



集装箱船的大型化与码头自动化增加了港口码头的单次装卸作业箱量，而单次装卸作业箱量的增加使得作业任务更加困难，也对自动化集装箱码头的配载时间、效率和效果提出了更高的要求

自动化集装箱码头船舶配载研究

撰文 黄 桁

集装箱船的大型化与码头自动化增加了港口码头的单次装卸作业箱量，而单次装卸作业箱量的增加使得作业任务更加困难，也对自动化集装箱码头的配载时间、效率和效果提出了更高的要求。

一、考虑箱区作业均衡的船舶配载优化

1. 问题描述

从根本上来说，船舶配载有以下几个问题。“When”问题，即在场箱何时离场，也即装船作业顺序问题。如果将同一堆栈的下层箱子配于船舶同一根槽的上层箱位，则装船时就需要将同一堆栈的上层箱子移走才能取出下层箱子装船，堆场翻箱操作由此产生。

同时，ACT 船舶配载问题又是一个耦合问题，除了与船舶密切相关外，还与堆场有密切联系。一方面需要考虑常规实配原则，即船舶航行安全要求，并减少堆场的翻箱；另一方面需要考虑实配装箱过程中堆场箱区的作业能力与作业均衡。

如果同一时间内部分 ACT 箱区装卸量偏小，而部分 ACT 箱区装卸量偏大，即作业不均衡，对于装卸量偏大的箱区：一方面将导致这些箱区的轨道吊连续作业时间过长，从而导致轨道吊司机的疲乏，其工作积极性与作业效

率必然降低，并且作业量的大小直接影响到轨道吊的寿命；另一方面，不均衡就意味着个别箱区装卸任务过于集中，而单位时间内单台海侧轨道吊的作业能力有限，一旦某个箱区的发箱指令过于集中，就会造成某一段时间内该箱区作业量过大，必然产生轨道吊作业冲突，这样 AGV 和岸桥的等待时间就会增加，从而影响港口作业效率，影响总装船时间，进而影响船期。因此，发箱时考虑箱区之间的作业均衡至关重要。

2. 自动配载系统

在实际操作中，通过使用自动配载系统，可以计算自动桥机工作计划 CWP，在“桥吊作业和配载计划”界面，选择靠泊起止时间后，点击“查船”，系统会加载出多条相关的船舶信息，选择船舶，并完成基础的参数设置以后，点击“计算 CWP（数据预处理）”，稍等 1~2 min，系统进行 CWP 的计算。

在完成 CWP 计算后，系统会返回计算结果，并给出估计的桥吊作业时长、船箱位锁定等信息。同时，可以在完成船舶的 CWP 计算以后，在“桥吊作业和配载计划”界面点击“计算 ATS”，稍等 10~20 min，系统进行自动配载计算。



3. 算法设计

由于所研究的集装箱船舶配载问题是一个多目标、多约束的组合优化问题,更是一个 NP-hard 问题,因此从满足实际应用的角度出发,基于配载问题自身的特点设计了基于禁忌搜索的模型求解算法,算法具体流程步骤见图 1。

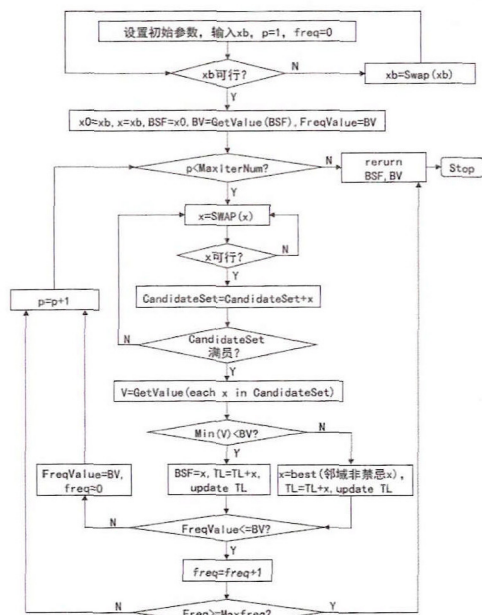


图 1 禁忌搜索算法流程

4. 算例分析

在获取了上海洋山港区某集装箱码头配载所需的数据后,将这些数据分为 9 组,生成规模大小不同的 9 个案例 I1~I9,见表 1。其中,

表 1 某集装箱码头配载箱量

案例编号	箱量	20'箱数	40'箱数	卸货港数	T堆栈数	2T堆栈数	3T堆栈数	4T堆栈数
I1	20	20	0	1	20	0	0	0
I2	50	45	5	2	21	11	1	1
I3	100	83	17	3	37	22	1	4
I4	150	112	38	5	66	28	4	4
I5	200	160	40	7	74	37	8	7
I6	250	199	51	7	88	44	10	8
I7	300	210	61	6	121	47	11	11
I8	350	259	70	6	134	56	14	11
I9	400	322	78	6	155	61	15	13

箱量表示该算例中的在场箱总箱数,卸货港数表示该算例中的在场箱分别属于几个卸货港,T

堆栈数表示该算例中的在场箱中一堆只有 1 个集装箱的堆栈数,2T 堆栈数表示该算例中的在场箱中一堆有 2 个集装箱的堆栈数,3T 和 4T 以此类推。

根据该码头的实际作业情况确定模型中的部分参数,其中,箱区单位小时的最大作业箱量 $qb=15$ 箱,箱位 p 的开始装箱时间由已知的 CWP 确定,鉴于 ACT 在场箱分布相对分散,取集装箱 i 从其所在的堆场箱区到最终的箱位 p 所对应的船舶倍位的水平运输时间 $=3$ min,箱区内一次翻箱时间 $=3$ min,箱区不均衡程度较小时不一定导致作业等待,但是不均衡程度较大时很有可能造成等待,因此综合考虑,取不均衡可能导致的等待的惩罚时间 $=2$ min,在参数的情况下(如无特殊说明,图或表数据中均在 $k=1:1$ 的条件下求得),算法求得各案例的初始解的结果见表 2。

