

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.180782

## 基于系统动力学的售电渠道评价管理研究

刘 桢<sup>1</sup>, 林 璐<sup>2</sup>, 蒋 旭<sup>2</sup>, 李岳东<sup>2</sup>, 石会燕<sup>2</sup>, 周 晖<sup>1</sup>

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 国网北京市电力公司客服中心, 北京 100075)

**摘要:** 互联网环境下售电方式的多样化, 对售电渠道的建设与管理提出了新的要求。为提高售电渠道整体服务水平, 结合某地区几年来海量售电大数据, 对售电渠道的运行和管理过程进行具体分析。借鉴平衡计分卡的思路, 构建了反映渠道服务能力、服务效益、服务质量、服务潜力的评价指标体系。在分析各指标间因果关系的基础上, 构建了系统动力学评价分析模型。依据某地区 2015 年至 2017 年全样本居民购电大数据以及服务监测数据, 对各售电渠道进行评价。运用灵敏度分析找出关键指标并进行售电渠道服务水平提升模拟, 对售电渠道服务水平的提高提出针对性建议。

**关键词:** 大数据; 售电渠道; 指标体系; 综合评价; 系统动力学; R 语言

### Research of electricity selling channels' evaluation and management based on system dynamics

LIU Zhen<sup>1</sup>, LIN Lu<sup>2</sup>, JIANG Xu<sup>2</sup>, LI Yuedong<sup>2</sup>, SHI Huiyan<sup>2</sup>, ZHOU Hui<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Customer Service Center, State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100075, China)

**Abstract:** The diversification of electricity selling way in the internet environment has put forward new requirements for the construction and management of electricity selling channels. In order to improve overall service level of electricity selling channels, massive scale of the selling big data in a certain area for several years are combined to analyze operation and management process of electricity selling channels concretely. Firstly, referring to the thought of balanced scorecard, an evaluation indicator system reflecting service ability, efficiency, quality as well as potential is constructed. Furthermore, on the basis of indicators causality analysis, a system dynamics evaluation and analysis model is also constructed. Finally, according to the whole sample data of electricity selling and service monitoring data in the area from 2015 to 2017, this paper evaluates the electricity selling channels and uses sensitivity analysis to find the key indicators to simulate the advancement of service level of electricity selling. The suggestions on improvement of service level of electricity selling channels are pointed out.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFB1201000).

**Key words:** big data; electricity selling channels; indicator system; comprehensive evaluation; system dynamics; R language

## 0 引言

随着计算机技术的不断发展, 高性能计算机、云存储、分布式计算等技术为跨平台、跨时空、跨业务的大数据分析处理提供了可能, 国内网各领域

多个经典案例也充分展现出大数据的价值<sup>[1]</sup>。国家充分意识到大数据的重要性, 2015年8月31日国务院发布了《促进大数据发展行动纲要》<sup>[2]</sup>, 对全国大数据工作进行了部署。短短的几年时间, 我国大数据发展迅速。电力行业是一个涉及发电、输配电、用电高度复杂的工业体系, 涉及规划、生产、到运营各方面, 存有丰富的数据资源, 是一座亟待挖掘的“金矿”。为此国内电力研究机构<sup>[3]</sup>以及基层单位, 如中国电科院、浙江省电力公司、江苏省电力公司等都积极开展这方面的研究与实践应用, 涉

---

**基金项目:** 国家重点研发计划“先进轨道交通”重点专项(2017YFB1201000)“轨道交通新型供电制式车辆与车载储能技术”; 国网北京市电力公司科技项目(52022417000M)“客户购电服务全过程监控及电力营销大数据分析研究”

