

煤炭加工与环保

国内高温煤焦油加工工艺发展研究

魏忠勋^{1,2}, 王宗贤¹, 甄凡瑜², 张金义²

(1. 中国石油大学 化学化工学院, 山东 青岛 266555; 2. 济宁能源发展集团有限公司, 山东 济宁 272400)

摘要: 介绍了目前国内正在运行的 6 种煤焦油加工工艺, 分析了各种工艺的优缺点, 并指出了国内传统的一塔式煤焦油蒸馏工艺存在的问题。在此基础上, 得出煤焦油常压连续加热聚合法生产的沥青产品最能适合国内炭素行业的需要。从长远发展看, 生产不含钠离子沥青的法国常减压煤焦油蒸馏工艺和不含中间相沥青的美国塔底循环煤焦油减压蒸馏工艺是今后煤焦油加工的发展方向。

关键词: 煤焦油; 蒸馏; 沥青; 钠离子; 中间相; 炭素

中图分类号: TQ522

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2013)04-0114-05

Study on Development of Coal Tar High Temperature Processing Technique in China

WEI Zhong-xun^{1,2}, WANG Zong-xian¹, ZHEN Fan-yu², ZHANG Jin-yi²

(1. School of Chemical Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. Jining Energy Development Group Corporation Ltd., Jining 272400, China)

Abstract: The paper introduced six coal tar processing techniques operated in China, analyzed the advantages and disadvantages of each technique and pointed out the problems existed in the domestic traditional one tower coal tar processing technique. Based on the circumstances, the asphalt produced with the constant pressure continued thermal polymerization method of coal tar could meet the requirements of the domestic carbon industry. From a view of the long development, the French atmospheric and vacuum distillation technique to produce the no sodium ion asphalt and the USA tower bottom circulated pressure reduced and vacuum distillation technique to produce non mesophase asphalt would be the development orientation of the future coal tar processing.

Key words: coal tar; distillation; asphalt; sodium ion; mesophase; carbon

0 引言

煤焦油是一种具有刺激性臭味的黑色或黑褐色黏稠状液体, 是煤在热解过程中产生的液体产品。按热解温度的不同, 可分为低温煤焦油、中温煤焦油和高温煤焦油 3 种。我国绝大部分煤焦油是高温煤焦油, 由煤在炼焦过程中产生^[1]。近几年, 随着我国钢铁工业的快速发展, 以及国际市场对焦炭需求的增加, 国内各炼焦企业不断扩大产能, 新建焦炭企业数量也不断增加, 导致作为炼焦工业主要副产品的高温煤焦油产量也随之增加。到 2010 年我国煤焦油总产量约 1 400 万 t, 加工能力达 1 000 万 t 以上。迅猛增加的煤焦油为煤焦油集中加工提供了充足的

原料。煤焦油中含有上万种化工产品, 含量较多的是沥青、蒽油、洗油、轻油、酚油、粗酚、工业萘等, 其中沥青占 50% ~ 55%。经粗加工后的产品, 如工业萘、蒽油、洗油、粗酚等是化工、医药、橡胶、建筑等行业的重要材料。工业所用的精萘、蒽、菲、蒽醌、咔唑等产品 90% 以上来自焦化产品。沥青是炭素行业重要的原料, 它直接关系到我国电炉炼钢工业的发展。基于上述原因, 国内越来越多的企业建设了煤焦油深加工生产装置。国内外各种煤焦油加工工艺也都是围绕沥青的产品质量而研究的^[2]。由于沥青产品的质量直接决定了煤焦油加工的生产工艺, 基于此, 笔者分析了国内传统煤焦油加工工艺及存在的问题, 并提出高温煤焦油加工的发展方向, 以期

收稿日期: 2012-11-14; 责任编辑: 代艳玲

作者简介: 魏忠勋(1975—), 男, 山东嘉祥人, 高级工程师, 博士研究生, 现任济宁能源发展集团有限公司副总经理。E-mail: weizx1128@163.com

引用格式: 魏忠勋, 王宗贤, 甄凡瑜, 等. 国内高温煤焦油加工工艺发展研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 114-118, 123.

