

炭黑气力输送装置主要元器件的选择

李 勇,杜晓泰

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:结合实际情况,阐述炭黑气力输送装置的主要元器件——供料装置、输送管道、分离过滤设备和气源机械等的设计和优选原则。合理选择、配置气力输送装置可满足高输送能力、大混合比、低破碎率、长距离输送、无堵塞、无泄漏、自动化、智能化和低能耗等工艺要求。

关键词:炭黑;气力输送;供料装置;管道

中图分类号:TQ330.4⁺3;TQ330.38⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2015)07-0443-05

炭黑的气力输送是指在管道内利用压缩空气将炭黑以一定的料气比从一处送往另一处。气力输送具有其他输送形式所没有的优越性,如设备简单、布置灵活、易于远距离输送、便于收尘和实现自动控制等。为保证炼胶质量的均一稳定和炼胶车间的环境整洁,气力输送系统是必不可少的,而气力输送装置的合理选择、配置对橡胶(塑料)制品厂的生产和经济效益有很大的影响。气力输送系统由供料装置、输送管道、分离过滤设备和气源机械等组成。本文主要讨论这些主要部件在炭黑气力输送装置中的选用原则,以期为实际生产提供参考和指导。

1 供料装置

供料装置是气力输送系统的主要部件之一,用以将被输送的物料连续或间歇地供入输送管道。选用供料装置时,应考虑以下问题:物料特性,包括密度、静止角、空隙率、粒径及形状、流态化性能、透气性、存气能力及含水率、硬度、脆性、温度等;满足生产需要的运行方式(连续或间歇);精确的供料控制;整个系统要求的输送气力压力;所需费用等。

稀相系统的供料装置由吸嘴、接料器、旋转式叶轮供料器(也称锁气阀、闭风器)组成。而在密相系统中主要有发送罐(也称仓泵或充气罐)、高压旋转阀、喷射嘴(泵)和螺旋供料器^[1]。

作者简介:李勇(1962—),男,内蒙古卓资县人,青岛科技大学教授,硕士,主要从事气力输送与橡胶机械技术研究工作。

发送罐本身无运动部件,结构简单,是上部为圆柱形、下部为锥形的压力容器,罐体上装备有必需的阀件和仪表配件。它可使物料充分流态化,确保物料平稳地输入管道系统;控制物料的最大速度,以不破损脆性物料为原则,能以很高的浓度输送物料,输送量较大。橡胶(塑料)行业的炭黑气力输送系统既要具有大容量、长距离、无污染、节能等特点,同时还要满足智能精确控制、低炭黑破碎率和高可靠性等要求,因此多采用正压密相气力输送,通常以发送罐作为供料装置。

1.1 相关部件

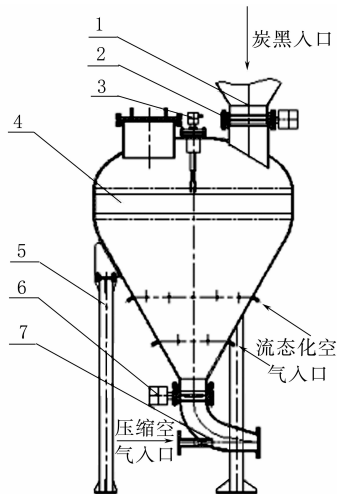
发送罐功能的实现离不开相关部件的支持,如果相关部件选型不当,整个炭黑输送系统将无法正常运转。针对不同的炭黑输送系统,应根据所输送物料的特性和工况确定相关部件的型号。

1.2 发送罐

发送罐的选择和布置必须根据具体物料特性决定,例如对一些较难流动的物料,需要在发送罐内部做表面特殊处理等。发送罐的出料形式也有多种,如底部、顶部和侧面出料,由于炭黑采用正压密相输送,应采用底部出料的方式。

发送罐的布置形式有单罐式、并联式和串联式^[2]。单一发送罐只能间歇工作,加料时不输送,输送时不加料。为提高出料的平均速度,可将两个罐串联或并联使用,使其交替工作达到连续供料的目的。

