

# 航材分类和预测方法研究及其系统设计路径

宋传洲, 王瑞奇

(海军航空大学, 山东 烟台 264001)

**摘要:**航材的分类和预测研究是航材保障工作研究的主要内容, 根据需要选择科学高效的分类和预测方法, 能够更加精准预判航材消耗情况, 制定精确的航材保障方案, 从而在经济投入、任务完成、维修管理、飞行安全等方面有更全面的掌控。本文对航材的分类和预测方法进行了总结分析, 并初步构建了分类预测系统, 仅供参考。

**关键词:**航材分类; 预测方法; 系统设计

中图分类号: E075; TP202

文献标志码: A

文章编号: 1672-3872(2020)15-0061-04

航材分类和预测方法研究贯穿航材统计、管理、需求预测和决策等各个环节, 对库存管理、资金分配、航空成本、机体维修和维护、飞行安全等方面产生影响。需根据不同飞机任务特点、工作环境、保障能力等, 分析其性能特性和消耗规律, 或定性分析, 或定量分析, 或者结合两者, 研究与之匹配的分类和预测方法, 从而为航材保障工作的科学决策提供参考。本文在梳理现有航材分类和预测方法研究成果的基础上, 进一步分析了其他备件的分类和预测方法, 并提出借鉴意见, 同时对建立航材分类预测系统有了初步的设想。

## 1 航材分类方法研究

### 1.1 分类原则和分类指标

航材分类研究是航材管理、预测和决策等各个环节的基础工作, 根据影响因素的侧重点不同按照不同的原则进行分类。有以航材的可修性为原则的可维修分类法; 也有体现航材对于飞行运行的重要性的 ESS 放行重要性分类法; 还有 MEL 修理间隔分类法等。对于民用飞机有出口民用航空产品分类法、订货优先级分类法等。军事上, 航材则有按照适用对象、使用性质、维修级别、寿命时限等分类方法。

在分类原则的基础上, 需进一步构建分类指标体系。张作刚等<sup>[1]</sup>选取危害度、历史消耗量、平均消耗量、串件拼修可行性等 6 类指标; 文献[2]在研究航母舰载机航材携行品种和数量时, 把指标确定为重要性、故障率、易损性、维修性、经济性 5 类。类似的, 文献[3]则使用危害性、易得性、经济性、消耗性、任务需求性等指标; 在库存管理和航材订购方面, 文献[4]中则提出三要素(使用率、单价、领先率)方案和四要素(使用率、单价、交货期、可靠性)方案。文献[5]则加入了物流这一指标内容, 采取维修性能、维修过程中的重要等级、物流、价格等指标建立体系。此外, 文献[6]着眼于项目临界性, 用设备临界风险度、故障概率、订货和补货时间等 6 类指标来反映其临界特性; 从航材供应

商视角出发, 文献[7]将交货期限、成本、质量、服务、环境等 5 个大方面, 21 个小方面建立指标体系; 从保证战场抢修的角度, 文献[8]将便携性、易换性、易得性、易损伤性、经济性、关键性等因素作为分类指标。

### 1.2 主要分类算法

ABC、VED、AHP 等分类算法较为常见且实用, 特别是 ABC 分类法, 是经典分类法, 该方法可以区分和显示出总体价值中占比很多的物品在数量上却只占很小的比例。把航材分为 A、B、C 三大类, 将其价值高低排列顺序<sup>[9]</sup>。AHP 就是最常见的分层分析法。文献[10]利用 AHP 和模糊方法改进 ABC 分类法。文献[11]使用三角模糊数互补判断矩阵计算层间权重。在航材供应链管理应用上, 文献[12]将 ABC 分类法与 kraljic 矩阵分类组合运用。侯甲凯<sup>[13]</sup>在对周转件进行预测时, 建立 ABC-3A 分类模型。类似于 ABC 分类法, VED 按照对航材库存的关键性分析评价进行分类。无论库存管理<sup>[14]</sup>还是航材采购<sup>[15]</sup>、安全库存研究<sup>[16]</sup>, VED 分类法都有采用。文献[17]联合使用 AHP 和 DEA 改进 ABC。熊君星等<sup>[18]</sup>优化 BP 神经网络考虑多种因素, 并按重要性 ABC 分类, 采用自适应调整网络连接权值的方法简化过程。