表 2 案例初始解结果

案例	箱量	总目标函数值/min	装船时间/min	翻箱量/次	不均衡程度/箱
I1	20	77	75	5	1
I2	50	219	201	17	9
I3	100	446	408	36	19
I4	150	631	573	41	29
I5	200	850	774	58	38
I6	250	976	894	48	41
I7	300	1196	1092	64	52
I8	350	1433	1323	91	55
I9	400	1605	1491	97	57

图 2 列出了算法对各案例不均衡程度的优化结果, I3~I9 各案例的初始解的不均衡程度分别为 19 箱、29 箱、38 箱、41 箱、52 箱、55 箱和 57 箱,优化后, I3~I9 各案例的不均衡程度分别为 16 箱、28 箱、35 箱、39 箱、44 箱、50 箱、51 箱,最大优化程度达 15.8%。通过较大幅度地降低箱区作业的不均衡程度,减少不均衡可能造成的等待时间,提高装船效率,缩短装船时间,继而缩短船期,为码头和船方创造更大利益。

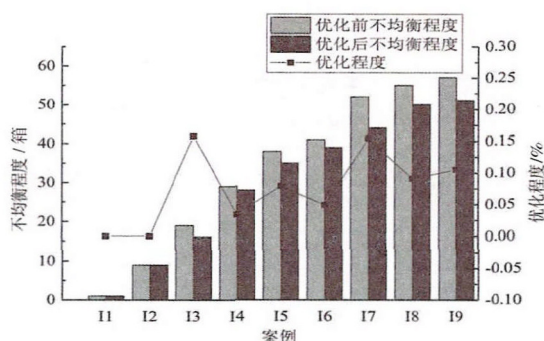


图2 算法对初始不平衡程度的优化

二、考虑箱区作业均衡的不确定型船舶配载优化

1. 问题描述

如前文所述, 集装箱码头实际装船作业过程中的不确定性因素很多, 因此重点关注桥吊作业时间对配载计划的影响。在确定性配载问题的基础上, 假设桥吊每一关的作业是一个不确定参数, 基于此确定新的配载计划, 使得该计划能够对桥吊的作业时间具有很好的鲁棒性, 即桥吊时间虽然具有不确定性, 但是得到的配载方案的目标值(有翻箱量构成的总装船时间)与确定性情况下不会有太大的偏差。

2. 算法求解

先假设桥吊作业时间是不确定的, 采用“盒子”作为不确定需求的集合, 提出桥吊作业时间不确定的自动化集装箱码头船舶配载鲁棒优化模型, 再应用强对偶定理, 将非凸非线性的鲁棒模型转化成线性规划。然后, 根据模型的特点, 在前文的基础上, 通过设计改进的禁忌搜索算法以适应求解该鲁棒优化问题。

算例数据同样取自上海洋山港区某集装箱码头某条船的预配基础数据, 并选择该船的 17 舱 65 贝位中的出口箱为例, 算例数据说明见表 3。

表3 预配船图数据说明

箱量	20' 箱数	40' 箱数	卸货港数	贝位数	排数	层数
95	5	90	1	1	10	13

根据该码头的实际作业情况确定模型中的部分参数, 其中, 箱区单位小时的最大作业箱量 $qb=15$ 箱, 箱位 p 的开始装箱时间(名义值)

由已知的 CWP 确定, 利用禁忌搜索算法, 得到最优配载, 每个单元格上部为集装箱箱号。

从表 4 可以看出, 在不确定性情况下, 算法更倾向于“集中配载”(其中箱区 A2、A4 与 B4 这种集中效果最为显著), 即用尽可能少的箱区和箱区贝位满足船舶贝位的配箱要求, 因此将同一堆场甚至是同一贝位的在场箱配于船上同一贝位。

表4 确定与不确定情况下集装箱来源场地的对比

确定情况	箱区数	箱区贝位数
确定性	36	64
不确定性	33	56

三、结论

在集装箱船舶大型化、集装箱码头自动化和港口作业日益精细化的趋势下, 尤其是自动化箱区的建成与自动化设备的运用以及自动配载概念的提出, 迫使码头关注自动化集装箱码头配载的效率和效益。因此, 从考虑箱区作业均衡这个因素入手, 认为在制订配载方案时必须考虑箱区的作业均衡, 同时集装箱码头的作业伴随着众多不确定因素, 这些因素同样影响着配载计划的制定, 所以研究了确定性和不确定性自动化集装箱码头船舶配载问题。

首先, 不考虑配载作业的不确定性, 设计基于集装箱与船箱位编号排序的禁忌搜索算法; 其次, 在确定性配载模型的基础上, 通过分析集装箱码头配载作业过程中的多种不确定性因素, 设计具有轮盘赌选择交换算子的改进禁忌搜索算法, 基于贪婪算法设计禁忌搜索的初始解, 通过一个贝位的数据算例证明了该鲁棒优化模型的正确性和算法搜索的高效性。这两种方法的使用有利于码头集装箱处理作业的高效进行, 可以提高装卸效率, 大大缩短集装箱装卸船时间, 减少装卸船的成本, 有利于码头创造良好的业界声誉, 并缩短船舶在港时间, 直接减少船舶靠泊作业成本, 使船方综合成本大幅减少。

(作者单位: 上海海勃物流软件有限公司)