



## 炭黑尾气和烟气有效能利用的研究进展

郭隽奎

**摘要:**尾气用作反应炉燃料一直是炭黑工业技术开发的热点课题,已有一些成果应用在工业化生产中。提高尾气热值、增大燃烧效率,将尾气部分或全部替代反应炉燃料,为原料油的热解提供能量是尾气利用的关键所在。高温烟气直接用来干燥湿炭黑粒子的技术解决方案也受到人们的广泛关注。

**关键词:**节能减排;炭黑;尾气;烟气;反应炉燃料

炭黑尾气是炭黑生产过程中副产的可燃性气体,其中可燃组分一氧化碳和氢气各占约10%,主要成分氮气和水分分别占36%和39%,其余为少量的二氧化碳、烃类和氧气等以及痕量炭黑粉尘。这种尾气的低位发热量约为3000~3200 kJ·Nm<sup>-3</sup>,为天然气发热量的1/10左右。早期的炭黑生产尾气大多直接排放,对大气环境造成极大污染。1985年湖南邵阳炭黑厂率先采用尾气发电,现在尾气发电装置已是炭黑生产线中必不可少的节能减排设备。尾气经锅炉焚烧之后,其中的炭黑粉尘浓度可从18~25 mg·Nm<sup>-3</sup>降低到10 mg·Nm<sup>-3</sup>以下,有效改善了炭黑企业周边的环境。以常见的年产1.5万t炭黑生产装置为例,配置一套1500 kW的抽汽凝汽式机组构成的尾气电站,所生产的蒸汽及电力除可自给自足之外,多余的蒸汽和电力可并网出售。据不完全统计,近年来我国炭黑工业的尾气发电能力已达2800 MW,尾气锅炉的总蒸汽量约为540 t·h<sup>-1</sup>。

近年来,尾气用作反应炉燃料一直是炭黑工业技术开发的热点课题,已有一些成果应用在工业化生产中。此外,高温烟气直接用来干燥湿炭黑粒子的技术解决方案也受到人们的广泛关注。

### 1 尾气用作反应炉燃料

长期以来,人们一直在研究如何利用尾气作为反应炉燃料,以达到节能和减排的双重目的。Pollock A B曾提出尾气经预处理除去二氧化碳之后再作为反应炉燃料,由于提高了生产成本,也使工艺复杂化,而未能工业化应用。Scot O T等利用田纳科(Tenneco)化学公司开发的Cosorb技术,从尾气中分离出一氧化碳和氢气用作燃料,也因为成本问题而未被企业接受。Smith N L建议采用富氧空气为氧化剂,尾气经脱湿除去部分水汽后(含水量通常要低于5%)用作反应炉燃料。

由此可见,提高尾气热值、增大燃烧效率、最大限度地为原料油的热解提供能量是尾气利用的关键所在。

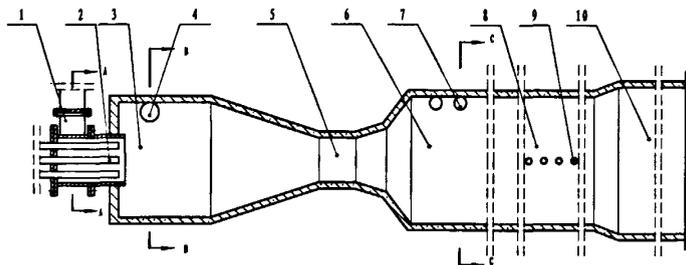
#### 1.1 尾气部分替代反应炉燃料

李学波等把经过脱湿的尾气送入软质炭黑反应炉中以替代部分燃料,为原料油的高温热解提供必需的热能。尾气的入炉方式是由切向通道通入反应炉的燃烧段,见图1。由风机将过程空气加压至70~90 kPa,送至炉头的空气分配器1,空气分配器内的导流片使空气形成旋流。预热后的原料油经由油枪组2在蒸汽或压缩空气雾化下喷入反应炉燃烧段3。部分原料油燃烧产生高温燃

烧气,其热能和动能提供给剩余部分原料油与过程空气在喉管段5激烈混合,在反应炉的反应段6中,在切向通道7补入二次空气的作用下,裂解成炭黑和烟气。在炭黑生产稳定10~20 min后,尾气经脱湿器除去部分水蒸汽后(尾气含水量通常小于5%),由尾气风机升压至70~90 kPa送入位于反应炉燃烧段3的尾气进口4,形成与过程空气同相旋流的燃烧气体,以尾气替代一部分燃料进行软质炭黑生产。通过油枪组的油枪数量和喷油量控制二次空气的进气量,以调节软质炭

黑 N550, N600 和 N700 系列的品种和质量。

以生产炭黑 N660 为例,其主要工艺参数如下:一次空气、二次空气和雾化空气总流量为  $16000 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,入炉尾气流量为  $8260 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,原料油处理量为  $7200 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ,炭黑产量为  $4855 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ,与普通工艺相比,利用尾气可节省原料油  $762 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。实践证明,对于软质炭黑系列品种生产,尾气部分替代反应炉燃料可使原料油消耗量降低10%~12%,温室气体排放量也减少10%~12%。



