

联合报告

# 中美气候目标： 展望 2030 及本世纪 中叶的情状



# 中美气候目标： 展望 2030 及本世纪中叶的情状

伊文·邓，峨苏拉·富恩特，比尔·海尔，莱若·韦尔德，马修·吉登

2020年11月

亚洲协会政策研究院与德国气候分析  
联合报告



## 亚洲协会政策研究院

亚洲协会政策研究院 (ASPI) 以务实解决问题为准则, 以应对核心政策难题为使命, 促进亚太地区安全、繁荣、可持续性 & 共识价值观发展。亚洲协会政策研究院是一个具有行动力的智库, 旨在推介代表亚洲顶尖专家最优思路的政策措施, 并与政策制定者合作, 一起将这些政策措施加以整合并付诸实践。



## 气候分析

亚洲协会政策研究院 (ASPI) 以务实解决问题为准则, 以应对核心政策难题为使命, 促进亚太地区安全、繁荣、可持续性 & 共识价值观发展。亚洲协会政策研究院是一个具有行动力的智库, 旨在推介代表亚洲顶尖专家最优思路的政策措施, 并与政策制定者合作, 一起将这些政策措施加以整合并付诸实践。 [ClimateAnalytics.org](https://ClimateAnalytics.org)

## 作者

伊文·邓, 峨苏拉·富恩特, 比尔·海尔, 莱若·韦尔德, 马修·吉登

Yvonne Deng • Ursula Fuentes • Bill Hare • Lara Welder • Matthew Gidden

---

亚洲协会政策研究院及亚洲协会对于本机构所赞助的报告和出版物中所涉及的公共政策和其他问题不持任何立场。本文中所有事实陈述和观点表达均由文章作者全权负责, 不代表本机构及其董事会、员工和支持者的观点。

© 2020 亚洲协会。版权所有。

亚洲协会 (2020)

美中气候目标: 2030 年及本世纪中期情景

本研究报告电子版链接:

[AsiaSociety.org/Policy-Institute/Publications](https://AsiaSociety.org/Policy-Institute/Publications)

### 亚洲协会政策研究院

网站: [AsiaSociety.org/Policy-Institute](https://AsiaSociety.org/Policy-Institute)

Twitter: @AsiaPolicy

Facebook: [facebook.com/AsiaPolicy](https://facebook.com/AsiaPolicy)

电子邮件: [policyinstitute@asiasociety.org](mailto:policyinstitute@asiasociety.org)

### 纽约

纽约公园大道 725 号

邮编: NY 10021

电话: +1 212 288 6400

### 华盛顿特区

马萨诸塞州大街西北 1779 号 805 室

邮编: NW 20036

电话: +1 202 833 2742

封面: 大自然中的清洁能源——太阳能电池板和风力发电 (Jeff Hu/Getty Images)

# 目录

---

摘要	1
简介	3
现有目标和排放预测	4
概要	
短期目标（国家自主贡献）	
长期目标（本世纪中叶）	
与《巴黎协定》之间的“目标差距”	
预期排放量与目标之间的“行动差距”	
中国	9
实现《巴黎协定》所需的排放路径	
缩小差距的行动机会	
美国	14
实现《巴黎协定》所需的排放路径	
缩小差距的行动机会	
拜登能源与气候总规划	16
《拜登气候计划》和《拜登清洁能源计划》概述	
预期影响摘要	
实施方案及执行权	
建立现代基础设施：为城市提供公共交通	
使美国汽车业成为二十一世纪的赢家：道路电气化	
创造数百万工作岗位：2035年实现零碳电力	
大规模投资节能建筑	
保护措施：修复井漏	
结论	27
缩写、方法、参考文献	29

# 摘要

2020年9月，习近平主席宣布中国努力争取2060年前实现碳中和，并加强《巴黎协定》中现有的2030年达峰承诺。这意味着中国将与欧盟及拜登政府领导的美国一起发挥大型排放国对于长期气候行动的领导作用。

本项研究表明，如果中国这一新发布的长期目标涵盖所有温室气体（GHG），而不仅仅是二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放，那么中国将能实现《巴黎协定》中全球平均升温不超过1.5°C这一目标下本世纪中期所需的减排量。但是，如果习近平主席宣布的新目标仅指二氧化碳减排，那么中国则需要在2050年左右实现碳中和并与《巴黎协定》保持一致。<sup>1</sup>

无论哪种方式，中国的短期行动都需要迅速与其新长期目标进行匹配。习近平主席提出2030年前二氧化碳排放量达到峰值，然而本研究表明，中国需要在2025年前提前达峰，并在此后迅速减少排放，才能与《巴黎协定》保持一致。这意味中国需要对其《巴黎协定》下现有国家自主贡献（NDC）所确定的其他可量化目标进行重大调整，并加大实现这些目标的行动力度。尽快减少并在2040年之前完全淘汰燃煤发电，是实现提前达峰和快速减排的重要环节。

特朗普政府执政期间，美国违背了之前的气候行动承诺，并撤消了现有政策，导致排放量与奥巴马执政期间相比有所增加。因此，本报告着重指出，即使在当选总统拜登政府的领导下，美国也很可能无法实现《巴黎协定》所规定的2025年减排目标。

但是，拜登政府上任意味着美国有可能扭转特朗普政府所导致的退步，并通过力度更大的2030年国家自主贡献来缩小与《巴黎协定》目标的差距。事实上，通过努力重启美国的减排行动，实施拜登竞选期间承诺的《能源与气候总规划》——2050年达到净零排放，美国有机会在2030年前实现大规模减排。<sup>2</sup>例如，我们的分析表明，如果拜登竞选承诺的政策在国会的支持下得到充分实施（详见下文），并继续得到地方行动的有力支持，那么美国可以实现38%–54%的减排量（相比2005年温室气体减排量，包括土地利用、土地利用变化和林业<sup>3</sup>），因而将2030年目标差距消除一半以上。中国最近宣布的减排目标能使2100年全球平均升温幅度降低0.2°C–0.3°C，而美国如果充分实施上述政策，能使2100年全球平均升温幅度再降低0.1°C。

本项研究显示，如果按照当选总统拜登的计划，2035年美国电力系统实现脱碳，那将成为迄今为止最大规模的减排，并且符合实现《巴黎协定》目标的方向。拜登《能源与气候总规划》中，2030年减排总潜力约为18.10亿吨二氧化碳当量（1,630–2,100MtCO<sub>2</sub>e），而电力系统脱碳将贡献约13.50亿吨。

然而，据本研究初步估计，如果国会不支持采取行动，仅靠行政机关所能实现的减排量只占总潜力的一半，尽管这一估计存在很大的不确定性。我们也初步分析了其他领域的减排潜力，包括货运和工业等领域终端用户电气化和绿色氢能的相关减排潜力。

<sup>1</sup> 无论中国宣布的2060年前实现碳中和还是拜登《气候计划》所述的实现净零排放的目标，都没有明确表明是特指二氧化碳碳中和，还是所有温室气体的中和。这两者之间存在着重大的区别，意味着其2050年预估排放值存在很大的差异。本研究报告中分别就这两种不同情况进行了分析。欧盟所使用的“气候中和”术语明确指2050年所有温室气体净零排放的目标。

<sup>2</sup> 参见脚注1。

<sup>3</sup> 如果不包括土地利用、土地利用变化和林业，相比2005年温室气体减排量预期为40%–47%。

如果美国和中国充分实施其雄心勃勃的减排计划，并能够在本世纪中叶左右实现温室气体净零排放，这将为实现《巴黎协定》目标迈出极为重要的一步。这也意味着，占全球排放量超过60%的国家首次都拥有了明确的经济脱碳路径。然而实现这些目标需要在经济中的各个领域都采取大幅的行动，尽早淘汰煤炭对中美两国都至关重要。

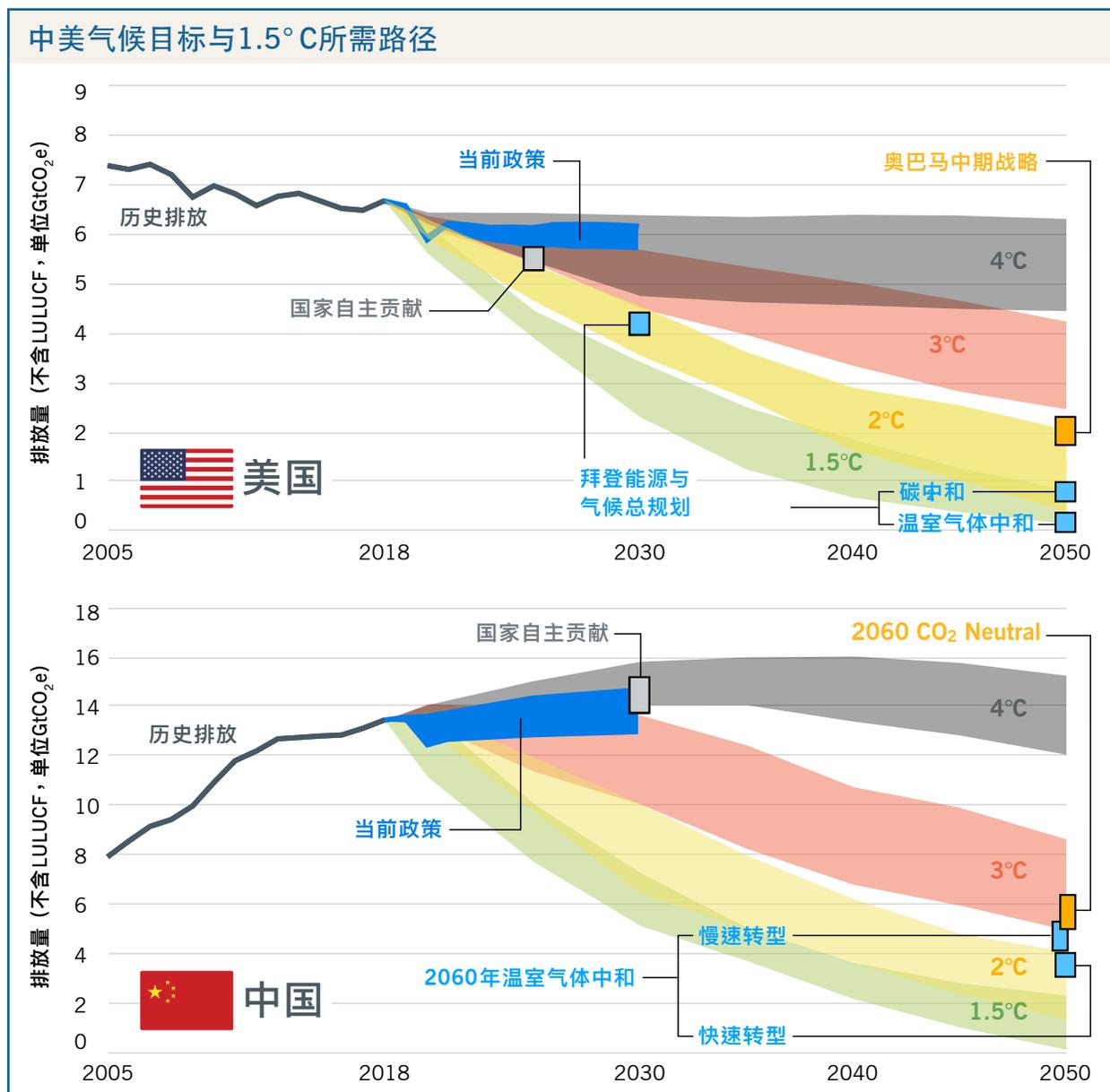


图1：中美两国当前政策曲线、国家自主贡献目标、已公布的长期目标，及对比《巴黎协定》升温不超过1.5°C的长期目标所评估的国内排放路径。为方便进行比较，图1页展示了与较高升温的排放途径。不同升温情景（图中彩色带）基于德国气候分析自有的分析数据，分析所用方法源于Gidden et al. (2019)，所用数据源于Huppmann et al. (2019)。此外，图1还显示了美国实施拜登能源与气候总规划的预期排放水平。2050年数据针对中国2060年碳中和目标和拜登2050年净零排放目标，估算了仅含二氧化碳和包括所用温室气体的两种不同情况。

注：由于林业和土地利用排放的核算存在不确定性，本图排放量未计入土地利用、土地利用变化和林业（简称LULUCF）的排放。碳中和（即二氧化碳净排放量为零）和温室气体中和（温室气体总净排放量为零）目标的计算中已考虑LULUCF排放量的预测和情景，其排放大部分是二氧化碳。这意味着，本图不含LULUCF的2050年数据存在一定的不确定性。

中美都必须在国内实现图1所示的《巴黎协定》所需排放途径。但是，考虑到“公平份额”，美国也应该通过气候融资支持其他国家的减排。关于公平份额排放量的详细信息，请参阅climateactiontracker.org中的“气候行动跟踪器”。

## 简介

《巴黎协定》的签署和生效意味着世界各国应致力于实现达成共识的长期目标——将全球平均气温上升幅度控制在 $2^{\circ}\text{C}$ 以内，并努力控制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 以内。这需要碳排放快速达到峰值，且2030年全球温室气体排放量与2010年相比要降低45%，并在本世纪中叶达到净零碳排放量（IPCC 2018；Schaeffer et al. 2019）。各国政府还承诺每五年提高其减排目标或国家自主贡献。然而现有目标加起来，仍不足以实现《巴黎协定》的目标，导致本世纪末升温幅度预计为 $2.7^{\circ}\text{C}$ （气候行动追踪报告2020d）。

根据协议要求，各国政府应在2020年之前提交第一轮更新，以便为联合国COP26气候会议做准备，但新冠疫情的爆发导致许多国家进展推迟，会议本身也已推迟到2021年下半年。

2015年以来排放量一直呈上升趋势，并且2021年或2022年经济全面复苏后，预计排放量还会继续增加。这与IPCC最新报告中明确呼吁大幅、快速减排形成鲜明对比（IPCC 2014；IPCC 2018）。

美国和中国是世界上两个最大的温室气体排放国，合计占全球温室气体排放量近40%。因此中美两国以及欧盟的领导将是国际气候行动的重大推动力。

2020年9月，中国宣布提高国家自主贡献目标，碳排放2030年之前达到峰值，2060年前实现碳中和<sup>4</sup>。欧盟的目标是2050年实现温室气体净零排放，并正在讨论提高2030年的国家自主贡献。中国所宣布的新目标堪称是一个真正的里程碑，其减排力度已经与欧盟齐肩并进。随后几周，日本和韩国也做出类似承诺。这意味着目前全球所有温室气体排放中近一半排放量都已经纳入了净零排放目标（图2）。

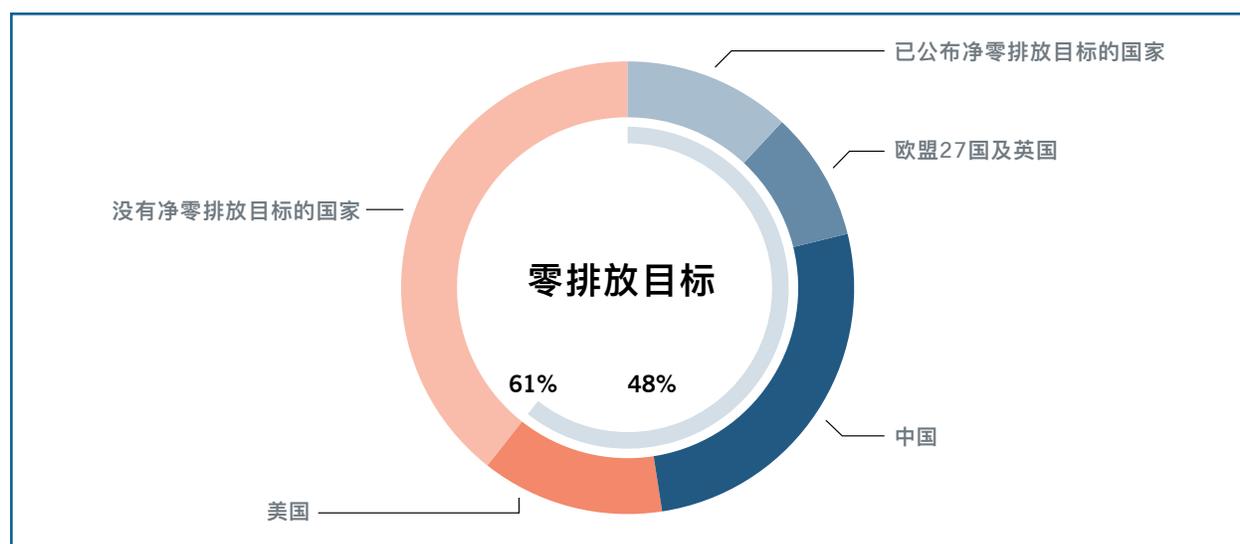


图2：中国公布2060新目标之后，全球近一半（48%）的温室气体排放现在已纳入净零排放目标。如果美国也加入，这一比例将增加到61%。日本和韩国最近也宣布了本世纪中叶的净零目标，因此在本研究中纳入“已公布国家”中。

注：数据源于德国气候分析根据 Gütschow et al. (2019) 而自行开展的研究。

<sup>4</sup> 见脚注1。

如果中国的碳中和目标涵盖所有温室气体排放量，而不仅仅是二氧化碳，那么其排放水平将符合《巴黎协定》的长期温度目标。

中国公布的新目标直追欧盟的减排力度。2019年欧盟成员国通过了2050年实现温室气体中和的目标，为确保这一目标的实施，欧盟委员会提议将2030年国家自主贡献目标从目前的减排至少40%提高到至少55%（相对1990年）。<sup>5</sup> 欧洲议会建议则减排60%。预计欧盟将在2020年底之前将这一加强版2030年目标纳入其修订的国家自主贡献中，以响应《巴黎协定》的“加强机制”。

