



iea

International
Energy Agency

能效2019

Energy Efficiency 2019

中文精华版 Abridged Chinese Version
CCEEE编译



International
Energy Agency

能效2019

Energy Efficiency 2019

中文精华版 Abridged Chinese Version

CCEEE编译

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 30 member countries, 8 association countries and beyond.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
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:

Brazil
China
India
Indonesia
Morocco
Singapore
South Africa
Thailand

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/

Source: IEA. All rights reserved.
International Energy Agency
Website: www.iea.org



目录

I. 能源需求和强度	01
一次能源需求	01
一次能源强度	02
终端能耗	04
终端能源强度	09
参考文献	09
II. 能源强度下降减缓的原因	11
简介	11
近期工业部门变化和异常天气共同作用于长期趋势	13
技术层面能效提升的积极影响被其他因素削弱	14
“数字生活”是否是更加能源密集的生活方式？	25
参考文献	28
III. 2018 年技术能效进展	32
简介	32
能效的政策驱动	36
投融资	44
高效技术	52
参考文献	59
IV. 正在兴起的趋势：数字化	63
简介	63
怎样结合数字技术提升能效？	63
数字化的影响	74
数字化如何改变能效	77
政策如何利用数字技术进行能效提升	79
参考文献	87
附录	90
附录 A：分解分析中所涉及因素的定义	90
附录 B：IEA 跟踪分析的能效政策类型	92

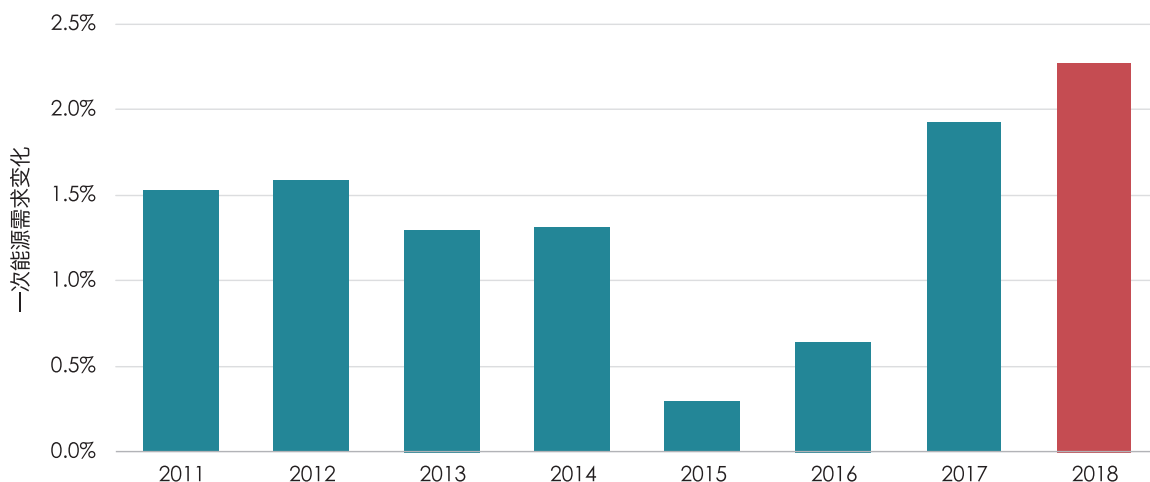
I. 能源需求和强度

一次能源需求

全球一次能源需求总量在 2018 年增加了 2.3%（图 1.1），是 2010 年以来增长最快的一年。其中中国、美国和印度共占 70%，而 2017 年这三国仅占全球一次能源需求增长的 43%。尤其是，美国占比高达 25%，这与美国近年来（占比下降）的趋势显著相悖。在连续三年的下降后，2018 年美国一次能源需求首次增长逾 3.5%；同时，中国和印度 2018 年增长也显著高于 2017 年水平，分别为 3.5% 和 4%。

2018 年一次能源需求增长总量中，70% 来自化石燃料，具体为天然气 46%、石油 15% 以及煤炭 9%，远超可再生能源 24% 的占比；约 7% 的增长量来自核能（IEA, 2019b）。

图 1.1 2011–2018 年全球一次能源需求变化

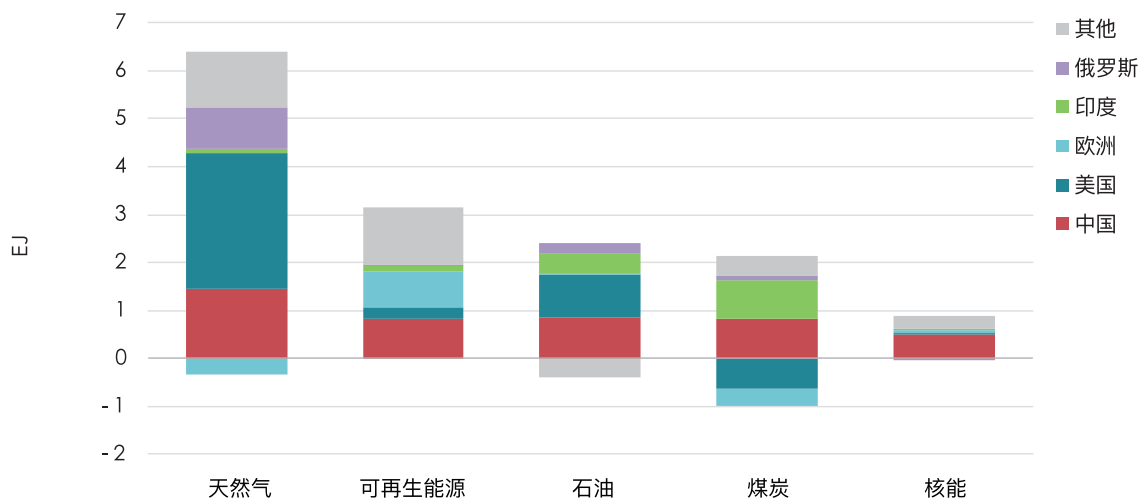


IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database).

2018 年全球天然气需求达到了 2010 年以来的最高增速，比上年增长 6 艾焦（ 10^{18} 焦耳，下文简称 EJ），比 2017 年增量高出 4.6%（图 1.2）。全球增长总量中，近一半（2.8 EJ）来自美国（比美国 2017 年增量高出 10.5%），尤其是发电：天然气在美国发电能源中的占比从 31% 上升至 35%。类似的情况也发生在石油需求中：2018 年全球石油需求增长主要来自美国和中国，两国增量之和约占全球增长总量的 80%。

图 1.2 2017–2018 年全球按能源种类和主要地区的一次能源需求增长



IEA (2019). All rights reserved.

注：“俄罗斯”代表俄罗斯联邦。

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*.

2018 年全球煤炭需求增加了 1.1 EJ，增长率为 0.7%。虽然增长率低，2018 年却是全球煤炭需求在 2015 年和 2016 年接连下降后，连续回升的第二年。增长很大程度上发生在新兴经济体中，尤其是亚洲的新兴经济体。在其他一些主要国家，煤炭消耗量呈持续下降趋势。

约四分之一的全球一次能源需求增长来自可再生能源，其中中国和欧洲共占一半左右。

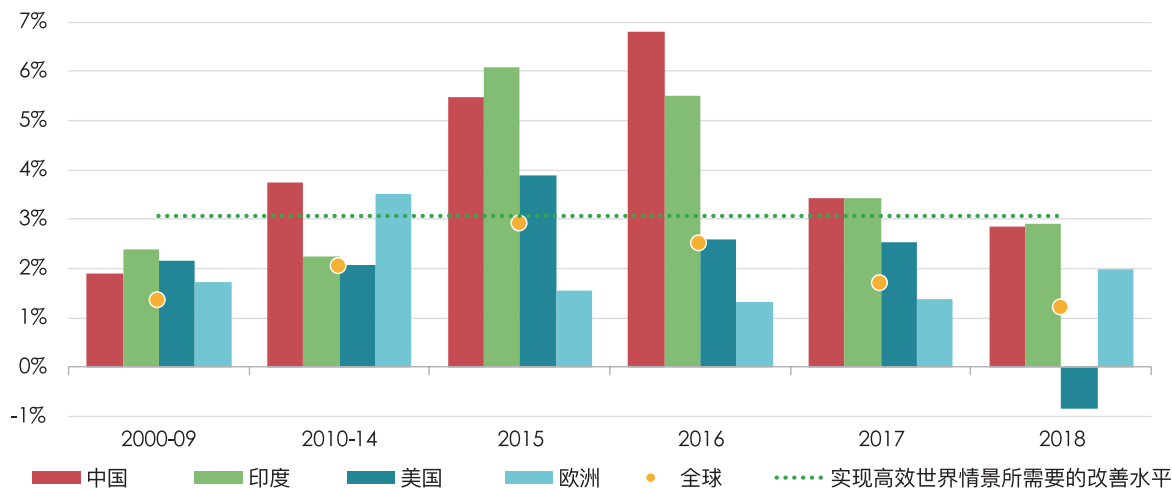
2018 年全球一次能源需求的增长，加上增量中化石燃料的高占比，共同造成了能源部门温室气体的排放增加，以超过 330 亿吨二氧化碳（下文简称 CO₂）当量的排放量创造了历史记录（IEA，2019b）。

一次能源强度

尽管 2018 年全球一次能源需求上升较多，一次能源强度¹却在持续降低，全球经济制造每单位 GDP 所需的能源比 2017 年水平平均降低 1.2%。然而 1.2% 的能源强度下降率延续了最近几年能源强度下降减缓的趋势（图 1.3）。这一能源强度下降水平仅略高于国际能源署（IEA）提出的“高效世界情景”（EWS）下各种能效举措所能实现水平的 1/3；关于高效世界情景，IEA 曾在其《能效 2018》（*Energy Efficiency 2018*）报告中进行详细描述。

¹ 一次能源强度指制造每十亿美元 GDP（2018 年购买力平价）的一次能源需求。本报告将能源强度的下降，即达成确定（经济）活动水平所需的能源减少，判定为能源强度的“改善”。能源强度的“改善”（即下降）用正数表示，“恶化”（即上升）用负数表示。

图 1.3 一次能源强度改善（下降）



IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database).

2018 年一次能源强度的下降率在不同地区间存在差异。印度和中国一次能源强度均下降了近 3%，略低于各自在 2017 年的能源强度下降水平（图 1.3）。欧洲一次能源强度下降 2%，较之 2017 年 1.4% 的下降率有所提高。一个值得注意的例外情况是：美国 2018 年一次能源强度上升 0.8%，主要是由于异常天气和能源密集型行业的扩张，尤其是像石化行业这样利用天然气产热的行业。这是美国一次能源强度在本世纪内的首次上升。

一次能源强度的下降率同时受到能源需求和能源供应的影响。举例来说，一次能源供应中非燃料的可再生能源占比增加会带来一次能源强度的下降，因为从纯数据角度来看，将太阳能和风能转化为电能的效率是 100%。² 与之相对，煤炭、天然气和核能这样的燃料能源用于发电时会产生能量转化损失，因此如果在发电中使用较多的这一类燃料能源，一次能源强度下降的速度会减慢。

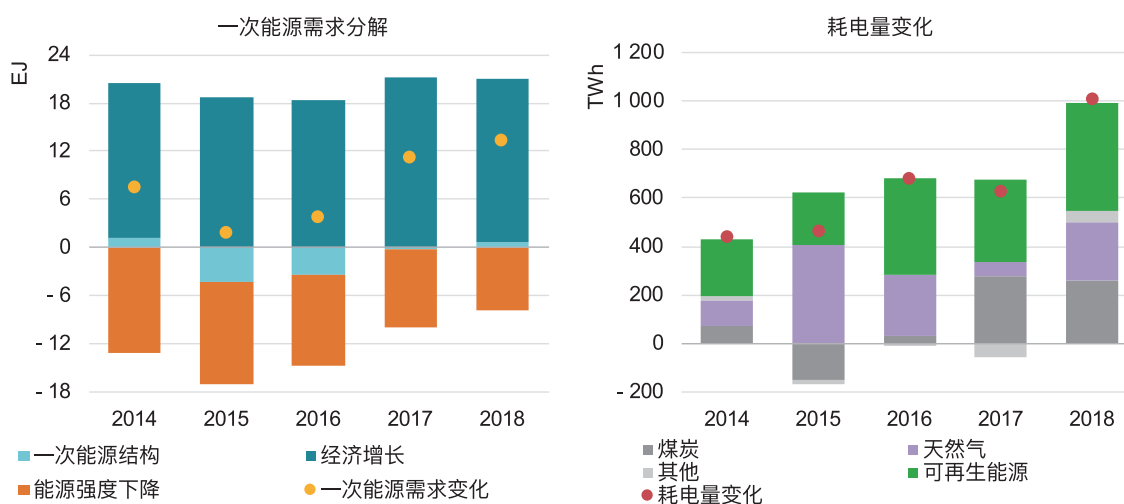
2015 年和 2016 年期间，全球能源结构中的可再生能源占比增加，加上有效控煤，一次能源结构的能源密集程度有所改善带来了一次能源需求总量的降低。然而 2017 年和 2018 年并没有延续这一趋势，而是将一次能源需求总量降低的责任全部压在末端，降低制造每单位 GDP 所需的终端能耗（终端能源强度）成为唯一的有利因素（图 1.4，左）。

造成这一趋势的一项重要原因是全球电力需求的增加：2018 年全球电力需求增长了 4% 左右，是 2010 年以来增长最快的一年。过去一段时间，电力需求总量增量持续高于

² 虽然转化过程中的能量损失导致它们的实际转化效率并不是 100%，但这些（非燃料）可再生能源是免费且无限的，因此 IEA 能源平衡表忽略了这部分损失。

可再生能源发电增量（图 1.4，右）。据估计，2018 年可再生能源发电增量比电力需求总量增量的一半还要略低。虽然这一比重已经高于可再生能源在全球电力结构中的比重，但它仍然意味着我们需要以热耗更高的化石燃料发电，才能满足大部分的电力需求总量增长。这不利于改变现有的（化石燃料为主的）一次能源结构。以煤电为例，在经历了连续三年的缓慢增长甚至减少之后，煤电在 2017 年和 2018 年各增加了 2500 亿度电（kWh）以上（图 1.4，右）。

图 1.4 全球一次能源需求变化分解（左）和全球按发电来源的耗电量变化（右）



IEA (2019). All rights reserved.

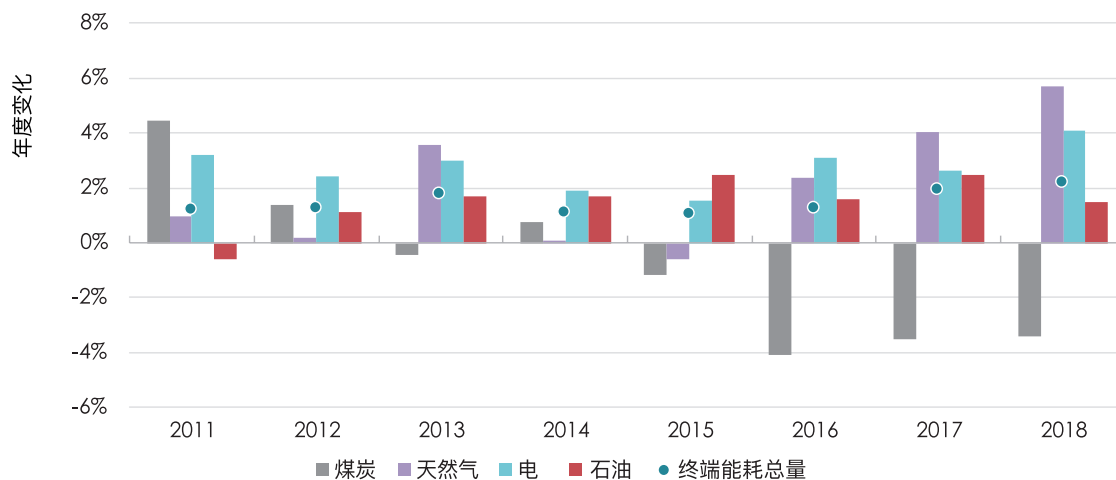
来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database).

终端能耗

为了将建筑、交通和工业部门中能效提升产生的影响从能源供应变化产生的影响中分离出来，有必要对终端能耗³和终端能源强度进行分析。和一次能源需求一样，全球终端能耗在 2018 年也有上涨，增长率为 2.2%（图 1.5）。

³ 终端能耗指终端能源消费总量（TFC）。终端能源消费总量是不同终端部门能源消费之和，其中也包括了用作非能源用途的消耗量。由于一次能源在向终端能源转化的过程中存在损失，终端能耗在数值上低于一次能源需求。

图 1.5 2011–2018年按能源种类的全球终端能耗变化



IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database).

2018年全球终端能耗的增长中，天然气和电力（较上年）增加最快，增长率分别为5.7%和4.1%。用气量增加主要来自工业和建筑供暖。为了改善空气质量，中国在这一年继续实施居住和商业领域“煤改气”政策（材料 3.5）。用电量增长则大多来自建筑部门：一方面是对现代能源服务需求的增加，另一方面异常天气使供暖和制冷需求增加。

石油在2018年全球终端能耗中占比最高，约为41%，但增速在这一年有所减缓，降为1.5%，延续了2015年（增速2.5%）以来增速下降的趋势。2018年上涨的石油价格也帮助抑制了道路交通油耗的增加。

全球煤耗在2018年继续下降（比上年下降3.5%），部分是因为上文提到的煤改气。然而2016年以来，每年的下降率也在变缓。

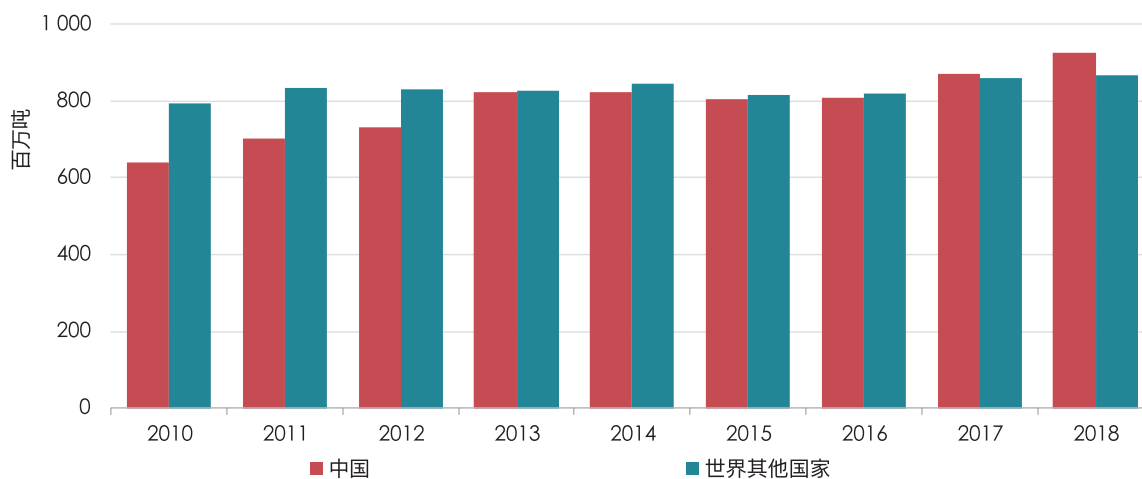
造成全球终端能耗增长的一个关键因素是能源密集型行业的增长，包括中国钢铁行业和美国石化行业的增长。

中国钢铁产量在2018年继续反弹，推动全球产量增加了3%以上（图 1.6）。中国粗钢产量在2017年和2018年分别增长了8%和6%，作为对比，2015年和2016年的增长率分别为-2%和0.5% (World Steel, 2019)。

尽管从技术上来说，中国炼钢行业的能效有所提升，这仍然是一个能源密集型行业，占据全球终端能耗的4%。中国远超80%的粗钢产量来自能源密集型的初级生产模式，特

别是以煤炭为燃料的氧气顶吹转炉的使用。以废金属为原料、能效更高的电弧炉在中国的应用正在上升。然而中国对钢材的需求远高于可利用的废金属原料量，因此钢材需求量的增长带来了高炉使用及相应煤耗的增加。

图 1.6 2010–2018年全球粗钢产量



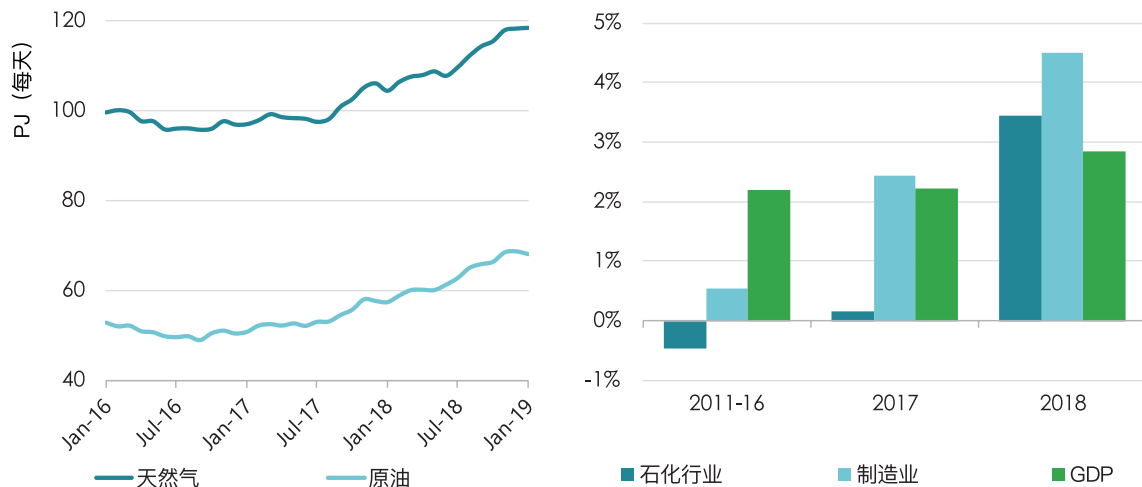
注：钢铁包括了高炉和焦化炉能耗。

来源：Adapted from World Steel (2019), *Total Production of Crude Steel*

天然气消耗的上升支撑了美国石化行业增长

2018年美国终端能耗增加的部分原因来自石化行业经济活动水平的增加。从2017年7月到2018年12月，美国天然气和原油日均开采量分别增加了21%和30%。这些新增的开采量经历炼油和天然气处理过程，加之石油价格上涨，使美国石化行业总增加值(GVA)在2018年上涨了3.5%。这是2013年以来美国石化行业单年最高增长(图1.7)；与此同时，美国制造业整体总增加值的增长来到了近4.5%，是近十年来的单年最高增长水平，其中石化行业增长的贡献率超过20%。

图 1.7 2016–2018年美国天然气和原油日均开采量（左）和 2011–2018年美国石化和制造业总增加值增长（右）



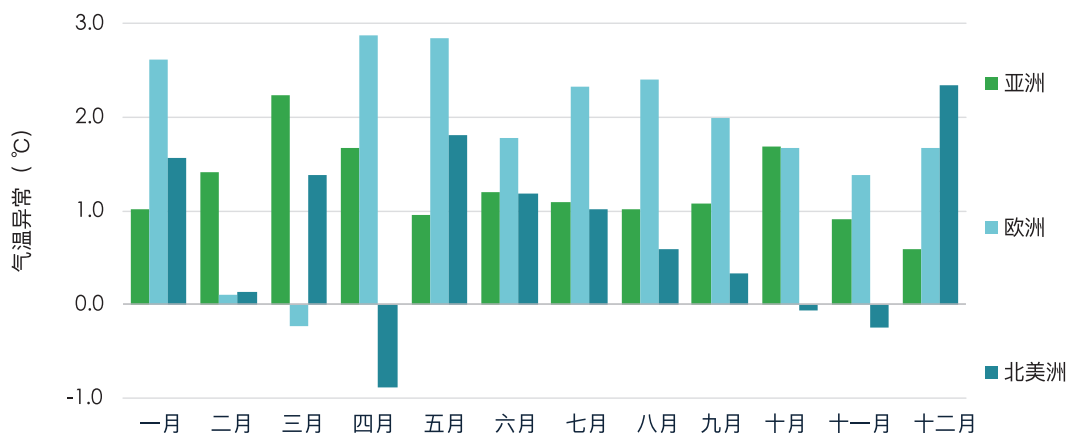
注：石化行业包括石油、煤炭、化学制品、塑料和橡胶产品的制造。总增加值的比较基于以百万2012年美元价值计的实体经济增加值。

来源：EIA (2019a), Monthly Crude Oil and Natural Gas Production; BEA (2019), Gross Domestic Product by Industry.

异常天气刺激制冷和供暖需求增长

异常天气，即全球各地气温反常，刺激了室内制冷和供暖需求增长。欧洲 2018 年日均气温比历史平均气温高 1.8 摄氏度 (°C)，其中四月、五月、七月、八月各自的平均气温均高于对应月份历史平均气温 2°C 以上。亚洲也出现了高出历史平均气温的异常气温。在北美，气温变化则显得难以捉摸。虽然 2018 年夏天比历史平均水平更热；但在这年的其他一些时期，却显著低于同时期历史平均气温。

图 1.8 2018年按地区月度气温异常（与1910–2000年相比）



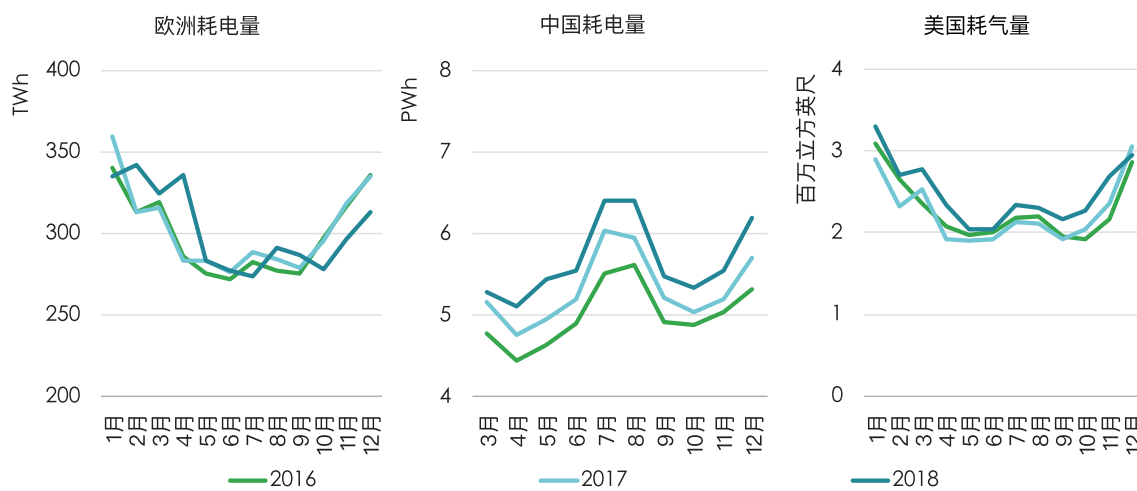
来源：NOAA (2019), *Climate at a Glance: Global Time Series*.

异常天气的影响在 2018 年耗电和耗气量图表中表现为某些月份的激增。2018 年 4 月，欧洲气温比当月历史平均值高出近 3°C，是有记录以来当月的最高气温。由此带来当月电耗在 2016 年和 2017 年基础上同比增加近 20%（图 1.9）。另一次相对缓和但同样值得注意的电耗激增发生在 8 月，气温比当月历史平均值高 2°C 以上。但与此同时，欧洲的初冬在 2018 年显得比以往温和，气温高于同期历史平均值 1.5°C 左右，使 10 月至 12 月的电耗在 2016 年和 2017 年的基础上同比下降了 7%，12 月耗气量则在往年基础上同比下降了 10%（Eurostat, 2019）。

随着人民生活水平的提高和对能源服务需求的增加，中国的耗电量正在逐渐上升，但异常天气对能耗的影响并不像在欧洲和北美那样明显。尽管如此，中国 2018 年耗电量在 5 月仍然有一次激增，而在当时，中国气温比亚洲大陆同期历史平均值高 1°C。

北美在 2018 年 4 月、10 月和 11 月分别出现了低于当月长期历史平均值的低温。虽然不像高于历史均值的高温那样极端，这一变化还是使得天气比之前几年同期的温和天气要冷一些。受建筑部门室内供暖需求上升的影响，美国耗气量在 4 月、10 月和 11 月分别在 2017 年基础上同增加了 20%、12% 和 14%。

图 1.9 2016–2018 年欧洲和中国月度耗电量以及美国月度耗气量

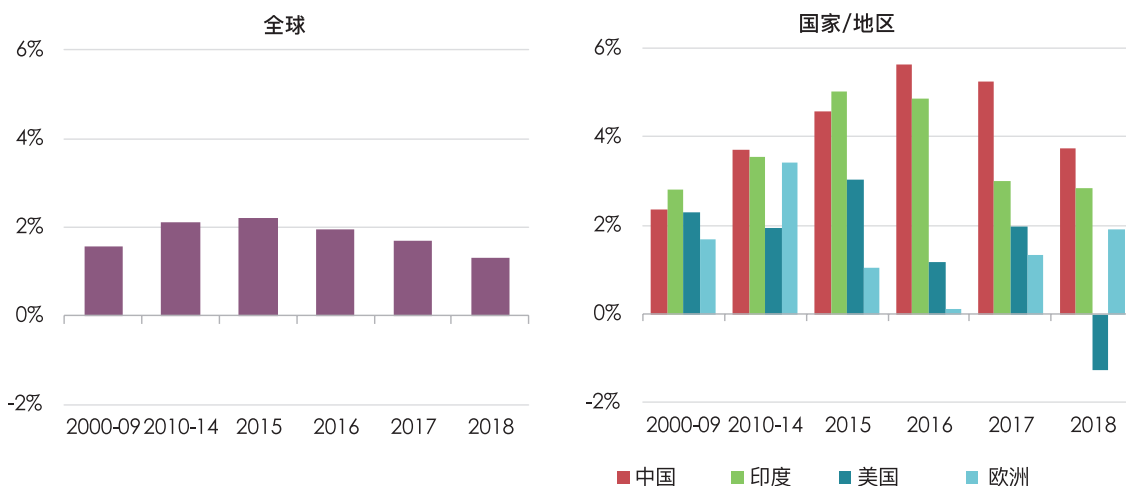


来源：ENTSO-E (2019), *Monthly Domestic Values*; CEC (2019), *Data/Statistics: Monthly Statistics of China Power Industry*; EIA (2019b), *Natural Gas Monthly*.

终端能源强度

2018 年全球终端能源强度⁴下降了 1.3%，是 2010 年以来下降最慢的一年，并且延续了 2015 年以来下降速度减缓的趋势。然而区域差异在这一年十分显著。欧洲终端能源强度的下降速度从 2017 年的 1.3% 提升到了近 2%，是 2014 年以来下降最快的一年。中国的下降速度约为 3.7%，比前一年的 5.3% 有所放缓。2018 年中国终端能源强度的下降率比一次能源强度高出近 1/3，这意味着中国一次能源需求的增长大部分来自供应侧因素的驱动，例如煤电比例的提高。美国终端能源强度则上升了 1.3%，是 2013 年以来的首次上升，主要原因已在上文“一次能源强度”部分做过讨论。

图 1.10 终端能源强度改善（下降）



IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database).

参考文献

BEA (U.S. Bureau of Economic Analysis) (2019), *Gross Domestic Product by Industry* (database), www.bea.gov/data/gdp/gdp-industry (accessed on 9 June 2019).

CEC (China Electricity Council) (2019), *Monthly Statistics of China Power Industry* (database), *Data/Statistics* (website), <http://english.cec.org.cn/No.110.index.htm> (accessed on 16 July 2019).

EIA (U.S. Energy Information Agency) (2019a), *Monthly Crude Oil and Natural Gas Production* (database), www.eia.gov/petroleum/production/#oil-tab (accessed on 19 June 2019).

EIA (2019b), U.S. Natural Gas Total Consumption, retrieved from *Natural Gas Monthly* (database) at: www.eia.gov/naturalgas/monthly/.

4 终端能源强度指每制造十亿美元 GDP（2018 年购买力平价）所产生的终端能耗。

ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) (2019), *Monthly Domestic Values* (database), www.entsoe.eu/data/power-stats/monthly-domestic/ (accessed on 7 September 2019).

Eurostat (2019), *Natural Gas Supply Statistics (data from May 2019; planned article update September 2020)*, retrieved from: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_consumption_statistics&oldid=88292.

IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*, IEA, Paris.

IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database), www.iea.org/statistics.

IEA (2019b), *Global Energy & CO₂ Status Report* (web publication), www.iea.org/geco.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2019), *Climate at a Glance: Global Time Series* (database). Retrieved from www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series (accessed on 16 August 2019).

World Steel (2019), *Total Production of Crude Steel* (database), <https://www.worldsteel.org/internet-2017/steel-by-topic/statistics/steel-data-viewer> (accessed on 13 June 2019).

