

# 把握中国碳中和机遇:

制定十四五及中长期积极应对气候变化和清洁能源发展战略的经济和社会效益

2021年1月

作者: Chris Busch, Hal Harvey, 马骏, 胡敏





封面照片

Kristoffer Trolle via Flickr: 南京南站高铁. Creative commons license for noncommercial reuse: CC BY-NC-ND 2.0 https://www.flickr.com/photos/kristoffer-trolle/35026297522/

# 致谢

非常感谢在本文撰写过程中以下专家提供的宝贵意见: Aimee Barnes (California-China Institute, University of California, Berkeley), Fan Dai (California-China Institute, University of California, Berkeley), Fritz Kahrl (3rdRail, Inc.), Gang He (Department of Technology and Society, Stony Brook University), and Lin Jiang (International Energy Studies, Lawrence Berkeley National Laboratory and Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Berkeley)。感谢 Ginette Chapman、Sarah Spengeman、Silvio Marcacci 的编辑支持。特此声明本文内容不代表以上专家及其所在机构的观点。

# 执行摘要

得益于近几十年的创新发展,清洁能源及其他绿色技术在经济体系中的作用越来越突出,本文通过梳理全球和中国清洁能源技术发展、市场趋势的数据和各项研究的结论,阐述了中国经济增长与脱碳转型的关系,以展示碳中和目标、清洁能源低碳转型会给中国经济发展带来的巨大机遇。

太阳能和风能等可再生能源技术已经比化石能源更便宜,在中国大部分地区,煤电的竞争优势在大幅弱化。加快电力系统低碳转型,不仅是绿色发展的选择,也是能源安全和经济性的选择。中国也已经成为全球领先光伏、风能技术制造业的所在地。依靠完整的产业链,中国可再生能源产业出口竞争力强劲,国际市场份额还在不断扩大。能源系统电气化相关的技术和商业模式创新近年来有诸多突破,电动车发展也正在进入一个新的时代。

能源的清洁低碳转型带来了新的经济增长点,但其真正的驱动来自对环境质量、能源安全和 应对气候变化的考虑,是造福子孙后代、促进可持续发展和建设美丽中国的必然选择。

## 有利干更经济可靠的能源系统

全球范围内,可再生能源成本急速下降给能源结构带来革命性变化。在过去十年中,中国新建太阳能发电厂和新建风力发电厂的平均电力成本分别下降了82%和33%。由于持续不断的创新,可再生能源发电现在通常是成本最低的选择,比新建燃煤电厂的电能便宜。下图ES-1显示了各种发电方式平均平准化电力成本的趋势,2019年新建风电成本已经比煤电低,而新建太阳能的成本很快将追平煤电。

图 ES-1 比较了从普通新建可再生能源电厂到普通新建燃煤电厂的成本,包括资金成本、运营和维护成本。众所周知,若仅考虑燃料成本和运营成本,可再生能源发电成本比燃煤发电低很多。 2020 年 6 月的一项评估发现,中国 43%的燃煤电厂都处于净亏损状态。研究估计,用新的可再生能源发电取代这些不具竞争力的机组,每年可节省 180 亿美元的财务成本<sup>[1]</sup>。

新的燃煤电厂有被提前淘汰的风险,对投资者来讲将成为"搁置资产"。出于保护公众健康和应对气候变化的考虑,加之技术创新和可再生能源竞争力的提高,这已经是大势所趋,煤炭经济走向没落符合经济和及技术发展规律。能源基金会中国总裁邹骥曾警告说,新建的燃煤电厂注定"将成为废金属,别无他用,会拖累我们的经济增长"[2]。搁置成本将严重威胁经济发展,因此应在投资前谨慎评估。给这一类投资找到其他更加低碳的替代项目非常重要。

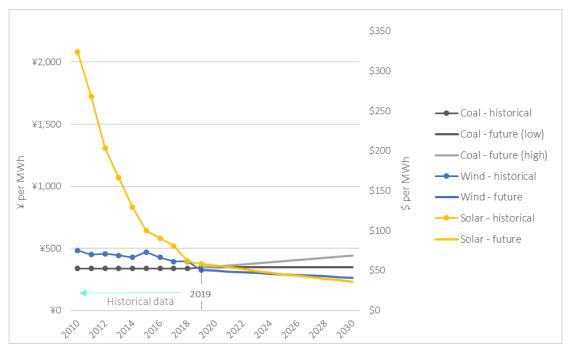


图 ES-1. Solar and wind are now competitive with coal (average cost of electricity from new plants in China)

"太阳能"是指公用事业规模的光伏发电,"风能"是指陆上型(非海上)。数据是中国新电厂的容量加权平均平准化成本,以 2019 年不变价人民币和美元/兆瓦时计。 平准化的电力成本计算为预期发电量中的建设和运营成本之和。因中国地域广大,成本地区差异较大。数据来源: 国际可再生能源署[3]、碳追踪[4], Wood Mackenzie [5]

能够成功转型到以零碳能源主导的能源系统,还有赖于对电网和运行模式的充足投资和准备,以确保能源系统的安全性。这些成本并未考虑在图 ES-1 所示的单独发电相关的成本范围内。当然,即使考虑保障安全和充足性的所有成本,深度脱碳转型也最终会节省电力系统总体成本[6]。原因之一是,中国有丰富的水电资源,电力供应灵活性调节的成本较低[7]。

# 有利于进一步推动技术革新

新能源的发展遵循技术学习曲线的趋势,并因为政策推动而不断加速;储能技术和电动车同样如此;技术的普及和规模效应,也反之不断推动创新和发展。

自 2010 年以来,蓄电池的成本已下降 87%,交通系统电动化逐步成为经济可行的选择[8]。 除了每公里行驶成本较低,电动车整车价格也开始比燃油车更便宜[9、10]。 同等车型的购买价格 (对消费行为起决定作用) 将逐步趋同。 根据比亚迪的预测,到 2023 年,电动汽车的购买价格 将低于传统汽油车[11]。

## 有利于提升国际市场竞争力

中国在包括太阳能、风能、储能和电动汽车在内的几项新兴清洁能源技术中均处于世界领先地位,成为中国经济的新增长点。中国光伏装机容量居世界首位,是全球最大的光伏设备制造基地。许多十年前的小型可再生能源企业已经成为国际市场领头羊。国际能源署署长认为"太阳能正成为世界电力市场的一枝独秀,按此趋势,预计 2022 年之后将发挥主流作用。"[12]。中国拥有全球最大的电动车市场,主要由国内电动车企主导。全球范围内,电动车市场占有率保持强劲增长,在 2020 年市场表现超越了传统汽车[13]。彭博新能源财经预测,到 2030 年,电动汽车将占到全球上市新车的 28%,到 2040 年将增长为 58%[14]。该预测标志着一个共识,在未来几十年中,电动车会成为许多消费者的首选。 中国在这一全球大势中将发挥重要作用,可以通过更强的政策,提升其国际市场全球竞争力。

## 有利于增强环境、社会效益

脱碳转型会促进环境质量提升、建设宜居城市、改善能源安全,是造福子孙后代和建设美丽中国的必然选择。

中国提出向污染宣战,改善环境质量是国家环境战略中的头等大事;中国多年来制定了一系列环境目标,在改善空气、水、土壤污染等方面取得成效,但距离国际先进标准仍有一定距离[15]。许多专家指出"环境退化……会影响经济增长,并可能威胁到社会稳定[16]"。研究表明,低碳转型和应对气候变化的行动会因为提高能源效率、优化经济和能源结构,从而减少污染物排放,带来环境质量改善的综合协同效应。

城市无序发展带来了一系列问题,包括诸如交通拥堵、环境污染等。研究表明,拥堵导致的 经济影响占到北京经济总量的 7.5%至 15%[17]。低碳转型,及新型城镇化中的绿色原则,要求更 多发展公共交通,优化绿色出行,包括公共交通、步行和骑自行车等方式,减少对私家车的依赖。 这些行动可以促进城市宜居发展、保持城市活力、吸引人才,促进长期的强劲、高质量经济发展。

中国是最大的石油进口国和增长最快的天然气进口国。从 2014 年到 2018 年,中国的能源需求量与化石燃料的进口量相比增加了一倍。低碳转型的行动可以改善能源安全。以电动车替代燃油车可以减少石油使用量,使用先进的热泵技术保障城市供暖可以减少家用天然气需求暴增,最根本的是充分挖掘无处不在的可再生能源资源,减少对传统能源的依赖。

## 低碳转型仍需强化政策保障

尽管可再生能源和其他清洁技术的经济性日益提升,但现有的政策和市场激励可能还不足以加速推动能源全面转型。例如,即使电动车在单位里程的成本上接近或者优于燃油车,但消费者通常会低估电动车在使用过程的经济收益[18],购车价格在消费行为中仍占决定作用,这些都需要制定相关政策以促进消费行为的改变。

碳排放交易系统是重要和基础性的气候变化政策,需要加快推动。同时碳定价也不能解决所有问题,一些具有成本效益的减排措施,特别是在建筑和交通部门,价格信号能起到的作用有限。 强制性标准,例如绿色建筑标准、零碳建筑标准、车辆燃油经济性标准、零排放汽车标准等可以 起到更加直接的作用。

## 结论

中国过去几十年的经济高速增长,使得人类历史上最大规模的人群脱贫。面临新时代,中国将继续推动高质量发展的战略,强调质量而非数量的发展;能源生产和消费革命,发展更清洁可靠、以可再生能源为主体的能源体系是高质量发展的基础。中国国家主席承诺将在2060年前实现碳中和,是中国可持续发展道路上的重要里程碑,向全世界发出了中国经济绿色低碳转型的信号。

要实现碳中和的承诺需要付出艰苦卓绝的努力,未来十年是最关键时期 [19]。作为全球最大温室气体排放国,中国采取行动对于全球实现气候安全至关重要。制定面向"十四五"及中长期更强的应对气候变化政策,包括 2030 年前碳排放达峰路线图,是兑现中国 2060 年承诺,贡献全球气候安全的基石。本文梳理阐述了实证性和前瞻性证据,表明中国制定碳排放提前达峰的目标,是符合中国经济社会发展各方面利益的多赢战略。

# 目录

致谢	2
执行摘要	3
有利于更经济可靠的能源系统	3
有利于进一步推动技术革新	
有利于提升国际市场竞争力	5
有利于增强环境、社会效益	5
低碳转型仍需强化政策保障	
结论	6
前言	10
电力系统脱碳转型将带来新的发展机遇	10
可再生能源技术成本不断下降	11
风光发电的成本优势会继续扩大	12
电力系统的发展机遇	14
新兴技术学习曲线	16
能源系统低碳化将带来新的发展机遇	
促进经济高质量发展	19
提高清洁技术国际市场竞争力	20
避免搁置成本风险	26
取消化石能源补贴	
创造就业	28
能源系统低碳化的环境和社会效益	31
空气质量改善	31
宜居城市	32
土壤和水环境质量改善	
加强能源安全	
应对气候变化	35
基于自然解决方案	35
政策保障	38
绿色投融资	40
转型挑战	42
能源系统安全性	42
公正转型	
应对不确定性	45
国际与依合作	47

结论		49
财录	: 未来发电平准化成本计算方法学	50
111 27	· NAX-1 IEIMTI FAIAT	٠.
<b>参老</b>	<b>→始</b> .	57

# 图表

图 1. 中国风光发电成本下降趋势(平均平准化发电成本, 2010-20	19)11
图 2. 新建风、光、煤发电成本	12
图 3. 新增煤电装机和机组设备利用率	13
图 4. 电力行业成本和排放趋势: 照常情景和减排 50%情景	15
图 5. 技术成本曲线-以光伏为例	17
图 6. 国际货币基金组着成本曲线分析	18
图 7. 中国光伏发电装机超过其他国家	21
图 8. 全球光伏组件贸易流	22
图 9. 全球光伏制造业能力比较	23
图 10. 中国电动车市场居全球首位(2013-2019)	23
图 11. 锂电池价格趋势(real 2019 \$/kWh)	24
图 12. 锂电池价格实际市场下降趋势超预测	25
图 13 历年来电动车价格下降趋势预测	26
图 14. 中国化石能源补贴估计(2010-2019)	28
图 15. 可再生能源行业就业机会(job-years per gigawatt hour)	29
图 16. 中国不同产业单位产出工作机会 a	30
图 17. 中国石油生产消费趋势	33
图 18. 中国天然气进口持续上涨(LNG)	34
图 19. 中国森林覆盖率和全球平均水平对比	36
图 20. 中国实现经济复苏 (April 2019 - June 2020)	40
图 21. 德国可再生能源占总电量超过 42%的同时保证电网安全性	±43
图 22. 全球排放趋势和升温控制目标的差距	47

# 前言

2020年9月,中国承诺将努力在2060年前实现碳中。这一承诺重新激发了国际社会应对气候变化的努力。目前占全球碳排放总量一半以上的国家和区域(包括中国、欧盟等)都已经作出了碳中和的承诺。这些长期目标为未来制定政策规划和促进技术创新指引了方向。

未来十年是人类能否赢得气候变化之战的关键十年。除承诺之外,更需要各国采取切实的行动。中国应该把握好这次机遇,引领清洁技术创新,加快实现节能减排,同时发展相关经济领域。

成本和效益评估是节能减排政策制定的根本。面对改善气候变化的当务之急,各国领导人还需在经济发展、环境保护、职工就业和社会稳定等方面进行权衡。但其中的一个认识误区就是"环境改善和经济发展是对立的,要实现前者就要牺牲后者"。但是好的气候政策实际上是可以促进经济发展的,而不是削弱经济发展。认清这一点,可以对未来中国政策走向提供有力的支撑。

光伏和风能发电的成本已经大幅度下降,对于中国来说,加快清洁能源转型、加速化石能源的淘汰将有助于降低电力系统的整体成本,由此释放的资金可用于转型中受影响的职工的安置。

加快中国经济脱碳转型同时能够带来经济和环境效益。例如,中国已经掌握了很多清洁能源领域的先进技术,如光伏、风电、电池、LED、电动车等。这些产业的出口前景广阔,未来将持续增长。更多的领域包括:采用低温室效应、绿色制冷剂的高效空调,能够捕获 CO2 的水泥生产工艺,同可再生能源结合的电解制氢,氢即可以作为燃料通过燃料电池发电且零排放,又可以作为原料来生产合成氢燃料或其它工业用低碳燃料,优化设计减少原材料的使用,交通系统优化等。清洁能源可以在很多场景中得到应用。

