

doi: 10.7690/bgzdh.2024.11.009

大云物移智技术基础下的 Choquet 模糊积分电网物资供应链管理研究

赵 军¹, 李金宝¹, 曹 旭¹, 王 磊²

(1. 国网河北省电力有限公司物资分公司, 石家庄 050000;

2. 北京中电普华信息技术有限公司, 北京 102218)

摘要: 针对当前国家电网物资管理信息化能力不足等问题, 研究一种以大云物移智技术为基础, 以“5E”供应链平台为支撑的电网内部供应链和外部供应链两级运营中心。通过对电网企业物资管理的目标及特性进行分析, 使用信息化技术实现电网供应链的智能化管理; 建立电网企业外部供应商选择评价体系, 从产品、信息化、合作兼容性以及发展因素等方面进行评价分析, 基于 Choquet 模糊积分对评价指标间的相互关系进行计算。实验结果显示: Choquet 模糊积分对不同数据库有着较好的分类效果, 分类准确率最高为 96%, 可以带来 3%~15%的性能提升。该方法已经应用到电网企业物资供应管理中, 实验验证基于物联网技术的智能电网企业物资管理方案有效。

关键词: 电网物资; 物资供应链管理; Choquet 模糊积分; 大云物移智技术; 评价指标

中图分类号: TM73; TH183.3 **文献标志码:** A

Research on Material Supply Chain of Choquet Fuzzy Integral Grid Based on Big Cloud Technology

Zhao Jun¹, Li Jinbao¹, Cao Xu¹, Wang Lei²

(1. Material Branch, State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China;

2. Beijing China-Power Information Technology Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: In response to the current insufficient information technology capabilities of State Grid's material management, this paper studies a two-level operation center for the internal and external supply chains of the power grid, based on the big cloud and mobile intelligence technology and supported by the “5E” supply chain platform. By analyzing the goals and characteristics of material management in power grid enterprises, and using information technology to achieve intelligent management of the power grid supply chain; Establish an evaluation system for the selection of external suppliers for power grid enterprises, and conduct evaluation and analysis from the aspects of products, informatization, cooperation compatibility, and development factors. Based on Choquet fuzzy integral, calculate the interrelationships between evaluation indicators. The experimental results show that Choquet fuzzy integral has a good classification effect on different databases, with the highest classification accuracy of 96%, which can bring a performance improvement of 3% to 15%. The research results indicate that this method has been applied to the material supply management of power grid enterprises, and the effectiveness of the smart grid enterprise material management scheme based on Internet of Things technology has been experimentally verified.

Keywords: power grid materials; material supply chain management; Choquet fuzzy integral; big cloud and the mobile intelligence technology; evaluation index

0 引言

随着科学技术的发展, 电力成为人类现代生活不可或缺的能源之一, 电力工业作为能源性基础产业, 推动了国民经济的发展, 同时促进了我国电网企业的资产规模和服务绩效的日益提升。目前在发达国家电力企业信息化建设发展中, 尤其是美国、日本、德国的电力信息化水平较好; 但国内供电物资管理系统还存在管理针对性不强和信息化低等缺点, 电网企业发展过程中需要面对资本结构、运营

成本以及需求变化等问题^[1]。为满足经济发展的需求, 适应经济体制的改革, 对电网企业物资管理实行信息化, 进一步提升物资供应效率, 增强物资管理部门的主动服务能力, 提升物资管理工作质效, 创新物资供应链运营管理是很有必要的。物资供应链作为市场供需的桥梁, 直接影响电网企业供给对实际电力需求的适应性^[2]。根据国网物资部对物资管理信息化的要求, 为进一步提高物资供应效率, 增强物资管理部门的主动服务能力, 提升物资管理工作质效, 创新物资供应链运营管理。应用大云物

