

文章编号: 1004-4353(2020)01-0085-05

# 基于 Petri 网的危险品出入库流程 建模优化

蔡婷婷, 刘祥伟

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 针对危险品出入库流程中存在的安全隐患问题,提出了一种基于 Petri 网的危险品出入库流程模型的优化分析方法. 首先介绍了 Petri 网的基本概念;然后在确保出入库流程安全的前提下,通过增加、删除、合并变迁等方法对出入库流程进行了建模优化;最后利用 PIPE 软件对优化后的模型进行了模拟运行,结果表明本文方法能够有效提高危险品出入库的安全性和高效性.

**关键词:** Petri 网; 危险品; 出入库流程; PIPE 软件; 建模优化

**中图分类号:** TP391.9

**文献标志码:** A

## Modeling and optimization of inbound and outbound processes of dangerous goods based on Petri net

CAI Tingting, LIU Xiangwei

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** Aiming at the hidden dangers in the process of dangerous goods entering and leaving the warehouse, this paper proposes an optimization analysis method based on Petri net for dangerous goods inbound and outbound process model. Firstly, the basic concept of Petri net is introduced. Then, under the premise of ensuring the safe inbound and outbound process, the inbound and outbound processes are modeled and optimized through methods such as adding, deleting, and merging transitions. Finally, the PIPE software is used to simulate the optimized model. The results show that the proposed method can effectively improve the safety and efficiency of dangerous goods entering and leaving the warehouse.

**Keywords:** Petri net; dangerous goods; inbound and outbound processes; PIPE software; modeling optimization

## 0 引言

随着我国化工业的不断发展,我国目前已经成为危险品生产及应用大国,但对于危险品的管理方面还存在诸多问题,给社会带来了安全隐患. 如天津港“8·12”特大火灾爆炸事故不仅造成了巨大的人员伤亡和财产损失,还对周边环境造成了污染,而产生事故的直接原因就是仓储公司违规储存危险货物,导致危险品爆炸和燃烧<sup>[1]</sup>. 因此,加强危险品的仓储管理对保证社会安全具有重大意义. 危险品出入库环节是危险品仓储管理的关键环节之一,若在这一环节中未按规定操作,不仅影响危险品出入库的效率,而且还会引起安全问题,因此研究危险品出入库流程具有重要意义. 目前,研究业务流程的方法通常

收稿日期: 2019-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61402011)

作者简介: 蔡婷婷(1995—),女,在读硕士研究生,研究方向为物流系统规划设计.

采用流程图建模法、角色行为图法、IDEF 法、Petri 网法、ARIS 法等,其中 Petri 网因其具有强大的图形表达能力和严谨的数学分析能力被广泛使用.例如:文献[2]运用 Petri 网构建了门诊流程优化模型,并通过门诊实例验证了优化模型的有效性;文献[3]针对制造行业的产品个性化定制需求,提出了一种将面向目标的需求和 Petri 网结合起来的方法,并通过实例说明了该方法;文献[4]针对患者就医时重复抽血化验的问题,提出了一种基于 Petri 网的医疗流程模型的优化分析方法,该优化模型可有效改善医疗流程;文献[5]运用 Petri 网构建了采购流程模型,并通过仿真软件对模型进行对比分析找出了流程中的瓶颈环节;文献[6]提出了一种基于 Petri 网行为轮廓的网上购物流程挖掘方法,并通过实例分析验证了方法的可行性.目前利用 Petri 网对危险品仓储管理方面的研究较少,如贾晔清运用 Petri 网构建了一种新的危险品入库系统,该系统有助于缓解入库的安全风险<sup>[7]</sup>;李玉民等运用 Petri 网对危险品出入库流程进行了建模,并通过 ExSpect 软件分析了出入库流程的总周期,提出了一些节省时间的措施<sup>[8]</sup>.但目前还没有学者对危险品出入库整个流程的可达性和安全性进行分析,基于此本文以自由选择网为基础,结合 Petri 网对某危险品物流企业出入库流程进行建模,并利用 PIPE 软件对优化后的模型进行验证.

