



EEIST



制定能源转型政策的 十项原则

经验教训

作者： LAURA DIAZ ANADON^{*}, ALED JONES^{*}, CRISTINA PEÑASCO^{*}, SIMON SHARPE[#], MICHAEL GRUBB[#], SANCHIT AGGARWAL[†], NELSON HENRIQUE BARBOSA FILHO[†], RAKTIMAVA BOSE[†], ANDREA CABELLO[†], SASWATA CHAUDHURY[†], PAUL DRUMMOND[†], DOYNE FARMER[†], CHRIS FOULDS[†], DANIELA FREDDO[†], CAMERON HEPBURN[†], VIDHU KAPUR[†], JIANG KEJUN[†], AILEEN LAM[†], JEAN-FRANCOIS MERCURE[†], LÚCIA HELENA MICHELS FREITAS[†], SARAH ROYSTON[†], PABLO SALAS[†], JORGE VIÑUALES[†], SONGLI ZHU[†]

主要作者（按字母顺序排列），^{}主要贡献者，[†]其他贡献者（按字母顺序排列）

执行摘要

实现《巴黎协定》的目标，需要在全球范围内迅速改变能源和土地使用系统。在2021年11月举办的第二十六次《联合国气候变化框架公约》缔约方会议（COP26）上达成了《格拉斯哥气候公约》，不仅重申了将全球平均气温升高控制在2摄氏度以内、“实现1.5摄氏度温控目标”以及加强韧性的承诺，还强调了通过国家自主贡献（NDC）兑现额外政府承诺和行动的重要性。本次会议发起的《突破议程》得到了40多个国家的支持，旨在2030年之前使清洁技术成为各个污染最严重的行业中最能负担、最易获得和最具吸引力的选择，从而加快实现《巴黎协定》的目标。

以公正的方式实现所有能源消费部门的结构转变，需要在全世界多个政策领域和层面采取更有力、更协调的政策应对措施。必须加强与民间社会、企业、青年、劳工、媒体、原住民和当地社区的接触。¹正确实施旨在加快能源转型的政策，可以释放大量机会，包括新产业、净创造就业、宜居城市、积极的健康影响以及同时应对正义和贫困挑战的机会。

鉴于现行能源转型的规模、速度和相互依赖性，该行动将要求各国政府应用一套全新的工具和原则，以支持决策和评估。政府使用的许多经济原则、模型和决策工具都是为应对“边际”或渐进式变革而设计的，在这种情况下，技术、市场和其他经济结构相对稳定。当政策的目标和背景囊括广泛创新和结构变革时，如能源转型，就需要使用不同的工具。

本报告概述的《制定能源转型政策的十项原则》是从过去三十年收集的丰富经验和分析中得来，政策促进了清洁能源技术的快速创新和增长。我们提出了五项互补性“政策设计”原则，以及五项涉及如何比较政策选择和做出决策的“政策评估”原则。下表对上述原则和“传统原则”进行了总结，“传统原则”是对原则的概括，用于指导某些边际变化情况下的政策制定。在描述每一项原则时，我们概述了这些传统原则在其适当领域的用途，指出其局限性，并解释了用《十项原则》对其进行补充的必要性。

简介

EEIST项目对前沿的能源创新分析进行研究，以支持政府关于低碳创新和技术变革的决策。

本项目与巴西、中国、印度、英国和欧盟的政策制定者和利益攸关方进行接触，旨在为新兴国家的经济发展做出贡献，支持全球可持续发展。

EEIST项目由埃克塞特大学牵头，汇集了来自巴西、中国、英国和欧盟的世界领先研究机构的国际团队。

参与机构包括**英国**：埃克塞特大学、牛津大学、剑桥大学、伦敦大学学院、安格利亚鲁斯金大学、剑桥计量经济学会、气候策略机构；**印度**：能源与资源研究所、世界资源研究所；**中国**：清华大学、能源研究所；**巴西**：里约热内卢联邦大学、巴西利亚大学、坎皮纳斯州立大学；**欧盟**：比萨圣安娜大学。

贡献者

EEIST由英国商业、能源和工业战略部（BEIS）和儿童投资基金（CIFF）通过英国国际发展研究署（UK Aid）共同资助。撰稿作者来自各大机构。完整的机构名单见网站www.eeist.co.uk

本报告的内容仅代表作者个人观点，不代表英国政府、CIFF、作者所属组织或任何赞助机构的观点。

致谢

作者感谢英国商业、能源和工业战略部（BEIS）、儿童投资基金（CIFF）、正交气候基金会（Quadrature Climate Foundation）和创始人誓言（Founders' Pledge）作为EEIST项目赞助商提供的支持。我们还要感谢所有贡献出时间和专业知识来发展和更新本报告中提出的分析、概念和想法并将其出版的人，这包括但不限于：Jacqui Richards、来自EEIST伙伴国家的实践社区的个人、EEIST高级监督小组以及英国政府。

¹ IPCC 6th Assessment Report. Working Group III. (2022). Summary for Policy Makers. www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf



	传统原则	转型原则
1	政策保持“技术中立”	做出技术选择
	在创新和结构变革的背景下，政策几乎总是对某些技术更有利。在支持低碳方向的创新时，最好是有意而非无意地对政策进行选择。一些旨在保持中立的政策可能会偏向维持现状和渐进式变革。	
2	政府干预增加成本	进行投资和监管以降低成本
	设计良好的投资和监管政策可以降低清洁技术的成本，通过为创新创造“需求拉动”，补充研究、开发和示范的“供给推动”，在技术开发、部署和普及中加强“边做边学”的反馈。	
3	市场自身能够以最佳方式管理风险	积极管理风险以挤入投资
	低碳转型涉及许多不确定因素。努力降低清洁技术私人投资的风险，鼓励由公共财政牵头的投资等，可以降低技术风险和融资成本，并大大提高投资率和部署率。	
4	简单设置碳价格水平，内化气候变化的损害	以临界点为目标
	有针对性的干预措施可以激活技术竞争力、消费者偏好、投资者信心或转型的社会支持等方面临界点，让小投入引发大变化。这有助于树立目标，决定补贴和税收水平，以及监管的严格程度。	
5	根据不同的“市场失灵”来单独考虑政策	采取政策组合以改善效果
	我们需要一系列政策来推动每一次低碳转型。由于每项政策的效果取决于与其他政策的互动，因此单独评估某项政策可能会产生误导。将政策作为一个整体进行评估，可以识别具有相互加强效果、产生的效果“大于各部分之和”的政策。	
6	政策应是最佳的	政策具有适应性
	随着时间的推移，各经济体的发展路径不同。在实践中，就公共目标而言，往往很难确定哪一个政策是“最佳的”以及哪一个政策在经济上是“成本最低的”，这意味着可能没有单一的“最佳”政策。鉴于经验教训，政策设计应具有适应性，以便更好应对不可预见的变化、利用机会和管理风险。	
7	只要总收益大于成本，就开始行动	将分配问题放在中心位置
	低碳转型必然涉及经济资源的分配问题，而分配问题应处于政策分析的中心位置，因为这些问题对环境、经济和社会目标至关重要，并可能对转型获得的社会支持产生重大影响。	
8	连接碳市场以使当前成本最小化	开展国际协作扩大清洁技术市场
	各国应进行国际协作，在全球经济体的每个排放行业发展清洁技术市场。这可以加快创新、扩大规模经济效应，加速降低清洁技术成本，造福所有国家。	
9	评估总成本和收益	评估机会和风险
	当不可量化或非常不确定的因素可能占据重要地位时，政策评估应考虑风险和机会，而不仅仅是成本和收益。如果目标是转型变革，政策评估应考虑政策对经济变革过程的影响以及预期效果。	
10	政策模型和评估是中立的	了解偏好
	在经济模型的构建过程中必然面临许多影响其效果的选择，而其中没有“正确”答案。我们应该意识到自己的偏好，透明地做出模型选择，并尽可能地使用一系列而非单一的模型。	

引言

EEIST项目旨在汇集全新经济理解和分析，为《巴黎协定》目标中提出的深度脱碳政策决策提供参考。本项目在第二十六届联合国气候变化大会（COP26）上发布首份报告《创新与转型的新经济学：评估机会和风险》，²分析了证据和理论，以解释传统政策评估方法的局限性和新方法的基本原理。该报告的结论是，尽管（而非因为）存在主流的经济分析和建议，某些政策对于低碳转型取得的最突出成就发挥了关键作用，到目前为止这些政策普遍得到了实施。

本报告在此基础上提出十项原则，为能源转型背景下的政策制定提供参考，我们认为这些原则可以帮助政府在更多时候做出成功的选择。我们称其为“十项原则”或简称为“原则”。这些原则借鉴了学术文献³以及**EEIST**合作伙伴在中国、印度、巴西、欧盟和英国的工作经验和证据。在介绍这些原则时，我们将讨论其中的实证证据，并为每个原则提供一个具体的说明案例，案例覆盖了广泛的地理区域。

我们将逐一介绍并讨论能源转型的十项政策制定原则，并将其与传统经济指导原则（通常源自基于均衡的经济学）进行比较。传统经济指导原则常常假设政策的目标是以最有效的方式进行“边际”变化，特别是在市场已发展成熟的情况下：即在不推动技术和结构根本变革的情况下，对现有体系进行渐进式变革。我们将这种类型的指导原则称为“传统原则”。这些“传统原则”在使用范围、不同时间、部门和国家的实施方式，以及推荐力度（或注意事项）等方面存在很大差异。因此，传统原则具有概括性，经济学教科书则常将其

描述为“理想化”。我们对传统原则进行介绍，以加深理解建议的原则为政策制定带来的新要素。

十项原则并非在所有情况下都要取代传统原则。我们简要讨论了传统原则最初提出的背景，并尽可能地区分二者各自的适用范围。我们还解释了十项原则如何结合过去三十年来世界各地清洁技术部署的最新经验和实证分析，从而在能源转型背景下提供相关的见解。随着越来越多的研究人员和政策分析人员参与相关工作，随着越来越多的证据可用，十项原则可以作为一个良好的出发点。

总体而言，传统的政策评估方法通常是“静态的”，这意味着传统方法通常旨在预测某一特定时间点的政策效果。其中隐含的假设是，这些决定对现有市场和体系的结构影响很小甚至没有影响。通常假设随着时间的推移，世界会发生变化，但发生的变化相对较小，不受政策本身的影响，也不会破坏基本假设。⁴

² Grubb, M., Drummond, P., Mercure, J-F., Hepburn, C., Xiliang, Z., Mathur, R., Ferraz, J.C., Roventini, A., Kelkar, U., Anadon, L.D., Clark, A., Ives, M., Jones, A., Barbrook-Johnson, P., Gao, J., Kolesnikov, S., Lam, A., Ramos, L., Pasqualino, R., Penasco, C., Pollitt, H., Salas, P., Waghray, K., Zhu, S., Sharpe, S., 'The New Economics of Innovation and Transition: Evaluating Opportunities and Risks', EEIST Report to COP26, www.eeist.co.uk/reports; UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy.

³ See e.g. Peñasco, C., Anadon, L.D., Verdolini, E. 'Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments.' *Nature Climate Change* (2021). doi.org/10.1038/s41558-020-00971-x

⁴ Stern, N. (2022). 'A Time for Action on Climate Change and a Time for Change in Economics.' *The Economic Journal*, Volume 132, Issue 644, May 2022, Pages 1259–1289, doi.org/10.1093/ej/ueac005



因此，传统原则更适合于仅针对或预期出现边际变化的情况，例如，现有行业、机构和现有技术的市场份额基本保持不变。

然而，现在有有力证据表明，通过各种促进清洁技术研发、示范和部署的政策来实现脱碳，已经开始导致广泛的全球经济转型。在过去的三十年里，我们目睹了全新的全球产业的诞生，以及不同技术部门之间日益增长的相互依赖性，例如个人交通工具的日益电气化等。越来越多的中长期脱碳最低成本方案可能涉及结构性经济变化。这意味着需要采用其他政策评估方法，即可以考虑结构性变化的方法，以及可以帮助决策者以最大化机会、最小化成本和风险的方式管理转型的方法。传统上，政策评估侧重于在固定市场结构内有效分配现有经济资源。而在新形势下，分配效率的分析需要考虑其他因素，特别是动态效率（政策在一段时间内实现预期变化的效果）以及公平问题。

为了应对能源转型背景下政策界不断变化的需求，本报告总结了国际领先研究人员和实践者团队的工作，归纳了过去三十年来发电和能源消费行业（主要包括电力、交通和建筑行业）脱碳工作的经验教训。我们制定了十项原则，并将其分为两个主题：“政策设计”（原则1-5）和“政策评估”（原则6-10）。前者旨在帮助设计政策，以激励和扩大清洁技术的开发和部署。后者强调需要考虑其他层面、机会和风险，以及政策评估过程本身，以确保尽可能考虑不确定性、机会、本地知识和背景。这必然涉及广泛的利益攸关方的持续

参与，包括弱势和边缘化社区。

虽然这十项原则在理论上可以为各种情况下的政策制定提供参考，但我们注意到，这些原则的设计和实施背景在不同行业和地区之间存在很大差异。因此，具体的设计和执行方法应务实地考虑不同的背景以及制度和政治文化。例如，有必要了解不同地区的执行利益攸关方以及他们如何参与、激励、授权或边缘化相关政策。背景的重要性还体现在涉及创新、脱碳、竞争力和公平性等方面政策变化上，这些政策变化的影响和分配情况因各国公司公有制程度、产业结构和能力差异而有所不同。

我们也强调了金融在这种转型中的重要性和复杂性。在遵循上述原则的同时，我们也看到了改变财政政策和金融监管的重要性，以确保机构投资者和其他投资者将更多资金投入清洁能源技术解决方案。这可能涉及其他经济激励和信号，包括受托责任、资本要求、量化宽松和基金监管的使用。原则没有覆盖能源转型的财政政策或金融监管方面的内容，因为关注重点在于能源政策的必要发展。

本报告研究的证据表明，以适当的方式实施十项原则可以解决在扩大清洁技术投资⁵过程中发现的许多障碍，有助于刷新思维方式，思考在促进快速零碳转型方面什么可行，什么不可行。

第一部分

政策设计原则

推动能源创新和低碳转型的政策，往往超越了传统经济学教科书中最推荐的政策





原则1：

做出技术选择

传统原则：政策保持“技术中立”



概述：在创新和结构变革的背景下，政策几乎总是对某些技术更有利。在支持低碳方向的创新时，最好是有意而非无意地对政策进行选择。一些旨在保持中立的政策可能会偏向维持现状和渐进式变革。



传统原则的合理性

在能源和气候政策领域，人们经常听到政策应该保持“技术中立”的说法。换句话说，广泛的市场激励应该推动技术选择，以确保有效地减少温室气体的排放。⁶这一技术中立的目标经常被援引以说明政策和政府不应“挑选赢家”，而应允许替代技术在假定的公平竞争环境中进行竞争。⁷在表达对个人利益对公共权力的“规制俘虏”的担忧时，也常常援引这一目标。

在适当的情况下，技术中立可以成为一个有力工具，从而推动新想法的萌芽（例如，当研发融资轮对不同技术“开放”时，或当提供某种程度的整体融资时⁸），并促进价格发现、灵活性和竞争（例如，在碳定价的情况下^{9,10}）。此外，一些经典的实证研究表明，在某些情况下，对技术进行挑选可能是出于或导致任人唯亲（偏袒有关系的人担任政府角色或在非竞争性基础上签订合同）或政府失灵¹¹（从经济的角度来说，与理论上的最佳情况相比，政府和市场都可能面临失灵的困境）。



传统原则的局限性

尽管技术中立概念广为流传，但对其的定义和理解往往不够深入。¹²其中一个原因是，根据不同的政策工具、背景和政策目标，技术中立有时被用来解释避免偏袒或“挑选”行业部门、能源系统的组成部分（如运输与电力）、不同的发电技术（如风电与太阳能、陆上风电与海上风电）或特定技术设计（如用于演示的直接空气捕获项目）。换句话说，在某些情况下，“技术”指的是用途，而在某些情况下指的是设备，并且具有不同的颗粒度。因此，很难定义技术中立原则。

技术中立也是一个很难在实践中实现的概念，甚至在某些情况下是不可能实现的。在研发过程中，一个方案可能支持一系列技术，但无法支持一切技术：有些技术必须进行研究，而有些则必须进行开发。我们必须做出选择。不太明显但同样重要的是，特定行业的市场形成政策的效果将对不同的技术产生不同的影响。如果一项政策鼓励使用成本最低的技术实现短期减排，那么该政策往往会鼓励应用相对成熟（因此成本也较低）的清洁技术（该技术也因此能得到进一步发展），而非相对不成熟的技术。

6 Lehman, P., Gawel, E., Korte, K. (2018). Technology Neutrality: A Critical Assessment. *Technology Neutrality in the Context of Transport. Agora Verkehrswende. Helmholtz Centre for Environmental Research*. Available at: www.ufz.de/index.php?en=46374

7 Powell, J. (2011). Why politicians lose so much money trying to pick winners. *Forbes*. October 24. Available at: www.forbes.com/sites/jmpowell/2011/10/24/why-politicians-lose-so-much-money-trying-to-pick-winners/?sh=5ecf4cf742af

8 Anadon, LD, Chan, G, Bin-Nun, A, Narayananamurti, V. (2017). 'The pressing energy innovation challenge of the U.S. national labs.' *Nature Energy* 1: 16117. doi:10.1038/nenergy.2016.117; Chan, G, Goldstein, AP, Bin-Nun, A, Anadon, LD, Narayananamurti, V. (2017) 'Six principles for energy innovation.' *Nature* 552: 25-27; Wang, J, Lee, Y-N, Walsh, J-P. (2018) Funding model and creativity in science: Competitive versus block funding and status contingency effects. *Research Policy* 47(6), 1070-1083.

9 Stavins, R.N. (1998). What Can We Learn from the Grand Policy Experiment? Lessons from SO2 Allowance Trading. *The Journal of Economic Perspectives*. Vol. 12, No. 3 (Summer, 1998), pp. 69-88; Schmalensee, R., Stavins, R.N. (2013). The SO2 Allowance Trading System: The Ironic History of a Grand Policy Experiment. *Journal of Economic Perspectives* (27)1, 103-122.

10 Metcalf, G.E. (2009). Tax Policies for Low-Carbon Technologies. *National Tax Journal*. Vol. 62, No. 3, pp. 519-533.

11 Cohen, L.R., Noll, R. (1991). The Technology Pork Barrel. Brookings Press. Washington D.C., USA. June 1, 1991.

12 Greenberg, B.R. (2016). Rethinking Technology Neutrality. *Minnesota Law Review* 207 (Vol. 100, page 1495.) scholarship.law.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1206&context=mlr

某一政策对不同技术的相对影响不仅因当时这些技术的相对成本而异，还取决于现有基础设施、市场结构和资本成本等因素。

上述因素往往对成熟技术更为有利，因此，看起来设计中立的政策最终可能会歧视新兴或未来的技术，甚至可能会促进或加强现状偏见。¹³特别是在涉及结构变化的情况下，这种倾向于渐进式变革的趋势可能会阻碍关键经济部门实现气候变化目标所需的快速技术发展和成本削减。



原则1的依据

由于政策无法避免在技术投入中厚此薄彼，政策制定者就必须有意或无意地在技术之间做出选择。现有技术往往受益于现有网络、信息不对称和制度锁定，¹⁴这些因素通常会加强现有技术的主导地位。这种技术和经济发展的路径依赖性意味着，在某一时刻对一种或另一种技术的看起来微不足道的选择，可能在更长的时期内产生巨大的影响。我们认为，有意选择比无意选择更可取，并建议，虽然无法消除不确定性，但可以根据以往的经验合理地做出有意选择。

有证据表明，目前在全球范围内，有些国家使用了并非旨在保持技术中立的政策工具，在降低关键能源技术成本和增加关键能源技术部署方面取得了巨大进展（往往是意料之外的进展¹⁵），尤其是在促进技术早期部署和市场增长的激励措施和监管法规方面。¹⁶

具体来说，在太阳能光伏、陆上风电和海上风电、聚光太阳能和电动汽车用锂离子电池等领域的快速技术进步，并不是由一般的研发投入和碳定价推动的，而是由“一揽子创新政策”推动的。这些政策降低了成本，支持了技术的采用，¹⁷其中涉及许多国家政府几十年来经过深思熟虑做出的大量技术选择。这些政策包括需求拉动政策，如能效标准、可再生能源组合或燃料标准、上网电价和拍卖，以及研发（包括定向研发和不定向研发）和示范支持。

太阳能光伏的历史是个经典的案例，能够很好地诠释各国实施不同政策来“挑选”太阳能光伏的过程，包括研发和采购（美国）、住宅部署的利基市场补贴（日本）、上网电价（德国）以及通过补贴进一步扩大规模（中国），促使太阳能光伏的成本自60年前商业化以来下降了1万多倍。¹⁸归根结底，尽管太阳能每单位能源的初始成本很高，但仍吸引了大量关注和资源的原因在于其潜力：太阳能是迄今为止世界上能量最大、强度最高、分布最广的清洁能源。¹⁹

还有其他一些原因可以解释为什么随着时间的推移，有意侧重于支持特定技术的政策能够加快创新和扩大成本效益；可以通过边做边学和规模经济来降低实验、生产和安装成本（见原则2）；可以将边做边学的过程理解为一种正外部性（部署技术的公司并未充分利用经验带来的益处^{20,21}），也可以理解为一种强化反馈：做得越多，我们就能学着做得更好；这从而导致了更多的需求和生产。

¹³ Ibid.

¹⁴ Hepburn, C. Stern, N., Stiglitz, J. E. (2020). Carbon pricing. European Economic Review, 127, 103440.

¹⁵ Meng, J., Way, R., Verdolini, E., Anadon, L.D. (2021) Comparing expert elicitation and model-based probabilistic technology cost forecasts for the energy transition. PNAS 118(27). doi.org/10.1073/pnas.1917165118

¹⁶ Peñasco, C., Anadon, L.D., Verdolini, E. (2021) 'Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments.' *Nature Climate Change*. doi.org/10.1038/s41558-020-00971-x

¹⁷ IPCC. (2022). Intergovernmental Panel on Climate Change 6th Assessment Report Working Group III on Mitigating Climate Change. Summary for Policy Makers. B.4. Also, Chapter 16. report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf

¹⁸ Nemet, G.F. (2019). How solar became cheap. *Routledge*. London and New York.

¹⁹ Hopmann, J., Anadon, L.D., Narayananmurti, V. 'Why matter matters: how technology characteristics shape the strategic framing of technologies.' *Research Policy* (2020) 49:1, 103882. doi: doi.org/10.1016/j.respol.2019.103882

²⁰ Thompson, P. 2010. Learning by doing. *Handbook of the Economics of Innovation* 1(10):429-476.;

²¹ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *The Power of Change: Innovation for Development and Deployment of Increasingly Clean Electric Power Technologies*. Washington, DC: The National Academies Press. doi.org/10.17226/21712

某些形式的可再生能源和乘用电动汽车电池的单位成本已经下降，使用量继续上升。

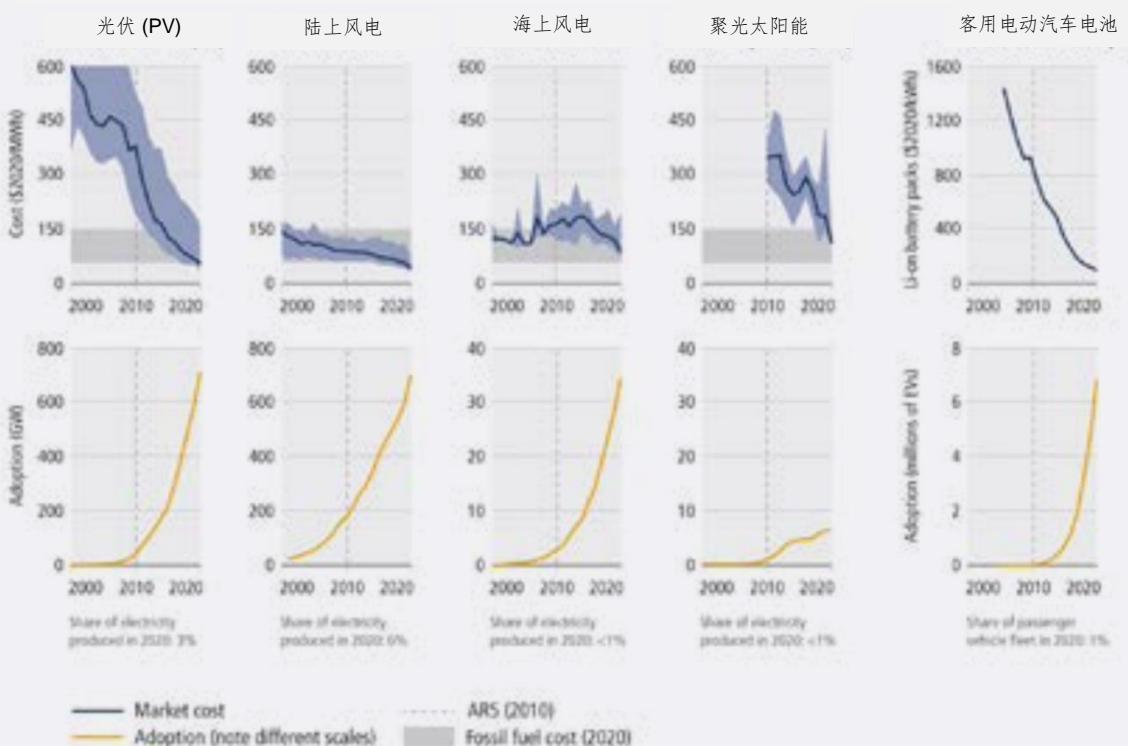


图1. 快速变化的减缓技术的单位成本的降低和使用。第一行显示了一些快速变化的减缓技术的单位能源的全球成本（美元/兆瓦时）。蓝色实线表示每年的平均单位成本。浅蓝色阴影区域表示每年第5到第95个百分位之间的范围。灰色阴影表示2020年用新化石燃料（煤和天然气）发电的单位成本范围（相当于每兆瓦时55-148美元）。2020年，四种可再生能源技术的平准化度电成本（LCOE）在许多地方都可以与化石燃料竞争。电池所示成本为1千瓦时电池存储容量所需成本；其他项目成本为LCOE，包括每兆瓦时发电的安装、资本、运营和维护成本。文献中使用了LCOE，因为它可以对各种能源技术的成本趋势进行一致的比较。然而，LCOE不包括并网成本或气候影响成本。此外，LCOE没有考虑其他环境和社会外部因素，这些外部因素可能会改变技术的总体（货币和非货币）成本并改变其部署。第二行显示了每种技术的全球累计采用量，以可再生能源装机容量吉瓦（GW）为单位，纯电动汽车的装机容量为百万辆。在2010年绘制了一条垂直的虚线，表示自AR5以来的变化。根据初步数据，即（光伏、陆上风电、海上风电、聚光太阳能）占总发电量和（电动汽车）占乘用车总量的百分比，指出了2020年发电量占比和乘用车占比。电力生产占比反映了不同的容量因子。例如，对于相同的装机容量，风力发电通常是太阳能光伏发电的两倍。在固态照明中也出现了类似的快速成本降低。²²资料来源：IPCC SPM3数据。²³

22 Weinold, M., Kolesnikov, S., Anadon, L.D. 'Quantifying the impact of performance improvements and cost reductions from 20 years of light emitting diode manufacturing.' *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics (SPIE). Light-Emitting Devices, Materials, and Applications XXV* (2021): 1170611.