支持向量机是基于数据统计的机器学习方法。张作刚等<sup>[19]</sup>以 ABC 分类改进支持向量机分类方法, 人机结合减少了工作量, 提升了分类的客观性和效率。任博等<sup>[20]</sup>采用最小二乘线性系统, 改进支持向量机, 解决模式识别问题, 对航材进行多元分类。类似的, 刘志焘<sup>[21]</sup>在最小二乘法基础上用贝叶斯方法改进支持向量机对核电站不常用备件进行了分类研究。

文献[1]运用马氏距离、离差平方和、灰色聚类建立分类模型。文献[22]针对航材需求的不稳定, 提出将划分聚类和层次聚类相结合成层次划分聚类的方法, 将航材分为平稳型、突变型、波动型 3 类。文献[23]采取混合属性下的 PAM 聚类法对航材分类。文献[24]通过主成分分析将原来 8 个指标进行筛选降维, 舍掉 3 个指标, 保留 5 个指标。文献[25-26]采用粗糙集方法, 改进了传统的不完备信息系统粗糙集模型, 提出基于系统信息量的属性权重分类方法。基于决策树的改进的多维分类模型也有很多, 文献

**作者简介:**宋传洲(1989—), 男, 山东烟台人, 硕士, 研究方向: 器材、仓储勤务技术、航材预测等相关领域。

**通信作者:**王瑞奇(1980—), 男, 山东烟台人, 博士, 副教授, 研究方向: 装备综合保障, 质量监控技术。

[27]将决策树和支持向量机联用,将备件分为战略备件、杠杆备件、瓶颈备件、一般备件等4类。

### 1.3 基于消耗数据的分类方法

基于消耗数据面向需求的分类方法就是以消耗量的方差、变异程度为标准、找规律来进行分类。文献[28]以维修理论为基础,结合数理统计对航材的故障率曲线特性分析,考虑有没有损耗期,故障率随时间变化、有无早期故障期、是否规定寿命、偶然故障期等特性,将航材分为5类。文献[29]中利用对航材寿命的数理统计规律得到的寿命分布特点,将航材分为指数寿命件或随机失效件、正态寿命件、威布尔寿命件3类。张永莉等<sup>[30]</sup>提出一个两维度分类规则,将变异系数与需求间隔作为维度发现:随着A-DI增大,需求趋于间断,随着CV增大,需求趋于不稳定,将航材分为平稳型、随机型、块状型、间断型4类。也有研究者将有较大争议的块状消耗航材并入间断性消耗航材中,分为平稳性、不平稳型和间歇型3大类。这些分类方法基于大量数据的挖掘和研究,直接从数据找出分类界限,把握规律,避免因缺乏或者错误的先验知识降低了航材分类的准确性。

## 2 航材预测方法研究

航材种类繁多,各类航材的需求受各种因素影响,呈现出不同的规律,因此预测模型多样,但都有其适用的对象和条件,需要在对其分类的基础上采取不同的方法预测。基于消耗数据的分类方法在预测方法选择之前将发挥作用,因为对过去航材维修和消耗数据的挖掘和处理是研究的根本。采用两种以上的组合算法也很常见,以加权或处理优化的方式,力图产生互补效果,从而提高预测精度。

### 2.1 按照时间序列设计预测模型

时间序列预测法是基于历史数据统计值来研究事物发展趋势的方法。足够的时间点观测值是这类方法使用的基础,既包括航材消耗的数量信息,也要考虑各类影响因素介入的变化,比如随机影响、周期变动、季节变动、短时段变、长时规律等。常见方法有:移动平均预测法、指数平滑预测法、ARMA预测法、灰色系统预测法、Croston法、Bootstrap法等

