



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



中德能源与能效合作
Energiepartnerschaft
DEUTSCHLAND - CHINA

德国与欧洲高温热泵发展经验——潜力、应用场景及政策支持

中德能源与能效合作伙伴



dena
德国能源署

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

出版说明

《德国与欧洲高温热泵发展经验——潜力、应用场景及政策支持》介绍了高温热泵在碳中和背景下的节能减排潜力及推广其应用的政策支持，同时分享了德国与欧洲在推广使用高温热泵时的经验及目前成功应用高温热泵的最佳实践。报告在中德能源与能效合作伙伴项目框架下发布。项目受德国联邦经济和气候保护部（BMWK）委托和资助，中国国家发展和改革委员会、国家能源局作为中方政府合作伙伴提供支持和指导。项目旨在围绕能效提升和发展可再生能源，通过深入交流可持续能源系统发展相关的政策、最佳实践和技术知识，推动高级别政府对话，企业与政府交流以及技术和政策法规层面交流，从而促进和推动两国能源转型，助力实现气候目标。受德国联邦经济和气候保护部委托，德国国际合作机构（GIZ）负责实施中德能源与能效合作伙伴项目。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。

发行方：

中德能源与能效合作伙伴
受德国联邦经济和气候保护部（BMWK）委托
北京市朝阳区亮马河南路 14 号
塔园外交办公楼 1-15
邮编：100600
c/o
德国国际合作机构（GIZ）
Torsten Fritsche
Köthener Str. 2
柏林 10963

项目负责人：

尹玉霞、Philipp Geres、原祯
德国国际合作机构（GIZ）

作者：

Albicker
德国能源署（dena）
Philipp Geres
德国国际合作机构（GIZ）

版面设计：

edelman.ergo

图片：

BMWK/封面

排版：

赵娅男

© 2023 年 1 月，北京

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部网站发行方将对其网站相关内容负责，德国国际合作机构不对其内容承担任何责任。本文件中的观点陈述不代表委托方的意见。

目录

1. 执行摘要	4
2. 气候目标及高温热泵的重要意义.....	5
3. 热泵在工业部门的减排潜力.....	7
4. 热泵技术在工业流程中的整合.....	10
5. 工业热泵市场发展趋势和最佳实践.....	11
6. 德国推动高温热泵发展的激励措施.....	16
7. 高温热泵面临的障碍与解决方案.....	18
8. 结论	20
资料来源.....	21

1. 执行摘要

为了实现气候中和，工业部门必须通过电气化或氢气技术取代目前基于化石燃料的技术。在许多应用场景中，热泵已经是替代化石燃料提供低温热量的最优解决方案。热泵系统可以从环境或余热中提取能量，用一个单位的电力产生多个单位的热量。因此，热泵的一次能源消耗远低于其他供热方式。即使目前很多国家电力系统中化石能源占比仍较高，部署热泵也能有效减少碳排放，推广热泵技术的重要性是毋庸置疑。

而在众多行业中，需大量使用低温热量的行业特别适合部署高温热泵，如食品加工、纸浆和造纸、化学品和炼油等行业。目前，供应 100°C 中高温热量的热泵技术已经比较成熟，而温度高达 150° 的热泵系统正进行试点。随着技术的进一步发展，更高的温度水平将在不久成为成熟可行的技术。

然而目前高温热泵的进一步推广仍面临一些挑战：

- 在已运行的工厂中安装热泵系统可能需要对工艺流程进行全面优化，因为热泵系统通常不能直接替换旧的供热方案。
- 在许多国家，使用电力比直接使用化石燃料（煤碳或天然气）要贵几倍。因此即使能效高，热泵也不一定拥有成本优势，特别是考虑到热泵前期投资资本也较高。
- 热泵在住宅领域正迅速成为许多地方主流的供热解决方案，但在工业部门，热泵仍然是一个相对“小众”的解决方案，市场份额较低。因此规模经济有限，企业和设备供应商对热泵的了解也不够充分。

因此，政府应该为高温热泵的推广和扩大规模提供政策支持。措施可以包括支持研发，补贴安装和运营费用，特别是对试点应用的补贴。与此同时，还应加强能力建设并加大宣传活动；此外还可通过制定法规，如强制淘汰化石燃料在一些场景的应用，以推动热泵技术应用。然而，就算有了广泛的应用，但直接促使企业选择热泵技术的决定性因素仍是其是否具有经济性。这方面最重要的因素是化石燃料价格和电价的不同。因此，为支持热泵技术的推广，监管机构应对化石燃料实行碳定价或其他征税，并确保可再生电价具有竞争力。

2. 气候目标及高温热泵的重要意义

目前，欧盟和德国都制定了雄心勃勃的气候目标，并通过立法等手段明确将尽快实现减排目标。欧盟“绿色协议”的目标是与 1990 年相比，到 2030 年净排放量减少 55%，并在 2045 年实现整体气候中和，而德国的《气候保护法》则规定到 2030 年将总排放量减少 65%，并在 2045 年实现气候中和。此外，德国《气候保护法》为不同的领域设立了不同的气候目标，包括到 2030 年减少三分之一的工业直接排放，而截至 2019 年，工业直接排放在过去 20 年中基本持平。工业直接排放约占欧洲和德国温室气体排放总量的 20%，欧洲 2017 年工业直接排放为 8.77 亿吨二氧化碳当量¹，德国 2021 年工业直接排放则为 1.81 亿吨²，其中不包括范围 2 的间接排放，如电网电力排放等，工业直接排放中的三分之二是与能源有关的³。工业领域三分之二的能源需求来自工业生产中的高温加热。因此，供热零碳转型对于实现欧洲和德国气候目标至关重要。

