4.3 基于规则模拟的预翻箱问题启发式算法设计

4.3.1引例说明及推广

为了便于描述集装箱堆场贝位内预翻箱操作的作业逻辑，首先定义如下符号：

：一个栈内集装箱堆存的最大额定高度。

：一个贝内集装箱初始堆存状态下栈的总数，本节中，的取值范围为。

：集装箱的目的港总数。

：集装箱的目的港优先级，的值越小则代表该集装箱优先级越高。

：集装箱的重量分级个数。

：集装箱的重量优先级，的值越小则代表该集装箱优先级越高，如果无重量优先级，取。

： ：集装箱的综合优先级，的值越小，则代表该集装箱优先级越高，越早出场。

：某一阶段，该堆存区域压箱栈所组成的集合。

：某一阶段，该堆存区域零压箱栈所组成的集合，包括空栈在内。

：集合的元素个数，即压箱栈的个数。

：集合的元素个数，即零压箱栈的个数。

：某一阶段，该堆存区域第栈顶层的集装箱编号，。

：某一阶段，该堆存区域第栈顶层的集装箱编号，，若该栈为空栈，。

：某一阶段，该堆存区域第栈底层的集装箱编号，。

:某一阶段，该堆存区域第栈底层的集装箱编号，，同理，若该栈为空栈，。

：某一阶段，该堆存区域第栈的集装箱层数，。

：某一阶段，该堆存区域第栈的集装箱层数，。

如图所示为堆场中某一贝位的初始分布，编号中个位数代表重量优先级，十位代表港口优先级，数字越大则该集装箱出场时间越晚，综合优先级越低。



易知，栈1、2、4、5均为压箱栈，；栈3和栈6均为零压箱栈且均未达到最大额定高度6层，，，。此时压箱栈1、2、4、5顶层的集装箱编号分别为，，，；零压箱栈3、6顶层的集装箱编号分别为，。显然存在压箱栈顶层集装箱编号小于或者等于零压箱栈顶层集装箱编号，即有，于是将第1栈顶层的集装箱22翻至第3栈 。

推广1（选翻箱栈）：

如果存在数个的情况，选择待翻箱时，在符合条件的集装箱中选择编号最大的集装箱进行翻箱操作，这样可以避免后续阶段出现概率的降低，或者说避免编号较小的集装箱优先占用空储位。若存在多个相同的情况，则比较各个的值，选择最小的栈的顶层集装箱进行翻箱操作，这样可以使该最小高度的栈（如果需要）在后续的翻箱阶段用相对较少的步骤就可以获得空栈。若存在和均相同的情况，则比较的值，选择最大值所在的栈，这样可以使最大的栈（如果需要）在后续的翻箱阶段用相对较少的步骤就可以使该栈只剩下较大编号的集装箱。若、和均相同，则任选一压箱栈的顶层集装箱进行翻箱。

注：当和均相同时，若的值较大并接近，可认为该栈的高度为；同理，若某栈中只有一个值非常大的集装箱，可认为该栈是空栈。以此视角分析，根据相同比较的原则，显然是高度最小的入选，故对的值最大的压箱栈进行翻箱。

推广2（选落箱栈）：

如果存在数个的情况，当选出某一待翻箱，接下来选择落箱栈时，在符合条件的集装箱中选择编号最小的所在的栈作为落箱栈，这样可以避免编号稍小的集装箱占用本应属于后续阶段编号稍大的集装箱占用的空储位的概率。若存在相同的情况，则比较各个的值，选择最大的栈作为落箱栈，这样可以使该栈空储位充分利用的同时尽快达到“饱和”状态（零压箱且达到最大额定高度）。若、均相同，选最小的栈，若都相同，选任意一栈。

注：当和均相同时，越大的栈，其等效高度越低，当为堆存区域集装箱最大编号时，可认为该栈高度为。所以根据相同选最高的原则，最小的栈为落箱栈。

关于推广1和推广2的举例说明：

图为某一堆存区域某状态下的集装箱分布，编号中“0”代表不考虑重量分级，“1”、“2”、“3”、“4”、“5”表示目的港的优先级。



易知，集合，集合，，，。易知，，，。既然符合条件的待翻箱为和，则需在集装箱和中选择编号最大的集装箱进行翻箱操作，但由于，须比较和，可知较大，选第4栈顶层的集装箱作为待翻箱。接下来在为选择落箱栈时，首先比较和的大小，较小，选择第2栈为落箱栈。

