

从黑色到绿色 —— 丹麦的可持续能源增长

案例研究：能源公司如何从化石燃料向可
再生能源转型，如何建立有效的监管框架



从黑色到绿色：丹麦的可持续能源增长

版本 1.1

2022年9月

主编

Martha Marriner, 绿色国度

技术编辑

Alexander Christian Newcombe, 丹麦能源署, alcn@ens.dk

Mattia Baldini, 丹麦能源署, mbal@ens.dk

鸣谢

该报告的撰写得到了多位专家的协助。特此感谢Anders Eldrup（曾就职于DONG Energy A/S），Jakob Askou Bøss（沃旭能源），Johannes Bøggild（沃旭能源），Per Hjelmssted（曾就职于DONG Energy A/S），Peter Markussen（曾就职于沃旭能源，现就职于丹麦国家电网公司Energinet），Flemming G Nielsen（曾就职于丹麦能源署，现就职于哥本哈根大学）和Sigurd Lauge Pedersen（丹麦能源署）。诚挚感谢丹麦能源署全球合作部门为本报告所做的贡献。同时感谢青岛市人民政府和国际健康与环境产业联合会对本报告中文版的大力支持。

平面设计

Henrik Wedel Sivertsen, Fortuna 35, info@fortuna35.dk

版权

该出版物中的材料可自由使用、分享或打印，但须注明出处，另有规定者除外。引用该出版物的格式如下：丹麦能源署和绿色国度（2022）：“从黑色到绿色：丹麦的可持续能源增长——案例研究：能源公司如何从化石燃料向可再生能源转型，如何建立有效的监管框架。”

了解更多信息

如需获得印刷副本，请通过 Chinese@stateofgreen.com 与绿色国度取得联系

版权归绿色国度所有



本报告中使用的缩略语表

CfD	差价合同
CHP	热电联产厂
DEA	丹麦能源署
DONG	丹麦石油与天然气公司 A/S
DSO	配电系统运营商
EBITDA	息税折旧摊销前利润
ESG	环境、社会和治理
ETS	排放交易体系
FiT	上网电价
FTE	全职人工工时
GFC	2008/2009年全球金融危机
GHG	温室气体
GW	吉瓦
IEA	国际能源署
IPO	首次公开募股
kW	千瓦
LCoE	平准化发电成本
m	米
Mt	百万吨
MW	兆瓦
OPEC	石油输出国组织
PSO	公共服务责任
PV	光伏
RE	可再生能源
TSO	输电系统运营商

执行摘要

关于此出版物

现如今在全球范围内，政界决策者和商界都在努力克服挑战，设法实现电力系统从基于化石燃料到可再生能源的转变。然而在这个过程中，许多问题需要监管机构和政策制定者去解决。例如：如何以经济可行的方式实现远大的目标？如何创造充分的就业机会？市场如何在不触发高风险溢价的前提下，吸引对新技术的投资？在不给国家造成巨大经济负担的前提下，如何激励新技术的竞争？

对于那些有计划向清洁能源转型的能源企业而言，要从根本上重新定位企业业务，也会面临许多复杂的挑战。例如：新技术会对从业者造成怎样的挑战？企业如何适应因采用新资产而造成的风险变化？如何处理现存资产？

此出版物详细阐述了丹麦正在进行的绿色转型，和在应对上述挑战中所获得的经验和教训。尽管并不发展核能或水电，但在世界能源理事会发布的《世界能源三元悖论指数》（World Energy Trilemma Index）排名中，丹麦始终位列前三。该项指数是基于国家和地区在以下三个关键维度所进行的评估：能源公平、环境可持续性和能源安全（Wyman 2020）。国际能源署也将丹麦列为可变可再生能源系统集成最先进国家，其可变可再生能源在电网中的比重处于世界领先水平。2020年，丹麦总电力消耗中有50%的当量源自于风能和太阳能。到目前为止，丹麦的绿色转型不仅提高了能源的清洁度，也大大促进了对可再生能源作为一个增长部门的关注。

丹麦电力生产总量

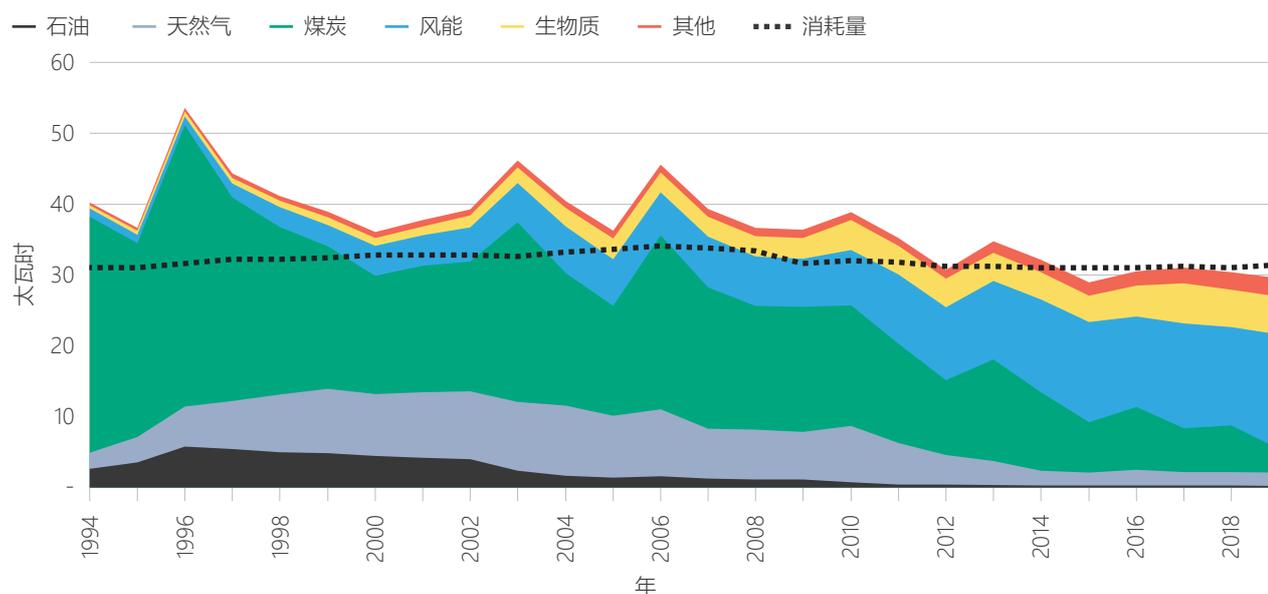


图1: 丹麦的电力生产与消耗。“其他”包括（按规模的降序排列）：太阳能、非可再生废弃物、生物气、生物甲烷、水力和余热。来源：丹麦能源署 2019

沃旭能源（Ørsted）是一家在过去十年间脱胎换骨的能源企业，从几乎完全基于传统化石能源转变成可再生能源，并取得了经济收益。2006年，企业81%的股权归丹麦政府所有，其投资组合中85%的资产来自化石燃料，这让它成为了欧洲煤炭密集度最高的企业之一，排放量几乎占到丹麦总排放量的三分之一。2019年，公司更名为 Ørsted，开始贯彻新的商业模式：50.1% 国有，投资组合中90%为可再生能源。事实上，丹麦的很多能源公司都开始了绿色转型，但鉴于沃旭能源是丹麦最大的电力公司，因此被选为本报告的研究案例，作为从黑色能源到绿色能源转型的同时保持盈利的最佳示范。

此报告的发布目的主要有两方面：首先，它从政策和监管的角度，概述了丹麦加快脱碳化的进程。其次，基于对沃旭能源转型的案例研究，旨在为其他公用事业机构提供知识经验与建议。报告的撰写得到了丹麦能源署（以下简称为DEA）的支持，从政府、学术界和沃旭能源高级专家的采访中获得了许多宝贵的信息。报告开篇提供了一份详细的时间线，列举了丹麦的能源政策和沃旭能源发展过程中的重大事件，后篇列举了一系列经验和建议，为全球各地的监管机构、政策制定者及能源公司朝着可再生能源的方向，实现公平、可持续的转型提供灵感和帮助。

世界许多国有能源企业都在计划从传统化石燃料向可再生能源转型，本报告的发布正值全球气候变化和可再生能源的快速增长时期。如果要从中列举一项明确的成果，那就是绿色能源转型必须维持竞争性、相关性和盈利性。

“仅靠政府无法改变世界，仅靠企业也不行。政府和企业必须携手共进。企业擅长将事情落在实处，而政府在设定议程、描述愿景以及设定某些目标方面发挥着关键作用。”

沃旭能源英国区负责人邓肯·克拉克(DUNCAN CLARK)

报告强调了能源规划和政策是如何创造必要的框架条件，以激励从化石燃料到可再生能源（对丹麦来说，主要是风能和生物能）的大规模转变。报告着重介绍的知识经验是：能源规划和政策应该是长期的、透明的、稳定的，应该通过具体的改革，从立法上予以支持。

从监管机构和政策的角度来看，推动丹麦顺利完成转型的一系列工具如下：

- 补贴和税收等经济激励
- 基于竞争的电力部门改革
- 通过公私合作或合资企业来推行示范项目和测试设施
- 去风险化及审批手续改革
- 在研发上注入投资
- 可再生能源的本地所有权

为能源公司提供的主要建议：

- 视可再生能源市场为增长市场，制定新可再生能源的市场进入策略。通过投资和开发技能基础，落实相关政策。
- 通过可再生能源把握战略发展方向，吸引新项目融资。
- 与政府机构合作，制定减少耗煤量、剥离化石燃料资产的策略。例如将煤炭转变为可持续生物能，或对现场进行全面翻修，为使用可再生能源创造有利条件，将化石燃料厂作为备选设备。

部长序言

丹麦气候、能源和公用事业部长达恩·约恩森

《巴黎协定》要求我们大幅改变生产及消费能源的方式。为实现此目标，丹麦颁布了极具雄心的政策和立法，渴望引领全球转型，实现更具可持续性的未来。

我们设定了2030年温室气体排放量相比1990年减少70%的目标。根据最新的预测，到2028年，丹麦的电力将100%来源于可再生能源；到2030年，58%的总能源消耗来源于可再生能源。2020年，丹麦已经有50%的电力消耗源自风能和太阳能，全国总能耗中煤炭的占比不到3%。我们正在向实现无化石燃料的能源系统稳步前行。

要同时实现持续的经济增长、较高的供应安全、可负担的电价以及不断提高的可再生能源比重，势必会遇到挑战，而丹麦在这方面积累了宝贵的经验。与此同时，丹麦可再生能源部门的发展也达到了世界领先水平，在当前的丹麦经济中发挥着关键作用。

通过分享曾经完全所有的能源公司从黑色能源到绿色能源转变的成功经验，我们希望能够为政治决策者和监管机构，以及世界各地其他的能源公司提供一些灵感和启发。让它们能够采用类似的方式，走上更清洁的能源道路。

丹麦之所以能够取得今天的成绩，离不开大胆的决策、开拓进取的精神以及政府、行业与民众之间的广泛合作。以前的政策和商业模式将不再适用于未来，政府要设定远大的目标，颁行有效的监管制度来支持目标的实现，激励并促使企业发起转型，确保投资人、行业和公民社会的信心。

我们希望读者能得到启发，也希望此报告中介绍的知识经验能对贵国的绿色转型产生助益。



达恩·约恩森 (Dan Jørgensen)
丹麦气候、能源与公用事业部长

目录

执行摘要 / 关于本出版物	4
部长序言	6
时间线: 丹麦可再生能源发展历程	8
70年代和80年代: 石油危机引起了对新能源政策和技术的需求	10
1990至1995: 播下可持续发展的种子	12
1996至2000: 丹麦处于变革前沿, 欧盟发展自由内部市场	14
2001至2006: 电力供应迈入新时代	16
2007至2010: DONG Energy率先发起绿色转型, 以实现全新的长期政治目标	18
2011至2016: 丹麦告别煤炭时代, DONG Energy开始海外扩张	20
2017至2021: 丹麦提振绿色转型雄心	22
知识经验	24
政策侧的知识经验	24
规划: 设置好长远可靠的目标	26
建立示范项目	27
经济激励	28
竞争	30
许可和去风险	32
从能源公司业务转型中获得的知识经验	34
制定可持续愿景	36
策略性淘汰化石燃料	38
可再生能源的进入策略	42
建议	47
为政府部门所提供的建议	47
为能源公司所提供的建议	48
结论	50
参考文献	51