通常情况下,炭黑正压密相气力输送系统供料装置采用单个下出料式发送罐,如图 1 所示,罐



1—投料斗;2—进料蝶阀;3—料位计;4—发送罐;
5—罐体支架;6—出料蝶阀;7—牛角变径管。

图1 炭黑正压密相气力输送系统的供料装置

底配备出料蝶阀。输送炭黑时,在罐的锥形部位通入流态化空气,使炭黑充分流化。发送罐通过牛角变径管与压送管路相连,保证送料的均匀性和气密性。

2 输送管道与辅件

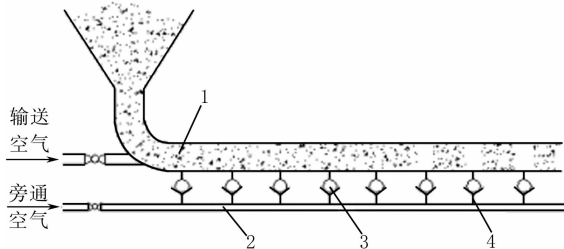
2.1 输送管道

炭黑的主输送管道材料一般外管选用铝镁合金,内管采用防静电的高强度橡胶,也可以选用内表面抛光的不锈钢或聚酯,辅管为不锈钢管。

输送能力与管径有关,常用的管道内径为100,125,150,175和200 mm。

炭黑气力输送系统中管路布置的基本原则为:保证压力损失最小;安装和检修方便;使用寿命长;能消除粉料堵塞。根据以上原则,输料管路应尽可能直线铺设,以减小长度和弯头数目,因弯头产生压力损失大,并且容易堵塞,应尽可能增大弯头曲率半径。如果炭黑的输送距离不超过60 m,输送管道一般不需要做变径处理^[3]。当有变径管道时,变径位置一般选择在水平管道中间靠前部位,具体位置可以通过计算确定,原则是变径处的气速不超过 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且变径后不允许低于最低输送气速。

在炭黑气力输送中选择辅管外置式输送管道(双管),如图2所示。当炭黑输送管道出现堵塞的迹象时,旁通管中的压缩空气经过旁通进气管

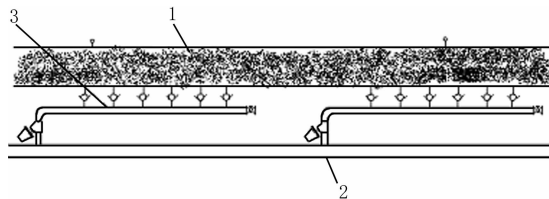


1—炭黑输送主管;2—旁通管;3—空气助推器;4—旁通进气管。

图2 旁通管外置式输送管道的结构和输送状态

进入炭黑输送管道,气流将炭黑切割成短料栓而实现正常输送。炭黑的输送压力一般为0.2 MPa,旁通管上两个进气管之间的距离与被输送炭黑的物性和输送距离有关,一般为炭黑输送管道直径的5~15倍。旁通管内的气体压力比输送管道内的输送压力高0.01~0.05 MPa,旁通管与炭黑输送管道的直径比为1:3~1:4。输送距离长时旁通管直径取大值,防止输送后端补气气量不足,影响输送。

近几年又研制出一种新的双辅管形式的输送管道^[4],如图3所示。主输送管道与辅管之间的连接由过滤喷嘴、单向阀和聚氨酯管等实现。主输送管道外面布置2个辅管。



1—主输送管道;2—辅管1;3—辅管2。

图3 双辅管结构原理示意

辅管2与主输送管道和辅管1都连通,辅管2呈树枝状并能自动独立工作,辅管1为辅管2提供高压空气,辅管2为主输送管道提供压缩空气。当主输送管道的某一处的输送压力超过设定值时,辅管1可以打开附近的电磁阀单独提供压缩空气进入辅管2,辅管2再单独打开单向阀向主输送管道提供压缩空气,以免输送管道堵塞,可见两个辅管可以相互独立工作,从而降低能耗。

在输送管道内部,通常加装橡胶内衬层以减小炭黑输送的破碎率和某些特殊炭黑,如炭黑N772,N774和N990等对金属管道的粘附。加装橡胶内衬时必须注意:内衬管承受负压能力约为

500 Pa,因此应注意使橡胶内衬处于拉伸状态,避免出现橡胶内衬被吸扁的现象。这可以通过安装风量调节阀和平衡阀来实现,一般设备平衡阀开启压力在 $-0.5\sim+1$ kPa 范围内。

目前国内输送管道生产多采用新型高分子材料超高相对分子质量聚乙烯,内部分子的特殊排列使其拥有独特的性能,尤其是对炭黑的输送,能在很大程度上减小破碎率和磨碎率,对炭黑等粉料的输送具有深远的意义。

