



国际电气工程先进技术译丛

 Springer

海上风电成本建模： 安装与拆除

Offshore Wind Energy Cost Modeling
Installation and Decommissioning

(美) Mark J. Kaiser 著
Brian F. Snyder

赵振宙 郑源 霍志红 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

海上风电成本建模：安装与拆除

(美) Mark J. Kaiser Brian F. Snyder 著

赵振宙 郑源 霍志红 等译



机械工业出版社

Translation from English language edition:

Offshore Wind Energy Cost Modeling

By Mark J. Kaiser and Brian F. Snyder

Copyright © 2012, Springer London.

Springer London is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社出版, 未经出版者书面允许, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。版权所有, 翻印必究。

本书版权登记号: 图字 01-2012-3718 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

海上风电成本建模: 安装与拆除/(美)凯泽(Kaiser, M. J.), (美)斯耐德(Snyder, B. F.) 著; 赵振宙等译. —北京: 机械工业出版社, 2013. 11

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Offshore Wind Energy Cost Modeling: Installation and Decommissioning

ISBN 978-7-111-44612-5

I. ①海… II. ①凯…②斯…③赵… III. ①风力发电—海上工程—研究 IV. ①TM614②P752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 257336 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘星宁 责任编辑: 刘星宁

版式设计: 常天培 责任校对: 张玉琴

封面设计: 马精明 责任印制: 乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 13 印张 · 257 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-44612-5

定价: 68.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版



本书首先介绍了欧洲海上风电场发展现状，提出了美国海上风电场发展的不足，然后利用欧洲海上风电场的安装方法和经验数据，为美国风电场安装成本评估方法进行建模。本书详细介绍了海上风电场的部件组成，特别是塔架基础部分；美国风电场租赁方法以及州和联邦政府之间的交叉管辖政策；风电场不同安装策略；不同安装船舶类型和选择，对风电场安装成本建模和评估方法进行了详细介绍。最后，本书对风电场拆除法规和流程、残余价值回收评估方法、拆除成本评估进行了介绍。

从上述内容可以看出，本书目的是建立海上风电场的施工成本评估方法，但也对涉及的海上风电场的相关基础知识进行了较为系统的描述。本书适合用于本科生或者从事该领域研究的研究生阅读，通过本书可以掌握海上风电机组的构成部件。本书还适合海上风电场的勘测设计院、施工单位以及运营方的工程人员阅读，通过阅读可以大致了解到欧洲先进海上风电场的安装或拆迁施工方法，施工船舶类型和选择方法，也可以总体把握安装或者拆除施工成本。

译者序

中国海上风电在近几年发展非常迅速，但是海上风电机组的安装施工方法和成本评估，以及对未来风电机组拆除方法和成本预估等方面的技术相对不成熟，有许多方面需要借鉴和学习国外经验。此著作思路清晰、说理透彻，详细地描述了海上风电场施工方法和施工成本评估方法，为国内从事风能教学研究的教师、风能专业学生、设计单位、施工单位、运营单位的工程人员提供了必须掌握的最基本理论知识，是很好的教学和技术培训参考书。

国内介绍海上风电机组的书籍不是太丰富，对于成本评估方法介绍的书籍更是甚少。因此，本书中文版的出版弥补了国内海上风电图书的空白，对我国风能技术的发展起到促进作用。

本书主要由赵振宙、郑源和霍志红等翻译。主要分工为：第1~3、7~9章由赵振宙翻译；第10~12章由郑源翻译；第4~6章由霍志红翻译。此外，具体参与翻译工作的还有黄娟、原红红、李涛、张玮、叶芬、陈景茹、蔡嘉等研究生，在此表示感谢。