2020年11月4日，美国正式退出《巴黎协定》。当选总统拜登已提出将于2021年1月份上任第一天启动重新加入《巴黎协定》的流程。这一承诺也体现了美国公众对气候变化危险性认识的提高，尤其是2020年美国西南部出现失控的炎热天气和野火，东部出现强列风暴。但是，即使有一些方法可以在此期间阐明政府的预期战略，美国可能也要到2021年第三季度才能正式提交新的国家自主贡献（Biniaz 2002）。

拜登竞选期间公布了一个“能源与气候政策平台”的提议，其中包括气候行动计划，以及“确保美国不迟于2050年实现100%的清洁能源经济和净零排放”的目标。<sup>6</sup> 这样就使全球纳入净零目标的排放份额提高到61%（见图2）。

如果美国、中国和欧盟以更大的雄心壮志更新其2030年国家自主贡献，那将向其他国家发出强烈信号，鼓励他们也提高其2030年国家自主贡献排放目标，使其与《巴黎协定》的目标保持一致。

## 现有目标和排放预测

### 概要

中美两国气候目标和政策行动目前距离实现《巴黎协定》目标都还存在差距（见图3）。长期看，“目标差距”（即目标减排值与《巴黎协定》所需的减排水平之间的差距）正在缩小，但短期国家自主贡献目标则仍然存在较大差距。而且还存在一定的“行动差距”，即目标排放值与按照当前政策（尤其是美国）预期将会产生的排放值之间的差距。

---

<sup>5</sup> 欧盟的提法是“气候中和”。本报告使用“温室气体中和”。

<sup>6</sup> 见脚注1。

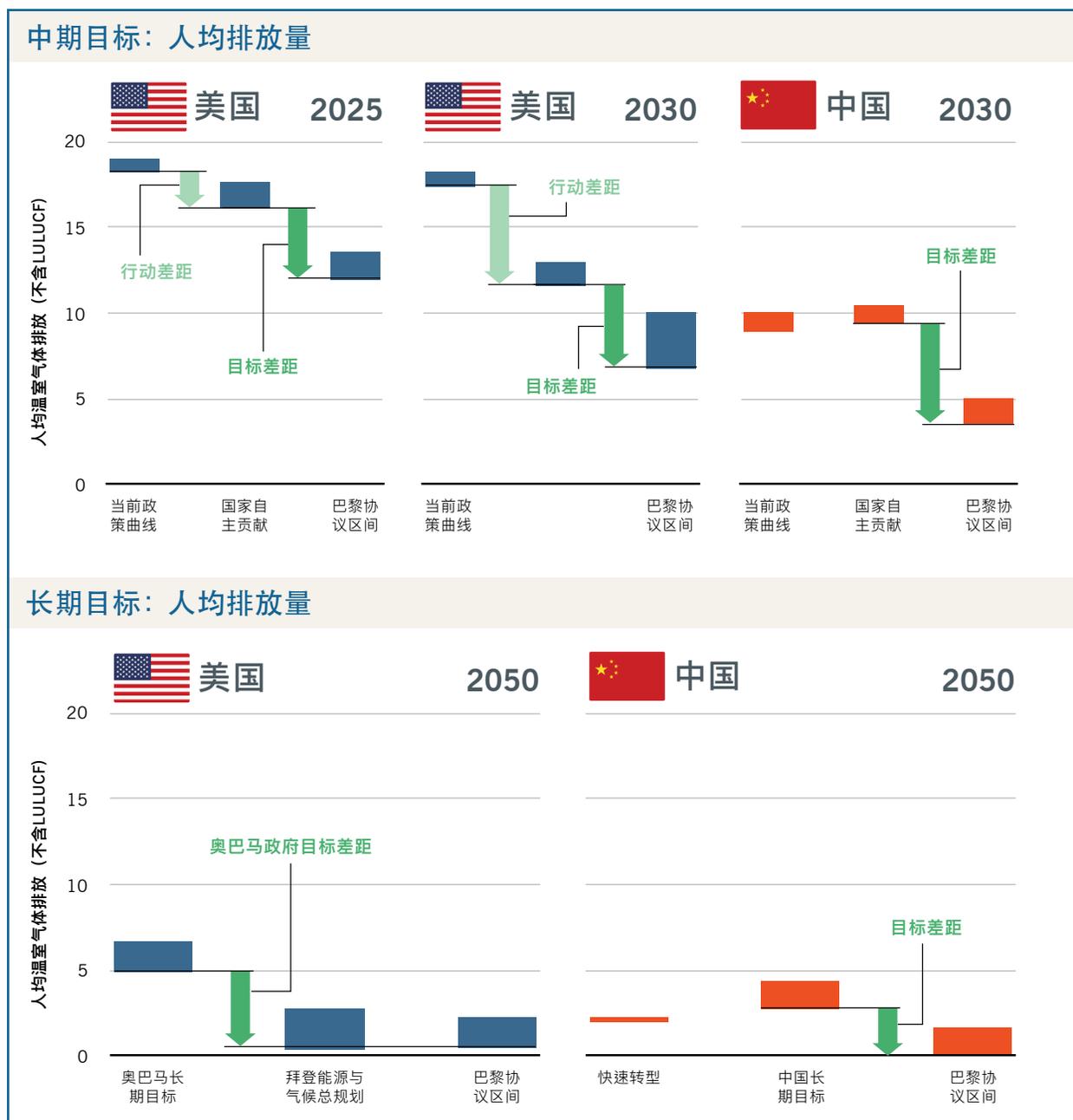


图3：美国和中国中期（2025/2030）和长期（2050）的预期人均排放量（不含LULUCF）。2025/2030数据展示了两国当前政策途径（CPP）、当前NDC目标、拜登总规划预期路径、巴黎协定所需减排路径。2050年数据展示了长期目标（LTT）与巴黎协定所需的减排路径。这些目标范围存在不确定性，因为不确定非二氧化碳排放量是否纳入净零目标中。

注：由于林业和土地利用排放的核算存在不确定性，本图排放量未计入土地利用、土地利用变化和林业（简称LULUCF）的排放。碳中和（即二氧化碳净排放量为零）和温室气体中和（温室气体总净排放量为零）目标的计算中已考虑LULUCF排放量的预测和情景，其排放大部分是二氧化碳。这意味着，本图不含LULUCF的2050年数据存在一定的不确定性。

<sup>7</sup> 人均排放量数据源于气候行动追踪器（CAT）对中国的分析预测。鉴于以NDC和GDP排放强度目标计算排放水平，CAT使用了中国向UNFCCC提交的最新清单中的历史排放数据、中国2018年统计年鉴的历史GDP数据，以及WEO 2019和IMF的GDP预测。CAT的预测计算基于IEA WEO 2019年的GDP增长率（即2018~2030年间，年均增长5.2%），但2020年和2021年例外，这两年使用了纳入疫情影响的其他预测。有关完整的解释，请参阅（《气候行动追踪报告2020a》）。

## 短期目标（国家自主贡献）

两国政府先前都已根据《巴黎协定》提交了国家自主贡献（NDC）。奥巴马政府提交的美国NDC包含一个绝对目标，即2025年温室气体净排放量（包括土地使用）减少到2005年水平的26%–28%。特朗普政府退出《巴黎协定》意味着该NDC不再适用，实际上，自从2017年政府宣布打算退出开始，这一协议在美国就已经搁浅。近年来，许多相关配套政策也被撤消，美国早已脱离了能够实现其承诺的轨迹。

中国的国家自主贡献不包含绝对排放量目标，而是承诺最迟在2030年使目前仍在增长的二氧化碳排放量达到峰值，并致力于尽早达峰，且2030年之前将其单位GDP碳强度比2005年降低60%—65%。中国还明确承诺2030年非化石燃料在一次能源供应总量中所占份额达到20%左右，并增加森林蓄积量。表1显示了中国温室气体的预测排放情况（假设GDP继续增长和2030年实现达峰）。<sup>7</sup> 如果中国政府按照预期实现提前达峰，并修订NDC目标，其排放情况会有所降低。

表1：当前美国和中国的气候目标概述

目标	 美国	 中国
<b>巴黎协议目标及首次NDC</b>	温室气体2025年比2005年减少26%–28% (含LULUCF)	二氧化碳最迟2030年达峰 2030年碳强度比2005年减少60%–65% 2030年非化石能源占一次能源的20% 2030年森林比2005年增加45亿立方米
<b>重申目标（不含LULUCF）</b>	温室气体2025年比2005年减少16%–19% (不含LULUCF)	温室气体2030年比2005年增加74%–92% (不含LULUCF) (a)
<b>长期目标</b>	奥巴马：温室气体2050年比2005年减少80% (含LULUCF) 拜登：温室气体2050年比2005年减少88%–93% (碳中和定义) 温室气体 (含LULUCF) 2050年比2005年减少100% (GHG中性定义) 总体 (含LULUCF)：2050年比2005年低88%–100%	2060年之前碳中和 温室气体 (含LULUCF) 2050年比2005年减少17%–37% (碳中和定义) 温室气体 (含LULUCF) 2050年比2005年减少33%–49% (GHG中性定义) 总体 (含LULUCF)：2050年比2005年减少17%–49%
<b>重申目标（不含LULUCF）</b>	温室气体 (不含LULUCF) 2050年比2005年减少68%–76% 温室气体 (不含LULUCF) 2050年比2005年减少约98% (碳中和定义) 温室气体 (不含LULUCF) 2050年比2005年减少87%–91% (GHG中性定义) 总体 (不含LULUCF)：2050年比2005年减少87%–98% (不含LULUCF) (b,c)	温室气体 (不含LULUCF) 2050年比2005年减少19%–37% (碳中和定义) 温室气体 (不含LULUCF) 2050年比2005年减少33%–49% (气候中性定义) 总体 (不含LULUCF)：2050年比2005年减少19%–49% (不含LULUCF) (b,c)

资料来源：摘自气候行动追踪报告（2020b）和德国气候分析的计算。

(a) 这些值基于更严格的达峰和非化石目标计算。如果只考虑碳强度目标，排放水平会提高。

(b) 由于林业和土地使用排放的核算存在不确定性，因此我们将排放水平始终表示为不包括该部门的排放（土地使用、土地使用变化和林业，简称LULUCF）。碳中和（即二氧化碳净排放量为零）和温室气体中性（温室气体排放总量净额为零）的量化目标考虑了LULUCF排放量（主要为CO<sub>2</sub>）的预测和情景。这意味着，在不包括LULUCF的情况下，中性目标下的2050年排放量存在一定的不确定性，如此处的数字所示。

(c) 总体范围涵盖不确定性的整个范围，包括不确定性是碳中和性目标还是气候中性目标，并假设在目标日期之前达到净零排放。如果提前实现目标，将能大大增加2050年的减排量。

## 长期目标（本世纪中叶）

《巴黎协定》请各国政府提交长期的低碳发展战略。《巴黎协定》的全球排放路径要求2050年左右（2045—2055年）二氧化碳必须达到净零排放量，2070年左右（2065-2080年）全部温室气体必须达到净零排放（IPCC 2018）。不同国家使用了不同的术语来描述这一目标，包括“碳中和”（指二氧化碳）、“温室气体中和”或“气候中和”（包括全部温室气体）。在这些日期之前达到二氧化碳或温室气体净零排放将有利于早日停止变暖，并大幅降低21世纪对森林和土壤碳汇和二氧化碳负排放技术的总需求。当净排放量降低到零值时，随即不久温度就应该可以停止上升。这促使人们制定2050年或提前达到温室气体净零排放的目标，特别是大型排放国及G20国国家。<sup>8</sup>

美国在奥巴马政府时期提交的战略目标是温室气体排放量2050年比2005年减少80%，尽管特朗普政府一上任就把这个战略目标从美国所有政府网站上删除。当选总统拜登的《能源与气候总规划》包括2050年净零排放的目标<sup>10</sup>，响应本世纪中叶净零排放的科学需求。中国尚未提交战略，但已经宣布了长期目标，预计会在对G20集团做出承诺后不久提交战略。

2020年9月，中国宣布“努力在2030年前使二氧化碳排放达到峰值，并在2060年前实现碳中和”（习近平2020）。根据最新报告及清华大学的相关研究，这一目标具体指二氧化碳还是温室气体的中和，相关方仍在积极讨论和分析中。<sup>10</sup>

如果将其解释为碳中和，那么该目标意味着2060年所有温室气体排放量达到约2,050 MtCO<sub>2</sub> [1,830 - 2,260]，不包括土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF），假设直到2080年才完全淘汰非二氧化碳气体。根据2060年路径，2050年预期排放达到5,670 MtCO<sub>2</sub> [4,960-6,400]（不含LULUCF），具体排放值取决于非CO<sub>2</sub>排放的速度，例如，能源工业和农业的甲烷减排情况。

如果将中国的目标解释为涵盖所有温室气体，那么2060年排放量估计约为600 MtCO<sub>2</sub>（不含LULUCF），假设LULUCF汇量大约等于这个数值，则2050年排放量约为4,670MtCO<sub>2</sub>[4,070-5,300]。

## 预期排放量与目标之间的“行动差距”

### 美国和中国是否有望实现其目标？

图4显示了基于中美当前政策前景的预期未来排放量。我们预计由于新冠疫情，2020年美国排放量将大幅下降10%~11%，而中国由于疫情后经济复苏更早些，排放量下降幅度较小甚至略有上升，如果不出台更多的减排政策（包括绿色复苏计划），随着预期的经济复苏，放量可能会再次上升，2030年乃至可能恢复到疫情爆发前的水平。

<sup>8</sup> 联合国秘书长自2018年以来一直呼吁这一点，并在最近重申：我请求 G20 国家领导绿色复苏，承诺在2050年之前实现净零排放，并在明年格拉斯哥举行 COP26 之前向《巴黎协定》提交更大力度的国家气候计划（联合国秘书长安东尼·古特雷斯2020a），此外，“我们必须动员全世界实现碳中和，2050年实现温室气体净零排放。越来越多的国家和公司已承诺实现这一目标”（联合国秘书长安东尼·古特雷斯2020b）。

<sup>9</sup> 见脚注1。

<sup>10</sup> 由清华大学气候变化与可持续发展研究院领导的研究团队和在10月12日的一次会议上提出了中国的可能排放轨迹，提出习近平主席9月公布的2060年目标可能涵盖所有温室气体排放，而不仅仅是二氧化碳（He 2020）。

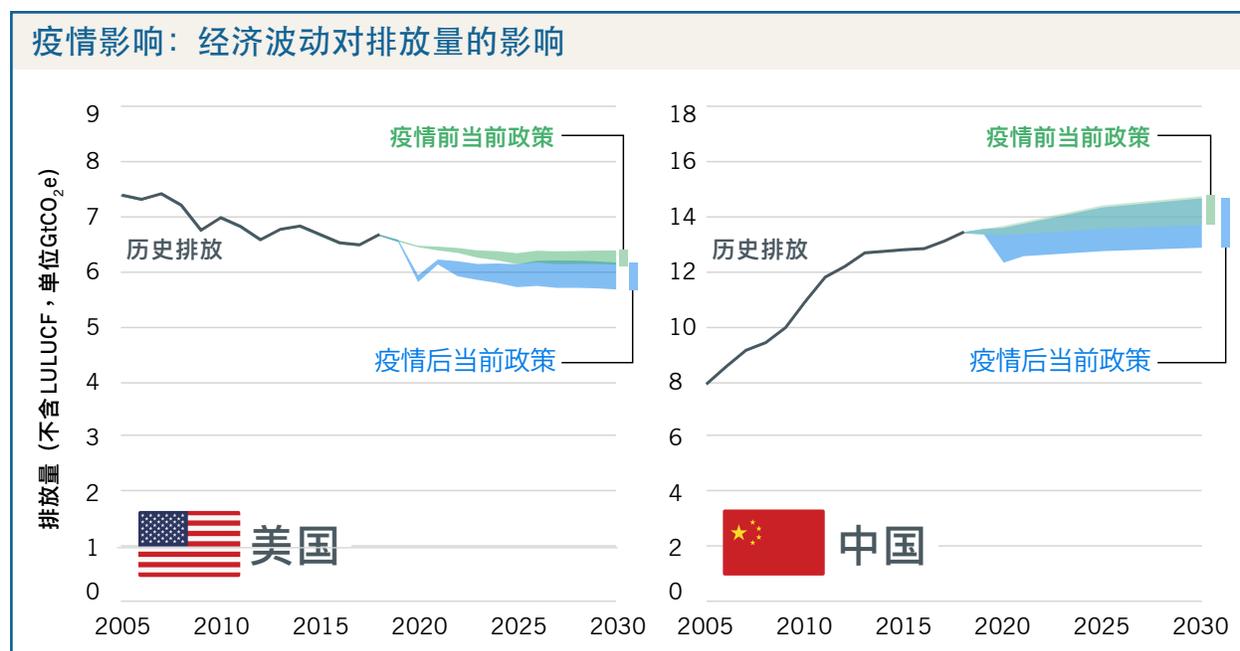


图4：当前政策情景下，疫情爆发前的排放量预测及中美疫情爆发后的排放量预测。

图1（见上文）显示，以当前疫情后排放轨迹而言，美国将无法实现其2025年的NDC目标，因为过去四年中减排政策全面回落，脱碳正在停滞。中国有望实现其NDC目标，甚至可能会超额实现，产生比NDC目标更大的减排量，其中部分原因是疫情导致排放量下降。这意味着即使不增加减排政策行动，中国也有能力加强其国家自主贡献。

但是，如果两国仅实现其国家自主贡献中规定的减排量，就都必须加大2030年以后的脱碳力度以确保实现其长期目标。如果中国能将达峰时间从2030年提前到2025年，就可以减少2030年后的脱碳压力。

