

中德低碳农村能源转型之路

村庄能源自给自足及部门耦合案例研究

中德能源转型研究项目



出版信息

《中德农村低碳能源转型之路》介绍了中德两国农村低碳清洁能源转型潜力的平行研究成果，并提出了促进清洁能源政策、加速能源转型的相关建议。该报告在德国联邦经济和气候保护部（BMWK）支持的中德能源转型研究项目框架内发布，中德能源转型研究项目是德国联邦经济和气候保护部（BMWK）与中国国家发展改革委和国家能源局在能源领域的官方合作机制——中德能源与能效合作伙伴关系的一部分。德国国际合作机构（GIZ）、德国智库 Agora 能源转型论坛和德国能源署（dena）受 BMWK 委托，与中方相关合作伙伴共同实施该项目。

作为一家德国联邦企业，德国国际合作机构为德国政府实现可持续发展国际合作目标提供相应支持。

出版方：

中德能源转型研究项目
受德国联邦经济和气候保护部（BMWK）委托
北京朝阳区亮马河南路 14 号塔园外交办公大楼 1-15-1 邮编：100600

德国国际合作机构 (GIZ)
Torsten Fritsche
科特纳大街 2 号
德国柏林 10963

项目负责人：

Anders Hove (侯安德)
德国国际合作机构 (GIZ)

作者：

薛冰，李宏庆，中国科学院应用生态研究所
Michael Popp, Markus Zdrallek, Jessica Stephan, Sven Pack, 伍珀塔尔大学
Ulrich Jansen, Thorsten Koska, 伍珀塔尔机构
Anders Hove (侯安德), Philipp Geres, 德国国际合作机构 (GIZ)

设计：

刘雪玲，德国国际合作机构 (GIZ)
edelman.ergo (受德国联邦经济和气候保护部委托)

图片：

德国联邦经济和气候保护部/封面, P 12
Shutterstock_108342809/P 10

© 北京，2022 年 5 月

本报告全文受版权保护。所包含信息由编者结合所知，遵循良好科学实践原则编撰而成。作者相信报告中的信息是正确、完整和最新的，但不会对任何明确或隐含的错误承担责任。本出版物中链接的外部网站内容将由其各自出版商全权负责。本文件的陈述不一定反映客户的意见。德国国际合作机构（GIZ）对报告引用的地图是否是最新、准确或完整的不承担任何责任，也不承担因其使用而导致的任何直接或间接损害责任。

目录

执行摘要.....	4
引言	5
东桥头村和施瓦格村的比较	6
巴伐利亚州施瓦格村.....	6
东桥头村	6
施瓦格村和东桥头村的比较	8
中国和德国的现状和政策框架	11
德国的政策.....	11
中国的政策.....	11
方法和分析	13
分析——施瓦格村	21
研究问题、假设和方法——东桥头村	28
调查结果——东桥头村	33
分析——东桥头村	34
关于两种研究方法的差别的讨论.....	39
2030 年德国和中国的一个村庄	40
政策建议.....	41
结论	44
附件	45
参考文献.....	48

执行摘要

农村地区在低碳能源转型中发挥着至关重要的作用，因为他们有充足的开放空间和相当大的能源消耗。然而，许多关于低碳技术应用或低碳能源系统预测的分析都忽略了农村社区，而更多的关注富裕地区、城市社区或已成规模的可再生能源生产和存储的公用设施。

中德能源转型项目在报告编写过程中，汇聚了能源建模和农村生态学相关学者，对清洁能源技术如何影响德国和中国农村地区的能源流动和碳排放开展了调研和分析。本报告是基于对两个村庄——中国山东省东桥头村和德国巴伐利亚州施瓦格村（Schwaig）——的案例研究结果，分析了如何加速农村地区清洁能源转型，研究了农村社区通过提高能源供应自给自足能力来提高自身韧性、降低用能成本的潜力。

在山东省东桥头村的案例中，研究者考察了整个村庄，通过访谈并结合自上而下和自下而上的分析方法，开发出了东桥头村当前及未来能源系统的能量流动模型，并进行了情景分析。通过分析发现，东桥头村具备依靠光伏和热泵（用于供热以及供冷）满足其大部分用电及供热/供冷需求的潜力。随着电动汽车占比的不断提高，村民可以在日间时段利用太阳能给车辆充电，省下购买燃料的支出。加速推进村庄采用光伏板和太阳能路灯的计划，不仅可以帮助居民节省能源成本，也能推动低碳社会的发展。未来，通过采用电能和热能储存技术，可以进一步提高自给自足能力。

在施瓦格村的案例中，研究者综合利用村庄的调查数据、当地公共事业机构的能源数据以及情景分析，打造了一个能量流动模型，完成了情景分析。研究发现施瓦格村已经实现了较高比率的清洁能源自给自足，采用户用热泵和电动汽车可以进一步提高自给自足率。季节性储能和电网的平衡电力仍是必不可少的。

尽管在收入、职业以及当前供热和电力燃料方面存在显著的差别，但中德两个村庄在清洁能源潜力方面仍存在着共同之处。

通过情景分析和预测，得出以下结论：

分布式能源和自给自足在中德农村都有吸引力：在德国，分布式太阳能、电动汽车和热泵的应用会延续，从而使农村地区拥有实现能源自给自足的巨大潜力。东桥头村具备使用电动汽车和太阳能光伏提高其自给自足程度的潜力，随着收入的增加，其能耗增长速度会变得更快。

在德国，热泵和房屋保温有助于降低太阳能可变性的影响：采用分布式清洁能源使得日常电力供应和负荷更加不稳定——鉴于光伏发电可以占到当地能源产量的四分之一，远超所有家庭在夏季的月度用电负荷总量，我们估计热泵以及保温良好的德国房屋，在减小家庭净负荷方面具有很大的潜力。虽然奥伯丁（Oberding）目前的热泵使用率较低，但根据“dena 95 情景”，到2035年会有62%的家庭安装热泵。电动汽车的使用和定时充电可能也会发挥作用，但作用会小得多，因为电动汽车的负荷预计只占总能耗的4%-5%，而供热和制冷负荷则占到16%-17%。

在中国农村地区，分布式能源技术的应用具有更大的不确定性，但潜力也大：在中国，生物能将继续在提高农村可再生能源占比方面发挥更大的作用。尽管分布式光伏、热泵或电动汽车的使用存在不确定性，但本研究采用的情景和预测表明，到2030年，这些技术的应用将大幅提高，尤其是光伏。对那些既需要制冷又需要供热的家庭而言，热泵是一种经济的选择。基于现有发展模型，2020年该村庄的能源自给自足率为16.8%；根据乐观发展情景，能源自给自足率到2025年可能达到80.70%，2030年达到126.16%。

中德两国进行的分析都采用了混合方法，基于现有数据集、源自国家或地方数据的预估、源自施瓦格村配电网的数据以及家庭调查，量化了目前的能源生产和消耗。在进行家庭能源调查时，施瓦格村/奥伯丁的调查回复率为19%，东桥头村的调查回复率为18.8%。德国使用光伏、电动汽车和热泵的情景结合了多种来源，包括与当地官员和专家、德国能源署 dena、Agora、德国联邦工业联合会（BDI）和德国行业协会（BWP）的讨论。中国的情景预估来源于当地调查信息，以及对电动汽车和热泵的全国及区域性预期发展分析。

研究人员在两个村庄案例中使用的建模方法有所不同，所以，最终得出的对两个村庄能源自给自足率的估计值不能直接比较。例如，在东桥头村，研究人员考虑了农业废弃物以及所有能源消耗，而在施瓦格村，分析中只考虑了电网电力和家庭电力。

农村能源转型在中德两国都是重要的政策优先事项，因为农村社区在积极推动能源转型方面发挥着重要作用，政策制定者需要确保能源转型能够延伸到农村社区。未来，与此类似的研究可能进一步提高农村居民的意识，并促进与政策制定者就如何确保农村地区的公平能源转型进行的交流。

引言

农村地区参与低碳能源转型并从中受益是至关重要的。迄今为止，中国能源转型包括大规模部署风能和太阳能、对煤电厂和工业行业进行能效升级改造以及在主要城市对电动汽车等新能源技术进行商业化推广。德国是最早大规模部署风能和太阳能的国家之一，农村社区已经从能源设施所有权的能源转型方式中受益。为了实现能源转型，中德两国将加快部署可再生能源，实现交通和供热领域的电气化，并以电热泵或其他低碳方案取代化石燃料供热。这些措施将如何影响农村居民的生活，仍是一个开放性问题，特别是人们担心电气化趋势可能需要对农村配电网进行重大升级。如果分布式能源和储能能够实现更大程度的自给自足，这对于农村地区来说是非常有利的，因为可以减少基础设施成本，从而降低电网费用，并能提高农村地区整体的气候韧性。

中国

对中国能源转型的探讨主要聚焦于能源行业或者城市区域，在快速城市化的背景下，即便有 5.1 亿人口生活在农村，占中国人口总数的 36%，中国广阔的农村地区依然常常被忽视。实现农村地区的能源转型是实现“能源革命”、“乡村振兴”、“美丽中国战略”以及碳达峰碳中和在内的中国国家战略和目标的重要一环。

中国农村地区面临着诸多挑战，例如人口老龄化、土壤和水污染，以及与大城市之间的巨大收入和贫富差距。中国农村地区收入水平较低、技术陈旧，例如二冲程柴油三轮车或者使用散煤或生物质取暖等。很多农村房屋使用的是老旧的建造方法，保温隔热效果不佳；电网接入有限。中国目前正专注于提升农村地区的生活品质，清洁能源转型是其中的一部分，在提高本地空气质量和日常生活能效方面有很大潜力。尽管农村地区的人均能耗量低于城市地区，但农村在碳中和方面也能发挥重要作用，不仅可以通过建设大型能源项目实现，也可以通过分布式清洁能源技术以及能效升级措施来实现。

德国

德国能源转型的初期动力源自 1970 年代的石油危机，但关键的转折点是 1997 年签署的《京都议定书》，其中设定了工业化国家减少温室气体排放的最早气候政策目标。¹ 2007 年，欧盟（EU）据此设定了减少温室气体排放的气候、可再生能源和能效目标。欧盟根据 2015 年巴黎协定和欧盟绿色协议稳步收紧并更新了自身的目标。²

2011 年福岛核反应堆灾难发生后，德国决定加快进程，在 2022 年之前淘汰核能。³ 2020 年，德国政府决定最迟在 2038 年之前关停所有燃煤电厂，而于 2021 年 12 月当政的新联邦政府有意在 2030 年达成此目标。⁴ 德国旨在 2045 年之前实现气候中和。

要实现这一目标，德国必须使用大量的可再生能源，并大规模扩张分布式能源（DERs）。这些目标也表明交通运输和供热部门必须实现电气化，摆脱目前所主要依赖的化石燃料。能源转型将进一步加大用电需求，这也凸显尽可能安装更多分布式可再生能源，以减少对输入能源及网络升级需求的重要性。分布式风能和太阳能处于德国低碳能源转型的最前沿，其产权往往是归个人或小型社区所有。德国的农业能源转型也正在进行中，例如农业地区具有采用电动交通和高效供热及供冷的充足空间。

农村能源转型比较

能源转型正在创造机会，尤其是农业地区的机会。相比城市地区，中德农村地区往往有更多的本地可再生能源，也有更大的空间用于部署可再生能源发电设施。因此，农村地区具有采用本地可再生能源实现高度自给自足的潜力。

相比城市，农村往往存在各种结构性短板，体现在较低的收入以及较少的工作岗位方面，例如，2019 年巴伐利亚州农村地区的人均收入比城市地区低了 9.3% 左右。⁵

本研究通过对当前能源生产和消耗的量化以及对未来能源情景的分析，对中德两国农村地区迥然不同的清洁能源发展进行比较，研究了巴伐利亚州施瓦格村（位于慕尼黑机场附近）以及山东省东桥头村。这两个村都是农业村镇，但施瓦格村的人均收入远高于东桥头村，分布式能源设施的安装数量也更多。东桥头村严重依赖于煤炭、电和燃油，但大多数家庭也安装了太阳能热水系统，东桥头村对光伏的利用极少，只有大约 5% 的家庭安装了光伏系统。

两个村庄尽管处于不同的发展阶段，但它们都是各自国家能源转型的一部分，在未来十年都将发生转变，本研究旨在促进对这一转变的可能方向的认知，并预测两个村庄在各自背景下为能源转型目标做出贡献的潜力。

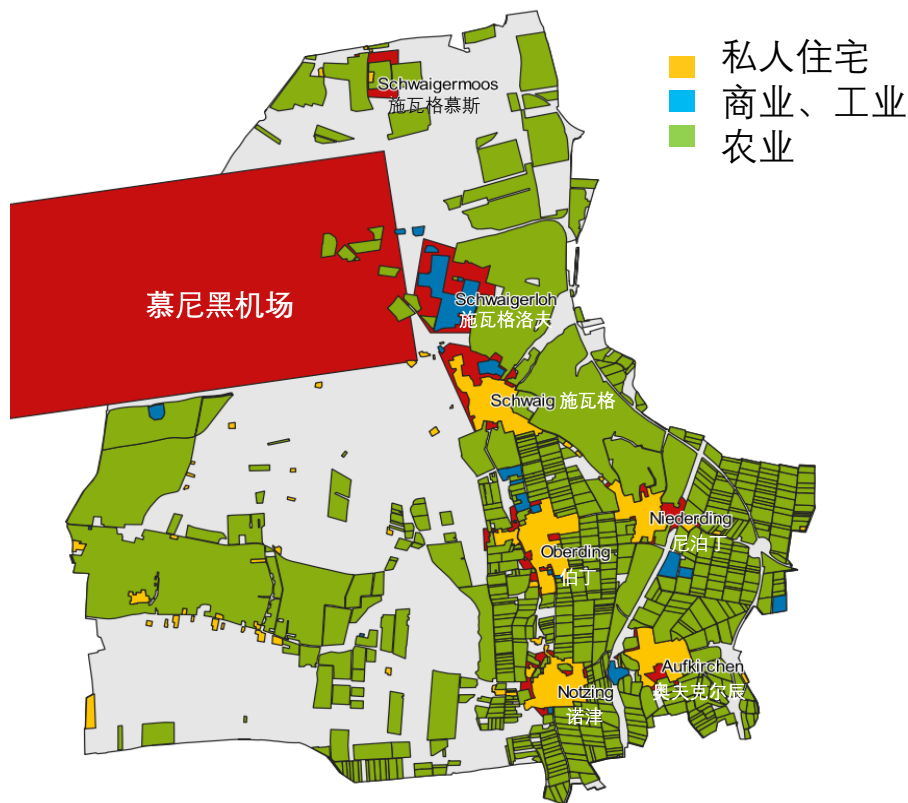
东桥头村和施瓦格村的比较

巴伐利亚州施瓦格村

施瓦格村位于德国巴伐利亚州慕尼黑东北 30 公里处，隶属于奥伯丁社区，该社区由 7 个小村庄组成：奥夫克尔辰（Aufkirchen）、尼泊丁（Niederding）、诺津（Notzing）、奥伯丁（Oberding）、施瓦格

（Schwaig）、施瓦格洛夫（Schwaigerloh）和施瓦格慕斯（Schwaigermoos），慕尼黑机场也是奥伯丁社区的一部分。⁶该社区常住人口 6,455 人，其中施瓦格村 1140 人。⁷下图为奥伯丁社区的不同土地用途。

图：奥伯丁 QGIS 地图，标识土地用途



来源：伍珀塔尔大学，2021

施瓦格村住宅用地占比高，商业用地占比低，周围主要为农业用地。奥伯丁社区共有 1,416 栋住宅建筑，其中 253 栋在施瓦格村。⁸施瓦格村几乎没有工商企业，约有 30 家本地公司都是与机场相关的，例如酒店、商业停车场、物流和运输公司。⁹本研究未包含农业企业，因为它们并没有列入工商业联合会名单。从土地使用图可以看出此区域存在农业企业。

施瓦格村人均收入约 25,000 欧元。¹⁰基于 E-Werk Schweiger oHG 的数据，截至 2021 年末，施瓦格有 978 千瓦光伏装机容量。

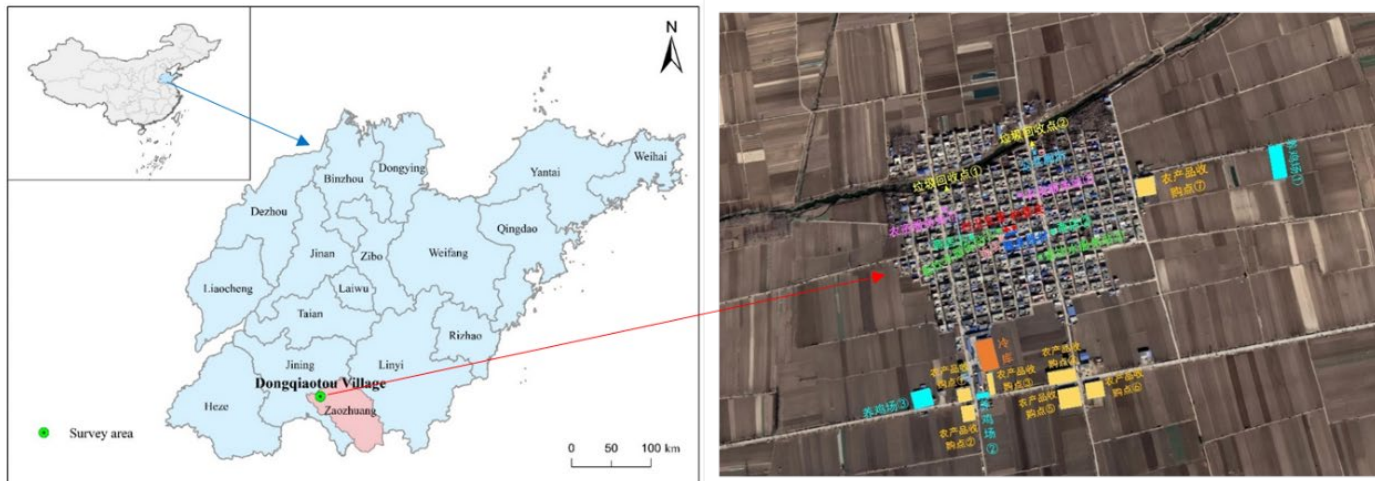
东桥头村

东桥头村位于山东省，距省会济南市 200 公里，距重要的沿海城市青岛市约 350 公里。东桥头村有 446 户

村民，总人口 1,832。长期生活在村外的人口为 380，包括 210 名务工人员 和 170 名学生；约 40-50 人在村内及

附近公司或工厂工作，人均年收入人民币 22,500 元，相当于 3,000 欧元。

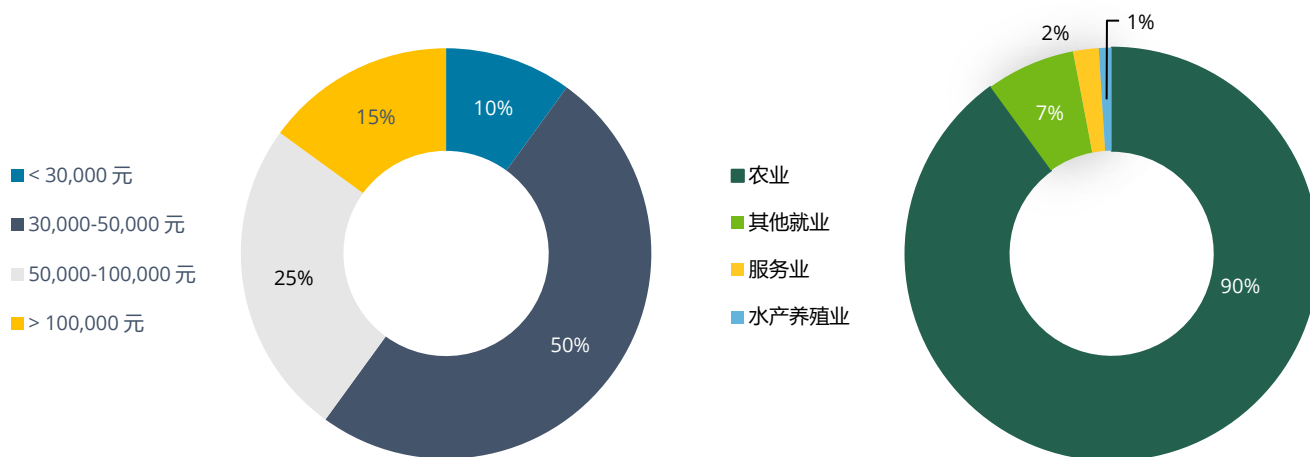
图：东桥头村的位置和卫星图像



来源：中国科学院应用生态研究所

下图展示了东桥头村家庭收入分布情况。90%以上家庭主要收入来源为农业，只有小部分收入来自村外务工（7%）、服务行业（2%）和水产养殖（1%）。

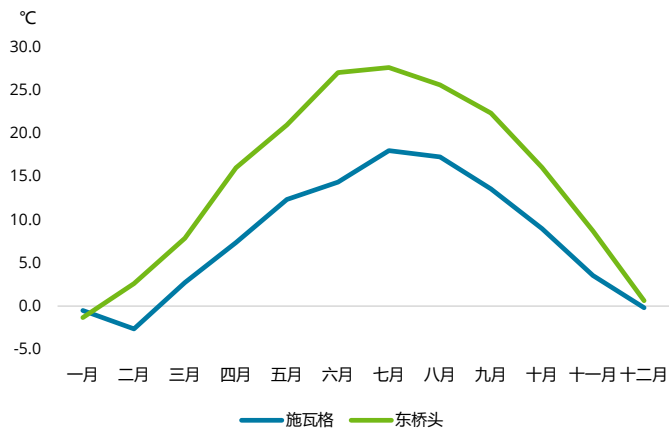
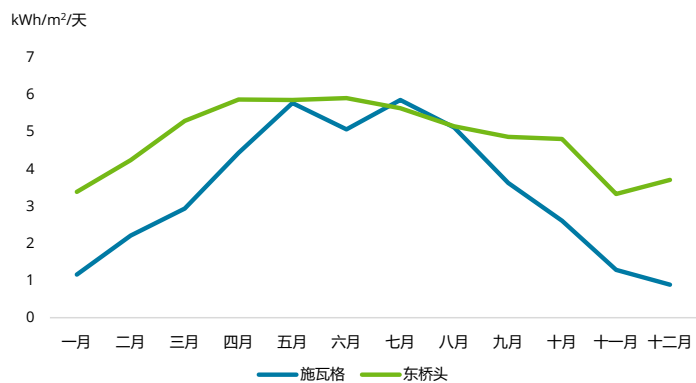
图：东桥头村家庭收入构成和来源