收稿日期: 2024-06-27; 修回日期: 2024-07-25

第一作者: 赵 军(1973—), 男, 河北人。

移智链技术，为公司和电网发展提供高质量、高效率的智慧供应链服务支撑。

大云物移智技术是指大数据、云计算、物联网、移动互联和人工智能的结合，并建立新技术应用的专业化组织管理模式，作为电网应用和统筹管理的战略规划基础。大数据是随着信息技术发展带来的必然产物，随着互联网的普及和全球数据总量的爆发增长，以技术手段分析数据中包含的信息，为行业的发展提供数据支持；云计算具有灵活和动态分析的特点，利用分布式、并行和负载均衡等技术为电力行业的发展提供信息化建设和应用的技术性支持；物联网是信息通信的基础，利用传感器技术、检测技术、数字通信和控制技术可以提高电网的智能集成化程度，提升电网的安全性和环保性^[3]；移动互联是移动通信和互联网的结合，其衍生出的移动应用可以扩展电网企业信息化应用场景，通过结合产业链为用户提供低成本方案，带来电网企业信息化商业模式创新；人工智能是通过模拟人的感知、理解和反应能力，将其与数据处理相结合，可以提升电力行业的预测能力，优化企业生产和管理能力，实现电网系统故障隐患预警、负荷预测和电网调度等功能^[4]。利用大云物移智链等技术实行物资供应链管理的电子化、可视化和网络化，促进电网企业传统业务数字化转型，实现供需双方生成进度和质量信息的共享。

为建立有效的物资管理平台，应用大云物移智链技术，以“5E”供应链平台为支撑(电子商务平台 ECP、企业资源系统 ERP、电工装备智慧物联平台 EIP、电力物流服务平台 ELP、掌上应用“e 物资”)，建设两级供应链运营中心，全面提升运营分析决策、资源优化配置、风险监控预警、数据资产应用、应急调度指挥能力，促进供应链管理提档升级，推动公司运营提质增效，为公司和电网发展提供高质量、高效率的智慧供应链服务支撑。笔者将 Choquet 模糊积分应用于电网物资的供应中，并在实证分析中设计方法相较于传统方法取得了 3%~15% 的性能提升。

1 方法

1.1 基于智能技术的电网企业物资供应链管理方案

电网物资供应链管理是在电网企业生产运营中，按照企业的实际需求对物资进行组织和控制，包括规划、采购、仓储、投运以及维护等活动。电网企业物资需求管理是需要经过严密规划的，作为

物资持续消耗型企业，备品备件等物资能否及时、准确的供应，会影响电力企业电力生产的稳定性和安全性^[5-6]。图 1 为电网企业物资供应链的运作模式，在资产密集的电网企业物资供应链管理中包括物资采购招标、物资供应与调配、仓储配送、可再生资源回收等环节，依据物资用途的不同可以将电网物资管理的特点总结为：

1) 电网企业生产的电能是无法进行存储的，因此电网企业物资管理的目标是电力生产需要的物资，笔者所研究的是电网企业与供应商之间的物资管理。

2) 对电网物资的高效管理可以实现企业安全、效能和成本的统一，电网企业的物资需求集中在基建和技改项目，以及电力传输的各个环节中，所以电力企业的物资需求具有及时性和高质量供应的要求^[7]。

3) 电网物资的成本构成和物资流动会对物资需求、维护和退役等阶段管理工作造成影响。

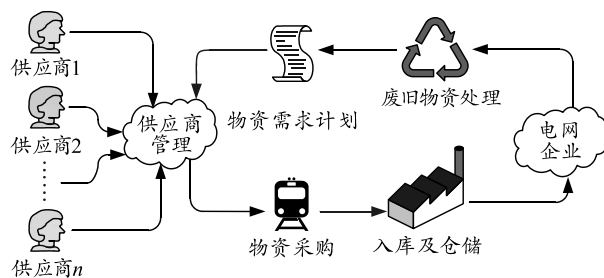


图 1 电网企业物资供应链运作过程

随着云计算、人工智能和大数据技术的发展，数字经济逐渐改变了人们原有的生产生活方式，利用互联网新技术与电网企业电网生产、运营和服务进行深度融合，改变电力生产方式和服务模式，丰富业务和商业模式^[8]。图 2 为基于大云物移智技术的电网企业物资供应链管理模型。

大云物移智技术下的电网资源供应链管理模型的基本思想是实现物资供应链的整体协调优化，并将电网物资供应链管理模型分为内部供应链和外部供应链 2 部分^[9-10]。

内部供应链的功能是提升物资供应链的响应速度，并增强物资成本管控的程度，结合物联网实现物资的全生命周期管理和精益化控制的目标。外部供应链是与供应商建立稳定的供应管理，实现准时供货并提升物资质量的管控能力^[11]。以供应链为物资管理的核心，并对业务流程进行协同优化，对物资进行规范化的管理，保证供应链业务流程衔接和信息传递的稳定性^[12]。

