



Danish Energy
Agency

丹麦海上风电开发经验

目录

1. 引言	3
1.1 主要经验	4
2. 丹麦风电发展历史和背景	6
3. 丹麦海上风电	7
4. 丹麦海上风电场运行水平和电价	9
5. 丹麦海上风电运营商和风机类型	10
6. 丹麦海上风电场规划	12
6.1 重要经验	17
7. 许可流程	19
8. 海上风电招标	22
9. 开放式项目	27
10. 丹麦电网和电力市场	29
11. 丹麦海上风电经济学	31
12. 投资环境	33
13. 附录 & 链接	35

本出版物由丹麦能源公用事业和气候部丹麦能源署编制。

本出版物的目的是，分享丹麦海上风电行业25年的丰富经验，尤其是侧重监管方面的经验。

欢迎对报告发表意见看法，相关意见建议可发送至丹麦能源署的Erik Kjaer先生（ekj@ens.dk）。

于2017年3月更新

1. 引言

尽管领土面积不大，但丹麦在海上风电行业发展中取得了巨大成功。

绵延的海岸线、丰富的风力资源及浅海水域等自然资源为丹麦25年前兴起的风电行业奠定了坚实的起点。

丹麦海上风电的成功正是由于丹麦政府提出的广泛的长期政治承诺做后盾，同时有不断完善监管框架提供支撑。

事实证明，海上风电行业的创建需要坚定不移的政治支持。然而，从全球来看，海上风电行业仍是一个年轻的产业，到2016年底，海上风电装机容量仅为14 GW，。

我们在2015年中出版的第一版丹麦海上风电报告中提到，海上风电行业面临的一个突出挑战仍然是降低海上风电的平准化能源成本（LCoE）。这期间的一年半中，海上风电成本降低取得极大的进展，2016年11月份丹麦Kriegers Flak海上风电项目的中标电价更是创造了新的世界纪录。

降成本的过程大多受到发展规模、研发情况的驱动，以及在某种程度上由时间决定。因此，致力于开发海上风电的各国政府负有共同责任，应携手扩大海上风电发展规模，实现降低平准化能源成本的目标。

丹麦勇于承担这一责任，设定了到2020年海上风电容量翻一番的宏伟目标。

由于海上风电业务具有其风险性，在设计监管框架时，规划流程和风险分配都十分重要。

本报告描述了丹麦截至目前为止的海上风电发展历程，重点介绍了政府在迫切希望创建一个新的行业时所应采取的行动。

我们相信，您一定能从丹麦的经验中受到一定启发。

1.1 主要经验

- 做好海上风电开发的准备工作，为开发企业提供初期调研结果，可以降低海上风电成本。这有助于开发企业在规划实际项目前对风电场址有一个充分的认识，也有助于投资商计算出成本电价而非预估生产电价。
- 如果开发企业能够确定，一旦风电场建成即可以开始投入运营，并网发电，那么海上风电成本将可能降低。
- 为投资、规划和建设者提供一站式服务，即由一个政府机构作为接口。
- 在投资商设定电价之前，由政府部门牵头，对指定开发区域开展包括环境影响评价在内的所有前期调研，这样，投资商和开发企业的风险可控。这样做的优势在于，计算电价的时间推迟了，十分接近与供应商签订合同的时间。这样一来，便可大大降低市场电价波动的风险。



2. 丹麦风电发展历史和背景

上世纪70年代末，丹麦生产出首批风力发电机，单机容量为22kW，在整个80年代，丹麦风机单机容量逐渐增加到55、75及95 kW。在实现商业化生产的同时，丹麦电力公司承担了一项由政府资助的风电发展试点项目，对大容量风机进行试验。

自上世纪80年代起，风机的商业化单机规模不断增长。当前最大的风机（目前正在进行样机试验）为9 MW机组，风轮直径达到164 m。

丹麦风机数量在2001年达到峰值，风电装机容量达到 6,200多台，其中有一半以上为单机容量不足500 kW的老旧风机。几乎所有的装机容量均为陆上风电。

自那时起风机数量下降了1000台左右，而装机容量从2000年的2500MW增加到2016年底的5,000 MW。风电在丹麦国内电力供应中的比重自1980年起稳定增长。1990年，这一比重为1.9%，此后则呈急剧增长趋势。1999年，这一比重上升至10%，到2008年则达到19.1%。2015年的风电占丹麦电力供应的比例*达到42%。

预测表明，丹麦规划的风电场装机容量预期将新增1350 MW。到2020年，风电占电力供应的比重将超过50%。2015年，丹麦风机行业生产企业的总营业额达到880亿丹麦克朗，其中出口总额达到480亿丹麦克朗。

公众参与

丹麦风电发展的特征之一是强有力的公众参与。最初的风机行业由小型机械制造商创建，仅在经历90年代的行业整合后，风机行业才逐渐被大型企业、部分国际化及上市公司所主导。

与此相类似，用户侧的参与程度也很高，大量共同所有产权的风机建成于1984-1994年。自1995年起，大多数建成的风机为个人、能源公司及其它商业化风电公司所有。

此后又有一种趋势，新风电项目多为独立所有权，并采用单机相对较大的风机，这种转变使得新项目难以获得当地支持。而为确保风电的持续发展，获得当地社区的支持尤为重要。

因此，为争取项目所在地对新建风电项目的支持，2008年2月21日签署的《能源政策协议》推出了一些新举措，包括赋予当地社区购买风电项目股权的选择权。

*风电比例是指风电发电量在年度全社会电力消费中所占的比例。

3. 丹麦海上风电

1991年，丹麦建成了全球首个海上风电场，即Vindeby海上风电场，该风场共安装风机11台，单机容量450 kW，成为全球首个将风电延伸至海上的国家。随后一系列小型示范项目接踵而至，然后建成了Horns Rev I和 Nysted两个大型海上风电场，其装机容量分别达到160 MW和165 MW。

有些海上风电场是由电力公司根据政府指令或通过招标建设的，另外一些海上风电场则为当地风机所有人协会部分或全资所有，比如Middelgrunden 和 Samsø等地。

丹麦接入电网的海上风电装机容量达到 1,300 MW， 仍为全球最大的海上风电开发国之一。

一方面，海上风电的建设和运行成本大大高于陆上风电。另一方面，海上有着更高的风速及更稳定的风况，因而风力发电条件也更优。在丹麦，风电场的建设和运营权往往通过竞标决定，中标的电力公司的发电成本则体现为每kWh发电量的上网电价。

海上风电场名称	投运年份	风机数量	总装机容量
Vindeby	1991 年**	11	5 MW
Tunø Knob	1995 年	10	5 MW
Middelgrunden	2001 年	20	40 MW
Horns Rev 1	2002 年	80	160 MW
Samsø	2003 年	10	23 MW
Rønland	2003 年	8	17 MW
Frederikshavn	2003 年	3	8 MW
Nysted	2003 年	72	165 MW
Horns Rev 2	2009 年	91	209 MW
Avedøre Holme	2009/2010 年	3	11 MW
Sprogø	2009 年	7	21 MW
Rødsand 2	2010 年	90	207 MW
Anholt	2012 年	111	400 MW
Horns Rev 3	2020 年*	49	406.7 MW
近海（2个项目）	2019 年*	无	350 MW
Kriegers Flak	2021 年*	无	600 MW

到2016年年底丹麦在运的海上风电场。即将建设的风电场以红色*字体显示。**Vindeby将在2017年退役。

Rødsand II、Horns Rev II 和 Anholt, Horns Rev III, 近海和Kriegers Flak风电场的建设就是通过招标决定的。这些项目分别是2004年3月29日签署的《能源政策协议》及2008年2月21日签署的《能源政策协议》的产物。

