

# 溶剂脱沥青改质技术处理 加拿大油砂沥青模拟研究

何英华\*, 朱丽娜, 刘 龙, 孙 维, 张德顺

(中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院, 黑龙江 大庆 163714)

**摘要:**采用 Aspen Plus 流程模拟软件对混合碳四溶剂脱沥青全流程进行模拟, 研究溶剂比、抽提温度、抽提压力对脱沥青油收率的影响, 确定了最佳工艺条件。并考察在最佳工艺条件下, 脱沥青油的 API 度及不同稀油掺入量对脱沥青油 API 度的影响。模拟结果显示, 在脱除质量分数 35% 重组分后, 所得脱沥青油 API 度可达到 9.9; 掺原稀油加入量质量分数 35%, API 度达到 16.5, 与原料加拿大油砂沥青掺稀油 API 度相当, 满足运输要求, 同时可以节约质量分数 65% 的稀释油。

**关键词:** Aspen Plus; 混合碳四溶剂脱沥青; 萃取; 加拿大油砂沥青

中图分类号: TQ021.8

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)08-0227-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.08.050

## Simulation on treatment of Canada-produced oil sand bitumen by solvent deasphalting reforming technology

HE Ying-hua\*, ZHU Li-na, LIU Long, SUN Wei, ZHANG De-shun

(PetroChina Petrochemical Research Institute, Daqing 163714, China)

**Abstract:** Aspen Plus process simulation software is used to simulate the full deasphalting process by mixed C4 solvent. The influences of solvent ratio, extraction temperature and extraction pressure on the yield rate of deasphalting oil are studied and the optimum technological conditions are determined. The API degree of deasphalted oil and the effect of the different amount of dilute oil on the API degree of deasphalting oil are investigated under the optimum process conditions. Simulation results show that API of deasphalted oil can reach 9.9 after removing 35 wt% of heavy components. API of deasphalted oil can reach 16.5 if the addition of dilute oils is 35 wt%, which is equivalent to API of raw Canadian oil sands bitumen blended with dilute oil and can meet the transportation requirements. In addition, it can save 65wt% of diluent oil.

**Key words:** Aspen Plus; deasphalting by mixed C4 solvent; extract; Canada-produced oil sands bitumen

随着常规原油源获取难度逐渐加大, 全球的石油公司纷纷开始与加拿大、南美、俄罗斯等资源国的石油公司合作, 寻找非常规原油上游开发的机遇。在全球可供外国石油公司开发利用的原油资源(除伊拉克外)中, 加拿大的油砂沥青资源总量位居第一, 成为各大石油公司关注和投资的热点<sup>[1]</sup>。

中国石油积极实施“走出去”战略, 开发利用加拿大油砂沥青是重要的战略选择。目前, 中国石油已拥有加拿大麦凯河(MacKay River) 100% 股权, 该区块可采储量达 17 亿桶, 由于油砂沥青密度高、黏度大、沥青质及金属含量高, 需要通过掺调轻质原油或者就地改质降黏, 才能满足储运的要求。掺稀法存在着轻油价格较高以及不能长期稳定供应等不足, 因此, 中国石油亟需建设油砂沥青改质厂, 解决油砂沥青降黏储运问题。

目前工业应用的油砂沥青改质技术有 4 种, 分别是延迟焦化、流化焦化/沸腾床加氢裂化组合、溶

剂脱沥青/脱油沥青气化以及沸腾床加氢裂化为核心的改质技术。本文中主要研究混合碳四溶剂脱沥青改质技术, 采用 Aspen Plus 流程模拟软件对混合碳四溶剂脱沥青的全流程进行模拟, 研究分析溶剂比、抽提温度、抽提压力对脱沥青油收率的影响, 确定最佳操作条件。并考察在最佳操作条件下脱沥青油的 API 度, 同时研究稀油不同掺入量对脱沥青油 API 度的影响, 确定满足运输要求的稀油加入量。