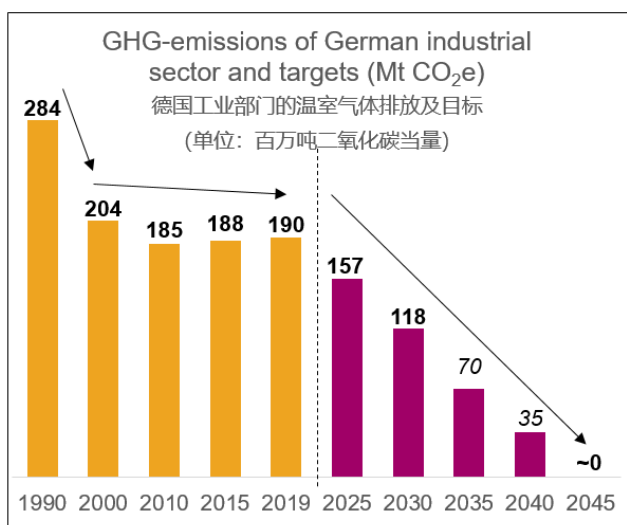


表 1: 德国工业部门的温室气体排放及目标

因此，工业企业必须使用更多的可再生能源，特别是以氢和电力替代化石能源，并大幅提高能源效率，以降低终端能源需求⁴，为此应尽量减少一次能源需求。对于高温工艺应优先考虑直接电气化（电转热技术）⁵，而对于较低温度的工艺，则应完全电气化，并尽可能使用热泵。

在大多数国家，电网电力中来自可再生及其他低碳能源的比例将越来越高，因此以电力驱动的热泵是实现从化石燃料转向零碳能源的重要技术。而就工业余热来说，热泵也是合适的技术手段之一，它可以加强余热回收与利用以提高效率⁶。在许多工艺中余热温度水

¹ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-aggregated-sector-5>

² <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-stiegen-2021-um-45-prozent>

³ https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Success_Stories/PW/PW_EU_Climate-neutral-industry/A-E_242_Succ_Stor_Pathways_IND_EU_Climate-neutrality_WEB.pdf

⁴ 在国家和欧盟层面也有相应目标。例如，德国工业部门的目标是 2030 年比 2008 年的一次能源消耗降低 30%。

⁵ https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_H2_Insights/A-EW_245_H2_Insights_WEB.pdf

⁶ https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/1445_Broschuere_Abwaermenutzung.pdf

平较低，无法直接在工艺中循环使用，其中的能量也相应的被废弃。而热泵可以提升余热的温度，使其达到工艺流程中所需要的温度水平，通过余热利用将大大节省一次能源消耗和二氧化碳排放。

在工业部门，约 10%的工业用热（在欧洲约为 200 TWh/年）是 100°C以下的低品位热，另外 26%（500 TWh/年）则在 100 至 200°C之间。目前在 100°C以下的范围内，热泵已广泛应用于不同行业；150°C高温热泵目前仍处于试点应用阶段；200°C的热泵正在实验室测试中。在未来几年，随着新技术和应用的发展，热泵供应热能的范围将扩大⁷。

近年来住宅热泵有了爆炸性的增长⁸，根据多项预测它将在未来成为大多数住宅的默认供热解决方案，但高温热泵的发展仍然远远落后于其节能减排的潜力。而为了充分利用这一潜力则需要合适的市场和框架条件。

⁷ Arpagaus, 2018

⁸ <https://www.ehpa.org/market-data/>

3. 热泵在工业部门的减排潜力

电气化将在替代工业部门使用化石燃料发挥关键作用。据估计，工业部门中高达 60% 的能源需求（包括 99% 的供热和制冷需求）可被电气化⁹。热泵可以在供应低品位工艺热的脱碳中发挥重要作用。一项自下而上的研究基于工艺热需求和热源可用性对高温热泵的应用潜力进行了估计：仅在四个热泵应用最多的工业部门（造纸、化工、食品、炼油）热泵就可提供 178 TWh/年的工业用热¹⁰。

高温热泵的工作方式是在工厂内通过提高温度对余热进行“升级改造”，以便在生产过程中加以利用，或者通过利用外部可再生热源（通常是空气、水和地热）来提供工艺用热。热泵还可以将（低温）余热用于工厂以外的用途，例如集中供热。

因此，除了合适的散热器温度（在所采用的热泵供热范围内）外，合适的热源（如余热）的可用性对高温热泵的可行性至关重要。

与其他脱碳方案相比，热泵在适当的情况下能够大幅减少一次能源需求以提供工艺用热。

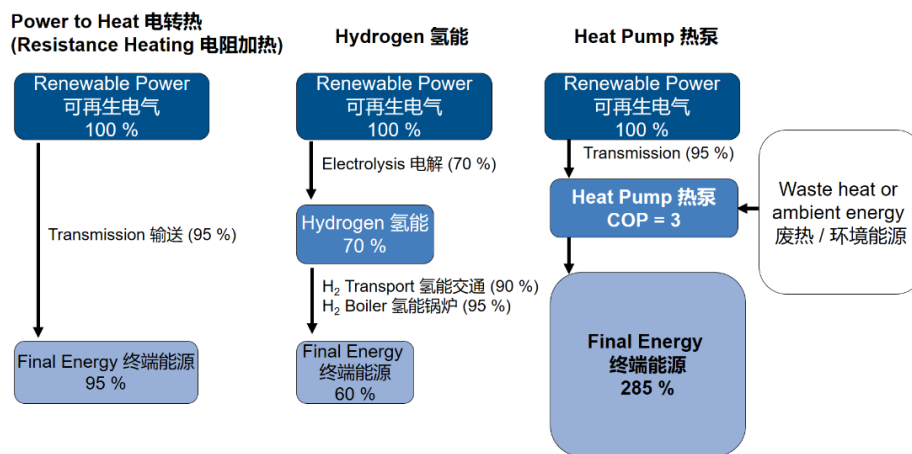


图 1: 气候中和供热技术的一次能源转换率

⁹ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abbd02/pdf>

¹⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120308297>

高温热泵的发展也会带来其他益处。安装高温热泵可以带动智能解决方案的实施，进一步提高能源效率，成为创新的驱动力。热泵可以降低能源成本，不受化石燃料价格和碳价波动的影响，并且与燃烧化石燃料相比，可以减少本地空气污染。此外，在绝大多数国家，即使在目前的“灰色”电力结构（即仍以化石燃料为主的电力结构）中，高效的热泵也能实现温室气体的减排。

