

doi: 10.7690/bgzdh.2021.01.017

# 一种基于 Em-Plant 的 AGV 物料配送路径优化仿真方案

徐曼菲, 谢竺妍, 刘治红

(中国兵器装备集团自动化研究所智能制造事业部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为解决军工行业弹药生产中开发周期长、返工调整量巨大等问题, 对制造系统中车间布局仿真及 AGV 路径进行优化。以某型弹部件生产线为研究对象, 构建基于 Plant Simulation 的仿真模型, 对加工中心参数、缓存区设置和 AGV 基础参数等进行参数化配置, 设计 4 种物料配送仿真方案, 利用 AGV 的运行轨道和传感器, 确定最优配送方案。仿真结果表明: 该研究能大幅度降低企业后期回溯更改频次, 具有一定的实用价值。

**关键词:** 车间布局; 物流仿真; 调度规划; 协调策略

**中图分类号:** F253.9; TP319 **文献标志码:** A

## AGV Material Distribution Path Optimization Simulation Scheme Based on Em-Plant

Xu Manfei, Xie Zhuyan, Liu Zhihong

*(Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute of  
China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)*

**Abstract:** In order to solve the problems of long development cycle and huge rework adjustment in ammunition production in military industry, the workshop layout simulation and AGV path in manufacturing system are optimized. Taking a certain type of bullet component production line as the research object, the simulation model based on Plant Simulation is constructed. Parameterized configuration is carried out for machining center parameters, cache setting and AGV basic parameters, etc. 4 simulation schemes of material distribution are designed, and the optimal distribution scheme is determined by using AGV's running track and sensors. The simulation results show that this research can greatly reduce the frequency of backtracking changes, and has a certain practical value.

**Keywords:** workshop layout; logistics simulation; scheduling plan; coordination strategy

### 0 引言

当前全球制造业正朝着数字化、网络化、智能化、虚拟化的方向发展, 在此背景下, 企业迫切希望能通过生产线建模仿真解决产品开发及产线建设中的前瞻性问题<sup>[1]</sup>。车间布局仿真和物料配送作为数字化制造车间生产过程中的重要组成部分, 是企业实施数字化工厂的必经环节<sup>[2]</sup>。

传统制造车间在进行实际投产物流系统改善优化前, 在生产线仿真建模与优化方面进行了大量的研究与探索。航空设计研究规划院崔晶等通过仿真技术量化分析, 论证了复合材料生产线的工艺布局方案, 从而指导了复合材料生产线的规划设计及运营<sup>[3]</sup>。李琦等依据轮胎压装工艺流程对压装生产线进行计算机模拟仿真, 规范了轮胎压装生产线的工艺布局流程, 为第三方物流企业的生产决策提供了参考<sup>[4]</sup>。陈军等利用建模仿真和决策支持等技术解决脉动生产线在设计阶段规划不够合理, 在运行阶段节拍不稳定、节点难保证等问题, 提高了生产线

整体运行效率<sup>[5]</sup>。陶俐言等以某军工制造企业的数控加工车间为例, 对车间的生产线布局进行了重新设计和仿真验证, 证明了模型的有效性<sup>[6]</sup>。

目前弹部件在生产制造方面仍较为落后, 缺乏对物料配送路径、配送任务的有效规划和引导, 导致生产设备利用率低, 生产物料运输混乱, 生产线上经常会存在缺料或原材料堆积现象, 严重降低了企业的生产效率。笔者以某军工企业弹部件应用示范生产线为依托, 基于 plant simulation14.0 仿真软件, 建立虚拟生产线及高度灵活化的建模单元, 实施制造系统中车间布局仿真及 AGV(automated guided vehicle)路径优化, 以满足军队对弹药品质和数量日益提升的要求, 实现军工制造业高效自动化流转和精益管理。

### 1 基本概念

#### 1.1 生产线仿真

笔者描述的物流仿真模型是基于 plant

收稿日期: 2020-08-12; 修回日期: 2020-09-10

基金项目: 国防基础科研计划“十三五”项目(JCKY2016209A004)