23 IPCC (2022). Intergovernmental Panel on Climate Change. 6th Assessment Report, Working Group III on Mitigating Climate Change. Summary for Policy Makers. Available at: www.ipcc.ch/report/ar6/wg3

从经济角度来看，边做边学可以为参与制造和/或安装的公司以外的公司和行为者带来好处，因此能产生“溢出效应”。规模经济²⁴也可以产生强化反馈：生产单位规模越大，每个单位的成本就越低；这往往会增加需求，刺激更多的生产。针对具体技术的政策可以直接加强这些强化反馈，使政策产生自我放大效应，让某些技术随着时间的推移取得显著的技术进步。相比之下，“技术中立”政策在某些情况下可能只能激励现有化石燃料系统更有效地运行，而强化反馈并未得到加强。

此外，当研发的“技术推动”和创造市场政策的“需求拉动”相一致时，创新、改进和成本降低可能会随着时间的推移而得到最强有力的支持。有意识的技术选择可以帮助两者的结合。

正如关于英国风力发电的案例研究¹所示，创新和降低成本能产生很大的公共利益，确实开辟了陆上风电和太阳能以及后来的海上风电等国家重大新资源，这些都是通过制定具体的技术部署政策实现的。

简而言之，必须做出技术选择。技术选择的必要程度在很大程度上（但不仅仅是）取决于对边做边学、规模经济和融资成本的期望。特定行业脱碳的首选政策工具应取决于可用技术的数量和成本、行业结构、可用的信息和资金以及国家背景。例如，如果一个市场中有多种替代技术，价格可以与现有技术竞争，技术中立的规定或碳价格可能足以刺激市场上的技术开发和部署。相反，在替代品很少且价格昂贵的经济领域，碳价格的效力可能有限，需要具体的示范和/或适合特定行业和国家情况的定向需求拉动，才能将新技术推向市场。

为了在目前去碳难度大的领域或行业取得进展，需要大量的投资、融资和政策关注，这意味着可以和应该“选择”的技术、行业或任务的数量也有实际限制。特别是在部署时，选择哪些仍然昂贵的技术以支持尽早采用是很重要的。因此，设计政策的一个关键标准是，哪些技术有望取得快速进展，并在累积投资下具有竞争力。研究表明，迄今为止，未来成本轨迹的最佳预测者不是模型或专家，而是以前的成本轨迹。^{25,26}也有一些新的证据表明，与核能等更庞大的定制技术相比，颗粒度更细或模块化的技术（如图1所示）的成本下降（或学习率）更快。²⁷更有力的证据表明，应利用以前的成本降低，特别是在早期技术商业化之后发生的成本降低，来了解考虑了不确定性的未来成本。

当决定以经济刺激来支持某项特定技术时，应设计方案以确保一旦实现目标就可以轻松取消该经济支持，从而避免技术在较长时期内被过度锁定，或受到国家控制及规制俘虏。（原则⁶将进一步探讨这一点。）

总之，技术选择及优先顺序必须是战略性的、透明的、可问责的和适应性强的（见原则⁶）。在可能的情况下，可以有效地利用投资组合方法²⁸以及政策组合（原则⁵）。战略选择是针对那些需要重大技术飞跃的大量排放源。这些排放源在技术性能或成本方面的失败风险巨大，企业不太可能在没有公共部门干预的情况下对其进行投资。可以根据原则⁹来确定某领域是否具有上述特征，相关领域可能包括绿氢、净零钢铁和水泥生产、长期可调度电力以及净零航空和航运。适应性很重要，既有利于以低成本高效益的方式促进创新，也有利于降低不均衡分配影响的风险（见原则⁷）。

²⁴ Gillingham, K., and J. Sweeney. 2010. Market failure and the structure of externalities. In *Harnessing renewable energy in electric power systems: Theory, practice, policy*, edited by B. Moseley, J. Padilla, and R. Schmalensee. Washington, DC: RFF Press. Pp. 69–91.

²⁵ Farmer, J.D., Lafond, F.(2016). How Predictable Is Technological Progress? *Research Policy* 45, 647 – 655

²⁶ Meng, J.Way, R, Verdolini, E, Anadon, LD.(2021) Comparing expert elicitation and model-based probabilistic technology cost forecasts for the energy transition. *PNAS* 118(27), doi.org/10.1073/pnas.1917165118

²⁷ Wilson et al. (2019). ‘Granular technologies to accelerate decarbonization.’ *Science* 368(6486):36-39.; Meng, J.Way, R, Verdolini, E, Anadon, LD. (2021) Comparing expert elicitation and model-based probabilistic technology cost forecasts for the energy transition. *PNAS* 118(27). <https://doi.org/10.1073/pnas.1917165118>; Malhotra,A., Schmidt,T.S.(2020). ‘Accelerating Low-Carbon Innovation’. *Joule* 4(11):2259-2267.

²⁸ Way, R, Lafond, F,Lillo, F,Panchenkov,V, Farmer, D.(2019). Wright meets Markowitz: How standard portfolio theory changes when assets are technologies following experience curves. *Journal of Economic Dynamics and Control* 101:211-238.



案例研究 1: 英国海上风力发电

[主要总结自^{29,30,31}]

鉴于北海的资源潜力和英国工业的海上工程能力，海上风电长期以来为英国国内能源发展提供了契机。然而，直到2008年，早期试验发电的成本约为170英镑/兆瓦时，比现有技术产生的电力成本高出许多倍。³²

2002年，为了实现到2010年10%电力来自可再生能源的目标，英国政府推出了可再生能源义务（RO）机制，这是一种绿色证书交易机制，在电力的市场价格之外提供补贴。该机制最初是技术中立的（即对可再生发电机产生的每单位电力颁发一份证书），结果是有利于建设成熟的、成本最低的技术（主要是陆上风能），可能会导致过度补贴的情况出现，同时也无法激励对风险更高、成本更高的海上风电项目进行投资。³³

为了解决这一问题，英国政府在2009年开始实行技术“分级”。通过这种方式，给不同成熟度的技术颁发不同数量的证书，从而提供差异化的补贴。这使得对海上风能等不成熟技术的支持水平翻了一番，降低了对最成熟技术的支持水平。两项扶持政策对此提供了有力支持：（1）海上风力加速器（由政府支持的英国碳信托公司开发和管理），汇集了九家领先的海上风电开发商，以加速商业化和降低成本；（2）英国皇家财产局对海床空间使用权的拍卖，该空间可支持超过32吉瓦的海上容量。RO机制对海上风电稳定且丰厚的补贴为开发者提供了实验和开发的空间，形成了边做边学模式、降低了供应链（包括金融行业）的成本。

2013年，固定价格差价合约（CfDs）取代RO机制。合约吸取了RO机制的经验教训，将新可再生能源产能根据成熟度水平分为不同的技术“罐”，对广泛的技术给予支持，而不仅仅是支持那些成本已经相对较低的技术。

在最初慷慨的政府协商分配后，其规模吸引了外国投资进入英国的风力涡轮机制造中心。英国政府随后转向竞争性拍卖，在2015年的拍卖中产生了120英镑/兆瓦时和114英镑/兆瓦时的“执行价”（固定收入），2017年为75英镑/兆瓦时和58英镑/兆瓦时，2019年为42英镑/兆瓦时，2022年为37英镑/兆瓦时（均按2012年价格）——在不到十年内成本下降超过三分之二（见图2）。这是通过在安装和调试过程中大幅降低成本以及平衡工厂和涡轮机成本实现的，其次还通过边做边学和规模经济降低了运营、维护和开发成本。其结果是，在RO机制下引入技术“分级”（本质上是“选择海上风电”），仅仅十年后，海上风电成本就可以与化石燃料发电竞争，现在被认定为无补贴一级。

在2022年初的最新一次拍卖中，新的海上风电合同价格仅为37英镑/兆瓦时（2012年价格），将于2026年³⁴开始发电，这一价格不到合同签订时批发市场可用电价的四分之一。根据差价合约，这意味着发电商最终将向电力消费者返还可观的收入，如果目前的电价维持下去，海上风电将基本处于“负补贴”状态。如果可再生能源支持政策保持技术中立，这一状态将无法实现。

29 Grubb et al. (2021) The New Economics of Innovation and Transition: evaluating opportunities and risks. EEI Report. November 2021. eeist.co.uk/eeist-reports. Wind Energy in the UK and Brazil Annex.

30 Carbon Trust (2006) 'Policy Frameworks for Renewables'. The Carbon Trust. Page 3. Available on: www.carbontrust.com/resources/policy-frameworks-for-renewables Accessed on July 5, 2022.

31 Jennings, T., Tipper, H.A., Daglish, J., Grubb, M., Drummond, P. (2020) Policy, innovation and cost reduction in UK offshore wind, The Carbon Trust, London

32 Grubb et al. (2021) The new economics of innovation and transition: evaluating opportunities and risks. EEI Report. November 2021. eeist.co.uk/eeist-reports

33 Carbon Trust (2006) 'Policy Frameworks for Renewables'. The Carbon Trust. Page 3. Available on: www.carbontrust.com/resources/policy-frameworks-for-renewables Accessed on July 5, 2022.

34 assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1088875/contracts-for-difference-allocation-round-4-results.pdf

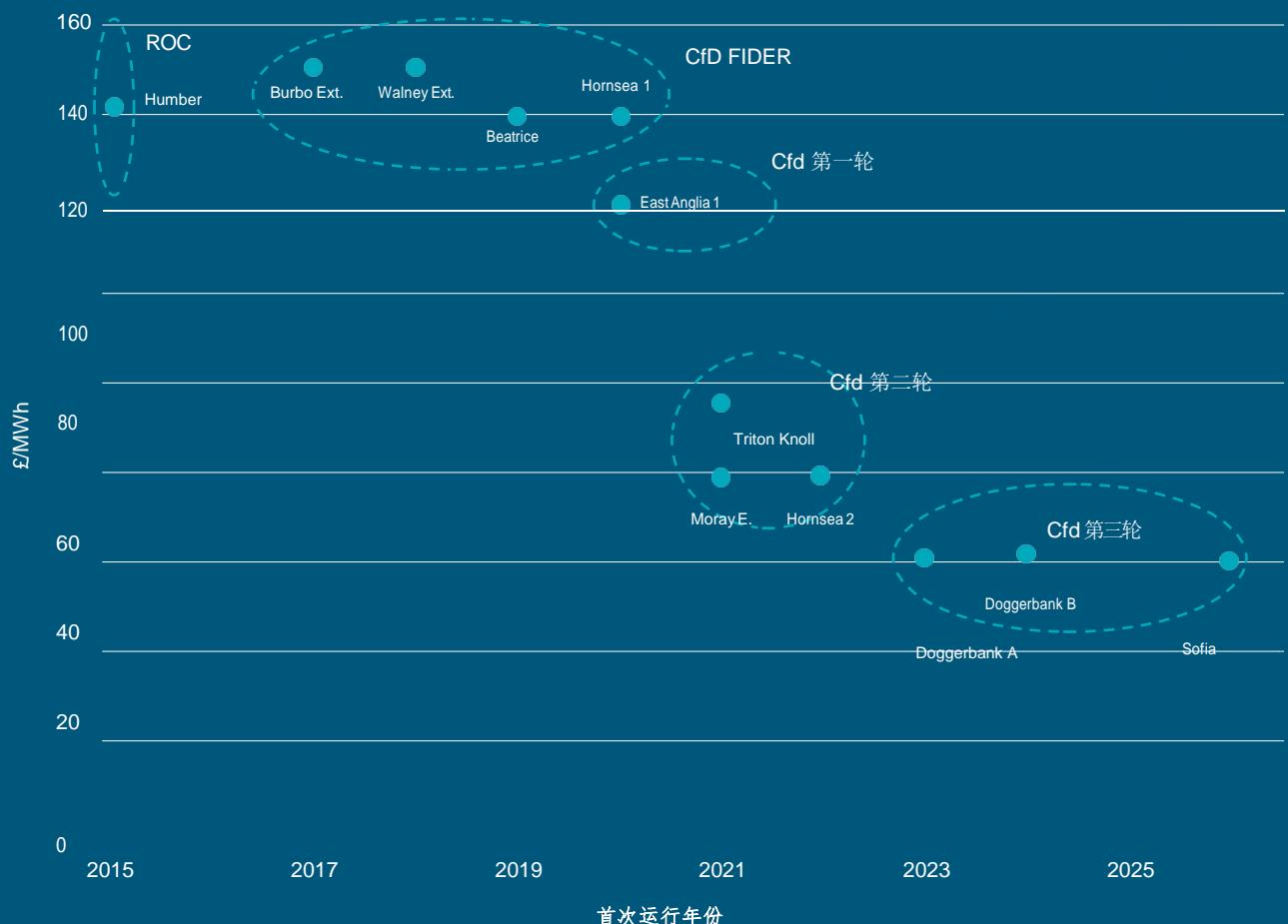


图2. 英国海上风电价格和成本的发展情况。“执行价”（按2012年价格）是在CfD FIDER轮（2013年的预定义价格）、第1轮拍卖（2015年举行）、第2轮拍卖（2017年举行）和第3轮拍卖（2019年举行）中给予海上风电的最低价格。ROC（可再生能源义务证书）是RO机制下补贴的估算值。（资料来源：³⁵）

³⁵ Jennings, T., Tipper, H.A., Daglish, J., Grubb, M., Drummond, P. (2020) Policy, innovation and cost reduction in UK offshore wind, The Carbon Trust, London



原则2：

进行投资和监管以降低成本

传统原则：政府干预增加成本



概述：设计良好的投资和监管政策可以降低清洁技术的成本，通过为创新创造“需求拉动”，补充研究、开发和示范的“供给推动”，在技术开发、部署和普及中加强“边做边学”的反馈。



传统原则的合理性

为特定技术提供激励或监管措施有时被描述为或被视为“低效”，因为这种方法扭曲了市场更有效的资本配置。

这一论点的理论基础是，在均衡状态下，市场可以确保经济资源的最佳配置。从定义上讲，任何政策干预都必然导致不利的资源配置，除非是专门针对市场失灵情况的政策。该论点更实际的基础在于，从长远来看，竞争可以通过提高企业效率和创新激励，带来高生产率、经济增长以及日益繁荣。³⁶该论点还隐含地假设监管或激励措施能够减少竞争和“有效”配置。根据一些政策和具体国家的经验分析，在短期内，财政或监管政策通常会导致某些特定成本的增加。例如，一项研究表明，在1968年至1994年期间，美国联邦研发资金（主要用于国防）迅速增长，带动科学家的工资大幅增加。³⁷另一项研究表明，与没有此类规定的类似项目相比，印度为期三年的太阳能光伏本地含量规定促使了技术成本的短期增长，虽然在技术部署期间，无论有无本地含量要求，技术拍卖的成本都在下降。³⁸



传统原则的局限性

认为政府干预会增加成本的假设实际上并不能反映社会目标（或所有成本、收益、风险和机会），也不能反映技术随时间变化的动态发展或市场的现实情况。众所周知，由于各种外部因素，包括边做边学、信息问题和市场力量，市场本身无法提供公共产品（如国防或能源安全³⁹），也不能一直有效运作。⁴⁰

从根本上来说，“经济资源的最优配置”是一个静态的概念。一个经济体在不同时期有许多不同的发展道路，数量超过了能实际探索的道路，并且没有一条道路能够称为“最优”。随着时间的推移，经济经历了持续的技术和结构变化。今天的大多数工作岗位在1940年并不存在，⁴¹现在蓬勃发展的许多行业在几十年前也不见踪影。政府干预虽然在短期内往往会产生相关成本，但其形式多样，包括但不限于国家研发资金、采购、定向投资和监管，对创造新的经济部门和增进福祉至关重要。⁴²

36 Aghion, P., Blundell, P., Griffith, R., Howitt, P., Prantl, S. (2009). The Effect of Entry on Incumbent Innovation and Productivity. *Review of Economics and Statistics* 91(1), 20-32.

37 37 Goolsbee, A. (1998). Does Government R&D Policy Mainly Benefit Scientists and Engineers? *American Economic Review* 88 (2): 298–302

38 Probst, B., Anatolitis, V., Kontoleon, A., Anadon, L.D. (2020). The short term costs of local content requirements in the Indian solar auctions. *Nature Energy* doi.org/10.1038/s41560-020-0677-7.

39 Golthau, A. (2012). A public policy perspective on energy security. *International Studies Perspectives* 13, 65-84.

40 OFT. (2009). Government in Markets. UK Office of Fair Trading. Available at: assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/284451/OFT1113.pdf

41 Autor, D., Mindell, D., Reynolds, E. (2020). The Work of the Future. MIT Task Force on the Work of the Future. Available at: workofthefuture.mit.edu/wp-content/uploads/2021/01/2020-Final-Report4.pdf

42 Mazzucato, M. (2013). The Entrepreneurial State. Debunking Public vs. Private Sector Myths. Anthem Press. New York, NY, USA.; Janeway, W. (2012). Doing Capitalism in the Innovation Economy: Markets, Speculation and the State. Cambridge University Press. Cambridge, UK.



原则2的依据

本报告研究的有关脱碳政策的大量数据有力地证明了“需求拉动”政策之间的联系，这些政策塑造了市场，扩大了对清洁技术的需求，包括一些财政激励措施和监管措施，⁴³（如税收优惠、能源组合或效率标准、上网电价、公共采购、总体需求和拍卖），降低了关键清洁能源技术的成本（如太阳能光伏、陆上风电和海上风电、锂离子电池和固态照明）。⁴⁴上一份报告《创新与转型的新经济学：评估机会和风险》强调了这一点。

- 在德国、中国等国家，创造市场的政策，尤其是上网电价和能源组合标准，一直是成本大幅下降的关键，使得太阳能成为“有史以来最便宜的电力”。
- 在印度，公共采购在四年内将高效照明的成本削减了85%，并首次将电力照明引入数百万家庭。
- 在英国，有针对性的补贴使海上风电的成本在十年内降低了约70%，使其成为比天然气更便宜的发电来源（见案例研究1）。

其中大部分政策的财政激励和监管政策在一开始确实提高了系统成本（最明显的是电价），因为它们起初支持的新技术比现有技术更昂贵。但随着时间的推移，这些技术的成本大幅降低。虽然许多单个研究本身并

不能完全孤立具体政策对整体成本降低的影响，但将这些研究作为一个整体来看，它们控制了重要的可能的复合因子，提供了确凿证据表明可以通过边做边学、规模经济和溢出效应来支持大规模技术部署，从而降低技术和行业成本（见巴西陆上风电技术成本降低案例研究2）。

其效果可以在原则1描述的条件下理解：定向投资和监管可以直接强化边做边学和规模经济（即强化反馈），培育新的网络和商业模式，从而加速技术创新、开发、成本降低和普及。为了取得最佳的长期效果，这些政策应该是战略性的（见原则1）、互补性的（原则5）、适应性的（原则6）和公正的（原则7）。

对创新的更广泛研究进一步表明，创新是具有累积性⁴⁵和路径依赖性的。⁴⁶政策在引导发展方向方面发挥着重要作用。如果没有这样的引导，市场可能会过度偏向于维持现状。事实上，对规制俘虏的担忧⁴⁷是对需求拉动政策的常见批评，这也同样适用于有利于化石燃料的现有机构和法规。

正如“传统原则的合理性”所述，支持清洁能源技术的政策被称为“绿色产业政策”，⁴⁸通常（至少）涉及一些短期成本。产业政策是一个复杂的领域，其中既有对政府失灵、俘获和效率的合理担忧，也有关于如何制定恰当政策的经验教训（见参考文献⁴⁹）。

43 广义上，监管可被定义为政府通过惩罚措施来实施规则。这些规则“旨在专门改变私营部门个人和公司的经济行为”，可能涉及价格、产出、回报率、信息披露、特定业绩或其他标准等方面的规定。见⁴³ OECD. (2002). *Glossary of Statistical Terms*. Available at stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=3295

44 Peñasco, C., Anadon, L.D., Verdolini, E. (2021) 'Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments.' *Nature Climate Change*. doi.org/10.1038/s41558-020-00971-x.; Grubb, M., Drummond, P., Poncia, A., McDowall, W., Popp, D., Samadi, S., Peñasco, C., Gillingham, K., Smulders, S., Glachant, M., Hassall, G., Mizuno, E., Rubin, E.S., Dechezleprêtre, A., & Pavan, G. (2021). Induced innovation in energy technologies and systems: a review of evidence and potential implications for CO2 mitigation. *Environmental Research Letters*. iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abde07; Stephan, A., Anadon, L.D., Hoffmann, V.H. (2021). How has external knowledge contributed to lithium-ion batteries for the energy transition? *iScience* doi.org/10.1016/j.isci.2020.101995; and Weinold, M., Kolesnikov, S., Anadon, L.D. (2021) 'Quantifying the impact of performance improvements and cost reductions from 20 years of light emitting diode manufacturing.' *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics (SPIE)*. Light-Emitting Devices, Materials, and Applications XXV 2021: 1170611.

45 Arthur, B. (2007). *The Nature of Technology: What it is and how it evolves*. Simon & Schuster. New York, NY, USA.

46 Unruh, G.C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28(12), 817-830.

47 Dal Bo, E. (2006). Regulatory Capture: A review. *Oxford Review of Economic Policy* 22(2), 203-225.

48 Altenburg, T., Rodrik, D. (2017). 'Chapter 1: Green industrial policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies.' In 'Green Industrial Policy: Concepts, Policies, Country Experiences.' Eds. Altenburg, T., and Assmann, C. Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE). Available at: drodrick.scholar.harvard.edu/files/dani-rodrik/files/altenburg_rodrik_green_industrial_policy_webversion.pdf; Accessed on July 5, 2022.

49 'Green Industrial Policy: Concepts, Policies, Country Experiences.' Eds. Altenburg, T., and Assmann, C. Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE). Available at: drodrick.scholar.harvard.edu/files/dani-rodrik/files/altenburg_rodrik_green_industrial_policy_webversion.pdf; Accessed on July 5, 2022; Grubb, M. (2014). *Planetary Economics*, Section 9.11. Routledge, London.; Rodrik, D. (2014). 'Green Industrial Policy.' *Oxford Economic Review* 30 (3): 469-491

50 Peñasco et al (2021) Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonisation policy instruments, *Nature Climate Change*. 11, 257-265

在某些情况下，有证据表明政策具有“商业盗窃效应”（即投资帮助公司在不提高生产率的情况下获得成功）。在某些情况下，有证据表明脱碳政策对

公司竞争力具有相对较小的短期不利影响。⁵⁰与上述的转型收益相比，这些影响可以忽略不计。

50 Peñasco et al (2021) Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonisation policy instruments, *Nature Climate Change*. 11, 257-265



案例研究2: 巴西的风力涡轮机

[更多背景资料见⁵¹]

1992年，巴西第一台风力涡轮发电机落地费尔南多·迪诺罗尼亚群岛。该项目由巴西风能中心（CBEE）和伯南布哥州电力公司（CELPE）合作开展，由丹麦研究机构北欧再生能源中心（Folkecenter）资助。由于技术成本高，十年后，风力发电厂在巴西的总电力供应中仍然无足轻重。当时（2001年左右），巴西风电的加权平均总装机成本仍高于3300美元/千瓦（按2020年价计）⁵²，平准化度电成本（LCOE）0.097美元/千瓦时（按2020年价计）（见图4）。

2001年，一场严重的干旱导致水力发电厂的发电能力下降，而历史上，水力发电厂的发电量约占巴西总发电量的四分之三。从政策制定者的角度来看，这一干旱时期是转向风力发电的转折点。为了打破这一困境，继2001年电力能源危机管理商会（GCE）设计风能应急预案（Proeólica）失败之后，政府于2002年制定了替代电力能源激励计划（Proinfa）。该计划包括财政和监管措施，旨在增加风能、生物质能和小型水力发电在全国互联系统中的发电份额。⁵³

Proinfa计划于2004年全面投入运营，为三种替代可再生能源签订了电力购买协议（PPA），发电厂从2011年12月开始运营，为期20年。该推广系统以上网电价为基础，价格高于水电厂和热电厂支付的价格，以系统用户支付的额外费用为资金，⁵⁴按可再生能源类型确定电力配额（三种替代能源各1100兆瓦）。

不受发电、输电或配电特许公司控制的独立生产商在该计划中受到优惠待遇，巴西国家经济和社会发展银行（BNDES）提供融资，条件是60%的生产链来自国内制造商。^{55,56}

2000年代的政府干预刺激了基础设施的发展，使陆上风力发电成本在国内具有竞争力。在巴西采用和整合风能的过程中，Proinfa计划和之后的可再生能源专项拍卖的影响尤为显著。2004年，巴西政府启动了电力市场改革的第二阶段，在签订了Proinfa计划的电力购买协议（PPA）之后，要求配电企业通过竞争性拍卖签订长期合同。⁵⁷巴西政府在2009年12月举办了一场风能专场拍卖会，在2010年8月举办了一场替代能源专项拍卖，其中包括风能。这些努力为在项目开发和安装过程中边做边学提供持续支持。2011年8月，风能企业在向多种能源开放的拍卖中赢得了合同，包括天然气、生物质能和水力发电站。从那时起，风电行业在对其他能源开放的能源拍卖中一直保持高度竞争力，部署量超过21吉瓦^{58,59}（见图3）。

以2013年4月的固定价格计算，2004年Proinfa计划的风能价格为182.6美元/兆瓦时，而近十年后，在2013年12月举行的一次拍卖中，价格降至59.5美元/兆瓦时。⁶⁰

⁵¹ Grubb et al. (2021) The New Economics Of Innovation And Transition: Evaluating Opportunities And Risks. EEIST Report. November 2021. eeist.co.uk/eeist-reports. Wind Energy in the UK and Brazil Annex.

