G：电动汽车的‘能源 V2X’”，赛文交通网，2023 年 8 月 10 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/4pG-hqgZbbh0s21IyisShQ>。

70 “车企纷纷布局 V2G，电动汽车车主躺赚时代到来？”，环球零碳，2023 年 4 月 20 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/AN-bQTNcK5jp0afW0OM2sg>。

71 Yusuf Latief, ‘Self-consumption V2G system launched for Chinese national park,’ Smart Energy International, 2023 年 8 月 20 日，<https://www.smart-energy.com/industry-sectors/electric-vehicles/self-consumption-v2g-system-launched-for-chinese-national-park/>; ‘NIO launches V2G charging pile, new pricing standard for battery swap service,’ Gasgoo, 2023 年 7 月 23 日，<https://autonews.gasgoo.com/m/70024822.html>

72 “光伏+新能源车新应用！蔚来全球首个 V2G 光伏自循环补能体系落成”，SolarZoom 光储亿家，2023 年 8 月 20 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/--Crr3fPIXKgnAogOlqAOA>。

73 “V2G 技术介绍系列”，充电桩管家，2023 年 3 月 15 日，<https://mp.weixin.qq.com/s/N2Iavwd-fu63JVh6Z19HQQ>。

74 “1000 亿！最强省会储能目标”，微能网，2023 年 8 月 16 日，[https://mp.weixin.qq.com/s/1Kz00u5bcOYPdJk\\_czBqyQ](https://mp.weixin.qq.com/s/1Kz00u5bcOYPdJk_czBqyQ)。

## 1.7 中国以外地区的 V2G

中国以外的情况与此类似，V2G 仍处于试点阶段。截至 2023 年 8 月，跟踪全球 V2G 项目的网站 V2G Hub 共记录了 128 个 V2G 项目，涉及 27 个国家的 6700 个充电桩。其中许多项目已完成试点。<sup>75</sup> 尽管 V2G 仍处于试点阶段，但示范和实验规模越来越大，越来越商业化。最初的 V2G 试点是小型独立车队在单个充电设施内进行的，而最近的试点包括数百辆使用家庭或办公室双向充电桩的私人电动汽车，如英国的 OVO 试点项目。<sup>76</sup>

有关 V2G 试点的案例研究均发现了 V2G 的益处，但也提出了许多问题与担忧。丹麦对 V2G 进行了一项重要研究，研究了不同类型和类别的车辆在各种电网服务中使用 V2G 的结果。研究发现，丹麦的配电网足以支撑 V2G，但担心其他地方的电网不一定能做到这一点。<sup>77</sup>

中国以外地区对 V2G 的两大担忧分别是成本与可用性。据 InsideEVs 报道，西班牙 Wallbox 公司的 Quasar 双向“车到家”充电桩在英国的售价为 6000 英镑<sup>78</sup>，但在欧洲的售价近 4000 美元。Wallbox 最初只支持 CHAdeMO 7.4kW 充电，只对日产聆风（NissanLeaf）车主有用，而且仅在欧洲销售。新的 Quasar2 车型配备了联合充电系统，预计价格相似，并将在北美上市。<sup>79</sup> 计划提供双向充电桩的其他充电桩制造商有 Rectifier Technologies、Delta 和 Nuve Holding Corp。在美国，福特与 Sunrun 合作，为 F-150 Lightning 电动卡车提供直流充电桩。大众公司计划在其所有 ID 车型上提供双向充电功能。<sup>80</sup> 初创公司 Emporia 表示，计划在 2023 年推出一款价值 1500 美元的双向充电桩。

不过，双向充电设备的实际成本只是其中的一部分。福特宣传 F-150 Lightning 具备 V2H 功能，在福特推出 F-150 Lightning 电动卡车后，有多份报告称，由于大多数家庭需要更高安培数的线路/电箱和断路器，房主需要花费超过 1.5 万美元进行升级，才能使用福特的双向充电功能。仅充电桩就需要近 1 万美元。<sup>81</sup> 一些分析师认为，如果双向充电的成本降到 5000 美元以下，就会具备商业可行性<sup>82</sup>，但这很难准确评估。在 OVO Energy 与日产的试验中，V2G 充电桩比单向智能充电桩价格高出 3700 英镑（4300 欧元），而单向智能充电桩可以在电价最便宜的时候自动为汽车充电，从而节省成本。据参与该项目的人员介绍，安装成本必须降至 1000 英镑（1150 欧元），才能使该技术具有商业可行性。<sup>83</sup>

一些试点项目直接为安装家用双向充电设备提供补贴。美国加州的太平洋燃气电力公司（Pacific Gas and Electric）正在进行一项试验，替福特 Lightning 的住宅和商业车主支付安装双向充电设备的费用。唯一符合条件的电动汽车是福特 F-150 Lightning，但现代、起亚、大众和 Polestar 汽车预计将从 2023 年底或 2024 年初开始加入该计划。<sup>84</sup> 美国《通胀削减法案》将双向充电设备纳入其中，这意味着该设备符合替代燃料基础设施税收抵免的补贴条件。<sup>85</sup>

75 ‘Insights: Map,’ V2G Hub, 2023 年 8 月 23 日访问, <https://www.v2g-hub.com/insights#graphs>.

76 Sabrina Weiss, ‘The Future of EV Charging is Bidirectional, If You Can Afford It,’ Wired UK, 2022 年 4 月 22 日, <https://www.wired.co.uk/article/the-future-of-electric-vehicle-charging-is-bidirectional-if-you-can-afford-it>.

77 Peter Bach et al., ‘The Parker Project Final Report,’ Energy Technology

78 ‘Quasar Wallbox 7.4kW The First Bidirectional Charger Of Its Kind,’ Voltacon Solar, 2023 年 8 月 23 日访问, <https://voltaconsolar.com/quasar-bidirectional-ev-charger.html>.

79 Tom Moloughney, ‘Wallbox Reveals Quasar 2 Bidirectional CCS EV Charger At CES,’ InsideEVs, 2022 年 1 月 4 日, <https://insideevs.com/news/558708/wallbox-quasar2-charger-introduced-ces/>.

80 Jim Motavalli, ‘Are bidirectional EV chargers ready for the home market?,’ Techcrunch, 2022 年 4 月 28 日, <https://techcrunch.com/2022/04/28/are-bidirectional-ev-chargers-ready-for-the-home-market/>.

81 Christian Seabaugh, ‘For Us, It’ ll Cost \$18K to Power a House With Our Ford F-150 Lightning,’ Motor Trend, 27, 2023 年 1 月, <https://www.motortrend.com/reviews/2022-ford-f-150-lightning-yearlong-review-update-1-sunrun-backup-power/>.

82 Daniel Bleakley, ‘An immense amount of competition: V2G charging station costs set to plummet,’ The Driven, 2023 年 3 月 29 日, <https://thedriven.io/2023/03/29/an-immense-amount-of-competition-v2g-charging-station-costs-set-to-plummet/>.

83 Sabrina Weiss, ‘The Future of EV Charging is Bidirectional, If You Can Afford It,’ Wired UK, 2022 年 4 月 22 日, <https://www.wired.co.uk/article/the-future-of-electric-vehicle-charging-is-bidirectional-if-you-can-afford-it>.

84 Peter Johnson, ‘New V2X program will study how bidirectional EV charging can lower utility costs,’ Electrek, 2022 年 12 月 6 日, <https://electrek.co/2022/12/06/v2x-program-will-study-how-bidirectional-ev-charging-to-lower-utility-costs/>.

85 David Cullen, ‘Inflation Reduction Act Will Spark Greater, Faster Switch to Electric Trucks,’ Trucking Info, 2022 年 10 月 14 日, <https://www.truckinginfo.com/10183357/inflation-reduction-act-will-spark-greater-faster-switch-to-electric-trucks>.

在中国以外地区，V2G 面临的障碍有：消费者缺乏兴趣、担心电池老化问题、法规和定价问题以及经济效益差等。

2021 年，荷兰开展的一项关于消费者兴趣的研究发现，尽管许多人对电池老化表示担忧，但许多电动汽车车主对 V2G 还是感兴趣的，并且愿意在获得适当补贴的情况下使用 V2G。<sup>86</sup> 值得注意的是，调查发现，那些对 V2G 感兴趣的人并不一定要求大量补贴，也不一定从总持有成本的角度来考虑是否选择 V2G；相反，他们更看重停车和充电折扣或电池老化补贴。

许多关于消费者接受度的研究都存在一个问题，即依赖于调查或选择实验，而受访者们之前并没有使用 V2G 的经验，甚至没有电动汽车充电的实际经验。2022 年的一项研究仅限于在日常驾驶中具有 V2G 实际使用经验的荷兰用户，研究对象是 17 名在家中或工作场所使用 V2G 的日产聆风 (Leafs) 汽车驾驶员，研究结果发现，在使用 V2G 一段时间后，消费者的态度发生了实质性变化。虽然 V2G 补贴仍然是一个核心问题，但用户需要补贴的对象发生了改变，他们不再关注电池老化补贴，而是表示需要为下一次出行时车辆荷电状态的不确定性提供补贴。<sup>87</sup> 这项小调查还指出，在实际出行中使用了 V2G 之后，许多参与者认为 V2G 也具备平衡电网清洁能源的能力。

消费者的接受程度远不是唯一的问题。其他研究还指出了能源定价方面的问题，尤其是电动汽车充电和屋顶光伏，对于那些对分布式光伏发电实行特殊固定上网电价或对纯光伏发电系统实行净计量的国家来说，这些问题更为复杂。<sup>88</sup> 在一些地区，如北欧国家，有人担心 V2G 技术没有必要，或者与其他形式的储能相比，V2G 缺乏竞争力，或者其价值可能会被其他储能或灵活负荷技术所取代。<sup>89</sup> 从长远来看，有人担心，如果 V2G 广泛普及，通过参与 V2G 实现价格套利或并网的动力就会消失，或者对于广大公众而言，吸引力太小，无法引起他们的兴趣。<sup>90</sup>

就本研究而言，重要的是要注意欧洲和北美农村地区与中国农村地区在电动汽车的使用和智能充电或 V2G 潜力方面存在差异。过去几年中，有两项研究对欧洲电动汽车的普及速度进行了调查，发现农村电动汽车的普及速度总体上与电动汽车总体的普及速度相当，在国家内部也是如此，即农村电动汽车的普及率大致相当于城市电动汽车的普及率，仅略低于“城乡结合部”或郊区电动汽车的普及率。<sup>91</sup> 欧洲农村地区在充电基础设施方面存在很大差异，与城市地区不同的是，由于独栋住宅比例较大，家庭充电设施的可用性也较高，因此公共充电基础设施的有无与电动汽车的使用相关性较小。根据欧盟统计局的数据，在欧洲，28% 的人口居住在农村地区，其中 80% 以上住在房子里，相比之下，郊区有三分之二的人口住在房子里，城市地区则有约 40% 的人口住在房子里。<sup>92</sup> 与城市居民相比，欧洲农村居民更有可能拥有电动汽车。<sup>93</sup> 各国对农村地区推广电动汽车的激励措施也大相径庭，但考虑到家庭充电的普及，购买家庭充电桩的优惠和补贴更为重要。值得注意的是，一些欧洲国家，尤其是奥地利和英国，为购买智能充电桩提供

86 Koen van Heuveln et al., 'Factors influencing consumer acceptance of vehicle-to-grid by electric vehicle drivers in the Netherlands,' *Travel Behaviour and Society*, 2021 年 7 月 24 日, <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.12.008>.

87 Rishabh Ghotge et al., 'Use before You Choose: What Do EV Drivers Think about V2G after Experiencing It?,' *Energies* 15(13), 2022 年 5 月 20 日, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/13/4907>.

88 Johannes Kester et al., 'Promoting Vehicle to Grid (V2G) in the Nordic region: Expert advice on policy mechanisms for accelerated diffusion,' *Energy Policy* 116, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.024>.

89 Lance Noel et al., 'Navigating expert skepticism and consumer distrust: rethinking the barriers to vehicle-to-grid (V2G) in the Nordic region,' *Transport Policy*, 2019 年 4 月, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.02.002>.

90 George Hilton, 'Vehicle-to-grid inches closer to reality, but barriers remain,' *PV Magazine*, 2021 年 8 月 10 日, <https://pv-magazine-usa.com/2021/08/10/vehicle-to-grid-inches-closer-to-reality-but-barriers-remain/>.

91 Kyle Morrison and Sandra Wappelhorst, 'Battery electric vehicle access in Europe: A comparison of rural, intermediate, and urban regions,' *International Council on Clean Transport*, 2022 年 6 月, <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/06/bev-access-europe-jun22.pdf>; Sandra Wappelhorst, 'Beyond major cities: Analysis of electric passenger car uptake in European rural regions,' 2021 年 3 月, <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Ev-europe-rural-mar2021.pdf>.

92 'Statistics on rural areas in the EU,' *European Commission*, 2020, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistics\\_on\\_rural\\_areas\\_in\\_the\\_EU&direction=next&oldid=501292](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistics_on_rural_areas_in_the_EU&direction=next&oldid=501292).

93 For example, rural car ownership per household in Finland is roughly 50% higher than urban populations but similar to suburban populations. Timo Liljamo et al., 'The Effects of Mobility as a Service and Autonomous Vehicles on People's Willingness to Own a Car in the Future,' *Sustainability*, 2021, <https://doi.org/10.3390/su13041962>.

了更高的补贴。<sup>94</sup>

## 1.8 中国农村可再生能源并网、需求响应、电动汽车充电和 V2G 政策

总体而言，促进分布式太阳能、储能、本地负荷和电动汽车充电融合发展的政策在最近几年才真正加速，因为这些技术在中国市场已初具规模。然而，无论是针对商业用户还是居户用户，有关智能充电和 V2G 的政策由来已久，而且也与中国正在进行的电力市场改革进展有关。对中国电力市场改革的全面讨论超出了本文的范围；牛津能源研究所于 2023 年 2 月发布了一份有关这方面进展的详细综述《中国电力行业低碳转型评估》。<sup>95</sup> 简言之，中国目前的电力市场改革工作始于 2015 年发布的中央 9 号文《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》，该政策要求进行市场化改革，包括电力批发交易、现货市场、输配电网新定价以及加强省际一体化。

**电力市场改革政策：**自 2015 年以来，中国在 9 号文宣布的许多优先事项方面取得了重大进展。大部分电力部门已从静态的计划运行小时数合同过渡到双边谈判的中长期（MLT）合同，合同期限多为大约一个月或一年，但也有更长或更短的合同。电力批发价格已部分放开，但交易价格区间较小，不得超过政府监管机构根据煤炭价格制定的固定电价的 20%。中国也已经对输配电价进行了改革，电网收入与售电分开。分时电价已经得到推广。许多省份引入了现货市场试点，部分省份还建立了容量付费机制。

虽然这些发展表明中国的电力行业发生了重大变化，但在许多方面，对比其他经历过类似重组过程的国家地区，中国市场的限制仍然严格得多。在大多数情况下，在决定是否投资或短期调度方面，行政规划仍然比市场信号的作用重要得多。在已引入现货市场的地方，现货市场的交易量较低，煤电厂是最大的参与者，通过长期购电协议出售其大部分发电量。中央政府每年制定的各省可再生能源配额等行政政策，往往会随着市场改革而大幅增加。

2023 年 9 月，国家能源局敲定了全国电力现货市场设计方案，将大部分市场设计决策权交由省级政府，<sup>96</sup> 而省级政府往往优先考虑投资新建煤炭产能，以满足高峰时段电力需求，而不是追求需求响应或省际交易。<sup>97</sup> 中国新建的煤电厂普遍被描述为用于满足峰值负荷，而不是提供基载负荷，但许多分析师指出，增加仅仅用于高峰时段的发电容量带来的成本，远比在省际电网上进行灵活现货交易以及让现货市场驱动的需求响应发挥更大作用要高得多。<sup>98</sup> 尽管分时电价已被纳入零售电价和长期合同条款，但设置价格上限和不愿接受价格波动限制了利用市场信号激励发电厂灵活运行、投资储能或需求响应的能力。在许多情况下，现货市场在电力短缺或价格高企期间被暂停交易，而这类投资原本是最具价值的。中国的现货市场政策还规定，在价格波动、价格高企或仅仅是“其他原因”出现的情况下，官方可以随时暂停电力市场交易。

总之，中国电力市场改革进展缓慢，且倾向于稳定的价格和集中式电厂的长期购电协议，大部分投资由行政规划和省级政府项目审批引导，而不是由市场信号引导。在这一系统中，市场信号主要在边缘发挥作用，并不一定有利于分散的参与者，如屋顶光伏业主、电动汽车业主或私营公司。这些公司可以

94 Kyle Morrison and Sandra Wappelhorst, 'Battery electric vehicle access in Europe: A comparison of rural, intermediate, and urban regions,' International Council on Clean Transport, 2022 年 6 月, <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/06/bev-access-europe-jun22.pdf>.

95 Anders Hove, 'Assessing China's power sector low-carbon transition: a framing paper,' Oxford Institute for Energy Studies, 2023 年 2 月, <https://www.oxfordenergy.org/publications/assessing-chinas-power-sector-low-carbon-transition-a-framing-paper/>.

96 《电力现货市场基本规则（试行）》，国家发改委，2023 年 9 月, <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/gxwj/202309/P020230915357678894853.pdf>.

97 Xiang Chenxi and Lin Jiang, 'Local protectionism is slowing China's energy transition,' China Dialogue, 2023 年 8 月 25 日, <https://chinadialogue.net/en/energy/local-protectionism-slowing-chinas-energy-transition/>; Jiang Yifan, Gao Baiyu and Sam Geall, 'China's Five Year Plan for energy: One eye on security today, one on a low-carbon future,' China Dialogue, 2023 年 6 月 23 日, <https://chinadialogue.net/en/climate/chinas-five-year-plan-for-energy-one-eye-on-security-today-one-on-a-low-carbon-future/>.

98 Zhang Yongping, Zhou Feng, Peng Linan and Yu Yang, 'The current state of China's electricity market,' China Dialogue, 2023 年 9 月 1 日, <https://chinadialogue.net/en/energy/the-current-state-of-chinas-electricity-market/>.

通过聚合此类资产提供灵活性服务，或推动分布式能源资产与本地需求响应或储能融合发展。然而，多年来，中国的政策制定者也明确表示支持分布式能源、需求响应和聚合服务。中国不仅在电动汽车使用方面处于领先地位，近几年还致力于推动屋顶光伏发电普及（如上所述），而且中国电力市场政策还特别提到了需求侧应当发挥更大作用。

2012年年中，财政部和国家发改委启动了需求侧管理（DSM）城市试点，由中央政府提供补贴。<sup>99</sup>多年来，此类试点的规模和范围稳步扩大。2015年，国家发改委和国家能源局援引上海需求侧管理试点的经验，敦促其他需求侧管理试点城市鼓励第三方能源服务公司参与需求侧管理活动，并激励用户参与在线能源管理平台。<sup>100</sup>2017年，国家发改委出台一项关于需求侧管理的政策，呼吁省级政府制定需求侧管理节能年度目标，并监督省级电网公司这些目标的实现情况。虽然该政策提到了可中断负荷合同、分时电价和阶梯电价，但没有提及虚拟电厂、电动汽车充电或分布式能源。<sup>101</sup>

**协调可再生能源、负荷和储能政策：**过去五年，中国的政策越来越强调发电与负荷和储能之间的协调。2019年，国家能源局发布了关于建立清洁能源消纳机制的政策草案，强调了包括统筹规划、及时并网、可再生能源配额制、加快现货市场和双边交易等在内的多种措施。该政策明确要求电动汽车充电网络和虚拟电厂参与市场交易。<sup>102</sup>

2021年，经过漫长的意见征求过程，国家发改委发布了一份关于发电、电网、负荷和储能一体化的通知（《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》），特别强调了风能和太阳能与储能和负荷实现融合发展的必要性，尤其是在地方层面。<sup>103</sup>该政策指出，需要更好地整合发电、电网、负荷和储能服务，以实现多重目标，包括系统可靠性、提高效率、降低整体系统成本，以及通过减少排放和改善可再生能源并网提供生态效益。虽然该政策规定由省级政府负责实施，并鼓励“社会资本”（可包括私营企业）参与，但政策仅简要提及了分布式能源和电动汽车充电，明确规定拥有光伏发电和电动汽车的城市住宅区应将分布式太阳能与灵活充电相结合。该政策还呼吁虚拟电厂参与中长期电力市场、辅助服务市场和现货市场等市场交易，但该政策并未具体提及农村地区。自该政策出台以来，许多“源网荷储”一体化项目只是将电网级的可再生能源项目与储能和工业相结合，并且这些项目还通常位于偏远地区。<sup>104</sup>

国家发改委2022年出台的储能政策允许第三方储能所有者作为独立实体进行市场交易，包括在配套储能的可再生能源项目中进行交易。在此之前，考虑到可再生能源的固定上网电价和其他合同的结构，与发电配套的储能可能不允许单独进行交易。该政策还提到鼓励聚合电动汽车充电。<sup>105</sup>

与需求响应、储能和可再生能源一体化相关的问题是，放开电力批发市场，允许分布式能源所有者进行交易（无论是否配套储能），这一系列政策中都有提及这些问题，但也面临各种各样的障碍。江苏省在两种不同模式下对多种交易形式进行了试点。在第一种模式中，消费者联合起来与电网公司签订集体供电合同，有效地共享他们的负荷和分布式能源发电，只向电网公司支付净负荷费用和过网费。在第

99 《电力需求侧管理城市综合试点工作中央财政奖励资金管理暂行办法的通知》，财政部、发改委，2012年7月3日，[https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content\\_2256576.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2256576.htm).

100 《关于完善电力应急机制做好电力需求侧管理城市综合试点工作的通知》，发改委、能源局，2015年4月10日，[http://www.nea.gov.cn/2015-04/10/c\\_134139728.htm](http://www.nea.gov.cn/2015-04/10/c_134139728.htm).

101 《关于深入推进供给侧结构性改革做好新形势下电力需求侧管理工作的通知》，发改委，2017年9月26日，[https://www.gov.cn/xinwen/2017-09/26/content\\_5227721.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2017-09/26/content_5227721.htm)；《电力需求侧管理办法（修订版）》，发改委，2017年9月26日，修订版<https://yylxbs.ndrc.gov.cn/file-submission/20230519102727235060.pdf>.

102 《关于建立健全清洁能源消纳长效机制的指导意见（征求意见稿）》，能源局，2019年5月19日，[http://www.nea.gov.cn/2020-05/19/c\\_139069819.htm](http://www.nea.gov.cn/2020-05/19/c_139069819.htm).

103 《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》，发改委，2021年2月25日，[https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content\\_5602023.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5602023.htm).

104 ‘China’s Source Grid Load Storage Projects,’ Global Energy Monitor, 2023年5月，[https://www.gem.wiki/China%27s\\_Source\\_Grid\\_Load\\_Storage\\_Projects](https://www.gem.wiki/China%27s_Source_Grid_Load_Storage_Projects).

105 《关于进一步推动新型储能参与电力市场和调度运用的通知》，2022年5月24日，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202206/t20220607\\_1326854.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202206/t20220607_1326854.html).