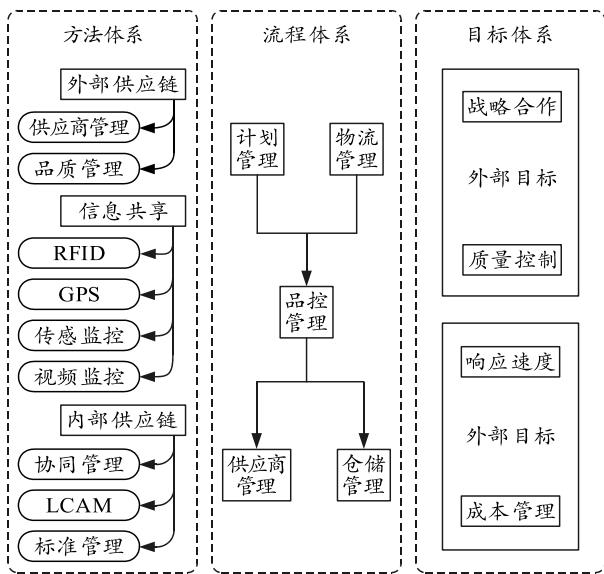


图 2 基于大云物移智技术的电网企业物资供应链管理模式

组织部门作为电网企业物资管理的实施者，是保证物资供应链协同管理的基础，结合电子商务平台 ECP、企业资源系统 ERP、电工装备智慧物联平台 EIP、电力物流服务平台 ELP、掌上应用“e 物资”等信息化管理系统，实现业务流程的规范和高效运行，并为管理者的决策分析提供数据来源。电网企业物资供应链管理方案的结构如图 3 所示。

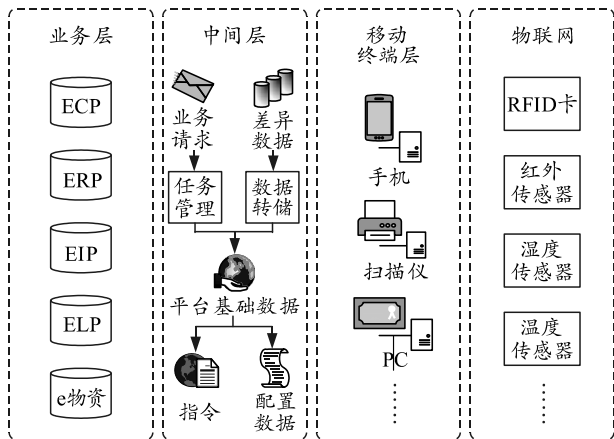


图 3 电网企业物资供应链管理方案

1.2 基于 Choquet 模糊积分的供应商选择

电网企业外部供应商的选择是一个多属性决策问题，传统的供应商选择方案为考虑到市场和决策者的分形因素，并且评价指标与市场变化、企业财务状况以及绿色环保等因素不相关。供应商选择问题通常属于多属性决策问题，经常采用的方法包括层次分析法、逼近理想解排序法、灰色关联分析等。传统的供应商选择方法没有考虑到供应商选择的

风险问题，以及决策者自身的风险问题，所使用的供

应商选择风险指标也与市场的相关性较低；因此，实际选择中存在很多未确定的风险内容。

对电网企业外部物资供应商的评价是实现外部供应链的管理稳定和安全的的基础，在电网企业物资供应链研究的基础上，结合大云物移智技术下供应链的特点，对物资供应商从产品、信息化程度、发展以及兼容性，结合全寿命周期管理的理念建立相关指标，建立信息共享和战略化的外部供应链评价指标体系^[13]。产品因素是描述供应商产品的整体状况，反映了评价交易过程中的直接效果。信息化程度反映了供应商与互联网的结合和注重程度，有利于提升供应链的信息共享程度。合作兼容性是指企业文化和信息的相容性，可以提升企业的发展动力。发展因素反映了供应商的发展稳定性和发展潜力，可以确保供应链长期稳定的供应。图 4 为建立的电网企业外部供应链评价体系。