## 与《巴黎协定》之间的“目标差距”

达到目标是否足以使我们获得气候安全，换言之，减排目标能否确保实现《巴黎协定》目标？

符合《巴黎协定》长期目标（升温不超过1.5°C或更低）要求：

- 全球排放尽快达到峰值；
- 2030年所有国家/地区平均排放比2010年降低至少45%；
- 2050年实现碳中和，即二氧化碳净零排放；
- 2070年左右实现温室气体中和。

在此排放范围内，经济快速发展、排放仍在增加的国家可以稍后达到这些里程碑，而完全工业化的国家可以并应该更早实现这些目标。

欧盟认可发达国家需要比全球平均水平更快地减排，因此正在积极提高其国家自主贡献目标，从2030年比1990年降低至少40%，调整到至少55%甚至60%<sup>11</sup>。这相当于比2010年减少46%–52%，其意图是协助欧盟2050年实现气候中和（温室气体中和）的目标。

## 美中目标与《巴黎协定》的温度目标相比如何？

图1（见上文）将两个国家的预期排放量与不同温度情况下的预期排放路径进行了比较，以彩色带显示。每个彩色带表示与该温度情况下全球排放概况一致的国内排放范围。这些数据计算结果源于采用综合评估模型估算的全球最低成本路径（Gidden et al. 2019; IPCC 2018; Huppmann et al. 2019）。

图1中的比较显示，尽管中国有望实现其NDC目标，但该目标仍远高于《巴黎协定》1.5°C所需的路径要求。中国需要在2030年之前将排放量降低到5.2–7.3 GtCO<sub>2</sub>e（不含LULUCF），并尽快达峰，才能符合《巴黎协定》所需的路径。<sup>12</sup> 根据当前的GDP预测，这将意味着2030年碳强度目标需要从目前的60%-65%提高到87%-93%之间。

如果2060年之前实现碳中和的长期目标涵盖所有温室气体排放，按快速转型路径实现中和，尽早达到峰值，并且2030年大幅减排，那么中国是可以达到《巴黎协定》所需路径要求的。我们下文中会详细讨论中国实现净零路径曲线的重要性。

美国国内排放量如果达到其2025年NDC目标的下限，并且与奥巴马政府的长期目标一致，本可以实现《巴黎协定》2°C的所需路径；但上限则只能达到3°C升温的路径。美国将需要加强其NDC目标，2030年将国内排放量进一步减少至2.3~3.4 GtCO<sub>2</sub>e（不含LULUCF），从而带入实现1.5°C的轨道。<sup>13</sup>

当选总统拜登的《能源与气候总规划》包括2050年净零排放的目标，这符合《巴黎协定》1.5°C所需的路径，特别是如果这一目标指的是全部温室气体净零排放。<sup>14</sup>

# 中国

## 《巴黎协定》所需的排放路径

全球建模界已将《巴黎协定》的长期温度目标转化为全球排放路径曲线，显示实现《巴黎协定》目标所需的一系列未来排放情景。全球最低成本路径展示了如何将全球排放在不同国家和地区之间进行区分，考虑其历史排放量、能源结构、发展需求、脱碳技术以及和经济能力等情况。

<sup>11</sup> 欧洲议会支持减少60%的目标。最终数值确定必须在欧盟理事会（代表欧盟成员国）和欧洲议会之间达成一致。欧盟委员会提出温室气体净排放量比1990年减少至少55%的目标。不含LULUCF的话相当于减少约51%。

<sup>12</sup> 2030年5.2-7.3 GtCO<sub>2</sub>e（不含LULUCF）的排放水平相当于比2010年降低34%–53%（不含LULUCF）或39%–60%（含LULUCF），这也符合2030年比2010年降低45%的全球基准。

<sup>13</sup> 该排放水平相当于比2005年减少54%–69%（不含LULUCF），或减少62%–79%（含LULUCF）。与2010年相比，相当于降低60%–78%（含LULUCF）。这个减排力度大于全球平均水平，符合对高度工业化国家的要求。

<sup>14</sup> 每个国家都必须达到图1所示的《巴黎协定》所需排放路径。但是，基于“公平份额”的考虑，美国也被预期通过气候融资支持其他国家的减排。有关公平份额排放的更多信息，请参阅climateactiontracker.org上的“气候行动追踪器”。

图5显示了与《巴黎协定》兼容的中国国内排放路径范围，其中重点介绍一个我们用来推演基准指标的情景。<sup>15,16</sup> 图5显示，2065年-2070年之间温室气体总排放量（不含LULUCF）需要达到净零水平，有些情景甚至2055年之前就要降到零线。如果包括LULUCF，温室气体总排放量需要在2060年左右达到净零水平。如果该目标适用于所有温室气体排放源和汇，并且从现在到2060年的排放轨迹足够陡峭，则可以与《巴黎协定》基准保持一致。全面减少温室气体排放量需要采取额外的政策行动，包括农业、能源行业逃逸排放、工业流程、产品使用和废物处理领域。

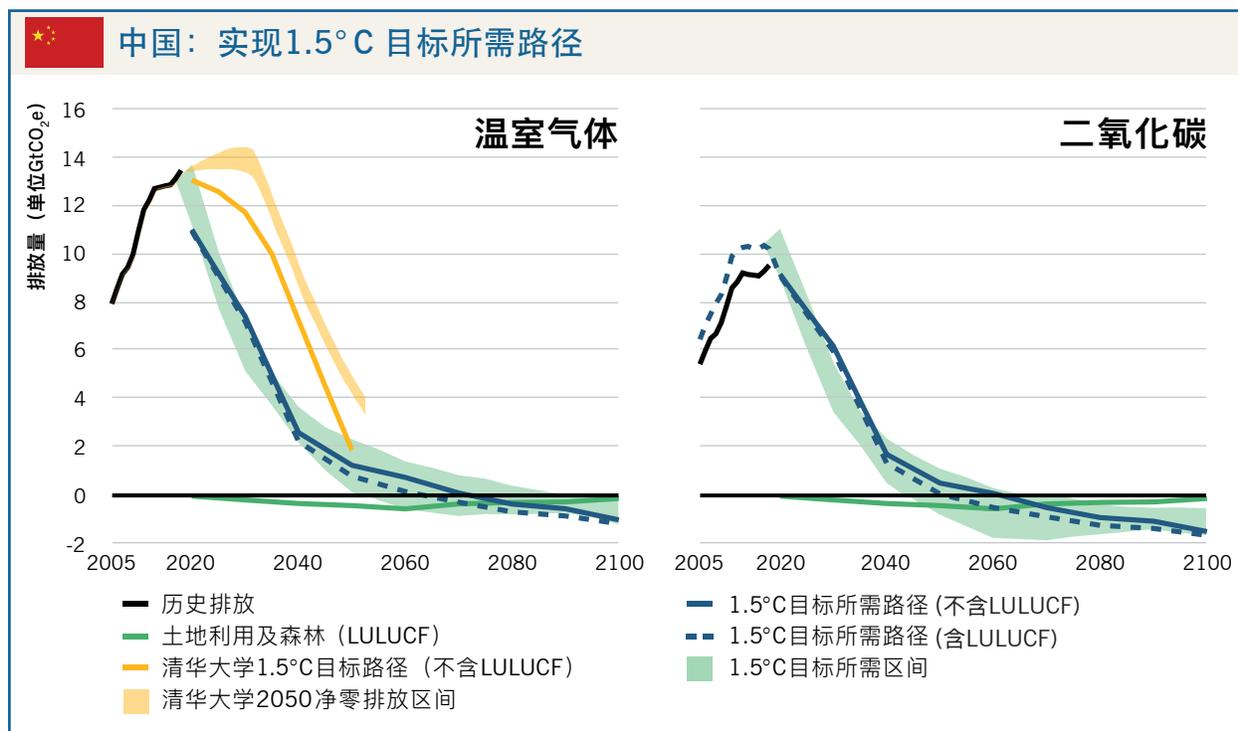


图5：在长期升温不超过1.5°C的目标下，中国国内温室气体总排放量（左）和二氧化碳排放量（右）。绿色部分是能够实现《巴黎协定》的所有排放情景（不含LULUCF），以及有无LULUCF排放的两条不同标记曲线。图5展示了LULUCF的排放量以供参考。本图还展示了清华大学He（2020）最近发表的一篇演讲中所提到的趋向净零排放的路径，：1.5°C温室气体路径（橙色线）以仅基于2050年净零二氧化碳排放目标的温室气体排放范围（橙色带）。

注：绿色部分为《巴黎协定》所需路径范围，数据源于德国气候分析自有的分析结果，分析所用方法源于Gidden et al. (2019)，所用数据源于Huppmann et al. (2019)。标记曲线基于IMAGE模型的SSP1-19-SPA1-v17情景（van Vuuren et al. 2018）。

对于中国而言，需要重点考察这些情景中有关二氧化碳的部分，因为中国NDC是基于二氧化碳制定的。图5显示，根据《巴黎协定》，二氧化碳（不含LULUCF）必须在2060年达到净零排放。如果包括LULUCF，则需要更早（2050年左右）达到净零排放。净零年之后，排放量必须变为负数，也就是说，二氧化碳清除量要超过排放量。

<sup>15</sup> 我们将《巴黎协定》所需路径定义为能实现1.5°C目标的兼容路径子集，关于1.5°C目标详见IPCC的特别报告（IPCC SR1.5）（IPCC 2018）。我们进一步排除了1.5°C兼容路径中那些超出IPCC SR1.5（）所确定的生物质能碳捕存（BECCS）和农林业及土地利用碳固存（AFOLU）可持续性界限的情景（Schaeffer等2019）。IPCC SR1.5中1.5°C兼容路径定义为将升温限制在1.5°C之内，不超标或不大幅（<0.1°C）超标的路径。在这些路径中，整个二十一世纪全球平均温度比工业化之前升高控制在1.6°C以下，到2100年控制在1.5°C以下（通常为1.3°C）。IPCC SR1.5还根据可持续性和经济约束条件确定了二氧化碳清除（CDR）的限制。我们根据这些限制，进一步排除了超出限制的路径。

<sup>16</sup> 标记路径路径基于IMAGE模型的SSP1-19-SPA1-v17场景（van Vuuren等，2018）

根据上面所显示的中国《巴黎协定》标志路径，2030年温室气体总排放量（不含LULUCF）必须接近5.2–7.3 GtCO<sub>2</sub>e。<sup>17</sup> 根据目前GDP预测（《气候行动追踪报告2020a》），这相当于碳强度降低87%–93%，比当前2030年降低60%–65%的目标幅度更大。根据这些数值加强中国的NDC将使中国国内排放更符合对《巴黎协定》温度目标含义的最新科学理解。

根据这一路径，到本世纪末需要实现显著的负排放量，最高可达1.5 GtCO<sub>2</sub>e。中国越早实现碳排放达峰和脱碳，本世纪后期其二氧化碳清除和净负排放的压力就会越低。路径也再次显示，减排路径对于核算长期目标是否与《巴黎协定》兼容至关重要。中国的2060年目标是否与1.5°C情景保持一致，关键取决于这一目标的实现路径。

清华大学最新研究列出了几种可能的路径，其中力度最大的路径如图5所示（He 2020）。虽然这一路径中2060年排放量将达到净零点并立即减少，意味着在这一年达峰，但整体而言路径仍会导致累积排放量显著增加，从而导致超幅度升温。中国要实现1.5°C目标，要么需要在2050年之前进一步努力实现更快速的减排，要么需要2050年之后实现更大幅度的负排放。

并非所有部门都同时达到净零排放。电力行业的转型最为快速，并且是其他行业脱碳的催化剂，因此应该率先脱碳——2040年在中国达到净零排放，并在此后通过增加碳捕存生物质发电（BECCS）产生越来越多的负排放。1990—2017年间，中国的电力排放强度已从1100 gCO<sub>2</sub> / kWh降低到750 gCO<sub>2</sub> / kWh，年均降低近1.5%。如果要实现《巴黎协定》的兼容脱碳路径，该排放强度2030年应降至100-110 gCO<sub>2</sub> / kWh，2040年降至0-5 gCO<sub>2</sub> / kWh，此后实现负排放（气候行动追踪报告2020c）。这意味着每年脱碳率将增加十倍，达到20%以上。<sup>18</sup> 要实现如此大幅的排放强度降低，需加快可再生能源技术应用，逐步减少化石燃料使用，尤其是淘汰煤炭。

尽管中国正在大力开发可再生能源，但其无CCS煤电<sup>19</sup>持续开工建设又与所需的电力脱碳相矛盾。要符合《巴黎协定》所需的减排路径，2030年将燃煤发电的排放量迅速减少至发电量的5%–10%，并最迟在2040年前逐步淘汰所有煤电，而不是再新建无CCS煤电<sup>20</sup>。新建煤电产能意味着需要降低利用率，当前煤炭产能中可能会有很多机组无法保证整个技术生命周期内都能运行，尤其是现在新建和刚投入使用的机组（Yanguas-Parra et al. 2019; Cui et al. 2020）。

对于2020年以后新建的无CCS天然气发电机组<sup>21</sup>更是如此，而这些天然气机组<sup>22</sup>必须在十年到二十年内逐步淘汰。中国要实现1.5°C兼容路径，就需要从2040年起把所有无CCS燃气机组的排放用负排放技术来抵消。

<sup>17</sup> 5.2–7.3 GtCO<sub>2</sub>e的排放量比2018年降低46%–62%，比2010年降低34%–53%，比2005年降低8%–35%。如果包括LULUCF，则2030年《巴黎协定》的兼容排放量估计为3.9–6.0 GtCO<sub>2</sub>e，比2018年降低52%–69%，比2010年降低39%–60%，比2005年降低16%–45%。

<sup>18</sup> 这里指复合脱碳率，即假设每年同比减少的百分比相同。

<sup>19</sup> 鉴于可再生能源和储能技术成本迅速降低，考虑环境足迹和风险，我们不太可能大规模地使用碳捕存技术（CCS）来为化石燃料发电脱碳。考虑到二氧化碳的捕获率在80%至90%之间，使用CCS的化石燃料发电厂捕存之余的二氧化碳排放还必须进行清除，才能保证本世纪中叶之前实现净零排放。

<sup>20</sup> 见脚注19。

<sup>21</sup> 见脚注19。

<sup>22</sup> 见脚注19。

为降低排放强度，路径还采用其他零碳或低碳排放技术，包括核能以安装CCS的化石燃料（煤或天然气）。

目前电力行业中CCS尚不具备商业可行性，而且中国目前还没有在建或在运营的大规模CCS化石燃料发电机组。三个大型CCS项目目前尚处于初期开发阶段，而且其中至少一个将利用二氧化碳提高石油采收率，而不是长期封存（全球CCS研究所2020）。预计这些项目本世纪中叶前都不会投入运营。

因此我们分析认为采用CCS的煤炭和天然气相比可再生能源及先进储能不太可能具有竞争力，并基于这一分析而评估煤炭和天然气淘汰基准。

目前中国电力供应中核电占4%（2017年数据）。关于核电的作用，有些脱碳路径显示会越来越大，有些则认为会保持稳定甚至下降。考虑核电扩容潜力具有不确定性，成本也比可再生能源高，随着可再生能源比例不断提高、上网条件逐渐改善（例如通过储能配合），100%可再生电力就成为更现实的选择，无论在中国还是在全球都是如此（Burandt et al. 2019）。

根据评估，我们认为带CCS化石燃料发电或核能都不太可能比可再生能源更具竞争力，因此从确保中国实现《巴黎协定》所需的兼容路径出发，我们推算出以下关于中国可再生能源发电比例的基准：2030年达到75% - 90%，2040年达到95%，2050年达到100%（气候行动追踪报告2020c； Yanguas-Parra et al. 2019）。

表2总结了图5所示中国实现《巴黎协定》目标所需兼容路径的主要特征。

排放量提前达峰及逐步淘汰煤电有助于实现所有这些基准。如果排放量从2021年开始稳步下降，以每年约3%的速度脱碳，那么2060年可以实现温室气体中和，每年脱碳3%也是迄今为止几乎还没有国家实现过的速度。如果排放量在2020年或平稳期之后再次增加且直到2030年才开始减少，随后的年度脱碳率则必须接近5%（假设逐年减少的百分比都相同）。<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> 见脚注18。

表2: 中国实现《巴黎协定》目标所需排放路径的主要特征

指标	单位	2017	2030	2050	净零年份*
全部温室气体 <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> e/年	~12.2	7.1 [4.9-7.0]	0.8 [-0.3-1.8]	~2060 [2049-2082]
全部温室气体 (不含 LULUCF) <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> e/年	13.1	7.4 [5.2-7.3]	1.2 [0.2-2.3]	~2070 [2052-2090]
全部二氧化碳 <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> /年	~8.3	5.9 [3.3-5.3]	~0 [-1.3-0.6]	~2050 [2042-2057]
全部二氧化碳 (不含 LULUCF) <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> /年	9.3	6.2 [3.5-5.5]	0.5 [-0.9-1.1]	~2060 [2044-2071]
电力排放强度 <sup>(b)</sup>	g/kWh	690	100-110	<0	2040
可再生能源比例 <sup>(b)</sup>	%	25%	75%-90%	98%-100%	n/a
无CCS煤电比例 <sup>(b)</sup>	%	68%	5%-10%	0%	~2040
2100年负排放 <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> /年	~1.5			

\*注: IMAGE 标记情景的中心值, 范围包括上图所示温度范围中包含的所有情景。IMAGE 值可能在某些年份会超出情景范围, 因为该范围只显示第5至第50个百分位数的路径。净零年处于该范围的上限的情况, 通常是由于本世纪下半叶二氧化碳清除量较大导致的。