1—空气分配器;2—油枪组;3—反应炉燃烧段;4—尾气入口;5—反应炉喉管段;6—反应炉反应段;  
7—二次空气入口;8—反应炉急冷段;9—急冷水枪;10—反应炉活化段。

图1 尾气替代部分反应炉燃料的工艺流程示意

## 1.2 尾气完全替代反应炉燃料

早在20世纪80年代就有人提出将尾气用作反应炉燃料的方案,大多沿用油炉法常规的燃烧理念,尾气燃烧所用的氧化剂的量高于尾气中可燃组分完全燃烧所需的化学计量,因而试验均不成功。后来 Cheng B 建议采用尾气与空气的配比接近于化学计量的燃烧方案,但也一直没能工业化应用。

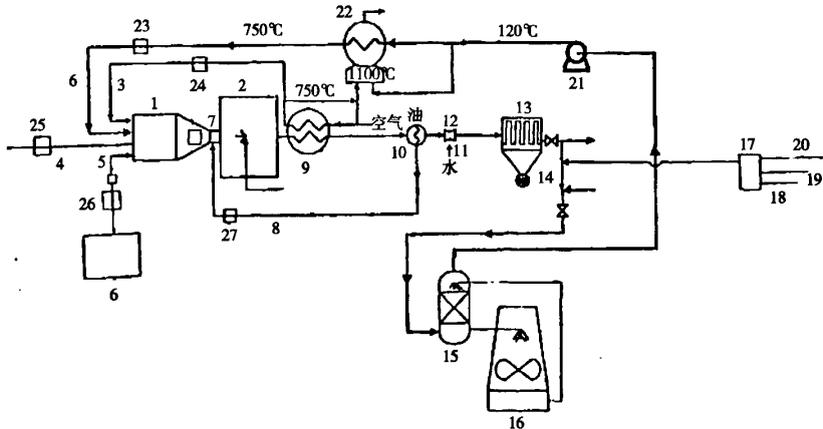
近年 Rumpf F H 等提出尾气与低于化学计量的富氧空气的燃烧方案,并证实尾气燃烧所用的氧化剂量必须低于化学计量的80%,生产过程才是最经济的。实践证明,采用这种燃烧方式,尾气中二氧化碳和水蒸气的含量大为减少。由此推断,在这种燃烧条件下,原料油高温热解的机理发生了变化。烃原料在反应炉中,除了高温热解之外,还与二氧化碳和水蒸气反应,生成炭黑、一氧化碳和氢气,因而大大降低了尾气中二氧化碳和水蒸气的含量,并耗尽了燃烧空气中的氧,相应地提高了炭黑收率。

这项尾气与低于化学计量的富氧空气的燃烧方案在中试装置上的试验结果见表1。尾气完全替代反应炉燃料的工艺流程见图2。该方案的具体实施过程和详细的试验数据以及图2中各种设备的名称,请参见笔者发表在中国橡胶工业协会炭黑分会出版的《炭黑信息》2002年第8期《尾气用作反应炉燃料的构想》一文。

由表1数据可见,尾气在不足量富氧空气燃烧条件下,原材料成本明显低于以天然气为燃料的2个试验。值得注意的是,在尾气经脱湿后,水汽含量低于5%,预热至577℃,与不足量的富氧空气燃烧,一次燃烧率仅为75%的条件下,达到较低的生产成本。试验表明,这种完全以尾气为燃料的生产过程,炭黑收率要比常规的生产过程(即表1中“天然气+过量空气”生产过程)高19.7%。因此可以得出结论,就生产同一炭黑品种而言,在完全用尾气作燃料,过程空气加氧富化,一次燃烧率为75%的条件下,炭黑收率较高,而生产成本较低。

表1 在中试装置上生产炭黑 N339 时的试验结果比较

项 目	燃料种类和燃烧方式		
	天然气+过量空气	天然气+不足量空气	尾气+不足量富氧空气
一次燃烧率/%	156	70	75
总燃烧率/%	29.0	37.0	30.5
过程空气量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	1000	1000	1000
空气预热温度/℃	577	577	577
过程空气中氧含量/%	20.9	20.9	25.1
氧气量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	0	0	55
燃料气量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	65	146	1563
燃料气预热温度/℃	15	15	577
油量/(kg·h <sup>-1</sup> )	280	127	245
油温/℃	150	150	150
原材料相对成本/%	100	149.4	77.3



1—反应炉燃烧段;2—反应炉反应段;3—反应炉空气入口管;4—辅助燃料入口管;5—富氧空气入口管;6—富氧源;  
7—反应炉喉管段;8—原料油入口管;9—空气预热器;10—原料油预热器;11—烟气冷却水入口;12—烟水  
喷淋冷却塔;13—过程袋滤器;14—尾气总管;15—尾气除湿用填料喷塔;16—冷却塔;17—尾气分  
配阀;18,19,20—来自其他反应炉的尾气;21—尾气风机;22—尾气预热器;23—尾气等离  
子加热器;24—过程空气等离子加热器;25—辅助燃料等离子加热器;  
26—富氧源等离子加热器;27—原料油等离子加热器。

