

风险元传递理论专著系列

电力风险元传递 理论与应用

李存斌 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

风险元传递理论专著系列

电力风险元传递 理论与应用

李存斌 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是华北电力大学“211工程”资助项目“信息化环境下供电风险传递理论与应用研究”的主要研究成果之一。本书提出电力风险研究的新思路、新途径和新理论,即电力风险元传递理论,并提出针对不同电力企业、不同风险元传递路线(关系型、链型、层次型、树型、网络型和混沌型等)的一系列理论模型及其应用研究成果,形成了电力风险元传递的系统理论和方法。主要内容包括电力风险元传递理论基础及发电企业、供电企业、电力用户、电力产业链风险元传递理论及应用。

本书可供电力企业或电力工程项目的风险管理人员和相关理论研究人员参考使用,也可供管理类本科生、研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力风险元传递理论与应用 / 李存斌著. —北京: 中国电力出版社, 2013.10

(风险元传递理论专著系列)

ISBN 978-7-5123-4874-5

I. ①电… II. ①李… III. ①电力工业-工业企业管理-风险管理 IV. ①F407.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 207675 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.5 印张 203 千字

印数 0001—1000 册 定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

序 言

李存斌教授自 2005 年开始, 提出风险元传递理论并对其进行了系统而深入的研究。在 2006~2008 的三年内, 带领科研团队对国家自然科学基金项目“广义项目风险元传递理论模型及其应用”进行了深入研究, 发表了 29 篇学术论文, 出版了风险元传递理论专著《项目风险元传递理论与应用》; 开发了一套软件。该研究项目在 2010 年国家自然科学基金委员会管理科学部组织的结题项目绩效评估中被评为“优”, 为华北电力大学争得了荣誉。

2008 年 12 月, 李存斌教授申报了华北电力大学“211 工程”资助项目“信息化环境下供电风险传递理论与应用研究”并获得批准, 几年来结合电力企业和电力产业链对风险元传递理论进行了深入研究。在 2010 年 4 月~2013 年 3 月三年的研究期限内, 李存斌教授带领的科研团队, 根据“211 工程”项目的具体要求, 进行了系统而深入的研究。三年内发表电力风险元传递方面的学术论文 25 篇, 其中被 SCI 收录 2 篇, 被 EI 收录 15 篇, 被中文核心期刊收录 8 篇; 开发的电力风险元传递理论与应用方面的软件系统获得软件著作权证书。本书是这些成果的系统总结, 也是风险元传递理论与应用方面的第 2 部专著。

在本书中, 对于风险的研究, 提出了供电风险元传递的三维结构模型, 即相互交叉的三个方面分别为: ① 企业应用维 (发电、供电、电力用户、电力产业链); ② 供电风险元传递路线维 (包括关系型、层次型、树型、链型、网络型和混沌型等); ③ 供电风险元传递方法维。本书按照电力产业链中的不同企业分章节进行阐述, 思路清晰、结构合理、层次分明、由浅入深、

理论深入、应用翔实，形成了电力风险元传递的系统理论和方法。

本书的出版，有利于电力企业了解如何在管理中控制和规避风险，有利于相关领导的科学决策，有利于电力产业链的有序生产和顺利流动，有利于电力产业目标的实现。对于电力管理中利用风险元传递理论进行风险的定量分析，对于完善和丰富电力风险管理的知识体系具有理论上的创新与实际应用价值。



2013年3月28日

前 言

本书是在出版《项目风险元传递理论与应用》专著的基础上，结合电力产业链（发电、供电、电力用户）进行系统研究的第2部风险元传递理论与应用专著。本书提出了电力风险研究的新思路、新途径和新理论，即电力风险元传递理论。在对国内外风险研究现状、存在问题分析并参考大量风险研究成果的基础上，阐述了电力风险研究的发展趋势，提出了不同类型风险元的概念，给出了风险元传递的含义和定义，并给出了供电风险元传递的三维结构模型，三个维度分别为企业应用维、供电风险元传递路线维和供电风险元传递方法维。基于风险元传递的三维结构模型，以发电企业、供电企业、电力用户、电力产业链为主线，给出了适用不同电力企业、针对不同风险元传递路线（关系型、链型、层次型、树型、网络型和混沌型等）、采用不同科学方法的一系列风险元传递理论模型及其应用研究成果，形成了电力风险元传递的系统理论和方法。