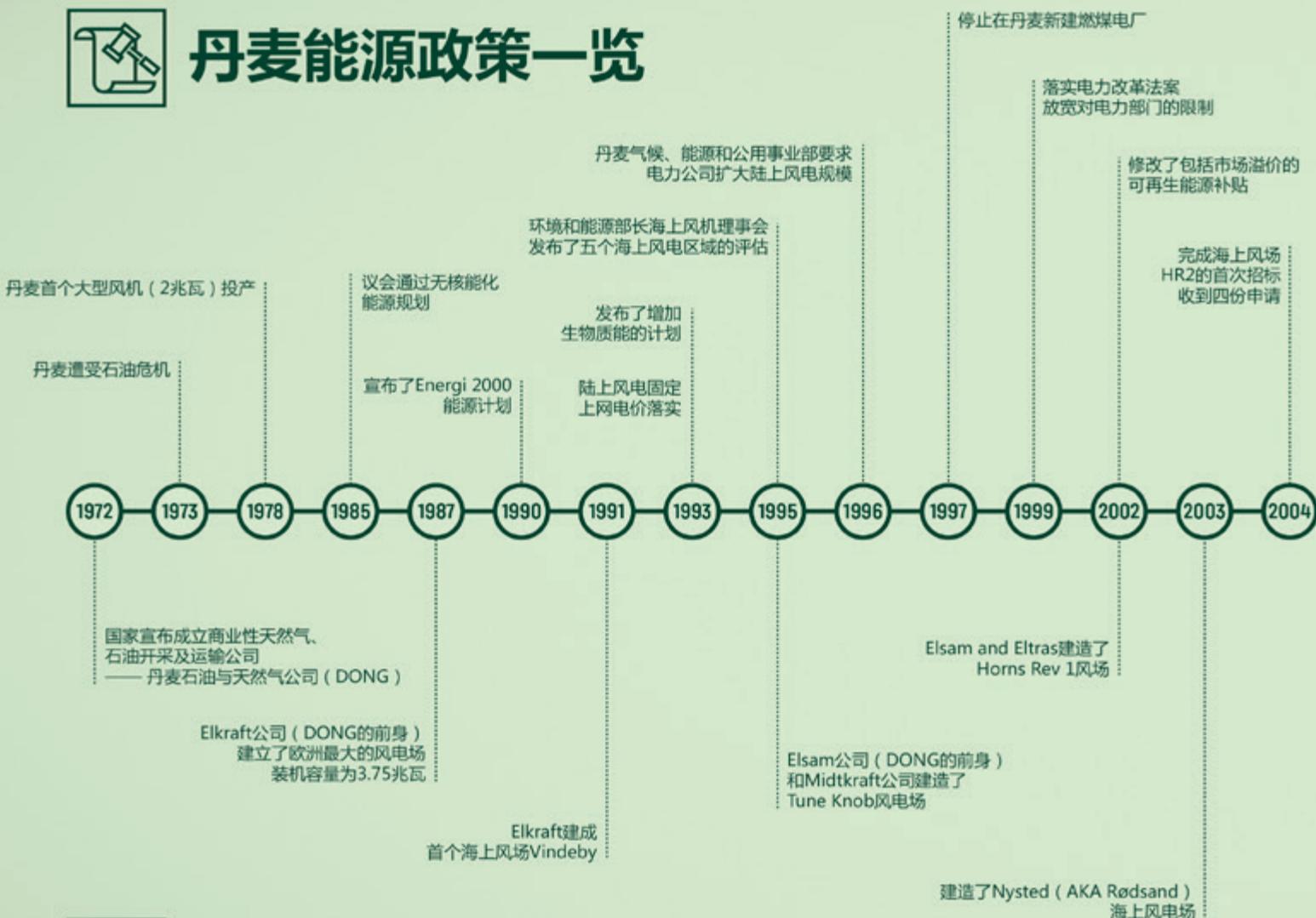
时间线

丹麦可再生能源发展历程

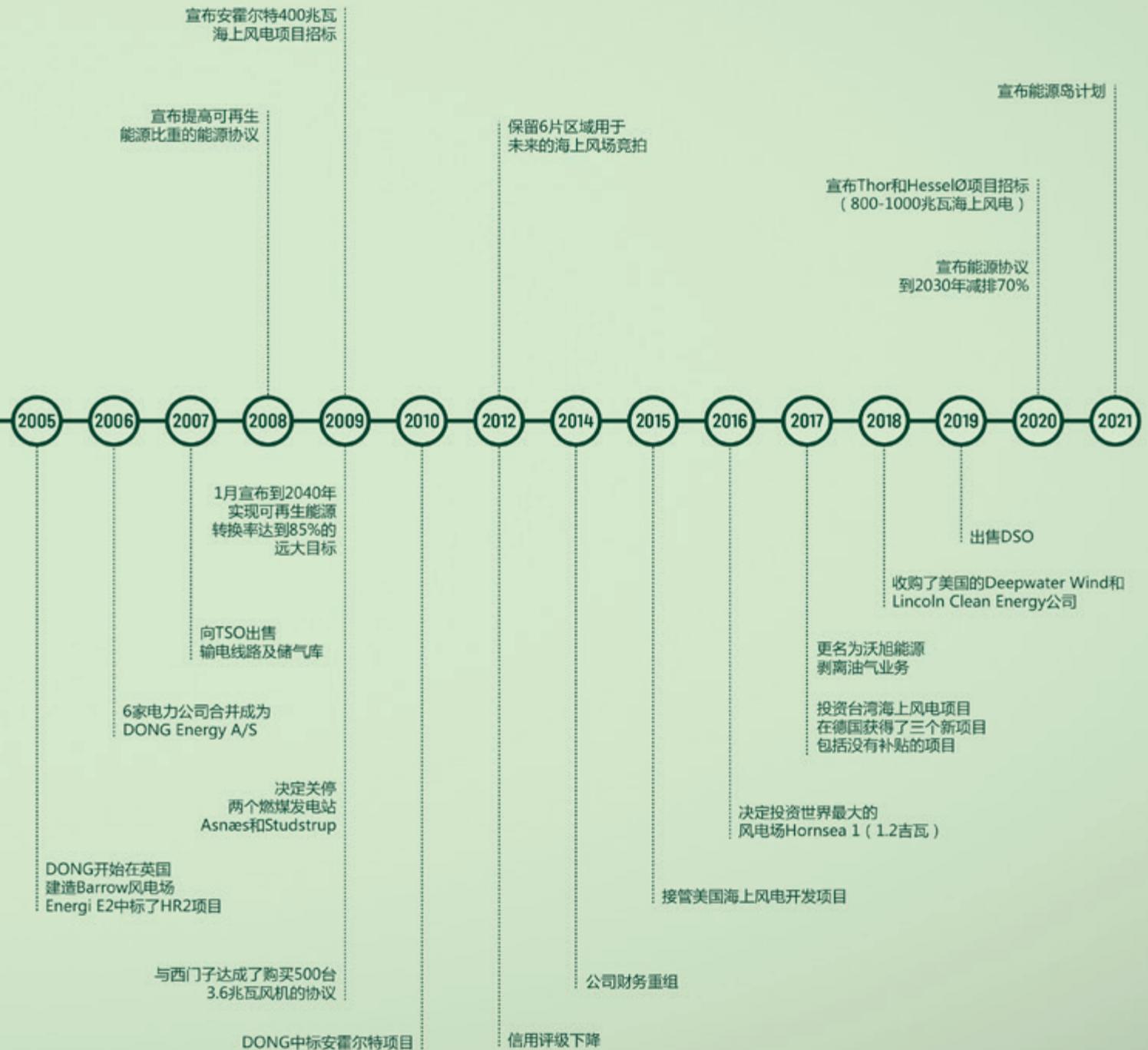
丹麦和沃旭能源绿色能源转型中的关键里程碑



丹麦能源政策一览



丹麦国有电力公司



时间线

70年代和80年代

石油危机引起了对新能源政策和技术的需求



1972年，石油在丹麦总能耗中的占比高达92%。1973年，石油输出国组织（OPEC）发生石油危机，石油价格翻倍增长，丹麦的经济和能源供应也遭受重创。1973/74年的冬季，丹麦发起了“无车周日”等短期措施，以应对石油危机的严重影响。此事件成为了开展长期能源规划的催化剂。

丹麦能源署的成立和政府“1976年丹麦能源政策”的出台掀起了一波高潮。该政策的短期目标包括降低丹麦对石油的依赖性、提高供应多样性、减少能耗，也包括增加能源领域的研究与开发；长期目标则是减缓自然资源的损耗，开发稳定的长期解决方案，通过使用可再生能源满足能源需求。在这之中，最早付诸实施的措施是将发电厂燃料从石油快速转换为煤炭。

最初，本地开采的天然气被视为丹麦能源危机的解决方案。1974年，丹麦国有天然气公司Dansk Naturgas与丹麦国有石油公司合并，创建了丹麦石油与天然气公司（DONG A/S），后来演变成为沃旭能源（Ørsted）。丹麦石油与天然气公司主要从事天然气批发业务，向地方天然气公司输配天然气。同时，西丹麦的电力集团Elsam旗下有7家电力公司，东丹麦的电力集团Elkraft旗下有3家电力公司。这两家集团公司负责规划新的电力容量和煤炭进口，也负责总输配系统及系统运营。

能源协议或气候协议是对政府有约束力的政治性协议文件，在正式发起修正立法或者出台新立法的程序之前，须在议会上获得多数赞成票。以2020年《气候法案》为例，2019年12月6日，丹麦议会的10个党派中的8个党派初步同意颁布此法案，之后通过了三次议会程序，召开委员会听证会，最终在2020年6月26日出台了具有法律约束力的《气候法案》。大多数重大能源政策都是通过这种方式确定的，因此即便政府更迭，也能确保丹麦能源规划的连续性和稳定性。

尽管从19世纪90年代末期起，丹麦科学家就开始尝试将风力作为一种能源形式，并取得了不同程度的成功。但在20世纪70年代发生能源危机之后，风能才真正获得关注。丹麦政府加强了对技术研发的资金支持，并在1976年出台了对风能发电的补贴。两年之后，在丹麦西北部日德兰半岛的一所高中校园里架设了世界上第一台大型风机（2兆瓦），并成功接入电网开始供电。直到今日，这架风机依然在运行。1979年，丹麦议会通过了《天然气供应法案》和《供热规划法案》，开始进一步利用电厂余热和天然气。



1973
丹麦发生石油危机



1972
国家宣布成立商业性天然气、石油开采及运输公司DONG

自1984年起，议会通过与电力税相当的上网补贴，创造了一个小型25-55千瓦风力发电机的市场。国内对风力发电机的需求不断增长，促使不少小型工程公司着力开发容量较大的风机，实现了工业化批量生产。协议中也包括一些更加远大的目标，例如提高碳氢化合物的回收率，收紧对新建设项目的能源要求，评估核能的需求等等。如有需求，则进行全民公投。也是在20世纪80年代，丹麦引进了二氧化硫和氮氧化物配额制。

在邻国瑞典开发核能之时，丹麦公众却对此表示出强烈的反对。因此，丹麦决定不将发展核能列入考虑范围。在1985年3月能源协议（丹麦能源署，1985）的支持下，丹麦通过了一项关于无核化公共能源规划的决议。进口石油和核能被排除在丹麦的能源构成之外，对安全环保的本地能源的探索仍在继续，直到两份能源协议的发布为丹麦能源转型的主要能源奠定了基础——风能、天然气和基于生物质的热电联产厂（CHP）。

九个月后，能源部和一些国有能源企业达成了另一项能源协议，以增加试点项目中的风机发电量。此协议是代表公用事业机构提出的，目的在于将风电并网纳入规划。能源企业收到一个任务：在1986到1990年期间，安装100兆瓦的装机容量（相比之前五年的装机容量翻了一番）。《电力供应法案》允许将开发成本纳入到电价中，而能源公司借此契机，促成了风能专业化方面取得了重大进展。

一年之后，1986年的新能源协议提出了要求，要求能源公司基于天然气、秸秆、木质生物质、废弃物和沼气等国内燃料，开发450兆瓦分散式热电联产厂的示范项目。这种基于生物质的分散式热电联产厂是一项新的技术。以示范项目入手，有助于为实现大规模扩张累积所必需的技术和经济经验。

这些政府倡议让丹麦踏上了开发风能的冒险之旅。1987年，Elkraft公司在丹麦东南部的马斯内岛（Masnedø）建成了当时欧洲最大的陆上风电场。此风电场装机容量3.75兆瓦，包括五个750千瓦的风力发电机。第二年，一个被命名为Nørrekær Enge的风电场打破了这一纪录。该风电场的装机容量为4.68兆瓦，其中包括了36个额定单机容量为130千瓦的风力发电机。

1978

丹麦的首座大型风机（2兆瓦）投入使用

1985

议会通过无核化能源规划

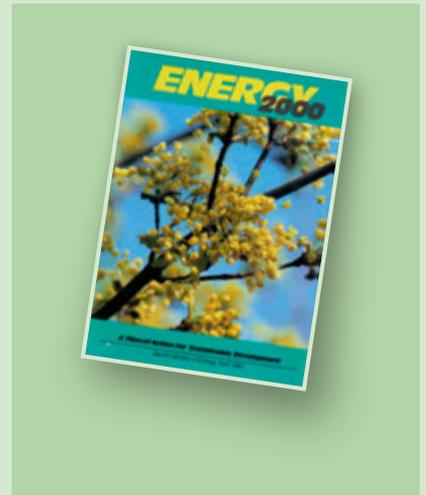
1987

Elkraft公司（DONG的前身）建立了欧洲最大的风电场，容量为3.75兆瓦

时间线

1990至1995

播下可持续增长的种子



1990年3月，能源协议提出要提高陆上风电的装机容量，即在1994年之前再增加100兆瓦，并提高热电联产厂、天然气以及其他“环保燃料”的利用率。这是丹麦政府对世界环境与发展委员会发布的《布伦特兰报告》中提出的建议和对《2000年联合国环境展望》的回应。这就要求在1996年之前，将燃煤集中供热工厂转变为燃气分散的热电厂。根据与能源部协同制定的计划，能源公司被允许参与到风电开发之中。随后，能源公司发布了一份关于风电开发的联合报告。这是能源部与能源公司作为密切利益相关方参与政策开发的一个范例，旨在实现提高社会经济福利和环境效益的政治目标。此项政策的影响立竿见影：在日德兰半岛Skærbæk发电站新建一个350兆瓦机组的申请被驳回，因为它不符合从分散式热电联产厂处采购环保燃料的协议标准。

在能源协议之后，1990年4月，一项名为“能源2000——可持续发展行动计划”的能源行动被提交至丹麦议会。此项行动的目标是到2005年，减少15%的能耗以及至少20%的二

氧化碳排放。这是丹麦能源政策领域的一个里程碑，它将气候和能源政策合二为一，也被认为是全球首个减少二氧化碳排放的政府计划。行动计划还就二氧化碳和二氧化硫排放提出征收环境税。丹麦也是全球首个付诸行动的国家，分别于1992年、1995年和2008年，通过引进二氧化碳、二氧化硫以及氮氧化物税实现了此目标。在能效方面，也出台了进一步的广泛倡议。

1990年下半年，丹麦的工作重心是设定二氧化碳减排目标的跨境协作。1990年10月，在卢森堡召开了欧洲共同体理事会联合会议之后，丹麦国内也开始着手商定稳定二氧化碳排放的目标。两周之后，北欧能源部长们在奥斯陆宣布了旨在应对温室气体的共同倡议。



1990
宣布“能源2000计划”



1991
Elkraft建造首个海上风场
温德比(Vindeby)海上风厂

1993
陆上风电使用固定的上网电价

1992年，丹麦开始对风电提供补贴，并对建成的区域供热管网提供国家支持，以推广分散式热电联产和生物能的利用。由于当时电力市场还未成形，因此对风电的支持采用的是固定上网电价（FIT）的形式，供电商收到的是恒定的供电价格。1993年6月，能源协议将推广生物质纳入其中，包括要求使用剩余秸秆和木屑作为燃料。协议的主要内容是将大型中央热电联产厂转变为生物质发电，并率先从燃煤电厂开始。随后，规定所有新建电厂必须基于百分百生物质供能，并对如何降低生物质发电成本发起了一项大型研究项目。与此同时，丹麦宣布禁止露天焚烧生物垃圾。

20世纪90年代早期的政策发展势头，带动了能源公司之后的具体项目发展。1991年，Elkraft完成了一个具有历史意义的示范项目，名为温德比（Vindeby）。温德比是全球首个海上风电场，它的出现一是为了响应1985年协议，二是因为在陆地上已经难以找到适当的空间。温德比风场拥有11架450千瓦的风力发电机，总装机容量略低于5兆瓦。考虑到海水深度仅为2到7米，项目基本上使用的是陆上风机。尽管一开始，

风力发电机在性能方面遇到了挑战（风机必须运回到陆地上进行修理才能再次安装），但此项目有效地证明了海上风电场在技术和经济方面的可行性。丹麦也从中学到了宝贵的经验，例如需要制定精密的运维（O&M）计划，需要特制的船只进行设备的安装和运维等等。温德比风场能为约2200户人家供电，为延续至今的大型海上风电场奠定了基础。2017年，因为机械老化，温德比风场停止运行。1995年，Midtkraft和ELSAM合作执行了另一个示范项目，全球第二座海上风电场——Tunø Knob海上风电场。