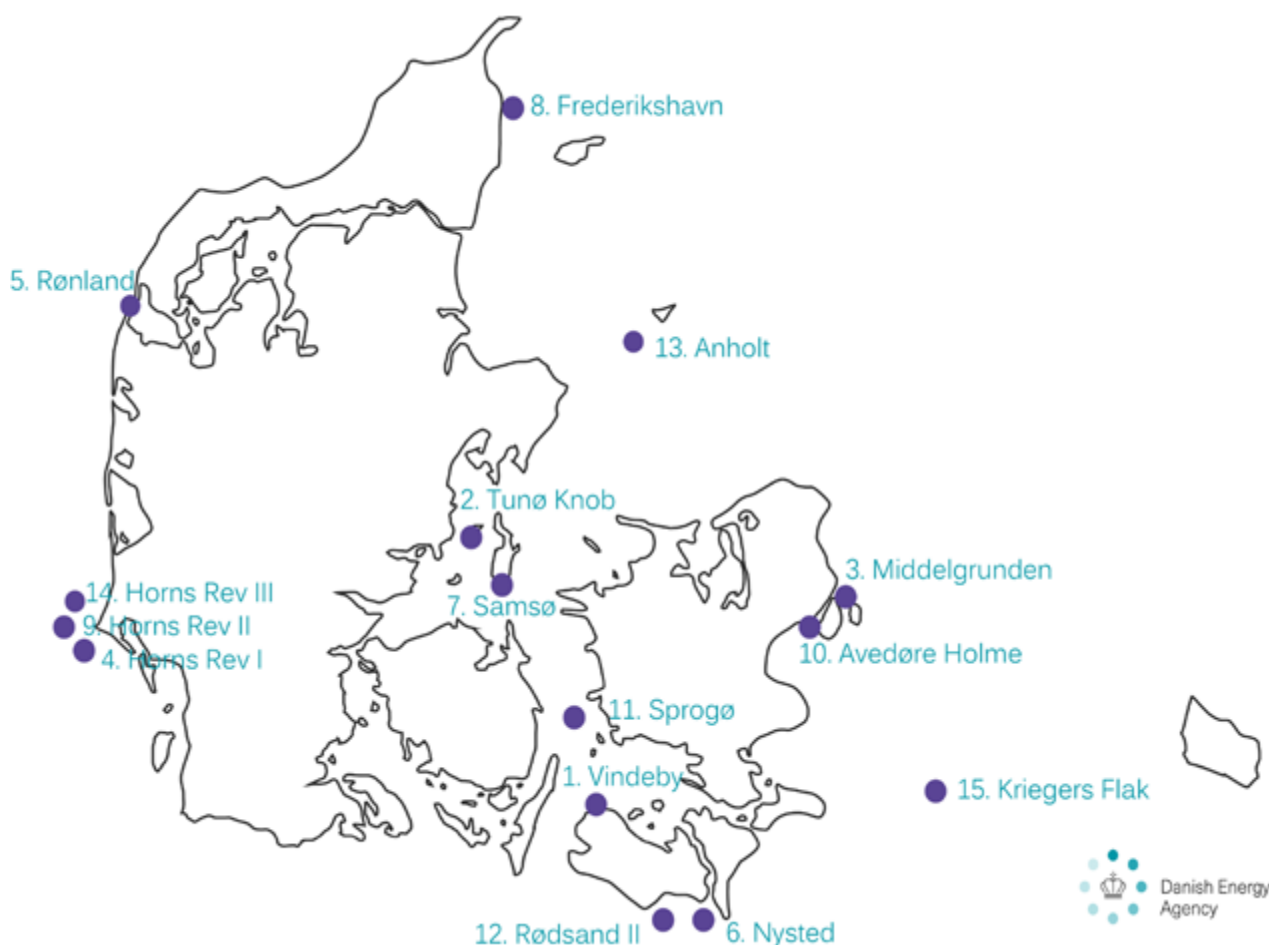
比如Horns Rev II风电场项目，丹麦企业DONG Energy以0.52丹麦克朗/ kWh 的上网电价中标特许经营权，该电价适用于10 TWh（100亿kWh）发电量（相当于约50,000满负荷运行小时）。其后生产的电力则必须执行实时市场电价。Rødsand II项目的中标企业是瑞典E.ON AB，中标电价为0.63丹麦克朗/ kWh，10 TWh（100亿kWh）发电量（相当于约50,000满负荷运行小时）。Anholt 项目的中标电价为1.05丹麦克朗/kWh，适用于前20 TWh（200亿kWh）发电量（相当于约50,000满负荷运行小时）。

2015年初，Vattenfall以前20 TWh（200亿kWh）发电量0.77丹麦克朗/kWh 的电价赢得了400 MW Horns Rev 3项目的特许经营权。这一电价显著低于Anholt 项目，被视作在面临各种挑战的北海地区的标杆性电价。

2016年,丹麦又产生了两轮竞标。第一个项目是350MW的2个北海近海项目，Vattenfall以前17.5 TWh（175亿kWh）电量0.475丹麦克朗/kWh的电价中标。这个电价显著地低于当初能源政策协议所预期的0.70丹麦克朗/kWh。

没有最低，只有更低。第二个招标结果于2016年底揭晓，位于波罗的海的Kriegers Flak 600MW海上风电项目再次刷新了海上风电电价纪录，Vattenfall以0.372丹麦克朗/kWh的电价赢得30 TWh（300亿kWh）电量合同。

丹麦在运的海上风电场



4. 丹麦海上风电场运行水平和电价

名称	总容量	上网电价/@满负荷运行小时*) 上网溢价/@满负荷运行小时*)	2014 年发电量 (kWh)	2014年满负荷运行小时	2015 年发电量 (kWh)	2015年满负荷运行小时
Vindeby	5 MW	无	9,426,921	1,885	6,712,181	1,342
Tunø Knob	5 MW	无	14,350,997	2,870	14,699,427	2,940
Middelgrunden	40 MW	0.43 DKK/kWh@10 年	93,308,955	2,333	96,564,000	2,414
Horns Rev I #)	160 MW	0.35 DKK/kWh@42,000 小时	657,965,075	4,112	613,219,800	3,833
Samsø	23 MW	0.36 DKK/kWh@10 年	79,607,528	3,461	85,374,850	3,712
Rønland	17 MW	0.36 DKK/kWh@10 年	72,516,589	4,266	75,399,506	4,435
Frederikshavn	8 MW	0.36 DKK/kWh@10 年	23,949,546	2,994	22,371,643	2,796
Nysted #)	165 MW	0.35 DKK/kWh@42,000 小时	575,767,142	3,489	584,763,781	3,544
Horns Rev II #)	209 MW	0.52 DKK/kWh@50,000 小时	939,515,902	4,495	752,745,695	3,602
Avedøre Holme	11 MW	0.27 DKK/kWh@22,000 小时	36,914,383	3,356	40,712,032	3,701
Sprogø	21 MW	0.27 DKK/kWh@22,000 小时	67,114,400	3,196	64,970,829	3,094
Rødsand 2 #)	207 MW	0.63 DKK/kWh@53,000 小时	820,615,791	3,964	815,231,735	3,938
Anholt #)	400 MW	1.05 DKK/kWh@50,000 小时	1,781,442,640	4,454	1,630,948,813	4,077
Horns Rev III #)	400 MW	0.77 DKK/kWh@50,000 小时	无	无	无	无
近海 (最多6个项目)	350 MW	0.475 DKK/kWh@50,000 小时	无	无	无	无
Kriegers Flak #)	600 MW	0.372 DKK/kWh@50,000 小时	无	无	无	无

上表备注:

*)以黑色字体显示的上网电价为项目所有者在满负荷运行小时数内的固定电价, 如, 折合50,000小时满负荷运行等于运行10-12年, 具体取决于风资源和运行水平等因素。在此之后, 风电场上网电价执行电力市场电价。电力市场价格处于或低于零时, 在数小时内不会给予支持。

以红色字体显示的上网电价为按照满负荷运行小时数内最高市场电价支付的电价。在此之后, 风电场上网电价执行电力市场电价。目前, 电力市场平均电价约为0.20 – 0.40 DKK/kWh, 具有很大的波动性。

丹麦政府并不要求开发商报告投资成本, 因此, 无法获知资本支出数据。

以#)标示的项目由所有电力用户支付并网费用, 即并网费用不通过上网电价支付。电网接入工程由丹麦国有输电运营商 (TSO) 拥有, 并负责设计、建设和运行, 是丹麦支柱性电网不可或缺的一部分。

通过使用本公式: 年满负荷运行小时数/8760 * 100%, 可根据满负荷运行小时数轻松计算出容量系数, 如4,125满负荷运行小时相当于47.09%的容量系数。

5. 丹麦海上风电运营商和风机类型

名称	运营商*)	装机容量	风机数量	风机厂家/机型	风机基础类型
Vindeby	DONG Energy	4.95 MW	11	Bonus 450 kW/37	重力式
Tunø Knob	DONG Energy	5 MW	10	维斯塔斯 V39-500 kW	重力式
Middelgrunden	DONG Energy	40 MW	20	Bonus 2.0 MW/76	重力式
Horns Rev 1	Vattenfall	160 MW	80	维斯塔斯 V80-2.0 MW	单桩
Samsø	Samsø Havvind	23 MW	10	Bonus 2.3 MW/82	单桩
Rønland	Vindenergi/ Harboøre Møllelaug + Thyborøn-Harboøre Vindmøllelaug	17.2 MW	8	维斯塔斯 V80-2.0 MW / Bonus 2.3 MW/82	重力式/重力式
Frederikshavn	DONG Energy	7.6 MW	3	Nordex N90/2300 / 维斯塔斯 V90-3.0 MW / Bonus 2.3 MW/82	单桩 / 负压桶基/单桩
Nysted 1	DONG Energy	165.6 MW	72	Bonus 2.3 MW/82	重力式
Horns Rev 2	DONG Energy	209.3 MW	91	西门子SWT-2.3-93	单桩
Avedøre Holme	DONG Energy	10.8 MW	3	西门子 SWT-3.6-120	重力式
Sprogø	Sund & Bælt	21 MW	7	维斯塔斯 V90-3.0 MW	重力式
Rødsand 2	E.ON	207 MW	90	西门子 SWT-2.3-93	重力式
Anholt	DONG Energy	399.6 MW	111	西门子 SWT-3.5-120	单桩
Horns Rev 3	Vattenfall	406.7 MW	49	MHI Vestas V164	单桩
近海（2个项目）	Vattenfall	350 MW	无	无	无
Kriegers Flak	Vattenfall	600 MW	无	无	无

