

生态文明国际论坛

# 2015 全球可持续能源 竞争力报告



**Global**  
Sustainable Energy  
Competitiveness Report  
**2015**

浙江大学环境与能源政策研究中心  
天合公益基金会  
2015. 6



# 全球可持续能源竞争力报告

浙江大学环境与能源政策研究中心

天合公益基金会

二〇一五年六月

## 序言

长期以来，能源、资源和环境问题一直是人类社会面临的重大挑战。随着工业化和城市化进程在全球范围内的快速扩展，传统化石燃料的大规模利用带来的能源资源枯竭、全球气候变暖和生态环境恶化等问题进一步加剧，能源问题已成为 21 世纪最复杂和最重要的公共政策议题之一。转变能源供应模式，促进能源结构绿色低碳转型，最终实现人类社会可持续发展，已成为国际社会的共识。

可持续能源的资源永续利用和近零排放的基本特征，决定了其必然成为能源开发利用转型升级的重要战略取向。由于可持续能源资源的开发利用在实现能源结构低碳化和多样化、保障能源安全、防止全球变暖等方面的重要作用日益凸显，各国政府和相关机构都正积极推动可持续能源发展。欧盟早在 21 世纪初就设定了向低碳社会转型的目标；美国也提出了以发展风能、太阳能等可持续能源作为推动国家经济复苏的重要举措。同时，新兴经济体也在全球可持续能源竞赛中奋起直追。2009 年至 2013 年间，新兴经济体新增可再生能源发电装机容量增幅高达 143%。作为新兴经济体代表，中国承诺二氧化碳排放将于 2030 年达到峰值，届时非化石能源占一次能源消费的比重将提高到 20%。

《全球可持续能源竞争力报告》（以下简称《报告》）旨在对全球可持续能源发展及其竞争力进行系统和深入的研究，对太阳能、风能、水电、地热能、生物质能等可持续能源在全球主要国家的发展现状及其开发前景进行定性和定量分析，并通过设计和建构一个科学的量化分析指标体系，对各国的可持续能源竞争力进行综合评估与比较。鉴于资料来源的局限性，我们选择了在全球有代表性的 G20 国家，对其可持续能源竞争力进行了综合评估和比较。一个国家的可持续能源竞争力排名将会取决于诸多要素，如该国可持续能源的生产要素、市场规模等需求条件、相关产业投资吸引力以及可持续能源企业竞争力等，并且每一项要素还进一步分解成可测量的二级变量。

《报告》着力解释两方面的问题：一是可持续能源相对于传统化石能源的竞争力；二是全球主要经济体在可持续能源领域的竞争力。研究表明，提高可持续能源竞争力的秘诀并不主要在于一国拥有多少资源，而更多的在于该国如何利用这些资源。例如，石油资源丰富的俄罗斯与沙特阿拉伯，其发展潜力很大程度上受制于原油可采储量。相反，一些国土狭小、资源贫瘠的国家，比如丹麦，能够从国情出发，积极吸收借鉴先进经验、技术与资本来发展可持续能源产业，就能摆脱资源禀赋和资源诅咒的限制。概言之，除了行动意愿外，全球主要国家皆已具备发展可持续能源的条件，而发展意愿本身就是一种可持续资源。

通过该研究，课题组希望达到以下目标：首先，《报告》不仅追踪 G20 国家可持续能源政策和融资活动，也对这些国家可持续能源产业发展的主要驱动因素做了深入分析，可为潜在的投资者提供产业发展水平的最新资讯。其次，《报告》

将为全球可持续能源发展树立标杆，为政策制定者提供政策评估框架和备选方案，鼓励各国根据本国国情，制定与自身资源禀赋、经济发展阶段以及竞争优势相符的可持续能源发展战略。最后，《报告》还是一份引领中国可持续能源发展，影响政府和其他机构的政策议程，指导地区及行业绿色低碳发展的工具手册，将为各级政府的绿色低碳发展规划、可持续能源发展目标及评估提供参考。

《全球可持续能源竞争力报告》是浙江大学环境与能源政策研究中心课题组成员协同攻关的成果。本课题首席专家为郭苏建，课题组成员为周云亨、叶瑞克、王双、方恺、杨睿、余家豪、李捷理、向淼。本课题研究得到了生态文明国际论坛的赞助，在此特向生态文明国际论坛秘书长章新胜、执行总监张海，总监助理夏存松的关心、支持和指导表示衷心感谢。

# 目 录

一、可持续能源竞争力相关概念界定 .....	1
(一) 可持续发展与能源的可持续性	
(二) 可持续能源及相关概念	
(三) 竞争力与产业竞争力	
(四) 可持续能源竞争力及综合指数	
二、指标体系的理论分析框架 .....	3
(一) 波特“钻石模型”的适用与修正	
(二) 理论分析框架的构建	
三、可持续能源竞争力评价指标体系 .....	6
(一) 评价体系指标编制原则	
(二) 评价指标体系的构建	
四、指标权重确定和指数统计测算 .....	9
(一) 指标权重确定及其方法	
(二) 指数统计测算及方法	
五、各国可持续能源竞争力指数分析 .....	13
(一) 各国可持续能源竞争力排序	
(二) 可持续能源竞争力指标横向比较分析	
(三) 各国竞争力表现分析	
六、中国可持续能源发展政策建议 .....	32
(一) 加强可持续能源应用	
(二) 提高政策的灵活性与适应性	
(三) 总体规划协调统一	
(四) 打破能源产品流通壁垒	
(五) 加强可持续能源考核力度	
(六) 充分发挥价格调节作用	
(七) 统筹可持续能源系统发展	
(八) 加强可持续能源技术研发与质量管理	
附件：全球可持续能源竞争力评价指标权重专家问卷	

## 一、可持续能源竞争力相关概念界定

### （一）可持续发展与能源的可持续性

联合国世界环境与发展委员会（WCED）认为可持续发展就是“满足当代人的需求，又不损害后代人满足其合理需求的发展”，旨在实现经济增长、社会公平与环境保护的协调统一。经合组织（OECD）与国际能源署（IEA）则将可持续发展定义为：“一种经济上有利可图、对社会与环境负责、有全球性长远目标并由能源部门支撑的持续发展”。

能源的可持续性，是指在能源开发利用的全生命周期中的可持续性，强调传统化石能源利用方式的升级和能源结构的绿色低碳转型，包含能源高效利用、资源综合利用和可持续能源开发利用等三方面，旨在实现能源安全、污染物减排和经济社会可持续发展的目标。

### （二）可持续能源及相关概念

1978年，联合国第33届大会第148号决议规定新能源与可再生能源是指常规能源以外的所有能源。1980年，联合国“新能源和可再生能源”会议正式提出，要以新技术和新材料为基础，使传统可再生能源得到现代化开发利用，以便逐渐取代资源有限、对环境有污染的化石能源。通过积极开发太阳能、风能、生物质能、潮汐能、地热能、氢能和核能等资源，实现可持续发展的目标。

表 1.1 “新能源”“可再生能源”和“可持续能源”概念辨析

项 目	新能源	可再生能源	可持续能源
核心定义	能源利用的技术创新性	能源利用的资源可再生性	能源利用的经济社会发展和生态环境的可持续性
研究视角	区别于传统能源，基于技术及应用视角	区别于非可再生能源，基于利用及储量视角	区别于不可持续能源，基于目标和发展视角
基本形态	风能、小水电、太阳能、生物质能、地热能、潮汐能、核能、天然气、页岩气、可燃冰等	风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、潮汐能等	风能、太阳能、水能、生物质能、地热能等
关键区别	不包括大水电	不包括核能	不包括核能、潮汐能

可持续能源一般是指既能让当代人使用又不损害未来子孙使用的能源。<sup>①</sup>课题组认为，可再生性、环境友好性、技术可行性和经济可行性是可持续能源的基

<sup>①</sup> B. K. Ndimba, R. J. Ndimba, T. S. Johnson *et al.*, 2013. “Biofuels as a sustainable energy source: an update of the applications of proteomics in bioenergy crops and algae” *Journal of Proteomics*, 93(1), 234-244.

本特征。因此，尽管大多数新能源与可再生能源都属于“可持续能源”，但核能等不可再生的新能源以及潮汐能等目前难以大规模商业推广的可再生能源并未纳入课题组的研究范畴；此外，数据可得性也是课题组将核能和潮汐能等排除在“可持续能源”之外的一个原因。新能源、可再生能源以及可持续能源的联系与区别如表 1.1、图 1.1 所示。

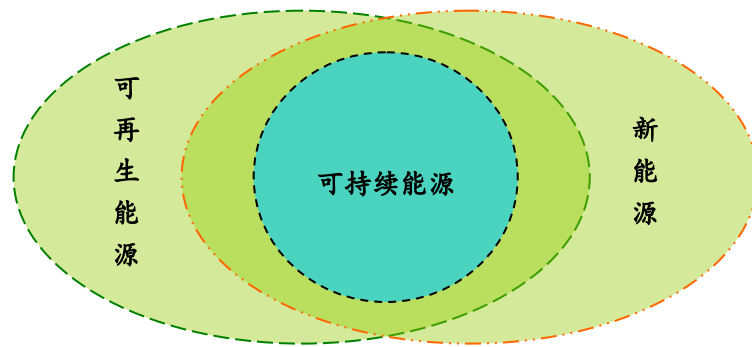


图 1.1 “新能源”“可再生能源”和“可持续能源”的关系

### （三）竞争力与产业竞争力

竞争力通常是指参与双方或多方相互角逐或比较展现出来的综合能力。世界经济论坛将（国际）竞争力定义为一国或公司在世界市场上均衡地创造出比其竞争对手更多财富的能力，并以此得出结论，认为国际竞争力是竞争力资产与竞争力过程的统一。

产业竞争力是本课题的核心概念之一。根据迈克尔·波特的论述，其定义为：“在国际间自由贸易条件下，一国特定产业相对于他国产业向国际市场提供符合消费者需求的产品，并持续获利的能力”。

### （四）可持续能源竞争力及综合指数

“可持续能源竞争力”是指一个国家能否创造良好的产业生态环境、政策环境与商业环境，使该国可持续能源发展获得竞争优势，进而提升本国能源安全、环境保护以及经济社会发展的国际竞争优势的能力。可持续能源竞争力表征了一国可持续能源相对于其竞争对手（国家）在国际市场上的综合竞争地位，其中包括资源禀赋、科技创新与技术研发、市场规模、公共政策、产业及企业发展状况等方面的竞争能力。

基于波特“钻石模型”，课题组将可持续能源竞争力分解为 4 个一级要素、10 个二级要素和 10 个三级要素，并通过指标体系构建、指标量化赋值、数据标准化、权重赋值和加权计算等定量研究，将可持续能源竞争力表征为可持续能源竞争力综合指数（Index of Sustainable Energy Competitiveness, ISEC）。

## 二、指标体系的理论分析框架

### （一）波特“钻石模型”的适用与修正

迈克尔·波特的“钻石模型”认为，一个国家产业竞争力的强弱主要由四个关键因素决定，即生产要素，需求条件，相关产业与支持性产业，企业战略、企业结构和同业竞争；同时，机会和政府在一个国家产业竞争力的形成过程中也扮演着重要角色。可持续能源竞争力研究选择“钻石模型”作为分析框架，构建了视角新颖和逻辑严密的分析框架与研究范式，兼顾了指标体系设计的科学性、系统性与可操作性，同时也为最后提出有针对性的决策参考奠定坚实的理论基础。课题组对波特“钻石模型”所包含的关键要素及其子要素的相互作用机理进行了深入分析，并从可持续能源竞争力的特殊性出发，对其进行适用性检验和理论修正，旨在形成一套要素定义明确、边界清晰、可量化评价的指标体系。

#### 1. 强调可持续能源产业“初级生产要素”的基础性作用

波特“钻石模型”认为，初级要素，如天然资源、非技术人工与半技术人工、资本等，在当今市场环境下已不再重要，主要是因为对它们的需求减少，供给量却相对增加，而且跨国企业已能通过全球市场网络取得这些生产要素。<sup>①</sup>但课题组认为，其中一些初级生产要素仍然比较重要。首先，一国可持续能源的分布及储量是由其所处的地理位置及相关自然环境所决定的，具有高度的不可迁移性和时空异质性以及由此带来的国别间的不均衡性，资源禀赋对一国可持续能源竞争力的影响可见一斑；其次，由于可持续能源投资回报周期较长，且在相当一段时间内相较于传统化石能源存在价格劣势，因此，其对资本的依赖较其他产业较为显著；最后，现阶段的可持续能源产业既具有资本和技术密集型的特征，又兼具部分劳动密集型的特征，某些产业环节仍然需要大量的劳动力作为基本生产要素，一国从事可持续能源产业的劳动力数量可反映该产业的发展规模。可见，在可持续能源竞争力优势的形成过程中，资源禀赋、资本投资以及劳动力仍是不可忽视的重要因素。

#### 2. 正视可持续能源竞争力生成环境的“非开放式的国际竞争”特征

波特“钻石模型”的研究重心偏重于“在国际贸易中可以自由竞争的产业和产业环节”，而非“功能性意义大于商业意义”或“受到政府补贴或保护”的产业和产业环节。而可持续能源产业，在应对全球气候变化、防治环境污染、保护自然资源、保障能源供给与安全等领域，不仅其功能性意义远大于其商业意义，而且它们恰恰又是受到多数国家重点保护与鼓励发展的产业，因此，必须对适用于“开放式的国际竞争”的“钻石模型”进行修正。我们认为，一国的环保压力

<sup>①</sup> [美]迈克尔·波特. 国家竞争力. 李明轩、邱如美译. 北京：中信出版社, 2012年8月第2版：70.