更有效地使用海上风能资源，加上能够避免陆上风电的土地使用限制，意味着海上风电项目越来越受欢迎。但是，多个利益相关方同时进入海域却成为了一个问题。1995年，环境与能源部的海上风力发电机委员会提出了对丹麦水域的监管规划，包括环境保护、导航、军事、渔业和视觉后果等等。报告指定了五个主要区域作为未来海上风电场的合适选址地。

1993

发表《关于增加生物质能利用的协议》

1995

环境和能源部长海上风机理事会
发布了五个海上风电区域的评估

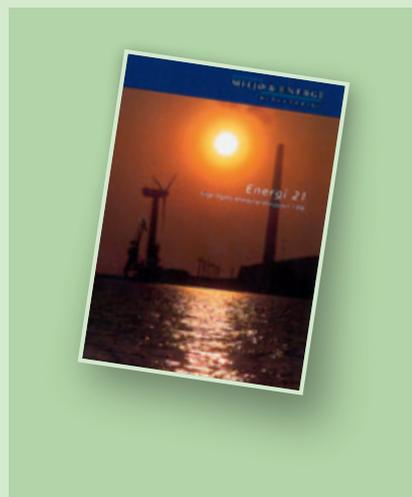
1995

Elsam公司（DONG的前生）和Midtkraft公司
建造了Tunø Knob风电场

时间线

1996至2000

丹麦处于变革前沿
欧盟发展自由内部市场



20世纪90年代后期，欧盟通过了内部电力市场指令，逐步开放欧洲电力系统的市场竞争，成为欧盟内部市场的一部分。1996年，欧盟及其成员国通过了第一项能源一揽子计划，设定了欧洲电力市场自由化的目标，其中也包括丹麦的电力市场。

1996年，丹麦环境与能源部向电力公司提出了到1999年新增200兆瓦陆上风电和到2005年新增900兆瓦陆上风电的倡议，以加快丹麦陆上风电增长。一年之后，即1997年，丹麦环境与能源部和电力公司发布了一项行动计划，计划指出，海上风电的价格可能远低于预期。1996年，丹麦引入了专项税用于收取优先发电补贴，即公共服务税（PSO）。PSO通过消费者支付电费的方式进行缴纳。从1999年起，此类税收被用于为可再生能源、环保型能源技术的研发以及分散式热电联产（小型热电联产厂）提供补贴。但欧盟认为，PSO的一部分违反了欧盟协定，例如在丹麦销售电力的外国可再生能源生产商无法获得补贴。2016年，丹麦议会决定从2017至2022年，逐步淘汰公共服务税。从2022年起，可再生能源的补贴从国家预算中拨付。

也是在1997年，丹麦政府开始拒绝批准完全或部分以煤炭作为燃料的新电厂。当时，电力公司Midtby申请在丹麦第二大城市奥胡斯建造部分燃料为燃煤的热电联产厂，但这份申请很快就被驳回。1994到2001年期间，丹麦环境与能源部长斯文·奥肯（Svend Auken）在推动可再生能源发展方面起到了重要作用。他极力支持海上风电和应对气候变化，并在世界自然基金会（WWF）在华盛顿举办的“地球生命力”活动上，承诺建造750兆瓦的海上风电场，作为“献给地球的礼物”。1997年，丹麦取得了一项值得瞩目的成就，实现了长久以来的能源独立目标，即能源生产量超过了能源消耗量。1998年，丹麦环境与能源部向电力公司提出了开发五个150兆瓦海上风电场作为示范项目的任务。

为了回应“献给地球的礼物”这一承诺，丹麦政府与能源公司达成了一项政治协议：在Horns Rev（西丹麦的Elsam）和Nysted（东丹麦的Energi E2、DONG和Sydkraft）建造世界上第一批大型海上风电场（均为200兆瓦）。这些项目意义重大，为建造具有价格竞争力的大型项目打下了前期基础。



1996

丹麦能源与环境部要求
电力公司扩大陆上风电规模

1997

丹麦停止建造新煤电厂



也是在这段时期，丹麦实现了电力部门市场化（丹麦能源署，2020b）。两个平行事件推动了丹麦电力部门的市场化：挪威和瑞典电力市场的发展，欧盟集中精力发展欧盟内部市场——将电力视作一种跨国境自由贸易的商品。1999年，丹麦做好了电力部门市场化和建立电力市场的准备，以加强消费者保护、环境保护和供应安全性。改革之后不久，政府向西丹麦Elsam区域的六家电力公司和东丹麦Elkraft区域的两家电力公司提供了80亿丹麦克朗（约为11亿欧元）的扶持资金，确保电力公司能够在自由市场上持续运营，并在北欧电力交易所（Nord Pool）进行交易。如此一来，便能确保消费者获得可能得到的最低价。

本世纪初，丹麦海上风电市场继续增长，发生了两件值得注意的大事件。一是米德尔格伦登（Middelgrunden）海上风电场建成。风场归本地公用事业机构Copenhagen Energy及风力发电机合作社所有，该风场可以从哥本哈根的海岸上看到。二是丹麦能源署批准了两个临近萨姆索岛（Samsø）和格雷诺港（Port of Grenå）的小型海上风电场的可行性研究。值得一提的是，萨姆索风电场归萨姆索市政及萨姆索市民共同所有。

同时，随着技术的不断改进和补贴的增加，陆上风电经历了一波高速增长时期。2000年，风电占据了丹麦耗电总量的13%。

丹麦风电的累积装机容量

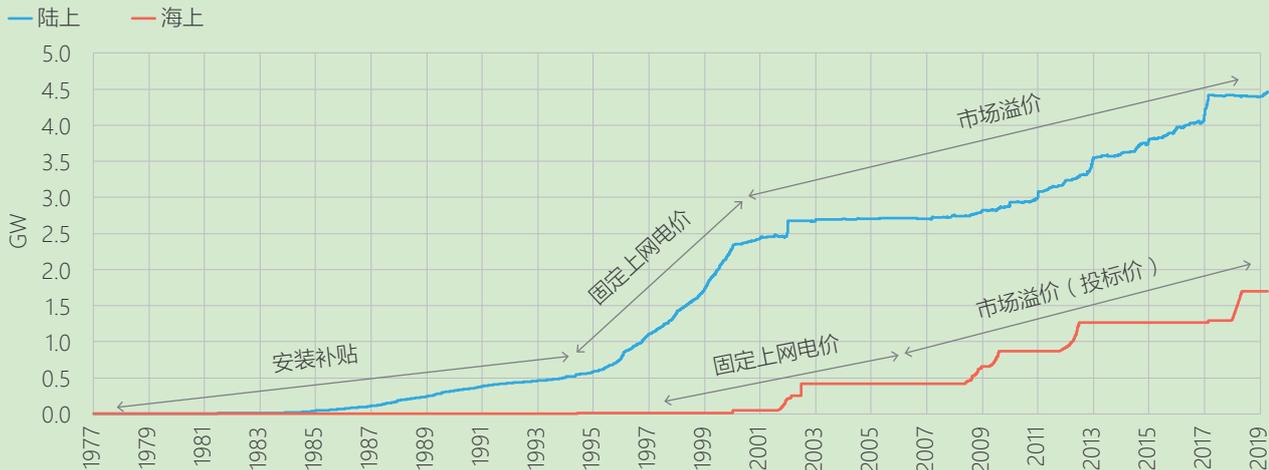


图2: 20世纪90年代，丹麦陆上风电快速增长。到2000年，丹麦实现了市场自由化和低电价，发电补贴减少。此后的增长主要来自风力发电机产品代和规模的更替。2004年以后安装的海上风机都是通过竞标程序确定的，而此前的项目都是通过政府和社会资本合作完成的示范项目，享受固定上网电价。注意，该数据不包括最近连接的600兆瓦海上风电场Kriegers Flak。

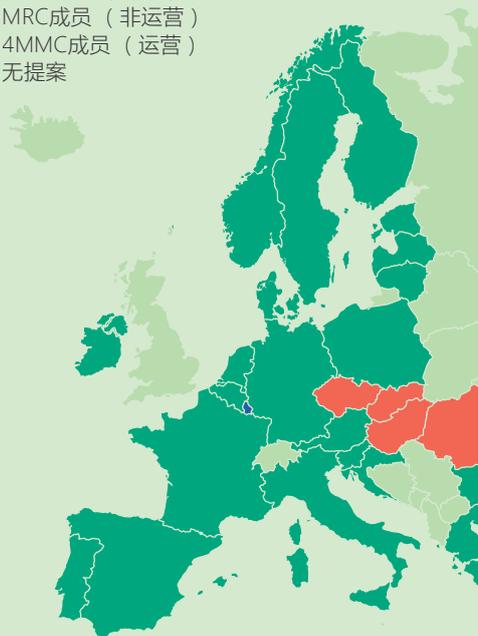
1999

落实电力改革法案
放宽对电力部门的限制

2001至2006

电力供应迈入新时代

- MRC成员（运营）
- MRC成员（非运营）
- 4MMC成员（运营）
- 无提案



新世纪伊始，丹麦迎来了全新的电力部门。在欧盟的要求下，丹麦成功落实了市场化和改革。几乎在一夜之间，电力生产的所有权从垄断机制转变为基于市场的竞争机制。补偿从长期实物合约转移到短期的流动性市场，和有工具的远期市场（例如2000年引进的电价区域差异）。债务偿付之后，电厂有权在新创立的日前市场，即北欧电力交易所的Elspot市场上进行交易。东丹麦和西丹麦分别是北欧和欧洲大陆区域的一部分，在2010年之前并没有相互连通。所以，丹麦拥有两个价格区域是一种自然的拆分。在竞价区之间交易电力所体现的社会经济效益是，发电商可以在临近区域以更高的价格出售电力，可供消费者选择的发电商数量增加，从而降低电力价格。

丹麦还在这一时期引进了二氧化碳配额制，设定了2000到2003年的年度配额：每年减少100万吨（Mt），从2000年的2300万吨减少到2003年的2000万吨。配额超标的生产商要向国家支付40丹麦克朗每吨的费用（约为5.38欧元/吨）。

与上世纪90年代的强劲发展势头相比，陆上风电在新世纪伊始的发展速度大幅下降。这归因于两方面：

图3: 日前市场的整合始于1999年的市场化。到2021年，日前市场整合了25个国家，电力需求大约为3,000太瓦时/年（欧洲输电运营商联盟）。更多信息可参见“欧洲输电运营商联盟，2021”。



2002
修订可再生能源补贴
包括市场溢价



2002
Elsam和Eltras建造了
Horns Rev 1风电场

2003
建造了Nysted（AKA Rødsand）海上风电场

1. 首先，通过新创立的电力市场，修订了对风能的扶持政策。1993年建立的上网电价被市场溢价所取代，意味着可再生能源发电商会受到市场价格的影响，但它们能在市场价格之上收到溢价。这在当时还是一个新系统，电价存在不确定性，也给项目开发带来了不确定性和一定的风险。由于产能过剩，北欧的电价相对较低，这也导致陆上风电厂在新方案中的吸引力下降。而这些风险在制定新扶持方案时，可能并未纳入考虑。
2. 其次，当时欧洲市场的特点是“卖方市场”。尤其是英国和德国为陆上风电项目的开发商提供了更有吸引力的市场。

另一方面，海上风电延续了前些年的发展状态。2004年，丹麦议会达成了新能源协议，引进了海上风电招投标的概念，这也是全球首个海上风电招投标系统。招投标采用竞价的方式，开发商通过投标获得开发项目所需的政府支持。因此，竞拍调动了开发商提供成本效率的积极性。丹麦宣布对两个200兆瓦的海上风电项目进行竞拍——Horns Rev II和Rødsand II。Energi E2中标了Horns Rev II项目，Energi E2和E.ON Sweden以及DONG Wind A/S组成的联盟中标了Rødsand II项目。

这是两个最早进行招投标的海上风电项目，丹麦各方从中吸取了不少与竞拍相关的知识经验。在Rødsand II项目中，当得知风力发电机的价格上涨之后，最初的中标者拒绝继续进行项目的开发。因此，该项目进行了二次招标，中标者为瑞典电力公司E.ON Sweden。

DONG获得了在英国开发Barrow海上风电场的合约，这是丹麦公司在海外参与的首个海上风电场项目。

2005年，欧盟于引进了应对气候变化的排放交易体系ETS。系统基于“限额与交易”原则运作，设定一个限额，但限额会随着时间的推移而降低，企业可以用有限数量的排放额进行交易。它依然是世界上最大的碳市场，但在2008至2018年的绿色转型期间，它并未起到有效的推动作用。现在随着价格的回升，企业在做商业决定时，也应当将这一点纳入考虑。

2005年，丹麦创设了一个全国性的国有输电系统运营商（TSO）Energinet.dk。2006年，六家电力公司进行了合并，分别是DONG、Elsam、Energi E2、Copenhagen Energy和Frederiksberg Utility，组建成了DONG能源公司（DONG Energy A/S）。这一次大规模合并意味着仅一家企业就生产了当时丹麦60%左右的电力，且拥有进一步投资建设海上风电项目的必要资本。DONG能源公司的81%归丹麦国有，其产品系列中有85%基于化石燃料，这也让它成为了欧洲煤炭密集度最高的公司之一，几乎承担了丹麦三分之一的排放量。公司的业务领域包括：

- 北海油气生产与勘探
- 供电和供热（煤炭、天然气和生物质）——5,682兆瓦的热能产量
- 天然气批发业务
- 零售
- 小型可再生能源企业（包括Vindeby、Horns Rev I和Rødsand I）——总计828兆瓦可再生能源产量

合并经欧盟批准之后，丹麦政府宣布供DONG能源公司将在证券交易所上市。尽管当时上市计划已基本成形并进入实施阶段，但2008/2009年的全球金融危机暂缓了上市的脚步。

2004

完成海上风电场（HR2）的第一次招标
收到4份招标请

2005

DONG开始在英国建造Barrow风电场
Energi E2中标HR2项目

2006

6家电力公司合并成为DONG能源公司

时间线

2007至2010

DONG Energy率先发起绿色转型 以实现全新的长期政治目标



2007年3月，欧盟各国领导人制定了气候和能源政策一体化的目标，以应对气候变化，同时提高欧盟的能源安全和竞争力。这就产生了“20-20-20”目标，即欧盟各国家和政府首脑要在2020年之前实现的一系列目标。其中包括：

- 温室气体排放减少20%（与1990年水平相比）
- 欧盟20%的能源为可再生能源
- 能源效率提高20%

值得一提的是，这些目标在2009年通过立法付诸实施，具备法律约束力。欧盟的平均目标是20%，各国起点不同，具体数值有所差异。这意味着丹麦必须满足更高的目标。2008年，丹麦通过能源协议提出了更远大的可再生能源目标：到2011年，20%能耗源自可再生能源；到2025年达到30%。协议的中期目标是在2025年之前，减少至少15%的化石燃料消耗，长期目标是彻底摆脱化石燃料。协议中还囊括了一些新增内容，包括修改补贴方案，以改进陆上风电、生物质和沼气的发展条件，并宣布了一个400兆瓦海上风电项目的招投标情况。再举一个例子，2018年，在生物质和风能市场价格的基础上增加了15欧尔/千瓦时（0.02欧元/千瓦时）的补贴。