移动平均预测法可做简单移动平均法<sup>[31]</sup>和加权移动平均法<sup>[32]</sup>区分。这类方法多应用在需求数量较多变化幅度不大的航材,必要时可用指数加权<sup>[33]</sup>,对应平稳型、间断型高效。

指数平滑法<sup>[34]</sup>及其改进算法应用性强,通过对近期和远期消耗数据的权重控制拟合规律进行预测。郭峰等<sup>[35]</sup>人对单指数平滑中的二次、三次指数平滑进行深入研究。张瑞<sup>[36]</sup>分别对单指数、双指数、三指数平滑预测模型的使用性进行了分析。文献[37]使用一次指数平滑处理数据中的0值,对初始值和加权系数与预测值之间进行了分析,为数据中0值处理提供了参考。此类模型多应用到间断型、

块状型消耗预测。

ARMA预测法主要由MA模型和AR模型。贾志宇等<sup>[38]</sup>在文献中用求和自回归滑动平均法对某航空兵部队的航材进行预测。李瑞莹等<sup>[39]</sup>采用该方法对不常用备件故障率进行预测,韩戈白等<sup>[40]</sup>在研究航材消耗规律基础上提出基于误差修正和ARIMA的预测模型,郜逸星等<sup>[41]</sup>小波去噪结合ARMA模型对设备故障率进行预测。该方法可用于间断型、块状型、随机型特点的航材预测。

灰色系统预测法是对原始数据累加处理后会形成近似指数变化的规律,从而减少数列的随机性,多用于间断性、块状型航材消耗预测,可用于短期预测,且运行时间快。杨冰冰<sup>[42]</sup>在文献中对飞机大修航材进行消耗预测。郭峰等<sup>[43]</sup>采用该方法对航材消耗定额进行研究。汪阳天等<sup>[44]</sup>构建优化灰色马尔科夫模型进行预测。杨平律等<sup>[45]</sup>使用该方法对间断型航材进行预测,证明其效果较好。

Croston预测法使用指数平滑法分别计算需求间隔和需求量,强调只有在有需求时进行预测。Ghobbar<sup>[46]</sup>采用Croston方法、单指数平滑方法及其优化方法、指数加权移动平均方法、ARMA等13种方法开展研究,得出Croston方法对间歇型需求预测效果较好。尽管如此,文献[47]指出该方法适用于航材需求服从正态分布的情况,否则该方法预测精度不高,尤其当数据中有很多0值时表现明显。

Bootstrap法是预测间断型适用性较好的方法,可预测提前期中每期需求是否发生,预测出每期需求发生时的概率,并能得到预测每期的需求量,重复多次该方法就能获得足够的预测需求样本,从而预测提前期的需求分布<sup>[48]</sup>。文献[49]改进该方法用于航材需求不确定性和不可预测性的预测。

### 2.2 按照统计规律设计预测模型

特殊情况下,拥有大量故障数据,可运用统计学方法研究故障率、可靠性和寿命拟合的曲线规律进行需求预测。与前文1.3提到的曲线分布相同。文献[29]根据大量数据研究出5类故障曲线。刘文浩等<sup>[50]</sup>采用可靠性数据拟合的规律进行航材需求预测。周凯等<sup>[51]</sup>采用改进的Bootstrap法对小样本数据增量,分析设备性能变化的分布函数,并对可靠性进行预测。也有文献指出航材消耗时间服从指数分布时,消耗数量服从泊松分布。