及到各个专业领域，如线路管理、窃电识别等，取得了不少成果。

售电渠道的设计关系到电力客户购电的便利、快捷、可靠，也关系到供电公司的管理成本与效益，是电力营销管理中的一项重要工作<sup>[4-5]</sup>，在日常的渠道管理中主要采取监测各渠道的业务量、购电设施和服务水平等方式。在大数据背景下，大数据对售电渠道管理的价值已经得到了大家的共识，在此基础上提出了不少基于业务思考的渠道优化管理建议<sup>[6-8]</sup>，包括渠道的拓展、渠道的运行管理等。但如何从购电全过程的角度出发，去提取数据库中的字段，并将其用于售电渠道的管理当中，尚缺乏对大数据的深度分析与探索。此外，关于售电渠道评价理论模型的研究尚不多见，从科学管理工作的角度出发，渠道评价研究亟待加强。

系统动力学作为基于系统论、吸收信息论和反馈理论等发展起来的理论，具有能反映系统内部相互作用因素的耦合关系，反映系统随目标或结构变化时产生动态变化特性的优点，已在各个研究领域得到广泛应用，包括电力行业中的规划、预测以及评价<sup>[9-10]</sup>等，但在电力营销中的售电渠道评价管理方面，系统动力学的应用还处于起步阶段。在目前的评价管理领域中，层次分析法、灰色综合分析法、模糊综合评价法等常用评价方法都为售电渠道的评价管理提供了一定理论支撑，但都存在一定的局限，仅反应评价对象在某一时间点整体水平，无法反应评价对象在一定时间范围内的变化趋势以及指标与相关影响因素之间的关系<sup>[11-13]</sup>。渠道管理是一个复杂的系统，尤其是该系统内部影响因素之间还存在耦合关系，适合于用系统动力学方法；而常规的方法如层次分析法在建立评价体系时要求相互独立，指标间需要解耦，这在实际工作中往往难度较大，难以找到一组相互独立的指标<sup>[14-16]</sup>。在我国当前电力营销环境中，售电渠道众多且受客户行为及客观条件等多种因素相互影响制约，在不同时间呈现出明显动态特性。因此，本文拟按照渠道管理的要求，构建渠道的评价指标体系，并利用历年渠道的售电大数据以及渠道服务的监测数据，构建系统动力学模型对渠道进行综合评价，从而发现影响渠道售电水平与服务水平的因素，找到有针对性的渠道建设与改进建议<sup>[17-19]</sup>。

### 1 售电渠道评价指标体系的构建

由于售电渠道众多，因此有效管理的方式采取

指标管理。即构建出能综合反映各渠道在售电业务中关键要素的指标体系，然后通过渠道实际运行过程的数据进行评优去劣，达到提升渠道管理水平与质量的目的。

#### 1.1 售电渠道的平衡计分卡管理

售电渠道管理属于管理学范畴。平衡计分卡(Balanced Score Card, BSC)是 90 年代基于系统理论建立起来的管理方法，经过 20 多年的发展，已广泛应用于各行各业各层次的管理活动当中，包括战略、流程、薪酬等<sup>[20]</sup>。其核心思想是在进行管理时，首先明确管理目标，然后对管理对象从其财务、客户、内部流程、学习与成长四个层面上，拟定便于实施的管理体系。

平衡计分卡的管理思想应用于渠道的评价指标体系设计时，首先需要考虑来自供电企业、用电客户和售电渠道在售电业务中的需求。对于供电企业而言，最注重售电渠道的运营效果和成本投入，购电客户最看重的是售电渠道服务能力与质量，售电渠道更注重的是自身的竞争优势和未来发展潜力。归纳以上三方的需求，对售电渠道的评价集中体现在渠道的服务能力、服务质量、服务效益、服务潜力四个方面，它们分别对应着平衡计分卡原有的内部流程、客户、财务、学习与成长四个方面，并根据对售电渠道评价的需要，进行了合理有效的转化。

#### 1.2 渠道的售电过程分析

渠道的售电过程分析，是构建评价指标体系的基础。如图 1 所示，从一笔售电业务完成的过程来分析，可以看作是由电力客户发起，通过不同的售电渠道买电，然后进入到电力公司的内部的售电、采集下发等系统，直到下发结束。从整个售电过程的时间顺序来看，先为电力公司的外部渠道，后为电力公司的内部系统。在此过程中，牵涉到客户、外部渠道、内部系统、客户表计等四个环节。这四个环节环环相扣，构成完整的购电业务链。