丹麦政府所做出的这些承诺，为DONG能源公司的彻底转型增强了信心。几个月后，DONG能源公司公布自立的意向：到2040年，将产品组合中占比85%的化石燃料转变为可再生能源。公司做出这一决定时全球正处于金融危机期，许多其他能源公司都选择放缓可再生能源发展的速度，更多地使用已知的技术。而DONG能源公司的这一举动，意义就显得更加重大。DONG能源公司2009年的年报十分值得关注，因为它是第一份提及电力生产碳强度（每生产一千瓦时电力排放的二氧化碳克数）的年度报告。自2009年起，碳强度就成为了年度报告的焦点。同一年，公司决定关停燃煤发电机组Asnæs 5和Studstrup 4，并因为公众的反对，废除了其在德国建造1600兆瓦Griefswald燃煤电站的计划。尽管当时，Griefswald电站已经规划了六年，也得到了德国联邦政府的支持。这一举动是能源领域方向变化的一大指标。

意识到基础设施和规模经济在减少海上风电成本中发挥的重要作用之后，2009年，DONG能源公司向西门子订购了500台3.6兆瓦的风力涡轮机，比当时世界上投入运行的海上风力发电机的总数还多。这是实现海上风机行业产业化的必要条件。



2008
通过能源协议
以提高可再生能源比重



2007
向TSO出售输电和储气业务

2009
1月：宣布了到2040年可再生能源
比重达85%的远大目标

海上风电也得到了机构投资人的支持，它们在为资本密集型海上风电项目筹集资金和分担股权投资风险方面提供了帮助。2010年，丹麦养老基金（Pension Denmark）为建造Rødsand风电场投资了大笔资金。在丹麦的启发下，英国和德国也宣布为海上风电场提供长期的资金支持，以提高这一潜在的新市场对DONG能源公司的吸引力。2011年，DONG能源公司做出了建造Borkum Riffgrund 1的投资决定，这是德国的第一个海上风电项目。

2009年，世界上最大的海上风电场——400兆瓦的安霍尔特（Anholt）项目启动了招投标程序。基于之前的招投标经验，此次招标过程中引进了处罚制度，即如果中标者弃标，就必须支付罚金。此外，招投标规定，如果中标者在第一个半年内弃标，则排在第二位的出价者必须接管项目。另外，提出必须在四年时间内建成安霍尔特项目，这在当时是一个

破纪录的项目完成时间。当时，英国的第一轮招投标带动了很多项目开发，导致风力发电机市场发展过热，这也意味着风力发电机及零部件的成本高于之前的Horns Rev II项目招标。在全球金融危机的背景下，这些因素加在一起了，导致最终只有一家公司以高于前两次招投标的价格中了标。这家公司就是DONG能源公司。政府决定接受出价，按计划进行项目建造。

从此次招标中学到的最重要经验之一，就是要系统性地去除过程风险。例如在招标之前，就将行业纳入市场对话中。通过这种方法，行业和政府就能够讨论与招标相关的所有事项，调整惩罚错失，提高了下一次招标过程中各个节点的灵活性，最终获得更低的价格。在《丹麦海上风电投标模型》（丹麦能源署，2020d）这一出版物中可以找到与丹麦海上风电投标模型相关的更多信息。

丹麦海上风电竞标



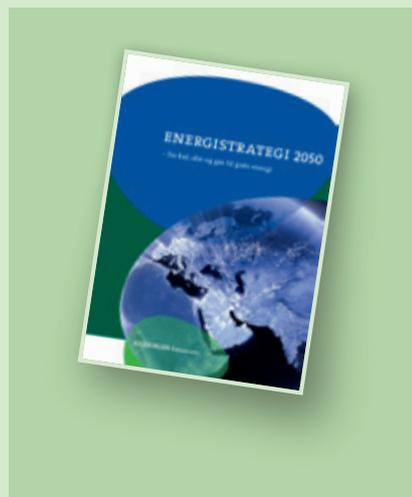
图4: 丹麦海上风电竞拍的价格和年份。气泡的大小与项目容量相关。注意截至2021年，1丹麦克朗≈0.13欧元。



时间线

2011至2016

丹麦告别煤炭时代 DONG Energy开始海外扩张



2011年，丹麦政府发布了“能源战略2050”协议，提出了到2050年彻底摒弃化石燃料的远大目标。这连带出了2011年底发布的“我们的能源”这一协议。此协议旨在扩大可再生能源的发展，尤其是风能、生物质和沼气等能源，目标是以生物质取代热电联产厂使用的煤炭和天然气，重点在于温室气体（GHGs）减排。具体而言，就是到2020年，排放量相比1990年水平下降40%，丹麦电力的50%源自于风能；到2035年，供热和电力部门全部源自可再生能源。丹麦还宣布将在2030年之前完全淘汰煤炭。此后，多个欧洲国家沿用了此种里程碑式的目标。例如英国于2015年决定到2025年逐步淘汰煤炭；法国于2016年决定到2023年停止使用煤炭；葡萄牙和芬兰决定到2030年淘汰煤炭。

丹麦政府决定继续扩大海上风电。2012年，基于社会经济评估，丹麦选定了六块区域，用以进行大规模海上风电场开发。这六片区域的开发必须通过政府招投标来进行。同一年，丹麦TSO Energinet发起了两个海上风电场的可行性研究，分别是Horns Rev III（400兆瓦）和Kriegers Flak（600兆瓦）。

2012年，根据惠誉（Fitch）评级，DONG能源公司的财务展望被降级为“负”，标准普尔（S&P）信用评级从A降为BBB+。降级的原因之一是公司对天然气价格有较高的依赖性。从2012年，天然气的价格呈下降之势。同年，天然气合同也被终止。2012年8月，亨里克·波尔森（Henrik Poulsen）被任命为公司的首席执行官。上任后，他采取的首要举措之一就是起草了一份行动计划，以调整企业的财务状况。丹麦财政部随即发起了为DONG能源公司寻找资本注入的过程。在2013年和2014年，议定了一份约130亿丹麦克朗（约17.5亿欧元）的计划，向Goldman Sachs（19%）和丹麦养老基金ATP和PFA（加起来7%）出售股份，而国家依然保留过半数所有权。此过程具有政治敏感型，与政府的影响息息相关。2014年，公司的财务状况再次回稳。



2012

选定6个区域用于未来的海上风电场竞拍



2012

信用评级下降

2014

公司财务重组

从2012年起，丹麦的电力生产商和消费者就能够与热能用户分享热电联产厂在热能生产中所节省的燃料税。2014年，达成了一项有关生物质的可持续性标准行业协议，以符合国际标准。同一年，丹麦政府鼓励热电联产厂改用生物质能。DONG能源公司随即决定将Studstrup和Skærbæk两座电厂改为生物质电厂。

DONG将业务进一步拓展到了国际海上风电市场。2015年，公司接管了美国的一个海上风电开发项目，成为公司第一个在欧洲境外开发的项目。与此同时，DONG能源公司成为了全球最大海上风电场的主要投资方，即2015年的Walney Extension风电场（659兆瓦）和2016年的Hornsea 1风电场（1.2吉瓦），两者都位于英国。当时，Hornsea 1是世界上最大的风电场，是海上风电场容量第一次突破“吉瓦大关”。DONG也在荷兰中标了Borssele 1和2项目。这些打入国际市场的项目进一步巩固了DONG能源公司作为海上风电市场领军者的地位。

从2006年到2016年，丹麦的年度温室气体总排放量减少了大约2500万吨。截至到2016年，DONG能源公司的减排率达到了约53%。

2015

接管美国海上风电开发项目

2016

决定投资世界最大风电场Hornsea 1（1.2吉瓦）

2017至2021

丹麦提振绿色转型雄心



2019年，太阳能及风能的发电量占据了丹麦50%的电力消耗。2019年12月，丹麦政府宣布了一项具有法律约束力的气候法案，规定丹麦以1990年为基线年，到2030年二氧化碳减排70%，到2050年实现气候中和的目标。该气候法案经丹麦议会多数议员批准通过，囊括了以下几项关键倡议：

1. 新时代：全球首两个能源岛（装机容量高达10吉瓦）和更多的可再生能源

- a. 其中一个能源岛——博恩霍尔姆（Bornholm）能源岛的装机容量到2030年达到2吉瓦
- b. 位于北海的人工能源岛的容量到2030年达到3吉瓦
- c. Hesselø海上风电场（800-1200兆瓦）的招标将于2023/2024年最终确定
- d. Thor海上风电场（800-1000兆瓦）的招标将于2021年最终确定（在气候协议之前宣布）

2. 投资未来绿色的技术——碳捕获与电力多元转换

- a. 自2024年起，每年拨款8000万丹麦克朗（大约1080万欧元）用于碳捕获与储存
- b. 通过招标建造容量为100兆瓦的大型电力多元转换设施，荷兰决定进行约10亿丹麦克朗（约1340万欧元）的投资

3. 行业的绿色转型

- a. 2020至2030年，为电气化和能源效率拨款25亿丹麦克朗（约3360万欧元）
- b. 2020至2030年，为沼气和其他绿色燃气提供29亿丹麦克朗（约3900万欧元）的补贴

4. 能源效率和翻修效率

5. 绿色供热，包括为余热、区域供热和电热泵提供支持，并对生物质的可持续性提出了要求

6. 绿色交通

7. 绿色税改

随着海上风电装机容量的不断增加，电力多元转化可将剩余风电，通过电解槽生产氢气，从而实现重型运输机的脱碳化。在工业，该技术在满足天然气电网的某些限制的前提下，作为一种媒介用于生产氨（NH₃）或甲醇（CH₃OH）为重型运输提供绿色生物燃料。



2017

投资台湾海上风电项目在德国获得了三个新项目，其中包括了不含补贴的项目

2017

更名为沃旭能源（Ørsted）剥离油气业务

2018

收购了美国的Deepwater Wind和Lincoln Clean Energy公司

DONG能源公司的绿色转型仍在继续，财务状况也在不断改善。2017年是公司的另一个关键年，因为公司剥离了自身的油气业务，并更名为沃旭能源（Ørsted）。更改公司名字既是为了纪念发现了电流磁效应的丹麦科学家汉斯·克雷斯提安·奥斯特（Hans Christian Ørsted），也反映了公司新发展路径，即朝着绿色能源的方向调整产品组合。沃旭能源在证券交易所上市，以150亿美元的金額完成了世界第二大首次公开募股（IPO）。

同年，公司还决定投资台湾的第一个海上风电场项目 Formosa 1以及德国的三个新海上风电场项目，其中包括了首个没有补贴的项目。根据时任DONG能源公司的执行副总裁和风电部门首席执行官塞缪尔·利奥波德（Samuel Leopold）的说法，“零补贴出价是海上风电成本竞争力的一项突破，它证明了此项技术实现全球增长的巨大潜力，可在具有经济可行性的绿色能源系统转型中发挥支柱作用。更便宜的清洁能源可惠及政府和消费者，也将对巴黎协定所制定的应对气候变化目标做出贡献。当然，值得注意的是，零补贴是竞标中多个环节的产物，窗口期延长到了2024年。如此一来，开发商可以采用下一代风机，有助于实现成本的大幅下降。此外，电网连接并未包含在其中。”

大约在同一时期，瑞典国有电力公司Vattenfall将三座大型热电联产厂（Amagerværk、Fynsværket和Nordjyllandsværket）分别出售给了丹麦三个城市（哥本哈根、欧登塞和奥尔堡）的公用事业公司，这三家公用事业公司都将淘汰煤炭提上了日程。Vattenfall认为，在丹麦建设燃煤发电厂已经没有吸引力。之后，Amagerværket和Fynsværket工厂都改用了生物质，Nordjyllandsværket也计划在2028年之前改用生物质。

第二年，沃旭能源决定在2025年之前，在绿色能源领域投资2000亿丹麦克朗。公司还收购了两家美国风电开发商 Deepwater Wind和Lincoln Clean Energy，标志着公司进入美国市场，进行陆上风能、太阳能和蓄能领域的风险投资。2019年12月，公司决定出售天然气业务，一个月后，沃旭能源在《企业爵士》的2020年全球最可持续公司100强排名榜首（Corporate Knights，2021）。



政策侧的知识经验

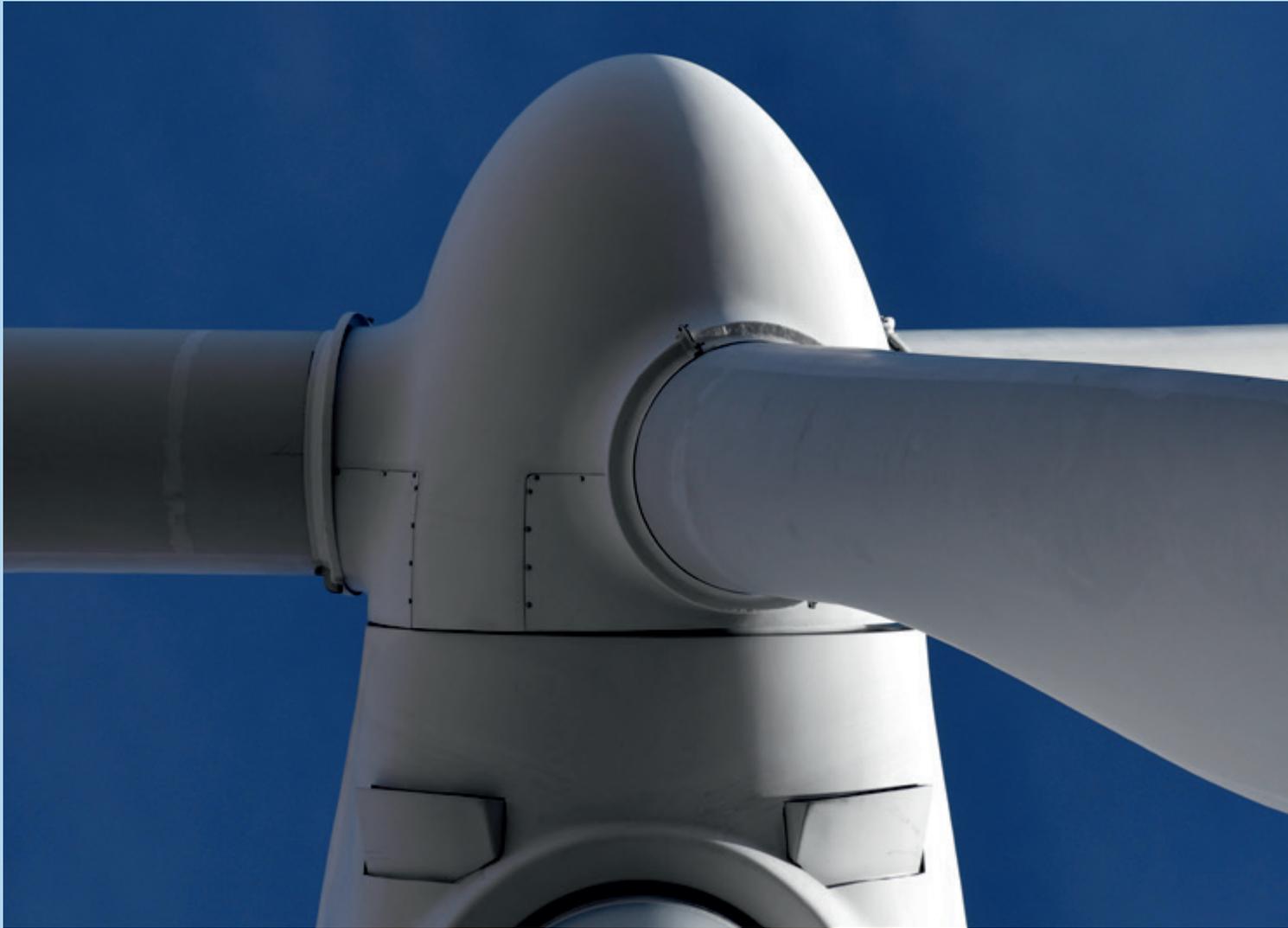
本章节旨在概述政策制定者和开发商侧的主要知识经验，阐明丹麦最大的能源公司沃旭能源¹如何进行业务模式的转变。值得一提的是，丹麦模式是针对丹麦量身定制的，其中很多知识经验可用于其他国家，但必须进行“本地化”调整。