⁵² IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

⁵³ Nogueira, L. P.P. (2011). Estado atual e perspectivas futuras para a indústria eólica no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

⁵⁴ Castro, N. & Dantas, G. (2008). Lições do PROINFA e do leilão de fontes alternativas para a inserção da bioeletricidade sucroalcooleira na matriz elétrica Brasileira. In *Congresso Internacional de Bioenergia* (Vol. 30)

⁵⁵ Nogueira, L. P.P. (2011). Estado atual e perspectivas futuras para a indústria eólica no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

⁵⁶ Diniz, T. B. (2018). Expansão da indústria de geração eólica no Brasil: uma análise à luz da Nova Economia das Instituições. *Planejamento e Políticas Públicas*, (50).

⁵⁷ Rosa, et al. (2013). The evolution of Brazilian electricity market. In *Evolution of Global Electricity Markets* (pp. 435–459). Academic Press.

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ Ferreira, A. C., Blasques, L. C. M., & Pinho, J.T. (2014). Avaliações a respeito da evolução das capacidades contratada e instalada e dos custos da energia eólica no Brasil: do PROINFA aos leilões de energia. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 5(1).

⁶⁰ Diniz, T. B. (2018). Expansão da indústria de geração eólica no Brasil: uma análise à luz da Nova Economia das Instituições. *Planejamento e Políticas Públicas*, (50).

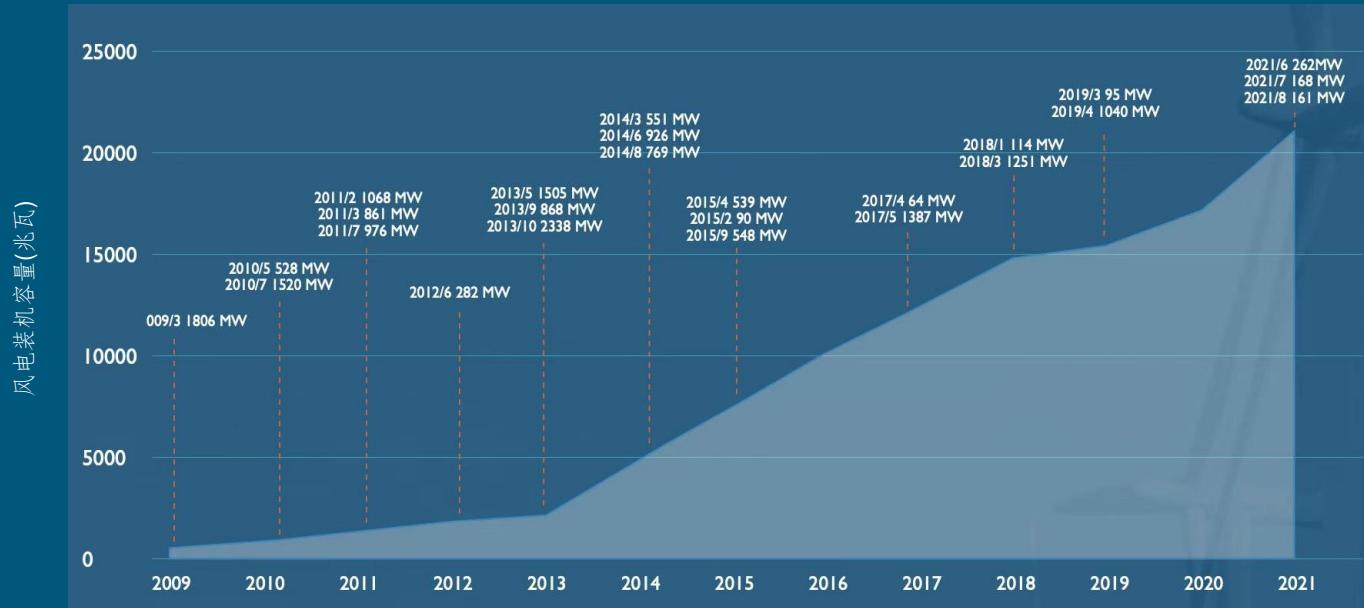


图3. 巴西的风电装机容量（兆瓦）和风能拍卖。对来源于IRENA(2022)⁶¹和ANEEL(2022)⁶²的数据进行了自我校准。

注：图中数字代表每轮拍卖中获得的风电容量，单位为兆瓦

这些法规和财政激励政策在巴西开发银行的资金支持下取得了成功：2001年至2020年间，风电装机成本下降了57%（IRENA报告成本约为1400美元/千瓦）。如图4所示，陆上风力发电的平准化度电成本（LCOE）

也显著大幅下降：从1999年到2020年下降了约70%。巴西开发银行为可再生能源提供资金，作为促进当地工业产能发展的政策优先事项，承担了更高的风险。



图4. 巴西陆上风力发电的平准化度电成本（LCOE）（美元/千瓦时）。

数据来源：IRENA(2021)⁶³。

目前，风电提供了巴西约11.9%的发电量，⁶⁴并已成为国家电力组合中的第二大能源来源。这些政策也促进了工业增长：巴西目前有六个涡轮机工厂和数百家风电供应链公司，到2016年，该行业提供了逾15万个工作岗位。⁶⁵

2022年1月，巴西政府扩大了政策和监管范围，将海上风电厂包括在内，预计这将在十年内大幅降低成本并增加巴西的电力容量。

61 IRENA (2022), Renewable capacity statistics 2022, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi

62 ANEEL (2022). Resultados dos leilões de expansão da geração. Relatório interativo. Dados por Empreendimento. Access: app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMjYjEyNy00OTNLW1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IwidCl6ljQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBMSlsImMiOjR9. Last accessed July 2022.

63 IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

64 Ministry of Mines and Energy (MME) - <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2022-2/ingles/4-boletim-mensal-de-energia-abril-2022/view>

65 Associação Brasileira De Energia Eólica (ABEEólica). (2020). Boletim Anual de Geração Eólica 2019. São Paulo





原则3：

积极管理风险以挤入投资

传统原则：

市场自身能够以最佳方式管理风险



概述：低碳转型涉及许多不确定因素。努力降低清洁技术私人投资的风险，鼓励由公共财政牵头的投资等，可以降低技术风险和融资成本，大大提高投资率和部署率。



传统原则的合理性

实现国际气候变化目标需要大幅增加投资，在2030年和2050年之间每年约需1万亿美元，⁶⁶投资来源应实现多样化，包括风险投资、私募股权、银行融资、政府部门和机构投资者。⁶⁷人们预计，以“投资等级政策”支持转型的市场将推动上述变化，⁶⁸该政策确保外部因素被计入成本并实现内化。金融市场可以成为更有效的资本配置机制，以应对各种类型的风险，包括某些类型的技术和价格风险。例如，与“不发达”的金融行业相比，更发达的金融行业（即市场更大、价格信息度更高、国家所有权更少、中小投资者权利更强的金融行业）能够更有效地实现资本配置，即增加对成长型行业的投资和减少对夕阳行业的投资。⁶⁹众所周知，企业和金融市场还通过增加企业创新来对价格（包括能源价格）做出反应。⁷⁰

在某些情况下，公共投资会挤出私人投资。例如，英国绿色投资银行（GIB）的建立和德国发展银行（KfW）的清洁技术投资极大地调动了在技术领域的私人融资。通过投资高风险资产，这些公共投资创建了市场跟踪记录，并建立了信任，以便之后私人投资进行效仿。然而，在其他领域，如绿色投资银行对英国生物质开发商的特殊类型投资，以及德国发展银行对一些成熟市场的投资，公共投资被认为部分取代了私人投资，因为这些公共部门支持的机构具有较低的回报预期，因此能比私人投资者提供更便宜的资本。⁷¹当公共投资用于可再生能源技术时，存在一个切实风险，即如果不适当考虑当地情况，就有可能阻碍私人行为者的参与，从而可能对抗（挤出）私人部门的贷款或投资。⁷²

⁶⁶ McCollum, D.L., W. Zhou, C. Bertram, H.-S. de Boer, V. Bosetti, S. Busch, J. Després, L. Drouet, J. Emmerling, M. Fay, O. Fricko, S. Fujimori, M. Gidden, M. Harmsen, D. Huppmann, G. Iyer, V. Krey, E. Kriegler, C. Nicolas, S. Pachauri, S. Parkinson, M. Poblete-Cazenave, P. Rafaj, N. Rao, J. Rozenberg, A. Schmitz, W. Schoepp, D. van Vuuren, and K. Riahi (2018). "Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals," *Nature Energy*, 3, 589-599.

⁶⁷ PEW Charitable Trust, 2010. Who's Winning the Clean Energy Race?, 2010 ed. G-20 Investment Powering Forward.

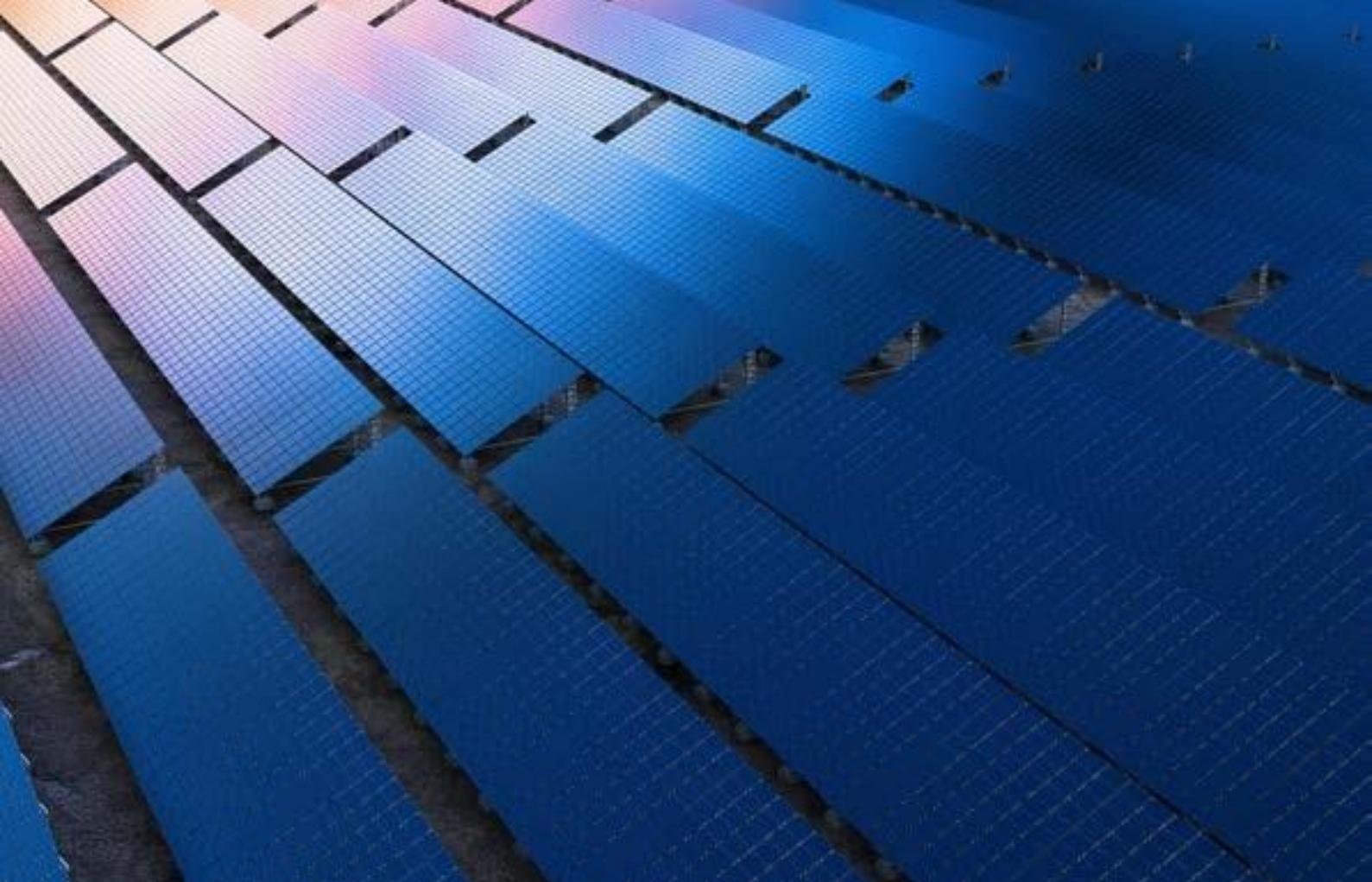
⁶⁸ Hamilton, K., 2009. Unlocking Finance for Clean Energy: the Need for 'Investment Grade' Policy. Renewable Energy Finance Project, Chatham House.

⁶⁹ Wurgler, J. (2000). 'Financial markets and the allocation of capital'. *Journal of Financial Economics* 58:187-214.

⁷⁰ Popp, D. (2022). 'Induced innovation and energy prices.' *American Economic Review* 92(1):160-180.

⁷¹ Geddes, A., Schmidt, T.S., Steffen, B., 2018. The multiple roles of state investment banks in low-carbon energy finance: an analysis of Australia, the UK and Germany, *Energy Policy*, 115, 158-170

⁷² B. Buchner, B., Hervé-Mignucci, M., Trabacchi, C., Wilkinson, J., Stadelmann, M., Boyd, R., Mazza, F., Micale, V., 2013. Global Landscape of Climate Finance 2013. Climate Policy Initiative



传统原则的局限性

要想成功应对气候变化，可能要依赖于许多颠覆性技术，而这些技术的开发和应用往往具有极大的不确定性。在这种情况下，市场可以处理一些技术和市场风险，但并不能管理所有风险。例如，经济合作与发展组织（OECD）最近的一项研究认为，市场对气候风险（包括气候物理风险和转型风险）的定价不足。⁷³

市场自身无法完全管理所有转型风险的一个原因在于转型的范围、复杂性和时间跨度难以估量，而且转型不可避免地依赖多个领域的政策，包括具有政治色彩的定价领域。在某些情况下，公共干预可以减少与发生非边际变化的经济转型有关的一些根本不确定性。不确定性增加了风险溢价，提高了任何投资的回报预期，并降低了对处于创新早期阶段的技术和企业的投资激励，特别是如果这些技术和企业的盈利能力依赖于创造新市场。

在这些情况下，进化动力学占主导地位。这意味着技术和市场的变化是恒定的、非边际的和相互依存的，而且不能假设资源得到最佳配置。需要公共投资来促进转型，否则无法保证转型的发生。即使在新古典经济学框架下，这也是合理的，因为并非所有的外部因素都可以被管理或内化。⁷⁴因此，在一些与能源转型相关的行业，公共财政并未挤出私人投资，而是产生“挤入”效应，通过充当主要投资者来调动私人投资，⁷⁵从而降低对技术、收入和其他风险的感知。例如，公共财政可以帮助降低私营公司的资本成本，同时在技术性能和成本降低方面施加竞争压力。如果公共财政有望带来重大社会效益，而缺乏公共财政将无法实现该效益的情况下，最有可能出现这种情况。

⁷³ OECD (2021), Financial Markets and Climate Transition: Opportunities, Challenges and Policy Implications, OECD Paris, www.oecd.org/finance/Financial-Markets-and-ClimateTransition-Opportunities-challenges-and-policy-implications.htm

⁷⁴ Deleidi, M., Mazzucato, M., Semieniuk, G., 2020, Neither crowding in nor out: public direct investment mobilising private investment into renewable energy projects, *Energy Policy*, 140, 111195

⁷⁵ Deleidi, M., Mazzucato, M., Semieniuk, G., 2020, Neither crowding in nor out: public direct investment mobilising private investment into renewable energy projects, *Energy Policy*, 140, 111195



原则3的依据

政府处于独特的地位，能够承担一些重大风险。并不是（例如）通过资助研发来承担早期发现风险就可以规避这些风险的。

第一个风险是创新过程中的技术风险，即过去的研发。这包括所谓的“死亡示范谷”，该术语用于描述：在某些情况下，在技术的早期规模化和商业化过程中，成本和/或性能方面的技术风险太高，私人投资无法自行承担。⁷⁶

第二个风险是在没有现有市场、监管、商业模式或融资渠道的情况下首次部署新的清洁技术的非技术风险。首先，政府是唯一有能力承担部分风险的行为体，因为他们掌握着市场设计的权力，可以塑造市场，这样一来，在政府看来对低碳转型至关重要的解决方案就有更大的成功机会。任何私人投资者都不可能有这样的信心。当政府承担或分担早期商业化风险（例如，通过拨款、贷款担保或创新采购）并证明风险低于此前预期时，可以刺激私人投资的大幅增长。

显而易见，政府不应该仅仅因为能够降低融资成本而在所有情况下承担所有风险。因此，问题在于如何设计公共投资以激励私人资金的挤入。或者更笼统地说：除了公认的“在市场中行动时，政策确定性是关键”的观念之外，什么才是公共财政和干预的恰当作用？^{77,78,79}

鼓励可再生能源技术的部署和投资的最有效政策是既解决投资风险又解决投资回报问题的政策。⁸⁰例如，以价格为基础的支持计划与私人投资的增加正相关，⁸¹而通过国有投资银行进行的公共投资“在促进私人投资转向低碳投资方面发挥了更广泛的作用，包括鼓励金融部门学习、建立项目信任，以及发挥先手作用帮助项目获得业绩记录”。⁸²不过，随着市场不断成熟，如果继续投资，就会出现挤出效应。政策评估文献⁸³表明，利用公共投资作为对技术的直接投资来创造“业绩记录”（例如，关于建设时间、技术性能、维护成本和回报的记录），特别有价值（见案例3，乌干达激励可再生能源投资）。

在具体政策工具的作用方面，上网电价通过有针对性地减少收入风险，能够有效促进私人投资。相比之下，排放交易计划对可再生能源部署的影响历来较小，⁸⁴部分原因在于，未来价格的不确定性维持了可感知的收入风险。⁸⁵同样，当可交易绿色证书（TGC，在英国被称为可再生能源义务证书，ROC）价格波动时，它们在促进创新方面的效率较低，⁸⁶尤其是在不成熟技术的成本降低幅度这个方面。^{87,88}

⁷⁶ Chan, G, Goldstein, AP, Bin-Nun, A, Anadon, LD, Narayananmurti, V. 'Six principles for energy innovation.' *Nature* (2017) 552:25-27. Doi:10.1038/d41586-017-07761-0. Nemet, G., Zipperer, V., Kraus, M. (2018). The valley of death, the technology pork barrel, and public support for large demonstration projects. 'Energy Policy' 119:154-167

⁷⁷ Jones, A., 2015, 'Perceived barriers and policy solutions in clean energy infrastructure investment', *Journal of Cleaner Production*, 104, 297

⁷⁸ Polzin, F., Egli, F., Steffen, B., Schmidt, T.S., 2019, How do policies mobilize private finance for renewable energy? A systematic review with an investor perspective, *Applied Energy*, 236, 1249-1268

⁷⁹ Gilbert, A., Blinde, P., Lam, L., Blyth, W., 2014, Cap-setting, price uncertainty and investment decisions in emissions trading systems, *Ecofys on behalf of UK Department of Energy and Climate Change, London, UK, Microsoft Word - EU ETS cap-setting project REPORT (publishing.service.gov.uk)*

⁸⁰ Polzin, F., Egli, F., Steffen, B., Schmidt, T.S., 2019, How do policies mobilize private finance for renewable energy? A systematic review with an investor perspective, *Applied Energy*, 236, 1249-1268

⁸¹ Cárdenas Rodríguez, M., et al. (2014), "Inducing Private Finance for Renewable Energy Projects: Evidence from Micro-Data", OECD Environment Working Papers, No. 67, OECD Publishing, Paris, doi.org/10.1787/5jxvg0k6thr1-en

⁸² Mazzucato, M., Semieniuk, G., 2018, Financing renewable energy: who is financing what and why it matters, *Technology Forecasting and Social Change*, 127, 8-22

⁸³ Geddes, A., Schmidt, T.S., Steffen, B., 2018, The multiple roles of state investment banks in low-carbon energy finance: an analysis of Australia, the UK and Germany, *Energy Policy*, 115, 158-170

⁸⁴ Polzin, F., Egli, F., Steffen, B., Schmidt, T.S., 2019, How do policies mobilize private finance for renewable energy? A systematic review with an investor perspective, *Applied Energy*, 236, 1249-1268

⁸⁵ Cárdenas Rodríguez, M., et al. (2014), "Inducing Private Finance for Renewable Energy Projects: Evidence from Micro-Data", OECD Environment Working Papers, No. 67, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5jxvg0k6thr1-en>

⁸⁶ Peñascos, C., Anadón, L.D. & Verdolini, E. Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments. *Nat. Clim. Chang.* 11, 257–265 (2021). doi.org/10.1038/s41538-020-00971-x

⁸⁷ Menanteau, P., Finon, D. & Lamy, M.-L. Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. *Energy Policy* 31, 799–812 (2003).

⁸⁸ Midttun, A., Gautesen, K., 2007, Feed in or certificates, competition or complementarity? Combining a static efficiency and a dynamic innovation perspective on the greening of the energy industry, *Energy Policy*, 35 (3), 1419-1422



要将私人投资引入成本可能下降并有助于实现能源目标的技术，政策设计必须考虑到分配方面的问题（见原则7）。例如，2002年推出的英国可再生能源义务证书（英国版TGCs）被证明有利于大型企业和现有的低成本技术，而不利于农村地区涉及更多创新解决方案的小规模投资。⁸⁹无论早期部署支持政策是采取税收还是补贴的形式（如上网电价、TGCs或差价合约），财政激励措施都必须积极主动、反应迅速（见原则6），以降低技术投资风险、政府成本和超额意外利润。换句话说，必须注重政策和公共财政在提供透明度和风险缓解措施方面的动态效率。⁹⁰

鉴于技术开发过程中风险的性质不断变化，随着技术的开发、部署和成熟，可能需要不同的政策工具来降低风险。以美国创新生态系统为例，能源高级研究

计划署（ARPA-E）等机构可以通过新颖的方式奖励和管理高风险/高回报研发项目，在开发的早期阶段有针对性地帮助快速降低技术风险。⁹¹例如，任务导向的军事研发已经吸引了私人研发。⁹²在此过程中，美国能源部贷款项目办公室（LPO）成立，作为创新和高效能源技术的融资桥梁，当私人贷款人无法或不愿在特定技术完全被市场接受之前提供所需的贷款和贷款担保时，为他们提供贷款和贷款担保。⁹³

LPO还支持特斯拉Model S的生产工程和组装。在转型的后期阶段，国家银行、不同类型的公私合作伙伴关系^{94,95,96}（如母基金或直接公共投资）和其他类型的公共投资（如其他补贴或税收优惠）可以帮助降低资本成本，并在国家优先领域（如能源转型）吸引私人投资。

⁸⁹ IRENA, 2017. Renewable Energy Auctions: Analysing 2016, International Renewable Energy Agency, United Arab Emirates

⁹⁰ Scotchmer, S.(2011). Cap and Trade, Emissions Taxes, and Innovation, *Innovation Policy and the Economy*, 11(1), 29-54

⁹¹ Azoulay, P., Fuchs, E., Goldstein, A.P., Kearney, M. (2019). Funding Breakthrough Research: Promises and Challenges of the “ARPA Model”. In ‘Innovation Policy and the Economy’, Vol 19. University of Chicago Press.

