

基于影响因素多维融合与贝叶斯概率更新的 电力物资需求预测

李明¹,郑逸林²,高瞻¹,陈达强³,詹沙磊³

- (1. 国家电网浙江省电力公司 物资部,浙江 杭州 310007;
2. 国家电网浙江省电力公司江山市供电有限公司,浙江 江山 324199;
3. 浙江工商大学 管理工程与电子商务学院,浙江 杭州 310018)

[摘要]通过梳理电力物资需求预测中存在的真实需求和计划需求、物资出库量和真实需求的不一致,以及电力物资需求的内外部影响问题,提出基于影响因素多维融合与贝叶斯概率更新的电力物资需求预测方法。首先分析了电力物资需求的内外部影响因素及其筛选,并按其对需求预测的影响程度进行权重赋值;其次设计了影响因素多维融合与贝叶斯概率更新的电力物资需求预测框架,介绍了贝叶斯概率更新的需求预测流程步骤;最后以温州市10kV配网项目的电力电缆需求预测为例进行算例说明。应用算例表明该方法能有效反映需求因素对电力物资需求变动的的影响,符合电力物资需求特性,且具有很强的拓展性。

[关键词]多维融合;贝叶斯更新;影响因素;电力物资需求;需求预测

[中图分类号]F252;F224.0

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2021)03-0071-06

Electric Power Materials Demand Forecasting Based on Influencing Factors Multi-dimensional Fusion and Bayesian Probability Updating

LI Ming¹, ZHENG Yilin², GAO Zhan¹, CHEN Daqiang³, ZHAN Shalei³

(1. Department of Materials, SGCC Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007;

2. Jiangshan Company of SGCC Zhejiang Electric Power Company, Jiangshan 324199;

3. School of Management & E-business, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: By sorting out the discrepancy among the actual demand, the planned demand, and the outbound delivery quantity, as well as the internal and external influences of the electric power materials demand, we put forward a demand forecasting method for electric power materials based on the influencing factors multi-dimensional integration and Bayesian probability updating. Firstly, we analyzed and selected the internal and external influencing factors of the electric power materials demand, and carried out the weight assignment according to their influence degree on the demand forecasting. Secondly, we designed the power materials demand forecasting framework based on the influencing factors multi-dimensional integration and Bayesian probability updating, and introduced the relevant forecasting procedures. Finally, we took the power cable demand forecasting of Wenzhou 10kV distribution network project as an example to illustrate the calculation, which shows that the proposed method can effectively reflect the influence of the demand factors on the change of the electric power materials demand, is in line with the demand characteristics of electric power materials, and has strong extensibility.

Keywords: multi-dimensional integration; Bayesian updating; influence factor; electric power material demand; demand forecasting

0 引言

电力物资需求预测管理是电力物资需求计划管

理的第一个环节,是物资管理流程的源头^[1]。但由于电力物资的专业性强、品种多、规格杂、数量差异大^[2],物资消耗规律性不显著^[3]、具有典型的季节性波

[收稿日期]2020-12-05

[基金项目]国家电网浙江省电力公司管理咨询项目“电网现代物流体系战略研究”(SGZJ0000WZWT1900442)

[作者简介]李明(1965-),男,安徽寿县人,国家电网浙江省电力公司处长,高级讲师,研究方向:电力物资供应链管理;郑逸林(1985-),男,浙江江山人,国网浙江江山市供电有限公司物资供应分中心仓储班长,工程师,研究方向:电力物资仓储管理;高瞻(1985-),男,浙江苍南人,国网浙江省电力有限公司物资部仓储主管,高级经济师,研究方向:电力现代物流管理;陈达强(1979-),通信作者,男,浙江台州人,博士,浙江工商大学教授,研究方向:智慧供应链与智慧仓储、物流系统分析与优化;詹沙磊(1985-),男,浙江永嘉人,博士,浙江工商大学副教授,研究方向:物流仓储管理与优化。