鉴于本书涉及多个领域，译者对该领域的熟悉程度不同，书中必存不足之处，恳请广大读者批评指正。

译者

前 言

北欧的风速较强且恒定，在北欧过去的10年里，海上风电快速发展，在风电中的占有率也相应得到了快速增长。相比之下，美国目前还没有运行的或者在建的海上风电场。美国海上风电场的缓慢发展源于多个因素，如经济挑战、政府参与缺失、环境保护、公共极低的接受度、没有资本化的开发公司、租赁缺乏监管系统等。到2011年末，海洋能源管理、监管和执行局已经建立了海上风电发展的监管制度，一些开发商也已签署了电力购买协议，为了融资便利与更大的企业形成合作伙伴关系，在很多地区公众已逐渐接受了海上风电，并有多项海上风电场规划在下一个10年建成。

这本书的目的是建立与风电场开发商相关的两个成本模型：安装成本和拆除成本。其中，安装成本是继采购成本后第二大资本支出，对项目总利润产生重要影响。拆除成本预计只是安装成本的小部分，但对政策制定者而言非常重要，因为在项目获准开发之前，它们决定了是否需要保证金监管机构。确定保证金为一个适当的值是很重要的。如果保证金被设置得太低，可能会留给政府财政来负责拆除；如果保证金定得太高，增加了开发商的成本。

第1~4章提供了介绍和背景材料。在第1章中讨论了欧洲和美国的海上风电场的发展现状，以及给出了欧洲发电能力和风电增长趋势。欧洲海上风电市场是全球主要市场，其累计海上装机容量占据全球95%以上市场，提供给欧洲企业安装船的数量，在未来还有可能大幅度的增加。第2章定义了风电场系统组成部分。第3章回顾了海上风电场的开发阶段，强调了州和联邦政府的租赁条例。第4章讨论了影响项目成本、成本估算、负债因素的基本概念，详细比较了欧洲风电市场和美国石油与天然气市场的异同。

第5~7章提供了成本估算模型的技术细节。在第5章中，介绍了安装方法的背景知识，分析了欧洲风电机组、桩基和电缆的安装时间数据。这种分析是用来估算安装成本和拆除时间，并为施工提供准则。第6章讨论了安装船、拆除船的日费率和扩展船要求。美国市场目前没有专门的风力机安装船，所以对于开发商而言，评估船舶的日费率是关键问题。为了解决这个问题，第7章建立了安装船日费率和在工地移动费用的经验模型。

在第8章中，参考类方法被用来规范和量化欧洲海上风电场的资本成本，并描述了欧洲的成本与美国市场成本的不同，以及影响两者差异的因素。估算提供了安装和拆除成本。

基于预期施工安装周期和预期船舶日成本，第9章进一步建立了安装成本模型。评估了美国规划的三个风电场（Cape Wind 项目、特拉华州 Bluewater 项目和加尔维斯顿 Coastal Point 项目）的安装成本，并进行敏感性分析（财务效益分析中使用现值法对项目进行不确定性分析的方法），以确定项目的不确定性和风险。

第10~12章重点介绍拆除。第10章概述了与拆除契约、拆除阶段和预期的工作流程相关的法规，提出了一种风力机的拆卸新方法，能够像砍伐树木一样拆除风力机，而不是使用大型升降船逐步拆卸。不同拆除方案的计算模型，如砍树方法，描述了在拆除过程中的不确定性和在施工项目开发初期阶段的成本估算。

第11章对风电场的结构部件进行了重量估计。这些重量用来估计12章中拆卸过程的残余价值和清理成本。第12章使用近似第9章的模型来估计拆除成本和清理成本，包括基础、塔架和风力机的残余价值，并计算了拆除替代办法的成本。最后模型根据现有数据的模型建议美国发展近海风电。

目 录

译者序

前言

第 1 章 2011 年海上风电发展	1
1.1 欧洲海上风电	1
1.2 美国海上风电	3
1.2.1 Cape Wind: 马萨诸塞州	6
1.2.2 Coastal Point 能源-加尔维斯顿: 得克萨斯州	7
1.2.3 Bluewater Wind: 特拉华州	7
1.2.4 Deepwater Wind: 罗德岛	8
1.2.5 花园州海上能源: 新泽西州	8
1.3 影响美国发展的因素	8
1.4 大西洋风力传输	9
参考文献	10
第 2 章 近海风电系统组成	11
2.1 测风系统	11
2.2 支撑系统	11
2.2.1 基础	11
2.2.2 过渡段	18
2.2.3 冲刷防护段	20
2.3 风力机	20
2.4 并网与电力输送	23
2.5 海上变电站	24
2.6 调试	25
参考文献	25
第 3 章 海上风电场的租赁和开发流程	26
3.1 项目地点	26
3.1.1 基线	26
3.1.2 州水域	27
3.1.3 外大陆架	27

