

led

International  
Energy Agency

# 能效2021

CCEEE 编译

CCEEE   
ENERGY · EFFICIENCY · ECONOMY

# INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

---

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 31 member countries, 10 association countries and beyond.

Please note that this publication is subject to specific restrictions that limit its use and distribution. The terms and conditions are available online at [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

Source: IEA. All rights reserved.  
International Energy Agency  
Website: [www.iea.org](http://www.iea.org)

## IEA member countries:

Australia  
Austria  
Belgium  
Canada  
Czech Republic  
Denmark  
Estonia  
Finland  
France  
Germany  
Greece  
Hungary  
Ireland  
Italy  
Japan  
Korea  
Lithuania  
Luxembourg  
Mexico  
Netherlands  
New Zealand  
Norway  
Poland  
Portugal  
Slovak Republic  
Spain  
Sweden  
Switzerland  
Turkey  
United Kingdom  
United States

The European Commission also participates in the work of the IEA

## IEA association countries:

Argentina  
Brazil  
China  
Egypt  
India  
Indonesia  
Morocco  
Singapore  
South Africa  
Thailand



# 摘要

《能效 2021》报告是国际能源署（IEA）关于全球能效进展的年度旗舰报告。本期报告对全球能效市场在经济体总体层面和各部门、领域层面的近期趋势都进行了总结评述，同时对能效政策和投资进展的相关内容也有所关注。

本册报告还聚焦于实现全球能源部门 2050 年净零碳排放过程中，能效将发挥的重要作用。具体而言，报告深入挖掘了高效电器设备的关键作用，以及建筑、交通、工业部门能效“里程碑”对全球净零碳排放的重大意义。

此外，本册报告还对能效相关的数字化创新趋势进行了分析，探索了数字化进程如何推动能效市场扩大规模、拓宽范围，以及不断发展的商业模式应该如何适应这一趋势、更好地助力数字化能效提升。

# 致谢

本出版物由国际能源署（IEA）能源效率司（EEfD）编写完成。相关分析研究工作由 Nicholas Howarth 主持和协调。本出版物的主要贡献者包括 Ahmad Al Mugharbil, Minnie Ashdown, Emi Bertoli, Ramit Debnath, Ian Hamilton, Pauline Henriot, Doyob Kim, Kevin Lane, Jihyun Lee, Jack Miller, Yannick Monschauer, Michael Oppermann, Aleksandra Paciorek, Alison Pridmore, Brendan Reidenbach, Vida Rozite, Hugo Salamanca, Mel Slade, Monica Troilo, 以及 Fabian Voswinkel。

IEA 能源市场与安全部（EMS）部长 Keisuke Sadamori 和能源效率司司长 Brian Motherway 为本报告提供了战略指导和意见。IEA 其他的高级管理人员，特别是 Laura Cozzi, Mechthild Worsdorfer, 以及 Timur Guel, 提供了宝贵的意见、反馈和指导。

IEA 的其他同事也为报告作出了重要贡献，这些同事包括：Thibaut Abergel, Blandine Barreau, Simon Bennett, Sylvia Beyer, Stéphanie Brouckaert, Olivia Chen, Joel Couse, Daniel Crow, Tanguy De Bienassis, Chiara Delmastro, Araceli Fernandez Pales, Peter Fraser, Timothy Goodson, Craig Hart, Shai Hassid, Alejandro Cesar Hernandez, Jean-Baptiste Le Marois, Peter Levi, Rüdiger Lohse, Apostolos Petropoulos, Roberta Quadrelli, Gabriel Saive, Disha Sharma, Jacopo Tattini, Jacob Teter, Peerapat Vithayasrichareon, Michael Waldron, 以及 Daniel Wetzler。

Mitsidi Projeto 提供了有效的研究和数据支持。Lushomo 提供了宝贵的（数据）可视化支持。

IEA 传播与数字化办公室为报告的制作和发布提供了支持。特别感谢 Jad Mouawad 及其团队：Astrid Dumond, Tanya Dyhin, Jethro Mullen, Isabelle Nonain-Semelin, Julie Puech, Rob Stone, Gregory Viscusi 和 Therese Walsh。Andrew Johnston 对报告进行了编辑校订。

本报告受到了日本经济贸易工业部的支持。

以下专家对报告进行了评审，并提供了宝贵意见，IEA 特此表示感谢：

亚太节能服务公司产业联盟 Alex Ablaza, 奥地利能源署 Heidelinde Adensam, 海德堡水泥公司 Marlene Arens 和 Christian Artelt, 丹麦能源署 Peter Bach, 剑桥大学 Ronita Bardhan, 墨西哥能源部 Heriberto Barrios Castillo, 国际太阳能学会 Kemal Bayraktar, IEA 高效终端设

备技术合作项目电子设备和网络设备附属协议 Steven Beletich, Recurve 公司 Carmen Best, 西班牙生态转型和人口挑战部 Mar Blazquez Gomez, 巴西能源研究办公室 Jeferson Borghetti Soares, 德国能源效率推动协会 (DENEFF) Martin Bornholdt, 墨西哥能源部 Odon de Buen Rodriguez, 加拿大自然资源部 Victoria Charmet, Enel X 公司 Chiara Dalla Chiesa, 印度 Shakti 可持续能源基金会 Shubhashis Day, 爱尔兰环境、气候和通讯部 Robert Deegan, 加拿大自然资源部 Pierre Delforge 和 Katherine Delves, 奥地利联邦气候保护、环境、能源、交通、创新和技术部 Thomas Deuts, 印度工业联合会 Shivraj Dhaka, 惠灵顿维多利亚大学 Michael Donn, 澳大利亚工业、科学、能源与资源部 Lesley Dowling, 土耳其能源与自然资源部 Bilal Düzgün, 伦敦大学学院 Lynette Dray, 韩国贸易、工业和能源部 Chae-Eun Hwang, 国际电器标准标识合作组织 (CLASP) Christine Egan, Mark Ellis & Associates 公司 Mark Ellis, EnergyPro 公司 Steven Fawkes, 意大利国家新技术、能源和可持续经济发展署 Alessandro Federici, Alessandro Fiorini, 新西兰能效和节能管理局 Brian Fitzgerald, 印度能效服务有限公司 S.P. Garnaik, 欧洲建筑性能研究所 Jessica Glicker, Recurve 公司 Matt Golden, LFenergy 公司 Shuli Goodman, Velux 公司 Sune Grollov, 瑞士联邦能源办公室 Lukas Gutzwiller, Mitsui & Co. 全球战略研究所 Takashi Hongo, Climateworks 基金会 Humin Hu, 加拿大自然资源部 Jamie Hulan, 荷兰国际集团 (ING) Gerben Hieminga, Energy in Demand 公司 Rod Jansen, 欧洲复兴开发银行 Nigel Jollands, 印度尼西亚能源和矿产资源部 Devi Laksmi Zafilus, 美国环境研究与科学协会 Skip Laitner, Iberdrola 公司 Francisco Laverón Simavilla, 澳大利亚能效委员会 Rob Murray-Leach, 法国生态转型与团结部 Benoit Lebot, 斯坦福大学 Precourt 能源研究所 Amory Lovins, 南丹麦大学健康信息学与技术中心 Zheng Ma, 加拿大自然资源部 Catherine Marchand, 加州大学圣芭芭拉分校 Eric Masanet, 挪威石油和能源部 Tom Mathiasson, 印度能效经济联盟 Sangeeta Mathew, 美国劳伦斯伯克利国家实验室 Alan Meier, 施耐德电气 Vincent Minier, 美国能效经济委员会 Steve Nadel, 国际电器标准标识合作组织 (CLASP) Stephen Pantano, 皇家墨尔本理工大学 Alan Pears, 德国复兴信贷银行 Ralf Preussner, 欧洲建筑性能研究所 Oliver Rapf, 德国尼尔廷根应用技术大学 Marc Ringel, 印度能效经济联盟 Chandana Sasidharan, 世界银行 Ashok Sakar, 荷兰企业局 Hans-Paul Siderius, 日本能源经济研究所 Koichi Sasaki, 印度能源与资源研究所 Sanjay Seth, 澳大利亚维多利亚州环境、土地、水资源和规划部 Jeremy Sung, Climate Strategy & Partners 公司 Peter Sweatman, 印度能效经济联盟 Deepak Tewari, Signify 公司 Harry Verhaar, 以及德国复兴信贷银行 Matthias Zilbauer。

# 目录

<b>执行摘要</b> .....	<b>05</b>
<b>1. 近期趋势</b> .....	<b>16</b>
1.1 能源强度趋势 .....	16
1.2 能效投融资 .....	19
1.3 能效政策进展 .....	25
1.4 其他市场趋势 .....	37
<b>2. 能效与 2050 年净零排放</b> .....	<b>44</b>
2.1 能效在实现净零排放中的作用 .....	44
2.2 电器设备 .....	48
2.3 建筑 .....	52
2.4 交通 .....	56
2.5 工业 .....	60
<b>3. 数字化能效市场</b> .....	<b>67</b>
3.1 拓展能效资源 .....	67
3.2 更广泛的系统层面效益 .....	71
3.3 基于数字技术的商业模式 .....	78
3.4 数字化战略下的能效提升 .....	83
<b>附录</b> .....	<b>89</b>
缩略语列表 .....	89
单位 .....	89

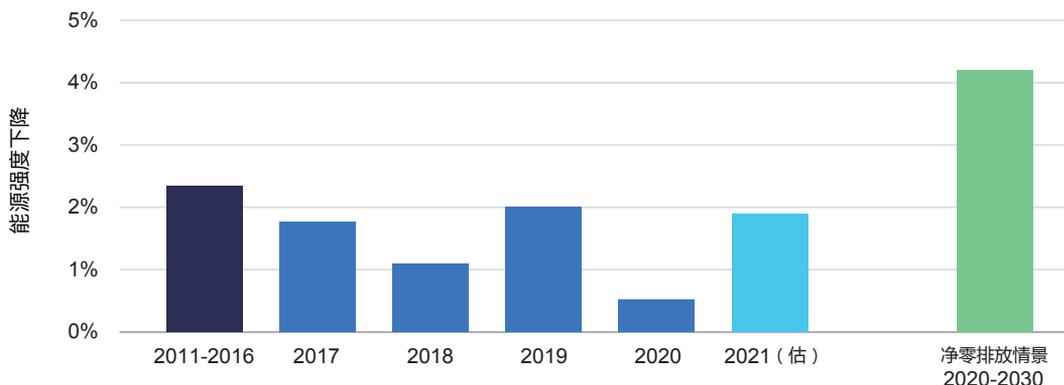
# 执行摘要

## 2021 年全球能效提升趋势有所恢复，但仍需再提升一倍才能在 2050 年实现净零碳排放

继 2020 年出现十年来最缓慢的能效提升进展后，2021 年全球能效提升预计将重回过去十年平均水平。然而为实现国际能源署（IEA）“2050 年净零排放”情景（Net Zero Emissions by 2050 scenario），全球能效提升速度还需在现有水平基础上提升一倍。作为经济体能源效率的一项关键衡量指标，全球能源强度预计将在 2021 年下降 1.9%（即能效水平提升 1.9%，下同），而在此前的 2020 年，其降幅仅为 0.5%。

过去五年，全球能源强度年均下降 1.3%，较 2011–2016 年期间 2.3% 的年均降幅有所减弱，远低于 IEA“2050 年净零排放”情景中为 2020–2030 年规划的年均降幅 4%。

### 2011–2021 年全球一次能源强度下降



IEA. All rights reserved.

注：2011–2016 年能源强度下降为五年平均降幅。2021（估）为基于《世界能源展望 2021》的 2021 年能源强度下降估算值。“净零排放情景”指 IEA“2050 年净零排放”情景，其中图示的 2020–2030 能源强度规划下降为十年平均降幅。

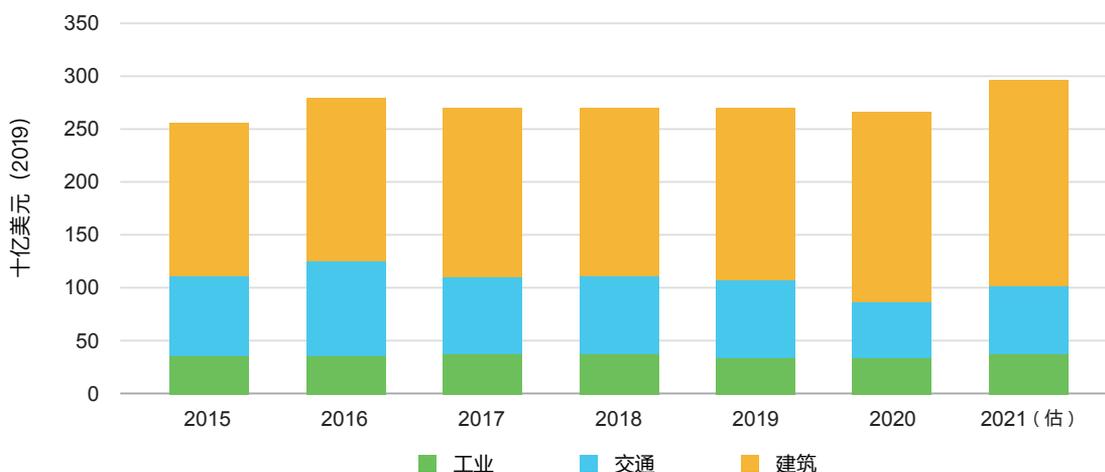
2021 年随着经济复苏，全球能源需求总量预计增长约 4%，重回疫情前水平。而在此前，由于能源需求和价格双双走低，技术能效提升进程放缓，酒店、旅游等非能源密集型的服务业在经济活动中的占比减少，导致 2020 年成为了有史以来能效提升进展最缓慢的年份之一。

新冠疫情在很大程度上影响了 2020 和 2021 年全球的能源及经济走势，而 2021 年形势的转好是否预示着接下来全世界的持续复苏还未可知。但这期间能效投资趋势的走高、政府支出（尤其是疫情后经济复苏支出）对能效提升支持力度的加大、各国提出的更高气候目标，以及其他政策措施，都释放了一些鼓舞人心的信号。

## 政府政策帮助拉动建筑部门能效投资

2021 年全球各国政府政策预计推动能效投资增加 10%，达到近 3000 亿美元。然而，要满足 IEA“2050 净零碳排放”情景的规划投资水平，从现在到 2030 年，全球年均能效投资额需要增加到现有水平的三倍。近年新增投资主要集中在欧洲，反映出其他地区需要加大政策力度、促进投资，进而推动实现全球气候目标。

### 2015–2021 年全球能效投资



IEA. All rights reserved.

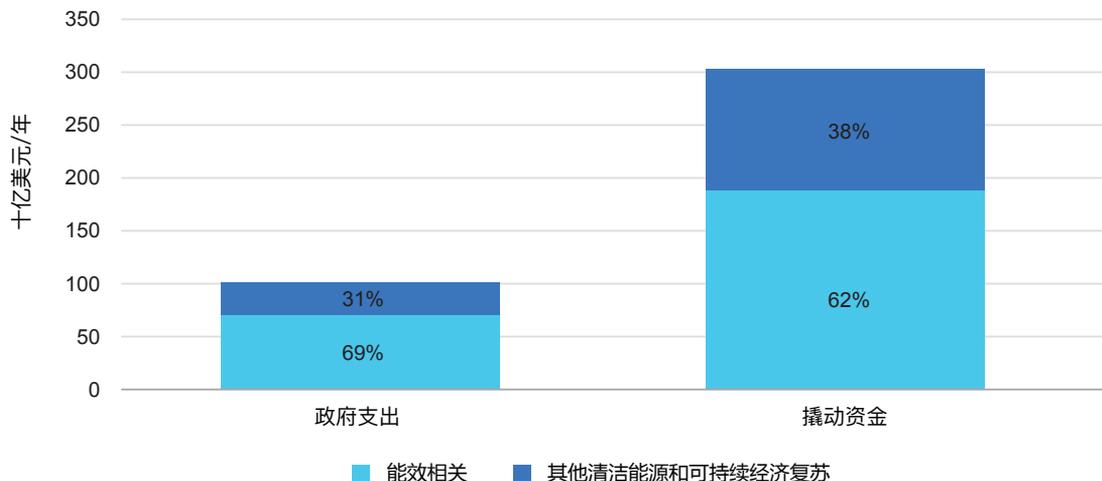
注：图中“能效投资”指针对新的节能设备的增量支出，或开展节能改造的全部成本。

2020 年，欧洲实施了更加积极的建筑能效（政策）项目，从而弥补了新冠疫情对全球交通能效投资的打击。目前交通能效投资正逐步恢复，同时建筑能效投资即将创下历史新高。

节能标准规范更多更严、政府投入增加、完善激励机制、简化（投资）规划法规和程序……这些都能提升能效项目对社会资本的吸引力，从而推动投资。例如，在税收优惠的支持下，中国节能服务市场加强了对数字化技术的应用，并在 2020 年实现了 12% 的市场规模增长。

## 政府经济复苏措施中，三分之二的清洁能源及可持续性支出用于能效提升

各国政府已批准并公布的能效相关支出在地区分布上并不均衡，其中绝大多数来自发达经济体。对其他国家和地区的政府而言，在利用经济复苏措施促使更多开支流向能效提升方面尚有巨大潜力待挖掘，以便更好地发挥能效对增加就业和推动经济增长的作用。

2021–2023年全球平均每年用于能效和其他清洁能源<sup>1</sup>的可持续性经济复苏支出

IEA. All rights reserved.

注：图中“政府支出”包括 IEA《可持续复苏计划》中建议的政府措施。“撬动资金”包括由政府支出所撬动、针对 IEA《可持续复苏计划》中建议措施的公共和社会资金投入。“能效相关”包括针对节能低碳交通和节能建筑、工业的支出。“其他清洁能源和可持续性经济复苏”包括低碳电力、电网和燃料、技术创新，及一些以人为本的转型措施。

来源：[IEA Sustainable Recovery Tracker](#)。

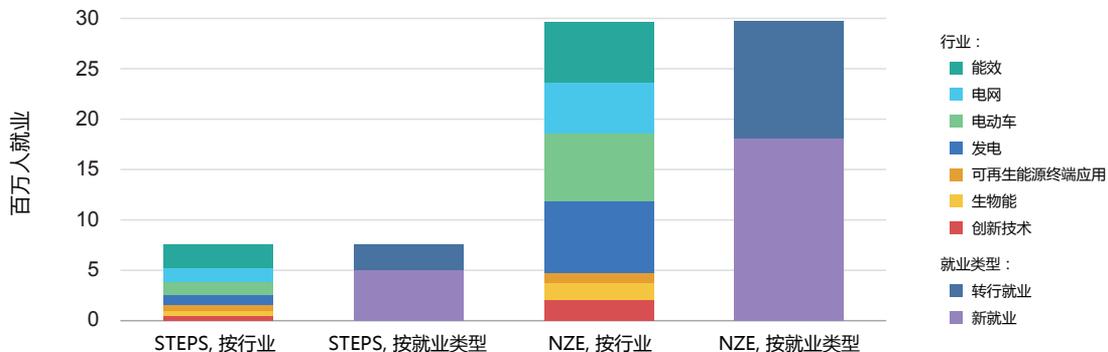
根据截至 2021 年秋 IEA 更新的“可持续复苏追踪”（Sustainable Recovery Tracker）政策工具，未来三年（2021–2023），在每年高达 4000 亿美元由政府经济复苏措施撬动（用于清洁能源和可持续发展）的资金中，能效相关的支出将占到 2/3。这一金额包括了 2021–2023 年的各国政府开支，及其所撬动的社会和其他公共部门支出。上述数据不包括已公布但截至 2021 年 10 月尚未确认的支出计划，这意味着现实中的能效支出可能会更高。

## 增加能效投资可在 2030 年前额外提供 400 万个能效相关就业机会

据 IEA “2050 年净零排放”情景预测，尽快形成针对能效的政策聚焦，增加对建筑节能改造、高效电器和其他能效措施的投资，将有助于推动从现在到 2030 年期间的社会新增就业机会提升至原来的三倍。这些就业包括建筑施工，以及供暖、制冷和热水系统安装等。尽管其中大部分就业都与现有的职业技能要求相匹配，各国政府还是可以支持开展职业培训，拓宽求职者选择范围，同时避免行业出现技能短缺。

<sup>1</sup> 译者注：国际上通常认为清洁能源（clean energy）包括能效（energy efficiency）。

“2050年净零排放”情景（NZE）和“既定政策”情景（STEPS）下，2030年清洁能源及相关行业新增就业人数，按行业及就业类型



来源：IEA analysis based on IEA (2021), [World Energy Outlook 2021](#).

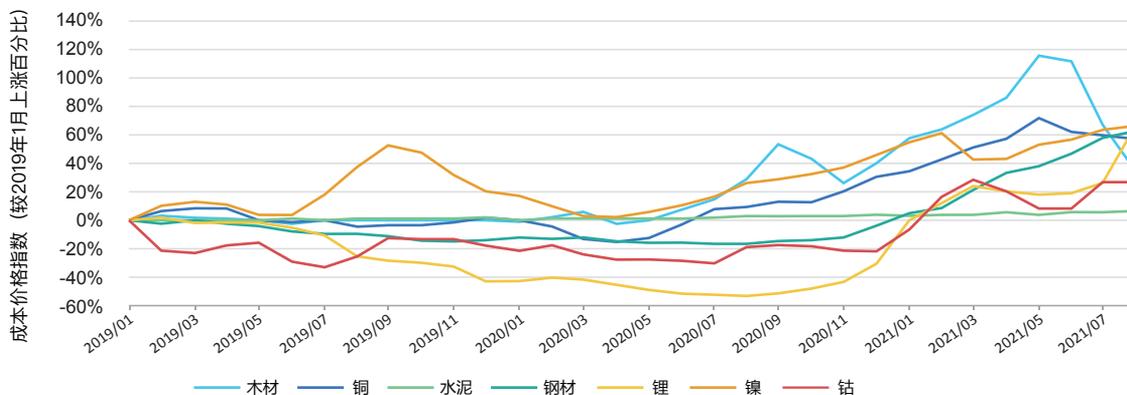
IEA. All rights reserved.

## 密切关注供应链压力

2021年经济复苏使全球商品需求上涨，对供应链造成压力，也让能效投资所必需的货物及服务（供应）面临短缺和阻滞。基于这一原因，从基础建材，到电子产品和汽车中使用的半导体元件，所有商品的价格都有所上涨。一些国家还因缺乏关键材料供应而推迟了建筑竣工时间。

例如，美国2021年第二季度木材价格较2019年1月上涨120%（随后开始下跌）；2021年8月钢材价格较之上涨60%以上。英国一项面向承包商的调查显示，水泥、电气元件、木材、钢材、油漆涂料均存在供应不足。同一时期建筑业还面临因工资上涨带来的项目成本增加，截至2021年5月，一些国家和地区涨幅高达13%。

### 2019年1月至2021年8月建筑施工和高效设备相关关键商品的价格指数



来源：Cement, lumber, steel: Bureau of Labor Statistics (Data for the US market); copper, nickel, cobalt: IMF Primary Commodity Prices (Data for the global market); lithium: Bloomberg Lithium Carbonate 99% Min China (Data for the global market).

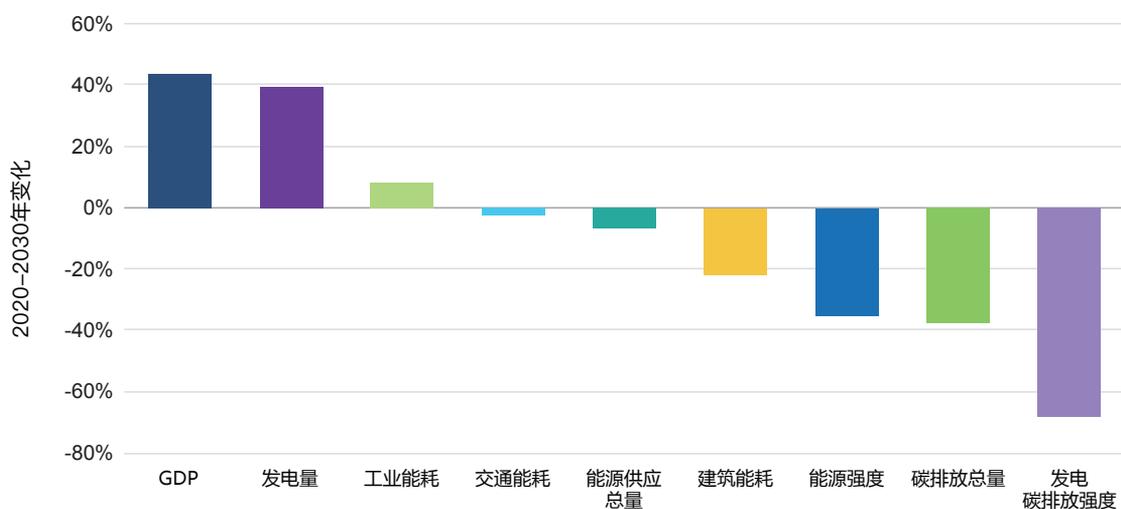
IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

## 能效提升是减少碳排放最迅速、最具成本效益的手段之一

在“2050年净零排放”情景下，2030年全球经济的能源强度将下降35%。这主要来自能效提升、电气化和行为转变三大因素的共同作用。在这些因素的作用下，风、光电等清洁能源的增长速度将超过能源服务需求增速。该情景下，2030年全球经济受人口和收入水平增加驱动，将增长40%，但能耗将下降7%。

### IEA“2050年净零排放”情景下，2020–2030年宏观经济和能源指标



IEA. All rights reserved.

注：GDP按十亿美元（2019年购买力平价）计；部门能耗为各部门终端能耗；碳排放为能源相关排放；能源强度为单位GDP能源供应量。  
来源：IEA analysis based on IEA (2021), [Net Zero by 2050 report](#)。

“2050年净零排放”情景下，未来十年（与基准情景相比）的额外能效提升中，超过80%都将为消费者带去总体成本的净减少（综合考虑能效措施的初始成本和随之降低的运行成本）。这将有助于降低家庭能源开支和缓冲商品价格波动带来的影响。能效也因此被作为前置措施纳入到IEA“2050年净零排放”情景所规划的政策组合中。

电气化在交通领域、建筑供暖和热水以及工业上的应用能够促进能效提升和碳排放减少，但也会使“2050年净零排放”情景下的2030年发电量增加40%。尽管如此，相比由化石燃料直接驱动的同类设备，电气设备拥有更高的能效水平，例如电力热泵的能效是燃烧化石能源供热的三至四倍；同时还可以通过可再生能源发电来削弱发电量增加的影响。

行为转变也是“2050年净零排放”情景的重要组成部分。这些转变包括调节室内供暖和制冷的设置温度、改变出行方式，以及增加对材料的回收利用。

## 实现净零碳排放的目标需跨越 40 多个能效“里程碑”

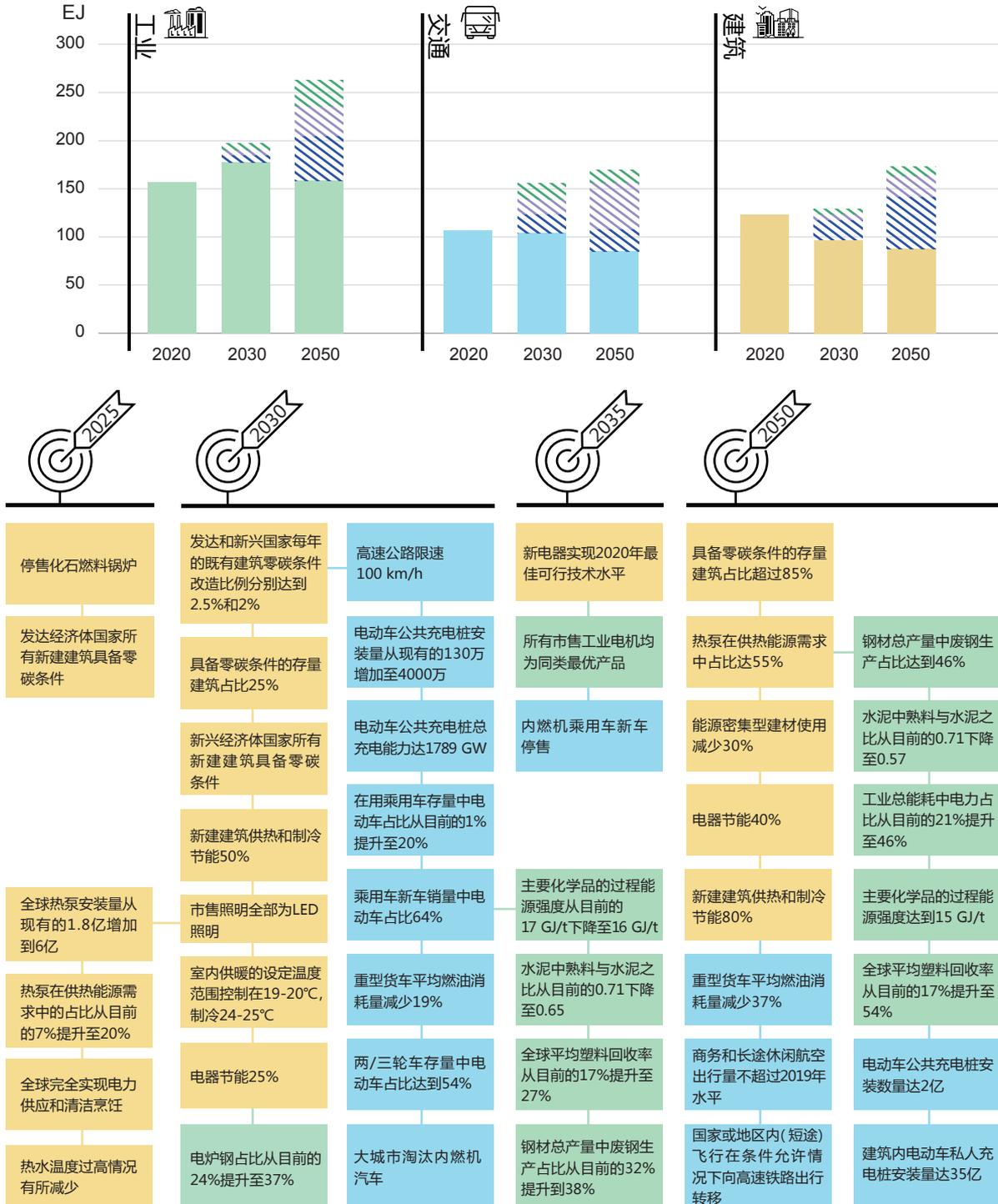
“2050 年净零排放”情景为未来规划了超过 40 个能效领域待实现的重要节点性事件（能效“里程碑”）；如果不设法实现这些里程碑，2030 年全球终端能耗总量将比该情景高出约 30%。这些里程碑大多数基于技术成熟且能广泛快速推广的解决方案。

该情景下，能效提升措施在 2030 年前将为建筑部门能耗减少贡献最大力量。其中，1) 在 2030 年前将具备零碳条件的既有建筑占比从目前的 1% 提升到 20%，以及 2) 从 2025 年起在全球范围内停止销售燃煤和燃油锅炉，是两个关键的里程碑。按照该情景规划，燃气锅炉在 2025 年也会面临禁售，但在同时具备以下两个条件的国家或地区可以例外：1) 当地天然气供应将实现脱碳；2) 待售锅炉具备零碳条件，即能够燃烧 100% 的氢气或其他低碳气体。

对交通部门而言，即使是在“2050 年净零排放”情景下，2030 年 80% 的在用乘用车预计还是要依靠内燃机驱动，因此提高所有车辆类型的燃油能效标准至关重要。2020 年，低能效、重型的运动型多用途汽车（SUVs）销量占全球汽车销售总量的 40%，而同年电动车占比仅为 5%。超过 20 个国家近期宣布了逐步淘汰内燃机汽车的计划；“2050 年净零排放”情景也将 2035 年前实现这一目标设置成了一个里程碑。

“2050 年净零排放”情景下，2030 年只有工业部门的能耗（较现有水平）会有所上升，预计涨幅约为 8%。不过即便如此，该情景还是预测工业部门会在材料和能源效率方面取得显著进展，预计 2030 年全球钢铁、化学品和水泥年产量（较现有水平）将分别增加 9%、21% 和 5%。

“2050年净零排放”情景下，2020–2050年能效“里程碑”



图例

■ 基于能效的节能量   ■ 基于电气化的节能量   ■ 基于行为(转变)的节能量

来源: IEA analysis based on IEA (2021), [Net Zero by 2050 report](#)。

IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

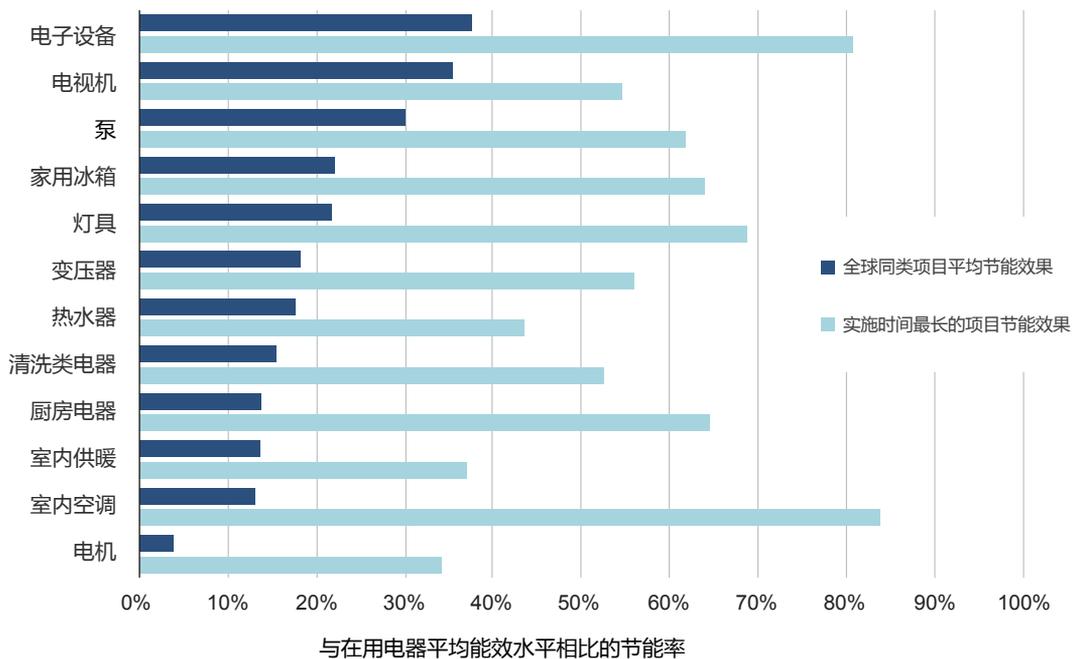
## 电器设备能效标准帮助一些长期开展此类项目的国家实现了主要电器能耗减半

全球逾 120 个国家已经实施或正在制订强制性的主要电器能效标准或标识项目。在那些实施此类项目时间最长的国家，电器能效政策已经推动主要电器能耗减少了一半以上，包括空调、冰箱、照明设备、电视机、洗衣机和厨房电器。

在实现这一巨大节能效益的同时，上述电器售价甚至还在以年均 2% ~ 3% 的速度下跌。消费者因而享受到了来自购买成本下降和运行成本下降的双重收益。

然而，要让电器能效政策项目发挥理想作用，需要一些时间；这是因为在新标准生效后，现有的低效存量电器还需要许多年才能被替换。这反映出通过激励机制促进消费者尽快替换在用的老旧、低效设备的重要性，尤其是在那些电器能效项目不够成熟的国家。

### 电器能效标准和能效标识项目实施全周期的节能效益



IEA. All rights reserved.