动^[4],且物资间存在一定替代性^[5],其需求具有高复杂性和高不确定性的特点。电网系统所采用的物资需求提报模式^[6],使得需求的实际产生者无法实时地传达和反馈需求数据,真实的需求很难精确获得。以往由于物资需求预测所需支持数据的缺乏,预测结果往往不佳,使用效果也不理想^[7],尚缺少以需求特性(数量、种类、时间、空间等)为导向的需求预测优化。

为此,考虑电力物资需求特性,毕子健和王翎颖^[8]提出了一种改进 BP 神经网络的预测方法,同样从物资需求特性出发,黄宏和,等^[9]提出了一种物资需求特性量化的需求预测方法。针对电力物资预测中缺少科学指导、合理依据及忽视设备数据间的关联等问题,丁红卫,等^[10]提出了基于 BP 神经网络的电网物资需求预测方法。同时,对考虑物资需求历史数据对预测的影响进行相关研究也是一个重要的方向,例如,王竹君,等^[11]以电网建设项目物资需求历史数据和项目计划的部分物资作为输入,通过矩阵分解算法对项目其他物资需求量进行预测。牛凯,等^[12]通过分析每类物资历史需求数据存在的规律,考虑 Prophet 算法理论在处理具有大异常值和趋势变化的日常周期数据的功能特点,提出了基于 Prophet 算法的电力物资需求预测方法。

另一方面,其他领域物资需求预测方法因考虑物资需求的动态性和数据特性,对电力物资的需求预测也具有一定的参考价值,例如,胡忠君,等^[13]考虑大样本数据缺失提出一种改进 GM(1,1)动态预测模型。眭楷,等^[14]利用历史数据训练获得每个因素对自然灾害后电网系统应急物资需求预测的影响,提出了一种基于多元回归法的电网系统应急物资需求预测方法。

此外,随着大数据分析技术的成熟,基于大数据的物资需求预测也成为了研究热点。例如,李倩,等^[15]考虑配电网物资计划预测的准确性对计划管理工作质效和物力集约化运行成本、物资保障和服务水平的影响,提出了基于大数据技术下的配电网物资需求计划预测和管控模式。陈国洪,等针对协议

库存物资需求预测问题,提出利用 Python 算法库挖掘数据的内在联系,继而采用随机森林构建大数据模型进行配网物资需求预测。

本文考虑电力物资需求,尤其配网基建项目的物资需求具有典型的计划内为主、计划外为辅的特性,考虑投资计划对物资需求的影响,结合历史数据估算物资需求基准值,同时考虑非投资计划的其他影响因素对物资需求的干扰,将物资需求基准值发生的概率表达为特定概率分布的随机变量,并分析各影响因素对需求数量发生概率的影响机制,应用贝叶斯公式更新物资需求基准值发生概率,以期提高预测的准确性和实用性。

1 配网基建项目物资需求预测痛点分析

经过对温州供电公司配网基建项目物资需求长期、持续的调研访谈和信息采集,拟通过分析真实需求和计划需求、物资出库量和真实需求之间的差异情况,以及物资需求影响因素与物资需求间的关联管理,进而寻求物资需求精准预测,为优化电力物资管理提供科学的分析依据。为此,基于调研发现电力物资尤其是配网基建项目物资需求存在以下痛点问题。

(1)真实需求和计划需求之间的关系。电力物资的需求包括计划内需求和计划外需求,又以计划内需求为主,也就是说,电力物资的需求主要是计划驱动的。国家电网各省市公司每年都会发布“电网基建项目投资计划”,而该年度投资计划基本上定调了该年度的电网基建项目的主要投资方向,决定了主要投资方向目录下的各类项目的投资总金额,根据这些项目所涵盖的物资种类和数量,可以预估出电力物资的需求种类和数量。而实际的真实需求不仅包括这些计划内的需求,还包括一年过程中因计划变动所产生的需求变化以及随机出现的意外需求,因此,真实需求不能与计划需求划上等号,而通常是大于计划需求,但两者密切相关。