⁹² Pallante, G., Russo, E., Roventini, A. (2021). ‘Does mission oriented funding stimulate private R&D? Evidence from military R&D for US states.’ LEM Working Paper Series 2020/32, Institute of Economic, Scuola Superiore Sant’Anna, Pisa, Italy

⁹³ LPO. (2022) Loan Guarantee Program Office Mission. U.S. Department of Energy. Available at: www.energy.gov/lpo/mission

⁹⁴ Brown, J., Jacobs, M., 2011. Leveraging Private Investment: the Role of Public Sector Climate Finance. Overseas Development Institute

⁹⁵ Nassiry, D., Wheeler, D., 2011. A Green Venture Fund to Finance Clean Technology for Developing Countries. Center for Global Development

⁹⁶ WEF, 2011. Critical Mass Initiative Working Report: Scaling up Low-carbon Infrastructure Investment in Developing Countries. World Economic Forum



案例研究3： 乌干达小型水电站上网电价和国际资 助

[完整的分析详见⁹⁷]

2007年，乌干达政府出台《可再生能源政策》，设定了2017年可再生能源（包括大型水电）发电容量达到1420兆瓦的目标，这一数值是现有总发电容量的两倍，包括热能和可再生能源。同年，政府推出了上网电价（FiT），以刺激独立电力企业（IPPSs）的投资。

相对于该国的风险状况而言，上网电价的初始水平（2012年为0.09美元/千瓦时）过低；到2012年，该政策仅吸引了少量独立发电企业的兴趣，导致部署的小型水电站发电容量仅为28兆瓦。一直以来，普遍认为乌干达电力基础设施的投资规模太小，如果不改变现状，2015-2016年将出现电力供应紧张的情况。

为了吸引私营部门对乌干达的可再生能源进行投资，乌干达政府、乌干达电力监管局（ERA）和德国复兴信贷银行（KfW）于2013年联合推出了全球能源转移-上网电价（GET FiT），得到了多方的捐助支持。该方案涉及改善现有的监管框架，最重要的是资助电力公司能够支付的最高价格和可再生电力价格之间的价差，对于小型水电站来说，价差是通过上网电价来确定的。

小型水电站的GET FiT是指，在原先上网电价0.09美元/千瓦时的基础上，向项目开发商额外支付0.01-2美元/千瓦时（收入增加约20%），从而增加项目的收益。上述方案还通过向开发商提供标准化的电力购买协议，降低了投资风险，该协议可用于向银行借贷。在三轮的进程中（2013年至2015年期间每年为一轮），有39个项目提出了申请，其中有17个项目（包括14个小水电项目）获得了GET FiT。

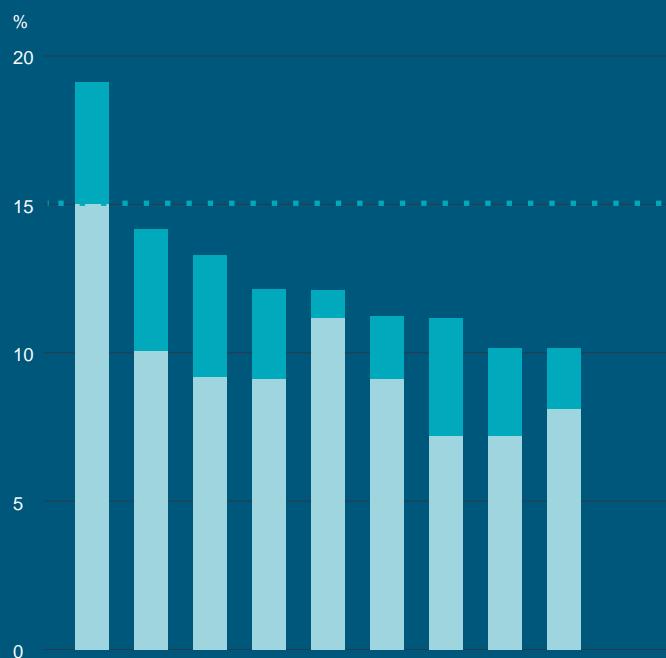
对过去几年的详细财务数据分析表明，在GET FiT计划实施了三轮（2013至2015）之后，对水力发电项目投资者要求的内部收益率(IRR)显著降低。在该方案实施的第一轮和第二轮期间，要求的内部收益率约为15%，第三轮期间降至9%（见图5中的黑色虚线），表明水利工程的资本成本有望降低，从而节约发电成本。

值得注意的是，和那些申请了补贴却遭到拒绝但仍然投入建设的项目相比，不少在第一轮期间得到GET FiT支持的项目内部收益率更低（基于前者已经具备商业上的可行性）。这表明，该资助通过增加回报、降低风险来发挥作用。随着投资风险降低，该项目也会逐步降低资助的价值。

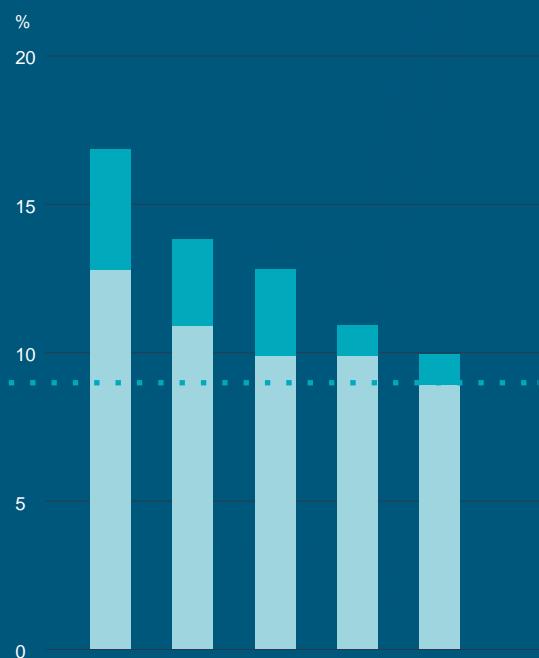
全球能源转移-上网电价推出时，德国复兴信贷银行和其他捐款机构提供了约1.04亿美元的发展资金。该补贴方案吸引了约4.53亿美元的私营部门投资，用以推动17个中型的可再生电力项目，总发电量达157兆瓦。这表明，该方案的措施降低了风险和融资成本，吸引了私营部门投资。

⁹⁷ Probst,B,Westermann,L,Anadon,LD,Kontoleon,A.'Leveraging private investment to expand renewable power generation: Evidence on financial additionality and productivity gains from Uganda.' *World Development* (2021). doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105347

第一、第二轮小型水电项目的内部回报率



第三轮小型水电项目内部回报率



X轴上的每个柱形代表一个获得GET Fit的项目

- 实施GET上网电价的内部收益率
- 未实施GET上网电价的内部收益率
- 对比内部收益率

图5. GET FIT小型水电站项目内部收益率和基于德国复兴信贷银行（KfW）的数据得出的对比内部收益率(IRR)。 y轴代表项目层面的内部收益率，单位为%，x轴中的每个柱形代表在各轮中获得GET FIT的单个项目。第一轮（2013年）和第二轮（2014年）共有9个项目，第三轮（2015年）共有5个项目。2013年至2015年间，要求投资者达到的内部收益率下降，表明投资风险显著下降。对比内部收益率（IRR）是用没有获得资金的项目计算的，但即便没有获得GET FIT的资金，项目也能继续进行。企业使用对比数据来提交详细财务数据、申请德国复兴信贷银行的贷款。此外，由于环境及其他许可与特定的设计绑定，被拒绝的项目不太可能在流程后期改变其施工设计或其他因素。 资料来源:⁹⁸

⁹⁸ Probst, B., Westermann, L., Anadon, L.D., Kontoleon, A. (2021) 'Leveraging private investment to expand renewable power generation: Evidence on financial additionality and productivity gains from Uganda.' *World Development* doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105347



原则4：

目标临界点

传统原则：简单设置碳价格水平，内化气候变化的损害



概述：有针对性的干预措施可以激活技术竞争力、消费者偏好、投资者信心或转型的社会支持等方面的社会临界点，让小投入引发大变化。这有助于树立目标，决定补贴和税收水平，以及监管的严格程度。



传统原则的合理性

在存在“外部性”的情况下（未定价的要素带来的成本或收益），制定经济政策的标准做法是：政府需明确并确保该要素具有一个合理的价格（内化外部性）。^{99,100}政府需利用税收及排放额度分配来进行纠正，而排放额度可以通过交易定价。¹⁰¹依照这个逻辑，碳价格的水平应该反映出每排放一吨二氧化碳所造成的经济损失（又称碳排放的社会成本）以及相应的经同意的排放目标。但是，原则1和原则8提到，这一做法本身无法在长期最小化转型成本。

上述标准做法也认识到需要通过新清洁技术的创新来大幅减少排放，以避免碳成本。此外，创新溢出（指创新公司并没有获得创意带来的所有好处）是政府需要解决的第二个关键外部性。¹⁰²这证明了对研发的公共投资是合理的。以碳税和碳交易形式来定价已经在全球多地实施。即便碳的平均价格低达每吨为10美元，覆盖率仅为总排放量的22%左右，¹⁰³碳定价也产生了不错的减排效果。¹⁰⁴碳定价有胜于无，定价率高比定

价率低更有可能带来效果。平均而言，政府在21世纪的前十年增加了对公共能源研发的投资，^{105,106}有证据表明，对公共能源研发的投资有助于促进创新成果。¹⁰⁷



传统原则的局限性

通常认为，传统做法已经足够，且优于其他手段。但传统做法还是带来了若干挑战。我们已经在原则1、原则2和原则3中提及部分挑战。其底层逻辑在于假设经济应相对接近某种最优的均衡，而非一种高动态的复杂适应系统。与之相关的假设认为，短期内的效率提升（表现为最低成本减排）也应有助于长期实现最低成本的减排，效率（而非效果或韧性）是首要目标。第三个假设是，虽然与长期以来经济上的“次优理论”相悖，但是在存在多重“市场失灵”的情况下，可以将每一种“市场失灵”问题区分开后单独解决，¹⁰⁸用定向政策工具来逐一纠正。在低碳转型的背景下，以上所有假设都是值得怀疑的。

⁹⁹ Pigou, A. C. (1920). *The economics of Welfare*. Macmillan and Co (3rd edition 1928)

¹⁰⁰ Coase, R. H. (1960). *The Problem of Social Cost*. *Journal of Law and Economics*, 3, 1

¹⁰¹ Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1988). *The theory of environmental policy*. Cambridge university press

¹⁰² Jaffe, A. B., Newell, R. G., Stavins, R. N. (2005). ‘A tale of two market failures.’ *Ecological Economics* 54(2-3):164-174

¹⁰³ World Bank. (2022). *State and Trends of Carbon Pricing 2022*, openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455. Washington D.C. Accessed on July 2022.

¹⁰⁴ Ellerman, use this instead: Skea, J., Shukla, P., & Kilki. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*.*

*IPCC的报告称：“欧盟碳排放权交易体系（EU ETS）是迄今为止存在时间最长的区域气候政策工具，³³成功减少了排放量，尽管各案例、国家³⁴和行业的排放量都不尽相同，从3%到28%不等（McGuinness and Ellerman, 2008; Ellerman et al., 2010; Abrell³⁵ et al., 2011; Anderson and Di Maria, 2011; Egenhofer et al., 2011; Petrick and Wagner, 2014;³⁶ Arlinghaus, 2015; Martin et al., 2016）。盟碳排放权交易体系在2008年³⁷至2016年间避免排放约1.2千兆吨二氧化碳（3.8%），这几乎是欧盟各国政府在《京都议定书》³⁸下承诺减排的一半（Bayer and Aklin, 2020）。”

¹⁰⁵ IEA Energy RD&D Database. (2022). Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2>

¹⁰⁶ Meckling, J., Galeazzi, C., Shears, E., Xu, T., Anadon, L.D. (2022). Energy innovation funding and institutions in major economies'. *Nature Energy*, accepted.

¹⁰⁷ Penasco et al. (2021). Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments. *Nature Climate Change*.

另一个问题在于，碳排放的社会成本估算“在文献中存在很大区别”：估算值在10美元和1000美元/吨二氧化碳之间。如果不排除高度不确定的潜在灾难性后果，这一区间甚至是无穷的。“不同方法论之间可比性的问题”表明“许多估计并不可靠”，¹⁰⁹存在大范围的碳价格数值供决策者考量。

从现实角度来说，若完全依赖于传统原则，还存在另外三个问题。第一，碳价格和化石燃料的补贴同时存在，且后者的价值通常高于碳价格。¹¹⁰第二，除去例外情况，由于政治经济学原因，很难将碳价格提升至更高的水平（每吨50至100美元之间），¹¹¹虽然这一水平更符合普遍接受的碳排放社会成本估计范围。¹¹²第三，在具有不确定性且动态变化的世界中，仅仅依靠少量的政策工具来实现重大目标是不合理的，需要采取组合政策和适应性手段。

以上所有分析都表明，碳定价和增加研发投入本身无法达到足以实现《巴黎协定》目标所需的变革速度和规模，也并非是实现脱碳最划算的方式。



原则4的依据

复杂的适应系统中可能存在罕见、混乱、路径依赖和非线性的行为，在涉及人类实践中的技术传播和转型时尤为如此。适应系统可以通过多种方式加速转型，其中一种有效的办法就是找到“敏感干预点”（SIP）¹¹³或“社会临界点”¹¹⁴。这时社会技术系统处于或接近临界状态，若判断正确，稍加干预就可以改变或提升其状态。此时，由于自我强化的反馈，哪怕是很小的政策投入也会带来巨大的成效。

若在某一特定部门内，相互竞争的技术成本相近，这时临界点就有可能出现。在这种情况下，足以打破平衡的碳价格可以在推动一项技术进步的同时，导致另一项技术的衰落。这种临界点在全球最快的电力行业去碳化进程（英国——见案例研究5）和最快的公路运输转型进程（挪威）¹¹⁵中发挥了作用。在这些案例中，碳定价（以及其他税收和补贴）的相对价值决定了其在特定行业中的有效性，而不是碳社会成本估算所聚焦的绝对价值。在这两种情况下，碳定价只能激活临界点，因为研发、清洁技术投资和监管市场改革等其他政策已经率先完成了带领整个体系进入临界状态的艰巨任务。

在其他情况下，特定的示范项目或许可以帮助私营企业决定应投资哪些领域，从而激活投资者的信心临界点。还有一种情况是，若规定要求达到特定水平的能效或碳强度，可能导致一种技术比另一种技术更具竞争力或更加可行。例如，欧盟的汽车效率法规起初只是引导制造商生产更高效的内燃机汽车，但超过一定的严格程度后，则更多地推动了向电动汽车制造的转变。这为部门层面制定不同类型的政策提供了有益的经验。

108 Tinbergen, J. (1952). *On the Theory of Economic Policy*. North-Holland Pub. Co.,.

109 IPCC,WGII. (2011). 6th Assessment Report. Cross working group box on 'Estimating Global Economic Impacts from Climate Change'. Chapter 16. Available at: report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter16.pdf; Accessed on July 5, 2022.

110 Indicator 4.2.3, 2021 Lancet Countdown: [www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(21\)01787-6/fulltext#seccestitle570](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(21)01787-6/fulltext#seccestitle570)

111 Stern,N.,Stiglitz,J. (2017). Report of the High-level Commission on Carbon Prices. Carbon Pricing Leadership Coalition. World Bank. Available at: www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices. Accessed on July 5, 2022.

112 Cullenward, D., Victor, D., D. (2020). *Making climate policy work*. Polity Press, Cambridge, UK.

113 J. D. Farmer, C. Hepburn, M. C. Ives, T. Hale, T. Wetzer, P. Mealy, R. Rafaty, S. Srivastav, R. Way. (2019). 'Sensitive Intervention Points in the Post Carbon Transition', *Science*, 364(6435).

114 I. M. Otto et al., Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 117, 2354–2365 (2020).

115 Sharpe, S. and Lenton,T., 2021. Upward-scaling tipping cascades to meet climate goals: plausible grounds for hope. *Climate Policy*, 21(4), pp.421-433.



从更广阔的视角来看，比起抱怨碳定价等去碳化政策的“缺乏政治意愿”、“不为大众所接受”，人们可能会认为公众态度和偏好是系统的一部分，或者是“内生的”，¹¹⁶可以通过找到敏感干预点来改变，即转变叙事、信仰和文化。开放政治空间或奥弗顿窗口（Overton Window）¹¹⁷可以促进设计更广泛的财政及监管干预措施，包括但不限于碳定价。其他的干预措施，如改变央行政策、企业法律责任、金融规范和披露、股东预期、消费者行为、清洁技术成本和技能培训，都有助于调整经济结构，实现《巴黎协定》的目标。确定可能的临界点有助于制定政策工具并确定政策行动的优先次序。

对于传统的政策问题来说，确定外部性之后，政府采用单一的、具体的政策工具来内化这些外部性或许是明智之举。但是，要深刻而迅速地重塑复杂的适应性经济系统，实现《巴黎协定》的目标，努力不能仅停留在碳定价和加大研发投入上。（事实上已经采取了更多措施）

总之，在细致了解了尝试改变的体系和行业的重要组成部分之后，我们或许能在某些情况下找到消费者偏好、投资者信心或转型社会支持方面的可能临界点，在临界点上，小投入可以引发预期方向的大变化。可以利用这些知识来帮助制定具体的税收、法规及激励措施，以高效又经济的方式加快各个温室气体排放行业的转型。

116 Mattauch, L, C Hepburn, F Spuler and N Stern (2022). "The economics of climate change with endogenous preferences", *Resource and Energy Economics*, p.101312.

117 The Lancet (2021). 'Moving the Overton Window.' *Lancet Planetary Health* 5(11):E751. [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(21\)00293-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(21)00293-X/fulltext)



案例研究4： 通过电力市场改革和设定碳价格下限 推动电力转型

英国曾被认为是“石油和天然气海洋中的煤炭之岛”，电力行业经历了巨大的转变，逐步煤炭淘汰，二氧化碳排放量减少了一半以上，且大部分减排量是在短短几年内实现的（图6）。上述现象的根本原因是20世纪90年代实行了开放电力行业竞争的政策，此后的十年中，政府又逐步加强了对煤炭的污染控制，通过补贴和提高能源效率的方案直接支持可再生能源的发展（与其他国家一起）。然而，截至2010年，淘汰煤炭和减少二氧化碳排放所取得的进展仍然有限。此后发生的巨大变化可直接归功于推动深层次变革的政策。

其中两项主要政策是获取可再生能源方式的转变和二氧化碳排放的最低定价。

英国可再生能源革命的背景是，人们认识到了除统一价格补贴之外，还需要技术差异化发展（原则1）。21世纪以来，英国采取的措施包括对小规模发电实行上网电价，加速海上风力发电技术，协调产业支持和可再生能源义务补贴“分级”以增加投资（原则2）。再加上成熟的化石燃料发电对价格信号的灵敏反应，该政策促进了技术和政治条件的形成，并通过电力市场改革（与其他发展相结合，扩大小规模可再生能源特别是光伏发电的规模）来触发“临界点”。

海上风能的学习阶段表明，主要的障碍已经不再是技术的不确定性，而是在收入和市场规模高度不确定的情况下所需的投资规模大小。对此，解决方案是提高管理市场风险的水平（原则3）。英国通过引入差价合约，有效地为发电提供了固定价格，建立了大规模部署（和初始投入）的机制，带来了成本的大幅降低和可再生能源产量的快速增长，如图6所示。

第二个机制，即具有战略作用的碳价格，触发了临界点。起初，碳价格是一种价格下限，用以反映政府对不断上升的碳排放社会成本作出的估计。虽说随着与欧盟排放交易体系（ETS）的价格差异增大，这变成了一种法定的“碳价格支持”，相当于是对发电量的固定碳税（在欧盟碳排放交易体系之上），从9英镑/吨二氧化碳（2013年4月）上升到18英镑/吨（2015年4月）。对于可再生能源领域的投资者来说，这为可再生能源在差价合约期限之外的价值提供了保证，进一步降低了资本成本，促成了高数额和低成本的私营部门融资。¹¹⁸

碳价格对淘汰煤炭的作用更加显著。从2015年末开始，由于碳税和欧盟排放交易体系碳价格的双重影响，天然气发电的成本已经低于煤炭发电的成本。相对定价的这一微小变化产生了巨大的影响：它改变了煤炭和天然气在价值排序中的位置，即天然气将成为发电的首选，煤电厂的发电时间将大大缩短。煤电经济从微利走向亏损。而且可再生能源投入的增加和电力需求的下降意味着不再需要煤电厂来“维持电力供应”。在当时，可再生能源的增长、加强对煤炭污染的严格限制以及对去碳化的明确政策承诺是英国电力行业的主流趋势，这一背景催生了关停煤电厂的强大动力，成为迈向低碳道路上不可逆转的重大临界点。¹¹⁹

118 Hall S, Foxon TJ, Bolton R. (2017). 'Investing in low-carbon transitions: energy finance as an adaptive market.' *Climate Policy*, 17(3):280–98.

119 Sharpe, S. and Lenton, T. (2021). 'Upward-scaling tipping cascades to meet climate goals: plausible grounds for hope.' *Climate Policy*, 21(4), pp.421-433.

需要看到，上述案例中最终激活临界点的碳价格并不是太高，碳的社会成本估算会更高。重要的是相对价值，而非绝对价值。第二个重点在于，前面提到过，若要碳价格发挥作用，其他政策必须使该系统到达临界状态：效率提升、可再生能源得以发展、煤炭和汽油逐步被淘汰。

政策实施之后，英国的煤炭发电占比从2012年的40%左右下降至了2020年的1%以下（见图6）。因此，2010至2019年间，英国是世界上电力行业脱碳速度最快的国家，碳强度年均下降率约为全球平均水平的8倍。¹²⁰

估算表明，由于“使用更加清洁却更加昂贵的能源”，加之没有通过增加进口进行补偿调整，最低碳价将英国在2015至2018年间的日前价格提高了约10欧元/兆瓦时。¹²¹虽然有必要考虑政策的分配效果（见图7），但2008至2016年间英国能源效率的提高远远抵消了英国的碳价格和可再生能源补贴给消费者电费带来的影响。这表明，气候变化相关的政策总体上是可以帮助消费者节省开支的。¹²²2010年以来对可再生能源的巨额投资已经开始取得显著成效，可再生能源的价格如今已远低于能源危机期间化石燃料的价格。

英国的发电量

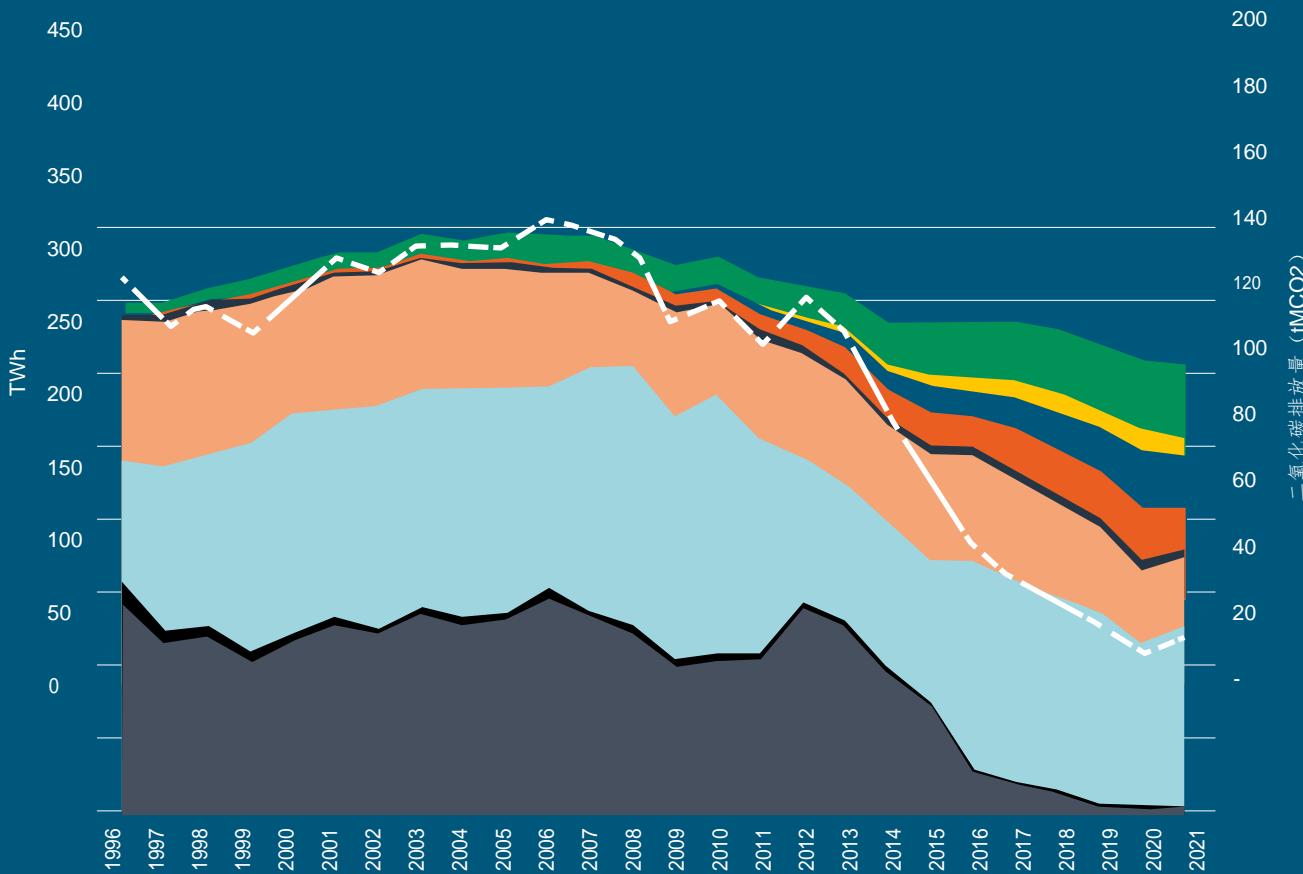


图6.1996年至2021年间英国电力部门发电构成。数据来源：¹²³最低碳价于2013年4月出台。

¹²⁰ 2010年至2019年间，英国电力部门的碳强度每年下降8.9% (Drax, 2020., Electric insights quarterly, July-Sep 2020, Available at: www.drax.com/wp-content/uploads/2020/11/201126_Drax_20Q3_005.pdf), while the global average power sector carbon intensity fell by 1.1% per year over the same period (International Energy Agency: Tracking Power 2021, Available at: www.iea.org/reports/tracking-power-2021).

¹²¹ Castagneto Gissey, G, Guo, B., Newbery, D., Lipman, G., Montoya, L., Dodds, P., Grubb, M., Ekins, P.(2019).The value of international electricity trading. Commissioned by Ofgem. Available at: www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2019/10/value_of_international_electricity_trading.pdf; Accessed on July 5, 2022.

¹²² Committee on Climate Change (2017). Energy Prices and Bills – Impacts of Meeting Carbon Budgets. Available at: www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2017/03/Energy-Prices-and-Bills-Committee-on-Climate-Change-March-2017.pdf

¹²³ Data from Digest of United Kingdom Energy Statistics (DUKES), UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Available at: www.gov.uk/government/collections/digest-of-uk-energy-statistics-dukes; Accessed on 28 July, 2022.