首先，不能过分夸大稳定性在长期政策决定中发挥的作用。尽管并非尽善尽美，但在着眼于长久的未来、达成广泛的政治协议方面，丹麦拥有悠久的历史。即便随着时间的变化，政府有所更迭，但实现绿色转型的政治承诺依然能够保持其稳定性和连续性。此种制度允许政策制定者设计清晰、透明且稳定的政策信号，且与电力市场、电网投资和环境政策的未来发展息息相关。此外，丹麦议会各党派对绿色转型表现出了广泛的支持，视其为摆脱进口燃料、实现能源独立性、创造本地就业、转为低碳能源体系、限制气候变化的途径。换句话说，转型有助于实现多项政治目标，进一步推动形成财政稳定性环境，这是转型成功的关键。

长期政策决定的稳定性和透明性是发展可再生能源，保证补贴和二氧化碳税（可能另外追溯性地修改或退税），降低开发商和投资人风险，从而进一步推动科技投资，实现长期政策目标的关键。

设定了长期政策目标之后，需要建立相应的监管制度，以消除项目风险，促进政策目标的实现。其中可以包括下表中所列的要素，将在下一章节中进一步阐述。

¹ 尽管我们在前面时间线章节提到了沃旭能源的前身（DONG和DONG Energy）。但在此章节中，我们只以当前的名称指代公司，即沃旭能源（Ørsted），以避免混淆。



规划—— 设定长远且可靠的目标

长期、稳定、包容且透明的能源规划程序，并以立法、具体的改革以及与行业和公众的对话作为支持，是实现绿色转型必不可少的一部分

示范项目

示范项目提供了监管、技术和工程方面的宝贵经验，加强投资人的信心，证明技术的可扩展性

经济激励

事实证明，以透明方式进行风险管控时，补贴、税收和二氧化碳价格等经济激励能够发挥积极作用

竞争

建立在竞争理念上的电力部门能够激励创新，降低价格

许可和去风险

适当的风险分配、精简许可程序降低了监管风险和潜在的延期风险

规划：设置好长远可靠的目标

为了实现明确、稳定且透明的政策框架，能源规划应该满足以下条件：

1. 具备长期性。通常情况下，能源计划的制定是对未来几十年目标的支持。长远的能源计划能够为行业的绿色转型提供一个稳定的框架和长期视界。没有任何转型能够在一夜之间完成，所做的规划如果要赢得投资人的认可，必须反映出稳扎稳打的长期性。对长期规划的切实承诺也十分重要。例如，如果在逐步淘汰化石燃料上制定明确的时间线，行业以此作为参考，能够帮助具体行业减轻绿色转型中可能会发生的风险。
2. 体现透明性和稳定性。决策的透明性和可靠性是吸引投资的关键。如果影响大型投资商业案例的政治决定被逆转，将会严重损害政府在投资人眼中的可信度。如果追溯性地更改为可再生能源技术发放的补贴，会给开发商造成高度的不确定性和风险，从而增加投资的价格提高，市场吸引力受损，最终减缓绿色转型速度。
3. 尽早地邀请未来合作方加入对话：政府和行业之间的透明对话能够为政策设计和制定提供十分必要的信息依据。丹麦一直使用行业对话作为收集信息的方法，例如为了竞标的设计，或者收集用于长期分析的技术数据（技术目录）。政府和行业之间的建设性接触给双方带来了诸多好处。比如制定竞标标准，不仅便于公司参与投标过程，也确保项目不会被过度补偿。与当地社区的交涉也至关重要，因为如果整个过程中缺少公众的支持，可能会给项目开发造成风险。本地社区作为未来项目的东道主，应该参与到补偿方案等具体对话之中。
4. 通过具体改革获得立法支持。第一步是要求制订一项可靠的计划，计算何时以及如何根据社会经济优先次序实现各项指标。这些应由政府机构实施。欧盟的20/20/20目标就是一个例子，该目标于2007年制定，随后在2009年通过了立法。下面几个章节会列出具体的监管改革和监管工具。

在制定国家能源计划的过程中，也要将国际协议和协作包含在内，丹麦通常以此作为制定最低目标的参考。

政策侧的知识经验

建立示范项目

示范项目是可再生能源技术发展的关键因素，这一点在丹麦的海上风电行业尤为明显。丹麦位于瑞索（Risø）的国家可持续能源实验室（2008年成为丹麦技术大学的一个部门），汲取了丹麦多年的研究、创新和发展经验，在风电的发展中发挥着关键作用（丹麦能源署，2015）。

尽管在项目使用新技术会增加项目成本，但这却是行业起步的必经之路。在丹麦，示范项目是一项政策工具，被用于证明海上风电理念的可行性。我们可以将这类经验总结为以下几类：

- 用于发展供应链、降低成本的众多技术和工程方面的知识经验
- 环境影响评价，海上项目的知识经验有助于打造环境影响评价领域的法规
- 投资人信心，因为项目证明了大规模应用技术的可能性
- 作为海上风电的先行者，支持了丹麦风电行业的发展

1991年的第一个较小型风电场Vindeby和1995年的Tunø Knob风电场证明了在海上安装风力发电机的技术可行性。但要降低成本，就必须扩大规模。1997年的海上风电行动计划是一个关键的转折点，它在丹麦能源署和能源公司之间建立起了政府和社会资本的合作。该行动计划还纳入了一个筛选过程，并将海上空间规划定义为海上风电发展的关键领域。海上空间规划是用于：

- 减少部门之间的冲突，在不同活动之间形成协同效应。
- 鼓励投资，通过创造可预测的、透明和更明确的规划，为开发商提供一个明确的信息：未来在何时何地，建造多大规模的海上风电场。开发商可以针对这样的规划进行项目部署和开发。
- 增加欧盟国家之间的跨境合作，以开发能源电网、航道和保护区的联通管网等等。

计划中的前两个项目已建成（Horns Rev I和Nysted），这验证了高效安装大规模海上风电场的可行性，也验证了风电场可以在较恶劣的海上气候下存活下来。这样一来大大增强了行业和监管机构的信心。示范项目的很大一部分工作是由丹麦能源署负责的环境研究工作。

经济激励

长久以来，经济激励是实现能源部门政治目标的工具。现如今，在无需补贴的情况下，可再生能源相比化石燃料，也具有成本竞争力。

如果将提高可再生能源的比重作为政治目标，首先就应该重新设计补贴，不再为化石燃料提供任何支持。相反的，用补贴或税收优惠的形式为可再生能源提供经济激励，可被视为一种对未来的投资，有助于太阳能和风能的大规模开发，继而发展成为在没有补贴的情况下，也能与化石燃料竞争。在丹麦，经济激励为风能等国内可持续性能源提供了一条进入路径，也为煤炭等污染性进口化石燃料提供了一条退出路径。1976年，丹麦引进了对可再生能源的税收激励和补贴。补贴随着时间的变化进行了略微调整，以进一步鼓励风能发展。现在，德国和荷兰都已经开展了无补贴海上风电项目的招投标。丹麦也正在零补贴的情况下发展陆上风电项目。成本的大幅下降以及补贴的逐步取消是因为技术和商业模型的发展，以及监管和规划侧的知识经验累积。

在电力部门市场化之前，丹麦是通过设定固定上网电价激励可再生能源发展的，这导致了20世纪90年代丹麦陆上风电的快速增长（丹麦能源署，2020b）。实现市场化之后，丹麦的电价非常低，在2000年代，以市场溢价形式为陆上风力发电机提供的改进型补贴被证明不够有吸引力，比不上德国和英国等其他市场。全球首批海上风电的招投标是丹麦在2000年代进行的。未来，例如Thor和Hesselø海上风电场的招投标，都将采用双向差价合同（CfD），设定了丹麦国家向特许权所有者支付款项的上限以及特许权所有者向丹麦国家支付款项的上限。差价合同模型为特许权所有者提供了长期投资的确定性，但却让它们暴露在市场信号下，承受更短期的风险。这么做可以更强烈地激励从业者提升电力生产的社会经济价值。也就是说，丹麦拥有多种不同可再生能源补贴机制的实施经验。补贴可以是一种有效的工具，但必须与这里提到的其他方面相补充，例如该国可再生能源政策的竞争、透明度和稳定性。

补贴还能够增加商业案例的吸引力，但如果整个公司完全依赖单一的政府补贴，那它实际上可能成为一种风险源，即监管风险。如果想要开发商遵循激励机制，就要为其提供确定性，即补贴不会追溯性地发生变化、减少或废除。开发商也会因为政治风险而感知到更高的风险，而开发商与政府间的契约可以抵消这种风险。具有法定约束力的合同，例如特许权协议，保护开发商免受此种监管风险。在北欧海上风电行业的快速增长中，有一点值得关注，就是没有政府有追溯性地更改任何一座大型海上风电场的补贴或监管框架。用这种方式来保持行业速度十分重要。差价合同方案本身的设计目的就是降低监管风险，在丹麦、荷兰和英国等市场上，这一点已经被成功验证了。

如前文所述，透明度是非常重要的点，在设计经济激励时，坚持透明这一点也同样重要。在丹麦，让行业参与到规划中的益处颇多。例如，当前海上风电项目招投标的市场对话中，就有行业的参与，丹麦能源署和Energinet发布信息，邀请行业参与对话，以收集潜在投资人的观点，优化招标条件。最终目的是为了获得尽可能低的出价。规划中透明度的另一个范例是技术目录，包括一份议定技术、经济和环境数据的清单，这是丹麦能源署在获得行业的信息输入后发布的清单。因此，技术目录是一种透明的数据沟通方式，被政府、行业和学术界用于能源建模和规划（丹麦能源署，2021b）。

向生物质能的转换：监管和可持续性方面

欧盟可再生能源指令II（2018）包括了源自林业的生物质燃料的最低可持续性要求，并在2021年6月30日前落实到丹麦的法律中。该指令针对使用生物质燃料的生产链，定义了估算排放量的方法——考虑到耕作、加工、运输产生的温室气体净排放和生物质燃烧产生的非二氧化碳排放的总和。

生物质只有在这些排放低于特定水平时，且温室气体减排量与化石燃料相比达到一定标准，即2021年起，减排量至少达到70%；2026年起达到80%，才可被视作“可再生能源”。

在该指令生效之前，几乎所有用于区域供暖和电力的森林生物质都受《丹麦自愿工业协议》的保护，该协议于2014年达成，以确保丹麦使用的生物质达到国际公认的可持续发展标准。使用的生物质的可持续性必须在年度报告中由第三方验证。更多信息可在DEA（丹麦能源署，2020a）的“生物质分析”中找到。

2019年丹麦国家能源和气候计划中的预测表明，从2017到2040年，生物质的能耗预计会下降12个百分点。可以说，生物质是丹麦的一种“过渡燃料”，在燃煤热电联产厂的转换中扮演着重要角色，但预计其使用量不会继续增长。生物质也不像风能和太阳能一样，经历过巨大的成本下降。目前正在对进一步减少生物能源消耗的不同选择和后果进行分析。

从技术的角度来看，由于有适当的框架条件激励着转型，热电联产厂从煤炭改用木质生物质的挑战性并不大。丹麦的框架条件导致了大量的生物质被用于热电联产和区域供热。通过不同方案的组合，推动了大型热电联产厂从化石燃料改用生物质：1）激励措施，例如为基于生物质的电力生产提供国家补助（0.15丹麦克朗）；2）与电力和化石燃料相比，生物质的税收减免；3）利用税收优惠降低电力生产成本的可能性（净利益模型）。后者是由2012年能源协议（丹麦能源署，2020a）引入的。国家对新电厂的电力生产援助已经关闭，对现有电厂的援助正在逐步取消。

在丹麦，用于热生产的生物质无需纳税；相反，化石燃料须缴纳能源税和二氧化碳税，电力生产也须缴纳电力税。大型工厂使用的化石燃料也受到欧盟排放交易体系的约束，也就是说，这些工厂必须为化石燃料发电和供热产生的二氧化碳排放购买相应的排放配额。

截至2012年，热电联产厂的税收优惠部分（即大部分的税收优惠）与热能生产有关，属于区域供热终端用户。这意味着热电联产厂本身没有动力将其生产燃料从煤炭改为生物质。2012年的《能源协议》为大型发电厂提供了拆分其税收优惠的可能性，将部分优势用于发电。事实证明，此种变化对大型发电厂改用生物质具有重要意义，因为这样对电厂而言，用生物质取代煤炭是一种有利可图的选择。之后，丹麦用于电力和热能生产的固体生物质消耗增加了，从2012年的58PJ增长到2020年的105PJ。



竞争

竞争是丹麦电力部门的核心，驱动力来自欧盟对欧洲内部市场的关注。欧洲内部市场将电力也视作一种自由跨境交易的商品。

“市场化的目的是创造更好的竞争条件，从而提高生产的利用率，并通过管网运营效率的提高创造收益。”（北欧能源监管机构，2006）

2000之前，电力公司的运营并非以盈利为目的。它们是垄断机构，能够向消费者回所有成本。成本在市场化之前得到了控制，但转变为竞争之后，人们更专注于压低成本（1999年的议会立法允许电力公司获得外部收入）。要做到这一点，就必须区分市场化发电和输配电的天然垄断。尽管这一理念的目的是将节省的成本转给消费者，但它也刺激了电力部门，可再生能源的成本大幅下降。具有竞争性的电力部门开创了新的商业机会，例如，由于大量数据的透明度和可获取性，对电动车和热泵需求得到了响应。丹麦能源署的报告《丹麦电力部门的市场化1995-2020 - 从国际视角分析知识经验》中有详细描述（丹麦能源署，2020c）。这涉及到国家国有TSO（Energinet）的建立，以及一个独立的能源监管机构（丹麦公用事业监管机构）。输电向所有人开放使用，发电机也可以参与电力市场和动态定价。

