

以绿色能源创新推动绿色发展

Mallika Ishwaran & Nigel Dickens¹

Shell International

综述

能源是经济发展的重要推动因素，实现向低碳清洁能源的转型，是绿色发展的关键。要改变经济发展与繁荣以牺牲环境为代价的现状，必须实现新能源、燃料和技术领域的绿色能源创新。本文旨在就创新路径、决定和阻碍创新的因素，以及创新政策的具体实施步骤，提供深入的见解。

创新是成功应用技术的第一步。创新是指为解决已知问题而构思出一系列想法，并通过设计和测试，将这些想法付诸实践的过程。如果创新是成功的，其将形成一项可证实并最终得到广泛应用的技术。能源行业——从可再生能源发电，到非传统石油生产，再到智能电表——目前正处于创新成果日益涌现、各种新技术纷纷应用于市场的发展时期。

为享受经济、安全和可持续的现代能源体系带来的效益，并从中获得对绿色发展路径的支持，各国需要实现进一步创新。尽管能源创新可能处于相对较高的水平，但若要应对能源生产与使用对环境造成的影响，就需要进一步加快能源创新的步伐。例如，国际能源署（IEA）于 2017 年发布的《跟踪

¹ 作者：来自 Shell International 的 Mallika Ishwaran 和 Nigel Dickens（感谢 Vivid Economics 提供的支持）。审核者：来自壳牌（中国）有限公司的 Zhang Xinsheng 和 William Wang。
本文件包含在荷兰皇家壳牌公司的协调下开展的内部与外部调研得出的信息、见解和建议，因此不代表该公司的观点或立场。因此，投资者在对荷兰皇家壳牌公司（Royal Dutch Shell plc）的证券做出投资决策时，不应依赖于本文件。

清洁能源进展》报告针对 22 项技术的记分卡发现，其中只有 3 项技术步入了大规模部署的轨道，以实现低碳能源体系，12 项技术仍需进一步创新，其余 7 项技术尚未步入部署轨道。鉴于能源行业目前采用的一些新技术以二十世纪七十年代建立的一系列创新成果为基础，因此，政策制定者需要考虑，目前是否有充分的创新成果可用于支持进一步创新，以及如何提供最佳支持。

成功的创新政策可解决对广泛创新的紧张需求——即便只有少数技术最终得到成功部署。鉴于市场失灵情况和创新的正向溢出效应，为对广泛创新提供支持，需要投入大量公共资源。为此，政府需要选择为哪些覆盖面较广的创新给予支持。许多获得支持的创新最终未能投入部署。如果让创新活动及时宣告失败，那么，不成功的创新所耗费的资源将成为创新过程的不确定性自然形成的结果。因此，政策制定者还必须选择何时停止对某些方面的创新活动给予支持。

国际经验表明，成功的创新政策一般遵循下列原则：

1. 确定经济支持的优先对象，将经济支持重点投向：

— **早期研究、开发和部署阶段**，而非后期缝隙市场和大规模市场部署阶段。在这些早期阶段，融资规模通常相对较小，因此，可将有限的政府预算用于支持更广泛的创新。尽管其风险也较高，但这是政府能承受的，因为其损失可由社会共同分担（这是公平的，因为若创新取得成功，其利益也将由社会共享）。

— **将产生新技术种类的基础性创新**，而非特定技术的创新。如果相关基础知识公开可用，私营部门通常会开展特定技术的创新活动，但往往没有足

够的动机去涉足基础性创新，或者造成某种限制，使社会无法充分地从成功的基础性创新中获益。

— **资本密集度高、寿命长的技术**，但前提是，在此之前，已完成对其他资本密集度低、寿命短的技术的探索。资本密集度高、寿命长的技术创新面临的风险更大，并且试验难度更高，因此，与早期阶段的创新活动一样，政府比私营部门更适合对这些创新提供支持。

2. 鼓励和协调多元创新者，将制度支持重点针对于：

— **支持创新者生态圈**。创新分为多个阶段，每个阶段涉及不同的技能、资源和风险胃纳。因此，每个阶段需要不同类型的实体——从基础研发阶段需要的高校，到进入缝隙市场阶段需要的企业，再到大范围部署技术阶段需要的大型公司。为实现这种多元化，需要制定相关政策，以鼓励和支持这些必需的实体参与到各个不同的创新阶段之中。

— **建立不同创新阶段之间的对接**。通过不同实体共同构成的多元生态圈来实现创新的过程所面临的一个挑战在于，确保整个生态圈中的不同实体之间做好必要的协调。政府可通过分发信息和支持创新者网络来促进协调。政策还可将给予创新者的经济支持与促进创新进入下一阶段的支持相结合——例如，帮助早期发明者制定商业计划。如果生态圈中某个部分较薄弱，政府还可通过实施验证项目等方式介入，但前提是，需要将发现的结果转交给创新路径中下一阶段的实体。

— **提供标准**。政府可对一些通常与私营企业创新构成竞争的创新方面进行协调。例如，通过与行业工会共同制定标准。这些协调有助于防止出现重

复的劳动，并将创新集中导向实用的结果，而非虚假的差异化。

3. 持续评估和调整。创新是一种不确定的、动态的过程。因此，应当考虑到新的调查发现和外部环境的变化，定期对获得公共支持的特定创新案例进行评估。政府并非在任何情况下都最适合对创新的成败进行评估。所有决策者都存在偏见，但对于政府而言，这可能存在更大的风险，因为决策权通常是集中的。此外，政策制定者对相应技术的看法可能不同于最终用户对该技术的看法，但技术需要最终在市场中取得成功。因此，随着创新成果的成熟，应当让这些创新成果逐渐暴露于市场竞争之中。

4. 能够快速失败。政府通常可能面临一种紧张局面，虽然政府在经济方面最适合承受创新风险带来的损失，但在接受失败方面，政府面临的制度性障碍可能比私营部门更大。其原因可能包括，在维护政治及个人名誉与浪费公共资源这两种动机之间出现偏离。然而，长期的创新失败将导致经济成本增加，因此，最好能快速失败，以防止成本增加引发进一步失败。为此，不仅需要不断进行评估，还需要树立正确的政治觉悟，即认识到创新是一种动态的、不确定的过程，失败是该过程的一种固有结果。

创新政策是公共政策中具有挑战性的一个方面。虽然国际经验表明，良好的创新政策基本遵循上述原则，但不同的国家往往采用各种不同的方法予以实施。创新政策应当针对本地具体情况而制定，并应当根据这些情况随时间的变化而做出相应调整。例如，技术方面累积的进步，让新类别的创新以越来越快的速度涌现。因此，创新政策本身应当明确其干预重点、鼓励采取多元化方法、进行持续评估和调整，并能够做到快速失败。

一、创新的重要性

创新是成功应用技术的第一步。创新是指为解决已知问题而构思出一系列想法，并通过设计和测试，将这些想法付诸实践的过程。如果创新获得成功，则将形成一项可予证实的技术，如果得到成功证实，则将应用于缝隙市场，若成功应用于缝隙市场，则进入创新的最后一步——将技术投入大规模生产，即普遍应用。本报告则旨在探讨创新过程中的、普遍应用之前的早期技术开发阶段，以及创新对能源转型和绿色发展的推动作用。

在历史上，成功的创新（即实现大规模部署的技术）除了得益于狭义的技术开发之外，还得益于一系列支持性因素。这些支持性因素包括：

- 对技术所提供的服务（例如，清洁或安全能源）的需求；
- 技术所需原料的供给（例如，技术成分或一次燃料）；以及
- 激励新技术投入部署的市场（例如，新开放的、对新兴低成本技术提供优惠政策的市场）。

因此，通常难以确定地预测哪些技术将得到部署。这意味着，为持续广泛的创新提供资金这一需要，与哪些特定的技术将最终得到采用这一不确定性之间存在一种矛盾。

创新政策归根结底在于解决这种矛盾。鉴于市场失灵情况和创新的正向溢出效应，为对广泛创新提供支持，需要投入大量公共资源。然而，其中许多创新将不会投入部署。如果让创新活动及时宣告失败，那么，不成功的创新所耗费的资源将成为创新过程的不确定性自然形成的结果。但是，通常难以通过某些迹象来判断哪些创新不再值得提供支持，因为这些迹象通常被长

期的公共支持所掩盖。因此，政策制定者需要将提供充分的支持（确保有丰富的技术可用），与适时取消支持相平衡，仅让具有可行性的技术存活下来。

以绿色发展为中心意味着，能源体系的重点日益转向于实现更清洁、更具有可持续性的能源，故而催生了对低碳能源技术的普遍需求。在提供供给的能源与材料市场日益全球化，以及能源市场为适应低碳能源而实施的改革范围日益扩大的背景下，上述支持性因素已就位，因此，创新的边际影响有可能超过以往。此外，现代能源体系涵盖广泛的能源来源、技术和能源最终应用，为创新提供了广阔的范围。各国目前采用的一次燃料、能源载体、传输机制和能源最终应用的范围比以往任何时候都丰富。因此，潜在转型道路的增多，也促使创新范围得到扩展。

图 1 技术创新的周期可能非常长，如图所示，有关光伏发电的概念炒作早在 1982 年就已达到峰点，但光伏发电直至 2015 年才开始贡献全球电力的 1.1%



在所有文献资料中的提及比例

光伏发电（所有）

备注：基于 3 年平均期间

来源：Google Ngrams

创新和技术部署是一个长期的过程，因此，创新政策面临挑战——目前需要对创新进行优先排序，以便新一代技术适时出现。这些新技术还可能需
要十几年的时间才能开始对能源体系产生实质性影响。目前大部分引领低碳
转型的技术早在 40 多年前就已开始开发，并且可能仍需要多年时间才能使
能源体系发生实质性改变。例如，**错误!未找到引用源。**表明，有关将太阳
能作为创新路径一部分的说法早在二十世纪八十年代已达到峰点，但直到目
前，太阳能仍尚待时日才能对全球能源体系的主要部分产生重大影响。

鉴于能源在经济发展中发挥的根本性作用、技术在目前的能源转型中得
到应用的更大机会、技术部署范围的广阔性，以及实现创新所需经历的长期
过程，为创新提供支持成为首要任务。为此，务必要更明确地了解，哪些因
素抑制了创新，以及政府如何务实地加快创新的实现。为更好地阐述创新过
程及相关挑战，本报告将通过四个案例（见图 2）进行说明。这些案例涵盖
多种类型的创新，每个案例都提供了相关经验教训，供有意支持创新的政策
制定者予以借鉴。这些案例包括：

- 美国自 1979 年开始的合成燃料创新；
- 美国自 1990 年开始的人类基因组计划；
- 欧洲和美国自二十世纪七十年代开始的早期风轮机开发；以及
- 巴西自 1975 年开始的生物乙醇燃料开发。