(2)物资出入库和真实需求之间的关系。物资的供应和需求是通过“匹配”方式来实现平衡的。大

部分电力物资通过统筹统配和寄售的方式,实现物资供应和需求的匹配。这种匹配使得真实的需求是由电网仓库中的统筹统配物资和寄售物资来共同完成满足的。然而,区域的真实需求与区域内仓库的物资存取总数量并不完全匹配,因为存在需求与供应不能完全匹配的时候,通过跨区域物资调拨实现需求满足。因此,真实需求通常大于仓库物资,但两者也非常相关。

(3)物资需求影响因素与物资需求自身之间的关系。电力物资的需求产生主要由计划驱动,由于计划的周期较大,导致需求演变过程中带有较大的随机性和动态性。这种随机性和动态性可以理解成需求容易被某一些因素影响和改变,从而增加了需求预测的难度、降低了需求预测的精度。这些影响需求的产生数量、产生地点以及产生时间的因素包括内部子因素以及外部子因素,比如电网系统的计划、布局、活动以及相应的调整都会导致需求变动。每个因素影响需求的程度不同、重要性不同、变化的方向也不同。可以认为,电力物资的需求是计划内、计划外、影响因素作用以及随机干扰等多主体共同联合作用的产物。

2 多维融合与贝叶斯概率更新的需求预测

2.1 需求预测影响因素分析

电力物资的需求产生主要由电网项目投资计划驱动,而投资计划的周期是年度的,具有周期跨度较大的特点。但是在较长的计划周期内,需求是实时产生和变化的,因此,一年之中需求的变数具有较大的不确定性。为了尽量消除或减弱这种不确定性,最重要的是从导致需求不确定性产生的原因或源头入手,寻找引起需求变动的各种因素,即需求变动的影响因素。据调研分析,影响需求变动的因素主要包括内部因素与外部因素两大类。内部因素主要指与电力物资自身属性有关的因素,外部因素主要指物资外部环境的变化所造成的需求变动的因素,这种外部环境包括规划因素、经济因素、环境因素等。表1列出了导致电力物资需求变动的各种内外部影

响因素。

表1 电力物资需求变动的内外部影响因素

内部因素	外部因素
物资重要性	计划变更
物资价格	地域经济水平
物资质量	地域用电规模
物资采购周期	设备故障率
物资生产周期	季节因素
招投标时长	自然灾害
需求迫切程度	环保要求

诸多影响因素意味着需求变动分析变得异常困难,而且过于复杂和繁琐的需求分析会影响到需求分析方法的可推广性。为此,考虑各因素对物资需求影响程度的不同,对表1所列的影响因素进行筛选,剔除不重要的、干扰性的影响因素,保留关键的、主要的影响因素。

在此,采用问卷调查的方式,设计量表式计分问卷,向电网系统内外部专家发放和回收问卷。从专家那里获得各个候选主要影响因素的打分。根据打分数据,筛选获得电力物资需求变动的主要影响因素。通过删除无效问卷、保留有效问卷,以及问卷的信度和效度分析之后,获得最终的主要影响因素为:季节波动、计划变更、需求迫切程度、物资价格、地域用电规模、自然灾害,记 j 因素对物资需求预测值影响的权重为 w_j 。

2.2 多维融合与贝叶斯概率更新的预测框架

根据以上分析,为获得需求的基准预测数据,可收集“按年度的配网基建项目投资计划”以及“按月度的分地区需求计划跟踪信息”,由这两者的信息所推算出的需求基准预测数据一般都小于真实需求,但是与真实需求具有很大的相关性,大体上可以代替真实需求。由此将需求设置成具有已知概率分布的随机变量,将投资计划所推算的需求数量作为需求的基准值,将需求数量按照需求情境进行层级划分,通过从历史数据中分析需求的主影响因素对需求数量的影响机制,得出经影响因素融合后的需求预测值,其流程如图1所示。