3.2	开发过程	27
3.2.1	租赁许可	27
3.2.2	评估	27
3.2.3	设计	27
3.2.4	建设	28
3.2.5	调试	29
3.3	得克萨斯州海上风电租赁条款和条件	29
3.3.1	总体条件	29
3.3.2	加尔维斯顿岛租赁条款	31
3.4	联邦法律	32
3.5	联邦海上风电租赁条款和条件	33
3.5.1	行使权的种类	33
3.5.2	拍卖方式	33
3.5.3	招商流程	34
3.5.4	招商条款	35
3.5.5	开发流程	36
3.5.6	项目方案	36
3.5.7	停运	36
	参考文献	37
第4章	海上项目特点及成本因素	38
4.1	总体设计	38
4.1.1	根据具体场址进行独特和多维性设计	38
4.1.2	风电场布局取决于主风向和审美	38
4.1.3	系统容量反映了商业地位	40
4.1.4	风力机选型设计对系统的影响	41
4.1.5	物理和工程的一般要求	42
4.1.6	系统的同质性促进安装成本的比较	42
4.2	市场	43
4.2.1	船舶的选择和可用性的权衡	43
4.2.2	安装船市场透明度差	43
4.2.3	不同级别的竞争	43
4.2.4	学习曲线的不确定性	44
4.2.5	美国项目经济和融资策略	44
4.3	合同	45
4.3.1	建筑合同定义成本类别	45

VIII 海上风电成本建模：安装与拆除

4.3.2	风险分配和成本	47
4.3.3	美国海上风电将可能采用多重合同开发	48
4.4	数据的局限性	49
4.4.1	小样本和不同项目特征	49
4.4.2	小样本限制分析技术	49
4.4.3	没有美国的项目正在施工	49
4.4.4	谨慎地比较应用项目	49
4.5	成本	50
4.5.1	船舶日费率是动态的，受市场驱动	50
4.5.2	灾难性故障的影响	50
4.5.3	港口设施和位置影响成本	50
4.5.4	近海建设的天气风险	50
4.5.5	公共与私人的交互影响成本结构	51
4.6	退役	51
4.6.1	法规条款定义了退役时间	51
4.6.2	退役工程是独特的，特征相同	51
4.6.3	退役操作是低成本的，也是常规的	52
4.6.4	存在的学习机会	52
4.7	风险和责任	52
4.7.1	共同的与个别的责任	52
4.7.2	每个租约都代表不同水平的退役风险	52
4.7.3	债券保护公共利益	53
4.7.4	承担限度随许多因素发生改变	53
4.7.5	美国政府是最后保障	53
4.7.6	债券不能提供完全保护避免违约风险	53
4.7.7	海上风电场中的财政失败并不算是风险	53
4.7.8	所有的债券程序都有限制和约束	54
	参考文献	54
第5章	安装策略和选择	55
5.1	基础安装	55
5.1.1	单桩	55
5.1.2	导管架和三脚架	56
5.1.3	影响安装的因素	57
5.1.4	推荐的美国基础安装方法	58
5.2	风力机安装	58

