



装备科技译著出版基金

可靠性维修性保障性
学术专著译丛

丛书主编 康锐

关键基础设施 风险相互依赖性

Risk and Interdependencies in
Critical Infrastructures

【挪威】Per Hokstad, Ingrid B. Utne, Jørn Vatn 等著

崔亦谦 主译

王自力 主审

 Springer



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

可靠性维修性保障性学术专著译丛

关键基础设施风险相互依赖性

Risk and Interdependencies in critical infrastructures

[挪威] Per Hokstad, Ingrid B. Utne, Jørn Vatn 等著

崔亦谦 主译

王自力 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2013-109 号

图书在版编目(CIP)数据

关键基础设施风险相互依赖性/(挪)胡可斯塔德(Hokstad,P.),

(挪)于特内(Utne,I.B.), (挪)瓦特恩(Vatn,J.)著;崔亦谦译.

—北京:国防工业出版社,2014.1

(可靠性维修性保障性学术专著译丛)

书名原文:Risk and interdependencies in critical infrastructures

ISBN 978-7-118-09140-3

I. ①关... II. ①胡... ②于... ③瓦... ④崔...

III. ①基础设施建设-风险管理 IV. ①F294

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第309179号

Translation from English language edition:

Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures by Per Hokstad, Ingrid B. Utne and Jørn Vatn.

Copyright © 2012 Springer London

Springer London is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved.

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 插页1 印张14 字数260千字

2014年4月第1版第1次印刷 印数1—2500册 定价58.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《可靠性维修性保障性学术专著译丛》

编 审 委 员 会

主任委员

康 锐 教授 北京航空航天大学

副主任委员

屠庆慈 教授 北京航空航天大学

王文彬 教授 北京科技大学

委员(按姓氏笔画排序)

于永利(军械工程学院)

王文彬(北京科技大学)

左明健(电子科技大学)

田玉斌(北京理工大学)

李大庆(北京航空航天大学)

邹 云(南京理工大学)

张卫方(北京航空航天大学)

陈 循(国防科技大学)

陈云霞(北京航空航天大学)

金家善(海军工程大学)

赵 宇(北京航空航天大学)

康 锐(北京航空航天大学)

曾声奎(北京航空航天大学)

王少萍(北京航空航天大学)

王自力(北京航空航天大学)

左洪福(南京航空航天大学)

孙 权(国防科技大学)

何宇廷(空军工程大学)

宋笔锋(西北工业大学)

陆民燕(北京航空航天大学)

陈卫东(哈尔滨工程大学)

苗 强(四川大学)

单志伟(装甲兵工程学院)

郭霖瀚(北京航空航天大学)

屠庆慈(北京航空航天大学)

翟国富(哈尔滨工业大学)

《可靠性维修性保障性学术专著译丛》

总 序

可靠性理论自 20 世纪 50 年代发源以来,得到了世界各地研究者的广泛关注,并在众多行业内得到了成功的应用。然而,随着工程系统复杂程度的不断增加,可靠性理论与方法也受到了日益严峻的挑战。近年来,许多国际知名学者对相关问题进行了深入研究,取得了一系列显著的成果,极大地丰富和充实了可靠性理论与方法。2012 年,国际知名出版社 Springer 出版了一套“可靠性工程丛书”,共计 61 种,总结了近年来可靠性维修性保障性相关领域内取得的绝大部分研究成果,具有很强的系统性、很高的理论与实用价值。

经过国内最近 30 年的普及和发展,可靠性的重要性已经得到业界的普遍认可,即使在民用领域,可靠性的研究与应用也发展迅猛。他山之石,可以攻玉,系统地了解国际上可靠性相关领域近年来的最新研究成果,对于国内的可靠性研究者与实践者们都会大有裨益。为此,国防工业出版社邀请北京航空航天大学可靠性与系统工程学院以 Springer 出版的可靠性工程丛书中的 10 种,外加 Wiley、World Science、Cambridge、CRC、Prentice Hall 出版机构各一种,共 15 种专著,策划组织了《可靠性维修性保障性学术专著译丛》的翻译出版工作。我具体承担了这套丛书的翻译组织工作。我们挑选这 15 种专著的基本原则是原著内容是当前国内学术界缺乏的或工业界急需的,主题涵盖了相关领域的科研前沿、热点问题以及最新研究成果,丛书中各专著原作者均为相关领域国际知名的专家、学者。