接下来就引例继续进行翻箱操作的描述。将第1栈集装箱翻入第3栈后进入下一阶段，、依然不变，但是已不存在压箱栈顶层集装箱编号小于或者等于零压箱栈顶层集装箱编号，也即是压箱栈顶层集装箱无论翻至任何一栈都会导致更多的压箱。那么这时就需要选择某一栈，将该栈的顶层集装箱翻至另外一栈，直到该栈只剩下编号非常大的集装箱，使该栈有被“做空”的趋势。

受此启发，下一步应该在所有的压箱栈和零压箱栈中选出高度最低的一栈，易知，第1栈和第4栈的高度均为两层属最低。但是第1栈最底层集装箱的编号为21，第4栈最底层的编号为42，根据“直到该栈只剩下编号非常大的集装箱”的翻箱逻辑，应选择第4栈进行翻箱操作。为集装箱52选择落箱栈时，应优先选择零压箱栈，否则若优先选择压箱栈会导致经过若干步骤后再次回到当前的集装箱堆存状态。此时，第3栈和第6栈均可考虑作为落箱栈，但由于第6栈高度大于第3栈，“饱和度”高一些，故最终选择第6栈为52号箱的暂存栈。此时集装箱的堆存状态图如下：



那么此时压箱栈的集合，零压箱栈的集合。，并且，故将栈2集装箱移入栈4，再将栈5集装箱移入栈4。集装箱的堆存状态变为：



该阶段压箱栈的集合，零压箱栈的集合。很显然，压箱栈顶层集装箱编号均大于零压箱栈顶层集装箱编号，于是需要选择某一栈将其“做空”。由于，选择1、2、5栈中或者最大的一栈，第2栈入选。移出21号集装箱时应优先选择零压箱栈，此时，，应选择和中的最小者，显然21号箱的落箱栈为栈3,。这时集装箱的堆存状态为：



， 。压箱栈顶层集装箱编号均大于零压箱栈顶层集装箱编号，由于栈2高度最低，将该栈内33号集装箱放入唯一的不压箱栈第4栈。第2栈已为空栈，再将压箱栈集装箱按编号由大到小的顺序依次放入第2栈达到最终的零压箱堆存状态：



推广3（选翻箱栈）：

在翻箱操作的某一阶段，若已不存在压箱栈顶层集装箱编号小于或者等于零压箱栈顶层集装箱编号，则需要选择某一栈将该栈的集装箱翻出。在选择翻箱栈时，应在包括所有压箱栈和零压箱栈的栈中选择高度最低的一栈，这是为了未来阶段（如果需要）能用更少的操作步骤获得空栈。如果高度相同，则应选择底层集装箱或者最大者所在的栈，其原理与推广1的注中所释原理相同。若高度和底层集装箱的编号均相同，选任意一栈皆可。

注：若此阶段该堆存区域全为压箱栈或者零压箱栈已经达到额定堆存高度，上文选择翻箱栈的逻辑依然适用。

推广4（选落箱栈）：

在翻箱操作的某一阶段，若不存在压箱栈顶层集装箱编号小于或者等于零压箱栈顶层集装箱编号的情况下，根据推广3选好翻箱栈，这时需要将翻箱栈里的顶层集装箱翻出，并为其选择落箱栈。假设该待翻箱或者的编号为，在为其选择落箱栈时，首先应在该堆存区域中筛选出此状态下的零压箱栈，记此时零压箱栈顶层的集装箱编号为。根据推广2的选落箱栈的逻辑，应选取所有的中最小的；相同的应选择最高的；相同的应选择最小的栈为落箱栈。

如果在为已选好的待翻箱选择落箱栈时，该阶段此堆存区域中不存在零压箱栈或者零压箱栈高度已经达到额定高度，应找出除待翻箱之外的其余各栈编号最小的顶层集装箱，将待翻箱放到该顶层集装箱的上方。如果不止一个，则选较低者，若再相同选较大者，若也相同则任选其一。

关于推广3和推广4的举例说明：



图为一堆存区域初始阶段的集装箱分布状态。显然，所有的栈均为压箱栈，，。这时，需要选择一翻箱栈将该栈顶层集装箱转移到其他栈，根据推广3选翻箱栈的逻辑，第3栈高度最低，将第3栈顶层集装箱21移出。在为集装箱21选择落箱栈时，由于其适用于推广4中全为压箱栈情况下的翻箱逻辑，故找出、和中编号最小的并将集装箱21放入第1栈进入下一阶段。该阶段，并且压箱栈顶层集装箱编号均大于零压箱栈顶层集装箱编号。这时根据推广3在所有栈中选出高度最小的第3栈将集装箱12翻出，在选择落箱栈时，由于其余的栈均为压箱栈，故选出编号最小的，将集装箱12放到第一栈。此阶段的集装箱分布状态如下图左半部分所示，根据推广1和推广2分别将42号集装箱和41号集装箱翻入栈3，将12号集装箱放入栈2，21号集装箱放入栈3达到下图右半部分的堆存状态：