图2 涵盖多种干预的部分案例及经验教训

	Motivation	Intervention	Lessons
 Synthetic Fuels USA (1979)	Supported due to high predicted oil prices, energy security benefits and high capital costs - Synfuels are created by liquefying coal and act as a oil substitute - Post 1979, oil prices were predicted to increase rapidly and make synfuels cost competitive - The process is expensive and gains were only expected in the long run – this hindered private investment	R&D support followed by large, incentivised niche market deployment - Government provided research funding in the 1950s-70s, but low oil prices limited development 1980-1986: large niche market deployment supported by government subsidies - Goal of 0.5 million barrels by 1986 and \$12.2 billion (1980\$) initial budget	Shows the need for flexible goals and policy in response to new circumstances - Oil prices already falling when niche market deployment just begun 1985 – projects produce only 2% of 1986 targets 1986 – Project cancelled, total cost of \$4.5 billion (2010\$)
 Human Genome Project USA (1990)	Access to the genome sequence would be restricted by patents if a private firm accomplished the sequencing first 1986 – invention of automated sequencing machines made deciphering the human genome feasible - The data is of huge value to drug producers and medical research - Threat of a private company patenting sections of the genome accelerated intervention	A government programme raced against a private venture to complete the sequencing - Government funding estimated at \$5.6 billion (2010\$) 1990 – Project officially begins with completion date of 2005 1998 – Celera Genomics begins sequencing, public effort intensified 2000 – Drafts announced, public programme is ahead by 3 days 2003 – Full release	There can be value in government replacing private sector funding, but the benefit to society must be clear - The economic impact of the HGP to 2012 has been valued at \$965 billion - For this style of intervention to be justifiable the project must have unequivocal benefits - Argument that competition helped HGP come under budget and 2 years ahead of schedule
 Wind Turbines Global (1970s)	Was a clean, alternative power source but was uncompetitive in the 1970s - Interest in wind power grew after the oil crises highlighted energy issues - Lack of efficient turbines, low lifetime of generation assets and limited appreciation of pollution externalities meant private investment in this technology were limited	Different approaches by different countries – Denmark regarded as the most successful - US: large subsidy programme delivered capacity, but unreliable and led to market crash - Denmark: focus on supporting small scale turbines, knowledge sharing and market support - Germany: R&D focus on large turbines, but no significant market support, hence little demand for unproven and unreliable technology	There needs to be support across stages and communication between agents for effective deployment - Germany spent 5 times more on R&D than Denmark up to 1990 but achieved no notable wind capacity. - The Netherlands created a competitive market that discouraged knowledge sharing - The US had a booming market driven by large subsidies, but a lack of standards hampered reliability and led a market crash
 Bio-ethanol Fuel Brazil (1975)	Ethanol is easily produced in Brazil and can both regulate sugar prices as well as increase energy security 1975 – Oil and sugar price shocks in the 1970s led to the “ProAlcool” programme - Innovation in upscaling ethanol production and increasing usage rather than producing ethanol itself - Support for development and deployment of ethanol only vehicles and “flex-fuel” vehicles	Ethanol subsidies, agricultural R&D funds and support for ethanol vehicles at varying levels over time - Mandatory fuel blending of ethanol with gasoline creates demand - Incentivised supply with low interest loans and guaranteed prices - Grants provided for agricultural research to increase crop yields 1986 – Guaranteed ethanol prices reduced below average cost of production due to oil price collapse	Exposure to market forces drives cost reductions and supporting technologies can be essential for success 1980 – beliefs of increasing oil prices meant no concentrated effort was made to improve efficiency - Post 1986 – subsidies were rolled back, leading to cost reductions across the production chain - Post 2004 – introduction of flex-fuel cars re-energises the programme

	动机	干预	经验教训
合成燃料 美国（1979 年）	因预期油价较高、能源安全利益和资本成本较高而获得支持 • 合成燃料通过将煤炭液化而生成，并作为石油替代能源 • 1979 年之后，原油价格预期将迅速上涨，这让合成燃料具有成本竞争力 • 创新过程成本高昂，预期在长久以后才能实现收益——这一点阻碍了私营企业投资	受研发支持的激励作用，在缝隙市场中得到大规模部署 • 政府在二十世纪五十年代到七十年代提供了研发资金，但低油价限制了开发进展 • 1980 年到 1986 年：在政府补贴的支持下，在缝隙市场中得到大规模部署 • 到 1986 年目标产量 50 万桶，初始预算 122 亿美元（1980 年美元）	反映了为应对新形势而需要制定灵活的目标和政策 • 当刚开始在缝隙市场进行部署时，油价已在下跌 • 1985 年——收益仅达到 1986 年目标收益的 2% • 1986 年——计划被取消，成本共计 45 亿美元（2010 年美元）
人类基因组计划 美国（1990 年）	如果某个私营公司抢先完成测序，则基因组信息的获取将由于专利而受到限制 • 1986 年——自动测序仪的介入，使得人类基因组测序变得可行 • 相关数据对于药品生产商和医疗研究具有重大价值 • 某家私营公司申请有关基因组段的专利，导致政府加速干预	政府启动相应测序计划，在测序方面与私营企业展开竞赛 • 政府提供资金预计 56 亿美元（2010 年美元） • 1990 年——计划正式开始，于 2005 年结束 • 1998 年——Celera Genomics 开始测序，公共计划加紧测序进展 • 2000 年——公布草图，公共计划领先 3 天完成 • 2003 年——全部公布	由政府取代私营部门提供资金的做法可能有用，但必须明确该计划对社会带来的利益 • 到 2012 年，该计划产生的经济影响估计为 9650 亿美元 • 为使这种干预具有正当性，该计划必须带来明确的利益 • 据称，竞争帮助该计划控制在预算范围内并提前两年完成

风轮机 全球（20 世纪 70 年代）	风力是一种清洁的替代性电力来源，但在二十世纪七十年代不具有竞争力 - 在石油危机凸显能源问题后，市场对风力发电的兴趣出现增长 - 缺乏高效的风机、发电资产寿命短，以及对污染外部效应不够重视，这些意味着，针对此技术的私营企业投资有限	不同国家采用了不同的方法——其中，丹麦的方法被视为最成功 - 美国：大型补贴计划，虽实现了产能，但不可靠并导致市场崩溃 - 丹麦：重点放在支持小型风机、知识共享和市场支持 - 德国：研发重点放在大型风机，但无重大市场支持，因此对未经证实和不确定是否可靠之技术的需求很少	不同阶段都需要获得支持，并且不同实体之间需要保持沟通，才能确保有效部署 - 到 1990 年，德国在研发方面的投入比丹麦多 5 倍，但风电产量并不显著。 - 荷兰建立了一个充满竞争、不鼓励知识共享的市场 - 美国的大规模补贴驱动了市场的繁荣，但由于缺乏标准，阻碍了可靠性，导致市场崩溃
生物乙醇燃料 巴西（1975 年）	乙醇在巴西容易生产，可调节糖的价格并改善能源保障 1975 年——二十世纪七十年代的原油价格和原糖价冲击催生了“国家乙醇”计划 - 创新针对于扩大乙醇生产规模和普及乙醇的使用，而非生产乙醇本身 - 支持纯乙醇汽车和“弹性燃料”汽车的开发和部署	逐渐实施乙醇补贴、农业研发基金和乙醇燃料汽车支持 - 有关向汽油中混合乙醇的强制性规定催生了需求 - 通过低息贷款和保证价格，激励供给 - 为农业研究提供补助金，以提高庄稼收成 1986 年——由于原油价格暴跌，乙醇保证价格降至平均生产成本以下	市场力量推动了成本削减，支持性技术对于该计划的成功至关重要 1980 年——对原油价格增长的预期意味着，未集中致力于提高效率 1986 年之后——补贴削减，导致生产链上下实行成本削减 2004 年之后——推出弹性燃料汽车，重新激活了该计划

来源： Vivid Economics

二、决定创新进展速度的因素

创新是一个试验的过程，因此，创新的进展速度取决于能开展的试验的性质和次数。技术极少能在某一次“灵光乍现”的情况下（若有）开发出来，而通常需要经过多次试验。例如，托马斯·爱迪生在对 1200 多份白炽灯灯泡

设计进行测试之后，才找到了一个验证版本。广义而言，摩擦和资本特征决定了试验过程的特征，因而决定了创新的速度。

（一） 摩擦

摩擦可能发生在创新过程中的任何环节，但可通过政策予以减少。创新过程是复杂的，本质上是不确定的。创新过程由若干阶段组成，每个阶段具有不同的特征，例如，风险投资的规模，以及所涉及的技能及知识的范围。此外，创新的结果极少在创新过程一开始便已知，意外性是创新的一个基本特征。这些是所有技术都面临的共同问题，对此，公共政策可发挥最大程度减小这些摩擦的积极作用。

投资者与社会之间的经济动机不一致，可能导致产生额外的摩擦。如果将创新完全交给私营部门来完成，那么，将可能出现私营实体的目标与对社会有利的方向不一致的情况。当存在外部效应时，此问题最为突出。无论何种情况下，只要某项创新存在溢出效应或正向外部效应，该项创新的社会效益就无法被某一个私营部门完全捕获，这导致投资达不到最优水平。此外，创新成果还面临被仿冒的风险。当竞争对手并不在创新方面展开竞争，而试图抄袭市场引领者的创新成果，并予以细微的、通常不必要的差异化时，即发生仿冒。当仿冒的是产品而非概念时，造成的资源浪费情况最严重²。这些通常通过仿冒而实现的微小差异可能导致出现相似的、各自标准相互竞争而不具有互通性的产品——从社会角度而言，次于采用一个通用的体系。

在减少此类摩擦和确保实现最优结果方面，政府扮演着关键角色。动机

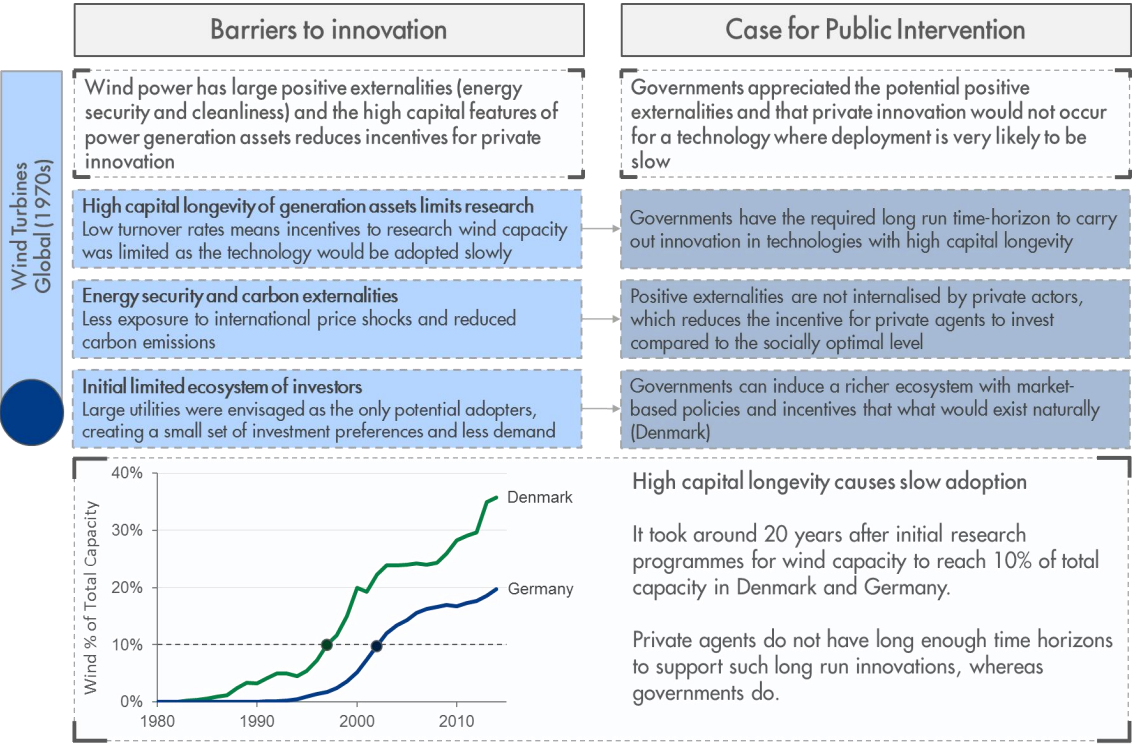
² 事实上，概念方面的竞争有助于激励创新进展加快和成本削减。

不一致、创新风险高，以及投资参数在创新路径中不断变化的问题，都属于可能导致对社会有利的创新无法进入市场部署阶段的摩擦。政府有必要帮助缓解这些摩擦，并帮助创新尽可能地实现最佳的社会效益，这样做符合政府的利益。

（二） 资本特征

第二组因素有关技术固有的资本特点，即其资本密集度和资本寿命。资产的资本密集度是指最小可行单位的资本成本。模块化技术（例如，太阳能电池）的资本密集度往往较低，需要大规模部署的技术（例如，核电厂）的资本密集度则往往较高。资本密集度更高，会导致在技术无法成功应用的情况下，面临的经济风险更大，这意味着，在能开展的试验次数较少。对于将在缝隙市场中进行部署的技术，资本密集度越高，投资回收期通常越长，技术在回收期内无法成功应用时面临的风险越高。这会导致需求减少，而如果没有充分的需求，即使得到成功部署，创新也将无法实现盈利，进而导致创新投资减少、总体创新进展减慢。资本寿命是指一项资产的有用期限，此因素也可能导致周转率降低、创造的“边干边学”机会减少，并导致所产生的对新资本资产的需求减少，进而导致创新成果的减少。