组织如此规模的学术专著翻译出版工作,我们是没有现成经验的。为了保证翻译质量和进度,在组织翻译这套丛书的过程中,我们做了以下几方面的工作:一是认真遴选主译者。我们邀请了国内高校可靠性工

程专业方向的在校博士生作为主译者,这些既有专业知识又有工作激情的青年学者对翻译工作的投入是保证质量与进度的第一道屏障。二是真诚邀请主审专家。我们邀请的主审专家要么是这些博士生的导师,要么是这些博士生的科研合作者,他们均是国内可靠性领域的知名专家,他们对可靠性专业知识把握的深度和广度是保证质量与进度的第二道屏障。三是建立编审委员会加强过程指导。我们邀请了国内知名专家与主审专家一起共同组成了丛书编审委员会,从丛书选择、翻译指导、主审主译等多个方面开展了细致的工作,同时为了及时沟通信息、交流经验,我们还定期编辑丛书翻译工作简报,在主译者、主审者和编审委员中印发。可以说经过以上工作,我们坚信这批专著的翻译质量是有保证的。

本套丛书适合于从事可靠性维修性保障性相关研究的学者和在校博士、硕士研究生借鉴与学习,也可供工程技术人员在具体的工程实践中参考。我们相信,本套丛书的出版能够对国内可靠性系统工程的发展起到推动作用。

北京航空航天大学可靠性与系统工程学院

康 锐

2013 年 11 月 8 日

PREFACE

Today's modern systems have become increasingly complex to design and build, while the demand for reliability and cost effective development continues. Thus, reliability has become one of the most important attributes in these systems. Growing international competition has increased the need for all designers, managers, practitioners, scientists and engineers to ensure a level of reliability of their product before release at the lowest cost. This is the reason why interests in reliability have been continually growing in recent years and I believe this trend will continue during the next decade and beyond.

It is these growing interests from both industries and academia that motivate Springer to publish the Springer Series in Reliability Engineering, for which I serve as the series editor. This series consists of books, monographs and edited volumes in important subjects of current theoretical research development in reliability and in areas that attempt to bridge the gap between theory and application in fields of interest to practitioners in industry, laboratories, business and government.

I am very delighted to learn that the National Defense Industry Press from China is planning to translate selected books from the Springer Series as well as some other distinguished monographs from other presses into Chinese. The books in the collections to be translated cover most of the timely and important topics in reliability research areas and are of great values for both theoretical researchers and engineering practitioners.

The translations are organized and managed by Professor Rui Kang from Beihang University, who is a world-wide leading expert in reliability related areas. With his expertise and dedication, the quality of the translations is guaranteed. I'm sure that the translations of these outstanding books will be a great impetus to the research and application of reliability engineering in China.

Personally, I will treat the translation collection as an attempt to exchange ideas of reliability researchers in the international community with their Chinese counterparts. I really hope that these kinds of idea interchanges will be more common and frequently in the future. Specifically, I am really looking forward to hearing more from our Chinese colleagues. Wish the research and application of reliability in China a bright future!

Hoang Pham

Dr. Hoang Pham, IEEE Fellow

Distinguished Professor

Rutgers University

Series Editor, Springer Series in Reliability Engineering

序

不断发展的科技和日趋激烈的市场竞争对产品提出了日趋强烈的可靠性需求,希望能够以尽可能低的成本高效保证产品可靠性。可靠性业已成为现代工程系统最重要的属性之一。面向这种需求, Springer 出版社组织出版了《Springer 可靠性工程丛书》。这套丛书由 61 种专著组成(截止到 2013 年 11 月),涵盖了近年来可靠性相关领域内取得的最新理论成果,介绍了可靠性工程在实际工程上的应用,具有很强的理论和实践价值。

作为《Springer 可靠性工程丛书》的主编,我很高兴中国的国防工业出版社计划将这套丛书中的部分专著以及其他一些近年出版的可靠性优秀英文专著翻译出版,推出《可靠性维修性保障性学术专著译丛》。《可靠性维修性保障性学术专著译丛》中的专著选题覆盖了可靠性领域近期的大部分研究热点和重要成果,具有重要的理论价值和实践指导意义。

