

(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 φ_{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 φ_{vbj} 为整数时，当 γ_{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 γ_{vqj} 为整数时，当 α_{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 α_{vbt} 为整数时, 当 β_{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 β_{vbt} 为整数时, 当 χ_{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 χ_{vqjt} 为整数时, 当 ψ_{vqjt} 不为整数时, 分支, 其中一支为 $\psi_{vqjt} \leq 0$, 另外一支为 $\psi_{vqjt} \geq 1$