



国际电气工程先进技术译丛

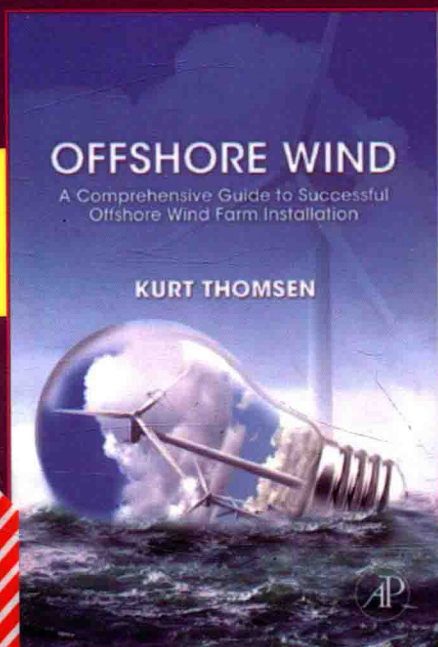


海上风能开发：海上风电场 成功安装的全面指南

**Offshore Wind: A Comprehensive Guide to
Successful Offshore Wind Farm Installation**

[丹] 库尔特 E. 汤姆森 (Kurt E. Thomsen) 著

冯延晖 等译



◎ 成功安装海上风电场的详尽指南

◎ 成功安装海上风电场的路线图



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

海上风能开发：海上风电场成功安装的全面指南

[丹] 库尔特 E. 汤姆森 (Kurt E. Thomsen) 著
冯延晖 等译



机械工业出版社

< Offshore Wind: A Comprehensive Guide to Successful Offshore Wind Farm Installation >

< Kurt E. Thomsen >

ISBN: 9780123859365

Copyright © 2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2016 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd and China Machine Press.

All rights reserved.

Published in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予机械工业出版社在中国大陆地区（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2012-5074 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

海上风能开发：海上风电场成功安装的全面指南/（丹）汤姆森 (Thomsen, K. E.) 著；冯延晖等译. —北京：机械工业出版社，2016.4
（国际电气工程先进技术译丛）

书名原文：Offshore Wind

ISBN 978-7-111-53018-3

I. ①海… II. ①汤… ②冯… III. ①海上-风力发电-发电厂-电气设备-设备安装-指南 IV. ①TM62-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 035305 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：赵颖喆 责任校对：杜雨霏

封面设计：马精明 责任印制：乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 13.75 印张 · 296 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-53018-3

定价：69.00 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

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

本书是一本介绍和分析在海上风电场安装工程中所进行的计划和管理工作的专业参考书。全书大致可以分成两大部分：第1~8章介绍海上风电场安装工程的前期准备和相关管理工作；第9~18章介绍海上风电场安装工程的港口、船舶相关知识，指出海洋特性对安装工作的具体影响因素。附录部分涉及在海上进行运行与维护。

本书值得与海上风电场安装、建设、运行和维护工程相关的每一位工程师、研究人员、管理人员和政府人员仔细阅读和体会。

译者序

最近几年，我国社会已经形成大力发展可再生能源的普遍共识，当前我国风电产业发展方兴未艾，风电总装机容量从2011年开始超过美国，成为全球风电发展第一大国。最新数据显示，中国风电的累计装机容量已从2004年的74万kW增长到2015年上半年的12471万kW。我国风电资源的分布同负荷市场是逆向分布的，大规模的风电在三北地区消纳不畅，跨区域电力线路的建设和传输成本较高，导致近年来弃风问题较为严重。长三角等沿海经济发达地区拥有绵长的海岸线，也是主要的电力负荷中心。如果能够有步骤地合理开发沿海风电资源，可以有效地解决当地用电缺口，输电距离相对较近，线路建设成本和损耗也会相对较低。自2000年以来欧洲发展大型海上风电场已有超过15年的经验，在项目的安装、建设、管理、运行和维护等方面都有许多值得我国学习借鉴之处，有助于我们在发展海上风电的过程中降低风险，提高海上风电场全生命周期的经济性。