以上表格列举了截止2016年年底运行的海上风电场，包括运营商、风机类型及风机基础类型等。

上表备注：

*) 请勿混淆运营商与所有者。运营商一般来说是投资商团体的一部分。

由于在陆上和海上风电领域具有先发优势，丹麦是先进风电供应链的所在地。丹麦风电行业的从业人员达到28,000人。全球最大的风机供应商-Vestas Wind Systems A/S在纳斯达克和哥本哈根证券交易所上市，总部位于丹麦。西门子风电公司（前Bonus Wind公司）的大多数风机制造工厂设在丹麦。



6. 丹麦海上风电场规划

丹麦转向海上风电开发的一个主要驱动因素在于，陆上风电场址可用的土地资源不足，但其广阔的浅海水域有着丰富的风力资源。自1991年起，在充分考虑了发电量及积累的经验后，丹麦政府开始有意识地在东西部海域均匀部署大型海上风电场。

1985年，丹麦政府要求两家大型垂直一体化（即拥有发电、输电/配电所有权）的电力公司建设大型海上风电场，以积累相关经验。

另外一个目的还包括研究大型海上风电项目对环境的影响。为此，针对这两个风电场的环境监测项目也同时开展，包括调查各种海上状况，即不同盐度、洋流和潮汐，不同物种所在地、栖息地及对迁徙模式的影响等。

开展环境监测项目的目的是，确保海上风电项目不对自然生态系统产生破坏性影响，为进一步的海上风电开发决策提供坚实的基础。测量和监测项目对于特定场址海上风电场的扩建，及其它大型海上风电场的建设均至关重要。所有信息均以英文发布，并向公众披露。

通过建设丹麦东西部的两个试点项目，电力公司履行了其建设海上风电场的义务。试点项目分别分布在北海和波罗的海，也有助于丹麦获取东西部输电网在以下两方面的相关经验：处理海上升压站平台的并网问题；电网系统运行，即应对风电的间歇性。

大型海上风电场往往远离主要负荷中心，且被并入人口稀少地区的输电网。其产生的电力必须能够长距离地输送出来。在确定海上风电场场址时，需要利用空间规划方法，同时考虑并网线路及其它相关方面。

在2007年发布的“富有远见的丹麦能源政策2025”中，丹麦政府制定了通过风电开发战略规划

增加风力发电量的目标。战略规划包括为丹麦风电发展制定良好的空间规划框架，推广陆上和海上示范试点项目，起草海上风电基础设施规划。

海上风电场海洋空间规划

尽管海上风电是一种颇具吸引力的替代能源，海上风电场的开发应基于全面、审慎的规划。规划方法应通盘考虑，包括海洋环境脆弱性及全部海洋用途。

在建设风电场时，必须考虑风电场所在地的自然和人文环境。因此，有必要利用规划系统来显示海洋空间承受的压力程度。在规划中很重要的一点是识别众多的海洋相关利益，并尝试减缓相关影响。这是确保在尊重环境与其他海洋用户的同时，恰当进行海上风电场选址的唯一途径。

1995年，丹麦成立了海上风电空间规划委员会，该委员会由丹麦能源署领导，由各政府部门组成，分别负责自然环境、海洋安全及航海、海洋资源开采及视觉规划及电网接入。

委员会还具备风电、风机、风机基础和电网技术等领域的专业知识。该委员会的工作重点是确保海上风电场及相关输电网发展的规划和协调。

委员会检查海上风电送出工程的工程、经济和规划方案，及对电网的影响。委员会定期从其它用海方及相关海洋用途的角度评估海上风电场的选址。委员会负责为海上风电场选择适当的场址，即在确保充分利用海上风电的同时，尽量减少对自然及其它海洋用途的影响。在找到合适场址后，这些场址将被预留下来用于建设海上风电场。

在实际工作中，委员会利用地理信息系统GIS绘图。GIS地图中标示了每个政府主管部门的预留区域，如帆船航线、环境保护区域、海底电

缆等。将这些地图进行相互重叠整理，就会得到一幅无用海冲突的区域图。随后按照与海岸的距离、风速及水深等因素评估海上风电预留区域。

从风速、电网传输、海军和空中导航、自然、景观及原材料开采等各方面评估出可能用于海上风电场的场址，按照海上风电场的预期建设和运行成本进行评估。海上风电空间规划委员会高度重视海上风电发展与输电网的规划和协调扩展，以力求以最好风资源及最低建设成本来获取潜在最大经济效益。

随后，海上风电空间规划委员会将与其它海洋主管当局及相关城市讨论拟议场址。如果所有公共主管当局同意相关海上风电场场址规划，相关海上风电场提案将提交至听证会。如有必要，相关邻国也可以召开听证会。这可能导致需要进一步调整方案。

1997、2007、2011及2012年，由海上风电空间规划委员会主导，均按以上流程开展了规划。在不开展规划活动的时段里，海上风电空间规划委员会处于休会状态，一旦需要开展新的规划活动，立即恢复运行。

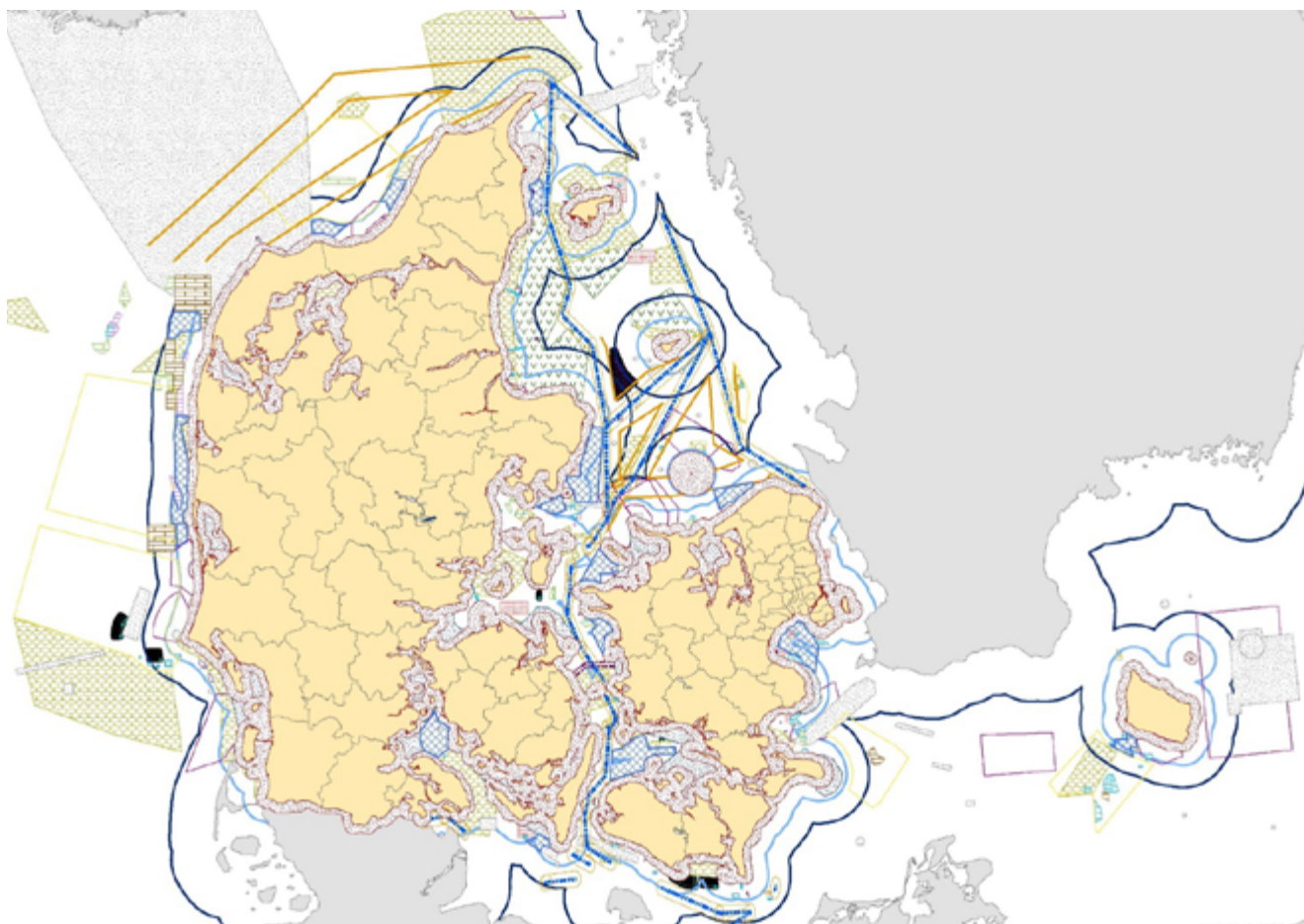


图 1：描述了相关海洋用途及与离岸距离的空间规划图示例

原规划活动 - 1997年行动计划

1997年发布的《海上风电场行动计划》建议在几个区域集中开发大型海上风电项目，开展大规模示范项目，以展示大型风电场的环境和电网相关影响。

该行动计划筛选出了未来适合建设海上风电场的五个区域。这五个区域的选择主要基于前两个小型试点项目（Vindeby 和 Tunø）的经验及政府委员会的工作建议，其中包括风速测量、水深绘图、沿海景观的视觉影响及对其它用海相关方的评估。