原则5：

结合多项政策，实现更优效果

传统原则：根据不同的“市场失灵”来单独考虑政策



概述：我们需要一系列政策来推动每一次低碳转型。由于每项政策的效果取决于与其他政策的互动，因此单独评估某项政策可能会产生误导。将政策作为一个整体进行评估，可以识别具有相互加强效果、产生的效果“大于各部分之和”的政策。



传统原则的合理性

传统的经济政策理念认为，每一项政策措施，也即与市场相对的“干预”，应结合具体的政策目标和市场失灵现象来确定，因此从原则上来说，每一项政策措施都独立于其他政策。¹²⁴该理念在理论上的合理性在于，“资源最佳配置”在很大程度上是静态的，通常是指基于价格的市场均衡，在这一情形下，关注的焦点在于个别的市场失灵现象，需要采取相应的“纠正”措施。举个例子来说，一篇关于创新“溢出”和气候外部性的“双市场失灵”的经济学文献就为公共研发和温室气体定价提供了正当理由。

在实践当中，大部分政策制定者都非常清楚，要解决低碳转型等复杂的问题，需要采用政策组合。但是，在经过成本和收益评估之后，政策通常被单独考虑。在规划如何使用有限的预算时，存在一种以预期净现值来评估政策效果的趋势，如每花一美元预计能减少多少吨排放量。此种做法默认了单项政策的效果可以独立于其他政策。



传统原则的局限性

传统原则的一个重要缺陷是，现实中存在很多重合的市场失灵、市场扭曲现象和相互作用的政策目标。在多数经济体中，都存在一张由相互作用的政策组成的复杂网络，包括市场结构、规则和税收政策。

传统“次优”理论表明，在多重扭曲现象同时存在的情况下（与理论上的最优情况相比），无法保证用来解决一种市场失灵现象的政策会带来经济改善。传统经济学本身质疑了传统政策假设的理论支撑，并提出了从实用性的角度来考量政策互动的需要。¹²⁵

在气候变化的时代，多数国家对于经济发展以及机会的关心不亚于对实现脱碳的关心，对前者的热衷程度甚至可能更高。关注的领域包括城市和交通基础设施的发展、空气质量与公共卫生、扩大就业和产业竞争力、能源与食物安全、以及重要商品和服务的可负担性。所以，考虑脱碳政策如何才能与更多其他政策和重要事项相互配合就显得非常重要，而且无可避免。¹²⁶

此外，脱碳所需的“系统转型”很复杂，涉及必要的技术、市场结构和基础设施等方面的变革。通过一项政策来实现所有的事情通常是不可行的，如果同时实施多项政策，必然会出现政策间的相互作用。如果未能考虑到实际情况中政策的相互作用，将会导致严重的后果。比如，欧盟排放交易体系设定了排放上限，此举并未充分考虑能源效率或可再生能源政策的影响，从而导致碳价格暴跌。¹²⁷

¹²⁴ Tinbergen, J. (1952): On the theory of economic policy. North-Holland.

¹²⁵ Lipsey, R. G., and Kelvin Lancaster. "The General Theory of Second Best." *The Review of Economic Studies*, vol. 24, no. 1, 1956, pp. 11–32. JSTOR, doi.org/10.2307/2296233.; Lipsey, R.G. Reflections on the general theory of second best at its golden jubilee. *Int Tax Public Finance* 14, 349–364 (2007). doi.org/10.1007/s10797-007-9036-x

¹²⁶ 见IPCC《气候变化2022：减缓气候变化》，尤其关注第4章《向可持续性转变发展路径》、第13章《治理与有利条件的作用》以及第16章《创新系统的文献》。

¹²⁷ Wettestad J, Jevnaker T. (2016). *Rescuing EU Emissions Trading: The Climate Policy Flagship*. Palgrave Macmillan, Available at www.amazon.co.uk/Rescuing-EU-Emissions-Trading-Flagship/dp/1349849758



原则5的依据

如果将重点转移到动态视角和长期目标上，尤其是实现《巴黎协定》所设定的目标所需要的转型上，就必须评估政策组合。越来越多的文献提供了理论和实证依据，指出为实现转型必须采用不同政策工具组合，尤其是为转型的过程指明方向，如脱碳进程。¹²⁸政策组合的高级分类提出了三项相互补充的“政策支柱”。^{129,130}

- 对相互联系的技术和基础设施进行广泛的战略投资，推动低碳转型道路上技术、经济结构和管理制度的演变。
- 利用市场和定价来确保市场结构和税收至少对新兴低碳技术不会造成阻碍，其中包括取消化石燃料补贴，利用碳定价来促使私营企业的决策和公共的脱碳目标保持一致（或者说对温室气体排放社会成本的等效估计）。
- 通过设立标准，扩大参与度来克服消费者采用先进的新技术所面临的障碍。这类障碍既包括结构性问题（如租户和房东之间的分歧以及其他“合同失效”），也包括社会和行为规范。前两个政策支柱将催生清洁能源技术和实践，而第三个政策支柱的目标则是加速其传播、增强人们的信心，确立新的规范。

创新研究已经对政策组合必要性进行了深入的探讨，当前的研究重点关注如何将其与政策研究文献中类似的发展趋势相统一。¹³¹

互补政策组合的作用已经体现在能源¹³²、工业¹³³、运输¹³⁴和农业食品¹³⁵等多个领域中。指明转型道路还需要明确方向、树立共同愿景、协调不同政策领域（如气候和工业政策）的行动者、提高治理水平^{136,137}。

这些文献指出了需要政策组合来促进动态转型沿特定方向进行的原因。“三个领域”（或“三大政策支柱”）可以用来对低碳转型的不同政策工具进行解释和分类。政策支柱强调，利用市场和相对价格来实现政策的互补，以决定取舍；实现行为政策和选择政策之间的互补；^{138,139,140}促进低碳转型技术前沿发展的政策¹⁴¹之间的互补。“三大支柱”（见图7）基于这广义经济框架，将行为经济学和进化经济学的观点与传统的“均衡与资源配置”结合起来。

每个类别中都可以存在多种工具，我们可以通过研发、特定技术的需求拉动、不同的机制、战略投资的应用以及政策来增强消费者的参与度和采纳度。,不同类别的政策可以多管齐下、相互促进。

-
- 128 Rogge, K. S. and Reichardt, K. (2016) 'Policy mixes for sustainability transitions: An extended concept and framework for analysis', *Research Policy*. Elsevier B.V., 45(8), pp. 1620–1635. doi: 10.1016/j.respol.2016.04.004.
- 129 Grubb, M., Hourcade, J. C. and Neuhoff, K. (2014) *Planetary economics : energy, climate change and the three domains of sustainable development*. Routledge. Available at: books.google.co.uk/books/about/Planetary_Economics.html?id=b2nOvqAACAAJ&redir_esc=y (Accessed: 31 August 2019).
- 130 Grubb, M., Hourcade, J.-C. and Neuhoff, K. (2015) 'The Three Domains structure of energy-climate transitions', *Technological Forecasting and Social Change*, 98. doi: 10.1016/j.techfore.2015.05.009
- 131 Kern, F., Rogge, K. S. and Howlett, M. (2019) 'Policy mixes for sustainability transitions: New approaches and insights through bridging innovation and policy studies', *Research Policy*. Elsevier B.V., 48(10), p. 103832. doi: 10.1016/j.respol.2019.103832.
- 132 Rogge, K. S., Kern, F. and Howlett, M. (2017) 'Conceptual and empirical advances in analysing policy mixes for energy transitions', *Energy Research & Social Science* 33(September), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.erss.2017.09.025.
- 133 Scordato, L. et al. (2018) 'Policy mixes for the sustainability transition of the pulp and paper industry in Sweden', *Journal of Cleaner Production*. 183, pp. 1216–1227. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.212.
- 134 Givoni, M. et al. (2013) 'From Policy Measures to Policy Packages', *Transport Reviews*. Taylor & Francis, 33(1), pp. 1–20. doi: 10.1080/01441647.2012.744779.
- 135 Kalfagianni, A. and Kuik, O. (2017) 'Seeking optimality in climate change agri-food policies: stakeholder perspectives from Western Europe', *Climate Policy* 17, pp. S72–S92. doi: 10.1080/14693062.2016.1244508.
- 136 Uyarra, E., Shapira, P. and Harding, A. (2016) 'Low carbon innovation and enterprise growth in the UK: Challenges of a place-blind policy mix', *Technological Forecasting and Social Change*. The Authors, 103, pp. 264–272. doi: 10.1016/j.techfore.2015.10.008
- 137 Nemet, G. F. et al. (2017) 'Addressing policy credibility problems for low-carbon investment', *Global Environmental Change*, 42, pp. 47–57. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.12.004.
- 138 Kahneman, D., Knetsch, J. L. and Thaler, R. H. (1991) 'Anomalies: The Endowment Effect, Loss Aversion, and Status Quo Bias', *Journal of Economic Perspectives*, 5(1), pp. 193–206. doi: 10.1257/JEP.5.1.193.
- 139 Tversky, A. and Kahneman, D. (2017) 'Rational choice and the framing of decisions', in *Decision Science*. doi: 10.1086/296365.
- 140 Surana, K. Anadon, LD. 'Public Policy and Financial Resource Mobilization in Developing Countries: a Comparison of Approaches and Outcomes in China and India.' *Global Environmental Change* (2015) 34:340–359. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.10.001.
- 141 Nemet, G. F. (2009) 'Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change', *Research Policy*, 38(5), pp. 700–709. doi: doi.org/10.1016/j.respol.2009.01.004.

例如，碳定价有利于减少对碳密集型产业的投资，从而促进对清洁能源的投资。若结合战略投资和建立市场的相关政策，碳定价可以增强清洁技术创新的整体“需求拉动”，而研发活动则助力“供给推动”，由此带来的创新比单独使用任何一种政策都要快。类似地，在“推动性政策”或其他行为为导向型政策拉动需求的同时，监管标准可以增加清洁技术的市场供应。

和实施单项政策相比，不同政策结合使用可以加快清洁技术的普及，从而扩大发展前景，加快迈向临界点的步伐。此外，对配套基础设施进行投资有助于打破供给和需求两端的障碍。

图7总结了三大“政策支柱”之间的高水平有利互动。

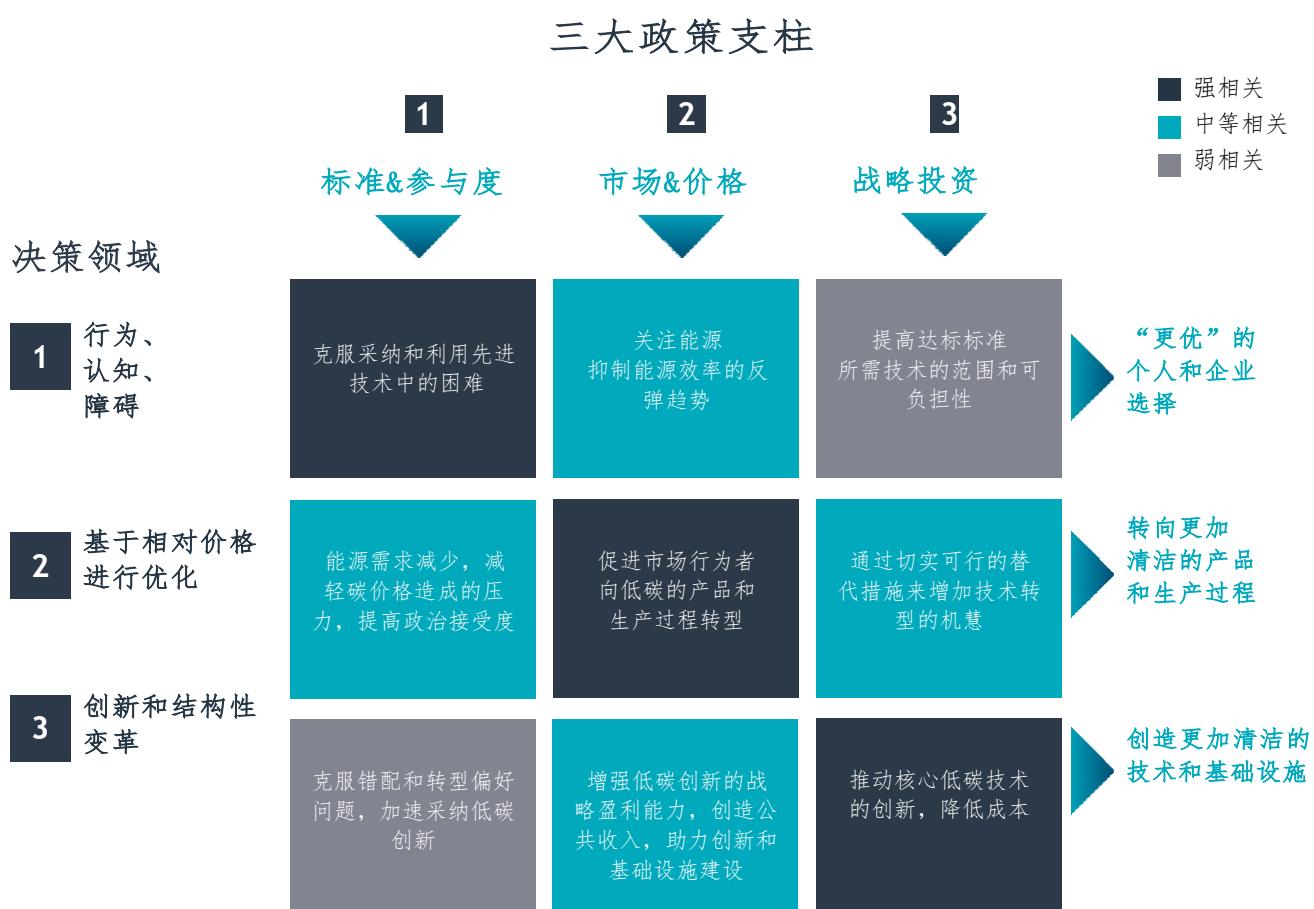


图7. 互补的政策可以发挥协同作用，推动不同部门的变革和创新。上图重点指出了通过采取不同类型政策来取得进展的必要性，在创新和解决气候变化问题如此紧迫的情况下，这一必要性尤为突出。政策组合应该整合在三个决策领域都有效的政策工具的优势。对角线上的要素表示，政策对个人和企业的选择、激励消费者和公司转向更清洁的产品和生产过程、以及促进新技术和配套基础设施的发展有着直接的影响。矩阵中的其他要素表明，针对某个决策领域的政策能够间接地为其他领域提供重要支持。来源¹⁴²

¹⁴² Grubb M, Poncia A, Drummond P.(2022), 'Different therefore equal: economic diversity and the paradox of carbon pricing,' Paper for Swedish Entrepreneurship Forum and KTH Royal Institute of Technology workshop, "The Political Economy of Climate Change", Stockholm, June 2022



在这种情况下，单独考虑每项政策的效果是几乎没有意义的。一项政策的效果好坏是由包含该政策在内的政策组合决定的。此外，政策组合可以更好地对不同资金来源进行整合利用，进一步推动低碳行业的增长。这有利于传播相关知识，增强人们的信心，降低感知风险，进而降低融资成本^{143,144}。将单独计算每项政策的“净现值”作为优先排序的方式可能会忽略重点、产生误导。相反，应该考虑和比较的是一揽子政策（也称为政策组合¹⁴⁵）的有效性，明确评估政策之间的相互作用。

不同类型政策工具所具有的相对重要性因技术类型、国情和行业背景而异。不同类型政策工具的相对重要

性也可能随着转型过程的不同阶段而变化，我们的第一份报告《创新和制度转型的新经济学》中对此做了进一步阐述。基本点仍然在于，要想有效地推动变革，所有类型的政策工具不仅需要多管齐下，而且要相互促进。

最后，以此种方式进行分类和关联的具体政策组合工具还需要将气候、经济和发展目标结合起来，且应在更广泛的“有利条件”背景下制定。**2022年的联合国政府间气候变化专门委员会**¹⁴⁶将上述有利条件界定为治理和制度，融资能力（如充足的资本市场和国际融资支持），以及获得和利用低碳转型所需新兴技术的能力。¹⁴⁷

¹⁴³ Hall, S., Foxon, T. J. and Bolton, R. (2017) 'Investing in low-carbon transitions: energy finance as an adaptive market', *Climate Policy*. Taylor and Francis Ltd., 17(3), pp. 280–298. doi: 10.1080/14693062.2015.1094731.

¹⁴⁴ Schot, J. and Geels, F.W. (2008) 'Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy', doi: org/10.1080/09537320802292651. Routledge , 20(5), pp. 537–554. doi: 10.1080/09537320802292651.

¹⁴⁵ Rogge, K.S., Reichardt, K. (2016). 'Policy mixes for sustainability transitions:An extended concept and framework for analysis.' *Research Policy* 45(8):1620-1635.

¹⁴⁶ IPCC (2022). Intergovernmental Panel on Climate Change 6th Assessment Report, Working Group III on Mitigating Climate Change. Chapter 4.

¹⁴⁷ IPCC (2022). Intergovernmental Panel on Climate Change 6th Assessment Report, Working Group III on Mitigating Climate Change. Chapters 4 and 13.

案例分析5： 中国电动汽车发展的扶持政策

鉴于中国对进口石油的依赖和城市空气污染问题，**2006年**，中国将新能源汽车（包括电动汽车和高效混合动力汽油车）列为中国汽车制造业《国家长期科技发展规划》¹⁴⁸的重点之一。该报告指出了中国与发达国家在内燃机汽车(ICEVs)技术能力方面的差距，同时也指出电动汽车(EV)是中国引领新产业的机遇。

为了实现这一目标，政府从**2006年**的发展规划开始，实施了一套相互配合的强有力政策组合，其中包括进行战略投资、调整市场和价格，制定标准，提高公众参与度等措施来改变人们的行为。**2009年**，“十城千辆计划”启动，标志着通过战略投资在公共交通系统中推广电动汽车的行动开始。

下一阶段的政策目标是扩大需求。**2010年**，政府推出了第一项针对私人电动汽车的补贴政策。**2011年**，部分省份紧跟步伐，也推出了各自的补贴政策。随着电动汽车销量的增长，扩大配套基础设施也变得更加重要。因此，**2012年**，电动汽车购买的补贴范围扩大，涵盖了对充电站的支持。**2013年**，由于省级政府提供了额外补贴，最高购买补贴达到了每辆车**12万元人民币**（约**18500美元**）。¹⁴⁹随着电动汽车成本的下降，国家层面的补贴也在减少。**2015年**，中国政府宣布，计划在**2017-2018年削减2016年补贴的20%**，**2019年削减40%**。**2020年**，政府宣布计划**2020年至2022年期间**，进一步削减补贴，逐年削减**10%、20%和30%**。¹⁵⁰到**2021年**，已销售的新型轻型汽车中，有**15.5%**是新能源汽车。完全淘汰燃油车的计划已经宣布，具体的时间安排仍在商讨之中。

除了上述扩大电动汽车需求的经济激励措施之外，北京和上海等主要城市还为新电动汽车提供了快速上牌通道（牌照总数受限）。这些政策实施了偏向电动汽车而非燃油车的车牌摇号政策，¹⁵¹发出了支持电动汽车发展的强烈行为信号，强调了化石燃料汽车的风险（“标准和参与”政策支柱）。还有一些城市为电动汽车和燃料电池汽车的新消费者提供免费牌照。

与此同时，政府还实施了另一套政策来增加电动汽车的供应。**2011年**，政府制定了企业平均燃料消耗（CAFC）计划，设定了汽车平均燃料消耗目标。¹⁵²**2018年4月**，政府制定了与该计划相配套的双重信贷政策，为新能源汽车的生产提供信贷。汽车制造商可以通过确保传统汽车的高能效和电动汽车占总销量的大头来实现这些目标。新能源汽车的补贴减少之后，这一政策对于发展新能源汽车市场来说变得更加重要。¹⁵³预计这一双重信贷政策对实现中国到**2025年**新能源汽车新车销量达到汽车新车销售总量的**20%**这一目标来说非常关键。¹⁵⁴

在为新能源汽车的供给侧和需求侧提供支持的同时，中国还投资建设了配套基础设施。中国上下许多城市都为新能源汽车的充电设施提供资金或运营补贴。中国拥有全球最大的电动汽车充电网络。**2021年**，中国的新能源汽车公共充电站点数量已经超过了**110万**。¹⁵⁵而**2016年**仅有**141200个**充电站点（见图8）。购买新能源汽车后配套安装的私人充电桩数量已从**2016年的6.2万增加至2021年的4700万**。¹⁵⁶

¹⁴⁸ State Council (2006) National Long-term Plan on Science and Technology Development, State Council, Beijing

¹⁴⁹ Beijing Government (2013) Beijing's New Energy Vehicle Supporting Policies and Subsidy, Beijing Municipal Government, Beijing

¹⁵⁰ Ministry of Finance (2020). 关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知 (Notice on optimizing fiscal subsidies for promoting new energy vehicles). [/jjs.mof.gov.cn/zhenqcefa/gui/202004/l20200423_3502975.htm?from=timeline&isappinstalled=0](http://jjs.mof.gov.cn/zhenqcefa/gui/202004/l20200423_3502975.htm?from=timeline&isappinstalled=0)

¹⁵¹ Zhang, X., Bai, X., & Zhong, H. (2018). Electric vehicle adoption in license plate-controlled big cities: Evidence from Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 202, 191-196.

¹⁵² IEA (2021), *Fuel economy in China*, IEA, Paris www.iea.org/articles/fuel-economy-in-china

¹⁵³ Li, Y., Zhang, Q., Li, H., Tang, Y., & Liu, B. (2019). The impact of dual-credit scheme on the development of the new energy vehicle industry. *Energy Procedia*, 158, 4311-4317.

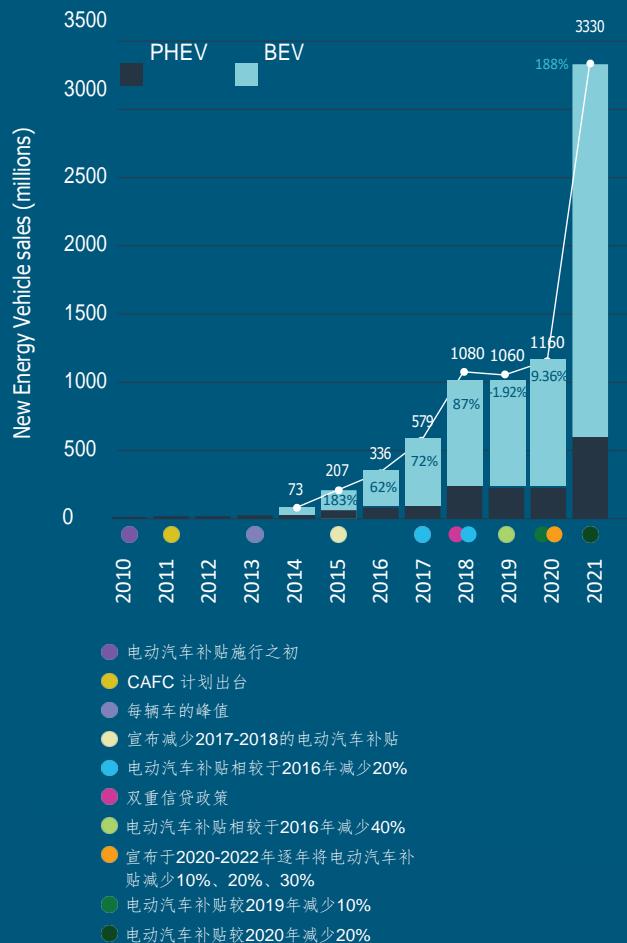
¹⁵⁴ Chen Z, He H. (2022) How will the dual-credit policy help China boost new energy vehicle growth? Available at: ccsi.berkeley.edu/sites/default/files/China_Dual_Credit_Policy_Brief_Feb2022.pdf (2022/03/31)

¹⁵⁵ IEA (2022), Global EV Outlook 2022, IEA, Paris www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022

到2015年，中国已经成为世界上电动汽车销量最多的国家。贯穿三个决策领域的一揽子政策带来了中国电动汽车销量的快速增长，销量从2010年的6023辆增长到2021年的300多万辆（见图8）。增长继续超出预期：2020年，电动汽车的预计销售额为220万辆，而实际销量超出了50%以上，持续的能源危机和中国未给汽油提供补贴是其中的部分原因。

最新数据显示，2022年上半年新能源汽车的销量为260万辆，是2021年同期的两倍多，占新车总销量的20%以上。¹⁵⁷根据中国汽车技术研究中心（CATARC）的预测，到2030年，新能源汽车的销量将占到汽车新车总销量的40%，到2035年有望超过50%。根据2021和2022年的数据，上述目标甚至有可能提前实现。

a.



b.

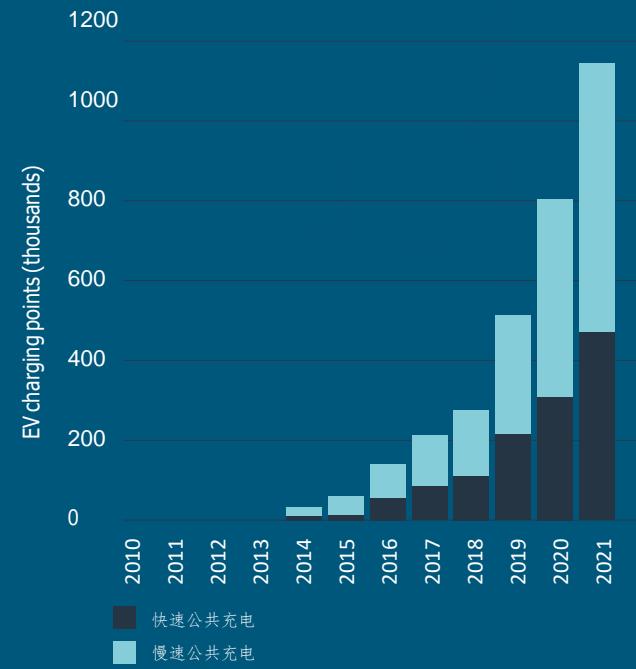


图8. a)电动汽车销量；b)2010年至2021年间中国的公共充电站点。快慢是指充电站点的充电速度。数据来源:全球电动汽车数据探索¹⁵⁸

156 除来自IEA的数据外，其他数据均来自中国电动汽车充电基础设施促进联盟 (EVCIPA, www.evcipa.org.cn)

157 Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (MIIT) (2022). Economic operation of the automobile industry in June 2022.. Available at: www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/zbqy/qc/art/2022/art_236f9381746c4f56a9c2bdd0e8748b31.html; Accessed on July 2022.

158 IEA (2022), Global EV Data Explorer, IEA, Paris www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer

第二部分

政策评估的原则

成本效益分析通常等同于确定能够从货币总量或**GDP**角度最大化经济效率的政策，这是对成本效益分析的正式理论的概括*。本节对四个基本挑战（深度不确定性、各国内部的分配、国家间的合作和互补、形势变化）进行了分析，利用可以整合应对风险机遇的评价框架，为强化政策评估的方法提供了指导。



* 见《创新与转型的新经济学：评估机会和风险》，COP26 EEIST 报告，www.eeist.co.uk/reports，Box 1.