图3 能源发电资产成本高、寿命长，因而其采用速度通常较慢，导致私营部门投资动机减弱



	创新障碍	公共干预案例
风轮机 全球（20 世纪 70 年代）	风电技术的正向外部效应较大（能源保障和清洁性），并且，发电资产的资本密集度高、资本寿命长，这些导致私营企业创新动机减弱	政府认识到潜在正向外部效应，并认识到，如果部署速度很可能较慢，则针对相应技术的私营企业创新不会发生
	发电资产的资本寿命较长，限制了研究的开展 周转率低意味着对风电产能的研究动机有限，因为风电技术的采用速度可能较慢	政府拥有必要的长期时间框架来实施针对资本寿命较长之技术的创新
	能源保障和碳外部效应 受国际价格冲击之影响的可能性减小，碳排放减少	正向外部效应未被私营参与者内部化，导致与对社会最优的水平相比，私营企业投资动机减弱
	投资者生态圈初始范围有限 预期潜在采用者只有大型公用事业单位，因而投资偏好有限、需求减少	政府可引入更丰富的生态圈，并实施基于价格的政策和本将自然出现的激励（丹麦）

风力发电量占 总发电量的百 分比 (%)	丹麦 德国	资本寿命较高导致采用速度较慢 丹麦和德国在实施了初次研究项目之后，花了约 20 年的时间，才让风力发电量达到总发电量的 10%。 私营企业不具有足够长的时间框架来支持这些长期的创新，而政府拥有该框架。
-------------------------------	----------	--

来源：EIA、IEA、Neij & Andersen，2012 年

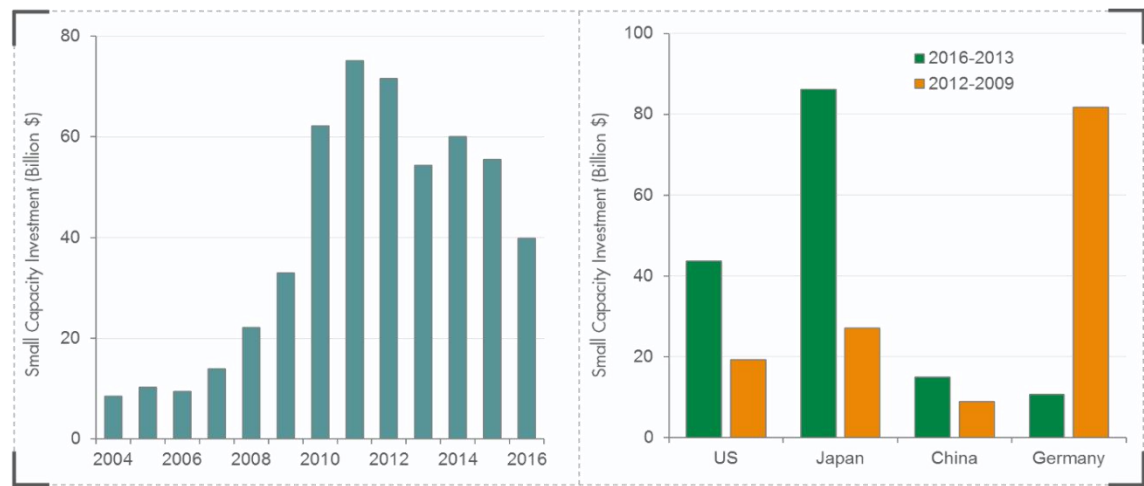
能源发电技术通常具有较高的资本密集度和较长的资本寿命，因而限制了试验的可能性，减慢了部署速度。政府可提供相关支持，以克服这些障碍。如**错误!未找到引用源。**所总结，二十世纪七十年代的风轮机开发案例可作为此方面的一个典型案例。德国将重点放在超大型涡轮机的开发上，该技术资本密集度较高，但提高了德国的经济发展潜力。在丹麦，政府希望加速风轮机方面的创新，并积极支持小型风轮机的开发。这些小型风轮机的复杂程度不及德国的大型风轮机，其资本成本也较低。由于复杂程度较低、可开展的试验次数增多，验证风轮机失败的风险得到降低，学习速度得到提高，进而让丹麦风电技术得到更迅速的部署，即通过最小化可行产品，迅速建立了新兴行业。

新技术和商业模式正在改变资产的经济机制。目前市场中呈现出这样一种主要趋势——数字化正在让耐用品被用作消耗品。以往，消费者会购买资产，将资产作为耐用品。这些资产无论使用频率如何，都会产生固定成本。数字化让消费者能够购买资产的使用机会，将资产作为消耗品。也就是说，消费者仅在使用资产时付款——类似于租赁。数字化之所以能实现这一点，是因为对某项资产使用情况的数字化跟踪和计费，可降低在大量消费者中共享该资产的交易成本。例如，通过“优步”和“滴滴打车”等服务，消费者

只需按自己的用车频率来付费，而无需预付汽车的固定成本。“摩拜单车”则是自行车领域的类似案例。

随着最终使用能源的资产从耐用品转变为消耗品，基础经济发生了改变。例如，出现了两类经济实体，即提供平台来连接资产所有者与消费者的资产供应商（例如，“滴滴打车”和“优步”），以及拥有并运营资产库的需求聚合商（例如，“摩拜单车”）。反过来，这些新的商业模式为加快实施创新创造了机会。耐用品向消耗品的转变，有可能提高利用率，进而提高资产的周转率，从而有效缩短资本寿命。资产库的管理也可能促使创新加速，因为这些管理公司拥有更有效的知识和资金来支持创新型技术。

图 4 2004 年以来，小容量发电设备投资出现明显增长，近年来，四个主要市场中，有三个市场的投资水平仍在增长



小容量发电设备投资（十亿美元）	小容量发电设备投资（十亿美元）
	美国 日本 中国 德国

备注：小容量发电设备被界定为总容量不超过 1 兆瓦的屋顶安装式太阳能光伏电池。

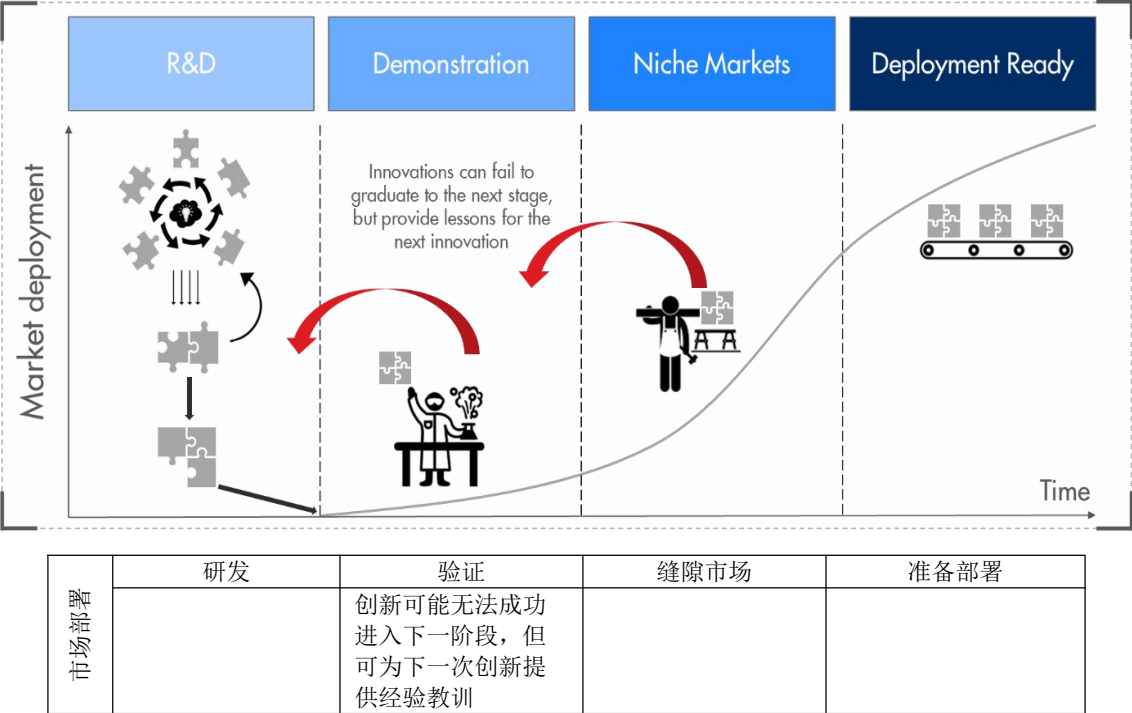
来源：法兰克福金融管理学院和彭博新能源经济资讯，2017 年

能源体系的另一大趋势是向去中心化能源体系的转型，在这种体系中，技术的单位规模更小。去中心化能源体系在广义上被界定为在能源将被消费的地点附近，小规模地生产能源。这已成为目前能源转型的一个主要趋势，因为许多住户和小区正在安装发电设备。这些发电设备的最小单位规模较小，安装成本较低，这让一个全新的、大规模的群体也能使用发电资产。下图（**错误!未找到引用源。**）反映了过去十年来，全球范围对小容量太阳能发电设备投资的增长情况。反过来，资本密集度较低的去中心化能源开辟了新的需求道路，让技术采用速度得到加快，从而为扩大创新提供了必要信号。

三、创新路径

要向大众市场部署创新成果，必须经过创新过程的四个阶段（见**错误!未找到引用源。**）。每个阶段涉及不同的主体：在研发阶段，较为活跃的主体是高校，而验证阶段和缝隙市场阶段的主体是风险投资者和证券市场。某项创新成果一旦做好部署准备，大众市场中的所有主体都将成为参与者。每个阶段的相关支持类型也各不相同。在早期阶段，最具有相关性的支持是给予资金资助和优惠贷款。当某种技术成功跨出验证阶段，则市场创建政策（例如，提供长期激励或支持性基础设施）和公共采购成为更常见的干预方案。

图 5 创新路径由四个阶段组成——，新技术必须经历各个阶段才能进入大众市场



来源：Vivid Economics

（一） 创新路径中的挑战

每个阶段不断变化的特征和基础市场失灵，都会给创新过程带来挑战。阻碍创新的两大挑战主要包括：

- 每个创新阶段的不同主体之间动机不一致；以及
- 资本需求及风险随着项目沿创新路径的进展而不断变化。

动机不一致的原因在于每个阶段的创新资助者（私营资助者和公共资助

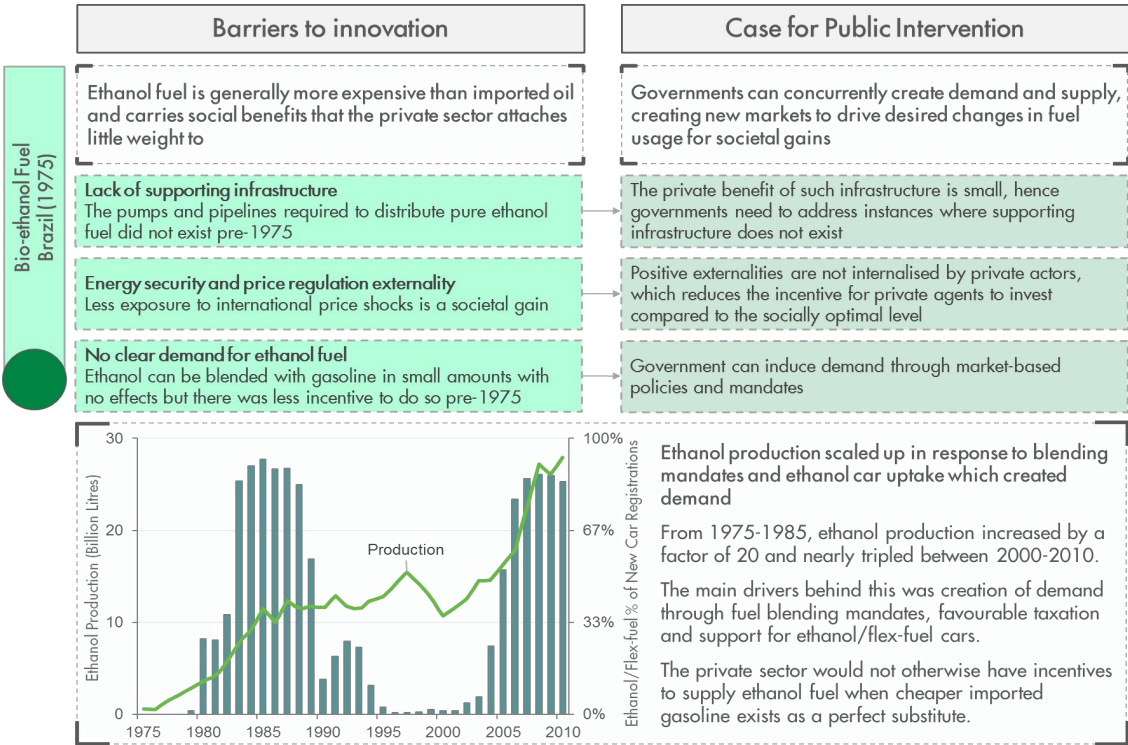
者)的目标不同。动机不一致可能导致具有正向外部效应的技术无法获得充分的投资,反而让一些不太具有社会效益的创新存活下来。创新能否获得市场的资助,取决于其能否给私营部门带来的正向价值(而非创新的全部公共价值)。例如,如果某项创新存在正向溢出效应和外部效应,而且,该项创新提供的服务无法实现经济利益,则无论其潜在价值如何,其获得的私营部门投资都可能是有限的。低碳能源技术即存在正向外部效应和溢出效应,因而总体上需要政府创新路径中提供支持。