这一行动计划的目的是，调查经济、技术和环境问题，加速海上风电开发，以开辟特定的未来风电场建设区域。

由于与帆船航线等其它用海需求冲突，及可能对某些物种产生不可接受的环境影响，有三个海上风电规划区域随后被排除。对于剩余的两个区域：Horns Rev 和 Rødsand（Nysted），丹麦政府发起了一项综合环境测量和监测项目，以调查在风电场施工前，建设中和竣工后的环境影响。

2007 及 2011 年的海洋空间规划

2007年4月，丹麦首次发布了《2025年未来海上风电场选址》报告。海上风电空间规划委员会详细分析了23个具体的可能选址（每个场址为44平方公里）。

由于桥梁、管道、港口及捕鱼配额等新增用海需求的出现，导致海上风电场开发的框架条件处于不断变化之中，海上风电选址也是一个动态过程。2011年4月丹麦该选址报告进行了更新。

报告中标出了许多海上风电开发规划区域，可容纳总装机容量为4,200 MW的海上风电建设。这些场址的风电装机容量约占丹麦用电量的50%。，目前已有多个场址正在建设大型风电场，如 Horns Rev 3（400 MW）和 Kriegers Flak（600 MW）。

2012年近海风电场址规划

由于近海风电场的预期成本低于海上风电场，丹麦政府启动了一项规划行动计划，寻找最适合的近海风电场址。除了大型海上风电区域，2011年开展的场址规划行动中筛选出了15个近海风电场址。这15个近海风电场址接受了战略性环境评估，以防止将来与对环境与自然发生冲突。

2012年，海上风电空间规划委员会公布了寻找最适合的近海风电场址的规划活动的结果，共选出了15个近海风电场址，每个风电场址的可装机容量为200 MW。

从大型海上风电场的环境监测项目及环境影响评估中收集的信息为海上风电空间规划过程提供了持续的信息来源。

风资源分布测绘

风资源是影响风电场收入的最重要因素，因此丹麦的风电规划往往特别关注风资源分布的测绘。

自上世纪80年代以来，风资源分布测绘工作一直被纳入国家和地区层面的风电规划过程。1999年，丹麦发布了全国风资源分布图。在进行风电规划中，该风能分布图可用于评估某一特定区域的风资源潜力，以按照战略性环境框架或评估研究，评估筛选出潜在的风电开发区域。

与此同时，风能分布图也可为开发商提供风速预测（预测的精确性已知且具有可追溯性），帮助其计算风能资源的可开发量。此外，风能分布图还可帮助输电运营商应对变化的风电，为长期电网规划提供信息参考。

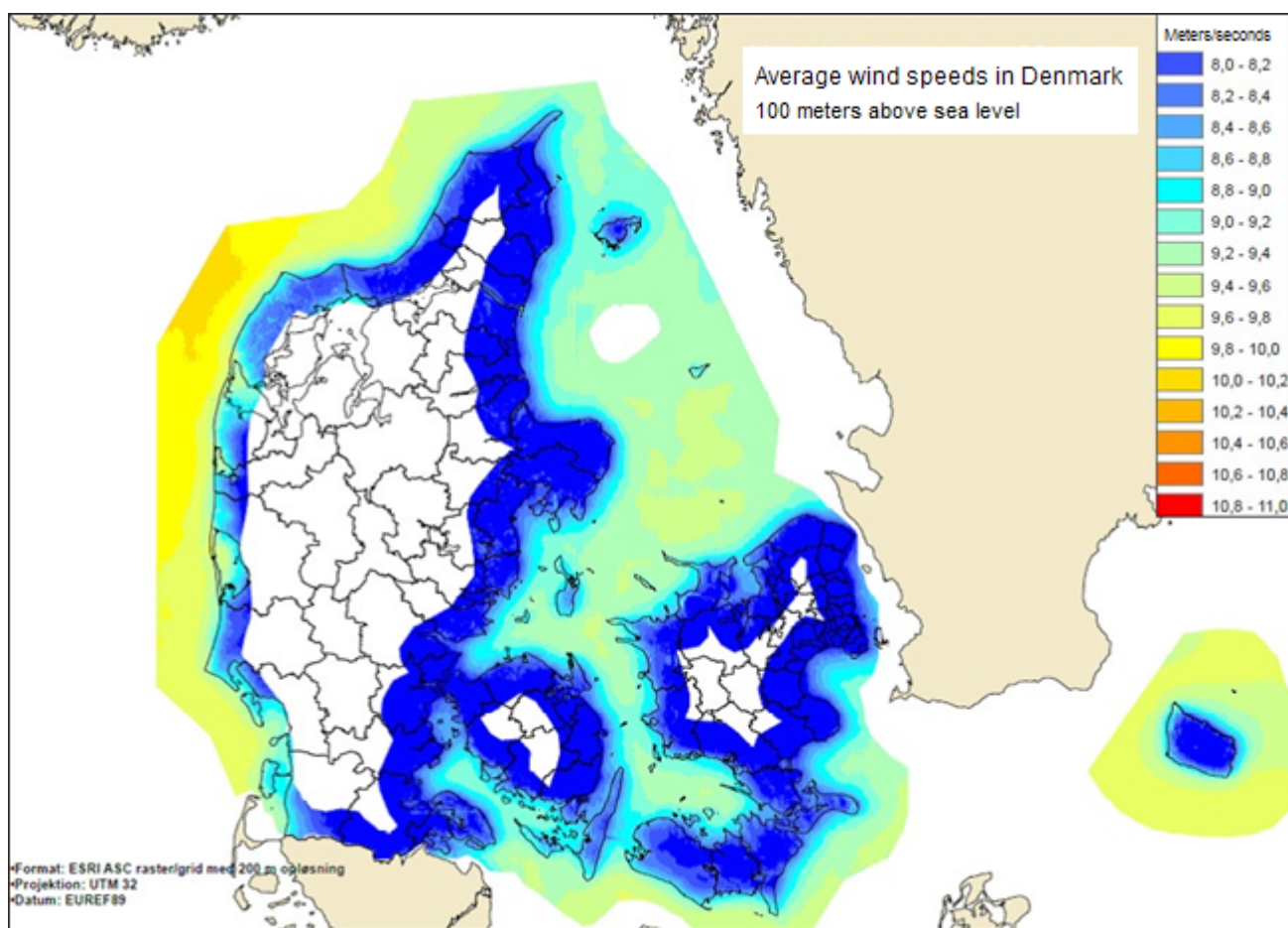


图 2：丹麦海平面100米以上的风速

6.1 重要经验

- 在指定海上风电项目区域时，进行全面的筛选和规划。
- 在筛选合适的海上风电场址时，考虑风况、海水深度、并网方案、海底状况、海洋生物等因素。
- 与所有用海部门的相关当局进行磋商，以避免未来的利益冲突。通常可找到折中办法。
- 在规划中至少考虑航线、环境敏感区、捕捞区域、资源和开采等利益冲突点。
- 在规划流程的初始阶段，牵头的政府部门推动所有受影响的利益相关方参与。这将确保场址规划过程中各方意见得到充分反映，一旦选定场址，即可尽量保持不变。
- 作为环境影响评估要求的一部分，在要求进行成本高昂的、十分耗时的分析前，先对完成评估的、且已公开披露的环境影响研究结果进行讨论。
- 考虑建立环境影响评估总体框架。