## 1 基本概念

**定义 1**<sup>[9]</sup>(流程模型 Petri 网) 设四元组  $PN = (P, T, F, M)$ , 其中:

1)  $P$  为有限库所组成的集合,  $T$  为有限变迁组成的集合;

2)  $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset, P \cap T = \emptyset, P \cup T \neq \emptyset$ ;

3)  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  为输出函数和输入函数的集合;

4)  $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$ , 其中  $\text{dom}(F)$  是由  $F$  所含有有序偶的第 1 个元素组成的集合,  $\text{cod}(F)$  是由第 2 个元素组成的集合, 即  $\text{dom}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (x, y) \in F\}$ ,  $\text{cod}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (y, x) \in F\}$ ;

5)  $M = \{\text{and}, \text{xor}, \text{or}\}$  是流程网的结构类型.

可见,网  $PN = (P, T, F, M)$  中的基本元素是  $P$  和  $T$ , 一般用  $\bigcirc$  和  $\square$  表示.

**定义 2**<sup>[10]7</sup>(变迁发生规则) 一个四元组  $PN = (S, T, F, M)$  被称为 Petri 网, 当且仅当满足下列条件:

1)  $M$  为标识,  $M_0$  为初始标识.

2) 变迁  $t \in T$  具有发生权,  $\leftrightarrow: \forall p \in t: M(p) \geq 1$ , 记作  $M[t >$ .

3) 在标识  $M$  下使得变迁  $t$  发生后, 得到一个新的标识  $M'$ , 记作  $M[t > M'$ . 对  $\forall s \in S$ , 则有:

$$M'(s) = \begin{cases} M(s) - 1, & \text{若 } s \in \cdot t - t \cdot; \\ M(s) + 1, & \text{若 } s \in t \cdot - \cdot t; \\ M(s), & \text{其他.} \end{cases}$$

**定义 3**<sup>[10]27</sup>(可达性) 已知 Petri 网  $PN = (P, T, F, M)$ , 若  $\exists t \in T$ , 使得  $M[t > M'$ , 则称  $M'$  为从  $M$  直接可达的; 如果存在变迁序列  $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  和标识序列  $\{M_1, M_2, \dots, M_k\}$  使  $M[t_1 > M_1[t_2 > \dots M_{k-1}[t_k > M_k$ , 则称  $M_k$  为从  $M$  可达的. 从  $M$  可达的所有标识集合记为  $R(M)$ , 约定  $M \in R(M)$ .

## 2 基于 Petri 网的危险品出入库流程建模优化

针对某危险品物流企业在危险品出入库过程中出现的安全隐患问题, 本文建立一个基于 Petri 网的危险品出入库流程模型(下文简称“原模型”), 如图 1 所示. 模型的流程主要分为入库流程和出库流程, 各流程由算法自动识别并传达给仓库的相关部门.

入库的流程为:①仓库管理部门接受入库信息后,制定计划并通知仓库人员做好入库准备.②仓库主管与送货人进行交接并核对入库单,若信息有误,则拒绝入库;若信息无误,则仓库主管签字并同意车辆入库.③车辆到达入库等待区以后,通过调度中心查看卸货作业区作业情况,若卸货作业区繁忙,则依次排队等待,直到空闲允许车辆入内.④货品全部卸载完成后,验收人员核对入库货物信息并检验货物数量、包装和安全标志,若检验合格,则直接入库;若不合格,则把货品运至不合格暂存区存放.⑤货品入库完成后,管理部门录入存储信息并更新货位信息.⑥各部门清理运输工具和现场,入库作业完成.

出库的流程为:①仓库管理部门收到出库信息后先审核信息,若信息有误,则拒绝发货;若信息无误,则根据提货单信息打印双份发货单,一份交给提货人员,一份公司留存.②提货人员将发货单交给仓库主管,仓库主管进行信息核对,无误后按照发货单装载货物.③装载完成后,仓库主管对货品数量和装载设备进行复核,若有误,则重新处理;若无误,则提货人可以直接领取出库单与出门凭证.④领取完毕后,提货人员对货物进行清点交接.⑤交接完毕后,管理部门更新库存信息,出库作业完成.

