第32卷第1期 西华大学学报(自然科学版) 2013年1月
Vol. 32, No. 1 Journal of Xihua University · Natural Science Jan. 2013

·机电工程·

电动移动式货架作业效率仿真分析

黎青松,潘 恒,梁 涛,杨 伟
(西华大学交通与汽车工程学院,四川 成都 610039)

摘 要: 电动移动式货架具有节省空间的优点,可用于存货品种少、存储容量大的工业仓库中。为探讨仓库作业效率与存储能力之间的冲突是否限制移动式货架的使用问题,文章以某医药行业电动移动式货架为例进行了仿真分析。基于 Witness 的仿真模型对5类不同场景的分析表明:库内存在较为严重的拥堵和排队,其严重程度与拣选策略和货位分配有关;低 SKU 及低频作业品项可能决定整个仓储系统的作业效率。

关键词: 仿真;电动移动式货架;存储能力;拣货效率
中图分类号: F253.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-159X(2013)01-0097-04
doi: 10.3969/j.issn.1673-159X.2013.01.019

Efficiency Simulation for Electronic Mobile Rack

LI Qing-song, PAN Heng, LIANG Tao, YANG Wei
(*School of Traffic and Automotive Engineering, Xihua University, Chengdu* 610039 *China*)

Abstract: Mobile racks are broadly used in warehouses, especially in those with low items and large stock-keeping unit (SKU). However, contraction between storage capacity and rack efficiency may restrict the usage of mobile racks. Such an example in medicine industry is offered in this paper. Using Witness simulation software, a model is developed for medicine warehouse with mobile rack system. Simulations are executed to analyze rack efficiency in five different scenarios. All scenarios embody more or less low efficiency and long line in front of buffers. Results indicate that efficiency relies on policies of order-picking and space allocation. It can also be concluded that the minority items of small quantities and low frequency may decide the performance of the whole system.

Key words: simulation; electronic mobile rack; storage capacity; rack efficiency

电动移动式货架具有节约空间的优势,从而在品种少、存储量大的仓库中被广泛使用[1-3],其作业效率也曾有学者探讨[4-6]。无论是运用仿真的方法,还是优化的方法,其主要结论都肯定其适用性。然而,即便存货完全是典型的少品种、大库存,频繁的出入库作业也可能导致仓储系统崩溃。本文以医药行业的一个实例为对象对电动移动式货架作业效率进行仿真分析。

1 电动移动式货架系统概述

某医药企业是亚洲最大的医用输液产品制造企业之一。企业拟在工厂库房原址上建设电动移动式货架,以满足生产规模扩张的存货需求。库房面积为24 838.6 m^2,新仓库按城市规划要求限高14.3 m,设计存储能力达到168万件,采用托盘存放,每托盘47件,吞吐能力达到182托/h。企业生产产品约400个品项,日均生产能力达4.4万件,高峰日生产能力达7.5万件。生产线上缓冲工位可以实现产成品入库作业均衡化。出库作业因外部交通运输环境的不均衡,波动较大,日出库高峰达到9万件。每日生产作业也不均衡,小时作业数见表1。典型月份入库作业品项及数量见图1,出库订单及出库数量分布见图2。

收稿日期:2012-02-24
基金项目:四川省青年基金项目(08ZQ026-009);四川省教育厅资助项目(R0720305)
作者简介:黎青松(1979-),男,教授,博士,主要研究方向为物流系统分析与优化。

表 1 出库作业

时段	出库件数	小时作业托盘数
2:00 – 8:00	14 000	70
8:00 – 16:00	33 000	123
16:00 – 2:00	43 000	128