二种模式中，电网公司充当参与实体的协调者，在批发市场上销售电量。<sup>106</sup>

**需求响应政策：**2022年，国家发改委和国家能源局发布了到2025年建立全国统一电力市场设计方案纲要（《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》）。该文件明确要求为储能和虚拟电厂等各类容量建立成本回收机制。<sup>107</sup>《“十四五”现代能源体系规划》也提到了鼓励储能和虚拟电厂的必要性。<sup>108</sup>国家能源局2023年工作计划提到，需要推广屋顶太阳能，包括在农村地区，加快智能配电网的建设，以提高灵活性并促进可再生能源并网。此外，还需推动“农村能源革命”。<sup>109</sup>

早期的广东、河北、上海和江苏，以及最近的北京、安徽和浙江尽管在实施需求响应试点或开发虚拟电厂（VPP）方面取得了进展<sup>110</sup>，但其影响仍然有限。中国评论人士指出，在电力现货市场没有取得更多进展的情况下，需求响应、聚合和虚拟电厂在商业上仍不具吸引力，例如短期价格信号不足以激励消费者和企业参与。<sup>111</sup>事实上，《人民日报》引述的几位中国电力市场专家都提到，在协调或聚合分布式能源与热泵或电动汽车充电等灵活负荷的商业可行性方面，面临主要障碍是市场设计。<sup>112</sup>如果说中国关于需求响应和分布式能源与电动汽车充电融合发展的政策言论在实践中仍未实现，那么值得重申的是，光伏、储能、需求响应和电动汽车充电一体化在全球范围内仍处于早期阶段，即使是最自由的批发市场和零售市场也只是在尝试不同的方案和政策罢了。

**智能充电和V2G政策：**考虑到农村配电网的局限性，以及2023年鼓励农村地区采用电动汽车所做的工作，最近人们更多地关注通过智能充电、需求响应计划或V2G整合电动汽车的问题——后者仅限于小型试点和研究。2020年推出的《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》要求地方政府开展V2G示范，并支持“其他政策，实现新能源汽车与电网能源的高效互动，降低新能源汽车的电力成本”。《规划》还提出，要实现电动汽车充电与风能、太阳能发电相协调，并提倡“鼓励建设光储充放（分布式光伏发电-储能系统-充放电）多功能一体化电站”。<sup>113</sup>

2020年10月，受工信部委托，汽车工程师学会发布了一份新能源汽车路线图2.0（《节能与新能源汽车技术路线图2.0》）。<sup>114</sup>该路线图包含了到2025年实现新能源汽车占比达20%的目标，还提到了智能充电和V2G的时间表，即到2030年实现“V2G能量与住宅区和停车场常规充电设施的互动商业化”，到2035年实现“V2G能量互动能力在住宅区等停车设施的基本普及，以及太阳能充电在工业区的应用”。到2035年，新车和新增充电桩将全部具备V2G功能。

2022年以来，有关电动汽车智能充电和V2G的政策步伐加快。2022年初，国家发改委等多个部委发布了有关电动汽车充电服务质量的政策意见。<sup>115</sup>该政策要求行业推进（智能充电）试点示范，探索新能源汽车参与电力现货市场的实施路径，研究完善新能源汽车消纳和绿色储能的交易和调度。政策指出，

106 “试点区域实行什么样的分布式光伏市场交易模式？”21SPV.com, 2023年8月10日, <http://www.21spv.com/news/show.php?itemid=195704>; “深度解析分布式光伏市场化交易与光储一体化的未来机遇”，Kesolar, 2023年6月2日, <https://www.kesolar.com/expo/230490.html>.

107 《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》，发改委、能源局，2022年1月28日, [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128\\_1313653.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128_1313653.html).

108 《“十四五”现代能源体系规划》发改委、能源局，2022年1月, [http://www.nea.gov.cn/1310524241\\_16479412513081n.pdf](http://www.nea.gov.cn/1310524241_16479412513081n.pdf).

109 《2023年能源工作指导意见》，能源局，2023年4月6日, [http://zfxgk.nea.gov.cn/2023-04/06/c\\_1310710616.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/2023-04/06/c_1310710616.htm).

110 浦俊懿等，“全国统一电力市场建设加速推进，虚拟电厂蓝海市场打开”，东方证券，2022年12月6日, [https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3\\_AP202212061580849596\\_1.pdf?1670322429000.pdf](https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202212061580849596_1.pdf?1670322429000.pdf).

111 “我国电力需求响应现状分析与发展建议”，中国电力网，2020年8月11日, <http://mm.chinapower.com.cn/zx/zxbg/20200811/27296.html>.

112 杨晓冉，“需求侧响应将成新型电力系统特征”，中国能源报。2022年2月21日, [http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2022-02/21/content\\_25904398.htm](http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2022-02/21/content_25904398.htm).

113 《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》，发改委，2020年11月, [https://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content\\_5556716.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm).

114 “节能与新能源汽车技术路线图2.0正式发布”，中国汽车工程学会，2020年10月27日, <https://www.sae-china.org/society/202010/3957.html>; 李骏，“节能与新能源汽车技术路线图2.0”，PPT摘要及分析，中国汽车工程师学会，2022年2月17日, <http://www.evinchina.com/uploadfile/file/20220217/2022021709402808334.pdf>; China Energy-saving Vehicle & NEV Roadmap 2.0: Curbing Carbon Emissions for a Green Society, Marklines, 2021年4月23日, [https://www.marklines.com/en/report\\_all/rep2142\\_202104#report\\_area\\_6](https://www.marklines.com/en/report_all/rep2142_202104#report_area_6).

115 《关于进一步提升电动汽车充电基础设施服务保障能力的实施意见》，发改委，2022年1月10日, [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/gxhwj/202201/t20220121\\_1312634.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/gxhwj/202201/t20220121_1312634.html).

企业和产业园区应试点“光储充放一体化”<sup>116</sup>，即双向充电和/或V2G。浙江、河南和四川已在“光储充放一体化”主题下开展试点，其中包括V2G<sup>117</sup>，浙江、河北和山东已将这一概念纳入其省级新能源汽车规划（山东的规划中包括农村充电基础设施）。<sup>118</sup>

2023年3月发布的需求响应政策草案鼓励电动汽车参与需求响应，鼓励聚合电动汽车负荷，并鼓励农村地区参与需求响应。<sup>119</sup> 国家发改委于2023年5月发布的政策明确提到了V2G。<sup>120</sup> 该政策指出，中国将推动农村电动汽车具备智能充电功能，并鼓励电动汽车默认配套智能家用充电桩。该政策指出，中国将研究电动汽车与电网的双向互动（V2G），以及光伏、储能和充电的协调控制；在充电桩利用率较低的农村地区，探索建设集光伏发电、储能、充电于一体的充电基础设施。该政策还再次呼吁对电动汽车充电实行分时计价，同时呼吁农村地区开发住宅停车位共享充电模式，以提高充电桩利用率。

充电基础设施政策越来越多地提及将电动汽车充电与可再生能源相结合的必要性。国务院于2023年6月发布的充电基础设施政策指出，有必要将充电与储能和光伏相结合，并将其纳入需求响应。<sup>121</sup> 该政策要求官方落实峰谷分时电价政策，引导用户参与智能有序充电和车网互动。2030年前，对实行两部制电价的集中式充换电设施用电免收需量（容量）电费。

旨在加强农村电网的政策还讨论了增加灵活负荷以消纳可再生能源的必要性。2023年6月出台的一项关于改善农村电网的政策强调，需要加强电网，以应对分布式可再生能源装机容量的增加，同时还要改善可再生能源的本地消纳能力以及附近地区使用可再生能源的能力。换句话说，该政策要求电网不仅要促进个体家庭或企业自用，同时还鼓励“尽可能地”通过尽量减少程序来简化分布式可再生能源的申请。虽然该政策没有明确提及电动汽车充电，但当地消费需求可能会推动智能充电或电动汽车充电政策。<sup>122</sup>

116 光储充放一体化：Integrated PV-storage charging-discharging

117 “浙江：14个光储充一体化项目建成投产：2023年将重点推广”，Kesolar，2023年5月30日，<https://www.kesolar.com/headline/229970.html>；“西南首个‘光储充放’一体化停车场在四川成都投运”，北极星，2023年9月23日，<https://m.bjx.com.cn/mnews/20230921/1333416.shtml>；“国家电投调研全国首个风光储充放一体化综合智慧零碳电厂”，北极星，2023年8月10日，<https://m.bjx.com.cn/mnews/20230810/1324786.shtml>。

118 “河北：支持开展光储充放电站技术创新与试点应用”，北极星，2023年8月17日，<https://m.bjx.com.cn/mnews/20230817/1326310.shtml>；“省政府新闻办举行新闻发布会，解读山东省推动新能源汽车下乡三年行动计划（2023-2025）”，山东省工业和信息化厅，2023年9月4日，[http://gxt.shandong.gov.cn/art/2023/9/4/art\\_299272\\_10335468.html](http://gxt.shandong.gov.cn/art/2023/9/4/art_299272_10335468.html)。

119 《电力需求侧管理办法：征求意见稿》，发改委，2023年3月5日，<https://yyglxxbs.ndrc.gov.cn/file-submission/20230519102727235060.pdf>。

120 《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》，发改委、能源局，2023年5月14日，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202305/t20230517\\_1355814.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202305/t20230517_1355814.html)。

121 《关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见》，国务院，2023年6月8日，[https://www.gov.cn/zhengce/content/202306/content\\_6887167.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/202306/content_6887167.htm)。

122 《关于实施农村电网巩固提升工程的指导意见》，发改委、能源局、乡村振兴局，2023年7月4日，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202307/t20230714\\_1358371.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202307/t20230714_1358371.html)。

图 6：2023 年与农村地区或电力市场相关的充电基础设施主要政策时间表

| 日期  | 政策                                   | 政策发布者                     | 涉及领域                     |
|---|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 2023 年 3 月  | 电力需求侧管理办法：征求意见稿                      | 国家发改委                     | 需求响应、农村电动汽车充电            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 鼓励电动汽车参与需求响应，鼓励聚合电动汽车负荷，鼓励农村地区参与需求响应</li> </ul>  |                                      |                           |                          |
| 2023 年 5 月  | 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 | 国家发改委<br>国家能源局            | 充电基础设施、农村电动汽车充电、智能充电、V2G |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 推广农村电动汽车，使其具备智能充电能力和智能家用充电桩</li> <li>● 研究电动汽车与电网之间的双向互动 (V2G)，以及光伏、储能和充电的协调控制</li> </ul> |                                      |                           |                          |
| 2023 年 6 月  | 关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见              | 国务院                       | 充电基础设施、智能充电              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 呼吁对电动汽车充电实行分时计价</li> <li>● 引导用户参与需求响应和有序充电</li> <li>● 到 2030 年，免除智能充换电站的需量电费。</li> </ul> |                                      |                           |                          |
| 2023 年 7 月  | 关于实施农村电网巩固提升工程的指导意见                  | 国家发改委<br>国家能源局<br>国家乡村振兴局 | 农村可再生能源并网                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 加强电网建设，以处理更多的分布式可再生能源，并提高当地的可再生能源消纳总量</li> </ul>   |                                      |                           |                          |

资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

## 1.9 小结：智能充电和 V2G 尚处于起步阶段，但进展正在加快

智能充电在全球远未普及，当然，中国也不例外。中国总体上仍依赖于静态的分时定价（TOE），只有少数国家在尝试动态定价。中国的充电基础设施通常侧重于工业需求响应，在某些情况下，电力短缺时会出现断电情况，这可能会影响消费者对电动汽车的接受程度。中国以外的一些地区已将电动汽车充电桩聚合成虚拟电厂，中国也在少数情况下进行了虚拟电厂试点，尽管试点规模较小。

V2G 仍然是一个充满争议的领域，许多人吹捧其好处，而有的专家则对其潜力持怀疑态度。消费者接受度、电价、市场设计、税收、技术标准以及电池老化带来的不确定性等诸多方面的问题依然存在。另一方面，新车型的快速推出，用于联合充电系统（CCS）的双向充电设备，以及中国充电桩的部署，可能会加速双向充电在不同领域的应用，即使商业应用仅限于少数车辆或用户类型，如大型电动汽车车队。在美国和欧洲，V2H 的双向充电似乎很有吸引力，尤其是对于那些拥有分布式能源的国家而言，V2H 的双向充电具有很大吸引力。在中国，双向充电最先关注的焦点是电动汽车车队和工业应用。

尽管在 2023 年有几项政策提到或暗示了在农村地区使用智能充电或 V2G 或平衡农村地区可再生能源的可能性，但关于本研究的主题，即农村地区电动汽车充电与可再生能源和其他清洁能源技术的融合发展，几乎没有任何具体的政策。自 2021 年以来，农村屋顶光伏发电在整县光伏推进计划的推动下迅速发展，加上农村地区电动汽车普及率的不断提高，很可能在政策和实践方面带来重大发展，最终转化为推动 V2G 技术与村庄或家庭分布式屋顶光伏发电一体化发展的政策动力。

## 2. 专家对电动汽车充电及中欧合作潜力的看法

### 本章概要

- 专家访谈过程证实，在电动汽车促进可再生能源并网方面，专家们普遍感觉到存在不确定性，彼此意见存在分歧。对于哪些使用场景对双向充电最有吸引力，或者哪些障碍是最需要解决的，专家们几乎没有达成共识。
- 国际上的主要障碍包括设备成本、缺乏动态定价、可双向充电的车型太少，以及税费、电网规范不足或缺乏标准等法规障碍。
- 相比之下，在中国，双向充电是一项相对较新的技术，并没有得到广泛应用，但大多数专家认为，农村居民既有兴趣也有能力参与其中，尽管也面临着驾驶和充电模式的不可预测性以及认识不足的主要障碍。
- 在国际合作方面，本研究咨询的专家对电力市场改革和电动汽车充电领域的国际合作潜力表示高度乐观。中欧专家强调，在电动汽车充电这一提高可再生能源并网的技术方面，继续相互学习是非常重要的。

### 2.1 概述

鉴于所面临的各种障碍，采用双向充电（无论是用于稳定电网和可再生能源并网，还是服务于个人用户需求）的价值及其潜力，在中国和国际上仍存在广泛争议。到目前为止，只有少数车型具备双向充电能力，因此很难评估其潜力或客户兴趣。<sup>123</sup> 能够双向充电的商用充电桩屈指可数，而在中国以外，大多数充电桩都采用只有日本和欧洲少数品牌使用的 CHAdeMO 充电标准，这也反映了日产聆风的双向充电能力。<sup>124</sup> 虽然更多具备双向充电能力的车型有望很快面世，新的充电设备也有望进入市场，但这项技术未来的各个方面仍存在广泛的不确定性：成本、经济潜力、用户兴趣或意愿，以及解决政策和监管障碍的途径。

在高度不确定的情况下，由于许多模型输入仍然未知，建模只能提供部分答案。同样，对消费者兴趣或专家知识的大型调查可能提供的信息也很有限，因为大多数人对尚未大规模进入商业市场的技术知之甚少或认识不足。<sup>125</sup> 在这种情况下，对少数合格专家进行半结构化访谈，即使受访者人数较少，也能为建模提供额外附加值。特别是，即使是一小部分专家，也可能揭示出存在不确定性或分歧的关键领域，有助于为未来的研究和建模提出假设。即使是比较泛泛的或推测性的答复，专家们的意见也可作为建模工作的基础，例如对有关未来成本趋势或充电模式给出的意见。

本研究共进行了四组专家访谈——中国专家和较早采用电动汽车的国际市场专家各两组。大多数国

123 Jane Ulitskaya, 'What's Bidirectional Charging and Which EVs Offer It?,' Cars.com, 2023 年 9 月 28 日, <https://www.cars.com/articles/whats-bidirectional-charging-and-which-evs-offer-it-457608/>.

124 CHAdeMO 由日本汽车制造商开发，是唯一一款涉及双向充电功能的充电标准。实际上，日产和三菱是在日本境外销售的汽车中使用该标准的主要品牌。见 'A decade of in-market experience with V2G/VGI,' CHAdeMo, 2023 年 10 月 24 日访问, <https://www.chademo.com/technology/v2g>.

125 Chauncey Wilson, 'Semi-Structured Interview,' in Interview Techniques for UX Practitioners, 2014, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410393-1.00002-8>.

际专家来自欧盟，或对欧盟市场有直接了解和经验，而了解美国或英国的专家人数较少。共有 30 位专家参与了访谈过程，其中包括 13 位中国专家和 17 位国际专家。大多数访谈是通过视频电话进行的，但也收到了少数书面答复。所有访谈均以匿名方式进行，并未提及任何组织。

在每个市场（为方便起见，在此分别描述为中国市场和国际市场），有两组专家接受了访谈或被要求作以书面形式做出回应：

1. 在电动汽车充电行业拥有长期知识和经验的人员，特别是在从事双向或智能充电的公司就职，或在积极研究此类主题的政策相关机构或学术机构工作的人员；以及
2. 之前没有明确从事过双向充电或 V2G 方面的工作，但现在从事电力行业和可持续交通方面国际合作的政策专家。

第一类电动汽车充电专家受访者被问及各种具体问题，涉及 V2G 在各种使用场景中的总体前景以及采用双向充电的障碍，同时还被问及驾驶和充电模式。国际政策合作类的受访者则被要求回答一些更具普遍性的问题，涉及欧洲与中国在电动汽车充电方面进一步交流的最有吸引力的话题。

在这些电动汽车专家中，虽然大多数人有着不同的背景，包括学术和行业经验，但他们通常都从商业和理论两个角度研究电动汽车充电这一主题。说到双向充电及其潜力的回应和总体观点，主要决定因素还是主观意见和个人经验，而不是特定的组织背景（电动汽车充电、汽车制造商、电厂、学术、政策）。每个子类别中的回答都太少，因此无法概括。

本研究的访谈阶段的主要发现是，专家们对双向充电的看法各不相同。他们对双向充电的总体潜力、哪些用户或车辆类型最适合双向充电、哪些障碍是最重要或最需要解决的，以及双向充电是否有可能帮助解决农村地区的可再生能源并网问题，都有不同的看法。虽然专家们缺乏共识不利于这项技术的总体前景，也不利于就此专题进行国际合作，但专家们提供了一些定性的意见和见解，有助于为今后的研究与合作奠定基础。

中国和国际政策专家普遍认为，在这一领域开展政策合作与交流，有利于互利共赢。然而，意见分歧也很明显，欧洲专家更注重政策交流，而中国专家则认为技术和产业合作对市场准入更有价值。如前所述，在每个案例中，接受采访的专家都已经参与过政策交流，因此，这种区别似乎并不反映知识背景差异。

如果中方主要对获取技术感兴趣，而欧方主要对讨论政策感兴趣，这可能会成为双方沟通和交流的重要鸿沟。或者，如果双方都接受通过一个平台同时就两个问题进行交流，也许能鼓励双方参与对话。

综上所述，本研究访谈部分的主要发现是，全球对双向充电的潜力和障碍缺乏共识，无论是总体上而言，还是将双向充电作为一种帮助地方消纳可再生能源以实现国际和国家低碳能源目标的技术而言都是如此。然而，这种情况可能会在未来两年内迅速发生变化。到 2025 年，随着新车型的推出、成本更低的双向充电设备的出现、分布式能源部署的扩大（尤其是在中国），以及电动汽车充电电价和其他相关政策的改变，人们对这些问题的看法可能发生根本性的变化。

## 2.1 欧洲和中国农村电动汽车及双向充电的背景

智能充电和双向充电的潜力与许多因素有关。就其中每个因素而言，欧洲和中国之间都存在很大差异，而且地区差异也很大。主要因素包括车辆类型、电池大小、驾驶模式、充电习惯或需求、私人充电设施的可用性、分布式可再生能源（如太阳能）的部署以及电价。对智能充电和双向充电的熟悉程度和兴趣也是影响因素。

人们普遍认为欧洲农村地区比中国农村地区更富裕：在西欧，农村收入可能与城市收入相当或更高。

一般来说，欧洲农村居民倾向于购买与城市居民类似的汽车，但城市居民可能更倾向于选择电池容量较小的小型城市汽车，而农村居民可能更倾向于选择插电式混合动力汽车。在欧洲，农村居民很可能拥有专用停车场和家庭充电设施。

如上所述，在中国，农村地区的平均条件不如城市地区。虽然农村地区的公共充电基础设施相对落后，但却具备安装私人充电设施的良好条件。与城市地区相比，短里程电动汽车在农村地区可能更受欢迎，因为城市居民更依赖公共充电设施，充电频率可能更低。

由于农村地区的收入相对较低，价格是农村居民购买决策的主要考虑因素之一。受访者认为，农村居民购买电动汽车的预算一般在 5 万至 7 万元人民币（6500 欧元至 9000 欧元）之间。鉴于短里程电动汽车价格较低，而农村买家对价格更为敏感，受访者认为农村居民倾向于购买车型较小的短里程电动汽车。许多农村居民可能也更喜欢适合在狭窄的农村道路上行驶的两轮和三轮电动车。

电动汽车的购买偏好还取决于农村买家的类型，可以将其分为外出务工人员、在家乡附近劳动的农民以及从事农产品销售的农民商贩。外来务工人员 and 农民倾向于购买两轮车，这样可以满足其中短途的出行需求，而且受城市交通拥堵和停车位的影响较小。从事农产品销售的农民商贩倾向于购买三轮或四轮轻型电动汽车，用以装载农产品。

如第一章所述，中国的电力市场处于采用自由化电力批发市场的初期阶段，主要的电力定价形式是分时电价，某些地区的电价还可能受季节性因素影响。与风能或太阳能发电相关的智能充电实例很少，不过某些公共汽车车队或乘用车车队已经启动了双向充电试点。

相比之下，在欧洲，自由化的电力批发市场遍布欧洲大陆大部分地区和大多数国家，且零售电价方案种类繁多，不仅包括分时定价，还包括动态定价。在丹麦和英国等少数地区，动态定价方案可能与可再生能源的可用性挂钩。许多地区都有专门针对电动汽车的充电价格。欧洲也在几个国家试点了私家车双向充电，但试点数量有限，这是因为具备双向充电功能的车辆数量较少，且双向充电设备成本较高。随着更多车型的推出，在对家庭用户实行动态电价或高时变电价的地区，双向充电普及率应该更高。不过，值得注意的是，在许多国家，税费使得向电网反向送电在经济上缺乏吸引力。一些国家的电网法规和条例也可能阻碍双向充电的发展。

## 2.2 访谈结果：国际电动汽车充电专家

**目的和问题：**在本节研究中，共有 9 位国际电动汽车专家就智能充电和双向充电的潜力和障碍接受了采访，受访者包括：在非政府组织参与电力行业研究工作（2 名），电动汽车充电领域的研究人员（2 名），在电动汽车充电企业或大型能源公司的电动汽车充电部门担任领导职务或工作（3 名），电动汽车市场分析师（1 名）。

与国际电动汽车充电专家的访谈有几个目的，包括确定行业是否就双向充电问题达成共识，评估双向充电的各种障碍的相对重要性，以及哪些使用场景（用例）最适合双向充电，最后收集有关农村驾驶模式和充电模式的数据。受访者不必回答每一个问题。问题包括：

- 在电动汽车的使用和购买偏好方面，欧洲农村地区与城市地区存在哪些不同，比如续航里程和电动汽车大小？
- 从一天中的出行时间和出行目的来看，农村总体驾驶模式是否存在重大差异？您是否认为大多数农村用户都希望电动汽车每天都需要充满电？
- 您估计愿意参与双向充电的农村电动汽车车主比例会比城市地区更高还是更低？
- 你认为哪种类型的客户最有可能参与智能充电？

- 与城市地区相比，农村地区使用电动汽车的障碍是什么？是否有些地区的农村买家面临的障碍相对较少？
- 配电网是否限制了欧洲农村地区的屋顶太阳能或电动汽车充电？
- 您如何评估双向充电的各种障碍所带来的总体影响，包括成本、收入潜力、消费者利益、决策者利益和监管障碍？

### 2.2.1 农村地区电动汽车的使用和充电：

**国际观点：**总的来说，国际受访者一致认为，拥有独栋住宅和私人车库的人更可能购买电动汽车，这一点在郊区和农村地区更为常见。农村居民可能拥有多辆电动汽车和充足的电源连接能力，尤其是那些在同一地点工作的人，如农场或小企业。即使对驾驶时间很长的少数农村居民来说，为节省燃料，他们也更倾向于选择使用电动汽车。

*“我曾与每天行驶 300 英里的农村车主交谈过，根据我的经验，农村车主需要行驶的距离更长，很多农村车主对电动汽车持怀疑态度，听说过充电带来的噩梦，有些人还对续航里程感到焦虑。在我看来，他们更有可能选择使用电动汽车，因为电动汽车可以节省更多燃油。农村地区更有可能在家充电，我认为这对农村车主来说至关重要。”*