我对海上风电的兴趣源于在英国杜伦大学进行博士后研究期间对英国第1轮海上风电示范项目相关数据的分析，这批项目初期的运行情况并不如人意，机组曾遇到了许多意想不到的故障和停机，建设和运维成本偏高。当时许多欧洲产业界的工程师也非常好奇问题的根源是什么，究竟是何因素主导了海上风电场成本的大幅增加。Thomsen先生的著作从一个侧面对问题进行了回答，围绕着“海上风电场安装工程有别于陆上风电场安装工程”这一个关键主题，本书从多个方面进行剖析和比对，前后总共包含了18章的内容。细细地阅读，每个章节都在引导读者积极地去思考许多在海上风电场安装过程中容易忽略的细节，以及由这些貌似琐碎的细节所引发的连串后果——在海上犯错的话后果会很严重。作者Thomsen先生是一名经验丰富且富有探索创新精神的工程实践专家、发明人，他在书中介绍的实例多数来自于亲自主持过的海上风电项目（作为A2SEA公司的创始人，他参与了超过800台海上风力发电机的安装工作）。Thomsen先生现在把这些知识贡献出来整理成书，与海上风电产业的新手们分享欧洲的经验教训和成功要领，这件事情实属难得。“好的计划使得幸运的次数最大化”，这句话正是作者希望通过这本书传递的关键信息。这让译者坚信纵然天有不测之风云，人类仍然有能力通过科学的计划和管理去驾驭类似于大型海上风电场安装这一挑战人类能力极限的“超级工程”。

本书的翻译主要由冯延晖博士完成，孙娟、徐伊丽两位学生做了大量基础工作并

IV 海上风能开发：海上风电场成功安装的全面指南

翻译了部分内容，父亲冯锦章先生和邱颖宁博士也参与了部分内容的翻译并协助进行修订和校正。限于译者水平，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。译者电子邮箱：yanhui.feng@njust.edu.cn。

冯延晖

2016年3月

于南京理工大学能源与动力工程学院

原 书 序

1. 本书用途

本书是作者 10 年实践经验的总结。10 年前，没有人以商业用途为目的安装海上风电场。已经或正在安装的测试场所（主要在丹麦）包含的装机总量有 600kW 且数量有限。2001 年，第一个半商业化的包括 20 台 2MW 的 Bonus（现在属于西门子公司）风力发电机的风电场安装在米德尔格伦登（Middelgrunden）沙滩上的哥本哈根入港口。这些风力发电机的安装是个人积极性的结果，其中包括住在哥本哈根的被称之为米德尔格伦登的居民。这种积极性又被公用事业单位打退了，原因是其为了 20 台风力发电机提供电能签署了 PPA。这使得风电场的建设成为可能，安装工作始于 2000 年。

当这个项目被计划和执行时，没有海上工作的设定标准，没有活动的安排，没有法律框架可以规范涉及健康、安全与环境（HSE）以及项目许可的活动。所有的这些在项目的进行中一直在发展。我写这本书是为了记录这些被证明足够可靠的发现、经验来维持 10 年的海上风电的建设，而且已经形成了海上风电场建设中立法的基础，最好的实践标准的设定以及健康、安全和环境规范。

这里主要为这项进展中的工作呈现什么？这意味着这些数据、声明和发现是我可以及时地给读者呈现的最好的信息。因此，本书在以后的几年里会不断地更新，新的信息和更多的作者会在安装风电场的过程中贡献可用的数据。

本书的意图是为理解海上风电产业创建一个坚实的基础。然而，这也是一本包含了我这几年来在产业中的一些轶事的图书，我也希望为读者的想法提供一些精神食粮。我的信念是本书可以使得学习和记住这些往往令人讨厌的数据变得更加有趣。赠人玫瑰，手有余香。

2. 读者对象

本书适用于已经涉及或即将涉及海上风电产业的每一个人，不论是咨询师、财务官、工程师还是技术人员。本书致力于解答在风电场安装项目的前期、中期和后期可能遇到的共同问题。