图2 尾气完全替代反应炉燃料的工艺流程示意

## 2 高温烟气干燥湿炭黑粒子

当前的油炉法工艺,在湿法造粒工段通常是以尾气为燃料干燥湿粒子,一般需要耗用尾气总量的15%~20%。Norman D T 和谢东源分别提出将高温烟气直接用来干燥湿炭黑粒子的方案。该方法是将急冷后的高温反应炉烟气分成2股,A和B。其中一股烟气A经空气预热器等设备降温,在低于主袋滤器操作容许温度下,送入主袋

滤器,将悬浮的炭黑与尾气分离。粉状炭黑在造粒机中与水混合,以制成湿炭黑颗粒。再将湿粒子与另一股烟气B直接接触,靠其物理热干燥湿粒子。因此,与常规的方法相比,该法具有明显的节能效果。此外,由于这种干燥过程不需借助燃烧过程,因此可省略尾气燃烧炉等设备,加上分流后的烟气B直接导入干燥机中,还可省去干燥机火箱,而干燥机转鼓也不用再明火加热,也可延长其使用寿命,转鼓内的温度分布也更加均匀,可有

效精简操作程序,降低设备维修费用。此外,在烟气经预急冷以终止反应的过程中,其用水量比现有方法明显减少,降低了水的总耗用量。直接用高温烟气物理热干燥的炭黑的质量符合 ASTM 标准,而操作温度容易控制,并且用这种烟气干燥的成品的水分含量普遍较低。

Norman D T 设计了一组不同温度炭黑烟气的干燥试验(分别为工艺 1、工艺 2 和工艺 3),模

拟计算出不同温度烟气的干燥效果,见表 2。第 1 种工艺为急冷后温度在 650~925 ℃ 的烟气在空气预热器中冷却到 480~590 ℃,再分离成 2 股气流 A 和 B。第 2 种工艺为急冷后温度在 1000~1200 ℃ 的炭黑烟气在空气预热器上游再冷却到 700~925 ℃,然后分离成气流 A 和 B。第 3 种工艺为急冷后温度在 980~1200 ℃ 的高温烟气直接分离成气流 A 和 B。

表 2 模拟计算不同温度烟气在生产 N339 炭黑时的主要参数

项 目	工 艺						
	工艺 1		工艺 2			工艺 3	
主急冷温度/℃	760	1044	1080	1189	1044	1080	1189
空气预热器烟气入口温度/℃	760	760	788	871	760	788	871
空气预热器烟气出口温度/℃	524	520	546	622	520	546	622
至干燥机转鼓的烟气流量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	32956	25312	24388	22036	18704	18172	16828
该烟气量与工艺 1 烟气量之比	1.000	0.768	0.740	0.668	0.568	0.551	0.510

从表 2 可以看出,第 2 种工艺涵盖第 1 种工艺的全部优点。第 2 种工艺干燥湿炭黑颗粒的烟气温度为 700~925 ℃,而第 1 种工艺是 480~590 ℃。因此,第 2 种工艺中所需烟气量仅为第 1 种工艺的 2/3~4/5,即可除去湿颗粒中的水分。所以,用来干燥湿颗粒的干燥机尺寸可以更小巧一些。第 3 种工艺具有第 2 种工艺的全部优点。由于第 3 种工艺用来干燥湿炭黑颗粒的烟气流温

度为 1000~1200 ℃,所需烟气量仅为第 2 种工艺的 70%即可除去湿颗粒所含的水分。

用于干燥湿颗粒的炭黑烟气可以来自炭黑急冷和空气预热器之间,或是来自油预热器和主袋滤器之间;这种烟气从干燥机排出后,既可送回到主袋滤器上游的合适位置,也可单独过滤。

参考文献:略

### 四川省组建橡胶机械和废橡胶综合利用工程技术研究中心

四川省科学技术厅近期正式批准由四川亚西橡塑机器有限公司报送的《关于组建四川省橡胶机械及废橡胶综合利用工程技术研究中心的请示》,同意经专家论证的四川省橡胶机械及废橡胶综合利用工程技术研究中心组建方案、目标和任务,同意以四川亚西橡塑机器有限公司为依托单位和技术中心主体组建四川省橡胶机械及废橡胶综合利用工程技术研究中心,目前该中心已进入组建阶段,组建期限为 1 年。

四川省橡胶机械及废橡胶综合利用工程技术研究中心在组建过程中将积极探索新的管理模式和运行机制。中心建成后,将加强橡胶机械及废

橡胶综合利用装备的开发,为企业提供成熟的配套新工艺、新技术、新装备,为行业发展作出积极贡献;集成国内乃至国外橡胶机械及废橡胶综合利用方面的科技资源,推动产学研合作,搭建技术创新和产业化平台,大力提升四川省橡胶机械及废橡胶综合利用技术创新能力;发挥依托单位和技术支撑单位在行业内的技术优势,转化科技成果,消化、吸收、推广先进技术,开展技术交流与培训,为提升我国橡胶机械及废橡胶综合利用整体技术水平和促进节能减排、发展循环经济作出贡献。

孙方寿