应对气候变化同时能够产生很多协同效应,如减少对进口石油和天然气的依赖,增强本国的能源安全性。中国自 2015 年已成为全球最大的石油进口国,大力发展电动车将是减少石油进口依赖的重要策略。同样,中国的天然气进口也居世界第二位,通过实现建筑取暖的电气化,可以扭转对天然气需求不断上升的趋势。其它效益还包括空气、水和土壤质量的改善。

中国幅员辽阔,容易受到气候变化的影响,如北部的干旱、南部的洪灾、东部沿海地区海平面上升、极端高温和严寒天气、极端降水、降雪等。采取措施应对气候变化,不仅减少气候灾害、将造福子孙后代,而且能够促进技术进步、开拓国际市场,为中国当代经济发展带来新的机遇。

# 电力系统脱碳转型将带来新的发展机遇

得益于近几十年的创新发展,可再生能源成本大幅下降,太阳能和风能等可再生能源发电技术已经比化石能源更便宜,在中国大部分地区,煤电的竞争优势在大幅弱化。以平均平准化发电成本衡量,可再生能源技术优势逐步成为事实;即使考虑全系统成本,包括为可再生能源提供灵活性支持的系统成本,电力系统的整体成本也会下降。研究预测,若采取积极措施实现 2030 年电力部门温室气体排放量减少 50%,仍有机会实现电力系统整体成本下降[6]。

### 可再生能源技术成本不断下降

目前在中国投资太阳能和风能电厂比新建燃煤电厂更具有经济性。图1显示了中国可再生能源成本的不断下降。其中光伏是指电厂规模的项目,风电是指陆上风电。

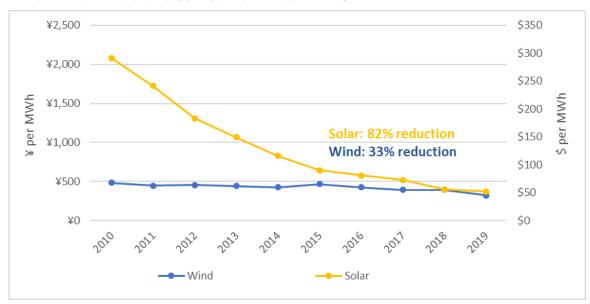


图 1. 中国风光发电成本下降趋势(平均平准化发电成本, 2010-2019)

图 1 graphs levelized cost per megawatt-hour (MWh) in constant 2019 yuan and dollars.

来源: International Renewable Energy Agency [20]

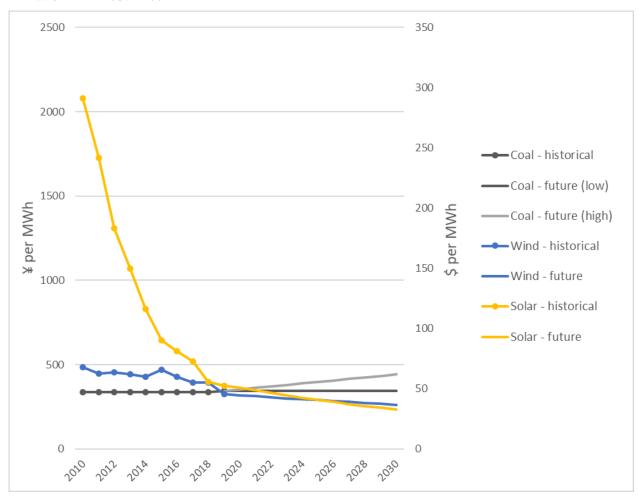
在过去十年中,中国新建太阳能发电厂和新建风力发电厂的平均平准化发电成本分别下降了82%和33%。由于持续不断的创新,使用可再生技术的新电厂的电能现在通常是成本最低的选择,比新建燃煤电厂的电能便宜。陆上风能是一种更成熟的技术,它的学习曲线更是如此。中国新建风电厂的平均电价下降至2019年每兆瓦时325元,新建煤电的平均电价为每兆瓦时340-345元[4],[21]。

可再生能源技术成本在中国的稳步下降反映了全球范围的趋势。国际能源署认为: "通过低融资成本撬动高质量资源,太阳能光伏现在是有史以来最便宜的电源形式。" [12]

# 风光发电的成本优势会继续扩大

展望未来,全球研究机构的共识是太阳能和风能成本将在未来几年和几十年内继续下降。根据国际可再生能源署最新数据和预测研究得出的中国各种电源成本展望如下图 2。

#### 图 2. 新建风、光、煤发电成本



🛚 2 graphs the average levelized cost of electricity from new power plants in China. Units are levelized cost of energy per megawatt-hour (MWh), calculated as the weighted average of costs for new capacity in constant 2019 value yuan and dollars. The Appendix explains the method used to estimate future costs.

来源: International Renewable Energy Agency [3], Wood Mackenzie [5], Carbon Tracker Initiative [4]

图 2 显示了太阳能、风能和煤炭发电的历史成本以及未来成本预期。煤电的价格上下限反映了关于容量系数的不同假设,即实际发电量和满负荷运行时发电量之间的比率。"煤炭-未来(低)"场景假设容量系数不变,"煤炭-未来(高)"情景中假设容量系数下降。图中显示煤电机组容量系数呈下降趋势。新增煤电装机(也如图 3 所示)将抵销减少产能过剩并增加盈利的政策效果。

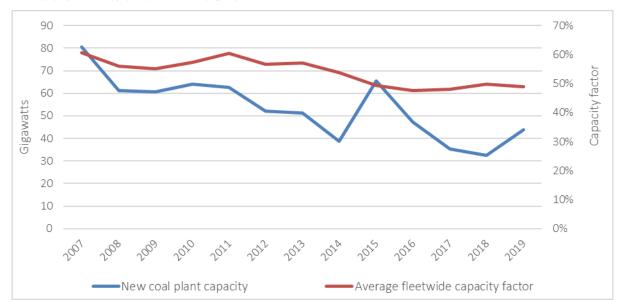


图 3. 新增煤电装机将降低容量系数、减少煤电厂的整体盈利

来源: Carbon Brief [22]

在评价可再生能源技术的竞争力时,人们往往只比较了新建可再生能源电厂和新建火电厂的成本,而没有考虑电厂建成后的运行成本。可再生能源电厂由于燃料和维护费用低而更具有经济性。

最近一项研究表明,2020年中国现有约43%的燃煤电厂无法与新的可再生能源发电竞争,其中可再生能源发电的成本也包括为确保电网稳定所配的储能系统[1]。该研究还发现,2020年通过投资可再生能源和储能,取代没有竞争力的现有燃煤电厂,可节省约180亿美元的系统成本。另一项研究采用了中国公开发布的数据,也得出了类似的结论,即"超过一半的燃煤电厂已经在亏损,总体电力产能利用率不足50%"[22]。

预计到 2025 年将有 94%的燃煤电厂运行成本比投资新建可再生能源电厂及配套储能设施还要昂贵,如果这些燃煤电厂不能提前退役,将产生约 980 亿美元的净额外成本[1]。

### 电力系统的发展机遇

保证用户需求、提供稳定可靠的电力输出是对电力系统的基本要求。拥有高比例太阳能和风能的电网,其波动性随天气和时间变化较大,因此需要额外配套储能系统,维持电网的稳定性。前面提到的平准化度电成本可以反映电力系统的总体成本。根据《自然-通讯》(Nature Communications)期刊的一篇文章[6],即使考虑到上述可再生能源发电的整体成本,其经济性仍然优于火力发电,体现了电力系统深度脱碳的必要性。

确保电网的稳定安全要求以可再生能源为主的能源结构采用新的管理和运行模式。目前给可再生能源发电配备化石能源调峰机组的方式是错误的。更加灵活的系统应该采用需求侧管理等模式,向用户发出信号,调节用电高峰时的需求,缓解电力供需紧张。

电网系统安全性并非本文讨论重点,但总体而言,中国在此方面具有优势。例如,相比美国或欧洲,在中国建设基础设施进行远距离电力输送是可行的[7]。通过扩大电网的覆盖范围,可再生能源装机分布区域足够大,可以减小光伏和风能因天气条件产生的波动性对电网的影响。同时,在其广泛的电网范围内,可获取其他发电资源,如中国的水力发电,来灵活调节电网,维持电网的稳定性。

中国的另一个优势是其发达的储能产业。随着可再生能源份额的增长,电池存储电力是另一种用于保证电力可靠性的投资。除电网专用蓄电池外,研究表明,电动车中的电池在某些情况下也可以提供宝贵的能源供应,从而减少了对其他类型的灵活性资源的需求 [23]。

发表在《自然-通讯》上的另一篇文章定量分析了更强有力的气候政策对中国电力行业的成本影响。研究表明,如果中国采取措施实现 2030 年电力部门温室气体排放减半,则电力系统的整体成本同现在持平的,即其中可再生能源发电对整体成本的降低贡献可以弥补低效火电厂运行带来的成本增加。 2030 年之后,可再生能源的贡献不断累积,因此带来电力系统整体成本的下降 [6]。例如,在常规情景下,2030 年电力成本会增加到 73.5

美元/兆瓦时;而在2030年电力排放减半的情景下,电力综合成本将降至69.5美元/兆瓦时,如图4所示。

长期来看,2031年及以后,对于50%脱碳情景而言,成本效益将提高,因为太阳能和风力发电厂没有燃料成本,其前期投资就是整个生命周期成本的主要部分。在中国电力脱碳50%的情景中,2030年前投资建成的太阳能和风能发电厂将在2031年及以后的几年中持续产生效益,并且运营成本极低。

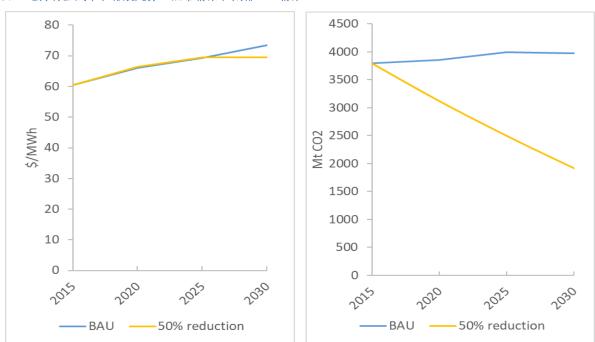


图 4. 电力行业成本和排放趋势: 照常情景和减排 50%情景:

"BAU" refers to the business-as-usual scenario. "50% reduction" refers to a scenario in which emissions are halved in 2030. The left-hand panel shows system cost to deliver power in dollars per megawatt-hour (\$/MWh). The right-hand panel graphs annual power-sector emissions in MtCO<sub>2</sub> (million metric tons of carbon dioxide).

来源: Nature Communications [6]

\_

in addition to the scenarios graphed in 图 4, the study by Gang et al. finds a cost minimizing scenario (i.e. "least cost" scenario, in this case meaning the modeling imposed no carbon constraint). The least cost scenario achieves 2030 emissions 34 percent lower than business as usual. The least cost scenario results in an estimated 2030 average cost 11 percent less expensive than business as usual (i.e. \$65.1 vs. \$73.5 per megawatt-hour). By comparison, average costs in the "50% reduction" scenario shown in 图 3 are 6 percent higher than the least cost scenario (i.e. \$69.5 vs. \$65.1 per megawatt-hour. Note that renewable energy costs are assumed to be the same in both decarbonization scenarios. If the stronger policy induced additional innovation, the cost differential would decrease. See: Gang He et al., "Rapid Cost Decrease of Renewables and Storage Accelerates the Decarbonization of China's Power System," *Nature Communications* 11, no. 1 (May 19, 2020)

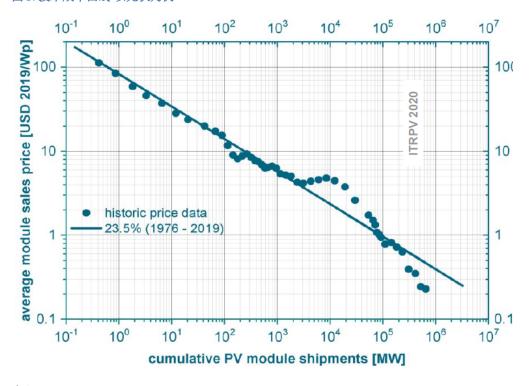
# 新兴技术学习曲线

上述太阳能和风能技术发展趋势体现了技术学习曲线的有效性。技术的"学习曲线"指的是新技术中常见的产品性能不断提高与成本下降之间的关系。研发、生产、应用过程中的不断调整改进可以使产品的性能不断提高,以及生产规模的扩大带来生产成本的降低。

众多跨学科的研究都向人们展示了学习曲线是如何发挥作用的。一项新技术要转化成一个新产品需要经历一个漫长的过程,实验室研发仅仅是第一步。接下来,成功的技术将实现从实验室到产品的飞跃。一旦证实了其商业可行性,再加上政府的支持,企业开始大规模的生产和市场应用。产品销量的增加带来了生产规模的扩大,因此生产成本随之降低。批量生产使得生产、安装以及产品性能等各方面改进的过程能够快速的完成。价格下降不是自动形成的,技术的创新(早期阶段)和升级(中期和后期阶段)是关键。光伏发电就是一个很好的例子。这项技术可以追溯到1950年左右,但是之后的很多年成本一直居高不下,仅在非常有限的情况下使用,如为卫星供电。

图 5 是太阳能电池板价格和全球累计出货量的图表(log-log 坐标)。在这个过程中,实验室不断研究出新的成果(包括从商业半导体行业吸取经验)应用到产品上,使其价格下降;而随着价格的下降,产品得到了更多的商业应用;这些实际应用反过来会促进实验室技术的改进,形成了正反馈机制,使产品价格不断下降。太阳能电池的价格在 2019 年达到 0.23 美元每瓦,比 1976 年的 100 美元每瓦的价格降低了 99.5%以上 [24]。