同时，与主要公路沿线或城市地区相比，农村地区的公共充电基础设施较为薄弱：

*“在农村地区，路边停车位更多，抵消了充电基础设施薄弱所带来的影响。我的感觉是，在家里充电的人比例更高，而参与（智能充电）的人比例较低。他们很有可能需要在家里充电，因为公共基础设施无法满足农村电动汽车的充电需求。”*

在许多欧洲国家的农村地区，太阳能自发自用在经济上具有吸引力，许多农村居民出于经济和环境原因，对太阳能与电动汽车充电融合发展持积极态度。正如一位德国受访者所说：

*“我认为他们稍微领先了一步，这取决于在哪个国家。在德国，农村地区的电动汽车普及率更高，开始的时间也稍早一些。原因是德国农村地区独栋住宅的比例较高，人们拥有屋顶太阳能，这通常是电动汽车购买决策的一个很好的指标。”*

同样，另一位欧洲受访者认为，双向充电对拥有电动汽车和太阳能的农村居民具有很大吸引力：

*“对农村业主，尤其是拥有太阳能光伏发电的业主更具吸引力。农村地区的光伏安装量远大于其日常消费。因此，人们对双向充电储能技术更感兴趣。”*

然而，双重征税的可能性或许会降低利用太阳能为电动汽车充电的吸引力，可能会造成法规障碍，从而阻碍电动汽车反向送电，甚至阻碍 V2H 的应用。（下一节将详细讨论这些障碍）。

“在欧盟，我认为这主要是国家层面的问题。在这里，无论你是否拥有自己的能源，你都需要缴纳能源税，即使你用太阳能电池板给自己发电，你也需要缴纳能源税。作为个人用户，我缴纳的能源税占电费的三分之一。而企业则几乎不用缴纳能源税。也就是说，如果作为农民，我有自己的公司，我就有优势。如果我有一辆电动汽车，我正在为我的‘公司用车’充电，那么从监管的角度来看，就不应允许它按照私人用途放电来算。”

与其他用户一样，农村地区的 V2G 也面临着许多与其他电动汽车车主或使用场景相同的障碍，下文将对此进行讨论。一家电动汽车充电服务提供商介绍了他们公司在农村地区开展 V2G 试点的经验：

“我们有一批核心客户，他们非常愿意并热衷于参与（智能充电和 V2G）试验……但即便如此，V2G 仍是一个令人头疼的问题。人们喜欢这个想法，但过程必须易于操作，让用户无需在操作上费神。我想说的是，那些已经拥有电动汽车一段时间的人，才会考虑智能电价，才会对双向充电更感兴趣。”

大多数受访者表示，关于农村电动汽车保有量、驾驶和充电模式差异的数据有限。一家提供多种家用电动汽车专用充电计划的零售电力供应商表示，公司没有明确跟踪农村和城市客户的比例差异，但指出，“我们有一个仪表盘，一个客户一个灯，灯分布得非常均匀，所以我想说我们的农村（客户）数量较多。”

对于驾驶和充电模式，一种常见的观点是，农村地区的平均出行距离更长，但就每天的行驶里程和充电次数，城区与郊区或农村地区没有太大区别。

“在农村地区，用车可能会更频繁，几乎每天都要使用电动汽车，但不一定会开得更多或行驶里程更长。”

在农村地区，如果每次出行时间较长，人们可能更希望给电动汽车充满电。不过，对于农村和城市用户是否存在差异，受访者并没有表达强烈的观点，也没有可靠的数据。与城市用户一样，如果可以选择的话，农村电动汽车车主可能会在大多数时间里都会给电动汽车插上电。

“（充满电）并不一定是一种偏好。只是因为他们有了充电条件，就索性给电动汽车充满电。即使电动汽车只有 30% 的电量，人们一般也都知道能够正常行驶，但有时知道汽车充满电会更方便。”

在一家提供家用电动汽车充电服务的公司看来，农村和城市用户都有充满电的偏好。此外，客户有多余的电池容量，如果条件允许，可以进行双向充电：

“你可以设定充电时间和最终电量。我们发现，几乎每个人都将最终电量设定为 90% 以上。我们推荐 90%（而不是 100%），这样电池会更健康。根据我们的经验，人们确实喜欢给电动汽车充满电。从系统的角度来看，有趣的是，大多数人总是考虑 24 小时（每天充电），但如果你按三天考虑的话，可能最好只在其中的一天充电。我们的（智能充电）客户平均每晚充电 8kWh，通常是特斯拉 Model 3，因此如果电池容量为 70kWh 至 80kWh，每天只

能增加约 10% 的电量。有些人从不每天充电。但大多数人每天的充电量（相当固定）为 8kWh，还有一部分人充电量更大。”

一位受访者指出，农村驾驶员的日常驾驶模式变化可能会更大，从而导致他们更有可能给电动汽车充满电：

“很多农民工事先并不知道他们每天的驾驶需求如何。他们的出行可能也有时效性，比如去工地，当然，他们想按时下班回家。”

关于智能充电、可再生能源充电或双向充电桩，几位受访者都有直接经验。虽然有各种智能充电解决方案可供屋顶太阳能所有者使用，但拥有太阳能的客户并不一定会使用这些解决方案：

“在欧洲很多地区，用自己的太阳能充电比向电网供电收益更大。我认为，人们倾向于使用太阳能充电，不一定是通过专用装置或智能充电桩，有时只是在白天插上电源即可。”

在农村地区，无论是 V2H 还是 V2G，双向充电的一个潜在优势是可以减轻当地配电网的压力，因为当地配电网可能无法应对当地光伏发电量的过快增加以及电动汽车充电带来的傍晚或夜间高用电量。大多数受访者来自电动汽车充电领域，而非供电公司，因此无法就这一优势发表看法，但这或许说明，到目前为止，这一优势尚未成为智能充电或双向充电的驱动力。不过，总的来说，人们对这一问题已有一定的认识：

“是的，配电网的限制给农村地区带来了问题。我们在这里看到的是，很多土地被卖给农村地区的太阳能电厂，电源就在这里。在荷兰的很多地区，如果你开办一家公司，可能由于太阳能生产和消费的不平衡，导致无电可用。很多农村地区一两年都通不上电。此外，弃光现象也可能发生，或者太阳能所有者必须在特定时间才能向电网送电。”

德国的另一位专家指出，智能充电或双向充电有助于解决配电网的问题，但在实际实现之前还需要克服其他监管障碍：

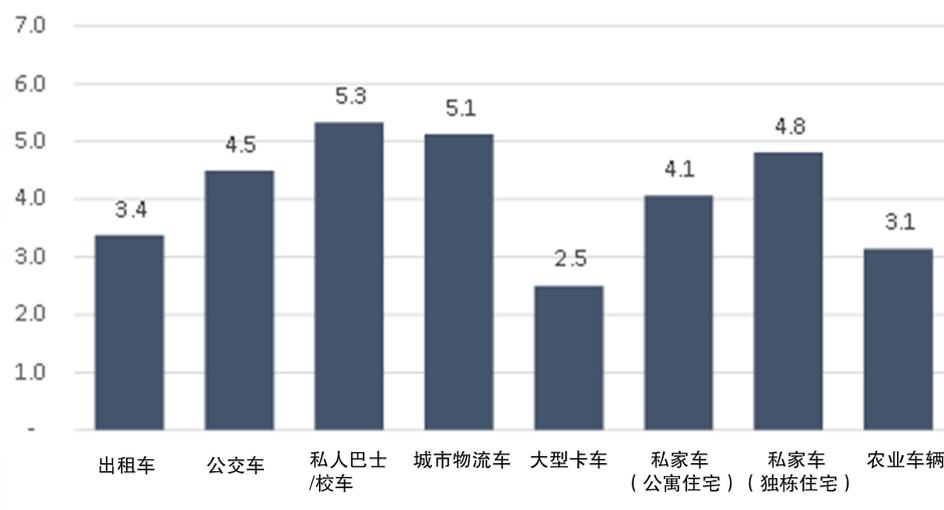
“夏季，许多情况下，由于有时发电过剩，有时发电不足，市场存在巨大的不平衡。这使得配电网网络的维护成本很高。在发电过剩时，我们需要更粗的电缆。解决方案是智能电网和智能平衡，许多本地公司已经开始采用这种数字化解决方案。但是，这些方案并没有得到决策制定者的真正支持……此外，人们还担心数字化解决方案的安全性和可靠性。我们是世界上电网可靠性最高的国家之一，但是，一旦有了创新的智能电网技术，决策制定者就会担心这会影响到可靠性。这是智能充电或双向充电面临的监管障碍。”

因此，总体而言，由于家庭充电和屋顶太阳能的高可用性以及配电网的局限，农村地区在采用智能充电和电动汽车双向充电以促进可再生能源并网方面具有巨大潜力。然而，在满足用户对经济性和便捷性的需求，以及消除监管或电费障碍方面，仍有重大障碍需要克服。

**双向充电的使用场景：**关于在不久的将来哪些用途对双向充电最有吸引力，国际受访者的回答显示，在某些领域，受访者意见一致；而某些领域，受访者意见分歧很大。受访者被问及八个不同的车辆类别，因此可以对每个类别包含的用户进行概括。我们鼓励受访者就不同类别中可能包含的各种子类别或双向充电发挥作用的可能性或大或小的情况作出定性回答，同时要求所有受访者在其知识允许的情况下，对每个类别作出总体评价。我们没有要求受访者事先对电价结构、成本、车辆可用性或其他激励措施或障碍做出任何假设，因为这些因素可能会对哪些车辆可以参与双向充电，或哪些车辆可能会选择双向充电产生重大影响。

有三类车辆被认为最有可能实现双向充电：校车或公司通勤班车和小巴士等自用巴士；小型卡车等城市物流车辆；以及可在独栋住宅进行充电的私人汽车。受访者普遍认为，由于使用率高、充电时间长以及可能主要在白天使用，大型卡车的双向充电潜力最小。在其他车辆类别中，受访者给出的答案更加多样化，这表明不确定性更大，对地方和国家层面的政策等因素的敏感度也更高。

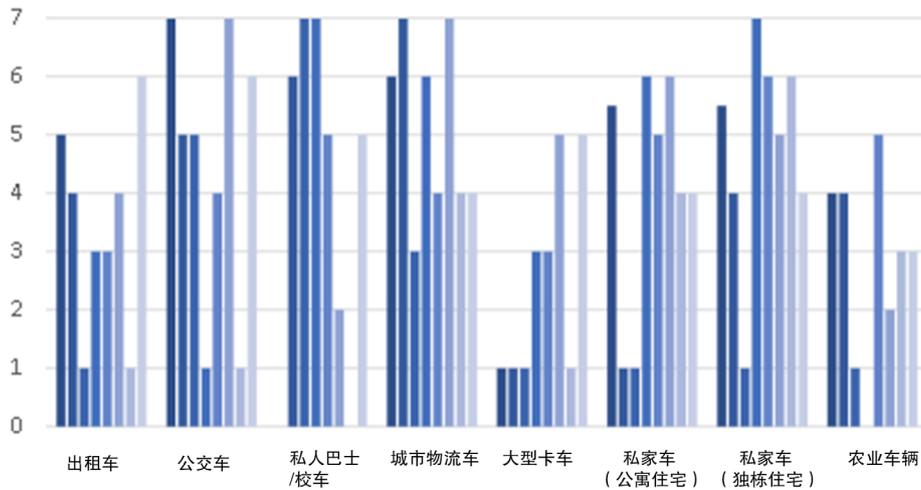
图 7.1：不同车辆使用场景下双向充电的吸引力（打分平均值）



资料来源：牛津能源研究所，2023年。

如下图所示，受访者对 V2G 的总体潜力提出了不同看法，一些受访者认为大多数车辆类别和使用场景不太可能参与双向充电或从中受益。

图 7.2: 双向充电对不同车辆使用场景的吸引力 (按受访者统计)



资料来源: 牛津能源研究所, 2023 年。

如前所述, 大多数受访者认为大型卡车不太可能参与双向充电。一些受访者对公共汽车或公寓居民的私家车参与双向充电的可能性持否定态度。

如果公共汽车和出租车的使用率较高或主要在白天使用, 则一般认为它们不太可能参与双向充电。一位受访者指出: “对于出租车队来说, 是否能够参与双向充电取决于它们的使用情况。如果出租车过夜停放, 也许可以进行双向充电, 但这不是电网需要 V2G 资源的时候。V2G 需要在高峰时段使用。”

其他因素也可能阻碍出租车积极参与双向充电:

“出租车车主面临着降低成本的巨大压力, 但他们只有有限的充放电 (时间) 时段, 这是运营模式造成的障碍。在某种程度上, 如果你能利用他们停车时的灵活性, 出租车在参与双向充电方面就会有巨大的动力, 但该行业有许多小型运营商, 在 (充电技术) 接受度方面也存在差异。”

关于公交车车队, 一位受访者说: “很多都是负面的例子, 例如公交车等高使用率车队, 没有时间在夜间充电。我做了很多公交车站的建模, 但似乎都行不通。”

不过, 一位受访者指出, 对于已经需要协调性充电以最大限度降低基础设施成本的大型车队所有者而言, 客户获取和客户教育的成本会更低。“公共和私营服务机构似乎更容易被说服, 不需要大量的激励措施就能使他们成为双向充电计划的一部分。而且与个人车主相比, 公共和私营服务机构能提供最高的性价比。”

与双向充电相比, 公交车车队更适合智能充电。正如一位受访者所说:

“公交车面临着与出租车类似的运营限制, 但车队所有者有动力优化夜间充电。清洁车辆

指令强烈要求公共汽车电动化，并鼓励市政当局降低成本。我听说过汉堡这样的例子，他们正在研究如何将公交车站电气化，并发现通过一开始就对优化充电做好计划，可以节省 200 万至 300 万欧元。他们通过与电网运营商谈判，达成了降低充电成本的协议。”

对于自用巴士，如公司班车或校车，受访者意见不一。虽然有几位受访者认为校车是理想选择，但一位受访者指出，欧洲的校车相对较少，校车参与双向充电或者智能充电在北美更可行。一位曾在政府部门工作的电动汽车充电专家指出，拥有小型巴士车队的私营公司“注重绿色形象，而他们的大部分绿色形象都来自于对外宣称实现了全电动化。增加 V2G 并不能为其带来多少声誉上的好处。”

对于小型卡车等城市物流车辆，大多数受访者认为这类车辆参与双向充电的可能性相对较大。一些受访者指出，这类车辆与出租车类似，白天使用，晚上停放，双向充电带来的好处不多，但其他受访者则比较乐观：

“城市物流车辆和出租车可能会持续使用，或者没有可预测的路线或停运时间。然而，由于它们的（电池）体积较大，我认为它们在 V2G 方面的潜力高于私家车。”

如果公寓住宅缺乏充电设施，或楼宇业主缺乏投资双向充电或参与智能充电计费计划的动力，那么参与双向充电的可能性较低。尽管许多人认为楼宇业主缺乏促进充电投资的动力，但一位受访者指出，在一些国家，楼宇业主有很大的动力将可再生能源与电动汽车充电结合起来，这将促进新技术更广泛的应用：

“在一栋公寓楼里，你可能需要进行负荷平衡以满足所有充电需求，因此可能会出现较低水平的智能充电，而比家庭层面更为普遍……特别是对于新建公寓而言，他们也有动力使用当地可再生能源自发自用来满足自身需求（即在楼宇或建筑群内消费），因此这也是（双向充电）的一大激励因素。”

事实上，另一位受访者回应说，公寓楼居民可能是城市物流之外的最佳使用群体，因为他们的驾驶模式更短、更可预测，白天停车时间也更长，但他们需要“正确的监管框架”来激励业主采用双向充电。

对于拥有专用充电设施的独栋住宅的居民，大多数受访者认为这是一个实际的案例群体，但受访者在对这些居民的接受程度方面存在分歧。两位受访者认为，个人双向充电只适合最富裕、最积极的消费者。不过，其他受访者指出，随着新产品的推出，消费者的意识和兴趣也在不断提高。

“个人和家庭首先希望他们的车辆能用于个人出行或紧急情况。（但）随着充电技术越来越普及和可靠，以及这些技术在公众中的认知度越来越高，个人和家庭就会更乐意将车辆用于双向充电。”

聚合服务和有吸引力的电费计划被认为是吸引典型消费者的潜在必要条件，并能确保在电网层面上产生显著效益：

“与公寓住户相比，独栋住宅的住户掌握的信息更多，双向充电的好处也更多，这并不奇怪。”

但另一方面，如果能将停放的更多车辆集中起来，那么就更像是一个车队，车主和电网都能获得更多好处。”

对于农村作业车辆而言，长时间停放可能会使其对双向充电产生吸引力，但由于农业车辆中电动汽车产品数量较少，且总体数量有限，所以，农村作业车辆很可能较晚参与智能充电或双向充电。

尽管受访者对不同使用场景中双向充电潜力的看法存在相当大的分歧，但对于大型卡车、出租车和农村作业车辆以外的几乎所有类别，至少有一些受访者认为它们很可能在一定程度上参与双向充电。在某些情况下，受访者提供了政策范例和成功的试点案例，或从理论上认为子类别参与双向充电的可能性很高。

**国际背景下双向充电的障碍：**国际受访者对双向充电的潜在障碍给出的回答最为多样。受访者对每种障碍所造成问题的规模及其在阻碍双向充电发展方面的相对重要性持有不同意见，这是由多种因素造成的。最重要因素可能是国家或地方政策背景不同，因为受监管的电价结构不同、电网规范和充电标准也各不相同。导致受访者不同回答的第二个因素可能是双向充电的不确定性和缺乏成功的商业案例，部分原因是缺乏具有双向充电功能的车型，以及缺乏双向充电的标准。因此，对于这个问题，定量回答的效果可能不如基于特定情境的定性推理。

受访者被要求对双向充电的障碍进行评估，包括五方面的障碍：

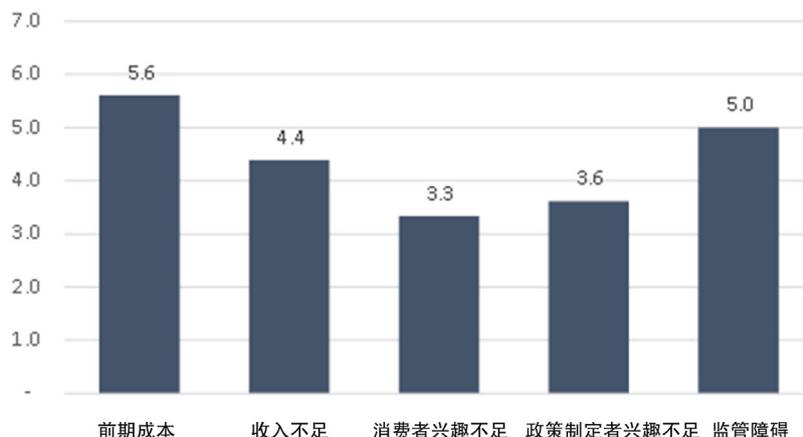
1. 前期成本，如购买双向充电桩的成本或安装成本，其中可能包括更换现有设备。
2. 缺乏全面经济激励，相关因素包括电费结构导致收入潜力不足、缺乏动态定价、涉及用电或向电网送电征税问题，或者除安装或设备成本外还存在其他相关费用和成本。
3. 消费者兴趣不足，原因包括认识不足、认为该问题很复杂、倾向于始终保持车辆满电状态、充电途径不足（例如对于无法使用私人充电设施的用户）或担心双向充电会对电池寿命和性能或对车辆保修产生影响。
4. 政策制定者兴趣不足，原因是政策制定者更注重提高电动汽车的普及率，或更迫切地扩大充电基础设施的使用，或认为负责交通政策的部门与负责电力政策或可再生能源并网的部门存在职权分离问题。
5. 监管障碍，包括可能直接阻碍双向充电的法律和政策障碍，以及电力公司监管面临障碍（如电力公司缺乏鼓励双向充电或投资相关用能基础设施的动力）或缺乏支持性电网规范，缺乏标准，如双向充电标准、通信协议和车辆标准等。

在访谈中，一些受访者提出了缺乏双向充电车辆的问题，以及除上述问题之外的其他技术问题。下文将详细讨论这些问题。

在这五个类别的障碍中，受访者一致认为，高昂的前期费用是阻碍双向充电的最大障碍。不过，受访者对成本问题的回答为这一障碍如何慢慢演变提供了大量的补充信息。监管障碍被列为第二重要障碍，包括经常提到需要升级电网规范或调整电力公司监管，以激励电网公司或私营公司支持双向充电。大多数受访者也提到了第三个障碍，即收入不足或其他经济障碍。显然，这些经济因素（如电费结构）与监管障碍之间有很大的重叠，这两类障碍并不相互排斥。

也许令人惊讶的是，很少有受访者认为消费者或政策制定者兴趣不足是不可逾越的障碍。然而，对于这两类障碍，受访者的回答却大相径庭，他们也认为未来存在相当大的不确定性。

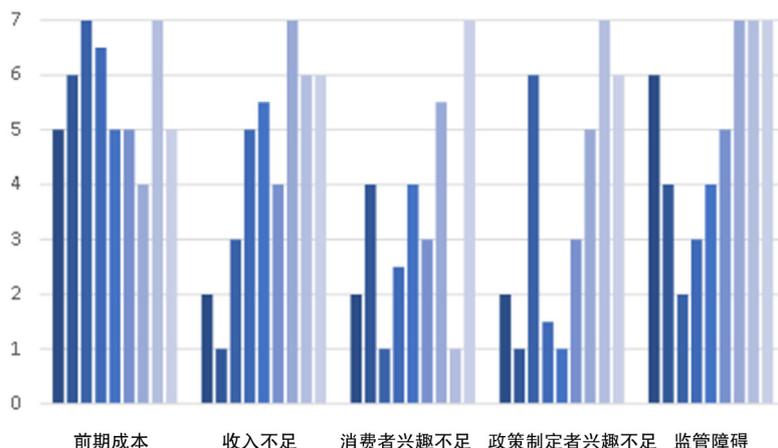
图 8.1：不同类别障碍对双向充电的重要性（打分平均值）



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

从下图中可以看出，受访者就充电设备的前期成本是双向充电面临的最主要障碍这一看法表示了高度认同。所有受访者都对此给出了至少 4 分（满分 7 分），有两位受访者认为前期成本是整体或所在地区面临的最重要的障碍。监管障碍在总体上的得分也较高，只有两位受访者给出了 2 或 3 分（满分 7 分）。如上所述，受访者普遍对消费者或政策制定者兴趣不足这一障碍的打分较低，但仍有两名受访者对政策制定者兴趣不足这一障碍给予了较高的评分。对于每个类别的障碍，都有几位受访者表示，他们并不认为这些因素是采用双向充电的主要障碍——无论是就其本身还是相对其他因素而言。

图 8.2：不同类别障碍对双向充电的重要性（按受访者统计）



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

**前期成本成为一大障碍：**受访者对安装双向充电设备的前期成本意见不一。一些受访者指出目前充电设备的成本较高，而另一些受访者则乐观地认为，随着竞争的加剧和新设备的推出，越来越多的车型提供双向充电功能，再加上该技术的固有成本，前期成本将迅速下降。

*“智能充电桩并不贵，但双向充电桩还不具备经济效益，因为市场上的充电产品有限，而且价格高昂。一旦 Enphase 或 SolarEdge 等公司在未来三年内进入这一领域，双向充电设备的成本可能会大幅度下降。”*

一位受访者指出，对于已经转向直流快速充电的公共充电应用来说，高昂的前期成本已经不是问题了：

*“这肯定会影响经济效益。不过，虽然这是一个很大的障碍，但随着成本的下降，直流快充也可能会发展得更快，只是规模和数量问题而已。一般来说，直流充电桩的成本要高于交流充电桩，而 V2G 技术主要采用直流充电桩。双向充电首选直流充电的部分原因在于互联规则，另一部分原因是，如果逆变器是安装在充电桩内而不是在车辆内，则效率更高，功率更大。因此，与家用交流充电桩相比，前期直流充电桩更有优势。”*