II. 能源强度下降减缓的原因

简介

正如第一章提到的，2018 年全球一次能源强度下降 1.2%，是 2010 年以来下降最慢的一年，并且维持了 2015 年以来下降率减缓的趋势。了解近年来能源强度下降放缓的原因将有助于包括技术能效提升在内的各种措施通过适当的方式逆转这一趋势。

2015 年至 2018 年间一次能源强度下降减缓来自供应侧和需求侧因素的共同作用。供应侧方面，过去两年在高耗能的化石燃料使用上，例如煤电，有一个微小却不容忽视的反弹（详见第一章“一次能源强度”部分）。

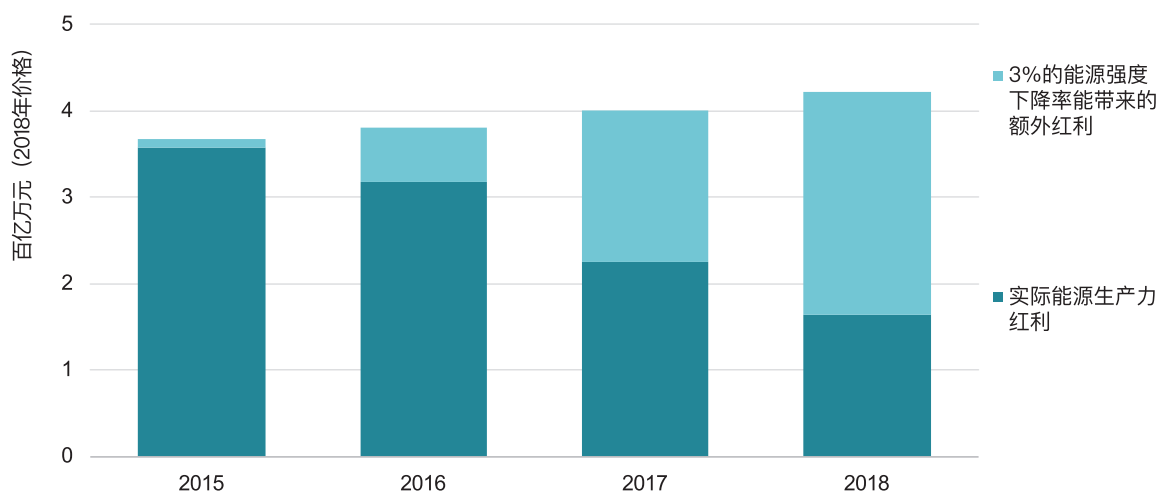
需求侧方面（即本章接下来将会探讨的内容），一系列短期因素和长期趋势的共同作用引起了能源强度下降的减缓。其中，短期因素包括 2017 年和 2018 年全球经济结构的变化以及 2018 年的异常天气（详见第一章“终端能耗”部分）。

长期来看，尽管近年来技术上的能效有所提升，其提升速度还是不足以完全抵消结构因素带来的（负面）影响。在工业部门，结构因素包括对高耗能生产方式的淘汰变慢，而淘汰高耗能的生产方式过去十年来一直助力于能源强度的下降。在居住建筑和交通部门，包括购买决策和用能者行为在内的结构因素也在减缓能源强度下降的速度。

能源强度下降减缓意味着机遇的流失

一次能源强度降低的影响可以体现为全球能源需求一定的情况下，所能够制造的额外的 GDP。2018 年一次能源强度 1.2% 的下降率代表该年的全球能源需求（在上一年能源强度的基础上）额外制造了略高于 1.6 万亿美元的 GDP，这在《能效 2018》报告中被称为“能源生产力红利”。

图 2.1 能源强度下降的额外经济价值



IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database).

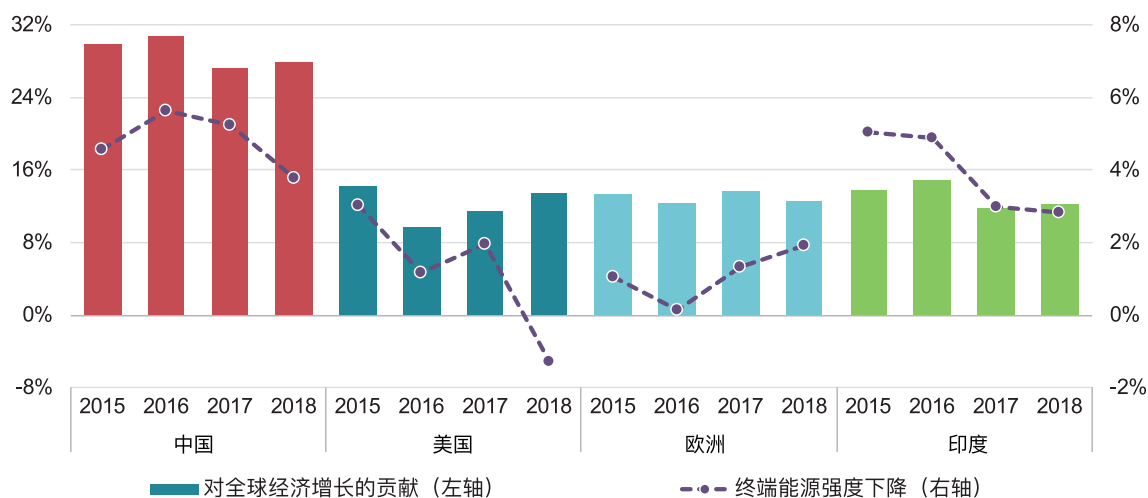
能源强度下降的减缓意味着人们丧失了用现有的全球能源需求制造更大经济价值的机会，即能源生产力红利的缩小。假如从 2015 年起，一次能源强度每年以 3% 的速度下降，那么 2018 年的能源生产力红利已经超过了 4 万亿美元，接近整个德国的经济体量（图 2.1）。

主要经济体国家决定着能源强度下降减缓的态势

目前全球超过 60% 的 GDP 来自世界最大的四个经济体（国家或地区）：中国、欧洲、印度和美国。因此近年来，这些经济体的变化往往对全球能源强度的动向产生举足轻重的影响。

例如，2017 年中国在全球 GDP 增量中所占比重显著下降，由前一年的 31% 下降至 27%。这意味着当年全球有更多的经济产出来自终端能源强度下降速度比中国的 5.3% 要慢的国家（图 2.2）。美国的全球 GDP 增量占比由 2016 年的 10% 上升为 2017 年的 11%，但终端能源强度仅下降了 2%。欧洲 2017 年的全球 GDP 增量占比为 14%，较上年增加 1 个百分点，但其终端能源强度仅下降了 1.3%（图 2.2）。以上变化最终体现为全球性的能源强度下降放缓。

图 2.2 各国家地区对全球经济增长的贡献和终端能源强度下降



IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*; IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database); IMF (2019), *IMF DataMapper*, www.imf.org/external/datamapper/PPPSH@WEO/OEMDC/ADVEC.

2018 年中国的全球 GDP 增量占比较上年增加了 1 个百分点，然而由于中国本土的高能耗生产占比增加，其终端能源强度只降低了 3.8%，远低于 2017 年的 5.3%（图 2.2）。与此同时，美国的全球 GDP 增量占比达到了 13.5%，较上年增加逾 2 个百分点，然而其终端能源强度却发生了 2013 年以来的首次上升。这些动态的影响，加上全球经济在其他方面的细微变化，共同造成了“全球能源强度下降水平不如 2017 年”这一局面。

近期工业部门变化和异常天气共同作用于长期趋势

正如第一章（详见“终端能耗”部分）所提到的，近期影响全球终端能耗进而影响能源强度的变化包括以下几点：

- 来自高耗能重工业的工业产出比重增加。中国的钢铁产出，与 2015 年 -2% 和 2016 年 0.5% 的增长率形成强烈对比，在 2017 年和 2018 年有强烈的回弹，增长率分别为 8% 和 6%。而中国的钢铁工业对全球能源强度年度变化有重要的影响。美国的制造业在过去两年同样有所扩张，尤其是在化工这样的能源密集型行业。美国和中国——全球第一和第二大的经济体——向能源密集型产业的转变，使高耗能行业在全球经济产出中所占的比重也随之增加了。
- 2018 年的异常天气使全年不同时期的供暖和制冷需求增加（详见第一章，“终端能耗”部分）。那些比以往更热的月份增加了空调的使用，而严寒则在过去几年的暖冬后（供暖需求降低）再度回到了北半球一些国家（供暖需求回升）。

这些近期的变化影响了全球最大经济体国家或地区的能源需求，并且也将作用于持续减缓能源强度下降的趋势。

技术层面能效提升的积极影响被其他因素削弱

长期趋势对能源强度降低的年度变化也有影响，特别是在以下方面：

- 工业和服务业技术进步支撑了技术层面的能效提升，然而目前出现了放慢脚步的迹象。
- 由高耗能工业行业向非能源密集型服务业转化是对能耗产生正面影响的结构因素，但这一转化正在逐渐放缓。
- 交通和居住建筑部门的结构因素正在削弱技术层面能效提升的积极影响。

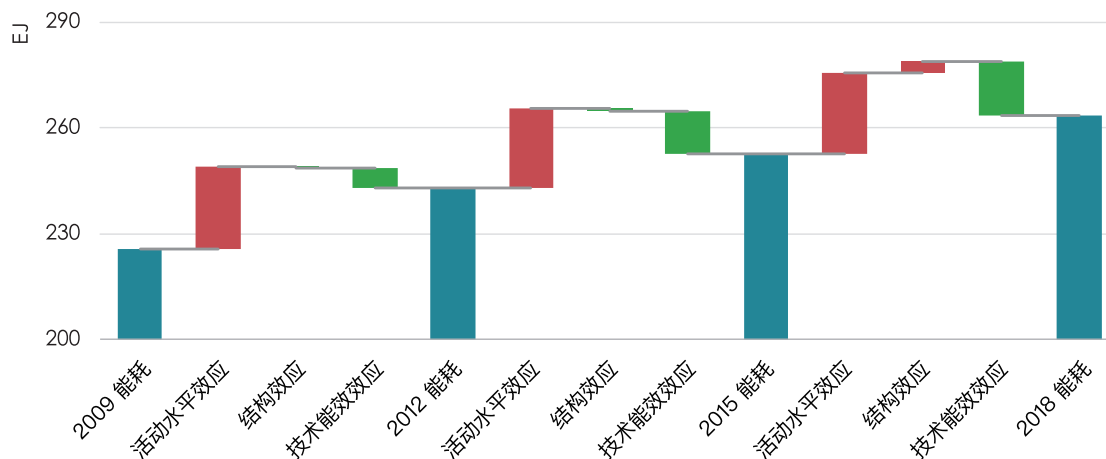
下文将对这些因素做出更加详细的解释。2015 年至 2018 年，全球主要的经济体国家¹ 终端能耗增加逾 4%，在 2012 年至 2015 年增长的基础上有些微升高（图 2.3）。影响终端能耗变化的因素可以被拆分为以下效应：

- 活动水平效应：用能活动的变化，例如工业增加值、吨公里运输（tkm）或旅客公里数（pkm）、气候和人口等的变化。2015 年至 2018 年期间，世界主要经济体国家的活动水平效应带来了 9% 的能耗增加，接近 2009 至 2012 年期间增幅（图 2.3）。
- 结构效应：用能活动类型的变化，例如不同经济部门活动水平占比、电器保有量、建筑数量和面积、不同交通出行方式占比等的变化。2015 年至 2018 年，结构效应使全球主要经济体国家的能耗增加近 1.5%。
- 技术能效效应：单位活动水平所需能耗的变化。2015 年至 2018 年，技术能效提升为世界主要经济体国家节省了 6% 的额外能耗，与之前三年（约 5%）相比略有提高。

用能活动水平的上升会引起能耗的增加，结构因素的变化可能增加或减少能耗，而技术能效的提升则能够节省额外的能耗。

¹ 主要经济体国家包括 IEA 成员国以及阿根廷、巴西、中国、印度、印度尼西亚、俄罗斯和南非。

图 2.3 2009–2018年世界主要经济体终端能耗分解



IEA (2019). All rights reserved.

注：纵轴起点为200 EJ。主要经济体国家包括IEA成员国以及阿根廷、巴西、中国、印度、印度尼西亚、俄罗斯和南非。“能耗”包括居住建筑、工业和服务业、客运和货运交通部门，不包括非能源的消耗（如用作原料的能源资源）和能源供应。与《能效2018》报告中相关分析类似，美国的道路货运交通在2008年至2011年部分的吨公里运输数据和2000年至2015年部分的能耗数据均经过了调整，由此造成调整年份的道路货运交通能源强度与之前发布的数值不同，进而对该部门的节能数据也产生了影响。IEA在本次分析中排除了这部分数据。

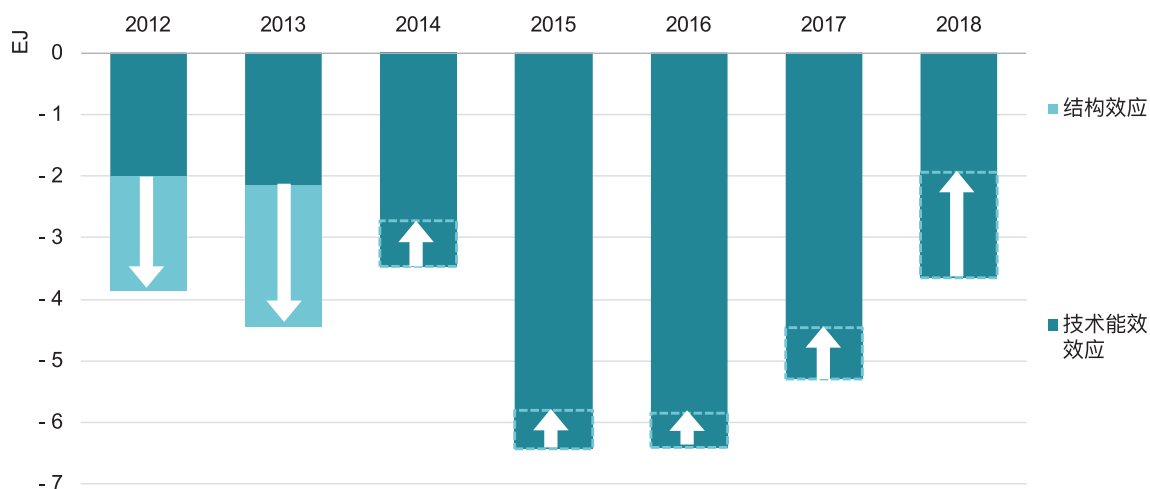
来源：Adapted from IEA (2019b), *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database); IEA (2019c), *Energy Technology Perspectives* (buildings model); IEA (2019d), *Mobility Model* (database); Timmers et al. (2015), *World Input Output Database* (database); IBGE (2019), *Quarterly National Accounts* (database); ADB (2019a), *People's Republic of China: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019b), *India: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019c), *Indonesia: Input-Output Economic Indicators* (database); StatsSA (2019), *Gross Domestic Product (GDP), 4th Quarter 2018* (database); Quantec (2018), *Industry Service – RSA Standard Industry – Input Structure at basic prices* (database); INDEC, Republica Argentina (2019), *Macroeconomic aggregates (GDP)* (database); World KLEMS Data (2019), *Russia* (database).

在能源强度下降开始放缓的三年内（2015–2018），技术上的能效提升与前三年相比节省了更多的额外能耗，但与此同时结构效应却起到了与以往相反的作用：从帮助减少能耗转变为推动能耗增加（图 2.3）。

然而年度数据让人们看到更多细节——技术能效提升所节省的额外能耗从 2015 年起正在逐年变少（图 2.4）。这是全球能源强度下降减缓的一个重要原因，也反映出近期政策和投资为能效提升做得不够（详见第三章）。

年度数据还显示，结构因素在 2012 年和 2013 年帮助降低能耗之后，早在 2014 年就开始推动能耗增加并削弱技术能效提升的正面作用了。这一转变在某种程度上可能与 2014 年至 2017 年年中的原油价格低有关。原油价格降低促使能源价格整体下降，从而影响用能行为，尤其是在交通部门：数据显示较大车型的购买率上升，同时搭载率下降。

图 2.4 2012–2018年技术能效提升和结构效应对能耗的逐年综合影响



注：负值代表当年技术上的能效提升帮助降低了终端能耗。箭头的方向代表当年结构因素带来了终端能耗的上升（箭头向上）还是下降（箭头向下）。

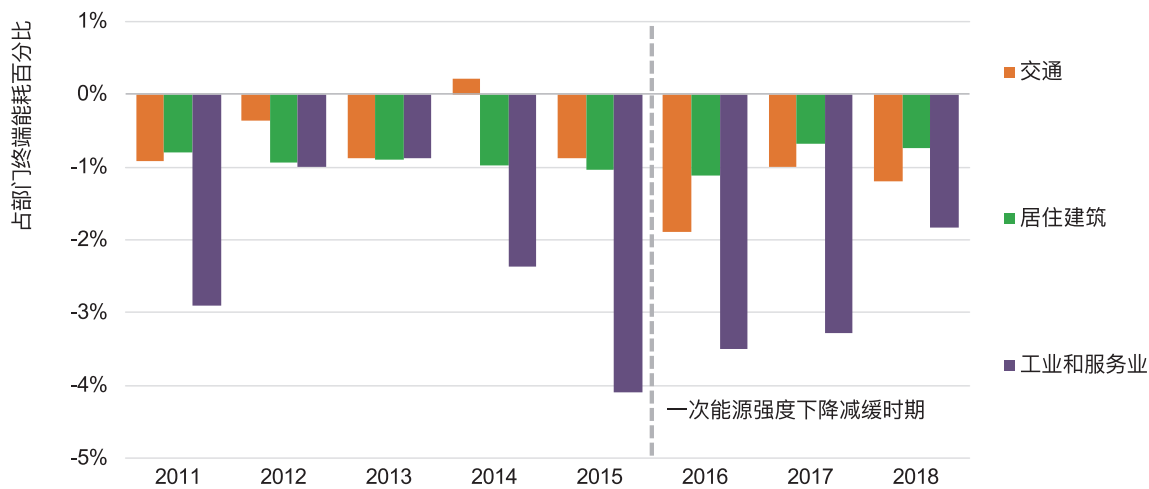
来源：Adapted from IEA (2019b), *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database); IEA (2019c), *Energy Technology Perspectives* (buildings model); IEA (2019d), *Mobility Model* (database); Timmers et al. (2015), *World Input Output Database* (database); IBGE (2019), *Quarterly National Accounts* (database); ADB (2019a), *People's Republic of China: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019b), *India: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019c), *Indonesia: Input-Output Economic Indicators* (database); StatsSA (2019), *Gross Domestic Product (GDP), 4th Quarter 2018* (database); Quantec (2018), *Industry Service – RSA Standard Industry – Input Structure at basic prices* (database); INDEC, Republica Argentina (2019), *Macroeconomic aggregates (GDP)* (database); World KLEMS Data (2019), *Russia* (database).

工业：技术能效提升趋势回落的同时，结构因素的变化也在发生

2015年至2018年大部分技术能效效应发生在工业和服务业部门，尤其是中国和印度等新兴经济体国家的重工业产能扩大和能效提升。然而近几年，工业和服务业部门年度技术能效效应从2015年节省约4%的额外终端能耗，下降到2018年的不到2%，再度回到前几年平缓的提升趋势（图 2.5）。尽管如此，技术能效效应仍然在2015年至2018年期间抵消了近70%由工业和服务业部门活动水平上升引起的终端能耗增加。

结构效应，尤其是经济活动向非能源密集行业（特别是服务业）转移，在2015年到2018年期间抵消了4%来自工业和服务业部门活动水平上升的能耗增加（图 2.6）。然而因为高耗能制造业的增加，这一效应从2013年开始就在逐渐减弱。到2017年，工业和服务业部门由结构因素变化节省的额外能耗仅相当于当年终端能耗的0.1%。据估计，结构因素在2018年不仅没有帮助节省额外能耗，反而推动终端能耗增加了0.1%（图 2.6）。

图 2.5 以部门终端能耗百分比形式体现的技术能效提升的能耗影响

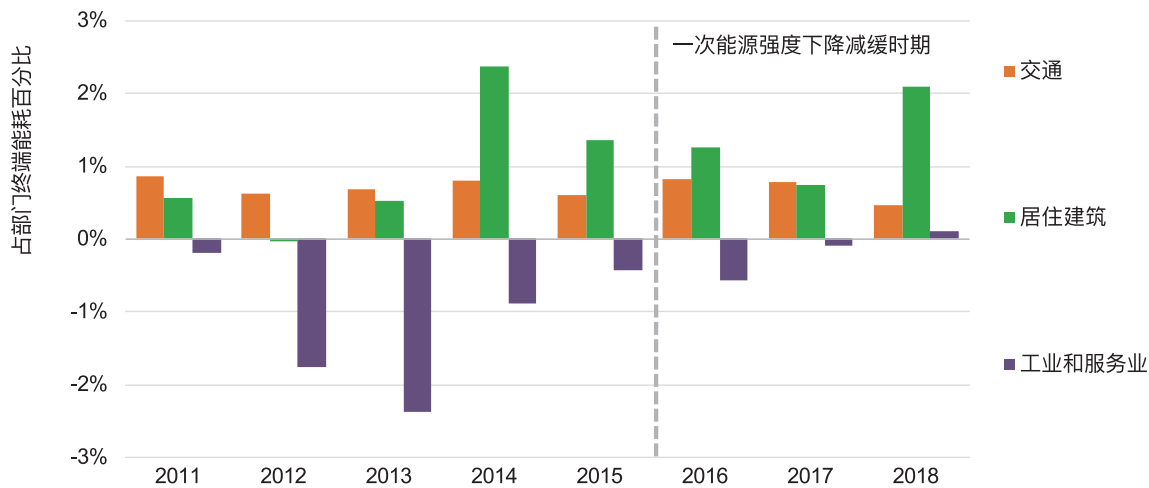


IEA (2019). All rights reserved.

注：负值代表当年技术上的能效提升帮助降低了终端能耗。

来源：Adapted from IEA (2019b), *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database); IEA (2019c), *Energy Technology Perspectives* (buildings model); IEA (2019d), *Mobility Model* (database); Timmers et al. (2015), *World Input Output Database* (database); IBGE (2019), *Quarterly National Accounts* (database); ADB (2019a), *People’s Republic of China: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019b), *India: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019c), *Indonesia: Input-Output Economic Indicators* (database); StatsSA (2019), *Gross Domestic Product (GDP), 4th Quarter 2018* (database); Quantec (2018), *Industry Service – RSA Standard Industry – Input Structure at basic prices* (database); INDEC, Republica Argentina (2019), *Macroeconomic aggregates (GDP)* (database); World KLEMS Data (2019), *Russia* (database).

图 2.6 以部门终端能耗百分比形式体现的结构效应的能耗影响



IEA (2019). All rights reserved.

注：负值代表净节能量。

来源：Adapted from IEA (2019b), *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database); IEA (2019c), *Energy Technology Perspectives* (buildings model); IEA (2019d), *Mobility Model* (database); Timmers et al. (2015), *World Input Output Database* (database); IBGE (2019), *Quarterly National Accounts* (database); ADB (2019a), *People’s Republic of China: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019b), *India: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019c), *Indonesia: Input-Output Economic Indicators* (database); StatsSA (2019), *Gross Domestic Product (GDP), 4th Quarter 2018* (database); Quantec (2018), *Industry Service – RSA Standard Industry – Input Structure at basic prices* (database); INDEC, Republica Argentina (2019), *Macroeconomic aggregates (GDP)* (database); World KLEMS Data (2019), *Russia* (database).

交通和居住建筑：结构因素的影响正在赶超技术能效效应

技术能效效应在交通和居住建筑部门的影响小于工业和服务业部门，但仍在以最近五年平均或更高的水平持续节省额外能耗。2015 年以来，技术能效效应平均每年为交通部门节省 1% 以上的额外终端能耗；在居住建筑部门，这个数据略低于 1%（图 2.5）。

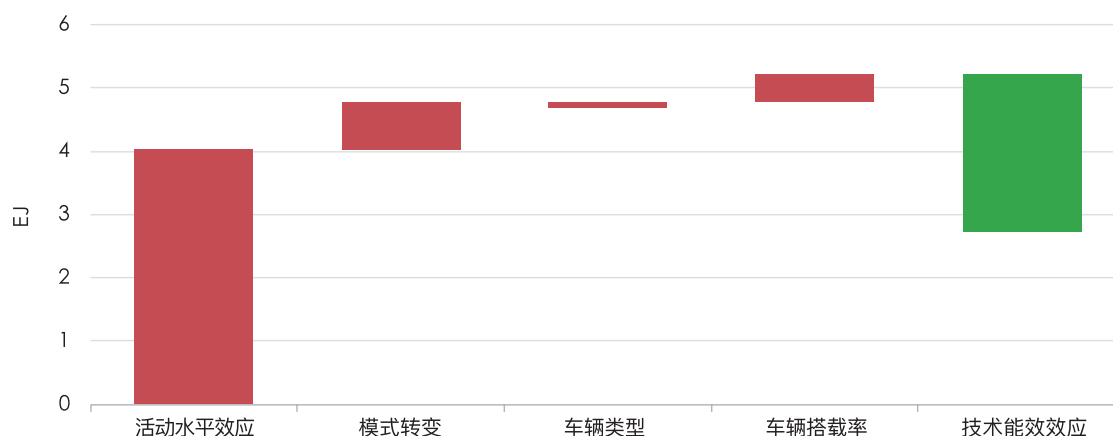
在交通和居住建筑部门，大部分技术能效效应带来的节能量都被结构效应所抵消，这主要是由用能者的购买决策和行为引起的（图 2.6）。举例来说，尽管目前大多数国家市场中在售的乘用车是有史以来技术能效最高的车型，人们还是在选择更加能源密集的出行方式、购买较大的车型、开车时与更少人同行，而这些都在降低交通能效整体的提升速度。2015 年以来，这些结构因素带来的影响平均每年使交通终端能耗总量增加 0.5%。

结构效应在居住建筑部门更为显著。2018 年，诸如建筑面积和电器保有量增加这类的结构因素推动居住建筑部门终端能耗增加了 2% 以上（图 2.6）。这已经超过了居住建筑部门技术能效效应所节省的仅相当于 0.7% 的额外终端能耗（图 2.5）。

接下来的几部分将对交通和居住建筑部门的趋势进行进一步挖掘，从而更好地了解这两个部门的用能者行为是如何使全球能源强度下降变慢的。

客运交通趋势

图 2.7 2015–2018 年影响客运交通能耗的因素



IEA (2019). All rights reserved.

注：活动代表用能活动水平的变化，例如车辆行驶距离的变化。模式转变代表乘客选择不同交通出行方式，如自行车或开车出行，所引起的能耗变化。车辆类型表示乘客在同一种交通出行方式下选择不同车辆，例如运动型多用途车（SUV）或掀背式（两厢）汽车，对能耗带来的影响。搭载率则是指火车、飞机、轮船和汽车所搭载乘客多或少对能耗造成的影响。主要经济体国家包括IEA成员国以及阿根廷、巴西、中国、印度、印度尼西亚、俄罗斯和南非。

来源：Adapted from IEA (2019b) *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019d), *Mobility Model* (database).

交通出行向更加能源密集的方式转变、对较大车型的偏好、更低的搭载率，在这些因素的共同作用下，尽管机动车的技术能效有所提升，客运交通仍然是经济活动中一个高耗能的部门（图 2.7）。近年来机动车的技术能效提升速度变快，但没有达到客观条件允许的最快速度，这是因为随着人们保有他们轿车和厢式货车的时间延长，全球在用车辆正在集体老化。另一个在近几年影响技术能效效应的因素是柴油车的淘汰，目前正在被汽油车逐步取代。

客运道路交通中两种较为能源密集的出行方式——轿车和卡车活动水平最高

不同出行方式的旅客公里数数据显示，轿车和卡车依然是大众偏好的出行方式。在过去三年，世界主要经济体一半以上旅客公里数增长来自轿车，这一比例远远高于巴士（约 25%）和火车（10%）。轿车和卡车在各类交通出行方式中能源密集程度较高（IEA, 2019e），因此这两种出行方式的活动水平与非能源密集型出行方式相比而言的高增长使交通部门整体能源强度下降减缓。

消费者继续偏爱较大车型

虽然单车技术能效有所提升，但消费者对较大车型的购买偏好却在继续推动全球交通能耗增加。2014 年石油价格开始下跌以来，全球几乎所有国家的汽车市场中，运动型多用途车（SUV）和皮卡车的市场占比迅速上升。仅仅是 2018 年一年，全球 SUV 的销量就增加了近 7%，而与此同时，轻型车（乘用车、乘用轻型卡车以及轻型商用卡车）整体销量却下滑了 0.5%（JATO, 2019a）。这一年，SUV 和皮卡车在美国的市场占比创下了 68% 的历史记录，中国 SUV 销量超过新登记车辆数量的 40%，而欧洲市场的 SUV 首次出现 1/3 以上的市场占有率（JATO, 2019b; ACEA, 2019; JATO, 2019a）。

新兴市场国家车辆搭载率降低正在削弱市售新车能效提高的积极影响

新兴汽车市场中一些国家的汽车拥有率可能比成熟汽车市场国家低 20 倍以上，但随着这些国家人均收入的提高，这一差距正在缩短（IEA, 2019d）。在中国——全球销量最高的汽车市场，2018 年在用汽车数量增长了 10%；但随着汽车使用寿命的延长，这一年中国的汽车销量减少了 3%（Sun et al, 2019; IEA, 2019j）。

随着新兴市场中汽车拥有率的提高，全球在用车辆中更新、更高效的车辆比重增加，全球在用车辆整体能效有提升趋势。然而同时发生的还有这些新兴市场中单车平均搭载率的持续下降，部分抵消了高效新车所带来的单位旅客公里数能耗下降（IEA, 2019d; Goldman Sachs, 2017; US DoE, 2018; Darido, 2009）。搭载率的下降常常伴随着汽车拥有率的上升：更多的汽车意味着更多的消费者可以单独出行（Fiorello, 2016）。以北京为例，2000年至2007年在用车辆急速增加，同时单车平均乘客数从1.6减少为1.3（Darido, 2009）。

成熟市场的轿车和厢式货车正在老化，使全球在用车辆整体技术能效逐渐降低

尽管2018年全球大部分国家的汽车产量和新车销量都有下降，全球在用车辆数量²仍在继续攀升，这是由于家用车和商用车的使用寿命都在延长（OICA, 2019; JATO, 2019a）。现有在用车辆的寿命正在延长，即使在欧盟这样的成熟汽车市场也是如此。欧洲在用轿车和厢式货车的平均寿命在过去五年延长了6%（ACEA, 2019），从10.5年延长为11.1年。美国在用车平均寿命在2007年至2017年期间延长了1/3，期间，2008年经济危机后³车辆寿命的延长开始加速（EIA, 2018; Richter, 2018）。

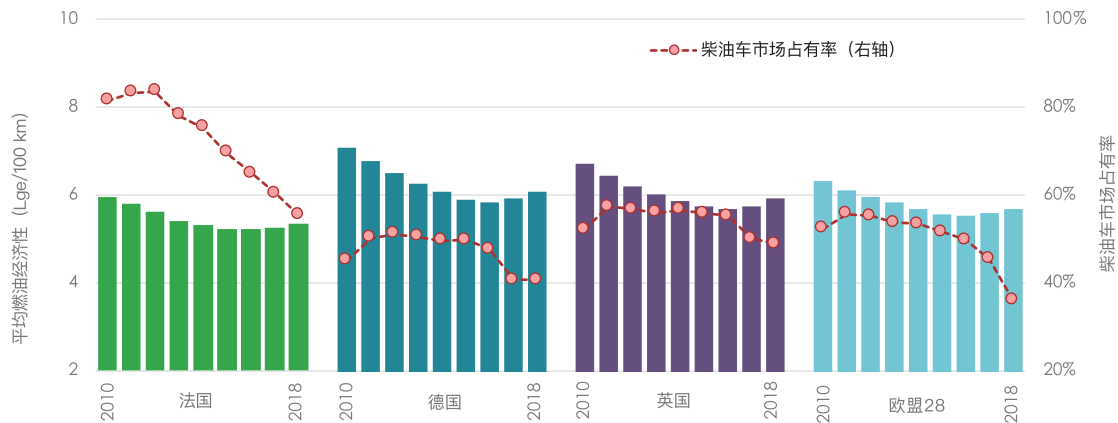
柴油车正被市场逐步淘汰

随着“柴油门”丑闻的爆发，各类在近中期内限制柴油车使用的政策措施（详见“能效提升的政策驱动”部分）大量出台，与柴油车相关的政治环境在过去五年发生了重大转变。几个主要汽车市场的柴油车销量因此而迅速下降，特别是全球柴油车销量占比一度较大的欧洲市场（IEA and ICCT, 2019; IEA, 2018a）。淘汰柴油车虽然有助于改善当地空气质量，却也造成了平均油耗的增加，这是由于柴油车通常比同类汽油车能效更高的缘故。尽管电动车（EV）有着两位数的增长率，大部分淘汰的柴油车还是被汽油车所替代。2017年和2018年期间，伴随着柴油车销量的猛降，超过20个欧洲国家的汽车市场平均油耗增加（图2.8）（JATO, 2019c; ACEA, 2019）。

2 某一确定日期下所有合法登记并被允许使用公共交通道路的车辆数。每年在用车辆数量的变化取决于新登记车辆数、二手车进出口和车辆报废率。

3 经济危机使新车销量降低，消费者开始更加关注二手车，并付出更多努力维护已有车辆。

图 2.8 2010–2018年典型欧洲汽车市场平均燃油消耗（升汽油当量每百公里，简称为Lge/100 km）及新登记车辆中柴油车市场占比



IEA (2019). All rights reserved.