本书记录的最近 10 年的经验将会帮助专业人士指明正确的方向。它也将给财务人员一个机会来问一些技术问题，这些问题对于决定项目计划和执行是否合理和经过充分的思考很有帮助。工程师也能够安排计划而不用遇到在海上风电场的安装中经常出现的最大和最明显的障碍。

健康、安全与环境（HSE）专家将能够从安全的角度估算出怎样开始和执行计划和过程的监测。财务人员将能够提出一些更深层次的问题和理解更多的进程、可能的风险以及为什么这个世界在办公室外看起来会不一样。

本书的意图不是为了呈现一个一劳永逸的文档，而是提供一份可供读者作为开始海上风力发电生涯使用的报告书。在很多的统计数据、注意事项和意见能够使用之前，对更高深的知识和信息有巨大的需求。这就是为什么一个人可以从这里开始和在散落全世界各地的人的研究成果的基础上工作的原因。读者需要定位和整理出信息从而能够专业的工作。在读完本书之后，读者会感到自己在风电场知识上的信心。

3. 作者对于风电场的感觉

读者知晓作者的背景是重要的。坦白地说，我对于基础和风力发电机的海上安装的某些执行方法是存在偏见的。因此，本书的推荐和异议的内容反映了我个人的观点。当然，推荐的内容和观点源于自己在产业上多年的经验。

然而，如果我说这里描述的方法和过程是安装海上风电场的唯一正确途径，那肯定是错误的。所以，无论什么时候，当一个方法或者过程被描述时，我都会努力整理出其各方面的缺点，也会列出实施工作的其他可能的方法。对于本书中的文件和陈述，什么样的观点被采纳取决于读者自己。

需要说明的是，尽管书中描述的方法和过程可以使用，但其他的解决方法或许也可以。我做了真诚的努力，用不带偏见的话阐明提出的可供选择的方法的优缺点。我会一直运用实际测试来决定一种方法的可行性和有效性。

我相信我们可以设计任何东西。在海上风电场产业中提出的许多可供选择的方法在技术上是可行的，而且可以应用于其他产业——主要为海上油气开发。但是，这些技术和方法的成本可能阻止它们被使用在海上风电场的产业中。无论我什么时候列出可供选择的方法，我都会申明这一点。

读者应该一直对书中的陈述保持开放性的思维。最基本的是理解事物的焦点——安装海上风电场，但在现实中，观点可能根据说话的对象而有所不同。因此，说明和推荐的内容应该作为一个指导方针——有些事情之前已经做过，有些方法可能改变——所有这些都是为了给读者准备关于这个产业更进一步的学习、真实的工作和基于事实的观点。

4. 读者能从本书中获得的知识

在完成本书之后，我希望读者能够对海上风电产业有更深入的理解。读者能够做出主要的决定，从头到尾地安排海上风电场项目的计划和执行方法。

读者需要知道怎样做出最好的选择以及将要面临的后果。这非常重要，因为每一次海上环境因素的改变，后果可能超出改变单一的因素造成的影响。

就这一点而言，海上环境提出的挑战是不同于陆地上的。为什么会这样？一个很好的例子是当你因为有限的地面条件改变了基础的尺寸的时候。在陆地上，你会询问岩土工程师：为了获得坚固稳定的地面，多少额外的材料需要转移。一旦得知，你就可以估算出多少额外的混凝土需要填充来为风力发电机建造合适的基础。这是相当明确的工程，不是真正复杂的事。完成它需要计算数量、一辆挖掘机以及额外的时间。

对于海上风电场而言，这是一个完全不同的工作。第一件事是询问钻芯的额外设定来了解海床的变化程度和深度。这可能极大地改变了将要被使用的基础系统。举个

例子，波罗的海二号工程 Baltic 2 就有个这样的具有挑战性的地面，不得不建造两种不同类型的基础：单桩式和导管架式。这就是恶劣的海底条件造成的结果。然而也没有更好的办法了。