（如碳减排压力、大气和水体污染物减排压力等）和政府政策激励（如可持续能源补贴、强制配额、碳税、传统化石能源价格政策等）等因素在可持续能源竞争力的形成过程中皆具有不可忽视的影响力；至少在现阶段，在评价一国的可持续能源竞争力时，须将上述要素作为重要指标进行考量。

### 3. 厘清“需求条件”及其子要素的边界，精确筛选可量化指标

在波特论证和阐释的过程中，“钻石模型”的“需求条件”囊括了“细分市场需求的结构”“欢迎内行而挑剔的客户”“预期需求”“母国市场规模”“国内市场的预期需求”“国内市场提前饱和”和“国外需求”等若干子要素。一方面，部分要素之间有交叉重叠，甚至与其他关键要素及其子要素的边界也缺乏明确划分。因此，必须厘清与其它关键要素及其子要素的边界，并针对可持续能源产业的特殊性，对“需求条件”的内部子要素进行重新梳理与归纳。另一方面，作为理论阐述，定性分析自然是十分重要的研究方法，然而在指标体系的构建中，要素的可量化却是更为重要的标准和原则，波特“钻石模型”中“需求条件”所涉及的部分子要素事实上无法量化，因此无从纳入指标体系。课题组在选取相关子要素及其表征变量时，本着边界清晰和可量化评价等原则，将可持续能源竞争力的需求条件分解成市场规模、替代成本、环保压力、政策激励等四个子要素。

### 4. 将“机会”和“政府”在模型中的角色功能融入其他四个关键要素

波特的“钻石模型”还强调了“机会”和“政府”在确立产业竞争力过程中扮演的重要角色。课题组认为，“政府”对产业竞争力的作用主要在于适当的创造和利用“机会”，加强对四个关键要素的引导和促进。这与波特的观点在逻辑上是一致的，如：他认为“政府”角色与需求条件的“预期需求”存在相关性：“这种预期需求可能会因该国政策或社会价值而引起”。但是波特仍然把“机会”和“政府”作为相对独立的分析要素，由此带来了要素边界的不确定性。因此，在可持续能源竞争力指标体系理论分析框架的构建中，课题组将“机会”和“政府”的影响有机地融合到四大关键要素中，这样处理既可以使可持续能源竞争力综合指标与二级指标之间的联系更为密切，也可使各级相关要素指标之间的逻辑关系更加清晰。

## （二）理论分析框架的构建

基于以上四点对波特的“钻石模型”的修正，课题组构建了可持续能源竞争力综合指数指标体系设计的理论分析框架。如表 2.1 所示。

表 2.1 指标体系设计的理论分析框架

理论要素	内涵	外延
生产要素	一国在可持续能源产业竞争中有关生产资料方面的表现	包括资源禀赋、资本投入、技术水平和劳动力水平等四个子要素
需求条件	市场对可持续能源产品或服务的需求	包括以市场规模、替代成本、环保压力、政策激励等四个子要素
相关产业与支持性产业	与可持续能源产业关联紧密或具备提升效应的上下游产业和相关产业的国际竞争力	电力、装备制造、新能源汽车等相关产业对可持续能源产业都具有一定的带动效应。具体可表征为可持续能源相关产业的投资吸引力
企业战略、企业结构和同业竞争	可持续能源企业在一个国家的基础、组织和管理形态，以及国内市场竞争对手的表现	可持续能源产业相关企业的战略水平、管理水平，以及全球市场竞争力是竞争力形成的微观基础和直观体现。具体可表征为一国的可持续能源企业在相关企业排名中的数量

### 三、可持续能源竞争力评价指标体系

#### （一）评价体系指标编制原则

课题组主要遵循以下四项原则，编制可持续能源竞争力评价指标体系。

##### 1. 理论创新与专家知识相结合的原则

在全球化背景下，课题组基于可持续能源产业发展的基本现状和未来趋势，对“钻石模型”进行了理论修正，以此来指导指标体系的构建。同时，在具体指标尤其是需要测度的三级指标的筛选过程中，我们主要通过内部研讨，以及国内外相关领域专家问卷征询等方式加以甄别，以便使课题研究的理论假设与专家的经验判断能够有机统一。

##### 2. 代表性与可获得性兼顾的原则

结合“钻石模型”，我们选取了生产要素、需求条件等作为一级指标，重点分析了它们与资源、资本、技术、劳动力、市场规模等二级指标的关系和作用机制，进而提炼出一些最具代表性的可测度的要素指标。在此基础上，我们将指标数据可获得性作为依据，对这些分解指标进行筛选，以便利用国际能源署、国际可再生能源署等权威数据库资源，从而测度全球主要国家可持续能源发展水平。

##### 3. 经济社会发展与环境保护多重目标兼顾的原则

正如世界经济论坛等机构所言，由于经济增长与环境可持续性，以及能源安全等目标经常相互冲突，各国需要根据本国实际情况对上述政策目标作出轻重缓急之分。面对类似两难选择，政府应遵循的原则是以最小的经济及社会代价实现可持续能源的发展目标，即综合运用多种政策组合实现经济发展、环境可持续性 & 能源安全等目标的动态平衡。

##### 4. 鼓励竞争与共同进步的原则

研究报告着力解释两方面的信息：一是可持续能源相对于传统化石能源的竞争力；二是全球主要经济体在可持续能源领域的竞争力。一般来说，只有在国内产业竞争中处于不败之地，才能在国际竞争中站稳脚跟。除了拥有可资利用的资源禀赋外，那些具备强大竞争力的国家无不得益于国内较好的市场环境和发 展意愿。

#### （二）评价指标体系的构建

##### 1. 三级指标的选取与指标体系构建

本项研究主要借助理论分析法与专家咨询法相结合的方法，在对可持续能源

竞争力及“钻石模型”内涵和特征进行综合分析的基础上，经过多轮内部研讨，并广泛征询专家意见，由此确定了三级指标，具体如表 3.1 所示。

表 3.1 全球可持续能源竞争力指标体系

综合指标	一级指标	二级指标	三级指标
国家可持续能源竞争力综合指数	生产要素	资源 (R)	可持续能源资源储量
		资本 (C)	可持续能源投资额
		技术 (T)	可持续能源技术创新能力
		劳动力 (L)	可持续能源从业人数
	需求条件	市场规模 (M)	电力总装机容量
		替代成本 (S)	汽油价格水平
		环保压力 (E)	碳赤字 <sup>①</sup>
		政策激励 (P)	可持续能源激励政策数量
	相关产业与支持性产业	相关产业投资吸引力 (A)	可持续能源国家吸引力指数
	企业战略、企业结构、同业竞争	企业竞争力 (En)	全球可持续能源企业五百强数

## 2. 指标说明及数据来源

可持续能源竞争力评价指标体系的三级指标说明及数据来源如表3.2所示。

表 3.2 评价体系指标说明及数据来源

指标名称	指标说明	数据来源
可持续能源资源储量	<p>资源储量是衡量资源禀赋的最常用指标，反映了一国可开发资源潜力。可持续能源资源储量计算公式如下：</p> $IRA = \sum_{i=1}^5 DRI_i \times wf_i$ <p>式中：IRA (Index of resource availability) 为资源可利用量指数；DRI<sub>i</sub> (Degree of resource density) 为第 i 类资源密度等级；wf<sub>i</sub> 为第 i 类资源的权重系数。数值越高，表明资源储量越大。</p>	Global Energy Network Institute
可持续能源投资额	<p>可持续能源属资本密集型行业，资本投入对产业发展至关重要，课题组选取 2010 年至 2013 年四年间投资总额作为衡量标准。投资额越高，表明资本存量就越大。</p>	Bloomberg New Energy Finance
可持续能源技术创新能力	<p>广义上的技术进步包含了整合技术以提高效率、提高产品质量以争取更佳售价、对新产业或产业新环节的渗透、不断提高生产力等。课题组引用清洁技术集团 (Cleantech Group) 的清洁技术创新指数，数值越高，表明可持续能源技术创新能力越强。</p>	The Global Cleantech Innovation Index

<sup>①</sup>碳赤字=碳排放量-碳排放容量。

续表 3.2 评价体系指标说明及数据来源

指标名称	指标说明	数据来源
可持续能源从业人数	劳动力是任何国家财富产生的源泉，为了综合评估劳动力数量、素质、雇佣成本及组织能力，课题组选取了各国可持续能源从业人员数量作为衡量标准。从业人数越多，表明该行业规模越大。	International Renewable Energy Agency, <a href="http://resource.irena.org/">http://resource.irena.org/</a>
电力总装机量	可持续能源规模经济效应明显，市场容量翻一番商品价格就降低 20%。鉴于可持续能源产生的电力与化石能源产生的电力有着替代关系，因此，课题组选取了能够反映各国内需市场总量的电力总装机量作为衡量标准。总装机量越大，则整体市场规模越大。	U.S. Energy Information Administration, <a href="http://www.eia.gov/">http://www.eia.gov/</a>
汽油价格水平	可持续能源与传统化石能源之间存在着替代关系。作为全球最常用的化石能源价格衡量指标之一，汽油价格可以较为准确地反映各国化石能源的价格水平。一国国内汽油价格越高，就可能引发越多可持续能源取代化石燃料。	Globalpetrolprices.com
碳赤字	碳赤字研究旨在为应对气候变化、温室气体减排、碳交易、碳税等提供政策依据。课题组将碳足迹与“行星边界”理论相结合，以政府间气候变化委员会（IPCC）最新评估报告确定的目标为依据，本着公平、公正的原则，对各国年际碳排放量及 2050 年前碳排放空间进行了精确核算。碳赤字越高，表明开发可持续能源的国际压力越大。	课题组自测数据
可持续能源激励政策数量	政策稳定是确保市场稳定的基础，它与可持续能源价格与产量都有密切联系。本项研究关注的激励政策涵盖了碳排放总量控制政策、碳市场、可再生能源标准、清洁能源税收激励、汽车能效标准、上网电价、政府采购、绿色债券等八项政策。实施的政策数量越多，表明政府越重视可持续能源发展。	Who Winning the Clean Energy Race
可持续能源国家吸引力指数	一国可持续能源竞争力与基础设施、产业集群、供应商、客户与投融资等因素息息相关。为评估全球主要国家可持续能源投资环境的优劣程度，本项研究选取了安永会计师事务所编制的《可再生能源国家吸引力指数》作为依据，指数得分越高，表明产业投资吸引力越大。	Renewable Energy Country Attractiveness Index 2015
全球可持续能源企业五百强数	企业这一竞争主体的战略越是正确和与时俱进，其结构越是合理高效，则其越具生产活力；同业竞争越是自由激烈，产业发展环境越优越，资源配置则越高效。行业五百强企业数越多，该国产业竞争力越强。	《2014 全球新能源企业 500 强排行榜》

## 四、指标权重确定和指数统计测算

### （一）指标权重确定及其方法

鉴于相关子要素对可持续能源竞争力综合指数的贡献值存在明显区别，课题组采用“德尔菲法”与层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）相结合的权重分配方法。

#### 步骤一：建立递阶层次结构，构造层次分析模型

课题组运用层次分析法，将内容庞杂、数据紊乱、因素繁多、可比性差、难以量化的可持续能源发展的复杂系统，简化为层次清晰、结构严谨、因素有限、数据可比、可量化研究的层次结构模型。

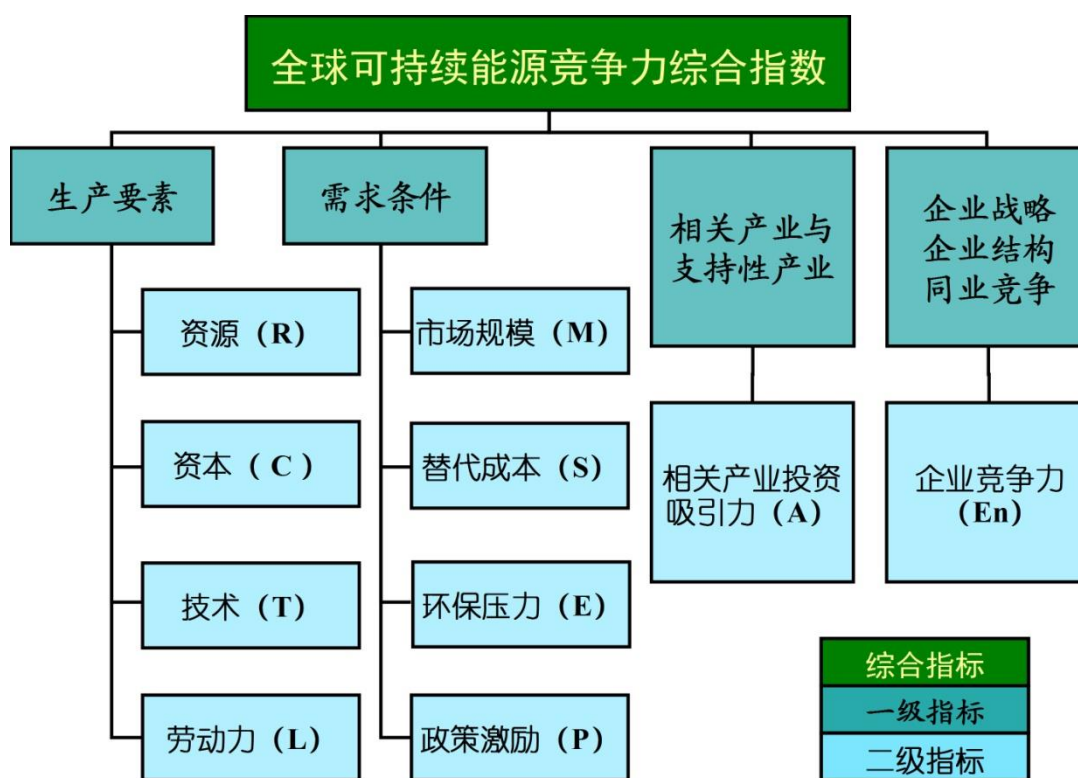


图 4.1 全球可持续能源竞争力指标体系的层次分析模型

综合指标层：通过国家可持续能源产业竞争力综合指数，测算 G20 国家可持续能源产业竞争力的高低；

一级指标层：指影响目标实现的基本理论架构，本次研究的一级指标层采用了“钻石模型”的分析框架，包含生产要素，需求条件，相关产业与支持性产业，企业战略、企业结构与同业竞争等四个方面。

二级指标层：指影响一级指标实现的分解指标，本次研究的二级指标共计

10个。

三级指标层：指影响二级指标实现的分解指标，本次研究的三级指标和二级指标一一对应，共计10个。

### 步骤二：构造判断矩阵并赋值

利用YAAHP层次分析法软件进行建模后，直接生成调查问卷，采用德尔菲法让专家在1~9的区间内对一级指标和二级指标的权重进行赋值。课题组一共咨询了42位专家学者与业内资深人士，其中，在高等学校任职或就读的研究人员24人，政府机构任职人员1人，企业及行业组织任职的研究人员8人，研究机构研究人员9人；境外机构任职13人，境内机构任职29人；具有博士学位学历学位29人，占69.05%；具有高级职称16人，占38.10%。

