

塔河原油减压蒸馏生产高等级道路沥青工业试验

张 龙^{1*}, 吴振华², 张 英¹, 高景山¹, 陈建兵¹, 宁爱民¹
(1. 中国石化抚顺石油化工有限公司, 辽宁 抚顺 113001;
2. 中国石化塔河炼化有限责任公司, 新疆 库车 842000)

摘要:在大量实验室研究的基础上,将塔河原油焦化重循环油和常压渣油掺炼通过减压蒸馏来生产高等级道路沥青,并对减压蒸馏塔进行了基于提高分离精度的减压深拔改进,开展了工业试验。试验证明,塔河原油与焦化重循环蜡油通过减压蒸馏适当深拔,其减压渣油可生产出高等级道路沥青。
关键词:塔河原油;减压蒸馏;沥青;工业试验
中图分类号:TE624.2 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-4320(2016)07-0161-05
DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.07.040

**Industrial test for producing high-grade road asphalt by
Tahe crude oil vacuum distillation**
ZHANG Long^{1}, WU Zhen-hua², ZHANG Ying¹, GAO Jing-shan¹,
CHEN Jian-bing¹, NING Ai-ming¹*
(1. Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemicals, SINOPEC, Fushun 113001, China;
2. Tahe Petrochemical Company Limited, SINOPEC, Kuche 842000, China)

Abstract: On the basis of a large number of laboratory studies, the high grade road asphalt is produced by vacuum distillation of coking heavy recycle oil and atmospheric residue of Tahe crude oil. Vacuum distillation tower is improved to increase separation accuracy. The industrial tests are carried out as well. The results show that the vacuum residue from appropriate deep-cut vacuum distillation of coking heavy cycle oil and Tahe crude oil, can be used to produce high grade road asphalt.
Key words: Tahe crude oil; vacuum distillation; asphalt; industrial test

2014年中国石化在西安召开的西部沥青质量升级攻关会确认,今后5~10年西藏交通建设将面临跨越式发展,沥青需求在20万~30万t。塔河原油是西部沥青市场生产高等级道路沥青的主要原油品种^[1]之一。但近年来,随着塔河原油性质劣质化、劣质化的加剧^[2],其减压渣油生产A级沥青面临减压渣油在尽量深拔的前提下,闪点仍偏低(238℃),而且渣油针入度也被迫降低,使最终的沥青产品针入度和闪点指标难以兼顾。在大量实验室研究的基础上,国内首次将塔河原油焦化重循环油和常压渣油掺炼通过减压蒸馏来生产高等级道路沥青^[3],并根据沥青生产工艺对其性质的影响^[4],对减压蒸馏塔进行了基于提高分离精度的减压深拔改进,开展了工业试验。

1 实验室研究

1.1 原料性质

沥青性质的优劣主要取决于原料性质^[5]。首

先在实验室对焦化重循环油进行了试验分析,并与塔河原油工业减压渣油进行对比,分析结果如表1所示。

表1 沥青原料性质

项目	2012年6月 工业减压渣油	焦化重 循环油
针入度/0.1 mm	57	—
软化点/℃	56.8	—
10℃延度/cm	5.5	—
60℃黏度/(Pa·s)	1204	—
闪点/℃	238	—
TFOT后性质		
质量变化/%	0.38	—
针入度比/%	68.4	—
10℃延度/cm	3	—
四组分/%		
饱和分(Sat.)	29.00	31.60
芳香分(Ar.)	31.75	40.00

收稿日期:2016-02-18;修回日期:2016-05-03
基金项目:中国石化科技开发项目(106002000860)
作者简介:张龙(1973-),男,硕士,高级工程师,研究方向为石油化工工艺及节能,通讯联系人,024-56389823, zhanglong.fshy@sinopec.com。

续表

项目	2012 年 6 月 工业减压渣油	焦化重 循环油
胶质(R)	17.48	16.80
沥青质(Asp)	21.77	11.60
$I_c = (Sat. + Asp.) / (Ar. + R)$	1.031	—
馏程分析/℃		
IBP	—	257.1
10%	—	381.0
30%	—	418.8
50%	—	454.0

由表 1 可以看出,塔河原油工业减压渣油的闪点和延度偏低。软化点、延度等沥青指标与沥青的胶体结构有关^[6]。从胶体不稳定指数^[7] I_c 来看,减压渣油的 I_c 值较大,其胶溶能力变差,沥青性质也会相应恶化。同时,减压渣油的沥青质含量较高、闪点较低,已不适宜作为高等级道路沥青的基础原料。