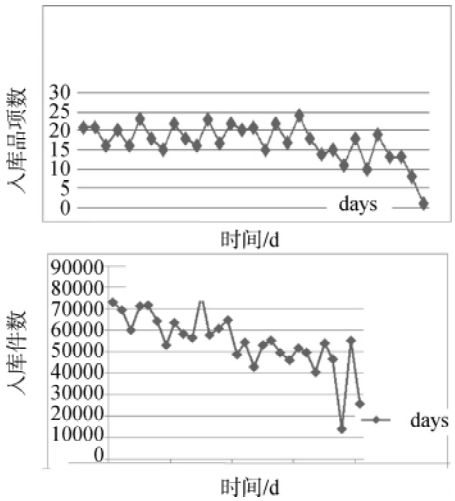

图 1 典型月份入库品项数及件数

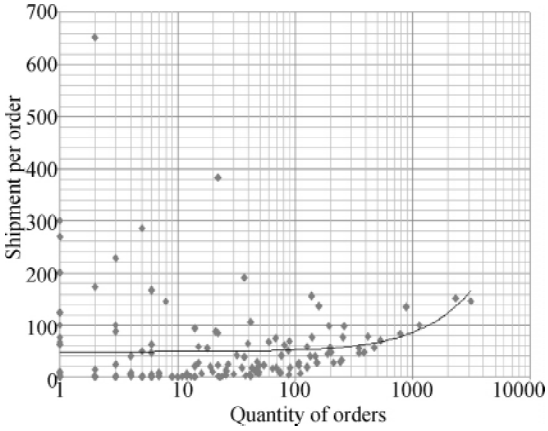

图 2 订单数量与品项关系

供应商提供的电动移动式货架系统平面布置见图 3。库房内部分隔为阴凉库和常温库。规划 16 组货架: 阴凉库 5 组、常温库 11 组。每组货架长宽高为 16 ×8 ×4,货格高度设计为 12 m,主通道宽为 7.5 ~9.2 m。沿东西向布置货架移动轨道。出入库作业入口分离。东西两端入口供入库作业使用,中间月台供出库作业使用。

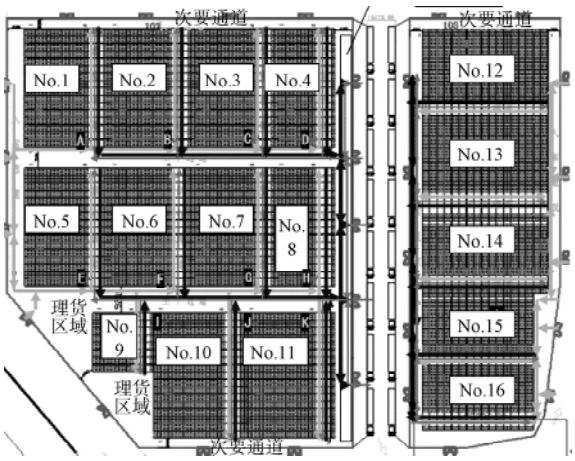

图 3 电动移动式货架平面布置图

2 仿真模型

本文运用法国 Lanner Group 公司 Witness 软件作为仿真平台。

2.1 假设

本文仅分析库内作业,故月台作业能力不考虑,假定能满足需求。基于同样原因,不考虑产品替换,不区分阴凉库以及常温库,其区别仅在于作业距离。订单按所需托盘数分解至作业单(本文仍称之为订单),每订单作业数量不足一托盘容量的,存在返库作业,依据统计分析,取 40% 的订单存在返库作业。

鉴于 20% 的品项占据 85% 的货架,主要品项存于多个货架组,因此可以采用随机存取。出库作业优先于入库作业。拣货作业货位指定策略有: 考虑所需品项占据的空闲货架组(当前未安排移动作业); 随机指定; 前两者的组合。

2.2 模型与关键参数

Witness 仿真模型见图 4。依前述设计要求以及统计分析,定义出入库作业分布形态及关键参数见表 2、表 3。叉车数量不预先指定,仿真过程中动态调整,以不成为作业瓶颈为宜,以便充分发挥货架作业效率。一个叉车作业周期分为装载运行、空载运行和货架移动 3 个阶段。前 2 阶段都不包含在货架通道内的时间。最后阶段指货架移动,留出通道,叉车进入拣选货物,驶离通道这一过程。各阶段所需时间考虑各相关部件走行速度和距离,如表 4 所示。