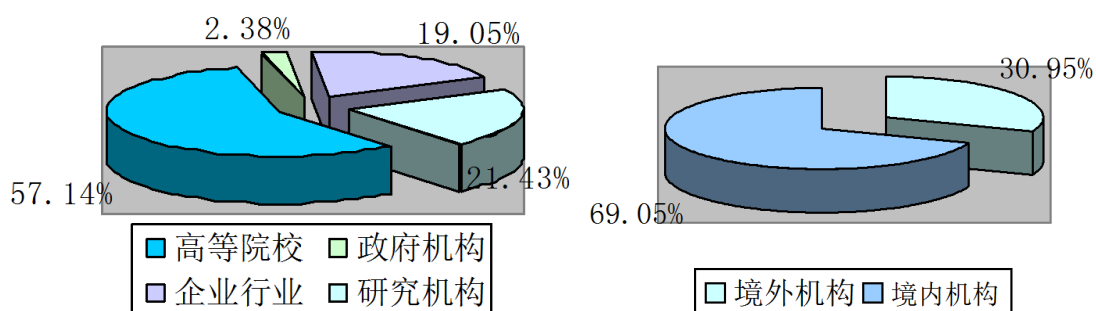


图 4.2 咨询专家行业构成和地区分布

### 步骤三：计算指标权重

判断矩阵满足一致性检验，最终确定指标权重。如表 4.1 所示。

表 4.1 全球可持续能源竞争力指数指标权重

一级指标	二级指标	权重
生产要素	资源 (R)	0.0777
	资本 (C)	0.0953
	技术 (T)	0.1306
	劳动力 (L)	0.0266
需求条件	市场规模 (M)	0.1029
	替代成本 (S)	0.1004
	环保压力 (E)	0.0726
	政策激励 (P)	0.1238
相关产业与支持性产业	相关产业投资吸引力 (A)	0.1333
企业战略、企业结构和同业竞争	企业竞争力 (En)	0.1368

注：由于三级指标与二级指标之间是一一对应关系，二级指标权重即为三级指标权重

## （二）指数统计测算及方法

### 1. 测算对象

基于 G20 国家在可持续能源发展水平、经济社会发展状况、地区及人口分布等方面的代表性，以及丹麦和西班牙在全球可持续能源发展版图中的突出地位，课题组最终选择 G20 中的 19 个国家（欧盟除外）以及丹麦和西班牙，一共 21 个国家，组成可持续能源竞争力综合指数测算的标的国家。

### 2. 数据标准化

基于数据表达的直观性和统计分析的需要，课题组最终采用最大最小值法对可持续能源产业竞争力综合指数子要素的相关数据进行标准化。

### 3. 综合指数计算及排名

根据权重和标准化数据，汇总计算可得 G20 国家可持续能源竞争力综合指数，如表 4.2 所示。

表 4.2 G20 国家可持续能源竞争综合指数及排名

国家	得分	百分值	排名
中国	0.8195	81.95	1
美国	0.7914	79.14	2
德国	0.4881	48.81	3
英国	0.4465	44.65	4
丹麦	0.4319	43.19	5
加拿大	0.4172	41.72	6
日本	0.3934	39.34	7
法国	0.3893	38.93	8
巴西	0.3879	38.79	9
澳大利亚	0.3652	36.52	10
韩国	0.3596	35.96	11
意大利	0.3480	34.80	12
印度	0.3479	34.79	13
西班牙	0.2944	29.44	14
墨西哥	0.2529	25.29	15
南非	0.2167	21.67	16
土耳其	0.2153	21.53	17
阿根廷	0.1944	19.44	18
俄罗斯	0.1515	15.15	19
沙特阿拉伯	0.1251	12.51	20
印度尼西亚	0.0991	9.91	21



表 4.3 三级指标数据标准结果

国家 \ 指标	资源	资本	技术	劳动力	市场规模	替代成本	环保压力	政策激励	产业	企业
阿根廷	0.5000	0.0000	0.1713	0.0106	0.0181	0.7848	0.0261	0.4000	0.0000	0.0061
澳大利亚	1.0000	0.0746	0.3951	0.0155	0.0422	0.5443	0.7015	0.4000	0.4479	0.0675
巴西	1.0000	0.1044	0.3427	0.3380	0.0931	0.5823	0.0858	0.8000	0.4676	0.0798
加拿大	1.0000	0.0952	0.7063	0.0121	0.1043	0.4937	0.6642	0.4000	0.5549	0.0429
中国	1.0000	1.0000	0.4825	1.0000	1.0000	0.5633	0.0485	1.0000	1.0000	1.0000
丹麦	0.0000	0.0051	0.9231	0.0205	0.0000	1.0000	0.5000	1.0000	0.3296	0.0429
法国	0.0000	0.0686	0.5490	0.0690	0.0991	0.8671	0.4216	0.8000	0.5296	0.0859
德国	0.0000	0.4747	0.6888	0.1398	0.1405	0.8544	0.4963	0.6000	0.7380	0.2945
印度	0.5000	0.1186	0.3986	0.1478	0.2078	0.5570	0.0000	0.6000	0.6197	0.0552
印度尼西亚	0.5000	0.0009	0.1329	0.0030	0.0293	0.3291	0.0037	0.0000	0.0479	0.0000
意大利	0.0000	0.2705	0.2552	0.0379	0.0948	1.0000	0.3694	0.8000	0.3324	0.0552
日本	0.0000	0.2558	0.5769	0.0193	0.2405	0.6013	0.4478	0.4000	0.6873	0.2515
墨西哥	0.5000	0.2319	0.1189	0.0000	0.0414	0.5063	0.1418	0.6000	0.2761	0.0000
俄罗斯	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1897	0.3165	0.3097	0.0000	0.0000	0.0000
沙特阿拉伯	0.5000	0.0000	0.1573	0.0000	0.0345	0.0000	0.6642	0.0000	0.1042	0.0000
南非	0.5000	0.0421	0.1958	0.0099	0.0267	0.5886	0.1567	0.2000	0.3690	0.0061
韩国	0.0000	0.0062	0.5734	0.0049	0.0690	0.7722	0.2761	0.8000	0.4197	0.1779
西班牙	0.5000	0.0714	0.3112	0.0424	0.0784	0.7722	0.3396	0.4000	0.2535	0.0982
土耳其	0.5000	0.0112	0.1783	0.0000	0.0371	0.9747	0.1045	0.0000	0.3211	0.0000
英国	0.0000	0.1475	0.7098	0.0239	0.0690	0.9684	0.5075	1.0000	0.5183	0.0368
美国	1.0000	0.7022	1.0000	0.2361	0.9043	0.3354	1.0000	1.0000	0.9352	0.4540

## 五、各国可持续能源竞争力指数分析

### （一）各国可持续能源竞争力排序

通过计算,我们得出了 G20 国家可持续能源竞争力综合指数及排名(图 5.1)。中国可持续能源竞争力位列首位,美国位居次席,与中国差距不大。德国与中美两国差距较大,这主要是因为德国在资源禀赋和市场规模等方面的表现不如中美两国。英国、丹麦也是竞争力较强的欧盟国家,两者都超过了国土面积和资源禀赋更优的加拿大。巴西作为新兴经济体,也具备较强竞争力。而印度尼西亚、沙特阿拉伯、俄罗斯、阿根廷、土耳其等国的可持续能源竞争力相对较弱。

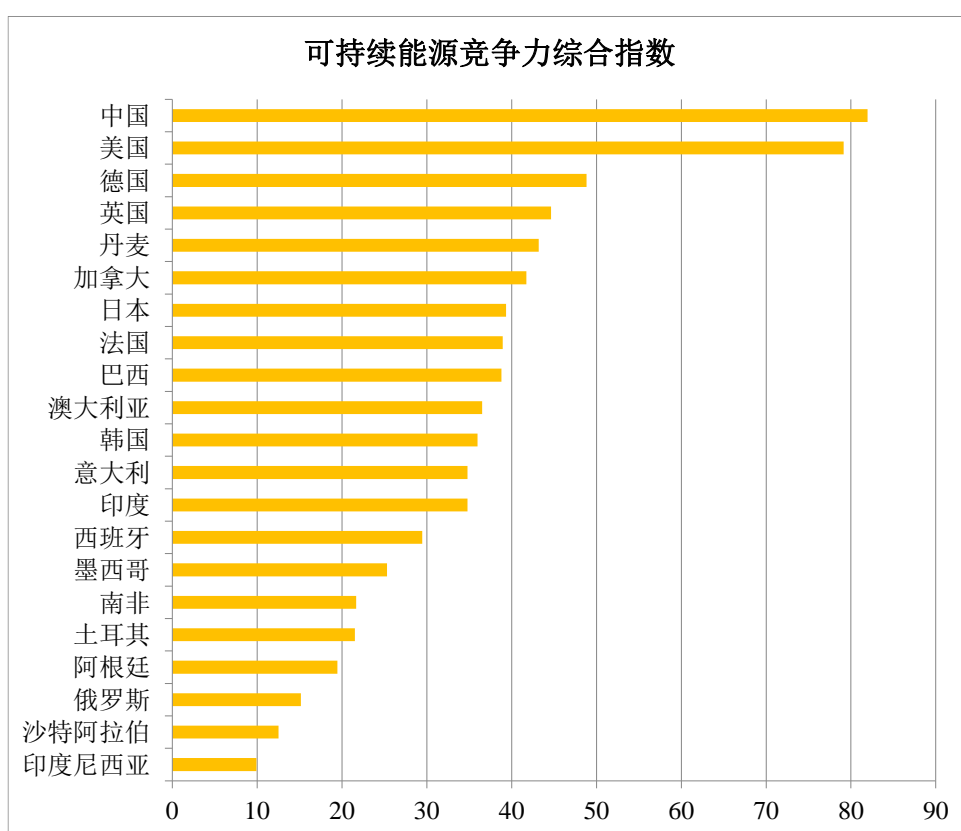


图 5.1 G20 国家可持续能源竞争力排名

### （二）可持续能源竞争力指标横向比较分析

#### 1. 生产要素

##### （1）资源因素

资源禀赋是各国发展可持续能源的物质基础,也是可持续能源产业的动力来源。课题组对 21 个国家可持续能源资源的丰裕程度进行等级划分。从下图可知,中国、美国、加拿大、澳大利亚、巴西和俄罗斯属于第三等级,这些国家国土面

积广阔，可持续能源资源丰富，这为它们赢得了资源比较优势。阿根廷、印度、印度尼西亚、墨西哥、西班牙、土耳其、南非、沙特阿拉伯、南非为中间等级的国家。丹麦、法国、德国、意大利、日本、韩国属于资源相对贫瘠的国家。它们国土面积相对较小，在资源储量上并无优势。

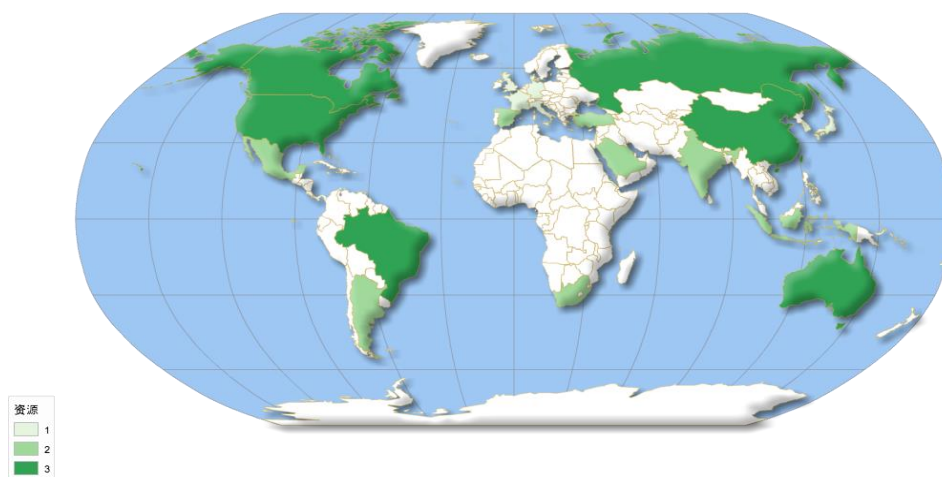


图 5.2 各国可持续能源资源分布情况

注：等级排序为 3>2>1，即等级越高代表可持续能源资源储量越丰富。

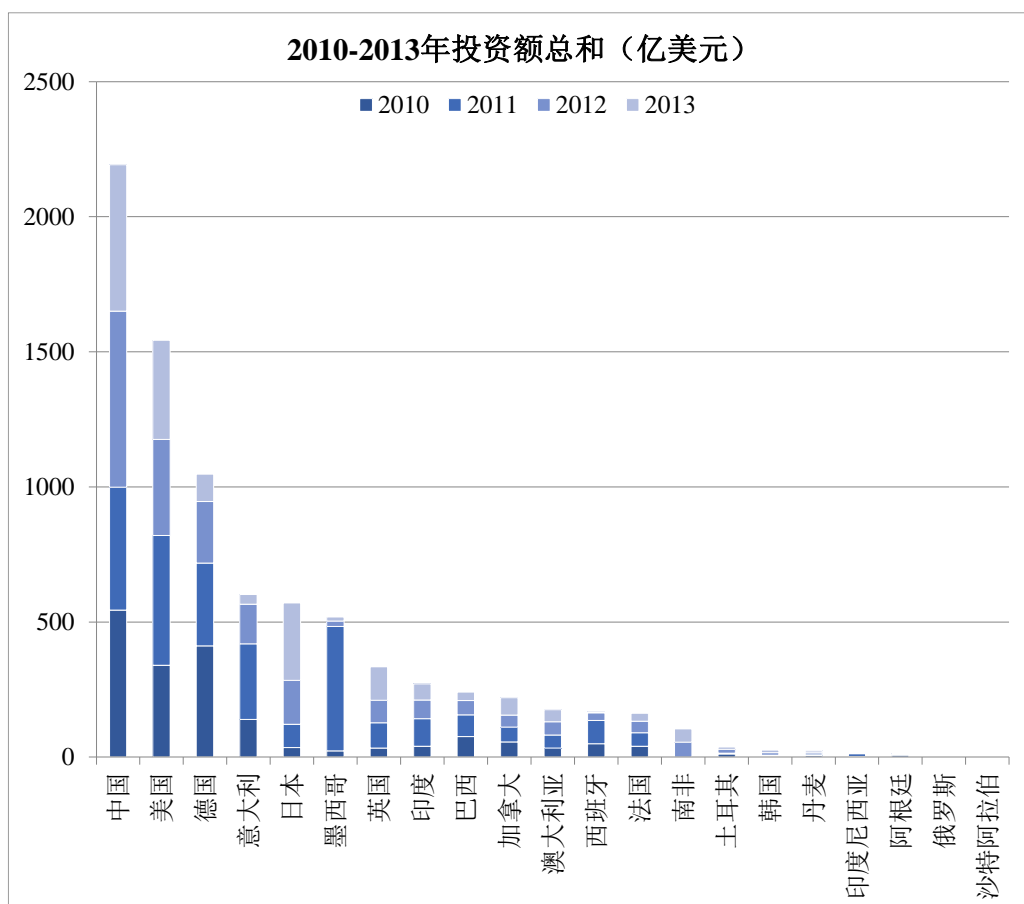


图 5.3 各国可再生能源近年投资额度

### (2) 资本因素

可持续能源属资本密集型产业。资本投入水平影响一国可持续能源产业的建设容量和技术水平。从各国 2010 年至 2013 年四年累计投资额来看，中国可再生能源投资总额最高，高达 2192 亿美元，比位居第二位的美国高出 649 亿美元。德国虽然体量较小，但仍以四年累计 1047 亿美元的投资总额排名第三，意大利、日本和墨西哥的投资总额也位居前列，均在 500 亿美元以上。而俄罗斯、沙特阿拉伯、阿根廷和印尼等国的投资总额非常小。

