

《电力系统线损》第二版

DIANLIXITONGXIANSUN FENXI YU JISUAN

# 电力系统线损 分析与计算

吴安官 倪保珊 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 作者简介

### 倪保珊

1920年生于上海，1942年毕业于交通大学，1952年起在浙江大学工作，先后任副教授、副系主任、处长、教授；曾主编或编著《电力网及电力系统》、《直流输电》、《电力网线损的理论计算及降损的技术措施》、《电力系统线损》，与他人合作翻译五本专业书籍，在电力系统工程及高压直流输电技术方面有相当的造诣。

### 吴安官

1942年生于上海，1964年毕业于北京电力学院（现华北电力大学），在太原供电局、太原供电分公司工作，先后任技术员、工程师、高级工程师（教授级）；长期从事电力系统线损及供电企业技术经济问题研究。多次在全国性专业会议发表论文；在《电力技术》、《供用电》、《需求侧管理》等杂志发表论文十余篇，曾获山西省科协、中国电机工程学会颁发的优秀论文奖。1997年与倪保珊教授合作编著《电力系统线损》。

# 电力系统线损 分析与计算

吴安官 倪保珊 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为《电力系统线损》的修订版,修订时保留的基本内容包括:介绍了电力系统线损理论计算的基本知识和方法;阐述了考虑功率因数的线损计算、负载损耗系数概念和线损变化规律以及计损元件和多分支线路线损计算方法;提出了线损电量、线损率预测方法和供电量优化分配的原理;论述了降低线损的一些技术措施。

修订版新增了复杂电力网网损计算、网损分摊计算、电网经营企业内部环节电价及电量流和资金流双量平衡、多段式电价构成与应用、煤电价格联动、线损海量信息利用等内容。

本书可供电网经营企业从事线损管理工作的专业技术人员参考,也可供电力网设计、运行人员和高等院校电力系统专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统线损分析与计算/吴安官,倪保珊编著.  
北京:中国电力出版社,2012.11

ISBN 978-7-5123-3711-4

I. ①电… II. ①吴… ②倪… III. ①电力系统-线损计算 IV. ①TM744

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 265167 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 3 月第一版 2013 年 3 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 406 千字  
印数 00001—3000 册 定价 57.00 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

电力系统节能降耗是电力行业几代人始终关注并致力的重要任务。近年来几度闻得几位有志专家正在结合线损工作实践,总结、撰写(修订)著作或论文。近日吴安官告知我已完成《电力系统线损分析与计算》(下称《线损》)第二版修订,并要我写个二版序言,不禁让我又喜又惊,喜在新挑战中看到新成果应运而生,惊的是唯恐言不达意,但也不想辜负老友的诚意,权借此机说点儿心里话,表达对电网降损的关注和对线损工作者的敬意,于是怡然答应一试。回顾对线损业务的参与,忆及参加国家电网公司线损管理导则(规定)和降损规划修编及评审的受益,阅读老吴《线损》二版稿及其近年来发表的多篇论文,不禁感慨几多。

中国改革开放 30 多年来,实行能源开发与节约并举,促进了电力系统的迅速发展、效益提升。至 2011 年,发电装机容量已连年位居世界第二、电网规模及全社会用电量跃居世界第一;电力行业经济性显著提高:燃煤机组平均供电煤耗达到 330g/kWh,其中一批大型机组实现煤耗 300g/kWh;全国电网供电线损率实现 6.39%,若干省市平稳在 5.5%或以下,总体跻位国际先进水平。

回顾改革开放后中国电网降损历程,前 20 多年中,电网线损率从 1978 年的 9.64%下降到 2000 年的 7.81%,进步显著,但是年线损率曲线几度成马鞍形波动,降损维艰;进入新世纪 12 年来,随着科技与装备进步,尤其是线损管理的进一步加强,线损率持续平稳下降,摆脱了大波动的轨迹,2011 年比 2000 年又下降了 1.42 个百分点。按照 2010 年供电规模计算,电网线损率下降 1 个百分点,即每年少损电量约 420 亿 kWh,相当于年节煤 1380 多万吨,少排碳 2760 多万吨,节能减排成绩斐然。由于经历的缘由,我十分关注并为电网降损年年新成绩而欣慰,更敬重从事降损事业的技术人员和管理者踏实、勤奋的敬业精神。