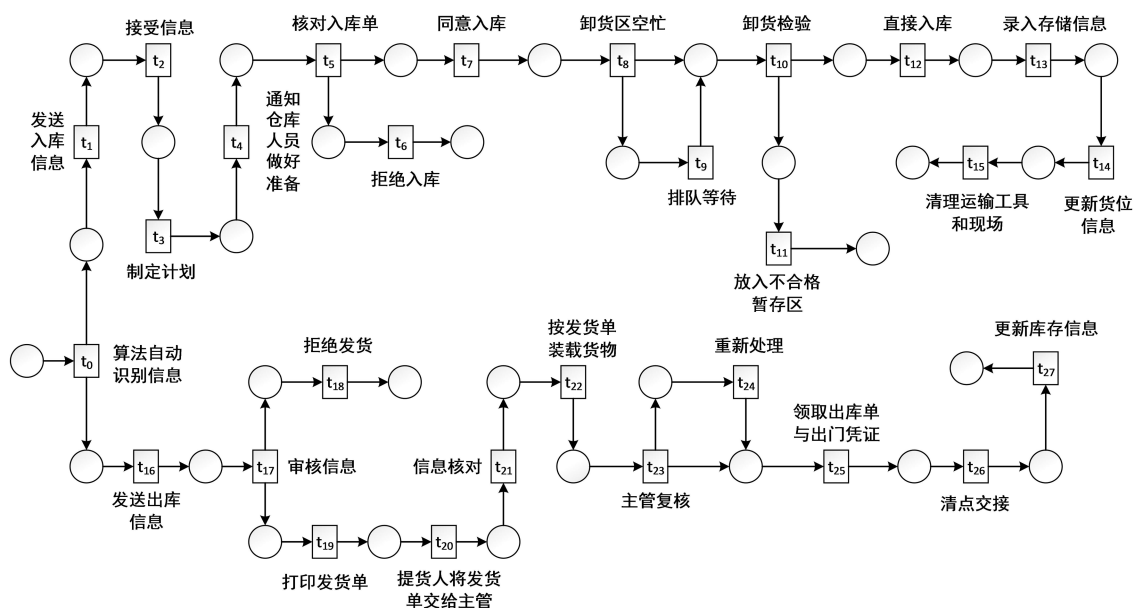


图 1 某危险品出入库流程的原模型

从原模型可以看出,危险品在出入库流程中存在以下问题:①检验合格的危险品未经分类就直接入库存放,有可能把相互之间易产生化学反应的危险品错放在一起,从而引发安全事故.②检验不合格的危险品未采取任何防护措施就直接堆放在不合格暂存区,存在极大的安全隐患,如有毒气体泄露等.③管理部门打印发货单前未查看库存信息,若库存量低于订单量,则无法按时发货.④信息核对完成后直接按照发货单装载货物,有可能导致包装不良或性质变异的货物出库.⑤货品装车前未检查危险品运输车辆是否符合国家相关安全规定.⑥主管复核时未核查提货人的相关资质及证明,无法保证危险品的流向安全.

基于上述问题,本文结合文献[11]所提出的危险品的安全管理方法,从以下 6 个方面对原模型进行优化:①增加入库管理货区,将危险品按性质进行分区、分类、分库存放;②发现不合格危险品及时向仓库主管报告,并及时做好标识、分类、隔离等防护措施,同时在入库单上注明货品问题;③打印发货单前要查看库存信息,库存不足时及时调货;④增加出库备货区,出库前工作人员要检查货品包装是否完好,保障装卸安全;⑤检查运输车辆是否符合国家相关规定,防止运输途中货品和车辆发生意外;⑥核查提货人的资质证明,登记提货人的详细资料和记录危险品的流向.优化后的模型如图 2 所示.