注：运行时间长（超过 20 年）的项目加上严格的能效标准通常能取得更好的节能效益，这是因为有足够的时间来让低效电器设备被替代，也让项目有足够的时间来显著降低同类存量电器的平均能耗。图中电子设备包括外部电源装置、显示器、DVD/VCR 设备以及其他个人电子设备。

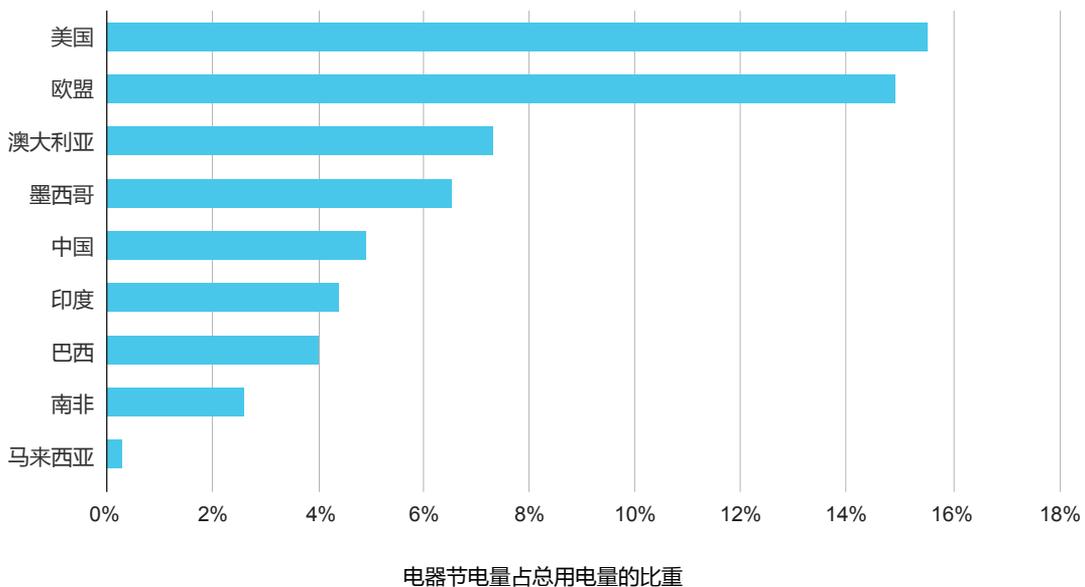
来源：IEA 和 4E TCP based on reviews of over 400 published reports covering energy efficiency standard and label programmes in a wide range of countries.

## 电器设备能效项目在一些国家和地区实现的节电量相当于风、光发电总量

一项针对中国、欧盟、美国等 9 个国家和地区的研究分析显示，2018 年，电器设备能效标准帮助这些国家和地区实现年节电量 1500 太瓦时（ $10^9$  千瓦时；TWh），相当于这些国家和地区当年的风力和太阳能发电总量之和。

在那些实施此类项目时间最长的国家，电器设备能效项目帮助当地节省了大量的额外耗电，约为其发电总量的 15%。如果推而广之，让世界各国都实现这一 15% 的节电效益，全球用电总量共计将减少 3500 TWh，几乎相当于将中国目前的年用电量削减一半。

2018年部分国家和地区电器能效标准和能效标识项目的作用



IEA. All rights reserved.

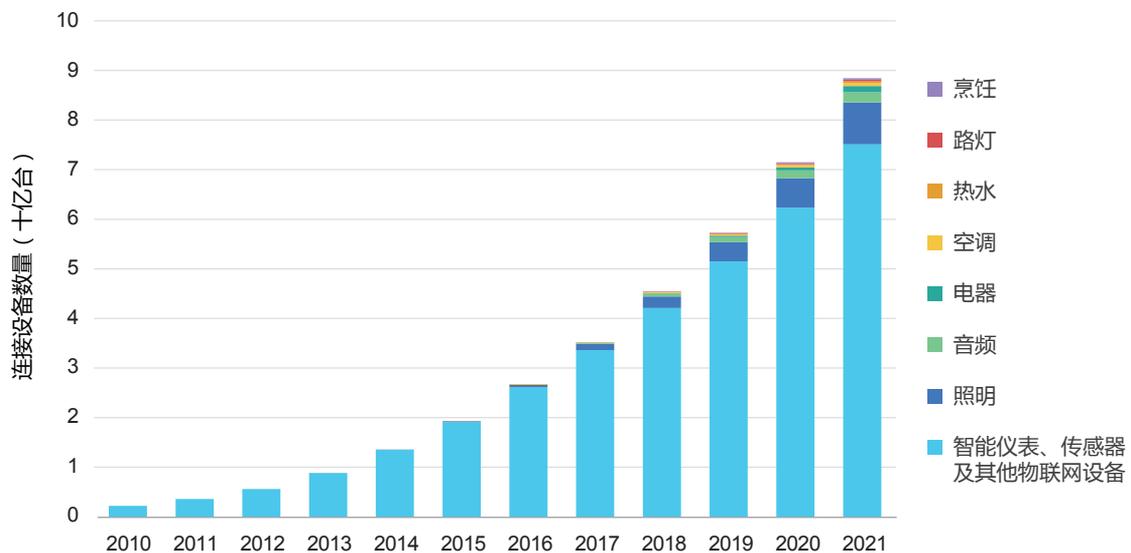
注：节电量基于图示国家和地区电器能效项目开始时的用电量计算。运行时间长的项目因能够覆盖到更多的在用电器，因此节能效益更好。  
来源：IEA and 4E TCP。

2021 年 11 月，IEA 和第 26 届联合国气候变化大会（COP26）主席国共同发起了《COP26 产品能效行动倡议》（COP26 Product Efficiency Call to Action），呼吁各国将主要电器能效水平在现有基础上提升一倍，从而帮助各国更快、更容易、更低成本地提升气候雄心。七国集团（G7）领导人在 [2021 年康沃尔举行的 G7 峰会](#) 上对该倡议表示欢迎。该倡议聚焦照明设备、冰箱、空调以及工业电机系统，这些电器设备总计占到全球用电总量的 40% 以上，同时每年还会向全球排放共计 5 吉吨（ $10^9$  吨；Gt）二氧化碳当量的温室气体，几乎相当于当前美国一年的排放总量。

## 数字技术的快速应用赋能更高能效水平的实现

2021 年，全球保有的连接电器、设备和传感器数量预计将超过世界总人口数。这些设备的数量在过去五年以年均 33% 的速度快速增长，预计 2021 年将达到 90 亿。其中大多数是诸如传感器和智能仪表这样的测量设备，而其他设备的市场占有率在近年才开始起飞。例如，2020–2021 年智能电器的市场保有量预计将翻番，同时智能照明设备的数量正逼近 10 亿。

2010–2021年基于数字技术的自动化设备保有量



IEA. All rights reserved.

注：2020 及 2021 年为估算值。

来源：IEA 4E EDNA Total Energy Model。

上述数字化趋势通过促进相关测量和控制措施的进一步发展，能够使需求侧响应在全社会拥有更加广泛的参与度，从而有助于拓宽节能效益的范围。在“2050 年净零排放”情景下，到 2030 年，市场上超过 500 吉瓦（ $10^9$  瓦；GW）的需求侧响应能力将用于维持电网稳定、实现能源需求高峰与可再生能源供应高峰之间的同步匹配。类似的应用包括高效热水系统、电动车智能充电以及连网的建筑能源系统设备等。建筑能源管理系统已证实可以节能 20% ~ 30%；节能量主要通过安装一些更加高效、对能源使用进行优化监测和控制的电器来实现。

技术创新还在一些领域推动了相关的政策创新。例如，美国加利福尼亚州的公共事业委员会（Public Utility Commission）就在 2021 年引入了一种全新的（节能效益）衡量机制“系统总效益”（total system benefit），通过能源供应商能效项目（utility energy efficiency

programmes) ，为能效提升在系统尺度的综合效益提供激励。一些国家还在近期发布了针对（数字技术）相关风险的数字化策略，拟应对的风险包括设备能耗增加、互操作性不佳、网络安全，以及因获取数字服务的机会不平等造成的社会不公平问题等。[IEA 数字化需求驱动电力网络计划 \(IEA Digital Demand-driven Electricity Networks Initiative\)](#) 为各国政府提供了一个在该领域相互交流学习、促进最佳实践应用的平台。

# 1. 近期趋势

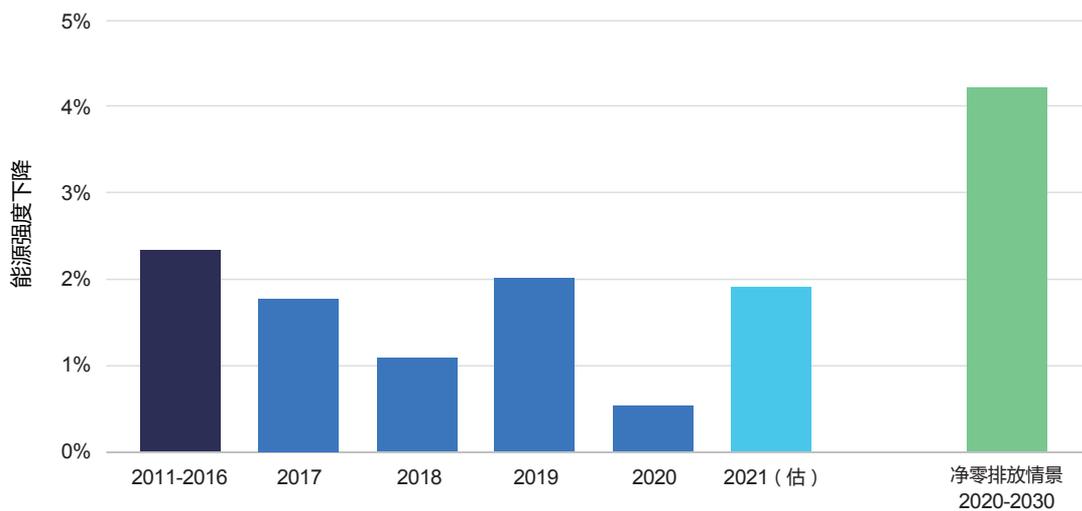
## 1.1 能源强度趋势

### 2021 年能效提升趋势有所恢复，但 2030 年前仍需再提升一倍才能实现 2050 年净零碳排放目标

全球一次能源强度，即全球单位 GDP 能源供应量，继 2020 年出现十年来最小降幅（能效提升慢）后，预期将在 2021 年回归到过去十年的年均降幅 1.9%。然而，作为衡量能效提升的重要指标，全球能源强度在未来十年的下降速度仍需在现有水平基础上增加一倍，才能达到国际能源署（IEA）“2050 年净零排放”情景（Net Zero Emissions by 2050 Scenario）所提出的目标能效水平。

过去五年间的能源强度年均降幅是 1.3%，比上一个五年（2011–2016）2.3% 的年均降幅有所减弱，更远低于 IEA“2050 年净零排放”情景所提出的 2020–2030 年期间年均 4.2% 的能源强度降幅。

2011–2021 年全球一次能源强度下降



IEA. All rights reserved.

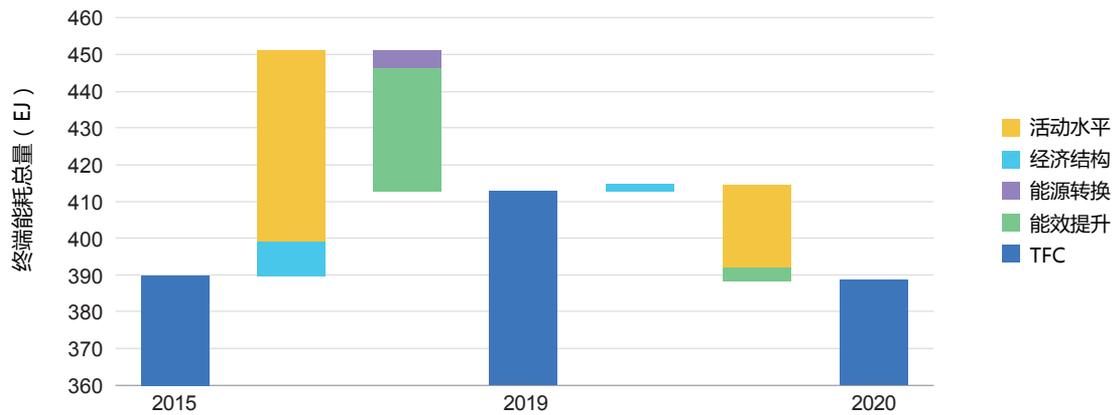
注：2011–2016 年能源强度下降为五年平均降幅。2021 (估) 为基于《世界能源展望 2021》的 2021 年能源强度下降估算值。“净零排放情景”指 IEA“2050 年净零排放”情景，其中图示的 2020–2030 能源强度规划下降为十年平均降幅。“一次能源强度”为制造每 1 美元（购买力平价）GDP 所需要的能源供应总量（原“一次能源供应总量”）。

随着疫情后各国渐渐解除封锁措施、迎来经济复苏，2021 年全球能源需求总量预计增长 4%，重回疫情前水平。这样的复苏助力了同年能源强度的下降，因为非能源密集型的服务业经营状态重回正轨，伴随能源价格上涨，同时各国政府也加大了开展能效项目的力度，增加了用于能效提升的经济复苏支出。

2020 年全球能源需求下降了 4%、GDP 下降了 3.5%，共同导致 2020 年成为近年来能源强度下降最慢的年份之一，年降幅仅为 0.5%。一系列因素的共同作用导致了这一结果，包括能源密集型经济活动占比增加，技术能效提升进程放缓，以及能源价格降低。

然而，全球能源强度降低的进程在疫情前就已经放缓了。当时，能源服务需求旺盛，经济结构中能源密集型工业生产增多，加之能源结构的电力转型只带来了微弱的节能量，同时技术能效提升速度也在变缓……种种因素共同导致了全球能效提升进程不甚理想。举例来说，假设在 2015–2019 年之间，技术能效水平也按 2020 年那样慢的速度进行提升，那么 2019 年能源需求就会比当年实际水平还要高出 5%。

#### 2015–2020 年全球终端能耗变化分解



IEA. All rights reserved.

注：TFC 指工业、建筑、交通部门的终端能耗总量。EJ 指艾焦，即  $10^{18}$  焦耳。

来源：IEA (2021), [World Energy Model](#)。

事实上，能效提升在 2015–2019 年间抵消了近 2/3 由经济增长引起的潜在能源需求增长。全球供热设备销售中，燃煤、燃油和燃气锅炉的份额也在稳步下降，2020 年总销量占比首次降至 50% 以下。高效电力热泵和包括太阳能热水系统在内的可再生能源供热设备销量占到了 2020 年供热设备安装总量的 20% 以上。

中国对能源密集型产品的强劲需求是促使其经济结构变化的重要因素，进而推动了能源需求上涨。针对这一问题，中国政府最近正在限制钢材、铝和水泥产量，以此来加大用电调控力度。

### 中国钢材产量创历史新高，给能源强度下降带来压力

钢材生产约占中国二氧化碳排放总量的 14%，是中国实现 2060 年碳中和目标的主要抓手之一。与基于废钢的生产工艺相比，（基于铁矿石的）长流程工艺能源密集程度高，并且占中国粗钢产量约 80%，而在世界其他地区这一比例约为 60%。中国粗钢产量中，只有 10% 来自基于废钢的电炉法。

中国的钢材产量在 2020 年增长了 7%，达到创纪录的 11 亿吨，约占全球总产量的 60%，同时满足出口和国内需求。2021 年 1–4 月，不断扩大的市场需求使中国钢铁行业迎来利润增长，将铁矿石需求推至历史新高，也让钢铁行业在中国经济中的地位登顶。对钢铁产品的巨大需求主要来自建筑部门、基础设施建设和制造业。

作为其减排战略的一部分，中国政府承诺将粗钢年产量限制在 2020 年水平，即 10 亿吨左右。然而中国在 2021 年上半年的粗钢产量超出该基线水平 12%，致使下半年需要限制产量。为此，中国钢铁工业协会建议限制出口，优先满足国内供应。一些行业龙头企业还提出了在 2022–2023 年实现碳达峰的目标，宝武钢铁、鞍钢和包钢则进一步提出了在 2050 年前实现碳中和的目标。

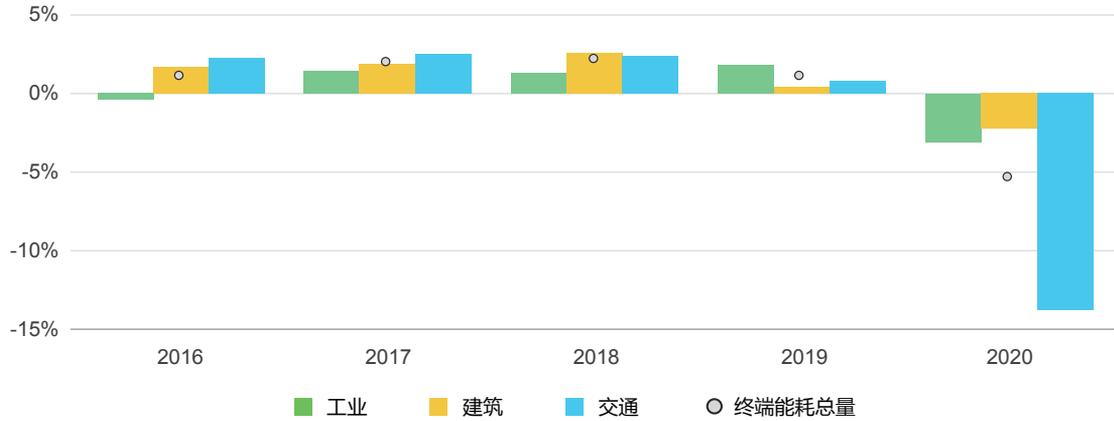
在新冠疫情发生之前，全球终端能耗在 2015–2019 年间年均增长 1.5%。其中，增长最快的交通部门年增速 2%，其次是建筑部门 1.5% 和工业部门 1%。

2020 年，交通部门以 14% 的降幅成为能耗下降最大的部门。这一年飞机、火车和公共交通的载客率较低，导致该部门的能源利用效率也随之降低。同年电动车销售情况良好，年销量达 300 万辆，占全球汽车总销量的 5%。然而，2020 年运动型多用途汽车（SUVs）在乘用车总销量中占比 40% 左右，较十年前的 20% 显著上升。这类车辆通常自重较大且能效较低，比中型车能耗高 20% 左右。

各国为应对新冠疫情而采取的限制措施直接影响到了餐饮、酒店和娱乐等非能源密集型服务业的 GDP，间接提高了能源密集型活动在经济中的相对占比。

2020 年建筑部门终端能源需求受疫情相关限制措施的影响最小，仅下降了 2%，但具体来看，居住建筑和商业建筑趋势各异。在美国，由于居家办公成为新常态，加上视频会议取代了商务差旅，2020 年该国居住建筑用电需求增长了近 2%，而商业建筑下降了 6%。

### 2016–2020年各部门终端能耗总量变化



IEA. All rights reserved.

来源：IEA (2021), [World Energy Model](#)。

全球工业能耗在 2020 年下降了 3%。由于中国在这一年逐步放开了国内的疫情相关限制措施，该国能源密集型经济活动复苏并在经济总量中占比增加，在一定程度上削弱了全球疫情相关限制措施带来的工业能耗总体降幅。

新冠疫情在很大程度上影响了 2020 和 2021 年全球的能源及经济走势，而 2021 年全球能源强度的下降是否预示着接下来全世界的持续复苏还未可知。

## 1.2 能效投融资

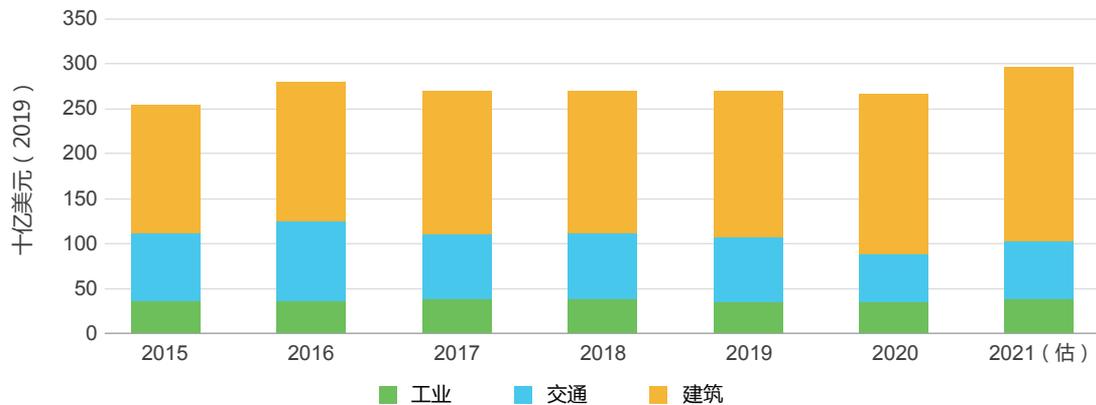
### 建筑能效投资在过去两年达到历史最高水平

在交通和建筑部门现有的政府能效项目、经济复苏措施及进程的共同推动下，2021 年全球能效投资总额预计将增加 10%，达到 2900 亿美元以上。

与 2019 年相比，2021 年建筑能效投资预计将增长 20%，达到 1900 亿美元以上。交通能效投资预计比 2019 年水平低 9%，约为 600 亿美元；工业能效投资则仍将稳定在 400 亿美元左右。

尽管经历了新冠疫情带来的危机，2020 年全球能效投资总额却稳定在了近 **2700 亿美元**，但各部门和地区趋势差异明显。交通能效投资在这一年大幅下降，但建筑部门能效投资的空前增长在一定程度上抵消了交通部门的下降，而工业部门的能效支出则基本保持不变。

## 2015–2021年全球各部门能效投资



IEA. All rights reserved.

注：本报告将能效投资定义为购置新节能设备的增量支出，或开展节能改造的全部成本。这样定义的目的是准确衡量专门用于减少能耗的那部分支出。在传统会计学中，上述支出中一部分通常被归类为消费而非投资。

虽然全球建筑部门活动水平在 2020 年大部分时间里都有所下降，但欧洲的建筑能效投资却增长强劲，甚至将全球建筑能效投资整体推高 11%，达到近 1800 亿美元。其中大部分增长来自 2020 年以前落地实施的能效政策的进一步升级。比如在德国，其国有开发银行德国复兴信贷银行 (KfW) 支持的建筑能效项目数量翻了一番。而与疫情相关的政府经济复苏措施也助力了能效投资水平的提高，如意大利的“超级津贴” (Superbonus) 计划和法国的“法国复苏” (France Relance) 计划。

## 德国扩大能效投资规模

德国 2020 年在建筑能效方面的支出增长十分强劲，主要是因为其国有开发银行德国复兴信贷银行用于高效建筑和建筑节能改造的投资翻了一番，总额达到了 300 亿欧元，占到当年全球建筑相关能效总支出的 1/6。

这些投资中，尽管有一部分来自经济复苏性支出，但大部分还是得益于德国政府在 2019 年为加强建筑能效项目吸引力所做的若干重大调整。[关键的调整](#)包括提高对居住建筑拨款的最高限额，并提供更高的投资和还贷资助，这使得大多数贷款项目已经实现了负利率。上述支持政策的加强极大刺激了新建节能建筑施工活动的增加，占德国复兴信贷银行建筑融资额的 2/3，较 2018 年的 40% 有显著提升。

[其他的调整](#)包括提高最高贷款额、提供财务支持、简化流程，以及 2021 年生效的、对[预制建筑构件](#)使用的进一步支持。现在只需要一份融资申请，就可以涵盖针对多项能效措施和智能家居改造的融资请求，包括基于可再生能源的高效供热系统，使能效理念贯穿于建筑改造的全过程。

投资者现在可以在1) 德国复兴信贷银行的减息贷款和2) 德国联邦经济与出口管制局 (BAFA) 的直接拨款之间进行选择。两个融资框架下，建筑项目获得财务支持的力度都随建筑或供暖系统的能效水平增加。

还款补助可占项目获得资金支持总额的15% ~ 25% 不等，具体取决于建筑物的能效等级，对于可再生能源供热系统则可达到50% 之高。例如，一些能效水平最高的新建建筑可获高达3.75 万欧元的拨款支持，这些新建筑较参照建筑<sup>2</sup> 节能60%，并装有太阳能光伏、电池储能及热回收通风系统。对于能达到最高节能标准的既有（居住）建筑节能改造，房主可以获得高达7.5 万欧元的还款补助或投资拨款。

然而受新冠疫情影响，一些在2020 和2021 年获得资助的建筑项目面临材料供应短缺和财务困难等问题，因此能效提升效果可能不如设想中显著。此外，还有一些其他的挑战有待解决，例如为更多无法使用热泵的低收入家庭提供支持等。

但与此同时，世界其他地区的建筑能效支出出现了下降或增长滞缓。在美国，2020 年除了原有项目以外，（建筑）能效投资没有获得任何额外的资金注入；但其经济复苏计划中包含了针对2021 年的大量能效相关支出。在亚洲，中国、日本和韩国的建筑能效支出增长平衡了其他亚洲国家的下降。在印度，受企业和家庭预算严重缩减的影响，2020 年建筑施工活动减少了约15%。

受到全球汽车销售放缓的影响，2020 年交通部门的能效投资约为500 亿美元，比2019 年下降了26%。中国和欧洲电动车销量的增长缓和了全球汽车销售的下降。自2015 年以来，欧洲电动车销量首次超过中国。这得益于经济复苏性支出的支持，比如欧盟的“复兴措施基金”[\(Recovery and Resilience Facility\)](#)，以及法国、德国、西班牙和英国的电动车购车补贴。

## 能效相关支出占新增清洁能源经济复苏性融资的三分之二

2021 年7 月，IEA 发布了“[可持续复苏追踪](#)” (Sustainable Recovery Tracker) 工具，旨在依据 IEA [《可持续复苏计划》](#) (Sustainable Recovery Plan) 中建议的措施来评估各国实际的经济复苏行动。根据该工具截至2021 年10 月底的追踪结果，全球年均用于清洁能源<sup>3</sup> 及

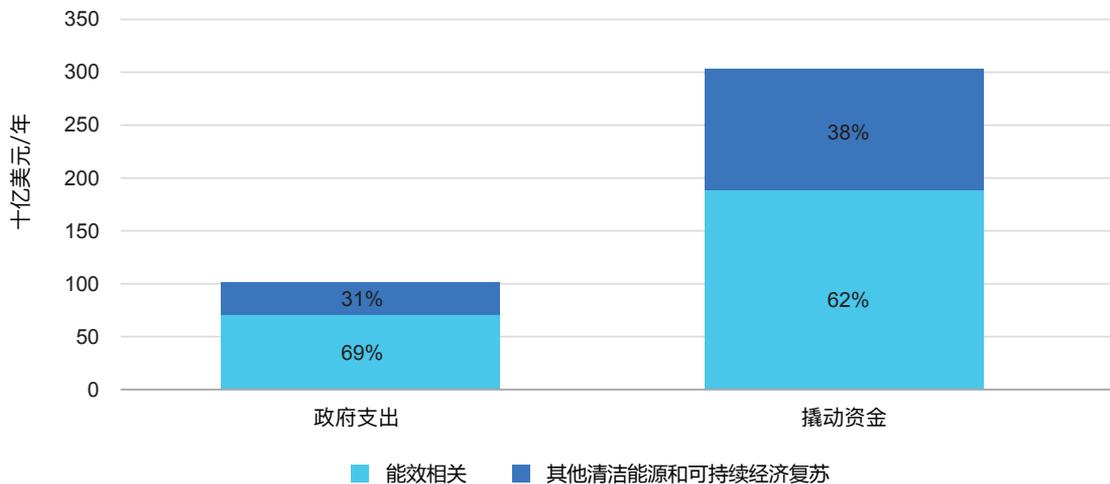
<sup>2</sup> 译者注：进行围护结构热工性能权衡判断时，作为计算满足建筑标准要求的全年供暖和空气调节能耗用的虚拟基准建筑，称为参照建筑。参照建筑的形状、大小、朝向与设计建筑完全一致，且围护结构热工参数符合相关建筑标准的规定值。

<sup>3</sup> 译者注：国际上一般认为清洁能源包括能效。

可持续发展的经济复苏性支出在 2021–2023 年期间预计将以 4000 亿美元 / 年的幅度进行增长，包括政府支出及其撬动的公共和社会投资。政府先期支出预计占到三年年均支出水平的 28%。

预计在未来三年 4000 亿美元的年均投资当中，每年将有近 2600 亿美元用于建筑、工业和低碳交通领域的能效措施，包括电动车充电和城市交通基础设施等，约占 2021–2023 年期间清洁能源领域经济复苏性增量投资总额的 2/3。这其中包括约 700 亿美元的政府直接年度支出，及其撬动的近 1900 亿美元资金。

### 2021–2023 年全球平均每年用于能效和其他清洁能源的可持续性经济复苏支出



IEA. All rights reserved.