一位有着双向充电试点管理经验的受访者指出：

*“前期成本是一个巨大的障碍。在我们的试点项目中，我认为成本为 7000 欧元，但这个数字可能不是最新的了。从长远来看，双向充电桩的主要成本来自于逆变器，对于 10kW 的太阳能光伏板，只需 1000 欧元就能买到一个逆变器。因此，双向家用充电桩成本目前高于普通智能充电桩，我预计该成本最终会下降到与后者持平。”*

一位受访者指出，前期成本不仅包括充电桩，还包括升级其他电气系统的潜在成本。

*“除了个别品牌外，所有双向充电电动汽车都使用直流电，如果要在家中安装，差不多需要 1 万欧元，在某些情况下可能高达 2 万欧元。你可以用这笔钱买一辆二手电动汽车。只有有钱人才会这么做（选择双向充电电动汽车）。在征收进口关税的情况下，我们没有更便宜的中国电动汽车车型……我有一个 200 安的电池板和太阳能光伏发电系统、一个家用储能电池、两个电动汽车充电桩，我还准备装一个热泵。我不需要升级电池板。但如果是双向充电的话，我就需要进行升级。”*

其他人则关注不同的客户类别或补贴和融资的可能性，例如电力公司在价格中为参与双向充电的客户

提供双向充电桩。

*“我想，目前 V2G 在历史上是通过 CHAdeMO 平台实现的，这些产品很昂贵，因为需要一个逆变器。目前只售出了几千个（CHAdeMO 平台）。好在价格已经降下来了。起初价格超过 15000 欧元，但现在只需 4000 欧元就能买到双向充电桩。如果消费者需要预付款，这仍然是一个相当大的障碍。如果能将成本纳入租赁费或电费中，那就可行。”*

同样，另一位受访者认为有必要提供补贴：

“我不认为这是最大的障碍，但也不能低估它。农村社区包括较富裕的社区，这些社区可以负担更高的充电设备前期费用，但也包括较贫穷的地区。对于不太富裕的人群来说，Wallbox 的成本会是一个问题。从经济上讲，电力公司可以向电动汽车提供补贴，同时为充电桩提供补贴或给予降低成本的帮助。因此，我们应该考虑为农村地区的低收入群体提供补贴，使他们不仅能够购买电动汽车并能够充电，而且能够真正成为（清洁电力）系统的一部分。”

**双向充电的经济局限性：**双向充电的经济吸引力主要取决于用户是否能够获得收入，使用户能够可靠地收回投资成本并获得足够的回报。国际受访者对这是否构成一个主要的障碍存在一定分歧。

“双向充电的经济效益与电力公司监管相辅相成。总体而言，目前缺乏动态电价带来的激励，因此这在一定程度上是监管问题，同时也是经济问题。在很多地方，双向充电会产生巨大的系统价值，但没有补偿措施。”

同样，荷兰的一位受访者指出：

“是的，如果消费者能获得比现在更便宜的电力，他们就会提起兴趣。我从电力合作社得到的很多信息都是，我们必须使用清洁能源和实现可持续发展，但当我们对我们电力合作社的 1200 名成员进行调查时，98% 的人表示价格是最重要的。减少二氧化碳排放固然重要，但价格更为重要。如果你看看真正的农村地区，比如田里耕作的农民，对他们来说，（经济效益）是非常重要的，因为他们从农业活动中获得的利润并不高。”

北美的一位受访者指出，定价法规方面存在漏洞：

“我认为这要视情况而定。某些州的公用事业法规自 20 世纪 50 年代以来一直没有变化，甚至可能没有分时定价。而在其他地区，根本不存在经济障碍，有聚合商可以为客户提供服务。”

欧洲的法规也存在漏洞：

“事实上，现在的消费者不可能看到价格信号就知道何时充电或放电。缺乏动态定价是一大障碍。在欧盟层面，目前正在对电力市场设计进行审查，支持更能反映成本的定价，但我们并没有看到所有成员国采用这种定价。监管机构告诉我们，国家官员或多或少都有实施此类定价的眼光和能力。此外，人们还担心从电网充电和向电网反向送电会被二次征税。”

有几位专家提到在零售层面没有动态价格，而有的专家则指出，这种动态定价方案正变得越来越普遍。

“人们对动态电价的接受程度在不断提高，电动汽车驾驶员对动态电价的兴趣也相当高。一项针对荷兰电动汽车驾驶员的调查显示，他们希望使用动态价格，以便从低价中获益。随着双向充电的引入，人们对动态电价的兴趣只会越来越浓。然而，值得注意的是，自乌克兰危机以来，一些动态定价带来的好处已经消失，因为提供此类方案的公司要么在电价上涨后无法吸引客户，要么认为动态定价不再有利可图。”

另一些人则认为，完全实施动态定价没有必要，因为客户可能更喜欢固定分时定价的简单性和相对确定性，一些地区的电动汽车电价设计中就体现了这一点，例如丹麦的一些方案。

“在丹麦，我们有半动态定价，有助于鼓励智能充电，但它是基于当时的电力成本，按小时区分的。它并不一定反映电网的使用情况，但（监管机构）决定不使动态定价变得更加复杂。基本上，在理想的情况下，充电电价应该与电力现货市场价格一起波动，但目前的情况并非如此。”

还有人则认为，虽然缺乏有吸引力的充电电价是一个障碍，但这个问题可以很快地得到解决。

“我认为我们在电价方面有了相当大的改善，比如 Octopus 推出了一系列智能电价。我认为电价已经足够好，可以给你带来丰厚的回报，但电力公司还需要支付资本设备的前期成本，而这是许多人（用户）无法承担的……电价可以很快确定，现在已经有更多适用的电价了。”

**消费者兴趣不足：**一些国际受访者认为消费者缺乏兴趣并不是一个障碍。这种乐观态度也反映出，接受访谈的主要对象应该是对双向充电有一定直接了解和经验的专家。然而，分歧仍然存在。例如，一位学术专家说：“我认为大多数人都对智能充电感兴趣，因为智能充电能提高利用率并降低成本。”而另一位就职于电动汽车充电公司的专家则表示：“只有部分能源极客对智能充电感兴趣，其他人则并非如此。”

一些人指出，个人消费者的背景和经历可能会影响他们是否对智能充电感兴趣，例如那些面临不可靠电力供应的人，例如在美国：

“能源迷们就要求这样做，或者是那一帮经历过 2021 年大停电的得州人，因此那些能够保障家庭供电的人当中，有些人现在成了狂热分子。但这只是例外……大多数人充电的首要目的是交通出行。就消费者的兴趣而言，通过向电网服务而获得收入，重要性只排在第四或第五位。”

同样，一位欧洲受访者指出，那些居住在电力供应不稳定或拥有大量屋顶太阳能地区的人们也对此感兴趣：

“我认为（对双向充电感兴趣）源于有一些非经济方面的驱动因素，例如，能独立于电网，在电网出现故障时具备韧性；掌握最新的技术以及通过放电获得选择价值。对于决定使用

太阳能的人来说，储存太阳能可能是因为经济原因，也可能是因为非经济原因。听说过这种解决方案的人们会有很多需求。他们中很多人对此都非常感兴趣。”

一位受访者指出，人们的普遍认识水平仍然很低：

“我不认为这是一个巨大的障碍。我想还没有多少人知道它。在观察了太阳能和电动汽车的发展趋势后，有很多人他们说永远不会使用太阳能和电动汽车。但消费者认识水平变化轨迹是可以预测的，一开始人们会觉得新奇，然后就会采用，随着故事和经验累积，他们就会慢慢接受。人们的认识水平需要提高，但我非常有信心，通过点对点的知识分享能够逐步提高消费者的意识，起到教育作用。”

同样，一位电动汽车充电供应商的专家指出，新的软件和应用程序的开发将提高人们对双向充电的认识，提升消费者的满意度：

“在人们学会了如何使用智能充电，并在手机上安装了能为他们安排充电的应用程序后，获得优惠的（充电价格）只需要简单的操作。问题在于如何让消费者达到这一知识水平。是的，要让消费者相信电池可以进行智能充电是有难度的，但一旦你证明用户可以获得收益，而且他们仍然可以使用自己的汽车，他们就（愿意）使用智能充电。重要的是首先让每个人都用上智能充电，然后剩下的事就相对容易了。我担心的是卡车运营商或公共汽车站，在这种情况下，客户更关心的是在优化成本的同时，提供可靠的运输服务。让这类运营商相信在特定时间充电是有益的，这可能是需要解决的更大障碍。”

最后，几位受访者指出，只有当汽车能够双向充电时，消费者的认识和兴趣才会提高。

“对于双向家用充电桩，我认为理论非常棒。越来越多的人开始关注自己的能源使用情况和能源价格。但是，有哪些汽车能够使用联合充电系统（CCS）进行双向充电呢？我仍然很失望，因为我的起亚 e-Niro 没有这种功能。”

**政策制定者兴趣不足或给予的优先度不够：**与其他障碍一样，专家对政策制定者缺乏兴趣作为双向充电障碍的重要性看法不一。

一方面，几位专家认为政策制定者对双向充电的兴趣很高，并对双向充电表示支持。一位英国专家评论说，英国对双向充电很感兴趣，所以在这方面不存在障碍。欧洲的一位专家指出，和其他障碍比起来，政策制定者缺乏兴趣算不上是一个障碍：

“我认为，至少在欧洲，我们有一个不错的（双向充电）环境。我认为真正重要的是能源市场。我觉得行业可以把剩下的事情做好，不需要政策干预或支持。”

一位欧洲专家表示，如果说有什么不同的话，那就是双向充电被政策制定者“夸大了”。另一位北美专家评论说，“在加州，我认为政策制定者在推广 V2G 方面太急于求成了，他们要求所有电动汽车都

必须具备双向充电功能。这肯定增加成本……我不认为（政策制定者缺乏兴趣）是一个障碍。”

但也有专家认为，政策制定者认识不足是一个潜在的重大问题。一位专家说：“我不确定有多少决策者真正了解双向充电的工作原理或好处。”另一位专家认为：

*“政策制定者确实需要更多地了解双向充电及其功能……缺乏这方面的知识和理解会阻碍进一步部署电动汽车充电基础设施和电动汽车。”*

一位专家表示，政策制定者希望促进双向充电，但不能操之过急，不能快于行业：

*“政府对实现双向充电表现出了极大的兴趣。电网非常希望释放这种灵活性，但还没有制定相关政策。刚刚宣布的指令本可以包含更多关于双向充电的具体内容，但他们希望在原始设备制造商（OEM）支持双向充电之前，不要出台太多细节。”*

一位欧洲法规专家指出，虽然人们对双向充电的话题很感兴趣，但这份兴趣也仅限于技术层面，还没有大到要制定相关政策来推动双向充电发展：

*“我想说这其中存在一些误解。双向充电常被归入未来主义的范畴，因为它在现实中离我们很遥远，而且非常复杂。除了智能充电之外，我很少看到有哪种方法可以定义双向充电，以及它能做什么和能带来什么好处。它并不比智能充电更具技术性，但它确实能带来额外的好处……欧盟能源委员会的一项研究计算了电动汽车车队使用充电管理与双向充电的潜在价值，结果显示双向充电潜力巨大。如果我们更多地讨论（系统价值），而不是把这个话题提交给标准委员会……人们的兴趣不会一夜之间突然增加，但改变已经在悄然出现，大家会慢慢地对双向充电越来越感兴趣。”*

**监管障碍，包括充电标准和电网规范：**受访者对监管障碍的看法相当一致，认为这是双向充电的一个重大问题，可能需要时间来解决。许多受访者都提到了不一致或非支持性的电网规范以及缺乏双向充电的行业标准。

*“我对双向充电持乐观态度，但目前存在许多障碍，包括电网规范不允许进行双向充电，或法规对充电桩或汽车制造商提出了行业无法满足的要求。欧洲各国的电网规范不统一，要求聚合商满足不切实际的调频或爬坡要求。监管方面第二个问题涉及税费的作用和电网定价……一些国家对固定式储能（提供电网服务）做出了规定，但对移动式储能没有规定。针对不同的（电动汽车）用户群体，存在不同的税费和电网费用，因此在工作场所或在家中放电的电费可能完全不同。”*

一些受访者提到，联合充电系统双向充电标准的制定需要很长时间，这是一个主要障碍，而有的受访者则提到了汽车标准。一位受访者表示担心，如果双向充电普及开来，汽车制造商会如何处理电池保修问题。

几位专家的访谈中都提到了法规不一致的问题。北美的一位专家认为：

“美国就像欧盟一样，有许多不同的参与者，在不同的阶段有不同的需求和基础设施。美国（没有）像挪威和瑞典那样电动汽车普及率高的地区，但有类似希腊那样（普及率低）的地方。每个州的法规问题完全不同。”

然而，一些欧洲专家表示，欧洲应该借鉴美国的例子：

“加州的一项参议院法案要求，到2030年，所有电动汽车都必须具备双向充电功能。我希望欧洲也能这样做。这些技术（政策）信号或支持信号非常重要，可以让消费者放心，这是一个十分重要也很实际的事情。”

专家提及的具体监管障碍包括双向充电的互操作性和电力市场的设计。

“汽车制造商推出的定制充电桩存在一些问题，我们希望充电桩在电动汽车之间具有互操作性。在家庭资产参与灵活性市场的交易方式上，存在一些限制。（向电网反向送电的）计量规则主要是针对大型发电而制定的。”

几位受访者还提出的另一个法规问题：输电网的税费问题。

“从用户角度来看，如果你是车队运营商或消费者，只需支付一次（输配电）费用。从系统的角度来看，则需要收回配电网的成本，这个问题并不容易解决。我们需要一个双方都能接受的解决方案。我觉得这个障碍挺难处理的，但可能是因为我在这领域工作的缘故。”

**小结：**在这组小型访谈中，国际专家对双向充电的潜力发表了各种意见。虽然大多数人对双向充电的作用持乐观态度，但专家们所指出的双向充电面临的障碍仍令人生畏，即使在新车型上市之后也是如此。动态定价信号的普遍缺失、充电设备的成本以及特定国家的监管障碍似乎成了双向充电发展面临的主要风险，同时，专家们对这些问题的看法也存在一些分歧。就消费者对双向充电的兴趣而言，专家们持相对乐观的态度，尤其是在分布式太阳能普及的农村地区。

## 2.4 中国电动汽车专家对双向充电和农村电动汽车使用的看法

本研究共采访了8位中国电动汽车行业专家，包括：学术界受访者（1名）、电动汽车行业受访者（4名）、电网公司或电网研究机构受访者（2名），以及能源咨询领域受访者（1名）。受访者被问及农村车辆偏好、驾驶和充电模式、智能充电和双向充电的使用场景，以及采用双向充电面临的障碍。

与欧洲和北美不同，中国的受访者认为城乡居民在电动汽车保有量和驾驶模式上有很大不同。与欧洲一样，在改用电动汽车方面，中国的农村地区也有很大的潜力和动力，因为在家里就可以充电。如背景部分所述，中国农村地区对车辆的偏好与城市地区有很大不同。受访者表示，相对收入较低、农村道路狭窄以及私人充电条件良好是决定中国农村地区偏好低成本、短里程电动汽车的主要因素。外出务工人员 and 就近务工的农民倾向于选择两轮电动车，而经营农产品的农民则倾向于选择三轮或四轮电动车。所有这些群体在车辆购买和使用方面都与城市地区大不相同。

尽管如此，受访者指出，中国农村地区的电动汽车购买偏好存在很大的地区差异。在较发达地区（如长三角和珠三角）的农村地区，电动汽车的普及率和购买偏好与城市地区相似。

在驾驶模式方面，中国电动汽车专家受访者认为，在农村地区，电动汽车的使用时间可能没有城市地区那么固定，因为农村居民需要从事各种农业劳动，如田间耕作或农产品运输。而在城市，电动汽车主要用于上下班或其他日常出行需求，或周末的社交和娱乐活动等。

*“农村私人电动汽车的行驶距离中位数平日约为 20 公里，周末约为 30 公里。城市电动汽车车主的活动范围很广，他们平日或周末的正常行驶距离要高于农村车主……大型电动汽车的电池寿命更长，电池容量更大。一般来说，大型电动汽车的日常行驶距离更长，超过 100 公里。”*

由于大多数农村居民每天没有固定的通勤时间，因此他们的使用模式不太容易预测，对有些人来说，使用模式更具有季节性：

*“农村地区电动汽车的使用范围相对有限，农村电动汽车并非全天候使用。两轮车的使用频率较高，以满足日常活动需求，而三轮车和四轮车则在季节性农产品大量上市前后和国家节假日期间使用较多。此外，农村用户通常会设法安排出行时间，以避免交通繁忙时段或在天气炎热或寒冷时长途旅行。”*

在使用频率方面，由于日常通勤需求相对较低，农村地区电动汽车的使用频率可能较低，而城市地区的电动汽车使用频率相对较高。综上所述，在使用时间和目的方面，农村地区的驾驶模式更为多样。城市车主主要将电动汽车用于早晚的日常通勤，而农村车主则将电动汽车用于多种用途，驾驶频率和时间也有很大差异。

在工作日和周末，城市电动汽车车主的日常通勤里程也比农村电动汽车车主长。对于农村电动汽车车主而言，小型电动汽车与大型电动汽车在使用上有显著差异：大型电动汽车的续航里程更长，因此典型的出行里程往往更长，这反映了在拥有多辆汽车的情况下，出行距离较长的车主偏向于购买此类车辆或使用此类车辆进行更远距离出行，例如一辆三轮或四轮车辆用于长途旅行，一辆或两辆小型车辆用于日常出行。小型电动汽车主要用于农村的日常出行，大型电动汽车主要用于运输农产品。

**充电模式：**为了反映了车辆类型和使用模式的差异，中国受访者被问及农村电动汽车车主是否愿意参与以下四大类电动汽车充电：

**传统充电**，是指使用便携式充电设备充电。电源来自家用电源或专用充电桩电源，通常需要几个小时或更长时间才能为电池充电。在农村地区，传统充电可能更为常见，因为充电设施不发达，人们通常在家里充电。

**非协调性充电**，是指无论电网负荷如何，只要有需要随时可以充电。用户可随时插拔充电器，无需特别协调。非协调性充电在农村地区可能更为常见，因为电网负荷通常较低，不需要特别协调充电时间。

**协调性充电或智能充电**，是指利用智能充电设备在电力需求较低的时候进行充电，从而减少电网负荷。这通常需要智能充电管理系统和通信技术以协调充电时间。在农村地区，如果有智能充电基础设施，也可以实现协调性充电。

**在双向充电（包括 V2G）模式下**，电动汽车可与电网互动，并根据电网的需求进行充放电。这包括根据电网运行情况自动启停充电，以确保电网在电力需求高峰期不会超负荷，或优化输电和发电等系统

资产的调度。V2G 通常需要先进的基础设施和技术，与城市地区相比，这在农村地区并不常见。

然而，由于农村收入较低，家庭对电价更为敏感，只要电动汽车仍能满足其需求，农村地区的电动汽车用户比城市用户更有可能选择协调性充电，以便省钱或赚钱。因此，受访者认为，尽管目前双向充电在农村地区普及率不高，但其长期前景良好。

事实上，受访者反映，由于中国智能充电或双向充电的技术和基础设施不发达，也缺乏有序的充电价格体系，目前这四种充电类型在中国城市和农村地区的普及情况并无明显差异。

不过，受访者对于农村充电其他方面的一些情况表示了一些不同意见。大多数受访者认为，用户选择每天充满电还是每周充满电的问题，存在不确定性，认为这主要取决于是否每天通勤、是否是农忙季节、使用情况以及电池容量和行驶里程等因素。因此，对这些受访者来说，有些类型的车辆在农村地区不一定要每天充电，例如偶尔使用的大型车辆，相比之下，小型车辆在日常使用较多。但也有一些受访者认为，农村地区每天充电的现象更为普遍，因为农村车主拥有便利的私人充电设施，而且农村居民更担心公共充电设施的可用性或电量耗尽问题。

**对智能充电或双向充电的兴趣：**大多数中国受访者认为，如果提供智能充电服务，半数以上的农村电动汽车车主有兴趣或有可能参与其中。三位受访者表示，他们的观点基于某些条件：是否具有可靠的设备和基础设施、是否有明确的政策支持、是否易于使用、是否存在经济激励措施。

*“如果我们能够提供全面的技术和基础设施支持，我估计会有 50% 以上的农村电动汽车愿意参与智能充电，因为他们的充电起始时间更加分散和灵活。与城市电动汽车车主朝九晚五的日常生活相比，农村电动汽车车主参与智能充电的比例应该会大大高于城市地区——尤其是在补贴或优惠到位的情况下，参与双向充电不但能使车主们省钱还能赚钱。”*

由于其复杂性和日常使用需求的差异，有的受访者对双向充电则不那么乐观：

*“正常情况下，如果只要对峰谷用电策略进行简单的调整，就能立即节省电力，我估计 30% 的农村电动汽车车主愿意参与；而对于复杂的策略（如基于动态价格的双向充电），农村电动汽车车主的驾驶模式受到多种因素制约，且每天的驾驶模式差异很大。我估计只有不到 10% 的用户愿意参与。”*

此外，大多数受访者认为，如果满足上述条件，并且智能充电或双向充电的价格合适，或者如果有补贴或其他基于市场或收入的调峰激励，那么农村地区对智能充电或双向充电的接受程度将高于城市地区。这与农村地区私人充电设施的可用性高以及对经济激励措施的敏感度高有关。

*“如果有完善的智能充电条件，我估计 70% 至 80% 的农村用户愿意参与智能充电。那些拥有私人充电设施的用户，其参与比例应该比城市更高。虽然参与 V2G 需要更多的投资成本，但双向充放电可以为电力系统提供灵活性调节资源，其效益高于智能充电。对于拥有私人充电设施的农村电动汽车车主来说……如果电网公司或政府承担投资成本，参与的双向充电的农村电动汽车车主比例会更高，估计会达到 80% 至 90%。”*

与国际专家一样，一位中国受访者同样提出了智能充电和双向充电的汽车保修问题，认为这是一个

重要考虑因素，也是目前双向充电的一个潜在障碍。

“关于 V2G，如果厂家为电池提供质量保证，并明确（在特定时间向电网放电）的上网价格，预计有兴趣或有潜力的农村私人电动汽车车主参与比例将非常高。原因是农村地区的使用强度相对较低，农村用户对短期利益更为敏感。鉴于农村地区很难提供完善的售后维修服务，厂家的质量保证至关重要。”

尽管与城市电动汽车用户相比，大多数受访者对农村地区的双向充电持乐观态度，但也有一位受访者持不同意见，他认为由于认识水平较低，信息获取渠道较少，农村地区智能充电的可能性低于城市地区。

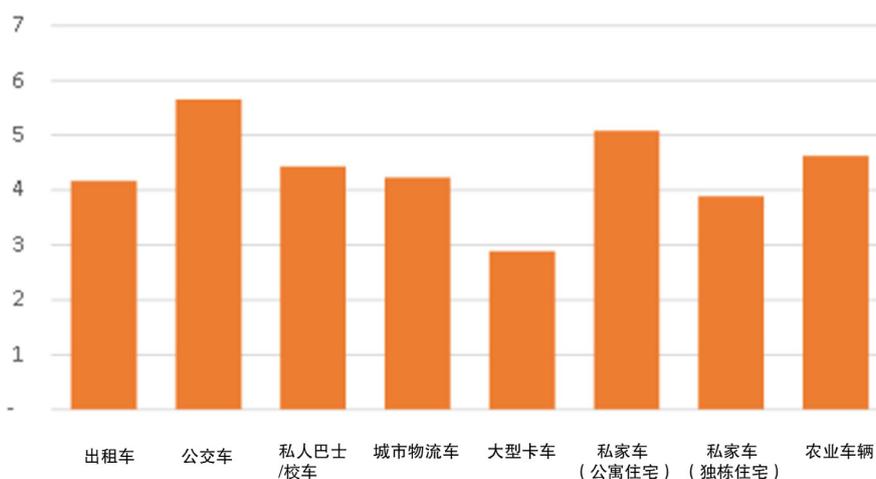
另一位受访者对农村地区参与智能充电和双向充电的可能性表示乐观，但他指出，参与情况可能因季节而异，在最繁忙的农忙季节，参与程度有限。