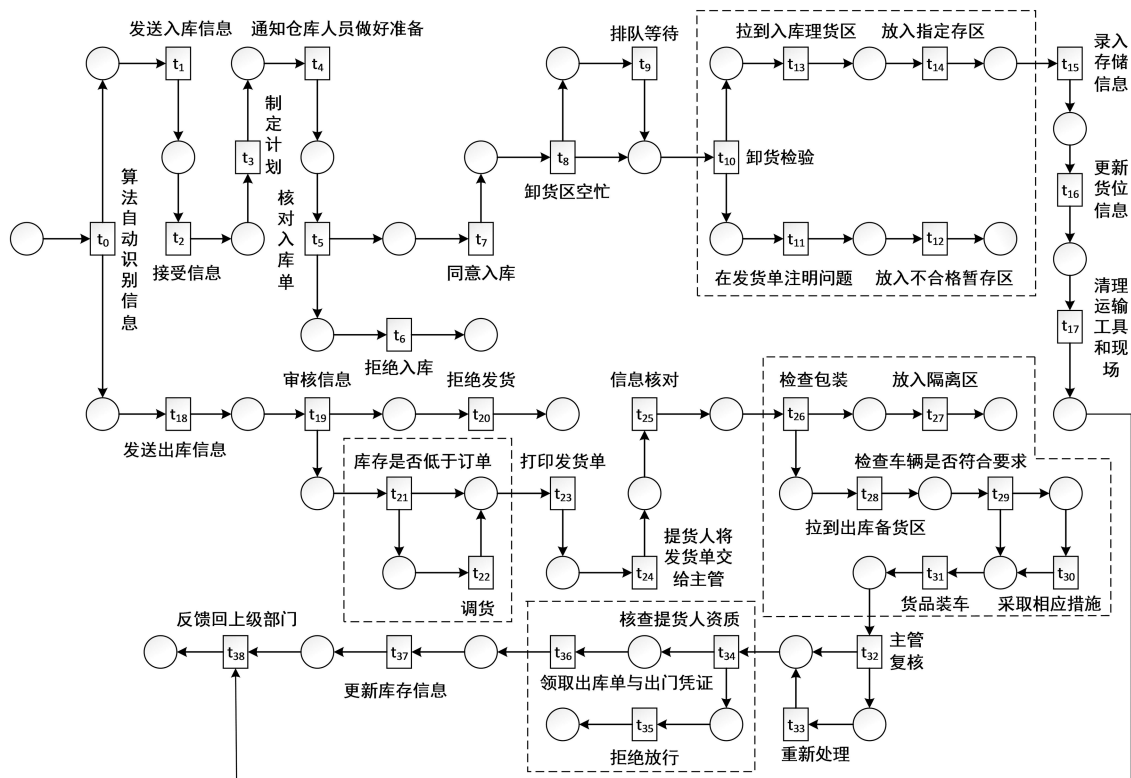


图 2 某危险品出入库流程的优化模型

### 3 优化模型的检验

为了检验优化模型的可行性,利用 PIPE 软件对模型进行模拟运行,运行结果如图 3 所示.对优化模型进行状态空间分析的结果如图 4 所示.由图 4 可知,图 2 所示的 Petri 网优化模型是有界的、安全的、无死锁的.这表明,图 2 所示的 Petri 网优化模型能够减少危险品出入库流程中的安全隐患,提高危险品出入库的效率.

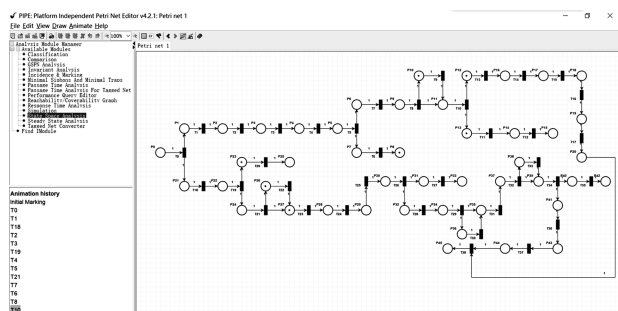


图 3 优化模型在 PIPE 软件中的运行结果

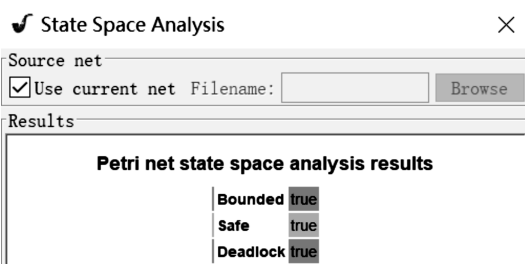


图 4 优化模型在 PIPE 软件中运行后的状态空间

### 4 结束语

本文基于 Petri 网,通过新增、删除、合并变迁的方式对某企业的危险品出入库流程进行了优化.利用 PIPE 软件对所建模型进行模拟运行的结果表明,该模型可以有效减少危险品出入库流程中的安全隐患,提高危险品出入库的效率,因此具有一定的应用价值.由于危险品不同其出入库流程会有所不同,因此本文的模型具有一定的局限性.今后我们将结合更多的危险品的出入库流程,建立更加符合实际应