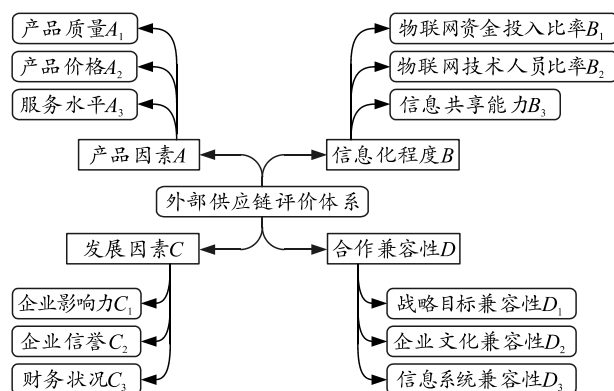


图 4 电网企业外部供应链评价体系

模糊测度是利用约束条件较弱的单调性和连续性，替代经典概率中的可加性刚性约束，可有效地描述评价指标之间的任意交互关系，被广泛用于分析评价指标之间的影响因素。在电网企业物资供应商选择的决策过程中，由于事件的复杂性和不确定性，以及决策者的局限性，通常倾向于用不确定信息进行评价。犹豫模糊集的特点是允许同一个指标出现不同的估计值，有效反映决策者的犹豫决策过程以及意见。利用 Choquet 模糊积分可以计算评价指标之间相互影响的指标权重，在专家权重的基础上得到感知价值函数^[14]。

由于模糊数的基本概念为：设给定有序数据集 T ，并定义 T 上的犹豫模糊集 H 是 T 到区间 $[0, 1]$ 上子集的映射函数，公式为：

$$H = \{(t, h_H(t)) | t \in T\}. \quad (1)$$

式中 $h_H(t)$ 为 $[0, 1]$ 区间上不同实数值的集合，指 $t \in T$ 属于犹豫模糊集的可能性。

设 $f: X \rightarrow [0, +\infty)$, μ 表示是定义在 X 上的一个 σ -代数 Ω 上的模糊测度, f 关于 μ 的 Choquet 模糊积分公式为:

$$(c) \int f d\mu = \int_0^{\infty} \mu(F_{\alpha}) d\alpha; \quad (2)$$

$$F_{\alpha} = \{x | f(x) \geq \alpha, x \in X\}. \quad (3)$$

式中: X 为有限集合; $(c) \int f d\mu$ 为 Choquet 模糊积分。并且当 $f: X \rightarrow [0, 1]$ 时, Choquet 模糊积分的计算公式变为:

$$(c) \int f d\mu = \sum_{i=1}^n (f(x_i) - f(x_{i-1})) \mu(A_i); \quad (4)$$

$$A_i = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_n\}; \quad (5)$$

$$f(x_0) = 0. \quad (6)$$

Choquet 模糊积分是 Lebesgue 积分的严格推广, 在处理实际问题时, 需要处理有语义属性的数据, 包括模糊值和实数值 2 种推广形式, 通常采用区间值或模糊值作为模糊测度。由于积分结果表示分类结果, 并且为实数值; 因此, 定义 Choquet 模糊积分中北极函数为实数, 模糊测度为区间值, 积分结果为实数。定义 $N_{[0,1]}$ 表示区间上闭区间的集合, 设 $(X, P(X))$ 表示可测空间, 区间值集函数 $\bar{\mu}: P(X) \rightarrow N_R$ 表示一个区间值模糊测度, 仅满足条件:

$$1) \quad \bar{\mu}(\emptyset) = [0, 0]; \quad (7)$$

2) 若:

$$A, B \subset P(X), A \subset B. \quad (8)$$

则

$$\bar{\mu}(A) \leq \bar{\mu}(B). \quad (9)$$

在讨论 Choquet 模糊积分时需要考虑函数单调性, 并且对区间值模糊度进行单调性定义, 本文中仅考虑有限集的情况。

设:

$$\bar{\mu}(A) = [\mu_l(A), \mu_r(A)], \mu_l(A), \mu_r(A) \in [0, 1]. \quad (10)$$

设 $\bar{\mu}$ 为在 $(X, P(X))$ 上的区间值模糊测度, 函数 $f: X \rightarrow [0, 1]$ 表示可测函数, 则 f 关于 $\bar{\mu}$ 的 Choquet 模糊积分的公式定义为:

$$(c) \int f d\mu = \sum_{i=1}^n (f(x_i) - f(x_{i-1})) \frac{\mu_l(A_i) + \mu_r(A_i)}{2}. \quad (11)$$

