



危险货物集装箱堆场智能选位模型

上港集团物流有限公司 周旭旻, 缪强
上海海事大学 沈阳, 李烨

近年来,随着世界经济和国际贸易的发展,危险货物集装箱运量显著增长,客观上导致危险货物集装箱运输和堆存的危险性增加。^[1]就堆场堆存环节而言,如果危险货物集装箱堆存不当,不仅不利于提高作业效率,而且很容易引发火灾、爆炸等重大安全事故,造成严重的人身伤亡、环境污染和财产损失。^[2]本文结合危险货物集装箱的堆存要求,构建危险货物集装箱堆场智能选位模型,并设计蒙特卡洛树算法求解,以期提高危险货物集装箱堆场选位效率,减少危险货物集装箱在堆场堆存过程中的安全隐患。

1 问题描述

随着社会经济的发展,危险货物种类越来越多。为了方便对危险货物实施管理,GB 6944—2012《危险货物分类和品名编号》根据危险货物的主要危险性质将危险货物分为9类:第1类,爆炸品;第2类,气体;第3类,易燃液体;第4类,易燃固体、易于自

燃的物质、遇水放出易燃气体的物质;第5类,氧化性物质和有机过氧化物;第6类,毒性物质和感染性物质;第7类,放射性物质;第8类,腐蚀性物质;第9类,杂项危险物质和物品。每种危险货物还可以根据其具体的危险性质进行细分。

由于危险货物种类繁多,加之每种危险货物可能具有多种危险性质,危险货物集装箱在堆场堆存的要求十分复杂。例如,危险货物集装箱在堆场堆存时必须按照《国际海运危险货物规则》的规定采取隔离措施,并且堆存高度不得超过2层。此外,危险货物集装箱在堆场堆存时还应遵循既分散又集中的原则:分散指同类集装箱分散在不同箱区堆存,以便实施多路发箱作业;集中指同一箱区内的同类集装箱集中堆存,以便减少跨运车、正面吊等装卸设备移动,从而提高作业效率。需要注意的是,感染性物质和放射性物质一般不在危险货物集装箱堆场堆存。

本文主要研究危险货物集装箱在堆场堆存时

的智能选位问题,即:在符合危险货物集装箱堆存规则的条件下,为危险货物集装箱选择发箱效率最高的场箱位。作为动态决策过程,危险货物集装箱堆场选位与其他待选位集装箱无关,仅考虑当前情况下待选位集装箱的选位问题。

2 模型构建

2.1 假设条件

为了方便建模,本文仅考虑危险货物集装箱堆场智能选位的一般情况。假设条件如下:(1)装卸设备无故障,且各个操作环节均正常;(2)堆存作业无难度;(3)危险货物种类单一;(4)在场箱均符合危险货物集装箱隔离要求;(5)危险货物种类及危险货物集装箱的质量和尺寸等条件已知。

2.2 符号定义

- (1) I 为当前待选位危险货物集装箱集合, $i \in I$ 。
- (2) J 为已堆存危险货物集装箱集合,即在场箱集合, $j \in J$ 。
- (3) K 为待选位危险货物集装箱堆存方式集合,分为上下堆存和左右堆存, $k \in K$ 。
- (4) B 为箱区贝位集合, $b \in B$ 。
- (5) s_j 为在场箱 j 所装危险货物的种类。
- (6) s_i 为当前待选位危险货物集装箱所装危险货物的种类。
- (7) V_{ij} 为 0-1 矩阵。若当前待选位危险货物集装箱 i 与在场箱 j 所属的船舶或货主相同,则 $V_{ij} = 1$; 否则, $V_{ij} = 0$ 。
- (8) S_{ij} 为 0-1 矩阵。若当前待选位危险货物集装箱 i 与在场箱 j 所装危险货物的种类相同,则 $S_{ij} = 1$; 否则, $S_{ij} = 0$ 。
- (9) Z_j 为 0-1 矩阵。若在场箱 j 所在箱区有现场作业,则 $Z_j = 0$; 否则, $Z_j = 1$ 。
- (10) D_j 为 0-1 矩阵。若在场箱 j 所在箱区有正面吊,则 $D_j = 0$; 否则, $D_j = 1$ 。
- (11) T_j 为在场箱 j 的层高。
- (12) c 为当前待选位危险货物集装箱的尺寸。
- (13) c_b 为贝位 b 的尺寸。
- (14) $F(s_i, s_j)$ 为危险货物 s_i 与 s_j 之间应保持的安全距离。

(15) L_j 为当前待选位危险货物集装箱与在场箱 j 之间的实际距离。

(16) Y_{kj} 为 0-1 矩阵。若在场箱 j 以堆存方式 k 得到的位置未被占用,则 $Y_{kj} = 1$; 否则, $Y_{kj} = 0$ 。

(17) A_k 为堆存方式 k 的契合度。

(18) R_{kv} 为采用堆存方式 k 的情况下危险货物所属船舶或货主不同时的相斥度。

(19) R_{ks} 为采用堆存方式 k 的情况下危险货物种类不同时的相斥度。

(20) X_{kj} 为决策变量,表示当前待选位危险货物集装箱是否以堆存方式 k 堆放于在场箱 j 的旁边。

(21) θ_1 和 θ_2 为不同影响因素的重要度。

2.3 模型构建

在上述假设条件和符号定义的基础上,建立出口危险货物集装箱堆场智能选位模型,即

$$F = \theta_1 \frac{1}{2} \max_{j \in J} \sum_{k \in K} (2 - Z_j - D_j) A_k X_{kj} - \theta_2 \frac{1}{2} \min \left(\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} ((1 - V_{ij} R_{kv}) + (1 - S_{ij} R_{ks})) X_{kj} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{kj} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \sum_{j \in J} X_{kj} (c - c_b) = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{kj} Y_{kj} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{kj} T_j \leq 2 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} L_j X_{ij} \leq F(s_i, s_j) \quad (6)$$