为煤焦油加工产业的快速发展提供技术参考。

1 国内外煤焦油加工企业生产状况

国外焦化企业煤焦油深加工有 3 种比较典型的模式。①德国吕特格模式: 煤焦油集中加工, 煤焦油处理能力 150 万 t/a, 最大单套加工能力 50 万 t/a, 煤焦油产品有 200 ~ 220 个品种, 产品品种不固定, 可根据市场需要随时转产。由于能源紧缺, 煤焦油年加工量正逐年减少。②日本新日化模式: 煤焦油集中加工, 目的是提高产品加工深度, 煤焦油加工能力达 90 万 t/a, 最大单套加工能力 60 万 t/a。该公司技术优势不在品种多, 而是注重沥青的深加工, 研制开发了高质量的针状焦和高性能碳纤维, 属于世界先进技术, 并很好地解决了沥青的销路问题。③美国考伯斯模式: 单套装置处理规模不大, 一般在 30 万 t/a 以下, 美国考伯斯公司在国外的合资企业较多, 产品主要围绕沥青, 目的是降低沥青中的喹啉不溶物含量, 增强了沥青在电极行业的竞争力。

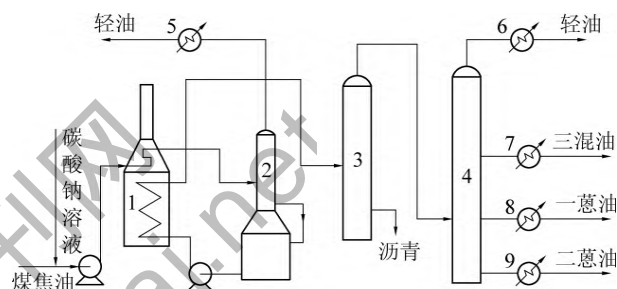
20 世纪 90 年代前, 我国大部分煤焦油加工装置都是 50—60 年代从前苏联引进的一塔式或两塔式煤焦油加工工艺, 生产中温沥青, 装置规模为 3 万 t/a 和 5 万 t/a。进入 90 年代, 在消化吸收国外煤焦油加工技术的基础上, 自行设计和安装了一些规模 10 万 t/a 的煤焦油加工装置, 新开发了改质沥青生产技术, 使我国煤焦油加工技术得到快速发展, 但与先进国家相比能耗较大, 污染较为严重。进入 21 世纪, 随着我国钢铁工业和炼焦技术的发展, 煤焦油加工向大型化、先进化发展。国内新建了 10 余套单套加工能力 15 万 t/a 和 30 万 t/a 的生产装置, 其煤焦油蒸馏部分采用美国、法国、日本的先进技术, 主要目的是提高沥青产品质量。馏分洗涤、工业萘蒸馏和沥青改质部分仍采用国内技术。目前, 新建煤焦油加工装置单套处理能力都在 15 万 t/a 以上。截至 2012 年, 国内煤焦油加工装置单套加工能力在 30 万 t/a 以上(含新建) 厂家主要有上海宝钢化工有限公司、鞍山钢铁集团公司化工总厂、山西焦化集团有限公司、潍坊焦化集团有限公司、唐山钢铁考伯斯(中国)炭素化工有限公司等 10 余家企业。

2 国内外煤焦油加工工艺

2.1 传统一塔式煤焦油蒸馏工艺

1) 工艺流程^[3]。85 ~ 95 ℃ 的煤焦油在进入普

通离心油泵前与质量分数 8% ~ 12% 的碳酸钠溶液混合后, 经管式炉对流段加热到 120 ℃ 进入一段蒸发器进行脱水脱盐, 使煤焦油中的水降到质量分数 0.5% 以下。脱水后的煤焦油用耐高温离心油泵经管式炉辐射段加热到 395 ~ 400 ℃ 后进入二段蒸发器, 闪蒸出的油气进入分馏塔。根据沸点的不同, 从塔顶、侧线、塔底分别采出轻油馏分、酚萘洗三混馏分和蒽油馏分, 然后再经各自的冷却器冷却后进入各自的中间槽。二段蒸发器底部的沥青放入沥青高位槽, 自然冷却到 200 ℃ 后再用水冷却成型。一塔式煤焦油蒸馏工艺流程如图 1 所示。