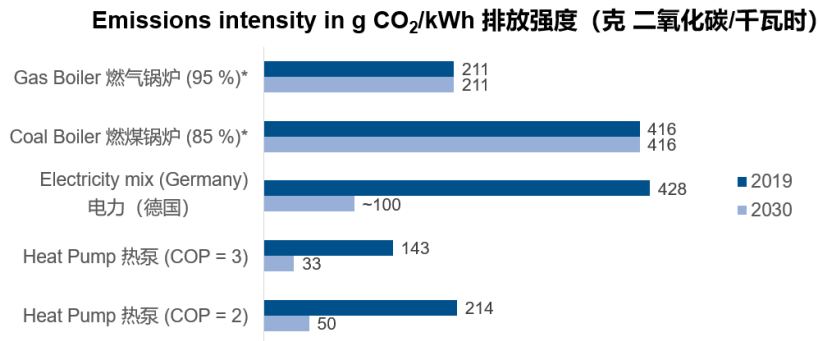


表 2:不同供热方案的排放强度比较 (*不包括天然气和煤炭的上游排放)

热泵的效率是用 COP，即性能系数来衡量的，它是热泵运行时的制热量与输入功率之比。COP 与温差 ΔT （热源和散热器之间的差异）成反比，并与设备的效率系数 ν （实际的 COP 及理想情况下的 COP 之比。一般来说， ν 约为 0.5）成正比。

$$COP = \nu * \frac{T_{sink}}{\Delta T}$$

在大多数应用中，热泵的 COP 在 2（当 ΔT 为 100 度）和 6（温差较低）之间。在实际应用中，热泵在 ΔT 为 60 度时 COP 可以达到 3，这是可以保证热泵经济性运行的极限（在目前的能源危机之前，欧洲的电力平均价格是天然气的三倍¹¹）。

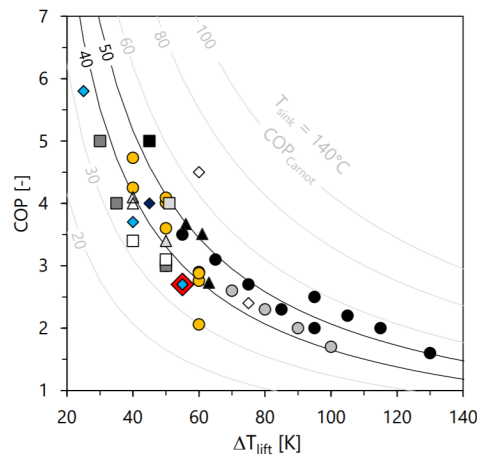


图 2: 热泵 COP 与温度提升的关系 (不同的符号代表不同的型号)

¹¹ <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-domestic-energy-prices>

最适合使用热泵的行业是有大量低品位热需求的行业。在欧盟主要是以下四个行业¹²：

行业	工艺用热 <150°C (TWh)	工艺用热 <200°C (TWh)	主要工艺流程
造纸	63	99	蒸汽制备、干燥
化学	82	99	蒸馏、生产过程中的各项工艺
食品加工	36	54	干燥、脱水、发酵、杀菌、冷却等
炼油厂	26	61	蒸馏

现阶段，食品和饮料加工行业是非常适合大规模使用热泵技术的，因为该行业的热量需求在相对较低的温度下，而且往往同时有制冷需求，热泵则可以同时进行冷热联供。其他行业也存在不同的低温工艺，特别是与作为热载体的蒸汽相关的工艺、干燥工艺等。例如是砖厂使用解耦式烘干机去除砖块中的水分，这一过程可使用热泵¹³。

在其他行业，热泵也可以取代直接电加热设备，如电阻加热，以满足相当一部分的低温工艺热需求，从而减少电力消耗¹⁴。

¹² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120308297>

¹³ <https://www.ziegel.de/pressemitteilung/roadmap-2050-klimaneutral-werden-wettbewerbsfaehig-bleiben-deutsche>

¹⁴ 德国弗劳恩霍夫研究所：《能源系统实现气候中和的路径》

4. 热泵技术在工业流程中的整合

决定热泵解决方案是否具有经济性的主要因素是能源价格和 COP。在大多数欧洲国家，热泵最常用于替代燃气锅炉（冷凝式锅炉），其效率通常在 90-95% 左右。在目前的能源危机之前，尽管有例外情况和补贴会导致针对不同的工业企业电价有很大不同，但大多数欧洲国家的电价往往是天然气价格的 3 倍左右¹⁵。因此，当 COP 超过 3 时，热泵在运行费用方面往往比燃气锅炉有优势。

由于安装成本和复杂程度较高，只有在运行成本具有显著优势，并利用率较高的情况下，才能满足投资回收期的要求（通常为 5 年）。

最佳实践

在工艺流程中使用热泵时，应同时对工厂的所有可用热源进行全面分析和优化，包括相关能效措施的可实施性，其中包括：

- 有哪些供热和制冷流程，其温度水平分别是多少？
- 是否已针对上述流程采取能效提升措施？是否有进一步可实施的能效措施（例如绝缘材料）？
- 热泵有哪些热源（特别是余热）可用？这些热源的可用时间是否与热泵供热点需要热量的时间一致？
- 温差是否低于 60°C，是否有可能进一步降低，例如通过降低工艺温度水平或提高热源温度？
- 热泵的预期负荷率（年工作小时数）是多少？
- 旧的供热系统是否快到使用年限，是否有必要进行翻修？
- 预计未来几年天然气、电力和碳价会有哪些变化？用电排放系数将如何变化？
- 在热泵解决方案的生命周期内，总成本和二氧化碳排放量将是多少？