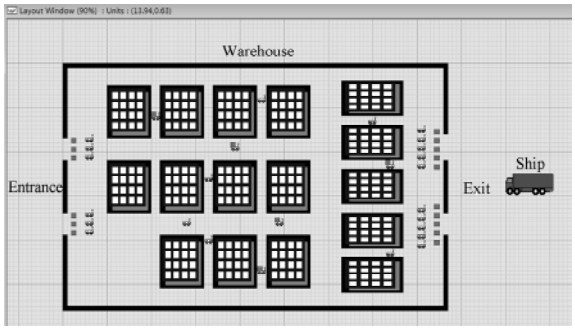

图 4　Witness 仿真模型

表 2　日作业量概率分布

作业类型	平均到达间隔/min	概率分布
入库	0.903	Uniform(0.803,1.003)
高峰日出库	0.468	Erlang(0.468,4)
平峰日出库	0.645	Negexp(0.645)

表 3　一天内不同时段出库作业

时段	平均到达间隔/min	概率分布
2:00 – 8:00	0.857	Negexp
8:00 – 16:00	0.488	Erlang(4)
16:00 – 2:00	0.469	Negexp

表 4　叉车及货架作业时间

阶段	时间/min	概率分布
装载运行	1.31	Uniform(0.8,1.82)
空载运行	1.01	Uniform(0.5,1.52)
货架移动	4.579	Uniform(2.45,6.71)

2.3　关键性能指标

时间指标: 出/入库作业周期(cycle length of inbound/outbound, CLI/CLO) 含等待时间。

利用率指标: 叉车空闲率,空闲叉车占总数的比(idle ratio of forks, IRF); 统计入库/出库作业叉车空闲率(IRFI/IRFO); 作业叉车等待率(ratio of forks waiting for racks, RFW),作业叉车等待货架作业的比率; 入库作业和出库作业(RFWI/RFWO); 货架利用率(ratio of working racks, RWR),某一时刻处于作业状态的货架组比率; 货架空闲比率(ratio of idle interval of rack, RIR),一天中货架组空闲时间占比。

吞吐能力指标: 入/出库作业能力(capability of inbound/outbound, CI/CO)、每日入/出库作业托盘数。

服务水平指标(service level indicators): 入/出库排队长度(length of queue inbound/outbound, LQI/LQO); 入/出库作业中等待处理的托盘数/订单数,其最大值用 MLQI/MLQO 标记。

2.4　场景设置

设置 5 个不同场景以观察移动式货架作业性能。不同场景观察重点因评估与场景特点不同而有所区别。

最好场景: 该场景假定所有品项库存数量远超货架组数,订单拣选策略以及货位分配策略足够好,以致每一组货架存储了所有品项,从而货架效率能够发挥到极致(意味着只要货架没有空闲就不会出现排队),订单拣选效率优先,不考虑公平性(意味着可能出现部分低频作业品项排队时间过长的情况)。

最差场景: 与最好场景相反,出入库订单作业顺序遵循先进先出原则,公平优先,拣选货位的选择随机处理,存储货位采取固定式,但不考虑药品批号,即不同批号的同一药品按同一品项处理。

高峰日最好场景: 最好场景的高峰日版本,重点关注服务水平指标。

高峰日最差场景: 最差场景的高峰日版本,重点关注货架组数设置对服务水平的影响。

高峰日一般场景: 前述各场景均为理想状态,本场景依然关注高峰日的实际性能指标,但考虑实际订单分布特性,因而更接近实际情况,故称之为一般场景。鉴于库存低的品项及其出入库频率对作业效率影响可能较大,该场景中按照库存品项占据的货架组数及其吞吐量对库存品相进行分类,统计结果见表 5。