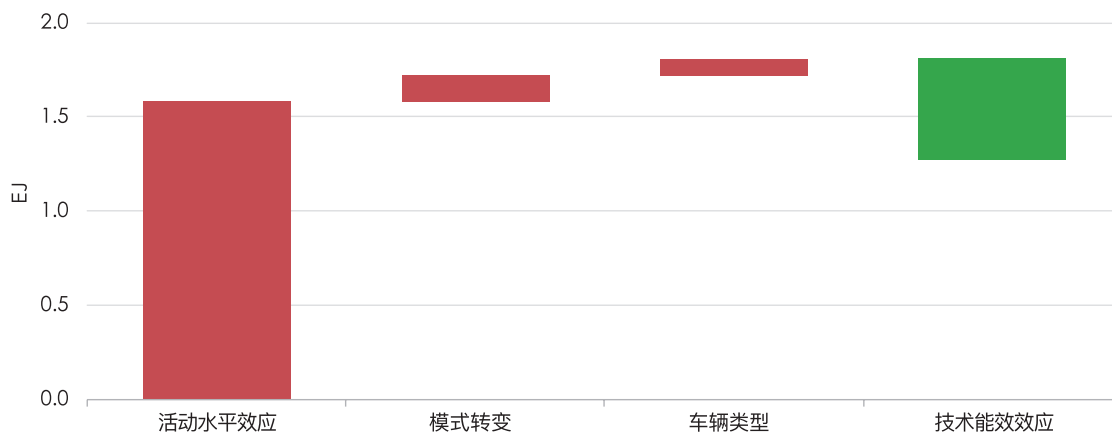
注：平均油耗是基于全球轻型车测试规程（WLTP）工况测试的油耗。

来源：Analysis based on ACEA (2019), *The automobile industry pocket guide book 2018/2019*; and IHS (2018), *Vehicle Registrations and Other Characteristics at Model Level* (database).

货运交通趋势

货运交通在 2018 年仍是一个能源密集部门，技术能效提升仅抵消了不到 1/3 的能耗增长（图 2.9）。直到最近五年，大多数国家（中国、印度、美国）才开始执行货车燃油经济性标准，还有一些国家和地区（欧盟、韩国、墨西哥）要到 2018 年后才会实施，但这也意味着未来几年技术能效效应或许会发挥更大的积极作用。道路货运活动水平增速高于船舶和铁路货运，这一模式转变为能耗带来了小幅增长。

图 2.9 2015–2018年影响货运交通能耗的因素



IEA (2019). All rights reserved.

注：活动代表用能活动水平的变化，例如货运轮船行驶距离的变化。模式转变代表通过不同的货运方式，如货车运输或铁路货运，所引起的能耗变化。车辆类型表示在同一种货运方式下选择不同车辆，例如电动火车运输或柴油火车运输，对能耗带来的影响。主要经济体国家包括IEA成员国以及阿根廷、巴西、中国、印度、印度尼西亚、俄罗斯和南非。美国的道路货运交通在2008年至2011年部分的吨公里运输数据和2000年至2015年部分的能耗数据均经过了调整，由此造成调整年份的道路货运交通能源强度和节能量数据在之前发布数据的基础上分别产生了显著的上升和下降。IEA在本次分析中排除了这部分数据。负载系数（每公里行车对应的吨公里数）无法获取。

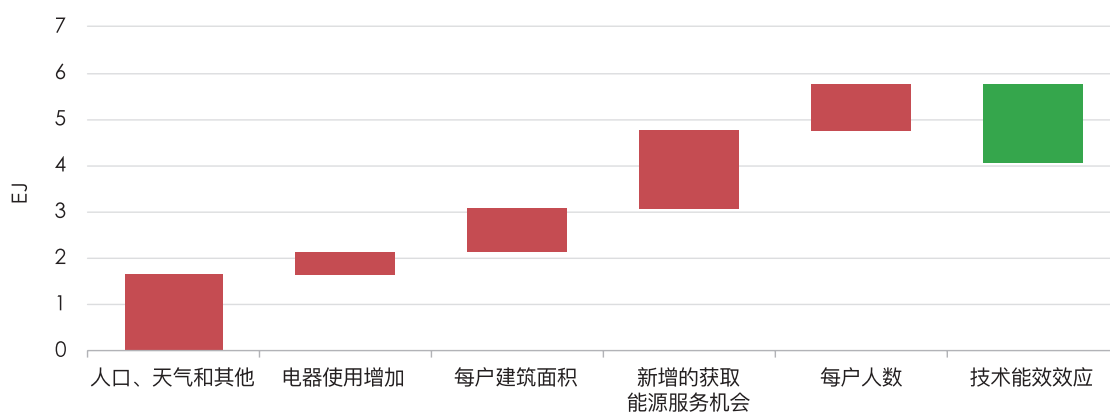
来源：Adapted from IEA (2019b) *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019d), *Mobility Model* (database).

居住建筑趋势

过去三年，虽然建筑从设计、施工到电器都有了能效提升，但在包括人口增长和每户建筑面积增加在内一系列因素的作用下，建筑能耗还是继续上涨（图 2.10）。

新兴经济体和发展中国家的人民收入增加也推动了建筑能耗的升高。当这些国家变得更加富有，其人民就有更多机会选择更高质量的住所，获取更好的现代化能源服务，并且考虑到和发达国家的差距，这一趋势可能还会持续一段时间。例如，居住在世界最炎热地区的近 30 亿人口中，目前仅有不到 10% 的人可以使用空调。随着空调在全球尤其是这些炎热地区的进一步普及，到 2050 年室内制冷用电将是现在的三倍，占全球用电预计增长量的 20% 以上（IEA, 2018b）。收入增加还改变了人们的居住方式，人们越来越多地选择和更少的人住在一起，即每户建筑的人口减少了（图 2.10）。

图 2.10 2015–2018年影响居住建筑能耗的因素



IEA (2019). All rights reserved.

注：人口、天气和其他代表人口增长、供暖和制冷使用情况变化以及其他因素给能耗带来的影响。电器使用增加表示人们更多或更少地使用建筑中的电器设备（因供暖和制冷服务已包括在天气中，此处排除）所造成的影响。每户建筑面积代表非人口增长原因引起的建筑面积增加所带来的影响。新增的获取能源服务机会指人均电器设备保有量增加和首次获取能源服务（特别是电气化）人数增加的共同影响。每户人数表示人们选择与更多或是更少人居住在一起所造成的影响。

来源：Adapted from IEA (2019c) *Energy Technologies Perspectives* (buildings model).

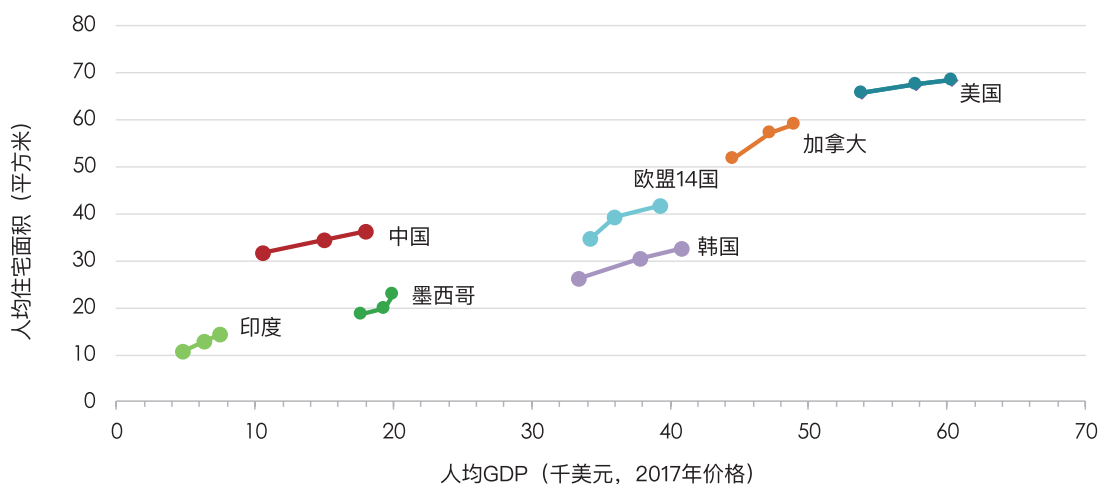
气候类型的变化和制冷设备的高度普及造成了空调用能的增加，但天气变暖同时也使北半球较寒冷气候地区的供暖能耗减少。因此虽然极端天气让 2018 年能耗增加，但从整体上看，过去三年天气对能耗的影响基本是中和的，这主要是因为建筑中最大的用能终端——供暖能耗有所减少。然而从现在开始直到 2050 年，气候变化预计将使室内制冷服务需求上升，尤其是在炎热气候区人口众多的国家，例如印度（IEA, 2018b）。

居住建筑面积持续增加，而房屋居住率下降

受持续的收入增长所驱动，全球平均的人均居住面积正在增加（图 2.11）。在新兴经济体国家和发达国家都是如此。在新兴经济体国家，许多人的收入有了明显改善，能够住进更加舒适的房屋。在一些发达国家，对更大居住空间的需求也在持续上升。

对更大房屋的需求上升也体现在房屋居住率的变化上，平均每户居住人数逐渐下降。新兴经济体国家的平均家庭规模（每户居住人数）随着收入增加而显著下降，但在美国这样的发达国家，房屋居住率下降的趋势正在慢慢趋于平缓（图 2.12）。

图 2.11 2010–2015–2018年典型国家平均人均居住面积和人均GDP

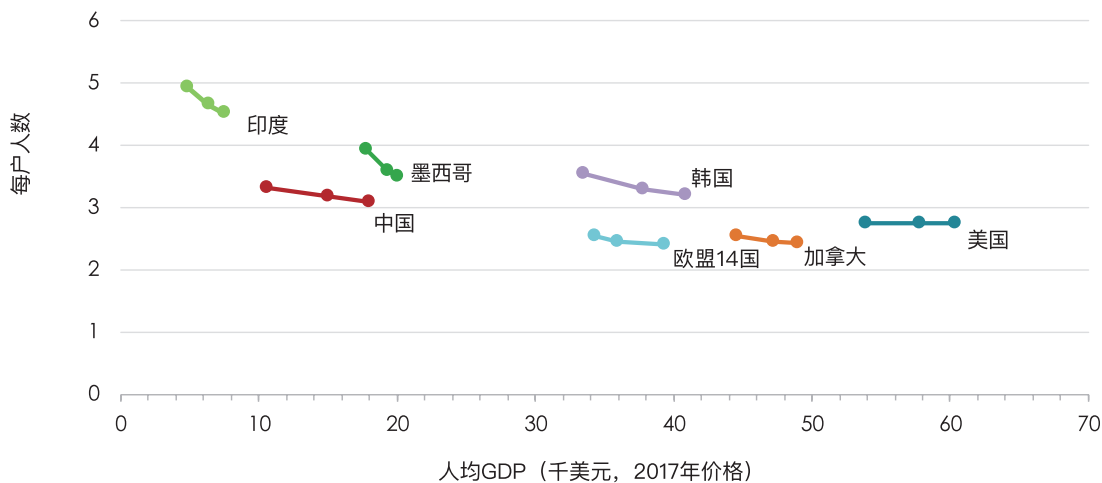


IEA (2019). All rights reserved.

注：国家标签位置为2018年数据。GDP为2017年购买力平价的美元价值。EU14指奥地利、比利时、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、爱尔兰、意大利、卢森堡、荷兰、葡萄牙、西班牙和瑞典。

来源：Adapted from IEA (2019c), *Energy Technology Perspectives* (buildings model).

图 2.12 2010–2015–2018年典型国家平均家庭大小（每户人数）和人均GDP



IEA (2019). All rights reserved.

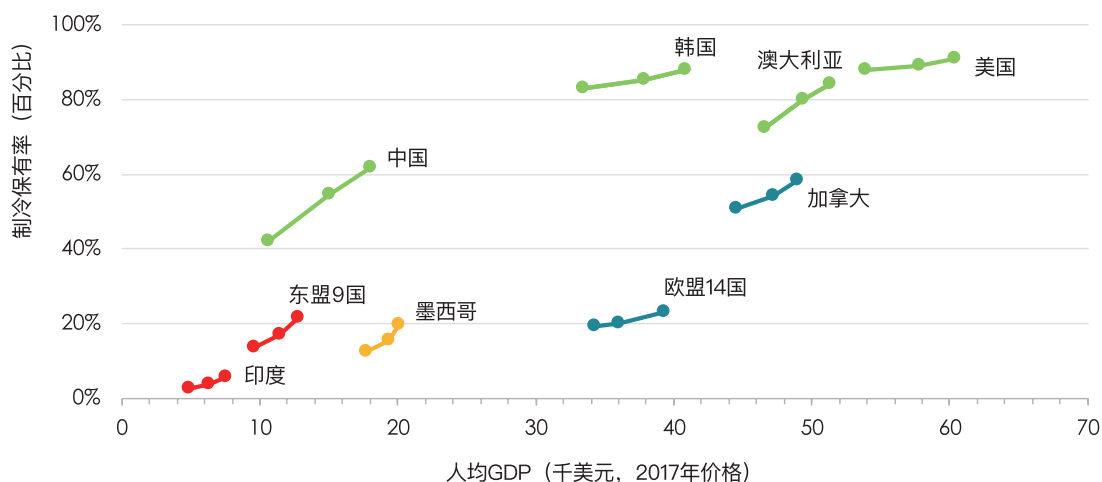
注：国家标签位置为2018年数据。GDP为2017年购买力平价的美元价值。EU14指奥地利、比利时、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、爱尔兰、意大利、卢森堡、荷兰、葡萄牙、西班牙和瑞典。

来源：Adapted from IEA (2019c), *Energy Technology Perspectives* (buildings model).

对室内制冷和供暖等能源服务的需求继续上升

受到收入增加和气候变化中变暖地区制冷需求上升的驱动，空调在家庭中的使用增多了。制冷设备在气候相对温和地区的发达国家保有率最高（图 2.13）。在一些处于最热气候区的国家（如印度和 ASEAN/ 东盟国家），制冷设备的保有率低，但制冷需求正在快速上升（IEA, 2018b），并且预计随着这些国家人民收入水平的提高，制冷需求将持续增加。2000 年以来，中国居住建筑制冷能耗每年以 13% 的速率增长，到现在全年制冷能耗已经达到 1400 拍焦（ 10^{15} 焦耳，下文简称 PJ）（IEA, 2019f）。但近期政策发展已在尝试抑制制冷能耗增长（详见第三章）。

图 2.13 2010–2015–2018年典型国家制冷设备保有率和人均GDP



IEA (2019). All rights reserved.

注：蓝色代表寒冷气候地区（全年高于20°C以上的天数少于75天），绿色代表温和气候地区（75–199天），红色代表炎热气候地区（大于300天）。GDP为2017年购买力平价的美元价值。保有率表示拥有至少一台制冷设备的家庭比例。EU14指奥地利、比利时、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、爱尔兰、意大利、卢森堡、荷兰、葡萄牙、西班牙和瑞典。

来源：Adapted from IEA (2019c) *Energy Technology Perspectives* (buildings model).

伴随着建筑本身和供暖设备的能效提升，一些国家的供暖能耗开始下降。然而在一些寒冷地区的新兴经济体国家，供暖能耗随着收入增加而上升。2010年以来中国居住建筑供暖能耗年均增长10%，目前每年供暖能耗超过4000 PJ。

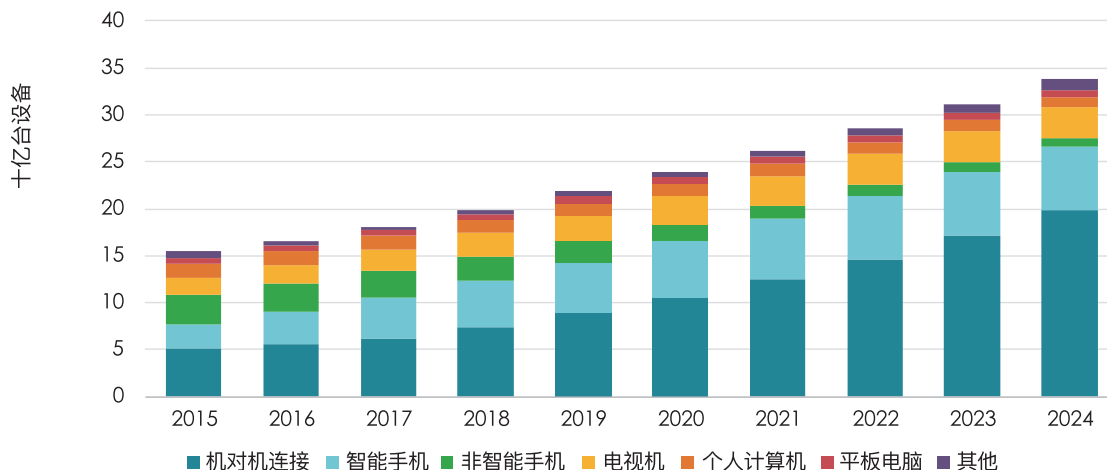
这些变化趋势对全球能源强度的影响并不那么容易判断。一方面，如果对制冷和供暖服务的需求上升仅仅使能耗增加而不改变GDP，那么这一趋势可能导致全球能源强度下降的减缓。但另一方面，机械化的供暖和制冷提升了室内环境的舒适度，因此可能带来生产力的提升。举例来说，2016年发展中国家由于高温而损失的平均工作天数为6.6天，发达国家3.5天，相比较可以发现，空调服务可获取程度高的国家更具生产力（Yu et al., 2019）。要清楚了解制冷能耗增加对全球能源强度的影响，还需要开展更多的研究来支撑。

“数字生活” 是否是更加能源密集的生活方式？

在世界的各个角落，数字技术正在渗透进人们生活的方方面面，从智能手机应用程序（app）点餐到上网收看电视剧集。更快（以及更灵活）的连接和前所未有的数字化设备数量使这些服务成为可能。

数字化活动水平的提升已经超过了人口和经济增长。2015年至2018年期间，全球数字化设备数量从155亿增加至200亿（图2.14），年均增长约8%，远远高于人口（1.1%）和经济（3.5%）增速。

图 2.14 2015–2024年全球数字和连接设备，按设备类别



IEA (2019). All rights reserved.

注：M2M表示机对机连接，包括用作视频监控、健康监测、交通、快件或资产追踪的智能仪表和设备。电视包括平板电视、机顶盒、数字媒体适配器、蓝光影碟播放机以及游戏主机。非智能手机指不具备“智能”功能的手机。2015年和2016年数据来自Cisco (2016)；2017年至2022年数据来自Barnett, T. et al. (2019)；2023年和2024年数据为合理外推数据。

来源：Based on Barnett et al.(2019), Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 and Cisco (2016), The Zettabyte Era: Trends and Analysis, July 2016.

2017 年全世界平均每人拥有 2.4 台数字化设备，比 2015 年高出 9%。预计到 2022 年将增加至每人 3.6 台 (Barnett, 2019)。数字化设备的保有率的地理分布并不均衡。北美人均拥有 8 台数字化设备，西欧 5.4 台，但在中东和非洲人均仅有 1.1 台 (表 2.1)。

表 2.1 人均数字设备保有量地区分布 (2017年和2022年)

	2017	2022
亚太	2.1	3.1
中欧和东欧	2.5	3.9
拉丁美洲	2.1	2.9
中东和非洲	1.1	1.4
北美	8.0	13.4
西欧	5.4	9.4
全球	2.4	3.6

来源：Barnett et al. (2019), Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022.

设备的增加和数字化程度越来越高的活动 (如 4K 和 8K 视频、虚拟现实即 VR、基于云技术的人工智能等) 让数据通信呈指数增长。2019 年全球互联网通信是 2015 年的三倍，而从现在开始到 2022 年这一数据预计还将翻倍，达到每年 4.2 ZB (即 4.2 万亿 GB) (Sumits, 2015; Cisco, 2018; Barnett, 2019)。作为对相关服务需求的一种衡量指标，数据中心的工作负荷在 2015 年以来翻了一倍以上。

显著的能效提升帮助数字化服务将能耗维持在可控范围内

尽管对数字化服务的需求急速增加，但运算能效也有显著改善（Kooimey et al 2011; Kooimey & Naffziger, 2015; and Kooimey & Naffziger, 2016），加上电子化设备寿命短、换代快的特点，目前在用电子设备、数据中心和网络的整体能效是提升的。电子设备正在变得越来越小巧、高效：电视机屏幕从阴极射线管（CRT）到液晶显示器（LCD），个人电脑也从个人（台式）计算机到笔记本电脑、平板电脑和智能手机（Malmodin and Lundén, 2018; Stobb, et al., 2015; Urban et al., 2014）。

2010 年至 2015 年期间全球电子设备、数据中心和数据传输网络的能耗大致保持恒定，约为每年 800 太瓦时（1 太瓦时 = 10^9 千瓦时，下文简称为 TWh），其中 2015 年用户设备能耗约 340 TWh（Malmodin and Lundén, 2018）。在 IEA 最新的分析（方法和边界与上文不同）中，估算 2018 年数据中心和数据传输网络共同能耗为 460 TWh，约为全球耗电量的 2%（2019g）。

材料 2.1 自愿协议促进美国宽带设备能效提升

2018 年，美国家庭宽带用户所购买的网络调制解调器（“猫”）、路由器和其他网络设备几乎全部达到了 2015 年制定的自愿性（能效）标准，一部分要归功于网络服务供应商们签订的、覆盖超过 8700 万个家庭（约占整个市场规模的 90%）的自愿协议。

该协议由网络服务供应商和产品供应商们共同签订，确定了签署方以小型网络设备能耗降低为目标，并针对各类设备可以如何节能进行了详细说明。

为了确保自愿协议中提到的（能效）标准不要成为限制创新的“天花板”，该协议还列明了服务和产品供应商在一定时间内可以对其采用的能效创新保密，避免泄密影响竞争力。

自协议生效以来，这些产品在正常宽带网速下的平均待机能耗下降了 66%。

来源：Consumer Technology Association (2019), *Internet Service Providers and Device Manufacturers Exceed Energy Efficiency Commitments*, www.cta.tech/News/Press-Releases/2019/August/Internet-Service-Providers-and-Device-Manufacturer.aspx.

数据中心服务需求大量增加所引起的能耗增加，被服务器、存储设备、网络交换机和数据中心基础设施能效的持续提升所抵消。由低效的小型数据中心向基于云技术的超大规模数据中心转变，是数据中心能效提升的重要原因，并且其影响还在进一步扩大（IEA, 2017）。

数据传输网络技术也在变得更加高效，这意味着人们能够消耗更少的能源传输更多的数据。2000 年以来，发展中国家固线网络能源强度每两年就减半一次，同时移动接入网络能效近年来也以每年约 10%–20% 的速度持续提升（Aslan et al., 2017; Fehske et al., 2011; GSMA,

2012; Verizon, 2012)。移动网络正在快速实现由旧网络向更加高效的 4G (甚至 5G) 技术的转变。预计到 2022 年, 4G 和 5G 将共同承担 83% 的全球移动通信 (Barnett, 2019)。

“数字生活”对于能源强度的影响尚未可知

衡量数字设备和服务对能源和环境的净影响是一个较为复杂的问题 (Horner, Shehabi and Azevedo, 2016)。一些数字化服务可以取代原先能源密集型的活动 (如视频会议取代乘坐航班亲身参加会议), 但某些数字化服务又可能比被取代的非数字化设备和活动更加耗能。此外, 数字设备和程序的格局常常处于变化之中。举例来说, 2018 年, 上文所提到的数字化服务估算能耗中, 有 50 TWh 来自最近几年才兴起的比特币挖掘 (Kamiya, 2019)。

除了对设备 (生产、使用和处置) 的直接能源和环境影响外, 各类活动的数字化转变也会产生直接或间接的反弹和结构效应。例如从播放 DVD 到观看在线视频的转变虽然能够减少用于 DVD 生产和运输的能耗, 但同时也增加数据中心和数据传输网络的能耗 (Shehabi, Walker and Masanet, 2014)。这类数字化服务的便利还会制造反弹效应, 促使人们更多地使用服务, 从而引起整体能耗的增加。

对于数字设备引起的能耗增加是否对 GDP 造成影响、如何影响的问题, 目前还无法确定, 需要进一步研究。近期一份报告预测, 从现在到 2030 年, 人工智能使用的增加可以使 GDP 增长 3.1% 到 4.4%, 同时将能源部门的碳排放减少 2.2% (Microsoft and PwC, 2019)。人们还需要更深入的研究来理解和确认数字设备的能源影响和经济影响之间的关系, 到那时, 才能更好地判断数字化对全球能源强度的下降究竟起促进还是阻碍作用。

参考文献

ACEA (European Automobile Manufacturers Association) (2019), *The Automobile Industry Pocket Guide Book 2018/2019*, www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2019-2020.pdf.

ADB (Asian Development Bank) (2019a), *People's Republic of China: Input-Output Economic Indicators* (database), ADB Data Library (website), <https://data.adb.org/dataset/peoples-republic-china-input-output-economic-indicators> (accessed on 12 August 2019).

ADB (2019b), *India: India-Output Economic Indicators* (database), ADB Data Library (website), <https://data.adb.org/dataset/india-input-output-economic-indicators> (accessed on 20 August 2019).

ADB (2019c), *Indonesia: Input-Output Economic Indicators* (database), ADB Data Library (website), <https://data.adb.org/dataset/indonesia-input-output-economic-indicators> (accessed on 2 August 2019).

- Aslan, J. et al. (2017), Electricity intensity of internet data transmission: Untangling the estimates. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 22, No. 4, pp. 785-798, <https://doi.org/10.1111/jiec.12630>.
- Barnett, T. et al. (2019), *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022*, Cisco, www.cisco.com/c/dam/m/en_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/knowledge-network-webinars/pdfs/1211_BUSINESS_SERVICES_CKN_PDF.pdf.
- Cisco (2018), *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021* (white paper), www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf.
- Cisco (2016), *The Zettabyte Era: Trends and Analysis*, (white paper, July 2016), <https://webobjects.cdw.com/webobjects/media/pdf/Solutions/Networking/White-Paper-Cisco-The-Zettabyte-Era-Trends-and-Analysis.pdf>.
- Consumer Technology Association. (2019), *Internet Service Providers and Device Manufacturers Exceed Energy Efficiency Commitments*, www.cta.tech/News/Press-Releases/2019/August/Internet-Service-Providers-and-Device-Manufacturer.aspx.
- Darido, G., M. Torres-Montonya and S. Mehndiratta (2009), *Urban Transport and CO₂ Emissions: Some Evidence from Chinese Cities* (Working Paper, June 2009), <http://documents.worldbank.org/curated/en/594771468024850796/pdf/557730WP0P11791June020091EN105jan10.pdf>.
- EIA (U.S. Energy Information Administration) (2018), U.S. households are holding on to their vehicles longer, *Today in Energy*, www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36914.
- Fehske, A. et al. (2011), The global footprint of mobile communications: The ecological and economic perspective, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 8, pp. 55-62, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5978416>.
- Fiorello, D. et al. (2016), Mobility data across the EU 28 member states: Results from an extensive CAWI survey, *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, pp. 1104-1113, <https://core.ac.uk/download/pdf/82726264.pdf>.
- Goldman Sachs (2017), *Rethinking Mobility*, https://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Rethinking%20Mobility_GoldmanSachsMay2017.pdf.
- GSMA (GSM Association) (2012), *Mobile's Green Manifesto 2012*, www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/06/GSMA2012_Report_MobilesGreenManifesto.pdf.
- Horner, N. C., A. Shehabi and I. L. Azevedo (2016), Known unknowns : indirect energy effects of information and communication technology. *Environmental Research Letters*, Vol. 11, No. 10, pp. 1-20 <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/103001>.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2019), Quarterly National Accounts (database). Brasilia: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brazilian Institute of Geography and Statistics)(accessed on 5 July 2019)
- IEA (International Energy Agency) (forthcoming), *World Energy Outlook 2019*, IEA, Paris.
- IEA (2019a), *World Energy Balances 2019* (database), from www.iea.org/statistics, <https://doi.org/10.1787/3a876031-en>.
- IEA (2019b), *Energy Efficiency Indicators 2019* (database), www.iea.org/statistics/efficiency (accessed on 10 September 2019).
- IEA (2019c), Global Buildings Sector Model, *Energy Technology Perspectives* (website), www.iea.org/etp/etpmodel/buildings/.
- IEA (2019d), Mobility Model (database), retrieved from www.iea.org/etp/etpmodel/transport (accessed on 13 September 2019).
- IEA (2019e), *The Future of Rail: Opportunities for Energy and the Environment*, www.iea.org/futureofrail/, <https://doi.org/10.1787/9789264312821-en>.

- IEA (2019f), *The Future of Cooling in China: Delivering on Action Plans for Sustainable Cooling*, www.iea.org/publications/reports/TheFutureofCoolinginChina/, <https://doi.org/10.1787/fd5f242d-en>.
- IEA (2019g), Data centres and data transmission networks, retrieved from *Tracking Clean Energy Progress* (website), www.iea.org/tcep/buildings/datacentres/.
- IEA (2018a), *Global EV Outlook 2018*, www.iea.org/gevo2018/, <https://doi.org/10.1787/9789264302365-en>.
- IEA (2018b), *The Future of Cooling: Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning*, <https://doi.org/10.1787/9789264301993-en>.
- IEA (2017), *Digitalization and Energy*, www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf.
- IEA and ICCT (2019), *Fuel Economy in Major Car Markets: Technology and Policy Drivers 2005-2017*, <https://webstore.iea.org/fuel-economy-in-major-car-markets>.
- IHS Markit (2018), *Vehicle Registrations and Other Characteristics at Model Level* (database) (accessed on 24 September 2019).
- IMF (International Monetary Fund) (2019), GDP based on PPP, share of world, *IMF DataMapper* (website), www.imf.org/external/datamapper/PPPSH@WEO/OEMDC/ADVEC.
- INDEC (*Instituto Nacional de Estadística y Censos* – National Institute for Statistics and Censuses) (2019), *Macroeconomic Aggregates (GDP)* (database), retrieved from <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-9-47> (accessed on 29 June 2019).
- JATO (2019a), Global car market remains stable during 2018, as continuous demand for SUVs offsets decline in sales of compact cars and MPVs, *Media & Insight* (web page), retrieved from www.jato.com/global-car-market-remains-stable-during-2018-as-continuous-demand-for-suvs-offsets-decline-in-sales-of-compact-cars-and-mpvs/.
- JATO (2019b), U.S. new vehicle sales saw a slight increase in 2018 as SUVs continue to see market share growth, *Press Releases* (web page), retrieved from www.jato.com/usa/u-s-new-vehicle-sales-saw-a-slight-increase-in-2018-as-suvs-continue-to-see-market-share-growth/.
- JATO (2019c), CO₂ emissions rise to highest average since 2014, as the shift from diesel to gasoline continues, *Media & Insight* (web page), retrieved from www.jato.com/co2-emissions-rise-to-highest-average-since-2014-as-the-shift-from-diesel-to-gasoline-continues/.
- Kamiya, G. (2019), Commentary: Bitcoin energy use – mined the gap, retrieved from IEA website at: www.iea.org/newsroom/news/2019/july/bitcoin-energy-use-mined-the-gap.html.
- Koomey, J. and S. Naffziger (2016), Energy efficiency of computing: what's next? *Electronic Design* (website), www.electronicdesign.com/microprocessors/energy-efficiency-computing-what-s-nex.
- Koomey, J. and S. Naffziger (2015), Moore's Law Might Be Slowing Down, But Not Energy Efficiency, retrieved from *IEEE Spectrum* website at: <https://spectrum.ieee.org/computing/hardware/moores-law-might-be-slowing-down-but-not-energy-efficiency>.
- Koomey, J. et al. (2011), Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing, *IEEE Annals of the History of Computing*, Vol. 33, No. 3, pp. 46-54 <https://doi.org/10.1109/MAHC.2010.28>.
- Malmödin, J. and D. Lundén (2018), The energy and carbon footprint of the global ICT and E & M sectors 2010-2015, *Sustainability*, Vol. 10, No. 9, p. 3027, <http://dx.doi.org/10.3390/su10093027>.
- Microsoft and PwC (2019), *How AI Can Enable a Sustainable Future*, www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/how-ai-can-enable-a-sustainable-future.pdf.
- OICA (*Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles* – International Organization of Automobile Manufacturers) (2019), *2018 Production Statistics*, retrieved from

www.oica.net/category/production-statistics/2018-statistics/.

Quantec (2018), *Industry Service - RSA Standard Industry - Input Structure at Basic Prices* (database), retrieved from www.easydata.co.za/ (by subscription only) (accessed on 5 July 2019).

Richter, W. (2018), America's cars and trucks are getting older, Business Insider, www.businessinsider.com/americas-cars-and-trucks-are-getting-older-2018-8?IR=T.

Shehabi, A., B. Walker, and E. Masanet (2014), The energy and greenhouse-gas implications of internet video streaming in the United States, *Environmental Research Letters*, Vol. 9, No. 5, <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/5/054007>.