7. 许可流程

背景

丹麦能源署负责规划海上风电，并为其发放许可证和生产许可，因此，丹麦能源署是负责海上风电场规划和运行的主管当局。丹麦能源署也负责审批新的电网接入项目。

在丹麦建立海上风电项目须获得4项许可证。并网还须获得许可证。丹麦能源署负责发放所有许可证，并为项目开发企业提供“一站式服务”，以解决在建立海上风电项目中遇到的与许多利益相关方的利益冲突问题。建立海上风电项目必须获得以下4项许可证：

1. 前期勘查许可证。
2. 海上风电场建设许可证。在授予本许可证之前，必须开展环境影响评估。
3. 25年期风电开发许可证。该许可证可进行延期。
4. 按照电力法规发放的发电许可证。

任何项目均须先后获得这4项许可证。如果是小型项目，那么并网许可证可包含在海上风电场建设许可证中。如果是大型项目，则必须单独申请并网许可。

在丹麦，新的海上风电场项目可按照两种不同的程序建立：政府招标或开放式项目。这两种程序是在首批海上风电项目积累的经验基础上逐渐发展而来的。

申诉

对于各种类型的海上和近海风电项目，受到重大影响的个人及相关环境组织可在发布海上风电场建设决策后的4周内，向能源申诉委员会提出申诉。与此相类似，陆上基础设施项目则可向环境申诉委员会提出申诉。

有证据表明，极少有个人或组织对项目提出申诉，这是因为在对具体项目开展环境影响评估之前，往往将经历全面的战略规划过程（筛选适当的海上风电场址）。

一站式服务

为了确保加速和简化申请流程，被授予特许经营合同的企业或联合体，在申请所有许可时只需对口一个政府部门，即丹麦能源署。丹麦能源署负责授予企业相关许可，并与其它相关主管当局进行协调。这意味着，丹麦能源署授予的许可也符合其它主管当局的相关条款，如丹麦自然署、丹麦海事局、丹麦海岸管理局、丹麦文化署、丹麦国防部等。其它主管当局也可以发放许可证作为补充。

政府招标

为了实现以最低成本建设新的海上风电场的政治决策，丹麦政府主持进行政府招标活动。在典型的政府招标程序中，丹麦能源署对某一选定区域内的一定规模（如600 MW）的海上风电项目发布招标公告。

根据项目性质，丹麦能源署邀请竞标企业以一定发电量的固定上网电价（以满负荷运行小时数计算）形式提交电力生产报价。每个项目的中标价格均不同，投标结果取决于项目位置、场址风况及当前电力市场的竞争形势等因素。

对于政府招标项目，往往由丹麦国家电网公司Energinet.dk负责建设、拥有和维护变电站和海底电缆（并负责将电力从海上风电场输送到陆上）。Energinet.dk是独立输电运营商，负责丹麦的电力基础设施建设活动。

开放式项目

对开放式项目，项目开发企业可以有一定选择性，选择在某一特定区域建设特定规模的海上风电场。首先，项目开发商须主动提交申请，获取在某一特定区域开展前期勘察的许可证。申请中必须至少包含项目描述、前期调查预期范围、风机大小和数量及项目地理区域选址局限等信息。在开放式项目中，开发商须支付送出工程的成本将电力输送到陆上。

开放式项目无法获得2007年4月发布的《2025年未来海上风电场选址》报告及2011年修订版中指定的海上风电场区域的许可。

在着手处理相关申请前，作为一站式服务的一部分，丹麦能源署将对其它政府机构发起听证会，以澄清是否存在其它可能妨碍项目实施的重大公共利益。在此基础上，丹麦能源署将决定申请区域是否可进行开发，如果给出的是肯定答案，那么丹麦能源署将为申请人发放开展前期勘察的许可，包括环境影响评估许可。

如果前期调查结果表明可批准拟议项目，那么项目开发企业可获得海上风电场建设许可证。

到目前为止，丹麦还没有一个海上风电项目是开放式项目。



8. 海上风电招标

丹麦议会以广泛多数通过了一项政治决议，到2020年海上风电装机容量将有显著增长。到2020年，海上风电装机容量翻一番，陆上风电装机容量得到显著增长，这将确保丹麦50%的用电量源自风电，使得丹麦成为风电领域的全球领先国家。

通过海上风电招标程序，有望新增1350MW风电装机容量。招标程序以开放性和透明度为特征，所有申请人均平等对待。

招标区域为海上风电空间规划过程中筛选出的场址。其它政府主管当局参与新建海上风电场址的筛选过程并批准最终报告，这是对该场址确定性的承诺。这反过来将为投资商带来保障，也可以了解场址相关信息。

在项目招标前的规划阶段，丹麦输电运营商负责开展环境影响评估，地质物理调查及一些岩土工程调查。对场址物理特征的深入研究有助于深化对场址的认识，帮助投资商深入了解在招标程序中可选取的技术方案。开展这些早期评估和勘察是为了缩短审批时间，帮助申请人提供基于实际成本的更优报价。与此同时，这些评估和勘察行动还为竞标者提供高投资保障，进而削减其风险。

前期地质调查的目的是，了解地质状况、二战时遗留下来的未引爆炸药及其它人为障碍、生物学特征（如冒泡珊瑚礁、石礁和海底/底栖生物植被）及海底海洋考古物体（如沉船和古迹）的相关信息。

前期勘察有助于下一步开展详细的海底状况调查。前期勘察将包含在环境影响评估报告中，以确保海底输电线路能够准确优化的规划和建造在该海上风电场所在的海底。此外，前期勘察还将提供风电场设计要求的信息，包括风机基础类型的选择。

前期勘察结果以及成本信息将在完成招标流程之前适时公布。前期勘察成本后续将由取得特许经营权的企业承担。

在开展前期勘察的同时，另外一个重要部分是海上升压站与海底电缆项目。输电运营商将负责该项目的规划、投资及采购。这项工程必须在海上风电场建成和投入运行前完成。如果未在此之前完成，那么风电场业主有权要求输电运营商提供赔偿。

Horns Rev 3 和 Krieger's Flak被视为是最适合进行公开招标的场址。这两个区域的平均风速达到10米/秒。良好的风况使得海上风电场的运行时间有望达到约4000满负荷运行小时/年。由于相关场址的海水深度达10-35米，且与海岸相距22-45公里，实现了经济性与海岸线视觉影响之间的平衡。

招标文件中将提供4项必要许可证草案：前期勘察许可证、海上风电场建设许可证、发电许可证及发电上网许可。

在完成招标程序后，被授予特许经营合同的企业或联合体可获得前期勘察许可证和海上风电场建设许可证。前期勘察许可证将允许中标企业或联合体开展进一步的岩土工程和地质物理调查作为补充。

与此相类似，获得海上风电场建设许可证的企业或联合体能够开展详细的规划活动，进一步筹备最终项目。在启动实际建设工作前，最终项目必须获得批准。

此外，企业或联合体也需要获得在某一特定区域开采风力资源以进行发电并网的许可。一般在建设工作启动后（不得晚于首台风机完成并网后）发放发电并网许可。此外，必须记录建设许可证的相关条款遵守情况。

在项目并网前，必须获得发电上网授权许可。在获取发电上网授权许可时，需要具备一定的技术和财务能力。

以上提及的所有许可证均以许可证草案的形式包含在投标规范中。投标规范由丹麦能源署发布，届时，丹麦能源署将提前与所有其它主管当局进行协商，或在建设阶段必要时与所有其它主管当局进行协商。

其他条件和要求

投标规范中还将指出，中标人须缴纳正常的公司税收，即不实施任何特殊税收规则。就保险要求来看，必须记录涵盖特许经营权持有人及其供应商的责任保险。

在最终授予特许经营权之前，必须落实风电场退役成本，或由母公司提供担保。

中标人可自行选择如何为海上风电场进行融资。由于中标人为风电场建设及运行提供资金的财务能力已经在资格预审过程中得到确定，丹麦主管当局不会对中标人提出进一步的融资相关要求。

这意味着主管当局并不了解投标人的详细商业案例假设，如资本支出、运营支出、风险溢价、内部收益率等。当特许经营权持有人或相关运营商确立风机基础、电缆和风机等组件合同时，这些合同条款将作为商业机密，不向主管当局进行汇报。

特许经营权持有人的典型公司结构

一般而言，中标人将注册一个特殊目的公司（SPV），即项目公司，其单一使命是建设、拥有和运行正在考虑当中的海上风电场。

此类结构将放宽特许经营权持有人可能希望获取的有限无追索权融资（项目融资）。如果中标人为两家或以上公司构成的合资企业，参照油气行业，这些企业往往签署合资企业合同。在这种情况下，可指定一家运营商来代表合资企业执行建设或其它任务。

