

气力输送过程中炭黑粒子破碎率影响因素分析

李 勇, 刘伟冬*

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:分析气力输送过程中炭黑粒子破碎率的影响因素。炭黑品种及造粒方式、炭黑粒子压碎强度、输送距离、输送气速、输送方式、输送管道清扫对炭黑粒子破碎率的影响较大。综合考虑各方面因素,对气力输送系统优化提出建议:湿法造粒炭黑粒子破碎率明显小于干法造粒炭黑,应按造粒方式分别设定炭黑粒子破碎率指标,炭黑造粒应优选湿法造粒工艺;为了保证输送后炭黑粒子破碎率小于10%,炭黑粒子压碎强度应大于30 g,同时炭黑粒子压碎强度分布不宜过宽;在气力输送系统中采用比例调速阀,通过自动控制系统自动调节炭黑输送气速,以实现不同炭黑在最佳状态下输送;尽量减小管道清扫次数。

关键词:炭黑;气力输送;破碎率;压碎强度

中图分类号: TQ330.38⁺¹; TQ330.4⁺³ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)06-0000-05

炭黑粒子在输送过程中的破碎问题比较复杂,影响因素较多,炭黑性质如炭黑颗粒尺寸等是内因,输送设备参数如输送压力、输送速率和管道布置方式等是外因。其中,炭黑粒子质量、炭黑粒子压碎强度、料气混合比和输送速率是主要影响因素^[1-3]。炭黑粒子破碎一般是由于碰撞或摩擦所致,炭黑粒子与粒子之间以及炭黑粒子与管道内壁和弯头之间的碰撞是主要因素。炭黑粒子与管道内壁碰撞时速率减小,产生能量损失,产生的应力与炭黑粒子的能量损失成正比,当应力大于炭黑粒子压碎强度时,即发生炭黑粒子破碎。炭黑粒子破碎率增大会导致输送过程中粉尘和细粉含量增大,大大增加除尘难度,造成物料粘结,影响后续工艺。细粉含量高的炭黑不但会延长胶料混炼周期,降低生产效率,更重要的是会影响混炼胶和橡胶产品的质量^[4]。因此对气力输送过程中炭黑粒子破碎率的研究非常重要。

除特殊品种或用途炭黑外,大多数炭黑都是造粒产品。炭黑造粒方法分为干法和湿法。干法造粒设备简单,能耗小,生产成本低,但处理能力小,干法造粒炭黑的粒子压碎强度低,易破碎,细粉含量高;湿法造粒设备处理能力强,炭黑粒子强

度高,细粉含量低,但设备复杂,能耗大,生产成本低。目前我国除了万吨级炭黑生产装置采用湿法造粒工艺外,大部分炭黑生产企业仍采用干法造粒工艺。

本工作在生产实践的基础上,结合国外某著名轮胎公司的研究,对气力输送过程中炭黑破碎率的影响因素进行分析,以期为我国炭黑工业应用技术进步提供参考。

1 炭黑破碎率的影响因素分析

1.1 输送距离和炭黑品种

输送距离是影响炭黑破碎率的主要因素之一。管道长度和管道布置方式决定了炭黑输送过程中炭黑粒子与管壁发生碰撞和摩擦的几率以及输送阻力。管道越长,弯头越多,输送阻力和输送压力越大,导致炭黑破碎率增大^[5]。

以德国赢创德固赛公司的9种炭黑为例,研究炭黑品种和输送距离对炭黑粒子破碎率的影响,结果如图1所示(输送管道末端气速为 $5\sim 7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。在9种炭黑中,炭黑Printex PQI, Printex P, Corax N326MP, Corax N550MP和Corax N772MP为干法造粒炭黑,炭黑Corax N115, Corax N330, Corax N550和Corax N683为湿法造粒炭黑。

从图1可以看出:不同品种炭黑粒子破碎率差异较大,9种炭黑粒子破碎率从大到小的顺序

作者简介:李勇(1962—),男,内蒙古卓资人,青岛科技大学教授,硕士,主要从事气力输送技术和橡胶机械研究。

*通信联系人(992215436@qq.com)