这套丛书的翻译工作由北京航空航天大学的康锐教授负责组织。康锐教授是国际知名的可靠性专家,我相信,康锐教授的专业知识和奉献精神,能够有效保证译著的质量。我确信,这些优秀专著的翻译出版将极大地推动中国的可靠性研究和应用工作。

就我个人而言,我更愿意将《可靠性维修性保障性学术专著译丛》看作是可靠性领域内的国际学者与中国同行们进行的一次思想交流。我期待这样的交流在未来更加频繁。特别地,希望中国优秀学者们能够更多地以英文出版学术专著,介绍他们的学术成果,从而向可靠性领域的国际同行们发出来自中国的声音。衷心祝愿中国的可靠性事业更上一个台阶!

Hoang Pham

博士, IEEE 会士

罗格斯大学特聘教授

Springer 可靠性工程丛书主编

译者序

关键基础设施是国家的命脉,是国民赖以生存的基础,一旦发生异常或故障,将对国家安全、经济命脉、公众健康与安全、生态与社会环境造成严重的后果。社会的正常运行依赖于基础设施之间协调、相互作用,而这种协调互动的关系又非常脆弱,容易受外界因素的扰动和破坏。关键基础设施之间的相互关联与相互影响称为相互依赖性,它有可能造成风险或故障在不同基础设施间连锁传导,基础设施故障造成的后果延伸扩大,对整个社会系统的可靠性与安全性带来严重威胁,甚至制约整个社会的合理有序运行。因此,基础设施的风险、脆弱性及相互依赖性问题有必要引起人们的高度重视。

我国在基础设施突发事件的应对方面做出了很多举世瞩目的成绩,对突发事件和灾害的防范也越来越重视,特别是随着城市化进程的不断推进,政府在控制基础设施风险、应对突发事件方面也积累了丰富的经验,政策的执行能力大大提高,应急机制的建设不断完善。然而,我国在基础设施危机事件预防方面的知识储备还较少,基础设施风险管理的理念还不够深入,处理突发事件的基本模式是“救火”式管理,也缺乏统一的、协调有力的应对机制。

针对国内关于基础设施风险及相互依赖性方面书籍较少、工程应用经验匮乏的现状,北京航空航天大学可靠性与系统工程学院启动了本书的翻译工作,旨在加强基础设施风险管理、风险控制意识,通过改进设计、强化管理来预防危险事件演变为系统故障,提高基础设施的可靠性及可用性,避免不必要的人员损失与财产损失。

本书根据施普林格(Springer)出版社出版的《Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures》一书翻译而成,是可靠性系统工程、安全工程领域的前沿著作。原著不仅介绍了关键基础设施相互依赖性及风险分析的基础理论和指导原则,并针对不同类型基础设施给出具体的应用案例。该书主编均为挪威的安全工程领域专家,分别是特隆赫姆市安全研究所的派尔·胡可斯塔德(Per Hokstad),挪威科技大学海洋工程学院的英格瑞·波沃尔·于特内(Ingrid B. Utne)以及挪威科技大学产品与质量工程学院的约恩·瓦特恩(Jørn Vatn)。该书的各个章节均由相关领域有多年研究、教学经验的专业人士编写,融合了数十位作者多年的研究成果,包含了基础设施风险、脆弱性及相互依赖性分析方面的知识与技术,内容丰

富充实,具有显著的前瞻性和指导意义。

翻译工作历时半年,其中绝大部分内容是按照原文的意思,有个别之处是在原文的基础上根据译者的知识和理解来确定的。原著包含了较多的应用案例,还有不少体现作者水平的评论性描述,这无疑增加了翻译的难度。译者在充分研究作者思想的基础上按照中文思路进行梳理,尽量使翻译内容忠实地反映原著的意思,但不排除个别内容的理解与翻译可能不完全与原作者一致。