### (3) 技术因素

技术水平是决定可持续能源发展进程的核心因素。清洁技术集团的《全球清洁能源技术创新指数》表明，美国的得分最高，具有最强的可持续能源技术竞争力；丹麦排名第二，其在清洁能源技术商业化方面表现出色，世界知名的风能公司 Vestas 就来自丹麦。这也是本报告除传统 G20 国家外，还额外将其纳入考查的主要原因。英国、加拿大和德国得分相差不大，同属第三梯队，均为可持续能源技术创新能力较高的国家。中国在技术创新方面落后于发达国家，得分低于日本、韩国和法国，处于中等水平。

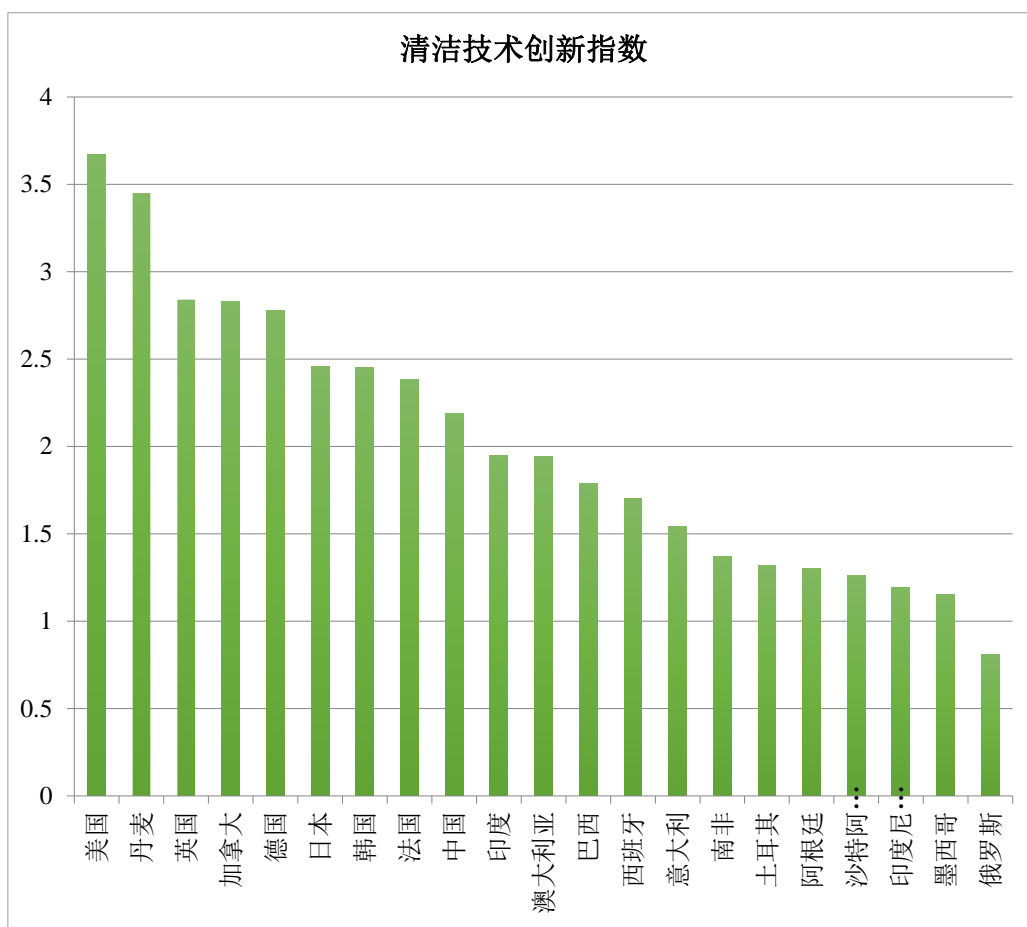


图 5.4 各国可持续能源技术竞争力

#### (4) 劳动力因素

劳动力是可持续能源产业生产要素的重要因素之一。中国的可持续能源从业人数遥遥领先于其他国家，目前约占全球总从业人数的 1/3 以上，中国在就业方面的突出表现主要得益于中国太阳能和风能产业的迅速发展。同为金砖四国之一的巴西在可持续能源劳动力人数中也占有优势，大约为 89.4 万人。此外，美国、德国、印度、法国的劳动力人数也处于前列。土耳其、沙特阿拉伯、俄罗斯、墨西哥的从业人数则在万人以下。

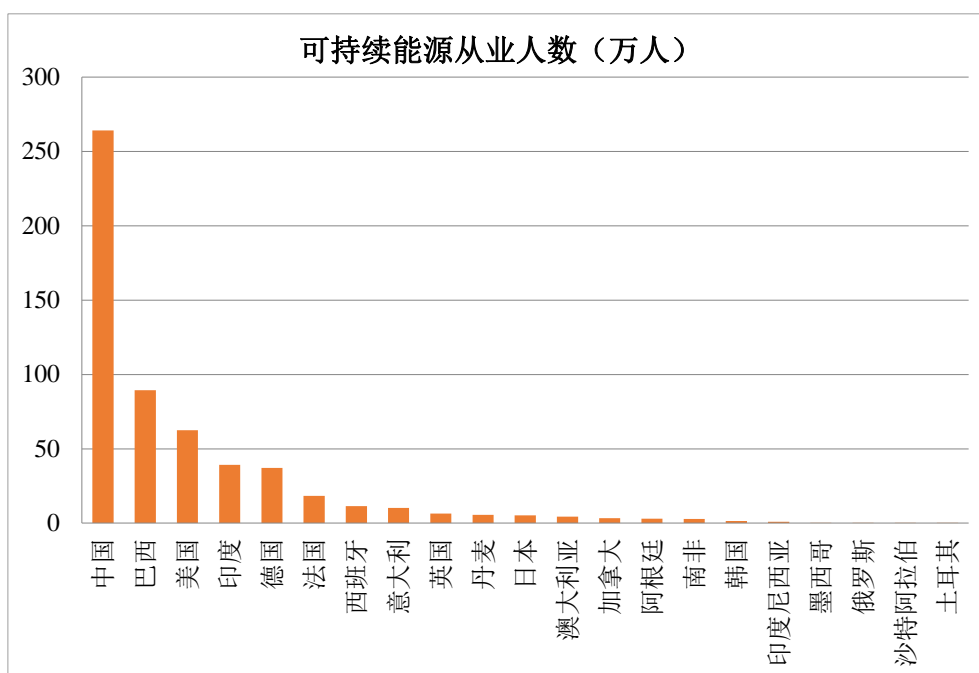


图 5.5 各国可持续能源劳动力情况

## 2. 需求条件

### (1) 市场规模

就装机总量来看，中国和美国保持前两名，美国仅比中国少 111 百万千瓦的装机容量。日本电力装机容量为中国的 27%，位居第三。印度和俄罗斯的电力装机容量也相对较大，在 200 百万千瓦以上。德国的电力总装机量也较高，已超过加拿大，排名第六。国土面积辽阔的澳大利亚却排在了法国、意大利、巴西和西班牙的后面，这主要是由其独特的人口地理分布和产业结构决定的。值得注意的是，丹麦的电力装机容量是所有研究国家中最低的，不过其综合竞争力却排第五，可见在可持续能源领域竞争力强的国家不一定要以规模作为基础。

### (2) 替代效应

可持续能源与传统化石能源存在着一定的竞争关系。本报告选择石油产品的

终端价格作为可持续能源替代效应的指标。丹麦、意大利、德国、法国、英国、土耳其、西班牙等国家的汽油零售价格较高，处于统计国家中等偏上水平。这些国家大多来自欧洲，石油产品终端零售价格较高，可持续能源对其替代效应较强。沙特阿拉伯、俄罗斯等国得益于丰富的油气资源，汽油零售价格相对较低，市场对可持续能源替代的需求较低。中国和美国的汽油零售价分别处于中等偏上和中等偏下水平，中国比美国的汽油价格更高，因此对可持续能源需求更强。

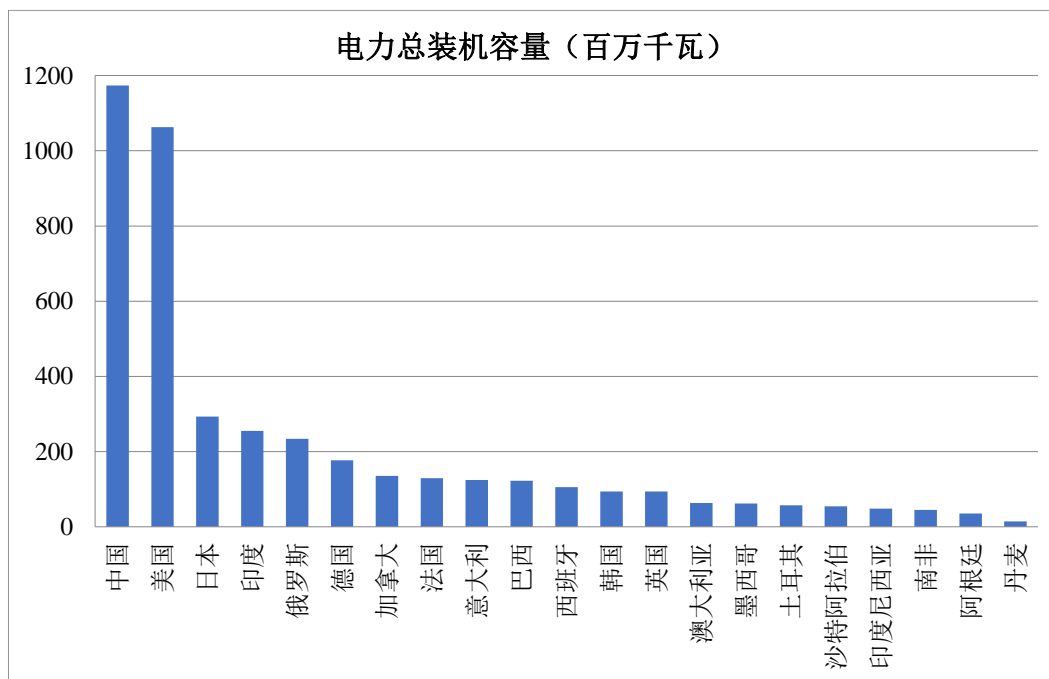


图 5.6 各国电力需求情况

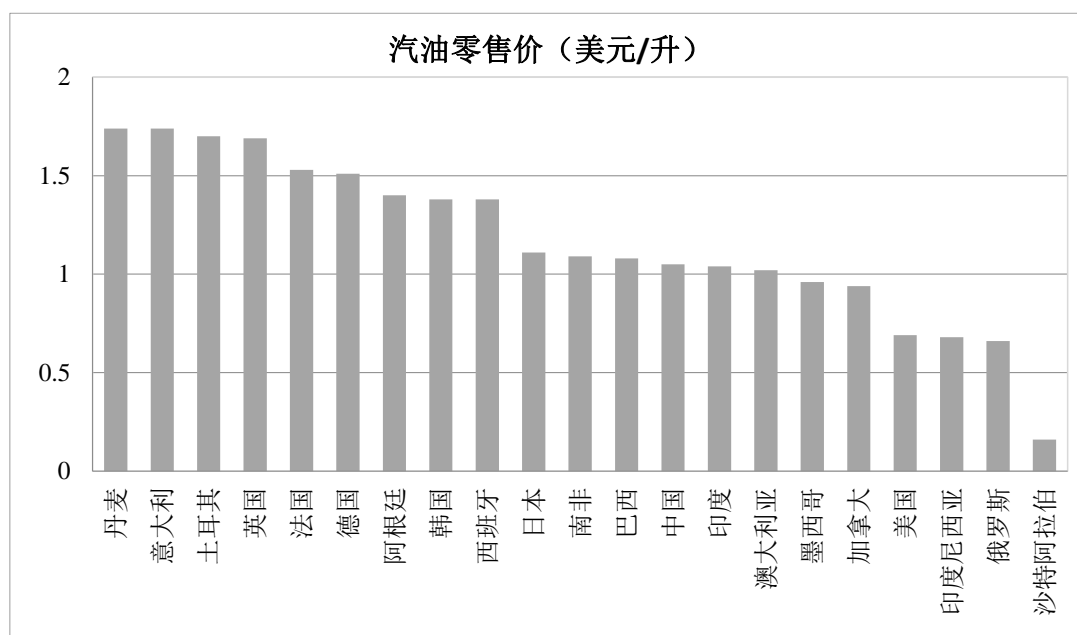


图 5.7 各国可持续能源替代效应对比

### (3) 环保压力

“碳空间”为各国的碳排放设立了上限。一国碳排放越多，超出碳空间阈值的程度越高，碳赤字也就越高。碳赤字与环保压力成正比，当碳赤字的值为正时，说明碳排放已经超过给定的碳空间，该国亟需节能减排，降低碳排放；当碳赤字为负时，说明碳减排的压力较小。根据课题组自研模型的测算，美国的碳赤字最高，面临巨大的环保压力，其次是澳大利亚、沙特阿拉伯、加拿大等国家。英国、丹麦、德国、法国等欧洲国家由于较高的人均碳排放，同样具有较大的环保压力。而作为新兴国家的中国和巴西，碳赤字相对较低，环保压力较小。