#### 图 5. 技术成本曲线-以光伏为例

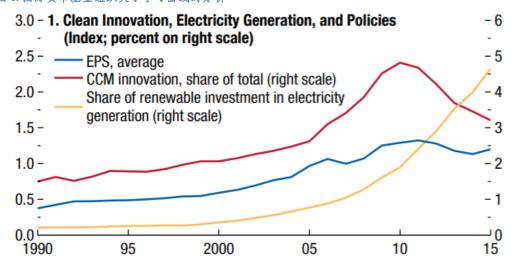


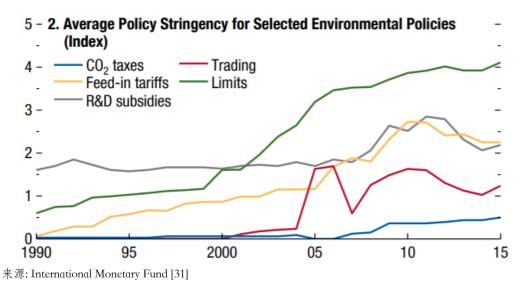
来源: International Technology Roadmap for Photovoltaics [25]

在过去的 20 年中,很多研究采用不同的方法(统计分析[25],经济历史[26]和案例研究[27])都证实了学习曲线的科学性。经济学文献中的一项研究发现"强有力的证据表明,对环境的约束引发了清洁技术领域中的创新活动"[28]。多项研究表明,中国经济发展的过程就是不断的从实践中学习、创新的过程,同时也成为中国清洁技术进步的核心驱动力[29,30]。

国际货币基金组织最新的《世界经济展望》开创了一项独特的学习曲线实证研究,如图 6 所示,靠下的图显示了环境政策严格性 (EPS) 指数同关键政策的函数关系,靠上的图显示了随着政策严格程度的提高,可再生能源投资和清洁能源创新不断增加。清洁能源创新 (CCM 创新) 由清洁能源技术在电力领域总专利中所占的比例来衡量。

#### 图 6. 国际货币基金组织关于学习曲线的分析





根据学习曲线可以预测,加强气候政策可以促进技术创新。更加积极的脱碳转型政策将刺激中国产业的进步,这也是中国经济发展的主要任务。"十三五"规划中的战略新兴产业中包括很多可以实现减碳并促进清洁能源、电动车、能效提升等领域发展的重要技术。

中国的经济发展战略强调发挥知识创造力,以及发展先进制造业。 由脱碳转型激发的技术创新将有助于这一经济目标的实现。

# 能源系统低碳化将带来新的发展机遇

如上所述,电力部门加快采用清洁能源可以降低电力系统的成本。太阳能和风能的案例研究在新兴技术中引入了学习曲线的概念。同时,新技术向市场的推广应用也是技术创新过程中的重要途径。不仅在电力方面,所有关于供能和耗能的技术创新都可以推动中国相关的重点战略,例如支持更高质量的经济增长和先进技术的国际竞争力。

引用中国生态环境部气候变化事务特别顾问、清华大学气候变化与可持续发展研究院院长解振华的话:"由此可见,应对气候变化的政策行动,不但不会阻碍经济发展,而且有利于提高经济增长的质量、培育带动新的产业和市场"[32]。

## 促进经济高质量发展

近年来,中国的经济战略强调从高速增长向高质量增长转变。清华大学国家金融研究院金融与发展研究中心主任、中国金融学会绿色金融专业委员会主任马骏博士一直倡导"经济政策需要重新审视",他认为"环境恶化等问题正在开始限制经济增长,并可能威胁到社会稳定"[33]。他敦促弱化传统经济指标的权重,例如 GDP 指标考核,因为它们不能反映人们的福祉并掩盖了社会和环境中存在的风险。诺贝尔奖获得主约瑟夫·斯蒂格利茨(Joseph Stiglitz)也做过同样的阐述:"如果我们衡量的标准本身是错误的,那我们就会一直做错的事情。而我们从未意识到这些错误的事情会导致严重的后果,因为我们一直在参照一个错误的标准 [34]。

更加积极的开展脱碳工作将有助于实现高质量的增长,因为严格的环境政策将有助于 清除高质量发展的障碍。下一部分将讨论各方如何共赢,以及应对气候变化的措施和行动 会如何改善空气、水和土壤质量以及城市的流动性,使城市更加宜居。

马骏博士在建议弱化中国的 GDP 指标的同时,也指出了技术进步的重要性: "技术创新和改革可以缓解由经济增长放缓带来的冲击[30]"。保罗·罗默 (Paul Romer)被授予诺贝尔奖也是因为他将技术创新纳入了长期的宏观经济分析 [35]。技术进步已成为公认的经济增长的重要推动力。根据学习曲线可以预测,加强中国的气候变化政策必将带来更具创新性的经济,从而加速高质量的经济增长。

尽管将创新整合到宏观经济理论中成为该领域的一个很重要的进展,但关于气候政策 的经济分析中却缺乏对创新效力的评估。由于技术的迭代更新很快,即使是那些已经发生 的创新和成本降低也没有包含在相关的经济分析中。

而最近的一篇文章"可再生能源成本下降、碳排放交易和经济转型:处于十字路口的中国能源系统"在研究中针对中国应用了最先进的"可计算一般均衡模型",其中一个内容是中国到 2030 年电力排放比基准线减少 50%会产生怎样的影响。

这项工作研究了 2030 年电力行业排放量比平时减少 50%的影响。当考虑可再生能源的成本下降及与之相关的技术进步时,该研究发现电力部门的脱碳可以促进经济增长,预计可使中国的 GDP 到 2030 年增长 6.9%。考虑到气候政策能够激发出更大的创新潜力,该研究指出,中国 2030 年的 GDP 将增长 15%以上,其结论是:

首先,可再生能源的经济效益现在已远超其直接成本,并且可再生技术的采用已广为大家接受;人们普遍意识到,与可再生能源相关的碳的社会成本远低于传统化石能源所关联的碳的社会成本。其次,电力系统的现代化可以产生更加多样化的就业机会,安置传统能源行业数百万的从业者;传统能源供应设施将成为工业时代伟大的历史产物之一。总体而言,研究结果表明,中国应加快清洁能源转型,由此不仅会带来空气质量改善和气候效益,而且将在创新、就业和经济增长等方面产生广泛而积极的影响。中国正在进行的疫后重建工作也应着重建设绿色能源基础设施,为经济增长和气候变化减缓提供有力的支撑[36]。

越来越多的研究证明"严格的气候政策会对经济产生积极的影响"。例如最近的两项研究发现,引入碳价将使中国的 GDP 在 2030 年增长 1%, 在 2050 年增长 2-3%, 同时促进就业[37], [38]。通过实施碳价促进结构调整、重工业转型, 有利于中国实现经济发展和环境保护的双重目标, 保持较高的人均 GDP 并实现减排。

# 提高清洁技术国际市场竞争力

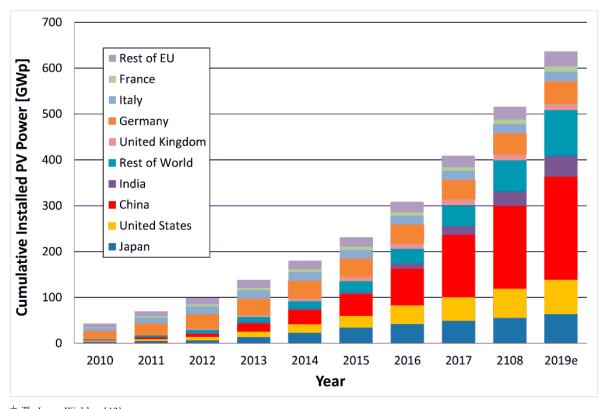
在中国实施更加积极的脱碳政策将促进本土公司开发出更多的清洁技术和产品,提高中国清洁技术在全球市场上的竞争力,经济学家称之为本土市场效应,即在一个存在报酬

递增和贸易成本的世界里,那些拥有相对较大国内市场需求的国家将成为净出口国[39], [40], [41]。

案例研究: 中国光伏发电产业

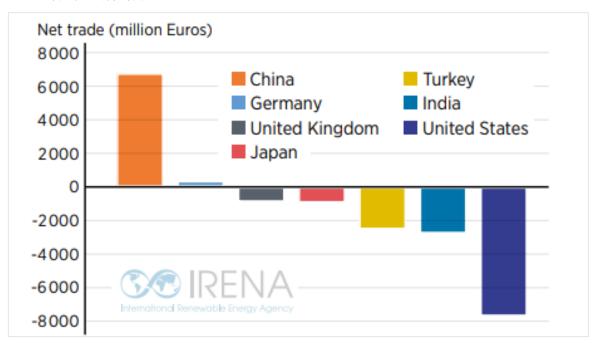
中国的光伏发电产业就是本土市场效应和效益的一个范例。截止 2020 年,光伏产业已吸收就业 220 万人,占全球光伏就业总人数的三分之二[42]。 2018 年中国光伏装机容量占全球总量的三分之一,占全球当年新增装机容量的一半[43]。图 7是近年来全球累计光伏发电装机容量,其中可以看出,中国通过几年来不断加大光伏产业投资和市场应用,建立了自己的优势。图 8显示,中国的光伏产业在国际市场上也取得了显著的成功,2016年的净贸易差额超过 60 亿欧元。德国是除中国之外该年唯一净贸易差额为正的国家。

## 图 7. 中国光伏发电装机容量远超其他国家



来源: Jager-Waldau [43]

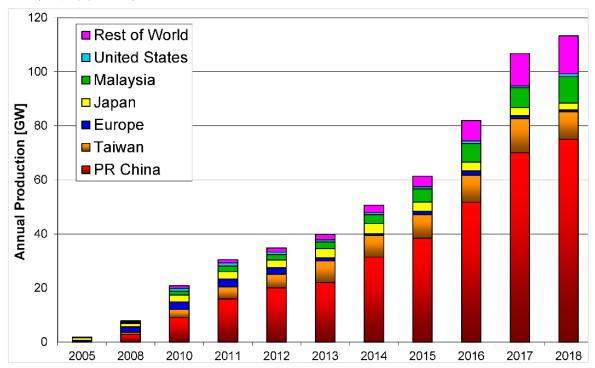
#### 图 8. 全球光伏组件贸易流



来源: International Renewable Energy Agency [42]

依靠强劲的国内和国际市场,中国的太阳能电池板产量一直保持稳定的增长。如图 9 所示,2018年中国生产的太阳能电池板占全球供应量的 60%以上。光伏发电是公认的未来几十年中首选的供电方式之一[44]。即使没有任何政策激励,国际能源署的 2020 年世界能源展望(World Energy Outlook)仍预测: "光伏发电将成为电力供应领域的翘楚,并有望保持大规模增长。 预计从 2020 年到 2030 年,光伏发电将年均增长 13%,可以满足同期全球新增电力需求的三分之一。 2021 年,全球光伏发电装机容量将超过疫前水平,并将在 2022 年后逐年创下新高。" [12]

图 9. 各国光伏产量比较



来源: Jager-Waldau [43]

尽管影响国际贸易走向的因素众多,但显然中国国内市场的壮大极大的促进了中国光 伏产业的发展,使其在全球太阳能市场中占有重要一席。这一因素还将在未来持续发挥作 用。

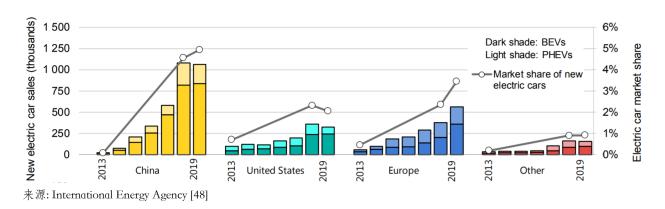
# 案例研究: 电动车和电池

电动车将取代传统燃油车辆是大势所趋。美国加州于2020年9月宣布将在2035年禁止销售新的燃油车。同年11月英国宣布将在2030年禁止销售汽油、柴油驱动的小汽车以及货车。

由于电池蓄电技术不断提升,电动车在单位公里的成本上已经低于传统燃油车。电动车的售价(也是消费者最关心的)预计将在2025年左右(或更早)同燃油车持平。一家中国知名电动车生产商预计,到2023年电动车的售价将低于传统汽车[45,46,47]。

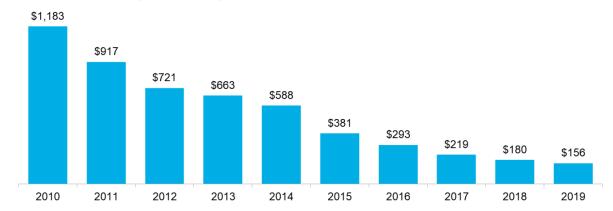
中国在全球电动车竞争中处于有利的位置。近年来,中国已发展成为最大的电动车生产国同时也是最大的电动车市场,如图 10 所示,其年销售额在 2018 年和 2019 年均超过世界其他国家的总和。

#### 图 10. 中国电动车市场居全球首位(2013-2019)



电动车和传统燃油车之间在成本上最大的差异在于蓄电池。 因此,电池蓄电性能和成本是电动车提升竞争力的关键。电池成本在 2010 年至 2019 年之间实际下降了 87%,从每千瓦时(kWh)的 1,183 美元降至 156 美元[49]。

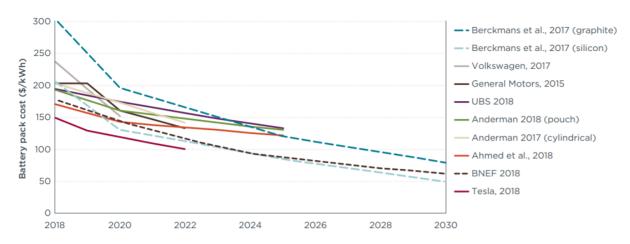
图 11. 锂电池组价格趋势(real 2019 \$/kWh)



来源: Bloomberg New Energy Finance [14]

根据技术学习曲线、规模效应以及化学领域的进步,多数分析认为电池成本会继续下降。 化学领域的一些突破为电池成本降低带来了商业上的可行性。例如无钴磷酸锂铁电池的研制成功可使电池组到 2021 年的成本有望低于 80 美元/千瓦时 [49]。图 12 给出了学术界和行业对电池组价格到 2030 年的一系列预测,所有这些预测都表明未来十年内电池组价格将大幅下降。