本书共有 14 章,按内容可分为三部分。第一部分主要包括前 6 章,重点论述关键基础设施风险及相互依赖性的基础理论与研究方法;第二部分主要包括第 7 章~第 12 章,针对不同类型的基础设施进行案例分析;第三部分主要包括第 13、14 章,从基础设施组织管理的角度,介绍了人因可靠性问题及存在的组织性挑战。本书不仅阐述了风险及相互依赖性分析的工作原理和设计依据,而且还凝聚了作者多年从事风险管理工作所获得的宝贵经验。在内容处理上十分注重对概念与思路的解释,并配以大篇幅的案例进行分析,内容侧重点清晰、覆盖面广、工程指导意义强,对于国内相关领域的研究人员有重要的指导意义及参考价值。

需要注意的是,原著是为基础设施管理者或所有者编写的一本指导手册,目的是为开展基础设施风险相关工作提供基本方向、指导原则及方法论支持,这并不意味着仅仅依靠本书就能解决相关领域的所有问题。事实上,本书更多的是提供一套完整的风险与相互依赖性分析框架,但仅仅依靠框架是不够的,还需要专业知识、特定工具、任务模型等方方面面的支持,也有赖于组织机构间密切交流合作。基础设施特别是关键基础设施具有复杂性与耦合性,虽然近年来在基础设施风险及相互依赖性分析与应用方面已有不少研究成果,但这项工作的持续有效开展依然任重道远。

本书由崔亦谦担任主译,王自力担任主审。具体分工如下:第 1、2、9、13 章及附录由崔亦谦翻译,第 3、4 章由张清源翻译,第 5 章由武天祯翻译,第 6、10 章由吕红红翻译,第 7、8 章由林坤松翻译,第 11、12 章由侯一蕾翻译,第 14 章由崔亦谦、武天祯共同翻译。全书由崔亦谦统稿并整理,由王自力审核并校对。在本书的翻译、出版过程中,得到北京航空航天大学康锐教授、国防工业出版社胡翠敏老师、白天明老师的悉心指导与帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促和水平有限,翻译难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

译者

2013 年 5 月

前 言

技术不仅仅包含改变人类环境的产品和系统;今天的生活、工作、交通和通信都是建立在大型网络基础之上的,这些网络彼此是交联或相关的。整个社会的职能都依赖于这些网络,即“关键基础设施”,比如供电、供水、能源、交通、银行与财政、信息与通信等技术或体系。风险与脆弱性分析的意义在于找出造成这些关键基础设施出现威胁或危害的影响因素。不过,因为基础设施具有很强的相互依赖性,这个问题变得尤为复杂。相互依赖性的存在可能造成以下问题:一个普通的故障可能导致冗余系统同时故障;一个系统的故障会造成另一个系统随后故障并使负荷增加;如果某设施的某项功能依赖于另一个基础设施的正常运营,那么可能会出现故障连锁或传递的现象。

本书介绍了关键基础设施相互依赖性及风险分析的基础理论和指导原则,并给出了很多具体的应用案例。我们在不同基础设施的研究中应用了不同的风险及脆弱性分析技术。本书对可能威胁到基础设施正常运行的危险源进行了辨识,并阐释了这些威胁是如何在系统间传递并影响到其他基础设施的。本书主要面向风险分析方向的初级工作人员,旨在为其提供解决现实问题的方法,每一种方法都提供了相应的系统输入、专业知识、预期输出等内容。

对于关键基础设施的管理者或所有者而言,本书是一本重要的读物,包含了风险与脆弱性分析方面的大量知识,在避免危害事件、提高预警能力等方面有重要意义。本书也适用于该领域的研究人员,并可作为相关专业硕士研究生的补充课程教材。

本书共分为14章。第1章介绍了关键基础设施相互依赖性现有的理论及方法,并进行了简单的文献调研;第2章详细介绍了风险、脆弱性、关键基础设施、相互依赖性等主要概念及分类;第3章对风险与脆弱性分析进行概述,风险与脆弱性分析是研究基础设施风险及危害度的基本方法,这种方法应当能够给出降低风险的建议措施,以及可能需要的后续研究方法。

第4章介绍了系统依赖性辨识与分析方法,并结合铁路系统、电力网络、信息与通信系统(建立在挪威奥斯陆中央车站发生过的实际事件基础上)等大型系统给出示例。第5、6章探讨了相互依赖性的建模方法。第5章介绍了风险及脆弱性的建模方法,重点论述了全局脆弱性分析、关键部件分析及基于地理位置的脆弱性