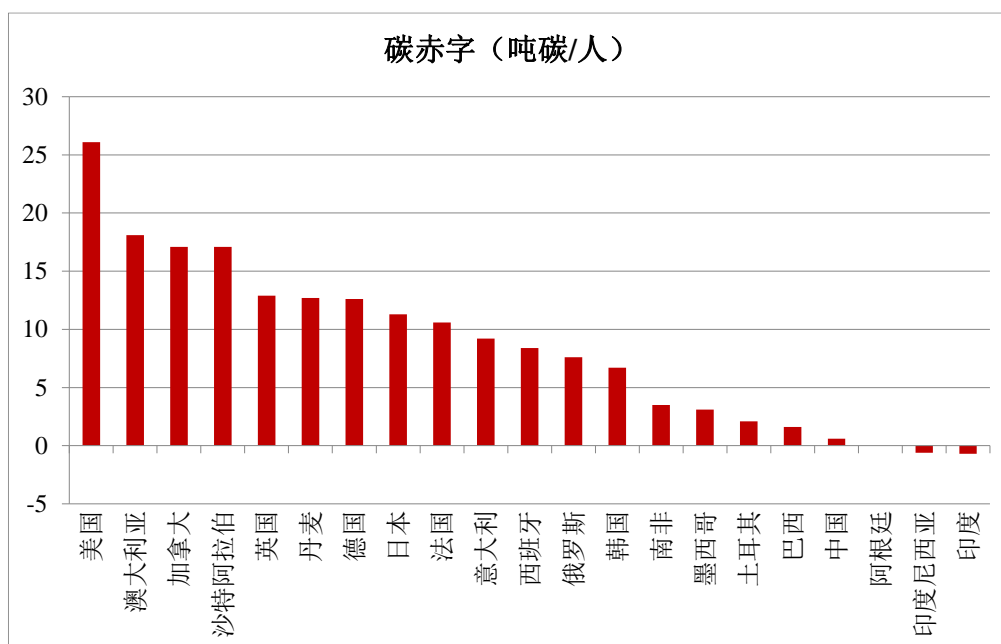


图 5.8 各国人均碳赤字情况

### (4) 政策激励

作为新兴的能源类型，可持续能源产业发展离不开政策的支持与激励。目前，大部分国家都制定了刺激可持续能源投资、促进可持续能源产业发展的政策。据统计，中国、美国、英国和丹麦的政策实施数量处于前列；法国、意大利、韩国和巴西实施的激励政策次之；德国、印度和墨西哥则处于第三梯队；而印尼、土耳其、俄罗斯、沙特阿拉伯在政策上对可持续能源产业的激励方面较为薄弱，实施政策较少或缺乏政策意愿。

## 3. 相关产业与支持性产业

可持续能源发展需要全产业链的支持与配合，相关产业与支持性产业的表现是项目投资环境的重要影响因素。基于安永会计师事务所发布的产业投资吸引力指数，中国、美国、德国具备比较好的产业投资环境。中国是世界可持续能源设

备制造大国，尤其在光伏发电设备方面，因具备规模庞大、价格低廉、产业较为集中等优势，已是全球第一光伏组件制造大国。相关产业和支持性产业不完善的俄罗斯、阿根廷、印度尼西亚等国则缺乏产业投资吸引力。

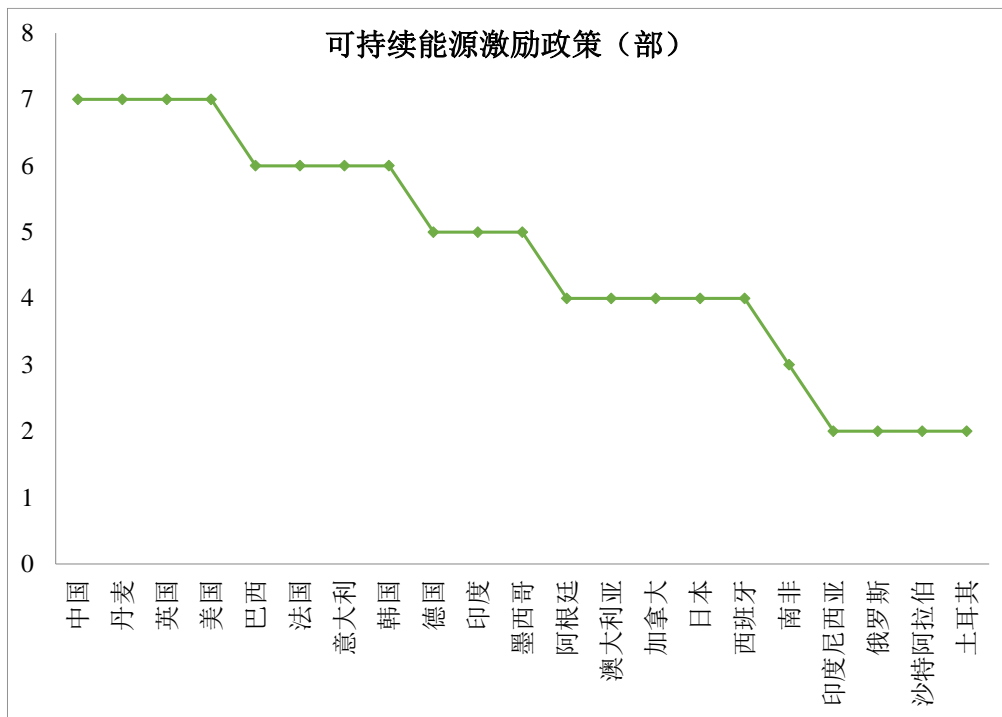


图 5.9 2013 年度各国可持续能源激励政策实施情况

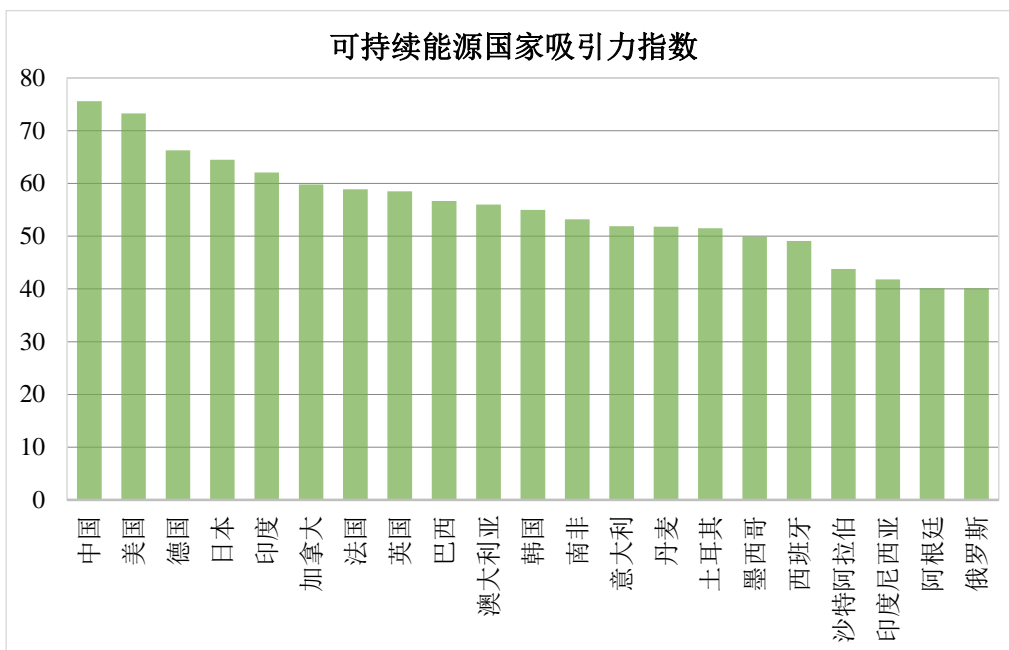


图 5.10 各国产业吸引力情况



#### 4. 企业竞争力

企业作为具体实施各项行为的微观主体，在可持续能源产业竞争力中发挥着难以替代的作用。统计数据显示，在全球新能源企业 500 强中，中国企业数量最多，高达 163 家，远超排名第二的美国。美国、德国、日本也是具有较强企业竞争力的国家，特别是美国和德国，分别有 3 家和 2 家公司入围前十名。此外，就统计数据来看，美、德、日等国上榜企业的营业收入普遍要比中国的上榜企业高得多。而印度尼西亚、墨西哥、俄罗斯、沙特阿拉伯和土耳其可持续能源领域的企业竞争力薄弱，没有公司入围世界 500 强。

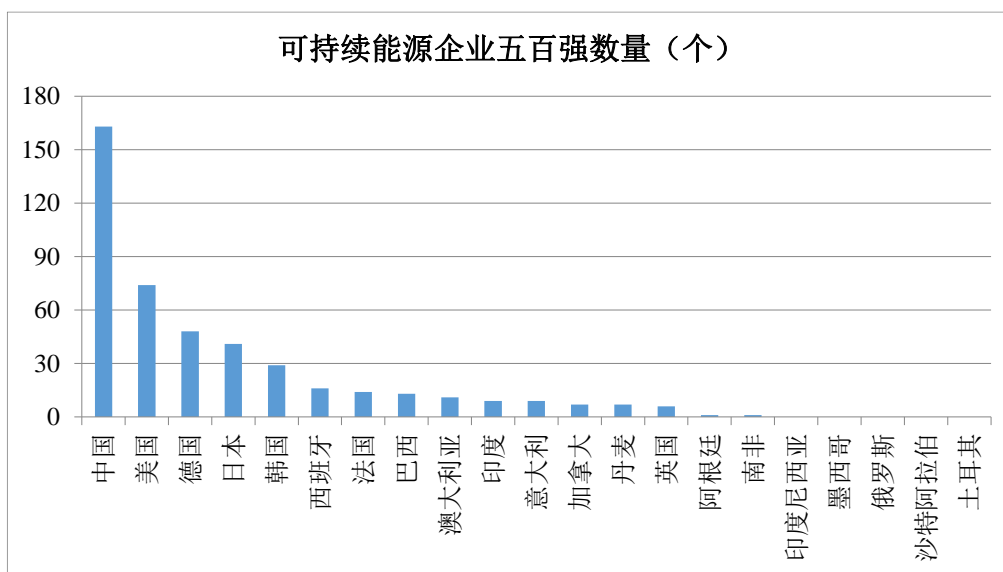


图 5.11 各国可持续能源企业五百强数量

#### （三）各国竞争力表现分析

在 G20 国家中，排名前五的中国、美国、德国、英国和丹麦在可持续能源竞争力分析中极具代表性，它们在某一领域乃至某些领域所取得的成就以及能够取得这些成就的原因值得深入探究。我们重点对竞争力前五的国家进行分析，探讨各国可持续能源发展的竞争优势。

##### 1. 中国

中国在可持续能源产业竞争力中表现优异，居于首位。从下图可以发现，中国在资源、资本、劳动力、市场规模、政策激励、相关产业和企业战略中表现优异，上述各项指标都居于前列，提升了整体国家在可持续能源产业中的竞争力。相比之下，在技术、替代效应和环保压力上表现较弱，特别是技术方面，是目前较为突出的短板。

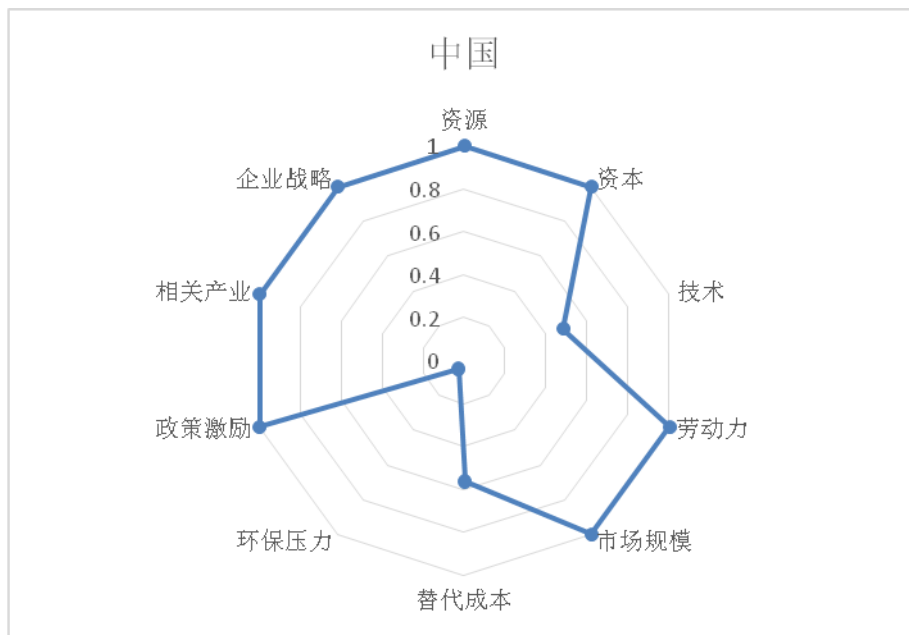


图 5.12 中国各指标表现

(1) 可持续能源装机增长迅猛，投资额度不断增大

中国可持续能源发展历史较短，2005 年累计可再生能源发电装机容量仅为 12068 万 kW，但得益于产业与政策支持，中国已逐步占据世界领先地位。到 2013 年，中国可再生能源装机容量已增至 38371 万 kW，年均增速高达 19%。其中，中国风电装机容量位居世界第一，占世界总装机容量的 28.7%；太阳能光伏方面，2013 年中国累计光伏装机容量为 18.3GW，仅次于德国，排名第二，2013 年新增装机量高达 12.92GW，位居世界第一。