如果基础或地面不同于基线设定的特性，整个风力发电机-基础计算的迭代过程是不同的，从而单独的基础也会不同。而且，如果基础不同——比如说，在同一个海上风电场中，一个导管架和一个单桩，在安装容器中需要两套适航固定装置，需要两种类型的锤子来打桩等等。相较陆上，变化非常大的海底条件会引发影响深远的后果。

这就是为什么说阅读和理解所有的海上风电场项目变化原则的因素是重要的。读得越多，对这个产业的理解越彻底，从而能够持续地改善形成自己观点的基础。这就是本书的目标：传递信息和促进讨论。

这不是一本食谱，能够让读者查阅任何问题并且很容易地得到答案；它的目的是给读者提供机会，让他们能够开始自己的思考过程和发展方法及提出问题。这里是查找注意事项、建议、事件和指南的地方，以此来开创成功建造海上风电场的最直接的途径。

因此我建议你读下去并且使自己受到教育。对已经做过的事一笑而过，仔细思考这个产业中正在自由漂浮的各类想法。所有这些都在本书中，通过给予读者自我教育的最好基础来使他们成为这个产业的专家，我希望有一天能在海上风电场遇到其中的一些人。

最后的建议：当我刚进入海上风电场这个产业的时候，没有人知道我们在干什么。我们知道在环境最积极的时候，我们很幸运地做出了重大且艰难的决定，并且有幸遇到两年的好天气。这些条件并不是理所当然的。有一位好朋友兼同事曾经说过：“好的计划使得幸运的次数最大化……”

情况就是这样。这是我的坚定信念：只要我们开放思想、准备接受新知识并且听取合理的建议，我们就可以成功地做成想做的事。无需惧怕作为一名新手而进入这个行业。从本书和事实中，你会学到：泰坦尼克号是由一群技术最熟练的工程师建造而成，诺亚方舟是由一个业余的人建造的。所以，好消息是机会属于我们每一个人。正如我过去做的一样，我们只需要开放地接受它们。

致 谢

在世间，没有一个人能够以一己之力完成一项事业。本书也是如此。没有我的妻子 Åse 和家人的支持，我不可能完成本书的写作。他们为我的进步而高兴，在我工作进展顺利时给我以鼓励，在我遇到困难打算放弃时，他们使我重新振作恢复信心。

此外，我要感谢 Rachel Pachter 和 Paul Quinlan 对审批过程部分所作的贡献。我们已经对各个过程作了初步的总结，认识到这是一个需要定期修订的活的事物。在写作本书期间，审批过程的许多项目在欧洲和美国都已经发生了改变，从而增加了最后修订的工作。

Marilyn Rash 在 Deborah Prato 和 Samantha Graham 的帮助下，做了一件了不起的工作，他们经过编辑校对，把我用我的“丹麦英语”写作的页面变成完全可以理解的文稿。

最后，我要感谢 Tiffany Gasbarrini 在整个写作过程中一直给予的支持和鼓励。她以非凡的耐心帮助我完成这项工作，是她给了我写作本书的机会，我不会让她失望。

关于作者

Kurt E. Thomsen 是本书的策划人，他具有创新性的想法并发明了功能性的海上风电场。作为一名建筑师和专业的吊车司机，他开发出世界上第一台用于海上风力发电机的起重船，并申请了专利。此前，世界上尚无一种方法能够成功地在海上运输和安装风力发电机。他创办了四家公司，其中一家名为 A2SEA A/S 的公司已经在丹麦、瑞典、荷兰和英国的海域上安装了超过 800 台风力发电机。

世界上最大的风力发电机生产商，包括维斯塔斯（Vestas）、歌美飒（Gamesa）、通用电气（GE）、西门子（Siemens）、阿海珐（Areva）和恩德（Nordex），一直跟 Thomsen 先生合作研发新型的风力发电机设计，以在海洋条件下拥有更高的产出效率。他当前的公司先进海上解决方案公司（Advanced Offshore Solutions），已经开发出能够同时运送 18 台风力发电机的技术，该技术可以在 24h 内完成大量的安装工作。