2.3 基于贝叶斯概率更新的需求预测步骤

(1) j 因素影响下需求基准值及发生概率。考虑电力物资需求的计划驱动特点,可将投资计划所推

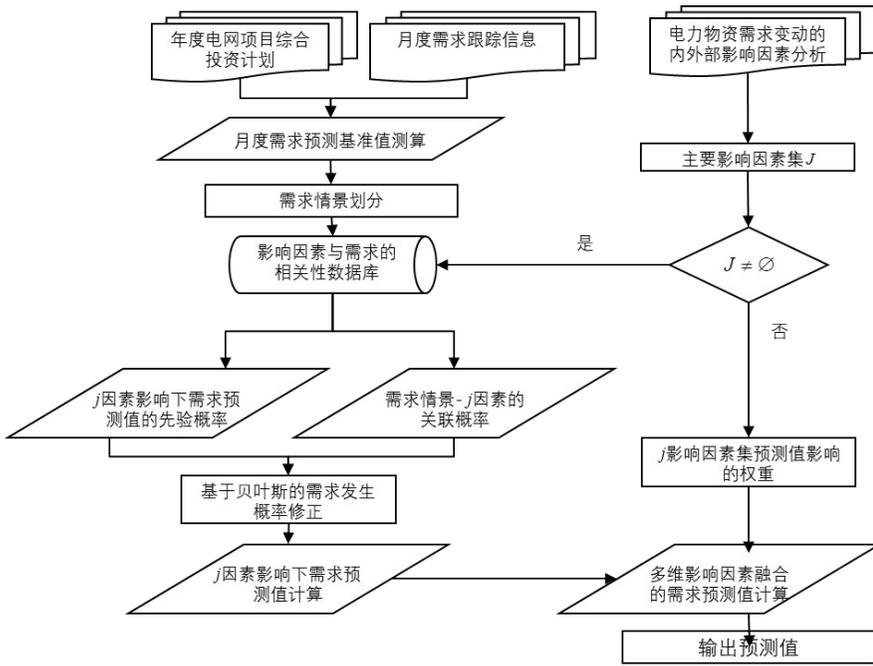


图1 基于多维融合与贝叶斯概率更新的电力物资需求

算的需求数量作为需求估算值,但因该数值相对粗糙,将其定义为季节波动影响($j=1$)下的需求基准值 $Q_{1,i}^n$,其中 i 表示月份, n 表示年份,则 n 年份各季度需求的基准值为 $\bar{Q}_{1,i}^n = Q_{1,3l-2}^n + Q_{1,3l-1}^n + Q_{1,3l}^n$,其中 $l=1,2,3,4$ 。

(2) j 因素影响下需求情景划分。即对电力物资的需求基准值按离散的需求情境进行层级划分。在此将需求分为五个需求情境,对应需求量区间为 $(a_k, b_k]$ (其中 $k=1,2,3,4,5$, 且 $a_1 < b_1 = a_2 < b_2 = a_3 < b_3 = a_4 < b_4 = a_5 < b_5$), 即很低需求情景下需求区间为 $(a_1, b_1]$ 、较低需求情景下需求区间为 $(a_2, b_2]$ 、一般需求情景下需求区间为 $(a_3, b_3]$ 、较高需求情景下需求区间为 $(a_4, b_4]$ 、很高需求情景下需求区间为 $(a_5, b_5]$ 。

(3) j 因素影响下需求预测值的先验概率。计算历年各月份需求基准值 $Q_{1,i}^n$ 在 5 种需求情景中的发生概率,见式(1),并将其作为预测年份对应月份需求预测值为 $Q_{1,i}^n$ 的先验概率。

$$Pr o_i(k) = \frac{countif(Q_{1,i}^n \in (a_k, b_k])}{n} \quad (1)$$

其中, $countif()$ 为 $Q_{1,i}^n$ 归属 $(a_k, b_k]$ 的计数函数, $n=1,2,\dots, i=1,2,\dots,12$ 。

(4) 需求情景- j 因素的关联概率。为了量化电力物资需求在需求情景 k 与季度 l 间的相关关系,采用似然函数反映这种相关关系的概率分布,其概率见式(2)。

$$Pr o(l|k) = \frac{countifs(Q_{1,i}^n \in (a_k, b_k], i \in [3l-2, 3l])}{\sum_l countifs(Q_{1,i}^n \in (a_k, b_k], i \in [3l-2, 3l])} \quad (2)$$