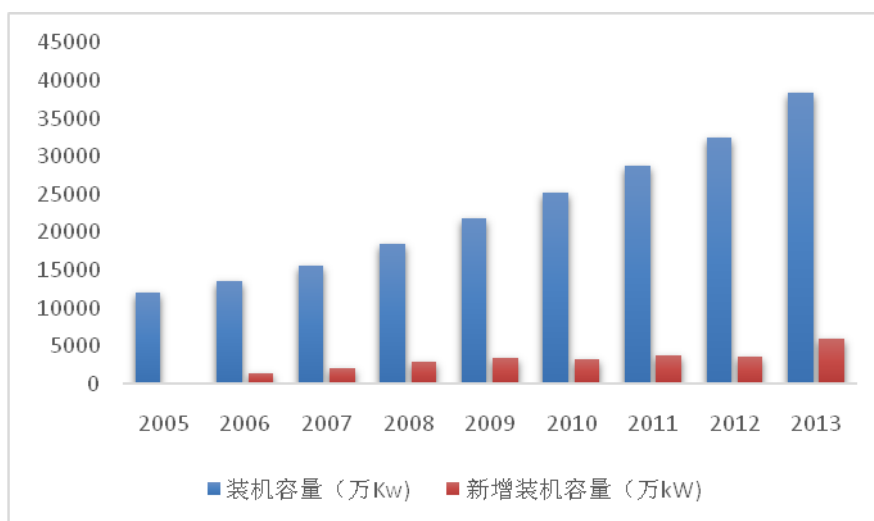


图 5.13 中国可再生能源发电装机容量变化情况

### (2) 上游领域产能充足，延伸一体化发展

中国在世界可持续能源上游产业占据主导地位，特别是在光伏领域。2014年我国多晶硅产量达13.2万吨，占全球产量的43%。2014年电池片生产规模占全球总量比重高达59%。中国的电池组件生产规模同样高居榜首，市场份额约为70%。中国光伏商业模式也出现了从“专业分工”到“垂直一体化”的转型，企业的业务范围垂直贯穿全产业链，包括硅料、硅片、电池、组件、系统安装各个环节。这样使得综合成本趋于稳定、可控并在形成规模化后有较大幅度降低。

**表 5.1 各类型可持续能源发电上网电价政策**

发电类型	发布时间	政策名称	电价标准
风电	2006.01	《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》	政府指导价（按招标形成的价格确定）
	2009.07	《关于完善风力发电上网电价政策的通知》	分资源区标杆上网电价：0.51 元/kwh、0.54 元/kwh、0.58 元/kwh、0.61 元/kwh
	2015.01	《关于适当调整陆上风电标杆上网电价的通知》	分资源区标杆上网电价：0.49 元/kwh、0.52 元/kwh、0.56 元/kwh、0.61 元/kwh
光伏发电	2006.01	《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》	政府定价（按合理成本加合理利润原则制定）
	2011.07	《关于完善太阳能光伏发电上网电价政策的通知》	标杆上网电价：1.15 元/kwh、1 元/kwh
	2013.08	《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》	地面电站，分资源区标杆上网电价：0.9 元/kwh、0.95 元/kwh、1 元/kwh；分布式光伏发电，度电补贴：0.42 元/kwh
生物质发电	2006.01	《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》	标杆电价（2005 年脱硫燃煤机组标杆上网电价+补贴电价）；补贴电价标准：0.25 元/kwh；2010 年起，每年递减 2%
	2010.07	《关于完善农林生物质发电价格政策的通知》	标杆上网电价：0.75 元/kwh（含税）
垃圾焚烧发电	2012.03	《关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》	以生活垃圾为原料的项目，标杆上网电价：0.65 元/kwh；其余上网电量执行当地同类燃煤发电机组上网电价

### (3) 政策目标明确，激励效果显著

中国政府积极发展可持续能源，不断制定未来可持续能源的发展目标。如2012年《可再生能源发展“十二五”规划（2011-2015年）》指出，“十二五”期间，中国可再生能源发电新增装机将达1.6亿千瓦；到2015年，可再生能源发电量争取达到总发电量的20%以上。国家能源局局长努尔·白克力在今年的两会期间表示，我国的风电和光伏装机到2020年时要分别达到2亿千瓦和1亿千

瓦左右，较之前提出的目标有较大幅度的提升。为实现以上目标，中国从各个层面制定了多项政策激励措施。

——奠定法律基础：2005 年颁布的《可再生能源法》是中国可再生能源发展史上的重大举措，该法规定电网公司为可再生能源电力上网提供便利。2009 年，国家对《可再生能源法》进行了修订，明确规定“电网企业全额收购其电网覆盖范围内符合并网技术标准的可再生能源发电项目的上网电量”。

——分区标杆上网电价以保证预期收益：自 2009 年起，中国政府出台了多项法律法规，完善了风电、生物质能发电和太阳能光伏的上网电价机制，鼓励开发优质资源，明确投资收益，具体参见表 5.1。

## 2. 美国

美国的可持续能源产业竞争力在 G20 国家中仅次于中国，排名第二。美国地域辽阔，具有丰富的自然资源和庞大的市场规模。近年来，美国可持续能源产业蓬勃发展，其中一个重要的推动力就是先进的能源技术支持。另外，相关产业的支持与环保压力也有助于可持续能源产业的发展。然而，北美页岩气产业的繁荣虽然为可持续能源产业带来了更多的调峰资源，但也降低了可持续能源的替代效应，在一定程度上拉低了可持续能源竞争力得分。



图 5.14 美国各指标表现

### (1) 税收减免政策激励效果显著

近年来，美国在可再生能源领域制定了一系列战略、规划与政策。为了促进可再生能源的技术研发、开拓可再生能源市场，美国联邦和州政府采取了一系列

立法措施扶持可再生能源及相关设备制造产业发展。这些政策措施包括税收抵免、资金支持、可再生能源配额(RPS)、碳交易市场项目、净电量计量(Net Metering)等。在这一系列政策中,税收抵扣政策是美国可再生能源产业迅速发展的一个非常重要的因素。1992年《能源政策法案》制定了生产税抵扣(Production Tax Credit, PTC)政策,对满足条件的可再生能源发电项目按每度电提供一定数额的补贴;2005年的《能源政策法案》制定了投资税收抵扣(Investment Tax Credit, ITC)政策,规定按项目类型的不同,投资商可获得不同额度的投资成本税收抵免。两项政策对美国可持续能源产业的激励效果非常显著。如在2004年以前,PTC政策间断,在有的年份被取消,风电装机速度明显放缓,而在PTC政策恢复后的2005年美国风电装机容量迅速恢复增长,新增容量增长率高达300%和500%以上。

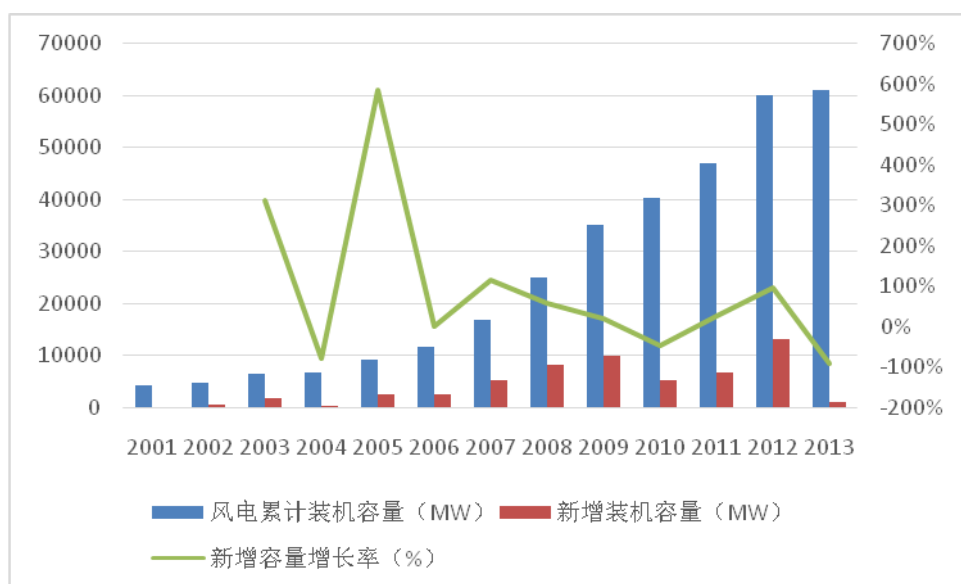


图 5.15 美国风电装机容量变化情况

数据来源: 全球风能协会, Global Wind Report Annual Market Update 2013.

## (2) 较高的灵活性电源比例

由于可持续能源发电具有波动性和不稳定性,电力系统中灵活性电源的比例越高,可持续能源的消纳程度将越好。得益于丰富的天然气资源,美国的气电比例较高,2013年美国有27%的天然气发电。高比例的天然气发电装机和供应增加了系统的调峰资源量,使美国的电力系统更为灵活,适宜于可持续能源发展。

## (3) 高投入研发催生先进能源技术

根据美国能源部公布的2015财年能源部研发预算信息,预计能效与可再生能源研发支出总额为23.2亿美元,同比增长20%以上。高投入也是美国得以确保本国可持续能源技术处于全球领先地位的重要原因。先进技术的研发与应用带动了并网、储能等配套设施的提升,使得可持续能源成本大幅下降,特别是风电,

目前已基本与火力发电成本持平，极具竞争力。

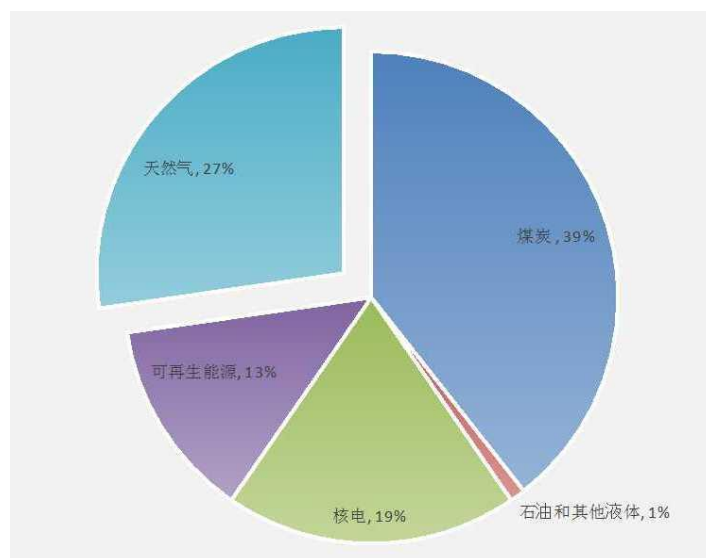


图 5.16 美国发电类型构成

数据来源：EIA.

#### (4) 商业模式不断创新

商业模式的单一限制了可持续能源的发展。就光伏发电产业来说，屋顶式光伏电站面临的普遍挑战即是屋顶资源和融资问题。美国在光伏发电的商业模式上出现了多种创新形式，比如 Solar city 的光伏租赁和 PPA（Power Purchase Agreement）模式、资产证券化、yieldco 等，通过资金流转有效连接投资者、使用者、所有者等相关方，解决产权和融资难题。

### 3. 德国

德国在全球可持续能源竞争力榜单中排名第三。德国在资源总量和市场规模等方面并不具备竞争优势，难以同资源富足、市场庞大的中美两国抗衡，但它在其他方面有独特的竞争优势，这些优势包括相关产业支持、先进技术指引、政策机制完善等。特别是机制设计方面，良好的政策激励措施为相关产业及技术进步提供了动力。

#### (1) 能源转型起步早

为摆脱对俄罗斯等国油气资源的过度依赖，降低煤炭在本国一次能源结构中的比重，德国很早就开始了能源转型。德国能源结构转型不单致力于提高能效，同时也重视可持续能源的开发利用。德国联邦政府于 2010 年推出了“能源方案”长期战略，其中提出了未来可再生能源作为主要供应能源的愿景，计划到 2020 年，可再生能源占终端消费比重达到 18%，可再生能源电力占电力总消费达到

35%，此后每隔 10 年，这两个数字各自增加 15%左右，并在 2050 年分别达到 60%和 80%。2011 年 6 月，德国宣布要逐步淘汰核电，计划到 2022 年关闭所有核电站。概言之，发展太阳能和风能这类可持续能源已成为德国能源战略转型的重点目标。目前，德国能源转型已见成效：在电力方面，可再生能源发电不断增长，从 1990 年的 189 亿 kWh 增长到 2014 年的 1560 亿 kWh，约占全国发电量的 25.8%。



图 5.17 德国各指标表现

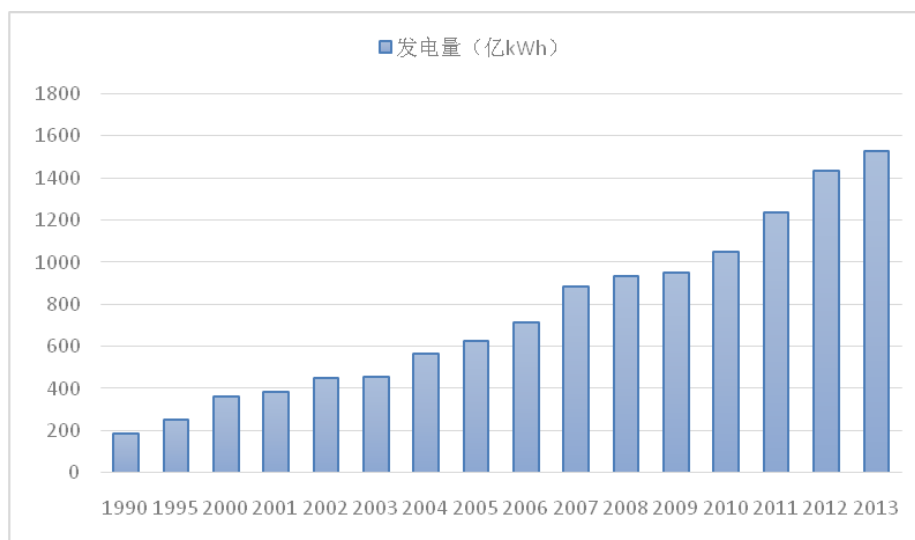


图 5.18 历年德国可再生能源发电情况

数据来源：Federal Ministry of Economic Affairs and Energy, Development of renewable energy sources in Germany 2013

## (2) 有力的法律支持

《可再生能源法》（EEG）是推动德国可持续能源发展的重要因素。该法于2000年正式颁布，其核心是建立可再生能源发电的固定上网电价制度（FITs）。随着可持续能源的不断发展，《可再生能源法》也经历过多次调整。在2014年进行修订时，德国政府把市场机制引入可再生能源项目，将固定上网电价转变为固定补贴机制，减少行政干预，将电价决定权还给市场。此外，修订后的法律扩大了可再生能源附加费用的成本分摊范围，提高了电价附加征收标准，向多消费多承担的方向转变，既体现了公平性，又使得电价附加总额得以提高。