作为一名广受欢迎的会议发言人和咨询师，Thomsen 先生已经编辑和翻译了包括英语、德语、挪威语和丹麦语在内的多本技术书籍，他还是 Cranes Today 杂志的特约专栏作家。

Rachel Pachter 是 Energy Management 公司的许可及环境经理。这家公司是 Cape Wind 的开发商，Cape Wind 是美国第一个计划和授予许可的海上风电项目。Rachel 自 2002 年起从事美国海上风电项目的开发。

Paul Quinlan 是北卡罗来纳州可持续能源协会的管理总监。他在开发和宣传陆上和海上风能政策方面具有广泛的经验。此外，他经常地讲授和发表以可再生能源为主题的报告。

目 录

译者序

原书序

致谢

关于作者

第1章 海上风电场概述	1
-------------------	---

第2章 风电场如何取得许可证	6
----------------------	---

2.1 美国	6
2.1.1 海上风能潜力	6
2.1.2 海洋规划	7
2.1.3 请求建议书	8
2.1.4 联邦许可	9
2.1.5 州、地区和当地的许可	10
2.1.6 宣传推广	11
2.2 英国	11
2.2.1 海上风电潜力	11
2.2.2 海上规划	11
2.2.3 离岸租赁	12
2.2.4 许可与同意	12
2.2.5 其他的行业支持	13
2.3 德国	13
2.3.1 海上风电潜力	13
2.3.2 政府许可	14
2.3.3 州许可	14
2.3.4 海上风电常委会	14
2.3.5 其他重要的海上风电市场	14

第3章 项目计划	16
----------------	----

3.1 项目战略纲要	16
3.1.1 组织	16
3.1.2 符合许可的健康、安全和环境条件	17
3.2 项目执行计划	19
3.3 生产的启动	22

3.3.1 物流配置	23
3.4 投标及承包策略	25
3.5 质量保证和质量控制要求	27
3.6 安装时的人力资源	27
第4章 基本组织	31
4.1 销售	32
4.1.1 确认工程	32
4.1.2 投标项目	32
4.1.3 准备合同	32
4.1.4 协商条款	32
4.1.5 雇用子供应商	33
4.1.6 准备项目计划和执行文件	33
4.1.7 指定所有产品和服务	33
4.1.8 指定接口	33
4.2 计划	33
4.2.1 设计项目设备	34
4.2.2 设计项目进程	34
4.2.3 设施及指定设备的设计与计划	34
4.2.4 指定认证及其他形式的文本文件	34
4.2.5 开始前进行施工方法的尽职审查	34
4.3 质量保证与健康、安全 and 环境	36
4.3.1 明确接口及要求	36
4.3.2 项目的承诺	36
4.3.3 风险评估	36
4.3.4 危险识别	37
4.3.5 工作程序	37
4.3.6 供应商评估	38
4.3.7 员工训练	38
4.4 项目管理	39
4.4.1 工程尽职调查	39
4.4.2 签约子供应商	39
4.4.3 建立或收购并执行所有设备和服务	39
4.4.4 配置并管理现场	40
4.4.5 运载及安装风电机组	41
4.4.6 所有工作的文档	41
4.4.7 协调质量保证/健康、安全 and 环境工作	41
4.5 服务部门	41
4.6 技术管理	42
第5章 项目准备	46
5.1 确定项目参数	46