注：“政府支出”包括 IEA《可持续复苏计划》中强调的政府措施。“撬动资金”包括由政府支出所撬动的、符合 IEA《可持续复苏计划》中所列措施的社会资金和所有其他公共支出。“能效相关”包括在低碳和高效交通以及节能建筑和工业方面的支出。“其他清洁能源和可持续经济复苏”包括低碳电力、电网及燃料、技术创新，以及“以人为本”的转型。

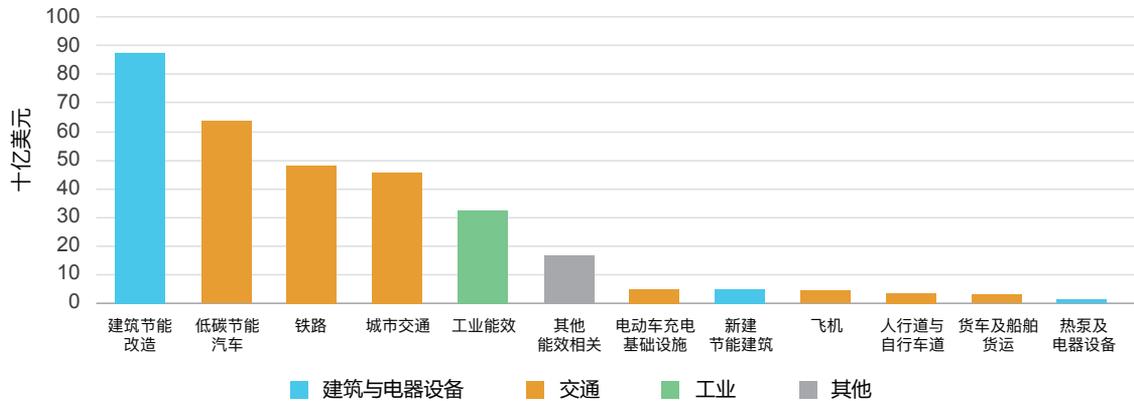
来源：IEA (2021), [Sustainable Recovery Tracker](#)。

截至 2021 年 10 月底各国政府批准的经济复苏措施中，2021–2023 年期间及以后的能效相关政府支出总额将超过 3100 ~ 3150 亿美元，其中欧盟国家的贡献约占 65%。按部门细分，交通部门占 55%、建筑 30%、工业 10%，其他能效相关措施占 5%。

政府总投资中约有 1700 ~ 1750 亿美元指定用于以交通为重点的能效提升：低碳节能汽车和电动车充电基础设施几乎占了其中的 2/5。铁路和城市交通项目（公共汽车、轻轨和地铁等）占交通相关能效支出的一半以上。

各国政府投资中约有 950 亿美元将用于建筑和电器设备节能，尤其是建筑节能改造。欧洲的经济复苏措施是支持该领域的主要力量，约占全球已公布（该领域）公共投资总额的 4/5。

## 2021年及以后全球能效相关的政府清洁能源经济复苏性支出总额



IEA. All rights reserved.

注：图中数据和领域基于截至 2021 年 10 月底公布的措施及 IEA“可持续复苏追踪”提出的重点措施，涵盖了 2021 年及以后的政府经济复苏性支出。

来源：IEA (2021), [Sustainable Recovery Tracker](#)。

上述金额并未计入截至 2021 年 10 月底已公布但尚未正式批准的大量政府支出，特别是法国、印度、日本和美国的这类支出数据。该时间节点以后获批的美国《基础设施投资和就业法案》（Infrastructure Investment and Jobs Act）包含 5500 亿美元的新增投资，其中用于清洁能源的部分也并未包含在上述统计之内。如果算上这些支出数据，政府能效支出还将进一步增加。

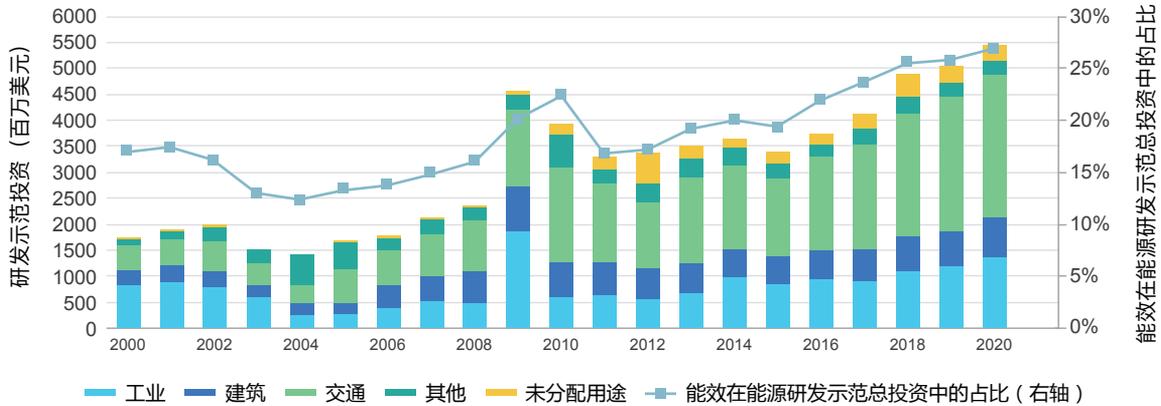
[发达经济体国家](#)公布的经济复苏性支出让这些国家的能效支出非常接近 IEA《可持续复苏计划》中规划的水平；尽管如此，从全球范围来看，根据目前已获批的能效相关活动支出情况，要满足《可持续复苏计划》规划的资金水平，全球仍有约 60% 的缺口。

上述分析也未涵盖国家层面以下或市政层面的经济复苏投资。例如，东京都政府 2021 年预算拨款 3.5 亿美元推动零碳排放建设，包括推广 LED 照明、节约能源和促进电动车发展等。

## 政府相关的能效研发示范支出侧重交通和工业部门

各国政府和国有企业近来显著增加了在能效研发示范（RD&D）方面的投入。[IEA 成员国](#) 2020 年能效研发示范投资总额达到了 55 亿美元，比 2015 年增加了 2/3，是 2000 年的三倍，以用于交通和工业部门的支出为主。2008 年全球金融危机相关经济刺激措施实施以来，政府能效研发示范支出首次达到这一水平。能效在政府能源研发示范总支出中的比重也得到了提升，2020 年达到约 27%，比五年前增加了 7 个百分点。

### 2000–2020年IEA成员国政府能效研发示范支出



IEA. All rights reserved.

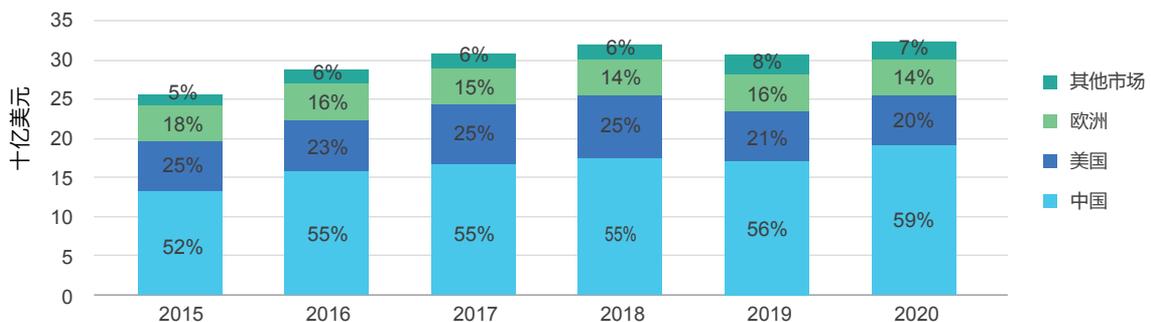
## 中国节能服务公司发展强劲

节能服务公司 (ESCOs) 提供从发供电到能效和节能改造项目的一系列能源解决方案。ESCO 公司可以帮助客户进行项目的识别、融资和执行实施, 从而使客户投资开展节能项目变得更加容易。特别重要的是, 这些公司可以减轻项目的先期资本支出负担, 并能帮助项目争取到商业融资。

2020 年, 全球 ESCO 市场规模整体增长约 6%, 达到 330 亿美元。这一增长主要集中在中国——尽管受到新冠疫情的影响, 中国相关投资仍逆势上涨了 12%。其他主要的 ESCO 市场, 包括欧美、新兴国家以及一些发展中国家, 市场规模均出现了收缩或增长滞缓。

2020 年期间, 受疫情相关封锁及限制措施的影响, 全球 ESCO 市场变得更加混乱。但在沙特阿拉伯和阿联酋等中东国家, 当地 ESCO 公司表示, 随着人们对高效通风和室内制冷及其带来的室内舒适度和健康性有了更多的认识, ESCO 公司相关业务也有所增加。

### 2015–2020年全球ESCO市场增长



IEA. All rights reserved.

来源: IEA Annual ESCO market surveys.

IEA. All rights reserved.

中国的 ESCO 行业协会——中国节能协会节能服务产业委员会 (EMCA) 表示, (疫情以来) 中国 ESCO 公司快速地转向利用在线工具和远程控制来保证客户对项目的参与, 并尽可能保持自身业务稳定运行。中国 ESCO 公司以 2020 年为契机, 通过更好地使用智能工具和技术, 更新了其商业模式。中国政府还在 2020 年 5 月推出了新的税收优惠政策, 以鼓励 ESCO 公司的业务发展和创新。

### 印度的超级 ESCO: 能效服务有限公司

2009 年, 印度政府在《能效提升国家计划》(National Mission on Enhanced Energy Efficiency) 框架下建立了能效服务有限公司 (Energy Efficiency Services Limited; EESL)。该公司通过大宗采购降低价格、节能效益分享和公共补贴等融资模式开展了许多大规模的能效项目。公司名下的旗舰项目包括推广家用 LED 的“UJALA 计划”、“全国路灯计划”、“建筑能效计划”、“智能仪表国家计划”、“电动车计划”和“分布式太阳能计划”。

这些项目每年可节省共计超过 5 万吉瓦时 (10<sup>6</sup> 千瓦时; GWh) 的电力, 同时增加就业机会, 提高人民生活水平。过去五年中, 该公司已向国内消费者分发了超过 3.6 亿只 LED 灯泡, 并为各城市安装了超过 1200 万盏 LED 路灯。

“建筑能效计划”启动于 2017 年, 旨在促进工业、政府和其他机构的商业 / 办公建筑节能改造, 包括火车站等大型公共建筑。该计划通过整合采购需求, 为项目所需的高效设备协商争取更低价格, 从而为公共预算降低成本。到 2021 年 9 月, 该计划已完成近 7000 栋建筑的节能改造, 另有 4000 栋正在进行中。已完成的项目每年共计节能约合 224 GWh, 减排 18.4 万吨二氧化碳当量 (tCO<sub>2</sub>-eq)。该计划 2017–2020 年 3 月期间的投资额为 2.7 亿美元。

## 1.3 能效政策进展

随着越来越多的国家在 2021 年联合国气候变化大会 (COP26) 之前提升了气候政策的雄心, 全球能效政策的进展也加快了步伐。

### 欧盟 “Fit-for-55” 一揽子气候计划瞄准通往 2050 年净零排放之路的里程碑

欧盟 “Fit-for-55” 一揽子气候计划旨在使其 2030 年温室气体排放在 1990 年水平基础上减少 55%。为推动实现这一目标, 欧盟在 2021 年 7 月修订了《能源效率指令》, 作为该计

划下一揽子政策的一部分。该计划同时包括一套面向中期的具体政策措施，旨在帮助欧盟实现其在《欧洲绿色协议》（European Green Deal）中提出的 2050 年净零碳排放目标。此外，欧盟委员会还计划使 2030 年终端能耗和一次能源消耗在 2007 年水平基础上分别减少 36% 和 39%。

上述终端能耗目标要求欧盟成员国在 2024–2030 年之间，必须实现每年 1.5% 的终端节能率，两倍于现行要求 0.8%。而上述一次能源消耗目标则意味着，从现在起到 2030 年，欧盟成员国的能源强度每年要下降 3.2%。根据欧盟《建筑节能改造战略》（[Renovation Wave Strategy](#)），该地区每年至少要完成相当于其公共建筑总面积 3% 的节能改造，并提高建筑用能中可再生能源的占比。随着 2021 年底前《建筑能效指令》（EPBD）的修订和出台，欧盟还会展开进一步的调整措施。

## 智利通过内容更广泛的能效立法

智利在 2021 年 1 月通过了新的能源效率法案，建立了总体上的能效体制结构，以加快促进经济发展关键部门的能效提升。智利《能源效率法》的主要目标是，到 2030 年，全国经济体整体能源强度比 2019 年下降 10%，并制订了一系列具备法律效力的五年能效计划来推动其实现。该部法律对能效标准标识，建筑、交通、工业部门能效，高效智能城市，以及公共机构的能效垂范作用提出了新的要求。其中的关键政策包括 1) 强制要求大型用能单位使用电力管理系统，并向能源部报告其能耗情况；2) 为国内的汽车贸易制订新的能效标准；以及 3) 针对新建房屋开展建筑能效标识项目。《能源效率法》为智利建立了一个能效治理体系，从而能够推动该国提升能效目标，监测和评估能效进展。

## 标准标识是能效政策的重要基石

随着各国认识到能效标准及标识项目<sup>4</sup> [节能潜力大、成本效益高](#)，还能带来其他效益，全球现有超过 100 个国家对空调、冰箱、照明设备、工业电机和乘用车采用强制性的能效标准或能效等级标识。然而，在某些电器保有量增长最快的国家，相关政策仍然缺位。20 余国正在制订新的或升级已有的能效标准和标识项目，主要集中在亚洲，以及非洲东部和南部。

虽然本节重点讨论针对上述主要用能终端的政策，但能效标准和标识适用于工业、商业

---

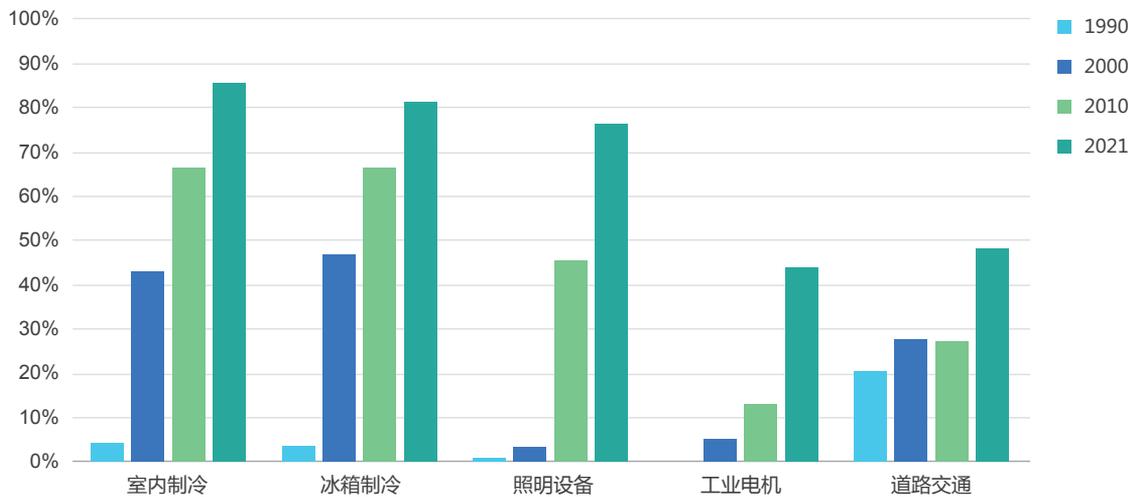
<sup>4</sup> 译者注：本节讨论的能效标准和标识不仅针对电器设备，还包括建筑节能法规和汽车燃油经济性 / 效率标准。

建筑和居住建筑部门超过 100 种电器和设备——其中大部分产品种类的政策覆盖率<sup>5</sup> 较低。例如，只有 40 ~ 50 个国家实施了针对洗衣机、洗碗机或电视机的最低能效标准（MEPS）。由于现有电器设备政策只针对有限的产品种类，因此扩大各国现有政策的覆盖范围，使其针对更多的产品种类，能够为推动能效进一步提升提供巨大空间。

欧洲和北美很早就采取了这样的政策，这些政策现在已经覆盖了当地很大一部分的主要用能终端。然而，不同国家的能效政策在覆盖率和力度上存在很大的差异。各国在加强该领域国际合作方面还有很大的空间，以便帮助各国政府引入新的标准，促进经验共享和最佳实践的应用。

[近几十年来长期运行的类似政策项目证实](#)，能效标准和标识项目如果能够定期修订和升级节能要求、反映最新技术进步，将可以实现可观的节能量。此外，一旦此类政策项目的实施获得（阶段性）成功，能效标识中的能效等级将需要重新划分。最近，欧盟针对一系列产品的强制性能效标识被重新划分为 A-G 等级。在更新能效等级的同时，欧盟能效标识上还增加了可以链接到“欧洲能效标识产品目录”的二维码。

#### 1990–2021年全球主要用能终端的强制性能效标准或标识项目覆盖率



IEA. All rights reserved.

注：室内制冷、冰箱制冷和照明的覆盖率均基于居住建筑部门。

来源：IEA analysis based on [CLASP Policy Resource Center](#) and other sources.

<sup>5</sup> 译者注：(电器设备、汽车、建筑等) 用能终端的政策 / 项目覆盖率是指，该用能终端的全球能耗总量中，受强制性能效标准或标识项目约束的那部分能耗占比。

## 室内制冷

强制性的空调能效标准现在覆盖了全球 85% 的室内制冷能耗，较 2010 年的 2/3 有所提升。20 多个国家正在制订新的空调最低能效标准。澳大利亚、巴西、中国和印度最近升级了已有的空调能效标准和标识项目。印度还在 2020 年为轻型商用空调引入了自愿性能效标识。贝宁和卢旺达分别在 2020 和 2021 年引入了强制性空调能效政策，至此，全球拥有空调最低能效标准的国家达到 83 个，拥有空调能效标识的国家达到 75 个。

### 近期制冷能效政策及技术重点趋势

印度能效服务有限公司最近启动了一项“超高能效空调计划”（Super-efficient Air Conditioning Programme），通过大宗采购（降低价格），使高效设备对普通民众的经济适用性提高。这使当地市场迎来一种新的高效空调产品，其能效水平比原先市面上使用低全球变暖潜能值（GWP）制冷剂的五星级空调还要高出约 20%。印度能效服务有限公司在完成了 5 万台该空调产品的大宗采购后，已经为全国安装了超过 1 万台。

#### 气候友好型制冷剂的国际进展

2016 年，197 个国家通过《蒙特利尔破坏臭氧层物质管制议定书》（简称《蒙特利尔议定书》）的《基加利修正案》，同意逐步减少氢氟碳化物（HFCs）的生产和使用。该修正案于 2019 年生效，对室内制冷、冰箱制冷和其他空调技术中用作制冷剂的 HFCs 进行监管。

越来越多国家签署《基加利修正案》，助力其更好地发挥作用：截至 2021 年下半年，全球 [127 个国家](#) 签署了该文件，较 2020 年 7 月的 100 多个进一步增加。这是在“基加利制冷能效项目”（K-CEP），即现在的[清洁制冷合作项目](#)和[高效制冷倡议](#)的支持下实现的。

这项工作帮助各国政府升级和扩大气候友好型制冷解决方案，作为在格拉斯哥 COP26 会议上提交的国家自主贡献（NDCs）的一部分。迄今为止，已有 [55 个国家](#) 在其 NDCs 或长期气候计划中承诺减少制冷碳排放。

[全球制冷技术创新奖](#)的获奖者于 2021 年揭晓。该奖项是由洛基山研究所（RMI）、印度政府和“创新使命”（Mission Innovation）<sup>6</sup> 共同牵头发起的多年制评选国际奖项，旨在鼓励和表彰颠覆性的制冷技术，并为获奖技术提供总额为 300 万美元的奖金。

<sup>6</sup> 译者注：“创新使命”（Mission Innovation）是 2015 年《联合国气候变化框架公约》第 21 次缔约方会议（COP21）发起的清洁能源领域全球多边合作机制，目前成员包括 22 个国家以及欧盟。中国是最早发起“创新使命”倡议的国家之一。

来自 31 个国家的 139 名参赛者参加了该奖项的角逐，参赛者从小规模初创企业到大公司应有尽有。该奖项对参赛者参选项目的整体气候影响进行评估，包括能耗和使用的制冷剂、机组最大用电量和生产成本等。大赛选定八位决赛选手对各自的项目进行真实使用条件下的实测，包括对不同湿度条件下的设备性能进行评估，这是制冷设备检测和评定标准中不常出现的考虑因素。在决赛的检测阶段结束后，两名最终获胜者于 2021 年 4 月获颁该奖项。

全球最大的家用空调制造商[格力电器](#)与清华大学合作，利用光伏直驱技术，为具有三种“气候智能”模式的冷却机组提供动力，脱颖而出成为该奖项获胜者之一。这三种模式利用蒸汽压缩制冷、蒸发冷却和通风来实现制冷，可根据外部天气条件单独或同步运行。

[日本大金工业株式会社与日建设计株式会社 \(Nikken Sekkei\) 合作](#)，被选为联合获奖者。获奖项目采用多联分体式 (multi-split) 技术，将两个室内机组连接到一个室外机组上，这样一来可以利用控制传感器根据运行条件优化制冷剂的流速，二来能够利用蒸发冷却来提高系统的效率。

[百万“冷屋顶”挑战赛 \(Million Cool Roofs Challenge\)](#) 是 2021 年正在进行的另一项与制冷有关的全球竞赛。该竞赛将提供总计 200 万美元的奖金，用来支持和表彰那些能够迅速促进“冷屋顶”——对阳光反射能力强的屋顶——推广应用的技术。该竞赛特别关注一些备受热应力之苦、缺乏制冷服务的发展中国家，是“基加利制冷能效项目” (K-CEP) 与全球凉爽城市联盟 (Global Cool Cities Alliance)、“人人享有可持续能源” (SEforALL) 倡议和英国国家科学技术与艺术基金会“挑战奖” (Nesta Challenges) 的一个合作项目。该奖项设立的背景一是人们开始逐渐认识到“冷屋顶”的重要性，二是 2021 年一些地区为避免产生热岛效应而[开始禁止使用深色屋顶](#)。

## 冰箱制冷

近年来，针对家用冰箱和冰柜的最低能效标准和能效等级标识的政策覆盖率一直相对稳定。2020 年，斯里兰卡针对这类产品引入了强制性的能效标准和标识。

目前，全球有 76 个国家制定了此类政策，覆盖了全球 80% 以上的（冰箱）制冷能耗，较 2010 年的 2/3 有所增加。最近，墨西哥调整了冰箱和冰柜能效标准和标识，使之与美国和加拿大的标准相统一。

为了跟上不断发展的技术，欧盟在 2021 年 3 月对冰箱、冰柜的节能要求和能效标识进行了重大更新。现在的新出厂冰箱必须比 10 年前的效率高 75%；而相应的产品能效标识也进行了新的等级划分，以使消费者更容易识别顶级性能的产品。冰箱、冰柜能效标识的使用已扩大到商店和自动售货机使用的制冷设备。

欧洲原先的冰箱、冰柜能效标识法规在 2010 年刚开始生效时，市面上没有任何产品型号符合 A+++ 级别，而 [A++ 型号的份额也不到 10%](#)。然而到了 2017 年，市面上超过 50% 的冰箱型号都已经符合这两个能效水平最高的等级。

## 照明设备

全球范围内，89 个国家有针对照明产品的最低能效标准 / 要求，61 个国家使用照明产品能效等级标识。目前，最低能效标准覆盖了全球照明能耗总量的 75% 以上，自 2010 年以来提高了 30 多个百分点。亚洲、东非、拉丁美洲和加勒比地区的一些国家正在制定新的强制性照明能效政策。

欧盟最近更新了照明设备最低能效标准和能效标识，更新后的政策从 2021 年 9 月起生效。按照计划，这些政策将在 2023 年进一步升级，届时将逐步淘汰大多数卤素灯泡和传统的日光灯管，而此类照明产品目前常用于办公场所。与冰箱和其他产品一样，[欧盟的照明设备能效标识将重新调整](#)为从 A 到 G 的新等级，并包括一个二维码，使消费者能够通过智能手机快速获得更多的产品能效相关信息。

## 建筑节能法规

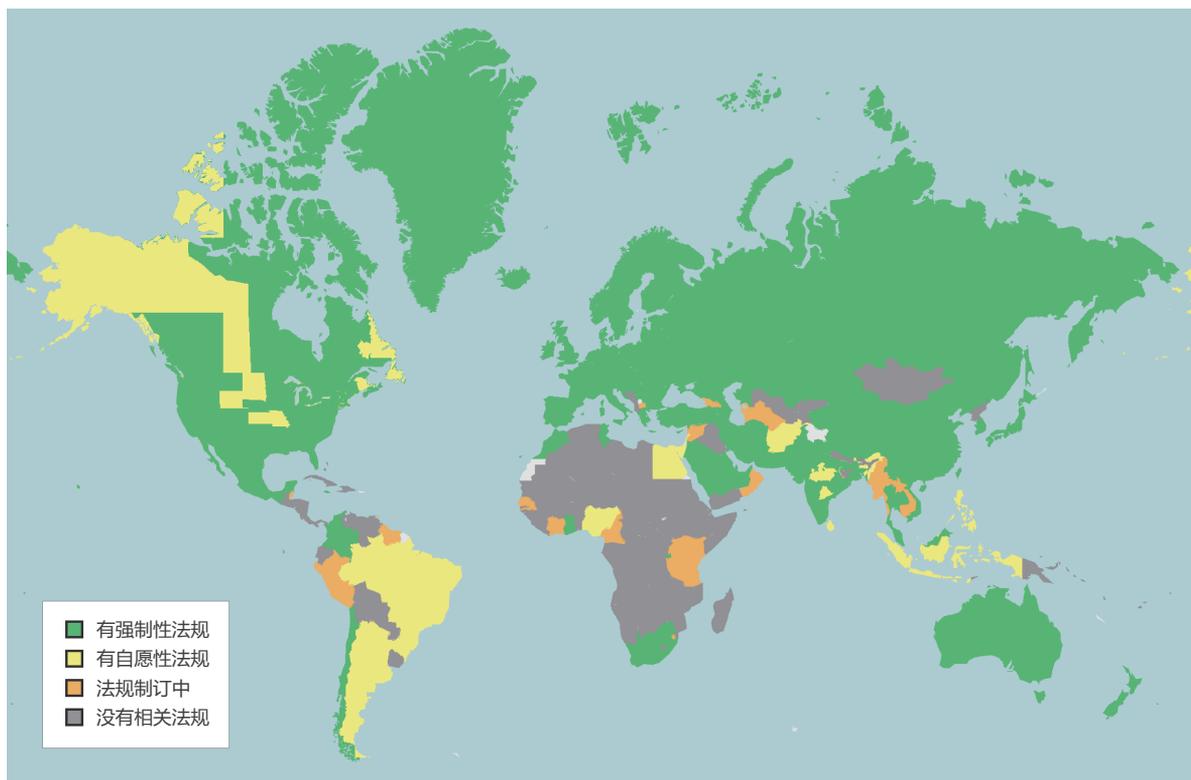
建筑节能法规作为一种有效的政策工具，能够促进居住和非居住建筑的能效提升。这些法规为新建建筑设定最低节能标准，其中一些法规还包含推动既有建筑节能改造、使之符合节能标准的促进性政策。建筑节能法规通常针对建筑物的运行能耗，但一些法规也开始将建筑建造过程中产生的碳排放纳入管理，要求其必须符合零碳条件建筑标准（详见 2.3 建筑）。

全球新建建筑节能法规追踪（单位：个国家）

地区	有强制性法规	有自愿性法规	法规制订中	没有相关法规	合计
非洲	4	3	8	39	54
美洲	6	2	12	15	35
亚洲	21	6	6	13	46
欧洲	35	0	1	7	43
大洋洲	3	0	3	10	16
合计	69	11	30	84	194

截至 2021 年 11 月，全球有 80 个国家在国家或国家以下层面制订了强制性或自愿性建筑节能法规，其中 54 个国家针对居住和非居住建筑都制订了强制性节能法规。

### 2021年新建建筑节能法规全球覆盖情况



IEA. All rights reserved.