从组成上看,塔河焦化重循环油沥青质组分含量低,不会增加塔河渣油本已很高的沥青质,而且具有一定的芳烃和胶质含量,作为生产塔河沥青的调和软组分应具备一定的潜在可能性。从馏程上看,塔河焦化蜡油 400℃ 以上体积收率 80% 左右,420℃ 以上体积收率 10% 左右,高沸点重质馏分含量多,可供利用部分大约 70% 以下。另外,沥青的闪点与

基础原料的初馏点和 5% 点温度有关。虽然焦化重循环油馏程范围较宽,初馏点和 5% 点温度均较低,但含量较少。大部分馏分集中在 380℃ 以上,经过减压蒸馏后,其渣油的初馏点和 5% 点温度将会有大幅的提升,不会对高等级道路沥青产品的闪点性质造成影响。对其进行实沸点蒸馏后各段渣油的性质如表 2 所示。

表 2 焦化重循环油实沸点蒸馏渣油性质

渣油馏程 范围/℃	轻收/ %	针入度/ 0.1 mm	PI	软化点/ ℃	闪点/ ℃
>440	46.05	30	0.857	60.7	266
>435	43.56	40	0.821	56.6	266
>430	41.05	58	0.525	51.4	252

从表 2 可以看出,焦化重循环油减压蒸馏后各段渣油的 PI 值均较低,闪点较工业渣油提高约 30℃。适宜作为生产高等级道路沥青的基础配比原料。

1.2 调和沥青

按照 A 级沥青生产工艺,以 2012 年 6 月塔河工业渣油为原料,加入馏程 >430℃ 的塔河原油焦化重循环油作为针入度调整油,分别调制的 70[#] 和 90[#] 2 种牌号沥青,各种调和原料在 140 ~ 150℃ 下搅拌 30 min。各物料按比例调和沥青性质与沥青标准见表 3。

(上接第 160 页)

获得进一步研究及取得技术上的突破,备份预留其他低焓热源的替代工程经验有待改善。

(3) 热声热机的应用领域目前相对还比较小,基础性的研究有待进一步深化,特别是工程实施经验的积累,相信随着其综合性能的提高,热声热机将会得到更加广泛地应用。

(4) 沼气发电余热利用加热方式作为热声发动机的驱动热源,实现沼气工程的热-电-声联产和分站式热-电-冷声的综合应用研究具有一定现实意义。

5 结论

热声发动机是利用热声效应,可实现热能到声功的转换,以压力波动的形式产出机械功。把热声发动机用于沼气厌氧发酵工艺加热中,突破了目前国内外只能将其应用在制冷、发电领域的限制;将热声发动机声能作为热泵的动力源,实现了热声制热,

将得到的热量用于沼气循环加热系统,使沼气池发酵温度减少随环境气温的变化而变化。

热声发动机驱动热泵产生热量,用于强化稳定沼气产量的技术,具有可行性和巨大的潜力。

参考文献

[1] 金滔,陈国邦,应哲强. 热声理论的研究及其发展[J]. 低温与超导,1999,27(3):48-56.

[2] Tijani M E H, Spoelstra S. A hot air driven thermoacoustic-stirling engine[J]. Applied Thermal Engineering, 2013, 61(2): 866-870.

[3] Mumith J A, Makatsoris C, Karayiannis T G. Design of a thermoacoustic heat engine for low temperature waste heat recovery in food manufacturing: A thermoacoustic device for heat recovery[J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 65(1): 588-596.

[4] Zhao Yang, Yang Zhuo, Luo Ercang, et al. Travelling-wave thermoacoustic high-temperature heat pump for industrial waste heat recovery[J]. Energy, 2014, 77(1): 397-402.

[5] Zhao Yang, Chen Yanyan, Yu Guoyao, et al. Experimental investigation on a linear-compressor driven travelling-wave thermoacoustic heat pump[J]. Energy Procedia, 2015, 75: 1844-1849. ■