88	5.2.1	运输	59
90	5.2.2	安装	59
90	5.2.3	影响安装的因素	62
89	5.2.4	美国提出的风力机安装方法	63
88	5.3	电缆安装	63
89	5.3.1	内部阵列电缆	64
89	5.3.2	输出电缆	64
89	5.3.3	影响安装的因素	66
89	5.3.4	美国的电缆安装方法	66
89	5.4	安装变电站	66
89	5.5	欧洲风力机安装统计	66
89	5.5.1	数据源	66
89	5.5.2	基础	68
90	5.5.3	风力机安装	69
90	5.5.4	电缆	70
101	5.5.5	变电站	72
10		参考文献	72
	第6章	安装船及安装平台的要求	74
90	6.1	施工船种类	74
90	6.1.1	主要施工船	74
90	6.1.2	敷缆船	78
90	6.1.3	扩展船	78
90	6.2	影响船只选择的因素	80
90	6.2.1	基础	80
90	6.2.2	风力机	81
90	6.2.3	电缆	81
90	6.2.4	变电站	82
90	6.3	支撑扩展	82
90	6.3.1	基础运输	83
111	6.3.2	风力机运输	83
111	6.3.3	电缆	83
91	6.3.4	欧洲扩展船要求	83
91	6.3.5	美国潜在扩展船	86
91	6.4	美国船只的采购	86
91	6.4.1	琼斯法案	86

6.4.2	2011 年的美国船舶概述	88
6.4.3	新造船和改造船	90
	参考文献	92
第 7 章	海上风力机安装船舶日费率建模	93
7.1	欧洲市场数据	93
7.2	日费率为新建成本的一部分	93
7.3	船舶租赁	95
7.3.1	组件方法	95
7.3.2	净现值 (NPV) 方法	97
7.3.3	限制	98
7.4	新建项目	98
7.5	美国日费率评估	99
7.5.1	假设	99
7.5.2	结果	100
7.5.3	限制	100
7.6	移动成本	101
7.6.1	拖船运输	101
7.6.2	自航式运输	102
7.6.3	重型起吊船运输	102
7.6.4	案例	103
7.7	总船成本	104
附录 A	租赁日费率	106
附录 B	造船计日制	107
	参考文献	108
第 8 章	资本成本估算：一个参考的分类方法	110
8.1	比较与参考方法	110
8.2	源数据	110
8.2.1	样本设置	110
8.2.2	排除	110
8.2.3	参考类	111
8.2.4	校正	111
8.2.5	标准化	112
8.3	资本支出	112
8.3.1	概要统计	112
8.3.2	时间趋势	115

8.3.3	规模经济效应	116
8.3.4	回归模型	117
8.4	美国与欧洲风电成本的比较	121
8.4.1	风力机	121
8.4.2	风力机基础成本	121
8.4.3	电缆成本	121
8.4.4	安装成本	121
8.4.5	场址选择成本	122
8.5	成本动因	123
8.5.1	经济衰退	123
8.5.2	产品价格	123
8.5.3	供应链	123
8.6	前期预估	124
8.7	模型的局限性	124
8.7.1	错误和偏差的原因	124
8.7.2	参考类约束	125
	附录 A 成本调整的实例	126
	参考文献	126
第 9 章	海上风电安装成本	130
9.1	系统描述	130
9.1.1	用户输入	130
9.1.2	系统输入	130
9.1.3	导出数据	130
9.1.4	模型输出	130
9.2	用户数据	130
9.2.1	项目特征	130
9.2.2	船舶选择	131
9.2.3	安装策略	131
9.2.4	校正因子	132
9.3	系统数据	132
9.3.1	船舶说明	132
9.3.2	预期时间	132
9.3.3	船舶日费率	132
9.4	安装阶段计算	133
9.4.1	基础和风力机安装	133