简要招标程序

1. 与感兴趣的投标人和投资商开展技术对话。

丹麦能源署邀请潜在投标人和投资商开展双边技术对话。这将有助于调整前期勘查和投标规范，以满足市场要求。对话将考虑平等对待、透明度和相称性的原则。

2. 发布合同通知及完整的投标规范。

合同通知将向市场发布，以通知形式告知市场丹麦能源署希望缔结特许经营合同。丹麦能源署将起草满足特许经营合同条件的潜在投标人的资格预审技术和财务标准。完整的投标规范中将列出招标程序条款，建设海上风电场的框架条件，前期勘查、海上风电场建设及运行许可证草案，特许经营合同草案。

3. 与通过资格预审的投标人进行磋商。

如果希望参与招标程序，那么潜在投标人可提交资格预审申请。资格预审申请必须提交满足相关条件的证明文件（技术和财务能力）。在其提交的拟议投标书基础上，丹麦能源署将与该投标人协商最终招标规范要求及合同建议书设计。开展磋商的原因是，丹麦能源署必须能够澄清、指明和在必要时调整招标文件。

磋商须在不影响竞标流程的前提下开展。在开展磋商之前，丹麦能源署将公布进行公开磋商的事项。这些公开磋商事项主要涉及是否有必要及如何改善招标文件来降低电价。

4. 提交最终投标书。

基于磋商结果，投标人将在已发布的招标文件框架内调整招标文件。最终投标书将根据最终招标文件来提交。

5. 选定中标人及起草合同。

最终中标人将被招标文件中的授予标准选定。。丹麦能源署可与中标人缔结特许经营合同，并为其授予初期调查和海上风电场修建许可证。

近海风电场开发的新招标模式

由于近海风电场位于更浅海域，且连接海岸的电缆线路更短，因此，近海风电场的建设成本将更低。正在考虑的近海风电场址应至少与海岸相距4 km。

因此，丹麦议会广泛多数通过了一项政治决议，将对6个近海风电场址（最大场址200 MW）总容量为350 MW的项目开展竞标。这些近海风电场址将展开相互竞争，因此，预计本轮招标活动将仅开发不到3个场址。

从海岸可看到近海风电场。因此，项目获得当地支持十分重要。选择这6个区域的部分原因在于，这些区域的风电场项目业已获得了当地政府的大量支持。为了继续取得当地支持，与陆上风电项目一样，海上风电项目也要求特许经营权持有人为当地居民和企业提供至少20%的项目股权。请注意，仅有义务提供相关股权，而没有义务确保其获取相关股权。为了进一步鼓励中标人取得当地公众支持，如果在项目并网之日社区股权达到30%及以上的比例，该项目就可以获得更高上网电价。

海上风电场向离岸最近的电网送出电力的送出工程由开发企业负责投资建设，并网费用将作为公共服务义务（PSO）费用由电力用户承担。这主要是因为，在招标之前，风电场的规模或具体修建区域都是未知的。在这种情况下，最好将并网作为项目的一部分，由特许经营权持有人来负责并网和变电站规划，并承担相关成本。

输电运营商负责开展环境影响评估。在6个近海风电装机共350 MW的近海风电场的招标中，丹麦输电运营商Energinet.dk将对6个区域开展前期勘察。前期勘察包括地质物理和岩土工程调查、环境影响评估报告及海洋气象（风力、洋流、潮汐和波浪状况）调查。

Energinet.dk进行前期勘察后，将在整个招标流程走完之前适时发布相关勘察结果。这样的话，参加建设、拥有和运行近海风电场投标的企业将得以了解相关建设条件和风险。

中标企业必须承担前期勘察成本，以及地质调查、海洋气象调查及环境影响评估报告的成本。相关成本规模将在投标书提交之前发布。



9. 开放式项目

在开放式项目中，项目开发企业对在哪个区域建设海上风电场有一定的主动权。首先，企业须主动提交申请，获取在某一特定区域（空间规划过程中指定的风电区域以外的区域）开展前期勘察的许可证。申请中必须至少包含项目描述、前期勘察预期范围、风机大小和数量及项目所在地理区域选址局限等信息。

在着手处理相关申请前，丹麦能源署将对其它政府机构发起听证会，以澄清是否存在其它可能妨碍项目实施的重大公共利益。在此基础上，丹麦能源署将决定申请区域是否可进行开发，如果许可开发，丹麦能源署将为申请人发放开展前期勘察的许可，包括环境影响评估许可。前期勘察至少应包括环境影响评估、海底地质物理和岩土工程调查（以明确应使用的基础类型）。环境影响评估则必须评估海上风电场对环境的影响。

在与其它主管当局及利益相关方进行初步磋商后，丹麦能源署将决定海上风电场环境影响评估应涵盖哪些内容。由于环境影响评估须核查整体项目，也包括必要的陆上基础设施，因此，由丹麦自然署和各属地政府作为陆上基础设施相关的环境影响评估主管当局。环境影响评估必须证明、描述和评估项目实施对以下方面造成的环境后果：人群、动植物、海床、水、空气、气候和景观、有形资产和丹麦文化遗产。此外，环境影响评估必须描述替代选址方案及如何预防或减少环境滋扰的方案。

项目开发企业建设海上风电场的申请中必须包含以下相关的完整描述：项目预期范围、规模、地理位置、风机坐标、并网方案和电缆路径等，以及前期勘察结果。

丹麦能源署收到环境影响评估报告及最终的海上风电场建设申请后，将发起至少为期8周的公众咨询活动，以征询公众意见。

丹麦能源署在其网站及全国、当地报纸上发布公众咨询信息。其它主管当局、相关组织及市民可借此机会表达意见建议，丹麦能源署征集相关意见建议，纳入项目开发申请的处理流程及环境影响评估中。如果未收到任何要求取消项目的有力反对意见，如对受保护物种产生有害影响，那么丹麦能源署将发放海上风电场建设许可证。因此，丹麦能源署一般将要求项目开发企业在启动建设工作前提供详细的项目描述。

最后，项目开发企业必须申请海上风电场开发风电的许可，如果风电场容量超过25 MW，还须申请发电授权许可。发电许可证的申请必须在安装工作开始以后，首台风机投入运行之前的2个月内进行。在获得相关许可证之前，海上风电场不得向电网供应电力。这样一来，便可确保许可文件中的所有义务得到履行。

对于在指定海上风电区域以外的开放式项目，项目开发企业将获得与新装陆上风机相同的上网电价。对于开放式海上风电及近海风电项目，开发企业还须支付送出并网工程的费用。

风机试验和示范项目

丹麦的海上风电政治协议也规划了50 MW的试验风机。试验项目不与指定区域相挂钩，可位于任何条件允许的区域。此外，试验项目也不与实际风机相挂钩，试验项目可用于测试新基础类型、新安装方法及新电缆等。试验项目可包含8台风机。这些试验项目必须具有明确的技术发展目标，以降低未来海上风机的成本。

在此框架下，一个28MW试验风机项目已获得特许经营权。此项目正处于建设中，并且将对于一台7MW的风机和新型风机基础进行试验。此风电场在50,000满负荷运行小时数之内的电价为0.70丹麦克朗/kWh。

10. 丹麦电网和电力市场

丹麦建立了完善、高效的电力市场。目前已有42%的风电（在2015年用电总量中的占比）进入到电力市场，且未出现任何弃风限电情况。全面的规划，加上完善的市场机制，将确保丹麦到2020年，有近50%的风电进入到电力系统，同时还能保障高度的电力供应安全。

丹麦能源署对丹麦能源发展趋势所作预测的基准情景，是在假定不实施新的能源政策举措的条件下，对能源消费、能源生产、电力市场价格等发展趋势进行的预测。未来实际发展将受到新的能源政策举措的影响。

电网、电价和结算，如何发挥作用？

丹麦是北欧电力合作的创始成员国之一。北欧电力合作发起于2000年之前的电力行业垄断时期，在那时，如果两国发现存在共同的经济利益，那么双方将开展电力交流合作。如果某国的边际电价为 x （两者更高），而另一国的边际电价为 y （两者更低），那么交流电价为： $y+(x-y)/2$ ，即平均划分差价。

自2000年起，所有欧盟成员国均实现了电力市场自由化改革，这一进程推动了北欧电力市场Nordpool的形成。目前，北欧电力市场已发展得愈发成熟，可交易多种产品。Nordpool由北欧各国输电运营商联合所有，实时市场（日前市场）被视作是全球流通性最大的电力市场，售电方和购电方以受监管的平衡市场为支撑，通过日间市场实现整体的交易平衡。

本报告并不打算详细介绍电力市场本身。

然而，有必要指出的是，正是由于电力市场自由化改革前后的跨境交易，丹麦与邻国建立了强有力的电力互联关系。

从理论上来说，既然互联电力系统容量如此之高，那么丹麦几乎可进口所有用电量（某些最高峰值时段除外）。更多的跨境互联电力系统容量正在继续建设当中，因为这是能够接入不断增长的陆上和海上风电等波动性可再生能源的重要前提。