1—管式炉; 2—一段蒸发器; 3—二段蒸发器; 4—分馏塔;
5—一段轻油冷凝冷却器; 6—二段轻油冷凝冷却器; 7—三混油冷凝冷却器; 8—蒽油冷凝冷却器; 9—二蒽油冷凝冷却器

图 1 一塔式煤焦油蒸馏工艺流程

2) 工艺特点。该工艺只能生产软化点 75 ~ 95 ℃ 的中温沥青, 如果要生产改质沥青, 必须新安装一套改质沥青装置。由于生产过程中加入了碳酸钠溶液, 造成沥青产品中的钠离子含量较高, 质量分数一般为 $(200 \sim 400) \times 10^{-6}$ 。中温沥青质量指标见表 1。

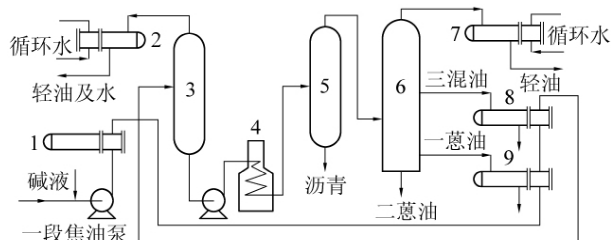
表 1 中温沥青质量指标^[4]

项目	软化点/℃	甲苯不溶物含量/%	喹啉不溶物含量/%	灰分/%	挥发分/%
电极用	80 ~ 90	15 ~ 25	≤10	≤0.3	58 ~ 68
一般用	75 ~ 95	25	—	≤0.5	55 ~ 75

2.2 煤焦油常压连续加热聚合法蒸馏工艺

1) 工艺流程^[5]。煤焦油常压连续加热聚合法蒸馏工艺流程是由兖矿科蓝煤焦化有限公司发明的技术。85 ~ 95 ℃ 的煤焦油在进入普通离心油泵前与质量分数 8% ~ 12% 的碳酸钠溶液混合后, 经煤焦油/三混油换热器、煤焦油/一蒽油换热器分别与三混油馏分、一蒽油馏分换热到 120 ℃ 后进入一段蒸发器, 一段蒸发器塔顶采出少量轻油和水, 塔底无水煤焦油经煤焦油/沥青换热器与沥青换热后再经

管式炉辐射段加热到 390 ~ 400 °C 后进入二段蒸发器。在二段蒸发器内闪蒸出的混合油气进入分馏塔。根据沸点不同,塔顶采出轻油,侧线分别采出三混油和一蒽油,塔底采出二蒽油。二段蒸发器底部采出沥青,沥青与无水煤焦油换热后去沥青高位槽冷却成型,工艺流程如图 2 所示。



1—煤焦油加热器;2—一段轻油冷凝冷却器;3—脱水塔;4—管式加热炉;5—聚合塔;6—分馏塔;7—二段轻油冷凝冷却器;
8—三混油冷却器;9—一蒽油冷却器

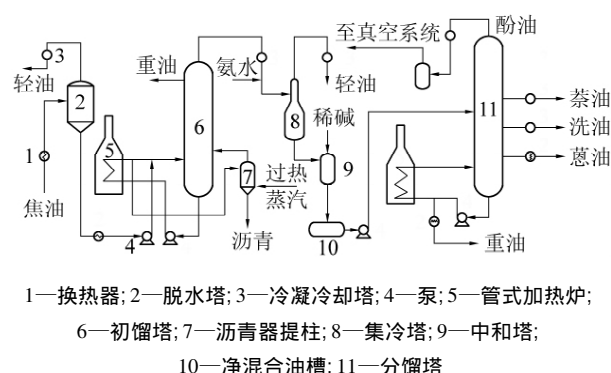
图2 煤焦油常压连续加热聚合蒸馏工艺流程

2) 工艺特点。该工艺的优点是设备较少,不用改质沥青装置,可直接生产 80 ~ 115 °C 各种指标的中温沥青、中温改质沥青和高温改质沥青。生产过程中也需要加入碳酸钠溶液,沥青产品中钠离子质量分数一般为 $(200 \sim 400) \times 10^{-6}$ 。改质沥青产品质量符合 YB/T 5194—2003《改质沥青》^[6] 标准。采用该工艺生产的中温改质沥青质量指标如下:软化点 90 ~ 105 °C、甲苯不溶物含量 28% ~ 34%、喹啉不溶物含量 6% ~ 12%、 β 树脂含量不小于 8%、结焦值不小于 55%、灰分不大于 0.3%。