在选择热泵设备时，应对包括上述问题在内的整体系统进行详细的分析，以便找到最理想的热泵解决方案。

¹⁵ <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-domestic-energy-prices>

5. 工业热泵市场发展趋势和最佳实践

就在几年前，高温热泵的商业应用案例还相当少见，2018 年的一项研究曾梳理了全球仅有的 20 个能够达到 90° C 级别的高温热泵项目，其中极少有超过 1 兆瓦的设备¹⁶。然而近几年来，100° C 以上的热泵技术得到了快速发展。欧洲制造商如西门子能源（Siemens Energy）公司¹⁷、曼恩机械公司（MAN Energy Solutions）¹⁸和欧适能（Ochsner）¹⁹的多兆瓦商用热泵设备现在已经可以供应 150° C 的高品位热。各个行业中均有高温热泵技术的应用（见下述最佳案例），而目前很多新启动的大规模高温热泵项目常用于集中供热²⁰和工业部门²¹。

在《蒙特利尔议定书基加利修正案》（2016 年签署，2019 年生效）对逐步减少具有高全球升温潜能值（GWP）的氢氟碳化物进行监管之后，在欧盟 F-Gas 法规的推动下，许多热泵制造商积极地转用低 GWP 的制冷剂，如氢氟烯烃或“天然”制冷剂，如烷烃、氨甚至水来取代氟烷。而热泵行业主要面临的挑战是，这些低 GWP 的制冷剂多是可燃的、有毒的且不适合特定的温度范围²²。而随着市场需求和研发工作的推进，低 GWP 的制冷剂现在已经可以用于大多数应用，包括高温热泵应用中。

目前的研发旨在扩大热泵的规模，即将温度可高达 150° C、制热量大于 1 兆瓦的热泵用于各个不同行业；同时对高于 150° C 的热泵设备进行试点示范，并在实验室规模内推动热泵技术达到 200° C²³。

热泵应用的最佳案例

利用余热干燥淀粉

项目简要信息

地点：奥地利 Pischelsdorf 市

行业：食品

公司：Agrana Stärke 有限公司

年份：2020 年

二氧化碳减排：与燃气锅炉相比可减排约 600 吨

制热量：375 kw

COP：2.9-3.2

热源：76° C-80° C 的余热（热水）

散热器温度：140° C-150° C

最高温度：110° C-160° C

制冷剂：R-1336mzz(Z) (GWP=2)

¹⁶ Cordin Arpagaus, Frédéric Bless, Michael Uhlmann, Jürg Schiffmann, Stefan S. Bertsch: 《高温热泵：市场概况、技术状况、研究现状、制冷剂和应用潜力》，(2018) <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544218305759>

¹⁷ <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/heat-pumps.html>

¹⁸ <https://www.man-es.com/process-industry/campaigns/industrial-heat-pumps-and-ems>

¹⁹ <https://www.ochsner.com/en/ochsner-products/high-capacity-heat-pumps/>

²⁰ <https://press.siemens-energy.com/global/de/pressemitteilung/vattenfall-und-siemens-energy-treiben-mit-grosswaermepumpe-die-klimafreundliche>

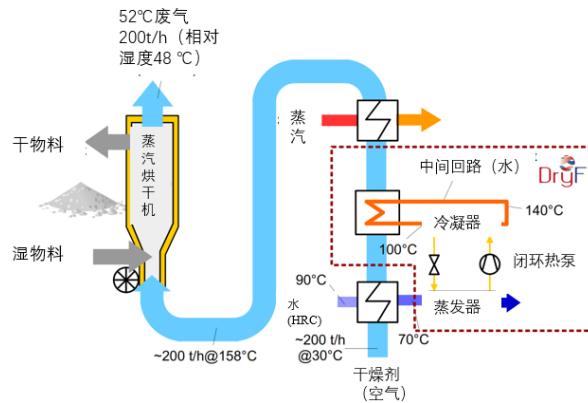
²¹ <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2022/07/p-22-278.html>

²² <https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/energy-efficient-buildings/heat-pumps/climate-friendly-refrigerants-for-heat-pumps.html>

²³ <https://www.dti.dk/specialists/white-paper-strengthening-industrial-heat-pump-innovation-decarbonizing-industrial-heat/43139>

项目介绍

Agrana Stärke 有限公司属于奥地利 Agrana 集团，生产以玉米、小麦和马铃薯为原料的高质量淀粉产品，产品范围广泛。在其位于下奥地利州 Pischelsdorf 的工厂中，高温热泵被用于淀粉干燥过程。持续运行的干燥过程需要大约 150°C 的热空气。该热泵系统在一个闭环过程中使用来自其他干燥过程的余热。该工厂使用天然气生产蒸汽，通过热泵应用减少了干燥过程中蒸汽的消耗。该示范项目是欧盟“地平线 2020 计划”中 DryFiciency 的一部分，由奥地利技术研究所 (AIT) 负责协调。



项目于 2020 年初开始试运行，最大热输出功率为 375 千瓦。根据测算，该项目每年可节约能源达 3000 兆瓦时，每年可节约二氧化碳达 600 吨。

资料来源：

<https://dryficiency.eu/demonstrations/agrana-food-industry/>

《欧洲大型热泵》（欧洲热泵协会）

<https://www.ait.ac.at/news-events/single-view/detail/6935?cHash=7334bbfd17c589f2e8079bb0e00aa7bd>

用于干燥砖块的热泵

项目简要信息

地点：奥地利 Uttendorf 市

工业：建筑材料

公司：Wienerberger 集团

年份：2019 年

二氧化碳减排：590 吨/年

制热量：300kW

性能系数：5 (110° C) , 2 (160° C)