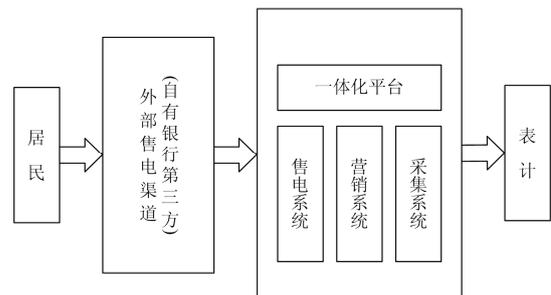


图 1 居民购电流程示意图

Fig. 1 Flowchart of purchasing electricity for resident client

需要指出的是,由于售电过程所经历的环节多,不同的数据系统所形成的数据量大、字段多,变量有文本、数字等各种类型。

### 1.3 售电渠道的评价指标体系

根据以上评价指标体系的构建思路,结合售电渠道为居民提供购电服务的全过程分析,包括售电业务开展前、过程中以及售电阶段,再围绕着提升渠道服务水平的目标,构建出以服务能力、服务质量、服务效益、服务潜力为属性层;结合渠道售电过程大数据(后文简称“大数据”)、95598 智能互动网站监测数据及客服中心调研管理数据库,满足可操作、可执行、可量化的要求,形成适用于每一个渠道售电服务评价的指标体系,如表 1 所示。

表 1 售电渠道综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index of electricity selling channels

目标层	属性层	子层指标	单位	来源
服 务 水 平	A 服务能力	A1 服务人员数	个	95598
		A2 售电网点数	个	95598
		A3 售电方式种类	个	95598
		A4 日服务时长	h	95598
		A5 增值服务	—	客服中心
	B 服务效益	B1 手续费	万元	客服中心
		B2 单笔交易成本	元	大数据
		B3 售电金额占比	%	大数据
		B4 售电笔数占比	%	大数据
	C 服务质量	C1 年每笔业务平均完成时间	min	大数据
		C2 售电成功率	%	客服中心
		C3 客户满意度	%	客服中心
		C4 地区覆盖度	—	95598
		C5 通知服务	—	客服中心
	D 服务潜力	D1 客户数占比	%	大数据
		D2 售电笔数增长率	%	大数据
		D3 售电金额增长率	%	大数据
		D4 新客户占比	%	大数据

## 2 系统动力学及其售电渠道评价模型

系统动力学(System Dynamics, SD)是以反馈控制理论为基础、计算机仿真技术为手段的系统分析方法,优势在于它能解决高度非线性、高阶次、多变量、多重反馈、复杂时变大系统问题,从而既可以在宏观上把握事物发展的趋势,又可以分析系统内部微观因素的相互作用关系。售电渠道评价管理属于多对象、多变量、多时段的管理问题,是复杂

的大系统,适合用系统动力学来解决。

### 2.1 模型变量分类

系统流图用到的量有状态变量、速率变量、辅助变量、常量,渠道评价模型中选取的变量及其类型见表 2。其中,状态变量的选取十分关键,它表示的是一个累积值,在渠道评价模型中,客户数、售电笔数和售电金额具有累积效应,故选这三个变量为状态变量。相应地,速率变量为这三个变量的变化率。

表 2 渠道评价的 SD 模型变量类型

Table 2 SD variable type of electricity selling channels

变量分类	变量名称
状态变量	客户数量, 售电笔数, 售电金额
速率变量	客户数量增长率, 售电笔数增长率, 售电金额增长率
辅助变量	渠道综合评价得分, 服务能力, 服务效益, 服务质量, 服务潜力, 售电笔数占比, 售电金额占比, 客户占比, 手续费, 售电金额增长率, 售电笔数增长率, 新客户占比, 客户满意度, 单笔交易成本, 客户变化表函数, 笔数变化表函数, 金额变化表函数
常量	服务人员数, 日服务时长, 增值服务, 手续费, 售电完成时间, 售电成功率, 地区覆盖度, 通知服务, 促销活动, 运维成本