表 5　4 类品项参数

类别	吞吐量占比/%	常温库存货货架组数	阴凉库存货货架组数
A	65	11	5
B	20	6	3
C	10	2	2
D	5	1	1

3　指标分析

3.1　最好场景与最差场景分析

配置 40 辆叉车、16 组货架。叉车统一调度,不

区分出入库作业，取平峰作业需求。主要参数对比 如表 6 所示。

表 6 最好场景与最差场景性能指标对比

指标	CL/min	IRF/%	RFW /%	RWR /%	RIR /%	CI + CO/pallets
最好场景	28.07	40.58	19.21	98.66	1.34	4 965
最差场景	28.24	53.43	50.35	77.27	22.73	3 891

注：CL 为 CLI and CLO 的综合；CI + CO 为 CI 与 CO 之和。

仿真表明，最好场景中到达时间间隔最大为 0.29 min。与最好场景比较，最差场景中损失 22% 吞吐能力，且在保证入库作业完成的前提下 24 h 内积压了 14.4% 的出库订单，作业周期指标为最好场景的 195%。为评估叉车数量对效率的影响，在最差场景中模拟了不同的配置数量，主要指标见表 7。结果表明，货架效率的提高依赖于叉车配置的显著增加，但仍然无法满足作业需求，且巷道将被阻塞。

表 7 叉车数量对效率的影响

叉车数	CI + CO	Lack rate/%	RWR/%	IRF/%
20	3 200	25.50	63.55	0.00
40	3 891	7.90	77.27	3.07
80	4 114	2.70	88.99	4.40

3.2 高峰日最好场景与高峰日最差场景分析

出入库各配置 40 辆叉车，不考虑巷道交通阻塞状况。高峰日最好场景配置 16 组货架，关键指标见表 8。由表可知，基本满足需求，但 MLQO = 63 pallets 表明服务水平低下，难以令人满意。

表 8 高峰日最好场景关键指标

性能指标	CLI/min	CLO/min	IRFI/%	IRFO/%	RFWI/%	RFWO/%	RWR/%	RIR/%	CI/pallets	CO/pallets	LQI/pallets	LQO/pallets	MLQI/pallets	MLQO/pallets
高峰日最好场景	7.4	9.4	48.7	29.9	3.6	6.11	84.7	15.4	1 596	2 680	0	3.48	1	63

表 8 的仿真结果表明，高峰日最差场景无法满足需求，故重点分析货架组数对效率的影响。提高货架组数意味着增加巷道数，降低存储能力，关键指标见表 9。由表 9 仿真结果表明，牺牲较大的存储能力换来的吞吐能力提高却并不显著。

表 9 货架组数对效率的影响

货架组数	存储能力/$\times 10^3$ pcs	存储能力损失比例/%	吞吐能力	吞吐能力不足比例/%
16	1 640	2.3	3 128	26.86
18	1 570	6.5	3 147	26.42
20	1 490	11.3	3 150	26.35

3.3 高峰日一般场景分析

电动移动式货架性能介于高峰日最好场景与最差场景之间。前述分析表明，前者基本满足需求，后者明显不足；因此，需进一步分析拣选策略与货位分配对效率的影响。影响程度必然与订单和存货结构有关，故按照表 5 对库存品项和订单结构展开仿真。

高峰日一般场景关键指标见表 10。吞吐能力接近最好场景；然而，叉车空闲率过高，等待货架的叉车数过多，出入库订单/产成品排队长度以及最大长度及其延续时间过长，这表明服务水平难以忍受。

表 10 高峰日一般场景关键指标

性能指标	CLI/min	CLO/min	IRFI/%	IRFO/%	RFWI/%	RFWO/%	MFW/pcs	RWR/%	RIR/%	CI/pallets	CO/pallets	LQ/pallets	MLQ/pallets
高峰日一般场景	17.6	39.4	39.0	17.0	13.27	19.0	18	84.5	15.49	1 594	2 676	35.5	206