“农村地区居民收入有限，在充电方面更注重省钱。在农忙时节，为了满足与工作有关的驾驶需要，他们不得不在电价高的时候充电，而在农闲时节，只要不影响生产活动，环境又好，他们一定会选择参与协调性充电和 V2G。……我估计，90% 以上的农村电动汽车车主都有兴趣或潜力参与 V2G 或 V2H，只要他们能从中获得收益。”

如果智能充电或双向充电随季节发生变化，那么与可以一年四季利用这两种技术相比，在降低配电网或储能资产投资成本方面的收益可能会大大降低。

**中国双向充电 /V2G 的使用场景：**与对国际受访者的调查结果一样，中国受访者对哪些使用场景对双向充电最具吸引力提出了各种各样的意见和评估。也许令人惊讶的是，由于电力批发市场发展水平相对较低，且缺乏动态定价经验，中国受访者对双向充电的平均评价比国际受访者更高，但由于受访者数量较少，且专家选择有限，这种差别可能没什么实际代表意义。更重要的是，就双向充电对哪个行业或使用场景最具吸引力这一问题，受访者意见不一。

图 9：中国受访者对不同使用场景参与双向充电潜力的平均评估



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

总体而言，中国受访者认为公交车最有可能参与双向充电，因为其电池容量大、数量也更多。正如一位受访者所说：“公交车通常有很大的充电需求，并且在城市中大范围运营，因此公交车参与智能充电和 V2G 互动的潜力很大。”

同样，与国际受访者相比，中国受访者对出租车参与双向充电的能力给予了更高的评价。虽然出租车在白天的使用率很高，但在一些风力发电装机容量较大的地区，夜间双向充电也是可行的。

*“出租车通常有较大的充电需求，通过智能充电管理系统可以有效优化充电时间，确保车辆随时可用。这使得他们更愿意参与智能充电和 V2G 互动。”*

同样，中国城市的城市物流电动汽车的数量和种类远远超过欧洲或北美。在欧美，许多大型车辆白天在一些街区送货受到限制。成熟的大型车队所有者也可能更有动力参与双向充电。

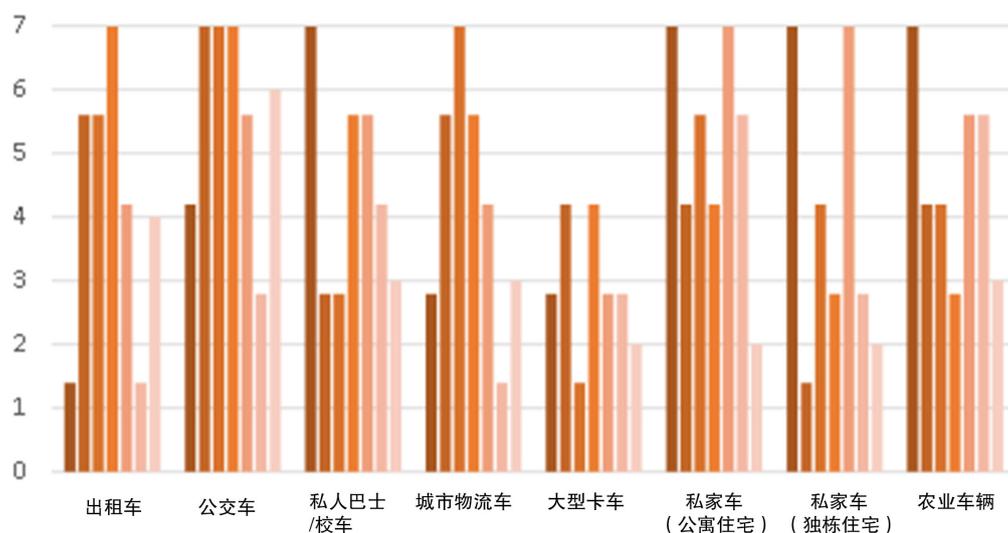
*“城市物流车通常需要频繁充电，通过智能充电管理系统可以提高效率，因此它们有潜力参与智能充电和 V2G 互动。”*

与欧洲和北美一样，中国受访者也认为大型卡车最不可能参与双向充电，因为其使用率很高，且充满电的机会有限。

在私家车车主中，公寓居民比私人住宅居民更有可能参与双向充电，这与访谈中的观点有些矛盾。农村作业车辆参与的积极性中等。

同样，受访者对不同车型的排序或估计也存在很大差异。

图 10：中国受访者对不同使用场景参与双向充电潜力的评估（个人回答）



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

受访者们对出租车、城市物流车辆和个人车辆的答案差异最大，一些受访者认为这些车辆参与双向充电的潜力很大，而另一些受访者则认为潜力很小。意见最一致的是大型卡车和公共汽车，即前者参与双向充电和智能充电的潜力不大，而后者参与双向充电和智能充电的潜力较大。

**障碍：**在智能充电和双向充电的障碍方面，由于农村收入较低，农村电动汽车车主对价格更为敏感，因此，他们对电池容量更大或充电设备更昂贵的车辆不太感兴趣。如上所述，农村电动汽车的平均使用频率较低，所以他们往往会购买较小的电池，这意味着使用电动汽车节省的燃料成本较少。

农村地区通常缺乏电动汽车充电设施，这确实限制了电动汽车的使用。电动汽车的使用仅限于那些拥有私人充电设施的地区。即使修建了公共充电站，修建的位置对农村电动汽车车主来说也可能不方便。安装私人充电设施会给农村电动汽车车主带来更大的经济负担。道路状况不佳也会导致保养成本上升，这也是农村地区偏好廉价车型的原因之一。农村地区电动汽车的当地维修和保养服务不足，也会导致电动汽车车主倾向于选择更小但更可靠的电动汽车。

受访者提到的其他障碍包括电动汽车充电的电网容量限制（尽管双向充电或智能充电可以改善这种限制），在目前的电力市场结构下，中国缺乏智能充电或双向充电的商业模式，农村地区对智能充电的认识和了解较少。

*“目前，中国既没有成熟的、也没有被广泛采用的有序充电价格激励机制，影响充电的主要是电价，包括公共充电和家中充电。由于城乡电网的电价基本相同，我认为城乡之间的充电情况没有明显差异。”*

如上所述，与城市地区相比，家中充电的可用性也有助于减少农村地区使用电动汽车和智能充电的障碍。

某些地区已经引入了辅助服务市场，可能已经开始提供一些激励措施：

*“在峰谷（分时）电价下，按谷值电价充电的比例在农村地区可能更高，因为大多数家庭既有私人停车场，又有独立电表……如果华北地区有额外的调峰市场激励，如辅助服务市场，农村电动汽车车主可能更愿意参与，因为他们对经济激励更为敏感。”*

该受访者还提到，许多在农村地区使用的低成本电动汽车车型没有利用分时电价的功能：

*“限制因素可能是农村地区的许多低速电动汽车或微型电动汽车无法设定预先充电时间。比如老款五菱宏光车型就没有这个功能。较新的型号可以支持手机设定充电时间。”*

受访者提到，收入最高、充电基础设施（公共和私人）最发达的省份最有可能采用智能充电或双向充电，以帮助可再生能源并网或减少电网容量限制。北京和上海的农村地区，以及广东、浙江和江苏的农村地区都符合这一条件。

*“在山东、河南、河北等地区，低速电动汽车占比较高，电动微型车在这些地区的市场规模更大。但长三角和珠三角地区的农村地区车型比例与城市地区更为相似。”*

对于这些地区的居民来说，关键在于当前的驾驶需求（即电动汽车车主希望尽量降低成本和电池容量）而不是智能充电或双向充电带来的经济性。如果因为有了V2G，使用较大的车辆或较大的电池变得更划算，这将减少农村电动汽车车主面临的障碍。通过分布式太阳能光伏发电充电以获得更低的充电价格，也能鼓励更多的人使用电动汽车。因此，不应将目前农村电动汽车的车型结构或驾驶和充电模式视为一成不变，而应将其视为一种潜在的动态过程，随着分布式能源和智能充电或双向充电的经济激励的普及，这种情况可能会发生变化。

*“但是，由于驾驶模式多种多样、千差万别，未来会怎样，是否会与过去一样，都是一个问题。由于不同群体（女性或男性、在职或非在职、年轻或年长）的驾驶习惯和需求可能不同，因此基于现在的概括和推理进行的分析是有问题的。”*

**配电网限制：**受访者普遍认为，尽管农村地区的私人充电设施可用性更高，但农村地区充电基础设施不足是一个主要问题，许多地区的配电网容量不足是改善充电基础设施面临的主要障碍之一，甚至是最大障碍。尽管如此，受访者对这方面的趋势表示乐观，他们指出，在三到五年内，当地配电网问题和充电基础设施的可用性问题将得到显著改善，有序充电和错峰充电可以解决目前的许多问题。

然而，大多数中国受访者表示，迄今为止，农村地区充电条件差，如供电线路老化和维护、充电基础设施有限、现有充电桩充电速度慢、充电设施建设成本高，特别是配电网不足导致的供电不稳定等，大大延缓了电动汽车在农村地区的普及应用。另一方面，农村地区接受电动汽车的速度较慢，而且农村电动汽车的体积较小，这也大大降低了配电网容量有限所造成的影响。

**经济障碍：**总体而言，受访者对农村电动汽车车主采用智能充电或双向充电所面临的经济障碍意见不一。低电价是几位受访者提到的问题之一，尽管考虑到农村居民对价格的整体敏感度较高，许多受访者并不认为低电价是一个主要障碍。更多受访者提到，由于农村电动汽车的行驶里程数较低，慢速充电即可满足需求，因此需要额外设备成本的智能充电可能永远不会在经济上具有吸引力。

农村地区数字基础设施不发达，如缺乏高速互联网连接和智能充电设备的通信要求，将对智能充电系统的远程监控和管理造成不利影响。智能充电可能需要云通信以便实时监控充电状态和电网负荷。这可能会增加在农村地区部署和管理智能充电设施的难度。

综上所述，所有受访者都认为低电价会降低农村车主对智能充电系统的热情，但并不会对农村地区的智能充电构成实质性障碍。由于农村车主对价格敏感，即使参与智能充电或双向充电的收益不是很高，他们也很有可能参与。然而，前期设备成本可能是一个主要障碍。在一些农村地区，高速互联网连接和智能充电设备通信能力等数字基础设施欠发达，这将对智能充电系统的远程监控和管理构成不利影响，从而阻碍电动汽车在农村地区的应用。

## 2.5 中国对电动汽车充电与可再生能源的融合领域国际合作的看法

为了了解中欧在电动汽车充电，特别是双向充电方面的合作潜力，并将其作为交通运输脱碳和提高低碳可再生能源并网战略，本研究还对目前参与中欧合作活动的少数专家进行了一系列访谈，尽管不一定是参与中欧能源合作平台的专家。这其中包括四位中国受访者，他们都在政府或国有重要机构工作。每个地区的专家都被要求根据其理论潜力以及考虑各种敏感话题（如商业竞争和每个地区不同的政策环境）的必要性来评估最有前景的合作领域。

例如，中国在电动汽车、光伏发电和电池的制造和应用方面处于世界领先地位。在所有这些领域，

欧洲既是中国制造业的客户，也是工业和商业领域的参与者。欧洲在电力市场改革和可再生能源并网方面拥有多年经验。中国目前正在进行电力市场改革，许多省份的现货市场都很活跃，全国统一市场设计也在积极开发中。关于电动汽车充电和双向充电的潜力，欧洲和中国都主要关注基础设施的建设，以提高电动汽车的接受度，而利用电动汽车更好地促进可再生能源并网等问题仍在考虑之中或处于试点阶段。

在本次调查中，我们联系了中国电力行业和电力市场政策领域的专家，大致询问了他们对电动汽车充电、电力市场改革以及两者交叉领域合作的看法。总的来说，受访的中国专家对潜在合作的主要领域提出了各种建议，并对合作潜力持非常积极的看法，一定程度上反映了他们目前参与此类合作活动的情况。

对继续开展电力市场改革合作与交流，中国受访者普遍持最乐观态度。一位中国专家指出，因为涉及对各类用户的交叉补贴，所以中国的改革工作进展比较缓慢，但中国仍在继续推进电力市场改革，并研究欧洲电力市场的进展。另一位专家谈到了欧洲电力市场的各种优势，并表示中国应该从中吸取经验教训：

*“欧盟在建设跨境电力市场促进可再生能源并网方面有着丰富的经验，这是保障可再生能源消纳最经济的方式，同时欧盟还开发了各种时间尺度的电力市场交易系统，以及电力市场平衡机制和软件，这些都可以为中国提供参考。”*

另一位具有电网专业知识的中国专家建议，欧洲应借鉴中国的特高压（UHV）输电经验：

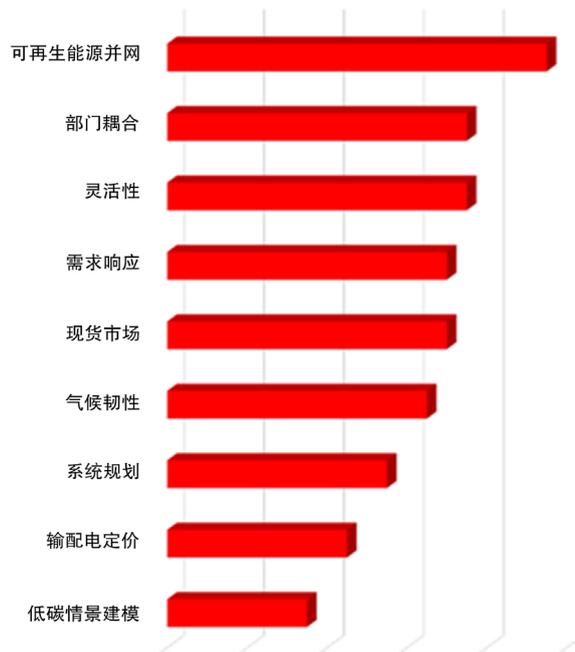
*“中国在电网管理和特高压技术方面有着丰富的经验，欧盟可以利用这些经验通过大规模输电从北非和中东进口电力。在可再生能源方面，中国在太阳能光伏和风电供应链方面具有优势，而欧盟在先进的风电和太阳能技术方面具有优势。双方可以在制造用于海上风电的超大型风力涡轮机等方面充分发挥各自优势。”*

一位中国受访者还提到了储能技术和商业模式：

*“中国的风电和太阳能光伏组件制造降低了欧洲乃至全球可再生能源的成本……中国和欧盟可以开展对话与合作，并进行双向投资，双方都能从整合可再生能源供应链中获益。此外，中国和欧盟都在进行电力市场改革，储能是其中一个关键环节。中欧可以在储能领域开展合作：欧方可以在中国开展技术创新，欧洲也可以在补偿机制和商业模式方面为中国提供参考。”*

所有受访者都对进一步合作推进电力市场改革持积极态度。然而，在这个大领域内，专家们对不同的议题进行了优先排序：

图 11：中国专家对电力市场国际合作相关话题的排序



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

值得注意的是，可再生能源并网和部门耦合（将可再生能源与供暖、交通和工业能源使用联系起来）得到的支持最多。此外，对灵活性的支持也很多，欧洲在这方面处于领先地位。虽然有一位专家对输配电定价的排序靠前，但大多数专家对输配电定价、系统规划和建模合作或低碳能源情景建模的排名都不高。

对于当前中欧在电动汽车和电动汽车充电领域竞争这一热门话题，专家们虽然意见不一，但普遍认为双方有很大的合作空间。有些受访者提到了商业合作和贸易利益；另一些受访者则强调了政策合作。

“在产业价值链方面，中欧的可再生能源和新能源汽车产业具有很强的互补性。这是双方合作共赢的基础。例如，在电动汽车制造领域，中国在电池和整车产能方面具有优势，而欧洲则在大型芯片和受欢迎的高端品牌方面具有优势。”

另一位专家指出，尽管对抗与竞争仍然是中欧国内政策讨论的核心，但合并与收购的潜力已经促进两个地区实现更紧密的商业一体化：

“中国在电动汽车车载 IT 系统方面具有明显优势。中国的产业政策利用其庞大的国内市场，降低了可再生能源的成本，为电动汽车的部署奠定了基础。可再生能源制造业的发展与电动汽车之间存在良性循环。欧盟的优势在于其悠久的汽车工业经验、知名品牌和设计以及全球服务网络。欧盟汽车制造商可以通过并购、打造联合品牌的方式入股中国电动汽车制造商。中国的比亚迪与德国的梅赛德斯 - 奔驰的合作就是一个例子。”

另一位专家肯定了中欧在电动汽车供应链上的互补性，并提到需要在商业和政策领域就中型和重型卡车主题开展更多合作。

“虽然在电动汽车领域存在商业竞争，但中欧在一些领域具有互补优势，可以通过良性竞争促进产业供应链的健康发展。例如，中重型卡车相对于乘用车在不同场景下的技术创新和应用，以及产业政策的相互借鉴等。”

至于电动汽车充电与可再生能源的融合，大多数专家确实认为这是一个前景广阔的领域，特别是如果双向充电或 V2G 能够实现广泛商业化，尽管不确定性很大。

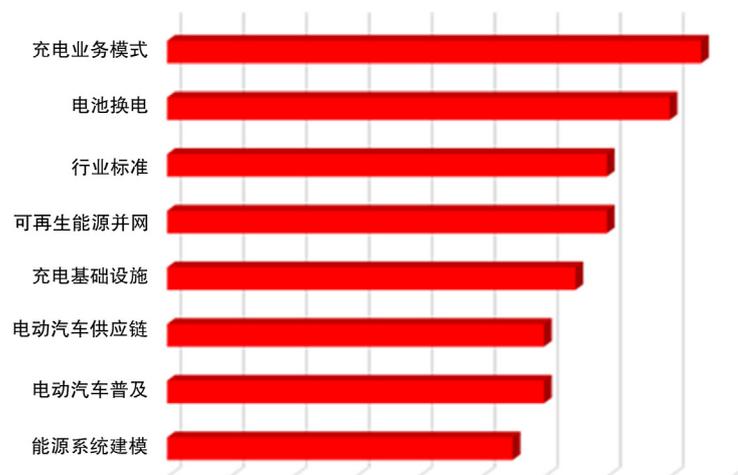
“V2G 的关键问题是所有利益相关者如何从中受益。车主们担心 V2G 会影响驾驶便利性和电池寿命。电网企业则关注电力系统中电动汽车的可控性，尤其是单个电动汽车。欧盟和中国就 V2G 的商业模式和市场准入标准交换意见将会有所助益。”

中国专家指出，V2G 在中国能否走出试点阶段，将取决于电力市场自身变化的进度和速度：

“电动汽车与可再生能源的融合可以聚焦电动汽车如何更好地利用可再生能源（如分布式太阳能光伏），以及如何利用市场机制实现 V2G。目前，中国的 V2G 仍处于试点阶段。根本原因在于中国的电力市场并不发达。虽然中国和欧洲的电力市场国情不同、特点各异，但双方在电力市场机制方面可以相互借鉴。”

在具体合作重点方面，中国专家对大多数领域的排序都很高，但对电动汽车充电商业模式的交流和分享给予了高度重视。尽管近年来充电桩的建设速度很快，但缺乏足够的商业模式来推动对充电基础设施的投资，这是中国的一大政策困境。值得注意的是，中国在换电领域也给予了很高的评价；在这一领域，中国有几家主要企业，包括蔚来汽车（NIO），该集团在欧洲各地投资建设了换电站，而欧洲在这方面的经验相对较少。中国受访者对于行业标准和可再生能源并网也给予了很高的评价。

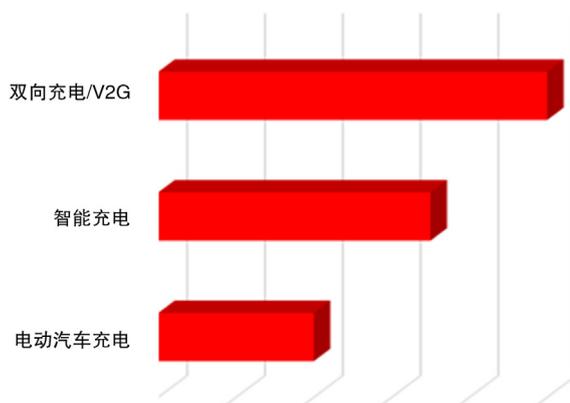
图 12：中国专家对电动汽车相关主题合作潜力的排序



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

同时，专家们还对电动汽车充电、智能充电和双向充电对中国电力行业的整体重要性进行了排序。出人意料的是，他们认为双向充电非常重要，而电动汽车充电总体上则没那么重要。这表明这些政策专家对这一问题整体上持乐观态度。

图 13：中国专家对不同电动汽车充电类型对可再生能源并网潜在重要性的排序



资料来源：牛津能源研究所，2023年。

在农村地区能源转型合作方面，中国专家提出了各种想法和建议。其中包括分布式光伏一体化（几乎所有受访者都提到了）、建筑能效、清洁供暖、低碳能源商业模式和电动汽车充电。

几位专家提到了建筑能效，代表性评论如下：

“中国农村地区的建筑能效较低，许多建筑都是由农村居民自建。促进农村建筑能效方面的信息和技术交流是一个很有吸引力的国际合作课题。”

一位专家提到，在与农村能源转型相关的新兴领域，需要分享经验，特别是中国农村地区居家电动汽车充电、家用储能和V2H之间的协同作用，以及光储直柔（PEDF）促进农村地区可再生能源并网的潜力。

**小结：**总体而言，尽管贸易和商业竞争仍在继续，但对欧盟和中国之间继续开展政策和市场合作的潜力，中国能源政策专家基本持积极态度。欧盟先进的电力市场以及目前正在进行的脱碳工作仍然是中国学习的典范，虽然中国在电动汽车和光伏制造和部署方面处于领先地位，但要整合这些技术以实现更大程度的脱碳，开展政策层面的专业知识交流仍很有价值。

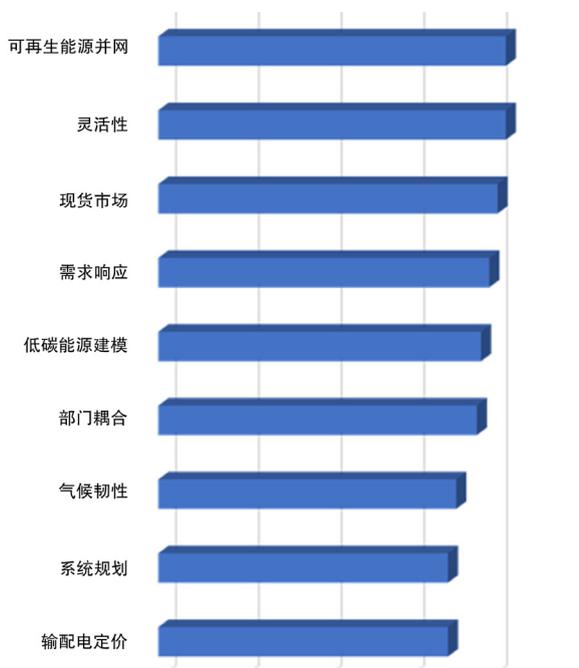
## 2.6 国际政策专家对双向充电促进可再生能源并网领域中欧合作的看法

在对国际政策专家的调查中，有9人参加了简短的访谈或作出了书面答复。大多数受访者是积极参与中欧能源合作的非政府组织或咨询公司的分析师。两位受访者就职于政府政策机构，一位就职于参与电力行业和电动汽车政策对话的行业协会。大多数受访者主要关注电力行业的话题，只有两位重点关注电动汽车行业或可持续交通领域。除一位受访者外，其他受访者均在欧洲企业或政府机构工作。其中四人来自德国，两人来自丹麦，其余来自英国、荷兰和美国。