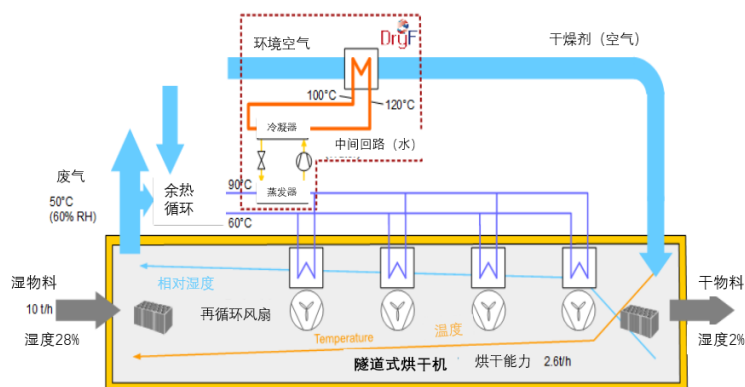
制冷剂：R-1336mzz(Z) (GWP=2)

热源：余热（热水）

最高温度：110°C -160°C

项目介绍

Wienerberger 集团是世界上最大的粘土砖和面砖制造商。在该集团位于上奥地利 Uttendorf 的工厂中，高温热泵被用于砖块干燥过程。目前在干燥过程中使用的燃气锅炉将被余热利用设备取代。该过程在一个闭环过程中使用隧道式干燥机的余热为干燥过程提供热空气。在干燥过程中，砖块的含水量从约 30%降至 2%-4%。该示范项目于 2019 年投入运行，实现了 160°C的运行温度。该示范项目是欧盟“地平线 2020 计划”中 DryFiciency 的一部分，由奥地利技术研究所（AIT）负责协调。



用热泵取代燃气锅炉，预计可节省高达 84%的能源，并实现减少高达 80%的二氧化碳排放。

资料来源：《世界日报》

<https://dryficiency.eu/demonstrations/wienerberger-brick-industry/>

<https://blog.sintef.com/sintefenergy/first-industrial-heat-pump-drier-operating-at-150c/>

<https://www.wienerberger.com/de/stories/202102-ziegel-als-chance-fuer-das-klima.html>

https://www.ait.ac.at/fileadmin/cmc/downloads/PAs/2019/AIT_2019_PA-AIT_DryFiciency_Demoevent.pdf

<https://www.ait.ac.at/news-events/single-view/detail/6935?cHash=7334bbfd17c589f2e8079bb0e00aa7bd>

https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/01_Verband/Webinare/Vortrag_Wilk_AIT_02062020.pdf

工业余热用于集中供热

项目简要信息

地点：丹麦 Skjern 市

行业：纸浆和造纸

公司：Skjern 造纸厂

年份：2014 年

二氧化碳减排：8200 吨（2015 年）

制热量：5.3MW

COP: 6.5 - 7

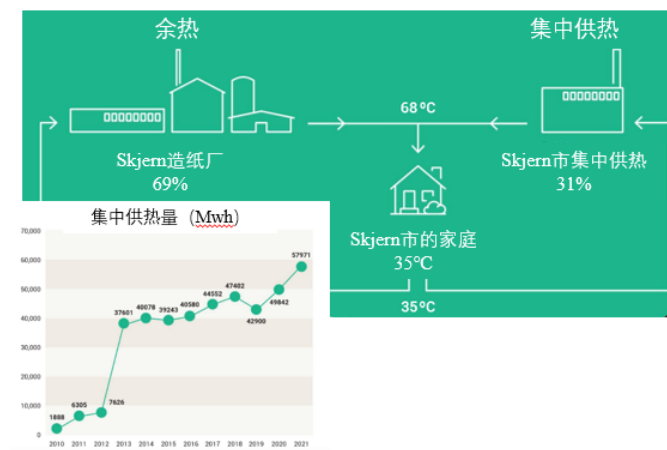
制冷剂：R717

热源：潮湿的空气 55°C->30°C

最高温度：70°C

项目介绍

在丹麦的 Skjern 市，工业余热被用于集中供热。2012 年，当地造纸厂 Skjern 造纸厂安装了三台高温热泵，每台 1.33 兆瓦，以利用纸张干燥过程中的余热。后续又增加了一台热泵，总容量达到 5.3 兆瓦。在直接式换热器的补充下，该工厂可提供 8 兆瓦的热力，热泵系统的 COP 为 6.5 至 7。2021 年，该造纸厂的余热可以为 Skjern 市 69% 的家庭供热。



项目于 2020 年初开始试运行，最大热输出功率为 375 千瓦。根据测算，该项目每年可节约能源达 3000 兆瓦时，每年可节约二氧化碳达 600 吨。

资料来源：

欧洲的大型热泵 16 个已实施的成功案例

<https://www.euroheat.org/resource/heat-recovery-from-local-paper-mill-in-skjern.html>

https://issuu.com/oerskovweb/docs/skjern_paper_sustainability_report_2021?fr=sYWE2MzkwNDEzNw

Snellman——工业热泵的先驱用户

项目简要信息

地点：芬兰 Pietarsaari 市	制热量：1,090 kW
行业：食品工业（肉类加工）	COP: 3.5
公司：Snellman 有限公司	制冷剂：R1234ze
年份：2019 年	热源温度：30°C
	最高温度：95°C

描述

来自芬兰的 Pietarsaari 市的 Snellman 集团是一家从事食品行业的家族企业，其业务领域是肉类加工和即食食品。他们是工业热泵应用的先驱者。早在 2007 年，Snellman 集团就在其工厂安装了第一台容量为 1 兆瓦的热泵。通过利用清洗流程中的余热，清洗水被重新加热到 55°C，每年可以节省约 45 万公斤的燃油。2009 年，该工厂又安装了其他热泵系统，利用制冷机的余热将水加热到 75°C 为工厂供热。随后在 2019 年 1 月，该厂又安装了两台奥林公司的高温热泵，制热量为 1,090 千瓦。该热泵可以提供 95°C 的热量，可以用于对刀具和其他工具进行消毒。过去这一热量是由沼气锅炉生产的蒸汽提供的。Snellman 集团早在 2014 年就淘汰了石油，转而使用沼气。目前新的热泵系统使该厂也可以大大减少沼气的使用。