资料来源: 表格数据来自多项研究的成果, 包括: (a) 基于IMAGE模型的SSP1-19SPA1-v17情景的IMAGE标记 (van Vuuren et al. 2018); (b) 《巴黎协定》部门基准分析 (气候动作追踪器2020c)。后者指出, 尽管使用综合评估模型 (IAM) 进行的评估可以一致地估计每个基准情况达到《巴黎协定》兼容性所必需的最低限度减排, 但还需要其他证据来全面探索实现巴黎的路径细节, 包括使用自下而上模型、混合模型和部门模型的文献, 以估计可能减排力度的高值范畴, 尤其鉴于最近技术趋势与此处使用的IAM模型条件之间存在滞后。因此, 此处的电力行业基准与2020 IAM标记情景中的基准有所不同。历史值来自两项研究: 国际能源署2020a、Gütschow et al. 2019。

## 缩小差距的行动机会

中国可以采取几项关键措施以尽快达到排放峰值, 然后继续迅速脱碳。最重要的措施是最迟2040年之前逐步淘汰煤电, 包括尽早迅速减少煤电, 2030年将煤电比重降低至5%-10%。所有现在新建煤电都会变成2040年的搁浅资产 (Yanguas-Parra et al.2019)。随着可再生能源利用不断加速, 同时避免再投资注定搁浅的化石燃料基础设施, 2040年中国电力行业可以实现脱碳。

重点用能行业, 尤其是交通运输, 可以通过提高能效和电气化实现脱碳。此外, 通过将可再生电力转换为氢燃料, 绿色氢能源可以协助实现货运及较难脱碳的工业子行业进行“间接”电气化。

基于对行业及整个经济范围的路径进行深入分析, 可以制定各行业的脱碳路线图。这样有助于在疫情后经济恢复过程中引导更多资本投资给清洁技术。中国正在制定十四五规

划（2020-2025年），这应该是扭转排放增长并为十年后快速减排奠定基础的好时机（Yu et al. 2020）。

## 美国

### 实现《巴黎协定》所需的兼容路径

与中国类似，美国要实现《巴黎协定》目标设想，就要从现在起到本世纪中叶大幅减少国内排放，2065年实现温室气体净零排放（含土地领域），而最严格的路径则需要2055年之前就实现这个目标。碳排放量则需要2040年左右就达到净零水平。

根据美国的《巴黎协定》兼容标志路径（图6），零碳转型的措施是2035年电力部门实现完全脱碳，其关键是2030年之前完全淘汰煤炭，2040年之前关闭大部分无CCS天然气发电。2030年到本世纪末都可以通过生物质碳捕存产生一些负排放。

要实现1.5°C目标，则2030年排放需要降低至2.3 – 3.4 GtCO<sub>2</sub>e（不含LULUCF）或1.4 – 2.5 GtCO<sub>2</sub>e（含LULUCF）。<sup>24</sup>

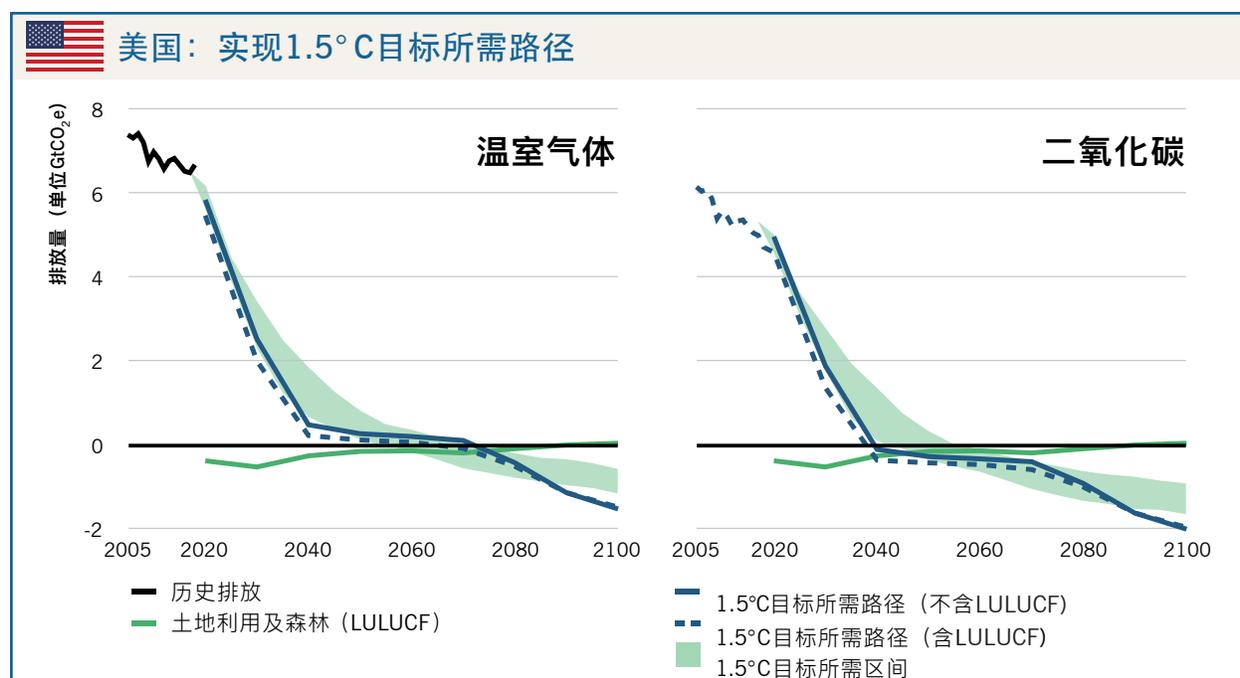


图6：在长期升温不超过1.5°C的目标下，美国国内温室气体总排放量。本图展示了所有排放情景（不含LULUCF），以及有无LULUCF排放的两条不同标记曲线，并列出了LULUCF排放量以供参考。

注：绿色部分为《巴黎协定》所需路径范围，数据源于德国气候分析自有的分析结果，分析所用方法源于Gidden et al. (2019)，所用数据源于Huppmann et al. (2019)。标记曲线基于IMAGE模型的SSP1-19-SPA1-v17情景（van Vuuren et al. 2018）。

<sup>24</sup> 相当于比2005年降低54%–69%（不含LULUCF）或62%–79%（含LULUCF）。

表3总结了图6所示的美国实现《巴黎协定》目标所需路径的主要特征。

表3: 美国实现《巴黎协定》目标所需路径的主要特征

指标	单位	2017	2030	2050	净零年份
全部温室气体 <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> e/年	~5.7	2.0 [1.8-2.9]	0.1 [0.0-0.7]	~2065 [2051-2066]
全部温室气体 (不含 LULUCF) <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> e/年	6.5	2.5 [2.3-3.4]	0.3 [0.2-0.8]	~2070 [2055-2072]
全部二氧化碳 <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> /年	~4.2	1.4 [1.3-2.3]	-0.4 [-0.5-0.2]	~2040 [2039-2053]
全部二氧化碳 (不含 LULUCF) <sup>(a)</sup>	GtCO <sub>2</sub> /年	5.0	1.9 [1.8-2.8]	0.3 [-0.4-0.3]	~2040 [2043-2056]
电力排放强度 <sup>(b)</sup>	g/kWh	420	30-130	<0	~2035
可再生能源比例 <sup>(b)</sup>	%	17%	50%-95%	98%-100%	n/a
无CCS煤电比例 <sup>(b)</sup>	%	31%	0%	0%	2030
2100年负排放 <sup>(a)</sup>		GtCO <sub>2</sub> /yr		2.0	

资料来源：表格数据来自多项研究的成果，包括：(a) 基于IMAGE模型的SSP1-19SPA1-v17情景的IMAGE标记 (van Vuuren et al. 2018)；(b) 《巴黎协定》部门基准分析 (气候动作追踪器2020c)。后者指出，尽管使用综合评估模型 (IAM) 进行的评估可以一致地估计每个基准情况达到《巴黎协定》兼容性所必需的最低限度减排，但仍需要其他证据来全面探索实现巴黎的路径细节，包括使用自下而上模型、混合模型和部门模型的文献，以估计可能减排力度的高值范畴，尤其鉴于最近技术趋势与此处使用的IAM模型条件之间存在滞后。因此，此处的电力行业基准与IMAGE IAM标记情景中的基准有所不同。历史值来自两项研究：国际能源署2020a、Gütschow et al. 2019。

标记路径假设2030年之前进行大幅减排，与1.5°C目标路径范围下限的情况一致。2065年左右实现全部温室气体中和，2040年实现碳中和。另外一个关键是2035年左右电力部门实现完全脱碳，此后排放量将变为负值。2030年无CCS煤电<sup>25</sup>全部淘汰，2050年可再生能源占比达到98%-100%。

## 缩小差距的行动机会

美国提高脱碳速度有几项措施可以实施，以确保排放量符合《巴黎协定》的基准。最重要的措施是逐步淘汰煤电。美国煤炭使用量已经急剧下降，因为它无法再与清洁技术竞争，但要确保煤炭2030年之前完全退出电力行业还需要采取更多行动，虽然也面临国内政治挑战，要考虑涉及人群的合理安置和过渡。加速关闭煤电能带来重大的协同利益，包括降低空气污染、减少人类健康损坏。

<sup>25</sup> 见脚注19。

天然气发电中也可以进一步采取减排行动。在《巴黎协定》兼容路径中，无CCS天然气发电相对较快达到峰值，然后迅速下降，到2050年只占全球电力供应的一小部分。任何天然气发电（无论有没有CCS）都需要通过负排放技术抵消其最终碳排放和其他排放。无CCS天然气发电机组中，这种抵消量需求可能会很大。

要把所有能源消耗行业转变为清洁的零碳源，需要把资本和人力资源都大规模从污染技术领域转移到清洁技术领域。疫情后经济复苏刺激方案是将公共支出转向绿色投资的绝佳机会：相比这些方案中总投资规模之大，实现《巴黎协定》目标所需的投资显得很微小（Andrijevic et al. 2020年）。

## 拜登能源与气候总规划

### 《拜登气候计划》和《拜登清洁能源计划》概述

当选总统拜登竞选期间发布了一个政策平台总规划，包括气候计划、清洁能源计划，及更广泛的环境计划。这个《拜登能源与气候总规划》包含旨在基于零碳能源系统实现经济脱碳的具体政策措施，包括量化目标（见图7）。我们将评估这些目标中预期能够实现的减排量，以及它们加起来是否能达到解决气候危机所需的脱碳水平。

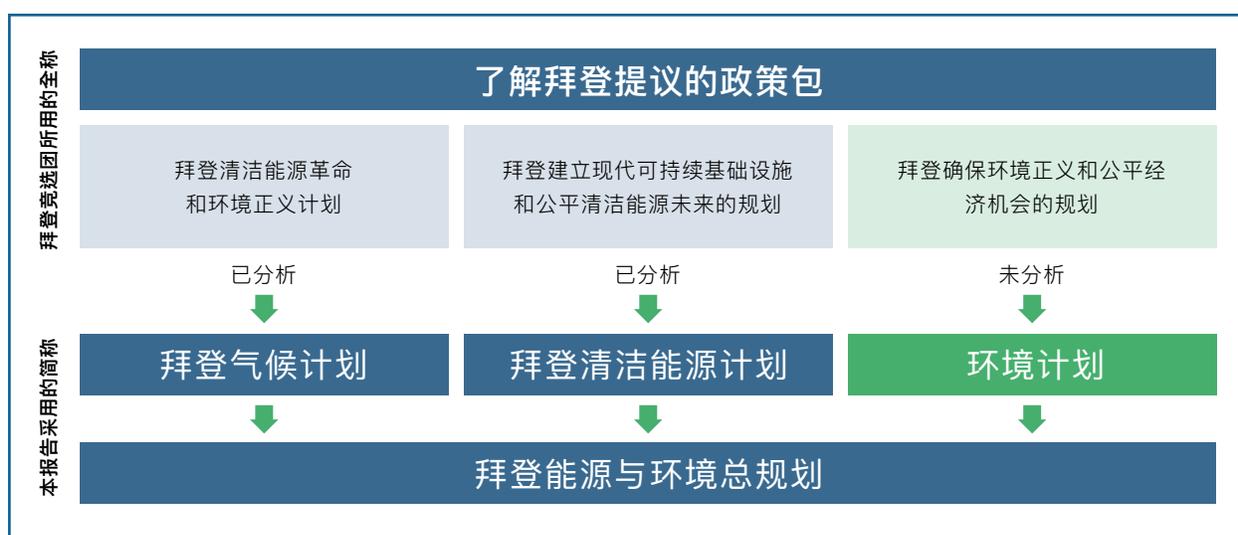


图7：拜登提案政策包中的三个政策计划如图所示。为方便起见，我们将这些气候与清洁能源相关计划的总包合称为“拜登能源与气候总规划”。

### 拜登气候计划

《拜登计划——清洁能源革命和环境正义》（以下简称《拜登气候计划》）包含五个主要模块，其中第一个包含具体的量化排放目标（《拜登气候计划》2020）（表4）。

表4:《拜登气候计划》的五大模块及量化。

注:与《拜登清洁能源计划》重叠的目标未在此处列出。本报告量化了第一模块(加粗显示的内容)。

五大模块 (引用原始资料)	量化政策
1. 确保美国最迟2050年实现100%清洁能源和净零排放	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 年实现整个经济体都100%使用清洁能源(清洁能源此处没有定义,不过下文《清洁能源计划》中提供了更多细节)</li> </ul>
2. 建设一个更强大坚韧的国家	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2050年实现家庭零排放,2025年有一个里程碑的进展</li> </ul>
3. 抵制污染者滥用权力伤害有色人种和低收入社区的不平衡状况	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 争取实现交通100%零排放(无时间表)</li> <li>• 100%轻/中型电动车辆(无时间表)</li> </ul>
4. 集合全球力量应对严重的气候威胁	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 实施《清洁空气法》</li> <li>• 2030年海上风能翻倍</li> </ul>
5. 履行我们对工人和社区的义务,是他们推动了工业革命和数十年来的经济增长	

美国2050年实现净零排放的总体目标与《巴黎协定》兼容路径是一致的,前提是这一目标涵盖所有温室气体排放,而不仅仅是二氧化碳。另一个使海上风能产量加倍的量化目标将在下文中作为清洁能源计划评估的一部分进行讨论。

## 拜登清洁能源计划

《拜登计划——建立拥有现代可持续基础设施和公平清洁能源的未来》(以下简称《拜登清洁能源计划》)包含七个主要模块,其中五个有具体量化目标(《拜登清洁能源计划》2020)(表5)。这些目标都进一步强化《拜登气候计划》中清洁能源经济的总体目标,并提出2050年实现净零排放的目标。其他两块模块也有助于这些目标的实现,但不能为本研究提供量化数据。

表5:《拜登清洁能源计划》七大模块及量化政策行动

五大模块（引用原始资料）	量化政策	简称
1. 建立现代化的基础设施	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030年为10万人以上城市的所有美国人提供优质的公共交通2050年实现家庭零排放，2025年有一个里程碑的进展</li> </ul>	公共交通
2. 使美国汽车业成为二十一世纪的赢家	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 升级300万辆公共车</li> <li>• 建立50万个充电站</li> <li>• 2030年美国产新型公交车全部实现零排放，并将50万辆校车全部转换为零排放</li> </ul>	道路交通零排放
3. 创造数百万工作岗位，为美国家庭和企业提供清洁电力	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2035年实现零碳排放</li> <li>• 4年内安装数百万个太阳能电池板</li> <li>• 4年内安装数万风力涡轮机，2030年海上风电翻倍</li> </ul>	清洁电力
4. 建筑行业升级：全国范围内实施建筑改造、校园升级、建造房屋	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2035年碳足迹（排放强度）减少50%</li> <li>• 2030年起所有新建商业建筑物达到净零排放标准</li> <li>• 4年内400万栋商业建筑、200万户住宅实施节能改造</li> </ul>	建筑节能改造
5. 在清洁能源创新领域进行空前的投资	[无定量脱碳目标]	——
6. 投资可持续农业和保护	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 密封孤井和废弃井</li> </ul>	井漏
7. 确保环境正义，创造公平经济机会	[无定量脱碳目标]	——

## 预期影响摘要

《拜登清洁能源计划》的量化目标预计2030年可以减排总计约1,810 MtCO<sub>2</sub> [1,360 - 2,100]，2050年减排2,820 MtCO<sub>2</sub> [2,380 - 3,260]（图8）。2030年前实施这一政策方案将使美国更接近《巴黎协定》兼容路径，相比2005年减排约40%-47%（不含LULUCF），或38%-54%（含LULUCF）。这些减排纳入更新后的国家自主贡献，显然远远高于目前的26%-28%。这些方案中，减排的最大贡献将源于2035年电力部门的脱碳，约占总排放量的一半至三分之二。

如果《拜登气候计划》的净零排放目标也能够实施，则意味着2050年进一步减排约2,900 MtCO<sub>2</sub> [2,600 - 3,200]，具体取决于这一目标是指碳目标还是气候中和。可以看出，如果清洁能源计划的2050年净零目标能够实现，就自动实现了2030年目标。