新的竞争性部门意味着，所有发电公司，包括国家拥有大多数所有权的公司，如果想继续运营国内市场，就必须压低自身的能源生产成本。如果一开始不提供降低成本的激励措施，就不会出现这种机会。

沃旭能源的国家所有权在制定决策是“独立的”，意味着公司是作为私营公司运行，也就是说，它可以在不受国家干预的情况下做出自己的决定。只有这样，沃旭能源对丹麦能源政策的影响力才不会超过其他公司。为可再生能源开发商打造一个公平、透明且具有竞争性的市场，这一点至关重要。国家所有权一个隐含的好处是在过渡到可再生能源时，沃旭能源可以着眼于长久的未来。

新海上风电行业的发展和具有吸引力的招投标也促进了行业内的竞争。以Thor海上风电项目招标为例，在通过初审的六个联盟中，有三个联盟至少部分归丹麦国家所有。而在10年之前，丹麦只有一个海上风电开发商。这表明随着时间的变化，电力部门的竞争性增加了。



分拆过程中的的一个关键事件是“电厂一揽子计划”（kraftværkspakke）。电厂的经济状况不佳，一部分原因是1999年北欧市场上的市场价格低，也有一部分源自公司几乎不拥有任何股权，因为不被之前实施的监管允许。出于这个原因，很多公司都无力承担滞留费用。最终双方达成了政治协议，给与两家公司80亿丹麦克朗的补助（大约11亿欧元），条件是将东、西两家公司必须合并为一家公司。尽管并非所有国家都有进行此类收购的能力，但可以在现有的资金之外筹集资本，通过成本效益分析，可以得出如何收购以发挥最大影响力。

该一揽子计划还包括了生物质、风电和筹备付款的补贴，以确保供应安全。它还有一个附带条件，即东部和西部的公司（Elsam和Elkraft）不应该在经济上受到海上风电示范项目的影 响，即之前提到的Horns Rev 1和Nysted风电场。未来的道路在1999年就已经明确了：海上风电是一项会在新世纪发挥关键作用的技术。

电力市场也为激励系统服务开创了机会。拥有显示系统电力生产价值的动态价格信号，是刺激热电厂灵活运行的一种方式，即提升或减少产能以满足需求，从而获得最大收益。丹麦向发电商和供电公司施加了平衡责任，藉此平衡电力系统。这成为一种市场化措施，为发展迅速的发电商提供了机会，即通过提供系统平衡服务获得投资汇报。与邻近国家的市场整合也确保联了互联管网得到最优利用，社会福利得到优化，消费者客户获得尽可能价格最低的能源，而生产商能够以最优价格销售。例如，如果德国或挪威的价格更高，则丹麦的风电场可以跨境销售电力。

此种热电部门的彻底耦合给丹麦带来了巨大收益。现在，很多中央热电联产厂的大部分收入都来源于热力市场，并通过在高电价时间段提升产能、提供辅助服务获得额外收入。要更深入地了解丹麦电力部门为整合可变可再生能源采用的灵活性解决方案，可以从丹麦能源署获取相关信息（丹麦能源署，2021a）。

许可和去风险

海上风电监管框架的设计应本着吸引项目竞争、实现最优价格的目的，适当进行分配风险。

开发商或者政府不应当承担过多的风险，而是要根据每个利益相关者的能力和角色，相应地分配风险。在社会经济成本的最低点处理风险可以作为一个参考参数。

在适当的风险分配之外，精简许可过程也是促进海上风电项目的重要监管措施。丹麦通过精简透明的流程，减少了延期和不确定性等可能严重妨碍可再生能源项目开发的因素。单点接入理念，即所谓的“一站式方案”，是缓解此种监管风险的重要组织设置。

“一站式方案”确保了海上风电场开发（包括退役）审批流程的顺畅，精简了行政手续。项目审批会将各种相关利益纳入考虑，包括风电场的经济吸引力、本地社区、自然环境的保护、海洋文化遗产、海上安全、资源开采、国防问题、视觉影响等。在批准海上风电场开发和并网的过程中，与大量主管部门的协调和沟通往往具有较大的挑战性。在丹麦，当一个海上风电场进入审批流程后，丹麦能源署将通过一个各个主管部门均参与其中的迭代过程，准备并授予风电场开发所必需的许可和执照。授予特许权后，丹麦能源署会继续作为项目所有方的单一联络点，协助项目所有方解决与许可证授予及程序等方面的相关问题。这样可以减少项目开发阶段无法预料的监管障碍。



海上风电去风险

风险类型	负责方	实例
政策承诺	政府（政策制定者、政府机构）	<ul style="list-style-type: none"> 务实可信的政治协议 目标的确定性 合同的契约性
适当的项目规划和风险许可	开发商 政府机构	<ul style="list-style-type: none"> 开发商能够充分计划和安排项目时间 一站式许可 必要时进行环境研究
施工挑战	开发商 投资人	<ul style="list-style-type: none"> 项目所有方的技术和财务能力 供应商和子供应商的竞争筛选 健康安全和环境法规
运营风险	投资人 保险公司	<ul style="list-style-type: none"> 理想寿命周期内的成本/质量平衡 合适的保险
承购安全和收入支持	政策制定者 系统运营商 承购商	<ul style="list-style-type: none"> 优先并网和透明的限电规则 通过出售能源保证收入（市场，购电协议） 税收支持
财务和货币风险	投资人 保险公司 政府保证	<ul style="list-style-type: none"> 资产应可交易和可转让 金融性贷款的成本取决于项目的感知风险 资本支出保证，例如政府支持的贷款

从能源公司业务转型中获得的知识经验

过去的政策和商业模式将不再适用于未来的政府和能源公司。很多10年前被认为无法实现的事情现在正在发生。许多国家，例如中国、韩国和欧盟国家都做出了在本世纪中叶前后实现碳中和的承诺（Bazilian & Gielen, 2020；国际能源署, 2020；Ritchie & Roser, 2020）。2019年，太阳能和风能等可再生能源在美国、欧盟、中国和印度达到了历史最低的平准化发电成本（LCoE）。投入大笔资金发展可再生能源的能源公司在市场总值方面，已经超过了石油巨头。例如，2020年，位于佛罗里达的能源公司NextEra Energy Inc. 的市场总值一度超过了美国石油公司埃克森美孚。2020年，沃旭能源的市场总值也超过了BP（英国石油）。可再生能源公司正在把握机遇，利用可再生能源的成本骤减和政府对可再生能源发展的政策支持，谋求回报，以赶超石油行业的竞争对手。

同时，大量的大型油气公司进入可再生能源领域，而欧洲的石油巨头，例如意大利国家碳化氢公司Eni（目标是到2035年实现25吉瓦）、挪威石油公司Equinor（目标是到2025年实

现35吉瓦）和英国石油BP（目标是到2030年实现50吉瓦）都宣布了远大的可再生能源目标。投资人也被要求执行更严格的环境、社会和治理（ESG）标准，通过行使股东权力，影响公司的可持续能源发展。全球范围内，煤炭投资呈总体下滑趋势，融资所遇到的挑战增加，越来越多的大型机构投资者开始从此类项目中撤出。全球有100多家金融机构及20多家大型保险公司已经从退出了煤炭项目，在其目前的运营中，也对新煤炭项目的融资施加了限制。此种趋势也蔓延到了世界银行、挪威主权财富基金、亚洲基础设施投资银行等大型政府和国际机构，以及安盛（AXA）和荷兰国际集团（ING）等私营企业，它们都已经开始限制煤炭相关项目的投资，并计划在未来几年间全面淘汰此类资产。

沃旭能源的商业模式转变也是一个有趣的研究案例，可以为世界其他能源公司提供一些启发和经验。创造一个可持续愿景目标是这一转型中的关键之一，为公司业务从不可持续能源中退出和进入可持续能源指明了方向。

各公司的市场总值

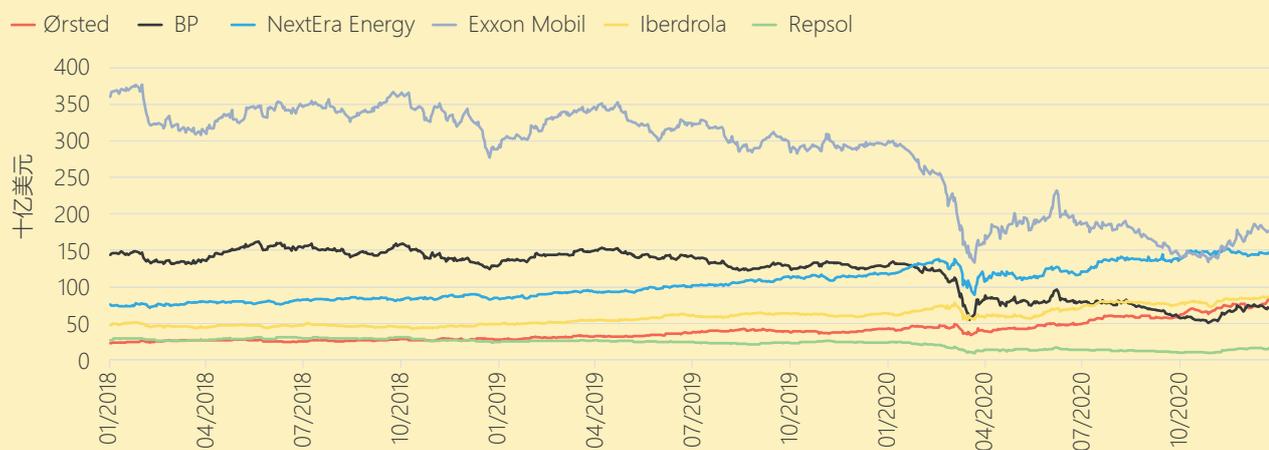


图5: 可再生能源企业正在赶超地区石油巨头。图表受彭博社（Bloomberg）文章“新能源巨头是可再生能源公司”（彭博社，2020）的启发。



制定可持续愿景

在实现零排放的道路上，丹麦和欧洲的能源政策都将激励从化石燃料转向了可再生能源。

从长远考虑，化石燃料在环境或经济上都不具备可持续性。沃旭能源等依赖化石燃料的公司正面临着生存威胁，急需找到一条保持相关性和增长性的道路。公司面临着这样一个选择：是加入绿色转型，还是将来被它甩在身后？

欧洲的能源公司在自由市场中竞争，投资者都是基于利润做出决策。这就要求使用一些关键参数（如下所示），对项目进行成本效益分析。分析的结果是，欧洲大部分地区都已经叫停了热电厂的投资：

- 电价
- 燃料价格
- 二氧化碳排放价格
- 热量销售价格
- 辅助服务和备用市场
- 补贴
- 与其他排放相关的税收和成本
- 资本支出和运维

根据丹麦能源署前部门负责人弗莱明·G·尼尔森（Flemming G Nielsen）的说法，如果沃旭能源不进行绿色转型，“它们很可能就会破产”（G·尼尔森等人，2021）。转型是必须的，而且其盈利性也得到了证明。

丹麦国家及沃旭能源的其他所有人希望通过首次公开募股上市，来创造更灵活的所有权结构，直接进入全球资本市场。如数据所示，自2017年起，风电就占到沃旭能源息税折旧摊销前利润（EBITDA）的95%以上（沃旭能源，2020）。自2009年起，年度报告中就纳入了一个专注于公司二氧化碳足迹的部分，以反映公司的新愿景。随着股东对环境、社会和治理问题的关注日益增加，公司传递的信息越绿色、越简单，对投资人的价值定位越有利。

沃旭能源年度报告



图6: DONG能源公司/沃旭能源的年度营业利润和风电利润在总利润中的占比。2019年的下降由业务剥离造成的。

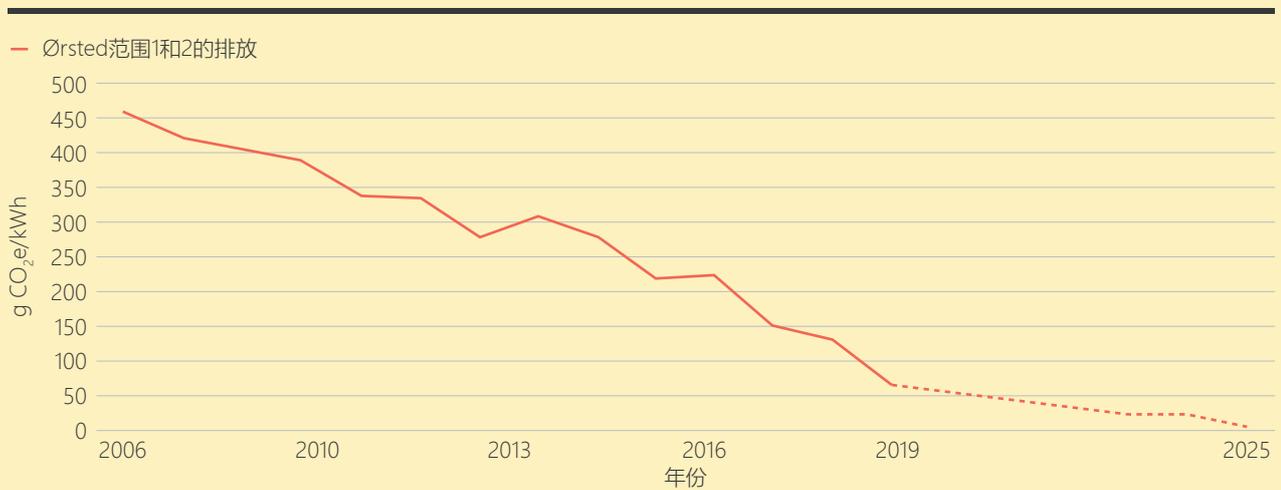


图7. 二氧化碳排放的实际数值和预测数值。来源：Ørsted。

策略性淘汰化石燃料

沃旭能源逐步淘汰化石燃料有策略性的逐步执行：

- 关停公司大约40%的热电联产厂
- 在有利的监管框架下向生物质转化
- 剥离与绿色愿景不符的资产和业务
- 如果上述均不成功则放弃投资

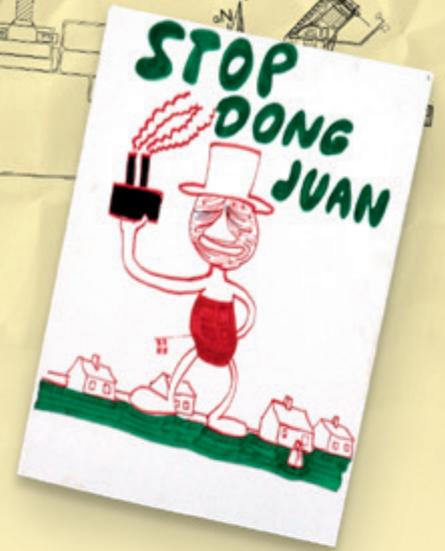
向有竞争力的电力部门转型还包括了所谓的“电厂一揽子计划”，确保公司不会在转型的过程中破产，而公司以建立海上风电场作为反馈。这是能源公司与政府之间谈判协商结果的一部分。