### 2.3 机器学习算法模型

机器学习算法的灵活性、智能性在解决时间序列和数理统计两类算法不足上有了许多优势,常用的机器学习算法主要有神经网络、支持向量机等及其改进算法。神经网络算法形式多样,与其他算法组合使用效果突出。魏崇辉等<sup>[52]</sup>利用粗糙集对数据信息进行冗余剔除,筛选主要影响因素采用神经网络进行消耗预测,尚琦坤等<sup>[53]</sup>使用DEMATEL算法筛选影响因素,使用遗传算法优化后的灰色神经网络进行预测,孙臣良等<sup>[54]</sup>结合数据挖掘、人工鱼群算法构造小波神经网络提高预测准确率。陈世君等<sup>[55]</sup>在研

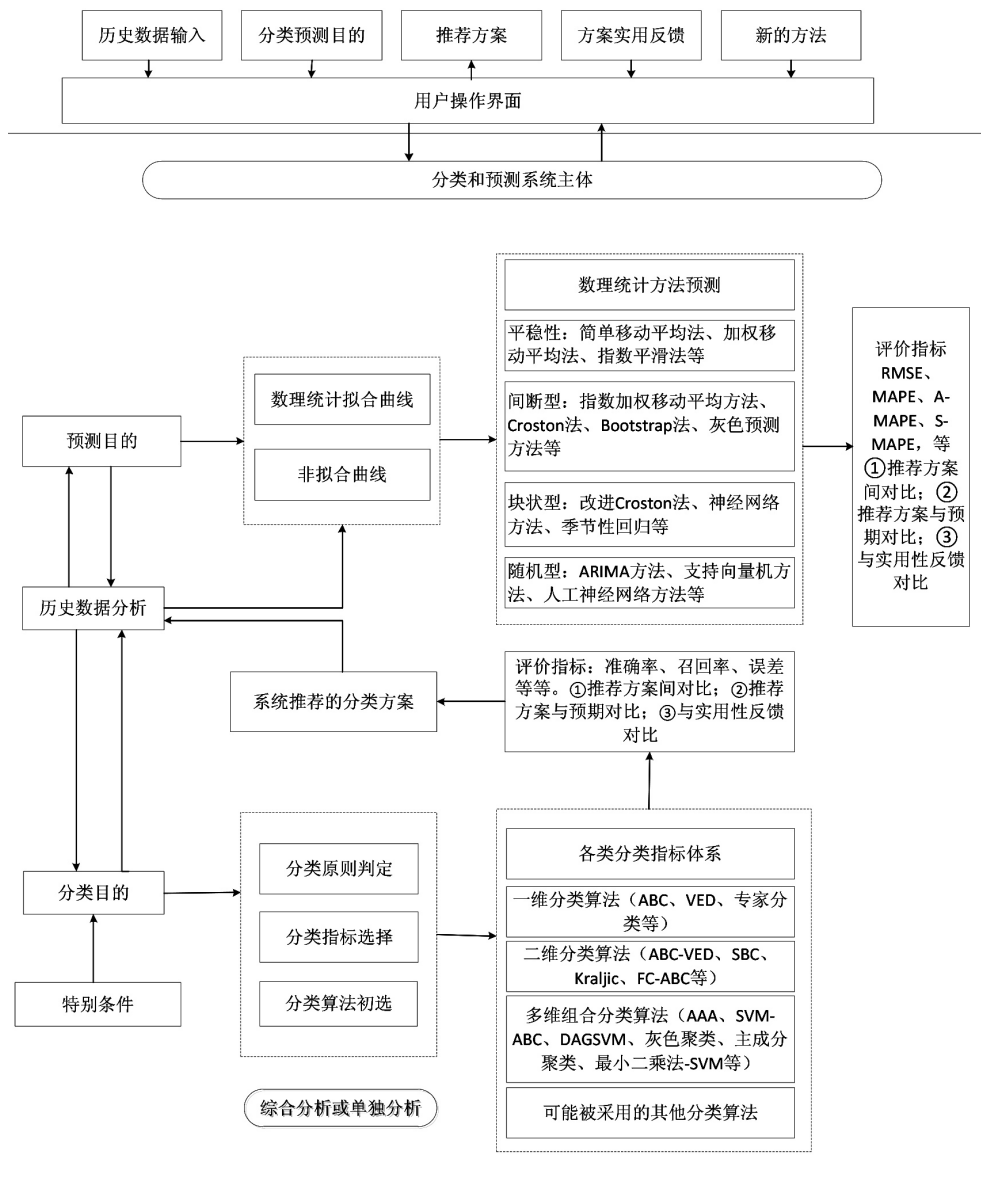


图 1 航材分类与预测系统示意图

研究铁路材料消耗时使用了混合神经网络模型值得借鉴。

支持向量机是基于结构风险最小化的机器学习算法,能够用于小样本的预测研究。董琪等<sup>[56]</sup>采用遗传算法优化的支持向量机进行预测,孙伟奇等<sup>[57]</sup>使用网格搜索法优化最小二乘支持向量机回归算法,取得良好预测效果。罗薇等<sup>[58]</sup>针对备件消耗呈现非平稳性、多样性特征,提出基于集合经验模态分解(EEMD)和支持向量回归(SVR)的组合预测方法。卫一煜等<sup>[59]</sup>运用灰色加权关联方法对舰船备件消耗影响因素进行分析和筛选出主要影响因素,并运用支持向量机算法进行预测。刘硕等<sup>[60]</sup>则构建 GA-SVM 组合预测模型。李佩琦<sup>[61]</sup>采用随机森林和梯度提升树算法研究多因素影响的机电设备备件的预测。

### 3 航材分类和预测系统构想

以本文对航材分类和预测方法的分析为基础,从当前众多研究成果中得到启发,以系统性、实用性为目的,构建如图 1 所示的航材分类与预测系统示意图,以达到人

机交互的智能分类和预测的效果,利用系统,可通过输入目的和要求,待系统综合分析后,给出推荐方案。系统具备接受反馈和及时吸收最新方法的升级能力。

### 4 结束语

本文就航材分类预测方法进行了论述,对一些算法和其改进方法做了重点介绍,提出了航材分类预测系统的初步设想,希望能够为航材后续研究提供有价值的参考和启发。