图 12. 锂电池价格实际市场下降趋势超预测



来源: International Council on Clean Transportation [50]

因有利于改善空气质量及减缓气候变化,各种政策扶持及经济激励正迅速将电动车推向汽车市场的主流。彭博新能源财经的最新行业前景预测认为,到 2030 年,电动车将占新车总销量的 28%,到 2040 年将占 58%[14]。将来再回过头来看,届时电动车市场份额的实际增长将高于此预测。图 13显示了五个不同机构的"全球电动车展望"对电动车销售的预测。可以看出从 2016 年到 2019 年,每个最近一年的预测值都要比之前一年提升很多,因为市场实际表现总是好于预期。

#### Million EVs BNEF, 2019 600 BNEF, 2018 **BNEF, 2017** BNEF, 2016 500 BP, 2018 BP. 2017 400 BP, 2016 OPEC, 2018 OPEC, 2017 300 OPEC, 2016 Exxon, 2018 200 Exxon, 2017 Exxon, 2016 100 IEA, 2018 IEA, 2017 IEA, 2016 EIA, 2019 (U.S.) 2025 2035 2040 2020 2030

图 13 历年来电动车价格下降趋势预测

来源: Bloomberg New Energy Finance [14]

## 避免搁置成本风险

搁置成本指的是在原有管制体系下允许收回、但由于体制变化而无法回收的成本。政策、技术或市场的影响都可能使市面上一些仍可以良好运行的设施遭到提前淘汰。金融领域也开始意识到"碳泡沫"的问题,即为改善气候变化,社会各界所广泛倡导的化石能源转型或淘汰将使过去多年来化石能源领域所吸纳的投资成为泡沫。

马骏博士经常强调要预防和避免搁置成本,他在2020年10月8日曾提到:"随着政府节能减排措施的加强以及绿色技术的进步,传统化石能源领域已投资的资产缩水风险将逐步升高,投资机构可能会看到其资产发生贬值"[51]。

这些风险不仅延伸到能源供应领域(例如油田),而且会延伸到能源消耗领域,如火力发电等高排放行业。与煤炭相比,风力和太阳能领域的投资安全性更高。搁置成本的问题将会在石油和相关基础设施以及该领域的投资中逐步显现[52]。

牛津大学的一项研究表明,中国煤炭相关行业约有 3-7 万亿元人民币资产的价值具有搁置成本的风险,相当于每年 GDP 的 4-9%。这些资产的利润率不断下降,从 1995 年的 23%下降至 2015 年的 9% [53]。由于产能过剩,中国的燃煤电厂的运行负荷不足 50%[22]。如果继续建成新的燃煤电厂,该行业的产能过剩状况将进一步恶化,从而导致利润率进一步下降。

能源基金会中国负责人邹骥评论说: "最近一些地方政府为了刺激经济,燃煤电厂又重新获得了审批。这无异于饮鸩止渴。这些电厂注定将被时代所淘汰,成为废金属,并拖累中国的经济增长" [2]。

### 取消化石能源补贴

中国电力行业的未来在于两大资源之间的竞争:煤炭和可再生能源。政府对煤电的补贴既提高了煤炭的竞争地位,又占用了有限的资金,因此削弱了可再生能源的发展。用于煤炭的补贴也本可以用在社会福祉或技术创新上。

直接现金支付是各国典型的补贴类型,但在中国,国家层面对煤电的支持主要体现在电力调度机制上,即电网运营商决定电力供给的规则。中国的电力调度机制是"均分制",即根据不同发电技术保证其调度份额,而不是依据成本调度。

计算补贴规模一般采用价差法,即能源市场价格与真实社会成本之间的差异。价差 法不包括产业上游补贴,例如用于煤矿开采的补贴,以及研发的补贴。因此,价差法低估 了化石燃料的总补贴以及它们对经济效率和贸易的影响。国际能源署在其全球补贴数据库 中采用价差法,其中也包括中国每年的数据。图 14 显示了中国从 2010-2019 年对石油、 天然气以及电力(主要是煤炭)的补贴规模。

60 50 Billion USD (2019\$s) 40 Natural Gas 30 ■ Electricity 20 ■ Oil 10 2020 2012 2013 2014 2027 2016 2017 2015

图 14. 中国化石能源补贴(2010-2019)

来源: International Energy Agency [54]

2009年,二十国集团 (G20) 的所有国家 (包括中国) 承诺取消无效能源补贴[55]。 这些无效的能源补贴"鼓励浪费式的消费,降低我们的能源安全,阻碍对清洁能源的投资 并削弱应对气候变化的努力"。但 2019年,全球对化石燃料的补贴总额仅下降了 29%, 从 4,500 亿美元降至 3,200 亿美元[54]。 中国及其他一些国家仍然需要加大力度减少化石燃 料补贴。

对煤电的补贴阻碍了新技术的进步。 可再生能源以及其他低排放和零排放技术可以 创造更多的就业。从煤炭向清洁能源转型的过程应充分关注失业的煤炭工人,包括提供社 会保障和培训。

## 创造就业

大量实践证实,相比化石能源领域(如煤、天然气),可再生能源领域可以提供更多的就业岗位。也有研究表明,可再生能源领域的单位投资对就业的影响大于其它发电技术。美国一项有影响力的研究发现,每投资 100 万美元,在可再生能源领域可创造 7.49 个工作岗位,能效领域可创造 7.72 个工作岗位,而化石燃料领域仅能创造 2.65 个工作岗位,是前两者的三分之一[56]。因此,由化石能源转向可再生能源和能效,每 100 万美元投资可净增加 5 个工作岗位。

国际货币基金组织分析了电厂运行周期内单位发电量对应的就业机会,同时考虑了直 接就业和间接就业(包括上游供应链的就业机会)。如图 15 所示,可再生能源和能效领 域创造的就业机会普遍都超过煤炭和天然气领域,其中光伏领域的优势尤为突出[31]。

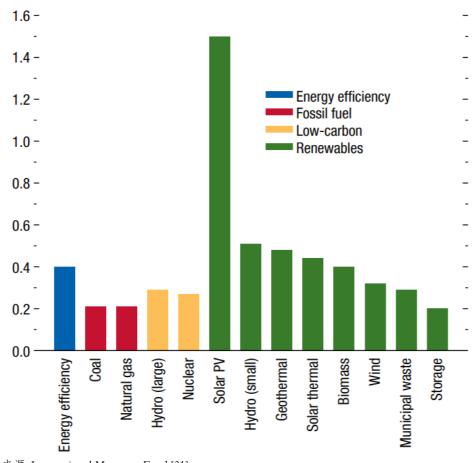


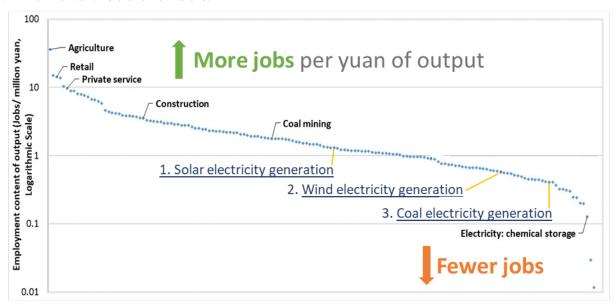
图 15. 可再生能源行业创造更多的就业机会(job-years per gigawatt hour<sup>ii</sup>)

来源: International Monetary Fund [31]

文章"可再生能源成本的下降、排放交易和经济增长:处在十字路口的中国能源系统" 中的数据显示了不同部门单位经济产值的直接就业数量。 尽管直接就业量的指标比国际 货币基金组织的指标相对简化,但得出的结果相似(图16),光伏产业仍然创造了最多 的工作机会,其次是风能,再次是煤炭。

ii Job-years per gigawatt hour calculated as estimated job-years created over expected lifetime power generation.

# 图 16. 中国不同产业单位产值的工作机会



来源: Chen et al. [36] iii

-

iii Presenting a modified 图 2 from Chen et al. to highlight the rank order of power generation technologies.

# 能源系统低碳化的环境和社会效益

脱碳转型不仅可以带来温室气体减排,同时还有很多协同效应。尽管一些气候政策分析忽略了这一点,但有研究表明,这些协同效应可以产生巨大的经济价值。 国际货币基金组织《世界经济展望 2020》认为"这些协同效应可以为很多国家带来可观的经济收益,如对中国产生的短期效益可占中国 GDP 的 0.7%,长期效益到 2050 年将占 GDP 的 3.5%"。 这些协同效应包括由于空气质量和环境质量改善所带来的公众健康水平的提升、医疗成本的降低、学生学习成果以及工人生产效率的提高等 [31]。

### 空气质量改善

中国生态环境部气候变化事务特别顾问、清华大学气候变化与可持续发展研究院院长解振华曾说: "在大多数情况下,空气污染是由化石燃料的燃烧及其排放所引起的。因此,减少化石燃料的使用可以减少二氧化碳和其它空气污染物的排放,为气候和环境带来协同效应[57]"。

近年来,人们逐渐认识到空气污染的健康成本和清洁空气的重要性。中国生态与环境部发现,在中国,空气污染每年造成 500,000 人非自然死亡[57]。最近《自然-可持续发展》期刊上的一篇文章发现,中国 27%的私家车实现电气化每年可预防 17,000 多人死亡,健康效益显著[58]。2006年,一项重要的研究成果显示,中国由于空气和水污染造成的损失成本相当于 GDP 的 2.7%-5.8%[59]。

大多数空气质量问题同温室气体一样,都源于化石燃料的燃烧,因此未来投资的方向应注重同时减少温室气体和本地空气污染物,以产生最大的经济效益。例如,虽然燃煤电厂加装除尘器可以减少空气污染,但会增加温室气体的排放(由于除尘器运行过程中将消耗更多的能源、产生更多的排放),而用风力发电代替火电则可以同时减少本地污染物和温室气体排放。如果公共政策中只考虑空气质量或者温室气体排放的一个方面,那么搁置成本的问题也会变得更加严重。

最近另外两项研究表明,中国排放权交易机制 (ETS) 所带来的空气质量协同效益将远大于经济转型的成本。由斯坦福大学的拉里·古尔德 (Larry Goulder) 领导的团队发现,中国的碳排放交易体系为空气质量提升带来的效益将是政策实施成本的四倍 [60]。发表在

著名的《自然-气候变化》期刊上的研究也表明,在全国实施排放交易可以有力的促进公众健康水平的提升,健康收益预计为 4,650 亿美元,将远超过减缓气候变化所需要的成本 [61]。因此可以得出结论: "随着中国气候政策的加强,碳价不断提高将产生显著的协同效应即空气质量的不断改善。即使不考虑碳的社会成本,这一公共政策的收益也远超实施该政策所需的成本" [61]。

## 宜居城市

城镇化的可持续转型也能产生巨大的协同效应,特别是对城市交通的改善和人们整体 生活质量的改善。一项权威研究发现,合理的城市设计可以减少30%的交通能源需求及 相关排放,提高效率,避免浪费[62]。

在中国很多城市中,以往典型的城市规划就是以汽车为中心的道路设置和大型集中街区。这种城市的形态导致个人对私家车的需求增加,使交通系统不堪重负。漫长的通勤和交通拥堵导致时间浪费、能源浪费和更高的排放。据估计,城市交通拥堵和环境破坏使北京的经济产出减少7.5%至15%,这正是喧嚣的、以汽车为本的交通系统的代价[63]。

可持续的城市化包括增加公共交通、步行、自行车和新兴的"微出行"等选择的可及 性,减少对私家车的依赖,因此需要紧凑型、功能混合型的城市开发模式,使人们可以住 在工作地点附近,而不是不断向外扩张的模式。

广州因其快速公交和大型公交系统、绿色空间修复以及行人体验的改善而成为国际上可持续城市设计的典范。有研究显示,广州进行了大规模的投入,扩大公交网络的覆盖面,从而显著的缩短了通勤时间并降低了相关排放[64]。同时,广州将众多单一功能的住宅社区改造为混合功能社区,社区内的房产也相应升值。这些都表明,可持续城市设计是应对气候变化的重要途径之一,并可以产生多种协同效应:更高效的出行,更令人愉悦的公共空间,更充满活力的街道和更让居民满意的社区[65,66]。

#### 土壤和水环境质量改善

农业和林业中关于土地的一些应对气候变化的措施对土壤和水也有协同效应。通常,自然保护区和其他类型的可持续土地管理不仅可以减少碳排放,还可以保护现有的生态系

统,使水和土壤受益。例如通过自然过滤和流量调节来改善水量和水质,确保可靠的供水 并防止洪水泛滥;通过土壤侵蚀、土壤肥力综合治理等来提高土壤质量。

中科院呼吁开展相关研究,在各个经济领域全面进行脱碳转型的背景下,自然解决方案如何发挥最佳作用[67]。相比脱碳转型对空气质量的协同效应的研究,关于土壤和水的协同效应的研究还很有限,相关文献不足前者的十分之一[68]。

尽管很多正在进行的研究将为这些协同效益提供更加精确的估算,但已有研究足以表明脱碳对土壤和水质带来的协同效益是可观的。对中国森林生态系统服务价值的评估估计,2008年这些服务的货币价值为10万亿元/年,相当于当年GDP的33%[69]。

在中国 403 个种植方式不同的农场的田间采样发现,可持续的种植方式可将生产率提高 18%,同时将水稻种植中的甲烷排放量降低 7%,肥料使用量减少 22%,同时减少了由相应的能源使用、碳排放以及肥料过度使用引起的水资源污染[70]。

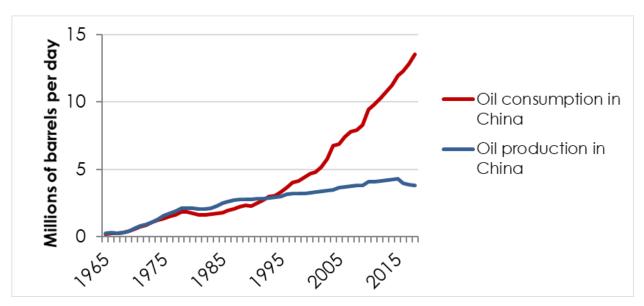
在中国,由于土壤污染导致大米中含有汞已成为日益严重的公共健康问题,而燃煤电厂是中国汞排放的主要大气来源[71]。这些空气污染物最终沉积下来,影响土壤和地表水质。

## 加强能源安全

面对全球变暖成为大势所趋的未来,各国都在考虑如何保障本国能源的充足供应。中国资深能源专家杜祥琬院士认为,可再生能源是中国保障能源安全的关键 [72]。 能源安全具有重大的经济意义。石油的价格随世界原油市场波动,可再生能源价格不受此影响。对进口能源的依存度是影响国家安全的重要因素。

中国的决策者们曾就中国对进口化石能源的依存度日益增强表示担忧。 进口能源在中国能源结构中所占的份额翻了一番,从 2014 年的 9%增加到 2018 年的 20%以上[73]。自 2017 年以来,中国一直是世界上最大的石油进口国[74]。 如图 17 所示,交通领域对燃料需求的不断增长以及国内资源的匮乏导致国内石油供求的不平衡状况日益加剧。.