对于丹麦现存的燃煤热电联产厂，如前文所述，政府采取经济激励，例如生物质补贴和使用生物质作为供热燃料的收税优惠，以提高向生物质转换的吸引力。

丹麦工程师擅长设计和建造高效的燃煤发电厂的。但是，在沃旭能源宣布了逐步淘汰煤炭的策略之后，这些工程师或者在公司内部转岗到海上风电领域，或者转到外部的咨询公司。同样地，在明确知悉油气不会成为公司未来愿景一部分时，公司将油气部门出售给了英力士集团（INEOS）。沃旭能源某些关键业务领域发展的简短概述如下图所示，时间是从2008年（85/15目标设定之前）到2019年，目标提前实现。







GREIFSWALD POWER STATION
PRELIMINARY PLAN
2007

放弃的项目： 德国格赖夫斯瓦尔德 (Greifswald) 燃煤发电厂

2006年合并之后，沃旭能源收购了德国的Greifswald大型燃煤电厂开发项目。从技术角度来看，有众多经验丰富的工程师的“保驾护航”，项目并无任何风险。从财务角度来看，商业案例可能在未来3至5年内成形。但是在未来20到30年内，项目的劣势会逐渐体现。处于环境方面的顾虑，电厂在当地也遭到了强烈反对。项目投资总成本约为200亿丹麦克朗（约27亿欧元），但在投资了10亿丹麦克朗（大约1.34亿欧元）之后，项目被放弃了。这是公司的一次“试错”，但对公司实现在2023年前淘汰煤炭的战略目标具有重要意义。除了放弃该项目，沃旭能源还做出了其他支持2023年目标的决定：

- 将位于丹麦的热电联产厂Avedøre、Studstrup、Skærbæk、Asnæs和Herning从煤炭和天然气转化为生物质代。热电联产厂的经济越来越依赖热力市场的收入。
- Asnæs（2010年3机组；2020年2号机组和5号机组），Stignæs（2010年1号机组和2机组）和Ensted（2010年）的冷凝式燃煤机组退役。受迅速发展的风电的影响，大型发电厂面临着越来越大的挑战，沃旭能源关停了公司在丹麦约50%的电厂容量。

多年来，随着竞争性替代能源价格的下降以及环境标准和要求的提升，欧洲已经呈现出淘汰煤炭的趋势。这导致了高效、现代化燃煤发电厂的剥离和新电厂建造规划的取消。瑞典国有大瀑布电力公司（Vattenfall）甚至因为电价的不断下降和二氧化碳价格的不断提高，完全放弃了在德国新建电厂，导致公司减值十亿美元。多项并发因素导致了此次停运，例如新型疫情导致的经济衰退和封锁；批发电价下降，部分是因为可再生能源在电力结构中的巨大可用性；碳信用额度价格增长等等。大瀑布电力公司决定选择由德国政府居中推动退役拍卖，以逐步淘汰德国电力系统中的的燃电。

什么是退役拍卖？

退役拍卖是某些欧盟成员采用的一种金融工具，旨在逐步淘汰国家电力结构中的煤炭。

本地政府组织了一次拍卖，为拥有和运营燃煤电厂的公司剥离黑色资产做出补偿。这种类型的拍卖既可用于解决煤炭对气候变化目标的影响，也适用于与现有大型燃煤电厂运营商折中，这些运营商目前正在日益困难的市场形势中挣扎。

拍卖的决标依据是所要求的补偿价格和最终减少的二氧化碳减排之间的比值。特殊情况下，输电网运营商可以要求预留出一些电厂作为“临界情况”下的备用容量储备，但这些电厂将不被允许参与电力市场的薪酬机制。

退役拍卖在本地同时收到了正面和负面的评价。所得效益包括：

- 此次拍卖表明，许多硬煤电厂的运营不具备经济的可持续性，意味着因为技术市场的困境，煤电厂最终将会关闭
- 拍卖过程证明，竞争可以减少赔偿要求，从而减轻经济负担

- 拍卖的认购超额是一个证明运营商之间存在“切实竞争”的积极信号

另一方面，拍卖过程遭到了以下批评：

- 一些环保人士强调，鉴于煤电厂面对的市场压力越来越大，拍卖为这些原本会成为运营方的债务的煤炭公司提供了巨额赔偿。
- 同样的，有关人士补充说，退役的成本本可以更低，因为大多数电厂都会收到关厂补偿。因为对煤电的需求降低，它们已经有了退出市场的计划。现在，已经注销的设施再次转变为正资产。
- 最近，也有人提出“有利于气候，但不利于纳税人”的观点，因为支持煤电厂退役的资金源于纳税人。

硬煤电厂的退役拍卖预计会持续到2026年。以后，根据欧盟委员会的计划，将依法在没有赔偿的情况下，在2027至2038年期间完成退役（Wehrmann，2020）。

可再生能源的进入策略

在投资新技术之前，沃旭能源需要决定采用哪种技术作为商业战略的基础，而这绝非是一个简单直接的决定。

对多项技术进行评估和分析。技术如何执行，以及形成竞争优势的能力和技能是关键的决定性参数。最终，海上风电脱颖而出，成为实现长期增长和国际扩张的一个极具吸引力的选项（*经济学人*，2019）。

2006年，六家能源公司合并，旨在将电厂的所有权集中到一家公司，以抵抗外来竞争。瑞典国有企业大瀑布电力公司主导了收购行为。结果是一家公司拥有了三个海上风电场，包括两个第一批大型示范项目。这意味着沃旭能源占领了一个要塞，成为当时海上风电市场的先驱者。沃旭能源正在寻找可以利用现有优势的新的增长领域。这凸显了监管框架的重要性，无论是在合并前，开发示范项目，还是展望未来，监管框架都为提供经济激励和降低监管风险发挥极大的作用。如前沃旭能源CEO安德斯·艾尔普（Anders Eldrup）所述：“大多数投资转向海上风电的原因是有利的监管框架，丹麦和英国的情况就是如此”（G·尼尔森等人，2021）。

公司实际感知的风电项目风险远低于化石燃料的风险。化石燃料会受到价格波动的影响，风险较高。2012年，沃旭能源受到了价格波动的负面影响，公司的信用评级也因为天然气价格的下降而降级。另一方面，风能为投资人提供了确定性，原因是监管框架对持续长期的投资回报率做出了承诺。

以丹麦一家投资机构“丹麦养老基金（Pension Denmark）”为例，该机构打造了一个此类示范项目Nysted。投资方认为，项目是一个能够提供稳定、长期回报的低风险项目。这是一次成功的投资，投资方有意愿参与下一个安霍尔特风电场的项目。示范项目为行业积累了许多技术和工程经验，意味着沃旭能源可以承担施工风险。结果是，沃旭能源建造了安霍尔特风电场，在将项目的50%出售给丹麦养老基金之前，承担了100%的风险。这是现如今被称为“耕种”模式的最早范例，是一条解放资本的途径，在之后的项目中继续应用。这是一种可持续的融资模式，如今已在海上风电行业得到广泛效仿。这种模式的应用方式也多种多样，包括与其他国家的本地投资机构人。采用“耕种”模式，开发商就必须在施工之前将股权出售给外部投资方，以解放其自身资本用其以他项目。

本文提出了进入新可再生能源市场，从管理、技术到物流的最相关经验，为面临同样情况的同类型公司提供了参考（Muzondo等人，2021）。

企业内部的文化变迁，使用内部人才和能力：

- 一开始，转到海上业务的决定在企业内部遭到了一定的抵制。很多人对新愿景和战略有所怀疑，不理解为什么在企业核心能力和员工还高度依赖化石燃料和燃煤电厂时，要做出在新部门进行风险投资的改革。

内部的思想转变至关重要。只有得到内部的强有力支持，调动起员工的积极性，才能从容应对风险。无论是在员工之间，还是公司与项目合作伙伴之间，都具高度的凝聚力。“85/15”策略依然表明沃旭能源会随着时间的变化，逐步淘汰化石燃料。

- 沃旭能源还做出了一个深思熟虑后的决定，这也是它转型的关键之一，即创建了一个叫做 Wind Power 的独立部门，专门负责可再生能源业务，并将陆上和海上风电的所有资源集合到这个部门。大多数企业内部员工都有机会为新方向上的发展做出贡献，因此公司能够充分利用内部人才。仅仅两年的时间内，该部门的员工人数就从50增长到1000。新员工们带来了专业能力，尤其是在工程方面的能力。尽管很多工程师来自于公司的化石燃料部门，但他们的能力对新部门具有很高的价值：“如果你本身就运营着一个2吉瓦的燃煤发电厂，那你当然能够调动大量的能力和技能，转而运营几个数百兆瓦的海上风电项目”（Martin Neubert，沃旭能源首席商务官兼代理集团首席执行官）（G-尼尔森等人，2021）。

此外，招募内部人才的好处是这些员工了解公司制度，适应企业文化，理解企业精神，这些都是新员工必须花时间掌握的重要内容。同时，通过使用内部员工，并在必要时提供二次培训，沃旭能源尽可能地减少了失业人数。

视供应链为降低成本的关键因素

- 在宣布“85/15”战略之时，海上风电的成本昂贵，大约为160-290欧元/兆瓦时。沃旭能源宣布了降价目标：到2020年，海上风电成本降低到100欧元/兆瓦时。
- 缺少材料以及海上风机运维的供应链，是作为市场先行者会遇到的挑战之一。在首批小型项目建造完成之后，海上风电渡过了概念验证阶段，进入了技术概念阶段。如何能够大规模、大量提供主要零部件、发电机、基座或电缆是个难题。沃旭能源必须在5到6年之内，找到能够在工业规模上提供数百种前所未有的零部件的潜在合作伙伴。如果将每一个此类项目视作独立的项目，执行工程设计、规划和建造工作，就会花两到三年地时间，耗费精力完成重复的工作。公司开始思考如何摆脱这种方式，转而采用大规模和模块化处理。通过风机和风电场的规划，沃旭能源提升了对大规模生产风机、基座和电缆的需求，也需要增加供应商的制造能力以及供应链上参与者数量。扩大生产和供应链被认为是使海上风能技术在经济上可行的唯一途径。由于学习曲线成本高昂且充满挑战，所以最初的项目不论是在技术还是物流方面，都为接下来的阶段提供了宝贵的经验。在技术开发的过程中，供应链活动方以及风机制造商也都承担了很大一部分风险。通过签订定制的合同，对冲供应侧的潜在财务风险，沃旭能源成功地重新分配了风险，评估所有参与者的风险分担。通过与风机开发商签订大宗协议，例如，2009年与西门子订购了500台风机，沃旭能源向行业和供应商传递了一个信号（财务承诺），即风险是值得承担的，从而为大型项目的开发和建设创造了框架。
- 除了生产具有成本效益的组件之外，还有组装所有组件和建造海上风力发电场的问题。很明显，供应链上的一个关键瓶颈是安装公司，因为当时没有专门安装基座、电缆和风机的船只，只有来自石油和天然气行业的改装船。由于供应紧张，公司不得不对小型供应商进行评估，如果小型供应商有破产的风险，则会影响整个项目。最终公司决定，通过投资海上安装船来克服这一瓶颈。尽管这与公司的核心业务不符，但根据评估结果，这一决定是实现长期规划的基础。

合资经营和投资人参与：

- 从技术的角度来看，引领沃旭能源在海上风电领域取得成功的机制就是合资项目。能源公司与具有经验的其他国际公司合作，大大帮助了行业经验的积累。沃旭能源已经是海上风电行业的市场领军者，但海上风电项目规模庞大，涉及风险多样，必须用到很多种其他能力，例如对本地市场的了解和供应链端的经验。合资项目为技术和商业能力的整合提供了可能性。沃旭能源开展了一系列合资项目，例如在美国与永源能源（Eversource）合作的海湾国家风能项目（Bay State Wind）；在日本与东京电力（TEPCO）合作的桃子市项目；在波兰与PGE合作的波罗的海2号和3号项目。这些项目互惠互利，能够充分发挥双方企业的独特优势。
- 从财务的角度来看，沃旭能源的最初任务是提高投资者对海上风电项目在技术和财务上可行性的信心。为了确保在机构投资方找到合适的合作伙伴，沃旭能源并没有通过银行寻找每一项所需的资产，因为这与企业融资策略不符。相反，他们寻找到有意愿投资全新技术的机构权益合伙人。一开始，他们将目标瞄向了国家养老基金，后来又将目标扩大到了国际养老基金（荷兰、加拿大）以及基础设施投资方，说服他们共同投资这些新的海上风电项目。为了化解开发、建造、长期运营等风险方面的顾虑，沃旭能源开发了一个让投资具有吸引力的创新理念，即“耕种”模式。此外，沃旭能源发现要确保投资人在项目中感到舒适和自信，就必须满足一个重要的要求——要向投资人提供相关培训，让他们对技术有更深入的了解。但由于技术尚处于初始形成期，这一任务极也是具挑战性。最终发现，可以建立一个工程、采购和施工部门，创造内部能力。在掌握技术的同时，也为投资方提供培训，与投资方及其技术顾问召开研讨会。在公开的基础上合作，让投资方对沃旭能源开发、建造及运营海上风场的能力感到满意。

从这个过程中学到的关键经验要是让投资方熟悉技术、挑战和转型所需的时机。在所有利益相关方或资本市场都是以季度为单位衡量项目进度的情况下，支持类似的项目尤为困难。作为一个新市场，海上风电行业无法在“明天或后天”就展现出成果，很难以季度为单位来衡量。为投资人提供培训、让投资人参与增长过程，这些工作让沃旭能源获得了对新资产必要的共同投资。

如今在世界各地很多地方，风能和太阳能都在平准化发电成本方面有了与化石燃料竞争的能力，这增加了对风能和太阳能的投资，从中获得短、中、长期收益。

转型也创造了很多就业岗位，让老旧的渔业港口和油气港口恢复了生机，例如丹麦的埃斯比约港（Port of Esbjerg），曾经是一个渔业港，而现成为了丹麦乃至欧洲的海上风电枢纽。根据国际可再生能源署（IRENA）的报告，2019年，可再生能源行业的就业岗位数量达到了1150万个。投入产出分析表明，可再生能源技术每兆瓦装机容量所创造的就业岗位数量，大约是化石燃料的三倍。丹麦海上基金的研究显示，丹麦每1吉瓦海上风电容量会创造一万四千六百个全职人工工