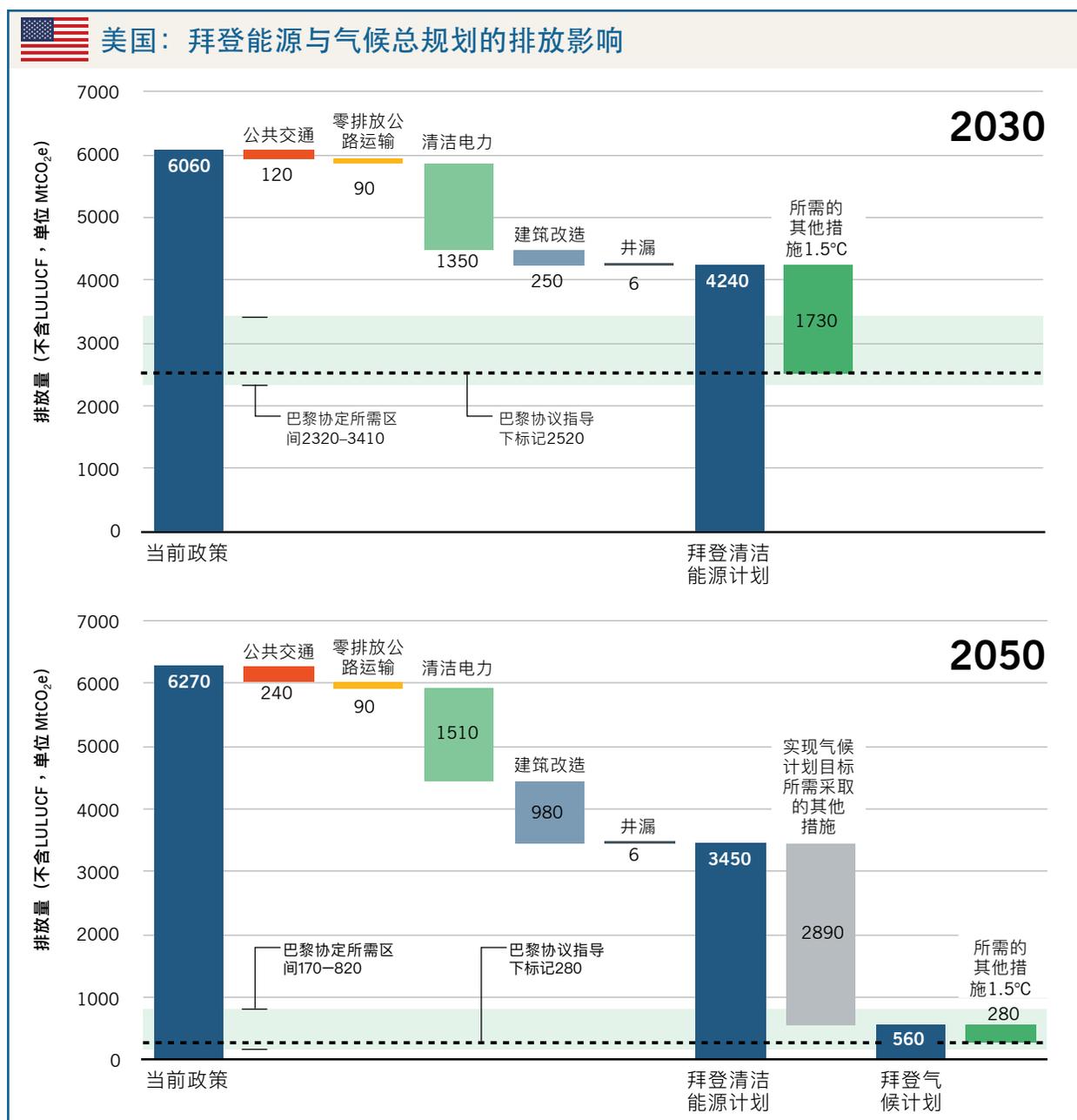


图8：拜登总规划对排放量影响综合图，包括拜登每项具体目标如何有助于实现整体净零排放目标，以及其他领域2030和2050年所需实现的额外减排量。

注：当前政策路径的数据是美国气候行动跟踪工具 (climateactiontracker.org) 计算出的最大排放水平。请注意，当前政策中2050年排放数据是基于2030年政策持续的推算值，其不确定性要比2030年的数值大得多。

## 实施方案及执行权

有一系列政策措施可以协助实现拜登总规划中设定的目标，包括现有及新修订法律规范下的标准制定，利用刺激法案提供额外资金，现有或新计划下资金的合理使用，为州级政策实施提供支持，以及部门或总统级的行政手段。合理选择政策措施不仅取决于要实现的总体目标，关键考量因素还包括应该在联邦、州或地方哪个层级推动实施更为合适，以及实施中所涉及的各方中是否可以获得多数的支持。

拜登总规划中的哪些部分是仅靠行政措施就能够实现的，这一课题不在本文的讨论范围之内。不过根据萨宾中心的分析 (Aidun et al. 2020) 和奥巴马政府的行政措施 (白宫, 2015)，我们估计总规划到2030年总减排潜力约为1,810 MtCO<sub>2</sub>，其中原则上靠行政手段可以实现的减排量约处于340—1,570 MtCO<sub>2</sub>之间。但还需要考量一个关键因素——任何新政策法规的制定都需要一定的时间，而且立法和司法对行政权力具有一定的限制 (Woodroffe和Guy 2020)。因此，参议院的预期组成至关重要。不过鉴于有些政策措施与经济刺激和拉动就业具有协同作用，借助疫情后经济复苏计划的便利，也可能会出台许多政策。最后，即使联邦政府行动延迟并面临挑战，州政府和地方组织 (例如“我们还在行动”) 的努力也有望继续推进。最近一项研究估计，2030年仅靠美国地方政府及社会组织的行动，就有望实现比2005年减排37% (Hultman等, 2020)。下面就几大模块进行逐一分析。

## “建立现代基础设施”：为城市提供公共交通

美国正在努力改善各种基础设施，《拜登能源与气候计划》作为这一总体战略政策的一部分，提出了一项具体的目标——为人口超过10万的城市投资公共交通，以确保公民能够获得优质且频繁运营的公共交通基础设施。

预计这一政策将有助于目前排放密集型的个人机动运输模式向低碳模式转变。假设公共交通系统从劣质提升到优质水平，从而使人均排放强度降低到三分之一甚至一半，那么预计每年可以减排200-270 MtCO<sub>2</sub>。

考虑到公共交通变革 (如轻轨、地铁及新型城市规划理念) 需要较长的时间，我们假设10年内最多可以实现这一减排潜力的一半。图9综合展示了这些减排潜力。

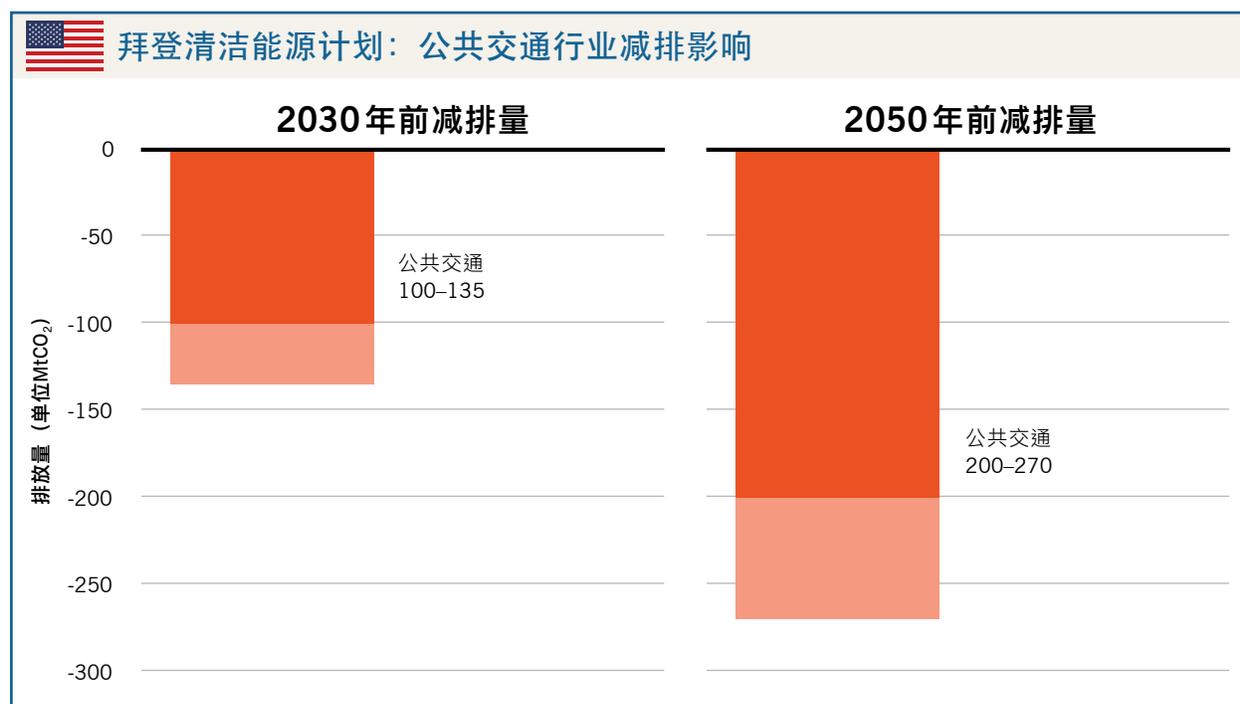


图9: 通过将交通运输人均排放量降低到较优秀城市的水平，总体可以减排200—270 MtCO<sub>2</sub>，2030年前可以实现总减排潜力的大约一半。深色代表最低估算值，浅色代表最大估算值。

## 使美国汽车业成为二十一世纪的赢家：道路交通的电气化

除公共交通承诺外，拜登计划对交通运输部门还提出以下具体的量化目标：

- 升级300万辆公共车
- 建成50万个充电站
- 2030年美国产新型公交车全部实现零排放，并且50万辆校车全部实现零排放

### 升级300万辆公共车

拜登计划包含一项联邦政府的承诺——为公交车队购买300万辆清洁车辆。这一目标关于“清洁车辆”的表述并不是特别清楚，不过我们假设是指完全零碳汽车（而非混合动力汽车），并且这些清洁车辆中每一辆都替代汽油或柴油驱动的小型货车。假设这些公交车辆每年行驶1,900—8,500公里，则每年总排放量预计为20—230 MtCO<sub>2</sub>。应该有可能在拜登的第一个任期内（即远在2030年之前）完成所有车辆的采购，从而2030年和2050年可以实现这一项措施的全部减排收益。考虑到地方政府现有政策中也有公交车辆低碳升级的措施，在正常更换周期内替换为更高效乃至电动车，剔除既有的升级政策，那么拜登公交车辆低碳升级项目可以实现6—125 MtCO<sub>2</sub>的新增减排潜力。

### 建立50万个电动汽车充电站

许多国家都在实施推广电动汽车应用的系列政策措施，包括提供公共充电基础设施。尽管绝大多数充电设施（> 80%）属于私有，但公共充电网络可以通过扩展范围来促进电动车的推广。拜登计划建造50万个电动汽车充电站的计划似乎比较容易实现，因为美国已经有近10万个充电设施，而且建设规模还在不断扩大（国际能源署2020b）。根据全球数据，我们估计这些充电站的建设可能会带动约300—450万辆电动汽车的购买，实现大约14—21 MtCO<sub>2</sub>的减排量。这些数据是基于假设这些充电设施建设和电动车销售都是现有地方政策措施范围之外的额外增益。

### 2030年美国产新型公交车全部实现零排放，并将50万辆校车全部转换为零排放

将美国约50万辆校车全部转换为零排放车辆，估计每年可以减排11 MtCO<sub>2</sub>。如果假设这一更新换代在2030年之前完成，那么2030年就可以实现这一项措施的全部减排潜力。美国还有约13万辆其他类型公交汽车，总排放约8MtCO<sub>2</sub>。假设公交车和大客车的使用寿命为4-12年，那么2021年颁布的零排放标准可能导致2030年排放量减少75%-100%，即6-8 MtCO<sub>2</sub>。现有公交车升级总共可以实现17—19 MtCO<sub>2</sub>的减排量，其中额外政策措施带来的增益减排量估计2030年为5—20 MtCO<sub>2</sub>，2050年为6—14 MtCO<sub>2</sub>。考虑这些公交车的所有权，可能上面提到的公交车减排目标涉及一点重复计算，但我们认为重复部分并不多，可以忽略不计。

### 小结

我们估计，通过将除进口车以外的所有公交车替换为零碳车辆，总计可减排17-19MtCO<sub>2</sub>，占公交部门总排放的90%。据估计，其中额外政策措施带来的增益减排量估计2030年为5—20 MtCO<sub>2</sub>，2050年为6—14 MtCO<sub>2</sub>。如果能将所有公共交通工具都替换为零碳车辆，减排潜力会更大，估计会带来8—120 MtCO<sub>2</sub>的额外减排量。

对于轻型汽车运输，额外充电站建设可以带动300-450万辆电动汽车的销售，实现14-20吨MtCO<sub>2</sub>减排。但这仍然仅占道路交通总排放量（1,500 MtCO<sub>2</sub>）的一小部分。<sup>26</sup> 美国有超过2.5亿辆乘用车，每年售出约600万辆。要想在该领域实现实质性减排，就必须制定一项涵盖所有这些乘用车的政策，例如拜登计划中提到的提高汽车标准。此外，货运行业也需要采取类似的减排措施。

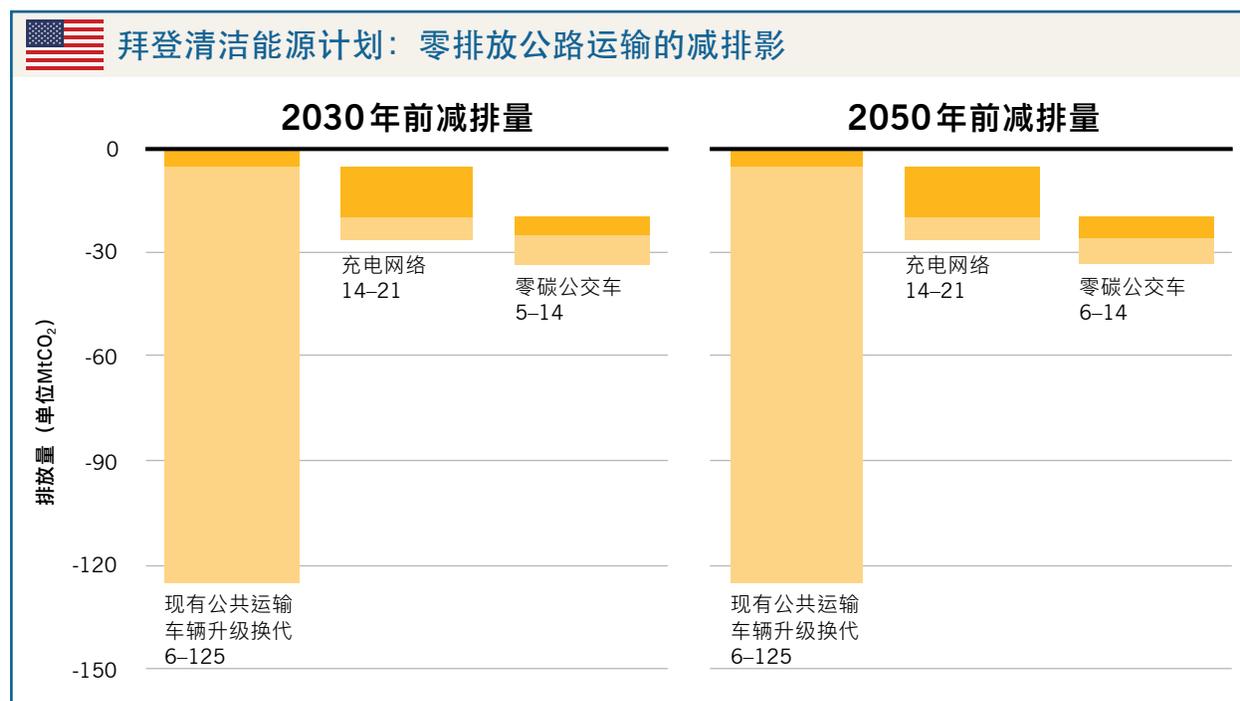


图10: 通过将现有技术替换为零排放车辆，清洁运输目标方案总体预期可以减少的排放量。最大的节能来自公交车全面进行零碳升级。相比之下，其他两项措施的减排潜力相对较小。这里假定了大部分减排都可以在2030年前实现，也就是说2050年不会再产生大规模减排。深色代表最低估算值，浅色代表最大估算值。

## 创造数百万工作岗位：2035年实现零碳电力

拜登计划为电力部门提出了四个具体目标：

- 2035年实现零碳发电
- 4年内安装数百万个太阳能电池板
- 4年内安装数万风力涡轮机
- 2030年海上风电翻倍

### 2035年实现零碳发电

清洁能源计划的核心部分是2035年电力系统实现零碳的目标。这不仅减去2030年之前电力生产中的大部分直接排放，也是其他部门脱碳的先决条件——因为如果用能部门电气化，

<sup>26</sup> 根据美国能源信息署（2020b）报告中2019年数据是轻型汽车、轻型和重型卡车以及公交车排放量的总和。

例如交通行业推广电动汽车、建筑供暖使用电热泵，电力脱碳会使这些领域也随之实现最大程度的减排。

以美国能源信息署（EIA）《年度能源展望（AEO）》中的参考案例为基准，我们预计2030年可以减排1,315 - 1,380 MtCO<sub>2</sub>，2050年减排约1,510 MtCO<sub>2</sub>。

#### 4年内安装数百万个太阳能电池板

拜登计划目标之一是“在第一个任期内推广安装数百万块太阳能电池板，包括太阳能发电站、屋顶安装、社区太阳能系统等。”这是零碳电力总计划内容之一，不是计划外的额外减排。

我们估计2021-2024年期间增加推广应用100-1000万块太阳能电池板，可以使2030年减排0.1-1.9 MtCO<sub>2</sub>，2050年减排0.1-1.6 MtCO<sub>2</sub>，可以节省成本。我们没有假设2024年以后安装容量会增加，尽管其增长趋势很可能会持续。

考虑电力脱碳总目标以及太阳能光伏（PV）与其他技术相比所具有的潜力，很明显需要大幅提高该目标以促使2035年之前实现零碳发电，例如应该设定2024年之后太阳能继续推广应用的目标。