注：图上不包括仅针对特定城市的建筑节能法规。

全球大约 2/3 的国家仍然缺乏强制性的建筑节能法规，这意味着仅 2020 年就有超过 30 亿平方米 (m<sup>2</sup>) 的新建建筑不受强制性建筑节能要求限制，相当于整个韩国的存量建筑总面积。

#### 欧盟致力建立针对抵押建筑的节能标准

欧洲居住建筑价值 17 万亿欧元，占欧洲财富的一半左右，同时也是 2.2 亿户家庭的住所。然而，欧盟约有 75% 的建筑还不是节能建筑，同时 [现存约 90% 的建筑预计到 2050 年仍在使用](#)。[欧洲《建筑能效指令》](#)旨在支持既有建筑改造，使其在 2050 年前实现节能和脱碳，并从 2021 年 1 月起要求新建筑 [实现近零能耗](#)。

在欧盟，银行持有约 7 万亿欧元基于存量建筑的抵押贷款项目，并开始为其名下的抵

押住宅规划节能改造工期，要将这些住宅升级到欧盟建筑节能证书（Energy Performance Certificate）评级中的 A 级水平。

为了支持这项工作的开展，欧盟提议建立《[基于抵押物的投资组合标准](#)》（Mortgage Portfolio Standard），要求银行投资组合中的抵押建筑在特定日期之前必须达到更高的建筑节能标准，从而助推欧盟《[建筑节能改造战略](#)》落实。

来源：Climate Strategy and Partners, Underwriting the Renovation Wave with Mortgage Portfolio Standards for Energy Efficiency, June 2021。

## 道路交通

与电器和工业电机不同，在轻型乘用车新车领域，实施能效等级标识机制的国家（45 个）多于实施燃油经济性 / 效率标准（40 个）。然而，自 2017 年以来，全球开展这类能效标识机制的国家数量再也没有增加。

尽管实施汽车能效标准的国家不多，但由于这类标准覆盖了全球主要的汽车市场，全球[近 90%](#) 的轻型乘用车新车销售和 80% 的重型车新车销售都受燃油经济性标准约束。这是能效政策领域的关键进展，特别是对于 2016 年政策覆盖率仅为 50% 的重型车领域。韩国和一些新兴经济体国家正在制订新的货车能效标准。

然而，新的政策需要一些时间才能对汽车整体存量产生影响，因为每年只有一小部分存量汽车被新车型所取代。例如，乘用车能效标准目前覆盖了全球乘用车能耗总量的近 2/3，而在十年前仅有 50%。

在一些尚未制订相关标准的发展中国家，其市场的一个主要特征是[从国外进口二手车](#)，其中有许多进口车已经不再符合出口国的能效标准。

### 逐步淘汰内燃机汽车

为了促进电动车的使用，全球已有 [20 多个国家](#) 宣布将逐步全面停售内燃机汽车。各国设定的目标时间节点最早是挪威的 2025 年，最晚是哥斯达黎加的 2050 年。作为新的“Fit-for-55”一揽子计划的一部分，欧盟计划在 2035 年之前彻底禁止内燃机汽车的销售。此外，全球[大约 13 个](#)顶级内燃机汽车制造商已经宣布，计划未来只销售电动车，其中一些厂商甚至会从 2025 年起就不再生产内燃机。

两 / 三轮车的能效标识和标准也正在受到更广泛的采用。越南规定从 2020 年起摩托车必须贴上[油耗标识](#)，成为最早实施类似政策的国家之一。中国针对两 / 三轮车建立了强制性燃油消耗量标准，[新标准](#)于 2020 年 7 月开始生效。

能效标准一旦到位便可以逐步加强。近年来，包括中国、日本、韩国、欧盟和美国在内的主要汽车市场都为轻型乘用车设定了新的节能目标。要在未来几年内达到这些目标，各国[所需要的汽车能效水平年提升率](#)从日本的 2.9%、欧盟的 4% 以上，到中国的 4.4%、美国的 5.5% 不等，其中美国的最终规定将在 2021 年 12 月确定。然而，各国目标的[基准能效水平差别很大](#)。例如，欧盟的（现行）汽车能效标准最严格，并且在促进电动车销售方面发挥着重要作用。

## 工业电机

全球约 40% 的工业电机能耗受强制性能效标准约束，而十年前只有 15%。在 57 个制订了工业电机最低能效标准的国家中，3/4 的国家从 2010 年代起开始实施该类标准。乌克兰是目前最晚实施该类标准的国家，其标准于 2021 年 9 月开始生效。

2021 年，巴基斯坦成为全球第一个为翻新的二手电机引入最低能效标准和能效标识的国家。虽然该政策项目一开始采用自愿性机制，但最终将在 2023 年过渡到[强制登记和 IE3 的最低能效等级要求](#)。

目前全球只有 11 个国家使用强制性的能效等级标识来促进高效工业电机的销售。还有 8 个国家为工业电机产品提供自愿性的能效等级或认证标识。能效标识的使用还包括在电机产品上贴铭牌的做法。这类铭牌上通常会标明电机产品[符合国际电工委员会 \(IEC\) IEC 60034-30-1 标准](#)的情况。

与许多其他关键的用能终端相比，工业电机的最低能效标准基于国际统一的能效水平，即由国际电工委员会规定的 IE1-IE4 能效等级，这种方法为制造商和工厂提供了许多好处。许多国家最近升级了电机能效标准并扩大了标准覆盖的产品范围。

例如，中国、哥伦比亚、欧盟和适用欧盟规则的国家要求自 2021 年年中起，最重要的那些电机产品类别下新出厂产品的能效水平必须达到 IE3 或以上才能进入市场销售，这一规定目前在 45 个国家强制执行。从 2023 年起，在欧盟、挪威、瑞士、土耳其和英国，某些类别电机产品的能效水平必须达到 IE4。

## 抓住机遇，提升工业能效

能源管理体系（EMS）能够帮助企业识别机会、应用和改进节能技术，已经在许多国家成功实施。然而，除了能源管理体系、强制能源审计和工业电机最低能效标准之外，目前只有少数针对工业部门的强制性能效政策。

### 强制能源审计和能源管理体系

无论是[突尼斯](#)和[摩洛哥](#)等新兴国家，还是欧盟等发达经济体，都有针对强制能源审计的相关要求。尽管这些措施是必要的，但这只是迈向一条更加清晰、明确的工业能效提升路径的第一步。要采取进一步的措施，重点是分行业制定目标，并通过法律法规、信息化措施和激励机制等一揽子政策营造一个有利于工业能效提升的环境。

### 印度的“履行、实现和交易”机制

印度“履行、实现和交易”（PAT）机制为高耗能行业的主要用能单位设定了强制性的能源强度下降目标。该机制下，节能证书可以进行交易，从而激励用能单位超额完成节能目标。该计划的第一个阶段（2012–2015 年）针对大规模的能源密集型产业，如钢铁、铝和水泥。该机制成功地使其框架下 400 多家主要用能单位的能耗总量减少了 5.3%，高于原先设定的 4.1% 节能目标。PAT 机制在后续阶段将扩展到更多行业，并覆盖更多用能单位，如[规模较小的能源用户](#)等。

### 中国的重点用能单位“百千万”行动

中国针对重点用能单位的“百千万”行动于 2006 年启动，并在 2011 和 2017 年进行了深化和扩大，为中国最大、最主要的重点用能企业，尤其是工业企业，设定了强制性的能源强度下降目标。能源强度下降目标首先在国家层面上制定，随后分解下达到地方层面，通过各用能企业采取行动来实现。作为全球影响最大的节能项目之一，该行动离不开中国对节能服务公司有力的政策支持。该项目之前的“千家企业节能行动”和“万家企业节能低碳行动”都[超额完成了各自的节能目标](#)。

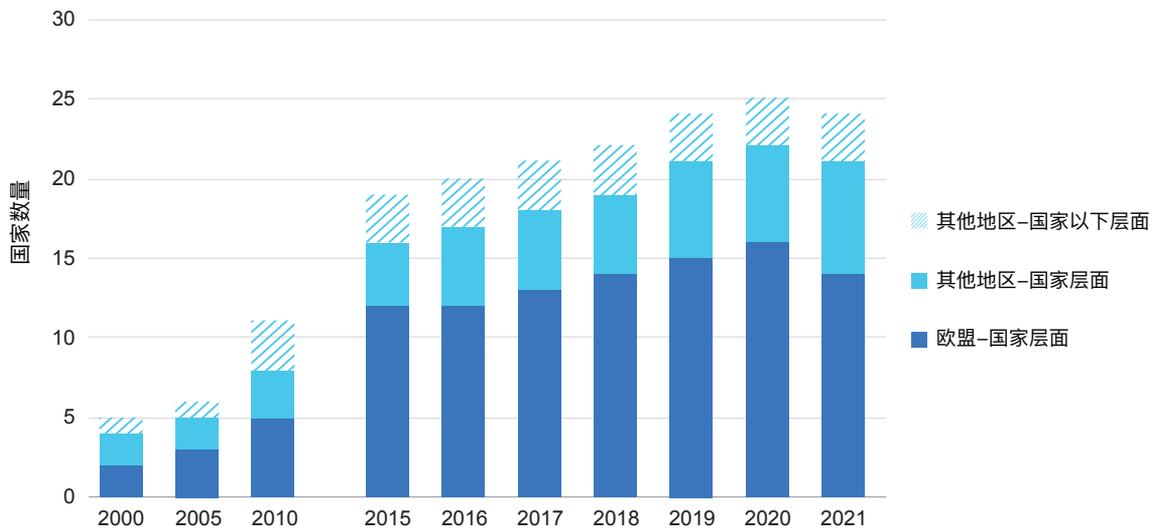
## 能效目标责任机制现覆盖全球能耗的五分之一

能效目标责任项目（energy efficiency obligation programmes），在美国也称“能效资源标准”（energy efficiency resource standard），是一种对（电力公司等）能源供应商提出节能目标要求的市场化能效提升机制。该机制下，节能目标通常定义为一个确定的节能量，但具体项目在主要政策目标、项目设计和实施等方面存在很大不同。

全球有 24 个国家通过能效目标责任机制来推动能效提升，包括欧盟中的 14 个成员国，以及澳大利亚、加拿大和美国在国家以下层面实施的一些项目。这些项目总共覆盖了全球能耗总量的近 1/5，其中运行时间最长的那些项目在项目周期内有效促进了能耗大幅减少。

欧盟引入能效目标责任机制作为 2014 年生效的《能源效率指令》的默认政策工具，同时成员国可以选择使用其他措施。基于能效目标责任机制在 2014–2020 年期间应用的成功经验，修订后的《能源效率指令》仍将其作为有效期（2021–2030）内的默认政策工具。[丹麦](#)在 2021 年用另一种基于招投标的机制取代了能效目标责任机制，推动工业、服务业和建筑部门能效提升。澳大利亚国家以下层面开展能效目标责任项目的近期进展包括[维多利亚州设立的\[最新节能目标\]\(#\)](#)，以及[新南威尔士州推出的\[峰值电力需求减少计划\]\(#\)](#)等。

2000–2021年实施能效目标责任机制的国家数量



IEA. All rights reserved.

## 国际能效合作活跃

### 新的全球能效中心将促进各国更多参与国际能效合作

全球能效中心 (Energy Efficiency Hub) 成立于 2019 年, 是国际能效合作的一个载体。中心秘书处设在 IEA。中心成员包括阿根廷、澳大利亚、巴西、加拿大、中国、丹麦、欧盟、法国、德国、日本、韩国、卢森堡、俄罗斯、沙特阿拉伯、英国和美国。中心将围绕成员感兴趣的<sup>1</sup>主题成立任务小组并开展工作, 分享数据、研究成果和最佳实践。2021 年, 中心成立了第一批任务小组, 包括数字化工作组和致力于识别现有最佳 (best available) 技术及实践的“十佳”(Top10) 工作组。同时, 中心还发起了“超高效设备和家电推广计划”, 这也是清洁能源部长级会议下的一项倡议, 并由 IEA 负责其主要协调工作。该倡议将对推动 [COP26“产品能效行动倡议”](#) 发挥重要作用, 相关内容将会在第 2 章做进一步讨论。

### 七国集团和二十国集团成员国强调能效提升和数字化对能源安全和净零目标的促进作用

七国集团 (G7) 在 2021 年峰会上达成了一项重大成果——成员国集体承诺到 2050 年实现净零碳排放。七国集团在[峰会公报](#)中特别提到了 IEA 的《全球能源行业 2050 净零排放路线图》, 并承诺加大对能效和其他清洁能源技术的投入。公报对 IEA“超高效设备和家电推广计划”表示欢迎; 该倡议提出在 2030 年前将市面上销售的照明设备、空调、冰箱、电机系统的能效水平提高一倍, 相关内容将在第 2 章作详细说明。

同年, 在二十国集团 (G20) 历史上, 能源转型和气候可持续两个工作组首次联合举行工作组会议。这表明各方迫切需要采取紧急行动, 加快清洁能源转型, 从而在确保能源安全的同时实现净零碳排放。

城市议题是意大利在其担任 G20 主席国任期内的优先议程之一。为此, IEA 在其特别报告[《赋能城市实现净零排放: 解锁强健、智能、可持续的城市能源系统》](#)中, 分析了各国政府应该如何利用能效提升和数字化进程来帮助城市加速清洁能源转型。该报告为国家层面的政策制定者提出了可供参考的高级别政策建议, 这些建议旨在加速向净零碳排放转型, 并全方位尽可能挖掘城市潜力、减少碳排放。

意大利作为 G20 主席国任期内的另一个优先议程是确保清洁能源转型和净零碳排放发展路径下的能源安全。为支持该议程的推进, IEA 对 2014 年 G20 领导人布里斯班峰会上确立的《G20 能源合作原则》进行了更新。IEA 研究报告[《G20 清洁能源转型的能源安全》](#)表明,

能效提升是实现清洁能源安全转型的“第一能源”。该报告强调了加速采用能效技术和措施的重要性，同时提出“以人为本”是清洁能源转型成功的关键。

G20 成员国已经认识到能效在清洁能源转型中的关键作用，以及 IEA 在意大利支持下所提出的“[数字化需求驱动电力网络](#)” (Digital Demand-driven Electricity Networks) 计划的作用。二十国集团还通过了《智能、强健、可持续的城市行动方案》 (Smart, Resilient and Sustainable Cities Action Plan)，用于支持城市采取能效行动和措施。

## 1.4 其他市场趋势

### 能效初创企业发展助推技术及服务创新

尽管受到新冠疫情的影响，清洁能源初创企业 [2020 年收到的风险投资仍然强势](#)，并在 2021 年上半年继续保持了这种势头。虽然相对于建筑节能改造等其他能效领域所撬动的大量资金而言，能效初创企业获得的风险投资并不算多，但风险资本的支持对于企业开发新的创新产品及服务、推动实现净零碳排放目标而言至关重要。

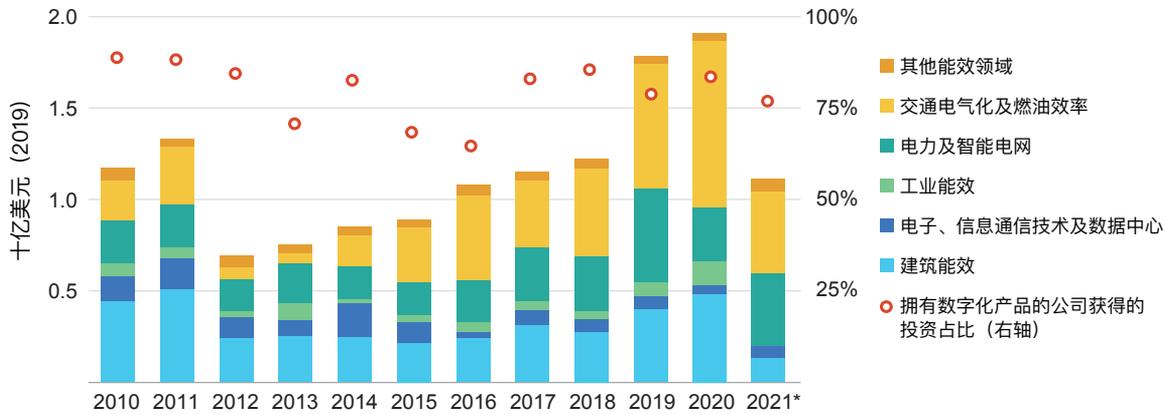
2020 年，用于支持（初创）公司开发能效相关技术（包括建筑、工业、电力及智能电网、交通及汽车电气化等）的早期投资增长了 7%，达到约 19 亿美元，创下十年新高。

上述投资增长主要来自于对电动车初创企业的投资增加，该领域在 2020 年吸引了约 9 亿美元的投资，显示出投资者对这一领域的强烈兴趣。建筑能效初创企业这一年也吸引了大量资金，约在 5 亿美元左右。同年工业能效领域吸引投资约 1.25 亿美元，尽管与前几年一样少于其他终端用能部门，但与 2019 年相比已经几乎翻了一番。2020 年从事电力及智能电网技术开发的初创企业所筹集到的资金远远少于 2019 年，投资回落至 2017–2018 年的水平，约为 3 亿美元。

获得风险资本早期投资的初创能效企业集中在全球少数几个地区。2018–2020 年，总部位于美国的公司占此类资金总额的 50%，其次是占比 30% 的欧洲公司和占比 7% 的中国公司。

初创企业通常会在发展过程中寻求将业务拓展到海外市场，但拓展市场的过程不确定性高且耗时较长。相反，在许多缺乏创新型能效公司的国家，特别是新兴和发展中经济体国家，初创企业在本土市场仍然可以获得很多机会。在某些情况下，一些公司可能会尝试复制或改良已经在其他市场中取得过成功的技术概念或商业模式，这样的做法通常可以降低投资者的知觉风险 (perceived risk；又称“感知风险”)，尤其是在可以通过国际贸易获得这些产品或解决方案的情况下。

### 致力于能效提升的清洁能源初创企业2010–2021年获得的全球风险资本早期投资，按技术领域



IEA. All rights reserved.

注：2021\* 包括了 2021 年截至 7 月中旬的初步数据。图中“建筑能效”包括居住和商业建筑的围护结构、供暖和制冷、能源管理系统、照明和智能设备。“信息技术”指除建筑相关技术外的信息技术产品。“早期投资”包括种子轮、A 轮和 B 轮融资。图中数据不包括单笔超过 1.5 亿美元、引起整体趋势偏离的异常 (outlier) 大额投资。这些大额投资加总起来，在 2010 年约为 4 亿美元，2016 年 22 亿美元，2017 年 8.5 亿美元，2018 年 57 亿美元，2019 年 10 亿美元，2020 年 3.5 亿美元，2021 年 33 亿美元，其中大部分用于交通电气化领域。数字技术公司获得的投资占比通常不考虑交通领域的数字技术公司，因为共享出行和其他数字化（交通能效）技术及解决方案通常都不包含在这部分数据样本中。

来源：IEA analysis based on Cleantech Group, i3 database.

## 新冠疫情正在改变建筑用能

新冠疫情期间，建筑及其能源的使用方式发生了改变。这些变化很大程度上来自各地封锁措施的实施时长、针对人们亲身参与活动 (in-person activities) 的限制，以及建筑内最大允许人数等因素共同产生的影响。

居家办公的趋势仍在继续，为了满足人们的舒适度要求，居住建筑必然会在白天产生（比非居家办公状态下）更多的能耗。在那些办公场所重新开放的国家，办公建筑的能源需求可能会增加，但这并不一定意味着居住建筑能源需求的相应减少。

世界各地办公场所的重新开放政策差异很大，因此全球建筑能源需求将继续受到各地具体情况的影响。在**韩国**，非居住建筑的电力需求下降了 5%，天然气需求下降了 11%。在**西班牙**，疫情封锁期间的全国用电总量（与前三年相比）下降了 13.5%，但午间用电高峰受影响相对较小。**巴西**实行疫情封锁措施期间，公共机构行政建筑能耗减少了 38%，小学和幼儿园能耗减少了 50%。

许多员工希望包括远程办公和远程 / 通勤混合办公在内的灵活工作安排可以变得更加常态化。比如，44% 的英国员工希望每周在办公室工作三天或更短时间，其中年轻员工意愿最为强烈。

[国际建筑业主与管理者协会 \(BOMA International\)](#) 最近发布的一项研究显示，根据受访建筑用户的作答情况估计，未来 12 ~ 18 个月完全在办公室工作的职员平均人数（占比）将从新冠疫情前的 70% 减少到 43%，但与此同时，预计也只会 25% 的劳动人口寻求完全或大部分时间居家办公。该研究还指出，尽管办公场所相关政策要求存在不确定性，但只有 37% 的办公建筑用户考虑缩减办公空间。

除了未来的工作模式，人们对[安全和通风条件](#)的更高期望也会影响建筑用能，例如造成建筑清洁时间延长，以及用于提高换气频率和热舒适度的用能增加。此外还有一些其他的影响因素，包括职员更加零散的工作班次和休息时间、对更大工作空间及会议空间的需求，以及新的建筑空气循环规定等。

建筑通风换气速率现在已经成为衡量建筑物对新冠病毒室内传播风险控制能力的一项[关键参数](#)。不同的建筑需要采用一系列不同的处理程序和空气流速来满足其对新鲜空气和热舒适度的多种需求。公共空间和高（疫情）风险环境需要提供更高频率的新鲜空气进气和更高水平的空调服务。

### 增加通风换气会提高建筑能耗

疫情以来，建筑管理人员只得到了关于提高通风换气速率、减少新冠病毒传播的一般性指导，但并没有具体而明确的通风换气速率要求可以遵循。办公室通风系统通常的设计通风速率为 10 升（空气）/ 秒 / 人，在室内空气质量高的情况下可以达到 15 升 / 秒 / 人。从 10 升 / 秒提高到 15 升 / 秒，用来维持适宜环境温度的显热<sup>7</sup>将增加 50%，即 240 千瓦时（kWh）/ 人。如果参考[欧盟估算](#)的非居住建筑能源强度 250 kWh/m<sup>2</sup>，由通风换气带来的上述能耗增加意味着伦敦等城市的典型非居住建筑能耗总量将会增加 10%。

然而，[还有人建议](#)为了应对疫情将通风换气速率提升至原先的 10 倍之多，这样一来对建筑热负荷及能耗造成的影响会比上面估计的 10% 还要大得多。

尽管如此，提高通风换气速率除了有利于疫情防控，还能提供一系列其他效益。例如，在新冠疫情之前就有研究表明，将办公室通风换气速率[从 8 升 / 秒 / 人提高到 15 升 / 秒 / 人](#)，可以在美国产生价值 370 亿美元的经济效益，来自生产力提高、室内空气综合症（sick building syndrome）发生率下降等。

<sup>7</sup> 译者注：显热（sensible heat）是指当此热量加入或移去后，会导致物质温度的变化，而不发生相变。即物体不发生化学变化或相变化时，温度升高或降低所需要的热称为显热。文中情况下，因室内外空气温度差异等原因，单位时间的空气交换量增加将引起室内温度变化，因此维持室内温度所需要的显热增加。

美国疾病控制和预防中心建议人们开窗通风、利用风扇增加气流，并减少或阻止空气经由供暖、制冷和空调系统进行二次循环。[英国特许建筑服务工程师协会 \(CIBSE\)](#) 建议机械通风系统应调高运行时的体积流率、尽可能避免二次循环，并指出通风不良的空间可成为病毒的一种空气传播途径。[美国采暖、制冷和空调工程师学会 \(ASHRAE\)](#) 建议延长供热、制冷和空调系统的运行时间，甚至保持连续运行，同时提高其空气过滤水平。

## 得益于电气化政策的支持，热泵系统正在加速应用

热泵是提高能效和逐渐淘汰化石燃料在供暖及其他终端使用的一项[关键技术](#)。过去五年全球安装的热泵数量以每年 10% 的速度增长，2020 年达到 1.8 亿机组。IEA“2050 年净零排放”情景下，截至 2030 年全球安装的热泵数量将达到 6 亿机组。

2019 年，全球近 [2000 万户家庭](#) 购买了热泵，市场需求主要集中在欧洲、北美和亚洲寒冷地区。在欧洲，2020 年的热泵销量增长了约 7%，达到 170 万机组；该地区现有热泵能为 6% 的建筑供暖。2020 年，热泵取代燃气成为 [德国新建住宅](#) 最常用的供暖技术。至此，欧洲的热泵保有量估计达到近 1486 万机组。

在美国，[用于购买家用热泵的支出比 2019 年增加了 7%](#)，达到 165 亿美元；[2014–2020 年间](#) 建成的新建独户住房中，约 40% 安装了热泵供热系统；在新建的 [多户住宅建筑](#) 中，热泵已经是最常用的技术。在亚太地区，2020 年热泵投资增长了 8%。

在建筑节能法规中将热泵作为标准供暖设备是加速该技术应用的重要因素，例如：

- 美国 [加州的建筑节能](#) 法规将从 2023 年起将高效电力热泵作为强制性基准技术；新建居住建筑的开发商如果不安装热泵，就要接受更为严格的建筑节能要求。
- 美国马萨诸塞州在其建筑节能法规的“延伸加强法规”（Stretch Code）中对建筑提出了 [更高的节能标准和全面电气化标准](#)，并且确认了热泵对实现先进能效水平的关键作用。
- 美国许多地区持续通过建筑法规的实施来 [推动建筑电气化](#)。例如，西雅图在宣布广泛禁止新建建筑使用化石燃料供暖的同时，通过 [《西雅图建筑节能法规》（Seattle Energy Code）](#) 要求建筑实现电气化。
- 爱尔兰计划在 2030 年前累计安装 60 万热泵机组，并更换 40 万台老旧低效锅炉；计划中包含的 [安装补助可为符合条件的安装项目提供高达 30% 的成本补贴](#)，除此之外，计划还将为安装项目提供其他的后续支持。
- 英国提出了一项 [《供热和建筑战略》](#)，计划 [2028 年以前每年安装超过 60 万热泵机组](#)。这一宏大目标的实现既依赖于 [财政激励措施](#)，又要利用监管手段逐步淘汰化石燃料锅炉。

- 美国纽约州[承诺从现在起到 2025 年，累计投入 4.54 亿美元](#)用于增加热泵在居住和商业建筑中的使用，以支持其 2050 年净零碳排放目标的实现。
- 加拿大不列颠哥伦比亚省为化石燃料供热系统向热泵转型提供[零利率贷款](#)。

由能源供应商发起、向目标客户提供相关信息和激励机制的项目对于增加热泵使用也很有效。例如：

- 2013 年以来，美国缅因州能效信托基金会（Efficiency Maine Trust）已为人们安装了 [6 万多热泵机组](#)。这既得益于该机构开展的[热泵项目](#)，也源自疫情期间（长时间居家的）人们对住宅热舒适度和系统能效的更高要求。
- 在加拿大，新不伦瑞克省的电力供应商 Énergie NB Power 最近也为其[“新建住宅节能项目”（New Home Energy Savings Program）](#)制订了节能标准，要求这些建筑使用电力热泵、电热锅炉或电阻炉实现电气化采暖。
- 2020 年 1 月以来，澳大利亚[“维多利亚州节能改造”（Victorian Energy Upgrades）](#)计划已支持了超过 2 万个利用高效热泵替代电阻式热水器的节能改造项目。

尽管热泵应用在上述主要市场有所增长，但目前热泵[仅能满足全球建筑供暖需求的 7%](#)。为了扩大热泵的使用规模，相关政策应该促进市面上优质产品的生产和销售，并支持对安装供热系统的熟练工人开展相关能力建设。提高建筑围护结构的能效水平也是安装热泵时需要综合考虑的一个重要因素，因为这样可以确保安装合适规模的热泵供热系统，既能够有效地为房屋供暖，又不至于因规模过大造成能源浪费。

## 随着全球经济复苏，供应链压力将削弱能效提升的积极影响

2021 年全球经济复苏导致了商品需求的增加，并给[供应链](#)带来压力：从基础建材到用于电子器件和汽车的[半导体芯片](#)，所有商品都面临短缺和供应障碍。供应短缺[推高了商品价格](#)，增加了对能效提升至关重要的[建筑施工项目](#)及[电器的成本](#)，并可能削弱全球大力投入实现的能效提升所带来的积极影响。

尽管低利率和政府经济复苏性支出有助于避免疫情冲击下经济衰退可能产生的最坏影响，但人们还是[越来越担心](#)全球经济将面临严峻的供应挑战。全球经济面临的成本压力究竟在多大程度上会造成疫情冲击后暂时性的通货膨胀，又有多大可能成为一种长期的结构性问题？对此，各界也还在激烈争论。

建筑业是受供应链压力影响最大且对能效提升至关重要的行业之一。虽然疫情封锁措施[抑制了某些地区](#)的建筑施工活动，但在其他地区，建筑业却被视为必不可少的行业。建筑业是全球提供最多就业机会的行业之一，建筑施工直接相关的就业占[全球就业总量](#)的 8%

左右，还与其他行业（的就业）有着密切的关联。

举例来说，[全球建筑业恢复增长](#)已给一些市场的供应链带来了压力，一些材料、劳力及技能的成本上涨和供应短缺已经限制了建筑施工活动的开展。随着建筑业相关投资的增加，世界需要密切关注该行业的供应链压力，确保建筑施工质量可靠且严格符合建筑节能法规。

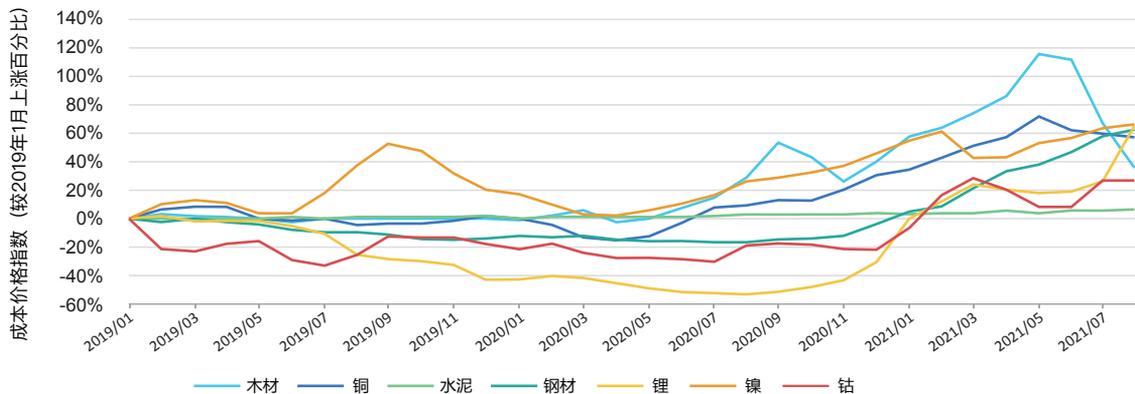
疫情对建筑施工产品及服务供应和需求的冲击很大程度上受当地市场状况的影响，包括建筑施工项目的积压、承包商和熟练工[涨价](#)或人手不足、[贸易管制](#)和[边境关闭](#)，以及[建筑工地相关管理政策](#)和[健康、安全等方面法律法规](#)的调整。居住建筑与非居住建筑的市场需求也呈现出很大的[差异](#)：前者在许多国家的市场渐渐复苏，而后者仍然低迷。

以美国为例，2021年第二季度[木材](#)价格比2019年1月高出了120%，原因包括锯木厂停工、丛林大火，以及家庭翻修和建房需求增加。虽然此后木材价格有所下降，但高价期间购买木材的成本将在一段时间内继续转嫁到建筑施工项目上。2021年8月的[钢材](#)价格比2019年1月高出63%。[水泥](#)价格上涨相对温和，较疫情前水平上涨了7%。

[在瑞典](#)，针对材料运输和承包商成本的建筑施工成本指数在2021年5月较上年同期平均增长了7%，而劳动工资增长了12.6%。[在英国](#)，建筑业正以[24年来最快的速度](#)进行扩张。一项针对建筑承包商的调查显示，水泥、电气部件、木材、钢材和油漆等产品的供应将会持续受限，[若干家英国公司](#)认为材料和部件短缺将是他们明年面临的主要限制。

[铜](#)是电机的重要组成部分。继2020年4月新冠疫情初期的15%下跌之后，到2021年5月铜价格已经上涨了71%。

2019年1月至2021年8月建筑施工和高效设备相关关键商品的价格指数



IEA. All rights reserved.

来源：Cement, lumber, steel: Bureau of Labor Statistics (Data for the US market); copper, nickel, cobalt: IMF Primary Commodity Prices (Data for the global market); lithium: Bloomberg Lithium Carbonate 99% Min China (Data for the global market)。

IEA 在其关于[关键矿产](#)的报告中强调，实现全球宏伟的气候雄心离不开某些矿产的使用，而这些矿产的供应能力可能无法满足实现气候雄心的需求。电池制造需要三种主要金属：锂、镍和钴，他们共同占电动车成本的[30% 以上](#)。还有一个潜在的挑战是这些商品的价格：比如在 2021 年 1-8 月间，锂的价格上涨了 66%，钴的价格上涨了 27%。2020 年 5 月至 2021 年 8 月期间，镍的价格也上涨了 66%。

另一个重要的供应链压力来自半导体芯片市场；自 2020 年底以来，工厂一直苦于设法满足其芯片需求。芯片设备广泛应用于电动车和一系列电器中。2021 年 8 月，部分类型芯片价格的同比[涨幅高达 50%](#)。芯片供应短缺导致全球汽车制造商被迫[减产](#)，预计将导致 2021 年汽车销量减少 770 万辆，营收损失 2100 亿美元。

供应链压力的另一个指标是[运输成本](#)；由于疫情限制措施和其他干扰因素的影响，全球运输成本在去年[上涨了近 400%](#)。集装箱货运价格的上涨推高了大宗商品和工业制成品的价格。上涨的运输成本也反映出一些市场为使建筑施工项目按时竣工，在获取所需材料和设备方面所承受的供应链压力。

## 2. 能效与 2050 年净零排放

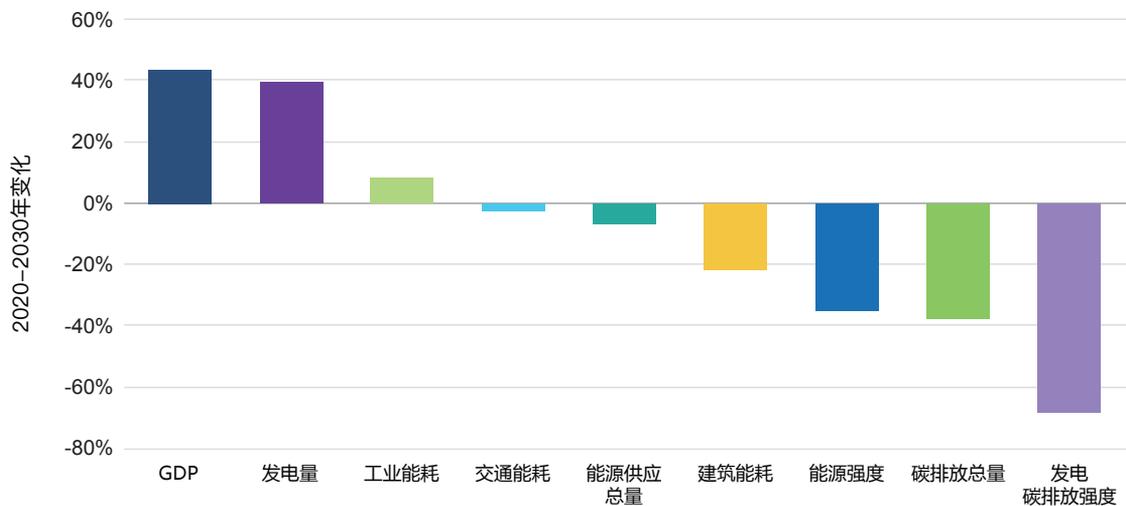
### 2.1 能效在实现净零排放中的作用

#### 2030 年全球能效水平有望提升三分之一

在 IEA“2050 年净零排放”情景下，能效是决定清洁能源增长是否比能源服务需求增长更快的关键因素。该情景下，2030 年全球经济受人口和居民收入增加驱动，将增长 40%，但一次能源消耗反而会减少 7%。

该情景下，2030 年全球一次能源强度预计将下降 35%，即能效水平提升 1/3，相当于从现在起到 2030 年期间，能效水平以每年 4% 的幅度持续提升。而为了实现情景中描绘的结果，建筑、交通和工业部门需要进行前所未有的大规模高能效转型。

IEA“2050年净零排放”情景下，2020–2030年宏观经济和能源指标



IEA. All rights reserved.