XII 海上风能开发：海上风电场成功安装的全面指南

5.2 外包产品和服务	47
5.3 制定项目的健康、安全 and 环境计划与步骤	48
5.4 开发质量保证/质量控制的计划与步骤	49
5.5 确定方法和所需的设备	49
5.6 定义配套设施	50
5.7 编制最终的项目时间表	50
5.7.1 装备的选择	51
5.7.2 风力发电机类型	51
5.7.3 审计合同供应商	52
5.8 实施供应商和承包商的计划和程序	53
5.9 准备陆上和海上施工现场	54
第6章 项目执行	59
6.1 审核	59
6.1.1 必要的文件	59
6.2 项目启动顺序	61
6.2.1 岸基的准备和进展	62
6.2.2 海上场地的筹备和进展	62
6.3 监测活动	64
6.4 项目管理配置	65
第7章 接口管理	69
7.1 主要接口及随附的责任	69
7.2 与 EPC 承包商立约	72
7.2.1 DIY 或分包	73
7.3 经济	73
7.4 接口和文件移交	74
第8章 健康、安全 and 环境管理	86
8.1 健康、安全 and 环境管理为何重要	86
8.1.1 项目中最重要单个活动	86
8.1.2 健康、安全 and 环境组织	86
8.2 健康、安全 and 环境文件结构	87
8.2.1 监控和报告	89
8.2.2 审核和纠正动作与方法	89
8.3 健康、安全 and 环境与国家机构	90
第9章 工作船的协调	93
9.1 机构设置和职能	93
9.1.1 VTTC 法律法规	94
9.2 操控中心及开展的工作	94

9.2.1 交通协调	94
9.2.2 交通控制	95
9.3 监督的组织	95
第 10 章 物流方案	98
第 11 章 常用安装方法	102
11.1 基础	102
11.1.1 重力式基础	102
11.1.2 单桩式基础	103
11.1.3 导管架式基础	105
11.1.4 三脚架式基础	106
11.2 安装基础	108
11.2.1 基础安装的运输	109
11.2.2 保护已安装的基础	110
11.3 注意事项	111
11.3.1 海港	111
11.3.2 装载	111
11.3.3 运输	111
11.3.4 出发及出发后	111
第 12 章 船舶及运输至海上安装	121
12.1 船舶类型	121
12.1.1 自力推进顶升船	121
12.1.2 有拖船协助的自定位顶升驳船	122
12.1.3 漂浮设备	122
12.2 选择特殊船舶时的权衡	123
12.3 评估设备	125
12.3.1 基本信息	127
12.3.2 运作及预订	128
12.3.3 装载量	129
12.3.4 预装配	131
12.3.5 开放式或封闭式甲板的可用度	131
12.3.6 吊装(顶升)系统	132
12.3.7 推进和 DP 系统	134
12.3.8 起重机类型	135
12.3.9 运输模式	136
12.3.10 顶升和顶降	137
12.3.11 等候天气	139
12.3.12 人员转移和居住	140
12.3.13 总结	141

第 13 章 有关港口的基本信息	145
13.1 理想港口的特点	145
13.1.1 项目港口及它们如何工作	145
13.1.2 港口来回运输	145
13.2 港口对项目的影响	146
13.2.1 理想港口的规模和布局	146
13.2.2 船舶与港口的组合	147
13.3 运行与维护	147
第 14 章 项目标准	151
14.1 海上接入系统	151
14.2 波浪	152
14.3 风	153
14.4 水流	153
第 15 章 运输风力发电机	157
15.1 安装船类型	158
15.1.1 单体船	159
15.1.2 双体船	159
15.1.3 SWATH 船	159
15.1.4 起重船	159
15.2 运输系统	164
15.2.1 可用的系统	164
第 16 章 部署策略	170
16.1 海上设备共享	170
16.1.1 使用直升机	171
16.1.2 额外的安全设备	172
16.1.3 成本模型	172
16.2 维修船行业的未来趋势	173
16.3 人员船的选择标准	173
16.4 有关人员船的基本信息	175
16.4.1 海上接入系统 (OAS) 类型	175
16.4.2 一般参数	176
第 17 章 维修海上风电场	180
17.1 如何工作	180
第 18 章 环境及其他问题	183
18.1 保护环境	183

18.2 废弃物管理.....	184
18.3 污染问题.....	186
18.4 工作环境.....	189
18.5 打桩噪声.....	189
18.6 沉箱.....	191
18.6.1 沉箱基础安装的方法.....	193
18.6.2 使用沉箱安装单桩.....	194
18.6.3 使用沉箱安装锚桩.....	196
附录 关于运行与维护运输系统的结论.....	199
A.1 船舶.....	199
A.2 转移系统.....	199
A.3 建议.....	200
结语.....	202