分析方法;第6章基于第5章的建模方法给出了两个案例,第一个案例针对某城市相互关联的供电系统及供水系统进行研究,第二个案例对挪威南部的铁路系统进行了研究。

第7、8章着重探讨供电系统。第7章介绍了供电系统风险分析的方法,并研究了供电中断可能造成的后果;第8章针对第7章的方法进行了案例分析。第9章以地下水综合供应系统为研究对象,探讨了供水设备可能存在的问题,这些问题会影响到供水服务的安全及可靠程度;此外,还建立了专门的风险分析模型。

第10章探讨了ICT(信息与通信技术)系统。本章重点强调了信息与通信系统及其他基础设施的依赖关系,阐述了ICT的可能威胁,并给出了多种风险分析手段。第11章阐述了海运系统的风险及依赖性分析方法,介绍了该系统与其他基础设施间的依赖性;第12章以液化天然气(LNG)运输为例介绍了案例应用。

本书最后两章从管理的角度进行研究。第13章以工作在多重负载环境下的加利福尼亚州水电供应系统为例,讨论了人因可靠性的管理,并介绍了基础体系弹性理论,对水电系统管理者或操作者有一定的指导意义。第14章对全书内容进行总结,并讨论了基础设施风险管理中尚未解决的问题。

本书部分章节大量使用了DECRIIS(关键基础设施的风险与决策系统)项目的研究成果。DECRIIS项目是由挪威科学研究委员会筹划发起的,该机构长期以来与奥斯陆市政管理部门保持密切合作。

Per Hokstad

Ingrid Bouwer Utne

Jørn Vatn

2012年于挪威特隆赫姆市

目 录

第 1 章 关键基础设施相互依赖性的现有研究方法	1
1.1 概述	1
1.2 第一组:概念研究(概念及分类)	1
1.3 第二组:建模与仿真研究方法	3
1.4 第三组:基于经验与知识的方法	4
1.5 关键基础设施建模的挑战——本书的意义	5
1.5.1 复杂性	5
1.5.2 在抽象与具体间权衡	6
1.5.3 后果度量	6
1.5.4 信息获取	7
1.6 结论	7
参考文献	7
第 2 章 相互依赖性的概念及分类	10
2.1 可观测量与不确定性	10
2.2 风险	10
2.3 风险记录表及风险矩阵	11
2.4 可靠性	12
2.5 脆弱性	13
2.6 弹性	13
2.7 蝴蝶结图	14
2.8 社会基本需求、社会关键功能与关键基础设施	14
2.8.1 社会基本需求	15
2.8.2 社会关键功能	15
2.8.3 基础设施	15
2.8.4 输入要素	16

2.9 依赖性与相互依赖性	16
参考文献	17
第3章 关键基础设施的风险及脆弱性分析	18
3.1 分析的各个阶段	18
3.2 第一阶段:准备工作	19
3.2.1 辨识风险分析的目的及其利益相关方	19
3.2.2 确定系统边界并明确风险原因与后果的类型	19
3.2.3 协调利益相关方并筹办论坛	20
3.3 第二阶段:预先风险分析	20
3.3.1 判别不利/危险事件及社会关键功能	21
3.3.2 原因分析	22
3.3.3 脆弱性分析	22
3.3.4 风险评估	23
3.3.5 关于不利/危险事件的补充说明	24
3.3.6 风险评估和降低风险的措施(风险控制)	24
3.4 第三阶段:详细风险分析	25
3.4.1 故障树分析	25
3.4.2 剂量效应模型	26
3.4.3 事件树分析	26
3.4.4 网络分析	26
参考文献	26
第4章 风险分析及相互依赖性建模	28
4.1 相互依赖性分析的步骤	28
4.2 步骤1:描述不利/危险事件	29
4.3 步骤2:识别相互依赖性及定性分析	29
4.3.1 相互依赖性的识别	29
4.3.2 连锁图的绘制	30
4.3.3 案例分析:电缆管道案例	31
4.4 步骤3:半定量风险评估	32
4.4.1 概率及后果的量化	33
4.4.2 风险计算	34