式(1)为目标函数,表示为待选位危险货物集装箱选择契合度最高的箱位。式(2)~(6)为约束条件,其中:式(2)表示所选箱位具有唯一性;式(3)表示所选箱位的尺寸与待选位危险货物集装箱的尺寸相同;式(4)表示所选箱位未被其他集装箱占用,即所选箱位可用;式(5)表示所选箱位的层高不超过2层;式(6)表示待选位危险货物集装箱与在场箱 j 之间的距离符合隔离规则的要求。

3 算法设计

根据蒙特卡洛树搜索算法的思想,设计危险货物集装箱堆场智能选位模型的蒙特卡洛树搜索算法:首先,初始化待选位危险货物集装箱的选位状态,包括堆场信息、待选位危险货物集装箱信息等参数;然后,经过选择、拓展、模拟、回溯等步骤,生

成蒙特卡洛搜索树；最后，根据蒙特卡洛搜索树完成选位决策，并更新选位初始状态，直至选位结束。

(1)选择策略 根据危险货物集装箱堆场选位问题的实际情况，采用上限置信区间(Upper Confidence Bound Apply to Tree, UCT)算法作为选择策略，即：在搜索树节点信息更新完成后，按照节点评估值的大小进行选择。UCT算法以不对称的形式生成搜索树，能够避免在分支因子很大的情况下需要很长时间才能求解的问题，比单纯的蒙特卡洛树搜索算法更容易获得最优解。UCT算法公式为

$$R_{UCT} = \bar{X}_j + 2C_p \sqrt{\frac{2 \ln n}{n_j}}$$

式中： \bar{X}_j 为节点 j 的平均收益； n_j 为节点 j 被选择的总次数； n 为节点 j 的父节点被选择的总次数； C_p 为大于0的常数。

(2)拓展策略 当选择进行至叶子节点且待选位危险货物集装箱的位置仍未选中时，需要对叶子节点进行拓展。本文结合危险货物集装箱堆场智能选位模型的目标函数和约束条件，寻找下一步所有可能的位置。

(3)模拟策略 蒙特卡洛树搜索算法的模拟过程是一系列从当前节点开始至最终状态结束的过程，包括初始状态、模拟策略和最终状态等。初始状态指模拟开始时的节点状态，即待选位危险货物集装箱在进行下一步选位前已经确定的状态。模拟策略指模拟过程所依据的行动策略：蒙特卡洛树搜索算法的默认模拟策略是在可用的行动中随机选择；本文结合危险货物集装箱堆场智能选位模型的目标函数和约束条件进行选择，从而使算法收敛更快。最终状态指从初始状态出发经过一定的模拟策略所达到的状态；就本文研究的选位问题而言，最终状态指在相应堆存方式下被选择箱位与当前待选位危险货物集装箱的契合度，并且目标函数值越大表明契合度越高。

(4)回溯策略 在蒙特卡洛树搜索算法中，需要及时更新节点信息，以便为下一次迭代选择提供依据；因此，回溯是蒙特卡洛树搜索算法中的重要步骤。本文采用UCT算法作为回溯策略，即：模拟完成后，将模拟得到的回报值和节点被访问次数从当前节点更新至根节点，从而获得每个箱位的评估值，

并从中选择与待选位危险货物集装箱契合度最高的场箱位。

4 算例分析

以上海港某危险货物集装箱堆场为算例，编写程序模拟出口危险货物集装箱堆场选位的实际情况。为了更好地验证危险货物集装箱堆场智能选位模型的正确性和算法的有效性，随机选取20个待选位危险货物集装箱，为其选择合适的场箱位。在用蒙特卡洛树搜索算法求解时，选择迭代次数为2000次，并采用UCT算法作为选择策略，令 $C_p = 1/\sqrt{2}$ 。根据历史数据，将模型参数设置为： $A_k = 0.80$ ， $R_{kr} = 0.40$ ， $R_{ks} = 0.55$ ， $\theta_1 = 0.45$ ， $\theta_2 = 0.56$ ，目标函数值下限 $\mu = 0.25$ 。利用模型求解后，随机选取5个危险货物集装箱的选位结果(见表1)进行验证。由选位结果可知：目标函数值满足选位要求，并且所选场箱位符合堆存规则，即选位模型正确且算法有效。

表1 危险货物集装箱堆场选位结果

箱号	目标函数值	所选场箱位
CCLU5241532	0.73	B22152
CBHU9470500	0.76	A10422
APZU4474537	0.77	A10423
CAIU9099046	0.83	A11143
CAXU7367434	0.81	A20922

5 结束语

本文针对危险货物集装箱的选位要求和堆存规则，建立危险货物集装箱堆场智能选位模型，并设计蒙特卡洛树搜索算法对模型进行求解。算例分析结果表明：蒙特卡洛树搜索算法能够较好地模拟选位过程中的各个位置节点，并能从中选择最优位置作为最终的选位结果，从而提高危险货物集装箱堆场选位效率，减少危险货物集装箱在堆场堆存过程中的安全隐患。

参考文献：

- [1] 陈武争,倪立土,张婧卿,等.大型港外危险品集装箱堆场总体工艺设计[J].港口科技,2018(5):29-33.
- [2] 唐勤华,吴沙坪,张晓龙,等.自动化集装箱码头危险品堆场布置[J].水运工程,2016(9):56-59.

(编辑:张敏 收稿日期:2019-01-15)