其中, $countifs()$ 为 $Q_{1,i}^n \in (a_k, b_k]$ 且 $i \in [3l-2, 3l]$ 的组合计数函数, $n=1,2,\dots$ 。

(5) j 因素影响下需求发生概率修正。为求出 j 因素影响下(即受季度 l 影响)的需求以特定值发生的概率,考虑需求情景-季节关联概率与需求预测值先验概率,基于贝叶斯定理进行需求发生概率修正,见式(3)。

$$Pr o_i(k|l) = \frac{Pr o_i(k) \cdot Pr o(l|k)}{\sum_k [Pr o_i(k) \cdot Pr o(l|k)]} \quad (3)$$

(6) j 因素影响下需求预测值。计算 5 种需求情景对应需求量区间的中值为 $q_k = \frac{a_k + b_k}{2}$, 则 j 因素影响下需求预测值为:

$$Q_j^f = \sum_k [q_k \cdot Pr o_i(k|l)] \quad (4)$$

(7) 多维影响因素融合的需求预测值。考虑各影响因素对物资需求预测值影响的权重为 w_j , 通过加权平均,可得多维影响因素加权的需求预测值,见式(5)。

$$Q^f = \frac{\sum_j (Q_j^f \cdot w_j)}{w_j} \quad (5)$$

3 多期滚动贝叶斯概率更新预测算例

以下以温州市 10kv 配网项目的电力电缆需求预

测为例进行算例说明,其中历史年限为2016—2019年。受篇幅所限,此处仅预测2020年受季节波动因素影响的需求值。

(1)测算月度需求基准值。将2016—2019年历年投资计划与各月份需求跟踪数据推算的需求数量作为需求估算值,其结果见表2。

表2 温州市2016—2019年电力电缆的月度需求基准值(km)

月份	需求基准值	月份	需求基准值
201601	0	201801	853.075 492 1
201602	0	201802	544.466 948 4
201603	404.778 043 2	201803	255.614 124 3
201604	74.883 937 99	201804	920.354 029 6
201605	607.167 064 8	201805	536.847 615 7
201606	0	201806	532.995 335 6
201607	0	201807	284.813 043 7
201608	1 882.217 901	201808	509.046 426 3
201609	463.389 903 8	201809	198.903 788 8
201610	526.211 456 2	201810	942.547 253 8
201611	20.238 902 16	201811	189.170 815 7
201612	330.298 883 2	201812	0
201701	0	201901	853.075 492 1
201702	0	201902	544.466 948 4
201703	2 534.307 583	201903	255.614 124 3
201704	38.756 436 15	201904	920.354 029 6
201705	661.281 691 8	201905	536.847 615 7
201706	2 187.195 251	201906	532.995 335 6
201707	0	201907	284.813 043 7
201708	0	201908	509.046 426 3
201709	121.113 863	201909	198.903 788 8
201710	15.139 232 87	201910	942.547 253 8
201711	0	201911	189.170 815 7
201712	60.556 931 48	201912	0