用的模型,以提高模型的适用范围。

## 参考文献:

- [1] 林洁. 海港悲歌:天津港“8·12”瑞海公司危险品仓库特别重大火灾爆炸事故[J]. 湖南安全与防灾, 2016(3):42-43.
- [2] 刘航,孙霞,王倩倩. 基于 Petri 网的门诊流程模型优化分析[J]. 绥化学院学报, 2019, 39(9):148-150.
- [3] JAVIER MARTINEZ SILVA, RAUL JAVALES, JOSÉ REINALDO SILVA. A new requirements engineering approach for manufacturing based on Petri nets[J]. IFAC-Papers OnLine, 2019, 52(10):97-102.
- [4] 杨皓然,姚瑶. 基于 Petri 网的医疗流程建模优化[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2018, 44(4):332-335.
- [5] 赵雨佳. 基于 Petri 网的 A 企业采购流程优化研究[J]. 内燃机与配件, 2019(19):175-176.
- [6] 王倩倩,王丽丽. 基于 Petri 网行为轮廓的网上购物流程挖掘方法[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2019, 45(1):75-79.
- [7] 贾晔清. 基于系统建模仿真的危险品仓储安全风险规避策略研究[C]//第三届(2008)中国管理学年会:信息管理分会场论文集. 北京:中国管理现代化研究会, 2008:1291-1298.
- [8] 李玉民,宋巍. 基于 Petri 网的化学危险品出入库流程的建模与仿真[J]. 物流技术, 2012, 31(15):262-264.
- [9] SMIRNOV S, WEIDLICH M, MENDLING J. Business process model abstraction based on behavioral profiles [C]//International Conference on Service-Oriented Computing. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010:1-16.
- [10] 吴哲辉. Petri 网导论[M]. 北京:机械工业出版社, 2006:1-28.
- [11] 王德学. 危险化学品安全管理条例释义[M]. 北京:化学工业出版社, 2002:1-35.

(上接第 39 页)

## 参考文献:

- [1] ANDERSON M H, ENSHER J R, MATTHEWS M R. Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor[J]. Science, 1995, 269:198-201.
- [2] HALL D S, MATTHEW M R, ENSHER J R, et al. Dynamics of component separation in a binary mixture of Bose-Einstein condensates[J]. Phys Rev Lett, 1998, 81(8):1539-1542.
- [3] KLAUS M. Bose condensate and Fermi gases at zero temperature[J]. Phys Rev Lett, 1998, 80(9):1804-1807.
- [4] SCOTT GRAEME. Efficient generation of nearly diffraction free-beams using an axicon[J]. Opt Eng, 1992, 31(12):2640-2643.
- [5] ARIT J, DHOLAKIA K. Generation of high-order Bessel beams by use of an axicon[J]. Opt Commun, 2000, 177(1/6):297-301.
- [6] MATTHEWS M R, ANDERSON B P, HALJAN P C, et al. Vortices in a Bose-Einstein condensate[J]. Phys Rev Lett, 1999, 83(3):2498-2501.
- [7] MODUGNO M, DALFOVO F, FORT C, et al. Dynamics of two colliding Bose-Einstein condensate in a elongated magnetostatic trap[J]. Phys Rev A, 2000, 62(6):063607(1-7).
- [8] PU H, BIGELOW N P. Collective excitation and nonlinear response of a trapped two-species Bose-Einstein condensate[J]. Phys Rev Lett, 1998, 80(6):1134-1137.
- [9] HALL D S, MATTHEWS M R, ENSHER J R, et al. Dynamics of component separation in a binary mixture of Bose-Einstein condensate[J]. Phys Rev Lett, 1998, 81(20):4531-4534.
- [10] KRAMER M, PITAEVSKII L, STRINGARI S. Macroscopic dynamics of a trapped Bose-Einstein condensate in the presence of 1D and 2D optical lattices[J]. Phys Rev Lett, 2002, 88(18):180404(1-4).
- [11] ZHOU X Y, MU A X, XUE J K. The stability of Bose-Einstein condensate in the shallow trap[J]. Chin Phys, 2007, 16(11):3197-3200.
- [12] SABARI S, RAJA R V J, PROSEZIAN K, et al. Stability of trapless Bose-Einstein condensates with two-and-three-body interactions[J]. J Phys B: At Mol Opt Phys, 2010, 43(12):125302.
- [13] ZHOU J W, LI X X, GAO R. Modulational instability of trapped two-component Bose-Einstein condensates[J]. Chin Phys Lett, 2019, 36(9):090302.
- [14] 陈海军,李高清,薛具奎. 变分法研究一维 Bose-Fermi 系统的稳定性[J]. 物理学报, 2011, 60(4):41-45.