丹麦输电运营商

根据欧盟要求，丹麦成立了独立输电运营商，输电运营商不得拥有或运行发电资产。独立输电运营商的其中一个重要职责是，确保透明、非歧视性的日前市场，即所谓的市场组织者。独立输电运营商拥有和运行高压电网（132 kV - 400 kV）及与邻国的电力互联系统。独立输电运营商目前完全为国有，按照自己制定的战略性前景规划，以强有力的项目管理能力新建丹麦的输电基础设施。

在丹麦电力部门结构下，所有发电均完全商业化，而配电则为一项受监管业务。

可再生能源优先并网为新能源企业提供保障，确保按照现有并网规则出售和输送电力。如果出现弃风现象（概率极低），那么独立输电运营商有义务完全赔偿因弃风导致的收益损失。

海上风电并网

在丹麦（及德国），独立输电运营商负责规划、采购、安装、运行大型海上风电场的并网工程，并承担相关费用。“海上风电场招标”部分中详细描述了相关信息。并网模式的优势在于能保持高压电网的电气性能完整性，因为责任由独立输电运营商承担。这也意味着，并网和风电场的环境影响评估责任由独立输电运营商单方承担，因此可将两者相结合。

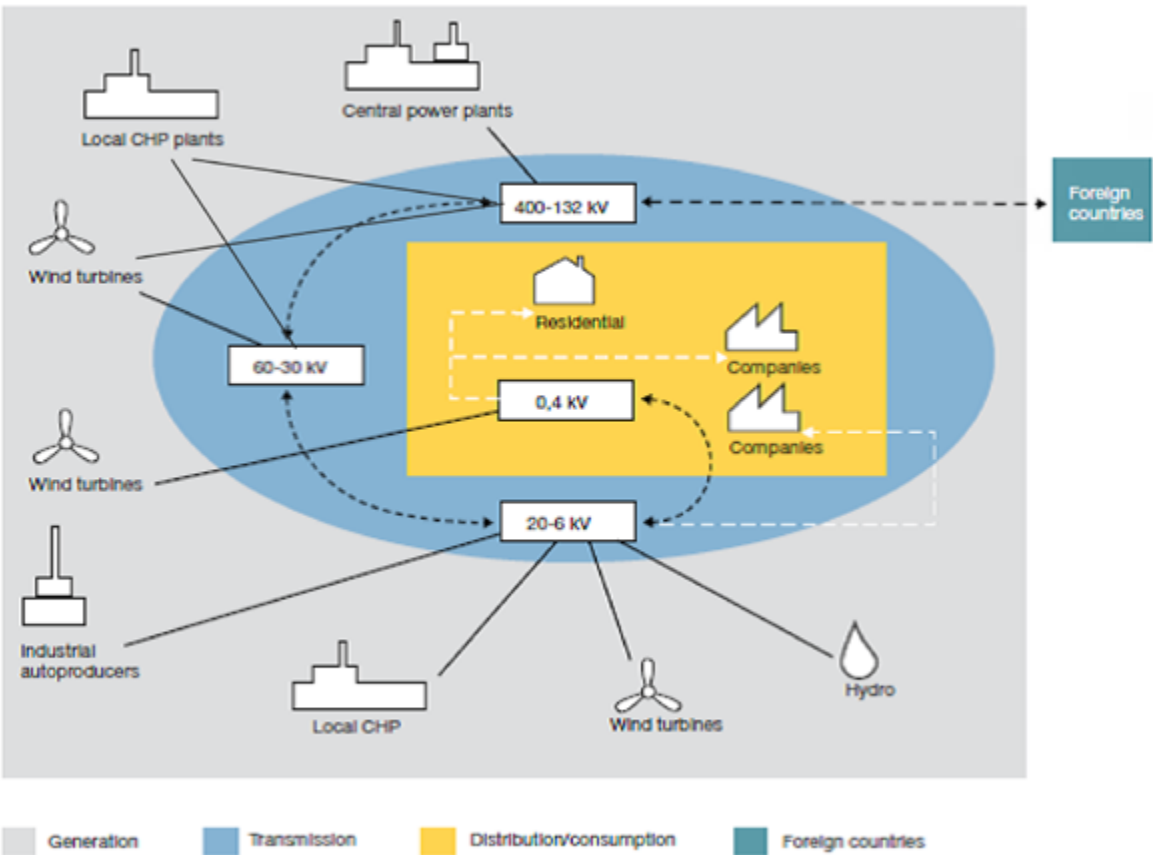


图 3：丹麦电网结构

11. 丹麦海上风电经济性

丹麦海上风电发展的宏观经济驱动因素

自丹麦开始部署风电项目以来，陆上风电项目经历了巨大的技术发展。目前，陆上风电成为最廉价的可再生能源技术，五年内，对一些理想场址的风电场来说，有望在不依靠政府电价补贴的情况下进行发电盈利。

海上风电项目有望取得与陆上风电项目一样的显著发展成果。

丹麦海上风电发展的政治原因如下：

- 丰富的陆上和海上风力资源；
- 在风电领域具有先发优势；
- 风电行业将带来大量就业机会，且可实施风电组件出口；
- 丹麦的陆地资源有限，且人口相对密集；
- 丹麦拥有很长的海岸线（> 7,300 km）及丰富的浅海水域。

在本报告前文中，我们已经列出了丹麦海上风电场实施的上网电价（第4节）。很明显，这些上网电价高于目前的电力批发市场平均电价。这一差价体现在公共服务义务PSO费用中，由所有电力用户承担。下图显示了PSO费用自2001年以来的演变。目前仍缺乏仅针对海上风电的PSO费用数据。请注意，按照欧盟要求，PSO融资计划将在未来几年内逐步淘汰。目前来自PSO计划的融资将逐步转移到丹麦财政法案。

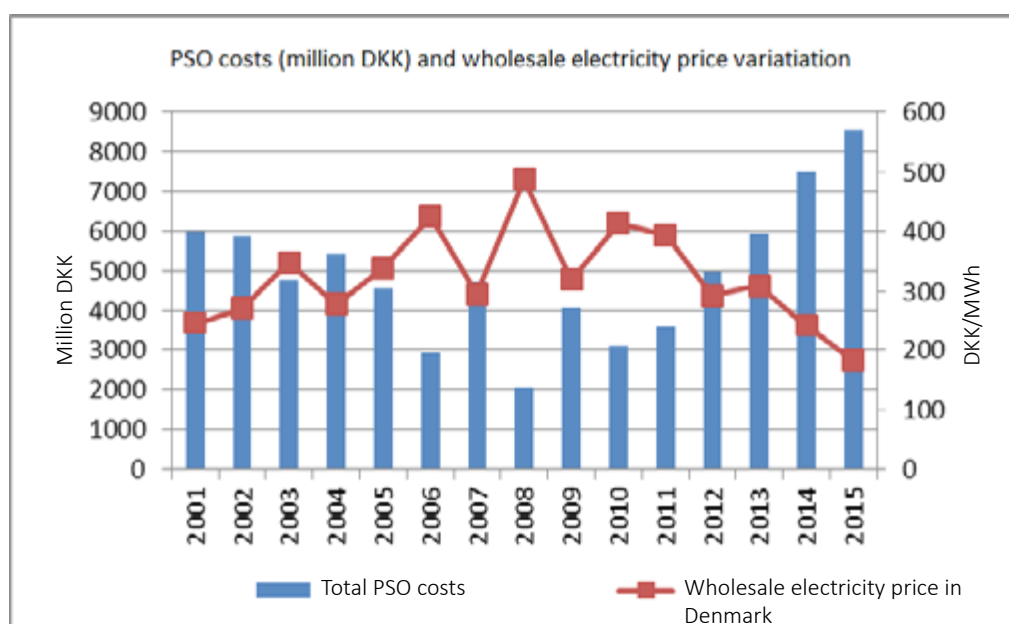


图4： 丹麦2001年起的PSO费用自演变。PSO费用涵盖所有可再生能源发电补贴。

来源： 丹麦能源署。

丹麦及其它欧盟国家居民电价比较，结果表明：

丹麦的所有商业电力用户可免除能源税。某些重工业则可进一步享受其它能源税豁免。因此，以上居民电价不应与商业电价相混淆。

丹麦电价最高的原因部分在于收取的税收和PSO费用较高。具体参见以下标准化图。

如图所示，丹麦的能源价格本身在所有国家中最低。丹麦选择通过电价来支付可再生能源补贴，但其它国家则并非如此，这也在某种程度上加大了对比难度。因为丹麦是根据用电量来分担相关成本的，丹麦所采用的这种方法可能是最公平的。如本节前面所述，丹麦决定逐步将可再生能源的融资补贴转移到年度财务法案。