### 参考文献:

- [1] 张作刚,崔国伟,秦瑞清.灰色聚类分析在航材分类中的运用[J].四川兵工学报,2013,34(9):56-59.
- [2] 郭峰,王德心.航母舰载机航材携行品种及数量确定方法研究[J].军事运筹与系统工程,2015,29(2):38-42+59.
- [3] 马应欣,张作刚.基于 AHP 和模糊方法的库存航材 ABC 分类模型[J].物流技术,2008(2):130-133.
- [4] Rad, T., Shanmugarajan, N., & Wahab, M. I. M. (2011). Classification of critical spares for aircraft maintenance. ICSSSM11. doi:10.1109/icsssm.2011.5959470 url to share this paper:sci-hub.se/10.1109/ICSSSM.2011.5959470
- [5] 秦鸣鹤,李乃梁,裴琦斐,等.备件库存分类控制与策略匹配研究及应用[J].机械设计与制造,2017(6):256-258+262.
- [6] An Molenaers, Herman Baets, Liliane Pintelon, Geert Waeyenbergh, (2012) Criticality classification of spare parts: A case study Production Economics
- [7] 陈玖圣,张晓瑜,陈静杰.航材供应商评估决策过程模型及实现[J].系统工程理论与实践,2008(11):149-154.
- [8] 刘喜春.不确定需求下航空备件多阶段供应保障规划模型及动态协调机制研究[D].长沙:国防科学技术大学,2009.
- [9] 刘国庆.基于供应链的军队航材库存管理研究[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [10] 孙硕.面向预防性维修的备件需求预测与库存优化方法研究[D].北京:北京理工大学,2015.
- [11] 喻拿仑.基于某货运航空公司的航材管理研究[D].南京:南京航空航天大学,2017.
- [12] 杨顺兴.T 公司航材库存管理和配送系统优化研究[D].厦门:厦门大学,2014.
- [13] 侯甲凯.航空公司航材周转件需求预测研究[D].德阳:中国民用航空飞行学院,2015.