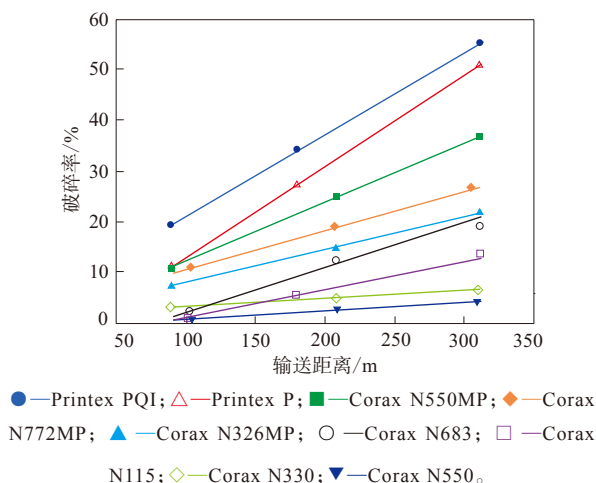


图1 输送距离对不同品种炭黑粒子破碎率的影响
为炭黑Printex PQI, Printex P, Corax N550MP, Corax N772MP, Corax N326MP, Corax N683, Corax N115, Corax N330, Corax N550; 炭黑Corax N115, Corax N330和Corax N550粒子破碎率较小, 在输送距离为100 m时的粒子破碎率约为3%, 在输送距离为200 m时的粒子破碎率不超过5%; 炭黑Corax N772MP在输送距离为100 m时的粒子破碎率高达10%, 在输送距离为200 m时的粒子破碎率接近20%; 随着输送距离延长, 炭黑粒子破碎率基本呈线性增大趋势, 但不同品种炭黑粒子破碎率增幅差异较大, 炭黑Printex PQI, Printex P, Corax N550MP, Corax N772MP粒子破碎率增幅较大, 在输送距离为300 m时, 炭黑Corax N550MP粒子破碎率高达35%, 炭黑Printex PQI粒子破碎率甚至超过50%, 但输送距离对炭黑Corax N115, Corax N330和Corax N550粒子破碎率影响不大; 干法造粒炭黑粒子破碎率明显大于湿法造粒炭黑; 微珠炭黑 (Corax N326MP, Corax N550MP和Corax N772MP) 粒子破碎率相对较大。

综上所述, 不同造粒方式、炭黑品种、输送距离对炭黑粒子破碎率的影响较大。应按造粒方式分别设定炭黑粒子破碎率指标。随着造粒工艺和生产设备水平不断提高, 炭黑造粒应逐渐采用湿法造粒工艺。在不同品种炭黑输送过程中应设定不同的比例调速阀、比例调压阀、供气量和输送压力。同时, 在气力输送管道设计时应尽量采用短距离输送, 减小弯头数量, 且弯头曲率半径与输送管道内径的比值应大于4, 管道内壁光滑, 管道

与阀门的连接平缓过渡, 以避免产生过大的输送阻力。

1.2 炭黑粒子压碎强度

炭黑粒子压碎强度与炭黑粒子破碎率的关系较复杂。在实际生产中炭黑一般先造粒再进行输送, 不同造粒方式炭黑粒子的压碎强度不同, 因此造粒炭黑粒子压碎强度对气力输送或者机械输送过程中炭黑粒子的破碎问题起到决定作用。在输送距离、管道布置方式及其他输送参数相同的条件下, 炭黑粒子压碎强度越大, 输送过程中的炭黑粒子破碎率越小^[6]。

炭黑粒子压碎强度对炭黑粒子破碎率的影响如图2所示 (输送管道末端风速为 $5 \sim 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 输送距离为100 m)。

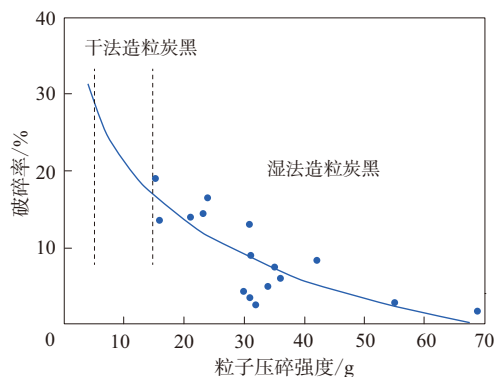


图2 炭黑粒子压碎强度对炭黑粒子破碎率的影响

从图2可以看出: 与湿法造粒炭黑相比, 干法造粒炭黑粒子压碎强度较小, 炭黑粒子破碎率较大; 随着炭黑粒子压碎强度的增大, 炭黑粒子破碎率呈下降趋势; 干法造粒炭黑粒子压碎强度为 $4 \sim 15 \text{ g}$, 其粒子破碎率为 $16\% \sim 30\%$; 湿法造粒炭黑粒子压碎强度大于 30 g 时, 其粒子破碎率降到 10% 以下。