电网降损取得显著成就,主要得益于线损理论分析计算、降损技术与措施实施、有效的政策管理三个环节的进步及其工作者孜孜不倦的努力。20 世纪 80 年代以来,一批从事电网线损理论研究并开展实际分析计算的教授、科技人员和电网一线业务人员密切合作,勤奋工作,对于推进我国电网线损理论研究、分析计算,实施降损措施与技术管理,实现电网线损率持续平稳下降,做出了杰出的贡献。20 世纪 80 年代,浙江大学和南京供电局合作(倪保珊教授执笔)编写《线损的理论计算和降损的技术措施》、重庆大学杨秀台教授编著《电力网线损的理论计算和分析》;之后,太原供电局吴安官高级工程师与倪保珊老师共同编著《电力系统线损》(1996 年)、江苏省电力公司虞忠年高级工程师和河海大学陈兴莺教授等人编著《电力网电能损耗》(2000 年)等。他们研究汲取、介绍了欧美和前苏联在电力系统线损计算方面的理论成果,联系我国电网实际,探讨、提出了诸多线损

理论计算方法，推进了微机在线损计算方面的应用，并在多个层面参与研讨交流、宣讲，对于我国制定线损计算导则、线损管理规定等行业标准或企业规范，以及开展线损管理工作培训、降损规划评审等做了良好的技术准备和实际工作，对电网企业开展线损理论计算、编制降损规划、提高电网企业线损技术管理工作水平，产生了持久的影响。同时，国家主管部门和国家电网公司协力，遵循科学发展观，坚持能源开发与节约方针，促进高校科研与企业产学研结合，通过制定、宣贯条例、导则，实施有效投入和技术措施，发挥了组织引导、监督管理作用，这也是多年来降损节能取得巨大成就的重要原因，也是应当汲取的又一项经验。

进入 21 世纪以来，我国电网发展很快，规模持续扩大、网络更加复杂，人员增加或者时有更新，国家推进可再生能源开发利用和电力市场日益发展，这些发展与变化都对电网线损管理、降损目标提出新的挑战。有鉴于此，本书作者退休后仍然不离实际，悉心探索、潜力钻研、孜孜不倦，花了 8 年多，终于奉献了又一鲜亮的新成果。

作者在《线损》二版修订中，保留或完善了第一版有关线损理论计算的基础知识和方法的基本内容，诸如考虑功率因数的线损计算、负载损耗系数和线损的变化规律、计损元件和多分支线路线损计算方法，线损电量及线损率预测方法、供电量优化分配的原理等；新增了多个章节，阐述复杂电力网网损计算、电网经营企业内部环节电价及电量流和资金流双量平衡、煤电价格联动分析、线损海量信息利用等新鲜的内容；在理论上探索，提出了负荷曲线三区段方式划分、复杂电力网网损计算和网损分摊、多段式电价构成与应用等方面新的成果，还采选、提供了不少实际分析计算案例或参数。这些研究及其成果对于市场经济背景下定位节能降损为重点、电网经营企业寻求提高效益之途是颇具启发性的。

我与吴安官同志是校友，20 世纪 90 年代后我们在电网线损业务中多有交流、合作；老吴学习勤奋、好钻研、事业心强，一直热心于线损专业理论及其实际应用的研究，年过花甲，也不辞撰写论文，以文交友、切磋提高，这些都令我敬重。

我真诚地推荐《线损》二版，并相信该书的出版，能对从事线损管理实务的专业人员和院校学生有所裨益；希望更多的年轻学人能对“线损”这个既古老又年轻的课题进行不断地钻研，以助于电力市场化和可再生能源入网后出现的诸多复杂技术经济问题的解决。作为我国线损管理发展过程的亲历者，借此机会，愿同年轻学人同思共勉。



2012 年 12 月 22 日

## 前言

《电力系统线损》出版至今已十数年，为跟上技术发展的脚步，早在 2002 年已开始修订工作；修订的主要原则是保持初版的理论框架和特点，根据电力体制改革后出现的新问题和线损管理实践的新需要，结合实践经验，增加一些新的内容。

初版的理论框架是以损耗因数法为主线、以  $\Delta A = B + CA^2$  这个二次三项式为副线展开；用随机试验法确认了我国学者刘应宽所提出的损耗因数公式的广泛适用和正确性；对等效负荷曲线法加以延伸和拓展；作出了各种电压等级线路设计使用的线损计算曲线；提出了线损率最小的条件；利用等效负荷曲线损耗因数概念，论证了负载损耗系数  $C$  与 6 个变量相关的性质；分析了线损电量与供电量变化的内在规律，继而提出了线损电量预测公式；首次引入了边际线损率概念，在此基础上提出了供电量优化分配的准则。初版为多分支配电网线损理论计算提供了多种方法并进行了比较，在大力推进智能配电网建设的今天，这些方法为配电网线损智能计算与控制提供了广阔的选择空间。初版对降损技术措施的阐述比较完整；此外，全书编制了大量例题，便于读者理解正文内容，也利于工作中参考。

在保持初版理论体系的前提下，本次修订对各章次序作了小的调整，补充了不少新的内容，从初版的十章增加为十六章，例题从 27 道增加为 36 道，修订版的书名也变更为与现有书稿内容更相符的《电力系统线损分析与计算》。

本次修订补充的主要内容有以下几部分：

(1) 对最大、正常、最小三种方式在概率意义范畴作了划分。给出了三区段功率分点和电量计算公式，为考虑三方式各自变化的负荷预测、网损预测或分时电价制定提供一种新的分析方法（第四章第四节）。

(2) 单列一章介绍高压电力网网损计算。比较了高压电力网网损各种计算方法，提出了基于三方式区段划分的高压电力网网损计算新方法（第十章）。

(3) 以简单的供电模型阐述了网损分摊的本质。以边际网损电价（边际线损率与输电电价之积）为经济信号，构建了区域内省际网损分摊的新方法；介绍直供高压用户间和复杂交易方式下，网损合理分摊计算的夏普里值法和美国加州所用的 GMM 法，提供了五节点电力网络网损分摊的算例（第十二章）。

(4) 电力网线损电量、线损率预测与降损规划。在初版线损电量预测公式基础上，增加了线损率预测公式，介绍了降损规划的要求和编制方法（第十四章）。

(5) 建立电网经营企业量本利分析模型，分析企业内部主要生产环节间电量流和资金流平衡，提出企业内部环节成本与环节电价模型，适应了电网经营企业精益化管理需要（第十五章第一、二节）。

(6) 为控制高压用户直供电价、低压用户销售电价,考虑线损影响,构建多段式电价模型。阐述了我国实施煤电价格联动的内在原因,采用双分量比值系数构建了煤电价格联动模型,为控制上网电价水平提供了定量分析方法(第十五章第三、四节)。

(7) 研究了售电端加价的分析方法,为在输变电工程后评价中完整评价输变电工程投产效益提供了条件(第十五章第五节)。

(8) 介绍了网损海量信息与其他信息集成的应用现状,对线损信息与其他信息集成并用于电压质量控制作了阐述。为实现线损海量信息利用,介绍了相关数据仓库与数据挖掘的设计概念(第十六章)。

上述的多项内容,部分已在全国性专业会议上或杂志上发表,部分是本次修订初次发表,希望作者多年的思考与积淀能对关心此类问题的读者有所裨益。

本书修订过程中得到了华北电力大学刘庆国教授的关心与鼓励,受到了金文龙学长的支持与帮助,部分修订稿曾经中国电力科学研究院张祖平高工审阅并提出了宝贵意见,山西省电力勘察设计院张友民同志为三方式区段划分的验证计算给予了全力支持。作者在此对各位老师、学长、同行的热诚帮助表示衷心的感谢。

承蒙倪保珊老师之托和众人相助,现修订版终将付梓,而作为指导和合作编著的倪老师虽未能亲见,但亦可告慰尊师于九泉:在学术上薪火相传,学生已尽全力。

由于作者水平所限,本书难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

吴安官

2013年2月

## 《电力系统线损》前言

本书于 1985 年开始酝酿编写，至 1994 年才脱稿。8 年多的编写过程中，作者针对供电部门线损管理工作所遇到的一些问题，例如对考虑有功电流和无功电流分布的多分支线路的线损计算、电能损耗的变化规律、重复供电率与综合线损率的关系、过境供电量对地区线损率的影响、供电量增量的优化分配、线损率指标的预测等，进行了比较深入的分析。

本书除介绍损耗因数法的基本概念以外，对各种损耗因数公式的来由、损耗因数法的概率含义、考虑功率因数时的等效负荷曲线法及其延伸、规划与运行部门所使用的线损计算曲线应如何合理绘制、用损耗因数法计算多分支线路的线损以及电力网元件的线损计算等，都作了比较详细的讨论。另外，还着重依据线损的二项式  $\Delta A = B + CA^2$  阐明线损率最小的条件，并对如何按降损要求合理控制电压水平、供电结构与降损的关系、线损率的分析与预测方法等问题，都进行了比较细致的探讨。最后又详细介绍了各种降损的技术措施。

山西省电力工业局生产技术处对本书的出版给予了大力支持，在此作者表示深切的谢意。

作者热诚希望读者对本书中难免存在的缺点和不足之处提出批评并指正。

作者

1994 年

# 目 录

序

前言

《电力系统线损》前言

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>第一章 概述</b>          | 1  |
| 第一节 有功功率损失与电能损耗        | 1  |
| 一、有功功率损失的主要类型          | 1  |
| 二、电能损耗计算               | 2  |
| 第二节 线损电量与线损率           | 2  |
| 第三节 线损的计算与分析           | 4  |
| <b>第二章 影响线损各因素的分析</b>  | 6  |
| 第一节 交流电阻的计算            | 6  |
| 第二节 测计期内气温、电压变化对线损的影响  | 7  |
| 一、测计期内气温变化对线损的影响       | 7  |
| 二、测计期内电压变化对线损的影响       | 8  |
| 第三节 负荷曲线形状对线损的影响       | 9  |
| 一、负荷曲线与持续负荷曲线          | 9  |
| 二、表征负荷曲线的参数            | 10 |
| 三、损耗因数与负荷率之间的关系        | 12 |
| 第四节 负荷功率因数和负荷分布对线损的影响  | 13 |
| 一、负荷功率因数的影响            | 13 |
| 二、多分支线路负荷分布的影响         | 13 |
| 第五节 计量设施误差对线损的影响       | 14 |
| 一、电能计量系统构成与计量误差的合成     | 14 |
| 二、电子式电能表误差的构成          | 14 |
| 三、计量系统误差对线损率计算的影响      | 15 |
| <b>第三章 按电流负荷曲线计算线损</b> | 17 |
| 第一节 均方根电流法和损耗因数法       | 17 |
| 一、均方根电流法               | 17 |
| 二、损耗因数法                | 17 |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 三、其他计算方法 .....                        | 18        |
| 第二节 用理想化负荷曲线推求 $F(f)$ 的函数关系 .....     | 18        |
| 一、用双变量理想化负荷曲线推求 $F(f)$ 公式 .....       | 18        |
| 二、用四变量理想化负荷曲线推求 $F(f)$ 曲线 .....       | 20        |
| 第三节 用统计数学方法求取 $F(f)$ 的近似公式 .....      | 23        |
| 一、 $F(f)$ 的二项式近似公式 .....              | 23        |
| 二、 $F(f)$ 的三项式近似公式 .....              | 23        |
| 三、四变量 $F(f)$ 曲线族的近似公式 .....           | 24        |
| 第四节 用数学分析方法推求 $F(f)$ 公式 .....         | 25        |
| 一、直接积分法 .....                         | 25        |
| 二、分段积分法 .....                         | 25        |
| <b>第四章 电流负荷曲线的概率论分析</b> .....         | <b>26</b> |
| 第一节 负荷曲线及其参数的概率含义 .....               | 26        |
| 一、持续负荷曲线的概率含义 .....                   | 26        |
| 二、最小负荷率和负荷率的概率含义 .....                | 26        |
| 三、损耗因数的巴茨 (Barth) 公式 .....            | 27        |
| 第二节 洛桑德 (Rossander) 公式作为分布函数的分析 ..... | 27        |
| 一、持续负荷曲线的洛桑德公式 .....                  | 27        |
| 二、指数型分布函数 .....                       | 28        |
| 三、损耗因数公式的推求 .....                     | 28        |
| 四、直接积分法与分布函数分析法的比较 .....              | 31        |
| 第三节 各种损耗因数公式的比较 .....                 | 31        |
| 一、用蒙特卡洛法编写的损耗因数公式比较程序 .....           | 31        |
| 二、各种损耗因数公式的比较结果 .....                 | 32        |
| 第四节 有功持续负荷曲线的三方式划分 .....              | 33        |
| 一、电力系统负荷管理的三种方式 .....                 | 33        |
| 二、三种运行方式的区别与联系 .....                  | 33        |
| 三、三种运行方式的概率界定 .....                   | 34        |
| <b>第五章 按功率负荷曲线计算线损</b> .....          | <b>38</b> |
| 第一节 考虑功率因数的线损计算 .....                 | 38        |
| 第二节 特罗格尔 (Tröger) 的最大负荷功率因数法 .....    | 39        |
| 第三节 格拉祖诺夫 (Глазунов) 的年平均功率因数法 .....  | 40        |
| 第四节 等效负荷曲线法 .....                     | 41        |
| 一、斯威克 (Cweink) 等效负荷曲线法 .....          | 41        |
| 二、斯威克方法的完善与延伸 .....                   | 42        |
| 三、等时段等效负荷曲线法 .....                    | 42        |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 四、不等时段等效负荷曲线法 .....             | 45        |
| 第五节 各种线损计算方法的误差分析 .....         | 50        |
| 一、均方根电流法计算线损相对误差分析 .....        | 50        |
| 二、损耗因数法计算线损相对误差分析 .....         | 51        |
| <b>第六章 无功补偿后的线损计算</b> .....     | <b>53</b> |
| 第一节 无功补偿后负荷曲线参数的计算 .....        | 53        |
| 一、欠补偿时无功负荷曲线参数的计算 .....         | 53        |
| 二、弱过补偿时无功负荷曲线参数的计算 .....        | 53        |
| 三、强过补偿时无功负荷曲线参数的计算 .....        | 54        |
| 第二节 无功补偿降损效果的计算 .....           | 55        |
| 一、自然功率因数较高时补偿效果的计算 .....        | 55        |
| 二、自然功率因数较低时无功补偿效果的计算 .....      | 58        |
| 第三节 电力网规划与设计用的年电能损耗计算曲线 .....   | 59        |
| 一、35~110kV 送电线路年电能损耗计算曲线 .....  | 59        |
| 二、220kV 送电线路年电能损耗计算曲线 .....     | 61        |
| 三、季节性用电的农电线路年电能损耗计算曲线 .....     | 62        |
| <b>第七章 电力网电能损耗的变化规律</b> .....   | <b>65</b> |
| 第一节 线损变化分析基础 .....              | 65        |
| 一、线损二项式 .....                   | 65        |
| 二、线损率最小的条件 .....                | 65        |
| 第二节 空载损耗的计算与分析 .....            | 66        |
| 一、高次型 .....                     | 66        |
| 二、平方型 .....                     | 68        |
| 三、准平方型 .....                    | 68        |
| 第三节 负载损耗系数 $C$ 值的计算与分析 .....    | 69        |
| 一、负载损耗系数的计算 .....               | 69        |
| 二、负载损耗系数的归算 .....               | 70        |
| 第四节 按降损要求确定电压水平 .....           | 79        |
| 一、各类负荷和配电线路综合负荷的电压特性 .....      | 79        |
| 二、控制电压水平与降低电能损耗 .....           | 80        |
| <b>第八章 电力网元件电能损耗的理论计算</b> ..... | <b>83</b> |
| 第一节 电能损耗的分类 .....               | 83        |
| 一、电能损耗按能否进行理论计算的分类 .....        | 83        |
| 二、可计算技术损耗按其变化规律的分类 .....        | 83        |
| 三、电能损耗按不同的电力网元件分类 .....         | 83        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第二节 架空线路电能损耗计算 .....         | 84  |
| 一、送电线路电晕损耗的计算 .....          | 84  |
| 二、架空线路电阻发热损耗的计算 .....        | 87  |
| 三、低压线路的电能损耗计算 .....          | 89  |
| 第三节 电缆线路的电能损耗计算 .....        | 91  |
| 一、电缆线路的空载损耗（绝缘层介质损耗）计算 ..... | 91  |
| 二、电缆线路的负载损耗计算 .....          | 92  |
| 第四节 主变压器的电能损耗计算 .....        | 96  |
| 一、主变压器的有功功率损失 .....          | 96  |
| 二、主变压器的电能损耗计算 .....          | 96  |
| 三、并列运行主变压器的电能损耗计算 .....      | 97  |
| 第五节 其他电气设备的电能损耗计算 .....      | 98  |
| 一、并联电容器 .....                | 98  |
| 二、并联电抗器和串联限流电抗器 .....        | 99  |
| 三、调相机 .....                  | 99  |
| 四、电能表与其他仪表设备 .....           | 100 |

## 第九章 多分支线路电能损耗的计算 .....

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一节 多分支线路电能损耗计算的基本方法 .....    | 101 |
| 一、加权平均法 .....                 | 101 |
| 二、逐点分段简化法 .....               | 102 |
| 第二节 等值电阻法与配电变压器的电能损耗计算 .....  | 107 |
| 一、线路的等值电阻 .....               | 107 |
| 二、配电变压器电能损耗的计算 .....          | 108 |
| 三、公用配电变压器的等值电阻与等效电阻 .....     | 108 |
| 四、用等值电阻法计算电能损耗 .....          | 110 |
| 第三节 双分量平衡法 .....              | 111 |
| 第四节 分散系数法 .....               | 115 |
| 一、典型分布负荷的功率损失计算 .....         | 116 |
| 二、分散系数 .....                  | 116 |
| 三、线路导线截面积不同时的长度折算 .....       | 117 |
| 四、复杂分布负荷的功率损失计算 .....         | 118 |
| 五、用分散系数法计算电能损耗 .....          | 119 |
| 第五节 用压降法计算多分支线路的电能损耗 .....    | 120 |
| 一、用比例系数法计算线损率 .....           | 120 |
| 二、用电压降的测计值计算线损 .....          | 122 |
| 第六节 多分支线路电能损耗计算方法的比较与选择 ..... | 123 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第十章 高压电力网网损计算</b>              | 125 |
| 第一节 网损计算的特点和要求                    | 125 |
| 一、高压电力网的分类                        | 125 |
| 二、区域网的特点和网损计算要求                   | 125 |
| 三、县域网的特点和网损计算要求                   | 126 |
| 第二节 高压电力网网损实时测计方法                 | 126 |
| 一、状态估计的功能与方法                      | 126 |
| 二、状态估计与 Excel 表格结合的网损实时计算         | 127 |
| 三、基于负荷实测与状态估计的典型日法                | 128 |
| 四、基于实时系统数据的网损综合分析法                | 130 |
| 第三节 高压电力网网损计算的节点等效功率法             | 131 |
| 一、节点等效功率及其分布                      | 131 |
| 二、节点等效功率分布下功率损失与电能损耗的关系           | 132 |
| 三、对节点等效功率法的分析                     | 134 |
| 第四节 基于三种方式下功率损失值的高压电力网网损计算        | 135 |
| 第五节 实例计算与分析                       | 137 |
| 一、39 节点标准网络网损计算的验证                | 137 |
| 二、依据某省 2004 年某日总负荷与网损功率实测值进行三方式计算 | 143 |
| <b>第十一章 电力网线损率指标的分析与预测</b>        | 148 |
| 第一节 线损率构成分析                       | 148 |
| 一、不同电压网络的线损率和总线损率                 | 148 |
| 二、空载线损率和负载线损率                     | 148 |
| 第二节 电力网供电结构对线损率影响的分析              | 152 |
| 一、重复供电率                           | 152 |
| 二、减小重复供电率降损效果的计算                  | 152 |
| 第三节 售电量构成分析                       | 154 |
| 一、无损售电量或加损售电量对线损率的影响              | 155 |
| 二、过境供电量对线损率影响的计算                  | 155 |
| 第四节 线损电量变化的多因素分析                  | 157 |
| 一、损耗结构系数和线损电量增长率函数                | 157 |
| 二、损耗结构函数与线损电量增量的计算                | 159 |
| 第五节 边际线损率与供电量增量的优化分配              | 161 |
| 一、边际线损率                           | 161 |
| 二、供电量增量的优化分配                      | 161 |
| <b>第十二章 网损分摊问题的分析与计算</b>          | 164 |
| 第一节 网损分摊问题的出现与解决的可能               | 164 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 一、双负荷供电模型的分析·····                | 164        |
| 二、三负荷供电模型的分析·····                | 166        |
| 三、网损分摊问题可能的解决途径·····             | 168        |
| 第二节 网损分摊的相关理论准备·····             | 168        |
| 一、有功持续负荷曲线的三方式区段划分·····          | 168        |
| 二、过境供电量对线损电量影响的计算·····           | 168        |
| 三、边际线损率的计算·····                  | 169        |
| 四、供电增量优化分配的计算方法·····             | 169        |
| 第三节 区域网内网损增量分摊的分析与计算·····        | 169        |
| 一、区域网主体部分网损向省网的分摊·····           | 169        |
| 二、省际电量送受所致的网损增量的分摊·····          | 170        |
| 第四节 复杂交易方式下的网损分摊计算·····          | 175        |
| 一、“一对多”大用户直购电试点的网损分摊·····        | 176        |
| 二、“多对多”网损分摊的夏普里(shapley)方法·····  | 176        |
| 三、基于边际网损系数的GMM方法·····            | 180        |
| <b>第十三章 降低线损的技术措施</b> ·····      | <b>182</b> |
| 第一节 选择合适的接线方式和运行方式·····          | 182        |
| 一、高压引入大城市或负荷中心·····              | 182        |
| 二、对电力网进行升压,简化电压等级,减少重复的变电容量····· | 182        |
| 三、合理确定环网的闭环或开环运行,或改变环网的断开点·····  | 183        |
| 四、利用纵横向调压变压器或串联电容器实现功率的经济分布····· | 185        |
| 五、避免近电远供或迂回供电·····               | 186        |
| 六、合理安排设备检修,尽量实行带电检修·····         | 186        |
| 七、更换导线,加装复导线,或架设第二回线路·····       | 187        |
| 第二节 合理确定电力网的电压水平·····            | 187        |
| 第三节 采用无功功率补偿设备和提高功率因数·····       | 188        |
| 一、无功补偿降损效益的计算·····               | 188        |
| 二、电力网无功补偿设备的优化配置·····            | 193        |
| 三、挖掘无功潜力,减少无功消耗·····             | 193        |
| 第四节 变压器的经济运行·····                | 193        |
| 一、同型号双绕组变压器的经济运行·····            | 193        |
| 二、不同型号双绕组变压器的经济运行·····           | 195        |
| 三、不同型号三绕组变压器的经济运行·····           | 198        |
| 第五节 调整 and 平衡负荷·····             | 201        |
| 一、调整负荷曲线·····                    | 201        |
| 二、平衡线路或变压器的负荷,调整双电源用户的使用电源·····  | 202        |
| 三、平衡三相负荷·····                    | 204        |

|             |                          |     |
|-------------|--------------------------|-----|
| 第六节         | 加强电力网的维护工作               | 204 |
| 第七节         | 加强用电管理和计量管理              | 204 |
| <b>第十四章</b> | <b>电力网线损预测与降损规划</b>      | 206 |
| 第一节         | 线损电量和线损率的单变量预测           | 206 |
| 一、          | 线损率指标预测基础                | 206 |
| 二、          | 线损电量单变量预测                | 208 |
| 三、          | 线损率单变量预测                 | 208 |
| 第二节         | 线损电量与线损率的多变量预测           | 209 |
| 一、          | 线损电量的多变量预测               | 209 |
| 二、          | 线损率的多变量预测                | 210 |
| 三、          | 滚动预测法                    | 213 |
| 第三节         | 降损规划的主要内容与编制过程           | 215 |
| 一、          | 降损规划的内容与编制依据             | 216 |
| 二、          | 降损规划的编制                  | 216 |
| 三、          | 降损规划的实施与监控               | 217 |
| 四、          | 降损规划实例介绍                 | 218 |
| <b>第十五章</b> | <b>电力网线损对电网经营企业影响的分析</b> | 220 |
| 第一节         | 线损对电网经营企业利润的影响           | 220 |
| 一、          | 电网经营企业利润计算               | 220 |
| 二、          | 盈亏平衡点销售电量                | 220 |
| 三、          | 单位售电利税额                  | 220 |
| 四、          | 影响利润各因素分析                | 221 |
| 第二节         | 环节成本与环节电价                | 221 |
| 一、          | 电网经营企业内部环节划分的意义          | 221 |
| 二、          | 简单供电结构下的环节电价计算模型         | 221 |
| 三、          | 复杂供电结构下环节电价计算模型          | 222 |
| 四、          | 并联供电结构的等效归并              | 223 |
| 第三节         | 线损对多段式电价构成的影响            | 226 |
| 一、          | 电价类型和计算方法比较              | 227 |
| 二、          | 单一购电者模式下两段式电价构成分析        | 227 |
| 三、          | 多段式电价递推计算                | 228 |
| 四、          | 电价总水平的控制途径               | 230 |
| 五、          | 分析与讨论                    | 232 |
| 第四节         | 煤电价格联动的分析                | 233 |
| 一、          | 煤电价格联动政策的解读              | 233 |
| 二、          | 上网电价与煤价联动的分析             | 235 |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| 三、销售电价与上网电价的联动·····                                              | 236        |
| 第五节 工程后评价中电价因素的分析·····                                           | 238        |
| 一、环节输出端加价的还原计算·····                                              | 238        |
| 二、简化供电网络的加价分配系数计算·····                                           | 239        |
| 三、复杂供电结构的加价计算·····                                               | 240        |
| 四、单项送变电工程年售电加价收入的计算·····                                         | 240        |
| <b>第十六章 电力系统线损海量信息的管理和利用</b> ·····                               | <b>243</b> |
| 第一节 导则引导下的两类管理信息系统的功能与评价·····                                    | 243        |
| 一、两类软件功能设计要求·····                                                | 243        |
| 二、省公司开发的线损计算与管理信息系统功能·····                                       | 243        |
| 三、网公司开发的线损理论计算综合管理系统·····                                        | 244        |
| 四、新的管理需求·····                                                    | 245        |
| 第二节 电网经营企业的价值创造和支持过程·····                                        | 246        |
| 一、大型企业信息化发展和 ERP 系统的应用·····                                      | 246        |
| 二、电网经营企业的价值创造与支持过程·····                                          | 247        |
| 第三节 以模型驱动为核心的决策支持系统 (DSS) 的构成·····                               | 248        |
| 一、DSS 系统结构与功能·····                                               | 248        |
| 二、智能决策支持系统与群体决策支持系统·····                                         | 250        |
| 三、电网经营企业的概念模型·····                                               | 250        |
| 四、电网经营企业的业务概念模型·····                                             | 251        |
| 第四节 线损海量信息的利用·····                                               | 253        |
| 一、数据仓库的基本概念·····                                                 | 253        |
| 二、数据挖掘和联机分析的基本概念·····                                            | 254        |
| 三、数据仓库技术在电力调度和营销系统的应用·····                                       | 255        |
| 四、线损海量信息深度利用途径——调度、营销系统的数据集成·····                                | 259        |
| <b>附录 A 电晕损失功率 <math>\Delta P_{\text{cor}}</math> 计算曲线</b> ····· | <b>263</b> |
| <b>附录 B 电力网元件的电气参数计算</b> ·····                                   | <b>265</b> |
| 一、架空线路的参数·····                                                   | 265        |
| 二、变压器的参数·····                                                    | 266        |
| <b>附录 C 分段积分法求取损失因数公式</b> ·····                                  | <b>270</b> |
| <b>附录 D 配电变压器空载功率损失和空载电流与电压关系的实测分析</b> ·····                     | <b>272</b> |
| 一、一般变压器 (热轧硅钢片) $\Delta P_0 (U)$ 实测分析·····                       | 272        |
| 二、低损失变压器 $\Delta P_0 (U)$ 实测分析·····                              | 272        |
| 三、一般变压器 (热轧硅钢片) $I_0 (U)$ 实测分析·····                              | 273        |
| <b>参考文献</b> ·····                                                | <b>274</b> |