## 1 溶剂脱沥青过程模型的建立

### 1.1 原料

由于加拿大政府对油砂沥青等重要资源的出口进行了限制, 在国内很难得到原产的油砂沥青原油。这些原料基本上都是经过掺稀油的方法处理后输送到我国的。掺入轻油的沸点都小于 200℃, 而油砂沥青掺稀油中大于 350℃ 的常压渣油则全部来自加拿大油砂沥青原油<sup>[2]</sup>。加拿大油砂沥青掺稀油馏

收稿日期: 2018-01-26; 修回日期: 2018-06-05

作者简介: 何英华(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事化工工艺流程模拟计算及工艺过程开发, 通讯联系人, 0459-6768890, hyh459@petrochina.com.cn。

程如表 1 所示。

表 1 加拿大油砂沥青掺稀油馏程

沸点范围/°C	馏分收率 (质量)/%	累积 (质量)/%	馏分收率 (体积)/%	累积收率 (体积)/%	比重 60/60°F
LPG	0.7	0.7	0.8	0.8	0.5822
C <sub>5</sub> ~250	19.8	20.5	25.8	26.6	0.7144
250~275	2.2	22.7	2.4	29.0	0.8802
275~300	2.2	24.9	2.3	31.3	0.8927
300~350	6.0	30.9	6.1	37.4	0.9187
350~400	1.1	32.0	1.1	38.5	0.9544
400~425	5.6	37.6	5.5	44.0	0.9605
425~450	5.1	42.7	4.9	48.9	0.9710
450~475	3.7	46.4	3.6	52.5	0.9816
475~500	3.1	49.5	2.9	55.4	0.9940
500~520	4.0	53.5	3.7	59.1	0.9961
520+	46.5	100	40.9	100	1.0630

注:60/60°F指一定体积的石油产品在 60°F时的质量与同体积纯水在 60°F时的质量之比。

### 1.2 建立模型

加拿大油砂沥青掺稀油先在常压塔中进行分

馏,将原料中小于 350°C 的馏分油分离,常压渣油与混合碳四溶剂混合后进入萃取塔,萃取塔顶部溢出含大量溶剂的脱沥青油溶液,然后进入溶剂分离器。90%以上的溶剂从溶剂分离器顶部溢出,循环使用,含有少量溶剂的脱沥青油经汽提塔分离残余溶剂后与常压塔塔顶小于 350°C 的馏分油混合后,得到满足运输条件的脱沥青油。图 1 为混合碳四溶剂脱沥青工艺原则流程。

