

## (2) 分支策略

本文对原问题（混合整数规划模型（MIPM-II））变量进行分支，将约束条件加入子问题中。步骤如下所示：

1) 针对子节点或者根节点计算得到的最优解，判断其是否为原问题的整数解（整数决策变量需要时 0 或 1），如果不是，则按照船舶编号从小到大的次序，找到第一艘含有非整数解的船舶  $i$ 。

2) 以下顺序遍历 0-1 决策变量：

a) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj}$  不为整数时，分支，其中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj} \leq 0$ ，

另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj} \geq 1$ ；

b) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj}$  不为整数时，分支，其中

一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj} \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj} \geq 1$ ；

c) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb}$  不为整数时，分支，其中

一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb} \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb} \geq 1$ ；

d) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'}$  不为整数时，分支，其中

一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'} \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'} \geq 1$ ；

e) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t$  不为整数时，分支，其

中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t \geq 1$ ；

f) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t$  不为整数时，分支，

其中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t \geq 1$ ；

g) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t$  不为整数时，

分支，其中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t \leq 0$ ，另外一支为

$\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t \geq 1$ ；

h) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t$  为整数时，当  $\varphi_{vbj}$  不为整数时，分支，其中一支为

$\varphi_{vbj} \leq 0$ ，另外一支为  $\varphi_{vbj} \geq 1$ ；

i) 当  $\varphi_{vbj}$  为整数时，当  $\gamma_{vqj}$  不为整数时，分支，其中一支为  $\gamma_{vqj} \leq 0$ ，另外一支为  $\gamma_{vqj} \geq 1$ ；

j) 当  $\gamma_{vqj}$  为整数时，当  $\alpha_{vbt}$  不为整数时，分支，其中一支为  $\alpha_{vbt} \leq 0$ ，另外一支为  $\alpha_{vbt} \geq 1$ ；

k) 当  $\alpha_{vbt}$  为整数时, 当  $\beta_{vbt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\beta_{vbt} \leq 0$ , 另外一支为  $\beta_{vbt} \geq 1$ ;

l) 当  $\beta_{vbt}$  为整数时, 当  $\chi_{vqjt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\chi_{vqjt} \leq 0$ , 另外一支为  $\chi_{vqjt} \geq 1$ ;

m) 当  $\chi_{vqjt}$  为整数时, 当  $\psi_{vqjt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\psi_{vqjt} \leq 0$ , 另外一支为

$\psi_{vqjt} \geq 1$