(2)需求情景划分。对基准数据按离散的需求情境进行层级划分,见表3。

表3 电力电缆需求数量的层级划分

需求情境	数量区间(km)
很低需求	200以下
较低需求	200—400
一般需求	400—600
较高需求	600—800
很高需求	800以上

(3)需求预测值的先验概率。将表2的需求基准值按月根据式(1)进行概率拟合,所得预测年份2020年各月度先验概率见表4。

(4)需求情景—季节的关联概率计算。由表2统计出需求情境与季节间的关联概率,见表5。

表4 2020年温州市电力电缆的月度需求先验概率

月份	需求情境	先验概率	月份	需求情境	先验概率	月份	需求情境	先验概率
01	很低需求	0.5	05	很低需求	0.25	09	很低需求	0.5
	较低需求	0.25		较低需求	0		较低需求	0.25
	一般需求	0		一般需求	0.25		一般需求	0.25
	较高需求	0		较高需求	0.5		较高需求	0
	很高需求	0.25		很高需求	0		很高需求	0
02	很低需求	0.75	06	很低需求	0.25	10	很低需求	0.25
	较低需求	0		较低需求	0.5		较低需求	0.25
	一般需求	0.25		一般需求	0.25		一般需求	0.25
	较高需求	0		较高需求	0		较高需求	0
	很高需求	0		很高需求	0		很高需求	0.25
03	很低需求	0	07	很低需求	0.5	11	很低需求	0.75
	较低需求	0.25		较低需求	0.5		较低需求	0.25
	一般需求	0.5		一般需求	0		一般需求	0
	较高需求	0		较高需求	0		较高需求	0
	很高需求	0.25		很高需求	0		很高需求	0
04	很低需求	0.5	08	很低需求	0.25	12	很低需求	0.75
	较低需求	0.25		较低需求	0		较低需求	0.25
	一般需求	0		一般需求	0.25		一般需求	0
	较高需求	0		较高需求	0		较高需求	0
	很高需求	0.25		很高需求	0.5		很高需求	0

表5 需求情景—季节的关联概率

季节	很低需求	较低需求	一般需求	较高需求	很高需求
春季	0.142 857 143	0.2	0.375	1	0.285 714 286
夏季	0.190 476 19	0.3	0.25	0	0.428 571 429
秋季	0.285 714 286	0.3	0.25	0	0.142 857 143
冬季	0.380 952 381	0.2	0.125	0	0.142 857 143

(5)季节波动因素下需求发生概率修正。根据式(3),得出经季节波动影响因素更新后的需求发生概率,见表6。

(6)计算季节波动因素影响下需求预测值。计算5种需求情景对应需求量区间的中值,根据式(4)计算需求预测值,见表7。

(7)计算多维影响因素融合的需求预测值。对其他影响因素,采用上述分析计算过程皆可获得该影响因素下的需求预测值。此时,考虑各影响因素对物资需求预测值影响的权重,通过加权可得最终预测值。

4 结语

从应用算例来看,基于多维融合贝叶斯概率更新的电力物资需求预测能较好地考虑并反映需求因素对电力物资需求变动的的影响。举例来说,由表5可以看出已知需求情境为“较高需求”的条件下,季节为“春季”的概率非常高,可见“春季”是容易产生较高需求的季节,则可推断春季这一影响因素会促进

表6 更新后的2020年上半年温州市电力电缆的月度需求概率

月份	需求情境	先验概率	后验概率	月份	需求情境	先验概率	后验概率
01	很低需求	0.5	0.689 655	07	很低需求	0.5	0.388 35
	较低需求	0.25	0.181 034		较低需求	0.5	0.611 65
	一般需求	0	0		一般需求	0	0
	较高需求	0	0		较高需求	0	0
	很高需求	0.25	0.129 31		很高需求	0	0
02	很低需求	0.75	0.901 408	08	很低需求	0.25	0.146 789
	较低需求	0	0		较低需求	0	0
	一般需求	0.25	0.098 592		一般需求	0.25	0.192 661
	较高需求	0	0		较高需求	0	0
	很高需求	0	0		很高需求	0.5	0.660 55
03	很低需求	0	0	09	很低需求	0.5	0.509 554
	较低需求	0.25	0.161 85		较低需求	0.25	0.267 516
	一般需求	0.5	0.606 936		一般需求	0.25	0.222 93
	较高需求	0	0		较高需求	0	0
	很高需求	0.25	0.231 214		很高需求	0	0
04	很低需求	0.5	0.370 37	10	很低需求	0.25	0.291 971
	较低需求	0.25	0.259 259		较低需求	0.25	0.306 569
	一般需求	0	0		一般需求	0.25	0.255 474
	较高需求	0	0		较高需求	0	0
	很高需求	0.25	0.370 37		很高需求	0.25	0.145 985
05	很低需求	0.25	0.056 738	11	很低需求	0.75	0.740 741
	较低需求	0	0		较低需求	0.25	0.259 259
	一般需求	0.25	0.148 936		一般需求	0	0
	较高需求	0.5	0.794 326		较高需求	0	0
	很高需求	0	0		很高需求	0	0
06	很低需求	0.25	0.183 066	12	很低需求	0.75	0.851 064
	较低需求	0.5	0.576 659		较低需求	0.25	0.148 936
	一般需求	0.25	0.240 275		一般需求	0	0
	较高需求	0	0		较高需求	0	0
	很高需求	0	0		很高需求	0	0