注：GDP 按十亿美元（2019 年购买力平价）计；部门能耗为各部门终端能耗；能源强度为单位 GDP 能源供应量；碳排放为燃料燃烧和工业过程排放。

来源：IEA analysis based on IEA (2021), [Net Zero by 2050](#)。

要实现这一转型，除了进行能效提升，还需要通过一系列数字化、电网集成的技术来加强能效提升的作用，包括智能仪表和智能电器设备等。这些技术的应用将为能源系统提供更多的灵活性，从而有助于进一步促进波动性可再生能源（VRE）的应用。

为促进各部门高效转型，交通、建筑部门及工业低温余热的电气化至关重要。电气设备不仅普遍具有更高的能效水平，还为可再生能源的消纳提供了潜在空间。例如，如果使用可再生能源供电，电力热泵的能效水平将是化石燃料锅炉的 3 ~ 4 倍，而基于“从油井到车轮”（well-to-wheel）综合效率的电动车能效也（比内燃机汽车）更高。

电力部门是目前最大的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放源，占 2020 年 34 吉吨 (10<sup>9</sup> 吨; Gt) 全球碳排放总量的 41%，其中约 70% 来自煤电厂。“2050 年净零排放”情景下，交通和供热等用能终端的电气化增加预计将使全球发电量增长近 40%。

该情景下，与发电量大幅增长同时发生的，还有未来十年（2020–2030）全球终端能耗 6% 的小幅下跌，并将从 2030 年起保持稳定。这一结果来自能效提升、交通和供热电气化、行为转变三大因素的共同作用。

按照该情景的规划，建筑部门的政策和技术措施将推动建筑能效迅速、显著地提升，其中使既有建筑符合零碳建筑标准的大规模节能改造项目将发挥尤其重要的作用。如此一来，即使是在全球家庭户数量增长 15%、平均住宅面积增加 22%、平均商业建筑面积增加 18% 的情况下，2030 年建筑部门终端能耗预计仍会下降 22%。

在交通部门，能效提升、电气化和行为转变将推动 2030 年部门终端能耗减少 3%。这一节能量甚至是在交通部门活动水平提高的前提下逆势实现的——包括乘用车旅客公里数（passenger kilometres）增加 11%、航空旅客公里数增加 26%，以及卡车货运吨公里数（tonne kilometres）增加 48% 和轮船货运吨公里数增加 43%。

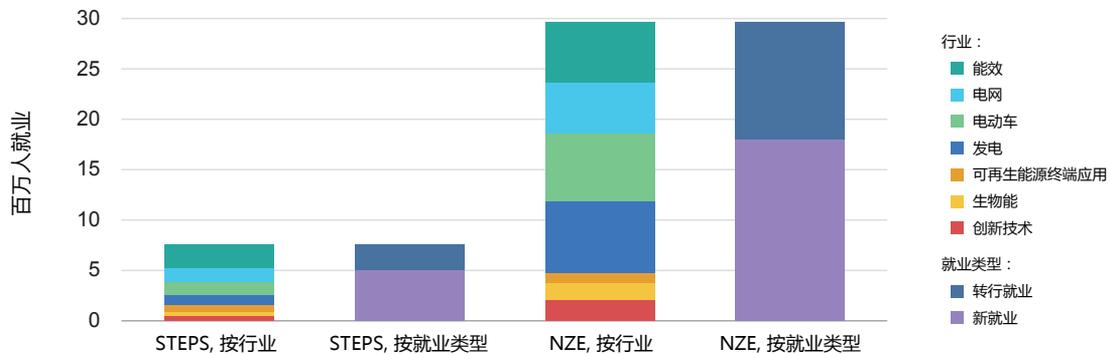
在 IEA“2050 年净零排放”情景下，到 2030 年只有工业部门会出现约 8% 的能耗增加。但这并不能抹杀工业部门在材料和能源效率方面取得的重大进展——相比 2020 年，2030 年全球钢材、石化产品和水泥年产量分别增加 9%、21% 和 5%。

假如没有能效提升、电气化和行为转变三大因素的节能助力，2030 年全球终端能耗将（比上述情景）高出约 30%。在这部分节省下来的额外能耗中，建筑和交通部门的能效提升和行为转变贡献率高达 2/3。

## 增加能效投资可在 2030 年前创造近 600 万就业机会

IEA“2050 年净零排放”情景下，实现更加高效的能源系统需要增加对高效电器、高效汽车、建筑节能改造及新建节能建筑的投资，从而有望拉动相关就业。仅考虑已发布并实施的政策（即“既定政策”），能效提升就可以在 2030 年前额外创造 200 万就业机会，比其他任何一种清洁能源措施都要多。而在“2050 年净零排放”情景下，能效提升同期创造的就业数量更是接近现有政策的三倍，达到 600 万之多。

### “2050年净零排放”情景（NZE）和“既定政策”情景（STEPS）下，2030年清洁能源及相关行业新增就业人数，按行业及就业类型



IEA. All rights reserved.

来源：IEA analysis based on IEA (2021), [World Energy Outlook 2021](#)。

这些新增就业中许多都将出现在建筑施工和制造业，并且由原先已有的熟练工人从事。但与此同时，能效投资规模扩大可能会导致社会对新建建筑和制造活动的需求增加，进而需要更多劳动力参与其中。相比传统锅炉安装这样的工作，热泵安装等复杂任务可能会要求从业者事先经过一些针对性的培训。各国政府可以通过支持相关培训活动或能效项目，促进求职者提高原有职业技能或获取新技能，从而帮助他们获得更多的就业机会。

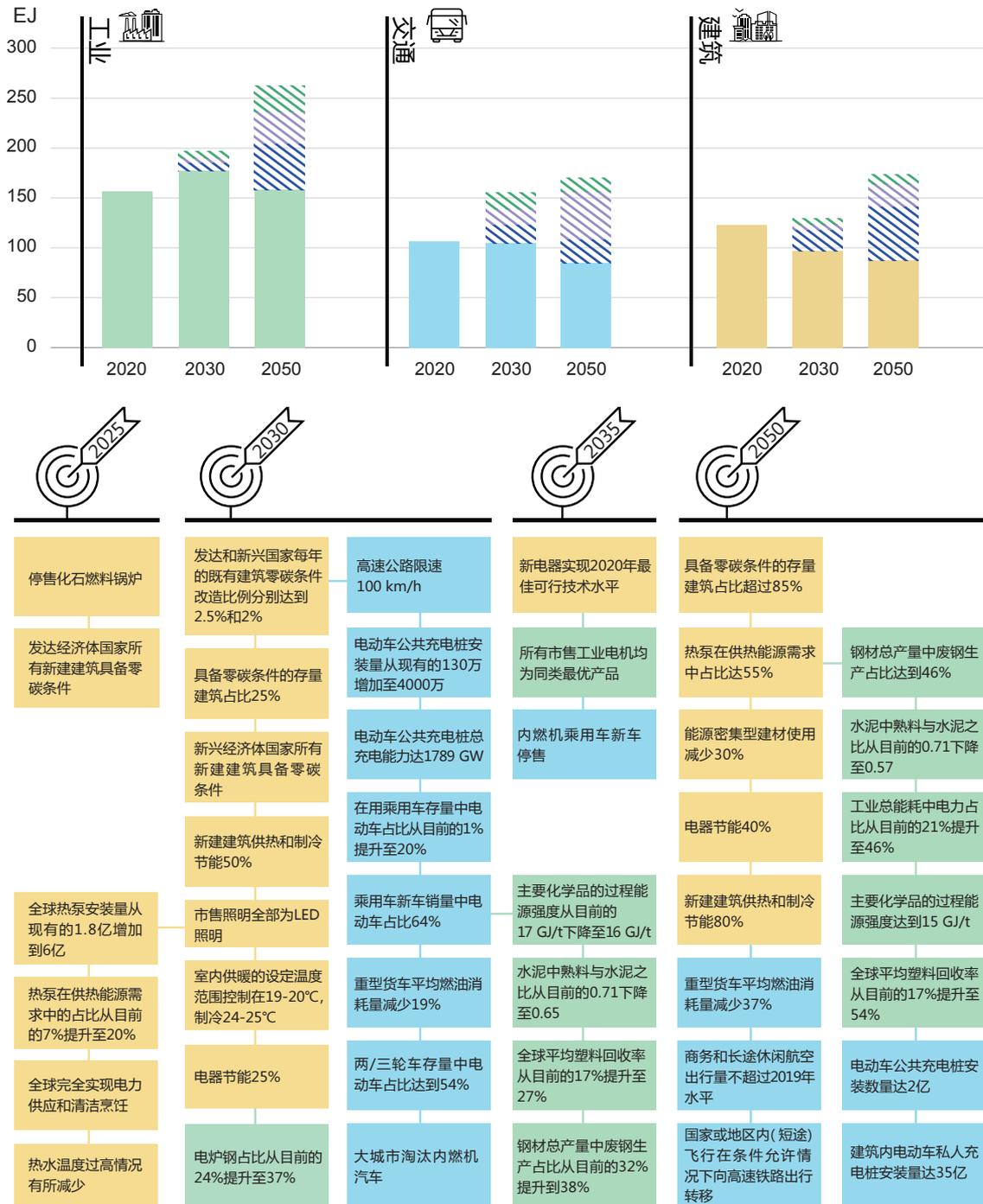
## “2050年净零排放”情景设定了40余个能效“里程碑”

“2050年净零排放”情景基于目前技术成熟且能够快速推广的方案，设定了40多个能效领域待实现的重要节点性事件（能效“里程碑”）。该情景下，未来十年（2020–2030）约80%的额外能效提升（与现有政策相比）将有助于降低能源费用，帮助消费者减少开支并缓冲因能源价格可能的意外波动所带来的影响。正因如此，“2050年净零排放”情景将能效作为前置措施，纳入到其建议的政策组合中。

IEA“2050年净零排放”情景中能效及相关措施对减少能源需求的作用，与政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出的一些同类情景所界定的范围相一致。IPCC《[全球升温1.5°C特别报告](#)》指出，这些（与IEA“2050年净零排放”同类的）IPCC情景至少有50%的机会将本世纪末全球平均升温控制在1.5°C内，并在2050年前实现能源部门和工业过程的二氧化碳净零排放。

在这些IPCC情景中，2050年全球终端能耗总量预计分别为300艾焦（ $10^{18}$ 焦耳；EJ）至550 EJ不等；作为比较基准，2020年历史能耗约为410 EJ。IEA“2050年净零排放”情景预测2050年全球终端能耗为340 EJ。虽然IEA情景中建议的大幅能效提升并非各国政府实现气候目标的唯一途径，但其他清洁能源解决方案将需要投入更大的成本以确保其大规模推广应用。

“2050年净零排放”情景下，2020–2050年能效“里程碑”



来源：Analysis based on IEA (2021), [Net Zero by 2050](#)。

IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

## 2.2 电器设备

### 电器设备能效标准帮助一些长期开展此类项目的国家实现了主要电器能耗减半

发电是目前最大的能源相关二氧化碳排放源，占 2020 年全球温室气体排放总量（34 GtCO<sub>2</sub>）的 41%。2021 年全球电力需求预计将增加近 5%，即使（这一年）新增可再生能源发电创下了历史新高，其供应也无法完全满足这一增幅。这使得电力部门不得不继续依赖化石燃料，从而引起碳排放增加——预计 2021 年增幅为 3.5%。

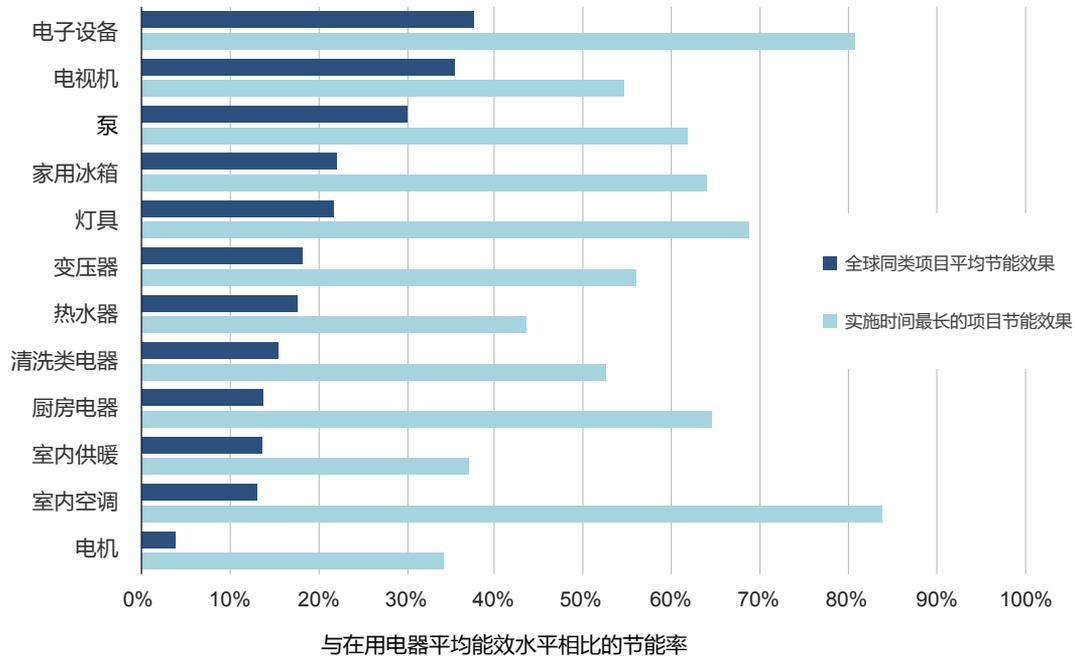
全球用电量中，超过 40% 用于工业电机系统、空调、冰箱、照明四大用能终端。与此同时，这些终端每年还会向全球排放 5 GtCO<sub>2</sub> 的温室气体，几乎相当于目前美国全国的排放水平。这更显示出在满足更高电力需求的同时，电器设备能效标准和标识项目对于减缓电力需求增长、促进可再生能源替代化石燃料的重要性。

随着全球气候变暖、人口增加、城市化水平提升以及居民收入增加，人们对上述终端电器设备的保有和使用都将进一步增加。例如，随着空调在新兴经济体国家变得更加便宜和普及，2050 年全球制冷能耗预计将增加至 2020 年的三倍。

一些长期开展电器设备能效政策的国家借此实现了许多常用电器平均能耗减半，包括冰箱、空调、照明设备、电视机、洗衣机、厨房电器等。这些政策项目即使是在相应电器价格平均每年下跌 2% ~ 3% 的情况下依然发挥了很好的作用，说明更加严格的政策措施完全能够在不损害消费者利益的情况下限制二氧化碳排放。例如，美国的电器设备能效标准和标识项目在 2020 年产生了价值约 400 亿美元的净节能效益，相当于为每户家庭节省了 320 美元的年度能源开支。

举例来说，最低能效标准为市场中的特定产品制订能效水平准入值，而能效标识则（通过提供产品能效信息）帮助消费者选择更加高效的产品。“2050 年净零排放”情景下，到 2025 年，发达经济体国家市面上的所有电器设备将有约 80% 采用现有（2020）最佳可行技术（best available technologies），到 2030 年，新兴经济体国家也将实现这一里程碑。

### 电器能效标准和能效标识项目实施全周期的节能效益



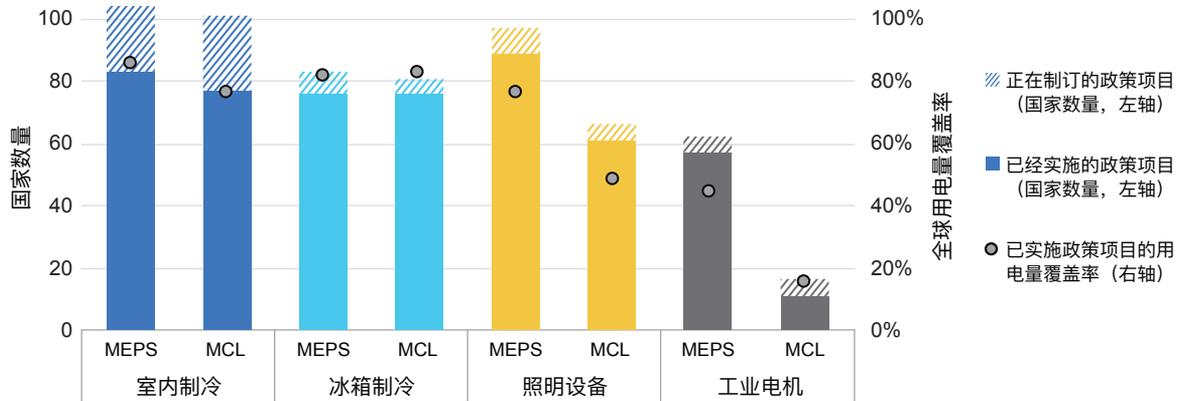
IEA. All rights reserved.

注：运行时间长（超过 20 年）的项目加上严格的能效标准通常能取得更好的节能效益，这是因为这些项目有足够的时间来让低效电器设备被替代，也有足够的时间来显著降低同类存量电器的平均能耗。图中电子设备包括外部电源装置、显示器、DVD/VCR 设备以及其他个人电子设备。

来源：IEA and 4E TCP。

近几十年以来，电器设备能效标准和标识项目已经成为许多国家能效政策中的重要支柱。目前全球有超过 100 个国家实施强制性的电器设备能效标准或标识项目，覆盖的电器包括空调、冰箱、照明设备和工业电机等；此外，还有 20 个国家正在制订此类政策项目。虽然全球实施强制性电器标准和标识项目的国家如此之多，实施工业电机最低能效标准的却是少数。例如，全球空调和冰箱能耗总量中，超过 80% 都受最低能效标准覆盖，但工业电机的最低能效标准覆盖率还不到 50%。不少国家和地区正在制订新的电器设备能效标准和标识项目；然而在非洲东、南部等地区，尽管空调等电器设备保有量正在快速增长，至今却仍未有针对性的能效标准出台。

2021年全球电器设备强制性最低能效标准（MEPS）及强制性能效等级标识项目（MCL）覆盖率



IEA. All rights reserved.

注：图中室内制冷、冰箱制冷和照明设备的政策项目覆盖率均针对居住建筑。全球用电量覆盖率指各用能终端内部，相关政策项目的用电量覆盖率。

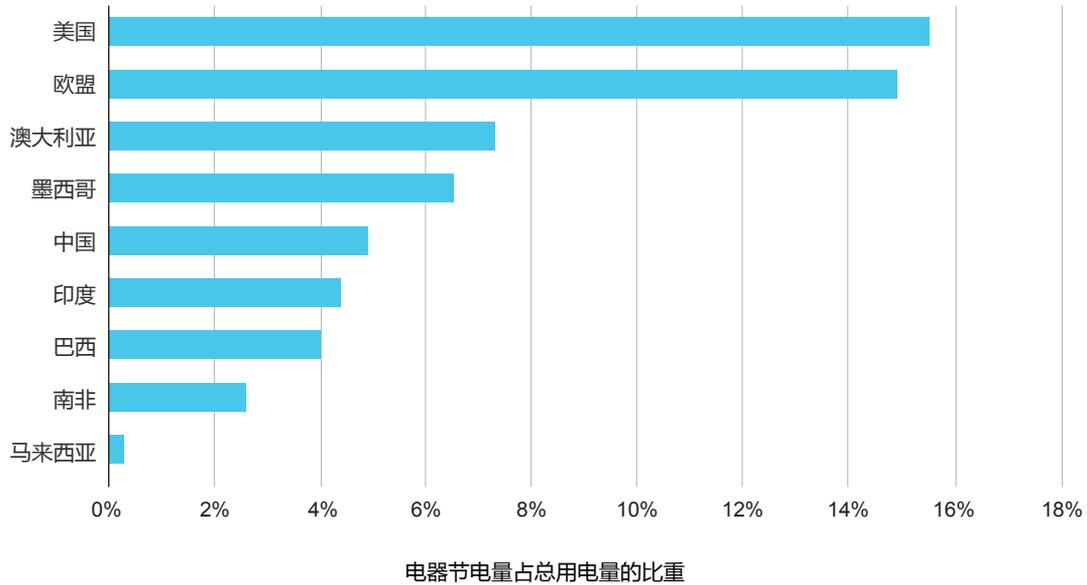
## 电器设备能效政策项目在一些国家和地区实现的节电量相当于风、光发电总量

电器设备能效标准和标识项目在制订和实施得当的情况下，能够以良好的成本效益促进能效提升。根据 IEA 及其“高效终端设备技术合作项目”/“4E 技术合作项目”（4E Technology Collaboration Programme; 4E TCP）最近的一项评估分析，在包括中国、欧盟和美国在内的 9 个数据可用的国家和地区，电器设备能效标准和标识项目在 2018 年共计实现了 1500 太瓦时 (10<sup>9</sup> 千瓦时; TWh) 的年节电量，相当于这些国家和地区当年风力和太阳能发电总量之和。

由于电器设备在全球用电量中占有相当大的比重，提高它们的能效水平将有助于更好地控制全球电力需求总量。在一些实施电器最低能效标准时间最长的国家，这一政策每年实现的节电量相当于全国用电总量的 15%，并且使能源相关的碳排放总量减少了 7% ~ 10%。随着老旧、低效的存量电器设备被满足更高能效标准的同类产品取代，这类政策项目的节能效益还将逐年增加。

假如全球各国都能实现上述 15% 的节电率，2020 年全球用电量就会比现在减少约 3500 TWh，几乎相当于将中国目前的年用电量削减一半。

### 2018年部分国家和地区电器能效标准和能效标识项目的作用



IEA. All rights reserved.

注：节电量基于图示国家和地区电器能效项目开始时的用电量计算。运行时间长的项目因能够覆盖到更多的存量电器，节能效益更好。日本数据目前正在计算确认中。

来源：IEA and 4E TCP。

## 各国正携手推进更高气候雄心

由超过 20 个国家政府、IEA 及其他伙伴单位合作参与的[超高效设备和家电推广 \(SEAD\) 计划](#)旨在促进并加强电器设备能效政策的制定和实施，尤其是针对照明、工业电机系统、空调和冰箱的相关政策。SEAD 项目联合项目成员国和其他伙伴单位，正努力为各国政府提供信息和工具，从而推动强化相关政策，提升社会对高效电器重要性的认识，识别节能技术，并为各国提供技术支持。

2021 年 11 月，[IEA 和联合国第 26 届气候变化大会 \(COP26\) 主席国](#)共同发起《[COP26 产品能效行动倡议](#)》，呼吁各国将主要电器能效水平在现有基础上提升一倍，从而帮助各国更快、更容易、更低成本地提升气候雄心。七国集团 (G7) 领导人此前在[康沃尔举行的 2021 年 G7 峰会](#)上对该倡议表示欢迎。该行动倡议目标如下：

1. 促使各国在 2030 年之前将全球市场上的主要产品能效水平在现有基础上提升一倍，包括工业电机系统、一般照明用灯、家用空调和家用冰箱 / 冰柜；
2. 支持各国气候目标的实现；

3. 为消费者和企业提供在购买和使用上都具有良好成本效益的平价高效产品；
4. 激发（技术）创新，并为企业出口贸易提供机会；
5. 通过减少制冷设备中制冷剂的使用，实践产品能效提升和气候友好的双重行动路线。

IEA 正在开发一项供各国用来强化电器设备能效政策的简便工具：“能源绩效阶梯”（energy performance ladder）。该工具将电器设备能效政策按照节能要求的高低划分为一系列连贯等级，对应“阶梯”的每一层台阶<sup>8</sup>。SEAD 项目正与项目成员国合作推广该阶梯政策工具在更多国家市场中的应用，从而帮助各国进一步提升节能目标。SEAD 项目还致力于推广新型数字化工具和商业模式的应用，从而促进主要电器设备能效提升，并帮助能效在系统尺度上实现更广泛的效益。

## 2.3 建筑

### 2030 年前，建筑能效提升将贡献最大节能量

IEA“2050 年净零排放”情景下，预计在 2020–2050 年期间，全球平均每周增加的建筑面积相当于整个巴黎市的占地面积，其中 80% 新增建筑面积将出现在新兴和发展中国家。在拥有先进存量建筑的发达国家，预计半数的既有建筑到 2050 年仍在继续使用，因此这些国家对新建建筑的需求不高。

该情景下，从现在到 2030 年，使既有建筑符合“具备零碳条件”标准的年平均改造率在发达和新兴经济体国家分别为 2.5% 和 2%，即每年将有对应占比的既有建筑成为零碳条件建筑<sup>9</sup>。零碳条件建筑是指不对自身及设备做任何额外改动，就能在 2050 年前实现彻底脱碳的建筑。此外，该情景还设定了针对新建建筑的里程碑，即 2030 年起所有新建建筑均须具备零碳条件；然而，现阶段全球新建建筑中，仅有 5% 符合这一标准。建筑节能法规将是实现这一目标的核心政策机制。

根据针对以下四个国家和地区的相关分析，从这类零碳条件建筑目标的提出，到相关建筑节能法规的实施，通常需要 6 ~ 22 年的时间。这意味着如果要制订一项在 2030 年前投入实施的零碳条件建筑法规，以及必要的支持政策、工具和能力建设措施，从现在起还剩下 1 ~ 3 年的时间。现行建筑节能法规的修订和更新周期也是重要的影响因素，通常为 2 ~ 5 年。

<sup>8</sup> 译者注：例如，阶梯的每一层台阶分别对应节能 10%，20%，……70%。政府在利用该阶梯工具制定政策时，可以考虑使某类产品的最低能效标准、能效标识、高效标准等不同针对性的政策分别对应同一阶梯中不同台阶的节能要求，还可以考虑在某一时间段（如五年）后将上述政策在同一阶梯中对应的台阶整体上移，即节能标准升级。

<sup>9</sup> 为便于表述，下文称“具备零碳条件的建筑”为“零碳条件建筑”，称“使建筑符合‘具备零碳条件’标准的改造”为“零碳条件改造”。

零碳条件建筑法规从目标提出到政策实施的发展时序典型案例



IEA. All rights reserved.

目前还没有实施强制性建筑节能法规的国家和地区可能面临更严峻的挑战, 因为它们不仅需要制订法规, 还要开发必要的工具、培训和执行体系, 并且要在建筑和建设部门建立起相关的材料供应链。

IEA. All rights reserved.

## 室内供暖和建筑热水的电气化：热泵的关键作用

提高建筑能效、实现建筑脱碳最重要的途径之一，就是将[建筑热水和室内供暖的方式](#)从化石燃料锅炉、熔炉转变为电力。虽然热泵、直接用电的加热器（电暖气）和电热锅炉通常比使用天然气的同类设备[更贵](#)，但目前已经在一些国家得到了应用。其中，热泵是“2050 年净零排放”情景认为的实现室内供暖电气化的关键技术；该情景下，从现在起到 2030 年全球平均每月将售出 300 万热泵机组，较[现有月销量 160 万机组](#)有大幅增加。

英国计划逐步停售燃气锅炉，作为实施零碳条件建筑标准的措施之一。包括法国在内的许多欧盟国家，未来几年都将开始停售燃油和燃气锅炉。爱尔兰将分别从 2022 和 2025 年起禁止在新建建筑中安装燃油和燃气锅炉。许多国家在其新冠疫情后的复苏计划中，都利用建筑节能改造领域的资金对类似政策予以支持。

荷兰[提出了在 2030 年前安装高达 200 万热泵机组的计划](#)，该计划还将从 2024 年起，每年为 10 万热泵机组的安装提供补贴，进一步鼓励热泵应用。2020 年，挪威通过 [ENOVA 项目](#)向 2300 户家庭发放了补贴，致力于为区域供热系统中的高温热泵应用拓宽市场。

建筑围护结构的能效是支持热泵应用的重要考量因素；为进一步配合热泵应用，可以通过强化外墙保温性能、安装节能窗户的方式尽可能提升围护结构能效。这些措施有助于建筑安装合适规模的热泵系统，避免使用不必要的大规模热泵，从而提高住宅采暖效果，降低能源需求，并且降低先期和使用成本。

如果想要通过政策有效促进热泵应用，可以考虑采取的手段包括：基于公共拨款和能源定价的激励机制、包含净零排放要求的建筑标准、逐步禁止安装化石燃料供热系统的监管目标等。

[推动热泵发展过程中的技术进步](#)也是一个重要的方向，例如提高在居住建筑标准电压和低电流系统下即插即用热泵设备的普及程度，并降低其价格。减小压缩机尺寸、提升热泵在严寒气候下的性能等也是可以考虑的技术改进方向。

用能行为转变也将对“2050 年净零排放”情景下建筑能效“里程碑”的实现起到重要作用，包括将室内供暖和制冷的温度范围分别设定为 19 ~ 20°C 和 24 ~ 25°C，将热水设定温度降低 10°C、避免温度过高等。在“2050 年净零排放”情景中，这些措施在 2030 年之前将共计帮助减少 2.5 亿 tCO<sub>2</sub> 的额外温室气体排放。

按照“2050 年净零排放”情景建议的那样，建筑向零碳条件转型将带来[许多效益](#)。零碳条件建筑能够提高（建筑使用者的）舒适度、健康和工作效率。建筑保温、玻璃、防风防雨、通风性能的提升将使建筑内部的热舒适度、湿度、噪音水平和空气质量都得到显著改善。例如，

事实证明，在学校场景中，每改善 100 勒克斯 (lux) 照明，[教学表现](#)提高 2.9%；每降低 1°C 过度供热（超过 28°C），教学表现提高 2.3%。在医疗场景中，医院和护理间的翻修和节能改造有助于[使病人平均住院时间缩短 11%](#)。

## 降低新兴经济体国家融资成本将有助于让更多人用上清洁能源和节能设备

截至 2050 年，新兴和发展中国家城市人口预计将在现有水平基础上增加近 20 亿。但与此同时，2020 年全球仍有约 7.9 亿人无法用电，这些人大多居住在撒哈拉以南的非洲地区，以及亚洲发展中国家。约 26 亿人无法使用电灶等清洁烹饪手段。

为了助力“2050 年净零排放”情景的实现，许多新兴国家投资障碍的解决是一项需要特别关注的重要考量。这类国家通常也更依赖于利用公共资源来为能效提升和能源接入项目提供资金。

与发达经济体国家相比，新兴经济体和发展中国家的融资成本要高出许多，融资的名义成本 (nominal costs) 是美国和欧洲的七倍之多。这对试图通过增加债务融资 (debt finance) 来助力实现可持续发展目标的清洁能源项目而言，是一大障碍。

建筑工业通常主要由中小企业构成；对这些企业而言，(开展项目的) 融资成本高、限制多，在新兴国家尤其如此。而对 (商业或住宅用途的) 建筑租户而言，先期成本往往是阻止他们更换新的高效设备的重要原因。此外，与发达经济体国家相比，基于能源供应商常规账单进行分期付款 (on-bill financing) 等 (灵活) 融资机制在发展中国家也不那么常见。

印度《节能建筑法规》(ECBC) 于 2017 年进行了最新修订，并正逐步成为全国各邦的强制性法规。自从 2017 年该法规更新以来，印度新建商业建筑能源强度下降了 7%，(新建) 居住建筑下降了 8%。印度绿色建筑协会还在 2018 年开发了一套净零能耗建筑评估体系。

哥伦比亚在 2015 年采纳了新的建筑节能法规，并由其商会 (Chamber of Commerce) 为“[卓越高能效设计](#)” (EDGE) [建筑认证项目](#)背书，促使地方银行增加对绿色建筑的资金投入；其中，EDGE 项目由作为世界银行集团成员之一的国际金融公司 (International Finance Corporation; IFC) 设计发起。哥伦比亚的地方银行发行了共计约 2.6 亿美元的绿色债券，用于支持 EDGE 认证的绿色住宅开发及两栋绿色办公建筑的建设。这些引导资金流向建筑能效项目的绿色债券，向人们展示了如何将这类投资证券化，并推销给国际投资者。

国际机构的技术和资金支持能够帮助新兴和发展中国家进行必要的金融和能源系统变革，从而促进清洁能源融资。例如，世界银行为中国提供的资金和技术支持，包括建立的贷款担

保项目，[对于推动中国节能服务市场 1998 年以来的良好发展起到了重要作用。](#)

2015 年，墨西哥政府与泛美开发银行（Inter-American Development Bank）、世界银行清洁技术基金（Clean Technology Fund）合作发起了“节能保险”（ESI）项目。这是第一个利用保险机制降低能效项目风险的系统。墨西哥政府当时预测，到 2020 年，ESI 将为 190 个能效项目累计吸引 [2500 万美元的投资](#)。目前，ESI 在另外七个拉丁美洲国家也得到了示范应用，包括巴西、哥伦比亚和秘鲁等。一旦在这七个国家完全推开，到 2030 年，ESI 将能累计推动 [1000 亿美元投资](#)，并减少额外二氧化碳排放 2.34 亿吨 / 年。