作者简介: 徐曼菲(1991—), 女, 重庆人, 硕士, 助理工程师, 从事数字化管控、数据采集研究。E-mail: 925819758@qq.com。

simulation14.0 仿真软件进行生产线的工艺流程和 AGV 配送流程建立的。整个工艺流程由原料经过出库、下料、输送到各加工点和存储点，以在制品的形态，从一个生产单元流入另一生产单元，按照计划的工艺路线进行加工、存储，并借助一定输送装置。由于该车间生产线处于规划设计阶段，车间物料配送与制造运行的衔接程度直接影响车间物流的有效性和稳定性，在此将以某型弹部件生产线为研究对象，建立包含零件源 Source、加工单元 SingleProc、立体库 Buffer、充电区 Track 等仿真模型，通过结合 AGV 的运行轨道和特定位置上的传感器进行物流产线布局及路径优化，最终确定最优物料配送方案。

### 1.1.1 生产节拍

生产节拍指从加工一件产品开始，到加工下一件产品之间的时间<sup>[7]</sup>。加工中心的节拍按照基础数据表格里的参数，关于立体库和线边缓存区的仿真停留时间根据实际值进行设定。

### 1.1.2 开动率

设备的开动率是用设备实际开动的的时间除以正常上班时间。当设备需进行维护保养、故障维修等无法作业的情况时，停机时间越长，设备可开动率就越低<sup>[8]</sup>。使用 Plant Simulation 软件建模时，在对象窗口的故障选项卡里，可根据实际分布值配置开动率参数和模式。

### 1.1.3 MTTR

MTTR(mean time to repair)为平均故障修复时间，即设备发生故障的时间<sup>[9]</sup>。参数 MTBF(mean time between failure)为平均故障间隔时间，即设备无故障的时间。只需设置开通率和 MTTR，即可定义故障<sup>[10]</sup>。

开通率=无故障时间/(无故障时间+故障时间)。

### 1.1.4 切换时间

生产不同种类的产品，在产品切换时，由于更换夹具或程序等，需要额外的准备时间，在对象窗口时间选项卡里配置“设置时间”即可。

## 2 模型

根据生产工艺流程、输入数据表，在框架中新建物流对象，并按照实际流程连接。各加工中心按照分层建模的思想，建成可重复使用的模块。工艺流程如图 1 所示。

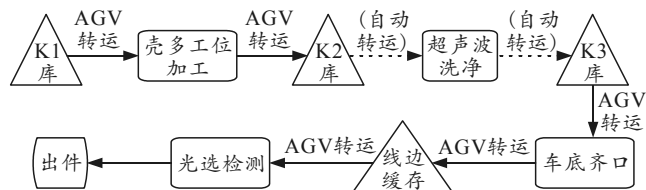


图 1 工艺流程

### 2.1 工厂布局设计

在模型中插入 CAD 布局图。对于长度对象，使对象的长度跟实际线体的长度吻合，方便设置速度等参数值，导入布局图“示范线布局.dwg”，CAD 图文件直接装入框架 ProductionLine 内作为 Background，设置缩放比为 1.0。

### 2.2 零件源设计

原材料上线的框架包括产生 Part 的源、产生 Container 的源、一个 Assembly 和一个 SingleProc 对象；信息对象包括初始化的程序 INIT 和 2 个全局变量；连接对象包含 2 个 Interface 对象，以上构成零件源模型。零件源模型如图 2 所示。

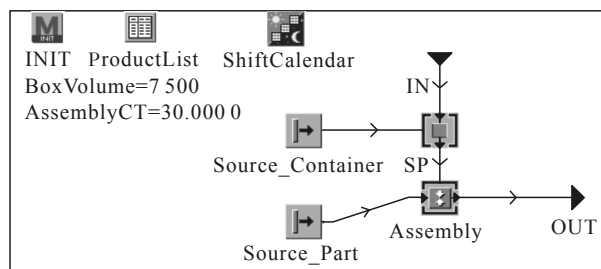


图 2 零件源模型

### 2.3 加工中心建立

采用 2 个 Interface 对象、3 个 SingleProc 对象，1 个 FlowControl 对象进行搭建，设置 SP\_1、SP\_2 处理时间为 10 s，设置 SP\_0 的处理时间为 0 s。同时设置框架内的全局变量，分别按照基础数据表进行设置，程序 INIT 在初始化时从外部的 BaseData 框架里读取工位信息，赋值到该工位框架的 CT、StationNum、Availability、MTTR。FlowControl 的出口策略采用自定义 Method。加工中心模型如图 3 所示。