原则6：

政策设计应具有适应性

传统原则：政策应该是最佳的



概述：随着时间的推移，各经济体的发展路径不同。在实践中，就公共目标而言，往往很难确定哪一个政策是“最佳的”，以及哪一个政策在经济上是“成本最低的”，这意味着可能没有单一的“最佳”政策。鉴于经验教训，政策的设计应具有适应性，以便更好地应对不可预见的变化，利用机会和管理风险。



传统原则的合理性

一般来说，经济政策分析师关心的是经济效率的最大化，寻求“最佳”政策，以最低的成本实现预期的结果。这是以福利经济理论为基础的，该理论认为可以找到或者制造一种情况，在这种情况下，如果他人的境况没有变差，没有人能变得更好。这是经济资源的“最优”配置。按照这一逻辑，在市场失灵导致资源配置次优的情况下，政策可以（也应该）实现一种最优配置状态。



传统原则的局限性

上述的简单理论虽然针对分配做出了非常有力的假设（见原则7），却是一个静态的理论，探讨的是在给定的时间点上现有资源的分配。低碳转型所面临的挑战是不同的：它需要创新——创造新的经济资源和技术——以及长期的结构性变化（经济转型）。在这种背景下，很难事先确定“最佳”选择。经济发展可以选择的路径是无限的，取决于不同的政策利益，很多发展路径可能更优，也可能更糟。

鉴于此，确定一个经济体的“最佳”发展路径以及该经济体对气候变化作出的最佳反应，在理论上是不可能的（因为存在大量的可能性）。而在实践中，能源转型面临着多重的相互作用和不确定性，因此，选择一个相对于多个政策目标来说“更好”而不是“更坏”的路径和政策设计是非常困难的。

在这种情况下，寻求“最佳”政策可能会阻碍我们基于现有的知识和不确定性对政策的有效性和稳健性（包括机遇和风险）作出更加现实和全面的考虑。



原则6的依据

推动脱碳经济转型的政策只能在高度不确定的背景下实施。未来三十年间，各种变化将层出不穷，总会有偏离预期的情况发生。在结构转型政策的背景下，如果一项政策不能期望达到最优，至少可以具备适应性，即保持变革的能力，利用环境变化带来的机会，降低过早、过度地坚持特定路径所产生的风险和成本。这表明，政策选择应该重视灵活性和更多选择的机会，同时将风险最小化，而不是寻求最优（原则9）。

原则1-5概述了激励深度转型的政策设计基础。这种动态过程的内在不确定性与可知和稳定均衡的概念以及边际变化的参考点形成鲜明对比，因此需要适应性。为了保持政策的有效性和持久性，单个工具和更广泛的政策组合（见原则5）¹⁵⁹必须能够适应相关的宏观经济、人口、社会和地缘政治趋势和发展，以及技术、基础设施、市场、偏好和政治的变化形势。此外还需适应政策本身的发展变化。否则，政策很可能是无效、脆弱和破碎的，从而导致形势突变带来的破坏性后果和高昂的代价。借用商业术语来说，持久的最优是不存在的，目标应该是持续改进。

¹⁵⁹ “政策组合”既包括单个工具和政策策略，也包括每个工具的目标和设计特征、政策制定和实施的过程，以及“政策组合”的总体特征（包括一致性、连贯性、可信度和全面性）⁶。



在脱碳过程中，会产生何种影响和反馈，它们究竟会产生良性还是恶性循环，是可以合理预测的。例如，不同技术的特征可能有助于预测成本降低的大致程度和速度（参见原则1和《创新和转型的新经济学》第3.5节）。尽管存在广泛的不确定性，例如，一项新技术达到与现有技术竞争的发展程度存在时间窗口，但是随着时间的推移，任何补贴和支持政策的影响都可以在之后估算出来。有些结果则可能无法有把握地预测。本就存在巨大不确定的研发、“边做边学”的模式、规模经济进程与系统中其他因素相互作用的方式，以及不断变化的宏观经济和地缘政治条件的影响（对国际能源和其他商品价格的影响），都造成了相当大的不确定性。经验告诉我们，意外不仅会发生，而且经常发生。

自20世纪20年代以来，适应性政策的概念沿用至今，当时美国哲学家和教育家约翰·杜威（John Dewey）认为，政策和实验是类似的。我们需要随着环境的变化以及从经验中获取的新信息逐步对实验作出调整。¹⁶⁰适应性决策是一种学习方法，^{161,162,163}一旦获得了额外信息，就需要对初始计划进行监测和重新评估。在低碳转型的背景下，这一原则的应用至关重要。^{164,165,166,167,168,169,170}

图9显示了为制定具有适应性的政策应该考虑的不同方面，以及在政策设计和实施过程中让不同类型的利益攸关方参与进来的重要性。

160 Dewey, J., & Rogers, M. L. (2012). *The public and its problems: An essay in political inquiry*. Penn State Press.

161 Busch, J., Foxon, T. J., & Taylor, P. G. (2018). Designing industrial strategy for a low carbon transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 29, 114-125

162 Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & Ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2), 485-498

163 Walker, W. E., Rahman, S. A., & Cave, J. (2001). Adaptive policies, policy analysis, and policy-making. *European journal of operational Research*, 128(2), 282-289

164 Busch, J., Foxon, T. J., & Taylor, P. G. (2018). Designing industrial strategy for a low carbon transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 29, 114-125

165 Zandvoort, M., Campos, I. S., Vizinho, A., Penha-Lopes, G., Lorencová, E. K., van der Brugge, R., ... & Jeuken, A. B. (2017). Adaptation pathways in planning for uncertain climate change: Applications in Portugal, the Czech Republic and the Netherlands. *Environmental Science & Policy*, 78, 18-26

166 Michas, S., Stavrakas, V., Papadelis, S., & Flamos, A. (2020). A transdisciplinary modeling framework for the participatory design of dynamic adaptive policy pathways. *Energy Policy*, 139, 111350

167 Polzin, F. (2017). Mobilizing private finance for low-carbon innovation—A systematic review of barriers and solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 525-535

168 Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. *Joule*, 1(3), 463-479

169 Green, F., & Gambhir, A. (2020). Transitional assistance policies for just, equitable and smooth low-carbon transitions: who, what and how? *Climate Policy*, 20(8), 902-921

170 Bizikova, L., Swanson, D., Tyler, S., Roy, D., & Venema, H. D. (2018). Policy adaptability in practice: Lessons learned in the application of the Adaptive Design and Assessment Policy Tool (ADAPTool) to examine public policies in Canada in the context of climate change. *Policy Design and Practice*, 1(1), 47-62.

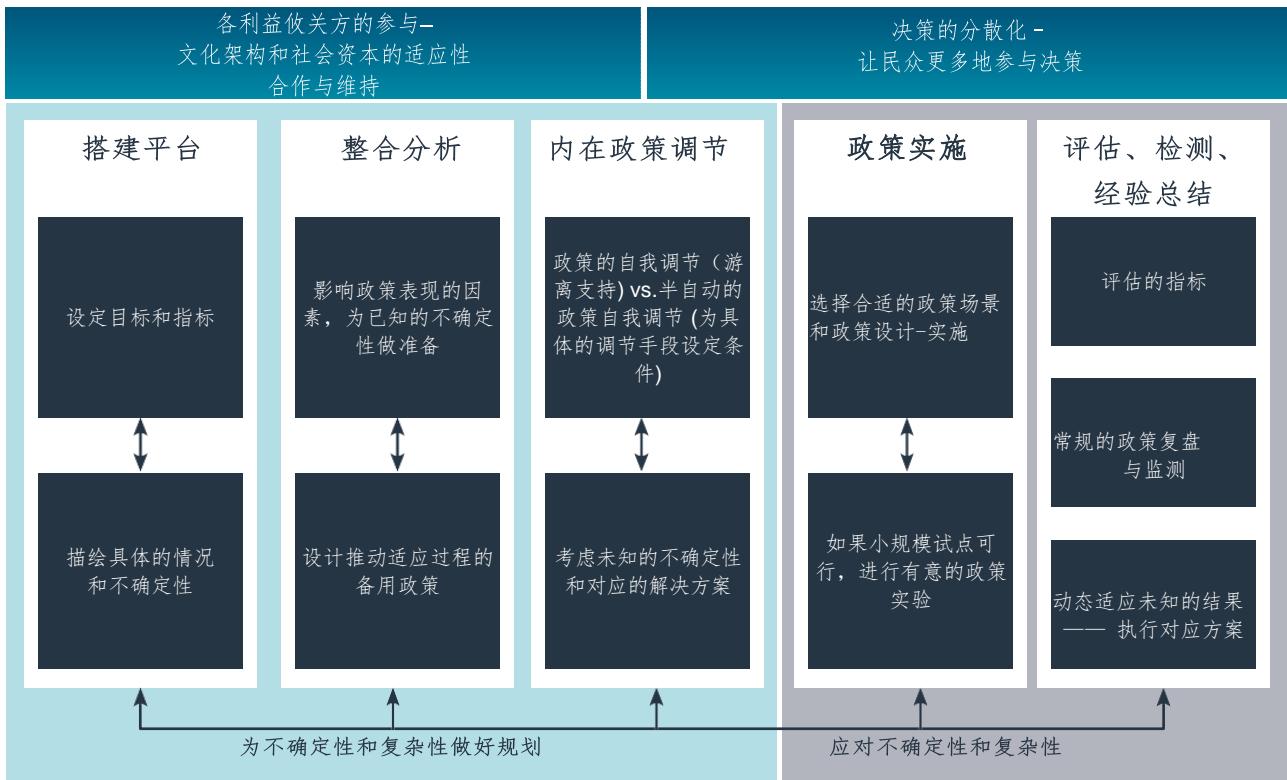


图9. 为了让适应性政策在复杂、动态和不确定的条件下更有效地发挥作用而制定和实施的示意性框架。¹⁷¹最上面一行显示了在政策设计、实施和评估过程中让不同类型利益攸关方和专家参与进来的重要性。资料来源：根据^{172,173,174}自行建构

为提高灵活性，低碳转型政策应随着市场的变化和信息的增加而调整。¹⁷⁵这种灵活性可以在政策方案层面实现（例如，为方案在不同时间点达到的效果制定明确的动态目标，并管理好基于结果和其他发展所产生的变化预期），也可以在政策工具层面实现（例如，纳入预先定义的审查期，根据技术特征的演变对严格程度和补贴水平进行自动调整）。这种内在的灵活性机制有利于对政策要素进行调整、替换或取消，以有序、合理且可以预测的方式，为微小的政策设计调整向战略方向转变保留空间，这种调整可以通过预先确定的标准自动进行，也可以通过决策者的主动选择来实现。¹⁷⁶

为了达到政策效果，灵活性机制必须以关键指标监测和报告系统为基础，而后者则需要制度和能力的充分支持（见图9关于评价和监测的最后一栏）。监测和评估从一开始就应该成为政策设计的一个固有部分。¹⁷⁷通过提供关于政策效果和实施环境的具体和共同信息，政策反馈的性质可能会受到影响。为了维护信任，独立机构或许是发挥监督作用并就政策调整提供建议的最佳之选。在货币政策领域，独立的央行成功地发挥了以上作用，在气候政策领域，英国气候变化委员会也扮演了同样的角色。

¹⁷¹ Swanson, D., Barg, S., Tyler, S., Venema, H., Tomar, S., Bhadwal, S., ... & Drexhage, J. (2010). Seven tools for creating adaptive policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 924-939

¹⁷² Swanson, D., & Bhadwal, S. (Eds.). (2009). *Creating adaptive policies: A guide for policymaking in an uncertain world*. IDRC

¹⁷³ Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & TerMaat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2), 485-498

¹⁷⁴ Walker, W. E., Rahman, S. A., & Cave, J. (2001). 'Adaptive policies, policy analysis, and policy-making.' *European Journal of Operational Research*, 128(2), 282-289

¹⁷⁵ Konidari, P., & Mavrikis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235-6257

¹⁷⁶ Konidari, P., & Mavrikis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235-6257

¹⁷⁷ Chan, G., Goldstein, AP, Bin-Nun, A., Anadon, LD, Narayananamurti, V. 'Six principles for energy innovation.' *Nature* (2017) 552:25-27. doi:10.1038/d41586-017-07761-0.

案例研究6： 巴西太阳能光伏发电的扩张

相较于欧洲，巴西阳光更加充足，而在2021年，该国太阳能却仅占全国供电总量的1.7%¹⁷⁸，远低于德国（9%）、法国（3%）以及西班牙（6%）等国。上述各国对部署太阳能光伏发电国家进行了巨额投资¹⁷⁹。这种差距部分归因于巴西采取政策工具的时间较晚。

直到2011年该国才在东北部塞阿拉州（Ceará）的陶阿（Tauá）设立了首个大型光伏发电厂。此后由于政策改变促进了太阳能部署以及费用削减，巴西领土内的光伏能源系统数量迅猛增长（见图10和图11）。

2012年，巴西法规发生改变，允许小供应商以零成本或低成本上接国家电网，光伏发电便日渐扩张。¹⁸⁰ 2012年的初步法规¹⁸¹是一次政策变革，而此后数年的调整则是对该政策有规划的适应，其中包括在2015年实施了一项新法规。¹⁸² 2015年，该法规做出调整，变化之一是延长了使用净计量电价的分布式能源系统的减免额期限，即消费者生产的能源盈余如果上网，可以获得最高60个月的能源信用额度作为回报，还可以提高装机容量的限制。¹⁸³ 这些改变离不开法律的弹性，法律整合了实际的经验，考虑到了不同用户具有的不同需求。

2014年太阳能发电站开始公开拍卖（具有即期担保），价格对生产者有利，促进了集中式发电的发展。¹⁸⁴ 为应对2001年至2002年间的电力短缺，2004年巴西对电力监管框架进行了结构性改革，实施拍卖作为政策工具。¹⁸⁵ 此次监管体系结构性改革中，通过制度设计，既举办技术中立招标和有底价拍卖，又举办专项技术拍卖。这种灵活的制度设计使得政策制定者能够重新

分配对不同技术的支持，而无需颁布新法规或进行新的市场变革。随着时间推移，即使太阳能在全球发展迅速而在巴西覆盖率较低，政策制定者也能通过逐渐将太阳能（以及风能）纳入到有底价的专项技术拍卖中来应对。2015年，适逢上文所提及的法规改革，太阳能专场拍卖揭开序幕。如图10以及图11所示，2015年后，太阳能部署迅速扩张，成本下降。成本的进一步削减、业务模式的发展以及消费者信心的增长推动了2017年太阳能光伏发电继续发展。当时越来越多家庭以及企业开始投资太阳能，不仅是为了节省电费，还能将电力盈余出售给公共电网，从而大大促进了巴西太阳能光伏能源的发展。

除了调整减免额期限和申请资格、进行专项技术拍卖，适应性政策设计的另一特征就是除有底价拍卖以外，巴西拍卖数量与需求预测密切相关。¹⁸⁶ 如果预期需求增长，清洁能源合同拍卖数量也会随之增加。这使得政策能够持续调整，更适应市场增长的步伐，而非任由差距扩大而需要做出更大的修正。然而政策适应性仍有进一步提升空间。例如，拍卖日程难以预测，这是阻碍更大投资的常见因素。¹⁸⁷

总体而言，尽管起步较慢，但巴西设计的适应性太阳能光伏政策刺激了清洁、可持续技术的应用。如图10所示，2017年至2022年间，巴西的太阳能技术装机容量呈指数型增长。预计到2022年，在建太阳能光伏发电量将增加3.7吉瓦，另外还有28.6吉瓦太阳能光伏发电量已获批。¹⁹¹

¹⁷⁸ MME (2022). Ministério de Minas e Energia. Boletim Mensal de Energia Novembro 2021. Available at: www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2021/ingles/11-boletim-mensal-de-energia-novembro-2021/view

¹⁷⁹ IEA (2021). Electricity Information www.iea.org/data-and-statistics/data-product/electricity-information. 从2020年开始，德国、法国和西班牙的太阳能光伏发电占全国发电量的百分比

¹⁸⁰ Esposito, A. & Fuchs, P. (2013). Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. web.bnDES.gov.br/bib/ispu/handle/1408/1421

¹⁸¹ Regulation ANEEL RN 482/2012, see: www.legisweb.com.br/legislacao/?id=342518

¹⁸² Regulation ANEEL's RN 687/2015, see: microinversor.com.br/resolucao-normativa-687-aneel/?v=19d3326f3137



图10. 巴西太阳能光伏装机容量（包括集中式装机容量和分布式装机总量）单位：兆瓦

资料来源：对Absolar¹⁸⁸数据的解读。同时显示了引进太阳能光伏发电扩建的拍卖（年份/拍卖月份数）以及每次拍卖授予的发电容量（兆瓦）（例如，2014/8 890兆瓦指2014年8月（第8个月）的拍卖发电量，其中890兆瓦为太阳能发电量）。¹⁸⁹



图11. 巴西太阳能光伏总装机成本（y轴左侧）以及平准化度电成本（y轴右侧）

资料来源：对IRENA 2021¹⁹⁰数据的解读。

183 Barbosa, J. P., Saraiva, J. D., & Seixas, J. (2020). Solar energy policy to boost Brazilian power sector. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(3), 349-367.

184 Pereira, N. (2019). Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada. UNESP

185 Barbosa, J. P., Saraiva, J. D., & Seixas, J. (2020). Solar energy policy to boost Brazilian power sector. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(3), 349-367.

186 Fraundorfer, M., & Rabitz, F. (2020). The Brazilian renewable energy policy framework: Instrument design and coherence. *Climate Policy*, 20(5), 652-660.

187 Diógenes, J. R. F., Claro, J., & Rodrigues, J. C. (2019) Barriers to Onshore Wind Farm Implementation in Brazil. *Energy Policy* 128: 253-266.

188 www.absolar.org.br/mercado/infografico

189 ANEEL (2022). Resultados dos leilões de expansão da geração. Relatório interativo. Dados por Empreendimento. Access: app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjE-uyNy00OTNLWl1YzctZl0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWViYTctNDZhMi05MmQ0LWhNGU5YzAxNzBIMSlsmM0IjR9. Last accessed July 2022.

190 IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

191 www.statista.com/statistics/685667/brazil-power-generation-capacity-additions-by-source

原则7：

将分配问题放在中心位置

传统原则：只要总收益大于成本，就采取行动



概述：低碳转型必然涉及经济资源的分配问题，而分配问题应处于政策分析的中心位置，因为这些问题对环境、经济和社会目标至关重要，并可能对转型获得的社会支持产生重大影响。



传统原则的合理性

许多经济分析都离不开总体效率成果。成本-效益分析（CBA）与总成本以及效益有关（而与效益分配方式无关），政府使用CBA时遵循的总体原则是，在一切以货币衡量的情况下，如果政策带来的效益超过其成本，就采取行动，¹⁹²不过决策时也通常会从广泛的战略角度来考虑。实际上，CBA在执行时很少完全遵从福利最大化理论（见表2，¹⁹³“成本-效益评估基本原则”）。相反，效益和成本通常都是以总货币价值来计算的，决策时追求的是GDP最大化（或总成本最小化）。

原因是在实践中很难去定义什么才算“恰当的社会福利函数”，¹⁹⁴同时也参考了“做大经济蛋糕”可以使所有人受益的观点：具体而言，当一个政策的“赢家”使用部分自己所得去补偿“输家”，就可以实现“帕累托效率”（如在不损害他人利益基础上增加某人的利益）。有些分析者则主张，通过再分配政策解决分配不平等问题会阻碍经济增长。¹⁹⁵为解决总体措施和帕累托优化和分配理论之间的矛盾，“补偿”的假设大致可以理解

为倾向于市场（以及脱碳）的政策可以有效地关注GDP最大化（或总成本最小化），而政府应该通过财政支出（如在公共服务方面的支出）等机制以及税收结构来解决分配问题。

尽管CBA的局限性广为人知（如不确定性、原则6、原则9），¹⁹⁶这一分析体系素来被经济分析师看作是一个客观工具，可以让决策免受政治压力、愿望、情感或者权力的影响。¹⁹⁷这一体系有助于决策过程结构化，以避免任意性、混乱无序或过度政治化。作为评估公共项目及投资的方法论，CBA的缜密性是其重要优势。¹⁹⁸



传统原则的局限性

有人认为经济分析应该关注总体效益，其暗含的假设是效益是公平、平等地分配的，而该假设并不能成立。在以前发布的报告中，我们论证了CBA会使决策偏向现状。实证也表明，极度不平等会阻碍甚至制约经济增长。¹⁹⁹在许多地区，政策在何种程度上能解决分配问题也有待商榷。²⁰⁰

¹⁹² Sunstein, C.R. 2005 'Cost-benefit analysis and the environment'. *Ethics*, 115 (2), 351-385.

¹⁹³ Grubb, M., Drummond, P., Mercure, J-F., Hepburn, C., Xiliang, Z., Mathur, R., Ferraz, J.C., Roventini, A., Kelkar, U., Anadon, L.D., Clark, A., Ives, M., Jones, A., Barbrook-Johnson, P., Gao, J., Kolesnikov, S., Lam, A., Ramos, L., Pasqualino, R., Penasco, C., Politt, H., Salas, P., Waghray, K., Zhu, S., Sharpe, S. (2021) 'The New Economics of Innovation and Transition: Evaluating Opportunities and Risks', EEIST Report to COP26, www.eeist.co.uk/reports; UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy.

¹⁹⁴ Adler, M. 2012. *Well-being and fair distribution: beyond Cost-benefit analysis* (2012). Oxford University Press

¹⁹⁵ Okun, A. (2015). *Equality and Efficiency: The big trade-off*. Brookings Institution Press. Washington D.C.;

¹⁹⁶ Adler, M. 2012. *Well-being and fair distribution: beyond Cost-benefit analysis* (2012). Oxford University Press

¹⁹⁷ Sunstein, C. Some benefits and Costs of Cost-Benefit Analysis. *Daedalus*, Forthcoming. Available at SSRN: ssrn.com/abstract=3825061

¹⁹⁸ HM Treasury 2022. *The Green Book*. London. UK Government.

¹⁹⁹ Ostry, J.D., Loungani, P., Berg, A. (2019). 'Confronting Inequality How Societies Can Choose Inclusive Growth' Columbia University Press, New York, USA.; see also: Boushey, H. (2019). 'Unbound: How Inequality Constricts Our Economy and What We Can Do about It'. Harvard University Press. Cambridge, MA, USA.

²⁰⁰ E.g., Piketty, T. (2017) *Capital in the Twenty First Century*. Harvard University Press, Cambridge MA, USA.



原则7的依据

去碳化政策的分配影响是任何政策决策的核心。要成功且公平地过渡到净零碳经济，需要成本和利益的公平分配。²⁰⁷

一些负面的分配效应很难避免，因为低碳转型必然涉及大规模的经济变革。跨行业、在同一行业中跨技术和生产商、跨地理区域和跨社会群体的经济资源的转移在所难免。²⁰⁸我们仅能够预测其中的一些变化，但绝非全部。在原则1中，我们认为，任何政策都无法达到真正的“技术中立”，因此在某些情况下，最好是有意为之，而不是无意选择。我们认为，任何一套低碳转型政策都会产生分配效应，因此最好弄清楚这些后果可能会是什么，以便对其进行恰当考量，在必要时加以解决。此外，经验表明，不充分考虑特定政策的分配影响会激起公众的反对（见关于碳燃料税和法国“黄背心”的案例研究7），甚至退缩，危及未来的其他去碳化政策。

越来越多的研究发现，各种去碳化政策对短期或中期分配产生了负面影响。²⁰⁹大多数情况下，这些成本都由能源消费者负担。^{210,211,212}用于支持可再生能源部署的政策方案尤其如此，例如上网电价、可再生能源组合标准（RPS）、可交易绿色证书（TGC）和/或能源招标。

传统政策评估中特别令人关注的是，政策带来的分配效应没有得到充分考虑，包括对其是否公平的感知，由此产生的成本和收益的分配以及其他福利效应。²⁰¹从整体的角度看，对谁“受益”谁“受损”的考量变得不那么明显了。²⁰²尽管这些问题可能被视为“政治”议题，纳入围绕区域资金和累进（或累退）税的一般政府分配政策中，但现实情况是，许多具体的能源转型政策将产生分配效应。从逻辑上讲，政府和政策制定者必须明确考虑分配问题。

越来越多的文献认识到，政府用于制定低碳转型政策路径的方案可能无法充分显示或考虑政策实施对不同群体的分配和福利影响。例如，一些评估过程可能忽略了对较贫困家庭的不利影响，²⁰³尽管一些评估过程确实为不同收入群体细分了权重，但仍没能充分平衡分配和福利二者所带来的影响。

理解特定政策手段设计或政策组合能否产生或加剧负面影响（即使总收益大于成本），对于未来的去碳化可能至关重要。²⁰⁴如果政策被视为具有不公平性（例如，导致特定社区的失业，包括以煤炭为基础的经济和地区），很难得民心。这可能会放缓转型的步伐，而目前的科学研究表明我们无以承受。²⁰⁵若预计会出现负面分配影响时，解决或减轻其影响是去碳化的一个重要方面。越来越多新的CBA分析方法已把成本和收益纳入考虑范围。²⁰⁶

²⁰¹ Shortall, R., & Mouter, N. (2021). Social and distributional impacts in transport project appraisals. In Advances in Transport Policy and Planning (Vol. 8, pp. 243-271). Academic Press.

²⁰² Van der Pol, T., Bos, F., Romijn, G. (2017). Distributionally weighted cost-benefit analysis: From theory to practice. CPD Discussion Paper N 364.

²⁰³ Ruiz-Huerta, J. 2022. Libro Blanco sobre la reforma tributaria. Madrid, Government of Spain. www.ief.es/docs/investigacion/comiteexpertos/LibroBlancoReformaTributaria_2022.pdf

²⁰⁴ Klenert, D., Mattauch, L., Combet, E., Edelhofer, O., Hepburn, C., Rafaty, R., & Stern, N. (2018). Making carbon pricing work for citizens. *Nature Climate Change*, 8(8), 669-677.