资料来源：

<https://oilon.com/en-gb/references/snellman-pietarsaari-finland/>

<https://www.coastline.fi/2020/2020/03/02/snellman-saves-energy-by-using-waste-heat/>

欧洲的大型热泵

6. 德国推动高温热泵发展的激励措施

为了缩短投资回收期并降低前期资本成本以激励热泵的安装，欧洲许多国家都出台了热泵投资补贴计划。

德国联邦经济与气候保护部（BMWK）在 2019 年出台了“工业能源和资源效率（EEW）”资助计划，在 2021 年对其进行了最新一次修订²⁴。该计划每年有高达十亿欧元的预算，资金来源是碳排放定价的收入（能源和气候基金）。

该计划面向不同的能效措施，包括以下五个模块：

- 通用技术
- **可再生能源供应工艺用热**
- 数字技术和能源管理系统
- **工业设备和流程中能源和资源相关的优化**
- 零碳转型规划

其中模块 2 和 4 与热泵相关：

- 模块 2 专门针对用可再生能源供应工艺用热，支持对太阳能热、生物质以及热泵的支持。它对已安装的热泵有具体的技术要求，包括 COP 大于 2 和 η 大于 0.4。该模块要求热源应来自可再生能源。每个投资项目的最高补贴额为 1500 万欧元，最高为投资成本的 55%。
- 模块 4 为所有能效相关的措施提供支持，其中也包括热泵。这一模块面向所有节能技术，所有节能减排的项目都可以申请，只要不是从一种化石燃料转向另一种化石燃料（如煤到天然气）。该模块支持的项目是更复杂的、系统的优化措施，也包括多项措施的组合。每个投资项目的最高补贴额为 1500 万欧元，最高为投资成本的 50%。

这两个模块同时支持设备整合和安装费用（规划、施工、管道、储热、测量设备等）。

欧洲的其他国家也有类似的补贴计划，例如法国的“Chaleur 基金”。

除了补贴计划支持外，其他政策措施也有助于促进热泵或其他电气化技术的发展。目前在德国正在实施的其他措施包括：

碳定价：工业领域的碳排放不仅被纳入欧盟碳市场，也是德国国家燃料碳排放交易体系（《燃料排放交易法》，BEHG）的一部分（后者主要覆盖了交通、建筑等部门），以提高化石燃料的成本，激励能效措施和替代能源的使用。在欧洲与德国，碳价预计将继续上升。欧盟碳市场的二氧化碳价格已经从 2018 年的每吨二氧化碳 10 欧元上升到 2021 年的近 100 欧元/吨；德国国家燃料碳排放交易体系的二氧化碳价格将从 2022 年的 30 欧元上升到 2025 年的 55 欧元/吨，之后将由市场交易决定；

工业用电免税：在德国，能源密集型产业可免除部分税费，这大大降低了他们的电力成本。虽然这项措施的出台主要是防止碳泄漏，而非鼓励电气化发展，但减免部分税费是以工业企业引入能源管理系统或落实能效措施为前提条件的。目前，可再生能源附加费（EEG-Umlage）的征收使德国成为欧洲电价最贵的国家之一，这一情况将在 2022 年结束，所有消费者的电力成本都将有所降低。

²⁴ https://www.co2-leuchttuerme-industrie.de/fileadmin/Leuchttuerme_CO2_Reduktion/Dokumente/dena_Grafik_Foerderprogramm_EEW_Novelle_final.pdf

碳差价合约 (CCfD)：德国联邦政府正计划引入“碳差价合约”，补偿低碳生产技术与传统化石工艺相比的额外成本。该合约通常对具体技术没有规定，因此热泵解决方案原则上符合条件。

为支持工业部门脱碳的**碳差价合约** (Carbon Contracts for Difference, CCfDs) 是企业与政府或政府资助的机构之间基于项目而签订的合同，它覆盖了与传统生产方式相比，采取低碳或零碳生产技术手段的额外成本。

目前，由于生产过程中高昂的碳减排成本，“零碳”产品通常价格昂贵，在未来几年里，二氧化碳价格水平预计不会抵消这部分成本。通过补偿实际减排成本和碳价格水平之间的差异，CCfD 将为公司提供安全保障，使其能够在不受实际二氧化碳价格影响的情况下进行生产，并保证其竞争力，从而使企业投资于低碳技术。

CCfD 合同中的“执行价格”，即企业获得补贴的假定减排成本，应通过特定产品或行业的招标来确定。招标过程不应限制所采用的技术，但其解决方案必须是气候中和的或与长期气候中和目标相一致的。CCfD 的期限应根据具体项目来确定，可以基于设备的折旧期或工厂的实际运行寿命来确认。如果碳价上升到高于执行价格，企业则可能需要向政府返还项目资金。

在大多数情况下，低碳生产最重要的成本因素是使用可再生能源（主要是绿氢或绿色电力）带来的额外成本，CCfD 的合同中应约定对其进行监测，避免成本风险或过度补贴。

7. 高温热泵面临的障碍与解决方案

在德国，电气化项目，包括大规模发展高温热泵面临的最大挑战是目前与能源价格相关的法律法规，特别是与天然气等化石燃料相比，电力的税费和附加费相对较高²⁵。目前在许多国家的电力结构中煤炭占比仍然非常高，因此与电气化相比，使用天然气，特别是热电联产，往往是更“清洁绿色”的解决方案。而对德国来说，淘汰天然气早期并不是其长期能源战略之一，伴随着可再生能源的比例不断提高，电力变得更加清洁，同时德国也提高了其气候目标，因此德国对天然气的考量也有所改变。

热泵技术不能简单、直接地取代化石燃料锅炉。热泵系统更加复杂，也需要更多的专业技术知识：为了使热泵技术发挥其最大节能潜力，通常要从根本上重新设计工厂工艺流程，导致安装成本大幅提高。