StatsSA (2019), *Gross Domestic Product (GDP), 4th Quarter 2018*, retrieved from www.statssa.gov.za/?page_id=1854&PPN=P0441&SCH=7645.

Stobbe, L. et al. (2015), *Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland* [Development of ICT-related electricity demand in Germany], Fraunhofer-Institut, Berlin, Germany, www.digitalstrategie-hessen.de/mm/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.pdf.

Sumits, A. (2015), The history and future of internet traffic, *Cisco Blogs* (website), Cisco, <https://blogs.cisco.com/sp/the-history-and-future-of-internet-traffic>.

Sun, Y. and B. Goh (2019), China car sales hit reverse for first time since 1990s, Reuters, www.reuters.com/article/us-china-autos/china-car-sales-hit-reverse-for-first-time-since-1990s-idUSKCN1P805.

Timmers, M. P. (2015), *World Input Output Database* (database), www.wiod.org/home (accessed on 5 October 2019).

Urban, B. et al. (2014), *Energy Consumption of Consumer Electronics in U.S. Homes in 2013*, (Final Report to the Consumer Electronics Associations [CEA], June 2014), Fraunhofer USA Center for Sustainable Energy Systems, <http://assets.fiercemarkets.net/public/sites/energy/reports/cefraunhoferreport.pdf>.

US DoE (2018), Average vehicle occupancy remains unchanged from 2009 to 2017, Fact of the Week #1040, retrieved from www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1040-july-30-2018-average-vehicle-occupancy-remains-unchanged-2009-2017.

Verizon (2012), *2012 Corporate Responsibility Supplement*, www.verizon.com/about/sites/default/files/2012-verizon-corporate-responsibility-supplement.pdf.

World KLEMS Data (2019), *Russia* (database). Retrieved from www.worldklems.net/data.htm (accessed on 5 September 2019).

Yu, S. et al. (2019), Loss of work productivity in a warming world: Differences between developed and developing countries, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 208, pp. 1219-1225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.067>.

III. 2018 年技术能效进展

简介

要在 2040 年实现一个更加高效的世界，各部门都存在可供挖掘的机会。抓住这些机遇意味着：

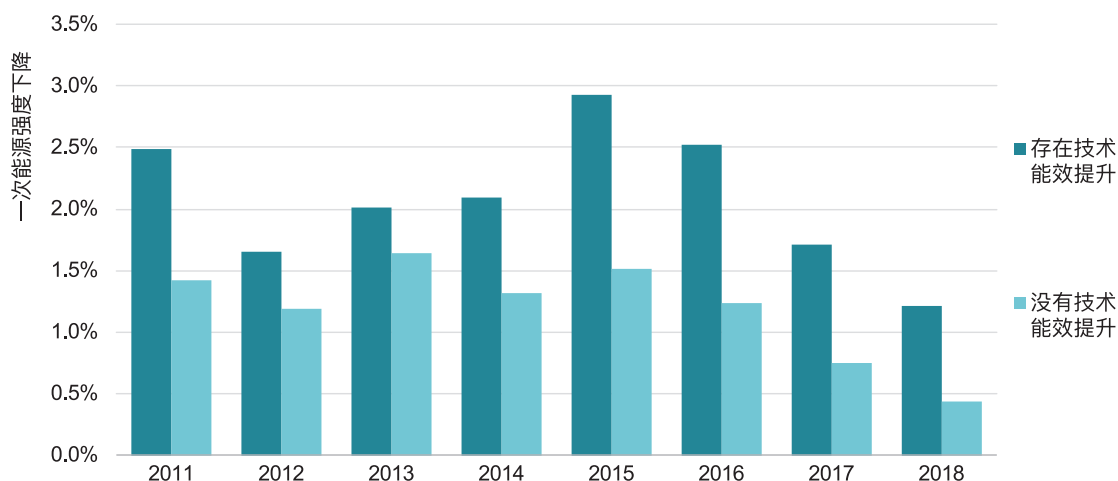
- 在交通活动水平翻番的情况下，使现有的全球交通能耗保持不变；
- 在全球建筑面积增加 60% 的情况下，维持现有的建筑能耗水平；
- 让每一单位能源消耗所制造的工业产值增加一倍 (IEA, 2018a)。

正如《能效 2018》报告中曾提到的那样，实现上述目标还能使一次能源强度平均每年降低 3%，符合《巴黎协定》和联合国可持续发展目标 (SDGs) 等全球性气候和能源目标的需要 (IEA, 2018a)。当前实际的一次能源强度下降速度尚未达到这一水平，而这恰好证明了大量潜力尚待挖掘。

第二章解释了能源强度下降减缓，一部分是因为技术能效提升的作用被近年来引起能耗增加的结构因素削弱了。在这一背景下，将来在采取手段降低经济活动的净能源强度时，必须仔细考虑技术能效措施与活动水平和结构因素的相互作用。

虽然如此，技术能效提升仍然是能源强度下降的主要驱动力。2015 年至 2018 年期间发生的技术能效提升在 2018 年为全球节省了 4% 的额外能耗，几乎相当于同年法国和意大利的一次能源需求总量之和。这些技术能效提升让 2018 年全球一次能源强度的下降速度提高了一倍以上 (图 3.1)。

图 3.1 技术能效对一次能源强度下降的影响 (2011–2018)



IEA (2019). All rights reserved.

这说明，无论活动水平和结构效应如何变化，更加积极地提升技术能效对加快能源强度下降而言都是不会出错的策略。

第三章将通过分析近期趋势，解读促进技术能效提升的各个原因在 2018 年发生了怎样的变化，借此试图找出撬动技术能效继续提升的潜在杠杆。政策往往为人们选择更加高效的技术和行为起到重要的激励作用，与此同时，其他一些因素，例如技术突破和技术及能源价格波动，也会对能效提升进展产生影响。因此本章除分析政策外，还会探讨近期的能源技术格局，并对能效领域的投融资进行追踪讨论。

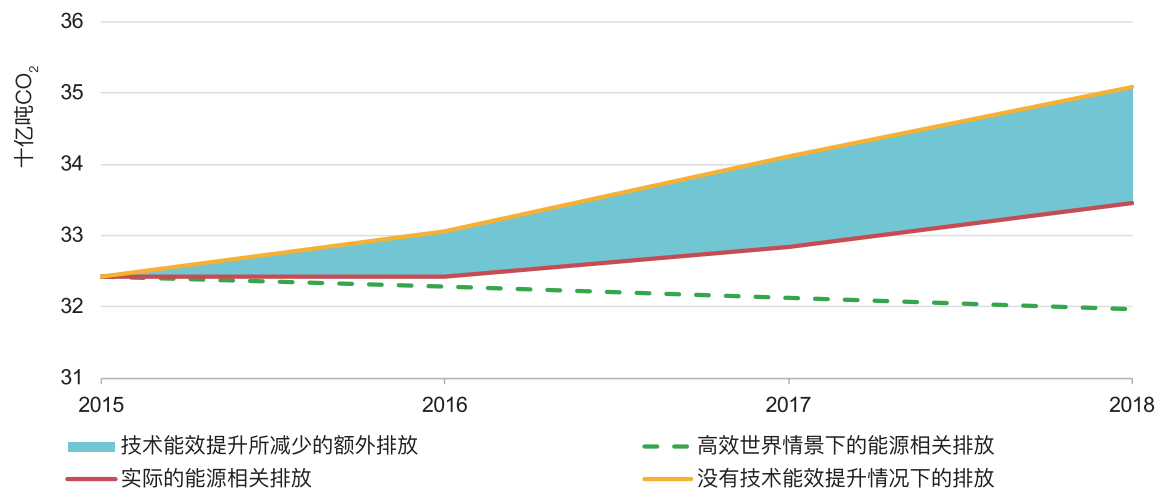
技术能效提升仍有多重效益

全球技术能效提升无论在气候领域、国家预算方面，还是从用能者角度，都创造了重要的效益。

2015 年至 2018 年期间发生的技术能效提升累计减少了超过 35 亿吨 CO₂ 当量的额外碳排放，比同时期日本能源相关的累计碳排放还要多。这些能效提升为缩小能源相关的实际碳排放和达成全球排放目标所需水平之间的差距做出了重大贡献（图 3.2）。

然而由于能源强度下降速度变慢，能源部门的实际排放曲线与高效世界情景（EWS）存在差距。这说明人们仍在继续错失通过能效提升进行碳减排的重要机会，而这本可以为实现全球应对气候变化目标做出巨大贡献。

图 3.2 2015–2018年能源相关的温室气体排放实际值和排除技术能效提升影响的排放值，以及技术能效提升所减少的额外排放



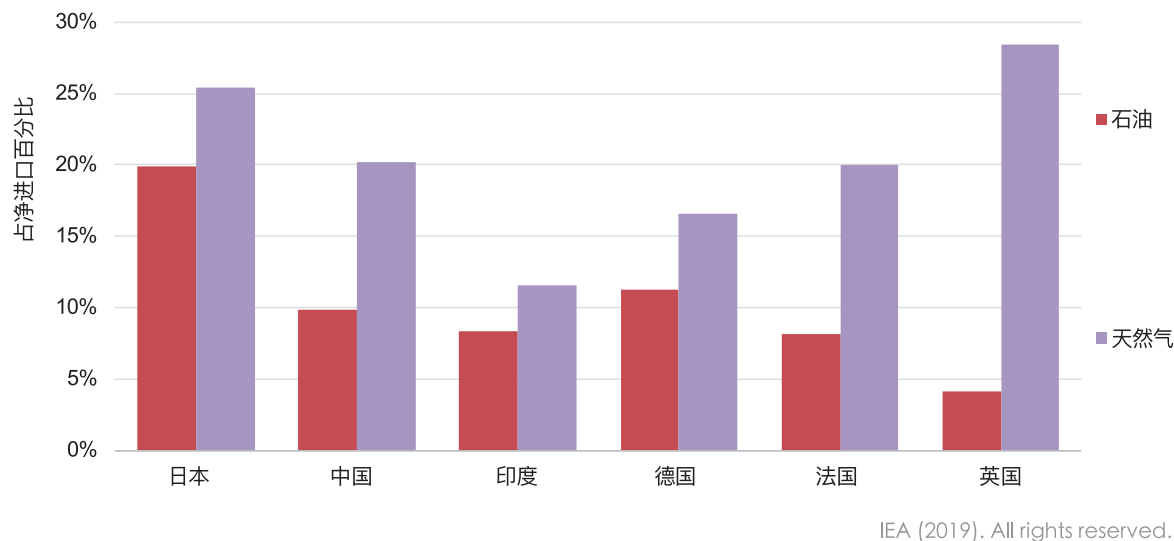
IEA (2019). All rights reserved.

注：EWS为高效世界情景。图中展示的EWS排放曲线仅考虑采取目前所有可用且经济有效的能效提升措施所带来的影响。如果考虑可再生能源应用增加和其他减排技术，能源相关的碳排放将会更低。

来源：Adapted from IEA (2019b) *Energy Efficiency Indicators 2019* (database); IEA (2019a) *World Energy Balances 2019* (database); IEA (2019c) *Energy Technology Perspectives* (buildings model); IEA (2019d), *Mobility Model* (database); Timmers et al. (2015), *World Input Output Database* (database); IBGE (2019), *Quarterly National Accounts* (database); ADB (2019a), *India: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019b), *People’s Republic of China: Input-Output Economic Indicators* (database); ADB (2019c), *Indonesia: Input-Output Economic Indicators* (database); StatsSA (2019), *Gross Domestic Product (GDP), 4th Quarter 2018* (database); Quantec (2018), *Industry Service – RSA Standard Industry – Input Structure at basic prices* (database); INDEC, Republica Argentina (2019), *Macroeconomic aggregates (GDP)* (database); World KLEMS Data (2019), *Russia* (database); IEA (2019e), *CO₂ emissions from fuel combustion*; IEA (2019k), *Global Energy and CO₂ Status Report*.

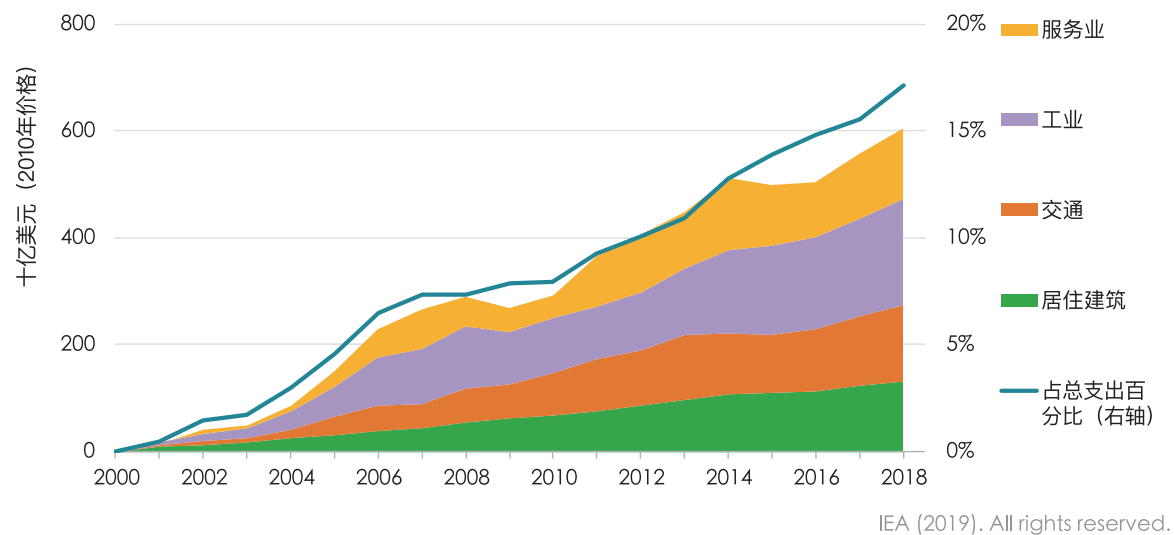
从全球来看，2000 年以来的技术能效提升在 2018 年节省了约 13% 的额外终端能耗，如其近似换算为一次能源节能量，则相当于同年印度、德国、巴西、加拿大四国的一次能源需求总量之和。对依靠能源进口来满足本土需求的国家而言，技术能效提升的一个重要好处就是减少了额外的能源进口需求及相关费用，不仅加强了能源安全，还有利于实现更好的贸易平衡。

图 3.3 2000年以来的技术能效提升在2018年节省的额外石油和天然气进口



技术能效提升对全球能源进口需求的削减作用在石油上体现最为明显，2000 年以来的技术能效提升在 2018 年节省了超过 1.65 亿吨油当量的额外石油进口，接近同年日本、加拿大、意大利三国交通能耗总量之和。其中，仅仅是在 IEA 成员国就相当于节省了 500 亿美元以上的相关开支。近期天然气市场的加速扩大使技术能效提升在天然气进口上的影响增长得比石油领域的还要快。2000 年以来的技术能效提升在 2018 年为全球削减了近 1.15 亿吨油当量的额外天然气进口需求，超过了同年欧盟居住建筑的天然气消耗总量。

图 3.4 2000年以来的能效提升为各部门节省的能源开支



在国家层面，日本 2000 年以来的技术能效提升在 2018 年为其节省了 20% 的额外石油进口和 25% 的额外天然气进口。这些节能来自轿车和货车的能效提升，以及室内供暖和工业过程的能效提升。欧洲和中国也通过持续的建筑性能改善和室内供暖能效提升节省了大量的额外天然气进口（图 3.3）。

技术能效提升也在各部门为用能者持续创造财务上的效益。2000 年以来的技术能效提升在 2018 年为 IEA 成员国节省了 6000 亿美元以上的能源开支，其中超过 1000 亿美元来自 2015 年以来的技术能效提升（图 3.4）。技术能效提升在各部门都产生了经济效益，但在近期的交通部门尤为明显，这主要是因为油价的上涨。

能效的政策驱动

政府政策在促进各终端部门高效电器、设备、建筑和车辆的发展和应用中起着关键作用。《能效 2019》追踪记录全球范围内实施综合性一揽子（能效）政策的进展，并对三类政策进行深度分析：强制性政策、节能目标责任制和激励政策。¹

各国政府同时还实施了一系列其他的重要政策和项目（包括信息提供、培训和能力建设等项目），工业部门也在通过节能自愿承诺来提升能效。

2018-2019 政策要点

政策支持对促进能效提升至关重要。事实证明，法规、市场手段、激励政策、能力建设和信息提供的组合政策能够带来大规模的能效提升，尤其是存在综合性国家战略和目标作为支撑的情况下。2018 年 1 月至 2019 年 6 月期间，一些政策发生了重要的变化。

空调政策取得积极进展

去年全球范围内采纳的很多政策都聚焦在空调能效，面对未来制冷电耗还将继续增加的预测，这显得非常重要（IEA, 2018b）。首次引入空调最低能效标准（MEPS）的国家包括智利、阿曼、肯尼亚、摩洛哥、尼日利亚和卢旺达。卢旺达制定了综合性的《国家制冷计划》，覆盖空调和冰箱，并将在 2021 年实施。澳大利亚、中国和墨西哥等已经实施空调最低能效标准的国家进一步收紧了标准中的要求。摩尔多瓦引入了空调能效相关规范，为能效标准的制定做准备。2019 年 3 月，印度发布了《印度制冷行动计划》，提出未来二十年内制冷能耗降低 25% 到 40% 的目标。同年 6 月，中国发布《绿色高效制冷行动方案》，关键内容包括将针对制冷的最低能效标准升级至发达国家水平或以上、支持高效制冷技术发展，以及加强制冷相关的节能改造（IGSD, 2019）。

作为一个公益联合项目，“基加利制冷能效项目”（K-CEP）协同《蒙特利尔议定书基加利修正案》，共同致力于支持发展中国家完成向气候友好、经济适用的高效制冷解决方案的转型（K-CEP, 2019）。

¹ 各类政策的详细描述参见附录 B。

交通燃油经济性标准将在某些市场得到提高

一些国家和地区，例如欧盟和日本，对燃油经济性标准进行了升级，同时中国和墨西哥也在积极考虑 (IEA and ICCT, 2019; Nikkei Asian Review, 2019)。美国对轿车和轻型卡车的能效标准进行了收紧并已投入实施。但如同《能效 2018》报告中所提到的，美国政府提议公司平均燃油经济性 (CAFE) 标准在 2021 年至 2026 年期间冻结在 2020 年水平（不进行升级）(NHTSA, 2018)。

货车能效标准也在提升（收紧）。2019 年欧洲采纳重型车燃油经济性标准，成为在 2030 年前改善燃油经济性的有效途径。日本升级了货车能效标准并已投入实施，新标准效力将持续到 2025 年。中国第三阶段的重型车能效标准也已在 2019 年开始生效 (IEA, 2019f; IEA, 2019g)。

欧洲综合性能效政策框架即将生效

“为所有欧洲人的清洁能源” (*Clean Energy for all Europeans*) 一揽子政策由欧盟在 2018 年 5 月到 2019 年 5 月期间通过的八项法案组成，目的是为了践行欧盟的长期战略愿景，并实现欧洲在气候变化《巴黎协定》中许下的承诺。

《能效 2018》报告中曾提及，《建筑能效指令》是该一揽子政策的重要组成部分，它规定 2050 年欧盟的所有建筑必须达到近零能耗。从 2018 年 7 月 9 日起，欧盟成员国有 20 个月的时间对该项指令作出响应，因此在越来越接近最后期限的未来六个月，各成员国预计将会出现重要的政策变化。

2018 年 12 月，欧盟通过了组成该一揽子政策的另一项关键法案。《能源效率指令》设定了新的约束性能效目标，到 2030 年，要让实际能效水平在 2007 年对其进行模拟的预测值基础上提升 32.5%。《能源效率指令》保留了 2020 年前每年面向终端客户的能源销售量减少 1.5% 的目标，但要达成 2030 年节能 32.5% 的目标，欧盟各国在 2021 年到 2030 年期间每年还需要节能 0.8% (Directive (EU) 2018/2002)。

南非：碳价机制启动

2019 年 5 月，非洲最能源密集的经济体——南非，引入了碳税。这一政策让南非成为

新兴经济体中，少数几个拥有法定碳价的国家之一。第一阶段将持续到 2022 年 12 月，每吨二氧化碳的价格约为 8 美元（120 南非兰特），但作为短期过渡性的支持，很多行业可以享受碳税优惠。虽然如此，但在试点阶段（即第一阶段）后碳价预计将以每年 2% 的速度上涨，同时逐步取消行业支持。

印度：新的居住建筑节能法案

继 2018 年更新针对商业建筑的《建筑节能法案》（ECBC）之后，印度电力部又在同年 12 月发布了《居住建筑节能法案》（ECBC-R）——*ECO Niwas Samhita*。印度政府预计伴随这一法案的实施，到 2030 年平均每年能实现 125 TWh 的节电量，相当于印度居住建筑目前年度耗电量的一半（India Ministry of Power, 2018）。

澳大利亚：建筑能效评级制度进入新阶段

2019 年 4 月，澳大利亚发布了新一阶段的“澳大利亚国家建筑环境评价体系”（下文简称 NABERS）。延续过去二十年所取得的成功——共计节省能源开支 7.92 亿美元，减少 CO₂ 排放 540 万吨（NABERS, 2018）——新一阶段的 NABERS 体系将对项目进行重大扩展，以此将澳大利亚所有商业建筑的环境影响降至零。升级后的 NABERS 体系在未来五年将覆盖更多的建筑类型，包括学校、养老院、工业仓库、零售商店等，并对它们进行能效评估（NABERS, 2019）。此外，NABERS 体系还就其针对办公建筑能效评估的强制信息披露项目——“商业建筑披露项目”展开了讨论，考虑是否将强制信息披露应用于其他建筑类型的能效评估。

巴西：节能城市融资工具——FinBRAZEEC

FinBRAZEEC 项目旨在促进巴西城市地区能效项目的社会融资，并特别关注节能路灯和工业能效领域。融资方致力于通过向商业贷款方申请联合贷款的方式降低信用风险，并通过相关研究和能力建设为融资项目提供技术支持。FinBRAZEEC 项目收到了来自国际复兴开发银行 2 亿美元的支持，并由巴西国有的联邦储蓄银行负责其实施（World Bank, 2018b）。2018 年到 2019 年期间，FinBRAZEEC 支持了几个已有项目，帮助它们扩大了影响，包括 PROCEL Reluz（国家电力节能计划路灯项目）、巴西生产力提升计划（工业），以及能效战略联盟项目（工业）。

阿塞拜疆：能效提升法案

2018 年，在 IEA 新兴经济体能效（E4）项目的支持下，阿塞拜疆能源部制定了全国第一部综合的框架性能效法律。该法案旨在提升建筑能效，解决现有存量建筑冬季供暖能耗高的问题。随着这部法律的制定，阿塞拜疆迈出了能效提升的重要一步，接下来还将继续前进，制定全国第一套《国家能效行动计划》（EU Neighbours, 2018）。

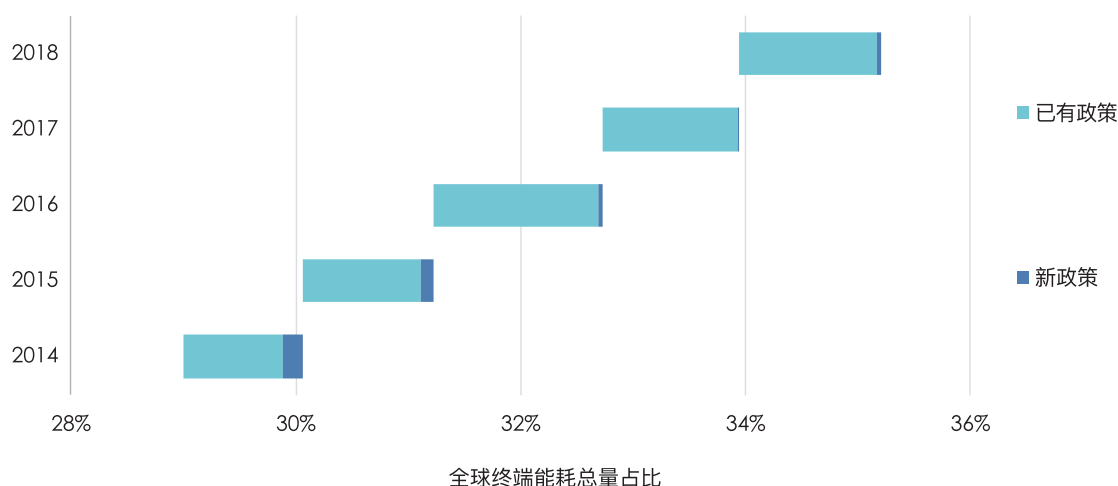
强制性政策

2018 年，全球 35% 的能耗受到强制能效政策的监管（即政策覆盖率 35%）。² 这一年强制政策的覆盖率增长与过去十年的年均增长持平，增长率为 1.4%（图 3.5）。

过去五年政策覆盖率的增长主要来自存量设备的更新换代，而新设备受到能效政策的监管，这一趋势也延续到了 2018 年。与之前两年相同，政策覆盖率增长中，只有极少部分来自新政策的出台，这一年比重仅为 2%。2018 年促进政策覆盖率增长的新政策包括印度重型车燃油经济性标准、智利和其他国家空调最低能效标准和新加坡电机最低能效标准的实施。

作为强制性能效政策覆盖率居全球第一的国家，中国 2018 年政策覆盖率为 62%，较上年增长 2 个百分点。欧盟、加拿大、墨西哥、韩国和南非的政策覆盖率也有明显增加，分别增长了 3 个百分点、3 个百分点、2 个百分点、1.5 个百分点和 1 个百分点。

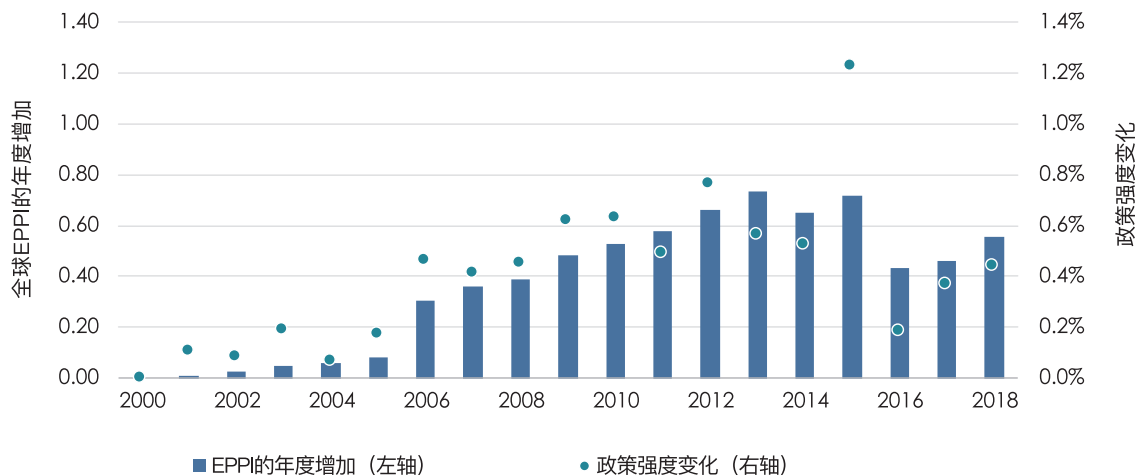
图 3.5 新政策和已有政策带来的受强制能效政策法规监管的全球能耗百分比增加



IEA (2019). All rights reserved.

² 强制性政策和其他政策类型的定义参见附录 B。

图 3.6 2000–2017年能效政策进展指数 (EPPI) 和强制性政策强度的年度变化



IEA (2019). All rights reserved.

强制性政策的强度（严格程度）增加了 0.4% 以上，较前两年增长水平略有提升，然而还是低于再之前五年年均 0.72% 的增速。这表明，在引入新的强制性政策的同时，还需要开展更多的工作来确保政策效力。2018 年的政策强度提升主要来自美国商用和乘用车轻型车燃油经济性标准的升级，以及加拿大中央供暖和制冷系统最低能效标准的收紧。

在强制性政策覆盖率和强度变化的共同作用下，2018 年能效政策进展指数 (EPPI) —— IEA 用来衡量全球强制能效政策进展的主要指标，增加了近 0.6% (图 3.6)。³ EPPI 在非居住建筑部门的增加最为显著，特别是由于非居住建筑部门供暖和制冷政策增加。

交通部门涌现新的强制性政策

过去五年，全球许多国家和地方层面的政策对某些汽车技术所占比重做出了强制规定——零排放汽车 (ZEV) 强制令——或对特定汽车技术发出禁令。这些政策大多聚焦于新登记车辆，但其中也有一些针对所有在用车辆。作为全球唯一一个在国家层面实施强制令的国家，中国为 2020 年设定了具体目标 (IEA, 2018c)。其他国家则是在地方层面实施零排放汽车强制令。美国已有 10 个州实施了强制令 (IEA, 2019f)，加拿大的魁北克省和不列颠哥伦比亚省亦然。另一些国家，如荷兰，以及许多城市，都为未来十年推广电动公共汽车的应用设下了目标。

³ EPPI 考虑 2000 年以来受强制性政策法规监管的能耗百分比以及政策强度提升的共同作用。对某特定国家或地区来说，EPPI 每增加 1 分，意味着该国家或地区所有用能车辆、建筑和设备存量的能效水平优于 2000 年水平 1%。关于 EPPI 计算过程的解释参见 <https://www.iea.org/efficiency2019>。

伴随着国家层面甚至超国家层面的电动车推广应用目标，一些国家的政府还提出通过禁止销售或禁止车辆登记的方式，在规定时间内将内燃机（ICE）汽车从新车市场上彻底淘汰（IEA, 2018c）。截至 2019 年 8 月，发布内燃机汽车禁令的国家已增至 15 个（IEA, 2019f; SLoCAT, 2019）。此外，一些地方行政部门也提出限制内燃机汽车进入某些特定区域，如禁止进入城市中央商务区。⁴ 2019 年全球实施部分内燃机汽车禁令的城市达到了 19 个，几乎涉足了所有大洲，但大多为欧洲城市（IEA, 2018c）。越来越多的城市对内燃机驱动的两轮车使用发出了禁令，中国作为先锋，已有 3 亿辆电动两轮车上路行驶（IEA, 2019f）。像阿姆斯特丹一样的欧洲城市则将内燃机汽车禁令限制在两冲程发动机驱动的车辆范围内（Municipality of Amsterdam, n.d.）。

能效目标责任

能效目标责任制是 IEA 所追踪记录的主要市场手段（图 3.7）。⁵ 这一机制要求能源供应商公司达到指定的能效目标——通常为某一固定节能量，有时也有例外。能效目标责任制的政策进展通过追踪政策覆盖率（受目标责任监管的终端能耗比重）和政策强度（某一年份目标所要求的终端能耗节能比例）的变化来进行衡量。能效目标责任制不包括在 EPPI 范围内。

2018 年，全球范围内的能效目标责任制进展仅发生了微小变化。整体而言，2018 年覆盖率为 18%，与上年基本持平。

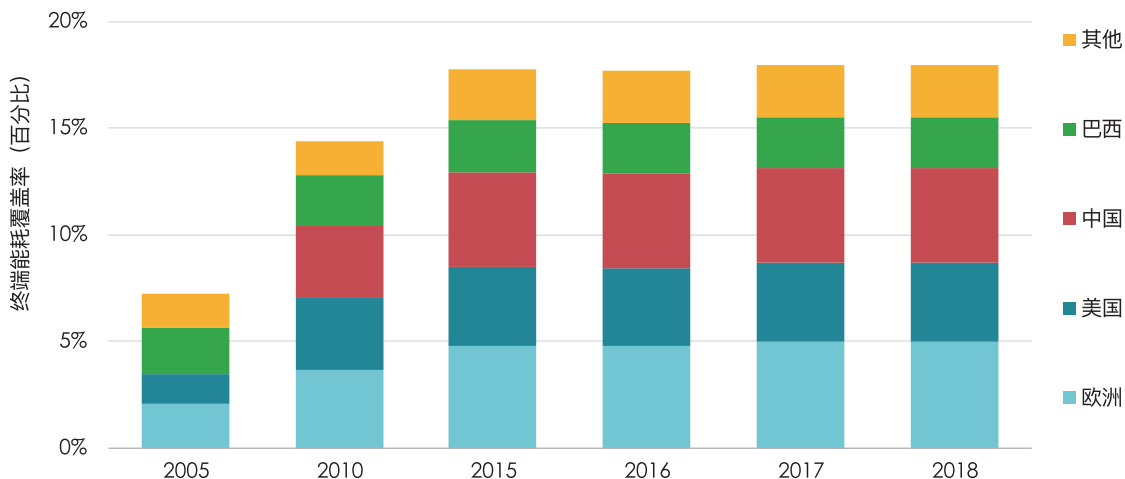
具体来说，目标责任的强度在 2018 年几乎没有变化。美国一些州的节能目标强度提升，但在另一些州却出现了减弱。欧洲方面，法国、希腊和斯洛文尼亚强化了它们的节能目标，另一些国家则维持上一年的水平不变。全球在 2005 年以来的累计节能量⁶ 呈现出显著的国家差异，其中法国累计节能最多（78%），其次是意大利（6%）和丹麦（5%）；而全球实施能效目标责任制的各国平均因此节能 2.5%。

4 对可进入区域的限制随具体情况而发生变化，并且可以适用于地方行政部门所管辖区域内各种比例范围的片区（如市中心的特定区域与 / 或整个大都市区）。

5 能效目标责任制和其他这部分所涉及的政策类型的定义参见附录 B。

6 过去十余年间，能效目标责任制的影响逐年扩大，这不仅是因为政策覆盖率和强度的提高，也是由于很多能效措施具有能够持久发挥作用的特性。例如，一台在 2005 年能效目标责任制激励下购入的节能冰箱，在其整个使用寿命内都在不断创造节能量。

图 3.7 能效目标责任制对终端能耗的覆盖率，按国家/地区

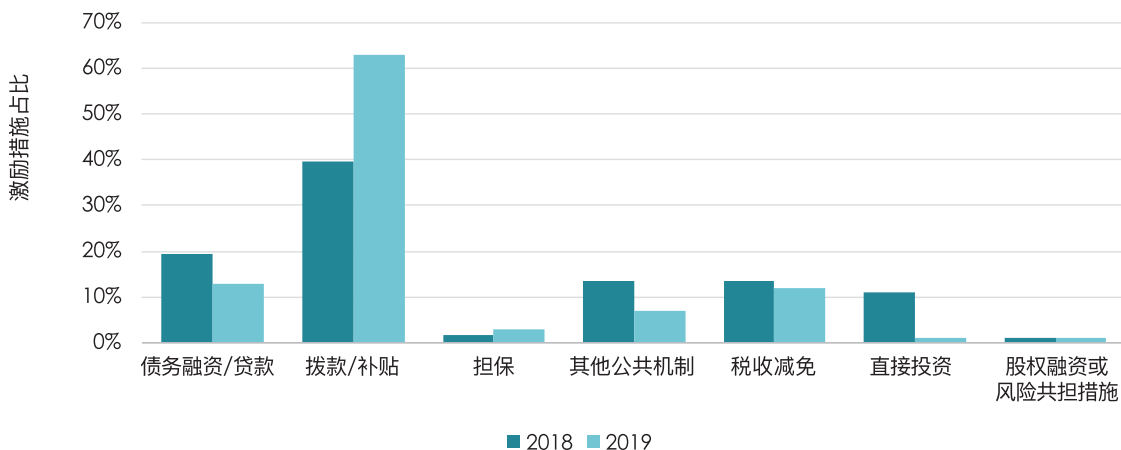


IEA (2019). All rights reserved.