因为本次调查所接触的大多数专家都积极参与电力部门的合作，所以他们对继续在这一主题上进行合作的看法总体上是持积极态度的，这一点不足为奇。欧洲专家对灵活性、现货市场和可再生能源并网

等话题的排名最高，欧洲在这些方面一直处于领先地位。低碳能源系统建模、部门耦合（交通、供暖和工业中可变可再生能源的整合）和需求响应排名也比较靠前。电力系统的气候韧性和系统规划的排名依次靠后，受访者对输配电定价的排名最低。

图 14：国际政策专家对电力市场国际合作相关议题的排序



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

在定性答复方面，一些受访者提到继续就电力市场设计进行交流的重要性，认为这是推动低碳转型的有利因素：

“欧盟和中国要实现 2050 年、2060 年的净零排放目标，那么留给开发清洁能源 / 电动汽车技术和所需的非技术知识的时间已经不多了。如果每个国家都开发自己的解决方案，则需要更长的时间。因此，中欧之间的交流与合作对于实现脱碳目标至关重要。我认为，欧盟可以分享在电力市场、高比例可再生能源并网以及灵活性解决方案方面的经验，而中国可以分享他们在电池技术和电动汽车方面先进的经验。”

一些专家认为，中国在电力市场设计工作中可以借鉴欧洲在高比例风能和太阳能并网方面的领先经验：

“如何实现可再生分布式能源资源并网并确保系统充裕度仍然是一个关键挑战。在与中国电网专家的讨论中，他们多次提到，他们非常关注分布式能源的快速增长，以及如何处理可调负荷与不可调负荷。我认为，在这个问题上，中欧双方已经积累了一些经验，也开展了一些合作，但最好的做法还是加强交流。其中一个重要议题就是市场机制和价格的作用，以及不同市场如何共同发挥作用。”

然而，一位在电力市场交流方面有着长期经验的非政府组织国际专家指出，因为双方市场设计不同，一些内部问题尚存有争议，在电力市场设计方面进行交流会面临挑战性：

*“虽然有必要深化（电力市场）改革，但需要解决的问题（如定价）非常棘手，因此我不确定中欧双方是否有很强的交流意愿。在灵活性等技术性更强的领域或气候韧性等重要性日益提高的问题上进行交流可能更容易。”*

几位专家提到，欧洲在提高发电和输电系统灵活性方面有着相对较长的经验，并且欧洲正在努力提高需求侧的灵活性，因此灵活性是当前中欧双方合作的一个主要优先事项。

*“灵活性是将可再生能源纳入电力系统的关键。激活灵活性有多种形式，在德国，固定储能电池的激活和需求侧管理已经开始启动，配电网运营商从消费者那里承包家用电池。更多旨在刺激灵活性发展的法规改革也在进行。随着越来越多的可变可再生能源并网，中国完全可以借鉴德国的经验。在德国，政策制定者也在讨论利用电动汽车的灵活性，但显然，需要应对众多挑战，其中一项就是升级电网，鉴于中国电动汽车的增长速度要快得多，中国可以在这方面为德国提供有用的经验。此外，两国还可以就其他挑战展开讨论，交流研究成果和有关监管方面的经验。”*

虽然本研究联系的大多数专家都不是电动汽车相关主题方面的专家，但有几位专家认为，电动汽车仍然是电力行业低碳转型持续交流的一个重要议题：

*“我认为中国可以借鉴欧洲的做法，将电力批发市场与电动汽车充电（和 V2G）等零售活动联系起来。我认为，专家对中国的电力市场改革，尤其是与现货市场和短期定价相关的改革，已经有了很深刻的认识，但他们的认识与建立充电管理服务和商业模式的实践者之间还存在很大差别。相反，我认为欧洲企业可以从该领域里中国科技公司的快速业务创新中获益。我认为，欧盟和中国都可以从制定相似的解决方案中受益，以确保（电动汽车和电动汽车充电）产品和服务符合相似的标准和通信协议。”*

许多受访者提到，电动汽车充电可以在整个电力行业的脱碳方面发挥更大的作用，而不仅仅是为了更好地满足电网需求或可再生能源并网需要：

*“目前，我觉得非常有趣的一个话题是，随着风能和太阳能成为主力电源，智能充电，尤其是 V2G，在取代燃煤电厂保证充足的电力供应方面可发挥重要作用。我们利用 20 年的气象数据进行了一项研究，考查在不同的净零发电容量组合中，有多少风能和太阳能可以保障充足的电力供应。”*

另一位专家对此表示赞同，他指出，中国电动汽车的快速普及可以为欧洲和其他地区提供重要启示，因为这些地区尚未出现需要应对电动汽车普及带来的电力需求大幅增长问题：

“欧盟和中国在电动汽车和可再生能源的融合以及电力市场改革方面有很多可以分享和学习的地方……中国是全球最大的电动汽车市场，因此可以为欧洲国家尚未出现的技术和政策挑战提供经验，例如充电需求快速增长的应对措施、智能充电系统、V2G 和灵活性储能技术方案。尽管商业竞争日趋激烈，但为了实现更广泛的脱碳目标，以此类技术领域为重点的交流可促进持续互动和相互学习。”

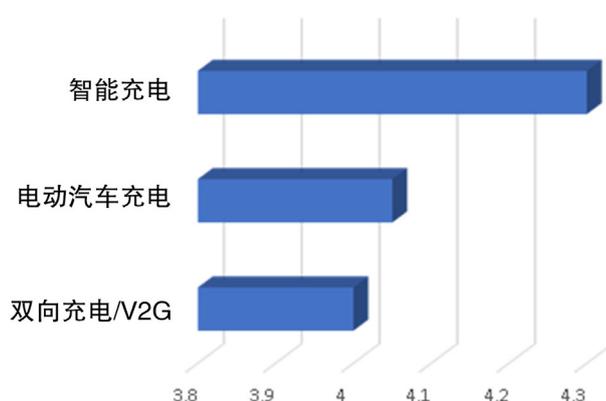
重要的是，欧洲专家认为，高效的电力市场（尤其是现货市场）是电动汽车充电或双向充电在电网脱碳中发挥作用的必要因素。值得注意的是，这并不意味着欧洲的电力市场改革已经到了这个阶段：

“我认为继续合作、交流经验和想法，以及就电动汽车与可再生能源的融合所发挥的作用等问题开展联合研究，对中欧双方都有明显好处。对我来说，电动汽车动态充电的主要推动因素是动态电价，而这需要提高电力批发市场的透明度……我认为，你们已经发现了利用电动汽车解决配电投资成本问题的一个严肃的问题。在丹麦，我们有半动态电价，但价格至少以小时为单位发生变化，并不一定能反映电网的使用情况，但我们决定不再将其复杂化。基本上，我们应该采用现货市场，但目前情况并非如此。”

与中国政策专家相比，国际专家较少提及工商业合作，而更多强调政策和技术市场设计合作。不过，也有几位国际专家顺带提到，中欧两个市场需要继续保持联系，以降低清洁能源转型的成本，加快实现气候目标：

“中国可以从交流中更深入地了解欧盟的电力市场和现货市场，优化自己的市场设计。欧盟可以……吸引中国企业到欧洲投资和生产，从而减少对中国进口的依赖，同时扩大就业，增强当地的电动汽车和可再生能源生产能力。欧洲企业还可以从中国市场的升级中获益，尽早获得市场反馈，并为技术迭代研发提供再融资。”

图 15：国际政策专家对不同电动汽车充电类型对可再生能源并网潜在重要性的排序

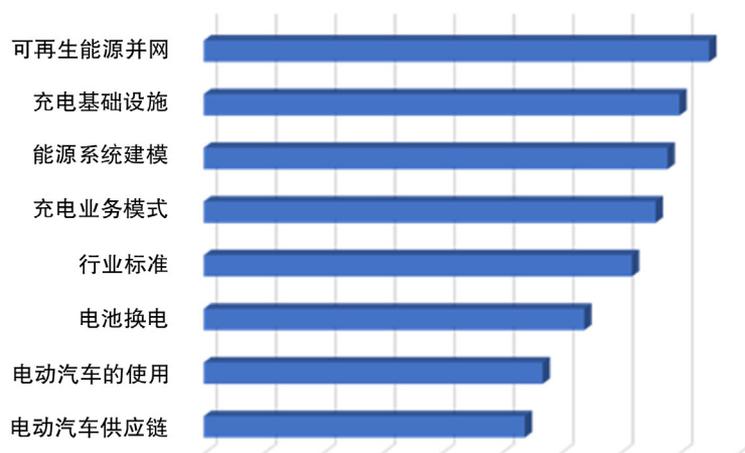


资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

总体而言，国际专家对智能充电和双向充电对电力行业的影响持同样乐观的态度。然而，与中国的受访者不同，欧洲的受访者普遍认为智能充电比双向充电更有可能影响电力行业。这表明，鉴于目前的市场设计，人们对智能充电在欧洲的作用更为乐观，而对双向 V2G 则不太乐观。访谈中没有要求国际专

家对双向充电所面临的障碍进行单独评估，但正如我们所看到的，这些障碍比较棘手，对双向充电影响重要性的排名较低也证明了这一点。

图 16：国际政策专家对电动汽车相关主题合作潜力的排序



资料来源：牛津能源研究所，2023年。

就中欧在电动汽车相关具体议题上开展合作的必要性而言，国际专家对中欧电力领域的合作同样持积极态度。值得注意的是，他们对可再生能源并网的评价最高。相对而言，国际专家更重视基础设施和能源系统建模，而中国专家则更重视充电商业模式和电池换电。这反映了中欧对不同主题的不同重视程度，例如，中国在换电方面处于领先地位，而许多欧洲组织正在积极开展系统建模研究，为政策辩论做出贡献。

在定性回答方面，欧洲专家提出了中欧可以合作的领域。其中包括电动汽车电池在用于 V2G 时的互操作性和功能性，提供灵活性以及制定技术协议和标准等。尽管人们表示十分担忧电动汽车和电池领域的商业竞争，但这些专家认为，欧洲应该继续与中国制造业在这一领域进行联合，以降低成本：

“欧盟当然可以利用中国的规模来降低成本，使其更接近目前平均水平。（欧盟）在允许过多中国产品进入欧盟市场方面有些犹豫不决。总的来说，欧盟应该承认自身需要帮助，而中国提供了最好的、最实惠的解决方案，可以让欧盟迅速走上可再生能源整合之路。这个问题与其说是技术或商业问题，不如说是政治问题。”

最后，在农村能源转型方面，国际专家为今后的讨论和促进中欧互利共赢提出了各种建议。许多专家特别提到了提高电动汽车充电与分布式可再生能源融合发展的必要性：

“（我将优先考虑的议题包括）农村配电网在电动汽车、热泵等新负荷出现情况下的电网容量问题，可再生能源发电问题，以及如何在当地创造灵活性。（同样，我会优先考虑）本地灵活性市场，如何将本地灵活性纳入电力市场，以及如何在特定时间通过可变电网费用激励灵活性。”

大多数受访者还提到，建筑能效和农村配电网是中国可再生能源转型的政策重点。一位国际专家指出，需要更加重视小城市和农村地区的能源转型，而不仅仅是效率相对较高的大城市：

*“除电网准备问题外，能效、清洁供暖/制冷是我最关心的两个问题。中国应把重点放在提升和推进一二线城市的电动汽车应用和电网准备工作上..... 在二三线城市，这个问题更加突出，但却没有得到重视..... 这既是好事，也是坏事，因为二三线城市的效率较低，与较大的一线城市相比，似乎没有达到中央政府的政策要求。”*

综上所述，国际政策专家对中欧在电力市场改革和电动汽车充电方面的合作持积极态度。虽然中国的政策专家似乎更关注商业和工业合作与贸易，但国际专家一致认为，商业竞争不应阻碍中欧合作，因为中欧都有各自的优势和专业领域，可以让对方受益。在政策方面，欧洲专家更加强调现货市场合作和能源建模，但鉴于这些专家对所有主题的总体排名都很高，任何感兴趣领域的分歧都不会妨碍中欧双方通过现有政策合作平台进行富有成效的交流。

## 2.7 小结

鉴于电动汽车的受欢迎程度近些年才出现增长，且具备双向充电能力的车辆有限，专家访谈过程证实，专家们对电动汽车有助于促进可再生能源并网的潜力普遍感到存在不确定性，意见上也存在分歧。本章的主要发现是，对于哪些使用场景对双向充电最有吸引力以及哪些障碍最需要解决，专家们几乎没有形成共识。

在接受采访的国际电动汽车充电专家中，有几位拥有双向充电试点或充电产品的直接经验，能够详细讨论各种障碍。他们谈到的主要障碍包括设备成本、缺乏动态定价、可双向充电的车型太少，以及税费、电网规范不足或缺乏标准等监管障碍。受访者对这些障碍在未来两年内的解决程度持不同意见。同样，国际专家对消费者和政策制定者对双向充电的兴趣也存在分歧。相比之下，在中国，双向充电是一项相对较新的技术，并不普及，因此受访者只能笼统地谈论这一概念对农村居民的相对吸引力。大多数受访者认为，农村居民既有兴趣也有能力参与双向充电，但不可预测的驾驶和充电模式以及认识不足可能是双向充电普及面临的主要障碍。

在国际合作方面，本研究咨询的专家对电力市场改革和电动汽车充电领域的合作价值表达了高度乐观和积极的看法。在受访政策专家中，许多人直接参与了本国的政策制定以及欧盟与中国之间的国际合作项目，其中一些专家提到了在电动汽车充电促进可再生能源整合方面继续相互学习的重要性。正如一位欧洲专家所言，如果欧盟和中国想要实现各自的气候目标，相互学习至关重要，各自为政只会延缓和削弱清洁能源转型。

### 3. V2H 与光伏、热泵相结合的建模与分析

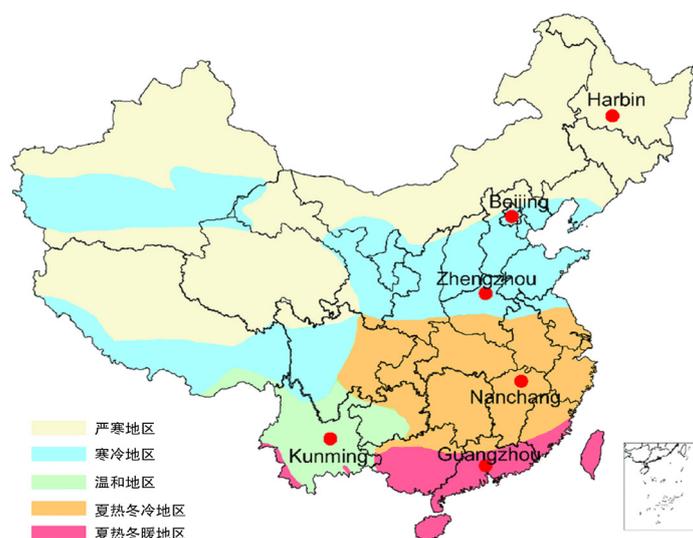
#### 本章概要

- 本章利用县级每小时太阳光照和气候数据模型来评估光伏发电 + 电动汽车充电在向家庭供电（Vehicle-to-home, V2H）模式下的经济效益。
- 在这种情况下，双向充电的目的既是为了增加光伏发电的自用电量，从而减少升级当地配电网的需要，也是为家庭节约电费。
- 分析表明，在基准情景下，采用 V2H 双向充电的家庭每年可节省约 300 元人民币（39 欧元）的电费。
- 如果将剩余光伏电量回馈电网时的支付价格设置为零，每年可节省人民币 600 元。
- 从区域来看，整县光伏推进计划最为活跃的省份，如山东、河北、河南和江苏等中北部省份在采用 V2H 后，成本节约最为显著。
- 在冬季太阳能发电较好、冬季热负荷较高的地区，V2H 的效益更高，在冷负荷高、热负荷低的地区效益偏低。

#### 3.1 概述

在此前进行的定量分析基础上，本研究发现中国的整县光伏计划与电动空气源热泵在华东地区的供暖和制冷之间存在强大的协同效应。一般来说，华东各省属于夏热冬冷气候区或寒冷气候区。分析表明，对于按照中国建筑标准建造并已安装光伏发电设施的住宅而言，热泵的投资回收期较短，极具吸引力。

图 17：中国气候分布图

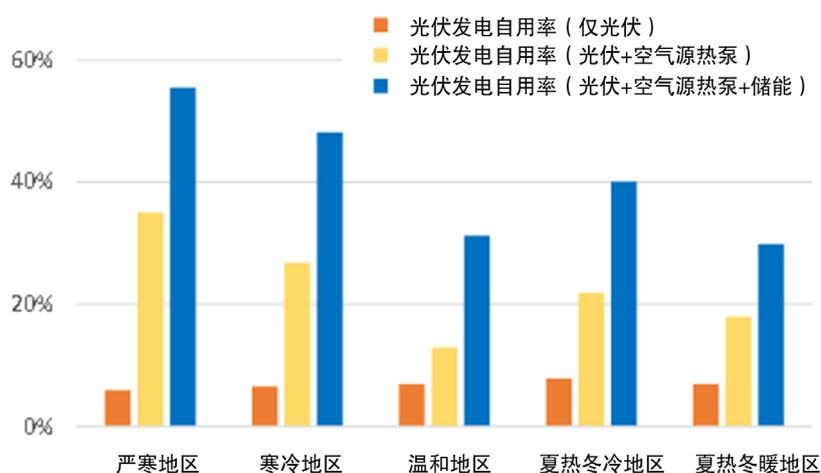


来源: Fan Xinying et al., *Energies*, 2020 (CC)。

在已经安装了屋顶光伏发电系统的家庭中加装热泵，可以帮助吸收更多的光伏发电。与其他国家（如美国或欧洲）相比，中国大部分地区的冬季和夏季光伏发电量更为均衡，因此与其他地区相比，光伏发电可以满足相对更多的冬季供暖负荷。在上述气候区，供暖负荷远远超过制冷负荷。

尽管结合空气源热泵（ASHP）有助于提高整县光伏计划下分布式屋顶光伏系统发电的利用率，但分析还显示，自用电的比例仅略有提高。在所有气候区，对家庭储能的要求是将光伏自用电量提高到光伏发电量的 30% 以上。在夏热冬冷气候区和夏热冬暖气候区，使用空气源热泵而不使用储能设备的自用电率仅在 20% 上下。简而言之，绝大多数光伏发电仍然需要并网。此外，由于储能系统的成本大约是热泵安装成本的两倍，因此投资回收期似乎不具吸引力。

图 18：三种情况下光伏发电自用率：（1）仅光伏；（2）光伏 + 空气源热泵；（3）光伏 + 空气源热泵 + 储能



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

本研究试图通过对电动汽车电池进行建模来解决这个问题，无论该电池是否能够以 V2H 模式运行，换句话说，无论是否具备双向充电功能。如果电动汽车在不具备 V2H 功能的情况下在家充电，仍将有助于吸收家庭光伏发电，从而有可能提高光伏发电的自用率。这可能减少光伏系统所能提供的上网电量，但可能提高光伏系统发电的经济效益，不过这取决于车辆充电时间和分时电价，以及发电过剩时光伏发电的上网电价。

如果电动汽车和家用充电系统都能够进行双向充电，那么电动汽车还可以作为电池来储存多余的光伏发电，以代替家用储能系统。正如我们在第一章中所见，电动汽车在中国农村已经颇为普遍，尽管大多数都是两轮或三轮电动车，电池容量太小，无法用于双向充电。不过，根据专家访谈结果，我们相信中国大多数农村地区至少会有一些家庭拥有四轮电动汽车。此外，受访者认为，与经常上下班的城市居民相比，农村家庭使用四轮电动汽车的频率不高。例如，许多农村居民可能会在短途旅行和日常工作中使用两轮或三轮电动车，而不是四轮电动汽车。另一方面，在农忙季节（5月中旬和10月），大型电动汽车可能在很长时间内无法在家充电，尤其是在光伏发电出现盈余的白天。不过，总的来说，与中午很少在家停车的城市或郊区通勤者相比，农村居民的使用模式对光伏与 V2H 的结合相对有利，即使假设城市居民拥有专用停车场和屋顶太阳能，但可能仅限于城市郊区别墅区的富裕人群。

然而，V2H 与热泵和光伏结合的实用性取决于多种因素，包括住宅电价、分时电价结构和中午剩余光伏发电的上网价格、双向家用充电桩的成本溢价、电动汽车在不同时段可用于 V2H 的电池容量，以及

电动汽车的行驶模式和行驶距离。

遗憾的是，几乎没有可靠的数据可用于概括典型家庭在这些因素方面的表现。此外，假设不同家庭和不同地区在使用电动汽车方面存在很大差异，那么分析结果可能会因家庭情况的不同而截然不同。因此，本文仅仅是给出一些初步分析结果，尝试研究光伏 + 空气源热泵 + 电动汽车充电 + V2H 在经济上是否具有潜在吸引力。此外，通过在不同地区使用一组一致的假设，然后对单一地点（山东省内陆地区）进行敏感性分析，这种分析有助于确定关键变量，从而有助于确定对于哪些地点和家庭最具经济效益。

以下是本分析中的一些主要假设：

**光伏和热泵：**与之前的光伏 + 空气源热泵分析一样，分析假设业主安装了一个 5kW 固定倾斜式屋顶光伏系统，未配备家庭储能，但安装了 5kW 家用热泵。假设住宅的气候控制面积为 100 平方米，隔热性能符合中国夏热冬冷气候区的现行标准。温度设定点假设为冬季 16 度，夏季 26 度。PVWatts 模型提供每小时光伏发电和温度数据。<sup>126</sup>

**电价：**居户用电价格以分时电价为基础，分为五个价格时段。<sup>127</sup> 对于送入电网的光伏电力，大部分时段的净电价为 0.35 元人民币 / 千瓦时，与目前的补偿水平相似<sup>128</sup>，但需要假定中午时段（上午 10 点至下午 2 点）的净电价将降至 0.175 元人民币 / 千瓦时。

**电动汽车基准情景：**模拟家庭有一辆 30kWh 电池的电动汽车。日均行驶距离为 50 公里，最高可达 100 公里。整车效率为 0.2kWh / 公里，每年电动汽车充电总耗电量为 3100kWh（每天 8kWh）。<sup>129</sup> 所有的车辆都是在非高峰时段在家中充电，除非电池容量无法完成一次出行，这种情况下，假定车辆在家中以外的地方充电，但充电量仅够完成出行并返回家中。

**驾驶模式：**全年每日出行距离随机变化，从零到最大日出行距离（基准情景下为 100 公里）每天均匀分布。<sup>130</sup> 此外，根据出行距离的不同，假定家庭每天的出行次数为零到两次。模型假定每天出行的距离是随机分配的（如果多于一次）。出行时间假定为上午（从早上 7 点到 11 点）或下午和晚上（从中午 12 点到晚上 10 点）。车速假定为平均每小时 30 公里。假定上午出行需要离家活动平均 1 小时，最长 2 小时，而下午 / 晚上出行需要活动平均 3.5 小时，最长 7 小时。所有行程均假定在晚上 11 点之前完成，因此车辆全年都停在家中过夜。在基准情景下，车辆每天离家时间不到 5 小时。<sup>131</sup> 平均使用模式（离家时间）如图 19 所示。