### 2.4 充电区

如图 4 所示，充电区框架内主要对象包含 Source\_AGV、充电区(track)以及出入口的 Interface，控制部分的程序主要是 Source\_AGV 的入口程序，功能是在 AGV 产生时赋予其一部分属性；“充电区”的出入口程序功能主要为判断和记录 AGV 的停班与否，以及停班时间。

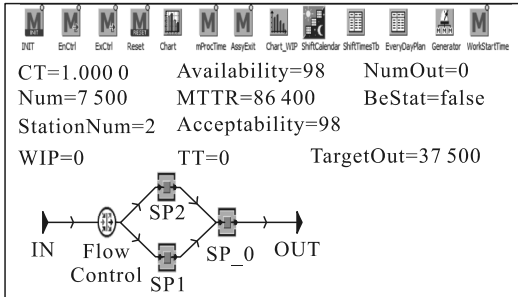


图 3 加工中心模型

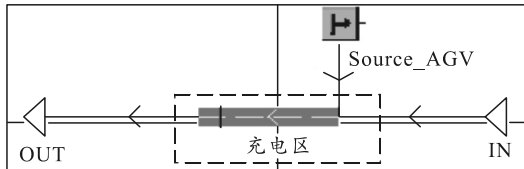


图 4 充电区模型

### 2.5 立体库

立体库 K1\K2\K3 主要由 Buffer 对象、Interface 对象和初始化库存框架组成。初始化程序主要设置 Buffer 的容量和 Buffer 的停留时间。由于 K1 库是整个模型发料的起始点，因此，加工零件的来源直接来自外部“零件源”框架，而不再设置初始库存。如图 5 所示，K2 和 K3 的初始库存设置为 12，在“零件源”框架里的料箱源(Source\_Container)配置入口控制程序。

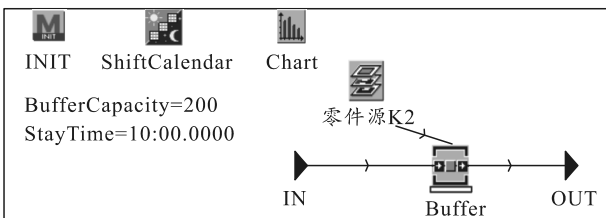


图 5 立体库模型

### 2.6 调度控制策略

如图 6 所示，OrderList 记录当前需要 AGV 搬运的任务，并实时更新，其中记录当前呼叫搬运的 Mu，呼叫 AGV 的物流对象(Line)，要送往的位置(对接的 Line)，接货位置所在的 Track 对象，送往位置所在的 Track 对象，Markup 记录该项任务是否已经分配，yes 表示已经分配)，VEH 表示被分配该项任务的 AGV。TrackRecord 是根据工艺流程的要求，记录每一个需要 AGV 转运的出料对象，需要将半成品送完工序的对接辊道，以及呼叫和送往对象所在的 Track 对象，使 AGV 找到接货位置和送往的位置。InPutOrder 是呼叫 AGV 的对象将任务写入 Orderlist，同时去判断是否有可以调用的 AGV，没有，则只写入任务；ReadOrder 是 AGV 完成一次搬

运任务后，立即查找是否有任务等待搬运，如果有，则立即前往呼叫的地点。MovePart 是到达目的地后 AGV 执行搬运任务，如果是在呼叫地点，则装载零件；如果在送往的地点，则卸载零件。MovingTime 是模拟的人工上下搬运一个料箱的时间。由于 2 台 AGV 分别负责不同功能区域，因此，分别创建 OrderList、InputOrder 和 ReadOrder。

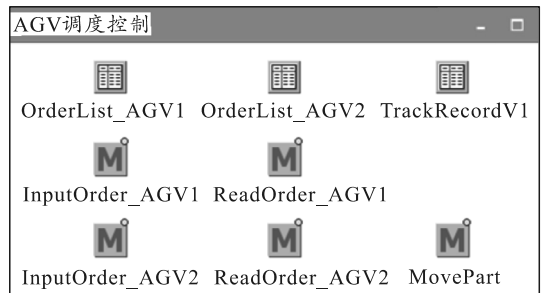


图 6 AGV 调度控制策略创建

## 3 仿真实现

通过 EventConroller 模拟周期设置为 1 个月 30 d,排班 1 个,时间为 8:00—17:00,其中 12:00—13:00 为休息时间,每周工作 7 d,当 AGV 电量低于 20% 时将前往充电区充电。各方案仿真结果如图 7。