动机不一致还可能导致仿冒,导致市场被部署几乎完全相同的产品,这一点对社会而言造成资源浪费,但对私营部门而言却是合理的。当相互竞争的不同产品因采用不同的标准或格式而不具有互操作性时,即表明存在仿冒的“创新成果”。这种体系的效率低于通用的、可互操作的体系。例如,HD-DVD与蓝光光碟制造商之间的竞争:这两种技术都能实现高质量的视频播放效果,但消费者被迫只能购买仅与其中一种技术兼容的光碟。又如,电动汽车充电接口标准的多样化。然而,如果相互竞争的产品可实现互操作,则仿冒可导致价格竞争,刺激创新的加速实施,从而有利于消费者——这是低效标准的限制性或分化的结果,而非仿冒本身造成的结果。

某些情况下,私营主体的动机可能阻碍有用知识的共享,进而阻碍潜在的有益协作,并减慢创新的总体速度。然而,如果存在网络效应或协力效应,则也可能促使私营主体之间出现积极协作。如果私营合资企业之间若通过协作可实现共同利益,则可能实现成功的创新成果。例如,2005年,松下与英特尔协作,共同开发出适用于笔记本电脑的全新系列电池。如果产品用户人数的增多可产生网络效应,则也可能出现积极的知识共享。特斯拉和丰田

正是出于此原因，公开了各自的电动汽车和氢燃料汽车技术的专利。只有拥有足够庞大的用户群，才可能开发对于这些汽车而言重要的支持性基础设施，这意味着，通过知识共享来开发市场的做法，符合特斯拉和丰田目前的利益。

图 6 政府通过干预建立了乙醇市场，以实现相关的正向外部效应



	创新障碍	公共干预案例
生物乙醇燃料 巴西（1975年）	乙醇燃料的价格通常高于进口原油，其社会效益不被私营部门重视	政府可同时创造需求和供给，从而建立新的市场，来驱动燃料使用状况向理想方向改变，从而实现社会效益
	缺乏支持性基础设施 1975年之前，不存在用于输送纯乙醇燃料的泵和管道	对于私营部门而言，这些基础设施产生的利益较小，因此，政府需要解决不存在支持性基础设施的现状
	能源保障和价格调节的外部效应 受国际价格冲击之影响的可能性减小，对社会有利	这些正向外部效应未被私营部门主体内部化，导致私营主体的投资动机减弱（相比于对社会最优的水平）

	不存在对乙醇燃料的明确需求 乙醇可少量与汽油混合而不会产生不良影响，但在 1975 年之前，此方面的激励措施较少	政府可通过基于市场的政策和法规，减少需求
乙醇产量（十亿公升）	产量 乙醇/弹性燃料汽车在新车注册量中的百分比（%）	为响应混合法令，乙醇产量得到扩大，乙醇汽车的应用创造了需求 从 1975 年到 1985 年，乙醇产量增长了 20 倍，2000 年到 2010 年之间，乙醇产量增长了近三倍 主要驱动因素在于，通过燃料混合法令、优惠税收和针对乙醇/弹性燃料汽车的支持，创造了需求。 否则，在价格较低的进口汽油供给充足并可作为完全替代燃料的情况下，私营部门不存在供应乙醇燃料的动机。

来源：巴西汽车制造商协会（ANFAVEA），2012 年；Meyer 等，2012 年

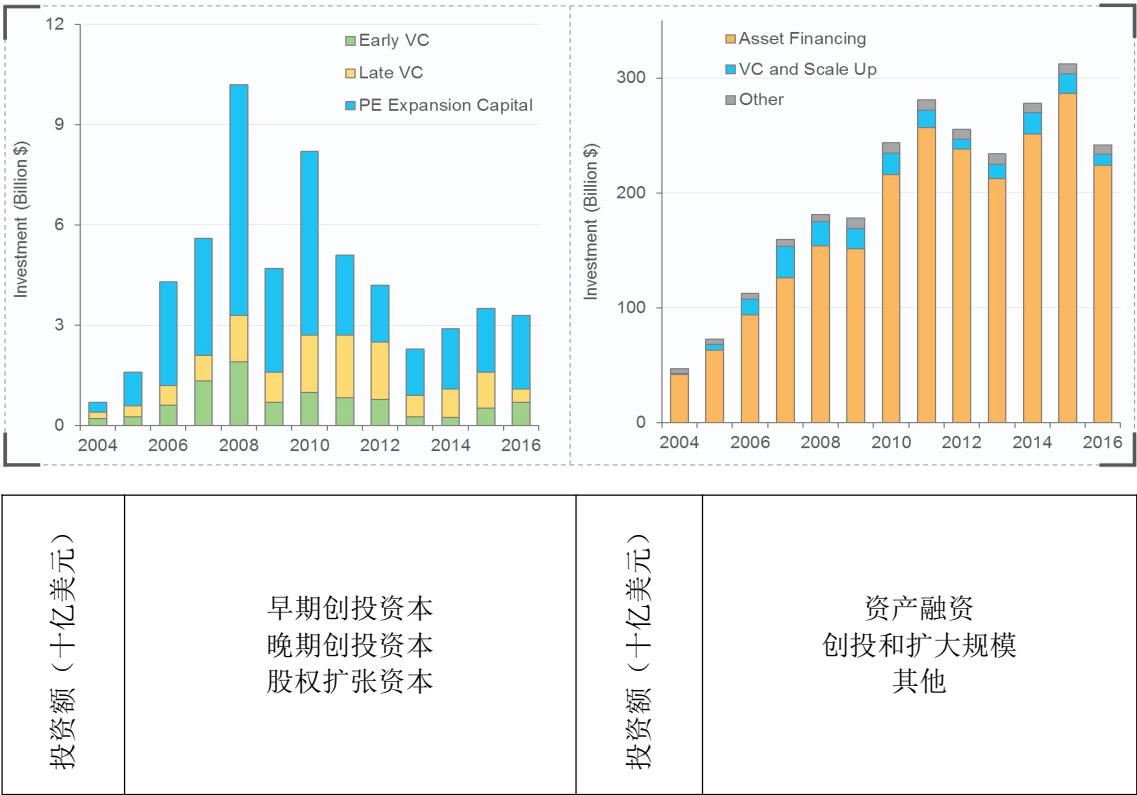
巴西乙醇燃料开发案例是政府政策在解决动机不一致问题方面发挥重要作用的典型示例。在巴西，乙醇燃料尽管成本高于进口原油，仍获得大量支持。当 1975 年开始实施其乙醇燃料开发项目时，乙醇的生产成本显著高于进口原油，而且尚不存在对汽油乙醇混合燃料的需求。因此，由于不具有市场和成本优势，私营部门无法单独开展乙醇燃料投资。唯有政府认识到国产乙醇的能源保障效益，并利用巴西的庞大甘蔗产量来建立国内乙醇市场，继而帮助推广乙醇燃料，以实现其社会效益。总体而言，乙醇燃料在巴西的广泛应用，得益于巴西政府通过乙醇汽油法令来刺激需求、提供乙醇输送基础设施，以及从支持商业创新转向支持弹性燃料技术而取得的成果。

资本需求的不断变化，是创新的复杂性产生的结果。创新过程的各个阶段存在各自的风险和资本特征，这意味着，个体投资者极少数情况下拥有正确的偏好或能力，在整个创新路径一直为创新提供支持。因此，需要建立一个多元的、拥有多种偏好和能力的投资者生态圈，以确保能够为每个创新阶

段提供充分的支持。

当技术在沿创新路径进展的过程中，其资本需求和成功几率会发生明显的变化。早期研发阶段和验证阶段面临较高的风险³，但资本需求较低。随着创新逐渐跨入缝隙市场部署阶段，其成功几率和所需的资金规模均出现提高。在可再生能源投资方面，私募股权投资规模的扩大超过了早期或晚期的创投融资规模，但相比于资产的融资与大规模部署成本而言，这两者相对较小。

图 7 对于可再生能源，创投资本融资发生在最早的阶段，规模小于后期的扩张资本融资。两者都是实际资产部署成本中的一小部分。



备注：扩张融资包括股权扩张资本和公共市场融资

³ 例如，因为在此阶段，创新是否将成功进入大众市场，是非常不确定的。

来源：法兰克福金融管理学院和彭博新能源经济资讯，2017 年

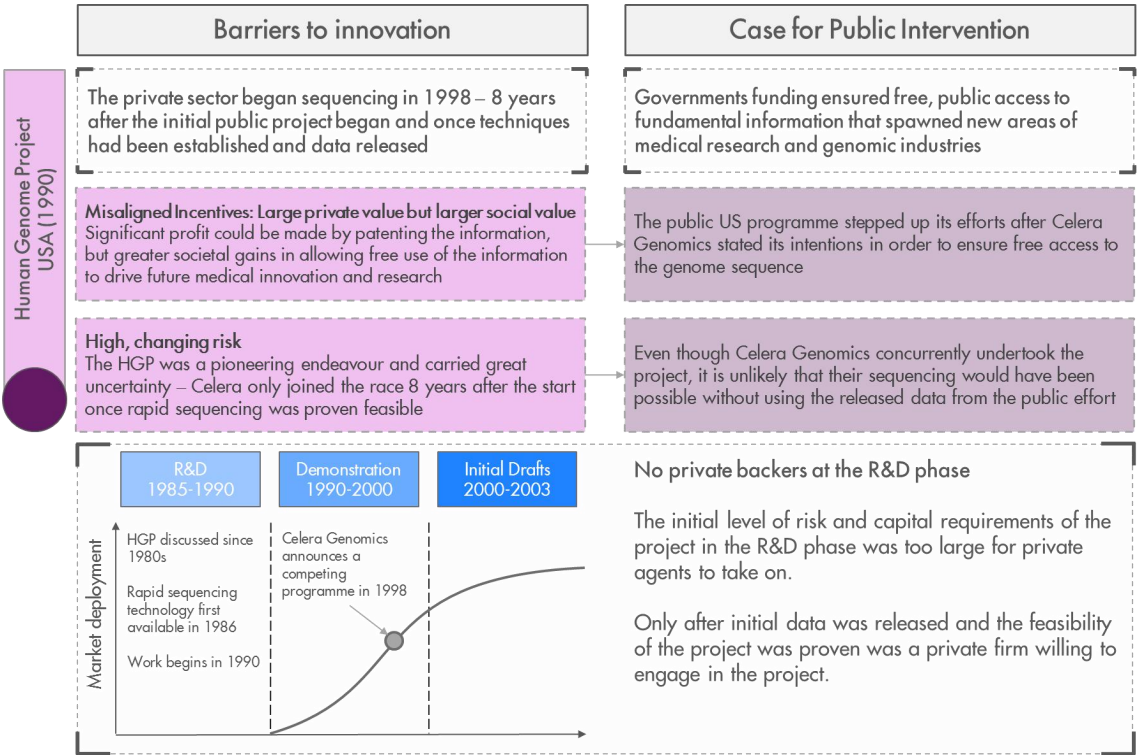
拥有不同风险偏好和资本可用性的多元化的投资者，将有助于确保各个创新阶段都将获得充足的支持。因此，有必要建立一个拥有多种风险偏好的投资者生态圈，以涵盖这些阶段的不同潜在特征，确保在整个路径中都能获得相应支持。例如，如果所有投资者都偏好于投资低风险项目，则早期阶段将无法得到充足投资，进而阻碍创新的总体进展。类似地，如果所有投资者可提供的资金规模都不高并且偏好高风险项目，则创新项目在跨入缝隙市场阶段及后续阶段后，将无法获得充足的支持。