此外，高温热泵技术近年来发展才趋于成熟。几年前热泵还被认为是一项“小众”技术，与燃气相比热泵的安装数量仍然很低，仅有少数的示范项目并缺少大规模的成熟系统，这使得高温热泵的发展仍不具备规模效应。缺少规模效应的带动，高温热泵成本高居不下，技术进步也没有快速发展。针对电气化解决方案的政策支持可以打破这种恶性循环，并为潜在投资者提供保障。

政策建议：

实现大规模热泵应用需要为企业和其他投资者提供积极的最佳实践案例。鉴于企业是否采用热泵系统的决定因素是其运行成本，因此，使电力价格比化石燃料更具竞争力则是政策支持的关键所在。例如瑞典的电力价格与天然气相比很便宜，企业也大幅度实施电气化项目²⁶。相关政策建议包括：

- **建立碳定价机制**，不断提高碳价，促使企业将碳价带来的成本内部消化
- 保证电力和天然气之间的**公平竞争**，而不是像一些国家那样对电力征收更多的税费和附加费；
- **停止对化石燃料解决方案的补贴**；
- 支持企业使用**低价的可再生能源电力**，如支持采用绿电长期购电协议（PPA）；
- 为企业提供运营成本支持，如**碳差价合约（CCfD）**，使热泵更具竞争力，降低运营商投资风险；
- 采取灵活性措施，如**工业需求侧管理**，以减少电力（系统）成本和碳排放。

为了应对较高的初始投资成本和较长的投资回收期时间，特别是在目前热泵应用较少的情况下，政府应**支持热泵的研发和规模化发展**。

- 支持**热泵技术的研发**，以实现更高能效、更高的温度水平，使用更低排放的制冷剂；
- 为**早期应用高温热泵的工厂提供支持**，例如对热泵试点项目给予财政支持，提供规模化的技术示范；
- 为工厂安装热泵系统和使用可再生能源提供**投资成本补贴**；
- 支持为不同行业制定**标准化的解决方案**，并提供咨询和其他服务，支持中小企业应用热泵；

同时，强制监管措施也可以激励工业企业使用热泵，淘汰化石燃料。

- 提高**工业能效标准**，减少一次能源消耗；
- 通过**监管框架**推动新能源的使用，如地热与热泵的结合；
- 规定工业产品**碳足迹的透明化**，优先采购低碳产品，这将激励能效措施和低碳技术的发展；

²⁵ 德国电价构成包括二氧化碳定价、可再生能源附加费、配电费、电力税等。

²⁶ Philibert C, 2017, 《工业部门可再生能源从绿色能源到绿色材料和燃料》，国际能源署

此外，**扩大可再生能源和其他低碳能源的使用**、扩建电网和扩大储能将确保电力供应的经济性与安全性，这也有利于替代热电联产，降低电气化解决方案的碳足迹。

政府单位和国有企业等公共机构应以身作则，淘汰化石燃料，扩大清洁解决方案的应用规模。减少化石燃料锅炉的使用，可持续的替代方案如热泵技术将得以推广，从而有更多可用的相关技术及培训。

8. 结论

零碳场景下轻工业不同温度水平供热技术占比

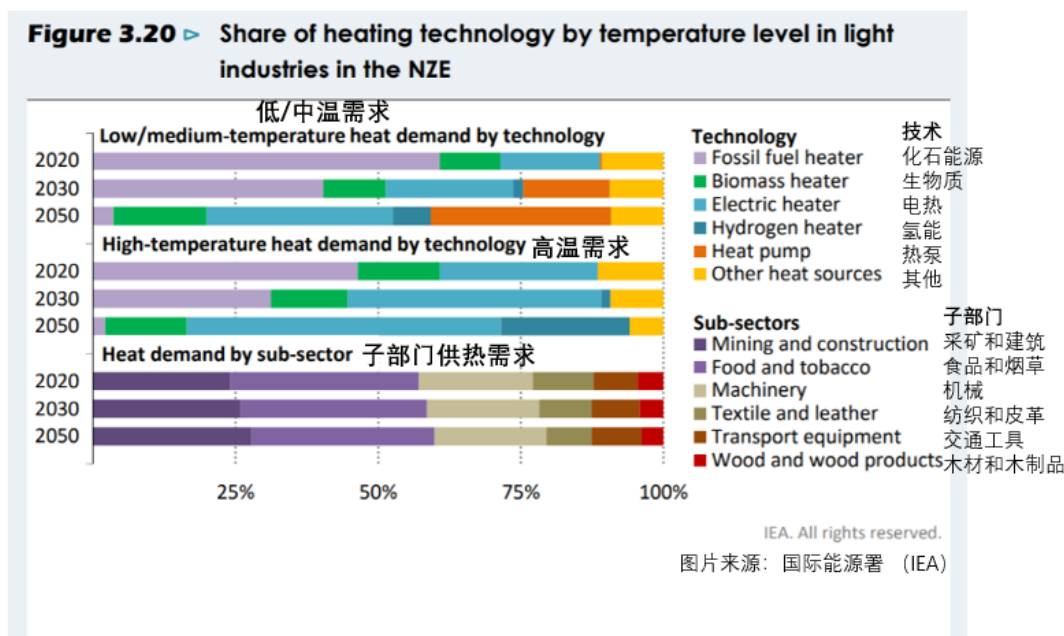


表 3: 零碳场景下轻工业不同温度水平供热技术占比

根据国际能源署 (IEA) 的 2050 年净零排放的场景，热泵覆盖的中低品位热量 (<400° C) 的份额将从现在的不到 1% 增加到 2030 年的约 15%，到 2050 年将达到 30%。

这将为热泵生产和安装企业提供前所未有的市场发展动力，对于工业企业来说也是利用热泵节约成本和降低能耗的绝佳机会。中国拥有强大的设备制造业，以及庞大的轻工业部门，将从热泵的推广中获得巨大收益。