### 2.2 评价指标数据标准化

由于表 1 中各子层指标的量纲各异,无法对属性层乃至目标层指标数据进行统一处理。为此,需要把子层指标去掉量纲,并将数据规格化。采用适合最大最小值未知的情况的 z-score 标准化方法<sup>[16]</sup>。具体做法是:依据指标的定义,确定指标为越大越优型(如服务人员数)或越小越优型(如单笔交易成本)。

假设一共有  $M$  个服务渠道,  $N$  个指标,所有售电渠道的第  $n$  个指标数值构成向量  $Q_{n-i} = (v_{n-1}, v_{n-2}, \dots, v_{n-M})$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ,第  $i$  个售电渠道第  $n$  个指标数值  $v_{n-i}$  去量纲标准化步骤如下。

若指标  $v_{n-i}$  是越小越优型指标,则

$$v'_{n-i} = (\bar{v}_n - v_{n-i}) / \sigma_n \quad (1)$$

若指标  $v_{n-i}$  是越大越优型指标,则

$$v' = (v_{n-i} - \bar{v}_n) / \sigma_n \quad (2)$$

$\bar{v}_n$  是售电渠道指标  $n$  的平均值,可表示为

$$\bar{v}_n = \frac{1}{M} \sum_{i=1,2,\dots,M} v_{n-i} \quad (3)$$

$\sigma_n$  是售电渠道  $n$  的均方差,可表示为



### 3 售电渠道的综合评价

#### 3.1 售电大数据的处理

借助某供电公司 2015 年至 2017 年渠道海量的售电数据,对“流水号”、“客户号”“客户地址”、“售电时间”、“售电金额”、“售电方式”和“售电渠道”7 个字段进行提取。每月数据量级约为 250 万条至 400 万条,月均数据量在 8 GB,一年的数据量在 100 GB 左右。运用 RStudio 数据分析工具对售电大数据进行分析处理,将 24 个售电渠道按照售电渠道管理的需要,分为“自有渠道”、“银行渠道”和“第三方渠道”三类,由此得到这三类渠道按月评价分析用的相关售电统计数据。限于篇幅,本文重点讨论“银行渠道”。

#### 3.2 评价指标权重的确定

从管理的角度来看,各指标对管理目标的影响不尽相同。本研究运用 AHP 层次分析法确定指标权重,具体步骤参考文献[21],由此得到如表 3 所示的售电渠道评价体系各指标层及子层指标的权重。

表 3 基于 AHP 的售电渠道综合评价指标权重

Table 3 Weight of comprehensive evaluation index for electricity selling channels based on AHP

指标(权重)			
A(0.219)	A1(0.112)	C(0.264)	C1(0.244)
	A2(0.336)		C2(0.271)
	A3(0.285)		C3(0.258)
	A4(0.146)		C4(0.161)
	A5(0.121)		C5(0.066)
B(0.331)	B1(0.147)	D(0.186)	D1(0.186)
	B2(0.261)		D2(0.255)
	B3(0.304)		D3(0.243)
	B4(0.287)		D4(0.316)

注: ()表示各指标按层次分析法确定的权重值。

#### 3.3 售电渠道的综合评价及分析

##### 3.3.1 售电渠道综合评价

所谓售电渠道的动态评价指的是时序分析,由于系统动力学模型是基于状态方程建立的,因而可以进行多时段的分析。以“银行渠道”为例,既可以进行年内逐月的分析,也可以做历年的趋势分析。基于 2.3 节构建的模型,通过 SD 专用仿真软件 VensimPLE 仿真即可得到以上结果。表 4 为银行渠道 2017 年内逐月综合评价得分值,图 3 为 2015 年至 2017 年逐月综合评价得分曲线。