由此可知, 要保证炭黑粒子破碎率小于 10% , 炭黑粒子压碎强度必须大于 30 g , 同时还需要考虑炭黑粒子压碎强度分布, 即使炭黑粒子平均压碎强度相同, 炭黑粒子压碎强度分布越宽, 说明压碎强度低的粒子含量越大, 炭黑粒子越易破碎。

1.3 输送气速

输送气速是影响输送过程中炭黑粒子破碎率的重要参数之一。由于气力输送系统是非稳态系统, 输送气速不稳定, 因而炭黑流动速率对炭黑粒

子破碎率的影响很大^[7]。输送气速越高,炭黑流动速率越高。炭黑粒子破碎率与炭黑流动速率成幂次关系增加。在输送过程中,输送管道末端炭黑流动速率应尽量小,实现低速输送,以降低炭黑粒子破碎率和输送管道磨损率。

输送气速对炭黑粒子破碎率的影响如图3所示(输送距离为100 m)。

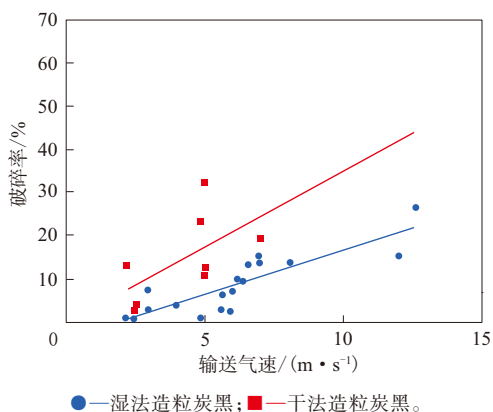
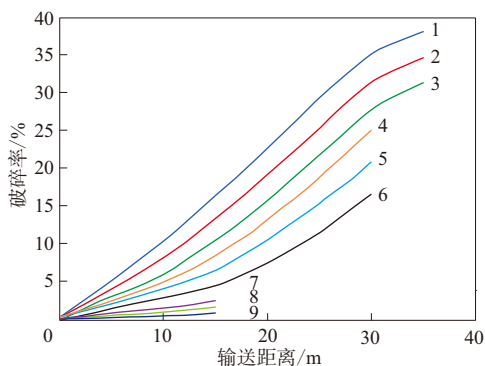


图3 输送气速对炭黑粒子破碎率的影响

从图3可以看出:在相同输送气速下,湿法造粒炭黑粒子破碎率明显小于干法造粒炭黑;输送气速低于 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下时,湿法造粒炭黑粒子破碎率一般可控制在15%以下。

1.4 输送方式

不同输送方式下炭黑粒子破碎率随输送距离的变化如图4所示(真空压力为 -50 kPa)。炭黑粒子压碎强度分别为25, 35, 45 g, 输送方式分为稀相、沙丘流和栓流输送。



炭黑粒子压碎强度与输送方式:1—25 g, 稀相;2—35 g, 稀相;3—45 g, 稀相;4—25 g, 沙丘流;5—35 g, 沙丘流;6—45 g, 沙丘流;7—25 g, 栓流;8—35 g, 栓流;9—45 g, 栓流。

图4 输送方式对炭黑粒子破碎率的影响

从图4可以看出:在输送距离为35 m、输送方式为稀相输送、输送管道末端气速为 $18 \sim 22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的条件下,粒子压碎强度为25, 35, 45 g的3种炭黑粒子破碎率分别为38%, 35%, 31%;在输送距离为30 m、输送方式为沙丘流输送、输送管道末端气速为 $10 \sim 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的条件下,粒子压碎强度为25, 35, 45 g的3种炭黑粒子破碎率分别为25%, 21%, 17%;在输送距离15 m、输送方式为真空栓流输送、输送管道末端气速为 $5 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的条件下,粒子压碎强度为25, 35, 45 g的3种炭黑粒子破碎率均小于5%。由此可见,输送方式对炭黑粒子破碎率的影响比较大。