财政激励

共有 17 个国家⁷ 提供了 2018 年用于能效提升财政激励⁸ 的支出数据，共计约 120 亿美元。由于每年提供数据的国家不同，这一数字无法直接和 2017 年的数据进行比较。但不同激励类型的占比可以比较，并且 2018 年的数据显示，政府拨款和补贴仍然是最常见的激励手段 (图 3.8)。

图 3.8 政府的能效激励措施，按激励类型



IEA (2019). All rights reserved.

注：2019 年分析中的国家包括澳大利亚、奥地利、加拿大、捷克、希腊、爱尔兰、意大利、日本、新西兰、挪威、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞士、土耳其、英国和美国。税收减免包括减税、免税、抵税。

7 包括澳大利亚、奥地利、加拿大、捷克、希腊、爱尔兰、意大利、日本、新西兰、挪威、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞士、土耳其、英国和美国。

8 财政激励和本部分提及的其他政策类型的定义参见附录 B。

材料 3.1 欧洲能效激励政策卓有成效

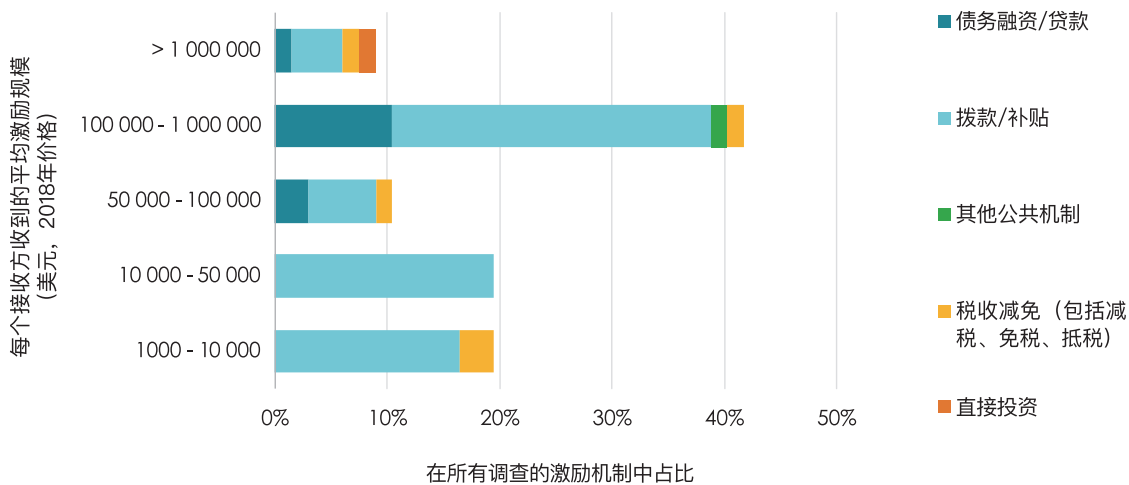
由挪威石油和能源企业 ENOVA 公司管理、挪威气候和能源基金出资的“挪威能效机制”为五个终端用能部门提供补贴。该项目在 2018 年的投资创造了 1,560 吉瓦时 (10^6 千瓦时; 下文简称 GWh) 的节能量, 相当于挪威 97,500 个家庭全年的能耗之和 (Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, 2019)。节能量大部分 (45%) 来自交通部门, 在一定程度上是由于对零排放汽车的大力补贴。

为了提升各个部门的能效, 葡萄牙在《国家能效行动计划》中引入了一系列的激励政策。尤其是“能效基金”(FEE) 项目第 20 号通知 (Call 20) 为居住建筑和服务性建筑中的能效措施提供直接补贴。该项目从 2016 年开始, 目前已经帮助 695 个家庭和 58 栋服务性建筑提升了能效, 达成年节能量 303 吨油当量 (toe)。

意大利通过“生态红利”(Ecobonus) 项目, 给予能效措施其成本 50% 至 75% 的免税额度, 已经帮助近 200 万个家庭提升了能效。去年一年, 在该项目的支持下, 意大利对 240 万平方米 (m^2) 的地面和屋顶、210 万 m^2 墙面、25 万 m^2 的窗和板窗实施了节能改造, 并安装了 6.5 万冷凝锅炉、2.1 万热泵和 5000 个生物质锅炉。2014 年至 2018 年, 该项目累计实现整体节能量 455 万 toe。

2018 年平均每个接收方所获得的激励力度各不相同, 42% 的激励政策为单个接收方提供激励的力度在 10 万到 100 万美元之间 (图 3.9)。这一强度的激励通常出现在工业、商业建筑、公寓大楼以及公共交通等领域的项目中, 反映出政府 1) 更多地激励投放到规模大、影响力高的能效提升项目中或者 2) 更容易接触到这些领域的激励接收方。无论激励的强度如何, 拨款作为主要的政策手段, 依然受到政府的青睐, 尽管这一手段带来的债务融资也最多。至于低强度的激励, 19% 的激励项目平均为每个接收方提供 1,000 到 10,000 美元的激励, 这类激励绝大部分出现在居住建筑部门的项目中。

图 3.9 单个接收方收到的平均激励规模，按激励项目类型（考虑各激励类型的权重）



IEA (2019). All rights reserved.

注：本分析中包括的国家为澳大利亚、捷克、希腊、意大利、爱尔兰、挪威、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞士和美国。

针对电动车的激励扩大

2018 年针对电动乘用车的政府补贴为 150 亿美元⁹，较上年增长 72%（Paoli and Bennett, 2019）。用于激励的支出增长与同期 68% 的电动车销量增加近似同步。由于这一时期特斯拉 Model 3 在北美的发售和中国消费者对高端电动车的偏好加强，每售出一辆电动车所需要的经济支出增加了。随着在美国、中国等关键市场中，政府开始调整电动车激励，降低激励开支在政府预算中的占比并引导市场向特定的车辆类型转化，政府用于电动车激励的开支增长趋势预计将在 2019 年开始变得平缓 (IEA, 2019f)。

对电动两轮车和三轮车的激励也在扩大。例如，印度开展了新一阶段的“加快应用和制造混合动力及电动车”（FAME II）激励项目，项目从其四年总计 14.2 亿美元的预算中，留出部分为商用电动三轮车提供经济支持。

投融资

IEA 的高效世界情景显示，为了完全实现能效的潜力，到 2025 年全球能效投资需要翻一番，并且在 2025 到 2040 年期间还要再翻一番 (IEA, 2018a)。尽管一些地区颇具进展，2018 年全球能效投资依然在整体上落后于高效世界情景的设想。

9 该数据不包括 42 页提到的 120 亿美元，采用的统计方法也不同。

盘点 2018 年全球在能效领域以下四个关键方面投入了多少资金，以及政策和标准是如何促进这些投资的，有助于准确了解能效融资的趋势：

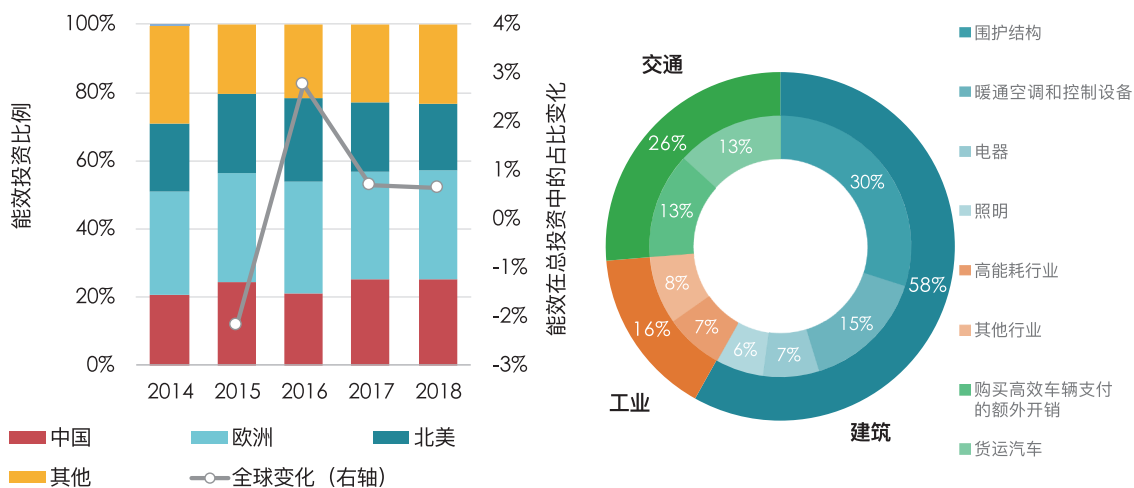
- 对更高效技术的增量投资；
- 节能服务公司 (ESCOs) 的项目投资；
- 绿色抵押贷款、绿色债券和基于所有权的偿付机制；
- 国际金融机构 (IFIs) 的应对气候变化投资。

本部分还将就政策和标准对能效投资的促进作用展开讨论。

增量投资

涉及到对更高效技术的增量投资，2018 年公司、政府、个人的表现各异。选择购买一台高效率的洗衣机而不购买能效较低的，就是对更高效技术进行增量投资的例子。¹⁰ 与 2017 年用于建筑、交通和工业部门的 2360 亿美元增量能效投资相比 (IEA, 2018a)，2018 年增幅不到 1%，为 2400 亿美元 (IEA, 2019i)。这样的投资增长远远不足以令全球抓住目前所有经济适用的能效机遇 (IEA, 2018a)。

图 3.10 能效投资，2014–2018 年按地区 (左) 和 2018 年按部门 (右)



IEA (2019). All rights reserved.

¹⁰ 界定和衡量能效投资比供能投资要困难得多。IEA 将能效投资定义为：与获取提供同样服务——如照明、供暖或（车辆）机动——的其他设备（基准）相比，获取能耗更低的设备所产生的额外 / 增量开支。能效更高的选项的额外 / 增量成本仅占某个能源相关的商品或服务总花费中很小的一部分。此外，投资和消费行为由数百万计的家庭和公司发出，通常不牵涉外部融资。在这一过程中，IEA 尽可能地利用了高能效商品的销售数据和投资数据进行了自下而上的分析。

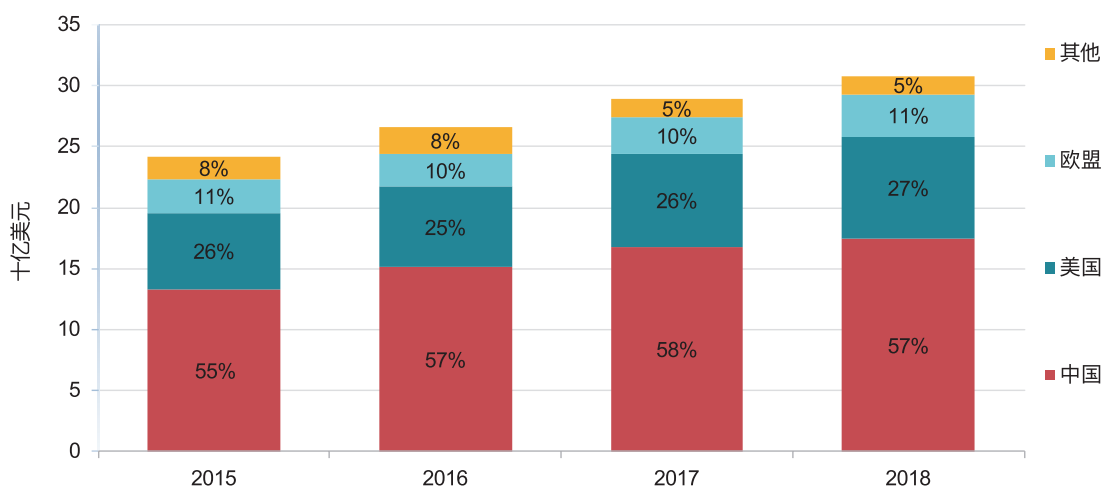
在这样的全球背景下，部门与部门之间、发达国家和新兴经济体之间的趋势又不尽相同（图 3.10）。以建筑部门为例，2018 年能效投资较上年减少了 2%，然而其依然是吸引全球能效投资最多的部门，投资额为 1390 亿美元。

中国和印度 2018 年工业能效投资分别增加了 12% 和 5%，但在美国则延续了 2015 年以来的下降趋势。2018 年全球交通能效投资仅有微弱增幅，主要在货运领域，但同时能效较差的轻型卡车销量也有增加（IEA, 2019i）。

节能服务公司

节能服务公司通过签订与节能表现紧密相关的长期合同开展能效项目，在促进能效投资中起着关键性的作用。项目的先期成本由 ESCOs 直接出资或经由第三方融资，客户不需要承担。节能改造的先期成本往往是项目投资的一大壁垒，而长期合同允许 ESCOs 进行更加综合全面的能效提升，因此这样的合同结构在 ESCO 融资模式的成功中有着至关重要的地位。

图 3.11 2015–2018 年全球 ESCO 市场增长



IEA (2019). All rights reserved.

注：图表结果基于 2018 年面向各 ESCO 协会、国际机构和专家开展的一系列调查和访谈，以及案头研究。由于可用数据有限，2018 年美国的年增长为估算数据。

IEA 对全球 ESCO 市场的关键趋势和发展进行了追踪，全球市场规模由 2017 年的 286 亿美元增长为 2018 年的 309 亿美元（图 3.11）。其中中国份额仍然保持领先（材料 3.2）。

对想要通过 ESCOs 促进能效投资增长的政策制定者来说，新兴经济体和发达国家都有可以借鉴的经验。例如一些国家建立了 ESCO 协会，协会成为了政策制定者重要的信息来源，并且有助于吸引金融机构对 ESCO 行业的关注。协会还帮助 ESCO 公司代表和客户与 / 或

公务人员对接，支持重要项目工具——如标准化合同或节能量测量和认证（M&V）规程——的开发。政府也通过邀请 ESCO 公司参与公共建筑节能改造的合同能源管理项目竞标等方式来推动 ESCO 市场发展。各国支持 ESCO 市场发展的有效方式还包括开发 ESCO 项目数据库等信息工具，对公务人员进行培训等能力建设，使他们能够制定针对复杂 ESCO 项目的招标公告等。

材料 3.2 中国：ESCO 市场的演化

2018 年中国 ESCO 收入共计 1170 亿人民币（约 164 亿美元），较 2017 年上涨 3%。与年均增长率超过 25% 的 2011 年至 2015 年相比，市场扩张显著减缓，反映出政策格局和市场动态的变化。

在 ESCO 市场发展的早期，政府为了刺激市场，对 ESCOs 按照节能量进行补贴。2015 年开始，为了让 ESCO 产业从政策引导向市场引导转型，国家政府逐步撤出了 5 个补贴和财政激励项目 (Ministry of Finance, China, 2015)。

国家补贴的退出并没有影响 ESCO 市场的增长势头，这或许是因为中国 ESCO 市场足够成熟，同时地方政府依然为 ESCOs 提供一部分税收优惠和财政激励。但在某些地区，那些过于依赖国家政策优惠的公司正在渐渐退出市场 (EMCA, 2019)。

中国 ESCO 市场成熟的另一个表现则是商业模式和市场主体的多样性。早期的中国 ESCO 市场中，基于节能效益分享型合同的节能证书是唯一的合同模式。但到 2018 年，分享型合同仅占整个市场的 48%，而包括节能量保证型、节能费用托管型和融资租赁型在内的多种其他合同模式，共同占到了市场份额的一半以上 (EMCA, 2019)。

中国 ESCO 市场一度是专注设备更新的“传统”ESCO 公司的天下，但随着时间推移，更加多元的市场主体加入了进来。更多在其他部门有所专长的公司进入到了这个市场，其中有技术（硬件）供应商、软件开发商，还有建筑服务管理公司。这样的转变正是对当前技术趋势的反映：日渐兴起的数字化技术让更多的节能机会和增值服务成为可能。这也许还意味着未来 ESCO 客户的需求转变：不仅仅是节能，而是变得更加综合全面。

绿色抵押贷款和绿色债券

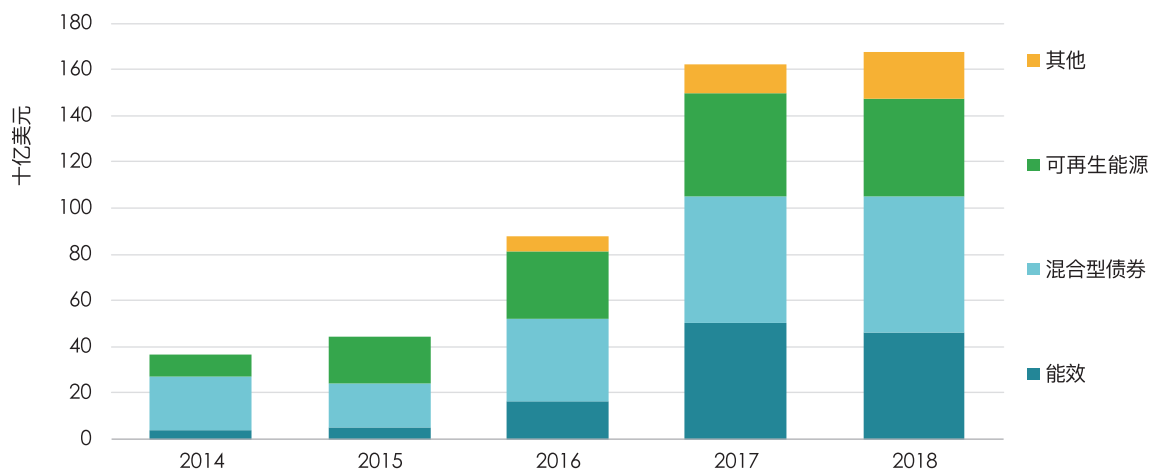
用于居住建筑节能改造的抵押贷款，也被称为“绿色抵押贷款”，为绿色债券——一种在金融市场上交易的资产抵押证券——的发展提供了重要动力。与传统债券不同的是，绿色债券致力于为（例如水资源或林业的）可持续发展或清洁能源提供支持。绿色债券中一个重要的组成部分就是证券化的绿色抵押物，虽然能效本身也是屋顶太阳能或电网需求侧响应改造等项目中绿色债券的组成部分。绿色债券通过将投资方与能效提升项目对接，引导全球金融市场的投资流向能效领域。

全球绿色债券的发行量在 2014 年至 2017 年期间飙升，很大程度上是美国借出方房利美（Fannie Mae）的绿色奖励（Green Rewards）项目的功劳。这个项目为建筑能效投资，尤其是针对居住产业的能效投资，提供融资优惠和审计支持（IEA, 2019i）。2018 年单年绿色债券发行规模仅有 450 亿美元，较上年下降 8%，但仍明显高出 2014 年 38 亿美元的规模，证明包含能效元素的绿色债券开始在金融市场拥有一席之地（CBI, 2019）（图 3.12）。

绿色抵押贷款和绿色债券在其他国家的发展尚不如美国，但各国政府和业界利益相关方正努力刺激市场发展。例如，由欧盟支持的“能效抵押行动计划”（EeMAP）自 2017 年发布以来就在持续扩大，该项目创建的促进绿色抵押贷款发展的标准化框架和数据规程更是得到众多商业借出方和公司为其背书（EeMAP, 2019）。另外，英国公布将 500 万英镑（GBP）资金用于帮助商业借出方发展绿色抵押贷款，这也是英国政府绿色金融战略的一部分（HM Government, 2019）。

政府引导的措施以外，社会借出方也在设法将其手中的抵押组合“绿色化”。举例来说，总部位于荷兰的 ING 银行宣布将其 6000 亿欧元（约 6550 亿美元）的贷款组合用于支持《巴黎协定》目标的实现。由于抵押贷款占 ING 银行发放贷款总额近 50%，绿色抵押贷款在该绿色项目中将处于核心地位。ING 银行同时还强调了准确的建筑能效数据以及有益政策环境的重要性（Schoonhoven, 2019）。

图 3.12 2014–2018 年全球绿色债券增长



IEA (2019). All rights reserved.

注：图中所示能效绿色债券主要指基于不动产的绿色债券，即证券化的绿色抵押物。可再生能源绿色债券并未包括目前发行的所有针对可再生能源的绿色债券，而仅仅指含有能效元素的那部分。混合型债券包括含有能效元素的电网或基础设施建设投资，但不包括不含能效元素的混合型债券。

来源：CBI (2019), *Climate Bonds Initiative*, www.climatebonds.net/.

自十余年前第一支绿色债券发行以来，全球绿色债券市场也经历了强劲的增长。截至 2018 年 11 月，累计绿色债券发行规模已超过 5000 亿美元。但面对令人激动的增长势头，还

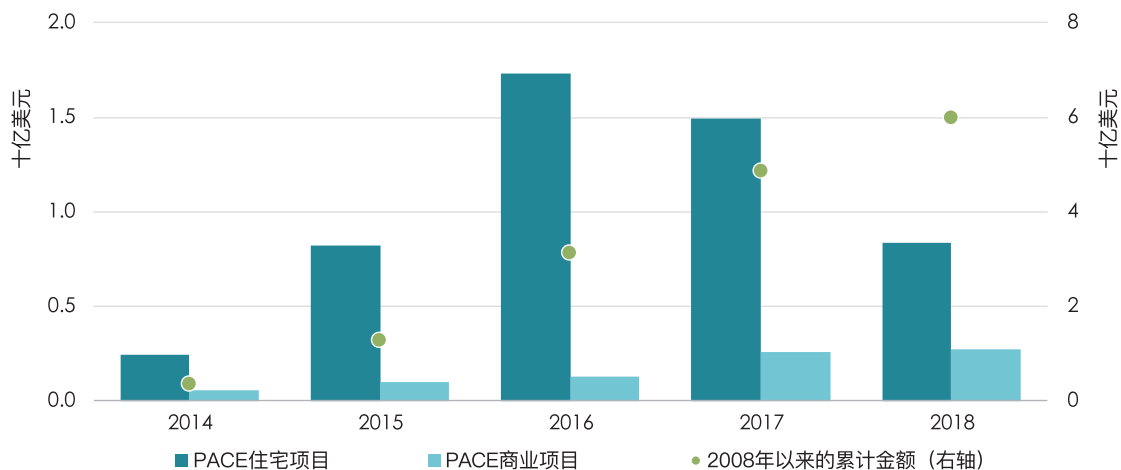
需要正确看待。2018 年全球债券市场总市值约为 100 万亿美元 (BIS, 2019)，其中绿色债券仅占 0.5%，而 2018 年全球债务证券发行总额中，用于能效提升的绿色债券更是只有 0.05%。

基于所有权的偿付机制

基于所有权的偿付机制通过与财产税挂钩促使借款方偿还用于能效提升的贷款。与绿色抵押贷款类似，基于所有权的偿付机制也可以证券化并在金融市场上交易。这类融资手段目前最成功的案例是“资产评估性清洁能源” (PACE)。PACE 的兴起为能效领域提供了重要的投资工具，尤其是在美国。2014 年以来，美国通过 PACE 证券化实现了 66 亿美元的投资额，其中占大多数的 56 亿美元流向了住宅 (R-PACE) 项目，10 亿美元则用来支持商业 (C-PACE) 项目 (PACENation, 2019)。

然而，2018 年经由 PACE 借出的贷款比 2017 年减少了 45%，尤其是 R-PACE 项目 (图 3.13)。众多影响因素中，主要是由于加州议员引入了更加严格的客户保护条款，例如基于收入的经济担保，致使符合要求的房主数目减少，而项目开发商在决定是否为客户提供 PACE 融资时也变得更加犹豫 (DeVries, 2018)。

图 3.13 2014–2018年PACE项目年度和累计在美国借出的金额



IEA (2019). All rights reserved.

来源: PACENation (2019).

在欧洲，欧盟的政策制定者和能效金融的利益相关方也在开发类似于 PACE 的融资模式。然而与美国不同的是，PACE 的欧洲版本可能不会与财产税挂钩，而是通过对不动产的留置权 / 抵押物为借出方提供保障，并且在发起这一融资项目的公共机关的支持下定期收取留置财产 / 抵押物所产生的利息。该融资机制的法律依据将取决于当地法律，因此在

各国间会有不同。通过该机制进行融资，不仅需要对其不动产的特性作出评估，还需要衡量提出贷款请求的房主的信用水平 (EuroPACE, 2019)。

能效投资和项目的政策支持及市场引导

政策制定者和能效产业的利益相关方都在寻求更多方式来支持绿色债券和其他可持续投资工具在金融市场的增长，同时促进能效服务市场和项目的发展 (材料 3.3)。

例如，欧盟委员会在 2018 年发布了一项关于可持续增长融资的行动方案，该行动方案包含一份“绿色”分类指南，就能效或其他可持续投资所包含的内容为市场做出了清晰、一致的解读 (EC, 2018)。欧盟委员会同时也正在通过其可持续财政技术专家小组制定欧盟可持续活动分类 (EU TEG, 2019a)¹¹ 和《绿色债券标准》 (EU TEG, 2019b)。

材料 3.3 “制冷即服务” (CaaS) —— 能效融资创新

现有工艺水平下能效最优技术的先期成本高，这一直是公共和社会机构提升能效中最常出现的困难之一。即使机构购买高效设备的行为在理论上完全可行，包括年度预算限制和会计准则在内的各种因素也会导致政府机构或公司仅能将有限的资本支出用于购买高效设备。

为作为服务的能效付费——运营支出而非资本支出——是面向先期成本问题的一种合理解决方案。机构通过签订服务合同而不一定需要购买技术，就能从能效技术中获益，该方式已经在打印机、软件和汽车中成功实施。

“制冷即服务” (CaaS) 项目由巴塞尔可持续能源署 (BASE) 作为基加利制冷能效项目 (K-CEP) 的代表主导实施，致力于在全球范围内扩大室内“制冷即服务”的市场 (BASE, 2019)。项目于 2019 年 3 月启动，各机构购买制冷需求，引入技术供应商提供设备安装和运维服务。BASE 目前正着手建立标准化 CaaS 机制工具包，同时在技术供应商、金融机构和政策制定者中推广这一概念、增强相关意识。

中国七部委¹² 联合发布了《绿色产业指导目录》，对六大类商品和服务进行了绿色分类 (NDRC, 2019)。对分类的一致性界定旨在为绿色债券的监管规范提供更加完善的依据，同时为绿色金融的进一步扩大和创新创造新的机遇 (Th Paulson Institute, 2019)。

¹¹ 欧盟能效分类的数据 / 信息来源由欧盟委员会和联合国环境规划署 (UNEP) 财政项目共同召集的能效金融机构小组下属的一个工作组提供。

¹² 包括中国国家发展和改革委员会、人民银行、生态环境部等。

该目录是对中国已有绿色金融综合性政策框架最新的补充，在此之前，框架内已有《绿色信贷指引》《能效信贷指引》《关于构建绿色金融体系的指导意见》等重要组成部分。在此基础上，中国正在制定新的指导性政策促进商业银行为建筑部门的能效项目提供更多融资 (Ge et al., 2017)。

在中国和欧盟分别正在制定的指导目录里，能效因素在合格标准中都有着明确且突出的地位，对制造业、能源行业和市政服务（如给水和垃圾管理）尤其如此 (NDRC, 2019; EU TEG, 2019a)。

汇集欧洲和北美投资人的“投资人信心项目” (ICP) 为能效项目提供降低风险和促进投资的标准化规程、培训和认证 (ICP, 2019)。与之类似的“资产类别能效” (ACE) 基于 ICP 所开发出的方法，为德国能效投资提供框架结构和工具 (Schinck et al., 2018)。国际标准化组织 (ISO) 也在 2018 年引入了针对可持续金融的自愿性标准 (ISO, 2018)。巴塞尔可持续能源署 (BASE) 正在替基加利制冷能效项目 (K-CEP) 拓宽室内制冷即服务的全球市场 (材料 3.3)。

泛美开发银行 (IADB) 和丹麦能源署正在共同支持针对拉丁美洲中小企业 (SMEs) 能效项目的一支保险产品的开发。技术方案提供商可以购买保险，更好地支撑其在合同中对中小企业客户做出的产品节能担保 (GFL, 2019)。该项目还包括降低交易成本的标准化合同、确保能源服务提供商及其项目服务质量的第三方验证、发展银行的信用额度、维持市场需求的经费支持等工具 (GFL, 2019)。

国际金融机构的角色

对于国际金融机构 (IFIs) 来说，提升能效是应对气候变化的重要机制。国际金融机构目前主要通过项目投资支持建筑、工业和其他部门的能效措施，例如发放贷款或信用额度。通常在提供项目投资的同时，还伴随着咨询与 / 或能力建设服务。国际金融机构也在通过降低投资风险和撬动更多社会资金的方式，试图扩大能效投资规模。例如，它们有时会为能效项目提供贷款担保，尤其是在新兴经济体国家，这些国家的政策和投资框架对社会资金来说往往存在障碍，不利于社会投资支持清洁能源和能效项目 (EEFTG, 2017)。这也正是 2018 年 10 月成立的高效世界金融论坛当下正在探讨的话题之一 (材料 3.4)。

国际金融机构对能效的投融资，主要是贷款，正在增长。2018 年全球金融机构应对气候变化的融资中 18% 即超过 55 亿美元用于能效措施，尤其是在东欧和中亚 (EBRD, 2018)。这一年国际金融机构提供的资金中，唯一显著超过能效措施项目的类别为可再生能源项目。与 2012 年至 2014 年期间能效项目获得的国际金融机构投资年平均占比相比，

2018 年占比增加 4% (Boyd, 2017)。

预计未来几年，国际金融机构用于能效的资金还将增加。举例来说，世界银行集团在 2018 年下半年宣布将其 2021 年到 2025 年的能效领域投资增加一倍至 2000 亿美元，预期这笔资金所支持的能效措施将实现节能量 150 万吉瓦时 (GWh；即 10^6 千瓦时) (WBG, 2018)。2015 年欧洲复兴开发银行 (EBRD) 在其他气候和资源效率投资的基础上，大力增加了对能效投资的关注，作为其“绿色经济转型”的一部分。2017 年 EBRD 相关领域的投资达到 12 亿欧元 (EBRD, 2019)。欧洲投资银行 (EIB) 在 2019 年上半年就未来能效投资规模发起了一次磋商 (EIB, 2019)。其他地区的国际金融机构也在增加能效领域的放款活动，形式包括专用信贷额度、技术支持和节能量保险等专用机制。

高效技术

能源部门正处于关键转型阶段，应用技术迅速提升能效、降低能耗的进程必须加快，才能与 IEA“可持续发展情景”的规划进程保持一致。本部分在《追踪清洁能源进展》(IEA, 2019g) 的基础上，对高效技术的应用趋势进行总结，重点关注除数字化以外的近期技术发展。数字化相关部分将在第四章“新兴趋势：数字化”中进行讨论。

材料 3.4 高效世界金融论坛

为了增加能效和小规模清洁能源投融资的规模，全球的国际金融机构于 2018 年下半年联合成立了高效世界金融论坛 (EWFF)。IEA 高效世界情景将在论坛工作中起指导作用。

EWFF 现有成员为：亚洲开发银行 (ADB)、非洲开发银行 (AfDB)、拉丁美洲开发银行 (CAF)、欧洲复兴开发银行 (EBRD)、欧洲投资银行 (EIB)、绿色气候基金 (GCF)、泛美开发银行 (IADB)、伊斯兰开发银行 (IsDB)、德国复兴信贷银行下属的发展银行 (KfW) 和世界银行。

论坛提出了包含以下四个合作领域的行动方案：

- 在机构决策和资产配置程序中，对能效给予战略优先地位；
- 为确定未来政策支持的重点领域提供有利的政策环境，并促进政策和金融的协同作用；
- 开发适用于不同部门的流程和工具，如建筑和交通部门；
- 推动能力建设。

通过上述工作方向，论坛成员机构将在各个方面实施和分享最佳实践，包括：对具体部门的融资需求作出响应，在项目实施中应用论坛成员机构多样化的成功经验，为能效提升提供融资模式和机制，提供综合的分析、政策建议和公共资金支持。基于其他国际项目的成果，论坛的工作旨在为进一步实现国家或机构层面针对能效和小规模清洁能源项目的融资目标创造新的思路。

建筑部门技术

近期发展

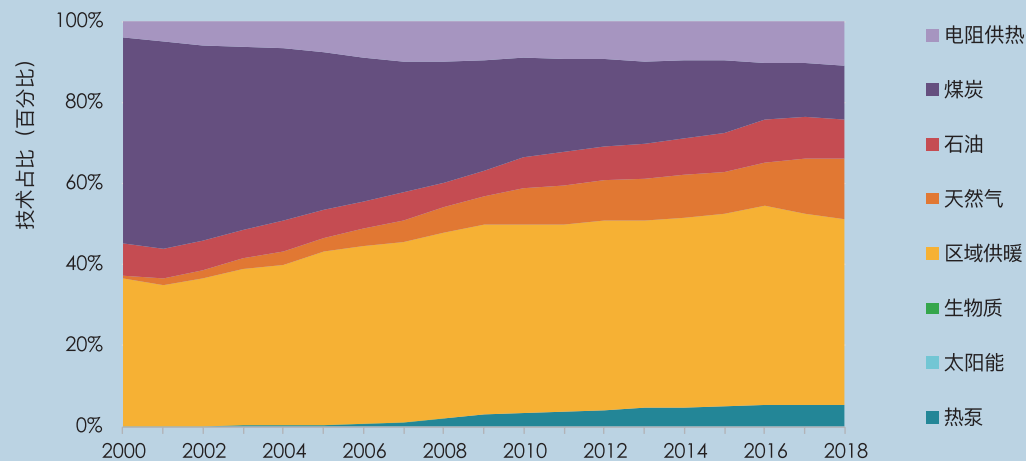
建筑部门几个核心的用能终端中，只有照明与 IEA 可持续发展情景中的能效提升进程保持一致（表 3.1）。制冷和电器方面都有改善，但建筑外墙和供暖却大幅落后。热泵和太阳能热水系统等可再生能源供热设备的销量自 2010 年来持续以每年约 5% 的比例增加，并且在 2018 年占到了供热设备总销量的 10% (IEA, 2019g)。制冷是建筑终端能耗中增长最快的一环，多数人新购入空调的能效水平仅为市面上现有最高水平的 1/3 到一半 (IEA, 2018b)。

尽管制冷能效进展落后于设定情景，用来降低建筑制冷能耗的技术改进却在大量兴起。例如，总部位于印度的“全球制冷奖”共收到 445 份经济适用且节能 5 倍以上的空调窗机设计提案，这意味着人们对于高效制冷设备拥有了更加广泛的技术选项 (RMI, 2019)。

材料 3.5 中国家庭向更高效供暖转型

中国的房屋业主们一度靠烧煤来实现家庭供暖。2000 年起，中国居住建筑供暖系统开始大规模减少烧煤（图 3.12）。这一转变在一定程度上是由农村向城市迁移促成的，城市居住建筑往往拥有自己的区域供暖系统。而从 2017 年 12 月起，中国政府从污染控制的整体预算中，拨出了部分用于对“煤改气”或“煤改电”的城市进行补贴。35 个城市共获得 250 亿人民币（约 37.6 亿美元¹³）的补贴（IEA, 2019j）。与此同时，原先主要依靠燃煤锅炉和基于煤炭的热电联产的区域供暖系统正逐渐向清洁能源转变。例如，目前北京城区的全部供暖都由四个大型天然气热电厂提供（Tsinghua University and IEA, 2017）。

2000-2018 年中国供暖技术和能源结构



IEA (2019). All rights reserved.