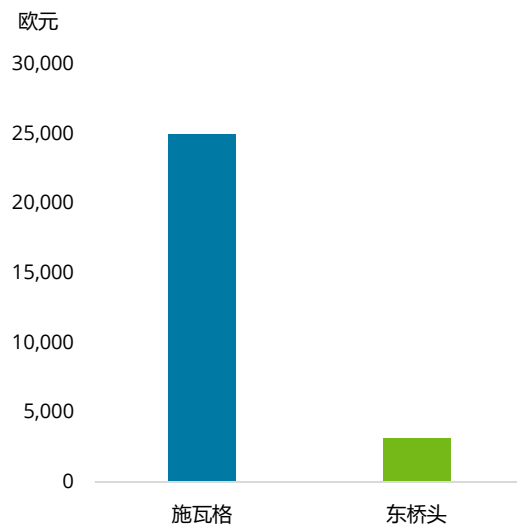
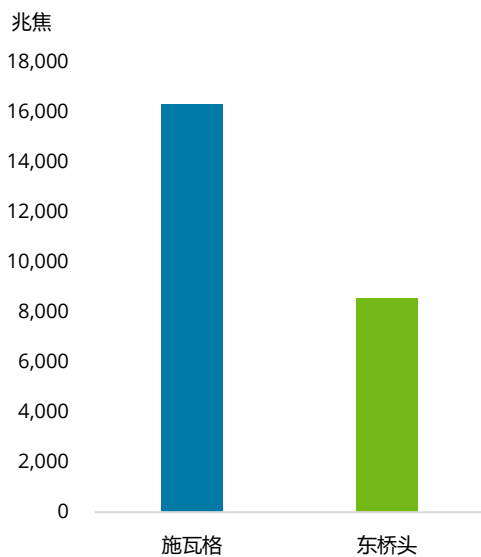
来源：中国科学院应用生态研究所

施瓦格村和东桥头村对比

图：月平均太阳辐射量（左）和温度（右）



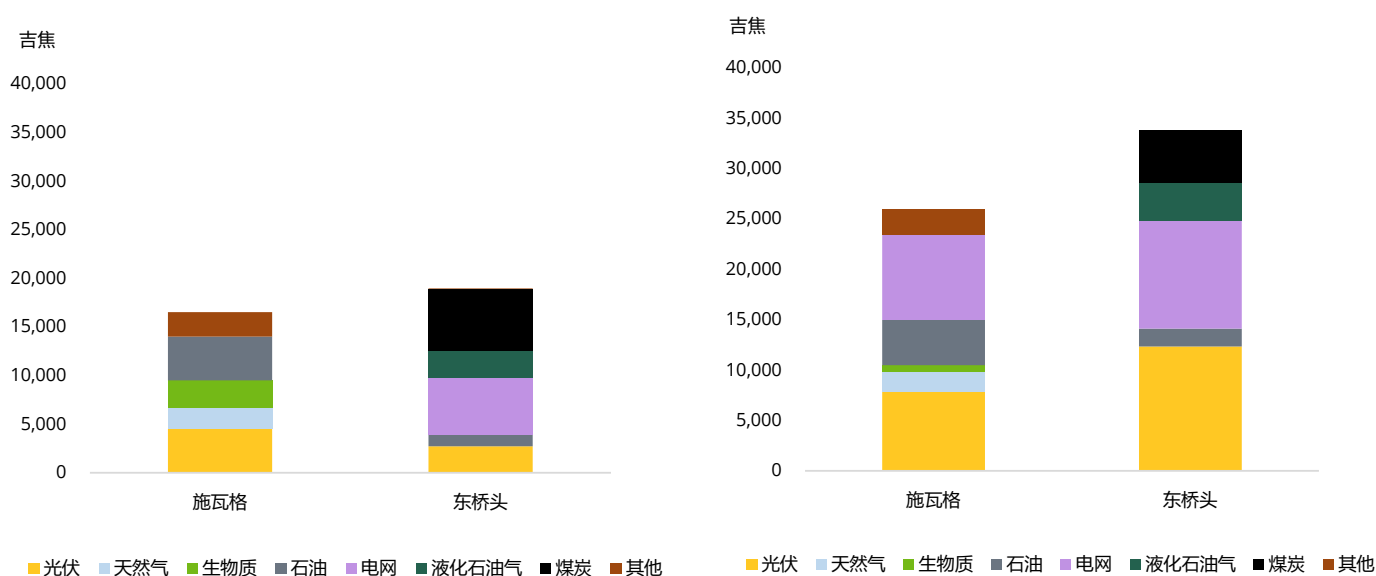
来源：美国国家可再生能源实验室（NREL）PVWatts，2022



图：人均能耗（左）和收入（右）

来源：德国国际合作机构（GIZ），2022

图：燃料构成,2022 年（左）和 2030 年（右）



注：排除在施瓦格村案例之外的电网电力和液体燃料。

来源：德国国际合作机构（GIZ），2022

表：施瓦格村和东桥头村的社会经济及能源数据比较

	德国	中国
村/镇名称	施瓦格村	东桥头村
隶属省/州	巴伐利亚州	山东省
人口	1,140	1,832
家庭户数	388	446
人均收入	25,000 欧元	22,500 元人民币
年人均能源消耗	4,529 千瓦时	2,377 千瓦时
年人均电力消耗	1,082 千瓦时	1,257 千瓦时
电力在能源消耗中的占比	23.89%	52.88%
煤炭消耗/占比	无	41.54%
油消耗/占比	1,769 兆瓦时	6.49%
燃气消耗/占比	590 兆瓦时	12.67%
生物能消耗/占比	751 兆瓦时	10.50%
太阳能发电消耗/占比	1,209 兆瓦时	
风电消耗/占比	0 兆瓦时	

	德国	中国
水电消耗/占比	22,240 兆瓦时	
能源使用-供冷/供热 (%)	10%	33.10%
能源使用-交通 (%)	78.22%	10.81%
能源使用-其他 (%)	11.78%	56.09%
人均碳排放	5,500 千克 (巴伐利亚州) ¹¹	5,005 千克
汽车拥有率 (家庭拥有%, 不含两轮车或三轮车)	99%	49.33%
太阳辐照量 (年, 千瓦时/平方米/天)	3.42	3.85
太阳辐照量 (夏季)	5.35 瓦/平方米	4.47 瓦/平方米
太阳辐照量 (冬季)	1.42 瓦/平方米	2.89 瓦/平方米
平均温度 (年度)	8	13
平均温度 (夏季)	16.5	24.5
平均温度 (冬季)	-1	0.3
主要职业		农业 (90%)
主要本地行业	农业、工业、服务业、物流 (机场)	农业



中德政策框架

德国政策

为了实现本国气候目标，德国建立了一个包括法律及各类资金渠道的框架。该框架始建于 2000 年生效的《可再生能源法》（EEG），不久前，该法进行了重大修订。《可再生能源法》为扩大分布式能源在发电领域的应用提供了激励措施，2001 年之前安装的光伏系统可以得到至少 0.506 欧元/千瓦时的上网电价，¹²该电价每年都在下降，因为光伏系统的成本也在下降。2022 年，光伏系统上网电价至少为 0.0475 欧元/千瓦时。¹³固定上网电价制度在 20 年后到期。除了固定上网电价以外，分布式能源也享有优先接入电网权，也就是说，一般不会被限电。

由于分布式能源上网电价下降，目前大多数光伏系统所有者都投资建设了储能系统，将自用耗电量最大化，因为在大多数情况下，“只能接入电网”的选择不再有利可图。因此，仍需要通过政策来激励更多家庭投资建设储能系统。

《热电联产法》（KWKG）为支持可再生能源在各部门的应用奠定了基础；¹⁴交通和供热部门的法案推动了能源转型；《德国可再生能源热利用法》（EEWärmeG）和《节能条例》（EnEV）在过去有力的推动了可再生能源供热和供冷效率的升级，2020 年《建筑能源法》（GEG）取代了这两项措施。针对新建建筑及既有建筑的改造，《建筑能源法》规聚焦于能效提升，同时也针对用于供热和供冷的可再生能源的占比设定了约束性目标。《建筑能源法》禁止 2026 年之后新建或翻修的建筑在新的供热系统中使用燃油供热。¹⁵2021 年，《建筑电动交通基础设施法》（GEIG）生效，为电动交通充电基础设施的扩张提供了支持。以上政策工具都大力地推动了德国的能源转型。¹⁶

德国通过各类融资机会，支持可再生能源的发展和扩张，从而推动能源转型。联邦经济和出口管制局（BAFA）为完全或部分使用可再生能源的供热系统的安装或升级提供补贴，最高可达 60,000 欧元，燃油供热系统被排除在资助计划之外。联邦经济和出口管制局的另一个资助计划是支持电动交通，购买或者租用电动汽车的消费者可收到最高 6,000 欧元的环保津贴。德国复兴信贷银行（KfW）提供进一步补贴，为节能住宅的翻修或新建提供最高 75,000 欧元的经济支持。

风能在扩大利用可再生能源方面也发挥着重要作用，尽管如此，本研究并未在施瓦格村案例中考虑风能，因

为施瓦格村紧邻欧洲最繁忙机场之一的跑道。近年来，在扩大风能应用方面，德国遇到了挑战，主要原因包括审批程序漫长复杂，可能要花费多年时间才能完成，缺少用于建筑项目的空间，还有本地居民的接受程度不高，往往对风力涡轮机的噪音或者外形产生顾虑。这些挑战严重阻碍了风能在德国的扩张，甚至威胁到了风能行业在德国的存在。另一个巨大挑战是可用于建造风力涡轮机的地点，德国各州往往都通过法令规定了风力涡轮机和住宅建筑之间的最小距离。例如，在巴伐利亚州，风力涡轮机和住宅建筑之间的距离必须是涡轮机高度的十倍（一个 200 米高涡轮机的建设距离为 2 千米）。因为德国人口密度高，所以这项规定大幅度减少了可用于安装新风力涡轮机的空间，也危及了很多老旧涡轮机的改造。¹⁷

中国政策

2016 年 12 月，中国发布了能源发展“十三五”规划，其中强调了家庭和工业能源电气化，尤其是在北京、天津、河北及周边区域的受污染地区。规划中提到了以电力供热取代煤炭，推广分时电价，改造农村配电网。计划中包括推广农村地区可再生能源的措施，其中提到了太阳能、风能、小水电、农林废弃物转能以及地热能。规划也强调了农村电力系统可靠率，目标是到 2020 年，在农村地区达到 99.8% 的供电可靠率，户均配变容量不低于 2 千伏安。¹⁸

2022 年初发布的“十四五”现代能源体系规划重点提及了农村能源发展。规划的目标是进入电网建设和升级的第二阶段，提高农村地区的电力保障水平，包括推广农村微电网试点以及农村地区的可再生能源电力供应。中国通过“千家万户沐光行动”和“千乡万村驭风行动”，推广分布式光伏和小型风电。规划中也将农业光伏、生物质能以及地热能列为优先选择，规划中包括了提高农村地区天然气供应、减少散煤供热、推广农用节能技术以及打造“零碳村庄”试点等措施。¹⁹

中国政府反复强调加强农村公共基础设施，尤其是在能源部门。2021 年，在传统的年度农业政策一号文件中，政策制定者把实施乡村清洁能源建设工程、加大农村电网建设力度和提升农村电力保障水平作为目标。该文件也支持建设乡村供气基础设施和储气罐站、发展农村生物质能源以及加强煤炭清洁化利用。²⁰在 2022 年的一号文件中，中央政府再一次强调升级农村电网，在农村地区推广光伏和生物质等清洁能源。²¹

2021年，中国国务院办公厅印发了《关于推动城乡建设绿色发展的意见》，列出了有助于打造绿色生态宜居的美丽乡村、提升农村生活品质的各种优先事项，包括完善水、电、气、厕配套附属设施；加强既有农房节能改造；提高镇村设施建设水平；推进农村生活垃圾、污水、厕所粪污、畜禽养殖粪污治理。²²

山东省政策

山东省一直在推动打造绿色生态宜居的美丽山东，在此基础上发展农村绿色能源。

总的来说，山东省农村电气化水平大幅度提高了：农村地区户均配变容量达到2.71千伏安，年人均电力消耗为427千瓦时，达到城镇平均水平的80%以上；冰箱、洗衣机和空调的拥有量大幅增加，电磁炉和电饭锅已成

为常见的烹饪工具；摩托车和农用车辆正逐步被电动汽车所取代。

能源使用的清洁度提高了：在炊事用能中，沼气、液化石油气、煤气、生物气占48.2%，电能占29.1%，煤炭占8.2%，柴薪等其他占14.5%；山东农村清洁取暖户510万户，占农户总数的40%，其中沼气取暖265万户，电力取暖155万户，生物质、太阳能等其他取暖90万户。

近年来，山东农村清洁能源发展也实现了快速增长，全省户用分布式光伏58.5万户，装机容量1041万千瓦，光伏装机容量超过了大多数国家；农林生物质发电装机规模183万千瓦，年利用农作物秸秆及林业剩余物等1800多万吨；生物气发电装机规模9.5万千瓦，其中利用畜禽粪污制生物气发电装机规模2.5万千瓦，年利用畜禽粪污557万吨。²³



研究方法和分析

风能和太阳能在德国农村地区的广泛应用，表明德国能源转型已经对农村地区产生了巨大影响。²⁴在分析施瓦格村能源转型时，本研究致力于：（1）目前农村能源转型的发展阶段；（2）农村能源转型发展中期预测，尤其强调农村家庭的电气化，例如供热和家庭交通。

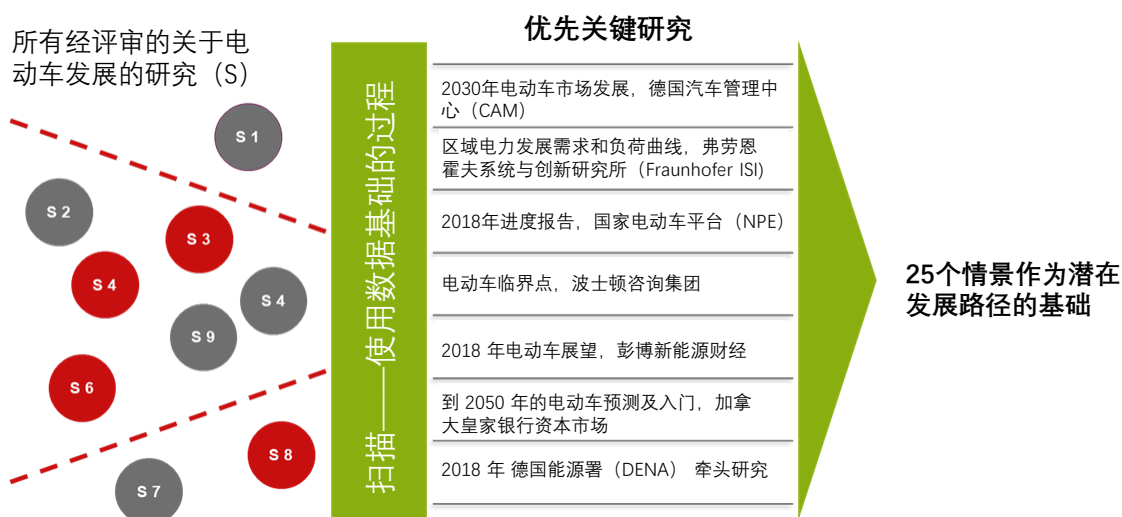
为了回答这些问题，本研究使用了公开可获取的数据，并与伍珀塔尔研究所（Wuppertal Institute）合作对村庄开展调查，计算得出能源转型发展现状，并对未来农村能源转型各种情景进行了分析。本研究采用三步法：第一步定义情景框架，第二步将情景数据应用于具

体村庄，第三步处理能源数据及调查结果，得出未来不同能源情景下的能流图。

德国的情景框架

为了预测未来农村能源生产和用电量，首先确定了各种关键技术情景。本研究尤其侧重于电动汽车、热泵和光伏在未来的渗透率。在设定情景时，评估了针对每一类情景的现有研究。例如，开发电动汽车情景的流程如下图所示：

图：德国电动汽车情景的开发流程



来源：伍珀塔尔大学，2022

对德国的研究采用了统计的概念与方法（meta-analysis），详细阐述了“悲观”、“中等”及“乐观”的电动汽车应用场景。为了使研究更具可比性，使用插值法得出了五年的数据。本研究针对电动汽车和热泵的发展都采用了类似的方法。

鉴于光伏已得到了广泛应用，四个输电系统运营商会定期发布电网发展计划并提交联邦电网局审核，本研究基于该计划中已确认的情景，开发了光伏情景。²⁵电网发展计划确认了德国光伏的三条发展路径，彼此间只

有最低程度的差别：自2019年起，不同情境下年度光伏的装机容量应在3.8吉瓦到4.4吉瓦之间。鉴于德国新一届联邦政府是在2021年电网发展计划报告发布之后才执政，因此更高的年度装机量也是有可能的。根据当前的联盟协议，德国应在2030年之前达到200吉瓦以上的光伏装机容量。²⁶

根据德国国家层面的发展数据，如下图所示，选择人口密度和建筑存量数据，将这些国家数据细分到各联邦州及社区层面。

表：用于施瓦格村情景的潜在电动汽车、热泵和光伏情景数据概览

技术	情景	年份	
		2030	2035
电动汽车	悲观	353 万	735 万
	趋势	416 万	865 万
	乐观	540 万	1125 万
热泵	德国能源署 TM95	390 万	477.5 万
	德国能源署 EL95	790 万	1010 万
光伏	电网发展计划情景 A	90.8 吉瓦	110.1 吉瓦
	电网发展计划情景 B	96.3 吉瓦	117.8 吉瓦
	电网发展计划情景 C	97.4 吉瓦	120.1 吉瓦

来源：伍珀塔尔大学，2022；德国能源署（dena）²⁷；德国联邦网络管理局（Bundesnetzagentur）²⁸

区域化方法

基于情景框架及每一情景的总体国家预测，将数据外推到选定的村庄，例如，下图展示了用于电动汽车的

方法，用于热泵和光伏的方法基于输入数据而有所不同。以下数据展现了电动汽车采用区域化方法的一般流程：

图：以电动汽车为例的区域化方法原则



来源：伍珀塔尔大学

在估算热泵的普及度时，区域化程序考虑了联邦州和社区的建筑结构，认为独立式住宅和半独立式住宅是最适合使用热泵的建筑类型。因为缺乏详细的数据，例如实际楼龄和保温隔热程度等参数，所以假定建筑物具有统一的能效，建筑物特征的差异可能不会影响对热泵分布的估算。

研究基于人口和家庭规模，对奥伯丁社区不同村庄的电动汽车和热泵数量进行了加权处理，奥伯丁在其官方网站上发布了人口分布数据。²⁹基于电网运营商 E-Werk Schweiger oHG 提供的村庄现有装机容量，假设了未来光伏装机分布。

德国的模拟假设

为了将奥伯丁的情景数据转变为电动汽车充电基础设施和热泵的能源与电力数值，能量流动模型必须解释光伏系统输出和热泵能耗的剧烈季节性波动。针对电动汽车的充电负荷，只考虑私人充电基础设施，因此只专注于交流充电技术。假设大多数电动汽车充电的功率水平是 11 千瓦或 22 千瓦。在计算电动汽车的能源需求时，对充电行为的预估具有重要意义，因此采用 2017 年《德国交通研究》中的用户行为随机数据作为输入参数，并基于研究中的停车情况建立了充电情景，³⁰形成社区内每一充电车辆在一整年内的个体充电概况，从而估算出电动汽车在分钟级别的能源需求。

与电动汽车所具有的不可预测的负荷曲线不同，热泵往往呈现出非常相似的用能行为，并会受到季节的强烈影响。热泵的耗能严重依赖于环境温度，而同一社区的环境温度并不会出现显著差异。基于 Wintzek 等人的研究³¹，考虑到建筑的用热需求和热水需求，模拟中假设了热泵的三种功率等级：3 千瓦、6.5 千瓦和 9 千瓦。为了反映季节性影响，模拟中使用了不同的标准热泵时间序列，分辨率为一分钟。时间序列反映了老旧房屋和现代化房屋的热泵负荷概况，以及有无阻断期（电网运营商关闭热泵以减少系统负荷）行为。

分析使用时间序列数据确定光伏系统输入电网的能量，只需要一个具有代表性的时间序列就够了，因为所研究的社区或村庄内的天气情况不会呈现出任何巨大差异。E-Werk Schweiger oHG 提供了自 2020 年起的测定时间序列，分辨率为 15 分钟，本研究对其进行了标准化处理，用作进一步考虑光伏电力分布的依据。此外，研究中也比较并验证了基于“巴伐利亚能源图集”³²信息生成的情景数据。