热泵具有极大的节能减排潜力，即使在中国现有的电力机构下，也应毫不犹豫地加速推广热泵技术。作为实现低碳未来的一个重要手段，热泵技术相较于其他电气化手段，应尽快得到推广应用。

在德国，近几十年来许多行业的生产已经从使用煤到燃气再到燃气热电联产逐步升级，现在则应将其工艺用能需求电气化。而中国则可以通过扩大高温热泵的使用，“跳过”天然气而直接转型升级为低碳解决方案。

资料来源

- ¹ “Greenhouse gas emissions by aggregated sector”, European Environment Agency, 19 December 2019, accessed at <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-aggregated-sector-5>
- ¹ “Treibhausgasemissionen stiegen 2021 um 4,5 Prozent”, Umweltbundesamt und Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 15 March 2022, accessed at <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-stiegen-2021-um-45-prozent>
- ¹ „Climate neutral industry in Europe”, Agora Energy, November 2021, accessed at https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Success_Stories/PW/PW_EU_Climate-neutral-industry/A-E_242_Succ_Stor_Pathways_IND_EU_Climate-neutrality_WEB.pdf
- ¹ “12 Insights on Hydrogen”, Agora Energiewende, Agora Industry (2021), January 2022, accessed at https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_H2_Insights/A-EW_245_H2_Insights_WEB.pdf
- ¹ “Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen”, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), December 2015, accessed at https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/1445_Broschuere_Abwaermenutzung.pdf
- ¹ Cordin Arpagaus, Frédéric Bless, Michael Uhlmann, Jürg Schiffmann, Stefan S. Bertsch: “High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials”, Energy Volume 152, 1 June 2018, accessed at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544218305759>
- ¹ „Market Data“, european heat pump association, accessed at <https://www.ehpa.org/market-data/>
- ¹ Silvia Madeddu *et al*, “The CO2 reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat)”, 25 November 2020, accessed at <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abb02/pdf>
- ¹ A. Marina, S. Spoelstra, H.A. Zondag, A.K. Wemmers, “An estimation of the European industrial heat pump market potential”, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 139, 21 January 2021, accessed at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120308297>
- ¹ “International domestic energy prices”, Government UK, 26 May 2022, accessed at <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-domestic-energy-prices>
- ¹ A. Marina, S. Spoelstra, H.A. Zondag, A.K. Wemmers, “An estimation of the European industrial heat pump market potential”, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 139, 21 January 2021, accessed at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120308297>
- ¹ „Roadmap 2050: Klimaneutral werden, wettbewerbsfähig bleiben - Deutsche Ziegelindustrie stellt Weg zur Klimaneutralität bis 2050 vor“, Bundesverband der deutschen Ziegelindustrie, 23 March 2021, accessed at <https://www.ziegel.de/pressemitteilung/roadmap-2050-klimaneutral-werden-wettbewerbsfaehig-bleiben-deutsche>
- ¹ „WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM“, Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, November 2021, accessed at <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf>
- ¹ “International domestic energy prices”, Government UK, 26 May 2022, accessed at <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-domestic-energy-prices>
- ¹ Cordin Arpagaus, Frédéric Bless, Michael Uhlmann, Jürg Schiffmann, Stefan S. Bertsch: “High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials”, Energy Volume 152, 1 June 2018, accessed at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544218305759>
- ¹ “Large-scale Industrial Heat Pumps”, Siemens energy, accessed at <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/heat-pumps.html>
- ¹ “MAN heat pumps decarbonize industrial heat”, MAN Energy Solutions, accessed at <https://www.man-es.com/process-industry/campaigns/industrial-heat-pumps-and-ems>
- ¹ “OCHSNER energy technology! Heat pumps for high outputs”, Ochsner Heat Pumps, accessed at <https://www.ochsner.com/en/ochsner-products/high-capacity-heat-pumps/>
- ¹ “Vattenfall und Siemens Energy treiben mit Großwärmepumpe die klimafreundliche Wärmeversorgung Berlins voran“, Vattenfall Wärme Berlin AG und Siemens Energy, 25 March 2021, accessed at <https://press.siemens-energy.com/global/de/pressemitteilung/vattenfall-und-siemens-energy-treiben-mit-grosswaerme-pumpe-die-klimafreundliche>
- ¹ „BASF and MAN Energy Solutions enter into partnership for construction of one of the world’s largest heat pumps in Ludwigshafen“, BASF SE, 1 July 2022, accessed at <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2022/07/p-22-278.html>
- ¹ “Climate Friendly Refrigerants for Heat Pumps”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2018, accessed at <https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/energy-efficient-buildings/heat-pumps/climate-friendly-refrigerants-for-heat-pumps.html>
- ¹ “White Paper: Strengthening Industrial Heat Pump Innovation - Decarbonizing Industrial Heat”, Danish Technological Institute, accessed at <https://www.dti.dk/specialists/white-paper-strengthening-industrial-heat-pump-innovation-decarbonizing-industrial-heat/43139>
- ¹ “Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz“, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), December 2015, accessed at https://www.co2-leuchttuerme-industrie.de/fileadmin/Leuchttuerme_CO2_Reduktion/Dokumente/dena_Grafik_Foerderprogramm_EEW_Novelle_final.pdf
- ¹ “International industrial energy prices”, Government UK, 26 May 2022, accessed at <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-industrial-energy-prices>
- ¹ Source, with electricity price composition (CO2 pricing, renewable energy levy, distribution charges, electricity tax)

¹ “Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector”, Page 129, International Energy Agency, October 2021, accessed at https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

¹ Cédric Philibert, “Renewable Energy for Industry”, International Energy Agency, 2017, accessed at https://iea.blob.core.windows.net/assets/48356f8e-77a7-49b8-87de-87326a862a9a/Insights_series_2017_Renewable_Energy_for_Industry.pdf

网站



微信