如果无法建立多元化的投资者生态圈，优秀的创新项目可能因无法开展而陷入“死亡谷”中。在一个正常运作的创新生态圈中，投资者之间的关联非常牢固，并且存在足够多元的风险偏好，使得项目在不同的阶段之间进行过渡时，能够顺利地转交给新的投资者。

人类基因组计划（HGP）案例反映了资本需求和项目风险随项目进展而发生的不断变化——当该项目被证明可行之后，该项目才显现出对私营部门而言的利益，并且可能产生“胜者通吃”的结果。人类基因组计划是对绘制人类基因图谱的首次成功尝试。该计划的融资水平随项目进展而不断提高。1988 年，该项目的融资规模是 5400 万美元资金，而 1992 年，融资规模扩大到 2.9 亿美元。在该项目的最后两年，年均融资额为 5.5 亿美元，是 1988 年初始水平的十倍。项目开始时，项目相关的风险水平极低，然而，当技术得到验证后，私营部门才开始实施创新。1998 年，也就是 HGP 项目首次启动后 8 年，一家私营企业 Celera Genomics 宣布其有意同时开展基因组测序工作。此时，相关数据已公布，并且项目的可行性已得到验证。由于风险降低，该

项目吸引了在之前的高风险阶段无法获得的私营部门投资（详见图 8）。

图 8 HGP 是首个基因组计划——直到概念验证完成之后，私营部门资助者才出现



	创新障碍	公共干预案例
人类基因组计划 美国（1990年）	私营部门于1998年——也就是HGP计划首次启动后8年，相关技术已建立并且相关数据被公布之时，开始测序工作	政府资助确保了公众能够自由地查取相关基础信息，从而催生了医疗研究和基因组行业的新领域
	动机不一致：对于私营部门而言具有重大价值，但对于社会而言具有更大价值 申请相关信息专利可获得巨大利益，但让公众自由查取相关信息，可驱动未来医疗创新与研究，从而实现更大的社会效益	在Celera Genomics宣布其有意同时开展基因组测序工作之后，美国HGP计划工作组开始加大努力，以确保公众可自由地查取基因组序列信息
	风险较高且不断变化 HGP计划在历史上尚属首例，因而面临极大的不确定性——Celera在该计划启动8年后，也就是快速测序技术得到验证之后，才	虽然Celera Genomics同时开展该项目，但假若不利用已公布的数据，其测序工作将寸步难行

	加入到这场竞争中			
市场部署	研发阶段 1985 年- 1990 年	验证阶段 1990 年-2000 年	初步草图 2000 年- 2003 年	研发阶段无私营部门资助者。 该计划在研发阶段的风险水平和资本需求过高，以至于私营主体无法接受。 当初步数据被公布，项目可行性得到验证之后，一家私营企业才愿意参与该计划。
	自二十世纪八十年代开始讨论该计划 1986 年首现快速测序技术 1990 年开始研究工作	Celera Genomics 公司于 1998 年宣布开展一项竞争性项目		

来源：ITIF，2014 年；Tripp 和 Grueber，2011 年；Waterston、Lander 和 Sulston，2002 年

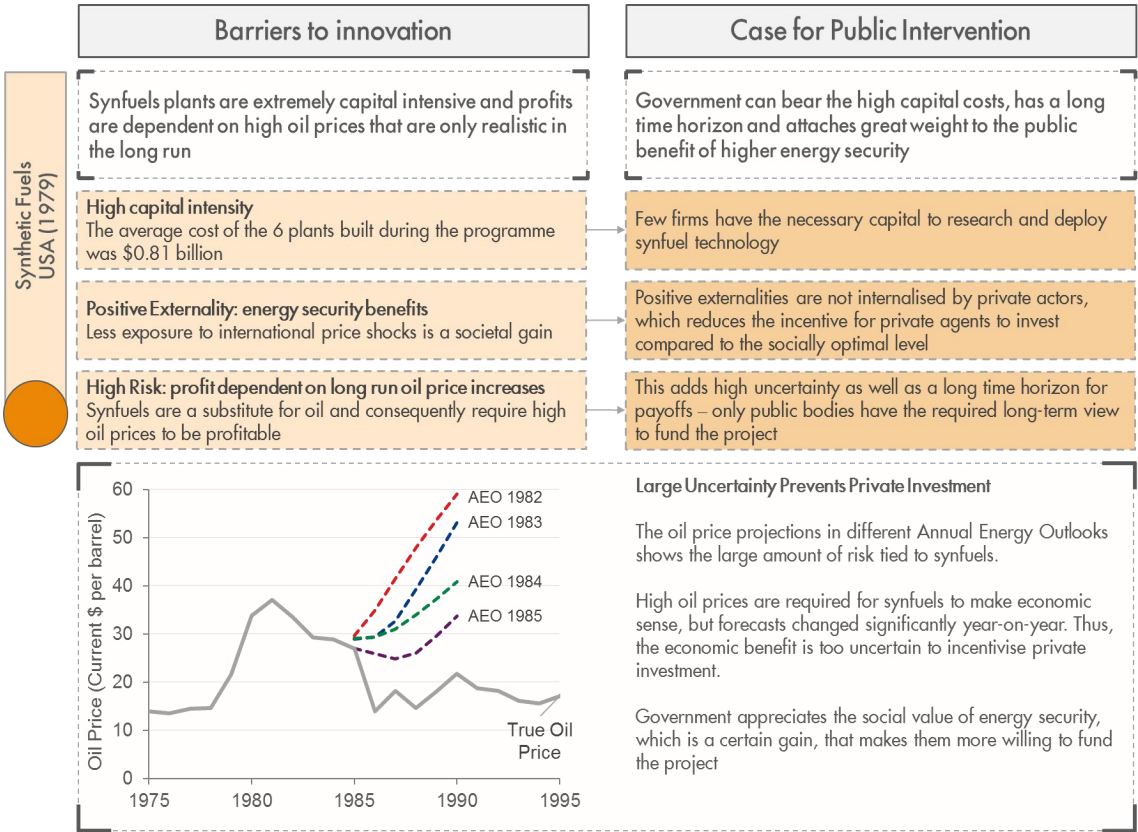
四、创新路径中的风险与回报

资本需求的增加和风险的提高都是投资者不希望看到的。因此，对于特定水平的风险和资本需求，必须有恰当水平的预期回报。如果存在这种恰当水平的预期回报，则理论上可找到项目的投资者。如果项目达不到恰当的回报水平，则会出现问题。在这种情况下，项目的回报相比其资本需求和风险而言过低，因而在竞争市场环境中，将无法被选定为资助对象。

在美国，合成燃料的投资回报的不确定性非常高，因为存在较高的风险和资本成本密集度，这两个因素共同阻碍了私营部门的投资。合成燃料工厂的资本成本较大：二十世纪八十年代，美国合成燃料工厂的资本成本接近十亿美元，一些现代化工厂的资本成本几乎达到该数字的十倍。私营部门对合成燃料工厂投资的预期回报与未来预期原油价格存在内在联系，因为这两种商品几乎可完全相互替代。鉴于原油价格存在波动性，以及原油价格预测的

准确性通常不高，合成燃料面临一定程度的风险，再加上其风险资本较高，因此对于私营部门投资者而言不具有吸引力。政策制定者可承受较长的时间周期，价格波动得以平均，从而将风险被降低到一定范围内，此外，如果合成燃料有助于减少原油进口，则还可将能源保障方面的潜在效益内部化。正是基于这种对改善能源保障的考虑，美国政府决定对一项大规模的合成燃料项目提供支持，如错误!未找到引用源。所述。

图9 合成燃料私营投资回报不可预测，阻碍了私营部门投资



	创新障碍	公共干预案例
合成燃料 美国（1979年）	合成燃料工厂的资本密集度极高，其利润依赖于较高的原油价格，而原油价格在长期而言才具有相对稳定性	政府可承受较高的资本成本、接受较长的时间周期，并且高度重视改善能源保障这一公共效益
	资本密集度高 计划期间建造的 6 家工厂的平均成本为 8.1 亿美元	新企业拥有必要的资本来研究和部署合成燃料技术
	正向外部效应：能源保障效应 受国际价格冲击之影响的可能性减小，对社会有利	这些正向外部效应未被私营部门主体内部化，导致私营主体的投资动机减弱（相比于对社会最优的水平）
	高风险：利润依赖于原油价格的长期增长 合成燃料是原油的替代品，因而需要有较高的原油价格才具有盈利性	这导致项目的高度不确定性进一步提高，并导致回报周期延长——只有公共机构才具有所需的长期眼光，为项目提供资助
原油价格（现行每桶美元价格）	实际原油价格	高度不确定性阻碍了私营部门的投资 多份《年度能源展望》对原油价格的预测表明，合成燃料面临较高风险。只有原油价格较高，合成燃料才具有经济意义，但原油价格预测每年都会出现显著变化。因此，合成燃料的经济效益不确定性过高，不足以激励私营部门投资。政府重视合成燃料对改善能源保障的社会价值，因而更愿意为项目提供资助

来源：Anadon、Nemet 和 Schock，2012 年；EIA，2005 年

创新固有的复杂性意味着，创新项目的不确定性不可提前预测：如果主要投资参数因遭遇冲击而发生变化，则创新项目可能会很快失去支持。即使优秀的技术也可能因意外冲击而陷入困境。例如，某种必需品的价格冲击可能导致项目急需额外的短期资金，或者导致项目的已知风险发生变化。困难之处在于，我们难以区分所面临的是暂时性冲击还是结构性改变。例如，二十世纪八十年代早期，原油价格预期将持续增长至二十世纪九十年代甚至更晚。然而，二十世纪八十年代的价格下跌并非短期冲击，而是长达 20 年的

低水平价格趋势的开始——1982 年之后、2004 年之前，原油价格一直再未达到年平均 30 美元/桶的水平。

由于难以区分所面临的是结构性改变还是暂时性冲击，这可能导致创新投资变得低效。如果面临的是世界的新长期状态的开端，则可能有必要抛弃以往的“优秀”创新，但仍需获得额外资金来度过暂时性冲击。永久性地减少支持，可能导致失去长期发展机会，但却能够在短期节省资源，相反，继续提供长期支持则可能造成资源的浪费。例如，在面临大宗商品价格波动风险的部门，投资可能被迫减少或停止，因为冲击可能导致投资者缺乏可用于新投资的资金。在这些情况中，如果提供支持，则可能有助于维持仍具有长期价值之项目的开展，但也可能面临对后来被验证为不可行之创新浪费资金的“缓慢失败”风险。对于这种摩擦，不存在简单的解决方案。政策制定者需要采取动态的创新政策，避免将重心仅放在最终结果上，而应当同时注重创新过程的效率以及对新进展情况的积极响应方面。

归根结底，值得牢记的是，选择对创新进行投资，不仅仅是投资者将其融资能力和风险偏好与项目回报相匹配的过程。投资者对创新路径中的风险与回报的看法，还受到主流投资文化的影响。例如，假如没有技术投资先例，创新就不太可能获得充足的资金。要建立一个富足的创新投资生态圈，需要具有对未来技术提供支持和为了创新而创新的愿望。假如没有这种文化，可能没有足够的投资者和资金来支持庞大的创新市场。创新政策可能有助于创建这种文化，也可通过私营部门提供种子资金或大型企业收购初创企业的形式，让企业家有理由接受这些风险。

五、创新政策

政府或公共机构的角色，是通过经济干预和非经济干预，最大程度减少动机不一致和资本需求不断变化的挑战。政府可通过各种政策来应对这些挑战，并改善创新的社会效益。具体包括，做出经济干预，对有限的投资者生态圈构成补充，或者对阻碍具有社会效益之项目获得投资的动机不一致问题进行平衡。此外，还包括多种非经济干预，例如，培养创新投资文化、确保生态圈中的所有相关主体之间存在牢固的关联，或者提供市场支持。