除了电动汽车和热泵的新负荷之外，还需要对典型的家庭和商业负荷进行建模，以形成对能量流动的全面了解。由于缺乏任何关于家庭具体能耗的可用数据，所以建模依赖于已发布的不同家庭规模的平均能耗，并基于奥伯丁人口普查所发布的家庭规模，推导出每户的电力消耗，³³平均电力消耗可以分为低、中和高三级。典型家庭的能耗也会受到季节因素的影响，因此模拟基于 Tjaden 等人研究的时间序列，使用了随机分配的家庭概况。³⁴

鉴于可用的信息有限，本研究深入的细节程度达不到工业能耗或负荷相同的水平。总的来说，之前的研究表明德国工业和商业负荷与家庭电力消耗大体类似。³⁵因为施瓦格村没有大型工业企业，所以将本地工业负荷整合到了家庭年能耗的模拟中。³⁶工商业部门对能源消耗划分为工业和农业，与城市地区相比，农业在农村地

区的负荷占大部分。进行能量流动建模时，使用了基于 APCS 电力清算与结算数据改编的工农业合成电力负荷概况。³⁷

通过这种方法，建立了各种时间序列，以 15 分钟为间隔进行能量流动建模。通过年度分析方式将供热部门纳入其中。针对建造或翻修年份不同的建筑类型，计算出平均用热需求，可以反映出模拟中各家庭的家庭能耗。³⁸分别对“低”、“中”、“高”供热需求进行模拟，将之与相应建筑结构的典型公寓或房屋规模相匹配。研究中使用了比较系数整合本地工业供热需求，该系数代表的是工业用热需求与家庭用热需求的比值，工业需求比家庭用热需求高 38%。³⁹

针对施瓦格村的调查设计

能量流动建模的最后一步是人口调查，在获得社区正式批准后，项目组对施瓦格村开展了调查。通过设计三种不同的调查表格，分别从家庭、本地企业以及本地行政部门收集数据。量身定制的调查设计，帮助评估施瓦格村部门耦合和能源转型之前及未来的发展，比较并调整潜在的情景假设。调查收集了三个关键子领域的数据和态度：交通、供热和电力使用。为了完成进一步分类和验证，也收集了额外的社会人口特征。家庭调查与企业及行政部门的调查不同，包括更多与参与者主观意见相关的问题。企业和行政部门的调查只收集具体数据，受访者不用为检索数据付出特别的努力；家庭调查不要求具体的能耗数据，因为这会造成巨大的时间负担，降低受访者的参与意愿。

问卷第 1 部分针对的是交通，请求提供与现有车辆、燃料和年行驶里程相关的信息。利用这些问卷结果，可以估算出当前车辆保有量中电动汽车的数量。调查过程中询问了参与者是否有意愿在未来购买电动汽车以及在何处给车辆充电。

调查的第 2 部分针对的是供热和电力。为了在不涉及私人数据的情况下获取相关信息，调查过程中请求参与者评估各自家庭供热和用电需求，使用“低”、“正常”和“高”三个类别评判。同时询问受访者目前使用的供热燃料和技术，以及他们是否有意愿将其供热和供冷系统转换为热泵等电气化系统。利用调查结果绘制了当前家庭消费的能流图，精炼了施瓦格村的供热和供冷情景。调查时也询问了受访者是自有房屋还是承租人，请求业主评估其未来是否有可能使用可再生能源供热。

最后，调查收集了关于家庭规模、就业人数、年龄结构和房屋类型等数据，据此可以估算出人口比例以及参与者的就业情况和人口结构。

施瓦格村的调查结果

2021年6月，伍珀塔尔研究所开展了对施瓦格村为期三周的调研。调研中联系了18家与慕尼黑机场无关的

企业，但回复率很低，因此未对此部分的调研结果加以利用。家庭调查的回复率约20%，为进一步评估提供了良好的基础。将调研数据按比例放大应用到整个施瓦格村后，结果如下表：

表：施瓦格村调研结果汇总

类别	结果	
交通		
汽车拥有率	98.8%的受访者拥有至少1辆车，73.3%拥有至少2辆，11.5%拥有3辆	
每年每辆车的平均行驶距离	13,000公里	
电动汽车拥有率	5%，大部分在家里充电 35%，未来可能购买电动汽车，其中87%会在家里充电 28%，尚未决定，其中40%认为如果自己有电动汽车，会在家里充电	
能源供应和消耗		
耗电量自我评估	低：10%，正常：62%，高：28%	
耗热量自我评估	低：13%，正常：69%，高：18%	
供热技术和燃料	油47%、气15%、热泵14%、生物质5%、其他19%、夜间储能1%	
对可再生能源的态度	太阳能制热：已经拥有27%、考虑27%、不考虑30%、未决定15% 太阳能光伏：已经拥有23%、考虑33%、不考虑26%、未决定18% 热泵：已经拥有13%、考虑30%、不考虑44%、未决定14% 热电联产：已经拥有0%、考虑25%、不考虑52%、未决定23%	
人口		
家庭规模	1人 13% 2人 39% 3人 27%	4人 18% 5人 1% 6人 2%
就业情况	至少1人：74%家庭 2人：62%家庭	
年龄	没有孩子（未满18岁者）的家庭：74%	

来源：伍珀塔尔大学，2022

调研的第一部分为交通。施瓦格村98.8%的受访家庭拥有至少1辆车，73.3%拥有至少2辆，11.5%拥有3辆。每辆车每年的平均行驶距离在12000公里-14000公里之间。截至2021年，大约5%的车辆所有人拥有电动汽车，大部分电动汽车都待在家里充电，只有一位受访者在公共充电站或工作时充电；35%的受访者未来可能考

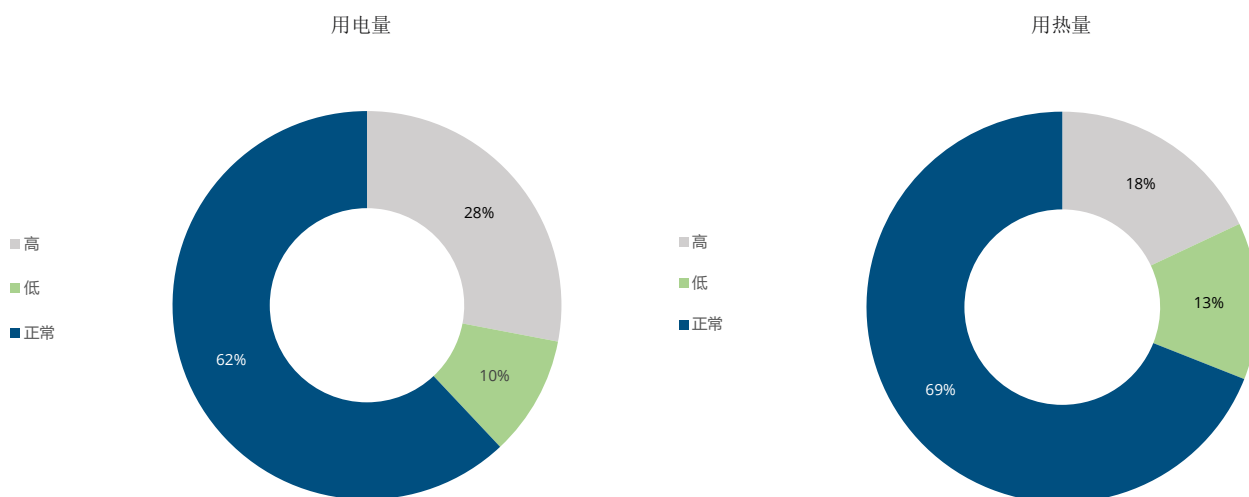
虑购买电动汽车，另有28%仍未决定。在这些会购买电动汽车的家庭中，87%表明会在家里充电，而在未决定者中，有40%表明会在家里充电。

调查的第二部分是能源生产和能源消耗，包括电力部门和供热部门。考虑隐私保护以及鼓励回应，调研过

程中并未试图收集关于精确消耗数值的信息，而是请求受访者以“低”、“正常”或“高”来评估自身的耗电量和耗热量。尽管这些类别可能看起来不精确，而且要

让受访者客观地评价可能极其困难，但我们认为要求精确的数据会导致大多数受访者拒绝填写或者拒绝交还调查表。

图：用电量和用热量的主观评价

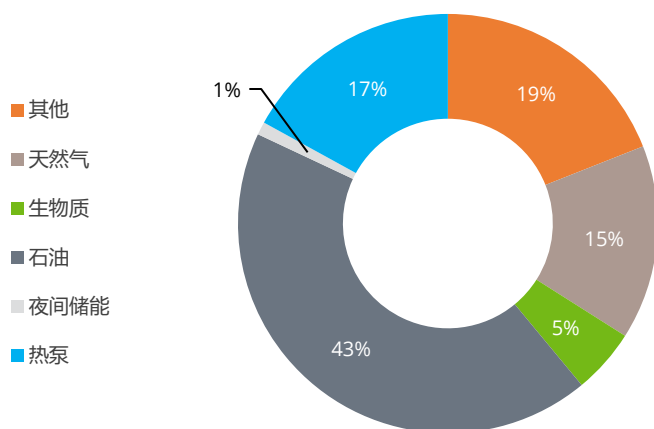


来源：伍珀塔尔大学，2021

不论是用电量还是用热量，大多数参与者的自我评估为“正常”，相比用热量，受访者更倾向于将家庭用电量评估为“高”。只有 10%-13%的受访者将用能量评

估为“低”。这一结果被用于确定家庭用电量的进一步分析中。

图：施瓦格村当前的供热技术

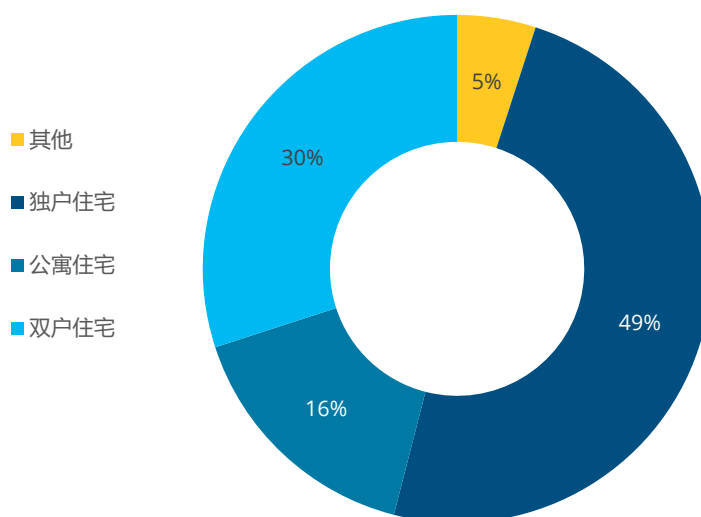


来源：伍珀塔尔大学，2021

调研收集了家庭供热源信息。施瓦格村供热依赖于多种燃料，其中燃油供热目前最常见，占比 43%；电热泵、天然气供热及其他类型的供热基本上平均分布，占

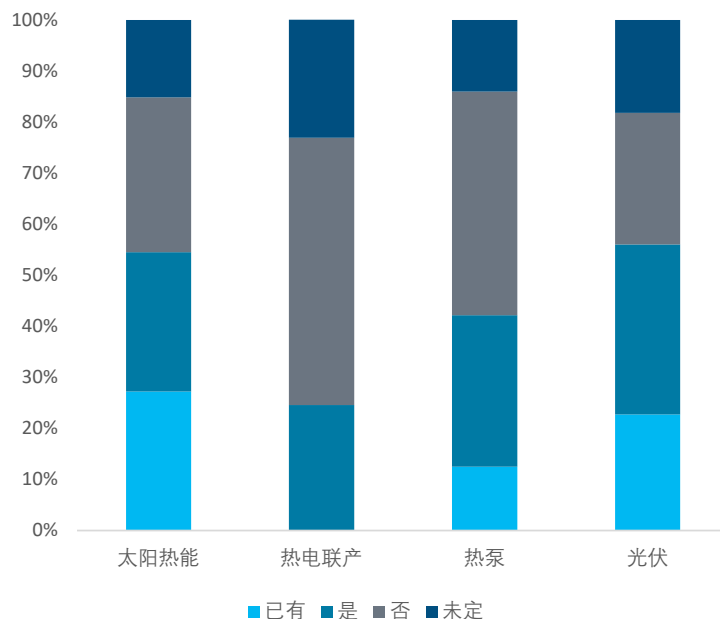
比在 15%到 19%之间。生物质和夜间储能加热器占比最低，分别为 5%和 1%。76%的受访家庭拥有自己的公寓或房屋，可以自行决定采用热泵和/或可再生能源。

图：施瓦格村目前房屋类型的分布



来源：伍珀塔尔大学，2021

图：施瓦格村对能源转型技术的态度

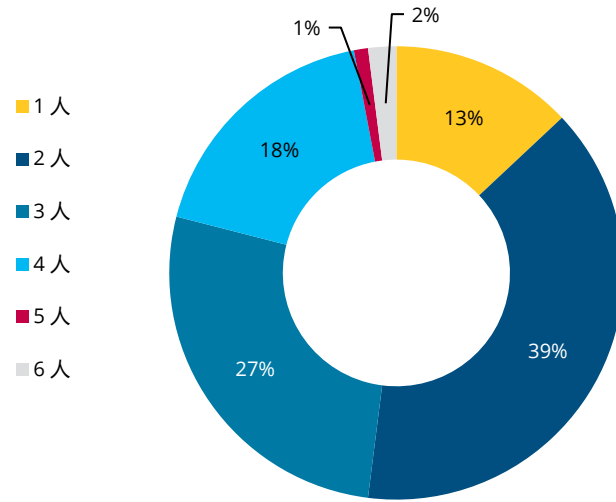


来源：伍珀塔尔大学，2021

将近 23% 的受访者已经拥有了光伏系统，另有 33.3% 未来可能安装光伏设备自行发电，仍有 26% 未做决定。在家庭供热方面，太阳能制热有较高安装比例，占 27%，另有 27% 未来可能做出改变，仍有 15% 未做决定。热泵安装比例较低，仅有 13%，有 30% 未来可能使用热泵，仍有 14% 未做决定。25% 的家庭会考虑采用热电联产，另有 23% 仍未做决定。

基于调研结果，将受访者分为不同组别进行情景假设，尤其是在光伏、热泵和电动汽车的使用方面。调查的受访者对这些技术都表达了兴趣，一部分家庭已经安装了热泵。受访者也有意考虑使用光伏系统发电，很多家庭已经安装了光伏系统——实际上，奥伯丁社区总装机量已达 6,820 兆瓦，对于这种规模的社区而言，装机量已经非常高。

图：施瓦格村的家庭规模



来源：伍珀塔尔大学，2021

调研结果表明施瓦格村居民对能源转型技术保持高度开放态度，当按比例放大调研结果，估算相关技术在施瓦格村所有居民中的渗透率后，这一点变得尤为明显。根据估算，施瓦格村已有 20 辆电动汽车和 40 台热泵。为了预测未来发展，将调研结果扩大到施瓦格村全部人口。在调查询问未来购买电动汽车或者热泵的问题时，并未界定时间范围，所以假设购买将在 2030 年之前发生。“是”指在 2030 年之前购买，假设未决定者持乐观态度，

也决定在 2030 年之前购买。基于这一逻辑，以 2030 年为目标年份，预计在“趋势”情景下，施瓦格村届时将有 175 辆电动汽车和 135 台热泵，在“乐观”情景下，将拥有 300 辆电动汽车和 180 台热泵。值得注意的是，选定情境下（参见附录）计算出的 2030 年的数据比同年的调查结果更悲观。本分析采用了 2035 年的数据，因为这些数据更具有有一致性。下表比较了调查评估的匹配情景：

表：基于调查的情景选择

	电动汽车的数量		热泵的数量		情景选择
	调查	匹配情景	调查	匹配情景	
当前	20		40		
趋势情景	175	157	135	102	趋势情景 2035， 德国能源署-TM95 2035
乐观情景	300	204	180	216	乐观情景 2035， 德国能源署-EL95 2035

来源：伍珀塔尔大学，2021

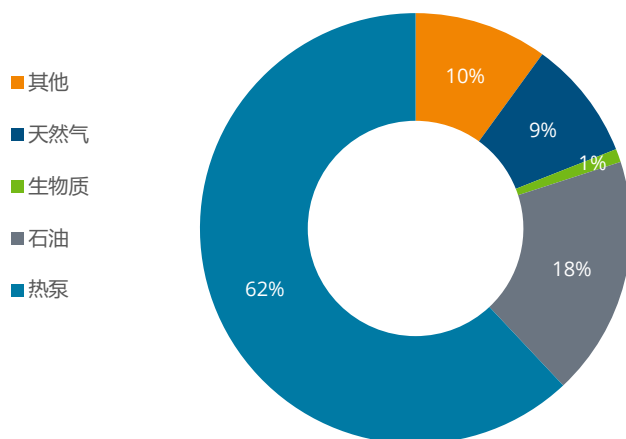
选择两个情景进一步分析，第一个是“趋势”情景，其中融合了趋势情景 2035、德国能源署 TM95 情景 2035 和电网发展计划情景 A 2035。总的来说，趋势情景代表

了对电气化和光伏扩张更保守的假设，以及对 2020 年左右趋势的推断。第二个是“乐观”情景，包括乐观情景 2035、德国能源署 EL95 情景 2035 和电网发展计划情景

C 2035。⁴⁰这两种情景促成了对总用电需求的估算，整合了与交通和供热部门电气化不断提升的相关信息，以及未来主要通过光伏系统发电的前景和实现自给自足的相关潜力。假设总用热需求不变，只是供热来源随时间发生变化，由于上文所述供热部门电气化的不断提高

以及油加热的逐步取代（德国能源署情景中也描述了这一点），2030 年的供热需求分布将与目前的情况大相径庭。下图展示了最终分布情况，作为德国能源署 EL95 情景的一个范例：

图：德国能源署 EL95 情景 2035 中施瓦格村的供热情况



来源：伍珀塔尔大学，2021

油供热的占比将大幅下降，最终彻底消失，生物质、沼气及其他技术也会在供热中占较小比例。根据研究，2030 年电热泵可以满足 62% 的供热和供冷需求。

基于这些结果，融合了“低”、“正常”和“高”耗电量估算值后，可以估算出整个施瓦格村的家庭和商业耗电量（不包括电动汽车和热泵）为 1234 兆瓦时。基于本研究的前提（下文中将更详细地讨论），假设商业部门有相同的耗电量。

分析——施瓦格村

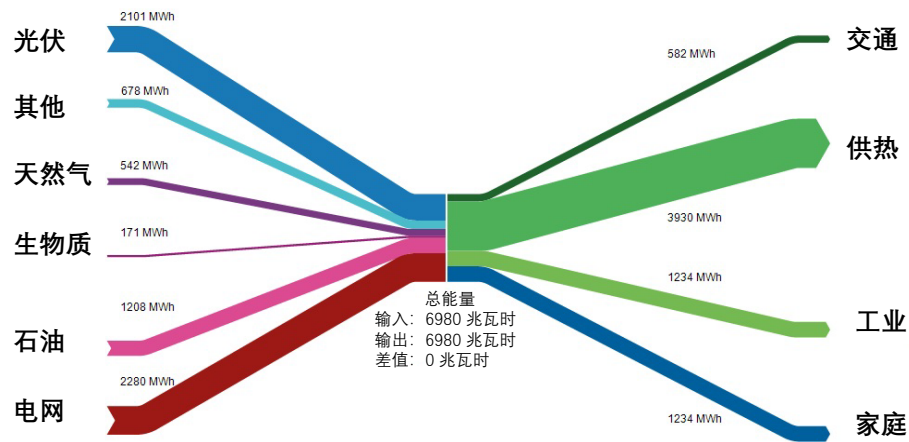
我们的分析综合了能源调查结果、公开数据、公共事业数据以及针对能源转型技术（例如电动汽车、热泵

和光伏）应用的各种预测。我们用这些数据和预测绘制了施瓦格村当前及未来的一系列能流图，模拟了村庄和家庭层面上的每月及每小时能源生产和消费。总体上，我们发现施瓦格村实现能源自给自足的可能性很大，但因为每日和季节性的变化较大，也就意味着在中期内，村庄依然需要与电网保持高度连接，而在长期内，有提高储能技术的应用潜力。

“趋势”和“乐观”情景的结果表明施瓦格村的年能耗在两种情景下几乎没有差别。“乐观”情景下，热泵和电动汽车的占比较高，但因为我们出于简化考虑并没有将油耗纳入到能量流动模型中，所以这表明电动汽车的应用会使净能耗增加，抵消“乐观”情景下应用热泵所带来的能效提升。

图：“趋势”情景下施瓦格村的年度能量流动

趋势情景

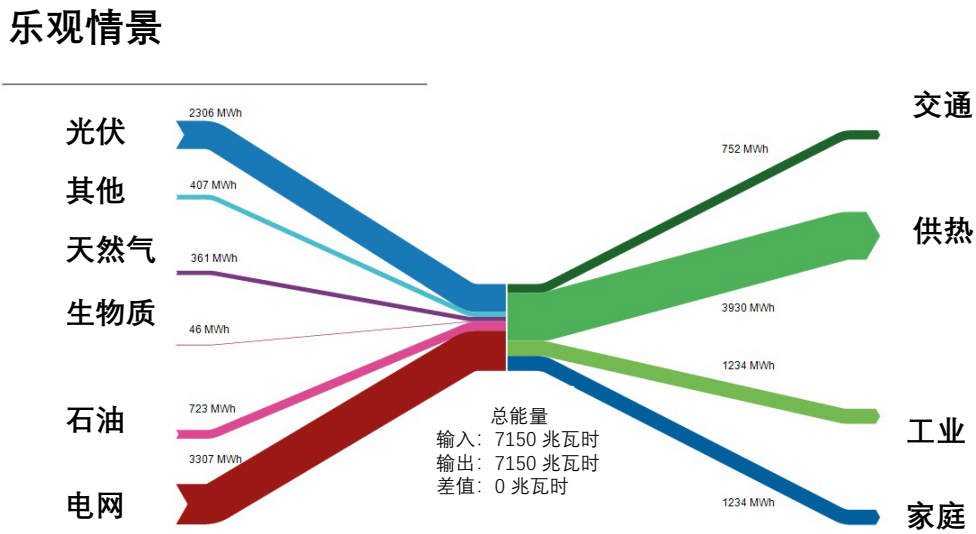


来源：伍珀塔尔大学

简化的桑基图展现了“趋势”情景的结果，单位为兆瓦时。输入侧表明能量生产主要采用电力形式——来自电网和本地安装的光伏。总的来说，电能占此情景下所需总能量的 63%左右。我们假设通过光伏发电的方式提供太阳能的能量；我们将所有太阳热能归入“其他”类别。在“趋势”情景下，化石燃料依然占比较高，占到能源供应的 25%。注意此模型中包含的化石燃料仅代表供热部门使用的化石燃料，不包括用于交通运输的汽油。25%的数字中也不包括用于电网电力的任何化石燃料。