从表 4 可以看出,在 2017 年内银行渠道综合评价得分 12 个月内整体波动较小,在 7.5~8.5 的区间

变化,说明该年银行渠道总体运营况比较稳定。其中,1 月得分较高,达到 8 分以上;8 月和 9 月得分较低,这主要取决于每月的售电交易情况。

表 4 2017 年逐月银行渠道综合评价得分值

Table 4 Comprehensive evaluation scores of the electricity selling channels of bank by month in 2017

月份	1	2	3	4	5	6
评价得分	8.14	7.77	7.89	7.78	7.66	7.87
月份	7	8	9	10	11	12
评价得分	8.06	7.59	7.58	7.76	7.75	7.59

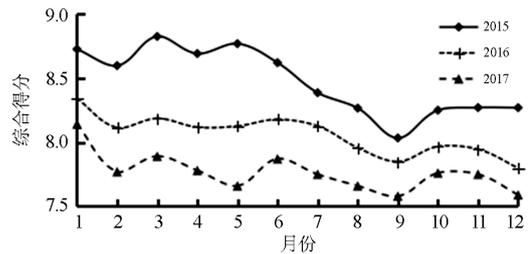


图 3 2015 年至 2017 年银行渠道综合评价得分曲线

Fig. 3 Comprehensive evaluation scores curve of the electricity selling channels of bank in 2015-2017

从图 3 可以看出,银行渠道由 2015 年至 2017 年的综合评价得分呈下降趋势,年均下降幅度为 4.2%,这主要受新兴的第三方等售电渠道类型的冲击。但各年之间的综合得分曲线变化形态大致相同,此外年内最大值、最小值发生的月份基本相同,呈现出一定的相似性。

##### 3.3.2 售电渠道综合评价影响因素分析

结合售电渠道综合评价 SD 模型,仍以 2017 年为例,对形成评价结果的原因进行分析。图 4 列出了银行渠道每月综合评价得分及四个属性层得分曲线。

从图 4 不难看出,就银行渠道而言:服务能力

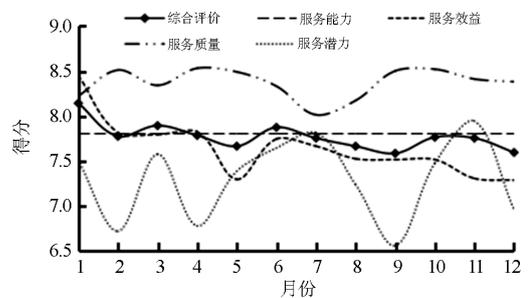


图 4 2017 年银行渠道综合评价得分及对应变量关系

Fig. 4 Comprehensive evaluation of bank channels and the relation curve of corresponding variables in 2017

得分全年保持稳定，这是因为它主要由服务时长、服务网点数等指标所决定，而这些值在一年内不发生变化；服务效益得分呈下降趋势，这是因为它主要取决于售电量的变化；服务质量得分全年波动较小，由于售电成功率和用户满意度两个指标低于其他月份，1月和7月相对较低；服务潜力得分全年波动较大，这是因为渠道售电量在各月份差距明显，因而该层各指标各月变化较大。

综合以上四个方面的影响，2017年银行渠道综合评价得分缓慢下降，从SD模型的输出曲线来看，它在一年内的变化受售电量的影响较大。

### 3.4 售电渠道服务水平提升模拟

#### 3.4.1 售电渠道综合评价的灵敏度分析

在对售电渠道的服务整体水平进行提升时，需要分清重要因素和次要因素，而灵敏度分析就是一种有效的方法。它不仅能从众多影响因素中找出对售电渠道综合评价结果有重要影响的敏感性因素，还能分析、测算其对渠道综合评价得分的影响程度。结合本文构建的SD评价模型，银行渠道综合评价得分三个重要因素是用户数、售电笔数、售电金额。其计算方法是设X为变化因素，Y为输出变量，则灵敏度S为

$$S = \left| \frac{\Delta Y(t) / Y(t)}{\Delta X(t) / X(t)} \right| \quad (21)$$

三个影响因素灵敏度计算结果见表5。

表5 银行渠道服务水平综合得分灵敏度分析

Table 5 Sensitivity analysis for the comprehensive score of the bank channel service level