1.5 输送管道清扫

炭黑输送采用压送罐间隙气力输送系统,需要频繁进行管道大气量清扫。当输送炭黑品种变更时也需要对输送管道进行彻底清扫,以防止炭黑掺混,清扫方法是加大气量和提高气速。在输送管道清扫过程中会产生大量炭黑细粉,在目标罐顶部除尘器清扫过程中也会产生粉尘,粘附在罐内壁的炭黑粉脱落会形成细粉含量极高的粉饼。

日储罐容积为 20 m^3 ,采用一条输送线输送炭黑,达到输送量后更换炭黑品种并进行管道清扫。输送完一个压送罐后的短期清扫造成的炭黑破碎忽略不计。不同炭黑输送量下输送管道清扫对炭黑粒子破碎率的影响分别如表1和2所示。两种输送管道记为DN150管道和DN175管道,其公称直径分别为150和175 mm。

从表1可以看出,当炭黑输送量为1 000 kg、输送距离为200 m时,输送后管道内残余炭黑质量为300 kg,按炭黑堆积密度为 $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 计算,管道内残余炭黑体积为 1 m^3 ,长度为200 m的DN150管道总容积为 3.53 m^3 ,管道内残余炭黑体积占管道总容积的28%;管道清扫产生的炭黑细粉质量为60 kg,为炭黑输送量的6%,清扫后在管道法兰和弯头等处仍残余2~13 kg炭黑,为炭黑输送量的0.2%~1.3%。

从表1还可以看出:一次输送1 000 kg炭黑后进行管道清扫产生的炭黑细粉为炭黑输送量的3%~6%;一次输送3 000 kg炭黑后进行管道清扫产生的炭黑细粉占炭黑输送量的比例降至

表1 不同炭黑输送量下DN150管道清扫对炭黑粒子破碎率的影响

项 目	炭黑输送量/kg							
	1 000		2 000		3 000		4 200	
输送距离/m	100	200	100	200	100	200	100	200
输送后管道内残余炭黑质量/kg	150	300	150	300	150	300	150	300
管道清扫产生的炭黑细粉质量/kg	30	60	30	60	30	60	30	60
管道清扫产生的炭黑细粉质量占 炭黑输送量的比例/%	3	6	1.5	3	1	2	0.71	1.42
清扫后残余炭黑质量/kg	1~6.5	2~13	1~6.5	2~13	1~6.5	2~13	1~6.5	2~13

表2 不同炭黑输送量下DN175管道清扫对炭黑粒子破碎率的影响

项 目	炭黑输送量/kg							
	1 000		2 000		3 000		4 200	
输送距离/m	100	200	100	200	100	200	100	200
输送后管道内残余炭黑质量/kg	200	400	200	400	200	400	200	400
管道清扫产生的炭黑细粉质量/kg	40	80	40	80	40	80	40	80
管道清扫产生的炭黑细粉质量占 炭黑输送量的比例/%	4	8	2	4	1.33	2.67	0.95	1.90
清扫后残余炭黑质量/kg	1.2~7.5	2.5~15	1.2~7.5	2.5~15	1.2~7.5	2.5~15	1.2~7.5	2.5~15

1%~2%。可见增大日储罐容积非常重要,一般日储罐总容积要求大于15 m³,否则需要在不同炭黑输送时采用不同输送管线,输送工作结束后不进行管道清扫。

从表2可以看出,一次输送1 000 kg炭黑后进行管道清扫产生的炭黑细粉为炭黑输送量的4%~8%。考虑到输送过程也会造成炭黑粒子破碎,将炭黑破碎率增量控制在5%以下非常困难。

清扫后更换炭黑品种,管道中的残余炭黑与其他品种炭黑掺混形成混合料。当输送距离为200 m时,在输送的1 000 kg炭黑中其他炭黑的质量最高可达到1.5 kg。

为了解决清扫造成的炭黑粒子破碎和炭黑掺混问题,不同炭黑输送最好采用专用的输送管线,但这会使设备成本增加。

从管道清扫来看,采用变径管时管道中残余炭黑量增大,需要加大风速进行清扫,导致炭黑细粉量增大,因此短距离(70 m以下)输送时不能采用变径管。

2 结 论

(1)在气力输送过程中,炭黑品种和造粒方式对炭黑粒子破碎率影响较大。在相同输送条件下,湿法造粒炭黑粒子破碎率比干法造粒炭黑小。应按造粒方式分别设定炭黑粒子破碎率指标。随着造粒工艺和生产设备水平不断提高,炭