用热需求在能耗中占比最大，占总需求的 56%。热泵只满足了部分用热需求。工业和家庭的用电需求一致，如已在假设中描述的一样。在能流图中，“家庭”类别不包括任何热泵或者交通能耗。总体上看，“工业”和“家庭”类别占总能源需求的 35%。“交通”类别仅指电动汽车充电的用电需求。总的来说，电动汽车占总能量需求的 8%。“趋势”情景下，在只考虑光伏馈入电网时，施瓦格村一整年内总能耗的自给自足率可以达到 30%。

图：“乐观”情景下施瓦格村的年度能量流动

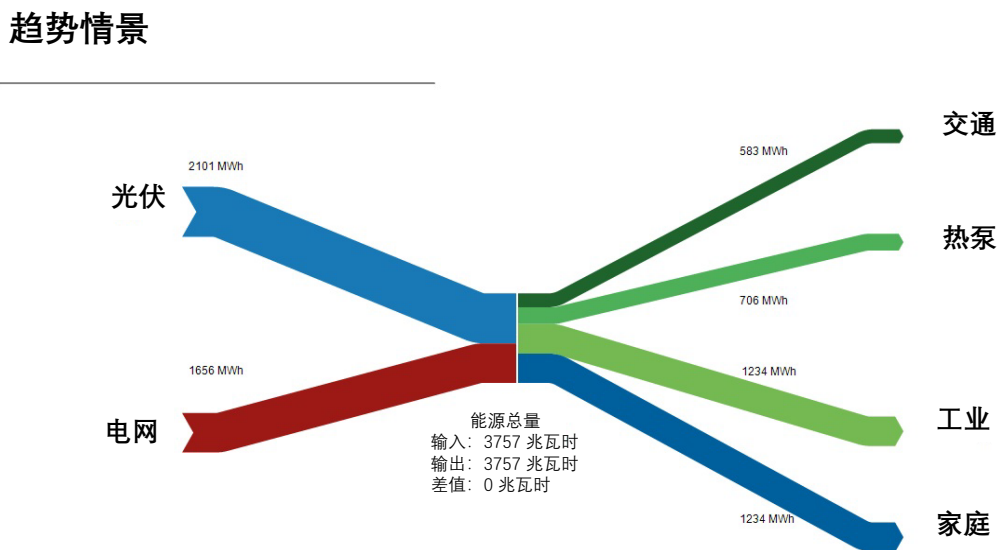


来源：伍珀塔尔大学

上图展示了“乐观”情景下的能量流动，输出侧的情况看起来与“趋势”情景下非常相似。主要的差别在于电动汽车的能源需求，这是因为在“乐观”情景下，电动汽车的数量要大得多。此情景下，总能源需求中大约有 11%用于电动汽车充电。在输入侧，“乐观”情景与“趋势”情景相比存在更大的差别。“乐观”情景的特征是化石燃料的占比要低得多，仅为 15%，相比于

“趋势”情景下的 25%。光伏的占比在“乐观”情景下为 32%，在“趋势”情景下为 30%。这种细微的差别源自于电网发展计划（GDP）情景 A 和情景 C 之间的小偏差。电网供电的占比为 46%，满足了最大份额的能源需求。其原因是在德国能源署 EL95 情景下，电动汽车的数量不断提高，供热部门的电气化程度高。在“乐观”情景下，施瓦格村实现了 32%的年自给自足率。

图：“趋势”情景下施瓦格村的年度电力流动

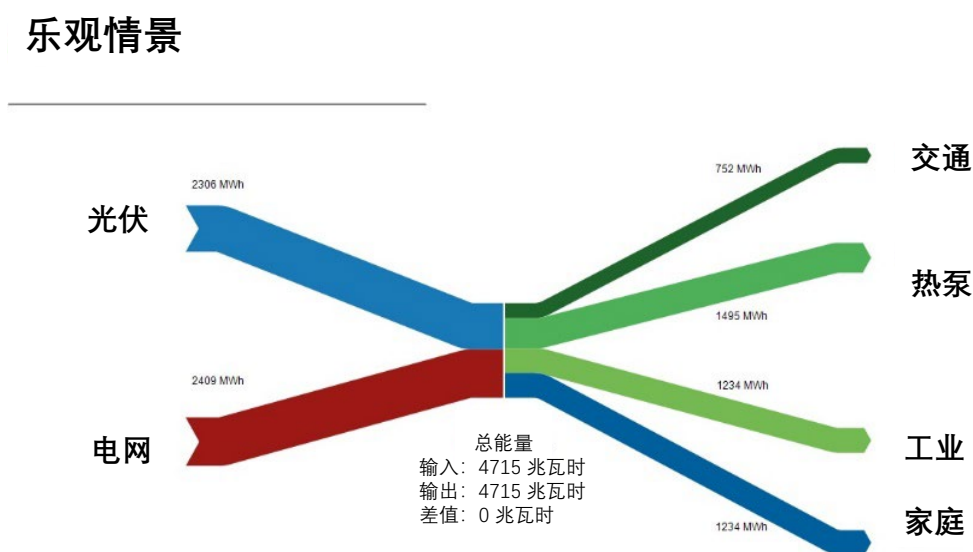


来源：伍珀塔尔大学

如果我们只考虑电能流动，自给自足的情况会大不一样。因为供热占到电能需求的 50%以上，所以只当考虑电力时，自给自足率就会截然不同。上图展示了“趋势”情景下施瓦格村的电力状况。“趋势”情景下，施瓦格村的年度电能需求为 3,757 兆瓦时。“家庭”和“工业”类别分别占到三分之一左右的需求。电动汽车充电在总电力需求中的占比约为 16%，热泵约为 19%。在输入侧，只有 44%的电力需求依然需要通过电网提供。在一整年内，光伏系统可以提供 56%的电力负荷。

下图展示了“乐观”情景下施瓦格村的电力状况，其特点是用电需求要高得多。总的来说，电力需求增加了 25%左右，因为“乐观”情景下供热和交通部门的电气化程度更高。尽管“工业”和“家庭”类别的能耗保持不变，但通过电网供应的电力占比有所提高以满足供热和电动汽车充电的额外用电需求。光伏系统提供了 49%的电力，因此，“乐观”情景下的自己自足程度略低于“趋势”情景。考虑到“乐观”情景下的电器化程度高得多且两种情景下的光伏发电量差别不大，所以较低的自给自足率并不出乎意料。

图：“乐观”情景下施瓦格村的年度电力流动

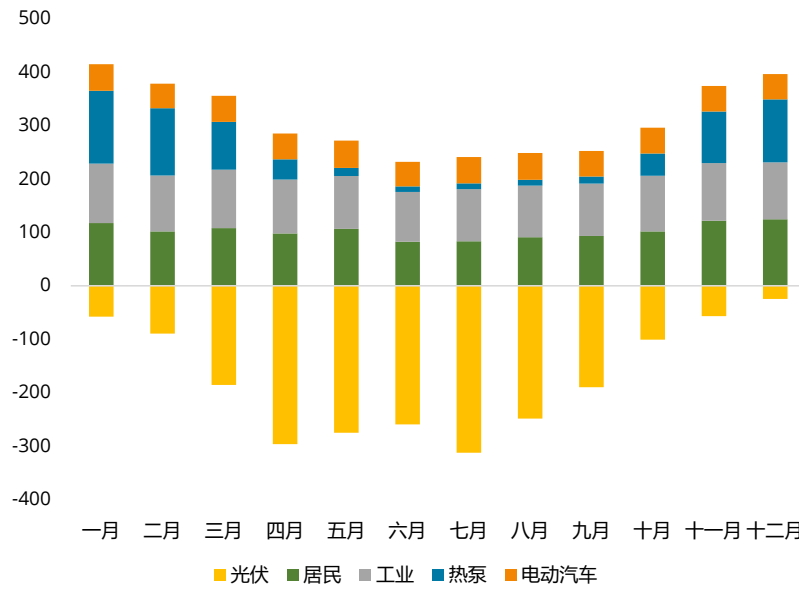


来源：伍珀塔尔大学

但是，在一年内，“趋势”和“乐观”情景下的自给自足率可能波动很大。尤其是，光伏发电量和供热电力需求呈负相关。光伏发电量夏季最多，而供热需求发

生在冬季。相比中国东桥头村，施瓦格村的电力需求和光伏发电之间的季节性不平衡更加突出。

图：“趋势”情景下施瓦格村月电力需求的比较

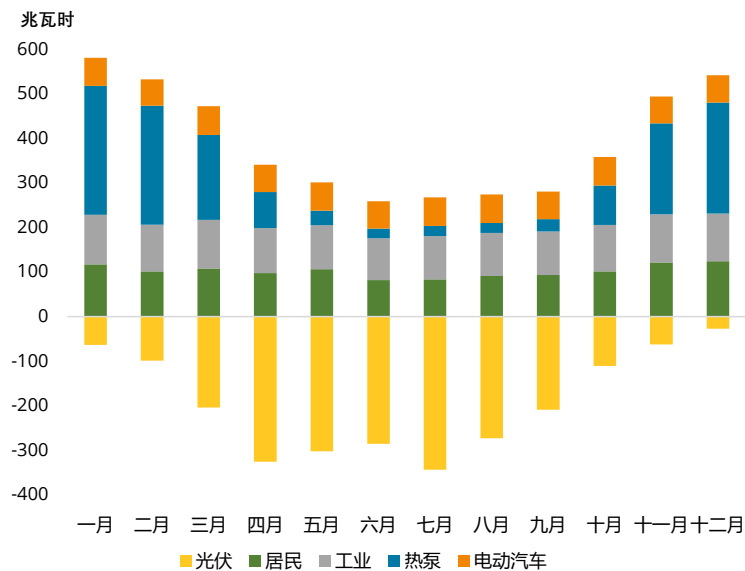


来源：伍珀塔尔大学

如上图所述，热泵的电力需求在11月到3月的供暖季大幅提高。在4月到9月之间，家庭主要使用热泵加热水——我们估计该地区的典型家庭几乎没有制冷需求，因为德国的夏天大都天气和煦，大部分时间里，并没有使用空调的必要。电动汽车的充电需求几乎没有展现出季节性变化。（与电动汽车负荷一样，工业需求也展现出了相对较低的季节性变化。）总的来数，因为供热需

求以及照明需求，家庭在冬季月份的耗电量更高。光伏的电网馈入所展现的季节性变化最为明显。3月到9月之间的馈入量相当大，相比较而言，10月到2月的馈入量则极小。月耗电量在230兆瓦时到415兆瓦时之间波动。这导致了个别月份具有总体较高的自给自足率。在12月，一个家庭的自给自足率只能达到6%，而在7月，其自给自足率则能达到130%。

图：“乐观”情景下施瓦格村月电力需求的比较



来源：伍珀塔尔大学

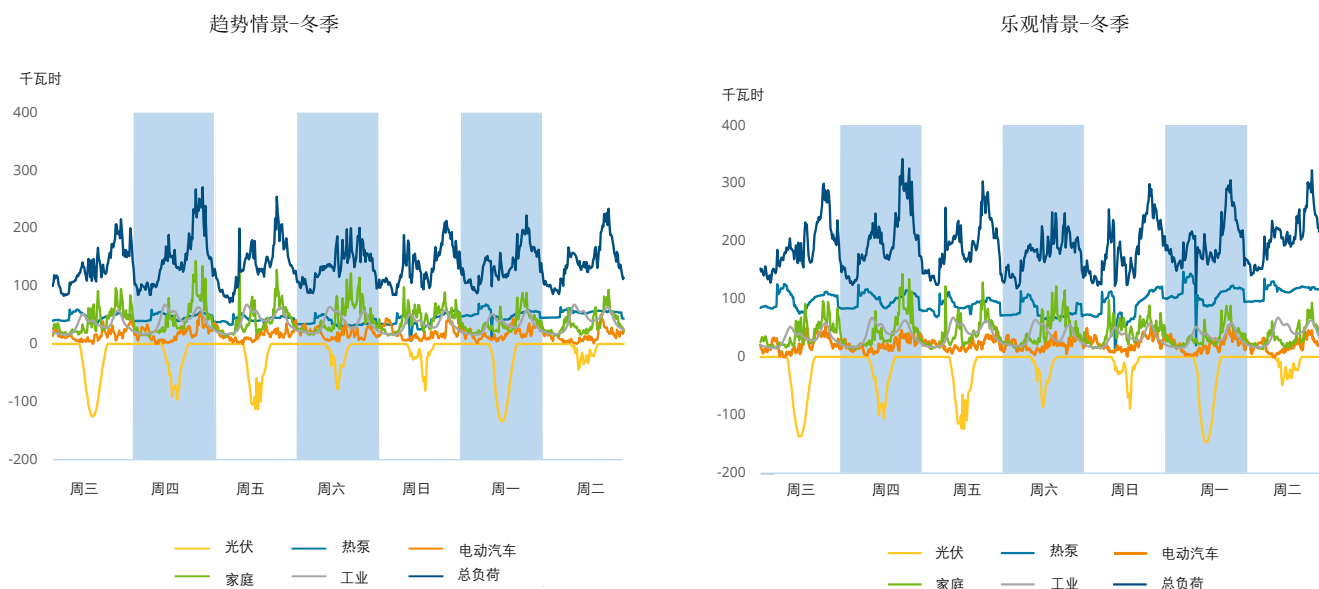
“乐观”情景下，不同月份的光伏发电量与“趋势”情景下的光伏发电量都相当类似。相比于“趋势”情景，“乐观”情景下的热泵用电需求在夏季月份和冬季月份之间的差别就大得多。与“趋势”情景一样，电动汽车充电的用电需求在一年内的波动很小。然而不同情境下的电动汽车的用电量却大相径庭，“乐观”情景下电动汽车的月用电量比“趋势”情景高 14 兆瓦时。

总的来说，“乐观”情景下用电量的季节性变化比“趋势”情景大得多，主要是因为热泵的使用量更高以及由此导致的冬季用电量的增加。“乐观”情景下，不同月份之间的用电量差别最高达到 270 兆瓦时，相当于所有家庭年用电量的五分之一左右。“趋势”情景下，夏季月份和冬季月份之间用电量最大差别还不及“乐观”

情景的一半。如上文所述，“乐观”情景下的光伏发电量与“趋势”情景类似，只是总馈入量略高。“乐观”情景下，不同月份的自给自足率也差别巨大，冬季最低可低至 5%，夏季最高可达到 128%。因此，“趋势”情景下的自给自足率比“乐观”情景略高。如果我们进一步审视两种情景下不同月份的自给自足率，“趋势”情景下，有 5 个月的自给自足率至少达到 100%。“乐观”情景下，只有三个月的自给自足率高于 100%。自给自足率之所以较低，主要是因为热泵使用量更高，使得季节性光伏发电和热泵用电更加不匹配。

在施瓦格村，不仅光伏发电量和家庭供热负荷呈现出巨大的季节性变化，日内的用电量也表现出高波动性。下图展示了两种情景下一个示例冬季周的模拟结果。

图：两种情景下典型冬季周的负荷曲线

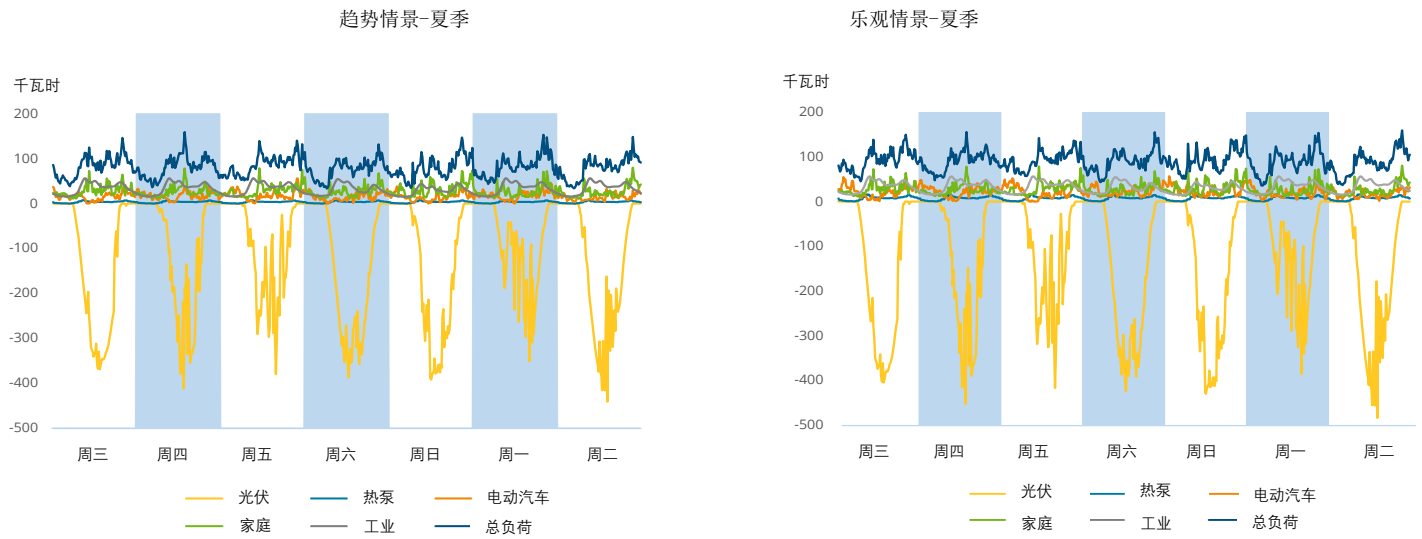


来源：伍珀塔尔大学

德国冬季典型周内，光伏系统的发电量相比其他季节非常少。在夏季月份（6 月到 8 月），德国的施瓦格村和中国的东桥头村的太阳能辐照量相似，但在 12 月到 2 月，施瓦格村的辐照量只有东桥头村的 40%。在施瓦格村，最好的情况下光伏板最多只能在早上 9 点到下午 4 点的时间段内发电，冬季的发电量会因为多变的云量和天气条件而呈现出高波动性。最大发电量的峰值差别最多可达 3 倍。光伏发电量很少超过村庄的最低负荷。“乐观”情景下的光伏负荷比“趋势”情景高得多，不论峰值负荷和最低负荷均是如此，“乐观”情景下的峰

值负荷最多比“趋势”情景高出 70 千瓦时，最低负荷最多也比后者高出 40 千瓦时。此外，峰值负荷通常发生在光伏发电峰值之前或之后。这种模式可能使自给自足率即便在冬季也相当高，但这仅发生在少数时间段内。“乐观”情景实现了 91% 的自给自足率，而“趋势”情景（热泵和电动汽车的较低负荷）在太阳能发电量峰值期实现了 115% 的自给自足率。但是在整个样本周内，能源负荷大幅超过馈入电网的能源，因此“乐观”情景下的自给自足率为 9%，“趋势”情景下为 11%。

图：两种情景下典型夏季周的负荷曲线



来源：伍珀塔尔大学

在日照时间更长也更稳定的夏季月份，情况也类似。样本的冬季周有七个小时的日照，而夏季周的日照时长达 13 个小时，几乎翻了一番。日馈入电网量峰值有时候比冬季比冬季周高出三倍，但相比冬季周日间差异却很小。尽管在冬季示例周，两种情景下的总负荷曲线表现出巨大差异，但在夏季周，两种情景下的最低和最高负荷几乎一致。这主要是因为夏季，热泵通常专用于加热水，而巴伐利亚州的供冷负荷依然较低。施瓦格村夏季（七月）的平均温度为 16.5℃，平均最高气温为 23℃，平均最低气温为 12℃。“乐观”情景下，更多的电动汽车并不一定会让负值负荷变高，因为电动汽车不需要在负荷峰值期充电。