时（FTEs）。此外，可再生能源转型被证明是雇主品牌建设的来源，能够将国内及国际不同部门的诸多人才吸引到沃旭能源和丹麦。很多人愿意加入企业，是因为对不断增长的可再生能源部门感兴趣，也有不少人有着为缓解气候变化做出贡献的理想。年轻人对可再生能源的支持度更高，这也意味着优秀的新兴人才更有可能受到可再生能源企业的吸引，而非化石燃料企业。

	可再生能源的进入策略	化石燃料的退出策略
人力资源	企业内部的文化变迁。增强人力资源，收割内部资源，对人员进行二次培训，与现有基础产生协同效应，吸引新人才，增加可持续的就业机会。	剥离与新绿色愿景不符的业务
技术策略	开发及测试概念验证项目，设计目标远大的长期策略，扩大大型可再生能源项目的规模。之后，基于在特定监管框架下的收益及风险状况，选择适当的技术，调查其对供应链上参与者的影响。通过现有产品，将技术带到具有成本竞争力的水平，评估新产品在现有及新市场中的角色。	直接进行转换，例如从煤炭转换生物质 基于现有燃煤电厂，通过使用太阳能和风能混合项目，和重复利用现有输电基础设施，也可以实现同样的目的。
市场能力和项目选择	投资新项目 合资项目可能是获得技术经验和知识的一个好途径，填补缺失的技术能力，实现目标。有长期回报和低风险绿色项目对机构、国家和国际投资方具有吸引力。接受过新技术及新使命培训的投资方和技术顾问更可能对共同投资给予认可。	放弃项目 考虑到燃煤发电厂的盈利性低和公众的反对，北欧已经放弃了多个煤电厂。

表1
能源公司进入和退出策略示例，尤其是以丹麦在过去10-15年间的经验为例



建议

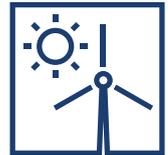
国家能源规划



新绿色公司愿景



可再生能源的进入策略



具体的立法改革



化石燃料的退出策略

稳定、透明、具有包容性的长期政策和规划，在具体落实之后，能为开发商和投资方提供信心。

政府需要优先制定能源规划和政策，支持能源公司朝着可再生能源方向发展。要实现此目的，政府要确保能源计划：

- 具有长期性。未来几十年的能源计划会给投资人和公司信心，看到市场的投资价值。
- 保证能源计划中所使用数据、假设和情景的透明性。所有公司都能得到同样的信息，保证一个公平竞争的环境。
- 性质的稳定性。随着时间的变化，可能需要做出调整，但补贴或税收的大幅度追溯性变化可能对可再生能源市场的确定性产生长久的负面影响。为了保证稳定性，也可以通过设定稳定务实的目标，以文件形式记录既定政策的进度和落实情况。可靠的业绩记录有助于消除投资方的感知风险，提升对未来计划的信心。
- 包容性。政府和行业之间必须开展透明且具有包容性的对话，确保收到相关方的必要信息，从而在设计规则时，将各方的需求纳入考虑。政府和行业之间的积极交涉能够惠及双方。例如，设定竞拍标准，或是提供真实的数据以进行分析。政府的支持和参与也很重要，负责项目的本地机构或社区也应该参与到进程中，因为他们的（合法的）反对可能会给可再生能源项目的实现带来开发风险。

能源计划应通过具体的改革得到立法的支持，这些改革可能是监管工具，例如：

- 实现政策目标的经济激励，例如补贴和税收改革。这些激励需要与以下监管工具配合使用，以降低由此导致的消费者价格上涨的风险(成本转嫁)。
- 确保打造一个基于竞争的电力部门的改革。近年来，风能和太阳能达到了历史低价，为了从低价中获益，电力部门可能需要进行改革，以确保部门的发电侧能够集中精力以低价生产能源，将低价转移给消费者。
- 示范项目是获得新技术在技术、商业和监管方面经验的一个有效工具。
- 许可和去风险。合理分配风险和简化申请程序可以大幅降低价格。本地所有权可能是提高本地接受度的有效工具。

能源公司需要设计战略应对新环境 实现投资闭环

能源公司应该基于当前的政府行动和政策，量身定制愿景和战略，以完成从化石燃料到可再生能源业务和部门的转型。丹麦转型之路可以提供以下几点建议：

打造可持续愿景

充分利用已落实的长期规划政策

与政府层面的能源规划类似，能源公司需要建立一个有着具体明确行动的长期可持续愿景。雄心勃勃和可实现的目标(有相关指标支持)对于公司进入动态能源领域至关重要，可再生能源将是未来增长的关键和主要参与者。

将战略置于具体环境中

在能源公司寻找最佳商业案例时，政府制定的监管框架在很大程度上决定了企业应当遵循的路径。因此，应该基于对监管框架以及各种技术未来需求的评估，打造未来的商业战略。现状不同，例如是否存在自由化电力市场，每一种方式也可能不同。

着眼动态变化，开发全局愿景

由此产生的可持续的、目标驱动型愿景不仅是关于公司的未来发展，还应该说明公司如何为行业的可持续发展做出贡献。同时，愿景应该体现公司的战略并起到引导作用（沃旭能源，2021）。

制定化石燃料的退出策略

让相关方和政府机构参与业务剥离计划

在转型期间，必须通过有关各方和政府机构之间的对话，制定现有资产策略，以确保顺利转型。使用援助计划或退役竞拍等工具，结合激励新资本投资于新可再生能源技术的条件，可以成为一种打破搁浅资产僵局的方式。通过这样的方式开创一个积极的方向，同时优先考虑“无化石燃料”技术，支持运营成本的降低，确保公司在长期拥有更健康、更低风险的经济状况。

重新评估资产以适应行业的未来

如果有激励措施鼓励公司改用更具可持续性的技术，就一定要确保此类解决方案具有长久的可持续性。例如从一开始就建立生物质可持续性标准要求，结合背景情况，对生物质可持续性进行独立评估。

当监管和公共反对时，放弃投资

当未来的监管和支持可能会影响项目的经济可持续性和实现可能性时，就应当停止对化石燃料项目的进一步投资。沃旭能源和很多欧洲能源公司一样中止了投资，即便项目已经到了实现阶段，但未来并没有机会延续项目的发展，这一点是十分明确的。

制定可再生能源的进入策略

为可再生能源项目吸引资金，验证概念的证明

事实证明，为可再生能源项目吸引资金是一种有效的商业模式，能够在加速新项目开发的同时，促进未来发展，保障经济上的可持续性和盈利性。“耕种”模式被证明时一种为早期项目提供资金支持的成功方式。通过在整个建设和资产运营过程中避免大部分风险，海上风力开发商部分地保护了投资者免受风险，在早期阶段建立了投资者信心。要做到这一点，则需要提供可靠的业绩记录，从“概念验证”到“小型和大型”项目，不断推进项目雄心，并创建一个所有行业参与者（从共同投资者到供应链参与者）都能参与其中的协作框架。

为利益相关方提供培训，让其参与，与其结盟

机构投资者和股权合伙人不一定会对首个项目进行投资，但很有可能会在获得专业知识的培训之后参与投资。北欧海上风电行业就是一个例子。同样的，如果公司希望通过首次公开募股上市，那么在公司有一个可再生能源愿景的情况下，就更容易获得融资。事实证明，沃旭能源培训投资人和打开海上风电技术黑匣子的策略能够为投资人提供确定性和信心。此外，通过掌握专业知识和深化内部知识，进而为投资人提供知识培训，沃旭能源实现了双重效益，即投资方参与和对内部员工进行二次培训，从而提供了新的就业机会。

成为先行者：享受益处，做好应对挑战的准备

从技术、物流和财务的角度来看，成为先行者既有好处也有隐患。以沃旭能源为例，率先在海上风电行业进行风险投资，追求技术、财务和运营的可持续性，在挑战、风险规避和收益方面展示了宝贵的经验。公司内部的文化转变，内部人才的使用，技能二次培训，在内部员工的全力支持下实现“85/15”愿景，这些都是必不可少的部分。最终，沃旭能源连续三年在2019、2020和2021年荣获“全球最具可持续性的能源公司”的称号。

合资项目的价值：风险技能

供应链中新旧参与者之间的战略伙伴关系重组是另一个关键的成功。通过重塑总承包提供商的角色，实现了海上风电理念的欣欣向荣：通过合资经营项目，与拥有行业经验的其他国际公司携手合作，帮助沃旭能源在新行业的站稳了脚跟。最后，扩展过程被证明是行业的强劲信号，该行业对可观的承诺做出了积极的反应（例如西门子的500风机），顺应新的需求，有助于在未来项目中降低成本。

建立人力资源：充分利用内部资源，人才培养，与现有基础产生协同效应，吸引新人才的加入

企业可以通过二次培训和边做边学的方式，培养新技术所需的人才。由政府 and 私营企业开展合作示范项目，是启动行业的一条捷径，并获得宝贵的内部技术经验，同时提高该领域的人才能力和专业技能。此外，绿色议程对年轻一代具有较大的吸引力，他们往往会对有待开发的领域感到新奇，充满热情，帮助创造高质量的就业岗位。最后，对于化石燃料链上游的人才，应制定有针对性的劳动力市场政策，以帮助他们完成再教育和就业，确保转型的公平性。

结论

此报告详述了丹麦能源政策演变过程中的关键事件。文章使用沃旭能源作为典型案例，展示了一家能源公司如何在维持财务可持续性和盈利性的同时，顺利地从黑色能源转变到绿色能源。

国际社会已经认识到有必要根据《巴黎协定》做出改变，机构投资者对具有污染性的能源的态度也发生了明显转变，这让传统能源公司的生存都受到了威胁。政府有责任规划长期的能源系统，以减少排放，为子孙后代谋福祉，同时必须注重监管框架的设计，支持能源公司为转型做出贡献。企业如果能够认识到环境的变化，做出必要的战略决策和投资，推动可持续转型的公司，就能收获绿色转型带来的潜在收益。尽管每个国家和企业都有特定的环境背景，但这份出版物中介绍的知识经验，有助于引导政府和能源公司做好绿色能源转型的准备工作。沃旭能源成功的绿色转型主要来自于海上风电。尽管技术的选择并不一定是本报告中所陈述的最重要经验，但希望报告中介绍的批判性思考、决策过程、风险和成果等等，能够为不同的境况下的政府和企业提供宝贵经验。五十年前，丹麦开始冒险进入尚未开发的风能领域，并将绿色转型一直持续到了今天。可能并非所有先行者的商业路径都和丹麦一致，但有一点是确定的：行动得越早，绿色转型就会进展得越顺利。

参考文献

- Bazilian, M., & Gielen, D. (2020). 5 years after Paris: How countries' climate policies match up to their promises, and who's aiming for net zero emissions. <https://theconversation.com/5-years-after-paris-how-countries-climate-policies-match-up-to-their-promises-and-whos-aiming-for-net-zero-emissions-151722>
- Bloomberg. (2020). The new Energy Giants are renewable companies. <https://www.bloomberg.com/graphics/2020-renewable-energy-supermajors/>
- Corporate Knights. (2021). 2021 Global 100. <https://www.corporateknights.com/reports/2021-global-100/>
- Danish Energy Agency. (2018). Denmark's Energy Past - Main events in the field of energy (in Danish). <https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/politiske-aftaler-paa-energiomraadet>
- Danish Energy Agency. (2015). Danish Experiences from Offshore Wind Development. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/offshore_wind_development.pdf
- Danish Energy Agency. (2019). Danish Energy Statistics - Annual and Monthly. <https://ens.dk/en/our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/annual-and-monthly-statistics>
- Danish Energy Agency. (2020a). Biomass analysis. <https://ens.dk/en/our-responsibilities/bioenergy/solid-biomass>
- Danish Energy Agency. (2020b). Green transition of Danish Power Production - before and after the liberalization of the electricity sector.
- Danish Energy Agency. (2020c). Liberalisation of the Danish power sector, 1995-2020. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/liberalisation_of_the_danish_power_sector_-_report_final.pdf
- Danish Energy Agency. (2020d). The Danish Offshore Wind Tender Model. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/the_danish_offshore_wind_tender_model_final.pdf
- Danish Energy Agency. (2021a). Development and role of flexibility in the Danish Power System - Solutions for integrating 50% wind and solar, and potential, future solutions for the remaining 50 %. (Under development)
- Danish Energy Agency. (2021b). Technology Data for energy technologies. <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data>
- ENTSO-E. (2021). Single Day-ahead Coupling (SDAC). https://www.entsoe.eu/network_codes/cacm/implementation/sdac/
- Nielsen, F. G., Lauge Pedersen, S., Askou Bøss, J., Eldrup, A., Hjelmsted, P., Markussen, P., Neubert, M., & Clark, D. (2021). Private interviews with actors involved in the transition.
- International Energy Agency. (2020). World Energy Outlook 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- Muzondo, C., Bridle, R., Geddes, A., Mostafa, M., & Kühl, J. (2021). Power by All: Alternatives to a privately owned future for renewable energy in South Africa GSI REPORT. <https://www.iisd.org/system/files/2021-04/alternatives-privately-owned-renewable-energy-south-africa.pdf>
- Nordic Energy Regulators. (2006). The integrated Nordic end-user electricity market. <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/37/075/37075421.pdf>
- Ørsted. (2020). Annual Reports. <https://orsted.com/en/investors/ir-material/financial-reports-and-presentations#financial-reports-presentations-and-fact-sheets-2020>
- Ørsted. (2021). Our green business transformation - What we did and lessons learned. <https://orsted.com/en/about-us/whitepapers/green-transformation-lessons-learned>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). South Korea: CO₂ Country Profile. https://ourworldindata.org/co2/country/south-korea?country=KOR~CHN~JPN~OW-ID_WRL#what-are-the-country-s-annual-co2-emissions
- The Economist. (2019). Orsted has helped boost the prospects of offshore windpower. <https://www.economist.com/business/2019/08/31/orsted-has-helped-boost-the-prospects-of-offshore-windpower>
- Wehrmann, B. (2020). Germany's first coal plant phase-out auction a success, with 4.8GW to close. <https://reneweconomy.com.au/germanys-first-coal-plant-phase-out-auction-a-success-with-4-8gw-to-close-37101/>
- Wood Mackenzie. (2020). The Euro Majors' big bet on new energy: How to show value in early-stage renewables growth. <https://www.woodmac.com/news/the-edge/the-euro-majors-big-bet-on-new-energy/>
- Wyman, O. (2020). World Energy trilemma Index. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2020/oct/world-energy-trilemma-index-2020.html>

丹麦绿色国度是一个公私合作的非营利机构。
我们促进与国际合作伙伴的关系，是您了解丹麦致力于全球向更可持续、低碳、
资源高效性社会转型的一站式入口。

欢迎登录我们的中文官方网站，
了解丹麦的绿色转型，并与丹麦专家取得联系：

www.stateofgreen.cn

关注绿色国度微信公众号



绿色国度是一个公私合作的非营利机构，由以下几方共同成立：



Confederation of Danish Industry



Danish Agriculture
& Food Council



Danish Ministry of Climate,
Energy and Utilities



Ministry of Environment
of Denmark



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK