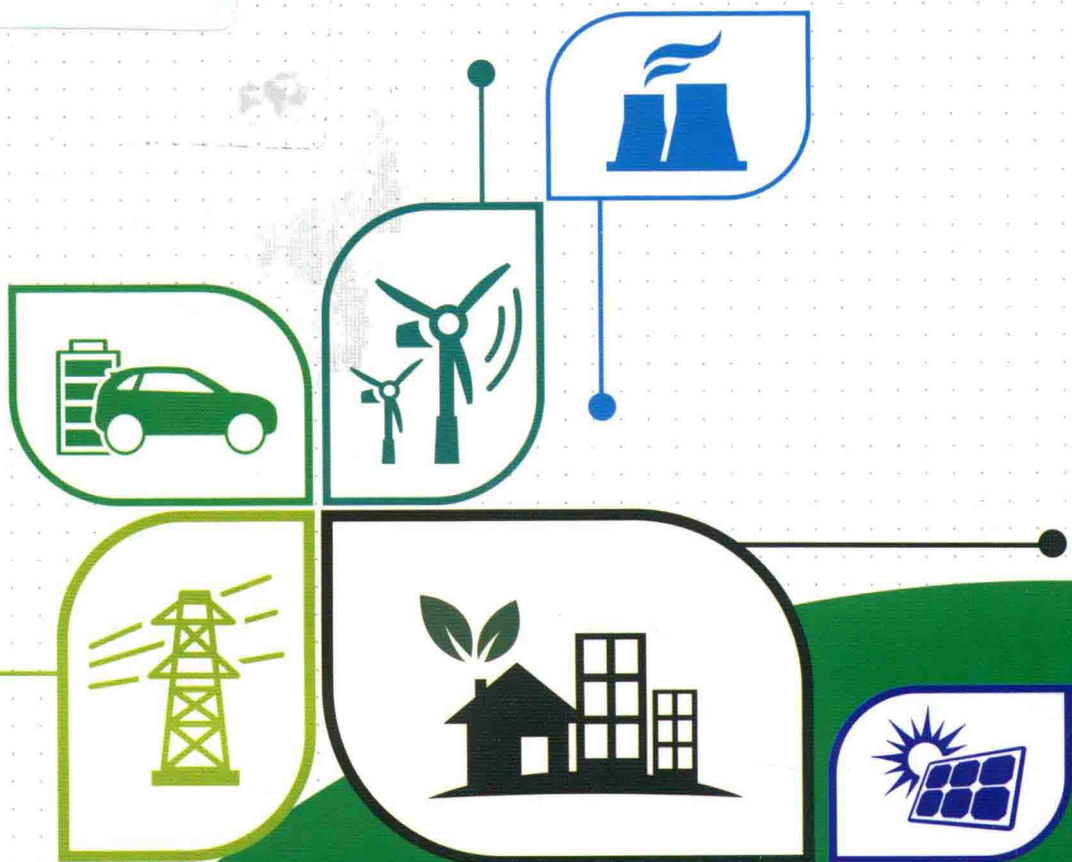




ZHINENG DIANWANG YONGHU
GDIAN XINGWEI FENXI FANGFA



智能电网用户 用电行为分析方法

李扬 主编
高赐威 孙毅 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

IG DIANWANG YONGHU
DIAN XINGWEI FENXI FANGFA

智能电网用户 用电行为分析方法

主 编 李 扬

副主编 高赐威 孙 毅

编 写 祁 兵 李 彬 王蓓蓓 王 磊 喻 洁



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书立足于典型电力负荷的特点和影响用户用电行为的因素分析,从实验设计与实际应用两个方面开展了对用户用电行为为分析方法的研究。全书共分4篇13章,第一篇为基于实验设计的用户用电行为分析,提出了一种实验性的设计方法,通过随机对照实验,提供可靠的估计数据,继而形成用户节约用电的潜力分析;第二篇为基于实际应用的用户用电行为分析,根据海量数据的收集和分析,对用户的用电行为特性进行挖掘和分类;第三篇为智能电网用户用电行为分析高级应用,分析了用户消费心理、群体行为、政策等多种因素对用户用电行为的影响;第四篇为智能电网典型设备用电行为分析,研究了空调负荷、电动汽车以及家居负荷的用电行为。

本书可供相关工程技术人员、高等院校电气工程学科研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网用户用电行为分析方法 / 李扬主编. —北京: 中国电力出版社, 2017.12
ISBN 978-7-5123-9992-1

I. ①智… II. ①李… III. ①智能控制-电网-行为分析 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 326697 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王惠娟 (010-63412534)

责任校对: 闫秀英

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 吴 迪

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2017 年 12 月第一版

印 次: 2017 年 12 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 15.25

字 数: 343 千字

定 价: 62.00 元



版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前 言

需求响应与智能用电是智能电网的核心高级应用，从某种意义上来说，是实现智能电网成功应用的关键，而对用户用电行为的科学分析是实现智能用电高级应用的必要条件，也是成功设计需求响应项目、开展需求响应工作的前提。目前国内缺乏对于用户用电行为科学分析的专门论著，相关研究还很不深入。随着智能电网技术的发展和应用，在高级量测体系以及目前正在大力发展的用户能量管理系统的支撑下，实现了对用户用电数据的详细测量和存储，为用户用电行为的科学分析提供了坚实的数据基础。

本书立足于影响用户用电行为的多种因素和各种典型负荷的特点，从实验设计与实际应用两个方面开展了对用户用电行为分析方法的研究，主要包括四篇：第一篇为基于实验设计的用户用电行为分析；第二篇为基于实际应用的用户用电行为分析；第三篇为智能电网用户用电行为分析高级应用；第四篇为智能电网典型设备用电行为分析。第一篇提出了一种实验性的设计方法，通过随机对照实验的设计，在理论上能够在减少用电需求、切换用电需求以及能源消耗方面提供最可靠的估计数据，继而形成用户用电行为的潜力分析。第二篇则是根据海量数据的收集和分析，对用户的用电行为特性进行挖掘。第三篇主要分析了用户消费心理、群体行为、政策等多种因素对用户用电行为的影响。第四篇主要研究了空调负荷、电动汽车以及家居负荷的用电行为。

本书由东南大学李扬教授主编，东南大学高赐威教授与华北电力大学孙毅教授为副主编，华北电力大学祁兵教授、李彬副教授以及东南大学王蓓蓓副教授、王磊副教授、喻洁副教授参与编写本书。

由于作者水平有限，希望该书能够起到抛砖引玉的作用，促进用户用电行为理论研究的进一步开展，助力智能电网技术的发展和成功应用。

编者

2017年12月

目 录

前言

绪论	1
0.1 用户用电行为分析定义	1
0.2 用户用电行为分析目的	1
0.3 各国用户用电行为分析应用	3
0.4 本书主要内容	6

第一篇 基于实验设计的用户用电行为分析

第 1 章 实验设计用户行为分析方法概述	11
第 2 章 评估流程	13
2.1 评估流程的要素	13
2.2 电价和其他措施的特性	15
2.3 实验设计和参考负荷的选择	16
2.4 实验设计的评估与诊断	20
第 3 章 负荷影响分析	25
3.1 基于事件的实验	26
3.2 非基于事件的实验	33
第 4 章 价格响应模型	41
4.1 需求的自身价格弹性估计	42
4.2 替代弹性估算	46
本篇小结	49

第二篇 基于实际应用的用户用电行为分析

第 5 章 智能电网电力用户用电行为分析基本理论	53
5.1 智能电网电力用户用电行为特性指标	53
5.2 基于实际应用的用电行为分析流程	58

第 6 章 用户侵入式及非侵入式用电数据获取方法	60
6.1 用电负荷监测分解与改进	60
6.2 多维度负荷分类体系	62
6.3 基于模糊隶属度函数的用户负荷分解模型	63
6.4 多维度体系算法特点	67
6.5 多维度体系算例分析	68
第 7 章 基于海量数据分析的用户行为特性辨识理论及方法	76
7.1 海量数据分析方法	76
7.2 电力用户行为分析方法	78
7.3 智能电网多维度用户行为特性辨识	119
本篇小结	138

第三篇 智能电网用户用电行为分析高级应用

第 8 章 基于消费心理的用户用电行为分析	143
8.1 消费心理对用户用电行为的影响	143
8.2 基于消费心理的用电行为分析	145
8.3 基于消费心理的用电行为分析实例	146
第 9 章 基于群体行为的用户用电行为分析	148
9.1 群体行为对用户用电行为的影响	148
9.2 用户参与需求响应从众行为模型	151
9.3 用户需求响应参与模型	154
9.4 基于人工智能的需求响应从众行为影响辨识	156
9.5 需求响应从众因素影响仿真算例分析	158
第 10 章 基于政策影响的用户用电行为分析	163
10.1 政策对用户用电行为的影响	163
10.2 需求响应项目的用户参与模型	169
10.3 参与模型影响因素分析	169
10.4 基于支持向量机的用户参与度预测模型	173
10.5 政策影响仿真算例分析	175
本篇小结	181

第四篇 智能电网典型设备用电行为分析

第 11 章 空调负荷用电行为分析	185
11.1 空调系统建模	185
11.2 空调负荷的聚合模型	187
11.3 空调负荷的控制模式	188
11.4 空调负荷的调控策略	189
第 12 章 电动汽车用电行为分析	193
12.1 电动汽车的应用和研究现状	193
12.2 电动汽车行为特性分析	200
第 13 章 家居负荷用电行为分析	216
13.1 家居设备负荷行为特性描述	216
13.2 基于家居设备行为特性的优化运行模型	218
本篇小结	228
附录 A 系统聚类的方法	229
参考文献	232



绪 论

0.1 用户用电行为分析定义

用户用电行为分析是指运用数据挖掘等手段对用户用电等数据进行统计、分析、处理等，从中发现用户用电行为的特点及规律。通过用户用电行为分析可以让电力企业及电力系统运行部门更加详细、清楚地了解用户的用电习惯，从而为电力系统及电力用户进一步优化制订供电策略提供依据，促进电力系统运行部门改进方案，提高电力系统运行效率，提升电力用户用电体验等。

0.2 用户用电行为分析目的

0.2.1 分析背景

随着国民经济的高速发展和电能需求的日益增长，我国能源消耗量巨大，电力供应时常偏紧，电力行业的节能减排面临巨大压力，大力推广智能电网已成为今后电网建设的发展方向。目前我国的智能电网是以物理电网为基础，运用先进的传感测量技术、信息通信技术、分析决策技术、自动控制技术和能源电力技术综合而成的创新型电网。通过建设智能电网，能够有效地节约能源，提高能源利用率，减少环境污染的同时缓解供电压力，促进经济发展和社会进步。

用户用电行为分析是智能电网研究的基础，同时智能电网的迅速发展也给负荷分析工作带来了更多的便利。为了提高电力行业的能源使用效率，减少电能消耗，不仅要从事电网侧进行有效的经济运行管理，还要充分发掘用户侧资源，通过电价或激励政策鼓励用户调整用电行为，将用户侧的节电潜力充分挖掘出来，实现供应侧与用户侧电能的互动与平衡。电力调度的目的不再仅仅为了保持电力平衡或销售更多的电能，电力调度的对象也不是单一的发电侧资源。电网公司在实现盈利的同时也需要减少碳排放、提供高质量的电能、鼓励和促进用户侧资源参与电力系统运行。因此，无论是把握电网规模和复杂性，实现输电、配电和用户电能平衡，还是预估市场环境和公众需求量，都给用户用电行为分析等工作提出更高要求，以更为先进的理论来提高用户用电行为分析技术是电力系统规划和运行的必然要求。

智能电网用户互动技术作为调节电力供需平衡的重要手段，采取有效的激励和引导措施以及适宜的运作方式，提高终端用户用电效率和改变用电方式，可有效保持供电平衡，保障电网的稳定运行。但是，在具体的实践中还存在以下问题。

(1) 海量用户用电信息尚未得到充分利用。智能电网的应用和实施过程中存在海量用户

与设备信息，包括电网发电能力、电网输送能力、用户负荷及生活生产信息、天气因素、价格或激励措施等。这些数据不仅具有海量、高频、分散等特点，而且数据之间存在关联性和相似性。在分析用户用电数据时由于只能提取其中的部分典型因素，因此缺少对数据之间关联性影响因素的深入研究，缺少对智能电网海量数据的高效处理手段。

(2) 用户行为的分析研究模型较为单一。在过去的研究中，用户行为特性分析往往仅考虑单一用能数据，大多以分析气候、经济、生产结构调整等因素对负荷特性的影响为主，或者以负荷特性分析来辅助需求侧管理的实施，但对象都是区域电网，远远不及电力供应侧的研究精度和深度；而且未能考虑用户生产生活信息等复杂环境因素，无法适应推行智能互动节电的需要。

(3) 现有用户负荷分类方法不能满足互动节电需求。在常规分类中一般按电价分为农业、居民、工商业用电，按行业分为冶金、轻工、制造、化工用电等，但这样的分类对响应评价并不一定准确。某些用户属于同一行业但是负荷特性可能差别很大，而不同行业的某些用户负荷特性却十分相似，同时不同类别的某些用户的电价响应率也可能存在一定的相似性，而应用智能电网互动模型仍需从更多方面提取更有效的负荷信息。

(4) 用户对智能用电的参与及响应程度不高。需求响应项目的试点工作在全国广泛开展，主要包括分时、峰谷电价和有序用电等，少数省份存在尖峰电价与可中断负荷补偿项目的应用实践。其中以行政手段为主的有序用电作为一种粗放型的管理，参与限电的企业不能获得补偿以弥补限电带来经济损失，致使目前用户对智能用电的参与响应程度较低。

综合针对以上问题，亟需解决海量用电数据的分析处理、用户用电行为多维分析、新型智能电网用户分类、需求响应综合策略规划等难题，为电网用户通过电能服务管理平台形成良性智能电网互动用电模式打下良好的理论基础，帮助实现需求响应资源优化配置和提升系统综合运行效率。

0.2.2 分析内容

用户用电行为分析旨在智能电网信息资源特性和用户行为学理论研究基础上，开展电力用户行为辨识方法研究，建立较为完善的基于智能电网海量数据的用户行为分析模型、方法和理论框架，提出智能电网环境下用户用电行为多维辨识方法，为智能电网价值提升和服务创新提供基础理论和技术支撑。具体包括以下几点：

(1) 通过深入研究智能电网电力用户用电行为分析的基本原理、方法和框架流程，研究基于用户行为的相关理论，对现有海量用电数据进行挖掘，了解用户的个性化、差异化服务需求，为未来的电力需求响应及互动节电政策的制定提供数据支撑。

(2) 通过海量数据分析技术，从时间维度、类属维度、空间维度、响应维度对用户进行精细化用电特征挖掘，推断其生产性质与用电特性，帮助决策部门挖掘其参与需求响应项目的潜力，深入分析各类需求响应项目的适用范围，为需求响应的实施从项目制定到项目评估提供全面支持。

(3) 通过构建新型智能电网用户用电行为分析方法，提高智能用电的实施效率，根据不同类型用户的偏好制定不同的营销策略并选择合适的互动节电项目，帮助用户主动参与智能

电网互动节电，真正享受到智能电网所带来的经济便利。

本书从基于不同用户用电数据来源的用电行为分析方法以及用电行为分析应用等方面展开。

第一篇为基于实验设计的用户用电行为分析，其数据来源于实验试点，分析了实时电价、使能技术等因素对用户用电行为的影响，主要分为三个阶段：实验设计、分析对用户用电的影响、形成结果报告。

第二篇为基于实际应用的用户用电行为分析，其数据来源于电力用户的实际用电数据，介绍了多种海量数据的分析方法，本书用电行为分析采用的方法主要是聚类分析法，分为四个步骤：数据预处理、一次系统聚类、二次模糊 C 均值（Fuzzy C-means, FCM）聚类、用电行为的数据分析。

在前两篇内容的基础上，第三篇和第四篇进一步阐述了用电行为分析的应用。第三篇对智能电网用户用电行为分析高级应用进行了研究，主要从消费心理、群体行为以及政策影响三个维度对用户行为特性进行分析。第四篇针对智能电网典型设备用电行为分析展开研究，包括空调负荷、电动汽车以及家居负荷的用电行为分析。

0.2.3 效益分析

(1) 支撑政府电力需求侧管理工作开展。开展基于海量数据的智能电网用户行为理论与用户分类方法的研究工作，可以有效支撑国家发展和改革委员会建设国家电力需求侧综合试点城市以及推广电能服务管理平台应用的工作，为相关部门制定推广和应用各类智能用电及互动模型的政策措施提供依据，促进电力需求侧管理工作科学有序发展，为推动国家经济发展方式转变做出重要贡献。

(2) 平衡电网供需关系，实现用户电网双向收益。借助信息双向智能推送，可以实现政府、供电企业、客户信息互动，使客户及时了解政策法规、供需形势、需求响应信息，通过用户用电行为辨识实现用户与电网互动，使用户获得各种电力市场的信息，并指导其电力消费行为。最终，用户经参与需求响应产生收益，不仅能够减少电费支出，而且可以获得相应奖励，进而提升客户的满意度。

(3) 提升智能化用电管理水平，促进电网精细化管理。在已有需求侧管理的基础上，进一步细化用户负荷在需求侧管理中的分类，对于不同类型的用户采用相对应的需求侧管理方式，弥补以往单纯依靠有序用电存在的不足，同时充分避免多样化因素对用电管理工作的影响，有利于提高供电企业用电管理的精细化水平。因此，在整体上可以促进智能电网朝着精细化、智能化的方向发展。

0.3 各国用户用电行为分析应用

0.3.1 需求响应

需求响应是指电力用户针对电价信号或激励机制主动改变原有电力消费模式的行为。作为传统发电调度的补充，需求响应在电力市场发展较为成熟的环境下能够削峰填谷、平衡间歇式能源波动和提供辅助服务，极大地丰富了电网调度运行的调节手段^[1]。由于需求响应的

热点性和实用性，国内外学者对其进行了深入的研究，涉及内容广泛，丰富了需求响应的理论研究基础。文献 [2] 主要从发电侧互动、降温负荷规律、分时电价和阶梯电价等方面，采用优化理论、回归分析等方法，对需求响应的效益评估和特性分析进行了研究。文献 [3] 以具体应用为切入点，给出了需求响应在空调制冷系统中的应用，以应对夏季电力短缺的问题。文献 [4] 结合智能电网的发展实际，对项目决策、风险管理等热点问题，探讨了需求响应在智能电网下的发展需求。文献 [5] 介绍了在电力市场环境下需求响应在国外的应用情况，结合中国的电力市场发展情况提出了相应的建议。文献 [6] 在考虑用户次日保电计划和检修计划的基础上给出了基于信息双向互动的需求响应用户基线负荷计算方法。文献 [7] 在需求响应理论的基础上，研究了在电力用户负荷形态分析、峰谷分时电价下用户需求响应建模及短期负荷预测。

需求响应项目利用经济手段与激励措施优化需求侧用电模式，分别为基于价格的需求响应与基于激励的需求响应两种项目类型^[8]。

国外对基于价格的需求响应项目研究开始得较早，20 世纪 80 年代 A.K.David 研究了现货电价下用户的最优需求响应情况^[9]，提出了用户负荷类型分类理论，并给出了用户响应下的负荷分类优化方法，同时分析了各种用户的电价响应潜力及响应瓶颈问题。在 1991 年香港召开的电力系统控制、运行与管理会议上，A.K.David 认为：评估实时电价下的用户响应需要为用户的用电特性设定数学模型，并提出了基于需求弹性理论、用户理性消费水平、供应侧及电价信息的需求响应特性模型。Mika Räsänen 对动态电价下的用户响应行为进行二次函数建模^[10]，并考虑温度因素，结合芬兰的一项动态电价试验对建立的模型进行参数识别仿真，结果表明基于建立的用户响应模型的仿真与用户的真实响应情况非常近似。J.G.Roos 等人重点研究了单一制实时电价下工业用户的响应行为及其带来的可避免成本效益^[11]。Megan Mallete 等人认为居民用户参与需求响应的潜力巨大^[12]，探究在分时电价下，用户根据获取的经济激励参与需求响应的潜力，并结合算例进行分析。

国内对用户基于价格的需求响应研究，主要侧重于峰谷分时电价下的用户响应行为研究。中国台湾较早开展了分时电价的研究及实践，J. N. Sheen 等人分析研究了用户对可选择的分时电价的响应特性^[13]。文献 [14] 中用户对峰谷分时电价的响应行为的建模思想主要从价格弹性、消费者心理学和统计学原理获取。文献 [15] 基于电价理论和经济学原理对峰谷电价的定价方法和大用户的响应模型进行了阐述，得出的结论是合理的峰谷电价结构能够提高负荷调整成效。文献 [16] 主要研究了电价弹性矩阵的建立和简化方法，分析验证了自弹性系数与交叉弹性系数具备互补性。文献 [17] 主要通过建立用户电价响应矩阵来构建用户满意度模型，综合考虑用户用电方式和电费支出的满意度。

0.3.2 美国用户用电行为分析

2008 年，美国国家能源技术实验室 (NETL) 在工业领域发起了一系列针对智能电网主要特性的研讨会，最终对智能电网主要特性进行了总结^[18]。智能电网的建设能进一步推进电力市场改革的进程，而电力市场的设计直接影响到需求响应的效果。德克萨斯电力可靠性委员会 (ERCOT) 总结了进行电力市场改革的经验，指出未来电力市场是一个能准确地衡量和

适应用户需求响应的竞争市场。尽管当前 ERCOT 的需求响应总体水平低于进行电力市场整改前的水平，但在将需求侧资源与竞争市场集成为辅助性服务方面具有很好的前景。同时，ERCOT 的经验还表明，需求侧在改革后的电力市场中的参与程度对市场信号是高度敏感的。对于智能用电以及用户用电响应行为这一问题，美国开展了很多相关试点项目。美国西北太平洋国家实验室（PNNL）在华盛顿奥林匹克岛（Olympic peninsula）地区进行了智能电网试点工程，通过数字技术、动态电价以及消费者导向控制等综合手段，对该地区居民用户、商业用户和工业用户的用电进行了分散协调管理。该项目的主要目的之一是研究以市场为基础的实时电价（real-time price, RTP）所能带来的效益，以及推行 RTP 的阻碍。结果表明，用户响应动态电价，签订不同的合同，节约了电费开支 10% 左右，平均削减高峰负荷 15%，有时通过分散发电削减高峰负荷 50%，推迟了电网、电源投资。过去的成本定价管制与对动态定价的不支持是推行 RTP 最大的障碍。

0.3.3 欧盟用户用电行为分析

随着新能源发电技术得到推广，相关的技术成本降低，以及对用户用电行为越发重视，欧盟各国更加关注需求响应技术的开发与应用。影响欧盟各国需求响应的因素主要包括：用户缺少的实时电价信息；一些国家电价管制、表计技术过时；系统运营者把精力集中在供给侧；用户管理方法传统。为了使用电行为更为合理化，2008 年欧盟 15 国使用了能量管理系统（energy consumption management system, ECMS）。ECMS 的基础是使用能耗管理开关（power management switch, PMS），通过 PMS 能够根据用户情况个性化地控制用电负荷。同时，通过电力网络，利用窄带电力线通信技术（narrow-band power line communication, NPLC）传输控制命令和监视信号。ECMS 被应用于居民电力用户、公共设施照明、第三产业电力用户、工业电力用户等。欧洲国家居民电力用户对环境保护的意识很强，因此分布式能源（DER）在欧洲得到重视。其中，光伏发电（photovoltaic systems, PV）能源的研究较多。不同欧盟成员国使用光伏发电系统后的行为响应情况不同。以英国为例，光伏发电的接入会影响家庭的能源消费，降低电能消费 6%，并转移高峰负荷。从家庭用电的角度，用户用能监测系统对用电行为的反应起很大的作用。欧盟部分国家还对促使电力用户安装和使用 DER 系统的因素进行了分析。以荷兰为例，由于荷兰注重环境，生活水平较高，住家分散，有探索精神，所以调研的 40% 荷兰家庭想自己发电。通过以上的分析可以看出，国外对智能电网的研究侧重于建立一个高效、安全、环保、灵活应变的智能电力系统，更多地从市场、安全、电能质量、环境等方面出发，从用户端的角度来看待和研究智能电网。

0.3.4 中国用户用电行为分析

0.3.4.1 按照电价类别的传统电力用户分类

中国按照电价类别的传统电力用户分类为：居民生活用电、一般工商业及其他用电、大工业用电、农业生产用电和趸售^[19]。

(1) 居民生活用电：包含居民区、家属院的居民家庭的照明及家用电器用电，包括楼梯灯照明、停车棚照明等；办公、民办学校的教学和学生生活用电。

(2) 一般工商业及其他用电：包含非居民照明用电、商业用电和普通非大工业用电三类^[20]。

(3) 大工业用电：凡以电为原动力或以电冶炼、烘焙、溶焊、电解、电化的一切工业用电，受电变压器容量在 315kVA 及以上者；自来水厂用电；工业试验用电；照明制版工业水银灯用电；电气化铁路用电等^[21]。

(4) 农业生产用电：包含农村乡镇、国营农场、牧场、电力排灌站和垦殖场用电；农业基地的农田排灌、电犁、打井、打场、脱粒、积肥、育秧和黑光灯捕虫用电。

(5) 趸售：按供电隶属关系分别由网局或省、市、自治区电力管理部门批准，趸售到县一级，执行 20%~30% 的优惠。

0.3.4.2 典型用户行为特征分析

钢铁、化工、有色金属和水泥四大高耗能行业用电量占我国全社会用电量的 1/3，四大行业具有不同的特点。

(1) 钢铁行业。企业的大部分设备需要连续运转，如高炉、焦炉、烧结机、转炉和制氧机等；部分设备可间歇性生产，如机加工设备、焦化上火配煤系统和烧结上料系统等；存在大量冲击负荷，如电弧炉、大型轧机等；单个设备检修周期较为固定，系统检修时间长，面积大，对用电负荷影响大；存在大量高温作业环境，夏季空调负荷大。可以通过合理规划，对电量调整起到一定的作用。

(2) 化工行业。化工企业共同特点是没有大起大落的负荷，不存在冲击负荷，一般为连续性生产，负荷在生产中不可中断，故对供电可靠性要求非常高，一般都是双电源供电来保证供电质量；生产化肥的企业由于生产设备拥有大量大容量的同步电动机，所以生产装置大，电气设备多，所以耗电量大，负荷稳定，负荷率高，功率因数高；生产氯碱的企业负荷特点是负荷大，负荷曲线相对较为平稳，负荷率高，但功率因数小于 0.9。

(3) 有色金属行业。用电季节差异小，冬夏负荷特性基本一致；负荷部分可中断，可调节性负荷高，错峰能力强，且生产稳定、负荷率很高。

(4) 水泥企业^[22]。水泥企业在建材行业中具有代表性。水泥生产过程包括石灰石等原料的开采、破碎、配料和均化，生料制备，再经分解煅烧成熟料，最后复合其他材料磨制成水泥。水泥通常是三班制连续性生产。为了保证安全生产，往往选用安全系数较大、功率偏大的风机、水泵，需要消耗的电能较多。该类负荷不存在冲击负荷，但在熟料煅烧和水泥粉末两个流程的用电负荷较大，负荷曲线较为平缓，没有明显峰谷。

0.4 本书主要内容

本书主要分为四篇内容。具体构成如图 0-1 所示。

(1) 第一篇从实验设计的角度进行用户的用电行为分析。提出一种实验性的设计方法，通过随机对照实验（随机激励实验）的设计，理论上能够在减少用电需求、切换用电需求以及能源消耗方面提供最可靠的估计数据，继而形成用户用电行为的潜力分析。主要内容如下：

1) 构建用户用电行为的主要评估框架。评估框架主要包括确定问题、选择参考负荷模型、验证参考负荷模型、负荷影响评估、用户需求评估、形成报告这六大步骤，着重阐述了

前三步的注意事项与设计理由。

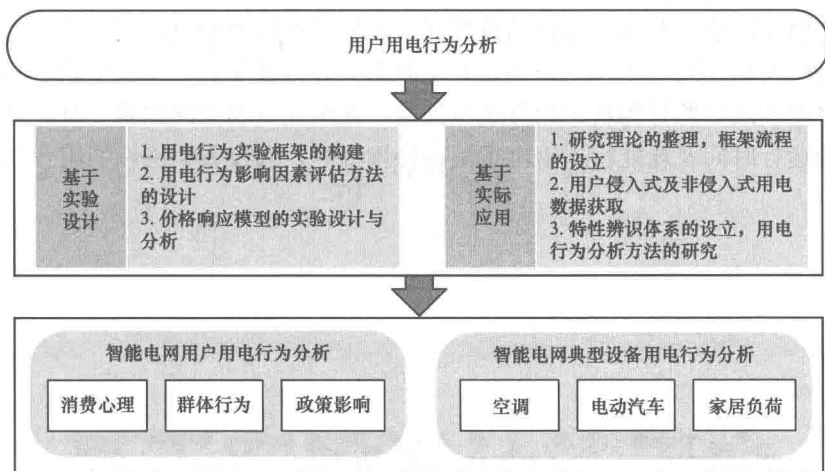


图 0-1 本书内容概要

2) 形成用户影响因素评估方法。对于用户的用电影响评估, 首先给出了几种统计分析方法。从基于事件的设计和基于非事件的设计两种不同的实验对象分别进行影响分析, 在评估影响时又分别采用了不同的实验设计方法, 如随机对照实验、随机激励计划、匹配控制组等, 并给出实际案例说明。

3) 基于用户的负荷影响分析, 实现价格响应的预估。结合具体案例对不同的实验设计方法进行实验数据分析。主要研究了不同的实验设置对需求的自身价格弹性和替代弹性影响。给出几种不同的数据分析模型, 构建负荷变化对于价格响应的影响并进行对照分析。

(2) 第二篇根据海量数据的收集和分析, 对用户的用电行为特性进行挖掘。主要内容如下:

1) 智能电网电力用户用电行为分析的基本理论及流程。智能电网电力用户用电行为特性指标, 主要包括常用负荷特性指标、负荷重要性等级以及柔性用电特性指标。基于实际应用的用电行为分析流程主要包括四个步骤: 数据预处理、一次系统聚类、二次 FCM 聚类、用电行为的数据分析。

2) 基于侵入式及非侵入式的用户用电数据获取方法, 对用户的用电情况进行监测和设备分解, 为电力公司提供用户详细的用电信息与用电设备组成。

3) 基于海量数据分析技术, 对智能电网用电信息数据进行分析研究, 建立综合考虑时间、空间等多维度的辨识智能电网用户行为特性的理论与方法体系。

(3) 第三篇对智能电网用户用电行为分析高级应用进行了研究。电力用户的用电行为改变不仅取决于自主生产安排, 还取决于用户消费心理、群体行为、政策影响等。本篇通过典型负荷的深入调研分析, 根据灵敏度分析、系统动力学等方法, 从用户消费心理、群体行为以及政策影响等不同角度分析了电力用户用电行为。

(4) 第四篇进行了智能电网典型设备用电行为分析, 主要研究了空调负荷、电动汽车以及家居负荷的用电行为。首先阐述了空调在热力学建模、聚合模型、控制策略、参与系统运行四个方面的研究内容。其次, 结合调研数据, 分析了不同类型电动汽车的行为状态和充电状态, 构建电动汽车 SOC (电动汽车电池荷电状态) 与行驶里程、充放电功率和可调度潜力的关系, 并将电动汽车的行为状态划分成不在网、在网充电和在网闲置三种。最后, 针对家居设备负荷的运行时间及耗能特点给出了负荷特性描述, 通过各类特性的组合搭配对常见家居设备建模。

第一篇

基于实验设计的用户 用电行为分析