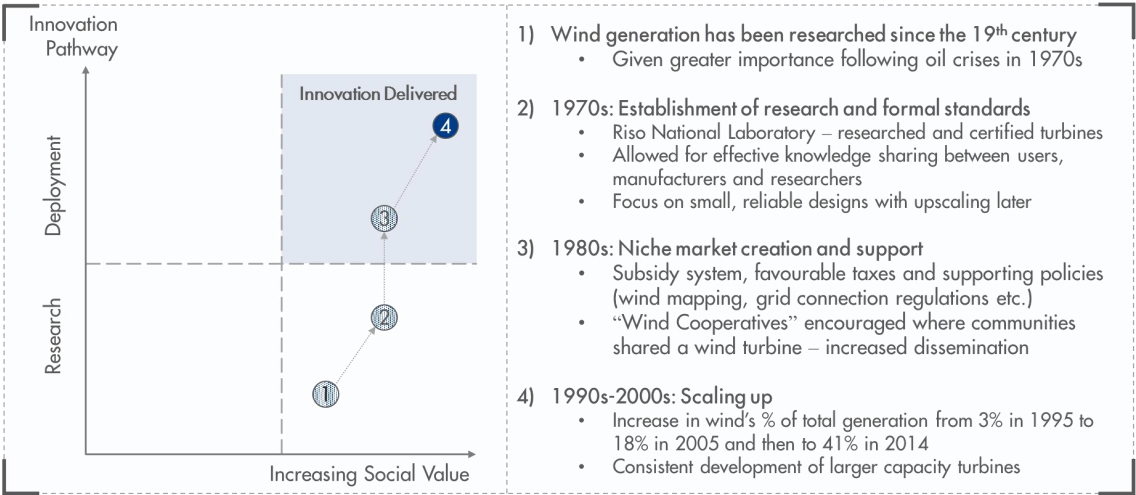
虽然创新过程中的低效情况，让公共干预变得必要，但评判干预成败的标准并不完全如此。创新是一个试验性的过程：虽然发现可行的技术是创新过程中的一个重要方面，但创新固有的不可预测性和不确定性意味着，无法保证相应技术是否会“胜出”、是否值得予以支持。即使技术未能进入大众市场，但仍具有价值，则也会产生间接的溢出效应并积累经验教训。因此，完全根据新技术是否得到广泛应用来评判干预政策的成败，并不能提供最优的环境来确保创新的成功。

不应当仅根据技术的最终成败来评判政府的干预政策。在选择投资于某个项目时，该项目显然具有较高的社会价值预期⁴，但随着时间的推移，可用信息增多，项目的预期价值将发生变化。这时，政策应当随之调整。虽然培育出能胜出的技术是最佳结果，但当项目显然不再有利时及时予以停止，也是可取的。因此，探索创新的动态路径及最终结果，是确保创新政策有效性的关键。

⁴ 社会价值是指，直接或者通过外部效应而产生的、对社会的总利益除以项目成本。具有较高社会价值的创新通常会创造新的或改进的服务，或者具有显著的正向外部效应。

政策支持如何应对意外环境而做出相应调整，是实现成功干预的重要条件，而且，相比于最终结果，更需要考虑的是，为应对环境变化及冲击而需要采取哪些行动。**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**显示了两条截然不同的路径。二十世纪七十年代，多个国家开发出风电技术，这些国家的经验让我们能够比较，在不同阶段采取不同类型的政策如何导致不同的结果。德国选择高度专注于大规模风轮机的研发，而丹麦则实施了一项更具有全局性的支持计划，事实证明，此做法更为成功。德国尽管在开始时遭遇挫折，但之后借鉴了丹麦计划的许多方面，并实现了大规模风电部署，这一点表现出其灵活性。

图 10 通过专注于可靠性和支持缝隙市场，丹麦成功地实现了风力发电创新

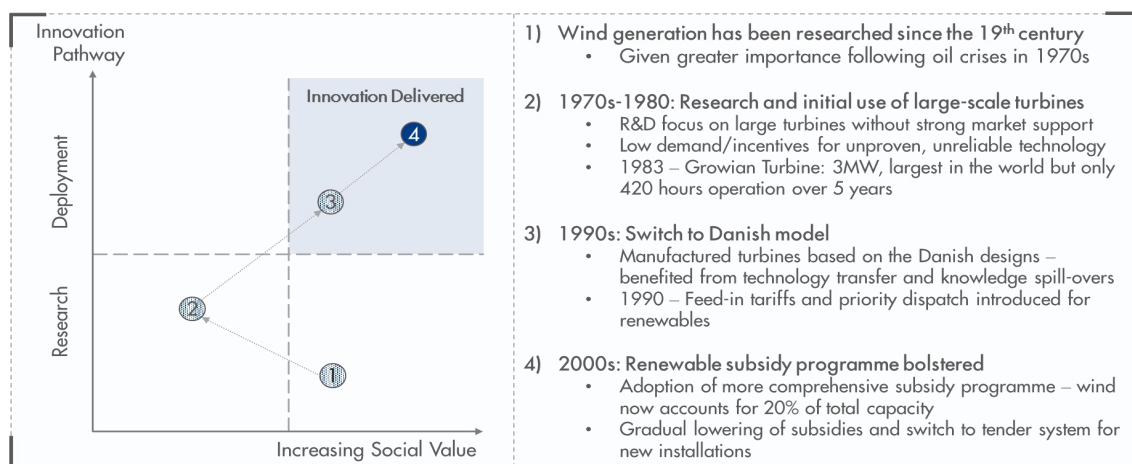


创新路径	1) 自 19 世纪起开始研究风力发电 在 20 世纪 70 年代的石油危机之后，给予更大重视
部署 实现创新	2) 20 世纪 70 年代：确定研究并建立正式标准 - Riso 国家实验室——开展风轮机研究和认证 - 允许在用户、制造商和研究者之间进行有效的知识共享 - 专注于较小的、可靠的设计，并准备后续放大
研究	3) 20 世纪 80 年代：创建缝隙市场和提供支持

	• 补贴制度、优惠税收和支持政策（风向图测绘、电网连接监管等） • “风电合作团体”鼓励不同社区共享一台风轮机——散播范围扩大
社会价值增加	4) 20 世纪 90 年代-21 世纪初：扩大规模 • 风力发电量占总发电量的百分比从 1995 年的 3% 提高到 2005 年的 18%，再到 2014 年的 41% • 持续开发大容量涡轮机

来源：Irena-GWEC, 2013a; Neij 和 Andersen, 2012 年; IEA, 2016 年

图 11 德国最初生产大规模风轮机的尝试未取得成功，但通过改变政策，最终实现了风电装机容量的成功部署

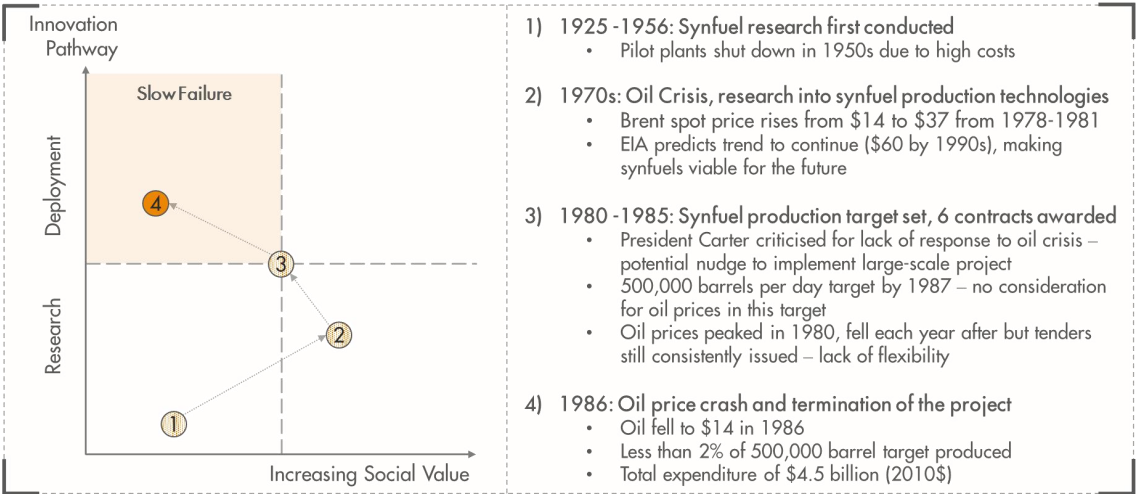


创新路径	1) 自 19 世纪起开始研究风力发电 • 在 20 世纪 70 年代的石油危机之后，给予更大重视
部署 实现创新	2) 20 世纪 70 年代-1980 年：研究并开始使用大规模风轮机 • 研发重点针对于大型风轮机，未获得有力的市场支持 • 未经证实的、可靠性不确定的技术面临较低的需求/投资动机 • 1983 年——Growian 涡轮机：3 兆瓦，世界最大，但 5 年来运行时数只有 420 小时
研究	3) 20 世纪 90 年代：转向丹麦模式 • 所制造的风轮机基于丹麦的设计——因技术转移和知识溢出而受益 • 1990 年——推出针对可再生能源的上网电价和优先调配
社会价值增加	4) 21 世纪初：可再生能源补贴计划获得支持 • 采用更全面的补贴计划——目前，风电占全球发电总量的 20% • 逐渐降低补贴并转向招标机制（对于新装机容量）

来源：Irena-GWEC, 2013b; Neij 和 Andersen, 2012 年; EIA, 2014 年

创新路径中的动态创新政策将有助于确保，各个创新阶段的恰当市场信号不被淹没。务必在创新过程中的每个阶段，让创新恰当程度地暴露于竞争之中，以便充分利用市场信号来指导干预决策。随着创新成果的逐渐成熟，将创新成果逐渐暴露于市场状况中，以便根据有用的信号，对创新的未来预期社会价值做出预测。提供过于慷慨的预算，或者在创新路径中的晚期阶段限制创新成果与其他技术的竞争，可能导致技术的可行性无法被检验，并导致更加难以做出是否继续给予支持的决策。

图 12 由于生产指标僵化并且缺乏应对不断变化之环境的灵活性，美国的合成燃料创新最终缓慢失败

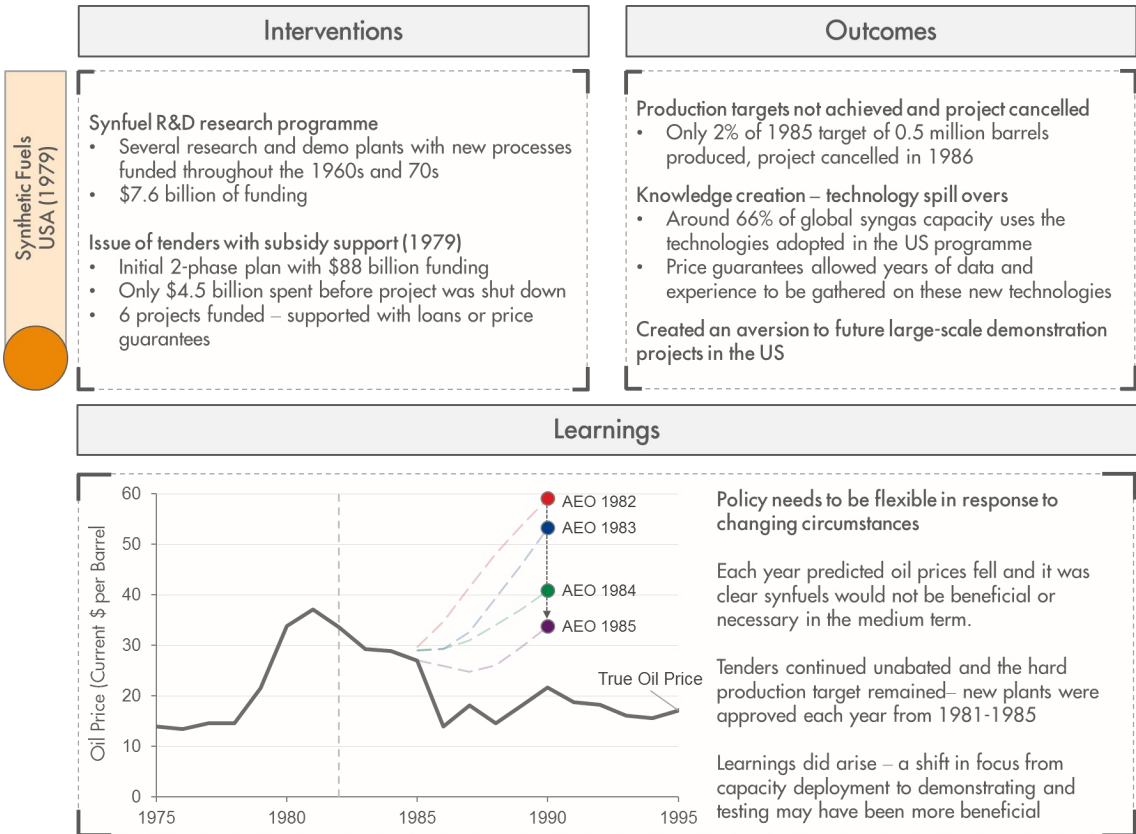


创新路径	1) 1925 年-1956 年：首次开展合成燃料研究 因成本较高，20 世纪 50 年代，试点工厂被关闭
部署 缓慢失败	2) 20 世纪 70 年代：石油危机，开始研究合成燃料生产技术 1978 年到 1981 年，布伦特现货价格从 14 美元增长至 37 美元 - EIA 预测趋势将继续（到 20 世纪 90 年代增长至 60 美元），让合成燃料具有未来可行性
研究	3) 1980 年-1985 年：设定合成燃料产量指标，授予 6 份合同 - 前总统卡特批评政府对石油危机的应对措施不足，从而潜在地推动了大规模项目的实施 - 设定了到 1987 年达到 500,000 桶/天的指标——此指标未考虑到原