- [14] 严锐.DH 航材库存管理优化研究[D].南昌:南昌大学,2015.
- [15] 李崇明.基于可靠性分析的航材采购模型研究[D].天津:中国民航大学,2016.
- [16] 沙和风,蔡景,林海彬.不同需求规律下的航材安全库存量研究[J].物流科技,2011,34(11):47-50.
- [17] Hadi-Vencheha A., Mohamadghasemib A. A Fuzzy AHP-DEA Approach for multiple criteria ABC inventory classification[J]. Expert Systems with Applications,2011,38(4):3346-3352.
- [18] 熊君星,夏芳臣,涂海宁.基于BP神经网络的备件ABC分类模型[J].机械设计与制造,2008(2):215-217.
- [19] 张作刚,刘星,彭建鹏,等.基于支持向量机的多准则航材ABC分类法[J].价值工程,2010,29(22):248-249.
- [20] 任博,张喜斌,张恒喜.基于最小二乘支持向量机的飞机备件多元分类[J].电光与控制,2006(2):73-74+78.
- [21] 刘志焱.基于支持向量机的不常用备件分类模型研究[D].武汉:华中科技大学,2008.
- [22] 薛永亮,陈振林.基于消耗波动性聚类的航材分类研究[J].系统工程与电子技术,2019,41(12):2802-2806.
- [23] 周家萱,徐常凯.基于粗糙集全局离散和粒子群算法的启发式航材订货模型[J].空军工程大学学报(自然科学版),2019,20(4):33-38.
- [24] 王伟,赵明.主成分分析法在航材分类指标体系构建中的应用[J].舰船电子工程,2019,39(1):118-120+151.
- [25] 韩俊豪,何亚群,李继军.基于混合属性值的航材库存品种确定方法[J].数学的实践与认识,2019,49(19):139-144.
- [26] 董晓雄,陈云翔,蔡忠义,等.基于不完备信息的粗糙集初始备件品种确定方法[J].系统工程与电子技术,2018,40(3):590-594.
- [27] 魏曦初,李文立.基于备件分类的供应商管理策略研究[J].工业工程与管理,2014,19(6):37-43+132.
- [28] 李金国,丁红兵.备件需求量计算模型分析[J].电子产品可靠性与环境试验,2000(3):11-14.
- [29] 陈侠,王拓,王磊,等.通用飞机航材需求预测方法分析研究[J].沈阳航空航天大学学报,2014,31(6):83-91.
- [30] 张永莉,梁京.航材需求预测方法研究综述及启示[J].中国民航大学学报,2014,32(1):92-96.
- [31] 左山,鲁晶晶,田磊,等.简单移动平均预测法在航材保障中的应用[J].科技信息,2008(30):87-88.
- [32] MAKRIDAKIS S,WHEELWRIGHT S C,HYNDMAN R J. Forecasting:Methods and Applications[M]. 3rd,New York:Wiley,1998.
- [33] CHARLES C,HOLT. Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages[J]. International Journal of Forecasting,2004,20(1):5-14.
- [34] 程玉波,车建国,杨作宾,等.基于指数平滑法的装备维修器材需求量预测[J].指挥控制与仿真,2009(1):115-117.
- [35] 郭峰,刘臣宇,李卫灵.基于指数平滑法的航材消耗定额预测研究[J].计算机与现代化,2012(9):163-165.
- [36] 张瑞.不常用备件需求预测模型与方法研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [37] 冯杨,尹迪,罗兵.基于SES的不常用备件需求预测模型[J].兵工自动化,2011,30(2):18-21.
- [38] 贾治宇,康锐.基于ARIMA模型的备件消耗预测方法[J].兵工自动化,2009,28(6):29-39.
- [39] 李瑞莹,康锐.基于ARMA模型的故障率预测方法研究[J].系统工程与电子技术 2008(8):1588-1591.