表 3 调和沥青结果与标准				
性质	90 [#]	70 [#]	70A 标准	90A 标准
原料	工业渣油	工业渣油	—	—
	焦化重	焦化重	—	—
	循环油	循环油	—	—
	>430℃	>430℃		
比例	75:25	75:25	—	—
FR1/%	6	6	—	—
稳定剂 PETROA/%	0.6	0.6	—	—
针入度(25℃)/ 0.1 mm	65	85	60~80	80~100
针入度指数 PI	0.1	-0.14	(A)-1.5~ +1.0	(A)-1.5~ +1.0
软化点/℃	52.8	50.7	(A)≦46	(A)≦45
延度(10℃)/cm	>150	>150	(A)≦30	(A)≦45
延度(15℃)/cm	>150	>150	≦100	≦100
闪点/℃	260	257	≦260	≦245
黏度(60℃)/(Pa·s)	334	190	≦180	≦160
薄膜烘箱后性质				
质量变化/%	-0.15	-0.23	-0.8~ +0.8	-0.8~ +0.8
残留针入度比/%	63.1	58.8	(A)61	(A)≦57
延度(10℃)/cm	49	>150	(A)≦6	(A)≦8

表 3 调和试验结果表明,①软化点和 PI 值:调和沥青的软化点和 PI 值符合 A 级道路沥青的要求。PI 值反映了沥青针入度对温度变化的敏感性,其值越小敏感性越强,路面越易出现高、低温病害。②闪

点:掺炼焦化重循环油提高了塔河沥青的闪点,高出 90[#]、70[#]沥青闪点要求 14~15℃,说明焦化重循环油的渣油原料对沥青产品闪点提高有一定帮助。③延度:调和沥青延度都合格。除 70[#]辐射油调和沥青 TFOT 后 10℃延度为 49 cm 外,其余均大于 150 cm。其原因可能是重焦化循环蜡油含有焦炭颗粒,或是因为其调和沥青低温劲度比较大造成的。

2 生产流程

依据实验室研究的数据开展模拟计算,对原减压蒸馏塔进行提高分离精度的工艺技术和塔内件改造。具体的工艺改造包括:①将焦化分馏塔重循环油与常压渣油混合作为减压进料;②新增减三线采出线;③新增减四线过汽化油抽出线,部分循环至减压炉进口。工业试验工艺流程如图 1 所示,原油进行换热升温后在常压炉加热到 350~370℃进入常压蒸馏塔进行常压蒸馏。蒸馏塔底常压渣油一部分作为焦化分馏塔进料进入延迟焦化装置焦化分馏塔,另一部分送减压炉作为减压塔进料。高温的焦

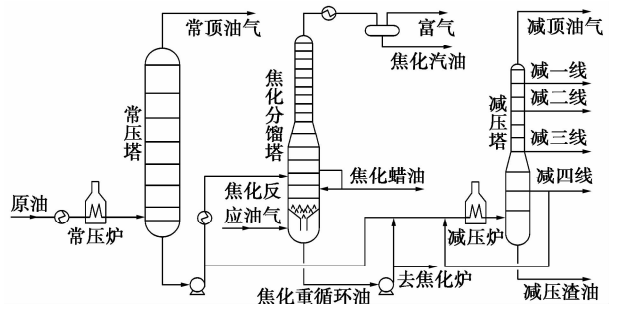


图 1 工业试验生产流程

表 4 操作条件

常压蒸馏塔		焦化主分馏塔		减压蒸馏塔	
项目	操作条件	项目	操作条件	项目	操作条件
压力/kPa	150.0	塔顶压力/kPa	195.0	塔顶压力/kPa	5.3
进料压力/kPa	—	进料压力/kPa	—	进料压力/kPa	390.0
塔顶温度/℃	144.8	塔顶温度/℃	130.0	塔顶温度/℃	108.0
顶循抽出温度/℃	162.4	顶循抽出温度/℃	147.3	减一线抽出温度/℃	174.6
顶循返塔温度/℃	103.3	顶循返塔温度/℃	115.2	减一中抽出温度/℃	174.6
常一线抽出温度/℃	204.0	柴油抽出温度/℃	225.3	减一中返塔温度/℃	108.0
常一中抽出温度/℃	221.6	柴油回流返回温度/℃	160.2	减二线抽出温度/℃	266.6
常一中返塔温度/℃	162.2	轻蜡油抽出温度/℃	377.3	减二中返塔温度/℃	186.1
常二线抽出温度/℃	283.9	轻蜡油返回温度/℃	298.1	减三线抽出温度/℃	304.6
塔进料温度/℃	362.0	重蜡油抽出温度/℃	395.2	塔进料温度/℃	360.0
塔底温度/℃	353.3	塔进料温度/℃	415.0	塔底温度/℃	336.3
		塔底温度/℃	374.7		