本书是华北电力大学“211工程”资助项目“信息化环境下供电风险传递理论与应用研究”的主要研究成果之一，参加该项目的研究人员有刘吉成、庞南生、施应玲、孙红星、董福贵、唐平舟、瞿斌、陈永权、梁春燕、王钊、刘谊、黄敏芳、王建军、郭晓鹏等老师。并且，笔者指导的博士和硕士研究生也进行了大量具体的研究工作，有博士研究生李贤、李鹏、陆龚曙、马同涛、周景等，硕士研究生陈文俊、黄旻、张晓毅、杜哲、胡云海、杨帆、钟言平等。在著作编撰过程中，高鹏飞、李贤博士研究生，苑嘉航、冯霞、武敏霞、徐亮等硕士研究生参与了大量编撰、文字校对、检查等具体工作。对于在写作过程中给予过帮助的老师 and 同学在此一并表示衷心的感谢！

本书的出版企盼对广大读者有所裨益，希望能抛砖引玉，激起广大读者对电力风险研究和管理的兴趣。由于编撰和整理书稿时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评和斧正，欢迎各位同仁来信共勉。

华北电力大学 **李存斌**

E-mail: Lcb999@263.net

目 录

序言

前言

绪论 1

第 1 章 概述 5

1.1 电力风险管理的发展趋势 5

1.1.1 从定性风险描述向定量风险管理发展 5

1.1.2 从传统的研究客观问题向研究主观问题发展 5

1.1.3 从单个子电力公司风险管理向集团公司风险管理标准化方向发展 6

1.1.4 从事后的保险管理向事先风险预警发展 6

1.1.5 从传统人工风险管理环境向智能化风险预测发展 7

1.1.6 从单个部门或单个作业风险管理向企业全面和集成风险管理发展 7

1.1.7 电力风险研究需要提出新思路, 探求新理论和新方法 8

1.2 电力风险的分类和特征 9

1.2.1 电力风险的分类 9

1.2.2 电力风险的特征 12

1.3 电力风险元传递理论与应用研究的作用和意义 13

第 2 章 电力风险元传递理论基础 16

2.1 风险元传递的定义和分类 16

2.1.1 从多米诺骨牌效应到风险元传递 16

2.1.2 从蝴蝶效应或混沌现象到风险元传递 17

2.1.3 风险元及其传递的定义 18

| | | |
|------------|-----------------------|-----------|
| 2.2 | 风险元的定量表示与度量 | 20 |
| 2.2.1 | 风险元的定量表示方法 | 20 |
| 2.2.2 | 风险元的传统度量方法 | 21 |
| 2.2.3 | 风险元的扩展度量方法 | 22 |
| 2.3 | 风险元传递理论的数学基础 | 25 |
| 2.3.1 | 风险元传递理论的概率论基础 | 25 |
| 2.3.2 | 风险元传递理论的模糊数学基础 | 29 |
| 2.4 | 风险元传递的结构 | 30 |
| 2.4.1 | 风险元传递基本结构 | 31 |
| 2.4.2 | 风险元传递基本结构的转换 | 32 |
| 2.4.3 | 供电风险元传递的三维结构模型 | 33 |
| 2.5 | 供电风险元传递路径 | 35 |
| 2.5.1 | 关系型风险元传递 | 35 |
| 2.5.2 | 链型风险元传递 | 38 |
| 2.5.3 | 层次型风险元传递 | 38 |
| 2.5.4 | 树型风险元传递 | 39 |
| 2.5.5 | 网络型风险元传递 | 39 |
| 2.5.6 | 混沌型风险元传递 | 40 |
| 2.6 | 供电风险元传递方法与模型 | 42 |
| 2.6.1 | 供电风险元传递优化法 | 42 |
| 2.6.2 | 供电风险元传递智能解析法 | 43 |
| 2.6.3 | 供电风险元传递统计模拟法 | 44 |
| 第3章 | 发电企业风险元传递理论及应用 | 46 |
| 3.1 | 概述 | 46 |
| 3.1.1 | 发电企业特有的风险元 | 46 |
| 3.1.2 | 发电企业风险元传递理论综述 | 49 |
| 3.2 | 水电项目经济评价指标风险元传递模拟模型 | 52 |
| 3.2.1 | 水力发电经济评价指标风险元传递模拟模型 | 52 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 3.2.2 | 水力发电经济评价指标风险元传递模拟分析应用算例 | 56 |
| 3.3 | 风电投资项目经济评价及风险元传递模拟模型 | 59 |
| 3.3.1 | 风电项目投资风险因素 | 59 |
| 3.3.2 | 风电项目投资风险元传递模拟过程 | 62 |
| 3.3.3 | 风险模拟实例分析 | 65 |
| 3.3.4 | 分析与建议 | 69 |
| 3.4 | 火电行业市场风险评价及风险元传递模型分析 | 70 |
| 3.4.1 | 火电行业市场风险分析与风险元辨识 | 71 |
| 3.4.2 | 基于层次型风险元传递的火电行业市场风险评价 | 73 |
| 3.4.3 | 基于 RBF 神经网络的火电行业市场风险元预测分析 | 78 |
| 3.5 | 低碳环境下发电权交易对发电公司的收益风险元传递模型 | 87 |