#### 4年内安装数万风力涡轮机及2030年海上风电翻倍

拜登计划还包括一个目标——“在第一任期内安装数万台风力涡轮机，包括沿海数千台涡轮机。”与太阳能目标一样，这是零碳电力总计划内容之一，不是计划外的额外减排。我们估计2021-2024年期间安装1,000-10,000台海上风机和10,000-50,000台陆上风机将产生如下减排量：

- 2030年：陆上风电15-250 MtCO<sub>2</sub>，海上风电8-140 MtCO<sub>2</sub>
- 2050年：陆上风电35-215 MtCO<sub>2</sub>，海上风电12-120 MtCO<sub>2</sub>

考虑到尚未开发的风电潜力以及实现零碳电力总目标所需的额外减排量，预计2035年要实现零碳电力，需要进一步提高这一目标。

我们尚未评估气候计划中提出的“2030年海上风电容量翻倍”，因为这个目标相比要小得多。当前海上风电装机容量为42兆瓦（= 0.042吉瓦），而我们之前对2030年海上风电容量的估计为8-140吉瓦（Stromsta 2020b）。

#### 小结

我们发现根据拜登计划中电力行业相关可量化目标，如果要在2035年实现零碳电力，2030年需要减排1,350 MtCO<sub>2</sub>，2050年需要减排1,510 MtCO<sub>2</sub>。太阳能电池板和风力涡轮机两项计划的减排影响要小于总目标所需的减排力度，是实现总目标必要但尚不充分的方案，如图11所示。

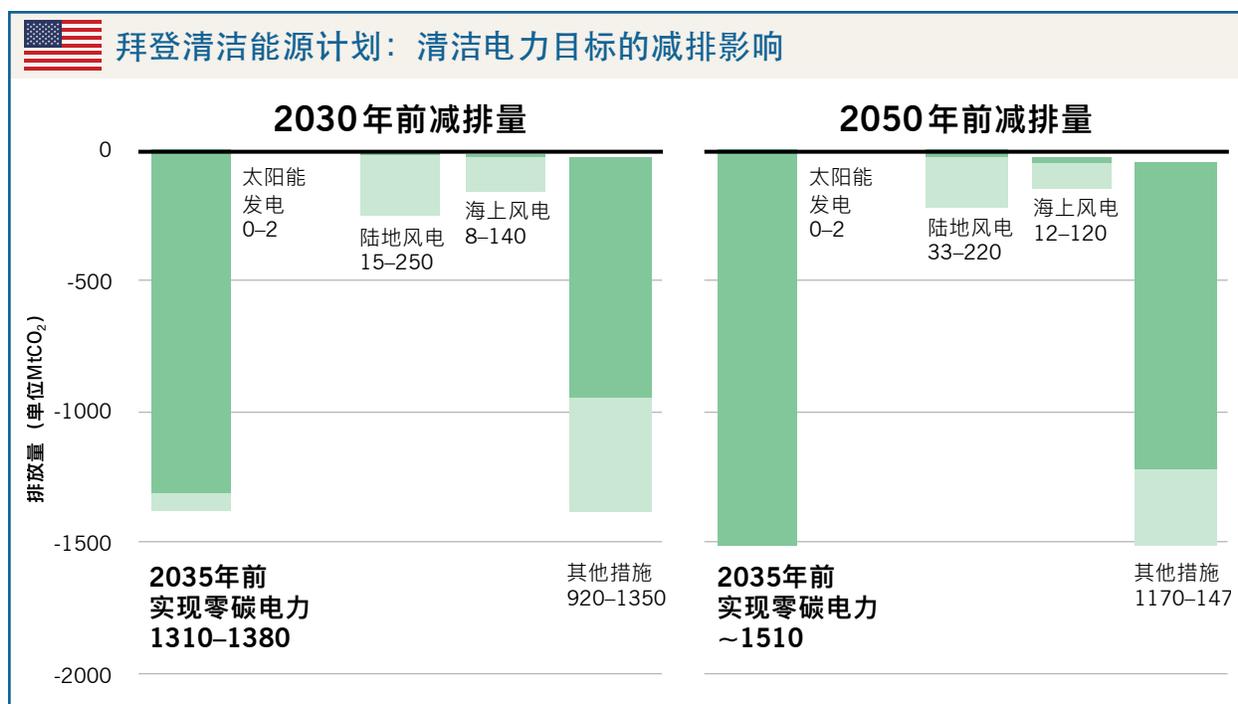


图11: 相对《年度能源展望》(美国能源信息管理局, 2020b) 数据, 清洁电力目标总体预期可以减少的排放量。要实现2035年实现零碳电力的总体目标, 太阳能和风能发电行业都需要投入更多的努力。深色代表最低估算值, 浅色代表最大估算值。

## “大规模投资节能建筑”

《拜登清洁能源计划》为改善美国存量建筑的能效, 提出四个政策目标:

- 2035年碳足迹(排放强度)减少50%
- 2030年起所有新建商业建筑物达到净零排放标准
- 4年内400万栋商业建筑、200万户住宅实施节能改造
- 建造150万个节能公共住宅

该计划还号召提高建筑规范, 并为现有建筑设定节能标准, 但我们在本项研究中并未量化该政策目标。

### 2035年碳足迹(排放强度)减少50%

美国目前每平米建筑面积排放50-100千克二氧化碳, 通常住宅建筑排放强度较低, 商业建筑排放强度较高。现有能效和脱碳措施预计可以抵消2035年前建筑面积增长约17%所产生的额外排放, 导致同期总排放量减少16%, 即排放强度将会降低——每平方米排放量减少约29%。

拜登在《清洁能源计划》中表示, 他将加快这些措施的实施, 争取2035年将排放强度减少50%, 这几乎是原来预期速度的两倍。这样估计与EIA的AEO参考情景相比, 2030年将减排约190MtCO<sub>2</sub>。与AEO参考情景相比, 2050年的减排量可能在630-1,310 MtCO<sub>2</sub>之间, 取决于碳足迹是否稳定在约24 kg/m<sup>2</sup>的水平以下或者继续以类似的速度提高至5 kg/m<sup>2</sup>。

## 2030年起所有新建商业建筑物达到净零排放标准

商业建筑仅占建筑（使用）总面积的不到三分之一，但排放量几乎占行业的一半。拜登计划提出了建筑标准以确保2030年以后所有新建商业建筑均为净零排放。实现净零排放通常需要有极高的能效标准，普及电能供应（例如使用热泵供暖和热水），并确保建筑物所使用的电力为零碳发电（通常是屋顶和幕墙安装光伏电池）。欧盟也制定了类似的近零能耗标准，从2021年开始，所有（不仅是商业）建筑都必须强制执行该标准。

我们分析拜登新建商业建筑净零能耗标准目标可以产生的减排量2030年为0-65 MtCO<sub>2</sub>，2050年为150-220 MtCO<sub>2</sub>，具体取决于房地产开发商在2030年这一标准强制实行之前是否逐步采用该标准。这项政策措施是实现上述排放足迹总目标的内容之一。

## 4年内400万栋商业建筑、200万户住宅实施节能改造

考虑到建筑使用寿命比较长，建筑行业要实现实质性减排还需要解决既有建筑的排放问题。拜登计划设定了雄心勃勃的建筑节能改造目标，包括四年内涵盖400万座商业建筑和200万座住宅建筑。这意味着住宅建筑改造率将接近巴黎协议兼容路径所要求的每年5%改造率基准，而对于商业建筑而言，甚至高于巴黎协议标准（Kuramochi et al.2017）。商业建筑改造率如此之高，以至于既有商业建筑存量中近三分之二都需要进行改造。相比之下，200万套的住宅改造量覆盖率还不到既有住宅量的五分之一。

我们发现2025年之前节能改造所产生的减排效益会一直持续，2030年商业建筑可以减排70-235 MtCO<sub>2</sub>，住宅建筑可以减排15-60 MtCO<sub>2</sub>，具体范围源自改造程度存在不确定性。我们假设改造后排放量减少30%-60%，尽管实际上也有可能更高。减排量计算的基准线是随着时间推移逐步进行改造的假设情景。<sup>27</sup>对比这一基准线，2050年节能改造的减排量相对较小，商业建筑约为10-180 MtCO<sub>2</sub>，住宅建筑约为0-40 MtCO<sub>2</sub>。

## 建造150万个节能公共住宅

该计划内容最后一个量化目标是建造150万套节能住宅。这项政策目标透露了拜登计划中所提到的“节能”是如何定义的，因为这部分给出了具体量化数值——每年可以节省多达500美元的能源费用。美国住宅平均能源费用约为1,800美元，这意味着拜登所说的节能住宅能效比当前普通住宅高出30%。我们预计采用较低的比较值可能更合适，因为新建住宅可能会比既有住宅平均面积小一些，这意味着有可能减排率高达40%-50%。

但是，鉴于有新建商业建筑达到零净排放的目标，而且事实上世界其他地方建造几乎不需要能源的新建筑正在成为一种惯例，我们将这些新建住宅的能源使用量及排放量范围设定为比当前平均水平低30%-80%。进一步假设这些新建住宅使一些家庭能够搬出既有的低效住房，我们估计与当前的排放轨迹相比，该政策目标的减排潜力为2030年0-70 MtCO<sub>2</sub>，2050年0-50 MtCO<sub>2</sub>。零下限反映了这种假设的不确定性：如果这些住宅只是既有建筑存量的补充，就无法产生减排。<sup>28</sup>

<sup>27</sup> 基于2020年《年度能源展望》参考案例。

<sup>28</sup> 它们甚至有可能增加排放，但预计将在健康和生活水平方面给租户带来巨大利益。

## 小结

图12显示了拜登计划中一系列建筑节能目标的减排量估算结果。要实现2035年全国既有建筑存量碳足迹减少一半的总目标，需要依赖个体的节能改造行动、提高建筑能效，以及采取更多的措施。预计2030年，这些自下而上的努力可能足以实现甚至超越这一总目标。对于2050年，如果碳足迹要在2035年基础上进一步降低，则可能需要付出更多的努力。

图12汇总了这些措施的减排结果。

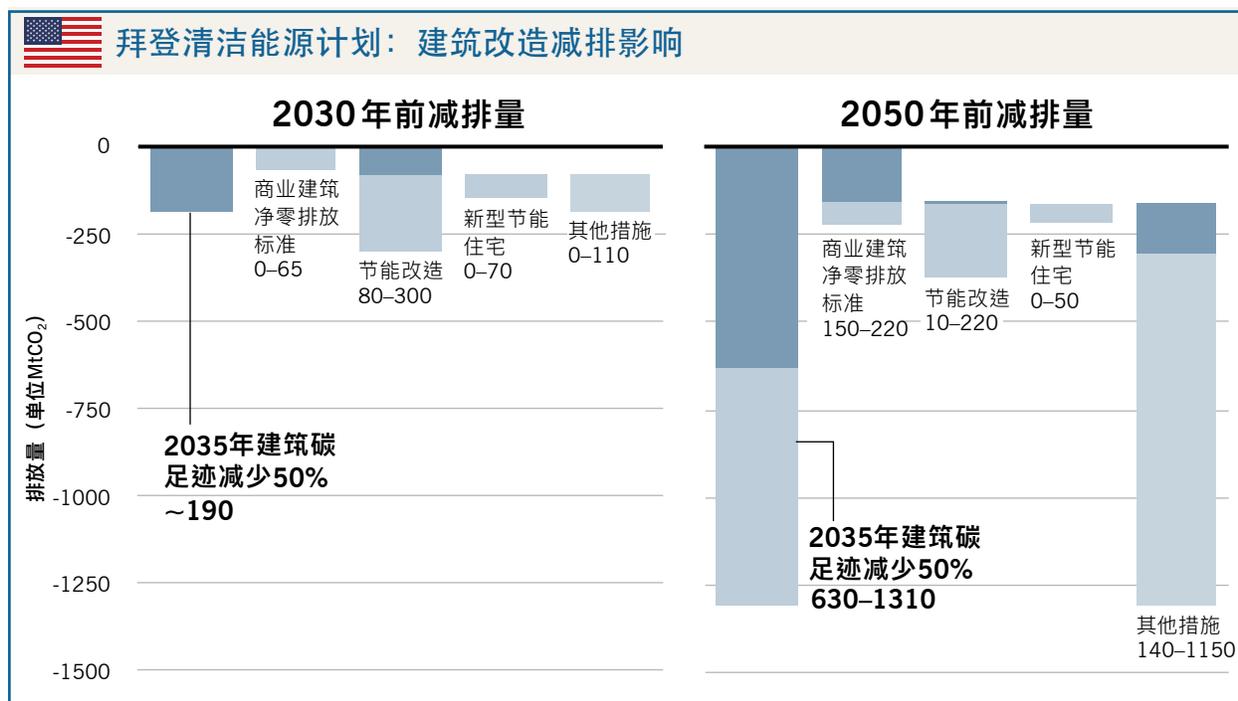


图12: 相对《年度能源展望》(美国能源信息管理局, 2020b)数据, 建筑能效目标总体预期可以减少的排放量。到2030年, 各项措施的减排量可以(甚至超额)实现总体足迹目标所预期的额外减排量。深色代表最低估算值, 浅色代表最大估算值。

## “保护措施”：修复井漏

拜登计划中的“保护”章节提出了一个有趣的政策构想：利用石油和天然气行业既有的丰富技术经验，密封尚未正确关闭且正在泄露温室气体的孤井和废弃油气井。结合另一项清理废弃矿区的类似措施，拜登希望能够创造多达25万个工作岗位。

2020年7月哥伦比亚大学与未来资源研究中心所发表的一项研究深入讨论并评估了密封油气井的想法 (Raimi, Nerukar和Bordoff 2020)。该研究估计，美国大约有200万孤井和废弃油气井，每年泄漏2-11 MtCO<sub>2</sub>e的甲烷。两到四年之内(无论如何都远在2030年之前)预计可以完成封井工作，具体速度取决于拜登打算在封井项目实施中将25万个工作岗位全部投入还是仅投入一半。总之，我们认为这项措施导致2030年和2050年都均可减排2-11 MtCO<sub>2</sub>e。

图13汇总了这些措施的减排结果。

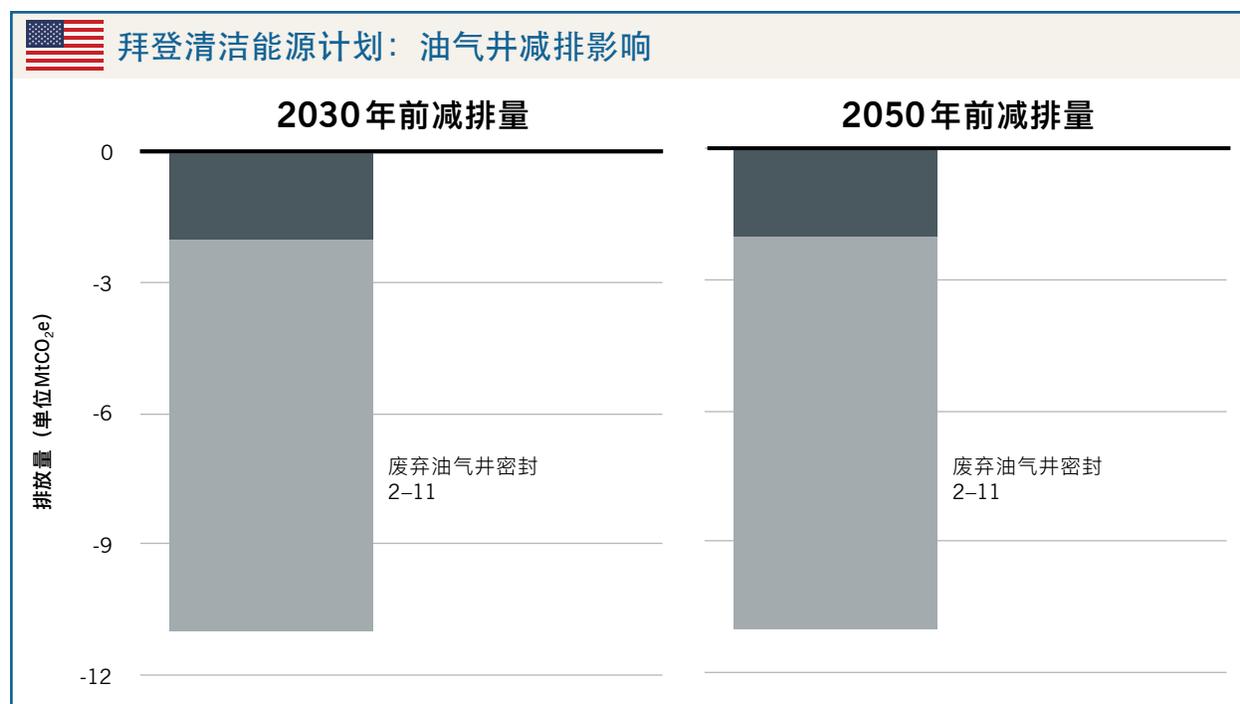


图13: 实施废弃井密封计划, 可以避免现有甲烷全部排放量 (每年2-11 MtCO<sub>2</sub>e)。该计划应该可以在2030年之前完成, 因此2030年与2050年数据都包括了这项总减排量。深色代表最低估算值, 浅色代表最大估算值。

## 结论

本研究报告显示, 如果中国净零排放目标涵盖所有温室气体排放, 则其长期战略能与本世纪中叶《巴黎协定》兼容路径保持一致, 前提是2025年实现提前达峰, 并在2030年实现大幅减排。如果希望2060年之前实现净零排放, 中国需要停止建设无CCS燃煤电厂, 2030年电力结构中煤电占比迅速减少到5%-10%, 并在2040年之前逐步淘汰煤电。这意味着新建煤电设施在其技术或经济寿命结束之前, 利用率将大大降低, 乃至不得不提前退役。