注：MFW 为等待作业的最大叉车数。

（下转第 104 页）

数组;

8) RcvData(COM_ARR_B_1_512) 接收数组;

9) RcvBufferLength(UINT) 接收到的数据长度;

10) RcvBufferNotEmpty(BOOL) 当接收缓存不为空时间,数据可以被读取;

11) AddData(COM_UDT_RS485P_Data_V1) 输出参数诊断的结构化变量。

5 结论

本文设计的高速公路隧道多状态监控系统进行了现场调试,其调试结果表明: 德国菲尼克斯可编程控制器完全实现了对隧道内照明灯具、交通车道引导控制指示器、交通信号灯、射流风机的控制; 3 个功能块很好地实现了将隧道内的采集数据通过 PLC 上传到上位机的功能。

参 考 文 献

[1] 德国菲尼克斯(phoenix) 公司. IB IL RS422/48 5 - PRO 手册[M]. 南京: 菲尼克斯公司,2008: 5 - 23.

[2] 马新,田振云. PHOENIX IB IL_AI_8/SF 模 板在 ILC 200 UNI 上的应用[J]. 计算机控制技术,2008(3) : 64 - 66.

[3] 刘晓清,杨梅. 基于 RS485 的 PLC 集散控制系统的通信设计[J]. 北京印刷学院学报,2008(8) : 52 - 55.

[4] 陈树亮,张寿明. 用 VC + + 实现上位机与菲尼克斯 PLC 之间的通信[J]. 工业控制计算机,2009(12) : 23 - 24.

[5] 孟秀玉,田海滨. PROFIBUS 和组态王软件在药品包装生产线监控系统中的应用[J]. 装备制造技术,2008(1) : 68 - 69.

[6] 熊琦. 隧道式酸洗磷化生产线及电气控制[J]. 金属制品,2009(1) : 43 - 45.

[7] 张浩,马玉敏,杜品圣. INTERBUS 现场总线与工业以太网技术[M]. 北京: 机械工业出版社,2006: 120 - 160.

[8] 德国菲尼克斯(phoenix) 公司. IB IL AI8 手册[M]. 南京: 菲尼克斯公司,2008: 1 - 9.

(编校: 饶莉)

(上接第 100 页)

4 结论

通过电动移动式货架仿真实例表明,其适用性必须考虑拣选效率,而移动式货架的作业效率依赖于拣选策略与货位分配。仿真结果还表明,占存货少数的低频作业品项可能决定整个移动式货架系统的适用性。

参 考 文 献

[1] Timm Gudehus, Herbert Kotzab. Comprehensive Logistics [M]. Beijing: Springer,2009: 466.

[2] Gu Yan, Xiao Shengling, Mu L. Discussion on the Rack of Mobile Stock Location of AS/RS [J]. Forest Engineering, 2007(4) : 34.

[3] Wu Zhongming, Ju Quanyong, Zhi Shuya ,et al. Research on the Rack Mobile Stock Location of Automatic Storage [J]. Value Engineering, 2010(31) : 124.

[4] Macro J G, Salmi R E. A Simulation Tool to Determine Warehouse Efficiencies and Storage Allocations [J]. Proceedings of the Winter Simulation Conference ,2002, 2: 1274 - 1281.

[5] Lee S G, Souza R de, Ong E K. Simulation Modelling of a Narrow Aisle Automated Storage and Retrieval System(AS/RS) Serviced by Rail - guided Vehicles [J]. Computers in Industry, 1996, 30(3) : 241 - 253.

[6] Meir J. Rosenblatt, Yaakov Roll. Warehouse Capacity in a Stochastic Environment [J]. International Journal of Production Research, 1988, 26(12) : 1847 - 1851.

(编校: 饶莉)