2.3 法国常减压煤焦油蒸馏工艺

1) 工艺流程^[7]。常减压煤焦油蒸馏工艺是法国 IRH 公司研发的技术。原料煤焦油经导热油加热后进入脱水塔,由脱水塔顶排出轻油和水,塔底的无水煤焦油再经导热油加热到 240 °C 与初馏塔底经管式炉循环加热的部分沥青混合,温度达 375 °C 进入初馏塔,初馏塔底部的沥青经过热蒸汽汽提后得到中温沥青,初馏塔顶采出的混合油气经氨水急冷后,在急冷塔顶分出轻油和水,塔底分出混合油。混合油与质量分数 2% 的氢氧化钠溶液混合后,再经蒽油换热器、重油换热器换热后进入分馏塔,塔顶采出酚油,侧线分别采出萘油、洗油、蒽油,塔底采出重油。法国常减压煤焦油蒸馏工艺流程如图 3 所示。

2) 工艺特点。煤焦油在闪蒸时不加碱,油气与中温沥青分开后,再在冷却后的油气中加入适量的



1—换热器;2—脱水塔;3—冷凝冷却塔;4—泵;5—管式加热炉;
6—初馏塔;7—沥青器提柱;8—集冷塔;9—中和塔;
10—净混合油槽;11—分馏塔

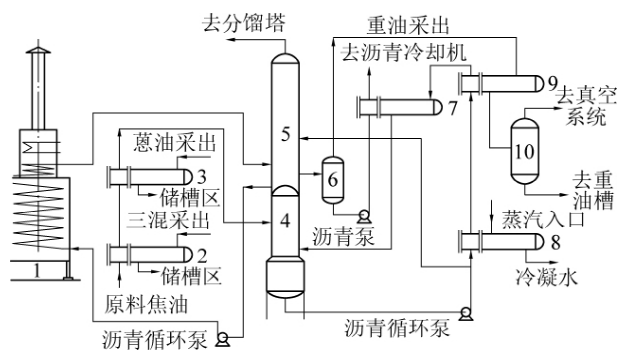
图3 法国常减压煤焦油蒸馏工艺流程

氢氧化钠溶液,中和混合油中的铵盐,这就有效降低了沥青中钠离子的含量。分馏塔液相进料,精馏塔的可调性提高,分离效果更好。该工艺只能生产中温沥青,要生产改质沥青,中温沥青需再进入法国 IRH 公司的改质沥青生产装置,生产低喹啉、无中间相的改质沥青。沥青中的钠离子质量分数一般小于 80×10^{-6} ,用此工艺生产的改质沥青产品质量指标符合 YB/T 5194—2003《改质沥青》质量标准。

2.4 美国塔底循环煤焦油减压蒸馏工艺

1) 工艺流程^[8]。塔底循环煤焦油减压蒸馏工艺是美国考伯斯公司的技术,该技术已在法国、印度、中国、巴西等国应用。85 ~ 95 °C 的煤焦油在普通离心油泵前与质量分数 8% ~ 12% 的碳酸钠溶液混合后,经煤焦油/三混换热器、煤焦油/一蒽油换热器分别与三混、一蒽油换热到 120 °C 后进入一段蒸发器,一段蒸发器底部的无水煤焦油经与重油、沥青换热到 180 °C 后再进入一段蒸发器,少部分无水煤焦油进入二段蒸发器。二段蒸发器底部 365 °C 的软沥青一部分经沥青循环泵、管式炉加热到 380 °C 后再进入二段蒸发器底部,少部分沥青进入负压系统的闪蒸塔进行闪蒸。闪蒸塔底部中温沥青用沥青泵经与无水煤焦油换热后进入沥青冷却系统冷却成型;闪蒸塔顶部重油气经与无水煤焦油换热冷却后进入重油槽。二段蒸发器顶部的混合油气进入分馏塔,分别采出轻油、三混油、一蒽油、二蒽油,工艺流程如图 4 所示。