化反应油气进入焦化分馏塔底部换热洗涤板下换热段,焦化蜡油抽出分出一部分洗涤油进入洗涤换热段上部,对高温反应油气进行洗涤冷却,冷凝下来的焦化循环油和常压渣油在焦化分馏塔塔底混合。焦化分馏塔塔底重循环油经泵抽出后部分送焦化炉,部分与常压渣油经减压炉加热到 380 ~ 420℃ 进入减压蒸馏塔。在减压蒸馏塔从侧线抽出相对较轻的馏分油,从塔底抽出减压渣油作为基质沥青送往沥青调和装置。生产操作条件如表 4 所示。

表 5 减压蒸馏试验数据与模拟开发和试验前对比

馏程/℃	减一线			减二线			减三线			减四线			减压渣油		
	改前	标定	模拟	改前	标定	模拟	改前	标定	模拟	改前	标定	模拟	改前	标定	模拟
IBP	278	259	258	261	328	335	—	350	354	—	353	370	312	371	412
10%	308	317	297	346	368	369	—	392	409	—	428	428	417	423	458
30%	—	336	317	—	381	382	—	416	419	—	448	445	—	496	507
50%	340	349	329	391	393	391	—	426	428	—	464	460	541	574	582
70%	—	358	341	—	401	400	—	437	436	—	475	477	—	671	682
90%	363	363	358	432	417	419	—	446	453	—	496	506	693	—	—
95%	373	367	365	448	424	428	—	452	461	—	509	514	—	—	—
FBP	379	373	372	494	462	434	—	473	466	—	—	527	—	—	—

表 6 工业试验减压渣油性质

进料量/ (t·h ⁻¹)	炉出口温度/ ℃	饱和分质量 分数/%	芳香分质量 分数/%	胶质质量 分数/%	沥青质质量 分数/%	残炭/ %	针入度/ 0.1 mm	延度(25℃)/ cm	软化点/ ℃	闪点/ ℃
48	360	15.04	47.92	11.69	25.32	24.45	57	64	53.3	252
48	364	14.21	47.83	11.65	26.31	24.57	55	63	53.8	252
48	368	13.02	48.08	11.14	23.88	25.44	65	52	53.2	251
48	370	15.84	46.78	11.96	25.43	24.45	81	70	49.6	252
50	360	16.96	47.72	9.52	25.80	25.05	85	82	49.0	250
53	360	17.07	50.87	9.66	22.40	—	55	53	53.7	251
56	360	16.26	49.16	10.52	24.06	24.40	55	63	53.3	252
58	360	12.68	52.97	9.49	24.86	24.36	59	72	53.3	250

从表 5 对比分析看出,在减压塔相邻侧线产品重叠度方面,试验前减二线与减一线间的产品重叠度 $\Delta T = T(\text{减二线 } 5\% \text{ 点}) - T(\text{减一线 } 95\% \text{ 点})$,为 -80°C ,试验中为 -10°C ;减压渣油与减二线间的产品重叠度为 -97°C ,试验中减三线与减二线间为 -55°C ,减四线与减三线间为 -48°C 。试验中,减压塔各侧线产品之间的重叠度得到大幅改善,产品质量得到了保证;而且从表 6 看出,试验中侧线产品及减压渣油产品性质稳定,技术试验中减压蒸馏操作

3 工业试验

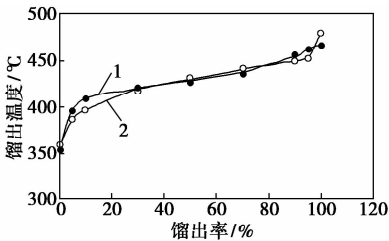
3.1 减压蒸馏试验

稳定减压进料在常压渣油 38 t/h、焦化重循环油 12 t/h。在减压炉出口温度 360℃ 基础上,逐步调节减压炉出口温度至 370℃。每次调整后装置稳定 6 h,对减压塔各侧线产品及减压渣油进行采样分析,并与工业试验前数据和设计数据一起列于表 5 进行对比。把工业试验所得减压渣油性质分析列于表 6。

弹性及可控性较好。而且减压渣油初馏点由试验前的 312℃ 提高到 371℃,5% 及 10% 点温度得到大幅提升,保证了减压渣油闪点达标。同时可以看到,试验中减压塔最底侧线减三线的干点(473.3℃)较试验前最底侧线减二线干点(494.8℃)下降。但减压渣油的初馏点及 10% 点较试验前大幅提升。意味着虽然减压切割点降低了,但减压渣油的闪点却大幅上升,说明提高了最底侧线和减压渣油的分离精度,且降低了雾沫夹带率。总之,减压蒸馏试验不仅