方案 A-1: 如图 7(a)所示, AGV 调度逻辑初步方案 A-1 设置为 2 台 AGV 按逆时针方向进行运输搬运,当没有可执行的搬运任务时,AGV 则前往充电区等待并充电,通过模拟运行 30 d 后,从模型中统计出总产出量(箱数)和 AGV 总搬运距离,以这 2 个参数作为各方案的比较指标。

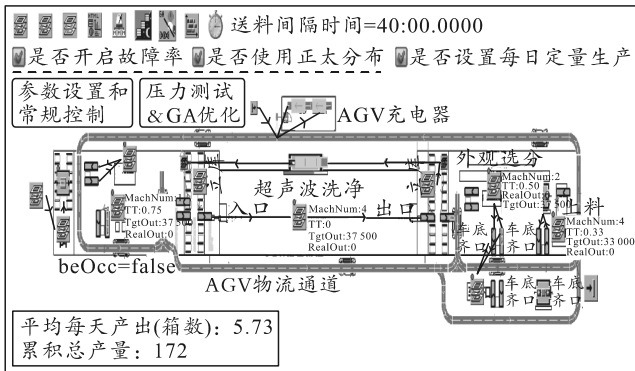
方案 A-2: 如图 7(b)所示,在方案 A-1 的基础上增加规划了 3 个 AGV 的等待点位置,当 AGV 在完成搬运任务后,如果当前没有可执行的任务,则前往相应的等待点候命,在壳多工位加工卸载完后,前往等待点 1 候命,在 K2 卸载完后前往等待点 2 候命,在车底齐口、线边缓存和光电检测卸载完,前往等待 3 候命。

方案 B-1: 如图 7(c)所示,在方案 A-1 的基础上将 AGV 轨道调整为 2 个封闭环道,分别围绕左右两边的加工中心区域。同时将充电区的位置分布规划在 2 个环道的两侧,供 2 台 AGV 分别使用。AGV1 只负责壳多工位加工所在区域的环道搬运任务,在闭环内逆时针方向运输搬运;AGV2 只负责车底齐口所在区域的环道搬运任务,在闭环内逆时针方向运输搬运。当没有可执行的搬运任务时,AGV 则前往充电区候命等待并充电。

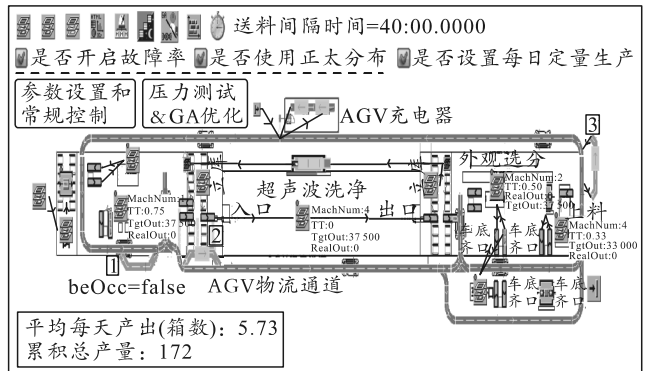
方案 B-2: 如图 7(d)所示,在方案 B-1 基础上

增加规划了 2 个等待点，分别位于 2 个环道两侧，2 台 AGV 分别负责 2 个独立的环道逆时针运行，当没有可执行的搬运任务时，AGV 在完成卸载的位置

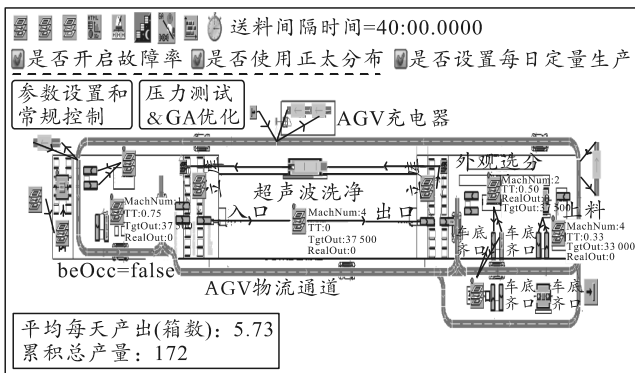
原地候命等待。当 AGV 从充电区出来后，前往对应的等待点候命或者读取执行任务，AGV1 前往左侧环道等待点，AGV2 前往右侧环道等待点。