²⁰⁵ IPCC 2022. Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf](http://ar6wg3.pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf)

²⁰⁶ Robinson, L.A., Hammitt, J.K. (2018). Assessing the Distribution of Impacts in Global Benefit Cost Analysis. Guidelines for Benefit Cost Analysis Project Working Paper No. 3. Also available at SSRN: ssrn.com/abstract=4014003. Available at: <https://cdn2.sph.harvard.edu/wp-content/uploads/sites/94/2017/01/Robinson-Hammitt-Adler-Distribution-2018.03.07.pdf>; Accessed on: July 2022.

²⁰⁷ McInnes, G. (2017). Understanding the distributional and household effects of the low-carbon transition in G20 countries. OECD report, February. Available at: www.oecd.org/env/ccl20-climate/collapserecontents/McInnes-distributional-and-household-effects-low-carbon-transition.pdf; Accessed on: July 19, 2022.

²⁰⁸ Markanen, S., Anger-Kraavi, A., (2019). Social impacts of climate change mitigation policies and their implications for inequality, *Climate Policy*, 19 (7), 827-844

²⁰⁹ Peñasco, C., Anadón, L.D., & Verdolini, E. (2021). Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments. *Nature Climate Change*, 11(3), 257-265.

²¹⁰ del Río, P. & Gual, M.A. (2007). 'An integrated assessment of the feed-in tariff system in Spain.' *Energy Policy* 35, 994–1012 (2007)

²¹¹ Bean, P., Blazquez, J. & Nezamuddin, N. (2017). 'Assessing the cost of renewable energy policy options – A Spanish wind case study.' *Renew. Energy* 103, 180–186 (2017)

²¹² Menanteau, P., Finon, D. & Lamy, M.-L. (2003). 'Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy.' *Energy Policy* 31, 799–812 (2003).



尽管去碳化措施往往能起到创新驱动的作用，但也无形中使得消费者的能源价格上涨（至少短期内有所增加），转而给贫困家庭带来了相对富裕家庭更大的负担。²¹³从经济学的角度讲，能源价格的上涨通常是回归性的。^{214,215,216}

在企业层面也存在显著的负面分配效应，而且往往取决于企业的规模。例如，与大公司相比，独立可再生能源开发商在某些情况下处于劣势。^{217,218,219}碳税的特定设计造成了广泛的负面效应，在没有替代和/或补偿机制的情况下，对贫困家庭²²⁰和农村地区家庭²²¹的影响完全不成比例。

可以通过审慎的政策设计来对上述问题进行权衡。²²²例如，将可再生能源支持政策设计为稳定的、可预测的、动态调整的，并与补充政策协调，防止生产

商牟取暴利，并减轻对能源消费者产生负面影响的可能性。^{223,224,225,226}除碳税外，可以同时实施替代机制，如总数再分配，或者在降低工资税的同时提高环境税，深化环境税改革，转移税收负担；以产生双倍（甚至三倍）的红利，同时对环境目标和社会公平作出积极贡献。^{227,228}

政策的制定还需要解决创新领域投资成本方面的潜在紧张关系，包括国家内部和国与国之间的。此类投资在短期内通常涉及更高的成本，但在可以带来长期效益，对于应对气候危机造成的不平等现象至关重要。而这些不平等现象也是高收入国家与中低收入国家间的核心差异。对新技术的采纳须提供实际支持和资金支持，以实现更快、更公平的转型（见原则8）。²²⁹

²¹³ Costa-Campi, M.T., Trujillo-Baute, E. (2015). 'Retail price effects of feed-in tariff regulation'. *Energy Economics*, 51: 157-165.

²¹⁴ 一些经济学家声称，中低收入经济体的情况并非如此，在某些情况下，碳定价可以是渐进性的。（见 Ohlendorf et al. 2021; Steckel et al., 2021）

²¹⁵ Ohlendorf, N., Jakob, M., Minx, J.C., Schröder, C., & Steckel, J.C. (2021). Distributional impacts of carbon pricing: A meta-analysis. *Environmental and Resource Economics*, 78(1), 1-42.

²¹⁶ Steckel, J.C., Dorband, I.I., Montrone, L. et al. Distributional impacts of carbon pricing in developing Asia. *Nat Sustain* 4, 1005–1014 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00758-8>

²¹⁷ Van der Linden, N.H., Uytterlinde, M.A., Vrolijk, C., Nilsson, L.J., Khan, J., Astrand, K., Ericsson, K., Wiser, R. 2005. Review of international experience with renewable energy obligation support mechanisms. ECN, ECN-C-05-025.

²¹⁸ Jacobsson, S., Bergek, A., Finon, D., lauber, V., Mitchell, C., Toke, D., Verbruggen, A. 2009. EU renewable energy support policy: faith or facts? *Energy Policy*, 37 (6): 2143-2146

²¹⁹ Shrimali, G., Konda, C., & Farooqee, A.A. (2016). Designing renewable energy auctions for India: Managing risks to maximize deployment and cost-effectiveness. *Renewable Energy*, 97, 656–670.

²²⁰ McInnes, G. (2017). Understanding the distributional and household effects of the low-carbon transition in G20 countries. OECD, Paris.

²²¹ Callan, T., Lyons, S., Scott, S., Tol, R.S.J., Verde, S. (2009). The distributional implications of a carbon tax in Ireland. *Energy Policy*, 37:407-412

²²² Peñasco, C., Anadón, L. D., & Verdolini, E. (2021). Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments. *Nature Climate Change*, 11(3), 257-265.

²²³ Ang, G., Rötgers, D., Burli, P. (2017). The empirics of enabling investment and innovation in renewable energy. OECD Environment Working Papers, No. 123, OECD Publishing, Paris.

²²⁴ Butler, L., Neuhoff, K. (2008). Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development. *Renewable Energy*, 33(8): 1854-1867.

²²⁵ Schallenberg-Rodriguez, J. (2017). Renewable electricity support systems: Are feed-in systems taking the lead?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1422-1439.

²²⁶ Fagiani, R., Barquín, J., & Hakvoort, R. (2013). Risk-based assessment of the cost-efficiency and the effectiveness of renewable energy support schemes: Certificate markets versus feed-in tariffs. *Energy policy*, 55, 648-661.

²²⁷ Oueslati, W., Zipperer, V., Rousseliere, D., Dimitropoulos, A. 2017. Energy taxes, reforms and income inequality: An empirical cross-country analysis. *International Economics*, 150: 80-95.

²²⁸ Vona, F. (2021). Managing the distributional effects of environmental and climate policies: The narrow path for a triple dividend. OECD Work in Paper, Paris.

²²⁹ Taconet, N., Méjean, A., & Guivarch, C. (2020). Influence of climate change impacts and mitigation costs on inequality between countries. *Climatic Change*, 160(1), 15-34.



案例研究7： 法国的碳道路燃料税和 “黄背心”运动

法国政府在2018年征收的道路运输税是一个众所周知的例子。该政策欠缺对分配影响的全面考量，目的仅为减少道路运输业的温室气体（GHG）排放。环境税是对巴黎COP21协议承诺的一部分，已上升为法国实现低碳转型和减少运输业温室气体排放的主要战略之一，特别是运输产品的能源税。计划的措施之一是将每升汽油税和柴油税分别增加近5到8美分（不含增值税），相当于在加油站支付的价格平均增加3-5%。虽然还出台了配套措施，如购买电动车提供统一补贴和能源退税，但最初设计的燃油税对穷人产生了不成比例的影响。

从福利经济学的角度讲，有理由反对政府最初的一揽子政策，因为它没有充分考虑税收的分配影响。²³⁰

政策被认为具有不公正性，²³¹这导致2018年11月爆发的“Gilets Jaunes”（黄背心）运动，广义目标是阻止征税。游行的人群背景各异，48%的人年龄在50岁以上，75%的人每天都使用机动车，65%的人月均收入低于全国标准。^{232,233}大约一个月后，政府做出回应，建议逐步提高燃油税，并将低收入群体购买电动汽车的补贴金额翻倍。

这两项政策变化都从整体上权衡了减缓气候变化与社会经济公正之间的关系。^{234,235}本案例说明了在政策实施前评估福利和分配层面的重要性。

²³⁰ Salies, E. (2019). Gilets Jaunes: Is the energy transition possible while still reducing inequality? OFCE –le Blog. SciencesPo publishing. Paris. www.ofce.sciences-po.fr/blog/gilets-jaunes-is-the-energy-transition-possible-while-still-reducing-inequality

²³¹ Teixidó, J. J., & Verde, S. F. (2017). Is the gasoline tax regressive in the twenty-first century? Taking wealth into account. Ecological economics, 138, 109-125.

²³² Les 'Gilets Jaunes': La Partie Emergée de la Crise Sociale Française?. (2019), Institut Montaigne. www.institutmontaigne.org/bloq/les-gilets-jaunes-la-partie-emergée-de-la-crise-sociale-française

²³³ Martin, M., & Islar, M. (2021). The 'end of the world' vs. the 'end of the month': understanding social resistance to sustainability transition agendas, a lesson from the Yellow Vests in France. Sustainability Science, 16(2), 601-614.

²³⁴ Martin, M., & Islar, M. (2021). The 'end of the world' vs. the 'end of the month': understanding social resistance to sustainability transition agendas, a lesson from the Yellow Vests in France. Sustainability Science, 16(2), 601-614.

²³⁵ Salies, E. (2019). Gilets Jaunes: Is the energy transition possible while still reducing inequality? OFCE –le Blog. SciencesPo publishing. Paris. www.ofce.sciences-po.fr/blog/gilets-jaunes-is-the-energy-transition-possible-while-still-reducing-inequality

原则8：

开展国际协作扩大清洁技术市场

传统原则：连接碳市场以最小化当前成本



概述：各国应进行国际合作，在全球经济体的每个排放行业发展清洁技术市场。这可以加快创新、扩大规模经济效应，加速降低清洁技术成本，造福所有国家。



传统原则的合理性

经济学家以及经济机构曾建议世界各国通力合作发展国际碳市场，因为这是减少全球碳排放的有效方式。²³⁶这一说法背后的逻辑是，碳市场可以在任何特定时间内找到成本最低的减排机会，市场越大，低成本减排机会就越多。²³⁷国际碳排放市场已经对减少碳排放做出了贡献。例如，《创新与转型的新经济学》这一报告中提到，《京都议定书》中的清洁发展机制（CDM）在印度过渡到高效照明的早期提供了重大支持。²³⁸这一机制也为发展中国家初步采用一系列其他清洁技术提供了部分资金支持，但是很多情况下，并未带来其他类型的资金。²³⁹



传统原则的局限性

我们若从动态的角度理解经济，就会发现传统原则的局限性。某一时刻的最低成本减排不一定带来一段时间的最低成本减排。例如，精准的政策推动了巨大的技术进步，使太阳能成为了“历史上最便宜的电力”²⁴⁰。这些政策是针对起初还十分昂贵的减排手段制定的。正如原则1所讨论的那样，这些政策会激发学习的反馈、改进和减低成本。

在原则4中提到，制定碳价格优于没有碳价格，建立碳市场优于完全没有政策。如果碳市场鼓励寻找最低成本的减排手段，最终可能会分散对高成本高收益机会的资源投入或推迟投资。从逻辑上讲，碳市场越大，就越能找到低成本的短期减排手段，²⁴¹企业就越容易满足监管要求，不用再投资于早期成本高昂的零排放技术。²⁴²

²³⁶ See icapcarbonaction.com/system/files/document/icap_linking-input-paper.pdf and www.oecd.org/economy/growth/towards-global-carbon-pricing-direct-and-indirect-linking-of-carbon-markets.pdf and openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26430/WP-PUBLIC-RegulatoryFrameworkWeb.pdf?sequence=1&isAllowed=true
注：在考虑采纳这类建议时，需要仔细考虑不同市场的不同严格程度以及相关的其他实际方面可能产生的有效性风险。我们在这里讨论的动态有效性方面的局限性与这些问题不同。

²³⁷ icapcarbonaction.com/system/files/document/icap_linking-input-paper.pdf [p4: Flachsland et al. (2008) and IETA (2006) 强调了更大的互联网市场有三个主要潜在经济利益：在众多减排方案中进行具有成本效益的减排分配，提高工作效率；增加市场流动性；以及减少竞争力的扭曲现象。这些利益共同构成了将国家系统打通的根本动力。]

²³⁸ Grubb et al., The New Economics of Innovation and Transition: Evaluating Opportunities and Risks, p19 and India case study, www.eeist.co.uk.

²³⁹ ec.europa.eu/clima/system/files/2017-04/clean_dev_mechanism_en.pdf

²⁴⁰ IEA, World Energy Outlook 2020

²⁴¹ icapcarbonaction.com/system/files/document/icap_linking-input-paper.pdf

²⁴² Vogt-Schilb, A., Meunier, G., Hallegatte, S., (2018), When starting with the most expensive option makes sense: Optimal timing, cost and sectoral allocation of abatement investment, Journal of Environmental Economics and Management, 88, 210-233



据原则5所述，实践中的有效创新需要多种政策工具来推动转型，其中一些政策要素最初可能更昂贵，尤其是战略投资。因此，在已经存在国家碳市场的情况下，将其与国际碳市场连接起来，在某些情况下可能会延迟转型进程。对推动技术变革的主力国家而言，或者在没有其他有效的国家或国际行动的情况下，尤为如此。²⁴³



原则8的依据

低碳转型取得的进展突出了国际协调发展清洁技术市场的价值。这是源于实证观察所得的学习曲线（或收益增长），这一曲线通常在扩大新清洁技术的规模时出现。正如原则1所述，每当全球累计部署量翻一倍，太阳能板、风力涡轮机、电动汽车电池和氢气电解器的成本都会以基本恒定的比例下降，尽管会有很大的波动。²⁴⁴这些技术在全球市场的份额增长越快，其成本下降就越快，所有国家都会从中受益。各国可以通过以下几种重要的方式，共同发展清洁技术市场：

（一）协调推动清洁技术的早期开发和测试。在转型初期，协调国际上的研发工作并分享学习，可以加速确定可行的解决方案。在各种背景下测试新技术可以加深对其潜力以及局限性的理解。尽管各国争相占据新技术的产业领先地位，事实证明，在此竞争前进行技术开发合作是可行的、有价值的。例如，通过国际能源组织的长期技术合作项目不断分享见解，²⁴⁵中美清洁能源研究中心的成立，²⁴⁶以及在“创新使命”

（Mission Innovation）倡议启动后，²⁴⁷主要经济体增加对清洁能源研发的投资。

（二）协调政策以扩大部署。在转型初期，试验各种不同的解决方案可能会有很多好处，后期如果加强协调，扩大已被证实最可行的解决方案的实施规模，会带来很多益处。每一个国家都想要选取最符合其国情的技术，越多的国家支持部署相同的清洁技术，这些技术所需要的成本就越低。就电力领域而言，在全球大多数国家，可再生电力比煤炭或天然气更加便宜，这主要得益于五个国家的协调行动。这五个国家的太阳能和风能加起来分别占全球市场的70%。²⁴⁹同样，为发展绿色氢气市场而采取的国际协调行动将加速电解槽成本下降。²⁵⁰如果各国快速部署，协调政策或监管要求，就可以激励产业投资更快地重新分配，投放到零排放科技领域，形成主导设计、统一的市场规则和资本分配机制。公路运输部门为我们提供了一个案例（见案例研究8）。

（三）协调建立公平的竞争环境。在能源密集型行业、航运和航空等行业，建立公平的竞争环境十分重要。在这些行业，清洁技术比化石燃料更昂贵，而较早采纳清洁技术的行业面临着在国际贸易中缺乏竞争力的风险。但是，各国合作制定行业标准（例如，规定贸易产品的碳强度或在运输路线上规定使用零排放燃料）可以使这种竞争推动清洁技术在全球市场的份额增长，而不是停滞不前。各国也可以通过共同制定碳定价实现这一目的，其形式可以是对特定部门内的碳定价水平进行协调，也可以是将各国特定部门的碳市场连接起来。据前文所述，后一种选择可能不会是最有效的。

²⁴³ Cullenward, D., Victor, D.G..(2020). Making climate policy work. John Wiley & Sons, 1–242 pp.

²⁴⁴ Way et al., (2021). Empirically grounded technology forecasts and the energy transition (2021) www.inet.ox.ac.uk/files/energy_transition_paper-INET-working-paper.pdf

²⁴⁵ IEA (2022). *International Energy Agency Technology Collaboration Programme*. <https://www.iea.org/programmes/technology-collaboration-programme>; Accessed on August 8, 2022.

²⁴⁶ Lewis, J. (2014). ‘Managing intellectual property rights in cross-border clean energy collaboration: The case of the US–China Clean Energy Research Center’ *Energy Policy* 69:546–554,

²⁴⁷ Meckling, J., Galeazzi, C., Shears, E., Xu, T., Anadon, L.D. (2022). ‘Energy innovation funding and institutions in major economies’. *Nature Energy*, accepted.

²⁴⁸ 太阳能：中国、美国、日本、德国和印度；风能：中国、美国、德国、印度和西班牙 www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021

²⁴⁹ IRENA www.irena.org/newsroom/pressreleases/2021/Jun/Majority-of-New-Renewables-Undercut-Cheapest-Fossil-Fuel-on-Cost

²⁵⁰ www.energy-transitions.org/publications/making-clean-hydrogen-possible

²⁵¹ www.energy-transitions.org/publications/mission-possible



(四) 开展实际援助，共享学习成果。在电力领域，对电力市场改革施以国际援助已经帮助了许多国家从便宜、清洁的电力中获益。²⁵²援助包括，协助设计可再生能源拍卖、创建电力容量市场，以及其它有助于发动清洁能源投资的监管改革。若这些措施取得成功，全球太阳能和风能技术市场会继续扩大，成本也会随之降低。可以根据经验在每个排放部门提供类似的国际援助。

(五) 协调基础设施建设投资。在国际航运、航空和公路货运中，有必要加强协调，投资于加油或充电基础设施，推动在国际航线上部署零排放技术或燃料。国家之间的物理连接也可以加速清洁技术市场的成长，比如管道互联互通可以促进国家实现清洁能源转型，²⁵³国际输氢管道可以带动氢经济发展。²⁵⁴

为控制全球气温升温幅度在 2°C 或 1.5°C 以下，所有排放部门亟需大幅加速脱碳。通过国际协调，在每个排放部门扩大清洁技术市场，可以推动实现这一目标。这得到了占全球 GDP 70% 以上的国家的认可，这些国家在 COP26 上启动了突破性议程，承诺共同努力，在未来十年内使清洁技术与可持续发展解决方案成为每个排放部门中最能负担得起、最容易获得和最具吸引力的选择。上述合作形式可以创造更强的投资激励，并可以刺激更快的创新和降低成本。每个排放部门的技术和市场结构都不同，对每个部门采取有针对性的方法至关重要。²⁵⁵

企业和国家将始终为在新技术方面的领导地位而竞争，为在全球市场上占有较大份额而带来的就业和增长利益而竞争。如果通过协调同意游戏规则，竞争可以极大推动而非阻碍低碳转型。

²⁵² 见 Climate Investment Funds:Ten years on www.climateinvestmentfunds.org/news/cif-ten-years 253

www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119301364

²⁵⁴ www.energy-transitions.org/publications/making-clean-hydrogen-possible

²⁵⁵ Victor, Geels & Sharpe, Accelerating the low carbon transition: the case for stronger, more targeted and coordinated international action (2019) www.energy-transitions.org/publications/accelerating-the-low-carbon-transition



案例研究8： 零排放汽车的国际合作

在公路运输领域，全球电动汽车电池累计部署量每翻一番，成本就会下降约20%。²⁵⁶自2020年初，多数据有世界上最大汽车市场的国家政府开始探索转型的必要举措，先是双边合作，再是成立零排放汽车转型委员会，作为一个团体推动转型工作开展。²⁵⁷

各国日益形成共识：到2035年，要求所有新销售的汽车都实现零排放。比如，加利福尼亚州（2020年9月）、英国（2020年11月）和加拿大（2021年6月）相继做出承诺，欧盟委员会提出倡议（2021年7月），更多国家也在2021年11月的COP26会议上提出此建议。

模型表明，如果三个最大的汽车市场（中国、欧盟和美国）实施符合这一轨迹的政策，那么得益于规模经济扩大和创新速度加快，电动汽车和燃油汽车间的成本平价能够提前四年实现（如图12）。²⁵⁸若各国在技术选择上协调一致，仅支持符合零排放目标的技术，主要是电池电动汽车和燃料电池电动汽车技术，那么学习曲线上的进展将会更快。²⁵⁹此外，国际援助能调动对充电基础设施的投资，使发展中国家从转型中受益。²⁶⁰

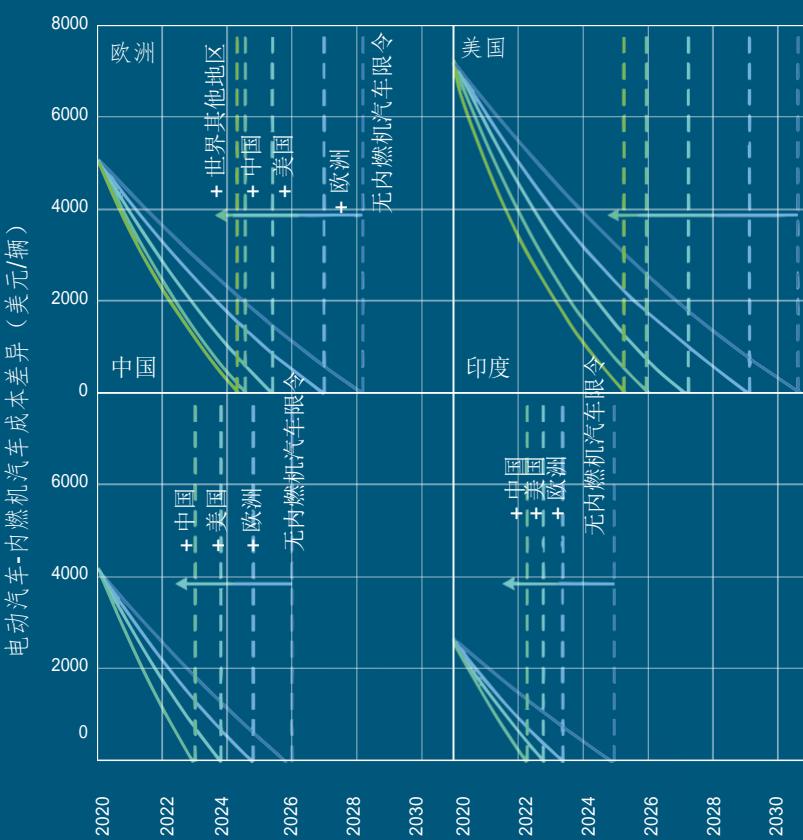


图12. 由于国际协调促进全球电动汽车市场发展，成本下降和电动汽车（EVs）与内燃机汽车（ICEVs）成本平价的步伐越来越快。每个方格代表一个不同的汽车市场。加入世界其他地区（RoW）仅会对欧洲和美国造成影响，它们的成本平价实现较晚。加入印度带来的影响没有在图上体现，因为引起的变化很小，相比于图上的其他市场，印度市场的规模仍旧较小。资料来源：²⁶¹

²⁵⁶ Ziegler, M.S., Trancik, J.E. (2021). 'Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline'. *Energy & Environmental Science* 4. <https://doi.org/10.1039/DOEE02681F>

²⁵⁷ Joint Statement of the Zero Emission Vehicle Transition Council (2020) www.gov.uk/government/news/joint-statement-of-the-zero-emission-vehicle-transition-council

²⁵⁸ Lam, A., Mercure, J-F. (2022) 'Evidence for a Global Electric Vehicle Tipping Point', forthcoming. Note: cost parity refers to total cost of ownership.

²⁵⁹ theicct.org/sites/default/files/Global-LCA-passenger-cars-FS-EN-jul2021.pdf

²⁶⁰ World Bank, Global Facility to Decarbonise Transport concept note thedocs.worldbank.org/en/doc/e14c76f49f8907a58fbfe039fc51d8d3-0190072021/original/GFDT-Concept-Note.pdf

²⁶¹ Lam, A., Mercure, J-F. (2022). Evidence for a global electric vehicle tipping point. University of Exeter, Global Systems Institute. Working Paper Series 2022/01. Available at: ore.exeter.ac.uk/repository/handle/10871/129774; Accessed on: July 2022.