2.2 输送管道辅件

(1)单向阀。不同系统对单向阀的选择会有较大区别,应根据具体工况进行分析。一般要求单向阀的最小开启压力为 0.03 MPa,最大不超过 0.05 MPa。即使是相同规格,不同供应商产品的流量特性也不一样。

(2)过滤喷嘴。对于 90°弯头,应在原基础上增加一个喷嘴,且喷嘴应靠近变径、阀门等阻力元件处,以适当减小助推距离,使助推尽量均匀。

不论是单向阀还是过滤喷嘴,都存在压力损失。当助推喷嘴的流量达到 $75\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,过滤喷嘴压力损失约为 0.05 MPa,单向阀压力损失约为 0.08 MPa,两者压力损失之和约为 0.13 MPa。这在整个气力输送过程中都应当注意。

(3)辅管。根据过滤喷嘴的压力特性曲线(见图 4),以喷嘴气量为 $75\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ (标准状态)进行辅管参数计算,推荐设计参数如表 1 所示。

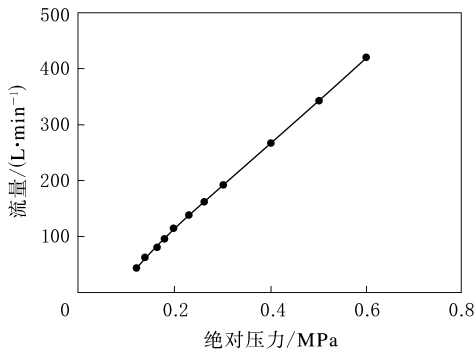


图 4 6.35 mm(1/4 英寸)过滤喷嘴的压力特性曲线

从表 1 可以看出:DN32 辅管最大气速达到 $116.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,明显高于压缩空气管路经济气速 $10\sim15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的要求,这将会在辅管内产生很大的压力损失,造成辅管末端压力过小,补气量不足;辅管直径增大到 DN50 较为接近空气管路经

表 1 辅管推荐设计参数

项 目	助推距离/m					
	0.50			0.75		
输送距离/m	60	100	150	60	100	150
喷嘴数量/个	120	200	300	80	133	200
辅管最大气量/ ($\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$)	9	15	22.5	6	10	15
辅管气速(0.3 MPa)/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)						
DN32	46.0	78.0	116.6	31.0	52.0	78.0
DN40	29.8	49.8	74.6	27.5	46.0	69.0
DN50	18.8	31.9	47.7	12.6	21.3	32.0

济气速。

(4)压送罐压缩空气配管和控制阀门。在选择压送罐压缩空气配管和控制阀门时,需考虑最大用气量(清扫)条件下的经济气速,管径过小会造成较大的管道压力损失,引起供气不足,影响输送的稳定性,并使管道无法彻底清扫。

3 气量控制元件

气力输送依靠的是压缩空气,其流量(基本状态下)影响输送的能力、状态和能耗等关键指标,合理的输送气量可以降低输送气速,从而缓解管道磨损、减小被输送物料颗粒的破碎率、降低压力损失和能耗等。

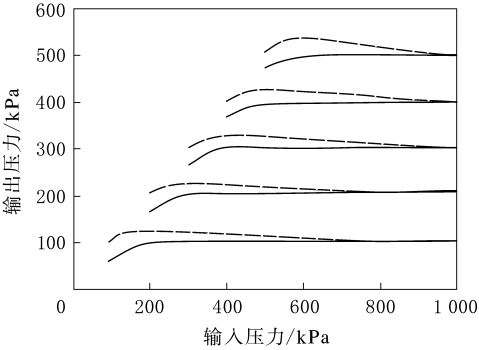
由于密相输送可以达到较大的料气比,因此目前炭黑的输送通常采用该方式。设计时,应根据供料器的能力及输送管道内的压力变化确定压缩空气的供应量,在不发生堵塞的情况下取得最高输送料气比。