### （3）更完善的补贴机制

德国是实施固定上网电价补贴机制的典范。在《可再生能源法》的指导下，配电方需要向输电方支付可再生能源附加费，但最终这笔费用由终端用户承担。这样的支付方式有助于确保可持续能源项目收到足额的上网电价费用，更具效率。在补贴保障方面，德国根据上一年度可再生能源发电量及时调整可再生能源附加费。2000年，德国的可再生能源电价附加额仅0.2欧分/kWh，2014年已上涨至6.3欧分/kWh。电价附加标准每年进行调整既能保证补贴资金足额到位，又能对下一年度的建设规模起到一定的指导作用。

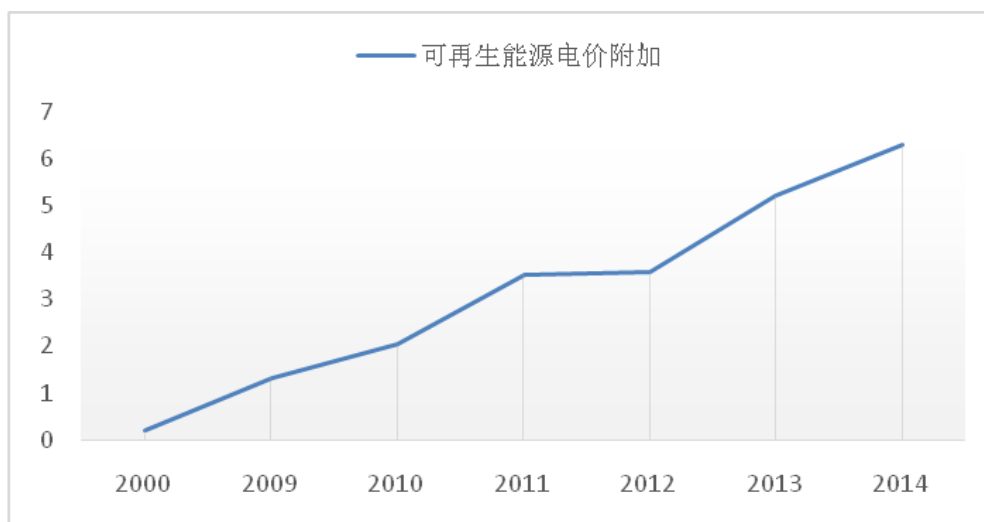


图 5.19 德国历年可再生能源电价附加标准（欧分/kWh）

### （4）灵活的电力系统

风电、光伏等可持续能源具有间歇性特征，德国的电力系统具有较高的灵活性，可以消纳更多的可持续能源。这种灵活性在发电、电网、终端用电的各个环节都得到体现。发电方面，德国通过技术改造火电机组使得电力系统的灵活性得以大幅提高，作为备用容量的燃煤机组能发挥更大作用。德国还将电力与热力结合，采用扩大热电联产等方式增加储热设备容量，提升系统调峰和消纳能力。电



网方面，德国不断加快电网建设速度，通过远距离输送，消除负荷中心与资源区不一致的矛盾。德国还依托欧洲大电网，通过与邻国互送电力进一步提高了系统的灵活性。终端用电方面，通过增加储能设备以及需求侧管理和电价差异调节用电负荷需求，从终端上实现削峰填谷。

#### 4. 英国

英国的可持续能源竞争力在 G20 国家中排第四，在欧洲国家中仅次于德国。总的来说，由于国土面积相对狭小，英国在可持续能源资源绝对量上并无明显优势。与德国类似，为了维护本国的能源安全，解决自身的环境污染问题，英国一直以来都非常重视可持续能源的发展，为此在政策设计上付出了很多努力。

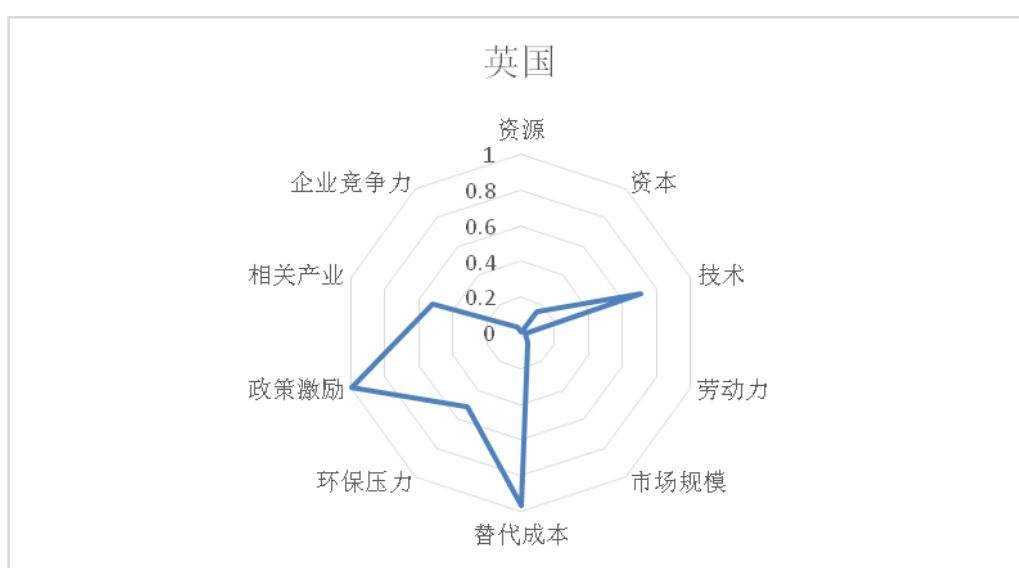


图 5.20 英国各指标表现

##### (1) 气候变化税收与激励政策

英国是最早将应对气候变化作为本国发展战略的国家之一，而可持续能源利用则是其应对气候变化、实现环境可持续发展的重要举措。为此，英国议会早在 1999 年 3 月就通过了气候变化税预算案，该法案于 2001 年 4 月 1 日起生效。气候变化税针对非家庭用户，但对可再生能源发电项目实行税收豁免，以此鼓励非民用用户使用可再生能源电力，在一定程度上保证了可再生能源电力需求，利于其可持续发展。

##### (2) 激励机制的适时更新

英国是除美国外，又一实施“可再生能源义务”(RO)的国家。英国于 2002 年开始实施“可再生能源义务”，规定电力公司在供应电力中必须有一定比例的可再生能源，发电企业生产的可再生能源电力可获得相应数量的可再生能源义务

证书（ROC），并以一定价格出售给电力公司。这种激励机制对可持续能源的发展具有相当大的激励作用，但也产生了包括证书购买成本高、购买价格不确定等一系列问题。为推动可持续能源发展，英国进行了新一轮电力市场改革，其中一项重要改革是引入容量市场和差价合同。容量市场是为保证电力供应紧张时有充足的容量保证电力供应安全，差价合同是为可持续能源发电项目提供长期固定收益，保证可持续能源发电价格的确定性，创造一个更为稳定的投资环境。

### （3）雄厚的技术实力

英国在可再生能源技术方面具备较为雄厚的实力，也是其核心竞争优势之一。以海洋能源资源丰富的苏格兰为例，苏格兰云集了多所掌握能源领先技术的大学和研究所，这些机构在海洋资源油气开发中积累了丰富的经验与技术。随着北海油气资源日渐枯竭，这些机构将自身研究重点转向可持续能源领域，而海上油气资源开发的技术经验为可持续能源开发技术研究奠定基础，也使英国在世界海上资源开发中处于世界领先地位。

## 5. 丹麦

丹麦国土面积狭小，能源资源匮乏，但却具备较强的竞争力。丹麦极为重视可持续能源产业的发展，目前可再生能源可满足国内 24% 的能源需求。替代成本较高在丹麦的可持续能源发展中起到了非常重要的推动作用。此外，良好的政策激励制度和位于世界前列的技术水平，也使得丹麦的可持续能源竞争力在 G20 中排名靠前。

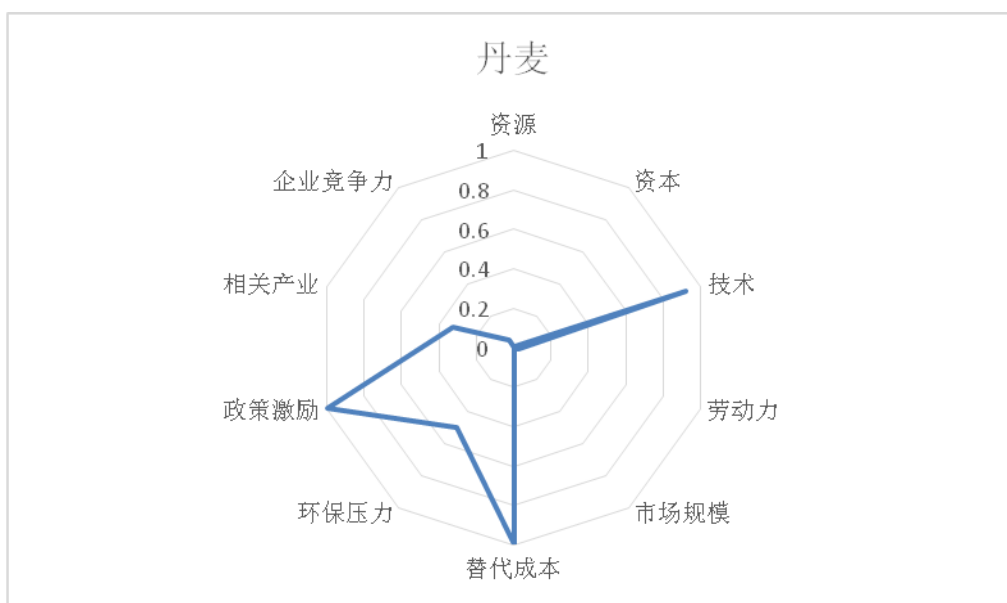


图 5.21 丹麦各指标表现

（1）风电技术水平领先且产业链完整

丹麦是最早开发风能的国家,从20世纪80年代起就开始发展陆上风电,2009年以后发展海上风电。它是继英国之后第二大海上风电市场,2013年风电在总体发电中的比重高达33%。丹麦是全球风电设备技术与应用的领跑者,全球最大的风电设备供应商——维斯塔斯就来自丹麦。维斯塔斯的风机已遍布全球70多个国家,总装机容量达64GW。2014年维斯塔斯成功生产出世界最大的风电机组V164-8.0MW,该机组的风轮直径为164米,预计使用寿命长达25年,大大摊薄了建设与运营维护成本。丹麦拥有完整的风电产业链体系,该国制造企业在风机设备各个环节均有覆盖,为风电发展提供了强有力的设备制造支撑。



图 5.22 丹麦风电在总体发电量中的比例

数据来源: DEA.

### (2) 电网互联扩大交易范围

丹麦所处地理位置特殊,在电网互联方面具有得天独厚的优势,这也是其可持续能源利用率高的主要原因。丹麦东部电网与北欧电网同步运行,西部电网与欧洲大陆电网相连,形成了与这两个电网互通互联的“大电网”框架,这为其可持续能源消纳创造了更广阔的市场空间。例如,挪威、瑞典丰富的水电为丹麦的风电提供了充足的调峰资源,当丹麦风电机组出力大于负荷时可将电力输送到挪威和瑞典,当丹麦电力供应不足时可调动挪威和瑞典的电力满足负荷需求,电网互联使得区域内整体出力曲线更为平滑。

### (3) 重视电力与热力相融合

目前丹麦的生物质热电联产技术在本国应用最广泛,生物质能源也是丹麦利用规模最大的可持续能源类型,生物质能源的消费总量是风能的3倍以上。热电联产从两方面为丹麦的能源利用提供效益:其一,热电联产能提高丹麦整体供热效率,利于实现节能减排;其二,热电联产通常带有储热设备,在可持续能源发

电量富余时，通过转化为热能为可持续能源提供更多消纳空间，是良好的调峰电源。由此可见，对电力与热力融合的重视使可持续能源在丹麦有了更大的发展空间。

#### （4）可持续能源补贴与上网优惠政策的完善

早在 1979 年，丹麦就对风电给予补贴，补贴额度为私人风机购买价格的 30%。1981 年，丹麦又对太阳能供暖和热泵给予补贴，对可持续能源在建筑领域的应用起到了很大的激励作用。除此之外，丹麦还对可再生能源系统实施减免税的优待政策。由于有了政策激励，风电等边际成本较低的可持续能源在市场中具有很强的竞争力。此外，丹麦出台了《电力供应法》，规定可持续能源发电必须优先上网，并规定了可持续能源无法及时入网的惩罚措施，电网公司要对风电场进行经济赔偿，这极大提升了可持续能源发电优先上网的约束力。

## 六、中国可持续能源发展政策建议

借鉴国际上其他国家可持续能源竞争优势和发展经验，以下部分将对中国可持续能源发展提出政策建议。

### （一）加强可持续能源应用

中国对可持续能源的政策鼓励更注重投资，在应用激励方面相对缺乏，导致了生产领域相对繁荣，而消费领域动力不足的问题。作为中国主要的可持续能源发展类型，并网风电和光伏发电的比例分别为 7.0% 和 1.9%，但两者发电量比例却仅为 2.8% 和 0.4%，这与当前中国较高的弃风、弃光率不无关系。尽管 2014 年中国的弃风率已经降到了 8%，但是一些地区的弃风限电问题仍然严重，这导致风电设备利用率低，投资收益得不到保障。因此，未来需出台更多的可持续能源利用激励措施，在可持续能源规划目标中应该更多地强调可持续能源发电设备的实际利用率，并设计更多的激励与惩罚措施确保可持续能源发电比例。

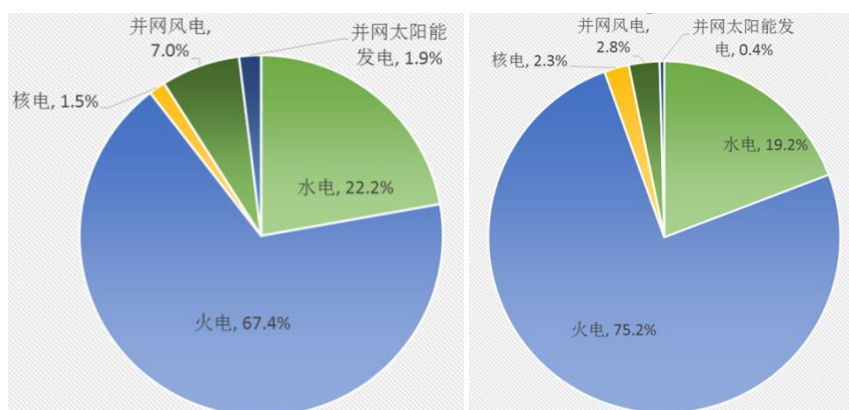


图 6.1 2014 年中国电力装机结构（左）与发电结构（右）对比

数据来源：中电联。

### （二）提高政策的灵活性与适应性

在中国可持续能源发展过程中出现了一些亟待解决的问题。例如，当前可持续能源发展较快，但补贴标准更新过慢，导致收入增幅跟不上快速增长的装机容量递增率，可再生能源附加补贴的资金缺口比较大。此外，中国可持续能源发电比例明显低于装机比例的问题突出。这些问题在德、英等较早开发可持续能源的欧洲国家早已出现，中国可以借鉴欧洲国家更为成熟的经验，对本国的政策进行调整，提高政策的灵活性与适应性，为可持续能源的发展营造更为稳定的投资环境。