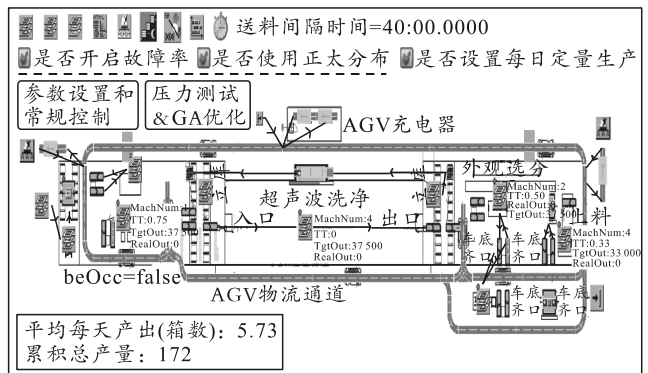
(a) 方案 A-1 的模型界面



(b) 方案 A-2 的模型界面



(c) 方案 B-1 的模型界面



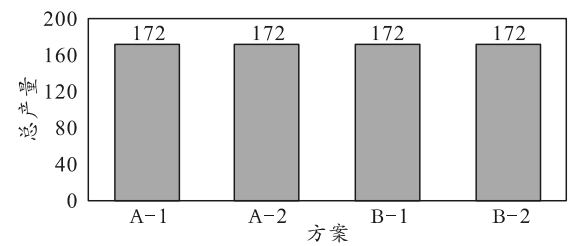
(d) 方案 B-2 的模型界面

图 7 仿真模型运行

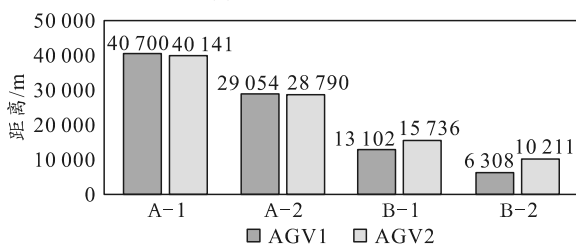
### 4 仿真结果分析

采用 Display 统计工具，设置输出路径为 Drain.statNumOut，以箱计数，对零件源输出端产量进行统计。图 8 给出仿真周期内 4 种不同物流配送方案下的 2 个维度统计结果。

通过图 8 可以看出：各方案的壳总产量均为 172 箱，但 AGV 的总搬运距离相差较大，其中 A-1 方案中 2 台 AGV 各搬运距离相差不大，是 4 种方案中的最大值；而当增加规划了 3 个 AGV 的等待点位置后，2 台 AGV 无需再回到充电区域，直接在等待区进行等待，相比方案 A-1 搬运距离有所减少；而在 B-1 方案中，由于新增路径为 2 个不干涉的闭环运输区域，使得各自输送区域距离收紧，当 AGV 在完成搬运任务后减小到了 28 838 m；方案 B-2 由于设置 2 个独立环岛，AGV 可在卸货位置原地等待，无需返回充电区域，相比方案 B-1 搬运距离减小了 42.7%，搬运距离相比最小。通过比较得出，B-2 总体方案最优。



(a) 产出量比较



(b) AGV 搬运距离比较

图 8 仿真结果统计

### 5 结束语

利用 Plant simulation 仿真软件，建立模块化、多层次的建模单元，在车间规划阶段可对弹部件生产线整个工艺流程和物料配送过程进行仿真与优化设计，可以得出以下结论：

- 1) 笔者建立的模型参数可直观地对各工艺数

据和物料参数进行快速配置，易用、灵活；

2) 通过实施物流仿真，提高了车间规划设计的效率，降低了管理和调试难度，为企业规避风险、运筹规划提供了可靠支持，可面向军工行业生产线建设进行推广应用。

参考文献：

[1] 徐曼菲, 吴跃, 邱枫. 面向军工行业数字化生产线建模仿真与优化技术[J]. 兵工自动化, 2019, 38(2): 35-40.