## 图 17. 中国石油生产消费趋势

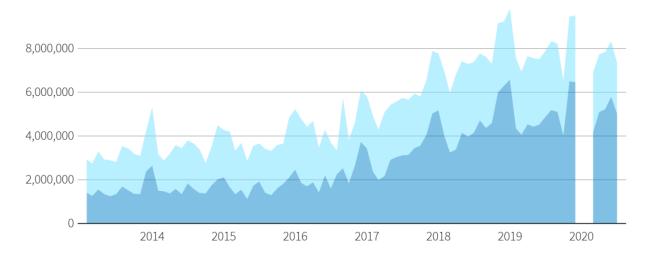


来源: British Petroleum [75]

中国的天然气进口总量并非全球之首,但其增长率却位居世界第一。尽管新冠疫情 大流行导致全球经济疲软,但预计 2020 年天然气需求将继续增长。 预计液化天然气的增 长将最为强劲,中国有望在 2022 年超过日本成为世界上最大的天然气进口国[76].

### 图 18. 中国天然气进口持续上涨(LNG)

■ LNG imports (in tonnes) ■ Pipeline gas imports (in tonnes)



来源: Reuters [76]iv

-

iv Regarding missing data, the Reuters article referenced cites China's General Administration of Customs as the original data 来源 and notes that no information was reported for January and February 2020.

电气化(将目前使用石油基燃料或天然气运行的仪器和设备转换为电力驱动)是一项 基本的脱碳策略。电气化是将对电力的依赖转移到本国,并通过零排放的可再生能源发 电技术实现。电动车是交通领域众所周知的零排放选择。在建筑领域,热泵技术可以实现 供暖和热水的电气化。

## 应对气候变化

中国幅员辽阔,容易受到各种气候风险的影响,例如北部的干旱和沙漠化、南部洪灾、极端天气对农业和基础设施的破坏以及病毒的传播等。气候变化的影响实际上比科学家们的预计发生的更快、更强烈。气候学家们因为受到社会和心理因素的影响,往往会低估一个风险 [77]。研究发现,除非有明确的数据做支撑,否则科学界在达成一个共识时会非常谨慎,不愿提出大胆的预测,因此会给出相对安全的结论。另一方面,气候学家们普遍认为,低估一个风险不会给自己带来什么负面影响,但如果高估了风险,则可能使自己的声誉受损。

研究领域的这种现象使政策制定者在面临气候变化问题时更加难以抉择。经济学研究 "忽略了或严重低估了"很多非常重要的气候风险[78]。经济学分析中面临的实际困难包 括数据不足和各种重大变动。这些变动远超出分析中设定的边际变化,有些甚至会超出人 类以往的经验。除此之外,在所有对自然科学的研究中都存在对风险感知的不对称性,即 为顾及声誉而选择低估其风险。

出于这些原因,决策者们在评估气候风险时应该注意到这个前提,即自然科学和社会 科学研究均已系统地低估了气候危害的可能性和严重程度。同时必须清醒的认识到,即使 是低估,现有的科学文献也已经充分显示了气候变化的危害性。因此如不加快脱碳转型的 进程,这些危害将为人类带来更加严重的灾难。

# 更多的采纳自然解决方案

到目前为止,本文对技术的讨论主要集中在能源技术上,然而能源技术可以和自然解决方案紧密的结合。自然解决方案定义为包括由林业和农业中与土地相关的减排措施,是 降低大气中温室气体浓度的一个重要途径。树木和其他植物在生长时会吸收大气中的二氧 化碳,即向大气提供氧气的同时捕捉并固存碳。在全球由人类活动引起的总排放中约 20% 来源于土地使用的变化,即森林和其他自然环境转变成农业和人类其他用途用地。

自然解决方案是公认的管理全球温室气体排放的重要且低成本的方式,可以分为两大 类:减少排放和碳封存。减少排放,即防止土地用途的转变,避免人为排放的增加,从而 维持现有的碳排放量;碳封存,即利用自然界捕获并锁定更多大气中的二氧化碳。

多年来,通过禁止滥砍滥伐和林业恢复再造,森林覆盖面积逐步扩大,为治理温室气体排放做出了重要的贡献。热带雨林是全球生物多样性的重要代表,在国际上得到了重视和保护。除气候效益外,中国林业领域的减排措施同时有益于防止沙漠化和洪涝灾害。图19显示了数十年来,中国林地面积不断增长的趋势。自1990年以来,中国的森林面积增长了33%,而世界其他地区的森林面积却在萎缩。

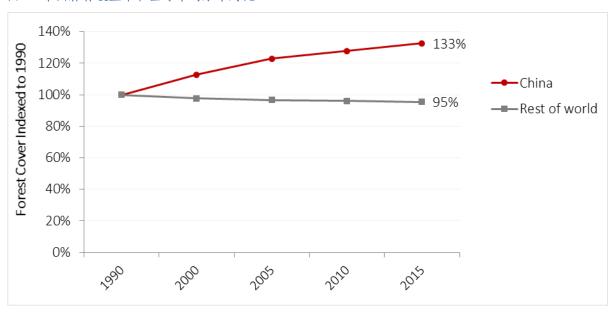


图 19. 中国森林覆盖率和全球平均水平对比

来源: Food and Agriculture Organization of the United Nations [79]

迄今为止,中国在森林和土地管理方面的努力所产生的净气候效益相当于每年约 5 亿至 10 亿吨二氧化碳排放。继续加强这些措施可以使每年的固碳量增加到 17-37 亿吨二氧化碳[80]。

在农业领域的气候解决方案中,更好的种植策略可以增加土壤中的固碳量。改善畜牧业管理可以捕获更多的甲烷,如使用农业或林业活动产生的废弃物作为发电的原料。随着碳捕获封存技术的增强,生物质能成为一种净排放为负、响应需求且灵活方便的发电技术[81]。由于植物燃烧时释放的二氧化碳可以在植物生长过程中被吸收,因此生物质燃料燃烧通常被视为对气候变化的净贡献为零或很小。当生物能源燃烧时,碳会在排烟通道中被捕获,然后存储在自然的地下储存库中。

生物质能和碳捕获封存技术的结合证明了自然解决方案和清洁技术可以很好的结合。 例如从卫星到无人机上的遥感技术使人们可以更好的监视和了解土地的变化,农业中采用各种技术对施肥和灌溉进行优化,从而达到节水节能和减排的效果。我们认为,技术创新将为自然解决方案提供有力的支撑,从而有效的应对气候变化;同时,新技术的应用可以促进自然解决方案的形成和应用,并拓宽农村经济的发展领域。

### 政策保障

中国在清洁技术领域日益增长的发展机会有利于中国加快脱碳转型进程。中国于2020年9月22日第75届联合国大会期间承诺努力争取2060年前实现碳中和。不久,中国生态环境部气候变化事务特别顾问、清华大学气候变化与可持续发展研究院院长解振华在联合国环境署高级别会议上发布了关于加强气候政策的最新研究报告《环境与气候协同行动——中国与其他国家的良好实践》。这项研究得到了政府的大力支持以及学术界、政府和私营部门等24个机构的参与[82]。

清华大学的研究特别建议中国政府在"十四五"规划(2021-2025年)中设定温室气体排放的绝对上限,如2025年温室气体排放上限设为105亿吨[79]。这将是中国一个重要的政治里程碑,且仍将为未来五年每年增加近5亿吨排放量提供了空间,相当于巴西、印度尼西亚或墨西哥等整个国家的二氧化碳排放总量。能源基金会中国负责人邹骥建议每年的总排放量控制在10-10.3亿吨内[2]。

成功的脱碳转型将取决于有效的政策设计和实施。近年来,将为二氧化碳排放赋予价格的国家碳排放权交易体系引起了广泛关注。缺乏碳排放价格一直被认为是有史以来最大的市场失灵。当政府制定的规则可以有效地促进商业动机同社会福祉形成一致时,市场才可以很好的运转。如果间接成本或收益未计入市场价格,则无法实现资源效率的潜力。科学合理的碳交易体系将为可再生能源提供更加公平的竞争环境。碳定价将促使企业积极地寻求各种减少碳排放的方式,那些低成本的减排技术及方案将因此迎来新的发展机遇[83]。

尽管碳价将是一个强有力的措施,尤其是在工业和电力行业,但它并不能解决所有问题。有些时候,由于市场失灵或其他一些体制机制障碍,有些行业未必会及时显现出对碳价的响应[84],[85]。此时需要配合其它政策,共同发挥效力,如针对各工业行业制定能效标准可以促进企业技术创新、低碳转型[86]。同时政府的补贴将引导消费者选择低碳节能产品,加快低碳节能技术的市场推广和应用。能效标准和激励措施缺一不可,例如中国在推广新能源汽车时提出了一系列的政策措施和激励计划,如电动车在新车销售中的占比目标及前所未有的新能源汽车补贴力度等。

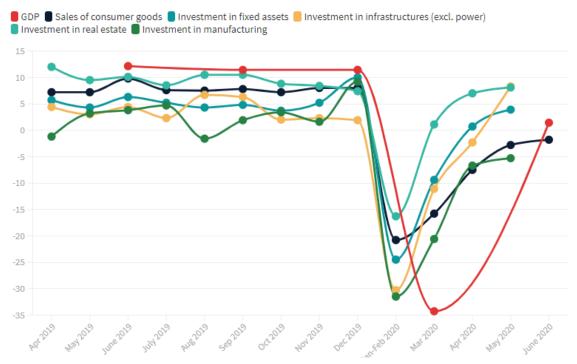
中国碳排放交易体系的有效性将与电力体制改革的进展密切相关,特别是与电网运营商决定电力供应的调度规程相关。电厂的发电地点及发电技术各不相同,中国的电力调配是均分制,即根据每个电厂的技术分配一定的份额,而不是依据成本。如果不进行电力调度改革,碳价机制将难以发挥其应有的作用。

在交通领域,尽管电动车的单位里程成本已经接近于或低于燃油车,但消费者在进行 比较时往往会低估电动车在使用过程中所省下的费用,即汽油费用[18]。这一现象说明市 场这只"看不见的手"在能源市场和能源体系内有时是失灵的,特别是在交通和建筑领域。

下面的图 16 显示,固定资产、房地产和基础设施领域的投资正在逐步恢复。中国似乎已经摆脱了疫情带来的最严重的经济衰退。总的来说,到目前为止,有迹象表明,中国的复苏计划更多地刺激了传统工业和传统能源领域,而不是清洁能源或低碳基础设施 [87],因此急需强有力的政策,引导投资转向清洁能源和相关基础设施,并使之成为新投资的首选;同时需要加快构建绿色金融标准体系,规范绿色金融业务。

图 20. 中国实现经济复苏 (April 2019 - June 2020)





来源: China Dialogue [87]

# 绿色投融资

金融领域通常认为刚刚进入市场的新兴技术具有较高的投资风险,清洁技术也不例外。这导致清洁技术公司在寻求传统融资来源时会面临较高的利率。因此政府的政策信号对于引导资金转向脱碳领域至关重要。如上所述,市场需要公共政策来奖励清洁技术所带来的社会收益及其成本,即环境经济学中的外部性。除此之外,还需要建立绿色金融的方法学并提升金融机构绿色业务的能力。

绿色金融标准有助于将可持续发展的理念落到实处,并保护市场上绿色理念的践行者, 为判断投资项目的质量及其环境影响提供依据。通过国际金融标准的协调互认,投资方可 以对不同国家、不同行业的项目进行比较。

由各国央行和监管机构构建的"绿色金融体系网络(NGFS)"于2020年9月发布了 环境风险分析领域具有里程碑意义的文件,《金融机构环境风险分析综述》和《环境风险 分析方法案例集》,详细地介绍了当前环境风险分析的方法学、模型工具及其应用案例 [88]。

很多气候解决方案的回报期相对较长,特别是基础设施和大型投资项目,而在中国,贷款的平均周期只有两年左右[89]。为克服这一障碍,马骏博士认为绿色债券将成为未来 很重要的融资渠道。中国的绿色债券市场规模居全球第二,2018年价值430亿美元[90]。

中国的"一带一路"倡议和规划中包括一些赠款和贷款项目。在过去的五年中, "一带一路"框架下的能源项目贷款成为绿色金融关注的热点。目前参与该倡议的所有国 家的温室气体排放总和约占全球总量的 20%,但如果未来投资项目仍以化石能源为主, 则到 2050 年"一带一路"国家温室气体排放总和将达到全球总量的一半[91]。

2018年11月,中国金融学会绿色金融专业委员会与"伦敦金融城绿色金融倡议"共同发布了《"一带一路"绿色投资原则》,以及由国际各界包括政府、全球最大的金融机构和国际组织、开发银行和各利益相关方共同开发的用于项目评估的绿色金融工具。这个免费的在线工具提供了标准的项目评估方法,并将有助于金融机构提升绿色业务能力。但其中"一带一路"可持续性项目的筛选标准仍然允许对燃煤电厂进行新的投资。标准虽然提出只有最高效的燃煤电厂才有资格获得支持,但并未对碳捕获和封存提出任何要求[92]。