## 2.4 交通

### 随着电气化进程加快，所有车辆类型的能效都需进一步提升

2020 年，交通部门占[全球终端能耗的 25%](#)，但同期碳排放仅略高于 7 GtCO<sub>2</sub>，比新冠疫情前的 2019 年下降了 10%。其中，石油占交通能源需求总量的 90%；道路交通在交通能源需求和碳排放中的占比均为 75% 左右。

“2050 年净零排放”情景下，由于各类出行方式的能效提升，包括电气化普及和行为转变，2030 年交通能源需求中的石油占比将降至约 80%，届时全球交通部门能耗和碳排放将较现有水平分别下降 3% 和 20%。

由于各自技术成熟度的显著区别，不同出行方式的脱碳速度不同。“2050 年净零排放”情景下，到 2040 年，两 / 三轮车基本就能完全停止排放二氧化碳，随后是在 2040 年代后期实现脱碳的轻型车（小汽车、厢式货车）和铁路交通；2020–2050 年期间，重型货车、船舶和航空交通将以年均 6% 的速度减少碳排放，预计 2050 年三种交通方式年排放量共计 [0.5 GtCO<sub>2</sub>](#)。

即使是在“2050 年净零排放”情景下，预计到 2030 年全球仍会有 80% 的存量乘用车是传统的内燃机汽车，因此，持续提高内燃机汽车的燃油效率非常重要。

目前，全球近 [90% 的轻型车新车](#)和 80% 的重型车新车需满足燃油经济性标准才能进入市场销售。在“2050 年净零排放”情景下，相关标准和要求将变得更加严格，从而促进全球交通向电动车转型。

“2050 年净零排放”情景下，在 2030 年之前，能效提升将是减少交通能耗的主导因素，约贡献 50% 的额外节能量（与现有政策相比），其次是电气化和行为转变，占比均约为

25%；2030 年之后，电气化的重要性逐步增强，截至 2050 年，电气化对交通部门额外节能量的贡献约为 50%，其次是能效提升约 40% 和行为转变约 10%。

## 消费偏好向大型车发生转移，阻碍了整体燃油经济性的改善

小汽车和厢式货车能效提升进程放缓：与 2010–2015 年期间全球平均燃油消耗量每年降低 2.6% 相比，2017–2019 年期间的[累计降幅仅为 0.9%](#)。这在一方面是由于那些大型、重型、大马力车辆的使用增加，尤其是 SUVs，另一方面则是因为高燃油效率动力系统的应用进程滞缓。

在美国、欧洲和中国，汽车车重、马力和碳排放量的增加，抵消了[高达 40%](#) 由技术能效提升带来的燃油经济性改善；在印度，这一比重为 17%。

据估计，2020 年全球 SUV 在用车数量[突破 2.8 亿](#)，较 2010 年的[不足 5000 万](#)有大幅增加。与中型车相比，SUV 行驶同样距离的[能源消耗平均要高出 20% 以上](#)。

为实现“2050 年净零排放”情景，2020–2030 年全球轻型车新车平均燃油消耗量需下降一半左右。为了达成这一目标，该情景规划 2030 年电动车应 1) 在全球存量乘用车中占比 20%，2) 在乘用车新车销售中实现 64% 的市场份额，3) 在货车新车销售中实现 30% 的市场份额。

各国政府可以通过财政及其他手段鼓励消费者选择更轻、更小的车型。为了限制 SUV 进一步占有市场，法国、挪威等国基于车重对重型车征税。日本则通过购置税、保险税减免等激励机制，促使人们更多地购买使用超小、超轻型车，当地称 K-car。而在印度尼西亚新实施的“低碳排放车辆”项目 (Low-Carbon Emission Vehicle programme) 中，车辆税率不再仅仅跟发动机功率挂钩，而是与发动机效率和碳排放都有关系。在[德国柏林](#)，相关部门正在考虑每年向 SUV 车主收取高达 590 美元的停车许可费用，是小型车费用的五倍。[加拿大温哥华](#)也在考虑类似的措施。

## 为在 2035 年前杜绝传统内燃机汽车新车销售，电动小汽车及厢式货车目标升级

“2050 年净零排放”情景下，内燃机汽车新车销售将在 2035 年之前彻底终结，交通电气化因此将发挥重要作用。包括插电式混合动力汽车 (PHEVs)、纯电动汽车 (BEVs) 及燃料电池汽车 (FCVs) 在内的轻型电动车将迎来保有量增加——预计从 2020 年 1100 万的在用车数量，增长至 2030 年的 3.5 亿。

考虑到两 / 三轮车在新兴和发展中国家的广泛应用，“2050 年净零排放”情景设定了

2030 年电动车占两 / 三轮车新车销量 85% 的目标，用来引领全体电动车的进一步发展。同时由于全球目前只有 35% 的两 / 三轮车新车需要在销售前满足燃油经济性标准，这类车辆的燃油经济性也值得政策给予更多关注。提高这些车辆的能效水平还能带来当地空气质量改善、噪音减少等其他效益。

促进电动车购买和使用的针对性措施目前正得到更广泛的应用。例如，英国计划在 2030 年之前停止销售内燃机汽车新车。加拿大和欧盟也设定了类似目标，但将时间节点定在了 2035 年，与 IEA“2050 年净零排放”情景中的里程碑一致。作为燃油经济性标准的补充，各国可以要求汽车制造商销售指定数量（以上）的电动车，并且针对更多类型的电动车设置销量目标。一些地方上的机制也能发挥作用，包括提供充电桩等基础设施，在“低碳 / 零碳区”等局部地区为电动车提供优先待遇等。

为了更好地了解不同的汽车动力系统在全系统尺度上对能效和温室气体排放的影响，人们应该不单只是考虑车辆在尾气排放或发动机尺度上的使用表现。这是因为电动车虽然在运行上更加高效，但始终要依靠目前仍然由化石能源发电主导的电力。基于这样的原因，“从油井到车轮”的分析对从燃料供应到车辆运行整个过程的二氧化碳排放进行评估，因此能够提供一个更加全面的视角。

### 2019和2030年全球平均“从油井到车轮”的温室气体排放强度

动力系统	2019“既定政策”情景 (CO <sub>2</sub> 当量每公里)	2030“承诺目标”情景 (CO <sub>2</sub> 当量每公里)
汽油内燃机汽车	205	130
柴油内燃机汽车	180	130
压缩天然气内燃机汽车	180	140
混合动力汽车 (HEV)	135	100
插电式混合动力汽车 (PHEV)	105	40
纯电动汽车 (BEV)	70	30
燃料电池汽车 (FCV)	130	40

注：2019 年数据基于 IEA《世界能源展望》中的“既定政策”情景 (STEPS)，2030 年数据基于“承诺目标”情景 (APS)。表中数值基于世界轻型汽车测试循环 (WLTC) 工况下的汽车表现。“从油井到车轮”温室气体排放强度针对所有轻型乘用车，数值取整以方便计算。表中燃料电池汽车的碳排放强度值取电解氢和天然气蒸汽甲烷转化法之间的数值。内燃机汽车、混合动力汽车、插电式混合动力汽车的碳排放强度值包括了混合生物燃料的部分。

来源：IEA analysis based on IEA (2021), [Global Fuel Economy Initiative](#)。

## 重型货车 2035 年起或成交通部门主要碳排放源

重型货车预计将从 2035 年起，成为交通部门的主要碳排放源。“2050 年净零排放”情景下，2030 和 2050 年全球内燃机重型货车平均燃油消耗量预计将分别较现有水平下降 19% 和 37%。

重型车可以通过[提升发动机能效](#)、使用混合动力，以及轻量化等方式实现节能。电动货车也开始进入市场，但快速充电的基础设施不足加上货运路线长，成为了[阻碍](#)跨地区和长途货运使用电动车的重要因素。

与轻型乘用车一样，升级针对重型货车的相关目标也对实现气候目标至关重要。在缺乏相关措施的国家，针对重型货车的能效标准、财政手段和激励机制仍然有很大机会能够发挥作用。例如，瑞士通过对上路行驶的柴油货车征收道路税，有效促进了[燃料电池货车的使用](#)。各大城市还可以通过“零碳 / 低碳区”鼓励零排放货车的使用。

## 铁路交通和行为转变引领交通部门其他行动

铁路是能效最高、碳排放最少的交通方式之一，并且能够通过出行方式转变（向铁路转型）实现可观的节能量。“2050 年净零排放”情景下，未来的跨地区航班将在条件允许情况下被高速铁路出行替代，就像[法国和奥地利正在实践的那样](#)。

铁路交通电气化能够进一步促进能效提升和脱碳。目前全球铁路交通能耗总量中，电力占比约 43%。“2050 年净零排放”情景下，该比重将在 2030 和 2050 年分别达到 65% 和 96%，届时还会有一小部分能源来自氢气。“[使一切电气化](#)”（[electrify everything](#)）已经成为印度铁路部门的指导性原则，该国总长 4.8 万公里的铁路网络中，71% 已经通电。[印度铁路部](#)称，所有铁路轨道将在 2023 年底前完全电气化，从而减少印度对进口石油产品的依赖，提高能效、促进绿色转型。

“2050 年净零排放”情景下，航空和船舶交通的碳排放将在 2020 年代中期之前持续增加，随后开始减少，但减少的速度远低于轻型乘用车。而对重型车而言，能效提升措施在近中期内尤其重要。

受新冠疫情相关限制措施的影响，2020 年全球航空碳排放仅略高于 6 亿吨，较上年减少约 1/3，与 1997 年排放水平相当。随着航班活动量逐渐重回疫情前水平，能效提升措施将成为减少航空能耗的重要手段，包括针对机身、引擎的燃油能效技术，以及空中交通管理等运营改进。

船舶交通领域的能效提升措施包括减速航行和风帆助航技术。船舶交通目前约占全球交通碳排放的 12%，全球能源相关碳排放总量的 3%。

“2050 年净零排放”情景下，行为转变是交通部门脱碳进程的重要组成部分，有助于推动 2030 年交通碳排放在现有水平基础上减少 12%。这里的行为转变涉及所有出行方式，尤其强调客运交通以及向非能源密集的出行方式转型。

在新兴和发展中国家，由于交通活动水平提升，2030 年乘用车旅客公里数预计将较现有水平增加 35%。但在发达经济体国家，出行方式向公共交通转型、车辆搭载率提升等道路交通行为转变预计将[使这一指标同期降低 22%](#)。

例如，通过修改最高限速、推行环保驾驶等，车辆燃油经济性将得到显著改善。[美国能源部](#)研究发现，每年由轻型车和重型车不必要空转导致的燃油浪费约为 227 亿升。仅针对轻型车解决过度空转问题，就能减少约 3000 万 tCO<sub>2</sub>/ 年的额外温室气体排放，减排效果相当于让 500 万辆汽车不再上路行驶。在纽约市，给车辆“预热”现已成为违法行为；按照[“市民空气投诉项目” \(Citizens Air Complaint Program\)](#) 的规定，市民可以向相关部门投诉他人不必要的车辆空转行为。车辆空转问题在北美的提出和应对得到了越来越多公众关注活动的支持，包括名为[“比利从不空转” \(Billy Never Idles\)](#) 的倡议活动，灵感来自活跃于上世纪 80 年代的摇滚歌手 Billy Idol（“空转”的英文单词 idle 与其姓氏 Idol 谐音）。

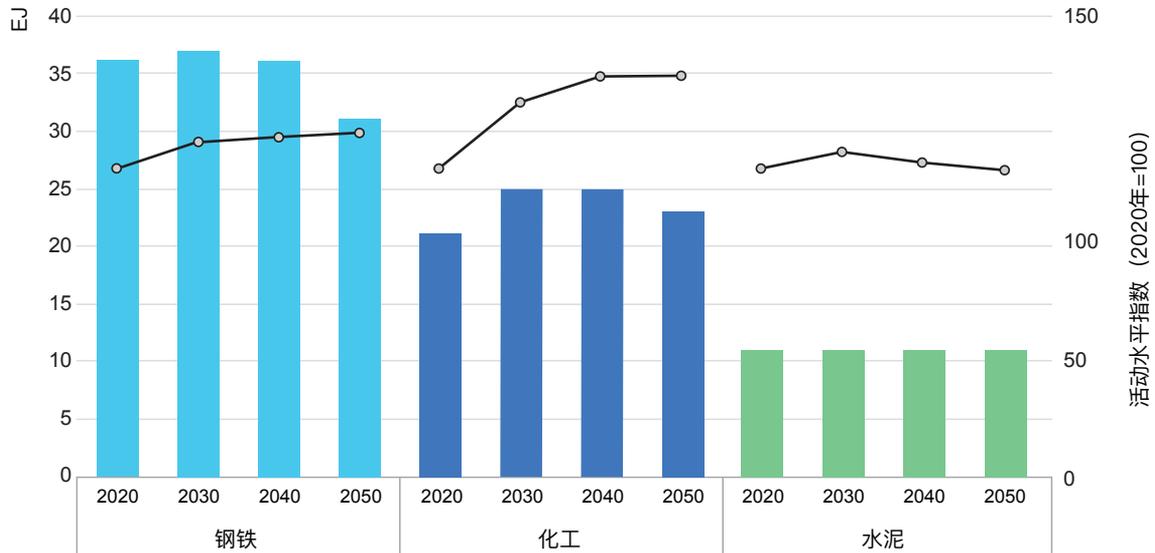
## 2.5 工业

工业部门是目前第二大的二氧化碳排放源，2020 年排放量约为 8.7 GtCO<sub>2</sub>，仅次于电力部门。其中，化工、钢铁、水泥三大行业占工业部门总能耗的近 60%、碳排放总量的约 70%。

过去二十年，[这三大行业工业产品在全球范围内的市场需求显著增加](#)：钢材需求增加 2.1 倍，水泥 2.4 倍，化工行业主要产品——塑料 1.9 倍。这些产品主要产自新兴和发展中国家，约占全球总产量的 70% ~ 90%；2020 年仅中国一国就占全球钢材和水泥产量各 60%。“2050 年净零排放”情景下，预计 2030 年全球钢材、化学品、水泥产量将较现有水平分别增加 9%、21% 和 5%，随后基本保持稳定；相关能耗在 2030 年之前也将呈现类似的增长趋势，随后保持稳定或因材料和能源效率提升而略有下降。

“2050 年净零排放”情景下，工业能源强度预计将从现有的 4.1 兆焦 (10<sup>6</sup> 焦；MJ) / 美元工业增加值下降到 2030 年的 3.1 MJ/ 美元和 2050 年的 1.8 MJ/ 美元。假如情景中规划的能效提升完全不发生，2030 年工业能耗将在现有水平基础上增加 16%，而非该情景下的 8%。

## “2050年净零排放”情景下，2020–2050年全球重工业行业能耗及活动水平



IEA. All rights reserved.

来源：IEA (2021), [Net Zero by 2050](#)。 IEA (2021), [World Energy Outlook](#)。

## 水泥行业考虑减少熟料使用及更多采用替代性燃料

传统水泥生产的平均能源强度约为 3.3 吉焦 (10<sup>9</sup> 焦耳; GJ) /t, 碳排放强度约为 0.7 tCO<sub>2</sub>/t; 其中 50% ~ 60% 排放来自熟料生产, 余下部分碳排放来自煤炭、天然气、石油、石油焦等燃料的燃烧。熟料作为一种粘合剂, 其生产过程是水泥制造中能源和碳排放最密集的环节。“2050 年净零排放”情景为此设定了在 2020–2030 年期间, 全球水泥中的熟料比降低 8% 的里程碑, 即从 2020 年的 0.71 降至 2030 年的 0.65。

水泥制造还涉及发电产生的间接排放, 这取决于所使用电力的能源结构。虽然传统上, 水泥窑一般采用化石燃料供能, 但“2050 年净零排放”情景认为, 替代性燃料将变得 (对水泥生产) 越来越重要。水泥生产的替代性燃料通常是市政和工业来源的废弃物, 可能还包括生物质。

替代性燃料的使用对水泥生产有两方面的作用。它们不仅可以供能, 燃烧残留的灰分还可以作为有机成分直接加入水泥产品中。

一系列其他材料都可以替代水泥中的熟料, 包括细磨石灰石, 以及一些其他行业的副产品, 例如来自钢材生产产生的粒状高炉矿渣, 或是来自煤电厂的飞灰。然而随着煤炭发电逐渐被

淘汰，钢材生产采用其他替代工艺、提高材料回收利用率，这些可利用副产品的数量也将减少。

各国可以在其建筑法规中，纳入针对水泥中熟料含量的混凝土标准，在不影响材料安全和性能的前提下促进低熟料含量水泥的应用。而在近中期，减少水泥生产碳排放的常见方法包括从湿法改为干法生产、利用回收余热对材料进行预热等。

延长建筑使用期限也能减少水泥需求，尤其是通过大力投资开展建筑节能改造和新建节能建筑等。混凝土目前通常被“降级回收”<sup>10</sup>，广泛用于道路或地基垫层的铺设，但还可以得到更进一步的回收利用。例如，均匀混凝土结构构件可以通过合适的设计再次得到使用。还有一些处理工艺，能够从混凝土的沙石和添加剂中[分离出水泥组分](#)，从而使混凝土能够作为水泥生产中的一种低碳原料得到再应用。

### 印度水泥生产

截至 2020 年，印度是全球第二大的水泥生产和消费市场，[占全球装机产能的 7% ~ 8%](#)。2021 财年<sup>11</sup> 第三季度（2020 年 10–12 月），印度水泥企业表示，随着新冠疫情后建造活动的复苏，该行业在市场需求和盈利上都呈现出健康的生长。

近几年，受人们对道路、城市基础设施及经济适用房等新建建筑的需求驱动，印度[水泥生产和消费量](#)年均增长率约为 6%。2020 财年，印度水泥产量达到 329 兆吨（10<sup>6</sup> 吨；Mt），预计到 2022 财年将增长 10% 以上，达到 381 Mt；到 2025 财年预计将达到 550 ~ 600 Mt。印度现有水泥产能 [545 Mt](#)。

[印度水泥制造商协会](#)表示，该国水泥行业在能耗和绿色化方面与日本水平相当。水泥行业是印度火力发电产生飞灰的最大消费端，并且对钢铁行业产生的炉渣进行 100% 消纳，从而促进水泥中熟料占比降低。此外，印度水泥行业还在增加对[替代性燃料](#)和原料的使用，并且推动余热回收发电的发展。

德国海德堡水泥集团（HeidelbergCement）位于印度纳新加尔市（Narsingharh）的工厂从 2016 年起就开始利用水泥窑余热进行发电，装机容量达 12 兆瓦（10<sup>3</sup> 千瓦；MW）。该集团还计划在其位于印度耶拉贡达镇（Yerraguntla）的工厂新建 22 MW 的余热回收机组。除此以外，该集团在印度的好几个工厂已经开始使用替代性燃料，进一步促进当地废弃物利用的投资也在陆续进场。

<sup>10</sup> 译者注：downcycle，即将废弃物分解成原料再使用。

<sup>11</sup> 译者注：印度财年通常指从上年 4 月 1 日至当年 3 月 31 日的一年时间，但在个别情况下起止日期会发生变化。

作为全球最大的水泥公司之一，瑞士霍尔希姆公司（Holcim）的[净零碳排放行动路线](#)中包括了将 2030 年范围二排放（Scope 2 emissions）——即与购买电力、蒸汽、热力或冷却相关的间接排放——在 2018 年水平基础上减少 65% 的目标。该公司还为其在印度的六处工厂投资建设余热回收设施，投资额共计 1.08 亿美元，预计建成后每年能够减少 50 万 tCO<sub>2</sub> 温室气体排放。利用水泥窑余热进行发电同时还有助于减少对电网的电力需求。

霍尔希姆在印度的两家运营公司 [ACC](#) 和 [Ambuja Cement](#) 已经开始利用发电产生的飞灰和钢材制造的炉渣等工业副产品原料代替水泥熟料。两家公司旗下的水泥总产量中，熟料占比 63%，其中 ACC 的两家水泥厂更是实现了低至 44% 的熟料比。

### 土耳其水泥生产

土耳其水泥行业总产量在 2019–2020 年受新冠疫情影响，下降 29%；2020 年稍有回升，增长 27%，达到 7650 万吨。该国也同时成为了世界第二大水泥出口国。

土耳其约 18% 的工业能耗总量来自水泥行业。2011–2020 年期间，土耳其建成投产的余热回收设施装机容量共计 141.5 MW；据该国政府估算，未来预计还将建成 128.5 MW。

## 替代性建材

使用木材等替代性建材也能减少水泥消费量。木材是历史最悠久的建筑材料之一，[相关技术也已经有所进步](#)，如采用小片木料和不同种类的胶水提高木材稳定性，以及依靠现代化的表面涂层增强木材防火安全性能等。就保温性能而言，木材（导热差）的能效要显著高于混凝土。鉴于树木能够与二氧化碳结合的自身特性，增加建筑中的木材使用可以将建筑物变成[碳汇](#)。但与此同时，面对当今世界对过度砍伐森林问题的担忧，建筑工业向增加木材使用转型还必须要严谨的管理作为支持。

### 木材作为一种可持续建材在东京奥运会的应用

2021 年举行的 2020 年东京奥运会展示了基于木材的建筑设计。日本在木材的建筑应用方面有着悠久的历史，同时拥有全球第二大的森林覆盖率（森林面积占全国陆地总面积的百分比）。[东京奥运村](#)广场的建筑群完全由来自日本不同地区的木材建造而成。[日本国立竞技场](#)则在整个建筑立面（建筑的外观可视部分）和室内设计中都使用了木材，用钢筋混凝土搭建地基。

## 为降低能耗，钢铁行业致力于提高废钢用量占比

钢材作为全球经济的关键性物质基础之一，（其生产）也占全球能源相关碳排放总量的 7% 和全球终端能源需求总量的 8%。当前钢材生产主要有两种工艺——以铁矿石作为主要金属输入源的初级生产，以及基于废钢的次级生产。

传统的钢材生产需要用到以焦炭作为燃料的高炉来冶炼铁矿石。高炉冶炼产生的铁水随后——通常连同一定比例的废钢一起——进入氧气顶吹转炉，再向转炉中吹入氧气，降低碳等杂质元素含量，最后出钢。[全球约 90% 初级生产的钢材产量和 70% 的钢材总产量](#)都来自这一传统的炼钢工艺流程。该工艺在最理想的能效水平下，每生产 1 吨钢材将排放 1.8 吨二氧化碳。

电弧炉（电炉）直接还原法是一种新型的替代性工艺；采用高质量的铁矿石，在氧气和生石灰的作用下，由电炉冶炼出钢。在完全使用可再生能源发电的前提下，该工艺每生产 1 吨钢材的排放是 0.7 吨二氧化碳，比传统工艺流程现有最低排放水平的一半还要低。目前[全球钢材产量约 28%](#)来自电炉直接还原法。

利用废钢作为原料的次级生产能够跳过给铁矿石脱氧的最初精炼步骤，因而能够将生产每吨钢材的能耗减少 80% ~ 90%。然而，回收利用得到的废钢量是这一方法的主要制约因素。

“2050 年净零排放”情景下，现有技术对 2030 年之前钢材生产碳减排量的贡献率约为 85%。其中一项关键措施是回收利用的废弃金属资源在电弧炉中使用的显著增加。

2019 年，全球[约 30%](#)用于炼钢的金属原材料来自废钢回收利用。钢铁行业（材料）回收利用率相对较高：全球约有 80% ~ 90% 的钢材能够得到回收利用。其中建筑部门是一个主要的回收源：[建筑拆除所得钢材中，约 86% 会被回收利用](#)。但总体而言，目前全球钢材需求依然远远超过废钢资源。

“2050 年净零排放”情景下，未来钢铁生产中将更多地使用基于天然气或电解氢的电弧炉直接还原法，从而完成对原有（高炉法中）煤炭使用的电能替代。要实现这一转变，关键是提高废钢的回收利用率，使钢材生产中金属输入的废钢占比在 2030 年前达到 40%。这意味着需要进一步增加对废旧汽车、机械和电器设备中钢材的回收利用。

2021 年 8 月，瑞典的试点项目 [HYBRIT](#) 生产出了全球第一批零排放通用钢材，并计划在 2026 年前实现该技术下的批量生产。

与水泥行业情况类似，钢材在一些情况下也能被碳纤维等材料所替代。虽然生产碳纤维的能源密集程度并不比钢材低，但如果要在（碳纤维或钢材制成的）最终产品中实现相同程度的稳定性，需要的碳纤维将远低于钢材量。

## 塑料制品回收利用是化工行业能效提升的关键

全球超过 [1/8 的石油资源](#) 用于生产石化行业化学品类别下最主要的终端产品——初级形态塑料，年产量超过 1.73 亿吨。2000 年以来，全球塑料制造产能翻了一番；生产过程中，能源主要用于供热和机械驱动，同时石油和天然气还有作为给料的非能源使用。

提高材料和能源效率是从现在起到 2030 年化工行业减少碳排放的重要方法，具体手段包括增加回收利用，使用生物材料替代塑料制品，以及促进氮肥高效利用等。塑料生产的转型，例如采用电加热蒸汽裂解或基于电解的化学反应，也能提高行业能效水平，并且为可再生能源替代化石燃料供能提供了机会。

然而，目前全球范围内塑料的回收利用率仅为 [14% ~ 18%](#)。剩余部分通常会被焚烧（24%）、填埋或是非法排入海洋等环境中。塑料的回收利用也会产生相应的能源和运输需求。近期一项[研究](#)表明，生产原生塑料的能耗为 83 MJ/公斤（kg），但通过回收利用（包括运输）进行再生塑料生产的能耗仅为 11 MJ/kg。

## 提升轻工业能效可以带来多种效益

轻工业<sup>12</sup> 包括汽车、轻工机械、食品、木材、纺织品和其他消费品制造，以及建筑工业和矿业。与重工业不同的是，大多数有助于轻工行业脱碳的技术都是随时可以投入应用的成熟技术。这主要是因为轻工行业超过 90% 的热力需求都是中低温，更利于从化石能源（供热）转变为以热泵为首的高效电热方式。

基于上述原因，尽管轻工业比重工业能耗更低，其节能潜力却更大，占[工业部门潜在节能总量的 70%](#)。能效提升后，制造商消耗相同能源生产出的产品将是节能前的两倍，同时还将获得包括竞争力提升在内的许多其他效益。

考虑到轻工业向社会提供的大量就业机会，这些行业在全球经济中拥有重要地位。例如，纺织业是印度就业机会第二多的行业，仅次于农业，且雇佣员工主要为女性。通过提高能效来增强纺织业的竞争力，将有助于行业创收，从而推动就业增长。（女性）就业增长反过来又能赋予当地女性权利，有助于降低女性失业率。此外，能效提升还能带来多种多样的其他效益，包括减少对水等其他资源的需求。

---

<sup>12</sup> 译者注：此处轻工业分类为 IEA 在报告中使用的国际上对于 light industry 的划分。

## 印度纺织业

2020 年，IEA 在其“新兴经济体国家能效”（Energy Efficiency in Emerging Economies）项目框架下，与印度政府合作制定了针对中型纺织企业的一揽子能效政策。该项工作由 IEA 与印度能源效率局（Bureau of Energy Efficiency）联合开展，通过针对纺纱、（利用织机）编织和纺织品湿处理（染色）工业的全面评估、调研、访谈和审计，识别确定了在国家层面上节能潜力最大的几个纺织工艺环节。

印度纺纱工业拥有约 5200 万纺锤。行业总体成本中，电力占 12% ~ 15%；环锭细纱机是主要的耗能设备。最大节能潜力将来自高速环锭细纱机的使用、投资者对抽吸装置的投资，以及高效电机的使用。

印度编织工业拥有约 280 万台织机，大部分为小规模织机。纺织品湿处理工业能耗和水耗都很高。能源分别占两个行业总体成本的 16% 和 20%。上文提到的 IEA- 印度合作项目通过咨询政府及利益相关方意见，为在这些行业克服相关障碍、实施节能技术提出了关键性的政策建议。

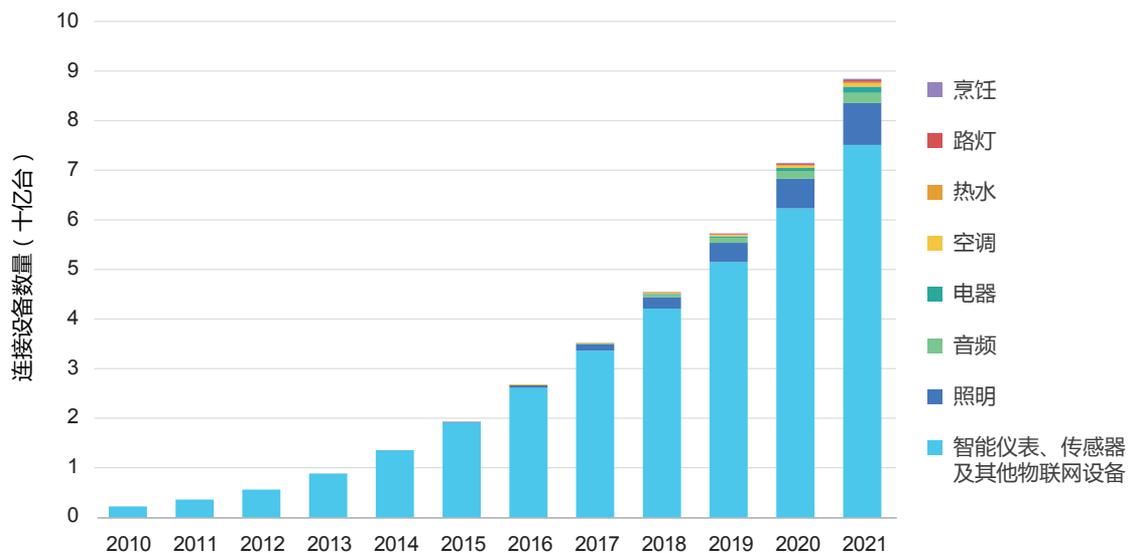
## 3. 数字化能效市场

### 3.1 拓展能效资源

#### 数字技术的深度应用正在重塑能效提升的潜在规模

2021 年，具有自动化控制功能的连接设备（家电、设备和传感器）数量预计将超过地球总人口数量。过去五年中，此类设备每年增长约 33%，总量在 2020 年达到 70 亿，2021 年预计将达到 90 亿。

2010–2021年连接电器、设备和传感器的全球保有量



IEA. All rights reserved.