敏感性因素	敏感性因素变化率(ΔX)	被影响因素	被影响因素变化率(ΔY)	灵敏度系数(ΔY/ΔX)
客户数	10%	综合评分	1.9%	0.19
售电笔数	8%	价	1%	0.12
售电金额	5%	得分	0.35%	0.07

由表5可以得出看出，客户数、售电笔数和售电金额对售电渠道综合评价得分的灵敏度系数都小于1，为非敏感因素。究其原因是在售电渠道评价系统比较复杂，影响因素众多，故每一个影响因素对系统总评价结果的影响力不大。

在三个影响因素中，客户数的灵敏度系数高于售电笔数和售电金额，原因是客户数不仅影响渠道服务潜力项的得分，而且售电笔数和售电金额在一定程度上取决于客户数，对服务效益项的得分产生影响，这两者共同作用的结果对综合得分影响较大，符合实际情况。

#### 3.4.2 售电渠道服务水平提升的情景模拟

依据灵敏度分析结果，以银行渠道2017年综合评价得分最低为对象，将综合评价得分最低的9月份用户数、售电笔数和售电金额分别提升10%，评价结果与提升前进行对比，如图5所示。

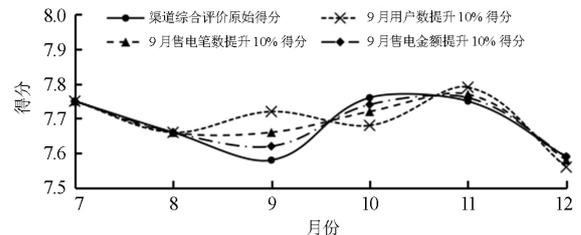


图5 银行渠道综合评价得分提升模拟曲线

Fig. 5 Simulation curve of the comprehensive evaluation of the bank channel

图5中的模拟结果与灵敏度分析结果一致，在三个状态变量中，提升用户数后对模拟评价结果提升最为明显，银行渠道9月份用户数提升10%时，当月服务水平综合评分由7.58上升至7.72。因此，对于该渠道而言，如需提高渠道的总体服务水平，重点应放在扩大用户群上。

## 4 结论

归纳以上研究，得到如下结论。

(1) 参照平衡计分卡的管理思想，基于售电过程分析，构建了能反映售电渠道完整售电过程，以及服务能力、服务质量、服务效益、服务发展潜力四方面的评价指标体系。

(2) 考虑售电渠道评价指标间存在着相互耦合的关系，选择系统动力学作为评价分析工具，通过分析评价指标体系中指标间的因果及函数关系，构建了基于系统动力学的渠道评价模型。

(3) 借助某公司2015年至2017年的售电大数据，通过RStudio数据分析工具，以银行渠道为例，结合电力营销大数据、95598以及调研管理数据库等的数据库，运用系统动力学评价模型完成了对银行渠道各月的评价；并运用灵敏度分析，比较分析不同改进措施对渠道服务水平提升效果，从而为提高售电渠道的服务水平提供依据。

同时，积累的营销大数据不仅可以用于以上渠道历史表现情况的评价，还蕴含着变化规律，利用历史数据进行预测，用于对渠道的预警管理，这将是下一步工作的重点。

## 附录

表 1 售电渠道综合评价体系指标说明

Table 1 Instruction of electricity selling channel comprehensive evaluation index