第 4 章 供电企业风险元传递理论及应用 94

| | | |
|-------|--------------------------------|-----|
| 4.1 | 供电企业风险元传递概述 | 94 |
| 4.1.1 | 供电企业特有的风险元 | 94 |
| 4.1.2 | 供电企业风险元传递理论综述 | 97 |
| 4.2 | 电网工程项目风险元传递理论及模型 | 98 |
| 4.2.1 | 基于粗糙集的电网工程风险元传递模型 | 98 |
| 4.2.2 | 基于系统动力学的电网工程风险元传递模型 | 104 |
| 4.3 | 风险元传递理论在供电公司购电风险决策模型中的应用 | 111 |
| 4.3.1 | 决策风险机理分析 | 112 |
| 4.3.2 | 供电公司购电收益分析 | 114 |
| 4.3.3 | 贝叶斯分析 | 114 |
| 4.4 | 供电中断风险元传递及恢复模型 | 119 |
| 4.4.1 | 供电中断对各行业的三角模糊数层次型风险元传递模型 | 120 |
| 4.4.2 | 供电中断风险元传递评价模型及供电中断损失估算 | 125 |
| 4.4.3 | 供电中断蚁群恢复算法 | 131 |
| 4.5 | 智能电网降本增效项目经济评价风险元传递解析模型 | 137 |
| 4.5.1 | 智能电网降本增效项目风险元传递解析分析 | 137 |

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| 4.5.2 | 智能电网降本增效项目风险元传递应用实例 | 141 |
| 第5章 | 电力用户风险元传递理论及应用 | 147 |
| 5.1 | 概述 | 147 |
| 5.1.1 | 电力用户概述 | 147 |
| 5.1.2 | 电力用户面临的特定风险 | 148 |
| 5.1.3 | 电力用户风险管理研究概述 | 149 |
| 5.2 | 电力用户风险元传递分析 | 150 |
| 5.3 | 基于粗糙集的电力用户风险元传递量化模型及应用 | 151 |
| 5.3.1 | 基于粗糙集的传递模型构建 | 152 |
| 5.3.2 | 传递模型应用实例 | 154 |
| 5.4 | 电力用户风险策略探讨 | 158 |
| 第6章 | 电力产业链风险元传递理论及应用 | 160 |
| 6.1 | 电力产业链风险元传递理论概述 | 160 |
| 6.1.1 | 电力产业链基本概念 | 160 |
| 6.1.2 | 电力产业链风险元概念及传递基本方式 | 161 |
| 6.1.3 | 电力产业链风险元传递的基本结构 | 162 |
| 6.1.4 | 电力产业链通用型风险元传递结构的分解转换 | 163 |
| 6.1.5 | 电力产业链风险元传递的特点 | 166 |
| 6.2 | 层次型电力产业链风险元传递模型及应用 | 166 |
| 6.2.1 | 层次型电力产业链蚁群算法 | 166 |
| 6.2.2 | 层次型电力产业链风险元传递模型 | 170 |
| 6.2.3 | 层次型电力产业链风险元传递模型应用 | 171 |
| 6.3 | 电力产业链市场信息风险元传递模型 | 176 |
| 6.3.1 | 电力产业链市场风险分析 | 176 |
| 6.3.2 | 电力产业链客观信息风险定性分析 | 179 |
| 6.3.3 | 电力产业链市场的风险元传递 | 184 |
| 6.3.4 | 电力产业链市场逆向选择风险 | 185 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 6.3.5 风险信号传递博弈简述 | 187 |
| 6.3.6 基于信号传递的电力产业链市场风险规避 | 190 |
| 6.4 电力产业链风险元传递理论研究总结与展望 | 192 |
| 参考文献 | 193 |
| 后记 | 200 |