此外, 本研究报告还表明, 中国如果2025年左右达到排放峰值, 将有助于避免2030年后急速脱碳的压力, 减缓2060年后实现大量负排放的需求。《巴黎协定》有每五年提高一次减排承诺的机制, 中国在COP26之前增强NDC时可能会考虑这些因素。

与此同时, 当选总统拜登竞选过程中所宣传的《能源与气候总规划》可能为美国重新加入全球应对气候变化战役提供了一个基础。这一总规划不仅可以扭转特朗普政府的退缩政策, 还将大幅度扩大气候行动, 2030年可能比2005年减排38% - 54% (含LULUCF)。近期看, 可以将美国进展与《巴黎协定》兼容路径之间的差距缩小一半以上。

当选总统拜登承诺2050年达到净零排放, 如果是指所有温室气体, 2030年所需的大幅减排及时落实, 并且采取其他减排政策措施 (尤其在货运和工业领域), 长远来看这会进一步完全消除与《巴黎协定》兼容路径之间的差距。但需要强调的是, 拜登总规划想要全面实施需要获得国会的支持。本研究报告估计, 拜登总规划的内容能够通过行政手段就可以实施的可能只有一半 (虽然这个比例具有很大程度的不确定)。

尽管如此，如果中国最近宣布的目标和《拜登能源与气候总规划》都得以全面实施的话，将能取得2100年平均升温估计值降低 $0.2^{\circ}\text{C}$  -  $0.4^{\circ}\text{C}$ 甚至 $2.3^{\circ}\text{C}$  -  $2.4^{\circ}\text{C}$ 的成就。尽管目前全球政策仍不足以确保《巴黎协定》所确立的长期目标（1.5摄氏度），但自从该协定五年前获得通过以来，就全球努力而言，中美这两个项目无疑都会做出空前重要的贡献。

因此，本研究报告为中美两国及世界其他主要排放国提供了具有一定深度的信息，为两国在COP26召开之前制定2030年更大自主贡献及本世纪中叶目标提供参考。

## 缩写

AEO	美国能源信息署发布的《年度能源展望》
COP	缔约方大会。根据《联合国气候变化框架公约》举行的会议。2015年在巴黎举行的第二十一届缔约方会议（COP21）上通过了《巴黎协定》。
CCS	碳捕集与封存
EIA	美国能源信息署
EPA	美国环境保护署
GHG	温室气体
IPCC	政府间气候变化专门委员会
LTTG	（《巴黎协定》所设定的）长期温度目标
LULUCF	土地利用、土地利用变化和林业。LULUCF可以产生正排放（例如森林砍伐造成的排放），也可以因吸收二氧化碳而产生的负排放。来自LULUCF的历史排放估计范围比基于能源的排放大得多。
NDC	国家自主贡献（《巴黎协定》规定的缔约方承诺）
PA	《巴黎协定》
PV	光伏
UN	联合国

# 方法

## 长期目标预期排放的量化

对于中国最近宣布的长期目标（2060年之前实现净零排放）和《拜登气候计划》（2050年之前实现净零排放），我们根据两种可能的解释计算了预期的减排量：

- 温室气体中和（气候中和）：即目标中净零排放指的是温室气体净排放量（含LULUCF）为零。
- 二氧化碳中和（碳中和）：即目标中净零排放仅仅指二氧化碳净排放量（含LULUCF）为零。这种情况下，我们假设非二氧化碳气体20年后达到净零排放。

我们将这两种解释进一步分为两种情况，分别是：

- “最小排放量”情景：假设排放曲线2025年开始转向，从“气候行动追踪者”在其当前政策路径中估算的2025年最低排放值开始，一直下降到目标水平。
- “最大排放量”情景：假设排放曲线2030年开始转向，从“气候行动追踪者”在其当前政策路径中估算的2030年最大排放水平开始，一直下降到目标水平。

（当前政策路径摘自《气候行动追踪报告》中对美国和中国的分析。具体分析报告详见<https://climateactiontracker.org/countries>。）

通过从IMAGE标记情景中减去LULUCF预测，最终数值以温室气体总排放量（不含LULUCF）表示（van Vuuren et al. 2018）。

## 《拜登清洁能源计划》预期影响的量化

### 为城市提供公共交通

2019年，约有9500万美国人居住在人口超过10万的城市中（美国人口普查局2020）。这些城市人均每年地面交通排放量相差多达十倍，具体人均排放从大约1-2tCO<sub>2</sub>/人到大约10tCO<sub>2</sub>/人不等，这种差异原因是受人口密度、社会经济水平等多个因素的影响（Gately, Hutyra, and Wing 2015）。引入优质的公交系统有望使人均排放量下降到该范围内的较低水平，例如旧金山和纽约的人均排放量。基于这种考量，我们估计优质公交系统可以使人均排放量平均减少三分之一到一半，这样每年可以实现200-270 MtCO<sub>2</sub>的减排量。

### 300万辆公交车升级为清洁能源车辆

假设这300万辆清洁能源汽车平均取代典型的小型客车，并且每年平均行驶1,900-8,500公里。假设典型年龄车队的燃油效率约为10-25 ltr / 100 km [10-25 mpg]，我们计算出每车每年的排放量约为6-80 tCO<sub>2</sub>/车辆。将其中300万辆汽车替换为零碳车，每年将减排20-230 MtCO<sub>2</sub>。我们进一步假设在目前自然替换周期内，无需采取额外政策措施，2030年传统汽车有10%-20%自然替换成电动汽车，40%-50%自然替换成目前市场上最高效的汽车，那么剔除自然更新换代的因素，拜登新政策还可以实现6-125 MtCO<sub>2</sub>的额外减排量。

## 新建50万个电动汽车充电站

基于过去10年中充电基础设施和电动汽车的增长，我们确定了电动汽车数量与充电站数量之间的相关性，即每个充电站有6-9辆汽车（国际能源署2020b）。美国环保署（EPA）估计当前每辆轻型车辆的平均排放量为4.6 MtCO<sub>2</sub>/车辆/年（美国环保署2018）。这意味着新建充电设施预计能带动购买300-450万辆电动汽车（用以替换现有传统汽车），从而带来14-21MtCO<sub>2</sub>的减排量。

## 2030年美国所有新增公交车均为零排放，并将现有50万辆校车全部升级为零排放车

非校车的数量及其年燃料消耗量摘自《美国公共交通概况2020》（2018年数据），并结合EPA标准排放因子，计算出非校车年度总排放量约为8 MtCO<sub>2</sub>。我们还从同一来源获得了车辆英里数，计算出公交车单位距离平均排放强度约为1.2 kgCO<sub>2</sub>/公里（约合1.9 kgCO<sub>2</sub>/英里），这一数值用于计算校车相关排放量。我们假设校车排放强度与上述非校车相同。假设这些公交车每年总计行驶里程约为60亿英里（纽约校车承包商协会2020年），则计算出其年排放量约为11 MtCO<sub>2</sub>。然后假设这项政策措施中30%-70%是剔除现有升级计划之后的额外升级换代，就计算出2030年总减排量估计为5-14 MtCO<sub>2</sub>（2050年为6-14 MtCO<sub>2</sub>）。

## 2035年实现零碳电力

关于2035年零碳电力目标，目前尚没有实现这一目标的预期技术和政策落实率等相关详细信息，因此我们建模设计了一系列到2035年的S曲线，体现二氧化碳排放量从历史值减少到零的路径集合（图14）。电力行业历史二氧化碳排放量源于美国能源信息署的统计数据（美国能源信息署2015; 2018a）。根据EIA的AEO 2020参考情景（与2018年的历史点进行了匹配）（美国能源信息署2020b）而定义当前政策，计算减排量，我们发现2030年可以减排1,315 - 1,380 MtCO<sub>2</sub>（根据不同的S曲线形状而定），2050年可以减排1,510MtCO<sub>2</sub>。

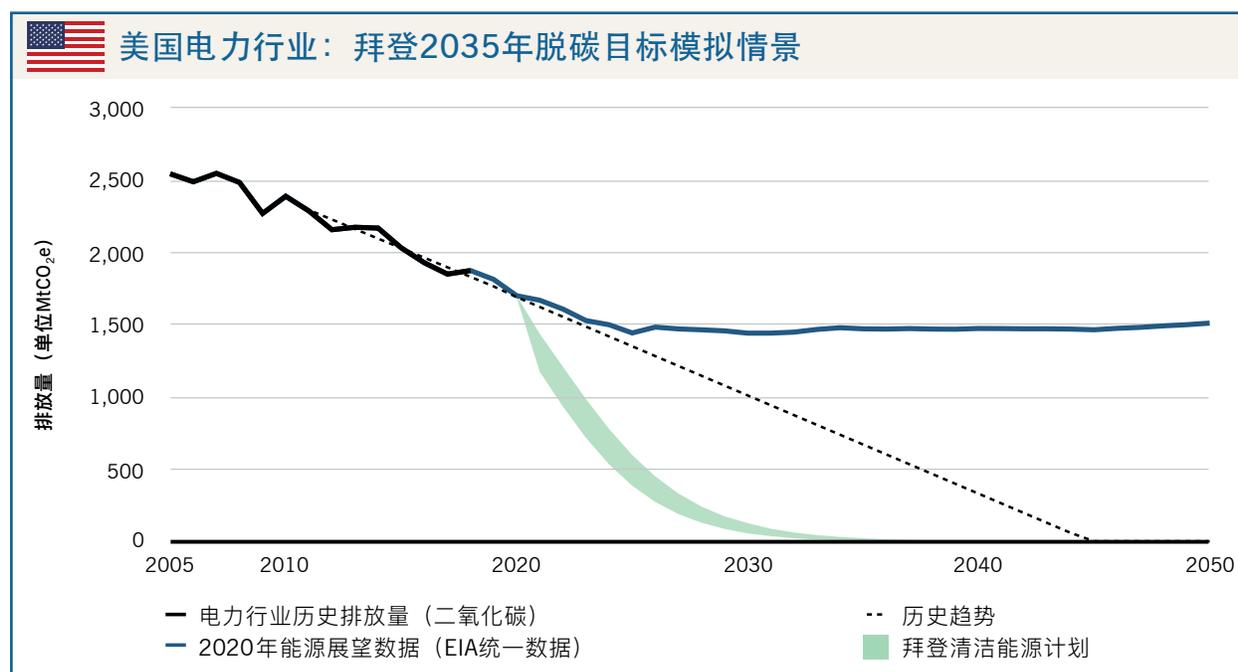


图14：实现拜登2035年电力脱碳目标的模拟情景

## 四年内安装数百万个太阳能电池板

我们估算这些政策2030年产生的额外发电量范围为0.36-6.4TWh，关于电池板数量、每块电池板容量和容量因子的具体假设如下：

- 每块电池板容量：0.3 – 0.4 kWp (2019年加利福尼亚分布式发电统计数据)
- 电池板数量：100 – 1000万
- 发电小时数：1,200 – 1,600 (国家可再生能源实验室2020; SolarGIS 2017)

采用AEO参考情景中2030年平均电力排放因子290 g / kWh，则计算出2030年这一政策将减排0.1-1.9 MtCO<sub>2</sub>。2050年反拟排放因子为250 g / kWh，因此估计可以节省0.1-1.6 MtCO<sub>2</sub>。

## 四年内安装数万台风力涡轮机，包括海上数千台

我们估计这项政策2030年能够产生额外风力发电的情况为陆上50-880 TWh，海上30-490 TWh，关于每台涡轮机额定功率、涡轮机数量和容量因子的假设如下：

- 每台涡轮机容量：
  - 陆上2 – 5 MWp (Wind Europe 2020)
  - 海上8-14MWp (Stromsta 2020a)
- 风机数量：陆上10,000 – 50,000，海上1,000 – 10,000
- 发电小时数：陆上2,600 – 3,500，海上3,500 (“透明成本数据库《开放式能源信息》”2015)

采用AEO参考情景中2030年平均电力排放因子290 g / kWh，则计算出2030年这一政策将实现陆上减排15 – 250 MtCO<sub>2</sub>，海上减排8 – 140 MtCO<sub>2</sub>。2050年反拟排放因子为250 g / kWh，因此估计陆上减排35 – 215 MtCO<sub>2</sub>，海上减排12 – 120MtCO<sub>2</sub>。如果假设涡轮机在预期25年使用寿命结束时替换为目前最大的涡轮机型，减排下限值会略有增加。

## 2035年建筑碳足迹（排放强度）减少50%

基于EIA-AEO 2017/2019年度中商业和住宅建筑领域的排放量和建筑面积值，我们估算出2020年的排放强度（单位建筑面积排放量）约为60kg/m<sup>2</sup>，然后将这一数值逐步降低至2035年的约30 kg / m<sup>2</sup>（即2020年值的50%）。对2030-2050年期间，我们计算了未来排放强度的可能变化范围，或者2050年稳定在24kg/m<sup>2</sup>左右，或者继续下降至5kg/m<sup>2</sup>左右（图15左图）。然后，我们将这些强度情景与原始AEO建筑面积预测相乘，以计算拜登计划下的排放量和减排量（图15右图），最终估算结果为2030年的减排潜力为190 MtCO<sub>2</sub>，2050年的减排潜力为630-1,310 MtCO<sub>2</sub>。

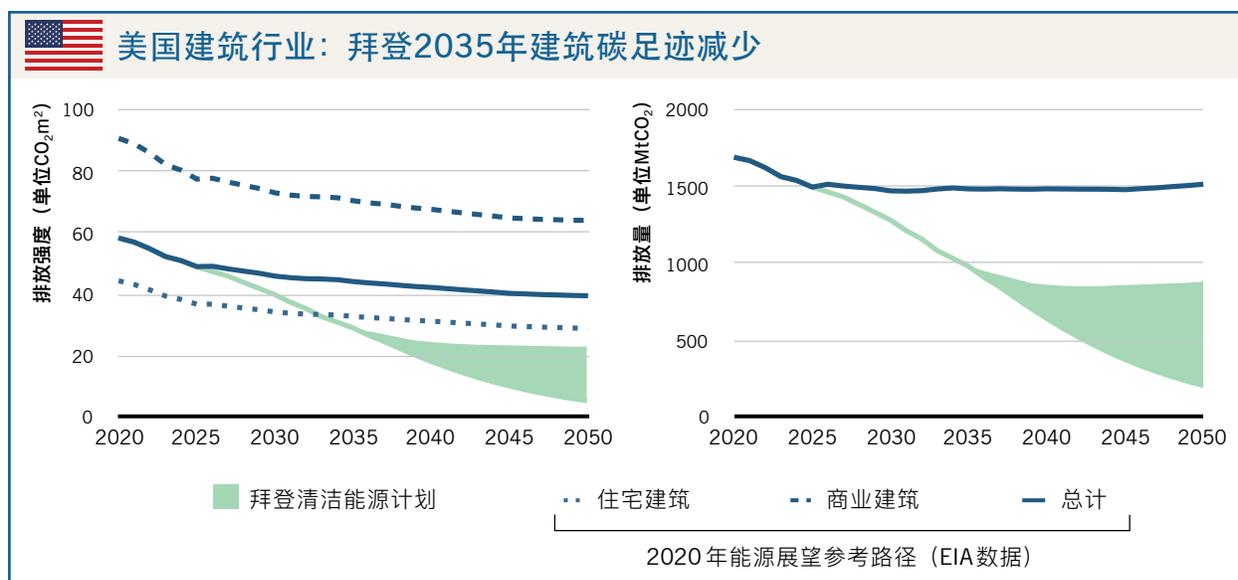


图15: 实现Biden建筑节能目标的模拟排放强度范围及总排放量。

### 2030年所有新商业建筑物达到净零排放标准

我们利用模型为这一政策措施模拟了两种方案。首先基于2020年年度能源展望中2020年相关数据，即2020年建筑寿命约85年，2050年上升到90年左右，以此估算了2020年后每年新建商业建筑面积增量。然后通过创建两个排放强度情景，计算出2020年后每一部分新建商业建筑增量的排放强度。

情景1中，零排放足迹仅应用于自2030年起新建的增量建筑。对于2030年之前建造的存量建筑，使用其2030年前的参考情景中的排放值，2030年之后使用新排放强度应值。

情景2中，假设2020-2030年之间新建的商业建筑已经开始逐渐降低排放强度，为最终达到零净排放标准做准备。

计算产生的排放强度范围如图16（左图）所示。新建商业建筑整体最终排放量如图16（右图）所示。以此推算，2030年的减排潜力为0 - 65 MtCO<sub>2</sub>，2050年的减排潜力为150 - 220 MtCO<sub>2</sub>。

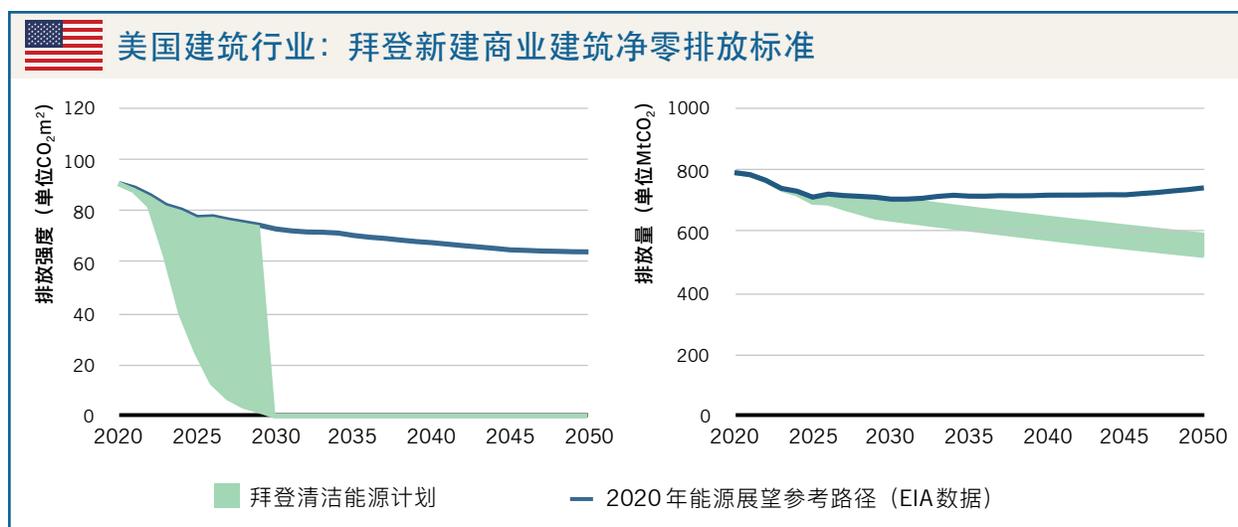


图16: 实现拜登商业建筑标准的模拟排放强度及排放量

## 四年内对400万栋商业建筑及200万栋住宅建筑进行节能改造

为了估算《拜登计划》中两项建筑节能改造政策措施的排放影响，我们做出了以下假设：

400万栋商业建筑节能改造目标中，我们把“节能改造”理解为对整栋商业建筑进行全面节能改造。根据EIA的建筑调查（美国能源信息署，2012年）中的历史数据，假设每栋商业建筑平均建筑面积约为1,560平方米，则改造总面积将达62亿平方米，占美国商业建筑总面积三分之二以上。