13 采用 2018 年平均汇率，1 美元 = 6.64 元人民币。

来源：IEA (2019) *Energy Technology Perspectives* (buildings model).

根据中国生态环境部的信息，2018 年有 480 万个家庭完成了“煤改气”和“煤改电”等煤炭向清洁能源的改造，比 2017 年增加 20%。这一趋势短期内仍将持续：《北方地区冬季清洁取暖规划（2017–2021）》（NDRC, 2017）中提出的天然气供暖发展目标要求到 2021 年，“煤改气”壁挂炉用户增加 1200 万户，新增用气 90 亿立方米。

表 3.1 建筑部门重点用能终端情况

技术	与可持续发展情景（SDS）相比的能效提升进展
照明	●
制冷	●
电器设备	●
供暖	●
热泵	●
建筑外墙	●

注：绿色表示达到了可持续发展情景设定的进程，黄色表示为了达到可持续发展情景设定进程还需努力，红色表示明显落后于可持续发展情景设定进程。

来源：IEA (2019g), *Tracking Clean Energy Progress*, www.iea.org/tcep.

中期技术转变

几项已经验证的关键技术正在快速发展，且预计将在中期内进一步打入市场。例如随着 LED 成本的不断下降，LED 灯销量达到了可持续发展情景设定进程，但在 2030 年以前，设定销量的 90% 以上还需要依靠持续稳定的销量增长来实现（IEA, 2019g）。热泵技术预计将在室内空调和热水技术中占据更大的比重。受财富增加和清洁能源可获取性提高的驱动，清洁烹饪技术（如电磁炉和隔热厨具）也将持续增长。

随着气候变暖和极端天气事件更加频发，人们需要更加舒适、节能的建筑。这向技术进步提出了挑战。解决这一需求的关键技术包括遮阳装置、更好的绝热性能、低辐射系数的窗户、防风技术，以及极端气候条件下的能量回收新风系统。例如，印度正在开发本土生产的外部可活动遮阳系统，该系统能够减少建筑吸收的太阳辐射热能，从而降低对机械化空调制冷的需求（BEEP, 2019）。

在中期内，建筑部门通过采用预制部件和 3D 打印等工业化和自动化程度更高的施工技术（详见第四章），在减少实体能耗和运行能耗的同时，还将有助于建立起应对气候变化的弹性。

工业部门技术

近期发展

为了让工业部门跟上 IEA 可持续发展情景设定的能效提升进程，各行业都还需要付出更多努力（表 3.2）。钢铁和铝冶炼行业可以在废金属回收和分类方式上进行提高，从而降低能源和排放密度。对化工和造纸行业来说，要实现设定的能效提升进程，提高塑料、纸张和纸板的回收利用率，采取能源密度更低的生产方式至关重要。而在水泥行业，降低平均水泥熟料比对降低能源强度和减少排放都很关键。为了实现能源强度和排放的下降，应该更多地采用含其他粘结材料而非熟料的混合水泥，因为熟料生产是水泥制造中最为能源密集环节。

表 3.2 高耗能工业行业基于IEA可持续发展情景的能效提升进展情况

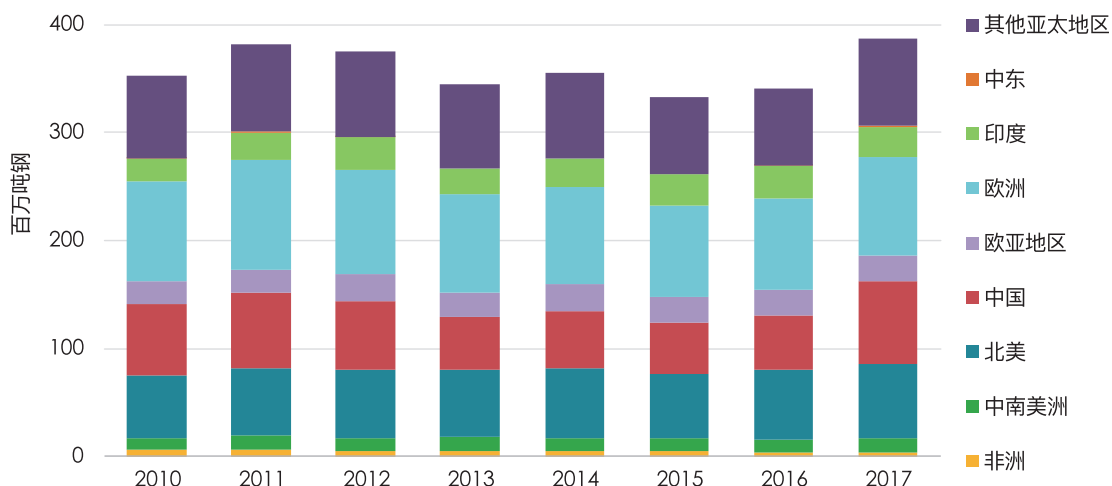
技术	与可持续发展情景相比的能效提升进展
化工	●
钢铁	●
水泥	●
造纸	●
铝冶炼	●

来源：IEA (2019g), *Tracking Clean Energy Progress*, www.iea.org/tcep.

注：绿色-达到设定进程；黄色-还需要继续努力；红色-明显落后于设定进程。

钢铁行业活动水平在 2017 年和 2018 年显著上升，而提升行业能效水平还要依靠增加通过电弧炉冶炼废钢的钢铁产量，辅以目前可获取的最优技术。与钢铁初级生产相比，电弧炉以废钢为原料的粗钢生产能源强度要低 60% 到 70% (IEA, 2018a)，这表示回收利用的每一吨金属都在降低整个钢铁行业的能源强度中起到了积极作用。能否进一步推广金属回收利用有赖于经济适用废金属的可获取性，然而在全球，粗钢需求持续高于可获取的经济适用废金属量。

图 3.14 2010–2017年以废钢为原料的电弧炉炼钢量估算值，按地区



IEA (2019). All rights reserved.

注：钢铁回收利用率代表电弧炉钢铁产量减去直接还原铁产量后占总粗钢总产量的百分比。

来源：World Steel (2018), Steel Statistical Yearbook 2018.

2017 年，全球以回收废钢为原料经电弧炉冶炼的钢产量增加约 15%，主要是因为中国对应产量增加了 52%，达到了近几年最高的年增幅（图 3.14）。欧洲依然是废钢冶炼产量绝对值最高的地区，占全球 2017 年总量的 25%。北美、中国和由其他亚太国家组成的整体三者各占全球总量的 20% 左右。欧洲废钢冶炼产能更大，反映出其基础设施寿命长、可利用废金属多的特点。中国电弧炉产能正在增长，但受到可利用的经济适用废金属数量的限制，电弧炉冶炼产量占钢铁总产量的比重不够理想。

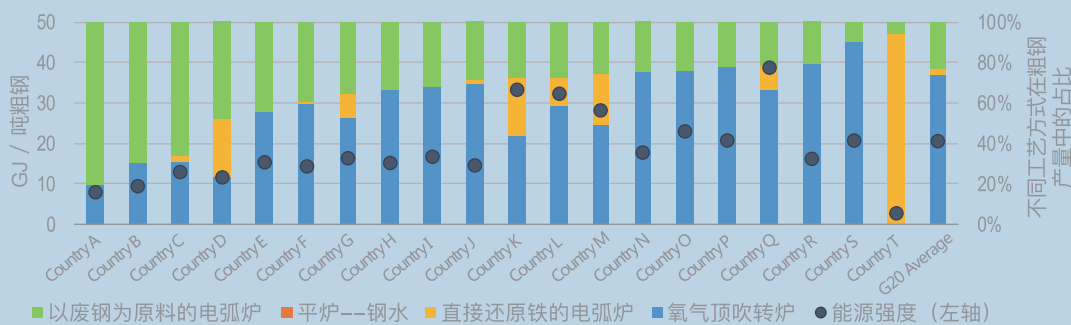
材料 3.6 G20 国家工业能源强度对标

能效对标无论是在流程、公司、部门层面，还是在国家层面，都是帮助人们了解能耗表现、确定节能潜力的有力工具。它是一些工业能效政策机制的重要组成部分，包括日本的工业能效对标政策和印度的“履行、实现、交易”（PAT）项目。为了进一步推广能效对标的应用，比较节能状况时应选择合适的指标，同时还需要一定详细程度的数据。

对粗钢生产的能源强度进行对标就是一个典型的例子，利用生产每吨粗钢所需能耗这样简单的指标，结合不同生产方式在产量中所占比重，能够确定促进能效提升的驱动因素。受不同炼钢方式占比结构的强烈影响，G20 国家钢铁生产的能源强度各不相同。需要特别指出的是，金属回收利用率和电弧炉炼钢产量的提高有利于降低能源强度。

日本强调能效对标对于提升能效的促进作用，并将能效对标作为其在 2019 年主席国任期内的重点工作。IEA 为这项工作提供支持，详细解释了高耗能行业以及交通和建筑用能终端应该如何制定对标基准。《G20 轻井泽创新行动计划》也对该项工作做出了强调。IEA 正持续支持日本进一步推广能效对标活动、强调相关研究的价值，同时协助收集有益于工业能效政策制定的数据。

2016 年 G20 国家吨粗钢终端能耗及不同炼钢方式占比



注：由于各国未就同意进行国家间比较问题达成一致，此处隐去国家名。

IEA (2019). All rights reserved.

交通部门技术

近期发展

在交通部门的关键用能终端中，目前仅电动车和铁路达到了可持续发展情景设定的能效提升进程，而轿车和厢式货车的整体燃油经济性落后于情景设定进程（表 3.3）。

表 3.3 交通部门关键终端用能情况及对全球能效的影响

技术	与可持续发展情景相比的能效提升进展
电动车	●
铁路	●
航空	●
货车和公共汽车	●
国际航运	●
燃油经济性	●

注：绿色-达到设定进程；黄色-还需要继续努力；红色-明显落后于设定进程。

来源：IEA (2019g), *Tracking Clean Energy Progress*, www.iea.org/tcep.

交通电气化仍然是近期主要的技术转变，但尚未对全球耗电总量产生显著影响。2018 年全球交通（包括铁路）耗电量较上年增加 70%，但在同年全球耗电总量增长中依然不到 3%（IEA, 2019g）。

电动车在 2018 年创下了新的销量纪录，全球销售近 200 万辆（IEA, 2019f）。电动车占挪威新车销量几乎一半，而在加利福尼亚和冰岛新车市场销量百分比均达到了两位数。面对许多国家新车市场缩水，电动车销量的增长有助于在用乘用车整体的技术能效提升。道路用电动车的增长虽然微弱，但达成了设定进程，包括轿车、城市公共汽车和两轮车，其中电动两轮车的增长主要来自中国的努力。2018 年全球共有超过 40 万电动公共汽车和近 3 亿电动两轮车上路行驶（IEA, 2019f）。整体而言，2018 年全球所有道路用电动车每天共节省 43 万桶石油，相当于当年全球实际油耗增长总量的 1/3（IEA, 2019f）。车重整体减轻以及空气阻力和滚动阻力减小都将有助于加快电气化进程（IEA, 2019g）。

中期技术转变

电气化仍将是中期内交通部门能效技术的重要趋势，目前正快速在两轮车、公共汽车和轿车中渗透，但依然难以攻克重型车和远距离交通的挑战（IEA, 2019f）。

汽车制造商为电动车的市场投放设定了一系列目标（IEA, 2019g）。电动车车型迅速增加：制造商针对不同尺寸规格的车辆市场发布了各式各样的车型，大多数将在 2020 年到 2025 年期间上线。2018 年，电动车可选车型数量在各尺寸规格汽车市场和国家间的分布并不平均。目前公布（但还未上线）的车型将会分布得更加广泛，从而提升能够享受到电动车技术的人群比例（IEA, 2019f）。几乎所有主要汽车制造商都发布了电气化战略，到 2025 年预计部署的电动车数量基本在 4400 万到 9500 万之间变动。这一数量区间很大程度上与目前政府目标一致。在电动车数量之外，充电设施对推广电动车应用也相当重要；这方面的工作也在持续推进中（IEA, 2019f）。

要让电动车变得更实惠，需要迅速降低其关键组成部分——汽车电池的成本。2018 年锂电池平均价格较 2017 年下降 18%，达到每度电（千瓦时；kWh）176 美元（Baker, 2019）。预计到 2030 年电池产量将是现在的近 30 倍，届时在电池组规格加大、电池化学配方变化和工厂规模增大带来的规模经济的共同作用下，电池成本应该会大幅下降。中国乃至全球正在发生的汽车电池市场的扩大在大力扩展电池制造产能的同时，将有助于这一产业实现规模经济。

但汽车电池制造这一新的大型工业行业的增长无法避免地对原料和供应链产生影响

(IEA, 2019f)。政府和汽车制造业在建立应对风险能力并制定合理策略控制原料供应风险方面的作用显得尤为重要。可开采的锂和钴资源在地理上分布特别集中，同时锂、铜、钴、镍的后续处理流程大部分集中在中国。经济合作与发展组织（OECD）为帮助有效应对原料供应风险，制定了《负责任的矿产供应链尽职调查指南》（OECD, 2011）。

电动代步车，大多数情况下是共享微型代步车（如电动脚踏滑板车），正在使一些城市的出行方式发生转变，然而这一出行方式在中长期的能效影响尚未可知（IEA, 2019f）。

航空和航运方面，未来几项关键政策对包括能效在内的技术变革提出了要求，随着这些政策的实施，航空和航运能效在相应年份预计也将有所提升。国际海事组织 2020 年硫限额规定航运承担方必须使用低污染燃油，其成本通常比船用锅炉油要高（IEA, 2019h）。但能效措施带来的收益往往可以抵消一部分成本增长（Halff et al., 2019）。

参考文献

- BASE (2019), *Cooling as a Service Initiative* (web page), <http://energy-base.org/project/cooling-as-a-service/>.
- BEEP (Building Energy Efficiency Project) (2019), *External Movable Shading Systems (EMSYS)* (web page), www.beepindia.org/technologies-n-tools/emsys/.
- HM Government (2019), *Green Finance Strategy: Transforming Finance for a Greener Future* (policy paper), www.gov.uk/government/publications/green-finance-strateg.
- BIS (Bank for International Settlements) (2019), BIS Statistics: Charts (annexes), *Bank of International Settlements Quarterly Review Statistics*, www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1906_charts.pdf.
- Baker, D.R. (2019), Battery reality: There's nothing better than lithium-ion coming soon, Bloomberg News, www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-03/battery-reality-there-s-nothing-better-than-lithium-ion-coming-soon.
- Boyd, R. et al. (2017), *The Productivity of International Financial Institutions' Energy Interventions*, Climate Policy Initiative, <https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2017/03/The-Productivity-of-International-Financial-Institutions%E2%80%99-Energy-Interventions.pdf>.
- CBI (2019), *Climate Bonds Initiative* (website), www.climatebonds.net/.
- DeVries, C. (2018), *California Market Update: PACE Financing is at Risk*, Renew Finance Group, <https://renewfinancial.app.box.com/v/CA-ACE-Market-Update-August18>.
- EBRD (European Bank for Reconstruction and Development) (2018), *Joint Report on Multilateral Development Banks' Climate Finance*, www.eib.org/attachments/2018-joint-report-on-multilateral-development-banks-climate-finance.pdf.
- EBRD (2019), Impact (web page), *EBRD Sustainability Report 2017* (website), <http://2017.sr-ebd.com/impact/>.
- EC (European Commission) (2018), Commission action plan on financing sustainable growth (official document/website), European Union, Luxembourg, https://ec.europa.eu/info/publications/180308-action-plan-sustainable-growth_en.
- EeMAP (Energy efficient Mortgages Action Plan) (2019), The initiative (web page), <https://eemap.energyefficientmortgages.eu/services>.

- EIB (European Investment Bank) (2019), EIB launches energy lending consultation (press release), www.eib.org/en/press/all/2019-003-eib-launches-energy-lending-consultation.
- EMCA (ESCO Committee of China Energy Conservation Association) (2019), “节能服务产业发展报告”[ESCO Industry Development Report 2018], https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MjM5ODE1ODE2Mg==&mid=2247485675&idx=4&sn=121b1d3ee39f4d9b313fb3c3f64a6e&chksm=a6ce42d691b9c0ef4dc284793bf97ce8e7db08a498e2f74b5e942b94b66-92361dd64bc4a2b&token=900992539&lang=zh_CN#rd.
- Energy Facts Norway (2019), *Energy Use by Sector* (web page), Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energibruk/energibruken-i-uliike-sektorer/>.
- EU Neighbours (2018.), Azerbaijan is developing its Energy Strategy and Law on Energy efficiency: But what do they mean for the country? (web page), www.euneighbours.eu/en/east/eu-in-action/stories/azerbaijan-developing-its-energy-strategy-and-law-energy-efficiency-wha.
- EU TEG (European Union Technical Expert Group) (2019a), *Taxonomy – Technical Report: Financing a Sustainable European Economy*, European Commission, Luxembourg https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro_banking_and_finance/documents/190618-sustainable-finance-teg-report-taxonomy_en.p.
- EU TEG (2019b), *Report on EU Green Bond Standard*, European Commission, Luxembourg. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro_banking_and_finance/documents/190618-sustainable-finance-teg-report-green-bond-standard_en.pd.
- EuroPACE (2019), *EuroPACE: Integrated Home Renovation Platform* (website), www.europace2020.eu/.
- EEFTG (G20 Energy Efficiency Finance Task Group) (2017), *G20 Energy Efficiency Investment Toolkit*, www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2017/05/G20-EE-toolkit.pdf.
- Ge, J. et al. (2017), Accelerating Energy Efficiency in China's Existing Commercial Buildings – Part 1: Barrier Analysis, Lawrence Berkeley National Laboratory, https://china.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-2001078_accelerating_energy_efficiency_in_chinas_existing_commercial_buildings_-_part_1_1219.pd.
- GFL (Green Finance for Latin America and the Caribbean) (2019), Our initiatives (web page), *Energy Savings Insurance Program* (website), www.greenfinancelac.org/our-initiatives/esi.
- Half, A., L. Younes and T. Boersma (2019), The likely implications of the new IMO standards on the shipping industry, *Energy*, Vol. 126, pp. 277-286, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.033>.
- ICP (Investor Confidence Project) (2019), *Investor Confidence Project* (website), www.eepformance.org/.
- IEA (International Energy Agency) (2019a) *World Energy Balances 2019*, <https://doi.org/10.1787/3a876031-en>.
- IEA (2019b) *Energy Efficiency Indicators 2019* (database) www.iea.org/statistics/efficiency.
- IEA (2019c) *Energy Technology Perspectives* (buildings model).
- IEA (2019d) *Mobility Model* (database), www.iea.org/etp/etpmodel/transport/.
- IEA (2019e) *CO₂ emissions from fuel combustion*, www.iea.org/statistics/co2emissions/.
- IEA (2019f), *Global EV Outlook 2019*, <https://doi.org/10.1787/35fb60bd-en>.
- IEA (2019g), Tracking Clean Energy Progress (website), www.iea.org/tcep/.
- IEA (2019h), *Oil 2019: Analysis and Forecast to 2024*, https://doi.org/10.1787/oil_mar-2019-en.
- IEA (2019i), *World Energy Investment 2019*, <https://doi.org/10.1787/4f4f25b4-en>.
- IEA (2019j), *Gas 2019: Analysis and Forecast to 2024*, <https://doi.org/10.1787/9f1e636c-en>.
- IEA (2019k), *Global Energy and CO₂ Status Report*, www.iea.org/geco.

- IEA (2018a), *Energy Efficiency 2018*, <https://doi.org/10.1787/9789264024304-en>.
- IEA (2018b), *The Future of Cooling: Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning*, <https://doi.org/10.1787/9789264301993-en>.
- IEA (2018c), *Global EV Outlook 2018*, <https://doi.org/10.1787/9789264302365-en>.
- IEA and ICCT (International Council on Clean Transportation) (2019), *Fuel Economy in Major Car Markets: Technology and Policy Drivers 2005-2017*, <https://webstore.iea.org/fuel-economy-in-major-car-markets>.
- IGSD (Institute for Governance and Sustainable Development) (2019), *Green and High-Efficiency Cooling Action Plan*, www.igsd.org/wp-content/uploads/2019/07/ENG-China-Cooling-Action-Plan.pdf.
- India Ministry of Power (2018), ECO Niwas Samhita 2018 – an Energy Conservation Building Code for Residential Buildings launched (web page), Press Information Bureau, Government of India, New Delhi, <http://pib.gov.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=186406>.
- ISO (International Organization for Standardization) (2018), ISO/TC 322 Sustainable Finance (web page), www.iso.org/committee/7203746.html.
- K-CEP (2019), Kigali Cooling Efficiency Program, www.k-cep.org.
- Ministry of Finance, China (2015), *Notice on the Issuance of Subsidies for Energy Saving and Emission Reduction Measures* [CN: 财政部关于印发《节能减排补助资金》], Beijing, www.gov.cn/gongbao/content/2015/content_2912375.htm.
- Municipality of Amsterdam (n.d.), Milieuzone brom- en snorfietsen [Environmental mopeds and light mopeds] (web page), www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?productid=%7BB9B8F66D-0366-4082-A871-D3FBB789BC25%7D.
- NABERS (2019), *NABERS* (by subscription only), https://nabers.gov.au/file/2225/download?token=abD_Thu.
- NABERS (National Australian Built Environment Rating System) (2018), *NABERS Annual Report 2017/18*, www.nabers.gov.au/file/1981/download?token=pT2dXPn.
- NDRC (National Development and Reform Commission) (2019), “绿色产业指导目录 (2019 年版)” [Green Industry Guidance Catalogue 2019], Beijing, www.ndrc.gov.cn/gzdt/201903/W020190306355285868217.pdf.
- NDRC (2017), “北方地区冬季清洁取暖规划 (2017-2021)” [Natural gas heating development targets for 2017–2021], Beijing, www.gov.cn/xinwen/2017-12/20/5248855/files/7ed7d7cda8984ae39a4e9620a4660c7f.pdf.
- NHTSA (National Highway Traffic Safety Association) (2018), *SAFE: The Safer Affordable Fuel-Efficient ‘SAFE’ Vehicles Rule* (website), US Department of Transportation, www.nhtsa.gov/corporate-average-fuel-economy/safe.
- OECD (Organisation for Economic Co operation and Development) (2011), *OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264111110-en>.
- PACENation (2019), *PACENation* (website), <https://pacenation.org>.
- Paoli, L. and S. Bennett (2019), Commentary: Is government support for EVs contributing to a low-emissions future? International Energy Agency, www.iea.org/newsroom/news/2019/october/is-government-support-for-evs-contributing-to-a-low-emissions-future.html.
- Paulson Institute (2019), China releases green industry guidance catalogue: Opportunities for US business? (article), China Business Review, www.chinabusinessreview.com/china-releases-green-industry-guidance-catalogue-opportunities-for-us/.
- SLoCaT (Partnership on Sustainable Low Carbon Transport) (2019), E-mobility Trends and Targets (as of 1 July 2019; constantly updated), http://slocat.net/sites/default/files/e-mobility_overvie_.pdf.
- Schinck, K. et al. (2018), *ACE – Asset Class Energy Efficiency*, Klimaschutz- und Energieagentur [Climate Protection and Energy Agency], https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/007_ruediger_lohse_seif_frankfurt_05-12-18.pdf.

Schoonhoven, S. (2019), Presentation at EU Sustainable Energy Week, European Commission, <https://webcast.ec.europa.eu/eu-sustainable-energy-week-2019-19-06-2019-mans-pm#> (webinar).

Tsinghua University and IEA (2017), *District energy systems in China: Options for optimisation and diversification*, <https://webstore.iea.org/district-energy-systems-in-china>.

Tsuji, T. (2019), Japan mandates cars to be 30% more fuel efficient by 2030 (web article), Nikkei Asian Review, <https://asia.nikkei.com/Business/Automobile/Japan-mandates-cars-to-be-30-more-fuel-efficient-by-2030>.

World Bank Group (2018a), *2025 Targets to Step Up Climate Action*, World Bank, <http://pubdocs.worldbank.org/en/368601543772742074/2025-Targets-to-Step-Up-Climate-Action.pdf>.

World Bank Group (2018b), *Financial Instruments for Brazil Energy Efficient Cities – FinBRAZEEC* (website) World Bank, <http://projects.worldbank.org/P162455/?lang=en&tab=overview>.

IV. 正在兴起的趋势：数字化

简介

数字化是指包括能源系统在内的整个经济体越来越多地应用通信技术（ICT）的趋势。数字化进程涉及数字世界和物质世界之间日益增加的互动和融合。其中以下三点是数字化进程的基本要素：

- **数据：**数字信息。
- **解析：**通过计算将大量的数据转化为可应用的结论。
- **连接：**通过数字通信网络进行的机 – 机或人 – 机数据交换。

人们对数字化技术的应用已有数十年。区别于以往的是，现今的数字化无论是规模还是速度都远胜从前，并且越来越强调连接性。上述三个要素方面的进步共同促成了数字化进程的加快：传感器和数据存储成本降低使数据量急速膨胀，先进的解析和计算功能正在快速进步，而更快更便宜的数据传输令连接水平得到了提升。

数字化对能耗的影响是多方位的。数字设备为交通、建筑和工业部门带来了大幅度的能效提升。然而如果不对它们进行适当管理，随着这些设备普及率的提高（包括需要通过一直耗能来保持连接的网络设备）以及用来传输、储存和处理设备数据的传输网络和数据中心的增加，能耗可能也会相应增加。

数字化规模扩大对应的一个风险是，数字技术在提升服务质量的同时，可能引起反弹效应，激励用能者与没有数字技术的情况相比，更多地使用耗能服务。对数字技术引起的潜在回弹效应的估算值在各部门有所不同，幅度在使某些技术和终端能耗增加 10% 以下和近 30% 之间变动 (Global e-Sustainability Initiative and Accenture, 2015)。

怎样结合数字技术提升能效？

数字化通过技术收集和分析数据，并将其应用于（自动或人为地）改变物理环境，这为能效提升创造了机会。而有线或无线的数字通信网络可以为所有这些过程提供支持，让人们和机器能够以前所未有的体量和速度相互发送、接收数据和解析（图 4.1）。

图 4.1 数字技术如何结合起来促进能效提升



IEA (2019). All rights reserved.

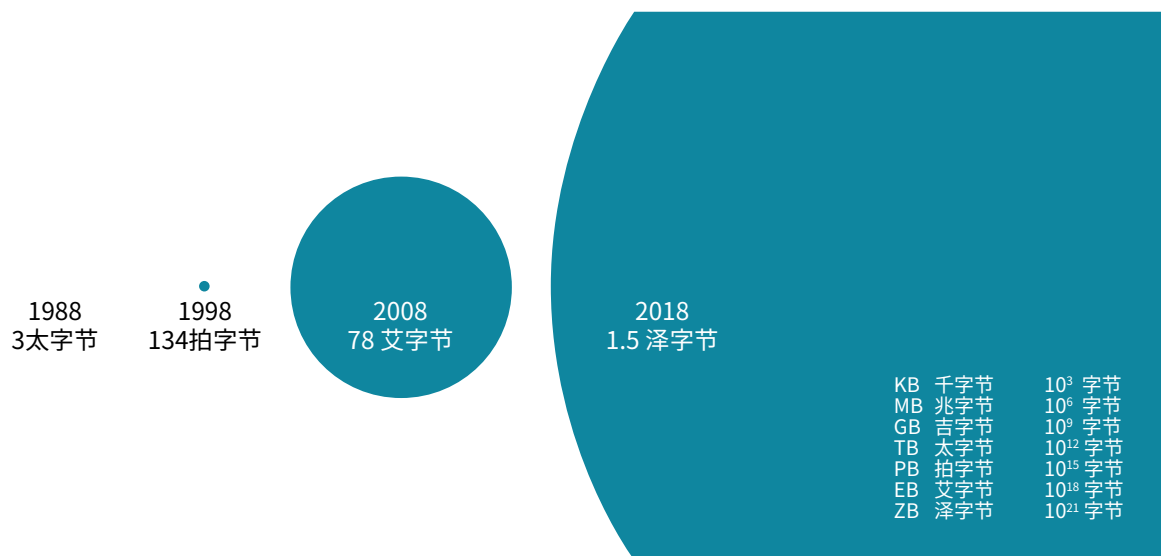
数据收集

数字时代为人们带来最大的变化之一就是数据量的大规模增加。例如，2018 年全球网络流量共产生了 1.5 ZB 的数据，是十年前的 19 倍（图 4.2）。

每一秒钟都在产生与能效直接相关的大量数据。这不仅包括能耗数据本身，还包括能耗的相关数据，如天气状况、消费者购买决策和行为等。这类数据的例子包括智能仪表数据、客流移动数据、通过移动电话网络收集到的数据，以及通过购物网站和社交网络收集到的能改变消费者偏好的数据。

能够产生和收集能效相关数据的高端技术包括传感器、仪表、分布式账本、接口及其他。

图 4.2 全球年度网络流量



IEA (2019). All rights reserved.