黑造粒应逐渐采用湿法造粒工艺。

(2)在输送距离、管道布置方式和其他输送参数相同的条件下,炭黑粒子压碎强度越大,输送后炭黑粒子破碎率越小。为了保证输送后炭黑粒子破碎率小于10%的要求,炭黑粒子压碎强度应大于30 g。同时应考虑炭黑粒子压碎强度分布,炭黑粒子压碎强度分布越宽,说明压碎强度低的粒子所占比例越大,在输送过程中炭黑粒子越易破碎,从而影响整体输送效果。

(3)在相同输送条件下,不同品种炭黑的输送速率差异较大。为了使不同品种炭黑均以较大料气混合比、较低且稳定的输送速率输送,可以采用比例调速阀,通过自动控制系统自动调节炭黑的输送速率,实现炭黑在最佳状态下输送。对于输送距离为80 m的密相低速输送系统,管道末端输送风速以小于7.5 m·s⁻¹为宜。

(4)为了降低炭黑粒子破碎率,应尽量减少管道清扫次数。在输送同品种炭黑时,如无特殊情况不需要清扫管道,管道中的残余炭黑对炭黑输送不会有太大影响。在炭黑输送时最好一次达到罐满,不要频繁换罐,这样可以减小管道清扫次数。

橡胶厂炭黑气力输送过程中炭黑粒子破碎问题对胶料质量的影响已得到广泛重视。气力输送过程中炭黑粒子破碎率与输送能力、输送可靠性都是衡量气力输送装置设计、施工、工艺操作、维

护等技术水平的指标,国内企业应加大对炭黑破碎率的研究,综合考虑各方面因素的影响,不断改进气力输送设备和参数。

参考文献:

- [1] 李勇. 炭黑气力输送中的粒子破碎问题和测试方法[J]. 橡塑技术与装备,2003,29(7):1-6.
- [2] 李勇,辛龙胜,王海萍. 炭黑气力输送系统的改造[J]. 轮胎工业,2011,31(5):305-307.
- [3] 李磨官,崔海云. 炭黑气力输送系统的改进[J]. 橡胶科技市场,2010,8(2):22-25.
- [4] 李勇,李光. 气力输送系统中炭黑破碎率的试验研究[J]. 橡胶工业,2014,61(8):493-495.
- [5] 李勇,王海萍. 炭黑气力输送中粒子破碎问题及对胶料的影响[J]. 橡胶工业,2010,57(12):746-749.
- [6] 李勇. 炭黑粒子在双管气力输送中破碎原因分析[J]. 中国橡胶,2003,19(5):22-24.
- [7] 李志华,金秋华,宫莉莉. 炭黑在气力输送过程中破碎率的影响因素分析[J]. 合成橡胶工业,2008,31(3):165-168.

收稿日期:2016-08-23

Analysis of Factors Affecting Carbon Black Particle Breakage Rate in Pneumatic Conveying Process

LI Yong, LIU Weidong

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The factors affecting particle breakage rate of carbon black in pneumatic conveying process were analyzed. The effects of carbon black varieties and granulation methods, individual pellet crush strength of carbon black, conveying distance, air velocity, conveying mode and pipeline cleaning had great influence on the particles breakage rate of carbon black. In consideration of various factors, the optimization of pneumatic conveying system was proposed. The particle breakage rate of wet granulated carbon black was much lower than that of dry granulated carbon black. Therefore, the particle breakage rate of carbon black should be set separately according to the granulation method. The wet granulation process should be optimized for carbon black granulation. In order to ensure the particles breakage rate of carbon black less than 10% after transportation, the individual pellet crush strength of carbon black should be higher than 30 g, and the distribution of individual pellet crush strength of carbon black should not be too wide. The proportional speed control valve were used in automatic control system, the air velocity conveying carbon black could be adjust automatically, so that different carbon blacks could be transported in the best condition. The pipeline cleaning frequency should be reduced as much as possible.

Key words: carbon black; pneumatic conveying; breakage rate; individual pellet crush strength