### （三）总体规划协调统一

可持续能源发展离不开调峰资源、电网、储能等方面的支持，政府应注重可持续能源产业规划的协调统一。首先，为促进可持续能源发电的大规模消纳，要进行合理规划，积极促进调峰性能好的电源类型建设。其次，应加快对电网的规划布局，提高电网效率，在电网规划中充分考虑可持续能源的分布特点和间歇性出力特性，积极落实有利于可持续能源并网发电的能源互联网、微电网建设及应用。另外，应重视储能技术的战略地位，积极推动储能技术的进步与应用，做到储能技术和布局规划与可持续能源项目规划相匹配，提供与可持续能源项目配套的储能设施，从而帮助可持续能源消除自然属性带来的障碍，提高可持续能源发电的利用效率。

### （四）打破能源产品流通壁垒

中国存在可持续能源资源分布与电力负荷需求和灵活电源相矛盾的问题。风能、太阳能资源丰富的西北等地区电力需求较小，而且不具备西南地区那样丰富的水电资源作为灵活的调峰电源，因此消纳能力薄弱。如果可以在全国各省份间配置电力资源，正如丹麦、德国等国那样互为调峰电源，将大幅提高整个区域的可持续能源调峰能力与消纳能力。就电力交易机制而言，我国应该打破受计划控制的电能交易市场，开放省际和区域间的电力交易，通过各省的供需情况维持市场平衡，实现资源的优化配置。同时，完善各主体（包括可再生能源发电企业、火电企业、电网公司以及各省实体）间的利益分配模式，通过税收、补贴等方式消除各主体间的利益冲突。

### （五）加强可持续能源考核力度

2005年发布的《可再生能源法》首次提出要全额收购可再生能源发电，但是执行效果不佳。为促进可持续能源的健康发展，充分发挥可持续能源的节能环保效应，应该有效落实并切实执行“全额收购”原则。首先，明确可持续能源收购义务，实现可持续能源的优先上网权利。其次，对可持续能源收购情况进行考核，加强监管。对考核对象采取一定的约束措施，以规范可持续能源收购并网行为。

### （六）充分发挥价格调节作用

价格可以反映市场的供需情况，同时也对供需双方的市场行为起到引导作用。当前，上网电价和销售电价缺乏灵活性，导致价格机制在调节需求等方面的功能难以发挥。未来应该建立更为灵活的销售电价机制，在可持续能源出力较大，并出现电力供大于求时，用电方可享受较低的售电价格，并愿意在低电价时进行用电活动，从而提供更多的负荷，实现价格对需求侧的调节作用。另外，还应考虑

对调峰电源提供经济激励制度，应进一步完善调峰辅助服务机制，将原有的以强制命令为主转变为以经济激励和价格调节为主，通过市场交易等方式激励调峰电源主动释放更多上网空间，从而提升可持续能源消纳空间。

### （七）统筹可持续能源系统发展

可持续能源应用领域广泛，一次能源和二次能源可在发电、供热/制冷、交通和建筑领域发挥重要作用，为此我们应促进可持续能源多元化、系统化及综合化发展。

#### 1. 注重可持续能源多领域发展

（1）供热/冷：供热和制冷几乎占据全球总能源需求的一半，中国应把握城市对供暖与制冷需求中的前景。目前，国内已有地区将可持续能源应用于供热系统中，例如，连云港要求在新的建筑中使用太阳能热水作为加热设备。<sup>①</sup>中国应该继续为推广可再生资源的供热和制冷技术设立目标、政策和激励措施，出台财政激励措施推动可再生资源供暖和制冷技术的发展，在相关系统中提升可再生能源使用率，可以满足建筑群或整个社区的需求。

（2）交通部门：中国可加强支持生物燃料的生产、推广和使用，并采用财政上的激励措施和规定，包括生物燃料生产补贴、生物燃料混合授权和税收鼓励等。同时，提升私有和公共交通工具中可再生电力利用比例，推广电池电力或燃料电池公交车成为未来的主要交通工具。<sup>②</sup>

（3）建筑领域：中国应鼓励地方政府和社区设定低碳排放或者零排放的目标、修订建筑规定、许可和土地使用政策来满足可再生能源的需求，并鼓励地方政府定时更新规划方法、新建筑标准和建筑示范。同时根据当地实际情况，设立建筑可再生能源目标，通过修订建筑标准和土地使用政策，要求到特定时间所有新建和翻新建筑的能源使用基本为零。<sup>③</sup>

#### 2. 可持续能源多领域相结合

丹麦、德国可持续能源发展的重要成功经验即将热力与电力融合，充分提高能源效率。中国在可持续能源发展过程中，应注重电力、热力乃至交通部门融合，积极调动各种潜在资源，扩大可持续能源利用范围和使用效率。例如，推动电动汽车普及应用，每一辆电动汽车都可视为移动储能设备，未来可通过电价等手段调节充电需求，起到消纳多余负荷的作用。另外，还应发展热电联产，热电联产

<sup>①</sup>REN212012.*Renewables 2012 Global Status Report*.

<sup>②</sup>中国香港在其城市交通体系的扩展和电气化中投入了大笔资金。全球很多城市正在为私有电动汽车修建充电站，包括中国香港，同时他们还在将可再生能源整合到当地电力供应并作为充电站能源的直接来源。中国香港还计划在其公交车中加入生物燃料。

<sup>③</sup>EU2010.“Directive on the Energy Performance of Buildings,” Available at [www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf](http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf).

机组配备蓄热装置，可以在提高能源使用效率的同时以储热代替储电，通过自身调节发电与负荷之间的平衡。

#### **（八）加强可持续能源技术研发与质量管理**

技术是可持续能源开发利用的核心环节，中国应该重视可持续能源技术研发与创新，更有针对性地改善相关研发规划，加强国际合作与交流，为技术研发提供激励与政策支持，积极推动本国可持续能源技术进步，在提高能源利用效率的同时降低项目成本。同时，要做好技术专利普及工作，技术专利既是创新的引擎，也是创新趋势的信息来源，能够加速技术创新步伐。另外，还要注重质量管理工作，通过标准设定严格把控产品和工程质量，提高可持续能源项目的能源利用效率，保证项目的可持续性，为中国可持续能源的健康发展奠定坚实基础。



附件：

## 全球可持续能源竞争力评价指标权重专家问卷

尊敬的专家：

您好！为衡量各国可持续能源发展状况，浙江大学环境与能源政策研究中心相关研究团队构建了“全球可持续能源竞争力评价指标体系”。指标权重的科学确定需要您拨冗填写问卷。烦请于4月15日前通过电子邮件将专家问卷发回。衷心感谢您给予的指导和帮助！

浙江大学环境与能源政策研究中心

2015年4月

### 一、研究概述

可持续能源竞争力是指一个国家能否创造一个良好的产业生态环境、政策环境与商业环境，使该国可持续能源发展获得竞争优势，并更进一步地提升一国的能源安全供给、环境保护以及经济社会发展的国际竞争优势的能力。我们认为一个国家可持续能源竞争力强弱主要由生产要素，需求条件，相关产业与支持性产业，企业战略、企业结构与同业竞争等四个方面的因素决定。而可持续能源竞争力综合指数则表征了一国可持续能源的发展水平和发展态势。基于此，我们构建了“全球可持续能源竞争力评价指标体系”，其层次分析模型如图1所示。此专家问卷以全球可持续能源竞争力综合指数评价指标权重为调查目标，对其多种影响因素（指标）使用层次分析法进行分析。

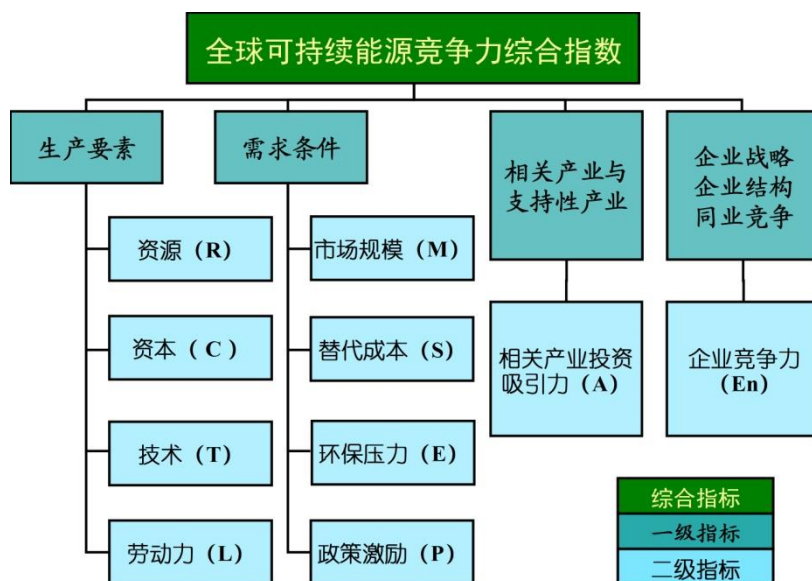


图1 全球可持续能源竞争力指标体系的层次分析模型

### 二、问卷说明

调查问卷根据层次分析法(AHP)的形式设计。这种方法是在同一个层次对影响因素重要性进行两两比较。衡量尺度划分为5个等级，分别是绝对重要[9]、十分重要[7]、比较重要[5]、稍微重要[3]、同样重要[1]。靠左边的衡量尺度表示左列因素重要于右列因素，靠右边的衡量尺度表示右列因素重要于左列因素。根据您的看法，在对应方格中打勾(√)即可。如果您觉得某个级别不能精确地表达您对某组比较的看法，例如您认为应介于比较重要[5]和稍微重要[3]之间，那么您可以通过在比较重要[5]和稍微重要[3]两个方格中都打勾(√)来表达您的看法。另外，若是多个因素(指标)进行比较，请尽量保证彼此间相对重要性的

一致性,例如:若您认为指标 A 比指标 B 重要 3 个等级,指标 B 又比指标 C 重要 3 个等级,那么指标 A 就应比指标 C 高 6 个等级。

示例 1: 您认为一辆汽车的安全性重要,还是价格重要? 如果您认为一辆汽车的安全性相对于价格十分重要[7], 那么请在左侧(十分重要[7])下边的方格打勾, 如表 1 所示。

**表 1 对于评价汽车, 各影响因素的相对重要程度评价表 (样表)**

A	评价尺度									B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
安全性		√								价格

示例 2: 您认为一辆汽车的安全性重要,还是价格重要? 如果您认为一辆汽车的安全性相对于价格的重要性介于比较重要[5]和稍微重要[3]之间, 那么请在比较重要[5]和稍微重要[3]两个方格中都打勾 (√), 如表 2 所示。

**表 2 对于评价汽车, 各影响因素的相对重要程度评价表 (样表)**

A	评价尺度									B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
安全性			√	√						价格

### 三、问卷内容

#### (一) 二级指标

**表 3 二级指标说明**

指标名称	指标说明
生产要素	一国在可持续能源产业竞争中有关生产方面的表现; 一般包括资源禀赋、资本投入、技术水平和劳动力水平四个子要素
需求条件	市场对可持续能源产品或服务的需求; 一般包括市场规模、替代成本、环保压力和政策激励四个子要素
相关产业与支持性产业	与可持续能源产业关联紧密或具备提升效应的上下游产业和相关产业的国际竞争力; 取单一指标数据: 可持续能源国家吸引力指数
企业战略 企业结构 同业竞争	可持续能源企业在一个国家的基础、组织和管理形态, 以及国内市场竞争对手的表现; 取单一指标数据: 全球可持续能源企业五百强数量

**表 4 对于“全球可持续能源竞争力综合指数”, 二级指标的相对重要程度评价表**

A	评价尺度									B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
生产要素										需求条件
生产要素										相关产业、支持性产业
生产要素										企业战略、企业结构和同业竞争
需求条件										相关产业与支持性产业
需求条件										企业战略、企业结构和同业竞争
相关产业与支持性产业										企业战略、企业结构和同业竞争

(二) 三级指标  
1. “生产要素” 指标

表 5 “生产要素” 指标说明

指标名称	指标数据	数据来源
资源 (R)	可持续能源资源可开发量	全球能源网络研究所
资本 (C)	可持续能源投资额	皮尤 Who Winning the Clean Energy Race 系列报告
技术 (T)	全球清洁技术创新指数	The Global Cleantech Innovation Index 2014
劳动力 (L)	可持续能源从业人数	国际可再生能源署

表 6 对于“生产要素”，三级指标的相对重要程度评价表

A	评价尺度									B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
资源 (R)										资本 (C)
资源 (R)										技术 (T)
资源 (R)										劳动力 (L)
资本 (C)										技术 (T)
资本 (C)										劳动力 (L)
技术 (T)										劳动力 (L)

2. “需求条件” 指标

表 7 “需求条件” 指标说明

指标名称	指标数据	数据来源
市场规模 (M)	国内电力总装机量	美国能源部能源信息署 EIA
替代成本 (S)	汽油价格	各国 2015 汽油零售价 globalpetrolprices.com
环保压力 (E)	碳赤字	团队自测：碳赤字=碳排放量-碳排放容量
政策激励 (P)	实施可持续能源激励政策数量	皮尤 Who Winning the Clean Energy Race 报告

表 8 对于“需求条件”，三级指标的相对重要程度评价表

A	评价尺度									B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
市场规模 (M)										替代成本 (S)
市场规模 (M)										环保压力 (E)
市场规模 (M)										政策激励 (P)
替代成本 (S)										环保压力 (E)
替代成本 (S)										政策激励 (P)
环保压力 (E)										政策激励 (P)

问卷结束，再次感谢您的指导与帮助！