绪 论

电力是国家经济发展的基础性产业，在信息化、工业化日渐发达的现代社会，实现安全、稳定、高效的电力供应是所有电力企业的共同目标。然而，由于电力具有不能大量经济存储的特性，因此电力系统的运行面临多种多样的风险因素，大到国家的宏观调控政策性因素，小到电力企业内部的操作员操作失误等风险因素，都会给安全供电带来相当大的挑战。电力企业是资金密集型、技术密集型企业，一般拥有大量的电力设备，这些设备占用了大部分的投资。电力风险发生的连锁反应是巨大的，一个小小的设备故障，可能会导致整个系统崩溃，即一个最基础的风险元的扰动可能会带来整个系统目标的巨大偏差。

1. 笔者围绕风险元传递理论的前期研究

针对企业、项目、电力系统普遍存在的风险元传递现象，笔者从2004年开始潜心钻研风险元传递理论与应用的问题。2004年发表“通用型广义项目目标风险分析理论模型研究的新思路”的论文，首次提出了“风险元传递理论”的概念，在对风险元定义和辨识的基础上，给出了风险元传递理论模型的创建和求解思路。2005年3月，笔者作为项目主持人申报了国家自然科学基金项目“广义项目风险元传递理论模型及其应用研究”（项目号：70572090）并获得批准。该项目在对国内外风险研究现状、存在问题分析并参考各行各业大量风险度量与评价模型的基础上，提出风险研究的新思路和风险元传递三维结构模型，即将定量风险分析提升到广义项目风险管理的高度，给出不同应用领域类型（经济评价、综合评价、网络计划等）、不同风险元传递方法（解析、模拟、状态组合）、不同风险元传递路线（关系型、层次型、网络型、树型）、具有相对通用性和代表性的风险元传递理论模型，从而探求风险元如何影响项目

的目标、风险元彼此之间如何相互影响、风险元的变动如何传递使项目目标随之波动，研究并确定关键的风险元，继而探求项目目标的风险，给出风险分析的定量表征；同时还给出较为通用的模型求解算法和软件。该项目在 4 年的研究期限内，发表学术论文 29 篇，出版《项目风险元传递理论与应用》专著一部，开发软件一套，取得了比预期更好的研究成果，在国家自然科学基金委员会管理科学部组织的结题项目绩效评估会上被评为“优”。2010 年笔者负责申报国家自然科学基金项目“信息化环境下企业项目链风险元传递理论模型研究”（项目号：71071054）并获得批准，目前该项目正在研究当中，进展顺利。

2. 电力风险元传递理论与应用研究概述

2009 年笔者申报了华北电力大学“211 工程”三期面上项目（“信息化环境下供电风险传递理论与应用研究”）并获得批准，2010 年开始对供电风险元传递理论与应用进行深入研究，本书是该项目代表性的研究成果。本书在系统总结笔者前期研究成果的基础上，结合电力系统的特点，理顺风险元传递模型，较为完整地给出了针对不同风险元传递路线（关系型、层次型、链型、树型、网络型等）适用不同电力企业（发电企业、供电企业、电力用户、电力产业链等）的一系列数学模型及其算法研究成果，形成了电力风险元传递的系统理论和方法及其应用研究成果。2012 年笔者负责申报国家自然科学基金项目“智能电网运营风险元扰动与传递理论模型及其应用”（项目号：71271084）并获得批准，目前该项目的研究团队已经形成，研究工作已经开始。

3. 电力风险元传递理论与应用研究的必要性

（1）由突发性极端气候现象致灾情况的启示。当南方冰灾、汶川地震、玉树地震、舟曲特大泥石流、美国的飓风艾琳，以及数十年甚至百年一遇的洪灾、旱灾发生时，供电中断都导致了一系列事件的连锁反应，如列车失去动力、地铁无法运行、自来水站缺水、手机不能充电、通信基站缺电而失去信号、计算机无法联网、高层建筑的人们被困、输油管道停止输油等问题。这些问题都深刻地启示着一个严峻的事实——都市现代化、工业化、信息化程度越高，一旦出现供电问题，导致的连锁反应就越大，也就越应重视风险的分析、预警与控制工作。供电环节，一方面是发电环节的电力输出端，另一方面是用户环节的