[2] 雷明达. 船舶分段车间物流优化与仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.

[3] 崔晶, 李慧. 基于 Plant Simulation 的航空复合材料生产线工艺布局仿真建模及评估[J]. 航空制造技术, 2019, 62(4): 56-62.

[4] 李琦, 王伟锋, 刘春鹏, 等. 汽车轮胎压装生产线的物

流仿真与优化[J]. 物流技术, 2019, 38(5): 122-126.

[5] 陈军, 孙技伟, 杨毅. 基于仿真决策的飞机总装脉动生产线规划与运行优化关键技术[J]. 航空制造技术, 2018, 61(12): 40-45.

[6] 陶俐言, 王志峰, 聂清, 等. 面向数字化工厂的车间布局与生产线仿真研究[J]. 杭州电子科技大学学报(自然科学版), 2014, 34(6): 1-7.

[7] 王涛. 发动机装配线工序优化和平衡[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.

[8] 舒新伟. 矿用自卸车售后服务对设备可开动率的影响分析[J]. 铜业工程, 2019(2): 40-42.

[9] 闫华. 空空导弹外场故障决策与维修支援系统研究[J]. 测控技术, 2017, 36(6): 146-149.

[10] 李海清, 朱永国, 杨洁. 基于威布尔分布最小二乘法估计的数控机床故障间隔时间研究[J]. 制造技术与机床, 2019(6): 89-92.

(上接第 66 页)

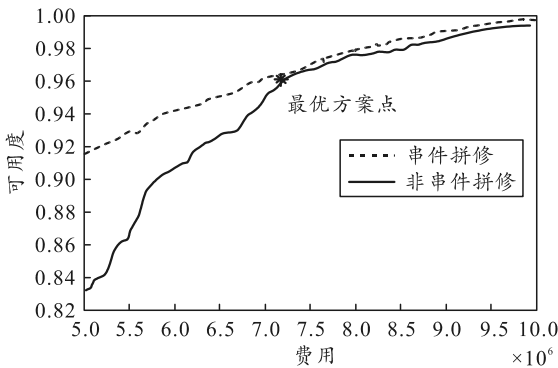


图 2 器材保障费用水平限制下的费效

如图 3 所示，通过比较串件拼修和非串件拼修的测控装备维修保障总体费效曲线，表明了采用串件拼修策略可获得较高的维修保障费效水平，这一结果也与实际情况保持一致。

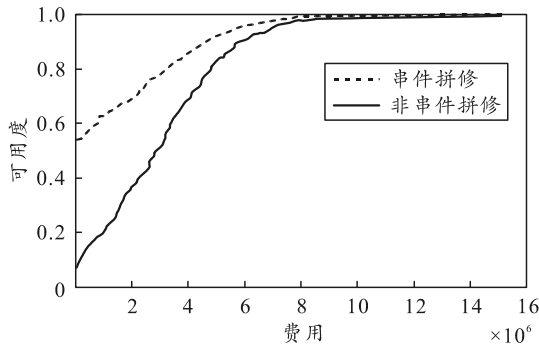


图 3 测控装备维修器材总体费效

5 结束语

通过改进的 PSO 求解测控装备多级库存优化模型，得出测控装备单器材保障费用水平限制下的费效曲线与测控装备维修器材总体费效曲线的计算结果，均与实际情况相符合，表明笔者采用改进的 PSO 求解方法基本可信。同时，改进 PSO 算法在计算时间上有着较为明显的优势，可为航天测控装备维修资源的进一步优化提供支撑。

参考文献：

[1] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, 1995.

[2] P S S, P S, V K J. Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 188(1): 129-142.

[3] 刘振林, 唐苏妍, 葛伟. 创造性思维粒子群优化的武器目标分配[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(3): 4-9.

[4] M C, X L, X Z. A novel particle swarm optimizer hybridized with extremal optimization[J]. Applied Soft Computing, 2010, 10(2): 367-373.

[5] 包磊, 李庆民, 杨平律. 带冗余度的舰艇随行备件库存优化模型[J]. 海军工程大学学报, 2012, 24(5): 31-34.

[6] SHERBROOKE C C. 装备备件最优库存建模: 多级技术[M]. 贺步杰, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008: 117-120.