注：2020 年起的的数据为估算所得。图中数据不包括信息技术，如个人电脑和移动电话、智能电视和音响等娱乐设备，以及安全传感器和控制设备。

来源：[EDNA Total Energy Model](#), Total automated devices。

上述设备大多是用数据测量和收集的设备，例如传感器和智能仪表。IEA 在其 4E 技术合作项目下的“电子设备和网络设备”附属协议（EDNA）中，通过其开发的总体能源模型（Total Energy Model）对包括自动化设备在内的全球设备进行追踪分析；其中上述数据测量和收集设备在 2020 年自动化设备总量中占比 87%。

许多与自动化和终端能效密切相关的设备在 2018 年销量起飞，目前正在快速扩张。例如，2020–2021 年，全球连接设备使用预计将翻一番，智能照明设备数量也将逼近 10 亿。

新型智能电器及系统不仅通常比老旧低效设备的能效更高，而且还能提高设备层面和电力系统层面的控制能力。这既扩大了高效设备的节能潜力，又通过为电力系统提供需求侧响应能力、需求灵活性资源（demand flexibility）和系统优化，进一步实现了高效设备的价值。

[智能仪表](#)对市场的快速渗透帮助能源供应商及其他能效相关企业开发出了新的商业模式。在建成数据获取和使用基本框架的基础上，智能电表能让各地的市场参与者能够对其测量上传的电力消费数据进行实时或接近实时的线上访问。如果连接到显示器或家庭能源管理系统，智能仪表还可以为用户提供有价值的信息并对能源使用进行调控，进而帮助用户减少能源浪费。

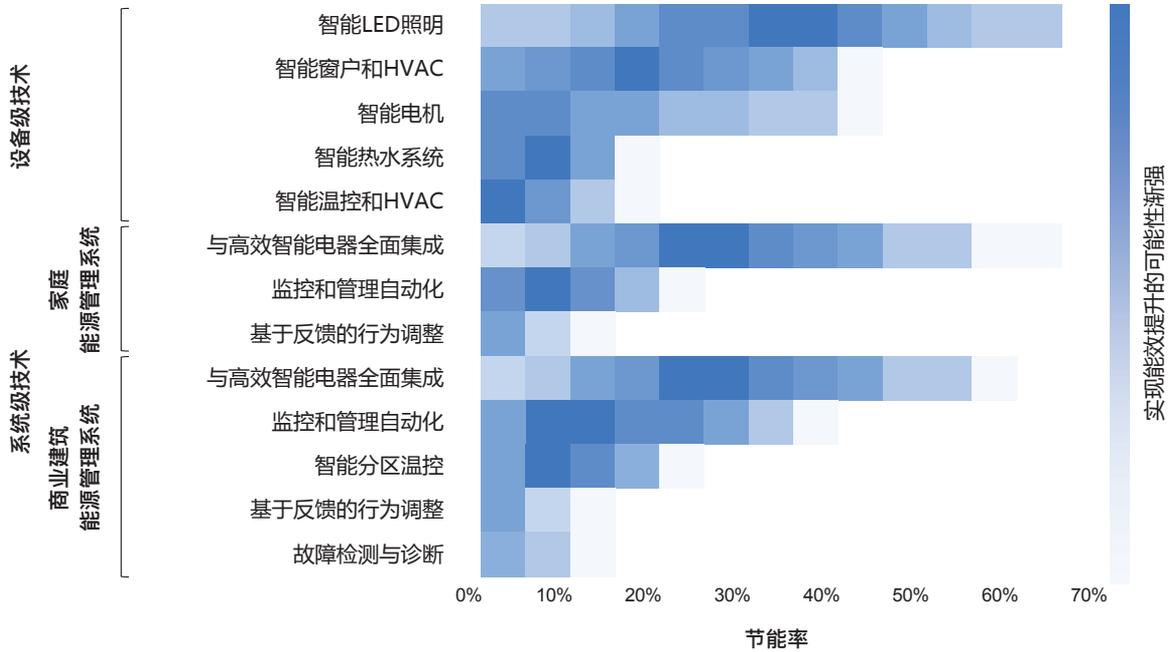
到 2025 年，全球安装的智能仪表基座数量预计将从 2019 年的 10 亿发展到近 [13 亿](#)，届时[市场规模预计可达 170 亿美元](#)。智能仪表的安装[正在逐渐恢复到疫情之前的水平](#)。2021 年，Enel 公司开始[在巴西圣保罗市推广安装 30 万台智能仪表](#)；印度宣布发起专项拨款，要在 2021–2023 年间安装 [2500 万台预付费智能仪表](#)；截至同年 4 月，[沙特阿拉伯](#)在不到 13 个月的时间内完成了超过 1000 万台智能仪表的安装及（对传统仪表的）替代。

家庭和商业建筑的能源管理系统配备了一系列自动化智能电器、设备、传感器、控制设备和软件，供建筑用户或建筑管理人员监测和控制能源使用。可接入和集成到此类系统中的技术包括智能温控、屋顶太阳能光伏、电池储能、电动车充电装置、智能仪表、智能电器、智能插头和连网照明等。

到 2025 年，家庭能源管理系统的市场规模预计可达到 [77 亿美元](#)。智能家居设备在未来十年的出货量预计将增加约 1 亿台。

对一系列不同当地条件下的实际案例进行研究发现，建筑能源管理系统和相关技术有助于显著降低能耗。虽然具体结果因实际情况而异，但这些案例研究反映出了此类技术的应用增长情况。

利用数字设备扩大能效提升规模



IEA. All rights reserved.

注：图上 HVAC 指暖通空调系统。

来源：IEA analysis based on case studies.

美国相关研究表明，在商业建筑中安装建筑能源管理系统后的第二年就可以实现 [11% ~ 22% 的节能率中位数](#)。在美国总务署 (GSA) 的公共建筑中，提高建筑能效并加强建筑与电网的互动能力，可以减少 [20% 的建筑运行成本](#)。在英国，智能家居技术在家庭住宅中实现过 [高达 33% 的节能率](#)；据 IEA 4E 技术合作项目估算，这类技术预计能够减少 [20% ~ 30%](#) 的家庭能源使用。在印度，通过引入冷冻水动态平衡和智能照明解决方案，一栋办公建筑实现了 [55% 以上的节能率](#)。在希腊，智能分区温控技术可节省 [15% 以上](#) 的能源，并将建筑舒适度提高 25% 以上。

在设备层面，许多智能技术使能耗和成本发生了显著的变化。智能热水器已证实可以减少 [12%](#) 的能耗和 [35%](#) 的能源成本。商业建筑中的智能照明可以使 [大型开放式办公室的照明能耗降低多达 65%](#)。智能窗在新加坡的使用将其制冷用能降低了 [45% 之多](#)。其他具有显著节能潜力的智能设备还包括洗碗机、冰箱和冰柜、洗衣机和烘干机、水池水泵、空调扇和电动车供电设备等。

### 智能 LED 路灯

智能 LED 路灯可根据（环境）光线水平调节照明功率，根据具体情况和车流量按需调节亮度，从而能够减少 40% ~ 80% 的用电量。比如，若超过 10 分钟没有车辆通过，路灯会调暗 50%，从而节省约 15% 的照明用电需求。

全球 3.2 亿盏路灯消耗的电量相当于整个德国的用电量，而且现在只有不到 3% 的路灯采用了数字技术，因此推广数字化路灯的节能潜力很大。对于城市而言，路灯照明可占市政总能耗 40% 左右、总预算 65% 之多。在英国，路灯也被开发用作电动车充电桩，方便那些没有停车场车位的电动车司机使用。

建筑能源管理系统还可以通过减少峰值用电、帮助用户实现电力需求和波动性可再生能源发电时间匹配等方式，为电网运行提供额外的价值。

在欧盟，从 2025 年开始，在经济可行、技术适用的情况下，制冷或供热设备峰值功率超过 290 千瓦 (kW) 的非住宅建筑将强制配备自动化控制系统。据估计，这项措施可为商业部门节省高达 20% 的能源。预计投资回收期为 2 ~ 3 年，资金成本 (capital cost) 约为 30 欧元 /m<sup>2</sup>。

美国计划在 2030 年将其居住和商业建筑能效及灵活性水平提高至 2020 年的三倍，并于 2021 年 5 月制定了 [电网交互型 \(grid-interactive\) 高效建筑发展路线图](#)。在接下来的 20 年中，电网交互型高效建筑可以为美国电力系统节省 1000 ~ 2000 亿美元，并帮助实现每年 8000 万吨的二氧化碳减排量。

### 连接设备的“能源之星”认证

美国环保局 (U.S. EPA) 的“能源之星” (ENERGY STAR) 是一项利用标准化测试方法和量化标准来促进能效提升、帮助消费者识别卓越能效设备的自愿性认证项目。“能源之星”项目也包含对具备连接功能及互操作性的产品的认证；这些产品能够降低用户能耗，并为用户提供用能报告及所有相关数据的使用权。美国环保局对智能产品市场进行监控，为其提供数据及操作安全规范来降低风险，引导制造商采用通用标准，并为消费者选择提供充足充分的信息。“能源之星”认证电器通常可以在发生能源浪费时发出警报，比如冰箱门保持打开状态等。在获得消费者许可的前提下，这些电器还可以通过需求侧响应程序与当地能源供应商进行交互，同时确保消费者对产品保有最终控制权，包括拒绝能源供应商调度指令的权限。

为支持市场发展，关键是确保家庭能源管理系统可以增强用户对新技术的使用体验和信任度。IEA“[以用户为中心的能源系统技术合作项目](#)” (Users TCP) 和 [4E 技术合作项目](#)下的一项[研究](#)通过对过往记录和资料的回顾，聚焦造成设备可用性差的各种问题，并致力于解决这些问题。

为智能设备创造更高市场价值的一个关键是互操作性，即设备之间相互通讯并在集成系统中协调作业的能力。致力于加强连接设备互操作性的国际机构包括国际电工委员会、国际标准化组织 (ISO) 和国际电信联盟 (ITU)。IEA 的另一项技术合作项目“[国际智能电网行动网络](#)” (ISGAN) 也在探索如何克服挑战，提高设备互操作性。

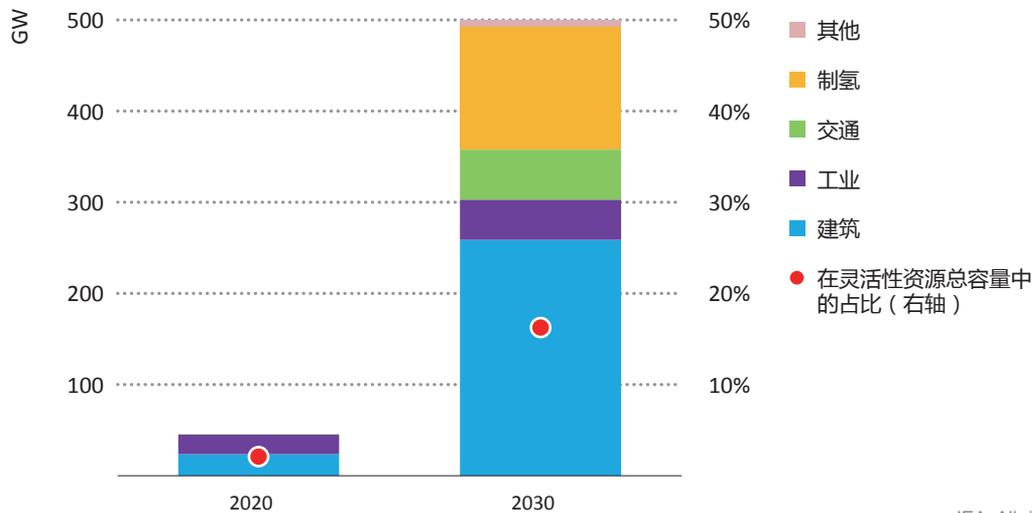
[欧盟](#)、[英国](#)、美国等许多国家和地区正在为具有某些共同特征的连接设备制订指南，例如能提供需求灵活性资源的设备等。但是这些指南中并未包含针对设备某些其他能力 / 特征的说明，比如状态报告和开放式通信协议等。IEA 4E 技术合作项目下的电子设备和网络设备附属协议为该领域提供[政策指导](#)，利用（对设备功能的）通用定义促进相关设备顺利普及。

## 3.2 更广泛的系统层面效益

### 通过更高的控制水平促进电力系统优化及灵活性提升

随着煤炭和天然气的发电占比减少，它们为电网提供的灵活性资源容量也随之减少；再加上波动性可再生能源的发电规模扩大，意味着储能电池和高效连接设备的需求侧响应必须为电力系统提供更大的需求灵活性。2019 年，全球各种形式的需求灵活性资源总容量同比提升了 5%。IEA “2050 年净零排放”情景下，到 2030 年市场上将有超过 500 吉瓦 ( $10^6$  kW; GW) 的需求侧响应能力用于支持电力系统的运行。

“2050年净零排放”情景中，2020和2030年峰值灵活性需求下的市场可用需求侧响应能力及其在灵活性资源总容量中的占比



IEA. All rights reserved.

注：2020年的市场可用需求侧响应能力基于2020年签约的需求侧响应容量进行估算，综合考虑容量、平衡、频率响应及其他方面的市场。

来源：IEA (2021), [World Energy Outlook](#)。

“2050年净零排放”情景下，到2030年所有新建建筑都要成为能源系统的灵活性资源，通过连接性和自动化来实现对电力需求和储能设备（包括电动车）运行的管理。此外，2030和2050年的全球存量建筑中，将分别有20%和85%完成相关节能改造、采用高效的电网交互型电器。这凸显了扩展能效政策覆盖范围、聚焦需求灵活性和智能化能效提升的重要性。

## 数字化能效提升是促进波动性可再生能源并网的关键

2020年新增可再生能源装机容量较2019年增加了45%，达到近280 GW，其中太阳能光伏发电的新增装机达到历史新高的162 GW。“2050年净零排放”情景下，到2030年全球太阳能光伏发电的年新增装机容量将翻两番，达到630 GW。波动性可再生能源发电占比的不断增加，再加上供热和交通的电气化，将导致电力系统的灵活性需求增加。

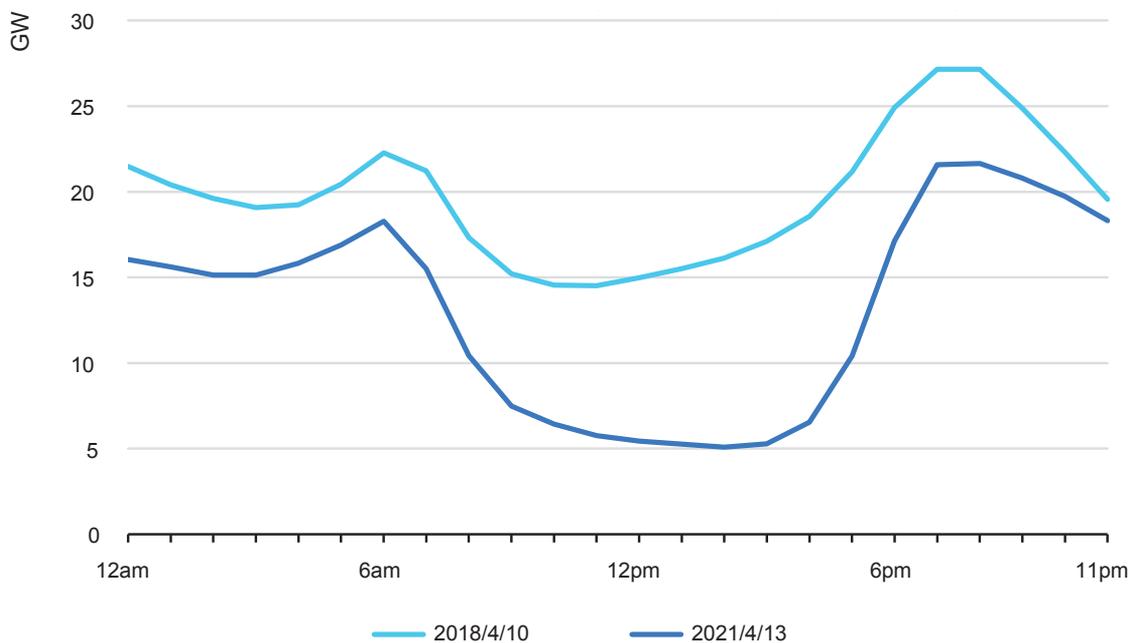
在一些电网中，午间时段的电力需求目前几乎完全由波动性可再生能源发电提供——包括电力企业的集中式可再生能源发电和居住建筑的分布式太阳能发电，这使得电网净负荷<sup>13</sup>

<sup>13</sup> 译者注：根据IEA在下图中的注释，净负荷 = 系统电力需求 - 风力及太阳能发电。

的每小时变化及峰谷差都在加大，也意味着高峰时段节电或“削峰填谷”的重要性越来越大。基于数字技术的高效设备和系统对此将发挥关键作用。

举个例子，能效提升对于降低美国加利福尼亚州傍晚的高峰电力负荷正变得越来越重要。随着当地有了更多分布式太阳能发电设施，其提供的发电量主要集中在中午时段，因此电网负荷中，过去曾被称为“鸭子曲线”（duck curve）的纵向跨度变得更为陡峭了。

### 2018及2021年4月美国加州电力净负荷的小时变化



IEA. All rights reserved.

注：“净负荷”指系统用电需求与风能、太阳能发电量之差。

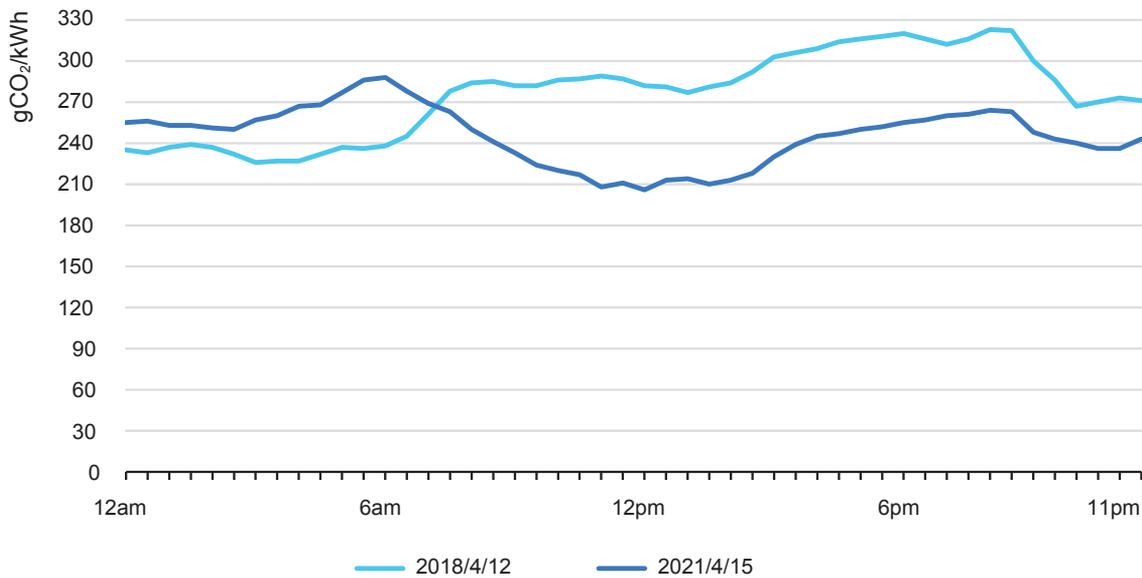
来源：California ISO (2021), Net Demand Trend, [www.caiso.com/TodaysOutlook](http://www.caiso.com/TodaysOutlook)。

美国加州在 2021 年 4 月 13 日的最高净负荷为晚上 7 点的 21.6 GW，五小时前出现的最低净负荷为 5.1 GW，即电网净负荷要在 5 小时内实现 16.5 GW 的爬升。而在三年前相似时期（4 月 10 日），同一天的净负荷峰谷差仅为 12.6 GW，意味着三年间（因峰谷差加剧而导致的）电网净负荷最大爬升量提高了 32%。

当波动性可再生能源占比较高时，边际成本为零的可再生能源电力供应可能会超过电力需求，导致净负荷为负。由于发电量必须与需求相匹配，这种情况可能会导致电力批发价格降至零甚至负数。在电力系统不具备一定灵活性和储能能力的情况下，可再生能源发电设施可能要被迫进行不饱和发电（低于其最大装机容量），从而避免因需求侧无法消纳导致供电量过剩和弃电。这可能成为降低系统整体能效的一个重要因素，从而增加消费者用电成本。

随着可再生能源应用的进一步增加，电力系统发电的碳排放强度在一天不同时段会发生变化，因此利用高效设备进行节能的时间段也变得更加重要。举个例子，英国电力系统 2021 年 4 月发电的最低碳排放强度出现在中午，为 206 克二氧化碳 / 千瓦时 (gCO<sub>2</sub>/kWh)，而一旦到了晚上化石燃料取代太阳能进行发电时，碳排放强度就会增加到 264 gCO<sub>2</sub>/kWh。

2018及2021年4月英国发电碳排放强度的半小时变化



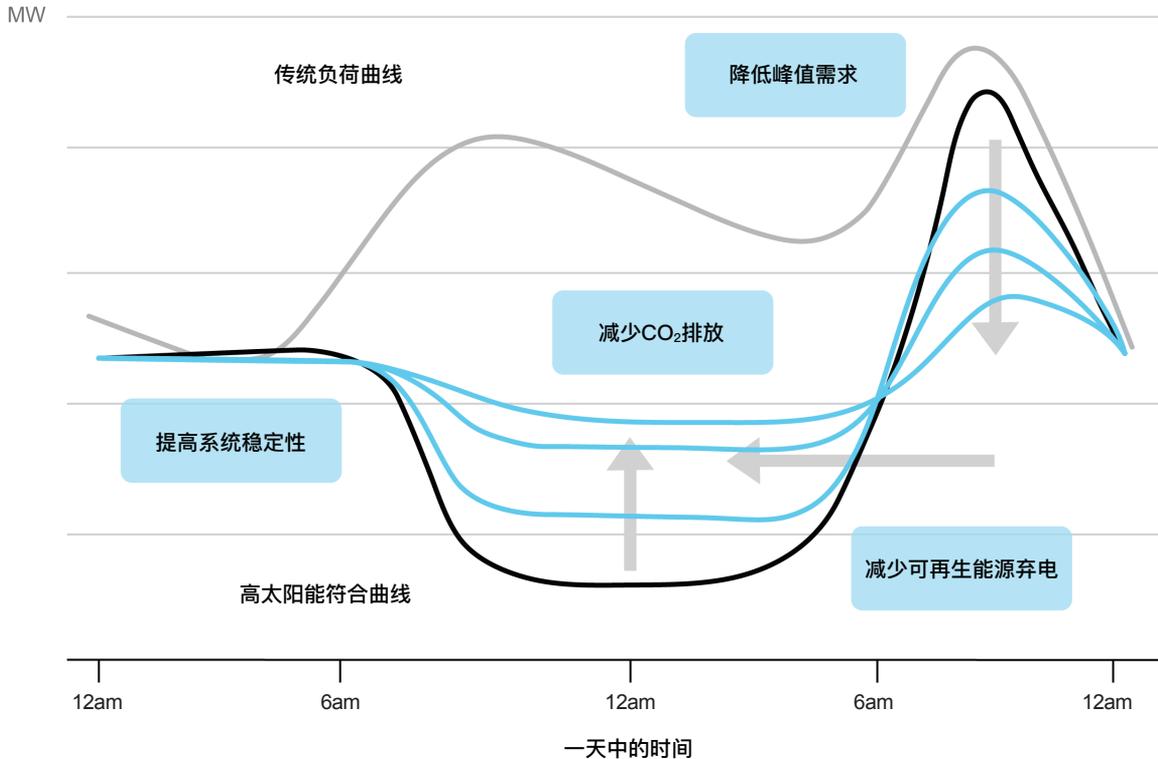
IEA. All rights reserved.

来源：National Grid ESO (2021), [Carbon Intensity API](#)。

因此，在碳排放强度高而可再生能源发电量低的时间段重点提高用电活动的能效水平，将更加有助于减少碳排放。此外，即便在不产生节能量的情况下，通过数字化灵活性手段将其他任何时段的电力需求转移到中午，都将有助于减少碳排放。在英国[最新的碳交易机制](#)下，二氧化碳价格约为 50 英镑 / 吨，而欧盟碳排放交易体系 (EU ETS) 下的碳价最近则达到 [60 欧元 / 吨](#)。因此，通过加强激励措施鼓励夜间节能，以此准确反映能效价值的时间变化，就变得越发重要。

促进电网净负荷曲线平缓化的政策可以通过最大限度地利用波动性可再生能源发电来降低能源成本和温室气体排放。这类政策还可以优化电网现有的发电和输电能力，延迟或避免昂贵的电网改造。[落基山研究所](#)对电热水器、电动车充电、室内供暖和制冷，以及智能插头的电力负荷进行分析发现，需求侧响应不仅可以消除上文提到的“鸭子曲线”，还可以将每天的负荷范围 (load range) 幅度减半。此外，需求侧响应还可以节省 1/4 的非可再生能源发电容量，使可再生能源升值 1/3，并在五个月之内收回投资成本。

## 利用基于数字技术的需求侧响应促进电网净负荷曲线平缓化所产生的效益



IEA. All rights reserved.

注：图中“高太阳能符合曲线”即代表净负荷曲线（系统电力需求与风能、太阳能发电之差）。MW 为兆瓦，即  $10^3$  千瓦。

2021年，一项针对坦桑尼亚阿鲁沙市恩戈罗恩戈罗（Ngurdoto）地区太阳能微电网需求侧管理的研究深入分析了需求灵活性为离网发电系统带来的效益。该研究将上述微电网智能电表的数据与基于分时电价的数学模型进行了耦合分析；结果表明，需求侧响应策略通过转移和降低电力负荷，使用户节省了高达15%的（能源）成本，系统峰值负荷降低了31%，整体能耗减少了5%。

纽约市最近的模拟分析显示，基于当前电力结构中的可再生能源占比，作为需求灵活性资源的智能建筑可以将电力部门的二氧化碳排放量减少3%。到2030年可再生能源电力占比预计将增加到36%，届时（能源部门）二氧化碳排放量可以减少10%。欧洲一项类似的研究表明，居住建筑用电中的2%~18%可以进行转移调整，从而减少1%~8%的二氧化碳排放量，具体要取决于各国的能源结构。

## 部分国家和地区已在调整政策，助力实现能效提升的系统效益

一些国家的政策制定者逐渐认识到基于数字技术的能效提升所能带来的广泛效益，并开始制订新的能效规定；包括一些促进系统针对不同时间用能特点规划运行、激励需求侧响应等灵活性资源开发的评估指标。

2021年，美国加州的公共事业委员会（Public Utility Commission）引入了一项名为“[系统总效益](#)”（[total system benefit](#)）的全新（能效）衡量机制，通过能源供应商能效项目（utility energy efficiency programmes），为能效提升在系统尺度的综合效益提供激励。该机制下，能效提升的效益不再以换算成度电（千瓦时；kWh）的成本有效节能量作为衡量，转而以美元为单位去计算这些节能量背后系统总效益的最高（货币）价值。这样的做法能充分反映出每 kWh 节能量在不同时间、地点，从能耗、功率和减排等角度出发的全生命周期效益，及因此给电力系统带来的不同价值。

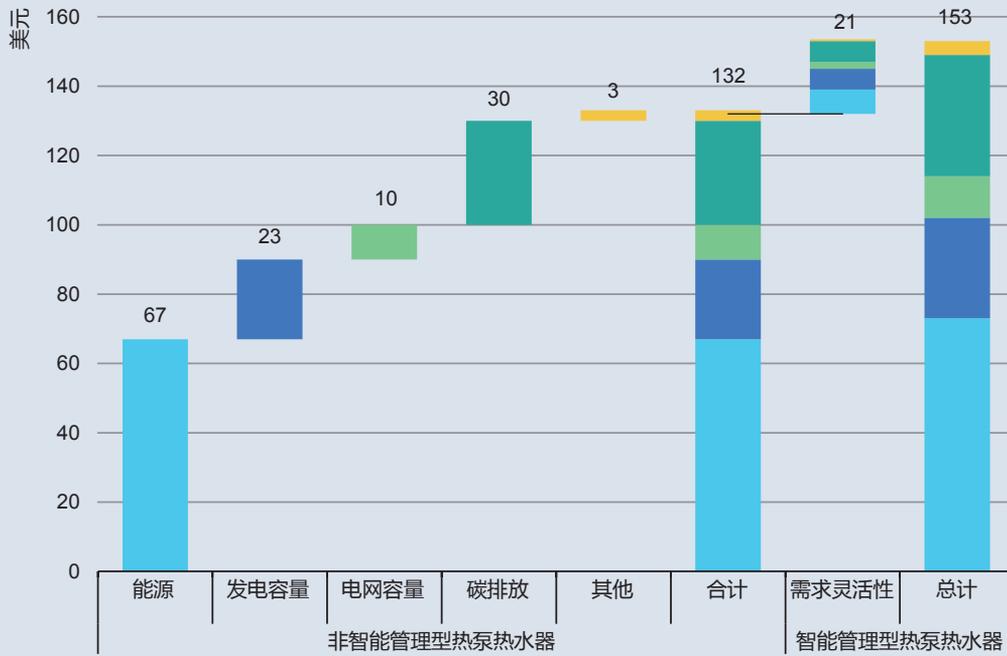
### 高效智能热泵热水器的系统总效益

热泵热水器可以（从空气热源或地热源中吸收热能）为建筑热水提供高于电网供电量的能源，且配备智能控制器后可以对自身电力需求进行管理。智能热泵热水器既高效又灵活，是“嵌入式”集成方案的一个良好例证。因此，用热泵热水器替代低效的电阻热水器，可以为电力系统带来诸多益处。

热泵热水器可以在早晚用电高峰时段节省大量用于建筑热水的电力负荷，减少消费者能源费用和电网压力。配备智能控制器后，热泵热水器可以对水进行预热，将自身用电需求从夜间调整到太阳能发电活跃的时段，从而进一步减少用电高峰期的电力负荷。

就系统总（效益）价值而言，如果在 2021 年用一台普通（非智能管理型）热泵热水器对原先的电阻式热水器进行替换，可以在其 13 年使用寿命内提供高达 132 美元 / 年的效益。这主要包括节省的 33 美元发电容量及电网容量成本、30 美元碳排放成本和 67 美元能源成本。而配备智能控制器的智能管理型热泵热水器还可以通过提供需求灵活性资源，促进电力系统更好地管理峰值负荷下的发电机、为电网服务提供支持，从而额外产生 21 美元 / 年的效益。

某热泵热水器单台产品的平准化年度系统总效益



IEA. All rights reserved.

注：图上“能源”指节省的发电能源和电网损失成本。“发电容量”指节省的发电容量成本。“电网容量”指节省的输配电容量成本。“碳排放”指节省的总量控制和排放权交易（cap and trade）、尚未货币化标价的部分温室气体排放，以及温室气体平衡的成本。“其他”指节省的辅助服务和甲烷泄漏成本。“需求灵活性”指智能管理型热泵热水器额外节省的成本。图中数据基于热泵热水器从 2021 年开始 13 年使用寿命内的系统总效益进行了年度平准化计算。节约成本的计算基于太平洋煤气电力公司（Pacific Gas and Electric Company）的输入变量，即负责为建模原型热水器所在区域供电的电力公司。图上效益的计算不包括将原有的电阻热水器更换为热泵热水器的增量成本。

来源：Calculations based on California Public Utility Commission (2021), 2021 Avoided Cost Calculator Electric Model; data from NRDC, and Ecotope (2018), Heat Pump Water Heater Electric Loading Shifting: A Modelling Study.