电力输入端，故一旦出现供电风险，不但发电环节受到损失，更重要的是相关的一系列用户、企业甚至行业成为直接或间接的损失者。这些损失包括了人民生活与社会保障、商业与消费、工业、交通邮电、建筑房产、旅游餐饮、教育、金融与保险、医疗卫生等影响国计民生的方方面面。因此，研究供电风险的来源、传递规律及对风险的防范控制等问题更加显得重要和迫切。

(2) 电力生产的特性需要加强供电风险的研究工作。电力的供需求实时平衡，即要求电力的发、输、配、售瞬时一次性完成，并且电力是不能大量经济储存的。这些电力生产的特性表明电力相关企业不仅面临普通企业的共有风险，还将面对某些电力行业特有风险的威胁。供电企业作为连接发电和用户用电的中间环节，一旦出现供电风险，必将在电力供应的上下游之间传递风险，其造成的直接损失将十分巨大，而间接损失更是难以估量。在电力市场环境，由于发、输、配、售各个环节独立运行、互相竞争，当各单位仅仅追求自身利益最大化而相互规划不协调时，也会出现部分供电风险，这种风险同样也会随着供电过程传递给上下游。因此，研究供电风险的来源，更重要的是研究风险是如何进行传递的、如何影响相应的企业以及如何规避和控制这些风险。在这种情况下，风险的影响不是简单的各个风险的叠加，而是要研究上一环节的风险元如何传递影响至下一环节。有些风险元可能只对本环节产生影响，还有些风险元却会对后续环节产生影响，甚至还会反馈至上游环节。因此，立足电力系统整体的利益高度，对供电风险元传递理论模型进行重点研究，是十分必要和重要的。

(3) 供电风险管理有必要对风险的传递过程进行研究。目前不少专家、学者对供电风险管理的研究大多是将发、输、配、售各个环节的风险分开、割裂而研究。另外有一些研究发电企业之间相互的风险影响、供电企业之间相互的风险影响等，取得了一定的成果。但是，并没有系统地对其风险的传递影响进行研究，也没有将整个发、输、配、售作为一个整体进行风险元传递的研究，更没有对整个电力供应过程中的供电风险如何在上下游传递进行研究。笔者认为，在供电过程中同样也存在一系列的风险元传递。在发、输、配、售的任何一个环节发生风险，都会对整个供电过程造成影响，甚至会随着这种影响的传递不断扩大化，产生难以预估的“蝴蝶效应”。因此，对供电过程中某一环节风

险元对当前环节其他风险元的影响，以及其对上下游各环节中风险元的传递影响，甚至对整个供电过程间的影响进行研究，优化供电风险元的传递过程，以期为提高供电安全性、避免供电风险、提升整个供电相关的社会效益作出贡献。

第 1 章

概 述

1.1 电力风险管理的发展趋势

1.1.1 从定性风险描述向定量风险管理发展

在现代电力企业管理理论体系和研究课题中，随着信息化、工业化的不断发展，风险管理已成为现代电力企业管理中的主要研究内容之一，并具有广阔的研究空间。从电力风险管理的研究成果可以看出，过去的研究成果大多是定性的分析，对电力设备寿命周期等设备风险研究多数都是定性的描述；而随着信息技术的发展和广泛应用，相关理论模型和科学方法如统计、灰色系统理论、数据挖掘、知识挖掘、模糊数学、遗传算法、神经网络、支持向量机、粗糙集、统筹、预测、决策、优化、模拟等在电力风险管理中的应用研究成果越来越多。特别是借助 Matlab、SAS、人工智能等技术，将电力风险管理的理论研究成果逐步转化为实用的应用成果，逐步应用于实际电力风险管理中。

1.1.2 从传统的研究客观问题向研究主观问题发展

自 20 世纪 80 年代以来，我国逐步开始重视对风险的研究。自然界和人类社会活动中的客观风险的发生往往不以人的意志为转移，其变化具有随机性，所以更多采用描述随机现象的概率论与数理统计方法去研究和表征。随着风险管理在发电企业、供电企业管理中的不断应用，发现当前的电力风险管理中存在诸多问题，例如：

(1) 电力企业管理中不同程度地存在着“作业不规范、流程不固定；操作不到位，效率提不高；人员不定岗，职责分不明；浪费较严重，责任难分清”等问题，特别是管理不善、浪费严重的问题尤其突出。