停止对新建燃煤电厂的投资至关重要,同时绿色金融标准也适用于其它经济领域。建筑领域和基础设施项目因其使用寿命长,将对能源使用和碳排放有重要的影响;例如,道路的过度投资会导致城市蔓延和森林砍伐。

# 转型挑战

中国已经实现了"十三五"规划中设定的清洁能源和能效提升目标。2019年,可再生能源发电量占总发电量的9%;零排放发电方式(包括核能、水电以及可再生能源)占总发电量的30%。与此同时,火电的占比从2010年的79%下降至2019年的64%。

事实证明,严格的气候政策能够激发技术创新、产业升级并产生经济效益。展望未来,关于学习曲线的研究将提高对技术变化的预测能力,使人们相信不断的技术创新将改善产品性能、降低生产成本。对于中国而言,加强应对气候变化的措施和行动还与中国经济追求高质量发展的目标相吻合。因此,我们支持关于中国加快脱碳转型的建议。

但是未来仍面临着巨大的挑战。中国仍然是世界上最大的煤炭生产国和消费国。煤炭对中国整体经济的重要性以及某些地区对煤炭的依赖会使脱碳转型在一定程度上面临社会、经济和体制的各种障碍。

另一个国际上比较关注的问题是,在中国仍然有新的火电厂不断建成,并且中国正在支持其他国家修建火电厂。尽管火电厂的盈利能力不断下降,但在2020年上半年,中国新建火电厂的数量占全球新建火电厂总量的一半以上。目前中国已规划并待建的火电装机容量为2.496亿千瓦时,将分别超过美国(2.46亿千瓦时)和印度(2.29亿千瓦时)的现有火电装机容量[22]。

#### 能源系统安全性

中国的能源系统庞大而复杂。在过去的十年中,中国能源体系经历了大规模的变革,通过设备更新和技术进步减少产能过剩、提高能效、减少排放、改善空气质量。

传统集中调度的供电模式很难及时满足随时出现的峰值需求,这就要求对电网的管理 要采用新技术和新模式,综合利用各种发电方式,增加电网的灵活性,优化供需关系;同 时电网将变得更加绿色且成本降低。

由于脱碳化的电力系统以可再生能源为主,其系统可靠性也是决策部门的顾虑,相比之下,中国更倾向于稳定性更高的火电。然而,随着可再生能源越来越成为主要的发电方

式,美国加州和德国已经成功地解决了可再生能源不稳定的问题,并证明零排放发电技术 已经成熟,可以在现代电力系统中大规模使用。

2019年,可再生能源在加州电力结构中占比 36%,清洁能源发电(可再生能源、大型水电和核能)占 63%[90]。在加州州长的推动下,新的加州法案要求 2030 年可再生能源份额至少要达到 60%(原目标是 2030 年达到 50%),并在 2045 年达到 100%。 加州通过在电力部门大力推进清洁能源来达到提前实现碳中和的预期。

在世界第四大经济体德国,可再生能源在能源结构中的占比更高。德国电力监管机构认为可再生能源是可靠的,没有对电力供应造成损害。德国联邦电网管理局总裁 Jochen Homann 表示: "能源结构的调整和分布式发电的不断增加并没有对电力供应产生负面的影响"。图 21 显示了可再生能源的可靠性逐步提高。随着可再生能源在德国能源结构中的比例从 12%增长到 42%,人均平均停电时间从 2006 年的 22 分钟下降到 2019 年的 12 分钟。

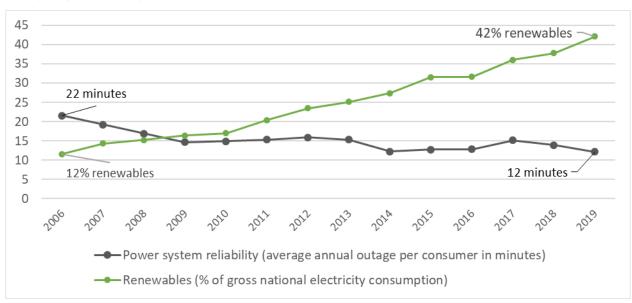


图 21. 德国可再生能源占总电量超过 42%的同时保证电网安全性

来源: German Federal Grid Agency [94], International Energy Agency [12]

根据欧洲能源监管委员会的研究报告,尽管采用了高比例的可再生能源,德国的电力供应稳定性仍位居欧洲第二位,领先绝大多数欧洲国家[95]。

#### 公正转型

煤炭在中国当前能源结构中仍占据主要地位,煤炭业的急速转型将对煤炭业众多的企业主、职工以及他们的家庭产生巨大的影响。需要政府制定公正转型的政策来应对这些挑战。

近年来,为解决产能过剩的问题,通过淘汰落后产能和产业重组,中国煤炭业的就业人数已从2014年的530万高位大幅下降。到2020年,煤炭业仍有约260万从业人员,仍然是中国最重要的产业之一,特别是在以煤炭为支柱产业的城市中[96]。例如山西省,煤炭产量占经济总量的近30%,税收占总量的50%。在这些城市开展煤炭产业转型,需要坚持以人为本制定扶持政策,兼顾好职工群众的根本利益,妥善安排各项事宜。

国际最佳实践和一些关于中国的研究提出了实现公正转型的两个基本要素: (1) 为下岗职工和受影响最严重的群体提供有针对性的支持; (2) 控制转型对资本所有者和资本市场的影响。

职工再培训计划应该对尽可能多的下岗职工进行再培训,包括直接从事煤炭业以及煤炭相关产业的工人[97]。其中一部分下岗职工教育背景和所掌握的技能有限,市场就业难度大。这些工人应该得到相应的社会保障,以免生活水平急剧下降。

在煤炭资源型的区域,要注重与民众相关的基层工作,着力培育非煤产业,特别是新能源新技术产业。面向受影响的居民和社区应着重教育、基础设施和自然环境的改善,如废弃矿址的生态修复。此外,应组织各种交流活动,搭建信息共享平台,鼓励大众创业万众创新,开拓海外市场等,整合资源,有效的利用政府提供的转型资金。

2020年落基山研究所发布的报告《如何加速煤炭退役:加速淘汰煤炭的可行性和公正性》为管理公正转型的财务问题提供了实用指南,重点介绍了如何通过再融资来降低负债的成本[1]。一个创新的政策建议是采用自愿反向竞拍,即政府作为买方,火电厂经营者作为卖方参与竞拍,报价内容是某电厂如果停止运营,该企业主还请贷款所需的资金规模,报价低者获胜。"这种方式虽然没有强制要求火电厂的经营者参与,却是一个很有

效的方式,可以显示各火电厂低碳转型的意愿,并有利于政府部门在此基础上制定后续政策。"[1]。反向竞拍也有助于在转型的过程中协调相关利益方。

#### 应对不确定性

尽管实现碳中和的目标还需要更多的创新,但是已有一些成熟的技术可以在市场上进行大规模的推广应用,因此实现碳中和在技术上是可行的。诚然,我们很难准确的描绘随着科技发展的日新月异,未来会变成什么样。尽管通过学习曲线可以肯定,不断的技术创新将改善产品性能、降低生产成本,并且对未来创新率的预测也可以更准确,但价格预测仍不可避免地会受到一些因素的干扰。鉴于煤炭经济在某些地区的重要性,可以理解,中国的决策者们在制定政策时会多方考虑如社会稳定性等重要因素。

越来越多的研究和实践都在关注,如何设计政策,在促进清洁能源产业发展的同时, 将转型对经济其它方面的影响降至最低[98]。将成本控制纳入政策设计有三种方式:技术 中立,差异化排放配额分配策略和直接成本控制。

技术中立原则即政府在制定各种规则或标准时,对各种技术同等对待,给予各种技术以公平竞争的机会。例如,加州零排放卡车的要求可以通过电动车实现,也可以通过氢燃料电池车实现。

差异化碳配额分配策略是指排放企业之间通过买卖的方式相互调剂排放量。例如,加州的零排放车辆政策为每个汽车制造商设定了零排放车在新车销售中的百分比,汽车制造商之间可以通过交换配额完成各自的目标。例如,已完成减排目标的汽车制造商可将多出的减排成果出售;无法达到减排要求的汽车制造商需要额外购买成果,以完成自己的目标。

技术的灵活选择和企业间排放调剂这两种方式有利于发现减排成本最低的方法,并鼓励最具创新性和经济性最高的排放者为减排做更大的贡献。

直接成本控制,即未达到排放要求的企业可以通过支付碳成本来实现合规。如果要支付的金额高于企业采取减排措施的成本,企业则更倾向于采取节能减排措施,从而达到了该政策的预期。因此,合理设定合规金额将倒逼企业主动采取减排措施。

直接控制成本的另一个例子是在碳交易中设置碳价上限。部分排放权是通过拍卖进行分配的,在拍卖中可以设置价格的上限。如果在拍卖中,竞拍者的报价高于碳价上限,则将注入新的排放额度,直到供需在上限价格上达到平衡。

加州的碳排放交易采取了设定价格上限的方法,尽管事实证明其价格下限更为重要。 加州碳排放交易最初的减排要求一直很温和,原因与技术进步快于预期以及可再生能源投资组合标准和其它政策(除了碳定价)的影响有关。其结果是积累了过多的配额,给价格带来了下行压力。加州的碳排放权价格从未达到最高限额。相比之下,由于需求疲弱,有五次价格下限发挥了作用,限制了在拍卖中发放的排放权配额。欧盟的 ETS 计划,美国东北部州的区域温室气体减排计划,以及我们所知道的所有其他主要计划都发生了类似的情况 [99]。

# 国际气候合作

气候行动追踪组织会评估各国当前的政策和排放承诺是否具有科学依据。根据气候行动追踪组织的估算,中国 2060 年碳中和的承诺如果能够实现,将会使全球变暖降低 0.2 到 0.3 摄氏度,是该组织所评估的所有政策中最具有影响力的。

气候行动追踪组织给出了未来十年的排放情景,及其对应的对气候变化工作的指导意义,如下图 22 所示。其中黑线代表历史全球排放量,深蓝色和浅蓝色带代表现在的排放轨迹。深蓝色表示在现有法律法规政策的框架内预期排放量的低值和高值;较浅的蓝带(承诺和目标)表示了各国的排放目标。这两者(浅蓝和深蓝带)之间并不吻合,因为各国在提出减排目标时并没有考虑现有政策策略是否能够实现这样的预期。

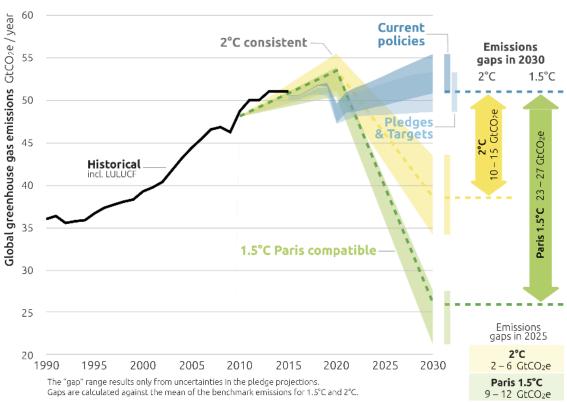


图 22. 全球排放趋势和升温控制目标的差距

来源: Climate Action Tracker [100]

如果我们要留给后代一个宜居的地球,黄色和绿色部分分别代表了未来十年如果将升 温控制在 2 摄氏度和 1.5 摄氏度以下全球应该做到的减排规模。 中国是首个做出碳中和承诺的发展中国家。这对于国际气候领域是鼓舞人心的消息。 欧盟最近也承诺将加快实现其 2030 年的减排目标,即温室气体排放比 1990 年减少 55%甚 至更多。

国际社会期待美国在脱碳转型方面发挥更大的作用,采取更加积极的行动。同时,美国拥有众多世界一流的大学、创业文化和现有的创新生态体系,创新潜力世界领先,未来也将在清洁技术领域不断提升竞争力。

确实,美国早在 2019 年就成为电动车出口的领先国家,这几乎完全归功于加州特斯拉的出口[101]。电动车是 2019 年加州第二大最有价值的制造业出口产品,并有望在 2020 年跃居榜首,同时也推动该州的汽车制造业就业人数达到历史新高[102]。加州电动车出口表现强势也是国内本土市场促进出口增长的成功案例。加州在西半球拥有最严格的气候政策,2020 年 9 月宣布将在 2035 年禁止销售新的燃油车。加州人口占美国总人口的 10%,却拥有全国一半数量的电动车。除了企业家和工程师们所做的努力,积极的产业引导政策在加州电动车的发展中起到了至关重要的作用,即通过对制造商转型的要求和对消费者购买电动车的激励,逐步建立起电动车市场。

# 结论

技术创新重新定义了气候政策对经济发展的影响。考虑到技术创新的协同效益,加快 实现脱碳转型将使中国电力系统更加清洁和经济。技术进步将为全球特别是中国带来新的 发展机遇。中国已经在可再生能源、电动车等清洁技术中处于领先地位,继续加快清洁能源转型,将提高中国清洁能源公司的国际竞争力,并促进清洁能源领域及相关产业的出口。

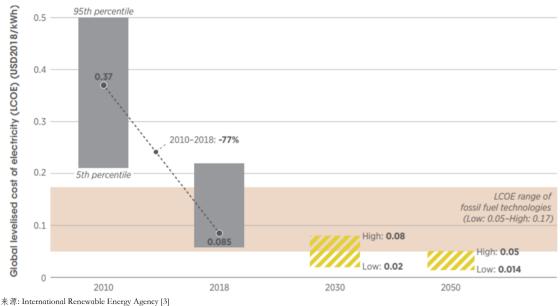
此外,本文还阐述了脱碳转型所产生的协同效益,如改善公众健康、提高能源安全、改善城市交通、提高生活质量、改善水质和土壤质量。新的科学证据将有助于我们更加充分的理解这些协同效应,并制定相应的措施,从而更好地应对气候变化。

科学上已经证明:生物圈所能吸收的碳已经达到极限,因此形成了危险甚至是灾难性的气候变化。人类必须迅速改变我们赖以生存的能源系统。幸运的是,清洁能源经济的不断发展将有助于人类化解这些灾难。快速减排所需的清洁技术已经在市场上得到应用,其成本也在不断下降。