原则9：

原则9：评估机会和风险

传统原则：评估总成本和收益



概述：当不可量化或非常不确定的因素可能占据重要地位时，政策评估应考虑风险和机会，而不仅仅是成本和收益。如果目标是转型变革，政策评估应考虑政策对经济变革过程的影响以及预期效果。



传统原则的合理性

如前所述（如原则6，原则7），许多国家在评估所制定的公共政策时，是基于总成本和收益的比较，以及战略性政治和法律的影响与制约。对一些国家而言，如英国和美国，政策评估在成本效益分析（CBA）框架下正式开展。欧盟委员会则使用多标准分析法。而包括德国和印度在内的其他国家没有正式的指导方针，他们采取更有针对性的措施，使用相关证据为政策选择提供信息。

成本效益分析在其适用范围内是个有效的工具（见传统原则7的合理性）。它鼓励采用系统的方法比较备选方案，相较于其他更机动或政治化的方法，更具优势。



传统原则的局限性

明确成本效益分析的适用范围十分重要，当出现以下任一情况时，成本效益分析就不太适用了。²⁶²

(1) 不确定性：使用成本效益分析法蕴含一个隐藏假设，即所有可能事件和结果出现的概率都是可量化的，不确定性是有限的。²⁶³而现实中，某些政策的结果总是不确定的，即它们出现的概率或产生影响的程度无法准确量化。如果政策的预期结果或可能的结果具备这种性质，那么主要借助可量化的成本和收益来比较政策选择的做法可能会产生误导。

由于人们更容易注意到短期的特定成本，而非后续行动带来的广泛收益，系统性偏好便产生了，即维持现状的不作为。如果政策的预期或带来的结果之一是创新，就属于这种情况。第六期联合国《全球环境展望》(GEO-6)中的情境就证实了这一点，该报告探讨了当前的趋势和向低碳、资源集约型经济转型的影响，这两种情景都不能采用传统的成本效益分析法。原因在于，满足不同的脱碳和资源管理途径的最终成本取决于当下在改变行动和鼓励创新方面做出的决定。传统的建模方法因忽视不同路径的创新产生的累积收益，常常低估未经减缓的气候变化的风险，夸大低碳转型的成本。²⁶⁴

(2) 利益多样性：成本效益分析将所有政策的结果转化为一个单一的指标：金钱。有多种方法可以进行这种转化，或货币化。虽然使用一种方法可以具有长期一致性，但选择使用哪种方法时不可避免的具有武断性（见原则7）。这不仅有损公平，也不利于政策制定者了解不同方面的可能结果。通过暗中给不同的利益或结果赋予权重，它使重要的政策选择不再明显。

²⁶² Mercure, J.F., Sharpe, S., Vinuales, J.E., Ives, M., Grubb, M., Lam, A., Drummond, P., Pollitt, H., Knobloch, F. and Nijssse, F.J., 2021. Risk-opportunity analysis for transformative policy design and appraisal. *Global Environmental Change*, 70, p.102359

²⁶³ HM Treasury, 2020b. The Green Book - Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation

²⁶⁴ Ekins, P., Zenghelis, D. (2021). 'The costs and benefits of environmental sustainability.' *Sustain Sci* 16, 949–965. doi.org/10.1007/s11625-021-00910-5



(3) 结构变化：成本效益分析考虑的是政策在某一或某些固定时刻的预期结果。这意味着它在评估一项政策如何有效带来长期变化方面的能力有限。因此，它适用于“边际变化”的情况，即预期经济结构（包括价格、当前技术和市场结构）不会发生变化；而不适用于政策目的或预期实施环境是处在结构性或转型变革的情况。

成本效益分析通常在项目或国家层面上开展，纯粹基于国家标准，忽视了原则8中考虑的国际层面和潜在的集体收益。

这一局限性对于以转型为目标的政策而言十分关键，这些政策以创新为核心，²⁶⁵存在根本不确定性，会牵扯到不同的政策利益（以及各类利益相关者）。零碳转型所需的许多政策都属于这个类别。

另外的不足之处在于韧性。在许多系统中，表现与韧性不可兼得。²⁶⁶ ²⁶⁷我们越是调整系统（如体系，引擎或生态系统）以最优化其表现，他们产生故障的可能性就越大。而如果政策追求成本效益比最大化，则可能对不可预见的情况缺乏韧性。例如，根据日常需求安排床位数量的医院有着最低的经营成本，但在流行病来袭时，几乎没有抵抗能力。越是追求最大化高确定性的结果，捕捉预料外创新机会的能力就会越欠缺，这是一对矛盾的关系。



原则9的依据

风险机会分析可以视作成本效益分析的一般化。成本效益分析适用于特殊情况，如具有高确定性、利益结果维度少、仅有边际变化等。风险机会分析则适用于不符合这些条件的其它各种情况。

风险机会分析涉及的主要方面及其优势如下：

(1) 不确定性。 ROA在平等的基础上，以结构化的方式，对政策制定者利益重要但无法被量化的可能结果（风险和机会），与可被量化的可能结果（成本和收益）结合起来考虑。政策选择的价值并不仅通过可量化因素的总和来体现。鼓励适当考虑所有重要因素，以避免得出误导性结论。

(2) 利益多样性。 ROA对政策的不同结果以个性化的指标进行评估（如就业、成本、排放、竞争力、公共卫生福利和分配结果），而非进行货币化。这一多标准的方法不再将货币价值作为权衡的唯一默认标准，以更加准确和透明的方式判断不同利益和影响的相对重要性：最终目的是为决策者提供明确的信息和判断依据，以便他们借此做出决策。

(3) 结构变化。除政策的预期结果外，政策对经济变化过程可能产生的影响也被考虑在内。变化过程包括技术的创新与扩散，投资者预期和消费者偏好改变，商业战略和行业的兴衰，以及金融、工业和市场结构的变化。考虑这些变化的动态过程，即变量之间的反馈，有助于区分哪些政策的效果能自我放大，而哪些会自我限制。

²⁶⁵ 根据2020年更新版英国政策评估《绿皮书》指南（HMT 2020），边际变化是指对整个经济影响不大的项目或政策，而转型变化是指使经济或社会发生不可逆转的质变的行动。

²⁶⁶ Carlson, J.M., Doyle, J. (2002). Complexity and robustness. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 99 (Supplement 1), 2538–2545

²⁶⁷ Doyle, J., Carlson, J.M. (2000). Power laws, highly optimized tolerance, and generalized source coding. *Phys. Rev. Lett.*..APS 84 (24), 5656



政府追求以最低成本实现边际脱碳，同时也在实现《巴黎协定》目标的过程中，寻求转型变革中的利益最大化，因此风险-机遇分析（见报告《创新和转型新经济学》第四部分）能发挥积极作用。正如联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）所指出的，加上减少取舍、扩大协同，风险-机遇分析能够使政策制定者认识到深度脱碳的“协同效益”，特别是在追求更广泛可持续发展的背景下。²⁶⁸

在商业和创新管理中，故意让一家企业利用不确定形势是一种下注，但往往能带来回报。逾3.5万家欧盟企业的经验表明，在创新战略中妥善管理不确定性能在很大程度上帮助这些欧洲公司提高业绩、增强韧性。²⁶⁹相反在变化的环境中，缺乏创新性并不是安全的策略，反而可能导致商业失败。在全球低碳转型中，政府如果想让自己的国家获得成功，也会有相似的考量。

最后，风险-机遇分析有利于实现业绩、韧性、以及机会创造三大目标之间的平衡。而这有利于协调政策制定过程中的不同职能：战略制定（如行政决策）、监管（在监管限制内控制系统故障率）以及会计（管理开支）。风险-机遇分析也有助于规避由于缺乏协调，在执行功能时出现的风险：业绩提高策略可能对监管造成困难，最终增加隐形成本。²⁷⁰

²⁶⁸ IPCC (2022), Summary for Policymakers, and Chapters notably sections 1.8 and 13.6).

²⁶⁹ Klingebiel, R., & Rammer, C. (2014). Resource allocation strategy for innovation portfolio management. *Strategic Management Journal*, 35(2), 246-268

²⁷⁰ Cont, Rama, Moussa, Amal, and Santos, Edson B. (2010). Network structure and systemic risk in banking systems. SSRN



案例分析9： 印度通过采购转变LED总体需求

[资料主要来源²⁷¹]

过去15年，印度政府出台了一系列政策来提升家用照明设备能效，成绩斐然。政府出台这些方案主要是为了实现宏观层面电力需求的有效管理。此举也有助于家庭省钱，这成为有力的推广策略。

这一系列全国政策始于2014年在本地治里市（Pondicherry）推行的高效家用照明项目（Domestic Efficient Lighting Program），目的是推广高能效家用照明设备的使用，为低收入家庭减轻高昂的照明成本负担。该项目还包括国有电力公司创办的合资企业——印度国有能源效率服务公司（EESL, Energy Efficiency Services Ltd）。该公司大量采购高能效LED灯泡，以最低价销售给用户，而公用事业企业也能从电力需求下降中获益。这项方案成效显著：本地治里市的近半家庭都转向使用LED照明，每年节能达14吉瓦时。

受此项目启发，国家层面出台了一项相似的政策：2015年推出了“Unnat Jyoti by Affordable LED for All”（UJALA）计划，目标是到2019年替换掉7.7亿个低能效灯泡。该计划同样是基于印度国有能源效率服务公司对LED的大量采购，这些灯泡以最低价出售给销售商，而购买价的差价则通过电费分期付款收回。**UJALA**计划的实行伴随着一系列公众宣传运动，旨在消除LED普及的障碍，尤其是高昂的首期费用、初期的低供应量、以及人们缺乏意识，难以认识到LED相比白炽灯带来的长期效益。

UJALA政策的实施及设计都考虑到了多重机遇及风险。其中最重要的机遇包括提高能源可及性、改善生活状况和低收入家庭的经济前景。还可以进一步减少电力系统的峰值负荷（提高韧性），有助于供电公司更高效地管理需求，同时提高用电生产力。而风险则包括丢弃小型荧光灯时对健康和环境产生的负面影响。

²⁷² **UJALA**政策的一些最重要的潜在成果难以量化，不清楚其能够带来何种LED普及水平，更不确定即时成本节约将如何为低收入家庭改善经济前景，而这可能是最重要的考量因素。

此外，政策的实施显然在很大程度上受到分配问题的影响。对于印度不同收入群体，照明所占家庭用电需求总量的比重有很大差异。尽管全国平均水平在20% - 27%之间，富裕家庭的照明用电需求仅占总需求的14%，在贫困家庭却高达60%左右。²⁷³

最后，该政策受到结构性变革考量的影响。有人合理预计，鉴于LED在全球市场的供应/可用性以及初期在印度的低渗透率，大量采购LED会使成本下降。印度政府也希望增加国内LED产量，要求**UJALA**计划采购的LED必须含有印度生产的具有附加值的元件。

²⁷¹ Grubb et al. (2021) The new economics of innovation and transition: evaluating opportunities and risks. EEI Report. November. eeist.co.uk/eeist-reports. Transforming Lighting Efficiency in India Annex.

²⁷² Chunekar, Aditya, Sanjana Mulay and Mrudula Kelkar (2017). Understanding the impacts of India's LED bulb programme, "UJALA". Accessed on shaktifoundation.in/wp-content/uploads/2014/02/02-PEG-Report-on-impacts-of-UJALA.pdf

²⁷³ TERI-NFA (2020), Behavioural Dimensions in the Indian Power Sector (13), presented at "Behavioural Dimensions in Indian Power sector" organized on 24th Sept., 2020

相比成本-效益分析，以上不可量化风险和机遇、分配问题及经济结构性（或非边际）改革等因素都为采取行动提供了更充分的理由，更透明地展示了利益和取舍关系。

UJALA政策在许多指标上都成绩斐然。它提高了印度家庭照明效率，到2019，约90%用电户通过LED满足照明需求。尽管到2022年7月，**UJALA**直接部署LED数量达3.68亿个，低于到2019年部署7.7亿个的目标，但它仍使LED的价格在2014到2016年间骤降了85%（见图13），²⁷⁴刺激了市场规模的增长。印度LED



图13. 2014-2016年印度LED价格走势 (美元) 资料来源：²⁷⁶

灯泡年销售量从2012年的300万个增至2018年的6.7亿个，成为了市场份额占有量最大的照明技术（见图14）。²⁷⁵

UJALA计划本身预计节约约50太瓦电力，避免近10吉瓦的高峰用电需求，预计实现每年二氧化碳减排量达40公吨，节省成本24亿美元。此外，政策的本土附加值要求促进了从进口LED灯泡到进口LED元件的转变，也有助于国内LED下游制造业的建立，其现有市值超10亿美元。



图14. 印度照明市场趋势 显示不同类型灯具销售量随时间变化 (2010-2018) 资料来源：²⁷⁷

²⁷⁴ IEA, LED price trends in India, January 2014 to September 2016, for 9 watt LED bulb, IEA, Paris www.iea.org/data-and-statistics/charts/led-price-trends-in-india-january-2014-to-september-2016-for-9-watt-led-bulb

²⁷⁵ Kamat, A. S. et al. (2020) Illuminating homes with LEDs in India: Rapid market creation towards low-carbon technology transition in a developing country, *Energy Research & Social Science*, doi:10.1016/j.erss.2020.101488

²⁷⁶ IEA, LED price trends in India, January 2014 to September 2016, for 9 watt LED bulb, IEA, Paris www.iea.org/data-and-statistics/charts/led-price-trends-in-india-january-2014-to-september-2016-for-9-watt-led-bulb

²⁷⁷ Kamat, A. S. et al. (2020) Illuminating homes with LEDs in India: Rapid market creation towards low-carbon technology transition in a developing country, *Energy Research & Social Science*, doi:10.1016/j.erss.2020.101488



原则10：

了解偏好

传统原则：政策模型和评估是中立的



概述：在经济模型的构建过程中必然面临许多影响其效果的选择，而其中没有“正确”答案。我们应该意识到自己的偏好，透明地做出模型选择，尽可能地使用一系列而非单一的模型。



传统原则的合理性

政策评估过程旨在提供系统方式来评估与备选政策方案相关的证据。能源领域的政策评估工具包括联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）使用的综合评估模型、能源经济模型，以及成本效益分析或多标准分析（见原则9）。

使用正式模型和流程来评估政策的原因在于，它们可以提供一致和可比的决策框架。此外，这些模型和流程还有助于使假设透明化、明晰化。所有这些经济建模工具都会根据政策制定的新要求以及获得的新数据进行定期更新。²⁷⁸大多数政府都有官方政策指导方针，要求或建议根据具体应用背景采用恰当的政策评估方法。



传统原则的局限性

然而，在政策评估中，必须认识到这些过程和模型的选择、设计和输出从来都不是中立的。相反，在提出什么问题、如何呈现研究结果、如何解释结果以及由

谁来解释结果等问题上，总是政治性的。²⁷⁹当然，当既得利益者（如占主导地位的或现任倡议联盟或游说团体）驱动模型及其输出假设时，政治性更为明显。例如，能源效率的提高速度²⁸⁰或技术的推广速度有时会放缓，因为其真正成本或效益未能作为标准政策评估过程的一部分得到充分识别和客观评估，而在这一过程中，模型的选择起着重要作用。

政策建议中使用的模型及其参数是在决策过程中构建和协商达成的。达成的方法及提供的信息都可能导致这些模型提供的证据被视为受到政治影响。^{281,282}在极端情况下，模型可以用于实现基于政策的证据制定，而非科学家和决策者都声称要努力实现的基于证据的政策制定。²⁸³

可以将模型视为“知识生产社区和知识使用社区（建模者和政策制定者）之间的边界对象²⁸⁴”，这需要“诠释弹性”，²⁸⁵为行动者提供能够遵循他们自己诠释的相对自由。^{286,287}这两个社区在边界对象上的互动必然会涉及政治和意识形态的选择。

²⁷⁸ 见 Pearce, D., Atkinson, G., Mourato, S. (2006). Cost-benefit analysis and the environment: recent developments. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France. ISBN 9264010041

²⁷⁹ Royston, S., Foulds, C., Pasqualino, R., Jones, A., 2022; 'Masters of the machinery: The politics of economic modelling within European energy policy', Energy Policy, (submitted)

²⁸⁰ Dupont, C., (2020). Defusing contested authority: EU energy efficiency policymaking. J. Eur. Integr. 42, 95–110. doi.org/10.1080/07036337.2019.1708346

²⁸¹ Pielke Jr., R.A. (2007). The Honest Broker: Making sense of science in policy and politics, Cambridge University Press

²⁸² Royston, S., Foulds, C., 2021. The making of energy evidence: How exclusions of Social Sciences and Humanities are reproduced (and what researchers can do about it). Energy Res. Soc. Sci. 77, 102084. doi.org/10.1016/j.erss.2021.102084

²⁸³ Ellenbeck, S., Lilliestam, J. (2019). How modelers construct energy costs: Discursive elements in Energy System and Integrated Assessment Models, Energy Research & Social Science, 47, 69-77

²⁸⁴ Star, S.L., Griesemer, J.R. (1989). Institutional Ecology, "Translations" and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology. Soc. Stud. Sci. 19, 387–420.

²⁸⁵ Pinch, T.J., Bijker, W.E. (1984). The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit Each Other. Soc. Stud. Sci. 14, 399–441. doi.org/10.1177/030631284014003004

²⁸⁶ Lovell, H., Pullinger, M., Webb, J. (2017). How do meters mediate? Energy meters, boundary objects and household transitions in Australia and the United Kingdom. Energy Res. Soc. Sci. 34, 252–259. doi.org/10.1016/j.erss.2017.07.001

²⁸⁷ Silvast, A., Foulds, C. (2022). Sociology of Interdisciplinarity: Dynamics of energy research. Palgrave Macmillan, Cham.



原则10的依据

在模型设计和政策评估过程中，必然需要做出选择。在所有选择中，没有“正确”答案。做出任何选择前都必须进行判断，任何选择都可能受到质疑。这些选择极大地影响了模型对不同政策选择的评价——哪些政策价值高，哪些政策价值低。因此，受政策影响的利益攸关方往往非常关心政策选择，可能成为游说的主体。为了避免政策过度受制于既得利益者，

或被人为限制的选择范围所束缚，以下做法可能会有所帮助：（1）透明地做出选择；（2）定期审查选择；（3）使用一系列不同的模型，而非依赖于单个模型。

在对24名欧洲建模人员和政策工作者的深入访谈分析中，我们发现了一些争论动态和差异化影响，反映和再现了建模活动的委托方和建模人员之间的潜在权力关系。表1列出了在访谈中发现的与政策建模过程中立程度相关的五个主要领域。

表1. 评估政策建模中立性的维度。改自²⁸⁸

……的政治性	范围
问题和议题框架	问了（没问）哪些问题； 议题的构建及其背后的议程。
解决方案和场景框架	考虑了（未考虑）哪些场景； 解决方案的构建及其背后的议程。
设计模型的结构假设	模型设计和机制的结构方面（相对于可变输入）。
界定定量投入	分配给变量输入的数值（相对于结构方面）。
获取与排斥	贯穿模型设计和使用的所有权、透明度和能力问题。

模型和输出受政策和政治进程的影响，这意味着必须理解：模型测试的政治性；决策者如何影响模型和建模者、数据和假设、研究范围和可接受的问题；以及如何利用结果。²⁸⁹在这些有争议的领域内，行为者之间可能存在预期不匹配以及因利益而产生的冲突，具体内容涉及情景的定义、赋予输入变量的具体值，以及透明度、获取和排斥等更基本的问题。因此，强调基于模型的政策能够帮助排除某些异议。^{290,291}

此外，建模工作往往需要选择考虑哪些政策选项以及如何建模。这些选择往往取决于委托人或建模者的偏好或观点，以及分析人员和外部利益攸关方之间公开或非公开的互动。

已建立的模型通常比新模型更具优势，因为随着时间的推移，它们会变得更为决策者所熟悉和信任，并且往往会展现出范围更广、更具政治显著性的分析能力。²⁹²因此，一些能源经济模型已经使用了几十年，如

²⁸⁸ Royston, S., Foulds, C., Pasqualino, R., Jones, A. (2022). 'Masters of the machinery: The politics of economic modelling within European energy policy'. *Energy Policy*, (submitted)

²⁸⁹ Süßer, D., Ceglarz, A., Gaschnig, H., Stavrakas, V., Flamos, A., Giannakidis, G., Lilliestam, J. (2021). Model-based policymaking or policy-based modelling? How energy models and energy policy interact. *Energy Res. Soc. Sci.* 75, 101984. doi.org/10.1016/j.erss.2021.101984

²⁹⁰ Midttun, A., Baumgartner, T., 1986, Negotiating energy futures: The politics of energy forecasting, *Energy Policy*, 14 (3), 219-241

²⁹¹ Foulds, C., Robison, R., 2017. The SHAPE ENERGY Lexicon - interpreting energy-related social sciences and humanities terminology. SHAPE ENERGY, Cambridge.

²⁹² Strachan, N., Fais, B. & Daly, H., (2016). 'Reinventing the energy modelling–policy interface.' *Nature Energy* 1, 16012

²⁹³ US Energy Information Administration, 2015, Analysis of the Impacts of the Clean Power Plan, US Energy Information Administration, US Department of Energy, Washington DC, USA, 2015



NEMS²⁹³（美国能源信息管理局创建的美国使用的能源经济模型）、PRIMES²⁹⁴（如欧盟使用的应用能源系统模型）及E3ME²⁹⁵。这也导致这些模型中的特定话语、价值和选择在特定的政府政策发展和评估过程中占据主导地位，因此，这些模型也被称为“意义制造机器”。²⁹⁶

因此，在使用模型时保持透明度和反思性，并采取多元化方法是有益的，特别是在评估那些寻求非边际变化²⁹⁷并涉及不确定性、创新、长期视野、行为者多样性²⁹⁸和金融考虑²⁹⁹的政策时，其好处更加明显。积极反思并说明政策评估和建模过程中存在的偏见是很有必要的，这反过来又要求模型的假设、结构和运作更加透明。

²⁹³ E3Mlab, 2017, PRIMES Model Version 6, (2016-2017). 'Detailed model description', National Technical University of Athens,Athens, Greece

²⁹⁴ Cambridge Econometrics (2022). E3ME Model. www.e3me.com

²⁹⁵ Ellenbeck, S., Lilliestam, J., 2019, How modelers construct energy costs: Discursive elements in Energy System and Integrated Assessment Models, Energy Research & Social Science, 47,69-77

²⁹⁷ Mercure, J.F., Sharpe, S., Vinuales, J.E., Ives, M., Grubb, M., Lam,A., Drummond, P., Pollitt, H., Knobloch, F., Nijssse, F.J.M.M., 2021, Risk-opportunity analysis for transformative policy design and appraisal, Global Environmental Change, 70, 102359

²⁹⁸ Foulds, C., Jones,A., Pasqualino, R., Royston, S., 2022,'Confronting difference in the policymaking-modelling system: comparing energy modeller and policyworker views on uncertainty, innovation, long-time horizons and diversity of actors', *Journal of Cleaner Production*, (submitted)

²⁹⁹ Mercure, J.F., Knobloch, F., Pollitt, H., Paroussos, L., Scriciu, S.S., Lewney, R., (2019), Modelling innovation and the macroeconomics of low-carbon transitions: theory, perspectives and practical use. *Climate Policy*, 19 (8), 1019-1037

案例研究10: 欧洲2030年可再生能源目标

我们从过去的例子中可以看到，模型在支持最初的政治立场及对该初始立场的批评方面具有强大的影响力，并在之后的确认修订和变更方面发挥着重要作用。

例如，2012年至2018年间，欧盟制定并通过了可再生能源在能源消耗总量中所占比例的目标，并得到了各种模型输出的支持。2014年10月，欧洲理事会首次提出到2030年达到27%的目标；2016年，欧盟委员会公布了“为所有欧洲人提供清洁能源”（CE4ALL）的一揽子计划。能源总局使用PRIMES建模套件³⁰⁰进行政策分析，加上GEM-E3和利用E3ME进行的后续分析，证实了这一目标，为CE4ALL计划提供了支持。之后，欧洲议会和专家对该分析进行了讨论，并强调，当时PRIMES使用的输入假设是相对保守的。据分析，³⁰¹尤其在以下情况使用PRIMES可能导致：（1）高估可再生能源的成本（随着时间的推移，成本可能会因创新、低于实际的容量因子以及国家间投资的资本成本差异而减少）；（2）高估碳价格（假设投资者具有完美预见性，那么该模型就夸大了市场的潜在作用）；（3）淡化部门政策和框架的作用。

具体应用PRIMES模型进行的分析最初显示，到2030年，整个欧盟实现27%或30%的可再生能源份额的成本差别很小。该模型显示，要想实现35%的目标则需要增加成本。根据关于输入假设的反馈，对模型进行了更新，支持更高的可再生能源比例。然而，受访专家认为，27%的初始目标是具有政治性的，而建模结果则是确认这一政治选择的方式。欧洲议会随后提议设定更高的目标，并委托他们自己的建模工作组来支持实现这些更高目标。根据国际可再生能源机构（IRENA）的分析，议会提出了35%的可再生能源目标。随后，欧盟委员会确定了32%的可再生能源目标，并提议在2023年之前对这一目标进行审查（原则6，适应性政策的案例）。

本案例提及的模型都不应被视为“正确”或不正确，尽管在特定情况下，某些模型的假设和预测可能比其他模型更接近现实。重要的是，政策制定者不应轻信任何模型的输出，而是要严格审查模型假设，比较不同的模型预测，利用在该过程中获得的大量信息来支持其政策选择。

³⁰⁰ Süsser, D., Ceglarz, A., Gaschnig, H., Stavrakas, V., Flamos, A., Giannakidis, G., Lilliestam, J. (2021). Model-based policymaking or policy-based modelling? How energy models and energy policy interact. Energy Res. Soc. Sci. 75, 101984. doi.org/10.1016/j.erss.2021.101984

³⁰¹ Graf, A., Buck, M., (2017). The cost of renewable energy: A critical assessment of the Impact Assessments underlying the Clean Energy for all Europeans-Package. Agora Energiewende, Berlin



结论

本报告概述的《制定能源转型政策的十项原则》建立在过去三十年收集的大量实证证据基础之上，代表着该领域研究的起点（也必然是不完整的）。在探索哪些政策促进了清洁能源技术快速创新和发展的过程中，得到的知识可用于完善传统方法，进行政策评估和发展。我们认为，在复杂的系统中，结构性变化需要转型政策，以适当的政策流程为基础，以明确的组织原则为指引。

我们将这十项原则逐一与“传统原则”进行了对比，传统原则是对经常被假设、提倡或实施的建议或指导的概括。我们承认，传统原则在适当领域具有合理性，但也指出了其局限性以及用十项原则对其进行补充的必要性。本质区别在于，大多数（甚至全部）传统原则都建立在分析框架之上，将经济体置于可识别的“默认”平衡状态，通常这种状态被假定为最佳状态，

“在这种情况下，没有任何直接理由可以改变其行动，因此可以将现状维持下去，至少在短期内可以暂时维持下去”。³⁰²而低碳转型本质上涉及特定方向的实质性创新和结构变化过程。传统原则旨在实现现有经济资源的有效分配，而我们提出的原则旨在以有效和公平的方式指导经济变革。有些政府希望尽快实现低碳转型以避免危险的气候变化，同时希望将成本和社会混乱最小化、将经济发展机会最大化。对这些政府来说，十项原则是有用的。

随着在低碳转型方面取得的进一步进展，我们将对其有更深入的了解。我们应该不断反思实践经验教训，更新指导政策原则，在未来三十年经济转型这一巨大挑战的背景下，为政策制定提供参考。

EEIST

EEIST

EEIST项目对前沿的能源创新进行分析研究，以支持政府关于低碳创新和技术变革的决策。本项目与巴西、中国、印度、英国和欧盟的政策制定者和利益攸关方进行接触，旨在为新兴国家的经济发展做出贡献，支持全球可持续发展。



了解更多信息请访问：
eeist.co.uk



所有文件均可在以下网站浏览：
eeist.co.uk/downloads