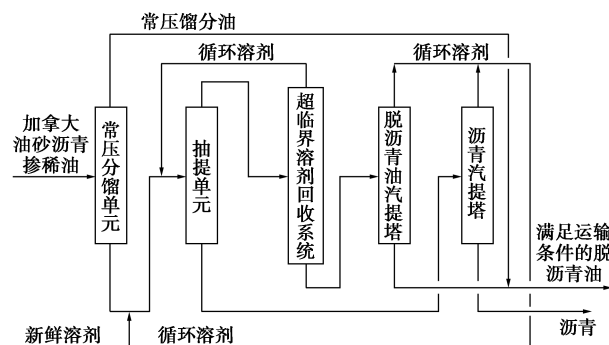


图 1 混合碳四溶剂脱沥青工艺原则流程

根据混合碳四溶剂脱沥青工艺原则流程,建立 Aspen Plus 模拟流程图。图 2 为模拟流程图。

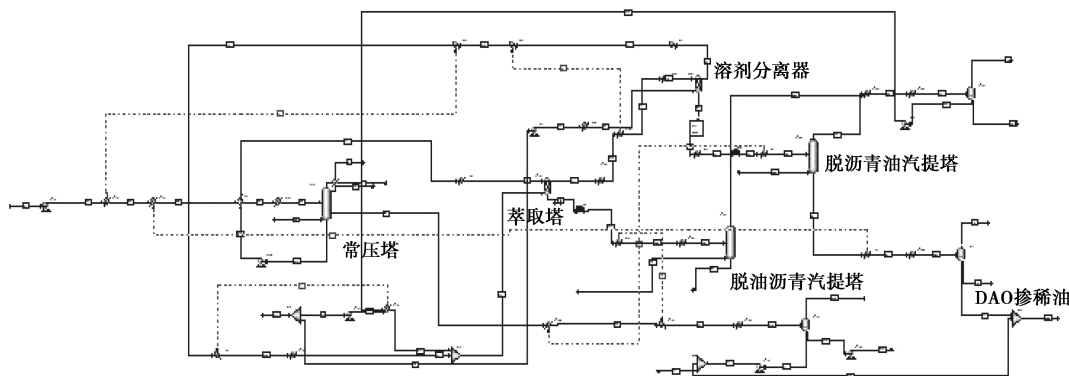


图 2 混合碳四溶剂脱沥青工艺流程模拟图

首先,需要采用常压塔将油砂沥青掺稀油中小于 350°C 的馏分离,常压塔理论板选择 14 块,塔压为 0.07 MPa,常压塔塔底可获得大于 350°C 的常压渣油。萃取塔本文中选用 Aspen Plus 里塔器 (Columns) 中的萃取 (Extract) 模块计算,理论塔板选 6 块,进料分 2 股:塔顶第一块塔板进料常压渣油;溶剂为混合碳四,从塔底第 6 块塔板进入。溶剂回收采用超临界回收和汽提溶剂回收相结合的方法。大部分溶剂经超临界回收,少量溶剂再汽提回收,回收的溶剂循环使用。

### 1.3 组分输入

根据加拿大油砂沥青掺稀油馏程表(表 1),分

析其中的 LPG 组成如表 2 所示。

表 2 LPG 组成数据

组分	质量分数/%	组分	质量分数/%
乙烷	0.033	正戊烷	1.186
丙烷	1.986	异戊烷	6.524
正丁烷	72.923	2,2-二甲基丙烷	2.234
异丁烷	14.936	3-甲基-1-丁烯	0.019
反式-2-丁烯	0.031	环戊烷	0.015
顺-2-丁烯	0.022	C <sub>6</sub> +	0.080
异丁烯	0.011		

对于表 1 中所述的 C<sub>5</sub>~520+°C 这部分石油馏

分,由于其组成极其复杂,很难也没有必要逐个组分模拟计算,因此一般是在实沸点蒸馏数据的基础上将这部分石油馏分分成若干个虚拟组分,采用虚拟组分的方式进行流程模拟。以表1数据为基础,转成的虚拟组分数据如表3所示。

表3 虚拟组分物性数据

虚拟组分	平均沸点/℃	API 比重	比重	特征因子	分子质量	质量/%
PC71C	71.07	59.14	0.74	11.49	83.60	5.51
PC149C	148.97	46.60	0.79	11.49	124.22	9.24
PC251C	250.64	34.24	0.85	11.49	191.46	8.96
PC317C	316.53	27.82	0.89	11.49	246.95	5.70
PC372C	371.75	23.14	0.92	11.49	300.95	1.54
PC433C	432.50	18.57	0.94	11.49	367.97	13.69
PC515C	514.77	13.15	0.98	11.49	470.03	16.11
PC585C	584.90	9.10	1.01	11.49	564.82	9.18
PC629C	629.44	6.75	1.02	11.49	627.20	7.17
PC678C	677.64	4.37	1.04	11.49	695.19	8.28
PC793C	792.65	-0.70	1.08	11.49	850.58	13.93

将表2与表3结合起来就构成了加拿大油砂沥青掺稀油的原料组成数据,解决了流程模拟过程中组分不易确定的难题。

表4为模拟时采用的混合C<sub>4</sub>溶剂组成分布。

表4 混合C<sub>4</sub>溶剂组成数据

组成	体积分数/%	临界温度/℃	临界压力/MPa
异丁烷	33.55	135.0	3.65
正丁烷	21.92	152.0	3.75
反丁烯	10.52	155.5	4.10
正丁烯	10.98	146.6	4.02
异丁烯	15.98	144.8	3.99
顺丁烯	6.73	160.0	4.10