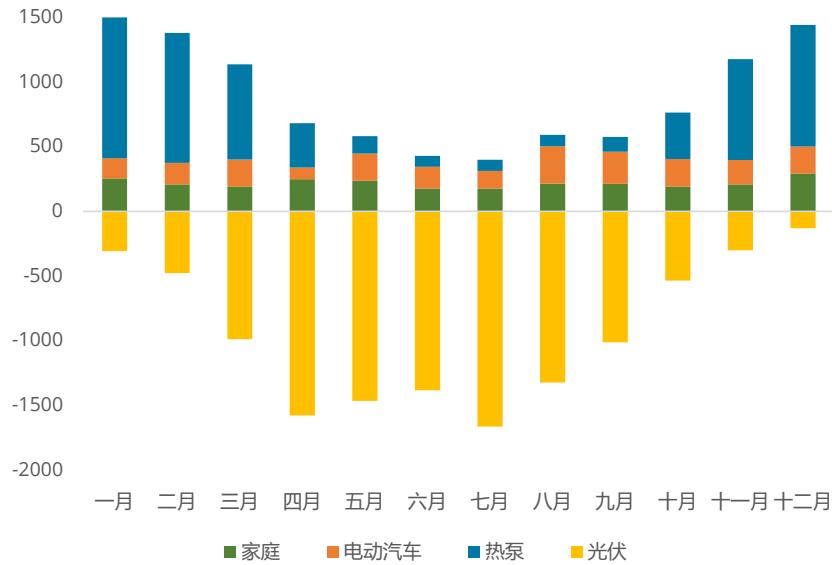
冬季热泵负荷占每日峰值负荷的很大一部分，几乎 100% 的时间都与峰值负荷相重合，因此“乐观”情景下的冬季负荷峰值大幅增加。在自给率方面，负荷大幅下降，馈入时间明显更长、数量更大。两种情景下的案例周中，光伏发电在大多数时间里，自给自足率都大于等于 100%。某些情况下，馈入电网的电量超过了所需电量 6-7 倍。在案例周内，两种情景下的自给自足率非常相似，“趋势”情景下为 138%、“乐观”情景下为 137%。

总的来说，上图体现了储存光伏发电量的需求。尤其是在夏季，光伏发电量远高于总用电量和日间峰值用电负荷，所以储能可以留存剩余电力，以供在夜间以及缺乏光伏输出的其他时间段使用。甚至在冬季的某些时间段，家庭也会需要储能，以充分利用生成的电力。

除了对整个施瓦格村进行研究，也可以分析个别家庭的自给自足程度。采用基于时间序列的模拟对能量流动建模，预测 2030 年一个家庭的用电需求。以一个拥有一辆电动汽车、配备一台热泵和一套光伏系统的四口之家为例，家庭能源需求设定为 4 个人的正常消耗，即用电量为 3,800 千瓦时，家庭电动汽车年行驶里程为 13,000 公里，热泵的装机功率为 3 千瓦，光伏系统装机容量为 12 千瓦。理论上，光伏系统的设计是为了满足家庭一整年的全部电力需求，以消耗的千瓦时电力计算。

月用电需求和发电量的比较如下图所示。对个体家庭的研究能明显看出用电量和发电量之间的巨大季节性差异。热泵是家庭电力消耗的主要驱动力，尤其是在冬季月份，热泵占电力需求的大部分。另一方面，正常家庭的用电量以及给电动汽车充电所需的电量在一整年内是相当稳定的。但是，这个用电量太小，不足以消耗夏季巨大的发电量，这就导致了在夏季月份，发电量比用电量高 4 倍。冬季的馈入量不足以满足需求，在图示案例中，这种情况导致了 9% 的最低自给自足率。在一整年时间里，家庭可以在净能源基础上完全实现自给自足。年用电量大约为 11,000 千瓦时，而光伏系统的发电量略高于 11,000 千瓦时。与 2021 年的家庭相比，2030 年的家庭用电需求增长了约三倍，但总的来说，到 2030 年家庭可以在净能源基础上完全实现一年内的自给自足。

图：2030 年四口之家的月用电量



来源：伍珀塔尔大学

研究问题、假设和方法——东桥头村

研究框架

东桥头村的研究聚焦于以下问题：

- 子系统之间的能量流动有多大？
- 一个中等家庭的能耗模式和能量流动是什么样的？
- 本地存在哪些可再生能源？村庄实现自给自足的潜力有多大？
- 在 2030 年之前，能源系统应该朝着什么方向发展？

研究围绕东桥头村行政地理边界内的耗能，主要包括：

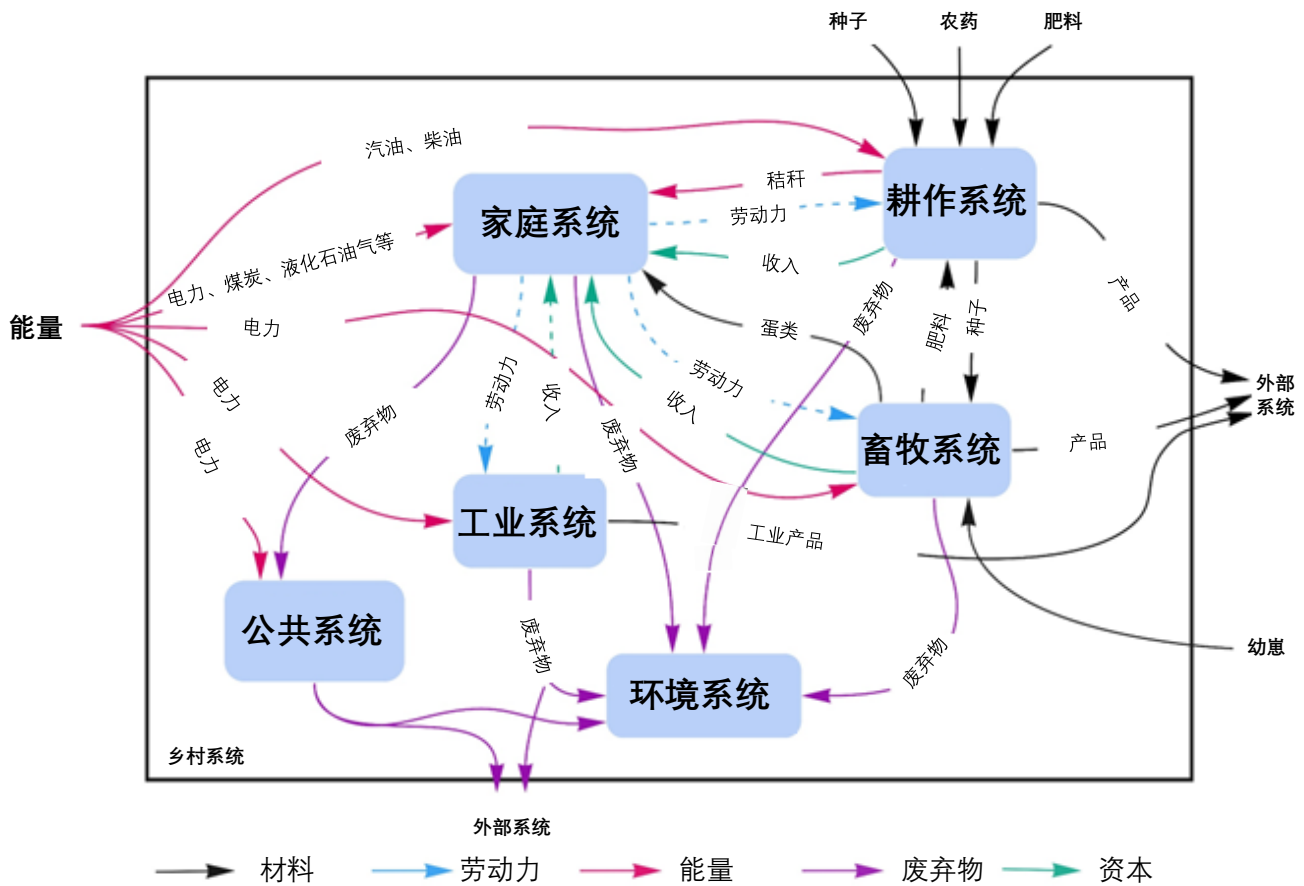
- 能耗的输入和输出
- 能源生产潜力的计算和确定
- 村庄的能量构成和服务
- 村庄内的能量转换
- 村庄内的能耗流动

模型涵盖了生产和生活活动的特征，将整个能源系统分为六个子系统：

- 家庭
- 公共空间和系统
- 耕种
- 畜牧
- 工业
- 环境

模型探索了整个村庄行政边界内的能量、人员以及材料/产品（与能量相关，尤其是生物质）的流动。能量流动以千克煤炭当量（kgce）计量。在输入方面，考虑了地方层面的主要可用能源。除了个别系统内的材料流动以外，也包括子系统间的交互。交互过程中产生的产品、服务和废弃物被部分用于满足本地生产和生活需求或者直接排放到本地环境中，剩余部分则进入村庄之外的社会经济市场，以创造更多收益。通过与村庄外环境系统的交互，运输及消耗所产生的废弃物。

图：东桥头村能量流动示意图



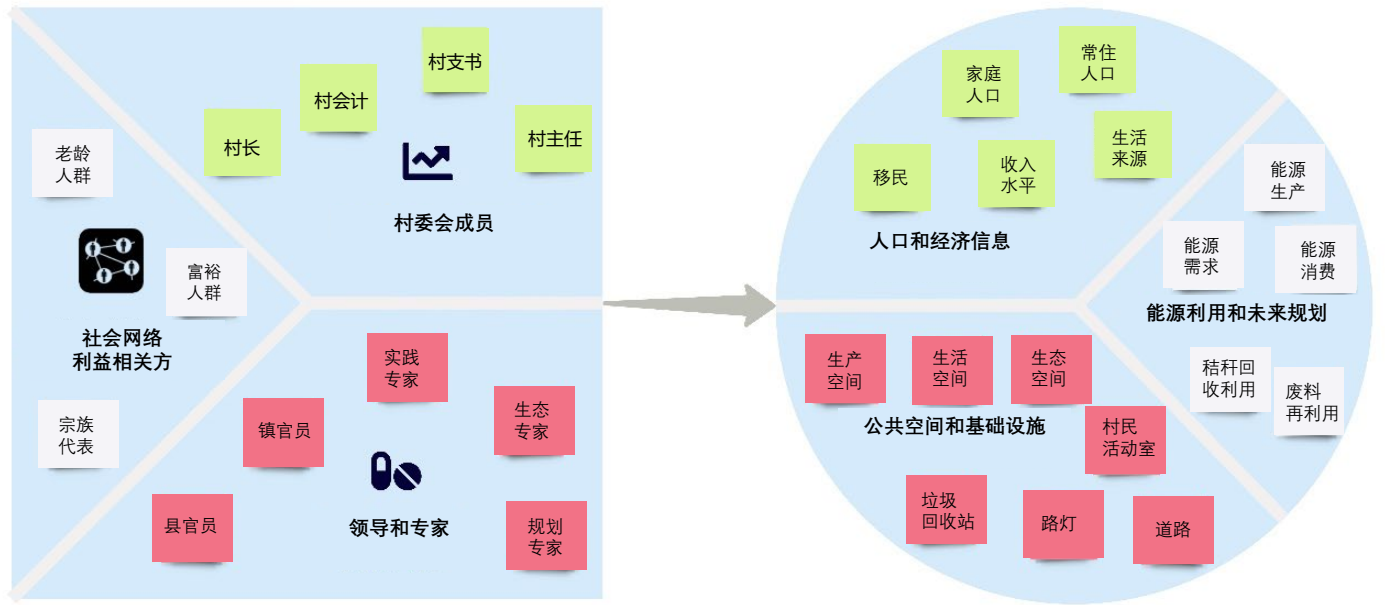
来源：中国科学院应用生态研究所

在东桥头村基于问卷的调查和半结构性访谈

问卷设计和研究综合使用了自上而下和自下而上的方法。自上而下的方法是通过与专家和研究人员的讨论，制定框架，确定相关能源指标。自下而上的方法依赖于本地的村民和干部，从最基础的社会单元角度，了解家庭属性和资源利用相关信息，促使其参与到研究过程中。

通过与镇干部的沟通，了解了本地的发展水平；从村干部处获悉了整个村庄的基本情况和未来发展趋势；与村民的访谈帮助研究团队深入了解了村户当前发展状态；通过年长者了解与整个村庄发展历史相关的信息。

图：调查目标群体的概况及调查的信息

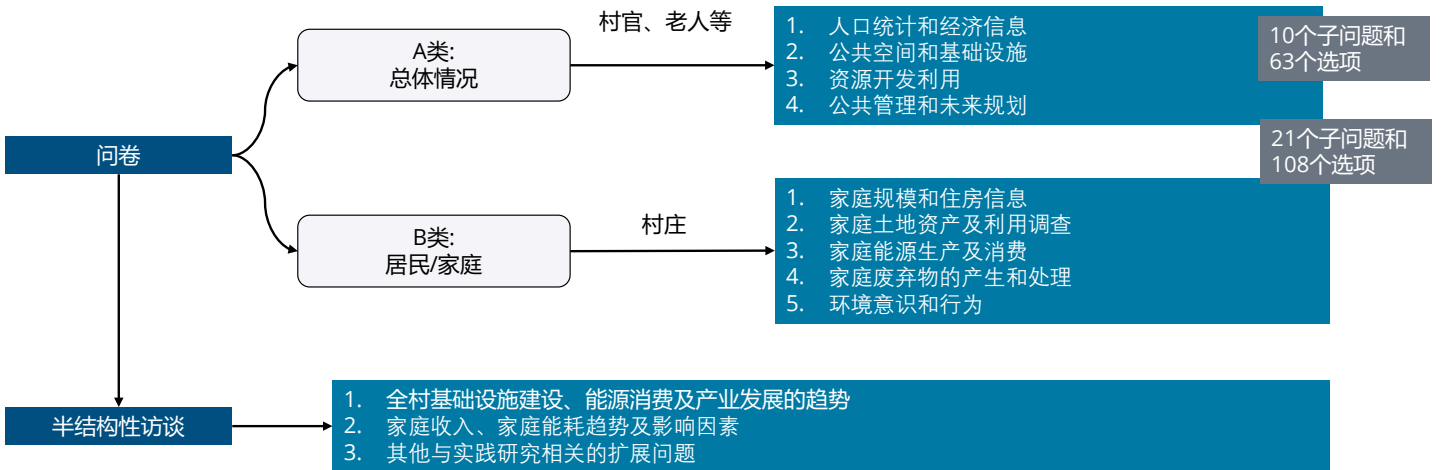


来源：中国科学院应用生态研究所

数据收集的目标包括社会经济信息、村庄公共空间和基础设施以及能源使用和未来规划。在村庄公共空间和基础设施层面，焦点是从生产空间、生活空间和生态空间的角度审视村庄空间类型的转变。综合分析研究了家庭空间和公共空间的构造，推断了路灯、道路和垃圾

处置点等公共基础设施的使用变化。关于能源使用和未来规划，从能源生产和消耗角度探索了村庄的能源需求转变，分析了与本地资源可用性相关的资源使用发展，评估实现资源利用率最大化的潜力。

图：东桥头村调查和访谈流程



来源：中国科学院应用生态研究所

情景和假设

为了分析村庄未来能源供应和消费的潜在结构，本研究使用了基于村庄现状的三个情景，并与光伏、交通和供热相关。

2020年东桥头村有大约1,010辆电动车，大部分是用于短距离出行的小型两轮车或三轮车，包括560辆两轮电动车、400辆三轮电动车和50辆四轮电动车。包括内燃机车辆在内，共有220辆四轮车。两轮电动车轻便快捷，适合一到两人的短途出行；三轮电动车更适合需要运输货物或大件物品的家庭。随着城市化的推广，农村地区人口老龄化问题日益突出，老年人往往倾向于使用三轮电动车。随着新能源车的推广，四轮电动车成为一些家庭的出行选择，因为其速度更快、舒适度更佳，所以更受欢迎。假设两轮电动车和三轮电动车平均三天充电一次，一次充电六个小时，而四轮电动车五天充电一次，一次充电八个小时。

东桥头村依赖燃煤供热，只有一小部分家庭使用电力供热。东桥头村的供热季通常会持续四个月，从11月中旬到次年3月中旬。

截至2020年，共有32户人家安装了太阳能光伏。屋顶区域宽敞、适合安装太阳能板的村户可以将屋顶出租给供电公司。与村民沟通后发现，越来越多的家庭有意安装光伏板并期望从中获利。

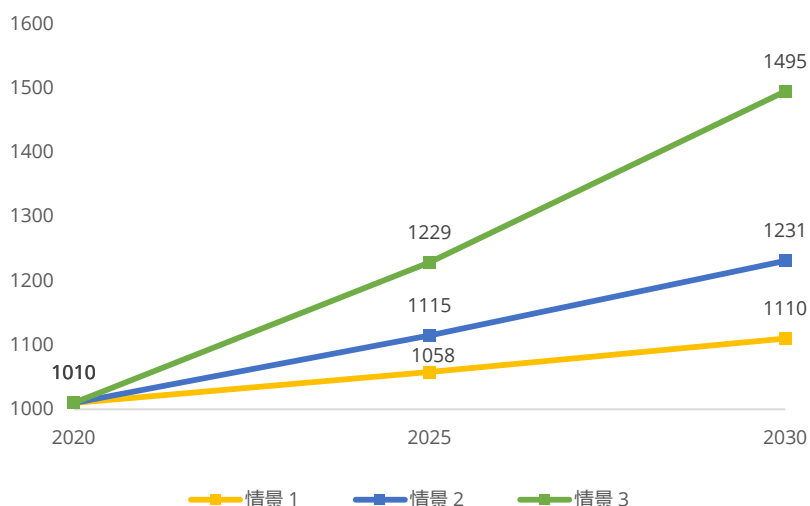
本研究基于整个村庄的发展现状设定了三种未来情景：情景1（基线情景）、情景2（轻微增长情景）和情景3（乐观情景）。

情景1（基线情景）：受调查村户使用的各种耗能设备的未来发展是基于整个村庄的当前趋势。村庄内电动汽车的总量将在2025年达到1058，2030年达到1110；空气源热泵的数量将在2025年达到10，2030年达到30；安装光伏发电系统的家庭数量将在2025年达到80，2030年达到145。

情景2（轻微增长情景）：受调查村户使用的各种耗能设备的数量呈现出轻微增长趋势。电动汽车的总数量将在2025年达到1,115，2030年达到1,231；空气源热泵的数量将在2025年达到25，2030年达到60；安装光伏发电系统的家庭数量将在2025年达到130，2030年达到250。

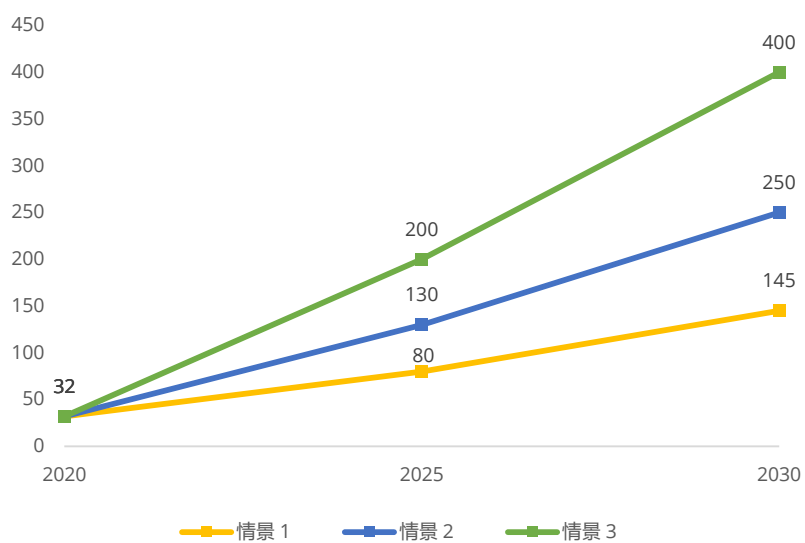
情景3（乐观情景）：村内各种清洁能源技术呈现快速增长趋势。四轮电动汽车未来有巨大的发展空间，总数量将在2025年达到1,229，2030年达到1,495；空气源热泵的数量将在2025年达到50，2030年达到110；安装光伏发电系统的家庭数量将在2025年达到200，2030年达到400。

图：三种情景下东桥头村的电动汽车总数



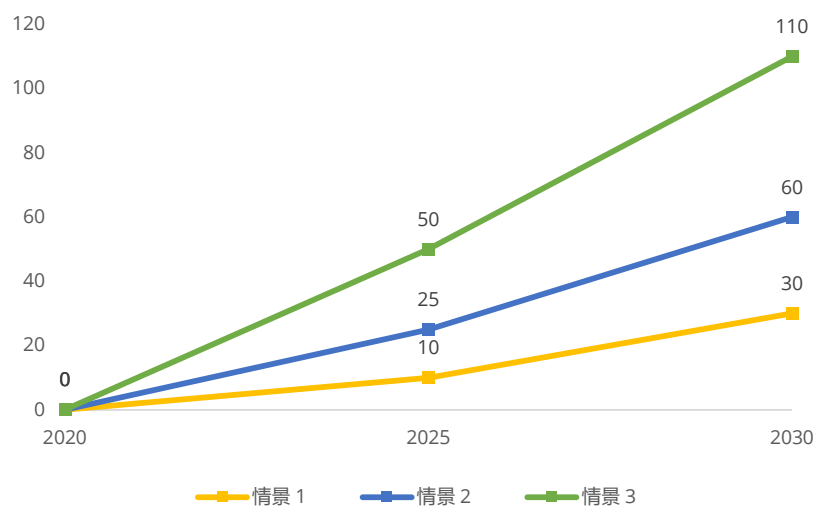
来源：中国科学院应用生态研究所

图：三种情景下东桥头村安装太阳能光伏系统总数



来源：中国科学院应用生态研究所

图：三种情景下东桥头村空气源热泵总数



来源：中国科学院应用生态研究所

调查结果——东桥头村

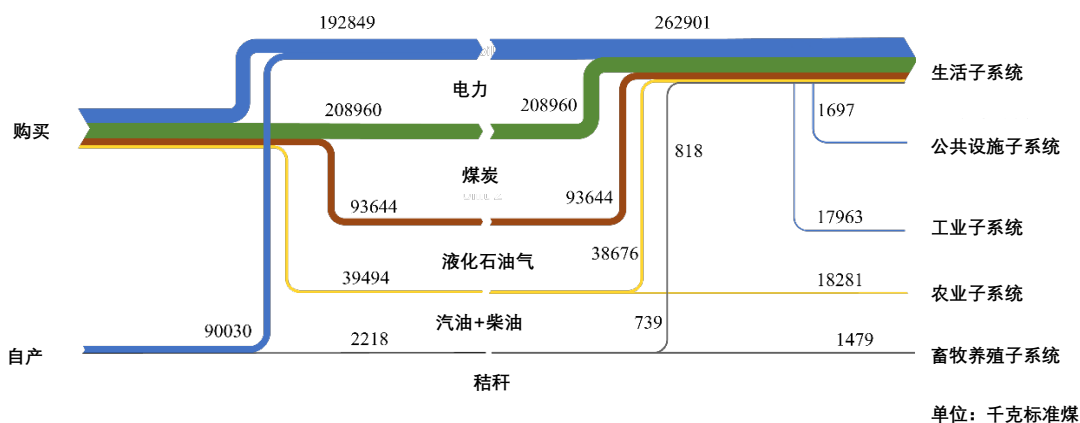
村庄的整体能源结构

2020年，整个村庄的能耗为626,196千克煤炭当量（5,106兆瓦时），包括192,849千克煤炭当量的电网电力（1,570兆瓦时，总能耗的30.7%）、208,960千克煤炭当量的煤炭（1,701兆瓦时，总能耗的33.3%）、93,644千克煤炭当量的液化气（762兆瓦时，总能耗的14.9%）以及来自村外社会和经济系统的39,494千克煤炭当量的汽油和柴油（322兆瓦时，总能耗的6.3%）。秸秆和户用光伏构成了本地产能的大部分，户用光伏产能90,030千克煤炭当量（733兆瓦时，总量的14.4%），秸秆为2,218千克煤炭当量（18兆瓦时，总量的0.03%）。