来源：Based on Barnett et al.(2019), *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022*; Cisco (2016), *The Zettabyte Era: Trends and Analysis, July 2016*; and Sumits, A. (2015), *The History and Future of Internet Traffic*.

传感器

传感器对来自物理环境的输入进行探测或测量，由于近期成本下降、性能提升和尺寸变小而得到了大规模应用。大量的传感器生成了关于能耗的数据集合，同时智能手机内置传感器让其生成的数据集开始扩展到移动数据和行为数据等方面。

材料 4.1 高效货运交通中的传感器、连接性和自动化

传感器与其他技术相结合、有望在将来大幅提升交通能效的应用之一就是车辆“编队”。编队指两辆或以上的车在足够小的安全车距下高速列队行驶，以减少车距带来的交通效率损失。道路货运中，在智能车辆通信和自动化技术的引领下，安装了现有最优行驶辅助系统的货车可以形成货车车队。试点项目显示，对货运卡车进行编队能使车辆在高级公路上的燃油经济性提升高达 10% 到 25%（Wadud, MacKenzie and Leiby, 2016）。

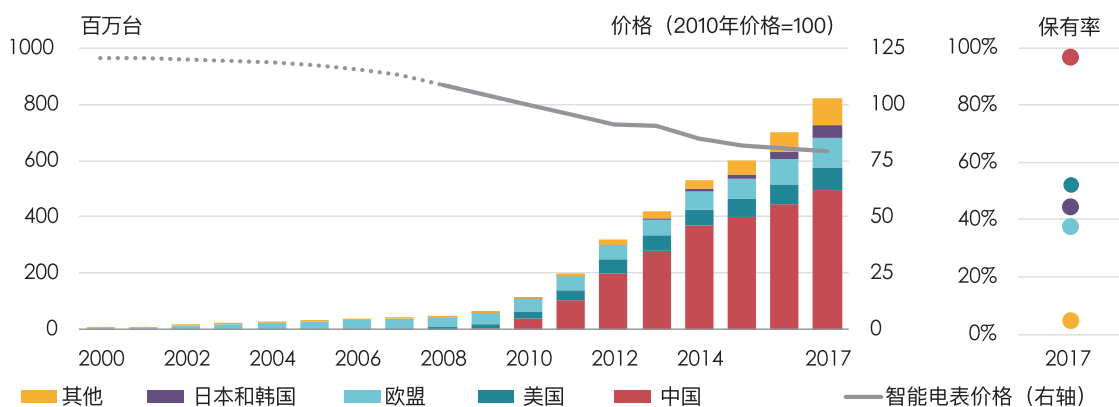
除了大多数现代汽车都装有的传感器，车辆编队还需要安装其他类型的传感器。基于雷达的碰撞缓解系统精确地检测车辆与别车或道路上其他物体及障碍物之间的距离。这些传感器能以每秒 50 次的频率同时追踪车辆周围的所有事物（Peloton, 2018）。编队过程中还会用到全球定位系统（GPS）传感器对编队中每一辆单独的汽车位置进行追踪。GPS 传感器还会提供可能导致车队行驶缓慢或油耗增加的其他信息，如交通拥堵、潜在危险或障碍物的距离等。

来源：Wadud et al. (2016), *Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles*; Peloton (2018), *Platooning combines advanced technologies to improve safety and fuel efficiency*, <https://peloton-tech.com/how-it-works/>.

仪表

智能仪表——能够抓取关于实时能耗、故障、逆流和其他因素的高分辨率信息的设备——正变得无所不在，使对于节能潜力的精细化分析成为可能（图 4.3）。智能仪表还帮助人们实现了家用或商用仪表和能源零售商或配电网络运营商之间的双向交流。

图 4.3 2000–2017年智能仪表使用、价格和渗透率



IEA (2019). All rights reserved.

来源：IEA (2019), *Perspectives for the Clean Energy Transition: The Critical Role of Buildings*.

分布式账本

分布式账本对数据进行安全和数字化的记录。区块链就是最广为人知的分布式账本技术（DLT）。DLT 在能源部门的应用正在快速兴起，主要致力于增强灵活性，为更加分散化的能源生产提供支持，或是提高系统整体能效（Andoni, et al., 2019）。目前专注于能效本身的 DLT 应用较少，但相关的新想法已经开始产生。区块链等 DLT 能够降低交易成本，并在合同能源管理或其他需要验证节能量的项目中激励人们更加高效地使用能源（材料 4.2）。

材料 4.2 区块链有助于提升用能终端能效吗？

最近开始出现一些提议和试点项目，提出利用区块链进行能效提升。

在建筑部门，区块链能够简化涉及多方（客户、ESCOs、能源服务商 / 水电销售商、金融机构）的能源管理合同的制定流程，降低行政成本。区块链作为交易的安全账本，还有助于形成数字化建筑节能证书，向建筑业主证实其改造后的实际建筑能效与改造的建筑物物理特性相匹配，增强他们对项目的信心。区块链还能大幅提升白色证书和其他可交易节能证书项目的可追踪性和透明度。

根据沃尔玛最新取得的专利，区块链还能通过加密数字货币为智能电器分配能耗“预算”，从而实现单个智能电器能耗的自主监控和管理（US Patent & Trademark Office, 2018）。能耗超出预算的设备可以自动向局域网内外的其他设备购买额外的能耗预算。

在交通部门，包括区块链在内的 DLT 技术让用户无需通过中央平台就能相互建立起高度信任的关系，这为城市中兴起的移动服务提供了支持，包括“出行即服务”（MaaS）（ITF, 2018）。对货运而言，区块链有助于将货运能力和需求进行更好的匹配，确保车辆载荷实现合理最大化。此外，用数字账本存储海关信息能有效减少出入境相关的文书工作量，以及用来运输文书材料的时间和（例如对温控有要求的）文书材料腐坏相关的风险。

在工业部门，区块链可以用来记录供应链每一个环节所产生的输入（包括能源输入）数据。这为能源管理师或环评师确定污染最小化、能效最大化的方案提供了便利。

区块链或许还能对能效政策起促进作用。意大利和英国的案例研究均显示，区块链通过增加透明度、提高速度和降低交易成本的方式，对白色证书机制起到了促进作用（Khattoon, Verma, Southernwood, Massey, & Corcoran, 2019）。

来源：Rogers (2018), *How can blockchain save energy? Here are three possible ways*, <https://aceee.org/blog/2018/10/how-can-blockchain-save-energy-here>; US Patent & Trademark Office (2018), *Blockchain-based Identity Authentication Method, Device, Node and System*, <http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsearch-bool.html&r=12&f=G&l=50&co1=AND&q=PG01&s1=blockchain&QS=blockchain&RS=blockchain>; Khattoon et al. (2019), *Blockchain in Energy Efficiency: Potential Applications and Benefits*; ITF (2018), *Blockchain and Beyond: Encoding 21st Century Transport*.

区块链等 DLT 技术在能源部门的应用尚处于初级阶段。现有平台在速度、交易量和端对端集成等方面还无法支持 DLT 技术在能源部门的大规模应用，现有政策法规也还不支持在区块链上运作的商业经营。现阶段在大多数的 DLT 建议应用场景中，数字或其他替代技术可能成本更低，更容易实施，或者效果更好。

接口

接口 / 界面连接人与机器、系统或设备，并帮助人们生成机器可读的数据和指令。通过接口来抓取能源相关数据的例子包括网页、智能手机 app（材料 4.3）和建筑或工业设施能源管理体系中的仪表盘。

材料 4.3 接口为能效法规要求的数据收集过程提供便利

公司或个人在按照强制汇报等政策要求进行数据提交的过程中，越来越多地运用到数字化技术。这对各方来说都是一件好事，在提高信息收集速度和信息质量的同时，还减轻了受管理方的汇报负担。

在澳大利亚，一个叫做 Wattly 的智能手机 app 已被采纳，用来生成可在新南威尔士州和维多利亚州的能效目标责任机制中交易的白色证书。该 app 拥有用户友好的接口 / 界面，通过指导市民申请者逐条回答问题，帮助用户收集数据用于节能改造效果的验证。经由该 app 拍摄的照片都会被打上地理定位标签，该 app 还可以收集签名、条形码和数量等信息。除此之外，app 的实时协作功能还允许坐在办公室里的专家同步查看 app 收集到的数据，并在有问题的时候对用户进行即时告知（Wattly, 2019）。

数据解析

数据解析技术将传感器、仪表和接口收集到的大量数据与（数据库或线上的）其他数据相结合，对其进行解析，生成能效提升指令或建议。

算法和人工智能

算法是指用来解决问题的程序指令的简单或复杂集合。在能源管理中，算法对不同来源（传感器、仪表、网络等）的数据进行解析，为优化能源使用提供实用的建议。

当算法同时还具备学习能力时——例如根据长期接收到的数据调节或优化程序，或是在数据解析结果不可行时进行自我修正，它就成为了人工智能（AI）。AI 可以从海量数据中获得有意义的结论，并且速度远远超过人类力之所及，为挖掘能效提升潜力开拓了新的可能。

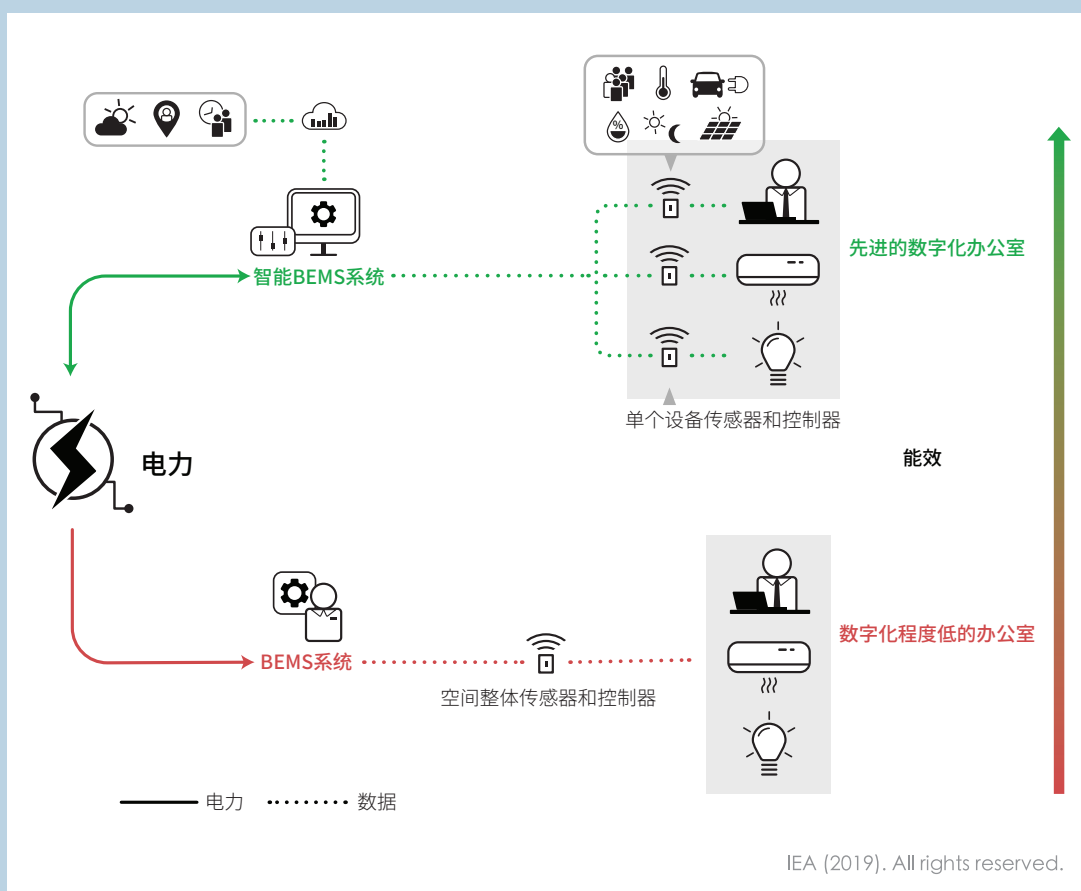
AI 可以运用于所有尺度：单个设备、单体建筑（材料 4.4），抑或是整个能源系统。一个实例是在区域供热网络中，AI 被用来优化能效、增加系统灵活性，从而让区域供热网络更好地适应可再生能源的特性。通过对室内传感器数据，以及天气情况和区域供热等数据加以结合和解析，AI 技术可以使某一区域供热网络内的峰值能耗降低高达 20%（Leanheat, 2019）。在能源系统尺度，AI 有助于提高系统对价格信号的响应程度，更好地预测短期和长期的电网能源需求，以及更好地协调分布式微电网从而减少能源损失等。

材料 4.4 建筑能源管理从传统到智能

传统的建筑能源管理系统 (BEMS) 中，联网传感器和控制设备从暖通空调 (HVAC) 系统、恒温器、联网照明系统、房间感应开关与 / 或其他建筑技术中收集数据。这些数据随后将被标准仪表盘展示给建筑能源管理师或设施经理等制定决策的人，由其决定如何提高设施的能源或运行效率。

智能 BEMS 将传统 BEMS 中的数据和其他数据（如天气状况、人员配备计划或影响人员到达时间的交通状况规律、医院里的病人手术时间安排、学校里的教室使用时间等）结合起来，随后运用包含 AI 算法的先进软件对这些数据进行解析。

高度数字化的高效办公建筑中智能建筑能源管理系统的作用



与传统 BEMS 相比，这些系统中的 AI 技术能形成体量更大、范围更广的可执行实时建议。例如，智能 BEMS 在决定何时运行特定系统以达到可再生能源消耗量最大化的同时，还能兼顾好建筑用户们的舒适度需求。

具有 AI 功能的智能 BEMS 还能根据天气、建筑占用率和能源价格等历史数据预测建筑的能耗表现。这些预测使建筑将其弹性（电力）负荷供应给电网成为可能，而这一过程也可以通过软件自动控制。弹性负荷资源有助于降低可再生能源的弃电率、削减峰值用电，不仅能带来建筑能效的提升，更会使电网变得更加高效。

模拟软件和数字化双胞胎

模拟软件对施加在对象或系统上的变化产生的能耗影响进行建模分析。在建筑部门，建筑信息建模（BIM）软件可以估算建筑构造、系统或占有率变化所带来的能耗影响，对新的创新型建造技术起到了关键的支撑作用（材料 4.5）。在工业设施和建筑中，人们利用“数字化双胞胎”——对生产流程中实物资产的数字化精确复制——来模拟和优化生产流程方案变化所引起的能耗变化（材料 4.5）。模拟软件还能对系统层面的能效措施（及其效果）进行预测，如在某交通系统甚至某城市加强交通规划、优化共享出行服务。

物理作用

数字技术对能效的提升，必须通过引发物理环境变化、减少能源消耗来发挥作用。这需要数字世界和物质世界之间的连接。

通过机对机通信，或人为地对数据和解析作出响应行为，数字化的数据和解析能够自动转化为高能效的物理作用。

执行器

执行器是将数据转化为真实世界能效行为的设备。例如，智能台灯的传感器对光照情况变化进行探测，当光照增强或减弱至某一特定程度时，台灯内置的执行器就会相应地减小或增大电流，确保台灯提供适应当下环境的最佳照明。

“智能执行器”通常是电力（而非水力或其他动力源）驱动的，并且能传送设备上电子元件抓取到的数据。智能执行器因此而特别精确，并且能对其自身以及系统中其他组件运行过程中的问题进行传送。

3D 打印机

3D 打印，又称增材制造，是一项由计算机控制，对数字化指令进行处理，通过材料逐层堆积制造物品的技术。3D 打印机是一个很好的例子，通过技术手段在数据驱动的解析和物质世界之间架起桥梁，实现真实的能效提升。每一件 3D 打印的物品最开始都是一个软件生成的数字化模型。而 3D 打印机（一组机械执行器）将这些模型作为立体“打印”物品的指令。

材料 4.5 建造中的 3D 打印——从虚拟节能到真实节能

3D 打印机目前正开始在建筑工程领域展现巨大的节能潜力。运用 3D 打印技术能使建筑垃圾和所需原材料数量减少高达 30% (Perkins and Skitmore, 2015)。诸如砖块、水泥一类的建材能源密度和碳密度都高，水泥行业占能源相关 CO₂ 排放总量的 7%，是工业部门第二大的 CO₂ 排放源 (IEA, 2018a)；因此建筑垃圾的减少将有利于改善建筑行业的能源和碳足迹。

3D 打印的建筑在其使用过程中也可节能。针对 3D 打印建筑建立精确复制的数字化模型——越来越不需要人力介入——能够有效地减少裂缝、渗漏和其他常见的整体性和外墙问题等建筑缺陷，从而增强建筑气密性，提升节能表现。

3D 打印技术还为通过建筑设计方案进行能效提升开拓了新的可能，3D 打印可以实现能效高的建筑几何形体，而这些几何形体在传统的建造方式中常常因其复杂性和高昂的建造成本而被弃用。例如，在建筑方案中尽可能避免设计不必要的接合处能使建筑气密性更高，从而减少热损失、提升建筑能效，还有一些建筑设计则利用自然资源进行被动式供暖、制冷、照明和自然通风。

ICON 公司 3D 打印的 Chicon House（私人住宅），位于美国



注：ICON 公司提供。摄影：@CaseyDunn 和 @ICON3DTech。

来源：ICON Build website, www.iconbuild.com

与传统制造相比，3D 打印机具备各种优势，包括筹备时间缩短，废料减少，库存成本降低，制造过程简化，建筑面积减小，以及能够制造使材料能效和重量达到最优的复杂形状和几何形体的物品 (Huang, 2016) (材料 4.5)。

接口

接口除了具备数据收集的功能，还是一项将数据驱动的解析转化为真实世界能效提升的关键技术，通过与人类行为协同，实现物理变化。接口将数据转化为真实世界能效提升的例子包括为上班族提供关于最快捷路线定制化建议的智能手机 app；与智能仪表相连接的家用屏幕，以及提供定制化节能方案信息的虚拟助手（材料 4.6）。

材料 4.6 虚拟助手和智能音箱——提高家庭能效的接口

虚拟助手，包括亚马逊的 Alexa、谷歌助手和苹果的 Siri，通过智能手机和智能音箱等其他智能设备的集成，已经出现在了許多家庭中。智能音箱，也就是集成了虚拟助手的语音控制音箱，正在迅速受到越来越广泛的欢迎：2019 年预计新增销量 9400 万台，市场累计销量因此增至 2 亿台以上，并且预计在 2023 年增至 5 亿台（Canalys, 2019）。

虚拟助手对家庭能源管理的促进作用正受到越来越多的重视。美国、加拿大和英国的一些能源服务供应商 / 水电公司为客户提供关于其能源使用、账目情况和停电状况的相关信息，并且允许用户通过虚拟助手缴费。

虚拟助手同时也是能效提升的一个有效接口，一些能源服务供应商 / 水电公司利用虚拟助手向客户提供节能小窍门。但提供给客户的大都是一些通用性的建议，更加精细化地运用虚拟助手进行能效提升还有大量潜力有待挖掘（Snell, 2018）。

例如，虚拟助手可以向客户提供关于适用的节能返利项目的信息；帮助客户有效利用分时电价政策，经济地使用能源；配合需求侧响应项目，允许能源服务供应商 / 水电公司获取家庭智能设备的数据；或者甚至向客户展示一次虚拟的能源审计（Snell, 2018）。

2019 年，英国的 Octopus Energy 公司向使用亚马逊 Alexa 虚拟助手的客户提供分时电价。客户可以向虚拟助手提问，例如“今天什么时候电价最低？”，并相应地规划用能行为，从而提升能源系统的效率（Octopus Energy, 2019）。

来源：Canalys (2019), *Global smart speaker installed base to top 200 million by end of 2019*, www.canalys.com/newsroom/canalys-global-smart-speaker-installed-base-to-top-200-million-by-end-of-2019 (press release); Snell (2018), *Voice Control Changes Everything: Why Utilities Should Care About Virtual Assistants*, www.esource.com/10059-001/3/voice-control-changes-everything-why-utilities-should-care-about-virtual-assistants; Octopus Energy (2019), *Octopus Energy and Amazon Alexa*, <http://www.octopusreferral.link/octopus-energy-amazon-alexa/>.

数字化的影响

虽然数字化为能效提升提供了各种各样的方式，数字化进程对能耗和能效的净影响还不明确。数字设备普及率的增加正在推动能耗升高，但大多数高耗能的数字设备在很大程度上与能源管理无关，例如在线观看视频或加密货币挖掘。与此同时，数字设备、数据网络和服务器的技术能效水平仍将继续提高（详见第二章），那些关于数字设备能耗较为悲观的预测也许不会实现。

部分研究显示，数字化对能耗和碳排放的改善效应接近所有相关负面效应的十倍 (Global e-Sustainability Initiative and Accenture, 2015)，但人们还需要更多的依据，去探索数字技术能为系统尺度的能效提升做出怎样的贡献，以及如果数字设备的进一步普及最终会造成能耗增加，反弹效应在这一过程中将如何削弱数字技术对节能的贡献。

人们对数字化的能耗影响和能源相关碳排放影响进行了预测，下文将对其进行整理。

全球影响预测

建筑部门，在有限的消费者能耗反弹效应前提下，数字化能让现在直到 2040 年的能耗总量减少高达 10%。同期累计节能量将达到 234 EJ，相当于全球年度终端能耗的一半以上 (IEA, 2017a)。

交通部门，数字化的预计能耗影响根据出行方式组合的不同，而呈现显著差异。例如，长期来看，在自动化和共享出行达到最佳情况的情景下，交通能耗将缩减为现有水平的一半。相反，如果不能实现显著的能效提升，同时自动化的反弹效应又带来出行活动的激增，交通能耗将增加一倍以上 (IEA, 2017a)。

较新的一项研究建模分析了城市交通的创新技术，包括数字化所激发的那些，如远程办公、大众共享出行、自动驾驶车辆等。研究显示，在适当的政策作用下，交通部门 2050 年 CO₂ 排放将比“一切如常”情景下降超过 50% (ITF, 2019)。仅仅是 AI 这一项技术的应用就能使 2030 年交通相关的温室气体排放减少约 10 亿吨 (Microsoft and PwC, 2019)。

工业部门，数字化对能耗的影响很大程度上取决于具体的行业。某研究指出，智能制造预计将在 2014 年到 2030 年间节能 15 EJ，比德国（2014 年）一次能源需求总量还多，同时预计将节约用水 810 亿升 (Global e-Sustainability Initiative and Accenture, 2015)。

不同地区受到的影响也会不同，这主要取决于当地的市场准备。就欧盟的情况而言，近期一项研究指出，数字化将在 2050 年形成额外的 1 至 2 EJ 节能量，在“能效第一”战略有力执行带来的能效提升基础上，使欧洲终端能耗再降低 5%，同时为市面上所有可用的技术能效提升手段扫清市场壁垒。但该研究在不同情景下的建模结果差异很大。在最坏情况情景中，数字化和其他社会趋势将共同导致欧洲终端能耗相较于基准情景大幅上升（Fraunhofer, 2019）。

发展更加灵活的需求

在现有政策和已规划政策的共同作用下，全球需求响应容量预计将从今天的 40 吉瓦（ 10^6 千瓦；GW）增长至 2040 年的 200 GW。目前需求响应资源大都集中在工业部门，而到 2040 年，85% 的需求响应容量将出现在建筑和交通部门，其中大多数将用于发展更加灵活的制冷需求（IEA, 2018b）。

数字化有望进一步扩大可用需求响应容量的规模。利用数字化战略和智能基础设施，全球需求响应容量将增至 450 GW，是现有水平的 10 倍以上（IEA, 2018b）。表 4.1– 表 4.4 展示了数字技术预计将为全球和各部门带来的部分效益。

表 4.1 数字技术的潜在全球效益

部门	说明	潜在效益
建筑	2017年到2040年商业和居住建筑电子化进程的预计增量，包括10亿联网建筑和110亿联网设备。	预计能耗降幅将高达10%。累计节能量234 EJ。
交通	2015年到2050年间城市交通中由数字化推动的创新技术，包括远程办公、大众共享出行、自动驾驶车辆等，预计将大幅降低旅客公里数（pkm）。	2050年CO ₂ 预计减少50%以上。
工业	将数字技术和先进软件应用与工业生产结合，预计将产生的累计影响。	高达30%的节能率。
需求响应容量	强调数字化战略和智能基础设施的政策增加，需求响应容量预计将从 40 GW 增加至 450 GW。	2040年需求响应容量增至现在的10倍以上。

来源：IEA (2019), *Perspectives for the Clean Energy Transition: The Critical Role of Buildings*, www.iea.org/publications/reports/PerspectivesfortheCleanEnergyTransition; IEA (2018b), *World Energy Outlook 2018*; IEA (2017b), *Digitalisation and Energy*; Schneider Electric (personal communication); ITF (2019), *ITF Transport Outlook 2019*.

部门效益

在居住建筑部门，数字化能为一系列用能终端节省能耗。经过能效优化的能源管理系统，加上自动化技术和一系列与系统联网的数字设备，能共同创造高达 30% 的节能率（表 4.2）。

表 4.2 居住建筑：数字技术的潜在效益

技术	说明	潜在效益
智能恒温器	遥控或自动控制供暖和制冷，以及根据偏好设置或传感器输入值进行室温调节。	供暖或制冷能耗预计减少5%–20%。
智能分区	在特定时间为单独的房间或区域提供供暖或制冷服务，使其达到特定温度。	供暖或制冷能耗预计减少10%。
智能窗控制	控制进入室内的光照量，并且能阻隔室外的炎热或低温。	供暖或制冷能耗预计减少10%–20%。
智能照明 (包括空间使用感应开关)	对室内照明、自动化进行遥控，根据空间使用情况作出调整。	家庭能耗预计减少1%–10%；照明能耗预计减少30%–40%。
智能插座	控制设备的连接状态。	家庭能耗预计减少1%–5%。
家庭能源管理系统	支持用能电器设备的控制和自动化。	家庭能耗预计减少8%–20%。
经过能效优化的管理和自动化综合系统	具备测量、监控、动态对标、信息展示、管理、控制、自动化、分区、空间使用感应系统、设备和系统维护等功能的技术集合。	家庭能耗预计减少30%。
区域智能供暖	用来优化住宅小区区域供暖能耗的AI和传感器集成技术。	住宅小区能耗预计减少约10%。住宅小区峰值能耗预计减少约20%。

来源：Adapted from 4E TCP EDNA (2018), Intelligent Efficiency: A Case Study of Barriers and Solutions; Leanheat (2019), More Efficient Energy Systems with Artificial Intelligence Controlled Buildings.

注：同一类终端能耗的降低可能来自多种技术的共同作用，因此总的潜在节能量在数值上要小于不同技术潜在节能量的简单加和，但合理协调和安排这些技术将有望为人们达成额外的节能和其他效益。

在商业建筑中，数字技术可以通过提升制冷设备、冷却塔和锅炉设备的能效来实现节能。照明方面的节能数字技术包括自动控制的遮阳装置、自然光照明以及空间使用感应开关 (Institute for Building Efficiency, 2014)。

在工业部门，尽管数字技术的节能效益规模在不同的工业流程中存在显著差异，数字化产生的节能率最高还是可以到达 30%。数字化的其他效益还包括提升资源利用效率、保障工业健康和安​​全，以及降低运行成本等 (Global e-Sustainability Initiative and Accenture, 2015)。

表 4.3 工业：数字技术的潜在效益

技术	说明	潜在效益
人工智能算法	通过AI技术预测工业设备工作状态，并在潜在故障发生和影响生产前对操作人员做出预警。	高耗能行业节能率预计高达10%。
先进/智能能源管理	传统工业能源管理体系（如ISO 50001）概念与数字技术和先进软件应用的结合。	取决于工业流程和技术，潜在节能率预计至少在10%–30%之间。

来源：Schneider Electric (personal communication); General Electric (personal communication); IBM(2019), *Cognitive Manufacturing: An Overview of Four Applications that are Transforming Manufacturing Today*; IEA (2018) *Energy Efficiency 2017*.

数字技术在客运和货运交通部门都会起到重要的能效提升作用，预计节能率约为 20%–25%。无论在客运还是货运交通中，大部分的能效提升都将主要来自自动化程度的提高。

表 4.4 交通：数字技术的潜在效益

技术	说明	潜在效益
道路交通：联网自动驾驶车辆	联网自动驾驶车辆（CAV）在单车、车辆保有总量、城市系统等方面，都能降低道路交通的能源强度。但考虑到出行成本降低以及该技术对新用户的激励作用，联网自动驾驶车辆同时也可能产生反弹效应。	单车尺度的潜在节能效益包括车辆编队（节能率高达25%）、绿色驾驶（高达20%）和车辆尺寸的合理精简（20%–45%）。
道路交通：共享出行服务	共享交通工具（如单车、滑板车、汽车等）和共享出行服务（如拼车等）使出行模式从个人汽车向能耗更低的方式转变，从而有助于降低能耗。	车辆共享预计能将个人交通能耗减少一半。 如果对车辆进行电动化、自动化和共享，2050年行驶里程数、交通能耗和CO ₂ 排放预计均会减少1/3。
道路货运	道路货运的数字化解决方案包括：用于优化路径方案、集成了GPS技术的实时交通信息；用于绿色驾驶的车上监控和反馈；用于提高行车燃油效率的联网自动驾驶车辆编队；以及用于提高供应链整体货运效率的供应链公司间数据共享。	在货车运行和物流中运用数字化解决方案预计将使道路货运能耗减少20%–25%。
铁路	列车自动运行（ATO）、基于通信的列车控制、驾驶辅助系统（DAS）和高效时间表编排能够优化驾驶习惯、提高设备利用率、推广高效驾驶，从而达到降低能耗的效果。	ATO技术预计节能率高达20%，而DAS系统潜在节能率在5%–20%之间浮动。高效时间表编排预计将产生高达35%的节能率。

来源：Taiebat et al. (2018), A review on energy, environmental, and sustainability implications of connected and automated vehicles; Wadud et al. (2016), Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles; Chen & Kockelman (2016), Carsharing's life-cycle impacts on energy use and greenhouse gas emissions; Fulton, Mason, & Meroux (2017), Three revolutions in urban transportation: How to achieve the full potential of vehicle electrification, automation, and shared mobility in urban transportation systems around the world by 2050; IEA (2017b) The Future of Trucks; Scheepmaker, Goverde, & Kroon (2017) Review of energy-efficient train control and timetabling; Douglas et al. (2015), An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks; González-Gil et al. (2014), A systems approach to reduce urban rail energy consumption; Trentesaux et al. (2018), The Autonomous Train; Dunbar et al. (2017), A tool for the rapid selection of a railway signalling strategy to implement train control optimisation for energy saving; Urien (2013), Energy Optimization for Public Transportation Applications.

数字化如何改变能效

根据能效的经典定义，数字技术能够减少单位（经济）活动水平所需要消耗的能源，从而提升能效，这一定义下的能效也称为终端能效。通过减少能源生产和分配相关的损失、降低可再生能源弃电率、节省用于能源基础设施的额外投资，数字技术也可以对整个能源系统的能效起到提升作用（图 4.4）。在上述两种情况下，能效提升都是通过加强连接性来实现的。连接性的重要地位主要基于以下两方面原因：

- 首先，连接性有助于让各个单独的设备实现互联，从而实现比单一设备更高的终端能效（Alliance to Save Energy, 2016）。

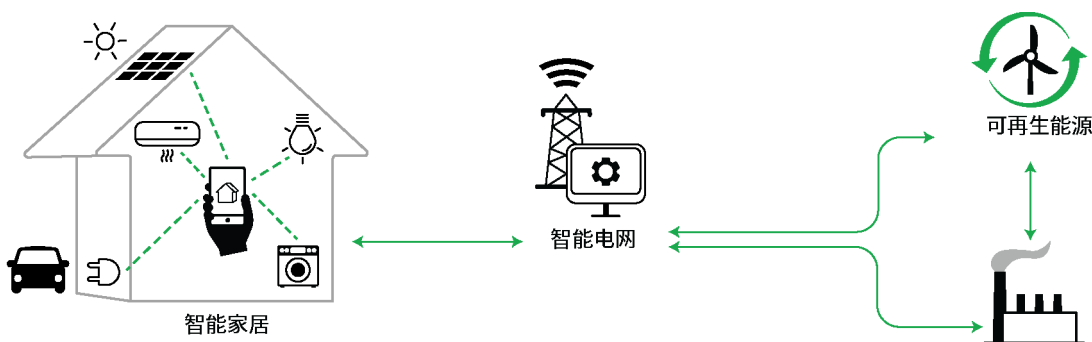
- 其次，连接性还为需求响应提供新的源头支持；需求响应让系统在有需求时进行能源供应，在有能源资源时进行能源消费，这在确保能源系统尽可能高效运行中发挥着越来越重要的价值。

图 4.4 数字化促进能源系统效率提升的例子

数字化让电器设备进行互联和相互协调，从而促进能效提升。

数字联网建筑与电网进行通信，提供新的弹性负荷来源。

易中断的可再生能源可以在其可用时得到利用，从而提升系统效率和稳定性。



IEA (2019). All rights reserved.