4.4.3 数值算例:电缆管道案例	36
4.5 步骤4:总结与补充分析(选做)	38
4.6 步骤5:风险评估与降风险措施	38
4.7 步骤6:计算服务损失造成的代价(选做)	39
4.8 结论	40
参考文献	40
第5章 相互依赖技术基础设施的建模、仿真及脆弱性分析理论	41
5.1 概述	41
5.2 相互依赖性的特征	42
5.3 建立模型框架的目的	43
5.4 单一基础设施模型框架	44
5.5 具有相互依赖性的多重技术基础设施模型框架	46
5.6 应用框架时应考虑的关键因素	49
5.7 技术基础设施的脆弱性分析	50
5.7.1 辅助决策的脆弱性分析	51
5.7.2 脆弱性分析的不同理论	52
参考文献	54
第6章 相互依赖关键基础设施的脆弱性分析技术	56
6.1 概述	56
6.2 案例1:供电系统与供水系统	56
6.2.1 系统描述及其网络模型	57
6.2.2 全局脆弱性分析	60
6.2.3 关键组分分析	61
6.2.4 地理位置脆弱性分析	63
6.3 案例2:相互依赖的铁路系统	65
6.3.1 系统描述	66
6.3.2 全局脆弱性分析	70
6.3.3 关键组分分析	72
6.3.4 地理位置脆弱性分析	74
6.4 结论	77
参考文献	77

第7章 供电系统风险分析	79
7.1 概述	79
7.2 风险分析方法综述	80
7.3 偶发事件分析	83
7.4 可靠性分析	84
7.5 关联故障与时间依赖性	86
7.6 案例分析:罗伊比灵顿测试系统	87
7.7 结论	89
参考文献	90
第8章 供电中断风险	91
8.1 概述	91
8.2 案例1:输电网分界点的可靠性	91
8.2.1 电力市场仿真	93
8.2.2 偶发事件分析	93
8.2.3 可靠性分析	94
8.3 案例2:奥斯陆中央车站的停电事故(供电损失)	95
8.3.1 供电损失及危险事件	96
8.3.2 供电危险事件的后果	97
8.3.3 供电中断对其他基础设施的影响	97
8.4 案例3:含非常事件的供电风险和脆弱性分析	100
8.4.1 威胁及不利事件的识别	101
8.4.2 原因分析	102
8.4.3 后果分析	103
8.4.4 风险及脆弱性评估	103
参考文献	105
第9章 城市一体化水务系统	106
9.1 水务系统组成要素及研究方法概述	106
9.2 准备工作	107
9.2.1 标准与指导文件	107
9.2.2 水循环安全计划的风险管理	109

9.2.3	城市水系统管理的目标、利益相关者与存在的挑战	110
9.2.4	系统边界与危害性分级	111
9.3	风险概略分析:以奥斯陆水务系统为例	112
9.3.1	奥斯陆水务系统的风险识别	113
9.3.2	奥斯陆案例中的风险分析及风险图表示方法	115
9.4	风险详细分析:奥斯陆某处泵站的故障树分析	115
9.4.1	熟悉所研究的系统	116
9.4.2	选取目标事件作为顶事件	116
9.4.3	建立故障树	116
9.4.4	底事件的可靠性数据	118
9.4.5	列出最小割集	119
9.4.6	定量分析结果	119
9.4.7	从故障树分析中得到的启示	120
	参考文献	120
第 10 章	信息与通信技术(ICT) 系统:机遇与挑战	122
10.1	概述	122
10.2	ICT 系统和其他基础设施之间的依赖性	122
10.3	信息安全	124
10.4	威胁及脆弱性	124
10.5	ICT 基础设施的风险分析	127
10.5.1	标准化风险评估	128
10.5.2	错误用例图	128
10.5.3	攻击树	130
10.6	基础设施中 ICT 系统风险评估的挑战	131
10.7	ICT 跨部门风险分析的建议	132
10.8	结论	132
	参考文献	132
第 11 章	基于风险理论的海运系统设计	134
11.1	概述	134
11.2	海上运输系统	135
11.3	风险分析方法	136