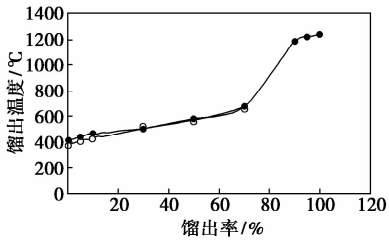
提高了减压塔分离精度,而且改善了减压渣油的产品质量。

另外,从减压塔侧线产品馏分的宽窄度上来看,试验前减压塔最底侧线减二线馏分馏程宽度 $\Delta T = T(95\% \text{ 点}) - T(5\% \text{ 点})$, 达到 155°C , 其中既含有约 20% 的低沸点的柴油馏分,又含有沸点近 500°C 的蜡油组分。减压塔侧线产品间的分离精度差。试验中减二线馏分馏程宽度降到 63°C ,减压塔最底侧线减三线馏分馏程宽度为 83°C 。达到了减压蒸馏侧线产品适当的馏程宽度范围,保证了减压塔侧线产品质量。同时,以试验获得的减三线 and 减压渣油产品蒸馏数据为例,与模拟计算值进行对比,对比情况见图 2 和图 3。从图 2 和图 3 来看,减三线和减压渣油的标定蒸馏数据与模拟值基本吻合。表明对减压塔的结构设置及工艺优化改造实现了设计目的。



1—模拟值;2—标定值

图 2 减三线模拟与标定蒸馏数据对比



1—模拟值;2—标定值

图 3 减压渣油模拟与标定蒸馏数据对比

3.2 A 级沥青试验

为了更直接地反映减压塔操作条件变化(温度与减压进料变化)对 A 级沥青性质的影响,直接对减压塔相应条件变化后的减压渣油进行采渣油样品按工业生产条件进行调和,并进行调和沥青样品分析。取样分析结果如表 7 所示。

由表 7 可见,A 级沥青工业试验样品针入度大于试验小样,导致其 PI 值、软化点、 60°C 黏度均小于试验小样,重要的是闪点基本重复了实验室研究的结果,其中混炼 25% 焦化重循环油的沥青工业试验

PI 值满足 A 级沥青产品指标。

表 7 A 级沥青样品性质分析

	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4
针入度(25℃)/0.1 mm	94	91	87	79
PI 值	—	0.5761	—	0.3383
软化点/℃	48.5	49.3	48.4	49.1
黏度(60℃)/(Pa·s)	—	261.86	—	377.16
延度(10℃)/cm	>150	>150	>150	>150
延度(15℃)/cm	>150	>150	>150	>150
蜡含量/%	—	2.1	—	2
闪点/℃	255	258	257	255
溶解度/%	—	—	—	99.93
密度/(g·cm ⁻³)	—	—	—	1032
TFOT				
质量变化/%	-0.36	-0.33	-0.30	-0.20
针入度比/%	64.9	60.0	66.3	62.2
延度(10℃)/cm	>150	>150	>150	>150
延度(15℃)/cm	>150	>150	>150	>150

4 结论

通过对塔河原油掺炼焦化重循环油及减压蒸馏深拔工业试验,可以得出如下结论。

(1)塔河原油减压蒸馏适当深拔,其减压渣油作为沥青生产的基础原料的性质得到大幅改善。

(2)塔河原油与焦化重循环蜡油通过减压蒸馏所得的减压渣油可作为 A 级沥青生产的原料。

参考文献

[1] 程国香,郭皎河,沈本贤,等.塔河原油特性及其沥青产品性能评价[J].石油沥青,2005,19(4):5-9.

[2] 封子文.塔河重质原油加工方案的优化研究[J].炼油技术与工程,2012,42(5):29-33.

[3] 张龙,李经纬,王明星,等.一种基质沥青的生产方法:CN,20130540416.8[P].2015-05-13.

[4] 程国香.我国道路沥青生产工艺技术的现状与产品质量[J].炼油设计,2001,31(8):8-13.

[5] 张田英,毛卉,王传民,等.科威特原油制取高等级道路沥青的工业试验[J].石油炼制与化工,2001,32(2):22-26.

[6] 柴志杰,郭皎河,王文博,等.提高塔河原油所产沥青闪点的技术研究[J].石油炼制与化工,2014,45(1):55-58.

[7] 林璐,李晓林,郑广宇,等.石油沥青老化性能与其化学组成的关系探讨[J].材料导报,2013,27(16):123-126. ■