新的气候政策经济学表明,中国可以在清洁能源及相关产业上取得更快的进展,同时 促进各国加强气候行动。如果在日益严峻的气候危机中放弃自我修正的机会,我们的决定 终将会为我们的后代感到遗憾和叹息。

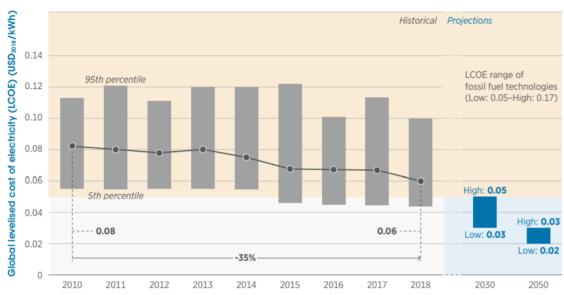
### 附录: 未来发电平准化成本计算方法学

下图介绍的是预测未来太阳能、风能和煤电技术成本的方法学。其中太阳能、风能的数据来自国际可再生能源际署的报告。



🛮 23. Future cost outlook for utility-scale solar PV power plants per the International Renewable Energy Agency





 $\boxtimes$  24. Future cost outlook for on shore wind power plants per the International Renewable Energy Agency

来源: International Renewable Energy Agency [3]

针对太阳能和风能,我们计算出到 2030 年成本降低的幅度,即预期边界低点和高点的中间值,符合我们的预期。并将此降低的百分比用于中国各项技术平均成本的历史数据,得到 2030 年的期望值。按照一定的时间线,用指数函数估算每年的价格,用计算所得的 2030 年期望值和历史数据作为两端的点。

未来煤电行业的平准化成本分析分为低情景和高情景,取决于对未来容量系数的设定,即实际发电量和满 负荷运行时发电量之间的比率。由于产能过剩,中国的火电厂的容量系数不断下降,从十年前的70%以上 降到2019年的50%,见图3。

高情景预测的是容量系数继续下降的煤电价格走向,其中 2030 年预测值来自智库碳追踪计划(Carbon Tracker Initiative)各国容量前三的公司数值列表。分析表明,中国一般新建火电厂的平准化成本 2018 年是 49 美元/MWh,2030 年将升至 64 美元/MWh,由于容量系数的下降[4]。

低情景分析的结果显示未来平准化成本趋于稳定,说明容量系数也是稳定的,与伍德麦肯兹国际能源宏观研究(Wood Mackenzie)的结果一致,见图 25,但伍德研究院对太阳能和风能未来创新速度的预测偏保守。

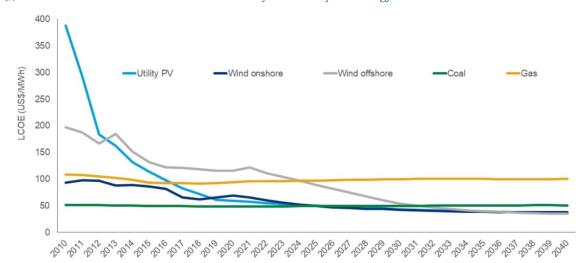


图 25. WoodMackenzie levelized cost of electricity in China by technology

来源: Wood Mackenzie [5]

### 参考文献:

- 1. Paul Bodnar et al., "How to Retire Early: Making Accelerated Coal Phaseout Feasible and Just" (Rocky Mountain Institute, June 2020), <a href="http://rmi.org/wp-content/uploads/2020/06/How-to-retire-early-June-2020.pdf">http://rmi.org/wp-content/uploads/2020/06/How-to-retire-early-June-2020.pdf</a>.
- 2. Gao Baiyu, "'China Should Set up a Carbon Cap' Zou Ji on China's Energy Targets," China Dialogue, July 2, 2020, <a href="https://chinadialogue.net/en/energy/china-should-set-up-a-carbon-cap-zou-ji-on-the-next-national-energy-targets/">https://chinadialogue.net/en/energy/china-should-set-up-a-carbon-cap-zou-ji-on-the-next-national-energy-targets/</a>.
- International Renewable Energy Agency, "Future of Solar Photovoltaic: Deployment, Investment, Technology, Grid
  Integration and Socio-Economic Aspects," November 2019, https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA\_Future\_of\_Solar\_PV\_2019.pdf; International Renewable Energy
  Agency, "Future of Wind 2019: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-Economic Aspects,"
  October 2019, https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA Future of wind 2019.pdf.
- 4. Matt Gray et al., "Powering Down Coal: Navigating the Economic and Financial Risks in the Last Years of Coal Power" (Carbon Tracker Initiative, November 2018), https://carbontransfer.wpengine.com/wp-content/uploads/2018/12/CTI Powering Down Coal Report Nov 2018 4-4.pdf.
- 5. Gavin Thompson, "Is China Embarking on a Major Expansion of Coal-Fired Power Generation?," WoodMackenzie Insights (blog), March 31, 2020, https://www.woodmac.com/news/opinion/is-china-embarking-on-a-major-expansion-of-coal-fired-power-generation/.
- 6. Gang He et al., "Rapid Cost Decrease of Renewables and Storage Accelerates the Decarbonization of China's Power System," Nature Communications 11, no. 1 (May 19, 2020): 2486, https://doi.org/10.1038/s41467-020-16184-x.
- 7. Jiang Lin, "China's Electricity Switch Won't Be Swift or Painless," Nature 562, no. 7725 (October 3, 2018): 39, https://doi.org/10.1038/d41586-018-06894-0.
- 8. Bloomberg New Energy Finance, "Battery Pack Prices Fall as Market Ramps Up with Market Average at \$156/KWh in 2019," December 3, 2019, https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/.
- 9. Zeyu Geng, "Evaluation of the 'Tipping Point' to Widespread Uptake of Battery Electric Vehicles in China," SSRN Scholarly Paper (Rochester, NY: University of Queensland, May 8, 2020), https://doi.org/10.2139/ssrn.3621735.
- Xiaoyi He et al., "Economic and Climate Benefits of Electric Vehicles in China, the United States, and Germany," Environmental Science & Technology 53, no. 18 (September 17, 2019): 11013–22, https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00531.
- 11. Jack Ewing, "The Age of Electric Cars Is Dawning Ahead of Schedule," The New York Times, September 20, 2020, sec. Business, https://www.nytimes.com/2020/09/20/business/electric-cars-batteries-tesla-elon-musk.html.
- 12. International Energy Agency, "World Energy Outlook 2020 Press Release," IEA, accessed October 13, 2020, https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020.
- 13. International Energy Agency, "Electric Car Sales This Year Resist Covid-19's Blow to Global Car Market," accessed October 16, 2020, https://www.iea.org/news/electric-car-sales-this-year-resist-covid-19-s-blow-to-global-car-market.
- 14. Nick Albanese, "Electric Vehicle Outlook Bloomberg New Energy Finance," https://efiling.energy.ca.gov/getdocument.aspx?tn=233410.
- 15. Qiang Zhang et al., "Drivers of Improved PM 2.5 Air Quality in China from 2013 to 2017," Proceedings of the National Academy of Sciences 116, no. 49 (December 3, 2019): 24463–69, https://doi.org/10.1073/pnas.1907956116.
- Jun Ma, "A New Macroeconomic Policy Framework for Prudence and Higher-Quality Growth in China" (Center for Finance and Development, National Institute of Financial Research, Tsinghua University, October 28, 2018), http://www.pbcsf.tsinghua.edu.cn/Upload/file/20181101/20181101103437\_6165.pdf.
- 17. Felix Creutzig and Dongquan He, "Climate Change Mitigation and Co-Benefits of Feasible Transport Demand Policies in Beijing," Transportation Research Part D: Transport and Environment 14, no. 2 (March 1, 2009): 120–31, https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.007.
- 18. Benjamin Leard, Joshua Linn, and Yichen Zhou, "How Much Do Consumers Value Fuel Economy and Performance? Evidence from Technology Adoption" (Resources for the Future, June 2017),

- $\underline{\text{https://www.rff.org/publications/reports/how-much-do-consumers-value-fuel-economy-and-performance-evidence-from-technology-adoption/}.$
- 19. Climate Action Tracker, "2030 Emissions Gap- Climate Action Tracker" (Climate Action Tracker), accessed October 18, 2020, <a href="https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/">https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/</a>.
- 20. International Renewable Energy Agency, "Renewable Power Generation Costs in 2019," June 2020.
- 21. Angel Hang, "Is China Ready for Subsidy-Free Renewables?" Greentech Media, May 31, 2019, <a href="https://www.greentechmedia.com/articles/read/is-china-ready-for-subsidy-free-renewables">https://www.greentechmedia.com/articles/read/is-china-ready-for-subsidy-free-renewables</a>.
- 22. Lauri Myllyvirta, Shuwei Zhang, and Xinyi Shen, "Analysis: Will China Build Hundreds of New Coal Plants in the 2020s?," Carbon Brief (blog), March 24, 2020, <a href="https://www.carbonbrief.org/analysis-will-china-build-hundreds-of-new-coal-plants-in-the-2020s">https://www.carbonbrief.org/analysis-will-china-build-hundreds-of-new-coal-plants-in-the-2020s</a>.
- 23. Tanghai, Xu et al., "Source -Load-Storage Multi-Type Flexible Resource Coordination High-Proportion Renewable Energy Power Planning," Global Energy Interconnection Journal, 2019, <a href="https://doi.org/10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2019.01.004">https://doi.org/10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2019.01.004</a>.
- 24. Jutte Trube, "International Technology Roadmap for Photovoltaic 11th Edition" (VDMA, March 2020), https://www.vdma.org/en/publikationen/-/publications/detail/29867264.
- 25. J. Doyne Farmer and François Lafond, "How Predictable Is Technological Progress?", Research Policy 45, no. 4 (April 2016): 647–65.
- J. Gruber and J. Johnson, Jump-Starting America: How Breakthrough Science Can Revive Economic Growth and the American Dream, 2018, https://www.publicaffairsbooks.com/titles/jonathan-gruber/jump-starting-america/9781541762503/.
- 27. Gregory Nemet, How Solar Energy Became Cheap: A Model for Low Carbon Innovation, 1st ed. (Routledge, 2019), https://www.howsolargotcheap.com/.
- 28. Antoine Dechezleprêtre and Sato Misato, "Impacts of Environmental Regulations on Competitiveness," Review of Environmental Economics and Policy 11, no. 2 (July 27, 2017): 183–206, <a href="https://doi.org/10.1093/reep/rex013">https://doi.org/10.1093/reep/rex013</a>.
- 29. Kelly Sims Gallagher, "Why & How Governments Support Renewable Energy," Daedalus, MIT Press Journals 142, no. 1 (January 2, 2013): 59–77, https://doi.org/10.1162/DAED\_a\_00185.
- 30. Kelly Sims Gallagher and Fang Zhang, "Innovation and Technology Transfer Across Global Value Chains: Evidence from China's PV Industry" (Tufts University, July 2013).
- 31. International Monetary Fund, "World Economic Outlook, October 2020: A Long and Difficult Ascent," October 2020, <a href="https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/09/30/world-economic-outlook-october-2020">https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/09/30/world-economic-outlook-october-2020</a>.
- 32. Boqun Tian, "Accelerate the transition to green and low carbon," China News Service, October 12, 2020, <a href="https://www.chinanews.com/cj/2020/10-12/9310688.shtml">https://www.chinanews.com/cj/2020/10-12/9310688.shtml</a>.
- 33. Jun Ma, "A New Macroeconomic Policy Framework for Prudence and Higher-Quality Growth in China." October 28, 2018 <a href="http://eng.pbcsf.tsinghua.edu.cn/Upload/file/20181101/20181101104846">http://eng.pbcsf.tsinghua.edu.cn/Upload/file/20181101/20181101104846</a> 9756.pdf
- 34. Joseph Stiglitz, "It's Time to Retire Metrics like GDP," The Guardian, November 24, 2019, sec. Opinion, <a href="http://www.theguardian.com/2019/nov/24/metrics-gdp-economic-performance-social-progress">http://www.theguardian.com/2019/nov/24/metrics-gdp-economic-performance-social-progress</a>.
- 35. Paul Romer, "The Origins of Endogenous Growth," Journal of Economic Perspectives 8, no. 1 (Winter 1994): 3-22.
- 36. Yidan Chen et al., "Declining Renewable Costs, Emissions Trading, and Economic Growth: China's Energy System at the Crossroads" (Berkeley-Tsinghua Joint Research Center, October 2020), <a href="https://btjrc.lbl.gov/s/PRC\_Renewable-Future-Report.pdf">https://btjrc.lbl.gov/s/PRC\_Renewable-Future-Report.pdf</a>
- 37. Cecilia Springer et al., "Low Carbon Growth in China: The Role of Emissions Trading in a Transitioning Economy," Applied Energy 235 (February 1, 2019): 1118–25, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.046.
- 38. Hai Huang et al., "Emissions Trading Systems and Social Equity: A CGE Assessment for China," Applied Energy 235 (February 1, 2019): 1254–65, <a href="https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.056">https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.056</a>.
- 39. S.B. Linder, An Essay on Trade and Transformation (Uppsala: Almqvist and Wiksells, 1961), <a href="https://pdfs.semanticscholar.org/3e37/a898256b1601cd88059607ab53b27b87cbdd.pdf">https://pdfs.semanticscholar.org/3e37/a898256b1601cd88059607ab53b27b87cbdd.pdf</a>.
- 40. Paul Krugman, "Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade," American Economic Review 70, no. 5 (1980): 950–59.
- 41. Arnaud Costinot et al., "The More We Die, The More We Sell? A Simple Test of the Home-Market Effect," The Quarterly Journal of Economics 134, no. 2 (May 2009): 843–94.