	油价格 原油价格于 1980 年达到顶峰，之后逐年下降，但仍然持续进行招标——缺乏灵活性
社会价值增加	4) 1986 年：原油价格暴跌，项目被终止 - 原油价格于 1986 年下跌至 14 美元 - 产量不到 500,000 桶/天指标的 2% - 总支出 45 亿美元（2010 年美元）

来源：Anadon 等，2012 年；Deutch 和 Lester，2004 年

图 13 尽管形势不断变化，但合成燃料企业的指标从未调整——假如采用不同的方针，该计划本可能实现更好的结果



	干预	结果
合成燃料 美国（1979年）	合成燃料研发计划 • 20 世纪 70 年代，多个采用新工艺的研究与验证工厂获得资助 • 资助金额达 76 亿美元 在补贴支持下开展招标（1979 年） • 初始的两阶段计划获得 880 亿美元资金 • 项目关停之前，仅花费 45 亿美元 • 6 个项目获得资助——贷款或价格保证	未达到产量指标，项目被取消 • 1985 年产量仅达到 50 万桶指标的 2%，1986 年，项目被取消，知识创建——技术溢出 • 全球合成气产量中，约 66%利用了美国计划中采用的技术 • 价格保证让有关这些新技术的多年数据及经验得到收集 导致美国未来大规模验证项目招致厌恶
	经验教训	
原油价格（现行每桶 美元价格）	实际原油价格	政策需要灵活应对不断变化的环境 每年，预测原油价格均下降，显然，中期而言，合成燃料项目不再具有效益或必要性。招标仍持续开展，难以实现的产量指标仍未调整——从 1981 年到 1985 年，新工厂得到改善 获得了经验教训——假如将重心从产能部署转向验证和测试，可能更具有效益

来源：Anadon、Nemet 和 Schock，2012 年；EIA，2005 年；Deutch 和 Lester，2004 年

美国合成燃料产能部署案例表明，当指标过于僵化而不根据新信息作调整时，可能出现问題。美国合成燃料项目并未对急剧下跌的原油价格采取应对措施，而是致力于开发在预期时间框架中不再具有可行性的产能，未能将重心转向于开发在新背景下具有更大价值的替代性技术（见图 13 和图 14）。

然而，是由政府“挑选胜者”，还是让市场力量来决定对哪些创新提供投资，这两者之间需要权衡。市场力量存在许多积极方面，例如，迫使私营主体承担风险、实现市场纪律、激励提高效率，以及潜在地减少信息不对称

情况。如果由政府提供直接经济支持，则可能出现盲目支持“胜者”，以及在创新从一个阶段进入下一个阶段时，未被恰当程度地暴露于竞争之中。这不仅对效率改进动机形成限制，而且还可能导致相关信号被掩盖，以致未能发现，创新提供的价值未显著超出现有或其他的创新解决方案。

在巴西，当补贴减少后，乙醇生产效率迅速得到显著提高，这反映了市场力量的优点和“挑选胜者”的潜在后果。如**错误!未找到引用源。**所示，在巴西，乙醇燃料因能够提高能源保障并提供对国内甘蔗生产的需求而获得支持。当项目于 1975 年首次实施时，其目的并非让乙醇燃料成为汽油的廉价替代产品。但根据对未来较高原油价格的预测，政府决定持续提供慷慨的补贴，并坚信，随着时间的推移，乙醇将自然而然变得具有竞争力。在 1985 年的经济困境和 1986 年的原油价格暴跌之后，政府调减了乙醇的保证价格，导致乙醇产量出现了项目启动以来的首次下降。直到保证价格被调减之后，乙醇生产效率才开始迅速且持续地提高。从 1985 年到 1995 年，生产成本下降了 45%，该期间平均成本比 1975 年到 1985 年期间的平均成本低 40%左右。通过提高农业产量、扩大蒸馏机组和使用废副产品提供热量和能量，整个供应链都实现了效率提升。这一提升幅度原本在二十世纪七十年代即可实现，但之前由于过度保护性的政府政策而并未出现。

图 14 补贴减少，导致巴西乙醇生产效率提高

Interventions

Blending mandates

Consistently around 20% ethanol blending since 1978

Fixed ethanol prices for producers and consumers

- Reduced below the average cost of production in 1986
- Deregulation for different types of ethanol in 1997 and 1999, but indirectly supported via high taxes on oil

Agricultural R&D budgets

Formation of Embrapa in 1973, a state-owned agricultural research firm

Favourable taxing for ethanol vehicles; Low-interest loans for distilleries; Infrastructure for pure ethanol

Outcomes

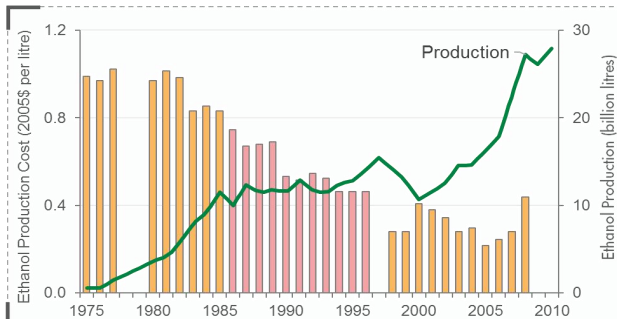
Large increases in ethanol production and usage

- 28 billion litres of ethanol produced in 2010, roughly 30% of the world's total
- 19.2% of road energy use was ethanol in 2014 compared to 0.5% in 1975

Gradual fall in costs – cost of ethanol production has more than halved

Estimated total net subsidy of \$35-\$136 billion since 1975 depending on dollar base year chosen

Learnings



Market forces should be used to drive learning and cost reductions

After price guarantees were tightened in 1986, a period of marked efficiency improvements began

Production costs fell by 45% from 1985-1995 compared to just 16% from 1975-1985

Total production remains relatively consistent during this period – economies of scale are not the obvious driver of these efficiency gains

	干预	结果
生物乙醇燃料 巴西 (1975 年)	混合法令 自 1978 年开始，一直规定按 20% 的比例混合乙醇 为生产商和消费者固定乙醇价格 • 1986 年，下跌至平均生产成本以下 • 1997 年和 1999 年，解除对不同类型乙醇的管制，但通过对原油征收高额税收，对乙醇燃料提供间接支持 农业研发预算 1973 年，一家国有农业研究公司 Embrapa 成立 对乙醇燃料汽车实施优惠税收政策；对蒸馏厂提供低息贷款；提供纯乙醇基础设施	乙醇产量和使用量得到大幅提高 • 2010 年，乙醇产量达 280 亿公升，占全球总产量的约 30% • 2014 年，乙醇使用量占公路能源使用量的 19.2%，而 1975 年仅为 0.5% 成本逐渐下降——乙醇生产成本削减了一半以上 自 1975 年开始，净补贴总额估计为 350-1360 亿美元（取决于所选的美元基准年份）
	经验教训	

乙醇生产成本（2005 年美元，每公升）	产量 乙醇产量（十亿公升）	应当利用市场力量来驱动学习和成本削减 在 1986 年价格保证发生紧缩后，效率开始出现显著提升 1985 年到 1995 年，生产成本下降 45%，相比之下，1975 年到 1985 年，生产成本仅下降 6% 在此期间，总产量保持相对平稳——规模经济并非这些效率增益的明显驱动因素
----------------------	------------------	---

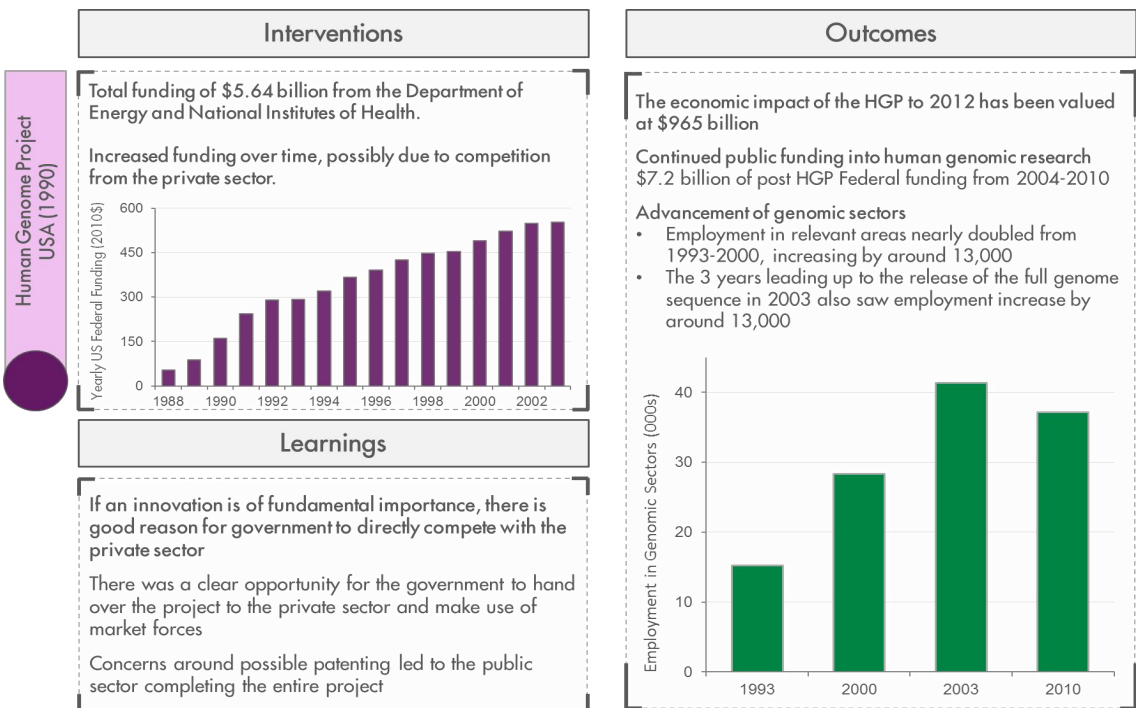
来源：Goldemberg，2007 年；Meyer 等，2012 年；IEA，2016 年

（一） 经济干预

创新政策的途径之一是提供直接的经济支持。创新路径可能是一个完全自由的生态圈，其中，融资决策完全由市场力量决定。然而，鉴于存在摩擦和低效情况，仍需要政府采取恰当行动，确保该生态圈为社会创造净增益。这些行动可采取资助的形式，即政府作为主要研发活动的资助者或投资者进入创新市场，或者采取非直接帮助的形式，即帮助改善投资生态圈，建立对投资的长期激励。

这样做可确保，当外部效应和溢出效应导致投资动机减弱时，对社会有益的创新仍能获得资助。由于动机不一致（项目需要具有对私营部门而言的盈利性，才能获得私营部门的资助），主要创造公共效益的技术不太可能获得私营部门的大力资助。因此，政府需要负责识别哪些创新能够实现理想的社会增益，并确保这些项目获得所需的资助。

图 15 HGP 计划获得了联邦政府提供的大量资金，但未被移交给私营部门（尽管有机会如此）



	干预	结果
人类基因组计划 美国（1990年）	能源部和国立卫生研究院提供的资金共计 56.4 亿美元。 资助金额随时间而增多，可能原因在于来自私营部门的竞争。 美国联邦每年资助金额	到 2012 年，HGP 对经济的影响预计为 9650 亿美元 人类基因组研究不断获得公共资助 2004 年-2010 年，HGP 之后，联邦资助金额达 72 亿美元 推动了基因组行业的发展 • 1993 年到 2000 年，相关领域就业人数几乎翻番，增长了约 13,000 人 • 2003 年完整基因组序列数据得以公布之前的 3 年，就业人数增长了约 13,000 人
	经验教训	
	如果某项创新具有根本的重要性，则政府有理由与私营部门直接竞争 政府显然有机会将项目移交给私	基因组行业就业人数（千人）