2) 工艺特点。采用减压蒸馏降低了沥青聚合温度,保证沥青含有较低的喹啉和中间相,用此工艺生产的沥青叫硬质沥青。此工艺在煤焦油脱水前也需要加碱,中和煤焦油中的铵盐,防止设备和管道的腐蚀。目前我国还没有相关的硬质沥青质量标准。国内 3 家单位生产的硬质沥青质量指标见表 2。



1—管式炉; 2—煤焦油/三混油换热器; 3—煤焦油/蒽油换热器;
4—一次蒸发器; 5—二次蒸发器; 6—闪蒸罐; 7—煤焦油/沥青
换热器; 8—煤焦油预热器; 9—重油/煤焦油换热器; 10—真空罐

图4 塔底循环煤焦油减压蒸馏工艺流程

表2 硬质沥青质量指标

单位	软化点/ ℃	甲苯不溶 物含量/%	喹啉不溶 物含量/%	结焦值/ %	360℃前 馏出量/%	灰分/ %
TG	108~112	≥20	6~10	≥54	≤4	≤0.5
XM	105~110	22~26	5~8	≥54	≤4	≤0.3
AG	105~115	—	—	—	≤3.2	≤0.3

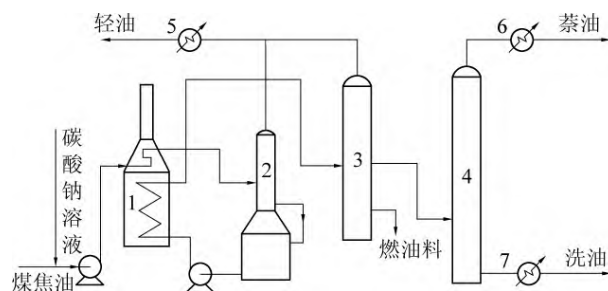
注: TG 为唐山钢铁集团有限责任公司; XM 为旭阳煤化工集团有限公司; AG 为鞍山钢铁集团公司。

2.5 直接生产燃料油的煤焦油蒸馏工艺

煤焦油加工企业生产的燃料油一般分为直接燃料油和回配燃料油。直接燃料油就是在煤焦油蒸馏过程中直接生产出的燃料油; 回配燃料油是煤焦油蒸馏过程中产生的中温沥青和蒽油按质量比 2: 1 重新混合后所得的燃料油。燃料油主要作为燃料用于玻璃窑炉和陶瓷窑炉, 有时也作为化工企业管式炉的燃料使用。根据市场情况, 燃料油可以代替石油重油使用, 有时也作为炭黑油供生产低档炭黑的企业使用^[9]。

1) 工艺流程^[10]。85~95℃的煤焦油在进入普通离心油泵前与质量分数 8%~12% 的碳酸钠溶液混合后经管式炉对流段加热到 120℃ 进入一段蒸发器进行脱水脱盐, 使煤焦油中的水降到 0.5% 以下。脱除水后的煤焦油用耐高温离心油泵经管式炉辐射段加热到 320~330℃ 后进入分馏塔, 控制塔顶温度 115~120℃, 塔顶采出的轻油气和脱水塔顶出来的轻油一起经轻油冷凝冷却器冷却后进入轻油贮槽。塔底采出油即为燃料油。分馏塔中部采出的萘洗油馏分进入萘塔, 塔顶采出萘油馏分, 塔底采出洗油馏分, 工艺流程如图 5 所示。

2) 工艺特点。与生产回配燃料油的工艺相比,



1—管式炉; 2—一段蒸发器; 3—分馏塔; 4—萘塔; 5—轻油
冷凝冷却器; 6—萘油汽化冷凝冷却器; 7—洗油冷却器

图5 直接生产燃料油的煤焦油蒸馏工艺流程

该工艺流程较短, 设备较少, 操作环境较好, 安全性较高, 但萘的收率偏低。与其他生产沥青的煤焦油蒸馏工艺相比, 可生产燃料油, 用途较广。在国际石油价格一路上涨、重油价格较高的情况下, 生产燃料油代替石油重油, 可为企业带来较好的经济效益。