在能源使用方面，电力消耗主要发生在家庭、公共设施和工业发展子系统中，其中家庭子系统为最大的耗电类别，占总耗电量的90.06%，煤炭及液化气的消耗也大多发生在家庭子系统中，约97.93%的燃油消耗发生在家庭生活子系统中，不到3%用于农业耕作子系统。大多数本地产秸秆返回到土地中，用于家庭子系统的数量为739千克煤炭当量（6兆瓦时），用于畜禽养殖子系统的数量为1,479千克煤炭当量（12兆瓦时）。

总的来说，村庄能量输入中有约70%来自于外部购买，约30%为本地生产。

图：东桥头村的能量和材料流动以千克煤当量计算（2020）



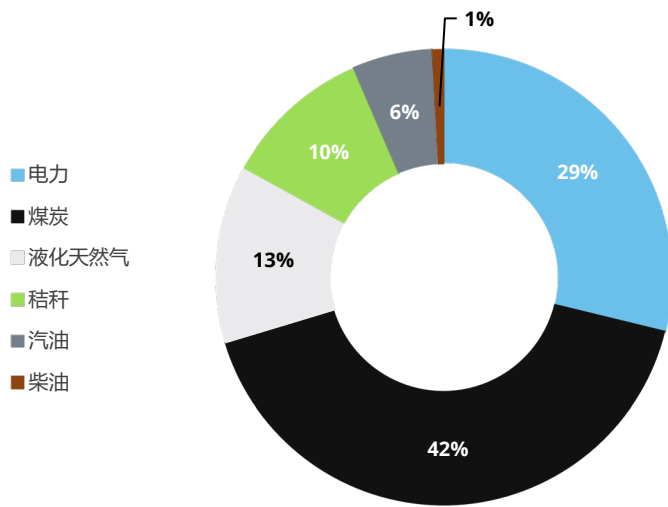
来源：中国科学院应用生态研究所

家庭能源消费结构和特征

电力是家用电器的主要能量来源，也是日常炊事和供热的补充能源；煤炭是家庭供热最常使用的能源类型，也是补充的炊事用能；汽油和柴油是家庭最常使用的交通用能，也可用作机械化耕作的燃料。村内大约有300户家庭使用太阳能热水器用于日常洗澡等活动，渗透率为67.26%。因为燃烧秸秆对环境的负面影响，本地居民大多选择秸秆还田，只有不到5%的家庭使用秸秆作为户用能源。

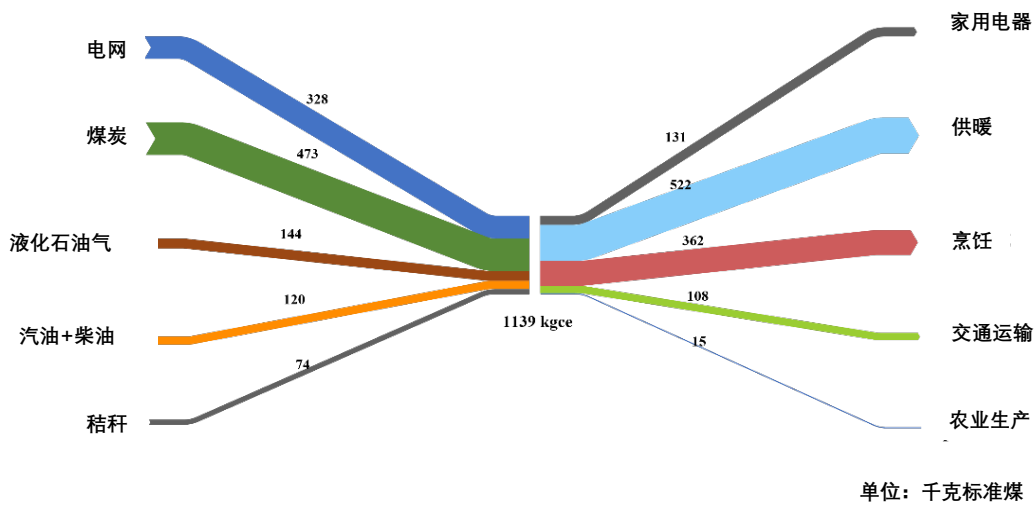
居民通过购买以及自产满足其能源需求。2020年购买的能源占总能源使用量的89.46%，10.54%的能源来自于自产的秸秆。家庭能耗主要体现在家用电器、供热、炊事和交通中，炊事在家庭能耗中占最大比例，为总能耗的48.42%，其主要来自于电力、煤炭、液化石油气（LPG）和秸秆。供热是第二大能耗活动，占总能耗的29.26%，主要来自于煤炭，一小部分来自于电力。交通能耗包括电动汽车、内燃机汽车和摩托车，占总能耗的10.81%。

图：东桥头村中等家庭的能源消费结构（2020）



来源：中国科学院应用生态研究所

图：东桥头村中等家庭的能量和材料流动（2020）



来源：中国科学院应用生态研究所

分析——东桥头村

自给自足潜力

在家庭子系统中，整个村庄的总能耗为 514,812 千克煤炭当量（相当于 4,191 兆瓦时的能量）。鉴于村庄已有大约 350 户家庭使用太阳能热水器，如果可以更加

高效地利用太阳能热水器收集的热能，可能实现的能源生产潜力为 406,634 千克煤炭当量（3,310 兆瓦时），这就意味着家庭用能的外部依赖性可以降低 78.99%。

在公共设施子系统中，能耗主要来自于路灯、村委会和村保健室的能耗，总计 1,697 千克煤炭当量（14 兆瓦时）。考虑到现有路灯的经济效益和使用成本，如果以太阳能路灯取代现有路灯，每年的总发电量将达到 11,455 千克煤炭当量（93 兆瓦时）。除了解决此系统中的能耗问题外，光伏路灯也可以用作其他能源使用子系统的补充。

在农业耕作子系统中，所生产的农作物秸秆量为 7,394,465 千克煤炭当量（60,198 兆瓦时）。如上文所述，大多数秸秆被回用于田地，只有一小部分被用作饲料和家庭燃料。如果使用秸秆作为能源，则秸秆的可用潜力为 3,459,821 千克煤炭当量（104,832,576 兆焦），可以满足此系统的能源供应需求。

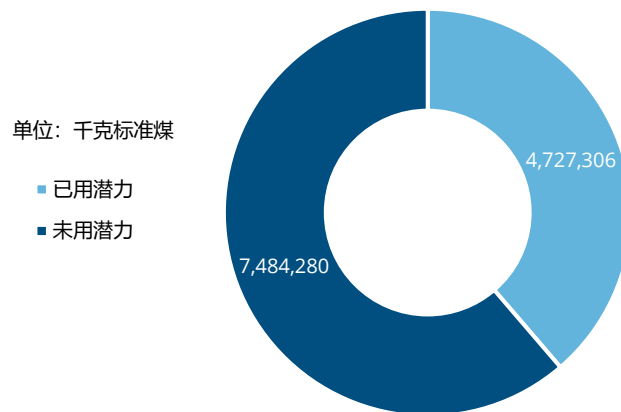
在畜牧养殖子系统中，大规模养殖和零售养殖产生的畜禽粪便总量为 89,851 千克煤炭当量（2,722,485 兆

焦）。有专门的机构直接购买大规模养殖产生的大量畜禽粪便，而小规模养殖产生的畜禽粪便大多直接作为废物倾倒。统一收集这些畜禽粪便，所产生的施肥和能量潜力为 798,142 千克煤炭当量（24,183,703 兆焦）。

在工业发展子系统中，冷库带来的总能耗为 18,281 千克煤炭当量（553,914 兆焦），短期和中期内，尚未发现任何资源潜力，我们假设此子系统将继续依赖于外部能源供应。

通过对每一子系统的全面分析，可以发现整个村庄系统中，能耗为 7,484,280 千克煤炭当量（226,773,684 兆焦），生产潜力为 4,727,071 千克煤炭当量（143,230,251 兆焦）。如果每一系统中的能源得到合理地开发，能源的自给自足率将提升到 63.16%。

图：东桥头村已利用和未利用的能源潜力（2020）



来源：中国科学院应用生态研究所

东桥头村的季节性能耗特征

东桥头村各子系统的能耗一年内上下波动，家庭能耗在一年内的变动相对较大。夏季（6-8 月）炎热的天气导致空调和制冷能耗提高。春节假期，务工者和学生回到农村，造成这一时期家庭能耗提高。在家庭能源生产方面，冬季低温月份导致太阳能热水系统生成的能量下降，其他月份所生产的能量不会出现重大差别。

路灯和村委会占公共空间能耗的大部分，一年内的使用量没有明显差别。在农业子系统中，本地农作物为土豆和玉米，其中土豆种植时间为 1-2 月，玉米为 5 月。在此时间段内，耕作过程中的机械化工具会导致燃料以及其他能源的使用量增长。土豆的丰收季节为 5-6 月，玉米为 9-10 月，这几个月份的农业废弃物数量有所增长。

在畜禽养殖系统中，6-8 月，饲养大量家禽的农场用于通风和温度管理的耗电量相对较高。

东桥头村的情景结果

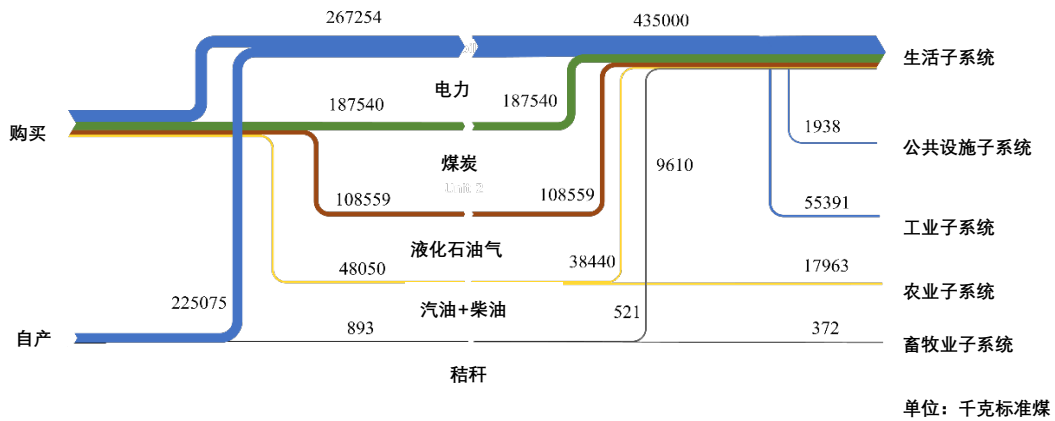
情景 1（基线情景）：三类电动车充电的年能耗在 2025 年为 384,182 千瓦时（平均每户 861 千瓦时），2030 年为 609,365 千瓦时（平均每户 1,366 千瓦时）。使用空气源热泵进行供热，到 2025 年可取代 12 吨的煤炭，2030 年可取代 36 吨煤炭；在屋顶光伏发电系统方面，典型房屋屋顶区域约为 14*19 米，可用于光伏的屋顶面积约为 112 平方米，东桥头村年平均日照时长为 1,982 小时，意味着此情景下，最大潜在屋顶光伏输出量在 2025 年为 1,829.875 兆瓦时（225,075 千克煤炭当量），2030 年为 3,316.648 兆瓦时（407,948 千克煤炭当量）。

情景 2（轻微增长情景）：电动车充电的耗电量在 2025 年为 418.267 兆瓦时（每户平均 938 千瓦时），

2030 年为 693.471 兆瓦时（每户平均 1,555 千瓦时）；使用空气源热泵进行供热，到 2025 年可取代 30 吨的煤炭，2030 年可取代 72 吨煤炭；使用光伏发电系统的家庭在 2025 年可发电 2,973,547 千瓦时（365,746 千克煤炭当量），2030 年可发电 5,718,359 千瓦时（703,358 千克煤炭当量）。

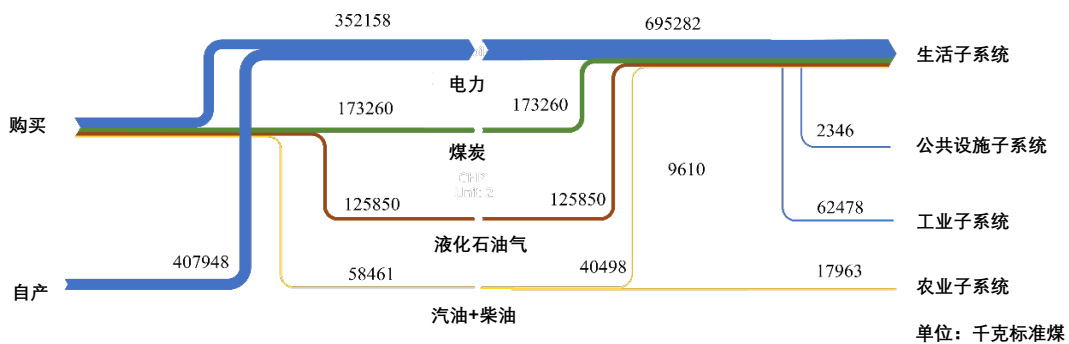
情景 3（乐观情景）：受能源替代的影响，电动车充电的耗电量在 2025 年为 513.154 兆瓦时（每户平均 1,151 千瓦时），2030 年为 112.937 兆瓦时；使用空气源热泵进行供热，到 2025 年可取代 6,000 千克的煤炭，2030 年可取代 132,000 千克的煤炭；使用光伏发电系统的家庭在 2025 年可以发电 562,687 千克煤炭当量（4,574.687 兆瓦时），2030 年可以发电 1,142,254 千克煤炭当量（9,286.616 兆瓦时）。

图：东桥头村的能量和材料流动（情景 1，2025）



来源：中国科学院应用生态研究所

图：东桥头村的能量和材料流动（情景 1，2030）



来源：中国科学院应用生态研究所

持续电气化情况下的家庭自给自足潜力

现有模型下，受调查的村庄在 2020 年的能源自给自足率为 16.83%。在情景 1（基线情景），整个村庄的自给自足率在 2025 年为 36.81%，2030 年为 57.48%。只考虑整个村庄的电力生产和使用，村庄电力供应的自给自足率在 2020 年为 46.68%，2025 年可达到 84.22%，2030 年本地年发电量为年需求量的 115.84%，超过整个村庄的年耗电量总额。

在情景 2（轻微增长情景），整个村庄的自给自足率在 2025 年为 56.98%，在 2030 年为 89.94%。如果只考虑整个村庄的电力生产和使用，2025 年的年发电量将超过整个村庄的耗电量，为耗电量的 122.85%，2030 年为 165.69%。

在情景 3（乐观情景），整个村庄的自给自足率在 2025 年为 80.70%，2030 年为 126.16%。如果只考虑整个村庄的电力生产和使用，2025 年和 2030 年的年发电量将超过整个村庄的耗电量，在 2025 年为耗电量的 159.33%，2030 年为 208.50%。

情景分析表明东桥头村的电力产量将超过其一年所需电量。但是，和施瓦格村的案例一样，能耗并不总是与太阳能光伏的输出时段重合。这意味着如果没有巨大的储能容量，白天时段，村庄及其村户更可能将其剩余电力馈入电网（只要电网容量允许），从而获得收益，但在夜间时段，就要购买电力。

本研究聚焦东桥头村太阳能光伏的自给自足潜力，并假设供热和交通的电气化程度会与日俱增。东桥头村已经在使用太阳热能解决方案，且仍有可能扩大其应用范围。此外，太阳热能还可以用来提供热水。自给自足建模没有深入考虑产自村庄内部及周边地区的生物质能的潜力。这些生物质可以进一步加工并加以利用：可以在没有储能设施时通过小型热电联产厂用于补充供热能量和电力，或出售到区域内的较大型中心。

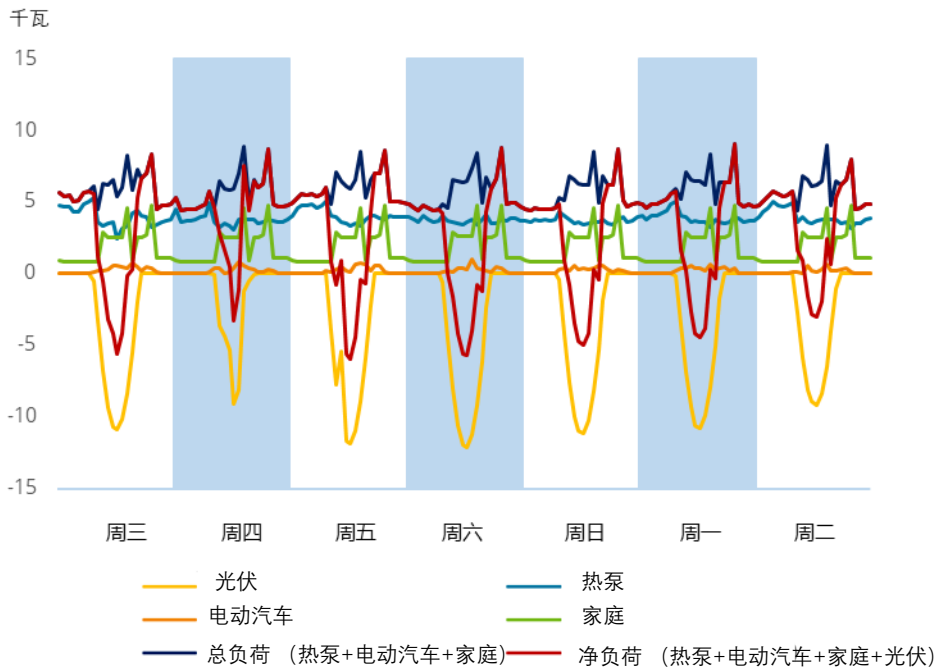
相比德国，中国的数据可用性有限，因此必须采用与施瓦格村不同的建模方式，评估在光伏发电量及电动汽车和热泵使用量与日俱增的情况下的自给自足潜力。因此，建模专注于假设家庭的情况，即假设家庭拥有屋顶光伏系统、空气源热泵、一辆（四轮）电动汽车以及符合调查结果的家庭能耗。这代表的是一种在 2030 年之前对于居民来说可能越来越常见的配置。

模型模拟了家庭的光伏发电量、电动汽车和空气源热泵的用电量以及典型家庭在一周内（2020 年 1 月 1 日到 2020 年 1 月 7 日）的家庭用电量。下图展示了单个家庭的能耗负荷。单个家庭在一周内的总能耗为 962 千瓦时，净负荷为 523 千瓦时。

东桥头村的大多数房屋为独立房屋。安装光伏板的平均屋顶面积为 112 平方米。一个家庭在一周内的总光伏发电量大约为 439 千瓦时。日光伏发电时长一般为 9 个小时。平均来看，一个家庭的日光伏发电容量相对稳定，大都维持在 50-70 千瓦时的发电量之间。

选择运行空气源热泵的日均户外温度为 -3.03°C ，最低为 -11.3°C ，最高为 5.7°C 。空气源热泵机组系统的热性能系数（COP）在 2.2 到 2.9 之间。系统的日均用电量为 92 千瓦时，最大用电量为每小时 5.25 千瓦，最小为 2.36 千瓦。电动汽车的日充电峰值时段主要是下午 5 点到晚上。平均日充电容量为 3.95 千瓦时，日最大充电容量可以达到 4.46 千瓦时，最小为 2.74 千瓦时。家庭其他活动的日均用电量为 42.31 千瓦时。因为炊具和其他工具主要依赖于电力，所以每天电力消耗的峰值时段集中在早上、中午和傍晚。