表7 2020年温州市电力季节波动因素影响下电缆月度需求预测

月份	更新前预测值	更新后预测值	月份	更新前预测值	更新后预测值
01	350	239.655 172 4	07	200	222.330 097 1
02	200	139.436 619 7	08	600	705.504 587 2
03	550	560.115 606 9	09	250	242.675 159 2
04	350	448.148 148 1	10	450	380.291 970 8
05	500	636.170 212 8	11	150	151.851 851 9
06	450	530.142 566 2	12	350	239.655 172 4

需求的增加。此外,通过表7的需求发生概率更新前、后的需求数量均值比较看出,春季对应的3、4、5月份更新后的需求均值均高于更新前的需求均值。

由此,验证本文所设计的多维融合贝叶斯概率更新的电力物资需求预测方法符合实际电力物资需求特性。同时,在数据可获取的情况下,可将其他非主要影响因素如物资生产周期等进行概率更新和多维融合,说明本文所设计的预测方法具有很强的拓展性和影响因素覆盖面的扩展性。

此外,本文所提出的基于多维融合贝叶斯概率更新的配网基建项目物资需求预测方法,可将需求后验概率值和现实中的真实需求值进行比较,进行预测精度分析,通过改变和调整权重值,寻求预测精度的改进。

[参考文献]

- [1] 陈珏伊.大数据在电力物资需求预测管理中的应用研究[J]. 电力大数据,2018,21(3):83-87.
- [2] 吴小力. 电力智慧供应链内涵分析和系统构建研究[J]. 机电工程技术,2019,48(11):37-39,143.
- [3] 谢荣伟. 电力物资的需求预测方法研究[J]. 价值工程, 2016,35(34):28-30.
- [4] 洪芳华,施鸣达,肖锋,等. 电力物资库存定额季节性调整智能优化研究[J]. 管理科学与工程,2018,7(4):262-266.
- [5] 王剑,顾晔. 面向电力物资的组合需求预测体系设计[J]. 企业管理,2016(S1):130-131.
- [6] 陈铿,林苗苗,何敏玲. 常态化电网工程物资需求预测管理模式的研究[J]. 物流工程与管理,2018,40(8):72-73.
- [7] 宋斌. 基于人工鱼群算法的电网物资需求预测[J]. 中国储运,2014(6):115-117.
- [8] 毕子健,王翎颖. 电网物资需求预测方法研究[J]. 华北电力技术,2015(10):26-30.
- [9] 黄宏和,吴臻,琚军,等. 基于物资需求特性量化预测未来需求的方法[J]. 浙江电力,2019,38(7):75-80.
- [10] 丁红卫,王文果,万良,等. 基于BP神经网络的电网物资需求预测研究[J]. 计算机技术与发展,2019,29(6):138-142.
- [11] 王竹君,朱颖琪,孙界平. 基于矩阵分解的电力物资需求预测[J]. 四川大学学报(自然科学版),2019,56(4):639-644.
- [12] 牛凯,洪芳华,费冬,等. 基于Prophet算法的电力物资需求预测方法研究[J]. 科学技术创新,2020(33):163-164.
- [13] 胡忠君,刘艳秋,李佳. 基于改进GM(1,1)的洪涝灾害应急物资动态需求预测[J]. 系统仿真学报,2019,31(4):702-709.
- [14] 睦楷,王语涵,王少勇,等. 基于多元回归分析法的电网应急物资需求预测方法[J]. 电子技术与软件工程,2016(23): 195-197.
- [15] 李倩,孙伟,张明明. 基于大数据技术下的配电网物资需求计划预测和管控[J]. 中国物流与采购,2019(4):51-52.