**V2H 基准情景：**在电动汽车电池容量为 30kWh 的基准情景下，假定有 10kWh 的电量可供用户从事 V2H 双向充电，换句话说，用户不会从电动汽车电池中放出超过 20kWh（66%）的电量供家庭使用。家庭配备了一个 7kW 的双向家庭充电系统。车辆仅在非高峰时段充电，并留出 20% 的缓冲电量（基准情景下为 6kWh），以便利用中午剩余的光伏发电进行充电。电池仅在用电高峰时向家庭放电，而不会在非用电高峰时放电以恢复存储空间。（换句话说，如果电动汽车在中午利用光伏充电，并将电量充满到 30kWh，则不会在非高峰时段向家庭放电）。<sup>132</sup>

126 更多详细信息，请参阅光伏热泵论文的方法论部分。

127 尽管目前中国大部分地区的居民电价与分时定价无关，但采用分时定价来降低峰值负荷是一个长期趋势，官方鼓励各省转向更精细的分时定价结构，至少有五个价格区间。详见“国家发展改革委有关负责同志就《关于进一步完善分时电价机制的通知》答记者问”国家发改委，2021 年 8 月，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202108/t20210802\\_1292769.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202108/t20210802_1292769.html)；“全国各地最新销售电价表一览”，北极星，2021 年 5 月 31 日，<https://news.bjx.com.cn/html/20210531/1155249.shtml>。

128 见“户用光伏建设运行百问百答”，国家能源局、中国光伏行业协会，2022 年 8 月 31 日，[https://www.nea.gov.cn/2022-08/31/c\\_1310657941.htm](https://www.nea.gov.cn/2022-08/31/c_1310657941.htm)。

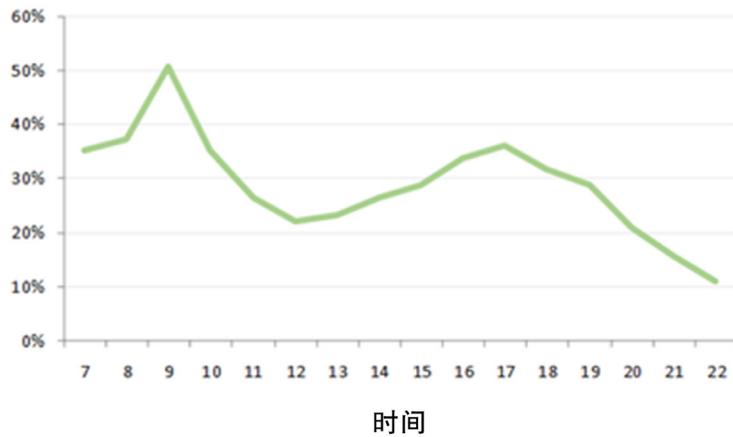
129 气候控制或其他负载的额外用电不包括在分析范围内。

130 这反映了与正态分布的情况相比，日常使用的变化要高得多。受访者强调，电动汽车的使用差异很大，有时可能很多天根本不会使用电动汽车，或者可能电动汽车不是许多出行活动使用的主要车辆。

131 在每天出行里程最多 200 公里的情况下，这一数字上升到每天离家 7 小时。

132 其他一些调查研究了参与 V2G 的用户的最低荷电状态。见 R. Somya、V. Sankaranarayanan，‘Optimal vehicle-to-grid and grid-to-vehicle scheduling strategy with uncertainty management using improved marine predator algorithm,’ *Computers and Electrical Engineering*, 100, 2022 年 5 月，<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107949>。关于最优最大充电水平的研究详见 Emmanouil D. Kostopoulos et al., ‘Real-world study for the optimal charging of electric vehicles,’ *Energy Reports*, 6, 2020 年 11 月，<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.008>。

图 19：基准情景下电动汽车离家时间占比



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

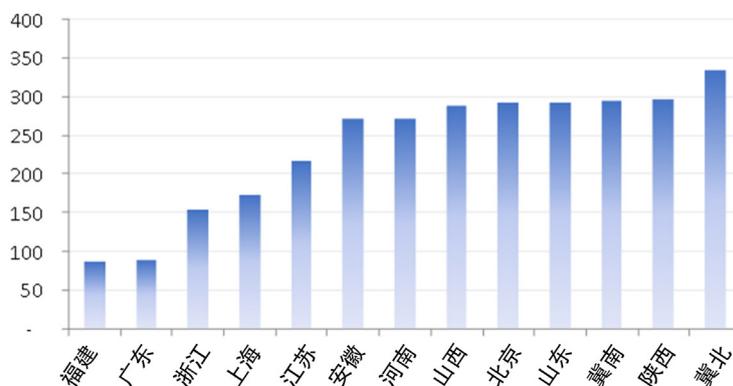
### 3.2 V2H 的电费节约效果

分析结果表明，与没有 V2H 功能的电动汽车相比，V2H 很明显可为现有光伏发电和空气源热泵的用户节省少量电费。在所考虑的 13 个省份中，V2H 平均每年可节省 236 元人民币。此外，无论是否具备 V2H 功能，拥有电动汽车都能大幅提高屋顶光伏发电的自用电比例。

敏感性分析表明，V2H 在节电或提高光伏发自用比例方面的优势因地区而异，并取决于日常驾驶模式、电池大小、用于 V2H 的电池容量以及为存储正午多余光伏电量的夜间缓冲容量。

在基准情景下，采用 V2H 技术与不采用 V2H 技术的电动汽车充电相比，平均每年可节约 236 元人民币（30 欧元）。在所研究的 13 个省份中，在基准情景下每年节省的电费从 87 元人民币（11 欧元）到 335 元人民币（43 欧元）不等；然而，一半以上的地区每年节省的电费在 250 元人民币到 300 元人民币（32-38 欧元）之间。即使未来几年购买双向充电桩的成本大幅下降，成本节省也相当有限，不足以收回充电设备的前期成本。

图 20：基准情景下，V2H 相比非高峰时段充电可节省的电费（元 / 年）



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

如上图所示，很明显，成本节约最多的地区集中在供暖负荷较高的地区。供暖负荷越高，采用 V2H 技术利用中午剩余太阳能的能力就越强。供暖负荷与每年节省的电费之间的相关性为 +0.81，冬季平均温度与每年节省的电费之间的相关性为 -0.93。相比之下，制冷负荷与每年节省的电费之间存在微小的负相关。在中国大部分地区，甚至包括上述温度较高的省份，制冷负荷不仅远远小于供暖负荷，而且制冷负荷时段与光伏发电时段更为接近。这两个因素都导致 V2H 在减少高峰用电方面的价值有所降低。

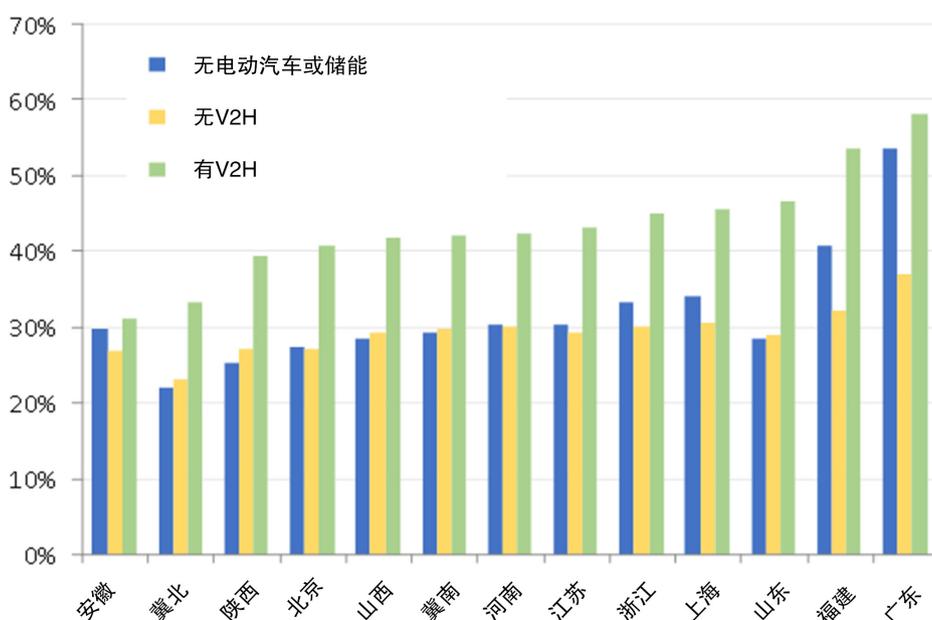
### 3.3 V2H 电费节约情况的地区差异

增加 V2H 功能可大幅提高光伏发电的自用率。北方地区更关注节约电费。相比之下，在冬季供暖负荷较低的省份，光伏发电的自用率往往更高。此外，有了 V2H，光伏发电满足家庭用电负荷的比例大幅上升。尽管在光伏发电峰值时，电动汽车经常不在家，但在某些情况下光伏发电满足家庭用电负荷甚至超过了固定储能。

图 21 显示了三种情况：第一种情况是光伏与空气源热泵结合使用，不使用电动汽车；第二种情况是光伏与空气源热泵搭配使用，电动汽车使用非高峰电量或剩余光伏发电充电；第三种情况是光伏与空气源热泵搭配使用，电动汽车在可用时以 V2H 模式向家庭供电。尽管电动汽车大大增加了家庭的总用电量，但即使没有 V2H，光伏满足家庭负荷的比例也与无电动汽车家庭的的比例相似，较温暖的地区是个例外，由于制冷负荷时段和光伏发电时段之间相互重叠，光伏可以满足家庭负荷的比例更高。

在较为寒冷的地区，增加 V2H 功能的电动汽车可大幅提高太阳能光伏发电满足家庭负荷（包括电动汽车充电）的比例。在较温暖地区，增加 V2H 功能也会大幅提高光伏发电满足负荷的比例。在广东，这一比例几乎达到 60%。

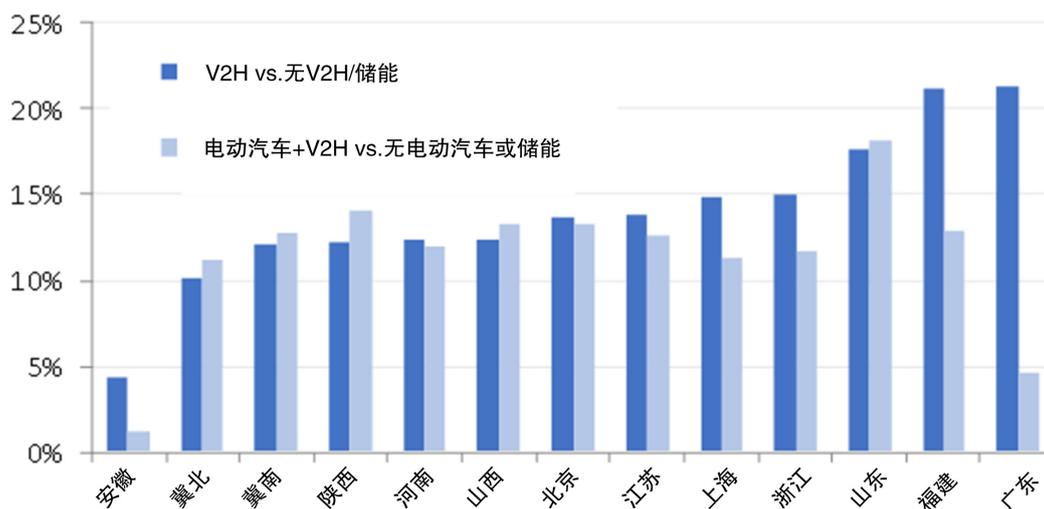
图 21：基准情景下各地区的光伏自用率



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

如下图所示，与不使用 V2H 的情景（电动汽车仅使用非高峰电力或剩余光伏发电充电）相比，福建和广东等较热地区从使用 V2H 中获益匪浅。与不使用 V2H 情景相比，使用 V2H 后，大多数其他省份的光伏发电满足家庭负荷的比例将提高 10%。

图 22：各省不同情景下光伏自用率的差异



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

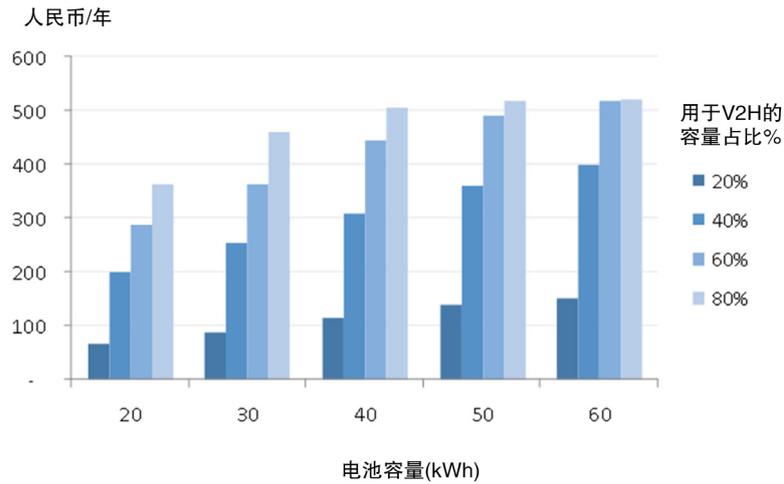
### 3.4 电池和 V2H 特性的敏感性分析

V2H 涉及多方面权衡。更大的电池不仅能确保更长里程的续航，还能提供更多的电池容量，用于储存剩余光伏电能。但是，较大的电池成本较高，如果额外容量很少用于驾驶或 V2H，则可能不值得额外支出。受访者强调，购买价格低是农村电动汽车购买者的主要考虑因素，而不一定是续航里程。

几位国际电动汽车专家指出，大多数电动汽车车主主要是想把他们的电动汽车用于出行，V2H 效益远不如最大限度提高里程完成的便利性来得重要。与此相反，中国专家认为，农村居民会愿意牺牲一些便利性，来通过智能充电或 V2H 省钱或赚钱——特别是如果前期成本可以由电网公司或其他第三方来承担的话。在某些村庄，电网公司或太阳能光伏服务提供商可能会补贴双向充电设备的额外费用，以换取对充电时间的更大控制权。

如图 23 所示，对于拥有 5kW 屋顶光伏系统且每日最大行驶距离为 100 公里的基准情景家庭而言，V2H 带来的经济效益对电池容量的敏感度较低。在基准情景下，家庭将 20% 至 30% 的电池容量用于 V2H，20kW 与 40kW 电池容量相比，节省的电费约翻一番。然而，虽然更大的电池并不一定确保能节省更多电费，但是如果将更大比例的电池用于储存中午的光伏发电，就有可能节省更多电费。这是因为 5kW 屋顶系统的剩余电力已经完全储存在 30kW 的可用电池容量中。当然，在电价高峰期使用更多的电池容量来消纳更多的剩余光伏电量，这有可能导致在没有外部充电的情况下无法完成出行（无论出行是在有剩余光伏发电量的前一天上午，还是在没有剩余光伏发电量的当天下午和晚上），即使不考虑给出行带来的不便，经济效益也会打折扣。

图 23：特定电池容量（kW）用于 V2H 的不同容量占比所带来的年度电费节约情况

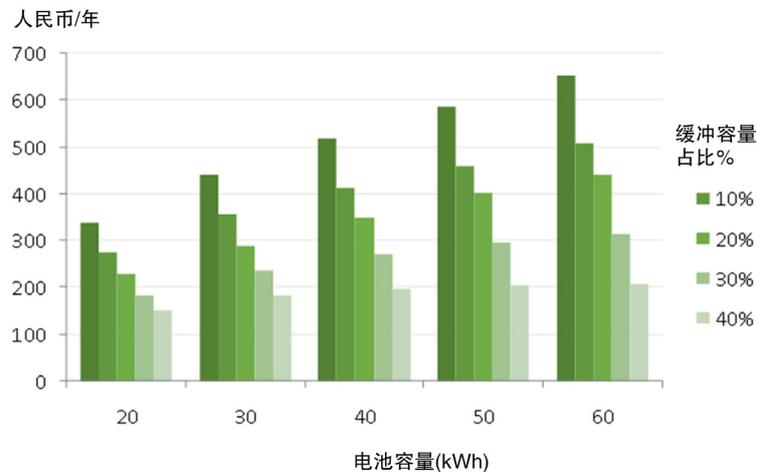


资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

最大限度地节省用电成本的第二个主要考虑因素是家庭充电缓冲容量。在没有 V2H 的情景下，许多电动汽车车主倾向于每天充满电，或者充到制造商建议的电量，比如 80% 的电量。如果电池每天晚上在非高峰时段充满电，第二天就没有电池容量可用于储存中午的光伏发电量，除非出行时间恰好能提供一些备用容量。然而，留出过大的缓冲容量，就有可能导致需要在用电高峰时段（取决于行程）给车辆充电。

另一个因素也会影响为消纳白天光伏发电量而保留缓冲容量的价值，即夜间充电相对价格与剩余的光伏发电量上网价格的高低。在基准情景下，假设光伏电价采用与煤电相似的并网电价，即 0.35 元人民币 /kWh（中午时段除外，中午时段价格折扣 50%）。<sup>133</sup> 然而，分时定价机制下的夜间充电电价约为 0.20 元人民币 /kWh，因此在大多数情况下，向电网回馈多余的光伏发电量将为家庭带来更多收入，将超过通过减少夜间充电，以正午太阳能发电的峰值价格套利所节省下的资金。因此，在基准情景下，维持夜间缓冲容量以最大限度地利用光伏自发电量并不会节省电费，如下图所示：

图 24：假定光伏发电上网价格较高（0.18 至 0.35 元 /kWh），特定电池容量（kW）留作缓冲的不同容量占比所带来的年度电费节约情况

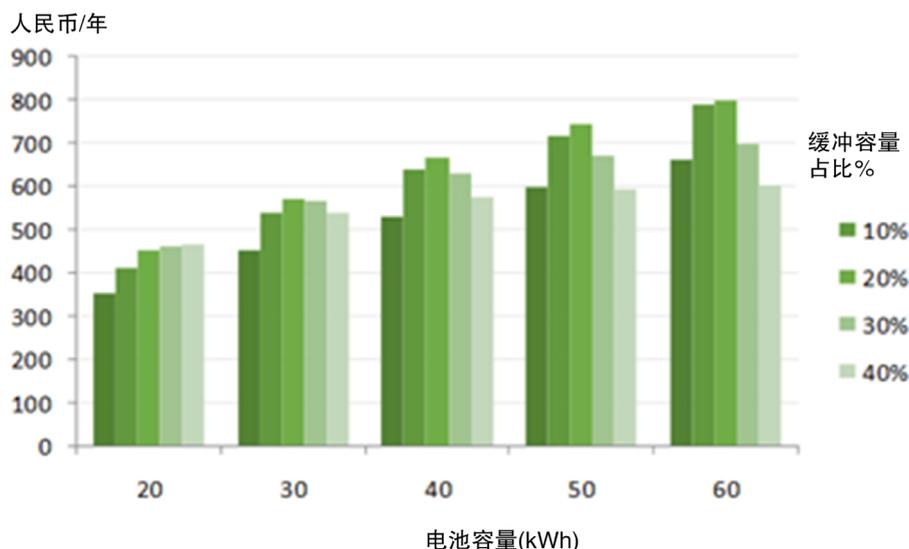


资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

133 这一假设也被用于热泵与光伏结合的分析，此处作为基准情景，以确保一致性。

然而，当光伏发电上网的价格降低时，两者之间的关系就会转变为非线性关系，在这种情况下，与没有缓冲容量相比，一个小的缓冲容量可以在正午时消纳更多的光伏发电，从而节省成本。如图 25 所示：

图 25：假设光伏发电上网价格较低（0.05 至 0.10 元 /kWh），特定电池容量（kW）留作缓冲的不同容量占比所带来的年度电费节约情况



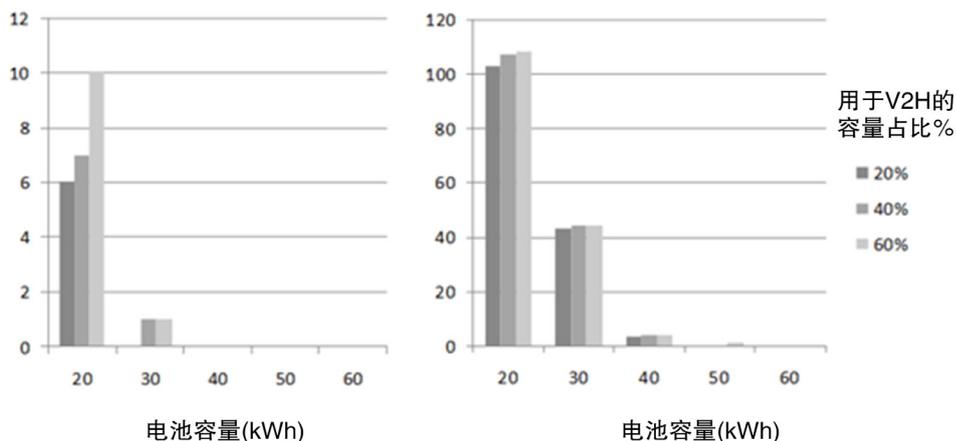
资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

考虑到家庭光伏系统的规模，与缓冲容量百分比比较大或较小时相比，30kW 电池留出约 6kW 的夜间缓冲容量，似乎可以很好地吸收正午光伏发电。这种关系也适用于更大容量的电池。这并不奇怪，因为前面已经提到，吸收正午的光伏发电并不一定需要更大的电池容量。

对于大多数农村电动汽车用户来说，即使在中国，在家中充电来满足大部分或全部行程需求可能是农村电动汽车用户优先考虑的事项。下面两张图是山东省电动汽车的基准情景，该电动汽车配备了 5kW 的光伏系统、空气源热泵和 20% 的夜间缓冲容量。左图显示，如果一个家庭电动汽车单日最大行程为 100 公里，那么使用 30kW 的电动汽车电池，几乎所有行程需求都可以通过家中充电完成，如果 V2H 容量百分比为 40% 或 60%，则只有一天需要离家充电。而如果使用 20kW 的电池，则需要在外充电六到十天。

对于单日最大出行距离为 200 公里的家庭来说，使用 40kW 的电池在家中充电足以满足大部分出行需求。然而，在这种情况下，如果使用 20kW 的电池，就意味着有 100 多天需要在外充电才能完成出行，在行驶过程中使用公共充电桩的电量将超过 300kWh，这样一来，就不太可能甚至没有必要使用 V2H。使用 30kW 的电池也需要外部充电 40 天以上。

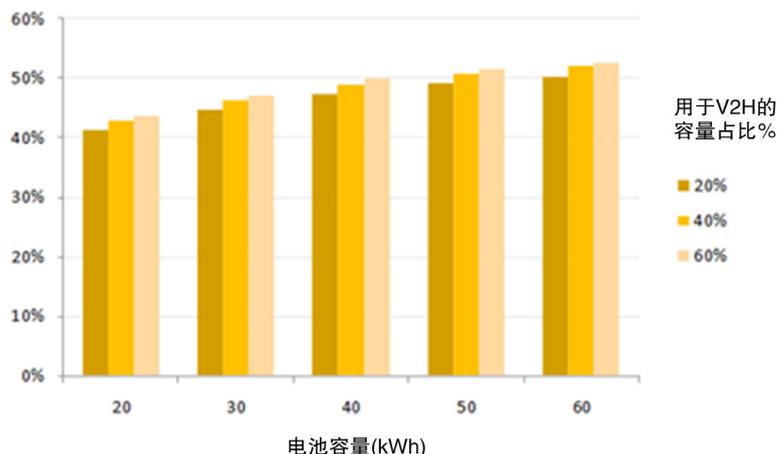
图 26：基于电池容量（kW）和用于 V2H 的电池容量占比，单日最大行驶里程 100 公里（左）或 200 公里（右）时需要在外充电的天数



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

增加电池容量和提高用于 V2H 的电池容量占比都有助于提高拥有屋顶光伏和空气源热泵家庭的电力自给自足能力。最重要的因素显然是电池容量，而不是 V2H 的可用比例。如果电池容量为 20kW，在 V2H 模式下，山东省农村家庭可以利用光伏和电动汽车电池满足 40% 以上的用电需求。将电池容量增加到 60kW，并提高电池用于 V2H 的比例，可将自给率提高到 55%。对于每种特定的电池容量，增加 V2H 模式下的使用比例可将自给率提高约 5%。