- 42. International Renewable Energy Agency, "Renewable Energy and Jobs Annual Review 2020," September 2020, <a href="https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/IRENA RE Jobs 2020.pdf">https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/IRENA RE Jobs 2020.pdf</a>.
- 43. Arnulf Jäger-Waldau, "Snapshot of Photovoltaics—February 2019," Energies 12, no. 5 (January 2019): 769, https://doi.org/10.3390/en12050769.
- 44. Jeremy Hodges, "Wind, Solar Are Cheapest Power Sources in Most Places, BNEF Says," Bloomberg, October 19, 2020, sec. Bloomberg Green, <a href="https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-10-15/the-future-of-energy-is-about-technology-not-fossil-fuels">https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-10-15/the-future-of-energy-is-about-technology-not-fossil-fuels</a>.
- 45. Geng, "Evaluation of the 'Tipping Point' to Widespread Uptake of Battery Electric Vehicles in China."
- 46. He et al., "Economic and Climate Benefits of Electric Vehicles in China, the United States, and Germany."
- 47. Ewing, "The Age of Electric Cars Is Dawning Ahead of Schedule."
- 48. International Energy Agency, "Global EV Outlook 2020," June 2020, https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020.
- 49. Norihiko Shirouzu and Paul Lienert, "Tesla's Secret Batteries Aim to Rework the Math for Electric Cars and the Grid," Reuters, May 14, 2020, https://www.reuters.com/article/us-autos-tesla-batteries-exclusive-idUSKBN22Q1WC.
- 50. Nic Lutsey, "Update on Electric Vehicle Costs in the United States through 2030" (International Council on Clean Transportation, January 2020), https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV cost 2020 2030 20190401.pdf.
- 51. Ma Jun, "Bringing Financial Institutions Together to Support Green Recovery and Sustainability," The Business Times, October 10, 2020, <a href="https://www.businesstimes.com.sg/opinion/bringing-financial-institutions-together-to-support-green-recovery-and-sustainability">https://www.businesstimes.com.sg/opinion/bringing-financial-institutions-together-to-support-green-recovery-and-sustainability</a>.
- 52. Ronald Binz, Richard Sedano, and Denise Furey, "Practicing Risk-Aware Utility Regulation" (CERES, April 2012).
- 53. Ben Caldecott et al., "Stranded Assets and Thermal Coal in China: An Analysis of Environment-Related Risk Exposure" (Sustainable Finance Programme, University of Oxford, February 2017), <a href="http://nrdc.cn/Public/uploads/2017-11-06/5a0014d70ac24.pdf">http://nrdc.cn/Public/uploads/2017-11-06/5a0014d70ac24.pdf</a>.
- 54. International Energy Agency, "Energy Subsidies Database," October 2020, https://www.iea.org/topics/energy-subsidies.
- 55. G20, "Leaders Statement Pittsburgh Summit," September 25, 2009, http://www.g20.utoronto.ca/2009/2009communique0925.html.
- 56. Heidi Garrett-Peltier, "Green Versus Brown: Comparing the Employment Impacts of Energy Efficiency, Renewable Energy, and Fossil Fuels Using an Input-Output Model," Economic Modelling 61 (February 1, 2017): 439–47, <a href="https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.11.012">https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.11.012</a>.
- 57. Tsinghua University and United Nations Environmental Programme, "Synergizing Action on the Environment and Climate: Good Practice in China and Around the Globe," 2019, <a href="https://ccacoalition.org/en/resources/synergizing-action-environment-and-climate-good-practice-china-and-around-globe">https://ccacoalition.org/en/resources/synergizing-action-environment-and-climate-good-practice-china-and-around-globe</a>.
- 58. Xinyu Liang et al., "Air Quality and Health Benefits from Fleet Electrification in China," Nature Sustainability 2, no. 10 (October 2019): 962–71, <a href="https://doi.org/10.1038/s41893-019-0398-8">https://doi.org/10.1038/s41893-019-0398-8</a>.
- 59. State Environmental Protection Agency and World Bank, "Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages," 2006.
- 60. Lawrence Goulder et al., "China's Unconventional Nationwide Carbon Dioxide Emissions Trading System: The Wide-Ranging Impacts of an Implicit Output Subsidy" (Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, December 2019), https://doi.org/10.3386/w26537.
- 61. Mingwei Li et al., "Air Quality Co-Benefits of Carbon Pricing in China," Nature Climate Change 8, no. 5 (May 2018): 398–403, https://doi.org/10.1038/s41558-018-0139-4.
- 62. Dongquan He et al., "Energy Use of, and CO2 Emissions from China's Urban Passenger Transportation Sector Carbon Mitigation Scenarios upon the Transportation Mode Choices," Transportation Research Part A: Policy and Practice 53 (July 1, 2013): 53–67, <a href="https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.06.004">https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.06.004</a>.
- 63. Creutzig and He, "Climate Change Mitigation and Co-Benefits of Feasible Transport Demand Policies in Beijing."
- 64. Sun Sheng Han, Ray Green, and Wang, Mike Y., Towards Low Carbon Cities in China: Urban Form and Greenhouse Gas Emissions (Routledge, 2016), https://www.routledge.com/Towards-Low-Carbon-Cities-in-China-Urban-Form-and-Greenhouse-Gas-Emissions/Han-Green-Wang/p/book/9781138687141.
- 65. Institute for Transportation and Development Policy, "Urban Development Best Practice in the Pearl River Delta," 2012, http://www.itdp-china.org/media/publications/PDFs/BestPracticesinUrbanDevelopmentinthePearlRiverDelta.pdf.

- 66. Calthorpe Associates, China Sustainable Transportation Center, and Glumac, Emerarld Cities: Planning for Green and Smart China (China Architecture & Building Press, 2017), <a href="https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lccp-20171214/Emerald-Cities-Book English Final Version.pdf">https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lccp-20171214/Emerald-Cities-Book English Final Version.pdf</a>.
- 67. Xiaozhe Ma and Zheng Wang, "Research Progress on the Impact of Land Use Change on Regional Carbon 来源 s and Sinks," Acta Ecologica Sinica 35, no. 17 (2015): 5898–5907.
- 68. Mikael Karlsson, Eva Alfredsson, and Nils Westling, "Climate Policy Co-Benefits: A Review," Climate Policy 20, no. 3 (March 15, 2020): 292–316, https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1724070.
- 69. Xiang Niu et al., "Economical Assessment of Forest Ecosystem Services in China: Characteristics and Implications," Ecological Complexity 11 (September 1, 2012): 1–11, <a href="https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2012.01.001">https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2012.01.001</a>.
- 70. "Exploiting Co-Benefits of Increased Rice Production and Reduced Greenhouse Gas Emission through Optimized Crop and Soil Management," accessed October 15, 2020, https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0140023.
- 71. S. Y. Kwon et al., "Present and Future Mercury Concentrations in Chinese Rice: Insights From Modeling," Global Biogeochemical Cycles 32, no. 3 (2018): 437–62, <a href="https://doi.org/10.1002/2017GB005824">https://doi.org/10.1002/2017GB005824</a>.
- 72. Li Ying, "Develop a High Proportion of Renewable Energy to Ensure China's Long-Term Energy Security," China Energy Network, January 6, 2020, <a href="https://www.china5e.com/news/news-1080107-1.html">https://www.china5e.com/news/news-1080107-1.html</a>.
- 73. Wu Yixiu, "Is Coal Power Winning the US-China Trade War?," China Dialogue, November 12, 2019, https://chinadialogue.net/en/energy/11642-is-coal-power-winning-the-us-china-trade-war/.
- 74. U.S. Energy Information Administration (EIA), "China's Crude Oil Imports Surpassed 10 Million Barrels per Day in 2019," Today in Energy (blog), March 23, 2020, https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=43216.
- 75. British Petroleum, "Statistical Review of World Energy," 2019, https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html.
- 76. Chen Aizhu, and Muyu Xu, "China on Course for Record LNG Imports as Industries Recover, Expand," Reuters, September 25, 2020, <a href="https://www.reuters.com/article/us-china-gas-demand-winter-idUSKCN26G0WI">https://www.reuters.com/article/us-china-gas-demand-winter-idUSKCN26G0WI</a>.
- 77. Naomi Oreskes, Michael Oppenheimer, and Dale Jamieson, "Scientists Have Been Underestimating the Pace of Climate Change," Scientific American Blog Network, accessed October 18, 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/scientists-have-been-underestimating-the-pace-of-climate-change/.
- 78. Ruth DeFries et al., "The Missing Economic Risks in Assessments of Climate Change Impacts" (The London School of Economics, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, September 20, 2019), https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/the-missing-economic-risks-in-assessments-of-climate-change-impacts/.
- 79. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Forest Resources Assessment 2015: How Are the World's Forests Changing?, 2016.
- 80. Ma and Wang, "Research Progress on the Impact of Land Use Change on Regional Carbon Resources and Sinks."
- 81. Sarah E. Baker, "Getting to Neutral" (Lawrence Livermore National Laboratory, January 2020), https://www-gs.llnl.gov/content/assets/docs/energy/Getting\_to\_Neutral.pdf.
- 82. Tianjie Ma, "Researchers Unveil Roadmap for a Carbon Neutral China by 2060," China Dialogue, October 13, 2020, https://chinadialogue.net/en/climate/researchers-unveil-roadmap-for-a-carbon-neutral-china-by-2060/
- 83. Xiliang Zhang et al., "Emissions Trading Systems for Global Low Carbon Energy and Economic Transformation," Applied Energy 279 (December 1, 2020): 115858, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115858.
- 84. John Larsen and Noah Kaufman, "Expanding the Reach of a Carbon Tax: Emissions Impacts of Pricing with Additional Climate Actions" (Rhodium Group & Center on Global Energy Policy at Columbia University, October 2020), <a href="https://rhg.com/wp-content/uploads/2020/10/Expanding-the-Reach-of-a-Carbon-Tax-Emissions-Impacts-of-Pricing-Combined-with-Additional-Climate-Actions.pdf">https://rhg.com/wp-content/uploads/2020/10/Expanding-the-Reach-of-a-Carbon-Tax-Emissions-Impacts-of-Pricing-Combined-with-Additional-Climate-Actions.pdf</a>.
- 85. Daniel Rosenbloom et al., "Opinion: Why Carbon Pricing Is Not Sufficient to Mitigate Climate Change—and How 'Sustainability Transition Policy' Can Help," Proceedings of the National Academy of Sciences 117, no. 16 (April 21, 2020): 8664–68, https://doi.org/10.1073/pnas.2004093117.
- 86. Kelly Sims Gallagher et al., "Assessing the Policy Gaps for Achieving China's Climate Targets in the Paris Agreement," Nature Communications 10 (March 26, 2019), <a href="https://doi.org/10.1038/s41467-019-09159-0">https://doi.org/10.1038/s41467-019-09159-0</a>.
- 87. Yang Wang, "China's Economy Is Recovering Quickly, as Are Its Carbon Emissions," China Dialogue, August 11, 2020, https://chinadialogue.net/en/climate/chinas-economy-is-recovering-quickly-as-are-its-carbon-emissions/.

- 88. Network for Greening the Financial System, "Environmental Risk Analysis," September 2020, http://www.greenfinance.org.cn/displaynews.php?id=2996.
- 89. Han Xue, "Interview with Ma Jun," China Dialogue, October 24, 2020, https://chinadialogue.net/en/energy/10166-ma-jun-europe-and-china-have-different-priorities-on-green-finance/.
- 90. Climate Bonds Initiative, "China Green Bond Market 2018," February 2019, https://www.climatebonds.net/files/reports/china-sotm\_cbi\_ccdc\_final\_en260219.pdf.
- 91. Ma Jun, "Greening the Belt and Road Is Essential to Our Climate's Future," World Economic Forum, September 2019, https://www.weforum.org/agenda/2019/07/belt-and-road-climate-future-change-green/.
- 92. Lili Pike, "Belt and Road Countries Will Make or Break the Paris Agreement," China Dialogue, September 10, 2019, <a href="https://chinadialogue.net/en/energy/11509-belt-and-road-countries-will-make-or-break-the-paris-agreement/">https://chinadialogue.net/en/energy/11509-belt-and-road-countries-will-make-or-break-the-paris-agreement/</a>.
- 93. California Energy Commission, "Tracking Progress: Renewable Electricity" (California Energy Commission, November 2020), https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-12/renewable appendix ADA.pdf.
- 94. German Federal Grid Agency (Bundesnetzagentur), "Key Figures for Electricity Supply Interruptions," Data and documentation, November 2020, <a href="https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen Institutionen/Versorgungssicher-heit/Versorgungsunterbrechungen/Auswertung Strom/Versorgungsunterbrech Strom node.html">https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen Institutionen/Versorgungssicher heit/Versorgungsunterbrechungen/Auswertung Strom/Versorgungsunterbrech Strom node.html</a>.
- 95. Council of European Energy Regulators, "Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply," July 2018, https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c.
- 96. "Number of Employee: Coal Mining & Dressing," CEIC Data, November 14, 2020, https://www.ceicdata.com/en/china/no-of-employee-by-industry-monthly/no-of-employee-coal-mining--dressing.
- 97. Gang He et al., "Enabling a Rapid and Just Transition Away from Coal in China," One Earth 3, no. 2 (August 21, 2020): 187–94, https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.012.
- 98. Harvey, Hal, Robbie Orvis, Jeffrey Rissman, Designing Climate Solutions: A Policy Guide for Low-Carbon Energy (Island Press, 2018), https://islandpress.org/books/designing-climate-solutions.
- 99. Debra Kahn and Patterson Clark, "What You Need to Know About Cap-and-Trade in California," Politico Pro, October 8, 2020.
- 100. Climate Action Tracker, "Warming Projections Global Update September 2020," September 2020, <a href="https://climateactiontracker.org/documents/790/CAT\_2020-09-23\_Briefing\_GlobalUpdate\_Sept2020.pdf">https://climateactiontracker.org/documents/790/CAT\_2020-09-23\_Briefing\_GlobalUpdate\_Sept2020.pdf</a>.
- 101. "Electric Cars Exports by Country," World's Top Exports, October 24, 2020, <a href="http://www.worldstopexports.com/electric-cars-exports-by-country/">http://www.worldstopexports.com/electric-cars-exports-by-country/</a>.
- 102. Chris Busch, "Why Electric Vehicles Will Likely Emerge as California's Top Manufacturing Export in 2020," Forbes (blog), September 30, 2020, <a href="https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2020/09/30/why-electric-vehicles-will-likely-emerge-as-californias-top-manufacturing-export-in-2020/">https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2020/09/30/why-electric-vehicles-will-likely-emerge-as-californias-top-manufacturing-export-in-2020/</a>