美国佛蒙特州能源投资公司（Vermont Energy Investment Corporation）[针对不同时间、对当地电力需求高峰期](#)实施不同的能效措施。在这些措施中，LED 照明减少了当地早晚的峰值用电需求，同时并未显著减少非峰值电力负荷，为佛蒙特州的冬季电力需求曲线提供了最符合其实际需要的“削峰”效益；即减小了电力系统的每日（峰谷负荷）爬升范围，使负荷曲线变得平缓。节能的水池水泵则在夏季起到了相似的作用。

2021 年 5 月，美国制定了[电网交互型高效建筑发展路线图](#)。在接下来的二十年，电网交互型高效建筑预计可以为美国电力系统节省 **1000 ~ 2000 亿美元**，并推动减少二氧化碳排放 **8000 万吨 / 年**。

在欧盟，《建筑能效指令》引入了一项[“智能化条件”（Smart Readiness）指标](#)，用于

评估建筑与建筑用户及电网进行数字化交互、对其需求或指令进行响应的能力。此外，欧盟还在 2020 年启动了一项定位更宏观的[能源系统集成战略](#)。

2021 年 3 月，澳大利亚的南澳大利亚州政府对电热水器、空调、水池水泵控制器和电动车充电桩提出了新的[需求侧响应能力要求](#)。该要求下，水池水泵控制器的效益成本比 (benefit-cost ratio) 为 2.7，电动车充电桩为 1.5，热水器和空调为 2.6。

据土耳其 2021 年的一项研究估计，基于数字技术的智能供暖、制冷和电动车充电可以将该国 2030 年的峰值电力负荷减少 [10 GW 之多](#)，其中仅智能供暖和电动车充电就可以提供 6 GW 的需求灵活性资源容量（基准峰值电力负荷 73 GW）。[现在起到 2030 年，这些措施可以创造 5.5 亿欧元 / 年的系统总效益](#)，包括运行成本和装机容量的节约。土耳其政府还在[《国家能效行动方案》](#)下推出了“E10 行动”，作为“一次能源消耗减少 14%”总体战略的一部分，以促进电力系统灵活性提高。

虽然中国的需求侧响应市场目前不如其他一些国家成熟，但随着全球最大规模的智能仪表项目——[5 亿台](#)第一代智能仪表在中国安装应用，需求侧响应将在中国拥有巨大的发展潜力。

## 3.3 基于数字技术的商业模式

### 提供高水平服务的新型商业模式已经兴起

随着数字技术的迅速普及，能效提升效益的规模和范围不断扩大，新的商业模式也在不断发展，寻求为消费者和能源系统运营商提供价值的新方式，从而便于企业进入更广阔的市场。作为上述趋势的一个具体反映，数字化能源初创企业的数量一直在稳步上升，[2020 年](#)在全球能源初创企业总数中占比[高达 64%](#)。

过去，能效市场的商业模式通常[以产品或（技术 / 服务）供应端为主导](#)。随着能源供应逐渐从集中式系统向电气化及连接水平更高的分布式能源转变，新的商业模式现在更专注于提供[以用户为中心](#)的能源服务。传统的能源供应商、电网运营商及第三方机构正在寻求从这种变化趋势中获益的方法。举个例子，最近的一项分析发现，截至 2030 年，与分布式能源和电动出行相关的能源商业模式在法国、德国、意大利、荷兰、西班牙和英国可以产生共计 [850 万 ~ 104 亿美元（720 万 ~ 88 亿欧元）](#) 的效益。

尽管受到新冠疫情的影响，2020 年清洁能源初创企业获得的早期[风险投资](#)却有所[增加](#)。对于采取新型或创新型商业模式的能效初创企业而言，早期风险投资自 2016 年以来一直在稳步增加：2020 年达到 9 亿美元，比 2019 年增长了 20%，达到 2016 年的近三倍；初步分

析显示，2021 年上半年的投资规模预计与 2020 年同期水平相当。

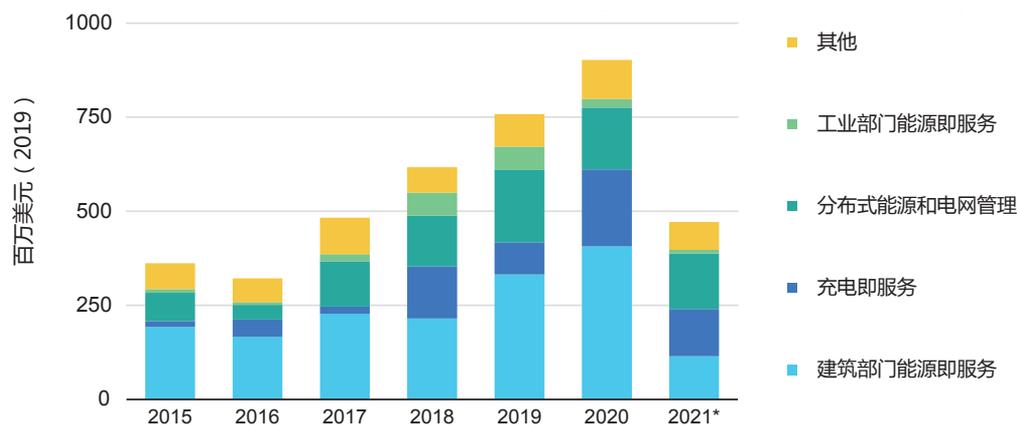
鉴于初创企业相对局促的资金状况，这些企业特别适合开发基于软件和人工智能、大数据管理等先进技术的新型数字化工具及服务。凭借来自世界各地的高端人才，这些公司可以将数字化产品迅速推向市场，并进行海外扩张。

在过去十年中，不考虑样本中交通电气化领域相关投资，超过 75% 的能效领域早期风险投资流向了一些在旗下产品或解决方案中开发了数字化工具或服务的公司。越来越多的大型数字化公司，如谷歌和腾讯等，也在投资清洁能源初创企业。

对初创企业的早期投资大部分流向了建筑部门的“能源即服务”（EaaS）模式，其中建筑节能法规更加严格的国家吸引了大多数资金。电动车的“充电即服务”模式也赢得了良好投资势头。例如，在包括施耐德电气在内十几家投资者的支持下，总部位于美国的电动车充电服务商 Volta Charging 公司迅速扩大了规模。2018–2021 年间，这家公司[通过成长期股权融资筹集到了超过 1.7 亿美元资金](#)。

自 2015 年以来，致力于开发分布式能源和电网管理解决方案的公司获得的早期风险资本投资增加了一倍以上。然而，与建筑和电动车充电相比，它们在初创企业获得投资中的占比还是比较小。一个例子是韩国的需求灵活性资源聚合商（aggregator）[Gridwiz](#) 公司，2017 年在早期融资阶段筹集了约 1500 万美元，2021 年又通过成长期股权融资筹集了 4000 万美元。

### 2015–2021年（上半年）全球能效初创企业早期风险投资，按新型商业模式



IEA. All rights reserved.

注：图上 2021\* 包括截至 2021 年 7 月中旬的初步数据。商业模式分类考虑了从事能源技术、服务和解决方案（包括硬件和软件）开发，并直接与终端用户接触的初创企业；仅从事硬件制造或分销的初创企业不包括在内。建筑部门能源即服务包括居住和商业建筑中的智能供热和制冷、能源管理系统、照明和智能化设备，以及“随用随付”（pay as you go）商业模式。分布式能源和电网管理包括虚拟电厂、包括端对端在内的能源交易机制、用于电网的能源即服务，以及离网型发电项目的接入方案。早期投资包括种子轮、A 轮和 B 轮融资。图上数据不包括单笔超过 1.5 亿美元、引起整体趋势偏离的异常大额投资。2020 年，这些大额投资总计约为 3.5 亿美元。

来源：IEA analysis based on Cleantech Group, i3 database.

数字化工具有助于聚合能效提升效益、促进电力供需整合，以及为产消者提供服务、满足“车辆到电网”（vehicle-to-grid）交互所需，从而创造价值。随着新型商业模式对客户、能源供应商和电网运营商三者角色的重塑，对相关法规做出相应调整就变得十分重要，以便为这种新的技术环境提供明确的法律支撑框架。

## 能源即服务商业模式有助于克服能效投资传统壁垒

一系列能源即服务商业模式正在向客户提供各种各样的能源“服务包”（service packages），并仿照订阅模式向客户收取定期支付。该商业模式的市場正在迅速扩大；[未来五年](#)，市场年均复合增长率（CAGR）预计将达到 21%，向 [190 亿美元](#) 的市場规模迈进。

能源服务供应商（ESCO 公司）通常利用基于绩效（节能效果）的支付合同（也称“绩效付费”）来进行风险管理，并激励运营优化。举例来说，美国的 [Redaptive Inc](#) 公司与 AT&T 公司合作，通过将能源即服务模式与绩效付费相结合，为客户提供建筑节能改造，并实施物联网解决方案，从而让客户为经（电表等）能源仪表验证的节能量付费。截至 2019 年，这两家公司已经合作改造了 650 栋商业建筑，[每年共计为其节省 2000 万美元的能源成本](#)。

一项面向 15 个欧洲国家的[调查](#)显示，受访的绩效付费经营公司中有 57% 表示在国内绩效付费市场中实现了增长，这主要得益于公司在合同中做出的节能量保证，以及来自公共机构的支持。然而，大约一半的调查对象表示，合同的复杂性以及客户对服务供应商缺乏信任，是阻碍潜在客户投资绩效付费项目的主要原因。

有利的监管环境对于促进能源即服务模式发展而言至关重要。例如，根据[欧盟 2019 年的电力市场指令](#)，能源用户可以雇佣第三方机构对其能源系统进行管理，“为其能源系统提供活动所需的各种服务，包括安装、运行、数据处理和维护等”。

能源即服务模式也引起了热力供应商的兴趣。[最近的一项研究](#)表明，尽管新的“供热即服务”模式能够提高供热系统的能效水平，但是用户可能仍对项目效果缺乏信任，因此需要政策支持和补贴政策的配合实施。在加拿大安大略省，[Cascara](#) 公司通过将“供热即服务”概念与电力服务相结合，进一步提升了供热即服务模式的内涵，并计划将客户群体的总体能效提高 80%。

“随用随付”（pay as you go）是一种定期向客户收取少量费用，并在一段时间后将太阳能、全套高效电器以及清洁烹饪解决方案的所有权转让给用户的商业模式。这种模式特别适用于能源接入有限、财政资源不足的农村社区，并且有助于提高当地人民的生活水平、促进经济增长。近年来，随用随付模式也对推动离网型太阳能发电的发展起到了[重要作用](#)。例如，在撒哈拉以南的非洲地区，2020 年下半年[超过 53%](#) 的太阳能照明产品都是

以这种模式销售的；一家名为 [Fenix Intl](#) 的公司为超过 60 万户家庭提供了清洁能源，帮助当地创造了 3300 个就业机会，促进人们用更安全、更高效的 LED 灯取代了煤油灯。

## 虚拟电厂为电力系统提供新的灵活性资源

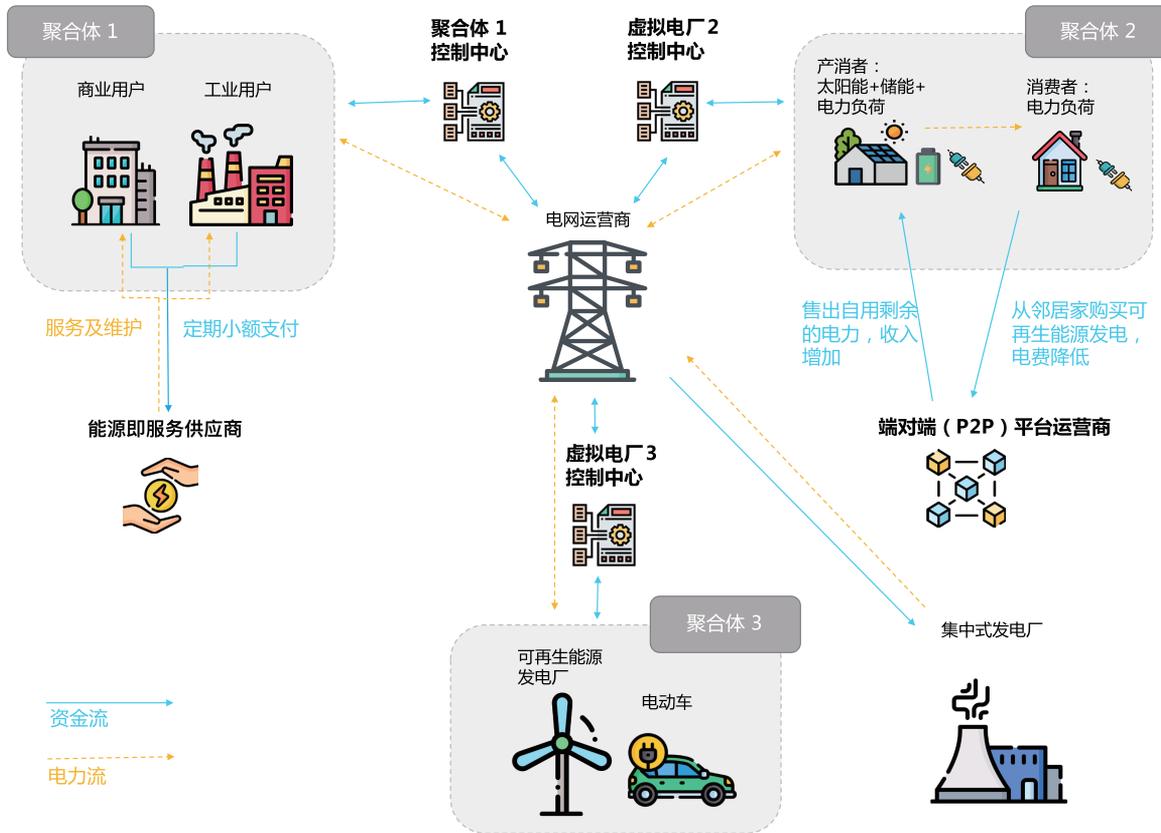
虚拟电厂是一种基于数字技术构建的能源网络和聚合模式，它能够连接、聚合并集中控制诸如储能电池、屋顶光伏板等形式的分布式能源，以及需求侧灵活性资源和电力企业的大型发电厂。上述能源设施作为一个聚合体，通过为电网提供灵活性资源和辅助服务，以及在电力批发或零售市场进行交易，为虚拟电厂的运营商和聚合体中各个单独能源设施的所有者创造收益。2020 年分布式能源占全球虚拟电厂容量的 [51%](#)，到 2029 年预计将达到 [83%](#)。

[最近的一项研究](#)表明，全球虚拟电厂聚合体的增长要快于传统的需求侧响应，后者通常由电力公司联系大型电力用户，要求其降低电力需求来实现。全球需求侧响应项目的总容量预计到 2029 年将翻一番，但与此同时虚拟电厂的总容量预计将从 2020 年的 4.5 GW 增加到 2029 年的 43.7 GW。预计虚拟电厂业务营收增长也会快于需求侧响应，并在 2027 年实现反超。

能源监管是推动该领域投资的关键因素。举例来说，2020 年 9 月，[美国联邦能源管理委员会 \(FERC\) 实施了一项法令](#)，允许分布式能源聚合体参与电力批发市场交易。在接下来的几周内，投资者承诺要为虚拟电厂建设提供超过 [12 亿美元](#) 的资金。另一项 [2020 年 7 月经美国华盛顿哥伦比亚特区上诉法院 \(Court of Appeal\) 判决得以实施的法令](#) 则开启了储能设施的聚合。在欧盟，根据 2019 年的 [电力市场指令](#)，用户有权加入聚合并参与（欧盟内的）跨国市场交易。

在澳大利亚的南澳大利亚州，特斯拉 (Tesla) 正在开发一个大型虚拟电厂，聚合了 [3000 户家庭](#) 的家用储能电池和屋顶光伏设施。该虚拟电厂将具备 20 兆瓦 ( $10^3$  千瓦；MW) 的发电容量和 54 兆瓦时 ( $10^3$  千瓦时；MWh) 的储能能力。特斯拉还计划将其规模扩展至 [5 万组能源设施](#)，相当于 350 MW 的发电容量。该虚拟电厂建成后，可以通过向电网售电，以及在需要时作为电网的候补运营商两种方式来营利。澳大利亚能源市场运营商 (AEMO) 公司指出，到 2040 年澳大利亚全国预计需要 [6 ~ 19 GW](#) 的可调度电力资源来为波动性可再生能源发电提供支持。

## 分布式能源系统中基于数字技术的创新型商业模式



IEA. All rights reserved.

在中国，[上海市电力需求响应中心开发了一个虚拟电厂项目](#)，集成了1万多个电力用户，包括工业厂房、建筑供暖和制冷系统，以及电动车充电站。该虚拟电厂的分布式能源储备最多可提高到1 GW 容量，以满足峰值电力需求。

虚拟电厂还可以通过智能充电装置与全体在用电动车建立连接，对其进行聚合，从而实现电力在电动车和电网之间的双向流动。这些“从车辆到电网”的连接建立后，可以在系统电力负荷低时为电动车充电，负荷高时调动电动车向电网反送电力——[丹麦的 Nuve 公司](#)就是一个例子，成功实施“从车辆到电网”聚合已经连续五年。该公司最近宣布与[比亚迪](#)合作，在美国[联合推广](#)基于“从车辆到电网”技术的电动车发展。到2027年，该技术在全球的市场规模将达到 [8.6 亿美元](#)，增长集中在欧洲、亚太地区和北美。

## 3.4 数字化战略下的能效提升

### 市场创新需要政策创新的支持

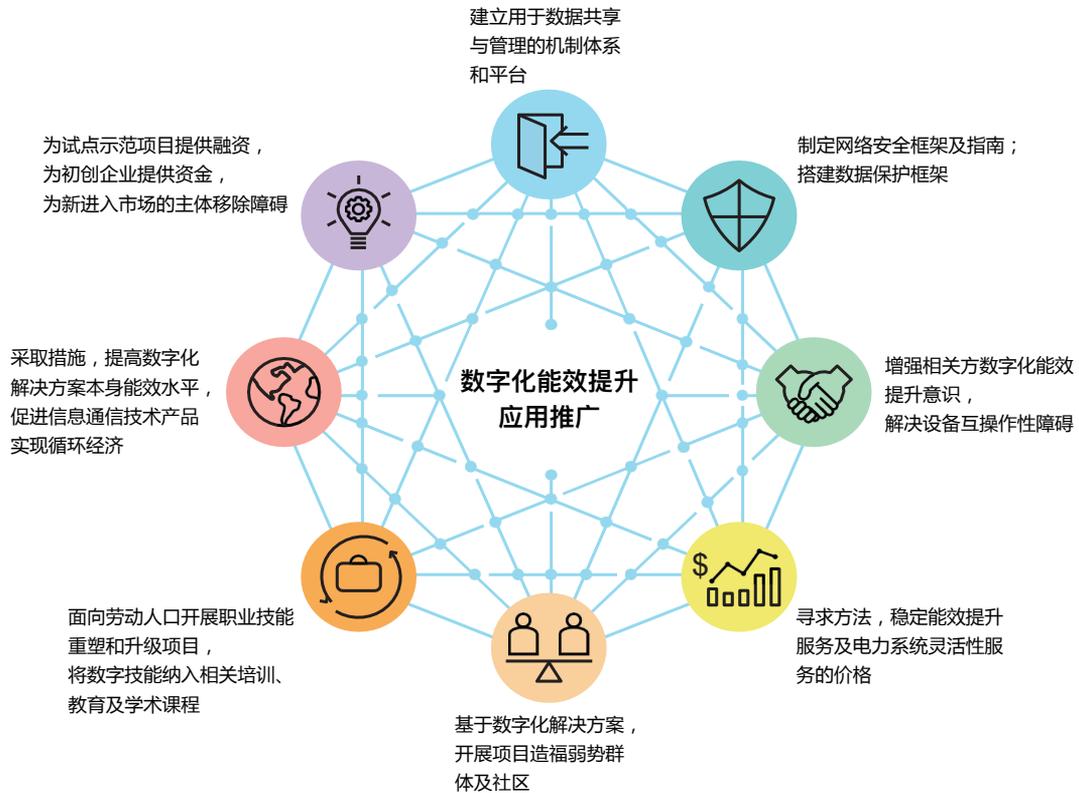
能效市场的数字化发展带来了机遇和风险，需要政策制定者去驾驭。为了适应新的技术格局，许多地区正在改善监管方法，以覆盖对需求灵活性和智能化能效提升等新型能源范式的管理。一些全球共性的挑战包括技术研发、基础设施建设、互操作性标准、网络安全和隐私保护，以及提高人们的“数字素养”（digital literacy）等。

例如，一些国家的政府正在与当地制造商及其他市场主体合作推动标准化、开放性通信协议的使用。这对于促进“智能节能型数字设备”（energy-smart digital devices）的生产必不可少；这类设备可以实现需求灵活性、智慧化能效提升、能耗及故障情况状态报告等功能。其他可以促进数字化能效提升的监管要求还包括：数字设备要易于安装、配置和操作，并赋予消费者针对设备所有自主功能的最高权限。

为了实现持续性的影响，相关政策法规必须在促进数字技术应用推广的同时，确保有条件驾驭好数字化趋势，使其按照人们预想的方向发挥最理想的作用，从而形成一套完善的数字化战略。为支持这一进程，IEA 在 2019 年推出了“数字化能效提升政策准备框架”（Digital Energy Efficiency Policy Readiness Framework），并在近期针对备受关注的数字化能效提升应用推广进行了更新。

相关政策法规还需要将数字化的社会经济影响以及人们的担忧纳入综合考虑，以确保数字技术能够惠及所有人。需要考虑的问题具体包括劳动力职业技能重塑、社会影响、数据保密和网络安全，以及数字化解决方案本身的能效水平等。

## 数字化能效提升应用推广战略



IEA. All rights reserved.

## 政策重点之一是解决广泛存在的社会问题

尽管数字化趋势正在帮助企业深挖能效提升的潜在效益，但成熟的政策支持体系还应该确保这些效益助力于重要社会目标的实现，比如解决能源贫困问题。

例如，在美国加州，能效市场的发展得到了**纳税人约 10 亿美元**的项目支持。（这类公共项目）一个重要的特点是，将谋求社会公平和基于具体技术进行市场转型的项目，从其他追求能效提升规模和经济价值最大化的项目中区分开来，予以分别对待。这样做有助于确保能效项目惠及那些原本难以开展项目或服务水平不高的社区；相反，如果能效项目单纯专注于实现能效作为一种资源的价值最大化，这些社区往往就无法享受到能效项目带来的各种效益。这种细化区分还可以更好地支持**具体（技术）的市场转型目标**，例如在市场本身不够成熟、不利于热泵技术自然推广的情况下，（利用公共项目）推动热泵安装应用。

数字技术还可以成为促进能源接入的关键因素。例如，“点亮非洲”（Lighting Africa）项目为一些偏远社区提供了能源接入，包括利用迷你电网（mini-grids）提供太阳能电力。

还有一些措施可以提高弱势群体的能源支付能力，包括提供补贴、降低融资难度、采用预付费能源仪表和随用随付的商业模式等。在肯尼亚，数字化服务供应商 [M-Pesa](#) 公司就通过为极端贫困家庭提供金融服务的方式来对其进行帮助。

在澳大利亚的南澳大利亚州，当地虚拟电厂项目也为低收入消费者提供了支持。该项目中，一家名为“清洁能源金融”（Clean Energy Finance Corporation）的公司、南澳大利亚州政府，以及特斯拉公司共同出资 [6100 万澳元](#)，用于解决参与项目的 3000 户社会保障性住房家庭的先期成本问题。

2020 年，意大利技术创新和数字化转型部（Italian Ministry for Technological Innovation and Digitalisation）成立了[全国数字技能和就业联盟（National Coalition for Digital Skills and Jobs）](#)。联盟基于“[数字共和国（Repubblica Digitale）](#)”项目而建立；该项目旨在促进经济和社会各个层面的数字技能提升。该联盟发起了 100 多项行动，其中大部分旨在提高人们的数字技术相关技能，并致力于消除因数字化进程所引起的经济社会不平等加剧现象，即“数字鸿沟”（digital divide）。此外，意大利《国家复苏计划》（National Recovery and Resilience Plan）将总资金的 27% 规划用于数字化转型措施。另外，[《2026 数字化意大利》（Italia Digitale 2026）](#) 战略也在致力于提高人们的数字化相关技能，并促进人们更好地获取一些数字化的解决方案。

南非在 2020 年的[《数字及未来技能国家战略》（National Digital and Future Skills Strategy）](#) 中提出了一系列举措，旨在帮助人们应对数字技术应用推广所带来的挑战。该战略重点针对缩小现有的技能差距，培养工人的职业相关数字技能，包括增材制造、应用程序开发和数据分析等。该战略还特别关注因数字技术发展而面临相关失业风险的人群。

## 促进人们公平获取数字化资源及解决方案

数字技术在惠及世界各地的同时，也存在加剧[数字鸿沟](#)的风险，使部分（本就弱势）人群的发展因无法获取互联网资源及相关数字化服务而受到进一步阻碍。

这类“无法连接”（unconnected）的人群或居住在没有移动互联网覆盖的地区，或是即便有网络覆盖也（出于种种原因）无法使用网络服务。例如，在撒哈拉以南的非洲地区，移动互联网的[地理覆盖率为 75%](#)，但当地[只有 26% 的人口](#)使用相关服务，致使“缺乏（与外界连通性）”（lack of connectivity）这一问题对不同人群产生不均衡的影响，对老年人的影响尤为严重。即使消费者可以上网，也可能因缺乏数字技能而无法很好地使用数字化服务。在全球范围内，仍有 [51% 的人口](#)未使用移动互联网。

如果人们无法接入互联网，就无法享受基本的数字化能源服务及其带来的便利，比如在

线账单支付、预付费充值及能耗状况监控等。缺乏连通性还可能导致整个系统效率低下，进而加剧低收入社区在能源接入和支付能力上与其他人群的差距，[致使能效措施无法实现理想效果](#)。

加大对数字技术应用不足的低收入社群（如老年人等）的投入力度，将有助于扩大数字化能效提升项目的辐射范围。但这不仅仅是为他们提供代表当前最先进工艺水平的技术。美国的一项[研究](#)表明，尽管安装智能温控设备可以普遍实现节能，但在住户无法上网、每天大部分时间待在家中，或者对设备工作原理不够了解的情况下，这些设备往往无法实现最理想的节能效果。因此对一些住户年长或贫困的家庭来说，这些设备或许并没有起到很好的作用；这一现象也凸显了按实际家庭需求定制数字化能效提升项目的必要性。

## 管理数据及网络安全相关风险

数字技术不仅从数据量和速度两个维度显著提升了能源数据的共享，也同时增加了人们关于隐私泄露的担忧。对于推动智能仪表和连接设备等数字技术的进一步广泛应用而言，应对和解决这些担忧至关重要。

印度解决这一顾虑的方法是将收集到的、除保密级别外的数据默认为开放状态，并以匿名形式公开共享，将这一措施作为其[《数据智能城市战略》（DataSmart Cities Strategy）](#)的一部分。该战略通过“隐私第一”的政策原则来解决数据安全和隐私问题，使市政当局能够通过清晰、明确的方式对数据的所有权、收集、共享和使用等进行监管。

随着越来越多电力资产接入网络、实现数字化管理，电力系统的脆弱性也在增加，尤其是对配电环节和处于电网边缘的设施而言。虽然无法实现对网络攻击的彻底预防，但电力系统仍然可以在保持关键基础设施持续运行的同时，尽力提高对突发事件、网络攻击及其影响的抵御、适应和迅速修复能力。

政策制定者、监管者、电力公司和设备供应商在强化整个电力价值链的网络韧性（cyber resilience）方面都将发挥关键作用。相关政策措施可以是一般性的总体框架，也可以具体到更细致的规范条例，还可以通过国际标准和认证项目将供应链安全一并纳入综合考虑。IEA [《加强电力系统网络韧性》](#) 报告为此提供了一些指导性的建议。

## 能效提升能否控制住数字技术自身能耗？

过去十年，能效提升和运营改进一直在推动[数据使用和网络流量与相关用电量实现脱钩](#)。这一时期，许多连接设备的总体能耗略有下降，包括个人电脑、笔记本电脑、平板电脑、智能手机和物联网设备等，但电视机和其他消费性电子产品（consumer electronics）除外。究其原因，一是这些电子设备及其屏幕的能效水平越来越高，二是设备不断向小体积和高能效转型（例如从台式电脑到笔记本电脑、平板电脑和智能手机）。

然而，连接设备和数据流量的快速增长需要越来越多数字基础设施的支持，包括能耗巨大的新建数据中心和网络。因此，为了避免数字化带来的效益因其自身能耗增长而被削弱甚至抵消，提高这些数字基础设施的能效显得至关重要。随着[连接设备数量不断增加](#)，采取政策措施和技术解决方案降低网络待机能耗，进而帮助减少连接设备总体能耗，也变得越发重要。

2010–2018 年期间，尽管数据中心的的活动水平大幅增加，但根据估算，其能耗[只发生了小幅度上涨](#)，目前约占[全球终端电力需求的 1%](#)；该统计不包括数字货币挖矿。预计未来十年全球对数据中心服务的需求将有强劲增长，一方面源于云服务和人工智能、虚拟现实（VR）、区块链等新兴技术的推动，另一方面来自 5G 技术激发的数据量（data consumption）增长。

数据中心能效水平在过去一段时间内与其活动水平的同步提升，并不一定意味着这种趋势在未来依然得以持续。为了确保能效提升进程跟得上不断增长的数据需求，针对高效技术进行研发示范显得相当重要。

全球范围内，关于数据中心及网络设施能源使用的数据普遍质量不好。因此，想要更好地了解数字基础设施的能效水平，加强能效测量和数据报告方面的管理是当前的政策重点。数据中心的传统能效评价体系通常基于[电源使用效率（PUE）](#)设计，对数据中心包含制冷和内部供电在内的总能耗（电耗）与其信息通信（IT）设备能耗（电耗）之间的比率进行衡量<sup>14</sup>。采用这一指标的数据中心能效评价体系包括[澳大利亚国家建筑环境评估体系](#)和目前正在更新中的[美国数据中心“能源之星”项目](#)等。

新一代的评价体系目前正在开发中，除了 PUE 以外，这些体系还会将 IT 基础设施的利用水平、数据中心的能源回收利用能力，以及碳排放等指标纳入评估范围。新一代评价体系的实施推广将有助于提高数据中心的能效水平。瑞士在 2020 年启动的[“数据中心排放标识”（Datacentres Emission Label）](#)项目就是一个先驱范例。

<sup>14</sup> 译者注：可以简化理解为：PUE = 进入数据中心的总电量（包含数据中心制冷和内部供电）/IT 设备的用电量。据 IEA 在 2017 年 11 月发布的报告 [《Digitalization and Energy》](#) 中的说法，当时全球能效最高的数据中心 PUE 为 1.1，这代表该数据中心电表中的每 1.1 kWh 电能，有 1 kWh 用于 IT 设备，另外 0.1 kWh 用于数据中心制冷和内部供电。PUE 越接近 1，代表数据中心的能效水平越高。

政策制定者还可以鼓励数据中心采取其他有利于可持续发展的做法,包括延长设备寿命、重复或回收利用设备组件和关键原材料、优化冷却用水,以及回收余热用于区域供暖等。

例如,欧盟在 2018 年启动了一项[针对数据中心行业的循环经济项目](#)。2020 年,爱尔兰[南都柏林郡议会](#)成立了一家区域供暖公司,对数据中心进行余热回收。2021 年,[挪威](#)宣布将会要求数据中心针对自身余热利用的可行性展开调查评估。

数据传输网络是数字行业另一个大用能端,占 2019 年[全球用电量的 1% 以上](#)。尽管 2020 年全球数据流量增加了 40% ~ 50%,但包括 [Telefónica](#) 公司和 [Cogent](#) 公司在内的一些网络运营商表示,[其能耗基本\(与上年\)持平或有所下降](#)。移动网络在网络总能耗中的占比正变得越来越大,同时正在向 5G 转型;但 5G 技术的[整体能源影响](#)目前尚不明确。对 T-Mobile USA 公司始建于 2019 年的大型 5G 网络而言,虽然能耗总量有所上升,但该网络中[单位数据传输量的能源强度](#)却是下降的。

2021 年 2 月,法国发布[《数字与环境路线图》](#),列出了 15 项措施,旨在推动数字化进程和生态转型目标的协同发展。该路线图还就减少数字化进程的环境影响、利用数字化工具和先进分析方法加速生态转型等问题提出了相关措施。

除了国家层面的行动,许多国际机构和项目也在致力于将数字化进程对环境的负面影响降至最低。例如,[国际电信联盟](#)鼓励 IT 行业在 2020–2030 年之间将碳排放量减少 [45%](#)。

# 附录

## 缩略语列表

APS	“承诺目标” 情景
EaaS	“能源即服务” 商业模式
EDNA	国际能源署 “电子设备和网络设备” 附属协议
ESCO	节能服务公司
ESI	节能保险
GDP	国内生产总值
HFC	氢氟碳化物
IEA	国际能源署
IMF	国际货币基金组织
IPCC	政府间气候变化专门委员会
IT	信息技术
MEPS	最低能效标准
NDC	国家自主贡献
PAT	印度 “履行、实现和交易” 机制
RD&D	研发示范
SEAD	超高效设备和家电推广计划
STEPS	“既定政策” 情景
TCP	技术合作项目
VRE	波动性可再生能源

## 单位

EJ	艾焦，即 $10^{18}$ 焦耳
GJ	吉焦，即 $10^9$ 焦耳
GW	吉瓦，即 $10^9$ 瓦特
GWh	吉瓦时，即 $10^6$ 千瓦时
KWh	千瓦时
TWh	太瓦时，即 $10^9$ 千瓦时

Chinese translation and adaptaton of the Energy Efficiency Market Report 2021 © OECD/IEA, 2022

未经允许，不得对本报告的整体或部分进行复制、翻译或将其用作其他用途。申请授权请发邮件至：[rights@iea.org](mailto:rights@iea.org)。

《能效 2021》市场报告的中文版是从该报告的英文版 -- International Energy Agency (IEA) Energy Efficiency 2021 编译而成。英文版是国际能源署 (IEA) 发布的官方版本。国际能源署是英文官方原版的原著机构，并不对本次中文编译的准确性和完整性承担任何责任。本次《能效 2021》市场报告中文版的中文编译责任由能效经济委员会 • 中国 (CCEEE) 全部承担。

This publication reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of individual IEA member countries. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the publication's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the publication. Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA. All rights reserved.

IEA Publications

International Energy Agency

Website: [www.iea.org](http://www.iea.org)

Contact information: [www.iea.org/about/contact](http://www.iea.org/about/contact)

Typeset and printed in China by CCEEE - January 2022

Cover design: IEA

Photo credits: © Shutterstock