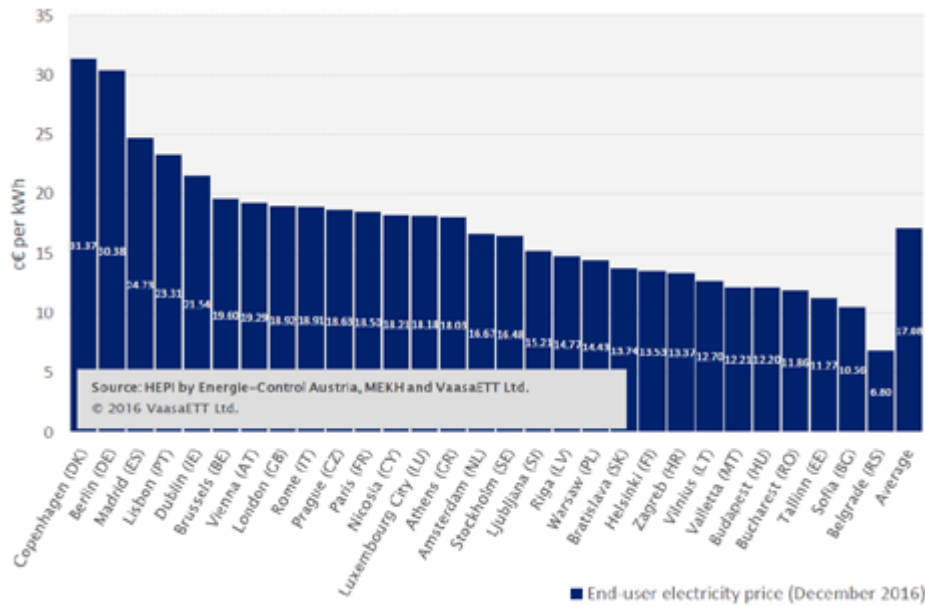


图 5：居民平均含税电价（2016年）。来源：Energie Control Austria 和 VaasaETT 公司制定的居民能源价格指数，2016年

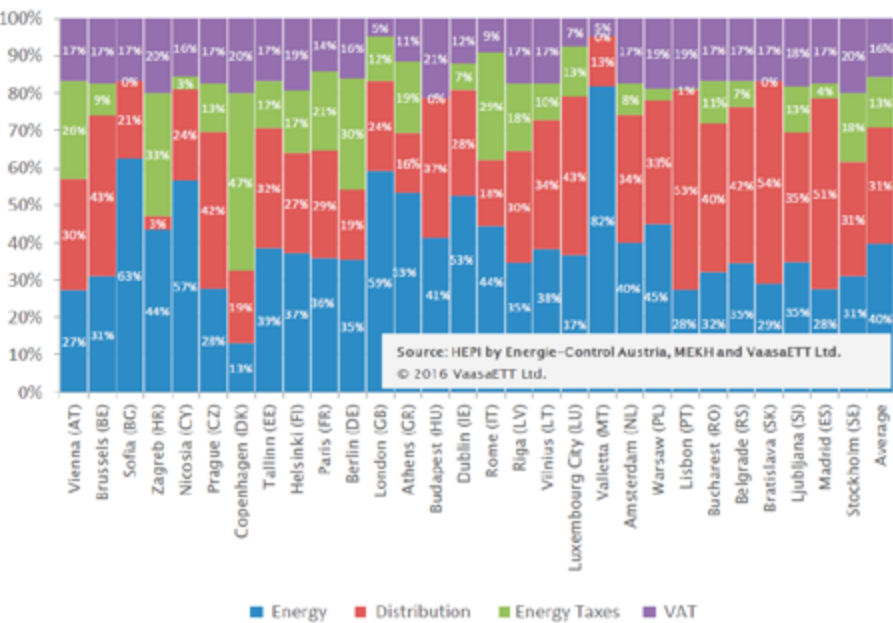


图6：居民电价细分（2016年均值） 来源：Energie Control Austria 和 VaasaETT 公司制定的居民能源价格指数，2016年

12. 投资环境

当前，致力于开发海上风电场等可再生能源的企业业务已遍及全球。这意味着其投资策略将基于以下内容：

- 盈利性最好同时风险最少的投资机遇在哪？
- 最具保障性的、稳定的监管框架在哪？
- 他们如何设计具有均衡风险的项目组合（而非孤注一掷）？
- 风力条件、海底状况、离岸距离、与其它资产的协同效应等。

由于海上风电的监管框架在某种程度上存在相互竞争关系，因此，丹麦能源署竭力向国际受众宣传丹麦的投资机遇。项目如果希望取得成功（及时完成，以最佳方案运行），最优保障就是吸引具有配套策略的能力最强的开发商。

随着海上风电行业的发展和成熟，欧洲正力求吸引新型投资商的加入，即养老基金等机构投资者。养老基金一般具有很强的风险规避性，但其往往选择投资具有稳定收入及稳定和低风险概况的长期资产。

通过与电力公司等经验丰富的行业投资商建立创新合作伙伴关系，机构投资者开始设法解决内在风险问题。在首个此类合资企业中，机构投资者仅在试运行取得成功后才加入，但是目前，机构投资者有信心承担部分建设风险。

丹麦海上风电项目对养老基金的一个吸引力在于，由于历届政府对稳定的框架条件作出了长期承诺，海上风电项目的收入是长期、稳定且确定的，几乎为零风险。

丹麦政府使用以下理由来吸引投资商抓住丹麦的海上风电发展机遇。

为何选择在丹麦修建海上风电场？

在海上风电场项目领域，丹麦无疑是全球最富经验的国家，丹麦的招标程序基于以上要素，将项目风险最小化，进而提高丹麦海上风电场项目的吸引力：

- 在确定了投标人的技术和财务能力后，电价为主要的投标标准。在与通过资格预审的投标人开展对话后，将敲定最终投标标准。
- 通过丹麦法律确保50,000满负荷运行小时的固定结算电价（差价合同）。这将提供定期、可预测的收入。
- 在招标公告之前开展规划和环境影响评估，将确保丹麦各主管当局就海上风电区域的使用问题达成一致意见。
- 在提交投标书之前，须对指定海上风电区域及潜在的并网方案开展完整的、经充分批准的环境影响评估。将基于最大可能的环境影响（即最糟情景）的原则编制环境影响评估报告，这将确保某一特定项目无需再开展后续环境影响评估。
- 在提交投标书之前，将发布风力、波浪和洋流状况（海洋气象数据）等前期勘查结果，以便投标人提交符合条件的海上风电场投标书。
- 在提交投标书之前，将发布地质条件等前期勘查结果。
- 丹麦能源署为投标人提供一站式服务，帮助其获取相关许可证。丹麦能源署将与所有相关主管当局合作，督促相关许可证的发放。作为招标材料的一部分，将提供许可证草案。
- 就投标书进行磋商及在初期开展技术对话，将有助于投标人设计投标规范和框架条件。
- 可再生能源优先并网将为可再生能源发电企业提供保障，确保其能够按照现有并网规则出售和输送电力。
- 输电运营商向所有人提供高效和透明的电力市场数据
- 风电场设计和基础、风机及其它组件选择方面具有充分的灵活性。对当地项目部分未做出任何规定。

13. 附录 & 链接

丹麦能源政策，登录以下网站查看：<http://www.ens.dk/en/info/publications/energy-policy-denmark>

IEA 能源成本报告，登录以下网站查看：<http://www.ieawind.org/publications/26.html>

欲了解更多定义，登录以下网站查看：<http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/48155.pdf>

丹麦新海上风电招标，登录以下网站查看：http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/supply/renewable-energy/wind-power/offshore-wind-power/new-offshore-wind-tenders/ewea_offshore_2013_all.pdf

更多信息，登录以下网站查看：<http://www.ens.dk/en/supply/renewable-energy/wind-power/offshore-wind-power/large-scale-offshore-wind-tenders>

项目示例：Kriegers Flak风电场地质物理调查，登录以下网站查看：http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Anlæg%20og%20projekter/KF_OWF_Geophysical_Survey_Results_v4.pdf

能源政策工具包：风电物理规划，登录以下网站查看：<http://www.ens.dk/en/policy/Global-cooperation/information-materials/general-information-policies-tools/toolkits>

丹麦海上风电场环境影响，登录以下网站查看：<http://www.ens.dk/node/3206/environmental-impacts>

尽管领土面积不大，但丹麦在海上风电行业发展中取得了巨大成功。绵延的海岸线、丰富的风力资源及浅海水域等自然资源为丹麦25年前兴起的风电行业奠定了坚实的起点。

丹麦能源署的这份报告描述了丹麦海上风电的发展历程，重点介绍了创建海上风电行业的经验教训。

欲了解更多信息，请登录以下网站：

www.ens.dk/en/our-responsibilities/global-cooperation



Danish Energy
Agency