#### 1.4 物性方法选择

过程模拟能正确反映操作情况、能否用于设计或指导操作,关键在于是否选对了热力学模型。Aparcio等<sup>[3]</sup>提出在溶剂脱沥青模拟过程中选用PENG-ROB热力学方法进行模拟,李武东等<sup>[4]</sup>建议在模拟溶剂脱沥青萃取塔时,选用PSRK热力学方法进行模拟。因此,本文中选择不PENG-ROB作为该物系的基本物性方法,萃取模块选用PSRK物性方法进行模拟调试。

#### 1.5 物流及单元操作模块的输入

规定好组分和物性以后,建立好流程,输入各进

料物流变量,然后再输入塔、闪蒸罐、混合器、换热器等模块的参数变量,就大致完成了整个流程的输入,可以进行模拟。打开Control panel,点击运行按钮,即可运行该流程。由于有大量的溶剂进行循环会使计算难以收敛,因此需要不断地调试,直至收敛好为止。

## 2 结果与讨论

点击快捷图表中Check results按钮,可以查看在设定条件下的运行结果。通过调整设定参数,考察、分析影响脱沥青油收率的因素,确定最佳操作条件。在最佳操作条件下,计算脱沥青油的API度,同时研究稀油掺入量对脱沥青油API度的影响。

### 2.1 溶剂比对脱沥青油收率的影响

考察溶剂比对脱沥青油收率的影响,如图3所示。

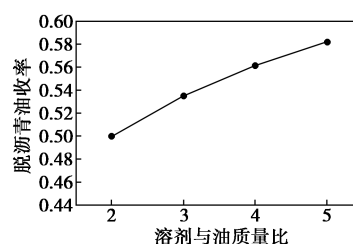


图3 溶剂比对脱沥青油收率的影响

从图3中可以看出,脱沥青油的收率随着溶剂比的增大而升高。通常情况,不同的原料和不同的生产方案都有一定的溶剂比,一般说来溶剂比的大小是根据原料油的性质来调节的,即较重的原料溶剂比小一些,原料变轻需溶剂比大一些。从原料性质、产品产量以及能量消耗等因素综合考虑,实际操作中的溶剂比大小有一最佳值。综合考虑,本工艺选择溶剂与原料油质量比为4:1。

### 2.2 抽提压力对脱沥青油收率的影响

考察抽提压力对脱沥青油收率的影响,如图4所示。

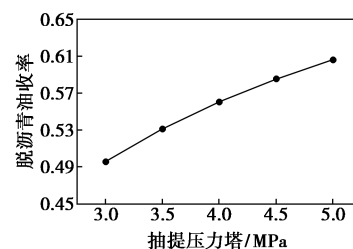


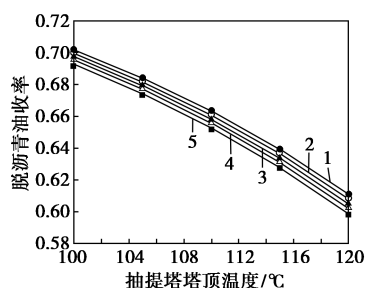
图4 抽提压力对脱沥青油收率的影响

从图4中可以看出,脱沥青油的收率随着抽提

压力的升高而增大。抽提压力是保证抽提效果和超临界溶剂回收效果的重要因素之一,控制的关键是要平稳。系统压力是为了保证液-液抽提的实现,其压力不能低于抽提温度下溶剂的饱和蒸气压。但是,过高的压力也是不可取的,一方面将增加动力消耗,另一方面也不利于安全生产。因此,综合考虑,确定抽提压力为 4 MPa。