图：冬季周（2020年）内一个配备屋顶光伏、空气源热泵和一辆电动汽车的假设家庭的能源生产和消费

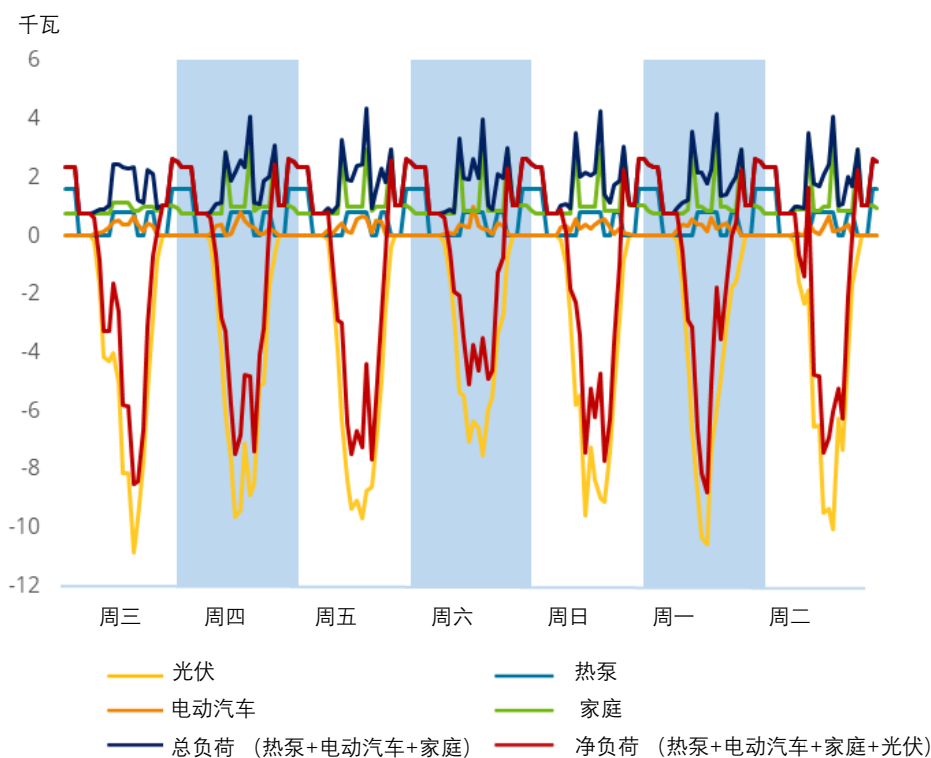


来源：中国科学院应用生态研究所

2020年夏季（2020年7月1日到2020年7月7日）一个典型家庭的能耗负荷如图所示。单个家庭在一周内的总能耗为311千瓦时，净负荷为-191千瓦时。单个家庭在夏季一周内的总光伏发电量为502千瓦时，发电时段为早上6点到晚上7点，总计大约13个小时。日光伏发电量维持在60-80千瓦左右。热泵制冷的总能耗为

95.2千瓦时，平均日能耗为13.6千瓦时。使用时段主要集中在早上10:00点到中午2:00点和夜间。在电动汽车的负荷方面，模型假设的数字与冬季周相同。家庭其他活动的日均用电量为26.49千瓦时，最大日用电量为27.54千瓦时，最低为21.71千瓦时。

图：夏季周（2020年）内一个配备屋顶光伏、空气源热泵和一辆电动汽车的假设家庭的能源生产和消费



来源：中国科学院应用生态研究所

对于一个家庭的建模结果表明在日间时段，太阳能光伏发电量通常会超过负荷，因此家庭有机会在日间时段将电力馈入电网以获取收益，或者如有电池储能可用，就可以降低夜间时段购买电网电力的开支。

关于两种研究方法的差别的讨论

因为数据可用性和经济发展状态方面的不同情况，施瓦格村和东桥头村的研究活动采用了不同的方式和方法。两个案例都包括对居民的调查，而施瓦格村的研究还采用了本地电网数据和区域化方法，以补充调查数据，验证结果。在东桥头村，没有可用的本地电网数据，而可用的国家和省级数据和统计信息并不支持使用可比较的区域化方法。但是，中国的研究团队探索了在东桥头村应用区域化方法的可行性。

因为良好的数据可用性，在施瓦格村执行的研究可以形成整个村庄夏季和冬季的建模结果。因为东桥头村的可用数据更加有限，所以这种建模并不可行。但是，基于调查数据、不同情景以及天气和日照数据，可以对一个配备太阳能光伏系统、一台热泵和一辆电动汽车的家庭，在冬季一周内的情况进行建模。在本研究中开发的情景下，在2030年之前，与此类似的家庭会变得越来越常见。尽管东桥头村家庭和消费者的总计数据可能在某些方面与单个家庭的数据有些许差异，但家庭依然构成了东桥头村能耗的大部分，因此即便只是对一个单独的典型家庭进行建模，也能提供关于整个村庄的有意义信息，洞察村庄自给自足的潜力。

应该注意到，因为两个研究团队所采用的方法和模型的差异以及所输入数据类型的不同，就两个村庄自给自足率得出的预测结果并不能直接比较。但是，两种不同的方法依然彰显了某些相似性，例如太阳能发电量在某些时段过剩、在某些时段短缺。

2030 年德国和中国的一个村庄

施瓦格村

本研究分析表明，施瓦格村的家庭以及村庄整体夏季自给自足的潜力很高，只要在当地采用储能或车辆到电网（V2G），而冬季的供热负荷和冬季的低可再生能源发电量将需要大量使用电网能源或增加某种季节性储能技术。

到 2030 年，施瓦格村的电力需求将大幅增长，而油气等其他能源则会相继被取代。在施瓦格村，不同情境下的电能消耗可能分别增长到大约 3,750 兆瓦时和 4,700 兆瓦时。如果对比纯电气化家庭和工业消费，则意味着与当前需求相比，用电需求增长率为 50% 到略低于 90%。电能需求增长的主要来自热泵。热泵要用到大量电能，尤其是在冬季。电动汽车的额外需求相较就没那么显著，尤其是在比较“趋势”情景和“乐观”情景时。可以发现，“趋势”情景下，电动汽车和热泵的能源需求大致相当，而在“乐观”情景下，热泵的能源需求几乎超过了电动汽车能源需求的两倍。

在能源供应侧，光伏将发挥核心作用。目前已经有了比较高的光伏装机容量，而到 2030 年，这一容量可能增长到两倍以上。上文描述的两种情景下，光伏在一整年内，可以提供大约 30% 的总能耗。如果只考虑对电能的需求，光伏可以提供高达 49% 到 56% 的年总耗电量。如果电力供应被细分到以月为单位，则自给自足率会与年均值差别巨大。在冬季月份，光伏只能满足大约十分之一的需求，而在夏季月份，光伏发电量则大于用电需求。由此，如果要在 2030 年实现更高的整体自给自足率，施瓦格村必须考虑使用电池储能或氢储能等长期储能系统。

在考虑以 15 分钟为间隔的能源供应和需求时，有两点尤为明显。**首先是日储能容量的必要性。**尤其是夏季，当光伏发电量远远大于用电需求时，储能可以带来高自给自足率。其次，如果居民使用带有 V2G 技术的电动汽车，施瓦格村就没有必要大量安装独立储能系统，因为在夜间，当车辆静止时，V2G 技术可以为高自给自足率做出巨大贡献。

总的来说，到 2030 年施瓦格村的很大一部分能源将通过光伏系统提供，而因为热泵和电动汽车的使用，用电需求将持续增长。如果季节性储能变得可能，夏季的

过剩发电量也可以在冬季月份使用，从而实现施瓦格村整体上的高自给自足率。此外，V2G 技术提供了在夜间使用日间过剩光伏发电量的可能性。但是，出于长期储能的考虑，必须安装单独的储能机组，因为电动汽车并不是切实有效的长期储能解决方案，即便它们大多数时间都是静态的。

东桥头村

此研究中使用的模拟和情景都表明**东桥头村的屋顶太阳能光伏容量和光伏发电量可能大幅提升，交通和供热系统的电气化也可能提升**，尽管电气化程度取决于技术发展和政策支持。在 2030 年之前，热泵和电动汽车将显著增长，但两种情景下的结果差异巨大，而且要实现这种潜力，也离不开充分的政策支持。相同的趋势是产自本地的电力的使用量增加，从其他地方输入的电力和其他燃料使用量下降，从而导致自给自足率的提高。

2020 年，东桥头村的本地能源生产满足了总能源需求的 16.8%。假设可再生能源的发展和电气化将继续按照中国国家政策中的预测稳步提升，那么到 2030 年，年度自给自足率可能提高到 90% 或者高达 126%，取决于情景。这意味着到 2030 年，原则上，东桥头村一年内的能源生产有超过其能源消费的潜力。东桥头村的太阳能发电量的季节性变化确实比施瓦格村的更小，在高度电气化的情况下，减少了电力供需的季节性不平衡。但是，和施瓦格村一样，可再生能源发电主要发生在日间，除非有可用的储能系统，否则太阳能电量无法在夜间使用。尽管东桥头村具有在 2030 年实现电力完全自给自足的技术潜力，但如果算上必要的储能系统的成本，这可能在经济上并不划算。

如模拟中所示，2030 年，东桥头村一个配备光伏系统、热泵和一辆电动汽车的假想家庭可以在日间生产出过剩的电力，通常足以满足其日间时段的全部需求。尽管某些过剩电力可以采用电池或储热的形式储存，留待夜间使用，但对东桥头村以及具有类似条件的其他村庄而言，最经济的方式可能是通过能源自用以及在日间时段输出过剩电力、在夜间时段输入电力，来避免峰值时段的高电价，并从夜间的较低电价中获益。

政策建议

德国

我们对施瓦格村能量流动和技术应用的研究表明：至少在净额基准上，小型农村社区有潜力在 2030 年实现高自给自足率。由于建筑密度低和由此产生的大面积空地，村镇有空间安装大量的可再生能源容量。村镇不仅可以实现高自给自足率，还可以将过剩能源馈入电网，从而提升区域内二氧化碳中和电力的占比，补偿可再生能源潜力较低的城市地区的短缺。

农村区域在能源转型中发挥着核心作用，因此政治框架应促进农村可再生能源和储能技术的扩张和进一步发展，同时推动农村社区交通和供热的电气化。

可以通过一系列措施加快风能在德国的扩张。因此，很多专家和产业群体都呼吁在满足利益相关方合法权益以及适当环保标准的前提下，尽可能缩短审批程序。审批程序应该以精简冗长繁琐的法律手续，在更短的时间内，加速处理合法的诉求为目标重组。

此外，应该提高分布式风电和太阳能发电项目对农村社区的经济吸引力。要实现这一点，可以为农村社区生产的每一度电力支付经济补偿，融合上网电价和能源自用则可进一步改善家庭屋顶光伏系统的激励机制。这将有助于提高农村居民的接受度。

德国已经在使用的另一种提高公众接受度的工具是让利益相关方在项目规划的早期阶段就全面参与其中。德国的新联邦政府设定了让德国 2% 的土地可用于风能的目标。解决这些阻碍可再生能源扩张的障碍十分重要。德国联邦政府已于 2022 年基于上述建议着手解决相关问题，包括全国统一的物种保护标准、审批的加速以及争取降低最低距离要求。在分布式太阳能方面，德国政府已宣布新建建筑总体上都应安装屋顶太阳能系统，且正在努力提高上网电价和能源自用的混合模式的吸引力。

41

目前，德国在电热泵的应用方面落后于一些其他欧洲国家。德国目前的节能改造比例较低，且消费者大都倾向于以最低成本的替代物取代老旧的供热系统，这往往会导致节能和电气化机会的错失，所以如果要在农村地区推动能源转型，可能必须全面加大对老旧锅炉更换和家庭节能改造的激励。用电热泵取代化石燃料锅炉的报废奖金，以及宣传消除家庭油气燃烧的健康福利相关的公共运动都有助于推动更多的业主做出改变，同时激励工业部门摒弃化石燃料技术。是否有大量合格的技术

人员和机械师是大规模安装热泵所面对的一个瓶颈。这个问题必须及时通过职业培训解决。

但是，考虑到每日和季节性能源消耗和生产的高波动性，储能系统会成为农村能源转型的重要因素。在农村地区推广储能系统的政策将有助于确保该储能与可再生能源的部署保持步调一致。施瓦格村的案例表明，在这类地区，长期（季节性）和短期（每日）储能系统都必不可少。在长期储能方面，氢储能和电解技术具有巨大的潜力。尽管我们在此建模中并未明确研究 V2G 技术，但 V2G 技术具有短期或日间储能的潜力，因为电动汽车日常行驶的用电量远低于典型电动汽车的电池容量。即便出于电池使用寿命的相关顾虑，假设采用 V2G 技术只能将 20% 到 30% 的电池容量用于平衡峰值负荷，V2G 技术也依然具有吸引力。当然，在确定家庭或者村镇是否应选择投资打造储能系统以实现自给自足、提高应变能力及达成低碳目标时，每日和季节性储能的经济性很可能是至关重要的因素。

智能电表、动态电费以及参与负荷平衡活动（例如虚拟电厂或者公共事业负荷管理）的奖励可能有助于鼓励这些技术在德国的应用。数字化也要求通过政治框架和相应激励机制，促成信息通信技术（ICT）的推广。

建议：

1. 鼓励农村社区通过社区规划、信息共享平台和公共宣传活动，打造全面的可再生能源和电气化方案。
2. 制定国家和地区政策，通过报废奖励、公共健康宣传活动以及对本地供热服务提供者的转型支持，推广热泵的应用。确保激励机制能够惠及家庭和本地供热供应商。
3. 随着更多配备 V2G 技术的电动汽车车型进入市场，在村庄层面上探索将 V2G 技术与本地过剩太阳能发电相结合使用的试点。
4. 加速数字能源平台和服务的应用，包括智能电表、动态能源价格以及相关的商业模式。在高光伏渗透率地区探索村庄层面上的虚拟电厂试点。

中国

在某些方面，中国的农村能源转型尚落后于德国，通过比较施瓦格村和东桥头村就可以证实这一点，施瓦格村已经安装了可观数量的屋顶光伏系统。中国也有农村光伏系统，但可能更集中于得到扶贫补助的试点村庄。对两个村庄的平行分析表明两者在能源转型方面有类似的潜力，包括屋顶光伏、电动汽车和电供热/供冷的应用。

但是，两个村庄为实现此种转型采取的途径可能大有不同。例如，在中国，成本的快速下降将推动小型电动汽车的快速推广，而煤炭供热的低成本则会在低收入农村地区阻碍的热泵的采用及能效改造。考虑到这些差别，政策和方案也会有所不同。

相比德国，分布式能源在中国的农村地区会面临更多障碍。其中包括缓慢的电网连接、农村地区的配电网不足以及认识不足。户用光伏可以通过降低家庭的能源支出或增加其收入推进山东的扶贫工作。农业光伏和分布式风能也可能作为农业收入的补充，但这可能需要变更现有土地用途和规划流程。但是，要促成这类转型，必须为电网公司提供充分的激励，促使其投资升级农村配电网。考虑到配电网升级的成本以及通过电动汽车、储能技术和热泵在村庄和家庭层面上实现移峰填谷的潜力，我们预计为家庭创造激励措施以防止过度发电或过度峰值负荷也会变得具有经济性。

生物质和沼气发电和发热具有巨大潜力。取决于本地能源需求情况和基础设施，生物质或沼气工厂可以通过小型供热网为村庄供能，本地生产商也可以将生物质/沼气出售至附近更大的能耗中心。要实现此目的，可能需要由地方政府为生物质生产商提供融资和支持，由地方政府召集并协调相关活动方，打造有益的商业环境。生物质的使用必须具有可持续性，不得与食品生产竞争，应确保对本地生物多样性的保护。

鉴于光伏系统的前期投入高和认知度低，因此应该鼓励农村集体经济组织通过土地使用权或合资企业的方式，与公司联合投资及经营可再生能源发电项目。德国的公民合作社提供了经验和模型，可以为适合中国背景类似组织的发展提供参考。应鼓励金融机构为小型村庄可再生能源项目提供融资支持。

因为农村地区集中式供热系统的高昂成本，分散式解决方案看起来似乎是取代煤炭的更好选择。中国很多地方太阳能光伏电力的充裕性可以为热泵与光伏的联合运营创造理想的条件。配合储热技术，光伏和热泵的协同使用可以在改善本地空气质量的同时，大幅降低供热的运营支出。但是目前，高昂的前期投资成本阻碍了热泵的应用，特别是对不够富裕的农村家庭而言，这可能是一项巨大的挑战。农村地区的很多建筑都隔热不佳，热损耗严重。建筑能效提升措施与热泵结合起来特别有效，因为这样就可以在建筑中利用更低廉的系统。但是，覆盖整栋建筑的能效改进可能超过大多数家庭的能力。研究并未广泛涵盖太阳能解决方案，但这些解决方案

也可以为热水供应做出重要贡献。这种系统在很多农村地区已经得到广泛使用，且还有进一步扩张的空间。

由于这些原因，政府有必要为家庭层面上的能源改进提供经济激励。为热泵的购买和安装提供优惠贷款或政府补贴，可以使其成本压低到与现有技术相等或充分接近的水平，从而降低经济上的障碍。此外，支持方案可以激励现有低效供热/供冷系统的退役或热泵的替代，可以为低效供热系统提供报废奖金，作为购买补贴的补充。推广热泵安装的另一途径就是为村庄的供热电气化设定一个目标。

支持方案可以聚焦于选择性的能效提升上，以鼓励老旧建筑进行节能改造。应该对所有新建筑，施行更严格的建筑能源标准，同时提供可确保其可负担性的补贴。除了以优惠贷款形式提供的金融支持之外，省政府和地方政府还应该推动合格专家进行地方派驻，以评估和选择适合的能效措施，并在必要时，加强培训机会。

目前的储能政策主要集中在集中储能或电网侧储能。如本研究所示，村庄所在地的储能在平衡本地负荷情况、减少配电网投资需求方面具有优势。因为未来十年间，来自车型更大的电动汽车的负荷相对较小，V2G等创新解决方案不太可能在此时间范围内发挥重要作用。但是，当涉及分布式光伏和电动汽车拥有量时，在农村地区进行更加先进的试点试验可能会有所助益。

中国的很多农村地区有潜力实现充裕的太阳能光伏发电，这可与电动汽车发挥协同效应，因为配备光伏发电系统的家庭可以节省用于交通的化石燃料支出。与供热部门类似，可能需要额外的经济激励，以引导业主放弃现有的化石燃料技术。省政府或地方政府可以提供购买补贴或者报废奖金，车辆所有人可以用旧的化石燃料车辆换取购置新电动汽车的折扣。除了经济方面以外，要提高电动汽车的应用率，还必须提供充足的充电基础设施和熟练的技术人员，并在周边地区提供修理和维护的服务点。

我们也建议追求本地能源转型措施的当地政府也需要一个全面的国家框架。要让本地政府和省政府能够根据本地条件，颁行推广可再生能源扩张及交通和供热系统电气化的监管和经济措施，就一定要有必要的经济手段和一个有明确目标和责任的国家层面的框架，而这些都需要中央政府提供支持并居中协调。

建议：

1. 通过光伏和生物质推广农村可再生能源，聚焦于提高农村能源消费的自给自足率。鼓励农村可在生能源推广与中国国家碳达峰及碳中和框架同步进行，逐步提高能源生产，取代供热、交通和电网电力消费领域的化石燃料消费。
2. 改进农村地区电网现代化改造的激励机制，同时通过电价、先进电表以及驻地储能的激励措施，推动村庄层面上的峰值负荷调节和负荷平滑化。
3. 针对供热和交通部门的电气化制定全面的本地激励措施，包括电气化的潜在目标以及补充性建筑节能改造，以降低电供热的整体成本。
4. 大力推广针对乡村可再生能源项目的绿色金融产品和低成本融资、能效升级以及热泵和交通部门的电气化。

结论

施瓦格村和东桥头村的研究表明，尽管中国和德国具有不同的经济发展水平，处于能源转型的不同阶段，但两国的村庄和农村地区都有潜力在其国家能源转型中发挥重要作用。基于调查和后续情境建模的分析表明，在德国和中国，村庄在一年内的可再生能源发电量均超过其用电量，即用电需求因供热和交通部门的加速电气化而增加。在两个村庄内，太阳能光伏模块在白天的发电量通常会超过其用电需求，但无法满足在日出之前或日落之后用电需求，因此必须从其他电源获得电力。

日间太阳能发电量与日出前和日落后的用电需求的错位可以在一定程度上通过储能技术弥补，例如在日间使用热泵生产热水或者使用电池储存电能。但是，在当前的电池储能价格下，即便技术上可行，储存所有过剩的电力可能不具有经济性。

一个更平衡的方法不是以实现全面自给自足或者孤岛电网运营为目标，而是将稳步增长的本地可再生能源输出量、逐步升级本地电网、并通过智能采用热泵和电动汽车智能充电来激励平滑峰值负荷结合起来。这种方式具有多种优势。村庄可以大幅减少其本身对电力和燃料输入的全面依赖性，可以从夜间的低价电中获益，满足其使用自身资源无法满足的需求。如此可以解放之前用于能源开支的家庭财富，将其用于有益于农村发展、改善生活品质的其他用途，例如教育、投资或家庭消费，尤其是在中国较为贫困的农村及农业社区。通过将日间过剩的可再生能源发电量输出到能源匮乏的地区，例如城市或者产业集群，两个国家的农村地区都可能获得额外的收益，从而在整个国家的能源转型中发挥有意义的作用。要将此种潜力发挥到极致，中德两国都必须付出额外的努力。

在德国，运营商应该调整电网以适应诸多分布式发电设施日益增长的馈入量，并加强向高压电网输入电力的能力。这也包括推进基础设施的数字化，以便能够灵活且快速地管理日益分散和波动的电力系统。对分布式光伏业主的激励措施应促进其在峰值负荷时段的能源自用或电网馈入。激励结构应该通过减少或全面消除储存过剩电力的任何成本来推动储能的发展，并允许储能设施的所有者在高用电负荷时段出售平衡电力作为辅助服务。本文中的分析表明使用 V2G 技术，可以在一定程度

上储存过剩电力，留待低光伏发电或无光伏发电的时段使用。但是，V2G 技术要求车辆和充电基础设施都满足一系列的技术条件，而这需要有明确的支持性法律和市场框架做支撑。试点项目和政治倡议可以促进这一点。