2.6 煤焦油加氢生产燃料油工艺

煤焦油或其馏分中含有大量的含硫、含氮化合物及不饱和化合物, 煤焦油蒸馏所产生的蒽油、洗油等, 只能作为普通的化工原料和工业燃料, 应用价值不高。上海胜帮石油化工有限公司通过对煤焦油馏分进行加氢改质处理, 可降低所含化合物的硫含量和氮含量, 使不饱和化合物变为饱和化合物, 降低芳烃含量, 提高脂肪烃含量, 获得了优质汽油和柴油。

1) 工艺流程。煤焦油经蒸馏产生的蒽油和洗油馏分, 在 50℃ 时与循环氢气在 1.55 MPa 的压力下混合, 经加热炉加热后进入加氢反应器, 加氢反应后的反应物进入气液分离器, 在此进行气液分离。分离后的气体进入循环氢气压缩机循环使用。分离后的液体进入分馏塔, 塔底采出物经冷却器冷却后即为精制柴油, 塔顶气相再进入稳定塔, 塔底采出物经冷却器冷却后即为精制汽油, 塔顶采出物经冷却器冷却后即为轻油产品。分馏塔和稳定塔由各自的重沸器提供热量, 工艺流程如图 6 所示。

2) 工艺特点。该工艺只对煤焦油馏分蒽油和洗油加氢改质, 缩短了工艺流程, 提高了产品质量和收率。由于分馏系统采用“分馏塔+稳定塔”流程, 可实现汽油和柴油的清晰分离。

3 煤焦油加工工艺分析与比较

上述 6 种工艺在国内都已运行多年, 产品指标都能满足国标或国内外不同客户的需求, 各个工艺

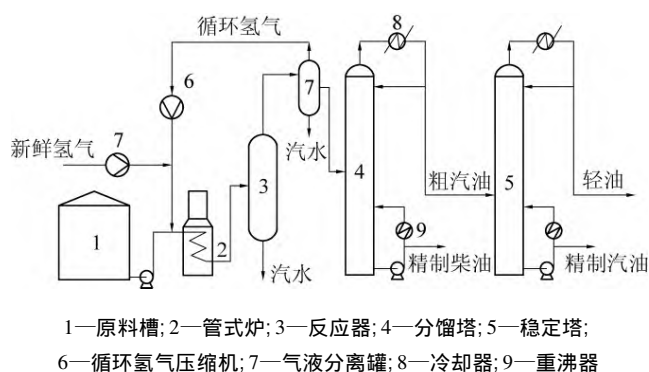


图6 煤焦油加氢生产燃料油工艺流程

又有其各自的特点和优势。

1) 传统一塔式煤焦油蒸馏工艺流程比较简单, 投资小, 但只能生产普通中温沥青。随着我国经济和炭素工业的发展, 国内炭素制品企业对改质沥青的需求越来越明显, 大多数的煤焦油加工装置逐步改造, 陆续采用改质沥青生产装置作为原煤焦油加工装置的配套装置, 使原有的一塔式煤焦油蒸馏工艺既能生产中温沥青也能生产改质沥青, 满足不同行业 and 不同装置的需要。由于采用的设备大部分是碳钢材料, 为了防止设备及管道腐蚀, 该工艺需要加入一定量的碳酸钠碱液, 因此, 该工艺生产的沥青中钠离子含量较高。

2) 煤焦油常压连续加热聚合工艺不需要单独的改质沥青生产装置, 可以一次闪蒸直接生产各种指标的中温沥青、改质沥青和中温改质沥青, 设备较少, 投资较低。因此工人劳动强度、能源消耗大幅降低, 有效改善了生产操作环境。由于该工艺流程中采用较多的碳钢设备, 该工艺仍需要加碱。

3) 近几年, 随着国内电炉炼钢的快速发展, 生产电极的炭素行业对沥青指标的要求越来越严格, 特别是沥青中钠离子的含量。沥青中含有较高的钠离子会对电极等炭素制品造成很大影响: 裂纹较多、强度下降、导电性较差。传统一塔式煤焦油蒸馏工艺和煤焦油常压连续加热聚合法工艺所生产的沥青中钠离子含量较高, 无法满足大功率电极生产企业的需要。山西焦化集团有限公司引进的法国常减压煤焦油蒸馏工艺, 生产的沥青几乎不含有钠离子, 较好地满足了国内部分电极生产厂的需要。但由于工艺需要, 部分设备需采用价格昂贵的钛合金材料。另外, 由于控制系统自动化程度较高, 国内仪表设备性能达不到要求, 生产过程中经常出现故障连锁问题造成停车, 后经该厂技术改造, 现在该套装置开车