3.1 减压阀

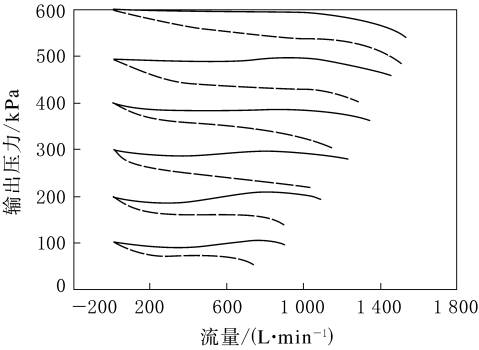
减压阀的作用是控制气压的变化,达到系统输送所需要的压力。通过正确选择减压阀,可以在较低的气源压力下,实现整个系统所需的气流量,避免只能通过提高气源压力来实现输送的情况,同时降低能源消耗。

目前大规格空气减压阀有直动式和先导式两种。常用的直动式减压阀又分为非平衡式和平衡式,其中非平衡式减压阀结构简单,价格便宜,但由于压力特性不好,一般不能用于气力输送系统的气量控制。

直动式减压阀的压力特性曲线和流量特性曲线如图 5 所示。由于气力输送系统对流量和压力



(a) 压力



输入压力 700 kPa, 口径 8 mm。

(b) 流量

——平衡式; ——非平衡式。

图5 减压阀的压力和流量特性曲线

稳定性要求很高,因此对减压阀的要求较为严格,输送气量与减压阀的特性曲线应匹配,即在减压阀设定的工作压力和所需气量条件下,其输出压力应处于稳定阶段,使输出波动达到输送要求。同时,对减压阀的动态响应速度也要求较高,通常小于 0.5 s。

通常气力输送系统要求减压阀出口压力不超过 0.32 MPa,为了使减压阀的工作区域在稳定阶段,进口绝对压力应为 $(0.1 + 0.32)/0.528 = 0.795$ (MPa)。

3.2 流量控制元件

在气量控制中起核心作用的是 LAVAL 喷管,通过设定可调式 LAVAL 喷管,不仅可以实现稳定的气力输送,同时也可以减小用气量,节约能源。在临界压力比下,LAVAL 喷管喉部的流动面积决定了气力输送系统的供气能力,据此可计算管道的输送能力和末端速度等重要参数。因此,可调式 LAVAL 喷管的正确选用对炭黑气力输送系统是非常重要的。

国外对气量控制的研究主要是从可调喉径 LAVAL 喷管着手。改变喉径的方式通常有 2 种:一种是推杆顺气流方向调节,如美国 FOX 公司研制的应用于航天工业的流量控制阀(见图 6);一种是推杆逆气流方向调节,推杆向前运动,从而改变喉部位置。

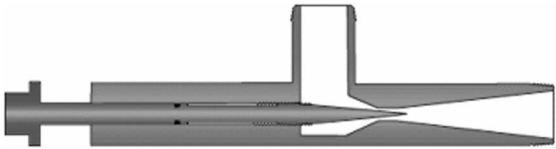


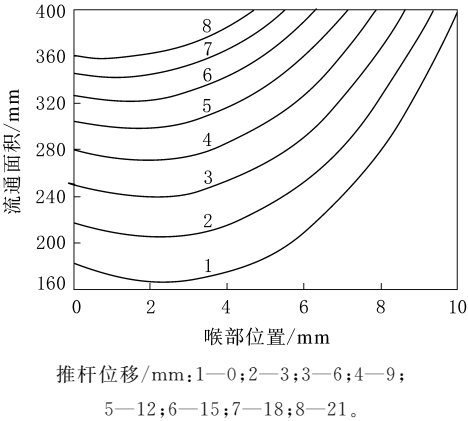
图6 FOX公司可调式 LAVAL 喷管示意

如图 6 所示,当 LAVAL 喷管的进口压力稳定时,可以通过改变调节杆的位移调节流量,实现气量控制。

炭黑气力输送系统选用可调式 LAVAL 喷管时,应考虑以下两方面的因素。

(1)根据所输送炭黑的牌号和输送距离确定喷管的喉径,最大喉径一般根据所需气量较大的炭黑确定,如炭黑 N660 等。

(2)喷管的喉部位置与喉部流通面积相关,如图 7 所示,根据具体工况确定喷管的喉部位置。



推杆位移/mm: 1—0; 2—3; 3—6; 4—9; 5—12; 6—15; 7—18; 8—21。

图7 可调式 LAVAL 喷管喉部位置与喉部流通面积的关系曲线

4 分离过滤设备

分离过滤设备主要采用脉冲袋式除尘器,气力输送系统对其要求为:空气与物料的分离效率高;性能稳定,可靠性好;压力损失小;结构简单;维护和管理方便。用于分离的储料仓应有料位检测装置,并有一定的容积。