图 27：基于电池容量（kW）和用于 V2H 的电池容量占比，光伏发电满足家庭用电负荷的比例

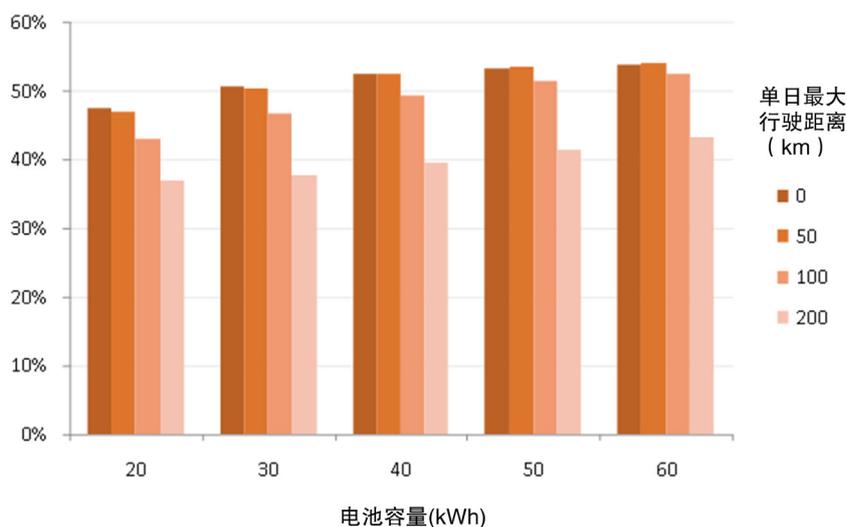


资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

如前所述，对于单日最大行驶距离为 100 公里的家庭来说，几乎所有的行程都可以通过在家中充电完成，而 V2H 则大大提高了光伏自用和家庭电力自给率。图 28 显示，对于日行驶里程低于 100 公里的家庭而言，电力自给率对电动汽车电池容量的敏感度并不高。事实上，即使是在车辆从不离家的情况下（单日最大行驶距离为零公里，且没有时间离家，换句话说，车辆仅作为家庭储能电池），电力自给率与最大日行驶距离为 50 公里的家庭相比也几乎没有差异。然而，超过 100 公里后，电力自给率开始急剧下降。

这是由于电动汽车充电的用电量增加，以及车辆在家中储存正午高峰时段光伏发电量的时间减少，且电池容量较小的车辆下降幅度最大。在这两个因素中，电动汽车的出行用电量最为敏感。

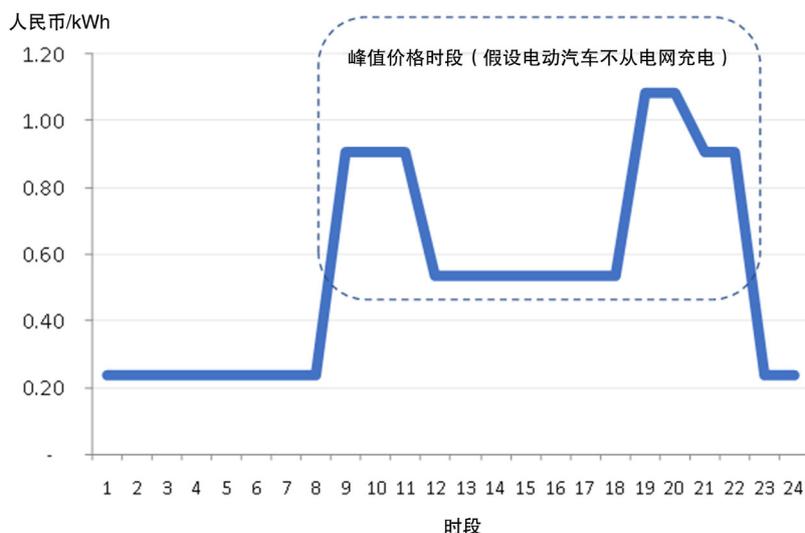
图 28：不同电动汽车电池容量（kW）和单日最大行驶距离（km）下的家庭电力自给率情况



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

电价是另一个重要的考虑因素。在中国，居户用电价格低于工商业用电价格，分时电价对工商业用户最为常见。虽然对用电量最高的家庭会加价征收超高的居民电价<sup>134</sup>，但农村居民的用电量不大，通常达不到高档电价的起征门槛。然而，未来分时电价在中国和世界范围内可能会变得更加普遍，尤其是对使用电动汽车或太阳能光伏的家庭。本模型的基本假设是，所有此类家庭都实行分时电价，如下所示：

图 29：基准情景下的住宅分时电价和电动汽车充电时间

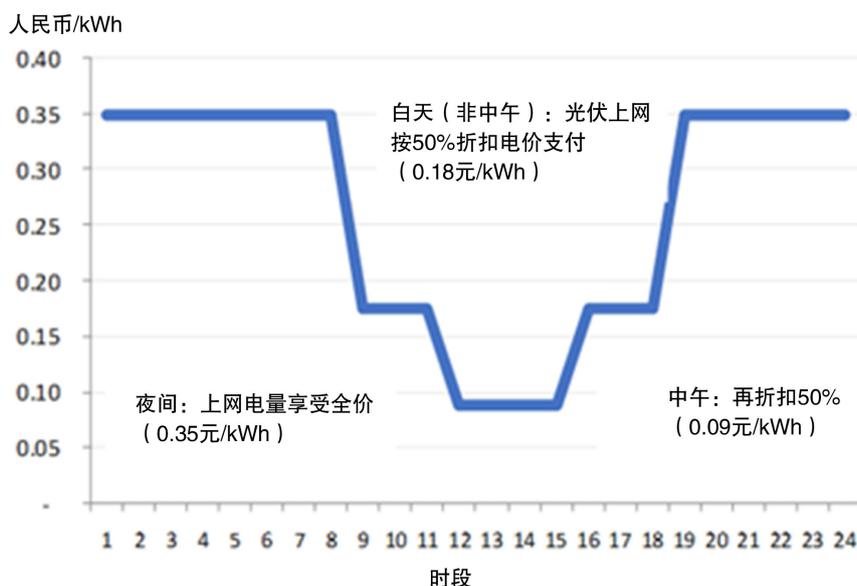


资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

134 这种电价被称为阶梯电价，在这种机制下，用电量高于月度或年度用电量的特定阈值会被征收更高的电价，通常只适用于当地用电量前五分之一的家庭。阶梯定价没有考虑时间因素。

如前所述，基准情景还假设太阳能发电量上网按 0.35 元 /kWh 进行补偿，但中午输送给电网的太阳能光伏发电量除外，其价值仅为中午高峰期以外其他时间报价的 50%。由于在拥有大量屋顶太阳能的省份，中午太阳能光伏发电过剩的情况越来越普遍，电网公司可能会越来越多地对余电上网的家庭实行电价折扣，尤其是在高峰时段。在其他时间，如晚间高峰期，电网公司仍可向拥有储能设备的家庭提供全价。下面的敏感性分析考虑了这一情况，即对回馈电网的电量按照三个独立的时段计算：夜间价格、白天价格和中午价格。白天价格（上午 8 点至下午 6 点）和中午价格（上午 11 点至下午 2 点）可分别按一定比例折算。

图 30：屋顶光伏发电余电上网的分时电价假设（人民币 /kWh）

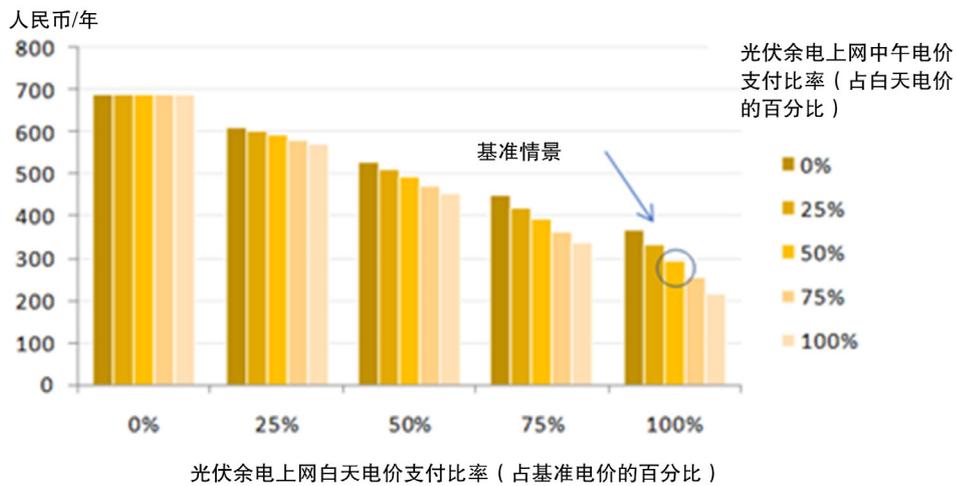


资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

如图 31 所示，在基准情景下，使用 V2H 的电费节省效果明显与光伏上网电价成线性反比。换句话说，随着光伏余电上网电价的下降，使用 V2H 的电费节省效果也随之上升。左边的柱形图显示，在完全不补偿白天用电的情况下（即按基准电价的 0% 进行补偿），每年可节省近 700 元人民币（90 欧元）电费。右侧图例中的百分比显示的是中午高峰时段的光伏余电上网电价折扣。中午高峰时段覆盖的时间比整个白天的小时数要少，因此这种支付方式的变化所带来的电费节省也相应较少。图中圆圈圈出的是基准情景：在中午高峰时段以外的白天时段，光伏发电余电上网按电价的 100% 支付；中午高峰时段则按 50% 折扣电价支付。

与其他变量相比，年度电力成本节约对光伏发电余电上网价格更为敏感。鉴于屋顶太阳能正在配电网薄弱的地区迅速部署，这种情况很可能在 V2H 或家庭储能在中国广泛商业化之前出现。事实上，毫无疑问，有些地方的电网根本无法消纳正午多余的太阳能。对于拥有屋顶光伏和电动汽车的家庭来说，这一因素可能成为采用 V2H 存储太阳能发电的主要动力。

图 31：白天（横轴）和中午（图例）向电网送电的不同电价支付比率所带来的年度电费节约情况



资料来源：牛津能源研究所，2023 年。

### 3.5 结论：V2H 在不影响便利的情况下为太阳能和电动汽车用户节省了大量成本

这项研究的模型分析的主要结果表明，在整县光伏计划最活跃的地区，即华北和华中地区，双向充电为安装太阳能光伏的家庭节省了少量电费。这是因为这些省份的太阳能资源相对较好，冬季太阳能光伏发电量与夏季相比相对均衡，而且供暖负荷与中午制冷负荷相比较为高。根据这些特点，在大部分地区，V2H 每年可节约 250 到 300 元人民币的电费。至少在没有设备补贴或 V2H 的额外补贴（如电网公司可能提供的补贴）的情况下，这些节省的电费不足以让大多数用户收回目前采用 V2H 的前期成本。<sup>135</sup> 在较温暖的省份，夏季可以利用中午的太阳能制冷，冬季对供暖的需求较少，因此节省的费用要少得多。

要使 V2H 在经济上更具吸引力，有必要做出两方面的调整：需要降低充电设备的前期成本，此外需要使用分时定价结构，为吸收剩余的太阳能发电量提供更大的机会。特别是，本文的分析表明，调整或取消中午余电上网费用将使年度电费节省增加一倍以上。进一步调整分时电价，扩大峰谷电价差，可能会进一步增加 V2H 的吸引力。然而，任何这些变化本身都不足以让 V2H 自身具有吸引力。

第二个结论与出行距离长短和出行时间有关。尽管该分析需要几个简化假设，但研究表明，对于一个每天两次使用电动汽车出行、每次出行活动时间长达数个小时的家庭来说，停在家中的时间足以让 V2H 提高午间剩余太阳能电力自用率。对于工作日每天上下班时间一致，周末白天也有一些出行需求的城市家庭来说，使用 V2H 吸收中午太阳能发电的机会相对较少。

第三个主要结论与光伏发电自用和家庭电力自给率有关。虽然 V2H 可以提供一种经济实惠的方式来增加剩余光伏发电的自用率，但不足以让一个家庭完全实现电力的自给自足。V2H 也不能完全解决当地中午发电量过剩的问题。相反，光伏的自用率会上升到 60% 左右，而自给率则会上升到 50% 至 60%。这意味着参与整县光伏计划的家庭和村庄可能会减少对配电网升级的需求，但配电网仍需要进行一些升级，并可能需要集中式电网储能系统来吸收多余的太阳能光伏发电量。

<sup>135</sup> 如第一章所述，在中国，双向家用充电桩的价格可能高达 2 万元人民币。

此外，有一个尚待讨论的问题是，通过社区 V2G 充电设施等方式共享或交易本地的剩余光伏发电，是否能比单个家庭拥有的单一电动汽车更好地吸收正午时段的光伏发电量。对于参与整县光伏推进计划中的村庄而言，拥有可双向充电的四轮电动汽车的家庭数量可能远远少于拥有屋顶光伏的家庭数量。尽管如此，通过聚合多辆电动汽车来平衡停车和出行时间，到正午时分总会有一些可用的储能容量。而单个家庭则很难以同样的方式利用 V2H。正如我们所看到的，如果屋顶太阳能发电为 5kW，那么配备少量的储能就能大幅度提高光伏发电的自用率。

另一个没有讨论的问题是增加夜间充电以实现 V2H 价格套利的问题。在本分析的基准情景中，电动汽车主要采用夜间的智能充电，然后只是偶尔在电价高峰时段将存储的太阳能供家中使用。使用更大容量的电池进行日常价格套利可以节省更多成本，但也需要更多的简化假设，例如家庭分时电价的未来结构和水平。

随着越来越多具有双向充电功能的车辆进入市场，全球范围内越来越多的用户开始尝试 V2H，我们可以期待会有更多关于成本节约和电网效益的数据。在某些情况下，中国可能会公布双向充电试点的数据，提供更多关于出行模式和充电习惯的信息。新的居民电价政策也将有助于澄清一些地区双向充电的经济性问题。届时，本分析报告中提出的许多问题都将得到重新评估。

## 4. 中欧开展电动汽车充电和 V2G 领域合作的结论与经验

个人交通工具的电气化是全球低碳能源转型的一个关键环节，中欧在电动汽车应用方面都处于领先地位。与此同时，中国的农村地区，尤其是华东地区，已经开始迅速扩大屋顶太阳能光伏的规模，这与其他家庭用能电气化战略（如供暖和交通）产生了潜在的协同效应。从长期看来，V2G 和双向充电似乎为本地太阳能光伏发电不稳定问题提供了终极解决方案，鉴于地方配电网络较为薄弱，这对于中国来说尤为重要。

然而，正如本研究的模型所示，家庭双向充电在前期成本和充电经济性方面都面临着重大挑战。哪怕是对于一个假设已经安装了屋顶太阳能和热泵，并且拥有可变驾驶和充电模式的电动汽车，能够吸收中午太阳能发电的农村家庭来说，双向充电也同样存在障碍。要使双向充电成为一种可行的策略，就必须调整农村居民电价，并采用成本更低的双向充电设备。可能的解决方案包括共享充电设备、鼓励电网公司补贴和协调双向充电，可能的话，在范围更大的电网中对充电进行优化，而不是像本研究中仅考虑单个家庭充电。

虽然本研究建模分析没有包括欧洲，但大多数欧洲国家的情况与中国类似。充电设备的前期成本和缺乏具备双向充电功能的车型是应用 V2H 或 V2G 的最大挑战。此外，除个别国家外，大多数国家对个人电动汽车用户没有提供足够的分时电价或动态电价。尽管如此，在有更多的车型和更便宜的设备可供选择之前，V2G 和 V2H 仅限于试点项目。

虽然将双向充电作为促进可再生能源并网战略所面临的挑战较为严峻，但本研究的访谈结果却让大家能对双向充电的未来重要性以及中欧在此领域的合作前景持乐观态度。在最广泛的层面上，在对欧洲和中国专家的采访中最有趣的发现是，研究电动汽车充电或双向充电的行业和政策分析师（也就是对 V2G 和双向充电最乐观的专家）对采用这些技术的主要障碍缺乏共识，因此，专家们对于如何最好地克服这些障碍也缺乏共识。这为开展富有成效的讨论和交流提供了机会，使各方能够相互学习与自身不同的经验和观点。

其次，电动汽车充电专家和国际合作专家都对欧洲和中国在电动汽车和可再生能源领域的合作潜力持乐观态度。专家们承认，欧盟和中国在电动汽车和电池制造方面存在商业和工业竞争关系，影响了双方的电动汽车政策，并可能限制最具吸引力的合作主题。然而，大多数专家也认为，欧洲和中国在经验和优势上具有互补性，因此在电动汽车和低碳转型领域的合作既富有成效，又对实现国家气候目标至关重要。

在政策合作领域，双方有兴趣继续就电力市场，特别是灵活性和可再生能源并网等议题进行交流，欧洲在这方面拥有宝贵的技术和政策经验，中国可以继续向欧洲学习。然而，在电动汽车领域，双方合作的话题比政策领域更多。值得注意的是，双方专家都认为，中欧之间工商业领域的合作对于加快电动汽车的普及和实现清洁能源更快转型十分必要。此外，双方专家都有兴趣了解对方在电动汽车充电、管理 / 智能充电和 V2G 领域的经验。

具体到 V2G 领域，专家们同样认为中国和欧盟具有互补优势。要解决前期成本高昂的问题，就必须扩大充电设备和双向充电车辆的生产规模。如果能以合作的方式讨论和制定共同的标准和通信协议，而不是像过去那样，在电动汽车充电标准方面各自为政，就定能促进 V2G 的发展。

在政策方面，虽然 V2G 和双向充电在中国和欧洲仍处于起步阶段，但许多欧洲企业积极致力于在电

价有利的地区提供各种智能充电和双向充电服务。其中包括提供充电管理、以竞标方式参与电力市场交易的电动汽车负荷聚合商，提供动态充电电价的充电提供商，以及通过管理车队充电业务帮助企业最大限度地降低电力和设备成本的充电管理商。

随着 V2G 的普及，这些企业将有能力在更多地区提供类似服务，包括可能与汽车制造商和充电设备供应商等中国企业合作。在专家访谈中，中欧专家都对电动汽车领域的直接商业合作持开放态度，尤其是在双向充电等尚未实现商业应用的领域，这些领域需要更多的基础研究和经验积累，并在市场上得到验证，以得到客户和政策制定者的认可。

总结：随着中国农村清洁能源转型的加速，迫切需要在家庭和村庄层面促进分布式可再生能源（尤其是屋顶太阳能）的并网，降低电网投资成本，并防止分布式可再生能源在高峰时段弃电。V2G 和双向充电提供了一个潜在的解决方案，但同时也面临许多障碍，包括成本高、收入模式不明确以及监管障碍等。本研究表明，对于已经拥有屋顶太阳能的家庭，家庭双向充电可适度节约电力成本，但如果设备成本和电价不进行重大调整，这些成本将不足以激励人们采用双向充电。

不过，我们有理由感到乐观。首先，预计成本将迅速下降，电价也是未来努力的重点领域，增加动态定价可促进负荷侧与发电侧实现更好的匹配。其次，随着越来越多具备双向充电功能的车型进入市场，新的产品和服务也可能会随之出现。第三，世界各地的政策制定者和消费者都对双向充电有着浓厚的兴趣，因为双向充电可以解决各种问题，包括但不限于可再生能源或低碳能源的并网，这表明该领域的商业和服务创新时机已经成熟。在这项研究中，中欧专家一致认为，在政策和商业层面开展合作与交流，可以加快将双向充电作为可再生能源并网解决方案的应用部署，最终将有助于促进清洁能源转型和实现国家气候目标。

## 5. 图片目录

|  |    |
|--|----|
| 图 1: 中国各类太阳能装机总量   | 6  |
| 图 2: 2022 年各省新增户用光伏装机容量 (单位: GW)   | 6  |
| 图 3: 2023 年上半年各省新增户用光伏装机容量 (单位: GW)  | 7  |
| 图 4: 中国整县光伏项目覆盖县域人口 (单位: 百万)   | 7  |
| 图 5: 2017-2023 年中国新能源汽车销量占乘用车市场的份额   | 10 |
| 图 6: 2023 年与农村地区或电力市场相关的充电基础设施主要政策时间表  | 21 |
| 图 7.1: 不同车辆使用场景下双向充电的吸引力 (打分平均值)   | 28 |
| 图 7.2: 双向充电对不同车辆使用场景的吸引力 (按受访者统计)  | 29 |
| 图 8.1: 不同类别障碍对双向充电的重要性 (打分平均值)   | 32 |
| 图 8.2: 不同类别障碍对双向充电的重要性 (按受访者统计)  | 32 |
| 图 9: 中国受访者对不同使用场景参与双向充电潜力的平均评估   | 41 |
| 图 10: 中国受访者对不同使用场景参与双向充电潜力的评估 (个人回答)   | 42 |
| 图 11: 中国专家对电力市场国际合作相关话题的排序   | 46 |
| 图 12: 中国专家对电动汽车相关主题合作潜力的排序   | 47 |
| 图 13: 中国专家对不同电动汽车充电类型对可再生能源并网潜在重要性的排序  | 48 |
| 图 14: 国际政策专家对电力市场国际合作相关议题的排序   | 49 |
| 图 15: 国际政策专家对不同电动汽车充电类型对可再生能源并网潜在重要性的排序  | 51 |
| 图 16: 国际政策专家对电动汽车相关主题合作潜力的排序   | 52 |
| 图 17: 中国气候分布图  | 54 |
| 图 18: 三种情况下光伏发电自用率: (1) 仅光伏; (2) 光伏 + 空气源热泵; (3) 光伏 + 空气源热泵 + 储能               | 55 |
| 图 19: 基准情景下电动汽车离家时间占比  | 57 |
| 图 20: 基准情景下, V2H 相比非高峰时段充电可节省的电费 (元/年)   | 57 |
| 图 21: 基准情景下各地区的光伏自用率   | 58 |
| 图 22: 各省不同情景下光伏自用率的差异  | 59 |
| 图 23: 特定电池容量 (kW) 用于 V2H 的不同容量占比所带来的年度电费节约情况                                   | 60 |
| 图 24: 假定光伏发电上网价格较高 (0.18 至 0.35 元/kWh), 特定电池容量 (kW) 留作缓冲的不同容量占比所带来的年度电费节约情况    | 60 |
| 图 25: 假设光伏发电上网价格较低 (0.05 至 0.10 元/kWh), 特定电池容量 (kW) 留作缓冲的不同容量占比所带来的年度电费节约情况    | 61 |
| 图 26: 基于电池容量 (kW) 和用于 V2H 的电池容量占比, 单日最大行驶里程 100 公里 (左) 或 200 公里 (右) 时需要在外充电的天数 | 62 |
| 图 27: 基于电池容量 (kW) 和用于 V2H 的电池容量占比, 光伏发电满足家庭用电负荷的比例                             | 62 |
| 图 28: 不同电动汽车电池容量 (kW) 和单日最大行驶距离 (km) 下的家庭电力自给率情况                               | 63 |
| 图 29: 基准情景下的住宅分时电价和电动汽车充电时间  | 63 |
| 图 30: 屋顶光伏发电余电上网的分时电价假设 (人民币/kWh)  | 64 |
| 图 31: 白天 (横轴) 和中午 (图例) 向电网送电的不同电价支付比率所带来的年度电费节约情况                              | 65 |

 86-1065876175

 [info@ececpc.eu](mailto:info@ececpc.eu)

 中华人民共和国，北京市朝阳区建国门外大街 2 号，  
银泰中心 C 座 31 层，3123 & 3125，100022

 [www.ececpc.eu](http://www.ececpc.eu)



中欧能源合作平台由欧盟资助