在中国，重要的是要扩大和调整配电网，以提高分布式可再生能源的电网馈入量。电网运营商应与社区协调规划，共同确定规划时间段内预期的额外可再生能源容量。一方面，电网扩张必须在可接受的成本下推行；另一方面，电网容量的瓶颈不得妨碍分布式可再生能源的进一步扩张。

通过减少对电力输入的需求、成为净电力输出者，中国的农村社区可以获得显著的经济效益。但是，因为前期投资成本巨大，所以充分的激励措施和市场条件具有重要意义。中国可以借鉴基于德国范例的公民合作社，并在地方试点中推广。

通过热泵实现供热部门的电气化是农村能源转型中的重要一环。若能与自产太阳能发电以及在夜间供热的储热技术结合使用，热泵就会具有极大的吸引力。因为热泵的前期投资成本较高，可能需要财政支持和更严格的建筑能效标准来促进其应用。在交通方面，如果村民改用各种形式的电动汽车（两轮车、三轮车和四轮车），几乎就可以消除对燃料输入的需求，尤其是当他们在太阳能发电量充沛的日间时段给车辆充电时。

最后，如果将农业光伏考虑在内，那么农村的能源潜力还会更高。本研究中的建模并未考虑农业光伏，但其确实可以提供额外的收入，但需要适当的投资和运营激励措施，且必须与电网运营商和各土地使用部门充分协调。

本研究证明农村地区具有为发电厂和大型可再生能源设施等集中能源生产形式提供补充的巨大潜力。本研究主要聚焦于屋顶光伏系统以及热泵和电动汽车的潜力。在未来的研究项目中，应进一步探索并纳入到此框架中的方面包括农业光伏、分布式风能以及对储能、生物质和沼气潜力的更全面分析。还应该通过情景分析仔细研究农村清洁能源技术的经济性，并将技术成本以及与配电网升级相关的各种考量事项纳入考虑范围。

附件

区域化情景数据概览

技术	情景	年份	奥伯丁社区	奥伯丁村	尼泊丁村	施瓦格村
电动汽车	趋势	2030	423	89	42	75
		2035	881	185	87	157
	乐观	2030	550	115	54	98
		2035	1146	240	113	204
	悲观	2030	360	75	35	64
		2035	749	157	74	134
热泵	dena-EL95	2030	947	199	93	169
		2035	1211	254	119	216
	dena-TM95	2030	468	98	46	83
		2035	573	120	56	102
光伏	情景 A	2030	12,986 千瓦	3,940 千瓦	1,933 千瓦	1,862 千瓦
		2035	15,712 千瓦	4,767 千瓦	2,338 千瓦	2,253 千瓦
	情景 B	2030	13,806 千瓦	4,188 千瓦	2,055 千瓦	1,980 千瓦
		2035	16,888 千瓦	5,123 千瓦	2,513 千瓦	2,422 千瓦
	情景 C	2030	14,044 千瓦	4,260 千瓦	2,090 千瓦	2,014 千瓦
		2035	17,244 千瓦	5,231 千瓦	2,566 千瓦	2,473 千瓦

施瓦格村人口和家庭规模概览

家庭规模	奥伯丁社区	奥伯丁村	尼泊丁村	施瓦格村
总计	2,176	456	214	388
1 人	614	129	61	110
2 人	613	129	60	109
3 人	418	88	41	75
4 人	360	75	35	64
5 人	130	27	13	23
6 人及以上	44	9	4	8

德国不同家庭规模的年用电量细分表⁴²

家庭规模	年用电量（千瓦时）		
	低	中	高
1 人	1,300	1,900	2,500
2 人	2,000	2,750	3,500
3 人	2,500	3,500	4,500
4 人	2,600	3,800	5,000
5 人	3,000	4,550	6,100
6 人及以上	5,800	6,450	7,100

供热需求分布情况

	家庭供热需求（兆瓦时）	工业用热需求（兆瓦时）
奥伯丁社区	15,970	6,069
奥伯丁村	3,348	1,272
尼泊丁村	15,748	5,984
施瓦格村	2,848	1,082

家庭调查问卷表（德语）

Fragen zum Handlungsfeld Mobilität

1. Besitzt Ihr Haushalt ein Auto?

- ja
- nein (> bitte Fragen 2 und 3 überspringen, weiter zu Frage 4)

2. Bitte geben Sie für jedes Auto in Ihrem Haushalt Fahrzeugklasse, Antriebsart und Jahresfahrleistung an. (Falls Ihr Haushalt kein weiteres Auto / keine weiteren Autos besitzt, lassen Sie die Felder für Auto 2 / Auto 3 bitte frei.)

	Auto 1	Auto 2	Auto 3
Fahrzeug- klasse	<input type="checkbox"/> Klein/Kompaktklasse <input type="checkbox"/> Mitte/Oberklasse <input type="checkbox"/> SUV/ Geländewagen <input type="checkbox"/> Van/Kleinbus <input type="checkbox"/> andere	<input type="checkbox"/> Klein/Kompaktklasse <input type="checkbox"/> Mitte/Oberklasse <input type="checkbox"/> SUV/ Geländewagen <input type="checkbox"/> Van/Kleinbus <input type="checkbox"/> andere	<input type="checkbox"/> Klein/Kompaktklasse <input type="checkbox"/> Mitte/Oberklasse <input type="checkbox"/> SUV/ Geländewagen <input type="checkbox"/> Van/Kleinbus <input type="checkbox"/> andere
Antriebsart	<input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Erdgas <input type="checkbox"/> Autogas <input type="checkbox"/> Hybrid <input type="checkbox"/> Plug In-Hybrid (PHEV) <input type="checkbox"/> Batterie-elektrisch (BEV) <input type="checkbox"/> andere	<input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Erdgas <input type="checkbox"/> Autogas <input type="checkbox"/> Hybrid <input type="checkbox"/> Plug In-Hybrid (PHEV) <input type="checkbox"/> Batterie-elektrisch (BEV) <input type="checkbox"/> andere	<input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Erdgas <input type="checkbox"/> Autogas <input type="checkbox"/> Hybrid <input type="checkbox"/> Plug In-Hybrid (PHEV) <input type="checkbox"/> Batterie-elektrisch (BEV) <input type="checkbox"/> andere
Fahrleistung (Kilometer pro Jahr)			

Sie besitzen bereits ein Elektroauto (PHEV oder BEV)? > bitte Fragen 4 und 5 überspringen
 Sie besitzen noch kein Elektroauto? > bitte Frage 3 überspringen

3. Wo laden Sie ihr Elektroauto? (Mehrfachnennung möglich)

	häufig	gelegentlich	nie
zu Hause	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
am Arbeitsplatz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
an öffentlichen Ladepunkten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Können Sie sich vorstellen zukünftig ein Elektroauto zu kaufen?

- ja
- nein
- weiß nicht

5. Wo würden Sie ihr Elektroauto voraussichtlich laden? (Mehrfachnennung möglich)

- zu Hause
- am Arbeitsplatz
- an öffentlichen Ladepunkten
- weiß nicht

Fragen zum Handlungsfeld Energie

6. Wie hoch schätzen Sie Ihren jährlichen Stromverbrauch ein?

- niedrig
- normal
- hoch
- weiß nicht

7. Wie hoch schätzen Sie Ihren jährlichen Heizwärmebedarf ein?

- niedrig
- normal
- hoch
- weiß nicht

8. Welche Art von Heizung nutzen Sie?

- Erdgas
- Öl
- Holz / Pellets
- Strom direkt / Nachtspeicherheizung

- Strom-Wärmepumpe
- Gas-Wärmepumpe
- andere
- weiß nicht

9. Wohnen Sie zur Miete oder in Eigentum?

- Miete (> bitte Fragen 10 bis 13 überspringen)
- Eigentum (> bitte weiter mit Frage 10)

10. Können Sie sich vorstellen, zukünftig mit einer Photovoltaikanlage selber Strom zu erzeugen?

- ja
- nein
- habe schon eine Photovoltaikanlage
- weiß nicht

11. Können Sie sich vorstellen, zukünftig mit einer Solarthermieanlage selber Wärme zu erzeugen?

- ja
- nein
- habe schon eine Solarthermieanlage
- weiß nicht

12. Können Sie sich vorstellen, anstatt einer Heizung zukünftig mit einem Blockheizkraftwerk selbst Wärme und zugleich Strom zu erzeugen?

- ja
- nein
- habe schon ein Blockheizkraftwerk
- weiß nicht

13. Können Sie sich vorstellen, zukünftig eine elektrisch betriebene Wärmepumpe zu nutzen?

- ja
- nein
- habe schon eine Wärmepumpe
- weiß nicht

Angaben zu ihrem Haushalt

14. Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt?

15. Wie viele Personen in Ihrem Haushalt sind berufstätig?

16. Wie viele Personen unter 18 Jahren leben in Ihrem Haushalt?

17. In welcher Art von Haus leben Sie?

- Einfamilienhaus
- Zweifamilienhaus
- Mehrfamilienhaus
- andere

Ende des Dokuments ■

参考文献

- ¹ “Kyoto Protocol on the United Nations Framework Convention on Climate Change,” original published in German “Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen,” Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection, 01 April 2022, at <https://www.bmuv.de/gesetz/protokoll-von-kyoto-zum-rahmenuebereinkommen-der-vereinten-nationen-ueber-klimaaenderungen>.
- ² “2020 climate & energy package,” European Commission, accessed on 10 May 2022 at https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_en.
- ³ “Federal Government decides phasing out nuclear power by 2022,” original published in German “Bundesregierung beschließt Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022,” German Federal Government, 19 December 2011, at <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/bundesregierung-beschliesst-ausstieg-aus-der-kernkraft-bis-2022-457246>.
- ⁴ “Final decision to launch the coal-phase out – a project for a generation,” Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action, 03 July 2020, at <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2020/20200703-final-decision-to-launch-the-coal-phase-out.html#:~:text=Said%20Federal%20Minister%20Altmaier%3A%20%E2%80%9CToday's.an%20entire%20generation%20to%20complete>.
- ⁵ “Disposable Income,” original published in German “Verfügbares Einkommen,” Bavarian State Ministry for Economy, State Development and Energy, October 2021, at <https://www.landesentwicklung-bayern.de/daten-zur-raumbeobachtung/wirtschaft/verfuegbares-einkommen/#prettyPhoto>.
- ⁶ Shape data source: “Geodaten Bayern” Bayerische Vermessungsverwaltung, accessed on 10 May 2022 at www.geodaten.bayern.de; Landuse data source: “Open Street Map,” Open Database 1.0 License, www.openstreetmap.org; image source: BUW.
- ⁷ “Oberding population data,” citypopulation.de, 08 January 2022, at https://www.citypopulation.de/en/germany/bayern/erding/09177133__oberding/.
- ⁸ “3000G-1009: Building: apartments in the building,” 2011 Census, Zensus Datenbank, 9 May 2011, at <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank//online?operation=table&code=3000G-1009&bypass=true&levelindex=0&levelid=1652152506387#abreadcrumbe=GEBWG3&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>.
- ⁹ “Company Locations,” IHK-Standortportal Bayern, accessed on 10 May 2022 at [https://standortportal.bayern/en/standortsuche/index.jsp#sortField=&start=1&q=Oberding&addr=&addrLabel=&f=geo_0_coordinate:\[48.33247446606478+TO+48.34425616975366\]&f=geo_1_coordinate:\[11.826138496398928+TO+11.859526634216309\]&toggle=on&fida-checkbox1=on&fida-checkbox2=on&fida-checkbox3=on&fida-checkbox5=on&fida-checkbox4=on&fida-checkbox7=on&fida-checkbox6=on](https://standortportal.bayern/en/standortsuche/index.jsp#sortField=&start=1&q=Oberding&addr=&addrLabel=&f=geo_0_coordinate:[48.33247446606478+TO+48.34425616975366]&f=geo_1_coordinate:[11.826138496398928+TO+11.859526634216309]&toggle=on&fida-checkbox1=on&fida-checkbox2=on&fida-checkbox3=on&fida-checkbox5=on&fida-checkbox4=on&fida-checkbox7=on&fida-checkbox6=on).
- ¹⁰ “Disposable Income,” original published in German “Verfügbares Einkommen,” Bavarian State Ministry for Economy, State Development and Energy, October 2021, at <https://www.landesentwicklung-bayern.de/daten-zur-raumbeobachtung/wirtschaft/verfuegbares-einkommen/#prettyPhoto>.
- ¹¹ “Energy-related CO₂ emissions”, original published in German “Energiebedingte CO₂-Emissionen. Energie Atlas Bayern,” accessed on 15 June 2022 at: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_energie/daten/co2.html.
- ¹² “Act on the Priority of Renewable Energy (Renewable Energy Law - EEG) as well as the Revision of the Energy Industry Act and the Mineral Oil Tax Act,” original published in German “Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes,” Bundesgesetzblatt, 29 March 2000, at https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl100s0305.pdf%27%5D_1652153013388.

-
- ¹³ “Act for the Expansion of Renewable Energy (Renewable Energy Act – EEG 2021),” original published in German “Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2021),” Gesetze im Internet, 16 July 2021, at https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html.
- ¹⁴ “Act on the Preservation, Modernisation and Expansion of Combined Heat and Power (Combined Heat and Power Act – KWKG 2020),” original published in German “Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG 2020),” 21 December 2015, at [https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/BJNR249810015.html#:~:text=\(1\)%20Dieses%20Gesetz%20dient%20der,sowie%20des%20Um-welt%2D%20und%20Klimaschutzes](https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/BJNR249810015.html#:~:text=(1)%20Dieses%20Gesetz%20dient%20der,sowie%20des%20Um-welt%2D%20und%20Klimaschutzes).
- ¹⁵ “Act on the Conservation of Energy and Utilisation of Renewable Energy for Heating and Cooling in Buildings (Building Energy Law – GEG 2020),” original published in German “Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG 2020),” Gesetze im Internet, accessed on 10 May 2022 at <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/>.
- ¹⁶ “Act on Construction of a Building-integrated Charging and Grid Infrastructure for Electromobility (Building Electromobility Act – GEIG),” original published in German “Gesetz zum Aufbau einer gebäudeintegrierten Lade- und Leitungsinfrastruktur für die Elektromobilität (Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz – GEIG),” Gesetze im Internet, accessed on 10 May 2022 at <http://www.gesetze-im-internet.de/geig/>.
- ¹⁷ Jens Ponitka, Sarah Boettner, “Challenges of future energy landscapes in Germany – a nature conservation perspective,” *Energy Sustainable Society* 10,17 (2020), 18 March 2020, at <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-020-00250-9>.
- ¹⁸ “国家发展改革委 国家能源局关于印发《能源发展“十三五”规划》的通知[Notice on the release of the 13th Five-Year Plan for Energy Development],” National Development and Reform Commission, 26 December 2016, at https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201701/t20170117_962221.html?code=&state=123.
- ¹⁹ “国家发展改革委 国家能源局关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知[Notice on the release of the 14th Five-Year Plan for a Modern Energy System],” National Development and Reform Commission, 22 March 2022, at https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220322_1320016.html?code=&state=123.
- ²⁰ “中共中央 国务院关于推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见[Opinions on promoting rural revitalization and accelerating agricultural and rural modernization],” State Council, 21 February 2021, at http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/21/content_5588098.htm.
- ²¹ “中共中央 国务院关于做好 2022 年全面推进乡村振兴重点工作的意见[Opinions on the key work of comprehensively promoting rural revitalization in 2022],” State Council, 22 February 2022, at http://www.lswz.gov.cn/html/xinwen/2022-02/22/content_269430.shtml.
- ²² “中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于推动城乡建设绿色发展的意见》[Opinions on promoting green development in urban and rural development],” State Council, 21 October 2021, at http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/21/content_5644083.htm.
- ²³ “关于印发《山东省“百乡千村”绿色能源发展行动实施方案》的通知[Implementation plan of green energy development action of “Hundreds of Townships and Thousands of Villages” in Shandong province],” Energy Administration of Shandong Province, 16 September 2021, at http://nyj.shandong.gov.cn/art/2021/9/16/art_100393_10289392.html.
- ²⁴ “Energy transition is an opportunity and a challenge for rural areas,” original published in German “Energiewende ist für ländlichen Raum Chance und Herausforderung,” *Deutscher Landestag*; 19 March 2014, at <https://www.land-kreistag.de/presseforum/pressemitteilungen/1351-pressemitteilung-vom-19-maerz-2014.html>.
- ²⁵ “Grid Development Plan 2035,” Bundesnetzagentur, Original published in German “Netzentwicklungsplan 2035,” 14 January 2022, at <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2035-2021>.
- ²⁶ “Dare More Progress,” original published in German “MEHR FORTSCHRITT WAGEN,” Coalition agreement between SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN and FDP, accessed on 10 May 2022 at <https://www.tagesspiegel.de/downloads/27829944/1/koalitionsvertrag-ampel-2021-2025.pdf>.
- ²⁷ Thomas Bründlinger et al., dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

-
- ²⁸ “Grid Development Plan,” Original published in German “Netzentwicklungsplan,” Bundesnetzagentur, 2020, at https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen_2035_Genehmigung_1.pdf.
- ²⁹ “Oberding population data,” citypopulation.de, 08 January 2022, at https://www.citypopulation.de/en/germany/bay-ern/erding/09177133_oberding/.
- ³⁰ T. Kuhnimhof and C. Nobis, “Mobility in Germany,” original published in German “Mobilität in Deutschland (MiD),” Bonn, Berlin, 2019.
- ³¹ P. Wintzek et al., “Planning and operating principles for urban distribution grids – Guide for aligning grids with their future requirements,” original published in German “Planungs - und Betriebsgrundsätze für städtische Verteilnetze - Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen,” Wuppertal, 2021.
- ³² “Energy Atlas of Bavaria,” Bavarian state government, accessed on 10 May 2022 at <https://www.energieatlas.bayern.de/>.
- ³³ “5000H-1004: Households: Size of private household,” 2011 Census, Zensus Datenbank, 09 May 2011, at <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank//online?operation=table&code=5000H-1004&bypass=true&levelindex=0&levelid=1652156116006#abreadcrumb>.
- ³⁴ T. Tjaden et al., “Representative electrical load profiles for residential buildings in Germany on a 1-second data basis,” original published in German “Repräsentative elektrische Lastprofile für Wohngebäude in Deutschland auf 1-sekundiger Datenbasis,” research paper from the project: Verbundvorhaben: Langlebige Qualitätsmodule für PV-Systeme mit Speicheroption und intelligentem Energiemanagement (LAURA), November 2015, at https://www.researchgate.net/publication/283615341_Repräsentative_elektrische_Lastprofile_für_Wohngebäude_in_Deutschland_auf_1-sekundiger_Datenbasis.
- ³⁵ “Energy efficiency,” Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, original published in German “Energieeffizienz,” August 2021, at <https://www.bdew.de/presse/pressemappen/faq-energieeffizienz/>.
- ³⁶ “Company Locations,” IHK-Standortportal Bayern, accessed on 10 May 2022 at [https://standortportal.bayern/en/standortsuche/index.jsp#sortField=&start=1&q=Oberding&addr=&addrLabel=&f=geo_0_coordinate:\[48.33247446606478+TO+48.34425616975366\]&f=geo_1_coordinate:\[11.826138496398928+TO+11.859526634216309\]&toggle=on&fida-checkbox1=on&fida-checkbox2=on&fida-checkbox3=on&fida-checkbox5=on&fida-checkbox4=on&fida-checkbox7=on&fida-checkbox6=on](https://standortportal.bayern/en/standortsuche/index.jsp#sortField=&start=1&q=Oberding&addr=&addrLabel=&f=geo_0_coordinate:[48.33247446606478+TO+48.34425616975366]&f=geo_1_coordinate:[11.826138496398928+TO+11.859526634216309]&toggle=on&fida-checkbox1=on&fida-checkbox2=on&fida-checkbox3=on&fida-checkbox5=on&fida-checkbox4=on&fida-checkbox7=on&fida-checkbox6=on).
- ³⁷ “Synthetic load profiles,” APCS Power Clearing and Settlement AG, accessed on 10 May 2022 at <https://www.apcs.at/en/clearing/physical-clearing/synthetic-load-profiles>.
- ³⁸ “The average energy demand in the house,” original published in German “Der durchschnittliche Energiebedarf im Haus,” Viessmann Climate Solutions Berlin GmbH, 03 June 2022, at <https://heizung.de/heizung/tipps/der-durchschnittliche-energiebedarf-im-haus/>.
- ³⁹ “Energy consumption for heating purposes in Germany by sector in 2018,” original published in German “Energieverbrauch für Wärmezwecke in Deutschland nach Sektoren im Jahr 2018,” Statista, 01 April 2022, at <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/614202/umfrage/waermeverbrauch-in-deutschland-nach-sektoren/>.
- ⁴⁰ Thomas Bründlinger, et al., dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2019.
- ⁴¹ “Germany’s wind power thrust sets up battle with states,” Utility Scale Solar & Wind North America, 9 February 2022, at e.
- ⁴² “家庭用电量”，原文发表于德语“Stromverbrauch im Haushalt”，CO₂Online，于2022年5月10日访问 <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/>；“电力消耗”，原文发表于德语“Stromverbrauch”，Heizsparer，2022年4月4日，网址为 <https://www.heizsparer.de/energie/strom/stromverbrauch>；“家庭用电量 - 多少是正常的？”原文发表于德语“Stromverbrauch im Haushalt - Wie viel ist normal?”，Stromreport，2022年5月10日访问 <https://strom-report.de/stromverbrauch/#:~:text=Der%20durchschnittliche%20Stromverbrauch%202022%20f%C3%BCr,spielen%20einige%20Einflussfaktoren%20eine%20Rolle>；“平均功耗”，原文发表于德语“Durchschnittlicher Stromverbrauch”，Stromvergleich，于2022年5月10日访问 <https://www.stromvergleich.de/durchschnittlicher-stromverbrauch>。

Website



Wechat