	营部门，以利用市场力量 出于对可能出现的专利问题的担 忧，公共部门完成了整个项目		
--	--	--	--

来源：ITIF，2014 年；Tripp 和 Grueber，2011 年；Waterston 等，2002 年

此外，对于具有极高价值而不适合作为私营部门财产的创新，可采取直接公共投资的政策。如**错误!未找到引用源。**所述，从 1988 年到 2003 年，HGP 计划获得了来自美国国立卫生研究院和能源部的 56 亿美元的资金。1998 年，一家私营企业也开始实施基因测序计划，即与 HGP 开展竞赛，目的是获得基因专利。HGP 项目小组并未将该项目移交给私营部门以利用市场力量，而是继续毫不松懈地予以实施，因此，这两项计划之间拉开了一场竞赛。通过继续支持 HGP 并与私营部门直接竞争，相关数据得到公开，并且驱动了基因和药物开发行业的快速发展，并为联邦政府的进一步研究开辟了道路。到 2012 年，HPG 计划的直接与间接正向经济影响预计接近 9650 亿美元，远远超过其成本。

政府还可提供间接的经济支持。政府可向私营部门投资者授予对收益流的排他性权限，以替代政府直接融资措施。这些收益流可创造额外的利润机会。例如，通过专利可实现在某个期限内对相应创新成果的垄断，此措施在医药开发领域得到了非常有效的应用。在价格受监管的行业（例如，电网行业），可对价格公式进行调整，以激励创新。在高度竞争的行业，必须通过创新来维持现有的利润率——在此情况下，私营部门实现创新，或者，利润率过低，以至于创新成果无法实现回报。在后一种情况中，政府可通过主动以高于正常价格的价格购买新产品（如果新产品符合创新规格）来支持创新。总言之，利用公共采购来回报创新的做法，一直是为创新提供支持的有效工

具（例如，提高政府产业的能源效率）。

（二） 非经济干预

除了对创新项目提供直接资助之外，还可通过其他有效的非经济干预来支持创新，例如，开发投资者生态圈。

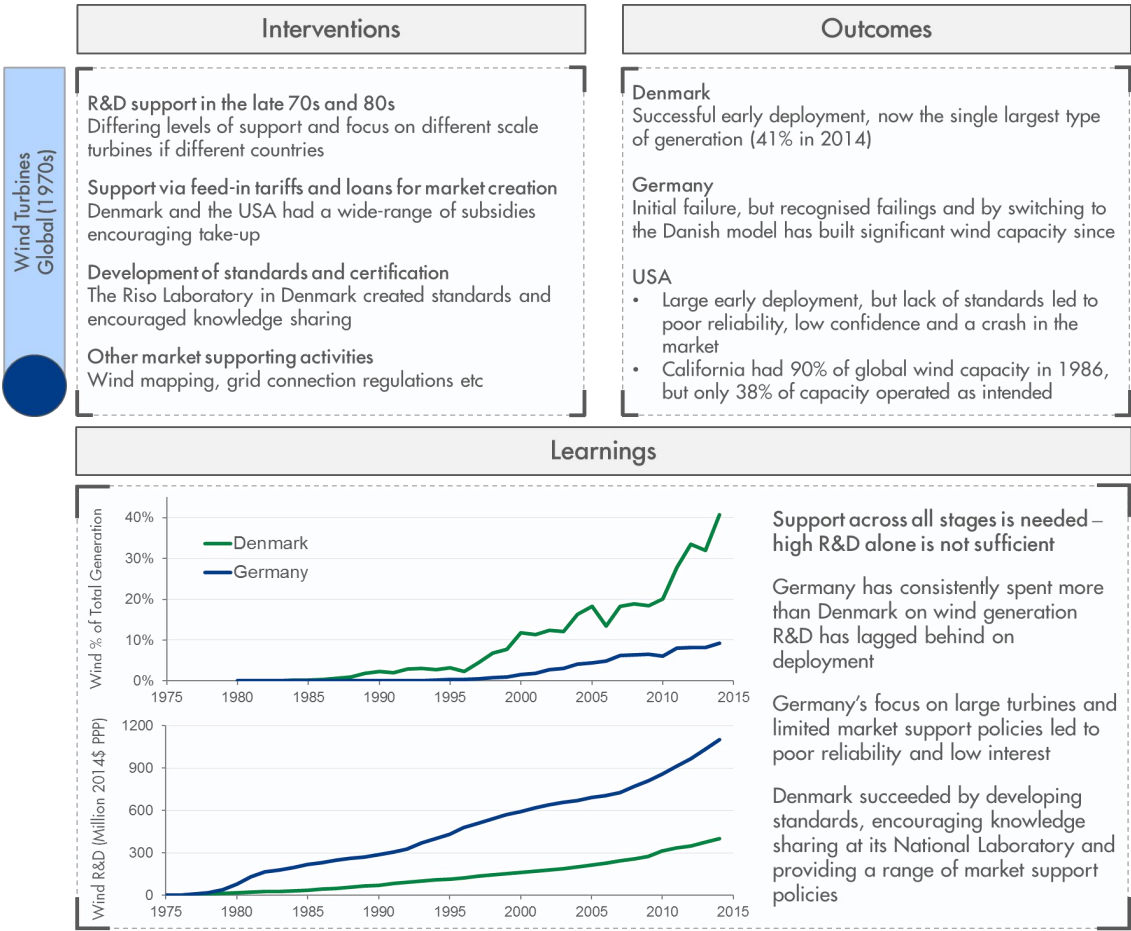
培养创新投资文化，鼓励更多主体参与，有助于将项目与投资者进行匹配——既包括在不同阶段之间移交项目，也包括寻找项目的初始投资者。此措施有助于解决资本需求及风险在创新路径的不同阶段不断变化的问题。

在不同主体之间建立更好的关联，有助于缓解投资者之间信息不对称的问题，以便随着创新在路径中的进展，更轻松地将创新移交给更合适的投资者。不同主体之间的牢固关联对于不同技术的所有者而言也具有重要作用，可帮助他们开展合作并在可能情况下将各自资产进行集群，以形成一个更优的产品，从而引发大规模的改变。不同主体之间的牢固关联还可鼓励不同行业之间展开合作，从而实现溢出效应，即技术被用于其初始目标应用以外的应用。集群和溢出都可能增加创新的使用途径，从而提高技术的影响力并增强对创新的激励。

为建立这样的投资者生态圈，可指定特定机构负责设定标准和收集研究成果，以鼓励不同主体之间进行知识共享和合作。对于新技术而言，可靠性是一项至关重要的因素，新技术必须具有可靠性，才能在缝隙市场实现成功部署并最终扩大应用规模。二十世纪八十年代，欧洲热泵市场因可靠性问题而崩溃，与此同时，德国风轮机装机容量的初始小规模部署也表明，失去信心可能严重阻碍这些新生市场的发展。建立非营利性机构来制定相应标准，有助于避免出现类似的失去信心的情况。

丹麦与德国在风轮机研究与部署方面的经验对比，反映了建立多元化创新生态圈的重要性和非经济干预的影响。丹麦的 Riso 国家实验室负责开发风轮机的认证流程，以及进行测试和开展研发活动。因此，该实验室可协调业内不同主体、政策与研究之间的互动，并在必要时为制造商提供技术协助。丹麦还实施了有力的市场支持政策，鼓励广泛主体采用风电。相比之下，二十世纪八十年代，德国高度专注于研发，但缺乏对可靠性的恰当考虑，并且缺乏针对风电初始部署阶段的其他支持措施。其影响在错误!未找到引用源。中清晰可见。丹麦的风电研发支出远低于德国，但其风电采用率和使用率远超过德国。

图 16 丹麦与德国案例的对比，反映了非经济干预的必要性



	干预	结果
风轮机 全球（20 世纪 70 年代）	70 年代和 80 年代晚期，提供研发支持 不同国家对不同规模风轮机的支持和关注程度各不相同 通过上网电价和贷款提供支持，以创建市场 丹麦和美国实施了大范围的补贴，以鼓励风轮机被采用 制定标准和开展认证 丹麦 Riso 国家实验室制定了标准并鼓励知识共享 其他市场支持活动 风向图测绘、电网连接监管等	丹麦 早期部署成功，目前成为发电量最大的发电模式（2014 年占 41%） 德国 开始时失败，但吸取了失败教训，并通过转向丹麦模式，部署了大量风电装机容量 美国 - 早期大范围部署，但缺乏标准，导致可靠性差、公众信心低，并导致市场崩溃 1986 年，加州风电装机容量占全球总装机容量的 90%，但其中仅 38%按计划运行
经验教训		
风力发电量占总发电量的百分比（%）	丹麦 德国	所有阶段都需要获得支持——仅较高的研发支持是不够的 在风电研发方面，德国的开支一直高于丹麦 研发落后于部署
风电研发成本（百万 2014 年美元，PPP）		德国专注于大型风轮机，市场支持政策有限，导致可靠性差、投资兴趣低 丹麦通过由其国家实验室制定标准、鼓励知识共享，以及提供广泛的市场支持政策，取得成功

来源：Neij 和 Andersen, 2012; IEA, 2016 年; IEA, 2015 年

参考文献

- Anadon, L. D., Nemet, G., & Schock, B. (2012). *The US Synthetic Fuels Corporation: Policy Consistency, Flexibility, and the Long-Term Consequences of Perceived Failures*. Retrieved from http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/TransitionstoNewTechnologies/15_Anadon_US_Synfuels_WEB.pdf
- ANFAVEA. (2012). *Brazilian Automotive Industry Yearbook*. Retrieved from <http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>
- C-Net. (2009). Loudcloud: Early light on cloud computing. Retrieved from <https://www.cnet.com/uk/news/loudcloud-early-light-on-cloud-computing/>
- Deutch, J. M., & Lester, R. K. (2004). *Making technology work: applications in energy and the environment*. Cambridge University Press.
- EIA. (2005). *Annual Energy Outlook Evaluation 2005*. Retrieved from <https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo05/evaluations/>
- Frankfurt School of Finance & Management, & Bloomberg New Energy Finance. (2017). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2017*. Retrieved from <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2017.pdf>
- Goldemberg, J. (2007). Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science*, 315.
- IEA. (2015). IEA Energy Technology RD&D Statistics. <http://doi.org/10.1787/enetech-data-en>
- IEA. (2016). *IEA World Energy Balances*.
- Irena-GWEC. (2013a). 30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from Denmark. Retrieved from https://irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Denmark.pdf
- Irena-GWEC. (2013b). *30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from Germany*. Retrieved from https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Germany.pdf

ITIF. (2014). *Federally Supported Innovations: 22 Examples of Major Technology Advances That Stem From Federal Research Support*. Retrieved from <http://www2.itif.org/2014-federally-supported-innovations.pdf>

Meyer, D., Mytelka, L., Press, R., Dall'Oglio, E., de Sousa Jr., P., & Grubler, A. (2012). *Brazilian Ethanol: Unpacking a Success Story of Energy Technology Innovation*. Retrieved from http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/TransitionstoNewTechnologies/13_Meyer_Brazil_Ethanol_WEB.pdf

Neij, L., & Andersen, P. D. (2012). *A Comparative Assessment of Wind Turbine Innovation and Diffusion Policies*. Retrieved from http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/TransitionstoNewTechnologies/11_Neij_Wind_Power_WEB.pdf

The New York Times. (2009). U.S. Drops Research Into Fuel Cells for Cars. Retrieved from <http://www.nytimes.com/2009/05/08/science/earth/08energy.html?mcubz=1>

Tripp, S., & Grueber, M. (2011). *Economic Impact of the Human Genome Project*. Retrieved from <https://www.battelle.org/docs/default-source/misc/battelle-2011-misc-economic-impact-human-genome-project.pdf?sfvrsn=6>

US Energy Information Administration. (2014). Electricity Capacity. Retrieved from <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm>

Waterston, R., Lander, E., & Sulston, J. (2002). *On the sequencing of the human genome*. Retrieved from <http://www.pnas.org/content/99/6/3712.full>