- [40] 韩戈白,陈迪,王博,等.基于ARIMA和误差修正的航材消耗预测模型[J].电子质量,2019(2):24-30.
- [41] 邵逸星,孙淑珍.小波去噪结合ARMA模型在电力设备故障率预测中的应用[J].内蒙古工业大学学报(自然科学版),2019,38(2):122-128.
- [42] 杨冰冰.B777飞机大修航材库存需求预测研究[D].天津:中国民航大学,2014.
- [43] 郭峰,易钰钺,史玉敏.基于灰色预测的航材消耗定额模型[J].计算机与现代化,2011(10):34-36.
- [44] 汪阳天,张志峰,刘洪引,等.基于优化灰色马尔科夫的器材消耗预测[J].物流技术,2015,34(1):158-160.
- [45] 杨平律,包磊.基于灰色系统理论的间断性需求备件预测模型[J].技术与方法,2011,30(12):138-141.
- [46] Ghobbar A.A., Friend C.H. Evaluation of forecasting methods for intermittent Parts demand in the field of aviation : a predictive model [ J ] .Computers&Operations Research , 2003 , 30 (14): 2097 - 2114.
- [47] Willemain T.R. , Smart C.N. , Schwarz H.F.A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories [J]. International Journal of Forecasting , 2004,20(3):375-387.
- [48] 任喜,赵建军,刘新江,等.舰船装备备件需求预测方法研究[J].舰船电子工程,2013,33(9):137-138+167.
- [49] N. Ahmadi Mobarakeh,M.K. Shahzad,A. Baboli,R. Tonadre. Improved Forecasts for uncertain and unpredictable Spare Parts Demand in Business Aircraft's with Bootstrap Method[J]. IFAC PapersOnLine,2017,50(1).
- [50] 刘文浩,鲁世红,王伟.基于可靠性数据的航材备件需求预测方法[J].航空计算技术,2017,47(4):53-56.
- [51] 周凯,丁坚勇,田世明,等.基于小样本性能数据的电气设备可靠性评估与预测方法研究[J].电网技术,2018,42(6):1967-1974.
- [52] 魏崇辉,金福禄,何亚群.基于粗糙集和神经网络的空军航材消耗预测方法[J].东南大学学报(自然科学版),2004(51):68-70.
- [53] 尚琦坤,陈云翔.任务驱动下航材需求量的GA-GM-BP预测[J].火力与指挥控制,2013,38(4):78-81+86.
- [54] 孙臣良,郑伟,赵涛,等.基于数据挖掘和小波神经网络的航材消耗预测方法[J].海军航空工程学院学报,2014,29(3):235-238+256.
- [55] 陈世君,林自葵,刘志高.基于混合神经网络的铁路材料消耗的预测方法研究[J].铁道建筑技术,2009(S2):87-90.
- [56] 董琪,赵建忠,隋江波,等.基于支持向量机的备件需求预测研究[J].计算机与数字工程,2020,48(3):509-512+585.
- [57] 孙伟奇,周斌,史玉敏,等.基于LS-SVM的新机备件需求预测[J].兵工自动化,2018,37(7):71-73+78.
- [58] 罗薇,符卓,伏爱兰.基于不稳定时间序列分析的设备备件需求预测方法[J].系统工程,2016,34(6):128-135.
- [59] 卫一熲,邢焕革.基于灰色加权关联与MS-LSSVM组合的舰船备件需求预测[J].舰船电子工程,2015,35(1):126-130.
- [60] 刘硕,崔崇立,程鑫,等.基于GA-SVM的航材装备维修费用预测研究[J].物流科技,2019,42(12):152-155+162.
- [61] 李佩琦.基于影响因素分析的高速公路机电设备备件需求预测[D].西安:长安大学,2019.