通过对终端能效和系统能效的提升，数字化也在重塑人们对能效和需求响应的看法：二者不再是两个各自独立的环节，更不冲突。数字化正在将分布式弹性负荷、发电、储能与终端能效进行结合，推动对“能效”的重新定义，使其同时包含终端能效和系统能效。

数字化让人们对于能效价值的认识前所未有的准确和迅速

由于在预测和测量过程中存在的挑战，人们并不总能意识到终端能效提升为整个能源系统带来的效益，或是不能在政策制定者作出决策前意识到其重要性，因此在制定发电和电网基础设施规划时，往往没有考虑终端能效提升的潜在效益。

数字化能够解决这一问题：如今数字联网的节能建筑、车辆和设备让系统操作人员能够准确地预计和测量某一具体的能效提升对于降低能耗和调节峰值能耗的作用。软件工具让人们可以对能效技术和行为的影响进行量化和预测，“按效果付费”机制让节能量的测量变得透明，有了这些辅助手段的支持，系统操作人员能够更加准确地确定能效价值，而能效提升又能促进电网碳减排，以及奖励为能源系统带来节能效益的用能者（Golden et al., 2019）。

数字化是大势所趋，并且能够成为能效提升的助力

数字技术在全球 / 地区市场渗透率的上升几乎势不可挡，无论是在家用还是商用领域都存在多种促进其市场渗透的驱动力。对关注能效的人们来说，深入这些智能设备网络进而打造更加高效能源体系的机会正蓄势待发，但政策将在其中起关键作用。

政策如何利用数字技术进行能效提升

能效政策在近几年推动了数字技术的市场应用，虽然一部分是无心插柳。举例来说，欧洲的《建筑能效指令 2003》¹ 虽然没有直接在智能建筑中推广传感器，但在事实上刺激了欧洲的传感器市场。类似的还有美国要求一些州采纳 2010 年版本的 ASHRAE 90.1 标准（美国采暖、制冷与空调工程师学会制定的建筑节能标准），这促进了北美照明控制设备的推广和应用（Walker, 2013）。工业领域，激励企业采用 ISO 50001 标准的政策也促进了能源管理类数字技术的应用。

专门用来推动能效数字技术应用的政策，如欧洲新推出的《建筑能效指令》（EPBD）等，正渐渐兴起。EPBD 在附录 I 中建立了一个针对智能化准备程度的指标，指标将衡量某一建筑根据建筑使用者需求和电网特性、通过智能技术调节建筑运行情况以实现能效提升的能力。

解决障碍至关重要

虽然数字技术在终端能效和系统能效上都能带来效益，但各部门都存在阻碍其进一步广泛应用的障碍，同时，不同市场对于接纳数字技术进入的准备程度也不同。

在工业部门，尽管数字技术应用有强烈的商业动机支持，对于其快速渗透依然存在障碍。例如物联网（IoT）解决方案的商业客户持续反映在物联网 / 解析解决方案的运用过程中存在各种障碍，包括对于安全性的担忧，信息技术和操作技术的集成水平低，以及关于投资预期收益的说明不清晰等（Bain & Company, 2018）。

针对商业建筑能效的商业意向调查也显示出人们类似的担忧，在业界认为会对未来五年智能建筑的应用产生重大影响的问题清单中，网络安全首当其冲（Johnson Controls, 2018）。

¹ 即“指令 2002/91/EC”。

在居住建筑部门，阻碍数字技术进一步推广应用的障碍包括对于隐私的担忧，但研究显示，在某些市场，用能者愿意牺牲一部分隐私来获取经济报酬，此处体现为能源支出的减少（Kowalski, 2016 in Kowalski & Matusiak, 2018）。除此以外，还存在其他影响数字技术推广的障碍，包括使用的难易程度，以及用能者预期节能经济效益和实际节能量之间的错位等。

交通部门又有不同的挑战。出于能效提升的需要，私营企业积极参与到了在城市中推广“智能出行”的行动中。然而归根结底，科技行业还是想要尽可能多地增加产品销量，因此交通部门的数字化进程存在重大风险，可能会导致交通和基础设施规划的全盘改变。这些风险包括（商家）诱导需求引起的交通活动水平净增长，公共空间分配和用来支持私营企业盈利（如补贴充电基础设施和车库）的税收分配问题，数据不对称，以及社会公平问题等（Docherty, Marsden, & Anable, 2018）。

政策原则的建议框架

为了确保数字化促进能效提升的同时，不对环境、社会或经济造成危害，政府需要扮演关键的角色。

IEA 通过在前期对数字化变革政策——例如 OECD 的《数字化融合政策框架》（OECD, 2019a）——进行仔细查看，明确了各国政府在试图通过数字技术提升能效的过程中需要考虑的一系列政策议题。这些原则共同形成了“数字能效提升准备”（RDEE）框架（图 4.5）。

图 4.5 组成“数字能效提升准备”框架的政策准则



制定 RDEE 框架一个很重要的环节，是 IEA 针对数字化能效政策过程中牵涉的各方，包括消费者、产品制造商、服务商和能源服务商 / 水电公司等，所面临的障碍都做了相关考虑。而在能源部门数字化变革持续推进的同时，RDEE 框架也将继续吸纳来自能效和数字化政策专家的有益建议，随着数字化进程不断完善。

提高能源相关数据的易获取性

有效运用数字技术提升能效需要有及时、标准化的数据获取相配合。这包括与能源消费行为直接相关的数据，如分辨率的耗电量数据等，以及间接相关的数据，例如气候、电器设备销量或人口统计数据等。

让用能者和第三方都能够获取数据，对能效技术和服务的开发和应用来说都相当有必要。然而鉴于消费者和社会各界对于数据隐私问题的担忧，政策制定者还需要对数据所有权、保密性和资料保护等问题进行严谨的考量。

政府也可以大幅增加能源数据的获取来源，从而促进能源数据的创新应用——以在数据收集阶段从未想过的方式。例如，墨西哥将其家庭 / 户口调查的综合结果对外公开，并与已有的“能效指标基准”（BIEE）联系起来，形成可公开获取的数据库。该数据库为墨西哥电器能耗提供了有价值的参考（BIEE, 2019）。

政府还能够增加其他方面数据的可获取性，包括人口普查信息、税收和人口数据等行政管理数据。这些数据与能源数据相结合，能对进一步深入理解能效起到关键作用（IEA, 2014）。

确保对数据和网络安全的可靠保护

数字技术应用——无论是个人、公司还是政府应用——存在的最大阻碍之一就是人们对于数据保密性和所有权以及网络安全的担忧。

人们对消费者数据的所有权、共享和使用正体现出越来越多的担忧（IEA, 2017a）。例如在 2019 年底，虽然 43% 的美国家庭宽带用户打算购买智能家居设备，但 35% 的消费者也同时表示了对数据保密和安全的担心（Parks Associates, 2019）。人们害怕自己的个人信息出于服务或市场等目的被获取和滥用，这也让消费者政府对推行智能仪表的举措持怀疑态度（Collison, 2017）。

对公共机构和私营部门来说，网络安全漏洞都是一个严重的问题，可能导致运营中断与 / 或重要私密信息被窃取。政府已经开始意识到建立安全的数据管理和共享平台的重要性。但近期重要基础设施网络的安全漏洞时有发生，促使政府不得不加快行动，提升网络安全性能。在北美和欧洲，以及中国和印度，政府都发布了针对网络安全的法律法规框架。东盟（ASEAN）的领导者们也启动了类似的项目来促进网络安全区域合作和能力建设（ASEAN, 2016）。

加强用能者对数字技术的信任

数字能效技术的用户体验决定了它们是否会被采用。从开始意识到一项技术及其预期效益，到对数字技术的长期效果和可靠性产生信心和信任，用户体验渗透在数字能效技术应用的每一个环节。

影响数字技术用户体验的因素包括：

- 安装和使用的复杂程度；
- 使用效果和可靠性，以及快速变化市场中的产品折旧；

- 厂商锁定，即对专利 / 专营软硬件的使用令消费者不得不一直从同一个技术供应商那里购买产品或服务。

通过自动化和 AI 技术实现系统能效提升，需要用能者对技术有高度信任，相信允许机器对居住和商用建筑中的电器设备进行访问并不会产生一些负面影响（材料 4.7）。

政府政策能帮助用户建立信任。OECD 国家新近就一系列针对 AI 技术的准则达成了一致，包括要求 AI 系统具备适当的防护措施，确保社会公平公义，并且尽量使透明度最大化，确保用户能够了解 AI 技术可能产生的各种结果并对其提出质疑（OECD, 2019b）。G20 国家最近也采纳了类似的一系列“以人为本”的 AI 准则（Ministry of Foreign Affairs of Japan, 2019）。

材料 4.7 撬动自动化的“社会许可”

对分布式能源（DER）进行自动化获取的能力——如居住和商用建筑中的弹性负荷、储能和小规模发电等——是数字技术带来的关键效益之一，进而能在整个能源系统产生广泛的效益。

然而部分用能者却认为，授权允许能源服务商 / 水电公司对数字联网的电器设备进行控制是对私人领域的侵犯，并且有很大的风险，因此这一环节的顺利实施需要极大程度的信任。“社会许可”描述了一种场景，在该场景中，受到某个特定项目影响的个人和社群都接受甚至支持这个项目，而这也正是电网运营商在对分布式能源进行自动化获取时所需要的。

IEA“以用户为中心的能源系统技术合作计划”（简称“用户 TCP”）发起了一个项目，探索如果要取得自动化获取分布式能源所需的社会许可，应该满足居住部门能源消费者的哪些需求。在围绕社会许可、技术和政策等主题逐渐兴起的各类研究中，各国专家将合作开展调研和分析，为打造以用户为中心的分布式能源自动化获取方式确定关键的社会、组织、经济和管理要素。*

* 如需了解更多详细信息，请与 tony.fullelove@monash.edu 联系。

保证能源市场正确看待数字能效技术所提供服务的价值

许多联网用能设备、车辆、建筑和工业设施都能为能源市场的需求响应提供大量有益的来源。但对这些资源的开发却需要管理结构和法律法规的支持，帮助人们认识到这类服务为更广阔的能源市场带来的价值，需要的支持包括：

- 建立动态定价机制促进需求响应隐性和显性资源化，满足不同用户偏好，并且通过需求侧灵活性发掘全方位的系统效益；
- 意识到弹性负荷资源在紧急情况中能够发挥更大的价值和意义，进一步为弹性负荷资源打开容量、能源批发和配电网络服务等市场，从而加强系统安全；

- 为节能服务公司或服务聚合商合伙经营需求响应资源创造通道，特别是在居住部门，从而帮助需求响应资源进入更广阔的能源市场；在此过程中采取合理措施，确保能源市场规范不会阻止小体量的弹性负荷项目进入市场，能够对其起到帮助作用。

新加坡就是一个很好的例子，在能源市场发出清晰信号，鼓励弹性负荷参与市场。在能源市场局的需求响应项目框架下，自愿减少电力消耗的消费者能够从整个系统的效益中获得分红，即相当于其电力负荷减少量批发售价 1/3 的现金奖励 (EMA, 2016)。

让社会各界都能使用数字能效技术及基础设施

随着数字化在社会和日常生活中的一些方面变得不可或缺，(部分人) 缺乏使用信息通信技术的渠道也许会使社会现有的不平等进一步加剧。“数字鸿沟”就是指处于不同经济社会水平的个人、家庭、行业和地理区域之间在获取和使用信息通信技术上所存在的差距 (OECD, 2001) 。

例如，建筑传感器和智能仪表等智能设备的引入和使用往往能对低收入家庭产生更大的边际效益，但与高收入家庭相比，低收入家庭通常会被这些设备的前期成本劝退。

要从数字技术带来的能效提升中受益，也需要获取来自宽带网络或智能仪表等基础设施的支持。在数字基础设施越差的地区，数字鸿沟越大。

数字技术也让一些人望而却步，尤其是当这些人过去的大部分时间都不曾使用过数字技术的时候。如果不向他们提供有针对性的信息和培训，他们很可能延续先前的习惯，尽量不使用数字技术，包括能够提升能效的数字技术。

英国西埃塞克斯的“智能房屋居住”项目帮助老年人和残障人士在安全的环境中对智能家居技术进行实地使用测试。该项目帮助建立起了一批配备了智能电器的住宅，人们在这些房屋中花时间了解和学习数字技术，提高他们与数字化相关的素养。他们也从远程控制电器、智能仪表和恒温器等设备获取帮助。该项目获得了来自“数字化包容创新基金”40 万英镑 (约合 49 万美元) 的拨款支持 (Digital Boomers, 2019)。

确保工作人口为数字技术应用做好了准备

数字化变革对现有的工作人口来说，既有好处也有弊端，因此需要行业、职业教育、培训和技能重塑等方面的政策响应加以配合。政府需要在工作人口中培养建立一系列的技能，确保从业人员能够胜任数字化的工作场所 (OECD, 2019) 。

对能效政策制定者而言，首要的就是监控现有的能效领域就业市场，明确哪些技能短缺可能会影响到数字能效技术的推广。此外，随着政府部门的数字化变革进程，政策过程中每一个环节对数字化工具的使用都会增加，因此在政策制定机构内部的专业技能也需要加以提升。

除了某些方面的应用，数字能效技术的家用安装和使用通常都可以由用户自己控制，同时已有的计算机和电子产品销售商可以为其提供支持。然而对于更加复杂的居住应用，或者是商业和工业部门的应用，还是需要具备专业技能的工作人员对其进行设计和安装。

政策制定者能够帮助制定以及 / 或是帮助私营部门自行制定职业教育和培训课程及职业资格认定项目。例如，美国能源部通过其主导的在线平台向公众提供了一项特别有用的工具，该工具列出了所有清洁能源相关的培训项目，囊括了从能源管理专业人员培训到建筑改造规划和资格认证培训等全方位的信息（EERE, 2019）。

将负面环境影响降至最低

关于数字化另一个重要的担忧则是其对环境的净影响，尤其是与能耗相关的影响。能源管理设备只是数字技术中的一小部分，因此它们对能耗的净影响可能也很微弱，特别是与它们能够产生的环境效益相比（Microsoft and PwC, 2019）。

然而正如所有的数字技术一样，用于能源管理的数字技术也需要消耗生产资源和物质能量，因此如何将其环境影响降至最低依然是一个重要的政策议题，尤其是考虑到许多数字技术快节奏的变化和换代。

数字设备的构成里常常含有一系列的金属和稀土，这些原料的获取过程资源密集程度高，并且正在变得越来越稀有。另外，靠电池供电的设备对锂、镉等元素的依赖程度高，而这些元素往往需要在冲突四起的地区进行开采，又因其自身毒性有着很高的政治敏感性。

除了设备本身，消费者行为也会对数字设备的环境影响起到一些作用，因此不能简单地把技术解决方案当成一劳永逸的良方，尤其还要考虑到潜在的反弹效应（前文已作讨论）。

智能仪表就是一个例子。它们对用能行为的长期影响现在还无法确定，支撑两个方向观点的证据都有。英国一项调查显示，拥有智能仪表时间较长的人们对节能活动也有更多的参与（Smart Energy GB and Populus, 2018）。然而在丹麦，调查结果就比较复杂：经过智能仪表改造后的各家庭能耗数据，其变化在下降 39% 和上升 18% 之间浮动（Gurzu, 2017）。

为技术供应商和业界提供激励、推动创新

许多国家的数字能效技术市场尚未成熟，在技术和商业模式上还需要持续挖掘创新潜力，才能更好地收获数字化带来的能效提升效益。

尽管对联网设备的使用正在迅速增加，但很多产品还未在市场中达到“早期使用大众”阶段²。在这样的市场中，技术创新者能够发觉来自整体需求（或新产品和商业模式可行性和盈利能力）不确定性的风险，与 / 或对来自市场主导者或现有法规的市场障碍的担忧引起的风险。

为了减少对产品需求或可行性的不确定性，政府在试图通过数字技术提升能效的过程中，可能需要考虑市场中是否已经建立起了开发新技术和服务所需要的对应技能，以及市场是否能够通过为承担风险的研究者和企业家提供支持来鼓励创新。

要移除新产品和商业模式进入市场的障碍，需要对现有市场结构和法律法规进行全盘考虑。例如，由于所有数字技术都涉及发送和接收数据的通信协议，一个常见的市场壁垒就是市场主导者采用自己的专利通信协议，由此带来少数几个大的市场主体所主导的市场分化。

这为新的小市场主体制造了困难，如果小公司想要将自己的设备与现有系统互联，就必须向协议所有者支付许可费。这增加了进入市场的成本，包括许可费本身，以及起草具有法律约束效力的保密协议的成本。

现有法律法规也可能成为创新的阻碍。例如，不重视需求响应尤其是小主体需求响应的能源市场法规，可能会妨碍对这类数字能效技术进行资本化的商业模式兴起。基于这一考虑，一些国家（如马来西亚、新加坡和一些欧洲国家）的政府最近开始在能源部门采用“监管沙盒”机制。监管沙盒为商业创新提供了一个安全空间，在这样的环境内业界可以对其创新产品、服务和市场模式进行测试，同时接受来自监管机构的管理和支持。在沙盒中，市场主体可以免于受到常规市场中阻碍其试点项目的行政法规的影响。

英国的 OVO 能源公司（OVO Energy）就是企业在监管沙盒中测试其创新数字能效产品的例子。利用英国的监管沙盒，该公司在居住部门试用了一个与智能电热水器配合的创新电价机制，该机制在提升电网负载平衡能力的同时，还能减少用户能源开支（Ofgem, 2018）。

2 “早期使用大众”（Early Majority）一词来自罗杰斯（Everett Rogers）的“技术推广”曲线，即一个关于技术推广不同阶段的类型理论。该理论认为技术推广的五个阶段依次为：技术创新者、早期使用者、早期使用大众、晚期使用大众，以及顽固派。

参考文献

- 4E TCP EDNA (2018), *Intelligent Efficiency: A Case Study of Barriers and Solutions – Smart Homes*, www.iea-4e.org/document/413/intelligent-efficiency-a-case-study-of-barriers-and-solutions-smart-home.
- Andoni, M. et al. (2019), Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.100, pp. 143-174, Elsevier Ltd, Amsterdam, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>.
- ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) (2016), The 16th ASEAN Telecommunications and Information Technology Ministers Meeting and Related Meetings – Joint Media Statement, Bandar Seri Begawan, <http://asean.org/storage/2012/05/TELMIN-16-JMS-Final-cleared.pdf> (press release).
- Bain & Company (2018), *Unlocking Opportunities in the Internet of Things*, Bain & Company, Boston.
- Canalys (2019), Canalys: Global smart speaker installed base to top 200 million by end of 2019, www.canalys.com/newsroom/canalys-global-smart-speaker-installed-base-to-top-200-million-by-end-of-2019 (press release).
- Chen, T. and K. Kockelman (2016), Carsharing's life-cycle impacts on energy use and greenhouse gas emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 47, pp. 276-284, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.012>.
- Cisco (2016), The zettabyte era: Trends and analysis (white paper), <https://webobjects.cdw.com/webobjects/media/pdf/Solutions/Networking/White-Paper-Cisco-The-Zettabyte-Era-Trends-and-Analysis.pdf>.
- Cisco (2019), Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022, www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf.
- Collinson, P. (2017), Is your smart meter spying on you? The Guardian, www.theguardian.com/money/2017/jun/24/smart-meters-spying-collecting-private-data-french-british.
- CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía – National Commission for the Efficient Use of Energy) (2019), *Indicadores estatales de eficiencia energética* [National indicators for energy efficiency], www.biee-conuee.enerdata.net/datamapper/ (database) (accessed 15 August 2019).
- DeepMind (2016), DeepMind AI reduces google data centre cooling bill by 40%, <https://deepmind.com/blog/article/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40>.
- Digital Boomers (2019), *Digital Boomers* (website), www.digitalboomers.org.uk.
- Docherty, I., G. Marsden and J. Anable (2018), “The governance of smart mobility”, *Transportation Research Part A*, 114-125, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.012>.
- Douglas, H. et al. (2015), An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks. *Energy Conversion and Management*, Vol. 106, pp. 1149–1165 <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.053>.
- Dunbar, R., Roberts, C. and Zhao, N. (2017), A tool for the rapid selection of a railway signalling strategy to implement train control optimisation for energy saving. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. Vol. 7, No. 4, pp. 224–244, <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2017.09.002>.
- EERE (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy) (2019), Find trainings (web page), Education (website), Energy.gov, US Department of Energy, www.energy.gov/eere/education/find-training.
- EMA (Energy Market Authority) (2016), Introducing demand response to enhance competition in the national electricity market of Singapore, Energy Market Authority, Singapore, www.ema.gov.sg/cmsmedia/Electricity/Demand_Response/13jun16%20DR%20Factsheet.pdf.
- European Commission (2019a), *Digitalisation: Opportunities for Heating and Cooling*, European Union, Luxembourg.

- Fulton, L., J. Mason and D. Meroux (2017), *Three Revolutions in Urban Transportation*, University of California Davis, CA, <https://steps.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/05/ITDP-3R-Report-v6.pdf>.
- Geissbauer, R., J. Vedso, and S. Schrauf (2016), *Industry 4.0: Building the digital enterprise*, PwC, www.pwc.by/be/publications/pdf/2016%20Global%20Industry%204.0_Building%20your%20digital%20enterprise.x.pdf.
- Global e-Sustainability Initiative and Accenture (2015), #SMARTer2030: ICT Solutions for 21st Century Challenges, GeSI, Brussels.
- Golden, M., A. Sheer, and C. Best (2019), Decarbonization of electricity requires market-based demand flexibility. *The Electricity Journal*, Vol. 32, No. 7, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106621>.
- González-Gil, A. et al. (2014), A systems approach to reduce urban rail energy consumption. *Energy Conversion and Management*, Vol. 80, pp. 509–524 <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.060>.
- Gurzu, A. (2017), Smart energy stumped by 'rebound effect', Politico, www.politico.eu/article/smart-energy-stumped-by-rebound-effect/.
- Huang, R. (2016), *A Multi-Scale Life Cycle Framework for the Net Impact Assessment of Additive*, Northwestern University, Evanston, IL.
- IBM (International Business Machines Corporation) (2019), *Cognitive Manufacturing: An Overview of Four Applications that are Transforming Manufacturing Today*, www.ibm.com/downloads/cas/VDNKMWM6.
- IEA (International Energy Agency) (2019), *Perspectives for the Clean Energy Transition: The Critical Role of Buildings*, www.iea.org/publications/reports/PerspectivesfortheCleanEnergyTransition/.
- IEA (2018a), *Energy Efficiency 2017*, <https://doi.org/10.1787/9789264284234-en>.
- IEA (2018b), *World Energy Outlook 2018*, <https://doi.org/10.1787/weo-2018-en>.
- IEA (2017a), *Digitalisation and Energy 2017*, www.iea.org/digital/.
- IEA (2017b), *The Future of Trucks*, <https://doi.org/10.1787/9789264279452-en>.
- IEA (2014), *Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics*, <https://doi.org/10.1787/9789264215672-en>.
- Institute for Building Efficiency (2014), *Intelligent Efficiency: Improvement Measures and Investment Analysis Framework*, Johnson Controls, Washington DC.
- ITF (International Transport Forum) (2019), *ITF Transport Outlook 2019*, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/transp_outlook-en-2019-en.
- ITF (2018), *Blockchain and Beyond: Encoding 21st Century Transport*, ITF Corporate Partnership Board, OECD Publishing, Paris <https://doi.org/10.1787/bf31443f-en>.
- Johnson Controls (2018), *2018 Energy Efficiency Indicator Survey: United States*, Johnson Controls, Washington DC, www.johnsoncontrols.com.
- Khatoun, A. et al. (2019), Blockchain in energy efficiency: Potential applications and benefits, *Energies*, Vol. 12, No. 3317, pp. 1-14, <https://doi:10.3390/en12173317>.
- Kowalski, J. and B. E. Matusiak (2019), End users' motivations as a key for the adoption of the home energy management system, *International Journal of Management and Economics*, Vol. 55, No. 1, pp. 13-24, <https://doi.org/10.2478/ijme-2019-0002>.
- Leanheat (2019), *More Efficient Energy Systems with Artificial Intelligence Controlled Buildings* (Presentation as part of webinar – Danfoss Expert Talk: What is Digitalisation doing for energy efficiency?)
- Microsoft and PwC (2019), *How AI Can Enable a Sustainable Future*, PwC, www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/how-ai-can-enable-a-sustainable-future.pdf.

Ministry of Foreign Affairs of Japan (2019), G20 Ministerial Statement on Trade and Digital Economy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, Tokyo, www.mofa.go.jp/files/000486596.pdf.

Octopus Energy (2019), *Octopus Energy and Amazon Alexa*, <http://www.octopusreferral.link/octopus-energy-amazon-alexa/>.

OECD (Organisation of Economic Co operation and Development) (2019a), *Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives*, OECD Publishing, Paris <https://doi.org/10.1787/9789264312012-en>.

OECD (2019b), OECD Principles on AI (website), www.oecd.org/going-digital/ai/principles/.

Ofgem (2018), Outcome of sandbox window 1, www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2018/09/outcome_of_sandbox_window_1.pdf.

Parks Associates (2019), Forty-three percent of US broadband households plan to purchase a smart home device in 2019, www.parksassociates.com/blog/article/cs-2020-pr1.

Peloton (2018), The platooning experience (web page), <https://peloton-tech.com/how-it-works/>.

PwC (2017), Smart home, seamless life: Unlocking a culture of convenience, PwC, www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2017/01/pwc-consumer-intelligence-series-iot-connected-home.pdf.

Rogers, E. (2018), How can blockchain save energy? Here are three possible ways, American Council for an Energy-Efficient Econom , <https://aceee.org/blog/2018/10/how-can-blockchain-save-energy-here>.

Scheepmaker, G., R. Goverde and L. Kroon (2017), Review of energy-efficient train control and timetabling, *European Journal of Operational Research*, Vol. 257, No. 2, pp. 355-376, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.044>.

Smart Energy GB and Populus (2018), Smart meters and energy usage: A survey of energy behaviours among those who have had a smart meter, and those who have yet to get one, www.smartenergygb.org/en/~media/SmartEnergy/essential-documents/press-resources/Documents/Smart-meters-and-energy-usage.ashx.

Snell, E. (2018), Voice Control Changes Everything: Why Utilities Should Care About Virtual Assistants, E Source, www.esource.com/10059-001/3/voice-control-changes-everything-why-utilities-should-care-about-virtual-assistants.

Sumits, A. (2015), The history and future of internet traffic (blog), <https://blogs.cisco.com/sp/the-history-and-future-of-internet-traffic>.

Taiebat, M. et al. (2018). A review on energy, environmental, and sustainability implications of connected and automated vehicles. *Environmental Science & Technology*, Vol. 52, No. 20, pp. 11449-11465. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00127>.

Teralytics (2019), We change how the world moves (website for Teralytics), www.teralytics.net.

Trentesaux, D. et al. (2018), The Autonomous Train. *13th Annual Conference for Systems of Systems Engineering*, pp. 514–520, IEEE Xplore Digital Library, <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2018.8428771>.

Urien, N. (2013), Energy optimization for public transportation applications, *14th International Conference on Automated People Movers and Automated Transit Systems*, <https://doi.org/10.1061/9780784412862.031>.

US Patent and Trademark Office (2018), Blockchain-based identity authentication method, device, node and system, *Patent Application Full Text and Image Database*, US Patent and Trademark Office, <http://appft.uspto.gov/>.

Wadud, Z., D. MacKenzie and P. Leiby (2016), Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 86, pp. 1-18, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.12.001>.

Walker, L. (2013), Navigant: Advanced building sensor market worth \$3.7 billion in 2020, *Environment + Energy Leader*, www.environmentalleader.com/2013/12/advanced-sensors/.

Wattly (2019), *Wattly Raptor App – Onsite Data Collection*, www.wattly.com/job-it-platform/job-data-collection/.

附录

附录 A：分解分析中所涉及因素的定义

分解分析让人们更好地理解各种因素对能耗的影响。本报告中的分析通过以下三个不同因素对能耗进行分解：

- 活动水平 —— 产生能耗的活动的水平变化。
- 结构 —— 一个经济体或部门中所有活动的组合。
- 技术能效 —— 单位活动水平所需要消耗的能源。“技术能效效应”一词在本报告中用来与“能源强度”进行区分。

《能效 2019》报告中呈现的分解分析覆盖到了全球 75% 的能耗，并且包括了所有 IEA 成员国以及阿根廷、巴西、中国、印度、印度尼西亚、墨西哥、俄罗斯和南非。“能耗”不包括非能源的消耗（即作为原料）和能源供应。

表 A.1 IEA分解分析中包括的部门和指标

部门	服务/子部门	活动	结构	技术能效效应
居住和非居住建筑	室内供暖	人口（与气候）	人均供暖面积	单位建筑面积室内供暖能耗*
	热水	人口（与气候）	人均拥有热水设备的住宅数量	每户居住住宅热水能耗
	烹饪	人口	人均拥有烹饪系统的住宅数量	每户居住住宅烹饪能耗
	室内制冷	人口（与气候）	人均制冷面积	单位建筑面积室内制冷能耗*
	照明	人口	人均照明面积	单位建筑面积照明能耗
居住建筑	烹饪	人口	人均拥有烹饪系统的住宅数量	每户居住住宅烹饪能耗
	电器	人口	人均电器保有量	单位保有量的电器能耗
客运交通	轿车、公共汽车、铁路、航运、航空	旅客公里数	各出行方式的旅客公里数占比、轻型卡车旅客公里数中轻型乘用车占比、单车搭载人数	每行车公里数能耗
货运交通	货车、铁路、国内航运、航空	吨公里运输	各出行方式的吨公里数占比、道路货运中各车辆类型的吨公里数占比	每吨公里数能耗

部门	服务/子部门	活动	结构	技术能效效应
工业	食品、饮料和烟草；造纸和印刷；化工和化工产品；非金属矿业；原料金属；金属产品和设备；机动车和交通设备；其他制造业	增加值	增加值占比	单位增加值能耗
服务业	服务	增加值	增加值占比	单位增加值能耗
其他行业**	农业和渔业、建筑业	增加值	增加值占比	单位增加值能耗

* 已根据气候变化，利用供暖度日数（HDD）和制冷度日数（CDD）进行了调节。

** 由于存在能源生产行业和不在本报告讨论范畴的行业，因此此处不包括以下行业：采矿、燃料处理、电力、供气和供水。对“其他行业”只进行了有限程度的分析。

附录 B：IEA 跟踪分析的能效政策类型

强制性政策和含有最低能效要求的规范。包括强制性的电器设备最低能效标准 (MEPS)、强制性的建筑节能标准规范、燃油经济性标准和工业目标。这些政策的进展通过能效政策进展指数 (EPPI) 进行衡量。EPPI 衡量受强制性政策监管的能耗百分比，同时考量 2000 年以来的政策强度提升。虽然大多数能效目标责任项目都有强制性目标，但本部分定义下的政策不包括能效目标责任制，而是对其予以单独分析。

能效目标责任项目，在美国也被称为能效资源标准。能效目标责任项目要求能源公司实现能效目标——往往是一个设定好的节能量目标。这类项目的政策进展通过监控其政策覆盖率（受目标责任监管的终端能耗比重）和政策强度（某一年份目标所要求的终端能耗节能率）的变化来进行衡量。能效目标责任制不包括在 EPPI 的分析范围内。

财政激励。包括利用经济或财政奖励鼓励能效技术应用或行为推广的政策，包括政府拨款和补贴、税收减免、股权融资、贷款和债务融资、担保、分期偿还机制以及其他激励政策。

Chinese translation and adaptation of the Energy Efficiency Market Report 2019 © IEA 2019

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：right@iea.org。

《能效 2019》市场报告的中文精华版是从该报告的英文版——International Energy Agency (IEA) Energy Efficiency 2019 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 (IEA) 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 2019》市场报告中文精华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/OECD possible corrigenda on: www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm

Revised version, November 2019. Information notice found at:

<https://www.iea.org/corrections/>
www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm

IEA. All rights reserved.

IEA Publications

International Energy Agency

Website: www.iea.org

Contact information: www.iea.org/about/contact

Typeset and Printed in China by CCEEE – March 2020

Cover design: IEA

Photo credits: © Shutterstock

《能效2019》

2015年以来,全球能源强度的下降每年都在减缓。《能效2019》报告对这一减缓现象背后的原因进行了追踪分析,从而为消费者、企业、政府和环境提供重要启示。用能技术效率提升的进程正逐步松懈,而与此同时,社会变化带来的能源需求上涨速度也让技术变革难以跟上脚步。除此之外,能效政策和投资也停滞不前。

今年的报告除了一如既往地对能效政策、投资和技术方面的趋势进行追踪分析以外,还特别关注了目前人们住宅、商务活动和交通系统的数字化为系统和终端能效提升提供了怎样的巨大机遇。然而,要抓住数字化促进能效提升的机遇,政策制定者必须努力解决一系列极具挑战的问题。国际能源署通过制定新的“数字能效提升准备”政策框架对这些问题进行探索,并在本册报告中首次呈现。

《能效2019》是全球能效趋势的权威追踪者,为政策制定者和能源领域的相关人士提供了关于全球能效状况的重要参考和思路。