正常。该工艺只能生产软化点约 90°C 的中温沥青, 要生产改质沥青, 还必须再经改质工艺进行处理。

4) 美国塔底循环焦油减压蒸馏工艺, 是美国考伯斯公司在多国沿用的技术, 主要生产硬质沥青, 与国内煤焦油加工装置生产的沥青完全不同。硬质沥青最主要的特点是不含中间相, 对炭素制品的内在质量有较大的提高。该工艺复杂、设备较多, 对沥青循环泵的要求较高, 投资也较大。虽然所生产沥青的内在质量较高, 但由于国内使用改质沥青多年, 对改质沥青的性能比较了解, 大部分炭素制品生产厂家还是习惯于用改质沥青, 因此, 硬质沥青目前在国内还没有市场, 其产品主要销往欧洲、美洲、西亚和中东地区。

5) 直接生产燃料油煤焦油蒸馏工艺可直接生产燃料油, 降低沥青的产量。燃料油作为燃料可用于玻璃、陶瓷等行业, 其成本比重油低, 在燃料行业具有一定的优势和竞争力。但与其他煤焦油加工工艺相比, 价格较高的粗酚产品无法回收或回收较少, 萘的收率也偏低, 液体产品数量较大, 如果销售不畅, 直接影响生产能力, 这也是该工艺在行业应用不广的原因。

6) 煤焦油加氢生产燃料油工艺是国内 2005 年前后新研究开发的煤焦油加工工艺, 在蒽油馏分产生前, 其加工工艺与其他煤焦油蒸馏工艺一样也要生产沥青产品, 与其他工艺的最大区别在于其蒽油、洗油馏分通过加氢降低沥青中的含硫含氮量, 使不饱和的芳香烃变为饱和的脂肪烃, 生产优质的汽油和柴油, 大幅提高了产品的附加值, 避免了近几年因煤焦油加工企业过多、恶性竞争煤焦油采购市场、利润空间较低所带来的各种不利因素, 发展前景较为广阔。

4 结 语

通过对上述 6 种煤焦油加工工艺的分析, 法国常减压煤焦油蒸馏工艺和美国塔底循环焦油减压蒸馏工艺具有明显的优势, 我国传统一塔式煤焦油蒸馏工艺和兖矿科蓝煤焦化有限公司发明的煤焦油常压连续加热聚合工艺, 由于投资和运行费用较低, 在一定的时间内还可继续运行。煤焦油常压连续加热聚合工艺由于工艺简单, 投资少, 能耗低, 可以直接生产各种指标的中温沥青、改质沥青和中温改质沥

(下转第 123 页)

措施。

2) 提出了矽石山治理的一般思路: 首先灭火, 而后削坡覆土, 然后修建拦挡防护和疏排水设施, 最后采取植树种草等绿化措施恢复生态环境。

3) 以白家庄矿矽石山为例, 运用红外热成像技术和钻孔测温相结合的方法探测火源深度和范围, 并进一步采取覆盖剥离和打钻注浆相结合的方法对矽石山进行灭火处理。治理后, 矽石山地表及内部温度从最高 390 ℃ 降到了 80 ℃ 以下, 达到了《煤矿矽石山灾害防范与治理规范》相关要求。

参考文献:

- [1] 翟和明. 煤矿矽石山自燃的防治技术简析[J]. 污染防治技术, 1994, 7(1): 47-50.
- [2] 李海珍, 姜有. 煤矽石的综合利用[J]. 煤炭技术, 1999, 18(5): 25-26.
- [3] 邓丁海, 岑文龙. 煤矽石堆放区的环境效应研究[J]. 中国矿业, 1999, 8(6): 87-91.
- [4] 梁军, 李保民. 利用自燃模拟试验装置分析影响矽石自燃的因素[J]. 科技信息, 2010(17): 439-440.
- [5] 段玉龙, 周心权, 余明高, 等. 矽石山自燃程度和爆炸的关联分

析[J]. 煤炭学报, 2009, 34(4): 514-519.