目标层	属性层	子层指标	单位	指标说明
服 务 水 平	A 服务能力	A1 服务人员数	个	投入工作人员进行咨询服务人数
		A2 售电网点数	个	城市内服务网点总数
		A3 售电方式种类	个	售电渠道支持不同售电方式数量
		A4 日服务时长	h	每天(工作日/非工作日)服务时间
		A5 增值服务	—	售电渠道是否有特有服务
	B 服务效益	B1 手续费	万元	供电公司向外部和第三方渠道支付手续费
		B2 单笔交易成本	元	售电渠道每笔交易平均成本, 渠道运维成本/交易笔数
		B3 售电金额占比	%	售电渠道售电金额占所有渠道总售电金额的比重
		B4 售电笔数占比	%	售电渠道售电笔数占所有渠道总售电笔数的比重
	C 服务质量	C1 年每笔业务平均完成时间	min	售电渠道客户从缴费完成到下发表计的平均完成时间
		C2 售电成功率	%	售电渠道完成成功交易工单的占比
		C3 客户满意度	%	客户对售电渠道的满意度
		C4 地区覆盖度	—	售电渠道网点对城市各区县的覆盖程度
		C5 通知服务	—	是否有余额、欠费通知等服务
	D 服务潜力	D1 客户数占比	%	售电渠道客户数占总客户数的比重
		D2 售电笔数增长率	%	售电渠道售电笔数对上个周期的增长率
D3 售电金额增长率		%	售电渠道售电金额对上个周期的增长率	
D4 新客户占比		%	售电渠道在上个周期中未出现的客户数量占比	

表 2 银行售电渠道 2017 年评价指数数据

Table 2 Evaluation index data of electricity selling channel of bank in 2017

指标(单位)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A1/个	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5
A2/个	13 265	13 272	13 290	13 293	13 298	13 306	13 320	13 326	13 337	13 342	13 352	13 354
A3/个	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
A4/h	20.29	20.29	20.29	20.31	20.31	20.31	20.31	20.31	20.31	20.31	20.31	20.31
A5(—)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B1/万元	96.75	77.30	82.56	67.10	75.99	84.08	134.36	92.87	65.21	75.84	102.64	92.39
B2/元	1.15	1.16	1.11	1.09	1.14	1.11	1.17	1.08	1.06	1.18	1.34	1.21
B3/%	46.08	38.04	38.24	38.90	32.51	38.37	38.33	35.89	35.66	36.19	32.99	32.84
B4/%	39.55	32.11	31.92	32.21	25.14	31.30	30.94	28.79	29.45	29.11	27.85	27.66
C1/s	568.2	524.3	532.1	518.8	531.0	513.2	552.5	541.2	530.3	511.5	571.9	547.3
C2/%	99.3	99.5	99.4	99.6	99.8	99.8	99.5	99.7	99.7	99.8	99.8	99.7
C3/%	92.6	94.1	95.2	96.0	95.0	93.2	94.2	94.6	95.3	96.2	95.2	96.6
C4/%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
C5(—)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D1/%	41.86	34.58	34.10	34.14	29.13	33.47	34.05	31.07	31.06	31.28	30.22	30.12
D2/%	-2.78	-20.98	11.04	-17.11	8.61	13.51	51.98	-25.47	-28.06	3.98	19.76	-0.55
D3/%	-10.31	-20.10	6.80	-18.72	13.24	10.66	59.80	-30.88	-29.78	16.30	35.34	-9.99
D4/%	2.36	1.25	1.06	1.13	1.03	1.67	1.45	1.31	1.28	1.30	1.22	1.40