炭黑气力输送系统采用脉冲袋式除尘器实现气体与炭黑的一次性分离,对粒度小于 $10\ \mu\text{m}$ 的粉尘状物料,除尘率可达 99% 以上。

根据炭黑的物性特点,除尘器的滤袋采用防水、防油、防静电处理的涤纶针刺毡材料(单位面积质量为 $500\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)。

处理风量根据输送管道清扫时最大气量选择,同时考虑炭黑的特性、输送压力和速度及输送管道的几何参数等,一般为 $2\ 000\sim 4\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。

除尘器的壳体最大承压能力一般为 $10\sim 30\ \text{kPa}$,真空压力按 $-5\ \text{kPa}$ 设计,输送目标仓内压力一般在 $-5\sim +10\ \text{kPa}$ 范围内变化。连接除尘器的正负压阀压力通常为 $8\sim 10\ \text{kPa}$ 左右,阀口尺寸必须大于输送管道的直径。

炭黑除尘器的过滤风速一般小于 $1\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 才能保证过滤效果。粉尘排放质量浓度要求小于 $10\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,建议采用覆膜滤料或更低的过滤风速。

5 气源机械

气源机械提供气力输送所需的具有一定压力和体积流量的压缩空气,保证系统的有效性和可靠性。由于气力输送的方式、使用场所、输送距离和输送量以及被输送物料的物性均不同,因此可选作气源设备的压缩机有多种类型,常用的有空气压缩机及罗茨鼓风机、真空泵和离心风机等。其中罗茨鼓风机和离心风机的排出量大、压力低,一般适合短距离的稀相输送和除尘;空气压缩机

主要为容积式,包括往复式压缩机和螺杆式压缩机,二者输出表压力均能达到 $0.8\ \text{MPa}$ 以上,排气量也可以达到 $30\ \text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ 以上,完全适合于一般的密相输送系统。

炭黑气力输送系统气源装置由空气压缩机、干燥器和储气罐组成,主要为系统提供气力输送所需气流和仪表用气。炭黑气力输送系统对气源的要求很高,同时考虑到输送管道和连接处的压损、泄漏,气源的压力应不低于 $0.7\ \text{MPa}$,通常比使用压力高 $0.1\sim 0.2\ \text{MPa}$ 。另外,对气源的品质要求也很高,必须经过除水、除油等处理。

6 结语

供料装置、输送管道、分离过滤设备和气源机械等主要部件对气力输送系统的能耗、使用效果有重要影响。只要对炭黑气力输送系统进行精确的设计和选型,就可满足高输送能力、大混合比、低破碎率、长距离输送、无堵塞、无泄漏、自动化、智能化和低能耗等工艺要求。

参考文献:

- [1] 李勇,张俊岭,高天宝.密相气力输送物料流动状态分析及供料装置的选用[J].水泥工程,2007(2):47-50.
- [2] 王加信.密相气力输送技术的进展[J].粮食与饲料工业,2005(5):17-19.
- [3] 李勇,朱秀苹.气力输送中变径管道系统设计的研究[J].塑料工业,2008,36(增刊):123-125.
- [4] 金秋华.双辅管炭黑密相气力输送系统设计及实验研究[D].青岛:青岛科技大学,2008.

收稿日期:2015-01-13

Main Components Selection of Carbon Black Pneumatic Conveying System

LI Yong, DU Xiao-tai

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

Abstract: According to the actual situation, a brief introduction was made on the design and optimization principle of main components for carbon black pneumatic conveying system, including feeding device, conveying pipe, filter, air supplier and so on. With reasonable choice and configuration of pneumatic conveying devices it could meet the technological requirements, such as high conveying capacity, high mixing ratio, low broken rate, long distance conveying, no blocking, no leakage, automation, intelligence and low energy consumption.

Key words: carbon black; pneumatic conveying; feeding device; pipe