当且仅当

$$(\mu_l(A) + \mu_r(A)) / 2 \leq \frac{\mu_l(B) + \mu_r(B)}{2}. \quad (12)$$

存在:

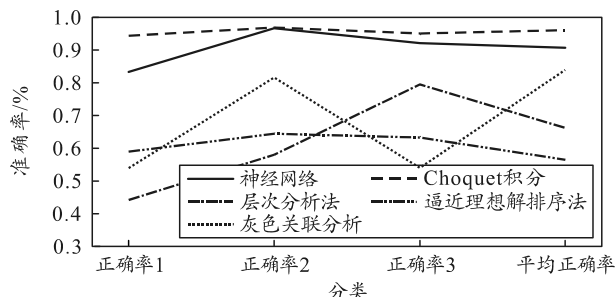
$$\bar{\mu}(A) \leq \bar{\mu}(B). \quad (13)$$

笔者提出基于 Choquet 模糊积分的供应商选择方法, 首先利用由于模糊语义处理专家给出的供应商评价; 然后利用 Choquet 模糊积分计算指标之间的相互影响关系, 并进行修正。最后基于决策者的风险态度对决策者的心理态度进行分析, 包括风险厌恶、风险中立和风险偏好; 并对运营商进行排序得到运营商的评价结果。

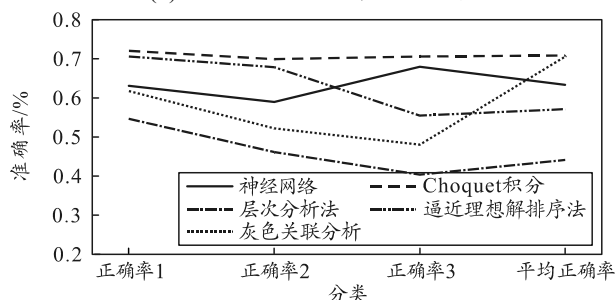
2 结果与讨论

2.1 有效性检验

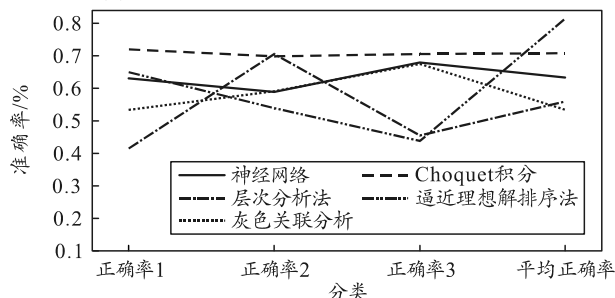
为验证 Choquet 模糊积分对供应商选择分类的有效性, 笔者使用 Iris Plants 数据库、Glass Identification 数据库和 Pima India diabetes 数据库进行数值测试, 并对比使用相同数据集训练和测试的神经网络分类器、层次分析法、逼近理想解排序法、灰色关联分析的结果, 将分类正确率作为衡量算法性能指标, 结果如图 5 所示。



(a) Iris Plants 数据库测试结果



(b) Glass Identification 数据库测试结果



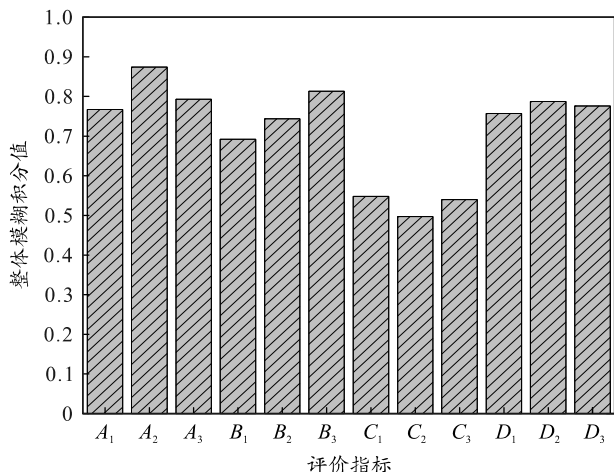
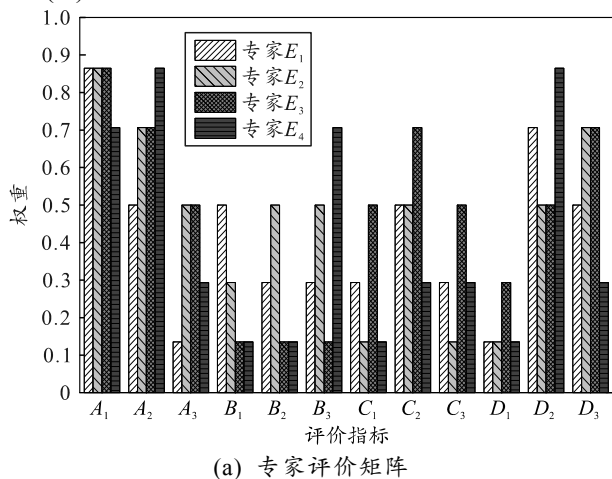
(c) Pima India diabetes 数据库测试结果