此时，栈1和栈4为压箱栈，栈2和栈3为零压箱栈，栈1和栈4顶层集装箱编号均大于栈2和栈3，根据推广3的选翻箱栈方法，由于栈4的高度最低，将栈4的顶层集装箱53翻出。为待翻箱53选落箱栈时，应首先考虑是否有零压箱栈，显然，栈2和栈3入选。由于，故将53号集装箱放到第2栈。这时，压箱栈为栈1和栈2，零压箱栈为栈3和栈4，、均大于、，由于栈4最矮，将该栈顶层集装箱翻出。优先选择零压箱栈为集装箱11的落箱栈，于是将集装箱11翻入第3栈。该阶段结束时的集装箱分布状态如下图的左半部分所示。再分别放入第2栈和第1栈顶层集装箱后达到下图右半部分的堆存状态：



该状态下压箱栈只有栈1，且栈1顶层集装箱编号均比其他零压箱栈大。这时需要选出翻箱栈，根据推广3的选翻箱栈方法，由于栈1和栈4高度均为最小，比较和，结果更大，将栈4作为翻箱栈。为第4栈的集装箱22选落箱栈时，优先考虑零压箱栈栈2和栈3，由于，将集装箱22翻入第3栈暂存，接下来将第1栈的集装箱53放入栈4，将第3栈的集装箱22翻入栈4达到最终的无压箱堆存状态如图所示：



4.3.2预翻箱作业的启发式规则

预翻箱规则详述：

规则一(上)、

某一阶段，压箱栈和未达最大额定高度零压箱栈共存的情况下，若存在压箱栈顶层集装箱编号小于或者等于零压箱栈顶层集装箱编号，根据压箱栈的顶层集装箱编号最大、高度最小、最底层集装箱编号最大的优先级顺序（、、）选出翻箱栈。I为A，j为B

规则一（下）、

选出翻箱栈后，根据零压箱栈的顶层集装箱编号最小、高度最大、最底层集装箱编号最小的优先级顺序（、、）选出落箱栈，完成一次翻箱操作。

规则二（上）、

某一阶段，压箱栈和未达最大额定高度零压箱栈共存的情况下，若所有压箱栈顶层集装箱编号均大于零压箱栈顶层集装箱编号，根据除去达到最大额定高度的零压箱栈之外所有栈中高度最小、最底层集装箱编号最大的优先级顺序（、）选出翻箱栈。

规则二（下A）、

选出翻箱栈后首先判断在除去已选翻箱栈的所有栈中，是否有未达最大额定高度的零压箱栈，若有，根据零压箱栈的顶层集装箱编号最小、高度最大、最底层集装箱编号最小的优先级顺序（、、）选出落箱栈，完成一次翻箱操作。

规则二（下B）、

若无，根据除去已选翻箱栈和已达最大额定高度零压箱栈的其余各压箱栈中顶层集装箱编号最小、高度最小、最底层集装箱编号最大的优先级顺序（、、）选出落箱栈，完成一次翻箱操作。

规则三（上）、

某一阶段，不存在未达最大额定高度的零压箱栈的情况下，根据除去达到最大额定高度的零压箱栈之外所有栈中高度最小、最底层集装箱编号最大的优先级顺序（、）选出翻箱栈。

规则三（下）、

选出翻箱栈后根据除去已选翻箱栈和已达最大额定高度零压箱栈的其余各压箱栈中顶层集装箱编号最小、高度最小、最底层集装箱编号最大的优先级顺序（、、）选出落箱栈，完成一次翻箱操作。

规则四、

某一阶段，该堆存区域已不存在压箱栈，说明已达到目标堆存状态，预翻箱过程结束。

规则五、

每一阶段中，在选出翻箱栈之后和落箱栈之前，必须首先检验并排除已达到最大额定高度的除已选翻箱栈之外的栈，再以规则一、规则二、规则三的具体情况用使用对应的优先级顺序进行落箱栈的选择。

规则六、

每完成一次翻箱操作，须重新确定每个栈的属性和相应参数。

根据上述六条预翻箱规则，作出在某一阶段完成一次取箱和放箱操作的决策树如图所示：



4.3.3预翻箱作业启发式算法流程图