- [6] 王继仁, 邓存宝, 单亚飞, 等. 煤的自燃倾向性新分类方法[J]. 煤炭学报, 2008, 33(1): 47-50.
- [7] 张熾妮, 邓军, 罗振敏, 等. 煤自燃影响因素的热重分析[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(2): 388-391.
- [8] 许波云. 煤炭自然发火危险性评价指标[J]. 山东科技大学学报, 2000, 19(4): 97-101.
- [9] 梁铁山. 矽石山自燃爆炸机理及其危险性评价与调控技术研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2009.
- [10] 石必明, 戴广龙, 曹大成. 采空区煤炭自燃综合评判及其应用[J]. 矿业安全与环保, 2001, 28(S): 1-3.
- [11] 陶伟, 胡晓冬, 朱建军, 等. 矽石山自燃综合治理技术在平煤四矿的应用[J]. 矿山机械, 2006, 34(9): 134-136.
- [12] 马海明, 马志飞. 煤层自燃规律及火区探测技术研究[J]. 陕西煤炭, 2009(1): 59-60.
- [13] 郭剑明, 张晋花, 吴玉国. 露天矿自燃火区探测及火区综合治理技术研究[J]. 煤炭工程, 2012(2): 53-56.
- [14] 李中南. 矽石山生态综合治理措施探究[J]. 绿色科技, 2012(3): 211-214.
- [15] 刘宏华, 徐军. 矽石山综合治理措施探究[J]. 农业与技术, 2012, 32(1): 55-57.
- [16] 王伟, 张洪江, 张成梁, 等. 煤矽石山植被恢复影响因子初探[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 147-152.

(上接第 118 页)

青, 能够满足国内不同炭素制品的需要, 与一塔式煤焦油蒸馏工艺相比, 更具有优势, 在较长一段时间内更具有运行和推广的价值。随着国内钢铁工业特别是电炉炼钢的快速发展, 要求电极具有较大的功率、较高的强度、较好的导电性能。因此, 越来越多的炭素厂家要求沥青中钠离子的含量不超过 150×10^{-6} , 中间相($< 10 \mu\text{m}$)含量不超过 2%, 而法国常减压煤焦油蒸馏工艺正好解决了此难题, 生产的沥青中钠离子的含量不超过 80×10^{-6} , 但由于其工艺复杂, 对设备材质要求较高, 投资较大, 短时间内在国内还不会推广较快。美国塔底循环减压蒸馏工艺生产的产品虽然在国内没有市场, 但国际市场需求较大, 引进该技术生产高品质的硬质沥青产品再销往国外市场, 也是焦化企业发展的一条新途径。直接生产燃料油的煤焦油加工工艺, 最大优势可使沥青的产量由 54% 降为 20%, 解决了沥青产品较难销售的问题。但由于其工艺和技术仍存在较多的缺点和制约因素, 能耗较高, 环境较差, 整体考虑经济效益不会突出, 一般企业暂不会考虑该工艺。煤焦油加氢生产燃料油工艺, 能够生产优质的汽油和柴油,

市场较为广阔, 发展前景较好。如果该工艺能有针对性地解决沥青的质量和销路问题, 其应用价值很大。但目前国内正在运行的装置较少, 对其技术的可行性和稳定性还有待检验和观察。

参考文献:

- [1] 何建平, 李辉. 煤焦化学产品回收技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 264.
- [2] 郭树才. 煤化工工艺学[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2006: 131-132.
- [3] 肖瑞华. 炼焦化学产品生产技术问答[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 246-247.
- [4] GB/T2290—1994, 化工产品及其试验方法标准汇编[S]. 3 版.
- [5] 甄凡瑜. 改质沥青生产工艺的比较与应用[J]. 煤化工, 2010, 38(1): 52-54.
- [6] YB/T 5194—2003, 改质沥青[S].
- [7] 肖瑞华. 煤焦油化学[M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2009: 56-57.
- [8] 水恒福, 张德祥, 张超群. 煤焦油分离与精制[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 45-53.
- [9] 李万春. 煤化工生产安全操作技术: 煤焦油、粗苯的回收与精制[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 105.
- [10] 张洪钧, 金兴阶, 刘义文, 等. 一种煤焦油制燃料油的生产工艺: 中国, 1880411 [P]. 2006-12-20.