XII 海上风电成本建模：安装与拆除

9.4.2	电缆安装	137
9.4.3	变电站安装	138
9.4.4	防冲刷保护	138
9.4.5	移动	138
9.5	参数化建模	138
9.5.1	船舶数据	138
9.5.2	基础	139
9.5.3	风力机	140
9.5.4	电缆	140
9.5.5	变电站	141
9.5.6	防冲刷保护	142
9.5.7	移动	142
9.6	假设案例	142
9.6.1	设置	142
9.6.2	部件成本	142
9.6.3	总成本	145
9.6.4	敏感性分析	145
9.7	提议的美国项目	147
9.7.1	Cape Wind：马萨诸塞州	147
9.7.2	Bluewater Wind：特拉华州	148
9.7.3	Coastal Point Energy，加尔维斯顿，得克萨斯州	149
9.8	模型限制	149
附录 A	参数复核	150
	参考文献	153
第 10 章	退役法规和工作流程	154
10.1	退役法规	154
10.1.1	监管要求	154
10.1.2	退役契约	154
10.1.3	金融工具	155
10.2	海上风电退役阶段	155
10.2.1	项目管理和工程	155
10.2.2	风力机拆除	156
10.2.3	基础和过渡段拆除	158
10.2.4	气象塔和变电站平台拆除	159
10.2.5	电缆拆除	160

10.2.6	冲刷保护	160
10.2.7	场址清理和验证	161
10.2.8	材料处理	161
	参考文献	162
第 11 章	结构重量运算法则	163
11.1	重量算法	163
11.1.1	管重量算法	163
11.1.2	基础	164
11.1.3	塔和风力机	167
11.1.4	电缆	169
11.1.5	变电站	170
11.2	案例	171
	参考文献	172
第 12 章	退役成本估算	173
12.1	拆除方案	173
12.1.1	模型结构	173
12.1.2	风力机	173
12.1.3	基础	173
12.1.4	电缆	173
12.1.5	变电站及气象塔	174
12.2	风力机拆除模型	174
12.2.1	输入量	174
12.2.2	自运模型	174
12.2.3	驳船模型	175
12.2.4	非常规的模型	175
12.2.5	参数	176
12.2.6	实例	177
12.3	基础拆除	178
12.3.1	输入量	178
12.3.2	单个船	179
12.3.3	OSV 支撑	179
12.3.4	参数	179
12.3.5	实例	180
12.4	电缆	181
12.4.1	输入量	181

XIV 海上风电成本建模：安装与拆除

12.4.2	模型	181
12.4.3	参数	181
12.4.4	实例	181
12.5	变电站及气象塔	182
12.6	冲刷防护	183
12.7	场地清理	183
12.7.1	每个风力机	183
12.7.2	整个风电场	183
12.7.3	实例	184
12.8	材料处理成本	184
12.8.1	加工成本	184
12.8.2	残值	185
12.8.3	垃圾填埋成本	185
12.8.4	运输成本	186
12.8.5	造礁	186
12.8.6	实例	186
12.9	Cape Wind 海上风电场退役方案	188
12.10	拟建海上风电场的退役成本	189
12.11	讨论	190
	参考文献	191

第 1 章 2011 年海上风电发展

1.1 欧洲海上风电

图 1.1 所示为 2011 年欧洲运行和在建的海上风电场项目。在建和运行的风电项目大约为 6GW，为全球累计海上风电装机容量的 95%。图 1.2 为建成风电场数量和新增风电场的平均容量。图 1.3 为新增容量和年增加容量。2012 ~ 2014 年数据为开发商预测数据。

2009 年之前，每年并网发电的不到 5 个海上风电项目，总装机容量小于 250MW。2009 年，海上风电得到了快速发展，有 11 个风电项目，总装机容量大约为 1GW。预计 2010 年到 2014 年，每年以平均 2GW 的速度增长，到 2014 年预计装机容量将达到 12GW[⊖]。只要相关政策支持风电开发及其所需基础设施，2014 年的新增产能依然非常乐观，增长趋势会继续。



图 1.1 并网和在建的总容量超过 100MW 的风电场
(2011 年 12 月，数据源自 4COffshore，工业报道)

表 1.1 为不同国家海上风电装机的获批容量、在建容量和发电量。预计到 2020 年海上风电装机容量将达到 23.7GW，其中到 2014 年将完成总规划的一半。截至 2011 年 12 月，英国拥有欧洲最大的风力发电能力，海上风电容量为

⊖ 这仅仅包含获批建设的风电场，并且其预测数量可获的风电场。