图 5 Choquet 模糊积分与神经网络对不同数据库的分类结果

从图 5 中可以看出, Choquet 模糊积分在 3 个数据库的分类效果均优于神经网络的分类结果, 分类准确率最高可达 96%。并且与传统的供应商选择层次分析法、逼近理想解排序法、灰色关联分析的结果相比, Choquet 模糊积分有更好的表现, 测试准确率的稳定性和数值均高于传统方法; 因此采用 Choquet 模糊积分作为供应商选择的方法, 可以有效提升供应链的有效性和可行性。

2.2 实例分析

以某变电站的项目数据为基础, 邀请 4 位专家 (E_1, E_2, E_3, E_4) 对大云物移智技术下的电网企业物资供应商进行评价, 并比较评价体系的整体模糊积分值(H), 结果如图 6 所示。



(b) 整体模糊积分值

图 6 实例测试结果

从上图中可以看出, 电网企业物资供应链外部供应商的评价指标体系中, 按照整体模糊积分值进行排序, 结果为: 产品因素 > 合作兼容性 > 信息化程度 > 发展因素; 因此, 在电网企业物资供应链中, 产品因素是影响电网企业选择供应商的主要因素, 是选择物资供应商及评价的决策依据。

2.3 实证分析

为验证设计方法的有效性, 研究中将设计的方法与传统电网物资供应方法的结果进行对比。在研究中让专家对采用不同供应方法的 7 家供应商进行评分, 最后对比评分结果如表 1 所示。

表 1 不同方法电网物资供应商最终评分结果

供应商	1	2	3	4	5	6	7
传统方法评价得分	0.733 101	0.719 275	0.742 392	0.571 072	0.552 169	0.536 902	0.679 359
设计方法评价得分	0.789 376	0.772 627	0.765 228	0.617 674	0.630 37	0.620 928	0.762 819
增幅/%	7.68	7.42	3.08	8.16	14.16	15.65	12.29

从上表可以看出, 与传统方法相比, 设计方法整体评分结果高于传统方法, 并且评分的增幅为 3%~15%; 因此, 证明设计的方法可以更好地解决电网物资供应链的调度问题, 提升电网物资供应的稳定性和安全性。

3 结论

为建立智能化的电网企业物资供应链管理方案, 基于大云物移智技术建立电网企业物资供应链管理体系, 从内部供应链和外部供应链 2 部分, 对传统物资供应链进行优化。从多个方面建立电网企业物资供应商选择方案, 并基于 Choquet 模糊积分确定评价指标间的相互关系。结果显示, 产品因素是影响电网企业选择供应商的主要因素。实证对比

结果表明, 设计的方法相较于传统供应商选择方法, 更能提升电网物资供应的安全性和稳定性; 但仍存在一些不足, 笔者使用的 Choquet 模糊积分是定义在数据集合的幂集上, 而区间值模糊测度相较于普通模糊测度, 参数增加了一倍, 在实际应用过程中会导致参数量较大, 影响搜索的结果。在后续研究中, 将会对算法进行改进。

参考文献:

- [1] XU D. Research on Supply Chain Management Strategy of Longtang Electric Engineering Co. Ltd[J]. Acta Electronica Malaysia, 2019, 3(1): 10-13.
- [2] 贺绍鹏, 李屹, 李萍. 电力大数据在电网物资供应链管理中的应用[J]. 招标采购管理, 2019, 87(11): 43-47.