与AEO 2020参考情景相比，假设改造后单位建筑面积减排量为30%-60%，那么2030年将减排70-235 MtCO<sub>2</sub>，2050年将减排10-180 MtCO<sub>2</sub>。2050年减排量相对较低是由于参考情景已经假设既有建筑存量能效会逐年改善，所以后期改造比例会降低。

200万栋住宅改造目标，我们理解为计划改造200万栋住宅建筑（而不是200万户个人住宅），这其中也包括多户住宅。我们根据AEO 2020情景中的数据，即每栋住宅平均建筑面积约1,800平方米，估算出计划改造面积（美国能源信息署2020a）。

与AEO 2020参考情景相比，假设改造后单位建筑面积减排量也是30%-60%，那么2030年将减排15-60 MtCO<sub>2</sub>，2050年将减排0-40 MtCO<sub>2</sub>。住宅改造总体减排潜力远远低于商业建筑改造，因为住宅改造总面积较小，而且住宅原本排放强度就比商业住宅低。

## 建造150万栋节能公共住宅

住宅减排潜力估算使用了与上面相同的方法，同时假设搬入这些公共住宅的家庭离开了他们原先居住的平均能效住宅。这可能导致估算值偏高，因为这些住宅建筑也可能是指现有存量之外的新建增量，因此我们把最低减排量设置为零。

我们假设新节能住宅比传统住宅节能30% - 80%。虽然技术上而言最大节能量也可以达到100%，但拜登计划似乎指的是近30%的目标——计划提出与传统住宅能耗支出1,800美元

相比，新住宅可以节省500美元（美国能源信息署2018b）。需要注意的是，由于前面提到的额外性因素，30%的节能率值不影响最终减排量的估算结果。

与AEO 2020参考情景相比，这150栋节能公共住宅的减排潜力2030年为0-70 MtCO<sub>2</sub>，2050年为0-50 MtCO<sub>2</sub>。

### 密封孤井和废弃气井

我们对这一政策措施减排潜力的估算大量利用了来自哥伦比亚大学和未来资源2020年7月发表的科学研究中的数据（Raimi, Nerukar和Bordoff 2020）。据估计，美国平均有200万孤井和废弃油气井（估计数量范围在数十万至三百万之间），其中大部分在宾夕法尼亚州。这些井平均每年排放0.03-0.19吨甲烷，每年总计排放甲烷60-400kt，约等于2-11 MtCO<sub>2e</sub>。

拜登计划并未明确这一政策措施的时间表，但提出漏井密封和矿区清理会创造25万个工作岗位。根据哥伦比亚大学的研究，我们知道密封10口井大约需要2.4人年的工作量，因此密封200万口井将需要2-4年，具体取决于这25万名工人是全部投入密封工作中还是仅投入一半。假设这些井安全密封至少100年，那么总减排潜力2-11 MtCO<sub>2</sub>到2030年可以全部实现，并且这些减排量能一直持续到2050年甚至更长的时间。

## 参考文献

- Aidun, Hillary, Susan Biniaz, Michael Burger, Jennifer Danis, Ama Francis, Michael B Gerrard, Daniel J Metzger, Amy Turner, Romany Webb, and Jessica Wentz. 2020. “拜登政府应对气候变化的政策措施” <https://climate.law.columbia.edu/sites/default/files/content/Climate Reregulation in a Biden Administration.pdf>.
- Andrijevic, Marina, Carl-Friedrich Schleussner, Matthew J. Gidden, David L. McCollum, and Joeri Rogelj. 2020. “COVID-19 Recovery Funds Dwarf Clean Energy Investment Needs.”“疫情后经济复苏计划投资规模巨大，清洁能源投资需求相比并不难实现” *Science* 370 (6514): 298–300. <https://doi.org/10.1126/science.abc9697>.
- 《拜登清洁能源计划》2020. 《拜登计划——建立拥有现代可持续基础设施和公平清洁能源的未来》. <https://joebiden.com/clean-energy/>.
- 《拜登气候计划》2020. 《拜登计划——清洁能源革命和环境正义》 <https://joebiden.com/climate-plan/>.
- Biniaz, Susan. 2002. 《重返巴黎协定：美国下一个国家自主贡献》，萨宾气候变化法中心的气候法博客。哥伦比亚法学院。 <http://blogs.law.columbia.edu/climatechange/2020/03/11/returning-to-paris-the-next-u-s-ndc>.
- Burandt, Thorsten, Bobby Xiong, Konstantin Löffler, and Pao-Yu Oei. 2019. “中国能源系统脱碳—电力、交通、热力和工业部门转型的模型分析。”《应用能源》255 (12月) : 113820. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113820>.
- 加州分布式发电统计数据 2019. 《新太阳能住宅合作计划 (NSHP) ——2019年数据》。 <https://www.californiadgstats.ca.gov/downloads/>.
- 气候行动追踪器 2020a. 《气候行动追踪器分析报告中国篇——假设条件》。Climate Action Tracker. <https://climateactiontracker.org/countries/china/assumptions/>.
- . 2020b. 《气候行动追踪器2020年分析报告——中国与美国》。 <https://climateactiontracker.org/countries/>.
- . 2020c. 《巴黎协定兼容路径的行业基准》 <https://climateactiontracker.org/publications/paris-agreement-benchmarks/>.
- . 2020d. 《2020年9月更新》 <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>.
- Cui, Ryna, Nathan Hultman, Kejun Jiang, Haewon McJeon, Sha Yu, Diyang Cui, Morgan Edwards, et al. 2020. 《中国雄心勃勃计划逐步淘汰煤炭：基于工厂级数据评估可行措施》 College Park, Maryland. <https://cgs.umd.edu/research-impact/publications/high-ambition-coal-phaseout-china-feasible-strategies-through>.
- 美国环保署 2018. 《绿色车辆指南》 <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>.
- Gately, Conor K, Lucy R Hutyrá, and Ian Sue Wing. 2015. 《城市、交通与二氧化碳——关于近几十年总体趋势、驱动因素、推广比例关系的评估》。《美国国家科学院院刊》112 (16): 4999–5004. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421723112>.
- Gidden, Matthew J., Keywan Riahi, Steven J. Smith, Shinichiro Fujimori, Gunnar Luderer, Elmar Kriegler, Detlef P. van Vuuren, et al. 2019. 《用于CMIP6的不同社会经济情景下的全球排放途径：到本世纪末各协调排放轨迹的数据集》。地球科学模型开发 12 (4): 1443–75. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>.
- 全球CCS研究所 2020. 《2020年CCS设施数据库》2020. <https://co2re.co>.
- Gütschow, Johannes, Louise Jeffery, Robert Gieseke, and Annika Günther. 2019. 《PRIMAP-Hist国家历史排放时间序列 (1850–2017年)》GFZ数据服务. <https://doi.org/doi.org/10.5880/pik.2019.018>.
- 习近平主席 2020. 《第75届联合国大会总辩论会上的声明》。中华人民共和国主席习近平 [https://www.fmprc.gov.cn/mfa\\_eng/zxxx\\_662805/t1817098.shtml](https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1817098.shtml).
- 何建坤2020. 《中国长期低碳发展战略和路径研究成果发布会》。清华大学气候变化与可持续发展研究院。 [https://mp.weixin.qq.com/s/S\\_8ajdq963YL7X3sRJSWGg](https://mp.weixin.qq.com/s/S_8ajdq963YL7X3sRJSWGg).

- Hultman, Nathan E., Leon Clarke, Carla Frisch, Kevin Kennedy, Haewon McJeon, Tom Cyrs, Pete Hansel, et al. 2020. 《应对气候变化中地方行动与国家行动相结合对于脱碳至关重要：以美国为例》。自然通讯 11 (1): 5255. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18903-w>.
- Huppmann, Daniel, Elmar Kriegler, Volker Krey, Keywan Riahi, Joeri Rogelj, Katherine Calvin, Florian Humpenoeder, Alexander Popp, and Runsen Zhang. 2019. 《IAMC 1.5°C情景资源管理器和IIASA 2.0版托管的数据》。Zenodo综合评估建模协会和国际应用系统分析研究所 <https://doi.org/10.5281/zenodo.3363345>.
- 政府间气候变化专门委员会(IPCC). 2014. 《政府间气候变化专门委员会第五次评估报告——第1-3工作组综合报告》。IPCC第五次评估报告内容之一，由核心团队及R K Pachauri, and L A Meyer编辑。日内瓦，瑞士：IPCC（世界气象组织） <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- 国际能源署(IEA). 2020a. 《燃料燃烧产生的二氧化碳排放量》。巴黎。 <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/co2-emissions-statistics>.
- . 2020b. 《2020年全球电动汽车展望》 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- IPCC. 2018. 《全球升温1.5°C情景——政策制定者摘要》。全称为《IPCC特别报告：全球气温比工业化前水平升高1.5°C对气候的影响及相关全球温室气体排放路径——以加强全球应对气候变化的努力为背景》。V Masson-Delmotte, P Zhai, H.-O. Pörtner, D Roberts, J Skea, P R Shukla, A Pirani等编辑。32 pp. 日内瓦：世界气象组织。 <https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>.
- Kuramochi, Takeshi, Niklas Höhne, Michiel Schaeffer, Jasmin Cantzler, Bill Hare, Yvonne Deng, Sebastian Sterl, et al. 2017. 《将升温限制在1.5°C以内的十项关键短期行业基准》 气候政策 18 (3): 287–305. <https://doi.org/10.1080/14693062.2017.1397495>.
- 国家可再生能源实验室 2020. 《美国太阳能辐射数据库 (NSRDB) 太阳能GHI数据查看器》 2020. <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer/>.
- 纽约校车承包商协会 2020. 校车快讯...新闻...走绿色环保路，承黄色校车！ 2020. <https://www.nysbca.com/fastfacts.html>.
- Raimi, Daniel, Neelesh Nerukar, and Jason Bordoff. 2020. 《针对石油和天然气工人的绿色刺激措施：联邦政府考虑投入大量资源封闭孤井和废弃井》 <https://www.energypolicy.columbia.edu/research/report/green-stimulus-oil-and-gas-workers-considering-major-federal-effort-plug-orphaned-and-abandoned>.
- Schaeffer, Michiel, Robert Fuentes Hutfilter, Ursula Brecha, Claire Fyson, and Bill Hare. 2019. 《IPCC 1.5°C特别报告关于编制长期战略的洞见》 柏林，德国。 [https://climateanalytics.org/media/climateanalytics\\_ipcc-1.5c-leds\\_report\\_april\\_2019.pdf](https://climateanalytics.org/media/climateanalytics_ipcc-1.5c-leds_report_april_2019.pdf).
- 联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯 2020a. 《全球气候变化讲座：众志成城、科学复苏》 纽约：清华大学 <https://www.un.org/press/en/2020/sgsm20183.doc.htm>.
- . 2020b. 《2020年10月24日联合国日致辞》 2020. <https://www.un.org/press/en/2020/sgsm20349.doc.htm>.
- SolarGIS. 2017. 《太阳能GIS数据库》 <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/north-america>.
- Stromsta, Karl-Erik. 2020a. 《美国可能会为西门子歌美公司建设第一座海上涡轮机工厂，产能14兆瓦》 绿色科技媒体 2020. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/siemens-gamesa-may-build-first-factory-for-its-14mw-offshore-turbine-in-the-us>.
- . 2020b. 《为什么对美国海上风电开发而言2020年竟然是一个大丰收年》 绿色科技媒体2020. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/why-2020-has-been-a-surprisingly-good-year-for-us-offshore-wind>.
- 透明成本数据库2015, 《2015年开放能源信息》。 [https://openei.org/wiki/Transparent\\_Cost\\_Database](https://openei.org/wiki/Transparent_Cost_Database).
- 美国人口普查局 2020. 《居民总计不低于5万的合并地区年度估算数据——按2019年7月1日人口排名（2010年4月1日至2019年7月1日）》 (SUB-IP-EST2019-ANNRKN).” <https://www.census.gov/data/datasets/time-series/demo/popest/2010s-total-cities-and-towns.html>.

- 美国能源信息署 2012. 《商业建筑能耗调查 (CBECS) : 表格EIA-871A》 2012.  
<http://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/>.
- . 2015. 《2015年电力统计年鉴》 <https://www.eia.gov/electricity/annual/backissues.php>.
- . 2018a. 《2018年电力统计年鉴》 <https://www.eia.gov/electricity/annual/>.
- . 2018b. 《今日能源: 空调约占美国住宅能耗12%》 <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/>.
- . 2020a. 《2020年年度能源展望 (AEO) , 参考情景D112119a, 住宅建筑关键指标和能耗》  
[https://www.eia.gov/outlooks/aeo/tables\\_ref.php](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/tables_ref.php).
- . 2020b. 《2020年年度能源展望 (AEO) 》 <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36692>.
- Vuuren, Detlef P van, Elke Stehfest, David E H J Gernaat, Maarten van den Berg, David L Bijl, Harmen Sytze de Boer, Vassilis Daioglou, et al. 2018. 《达到1.5°C目标的替代途径: 减少对负排放技术的需求》 自然气候变化 8 (5): 391–97. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0119-8>.
- 白宫新闻秘书办公室 2015. 《行政命令——美国下一个十年的可持续性规划》 <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/03/19/executive-order-planning-federal-sustainability-next-decade>.
- 欧洲风能. 2020. 《2020年风能基础数据》 <https://windeurope.org/about-wind/wind-basics/>.
- Woodroffe, Thom, and Brendan Guy. 2020. 《美国新政府领导下的气候外交》 <https://asiasociety.org/policy-institute/climate-diplomacy-under-new-us-administration>.
- Yanguas-Parra, Paola Andrea, Gaurav Ganti, Robert Brecha, Bill Hare, Michiel Schaeffer, and Ursula Fuentes. 2019. 《巴黎协定关于全球和区域性煤炭淘汰的要求: IPCC 1.5°C特别报告的洞见》  
[https://climateanalytics.org/media/report\\_coal\\_phase\\_out\\_2019.pdf](https://climateanalytics.org/media/report_coal_phase_out_2019.pdf).
- Yu, Sha, Ryna Cui, Haewon McJeon, Nate Hultman, Leon Clarke, and Brinda Yarlagadda. 2020. 《中国实现2060年碳中和目标的五项战略》 [go.umd.edu/china2060](http://go.umd.edu/china2060).

更多本报告的相关内容，请访问：

[AsiaSociety.org/Policy-Institute/US-China-Climate](http://AsiaSociety.org/Policy-Institute/US-China-Climate)

## 其他亚洲协会政策研究所报告

Between War and Peace: A Roadmap for U.S. Policy Toward Iran

Reengaging the Asia-Pacific on Trade: A TPP Roadmap for the Next U.S. Administration  
Weaponizing the Belt and Road Initiative

China's Response to Climate Change: A Study in Contrasts and a Policy at a Crossroads  
Curbing State-Driven Trade Policies

Climate Diplomacy under a New U.S. Administration

The Avoidable War: The Case for Managed Strategic Competition Navigating the Belt and Road Initiative

Trade in Trouble: How the Asia Pacific Can Step Up and Lead Reforms Future Scenarios:  
What To Expect From a Nuclear North Korea

Strength in Numbers: Collaborative Approaches to Addressing Concerns with China's  
State-led Economic Model

Advancing the U.S.-Korea Economic Agenda

Reconciling Expectations with Reality in a Transitioning Myanmar

Business Sector Action to Drive Carbon Market Cooperation in Northeast Asia Shifting Trade Winds:  
U.S. Bilateralism & Asia-Pacific Economic Integration Northeast Asia and the Next Generation of  
Carbon Market Cooperation Preserving the Long Peace in Asia

The Trump Administration's India Opportunity

Charting a Course for Trade and Economic Integration in the Asia-Pacific Advice for the 45th  
U.S. President: Opinions from Across the Pacific Roadmap to a Northeast Asian Carbon Market

India's Future in Asia: The APEC Opportunity

Avoiding the Blind Alley: China's Economic Overhaul and Its Global Implications

## 为亚洲人和美国人共同的未来做准备

亚洲协会是一领先的全球性和泛亚洲组织，致力于加强亚洲与美国人民、领导人和机构之间的关系和促进相互理解。

我们寻求在政策、商业、教育、艺术和文化等领域增加知识和加强对话，鼓励创造性表达和新想法的诞生。亚洲协会成立于1956年，是一个无党派的非营利教育机构，在香港、休斯顿、洛杉矶、马尼拉、墨尔本、孟买、纽约、旧金山、首尔、悉尼、华盛顿特区和苏黎世设有分部。