### 2.3 抽提温度对脱沥青油收率的影响

考察抽提温度对脱沥青油收率的影响,如图 5 所示。



抽提塔底温度:1—80.0℃;2—85.0℃;3—90.0℃;  
4—95.0℃;5—100.0℃

图 5 抽提温度对脱沥青油收率的影响

从图 5 中可以看出,随着抽提塔塔顶温度的升高,脱沥青油的收率降低;随着抽提塔塔底温度的升高,脱沥青油的收率降低。一般情况下,温度升高,溶解度降低,选择性提高,抽出物减少,脱沥青油收率下降,残碳、黏度、密度降低,颜色变浅;温度下降则相反。温度过高,油组分沉降过多,造成沥青含油量上升,软化点下降。温度过低,溶解度过大,非理想组分溶于抽出物中过多,使脱沥青油残碳上升,严重时还造成塔内混相,顶部出黑油。综合考虑,确定抽提塔塔顶温度为 110℃,塔底温度 95℃。

### 2.4 稀油掺入量对脱沥青油 API 度的影响

在溶剂比为 4:1、抽提塔塔顶温度为 110℃、塔底温度 95℃、抽提压力为 4 MPa 的条件下,计算主要物流的 API 度,如表 5 所示。

表 5 主要物流 API 度的模拟结果

	油砂沥青掺稀油 (原料)	常压塔塔底渣油	脱沥青油
API 度(模拟)	16.5	5.5	9.9

模拟计算结果显示,加拿大油砂沥青掺稀油的 API 度为 16.5,分离出稀油后,常压渣油的 API 度为 5.5。脱沥青油的收率可以达到 65% 以上,在脱除质量分数 35% 重组分后,所得脱沥青油 API 度可

达到 9.9,可见,只靠抽提的方式并不能满足脱沥青油 API 度  $\geq 16.5$  的要求,因此需要将常压塔塔顶分离出来的轻油与脱沥青油进行调和。

下面,采用灵敏度分析的方式考察常压塔塔顶轻油掺入量对脱沥青油 API 度的影响,如图 6 所示。

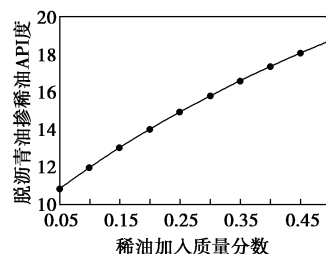


图 6 稀油掺入量对脱沥青油 API 度的影响

从图 6 可以看出,随着掺入常压塔顶分离出来稀油量的增大,脱沥青油掺稀油的 API 度也是逐渐增大的,为了达到加拿大油砂沥青掺稀油的 API 度,需要掺入原料稀油质量的 35%。由此可见,在有效分离出重组分后,可以节约 65% 的稀释剂,生产出 API 度为 16.5 以上的油品,从而满足油砂沥青的运输要求。

## 3 结论

采用 Aspen Plus 流程模拟软件对混合碳四溶剂脱沥青全流程进行模拟,分析了溶剂比、抽提温度、抽提压力对脱沥青油收率的影响,确定了最佳操作条件为溶剂比 4:1、抽提塔塔顶温度为 110℃、塔底温度 95℃、抽提压力为 4 MPa。并考察了在最佳操作条件下,脱沥青油的 API 度及稀油掺入量对脱沥青油 API 度的影响。结果显示,在脱除质量分数 35% 重组分后,所得脱沥青油 API 度可达到 9.9;掺原稀油加入量质量分数 35%,API 度达到 16.5,与原料加拿大油砂沥青掺稀油 API 度相当,满足运输要求,可以节约质量分数约 65% 的稀释油。

### 参考文献

- [1] 乔明,于宁,李振宇.加工加拿大油砂沥青:炼厂的选择与调整[J].国际石油经济,2013,(11):82-88.
- [2] 李振芳,赵翔鹏,王宗贤,等.加拿大油砂沥青常压渣油供氢热裂化改质基础研究[J].石油炼制与化工,2016,47(8):53-57.
- [3] Aparicio J J C, Jeronimo M A S, Martins F G, et al. Two different approaches for RDC modelling when simulating a solvent deasphalted plant[J]. Computers and Chemical Engineering, 2002, 26(10): 1369-1377.
- [4] 李武东,杜平安,曹发海,等.溶剂脱沥青抽提段的模拟与优化[J].计算机与应用化学,2009,26(4):455-460. ■