## 参考文献

- [1] 徐子沛. 大数据[M]. 南宁: 广西师范大学出版社, 2013.
- [2] 国务院. 促进大数据发展纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2015.
- [3] 王继业. 智能电网大数据[M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [4] 刘秋华. 电力营销管理[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [5] 刘洋. 供电企业依托营销大数据差异化拓展缴费渠道[J]. 中国集体经济, 2014(30): 74-75.  
LIU Yang. Power supply enterprises rely on marketing big data differentiation to expand payment channels[J]. China Collective Economy, 2014(30): 74-75.
- [6] 石帮松, 张靖, 李博文, 等. 多类型售电公司共存下竞价售电的市场均衡研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 62-67.  
SHI Bangsong, ZHANG Jing, LI Bowen, et al. Market equilibrium study on multiple types of electric power retailers bidding[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(5): 62-67.
- [7] 杨帆, 李显忠, 潘可佳, 等. 基于大数据分析的供电营业厅运营效率评估[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(2): 8-13.  
YANG Fan, LI Zhongxian, PAN Kejia, et al. Evaluation of operation efficiency for electricity business office based on big data[J]. Electric Power ITC, 2017, 15(2): 8-13.
- [8] 汪振东, 鲁小鹏. 基于移动互联网、大数据下的电力智能服务创新[J]. 信息系统工程, 2014(5): 119-119.  
WANG Zhendong, LU Xiaopeng. Innovation of electricity intelligent service based on mobile internet and big data[J]. Electric Power ITC, 2014(5): 119-119.
- [9] 王伟, 张粒子, 舒隽, 等. 基于系统动力学的宏观层电网规划的仿真模型[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(4): 88-93.  
WANG Wei, ZHANG Lizi, SHU Jun, et al. Simulation model of transmission network macro-planning based on system dynamics[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(4): 88-93.
- [10] 韦凌云, 吴捷, 刘永强. 基于系统动力学的电力系统中长期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(16): 44-47.  
WEI Lingyun, WU Jie, LIU Yongqiang. Long-term electric load forecasting based on system dynamics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(16): 44-47.
- [11] 高旭, 刘宏君, 杜丽艳, 等. 基于综合评价识别法的智能变电站虚回路在线状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(3): 188-193.  
GAO Xu, LIU Hongjun, DU Liyan, et al. Study on the online status monitoring technology of intelligent substation virtual circuit based on comprehensive evaluation and recognition method[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(3): 188-193.
- [12] 曾君, 徐冬冬, 郭华芳, 等. 面向可再生能源的微电网电能质量特点分析与综合评价方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 10-16.  
ZENG Jun, XU Dongdong, GUO Huafang, et al. Renewable energy-oriented micro-grid power quality characteristic analysis and comprehensive evaluation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 10-16.
- [13] 黄飞, 宋璇坤, 周晖, 等. 基于效果与基础互动的电网智能化水平综合评价指标体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(11): 142-148.  
HUANG Fei, SONG Xuankun, ZHOU Hui, et al. Research on comprehensive evaluation index system of grid's intelligence level based on interaction between effect and basis[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(11): 142-148.
- [14] 秦杨勇. 平衡积分卡——管理流程与组织架构案例、方法、工具[M]. 北京: 经济管理出版社, 2011.
- [15] ZIN T T, TIN P, TORIU T, et al. A big data application framework for consumer behavior analysis[C] // 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), October 1-4, 2013, Tokyo, Japan: 245-246.
- [16] 王颖, 刘东, 何容, 等. 基于用户行为分析的服务渠道评价研究与实现[J]. 陕西电力, 2016, 44(8): 43-46.  
WANG Ying, LIU Dong, HE Rong, et al. Research and implementation of service channel evaluation based on user behavior analysis[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(8): 43-46.
- [17] 李军. 智能化变电站工程评价指标体系与评价方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.  
LI Jun. Study on the evaluation index system and method for smart substation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [18] HWANG H S. Design of supply-chain logistics system considering service level[J]. Computers & Industrial Engineering, 2002, 43(1-2): 283-297.
- [19] 张明玉. 管理学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [20] 林婉婷. 基于系统动力学的众包物流服务质量评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.  
LIN Wanting. Crowd sourcing logistics service quality evaluation based on system dynamics[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [21] KHODAPARAST J, KHEDERZADEH M. Least square and Kalman based methods for dynamic phasor estimation: a review[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 145-156. DOI: 10.1186/s41601-016-0026-9.

收稿日期: 2018-06-29; 修回日期: 2019-03-14

作者简介:

刘 楨(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力大数据, 电力系统评价等; E-mail: 16121488@bjtu.edu.cn

周 晖(1964—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统分析, 经济调度, 电力规划等. E-mail: hzhou@bjtu.edu.cn

(编辑 许 威)