

气力输送工艺在煤粉输送中的应用

郑祥玉^{1,2,3}, 徐 尧^{1,2,3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 节能工程技术研究分院, 北京 100013; 2. 煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室, 北京 100013;
3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

摘 要:针对工业煤粉输送技术效率低、不安全等问题,介绍了稀相正压输送、密相正压输送和负压输送 3 种气力输送工艺的原理和使用现状,研究了密相输送工艺的原理和目前主流的栓流式密相输送技术。分析了稀相正压输送、密相正压输送和负压输送工艺各自的技术特点,并在投资、能耗、环保等方面进行对比。结果表明负压输送输送距离较短,稀相正压输送能量损失大、易发热,而密相正压输送固气比高、能耗低、管道和物料磨损小、噪声低、输送过程不易发热,更适合煤粉输送。

关键词:气力输送;密相;稀相;负压;煤粉

中图分类号:TH138;TD849 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)02-0085-04

Application of pneumatic conveying technology in pulverized coal conveying

ZHENG Xiangyu^{1,2,3}, XU Yao^{1,2,3}

(1. Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China;
2. State Key Laboratory of Coal Mining and Environmental Protection, Beijing 100013, China; 3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

Abstract: In order to improve efficiency and security of conventional industrial pulverized coal conveying technologies, the working principle and application state of dilute phase pneumatic positive pressure conveying (Method 1), negative pressure conveying (Method 2) and dense phase pneumatic conveying (Method 3) were introduced. The technical features, investment, energy consumption and environmental performance of above three methods were compared. The mechanism of dense phase pneumatic conveying and the mainstream plug flow dense phase conveying technologies were introduced. The results showed that, Method 3 had the shortest conveying distance, Method 1 had the largest energy loss, Method 2 had the highest solid-to-gas ratio, the lowest energy consumption, material abrasion, noise and frictional heating occurrence probability which was suitable for pulverized coal conveying.

Key words: pneumatic conveying; dense phase; dilute phase; negative pressure; pulverized coal

0 引 言

气力输送是利用空气压差来实现粉状物料在密闭管道内输运的一种输送方式,其具有密闭、安全、清洁、易于实现自动化和连续操作等优点,已被广泛运用于化工、水泥、发电、粮食等行业^[1]。1810 年,Medhurst 提出邮件气力输送方案。1853 年,Clark 首先研制了直径 38.1 mm,长度 205.74 m 的气力输送系统。1866 年,出现用气力输送棉花和砂

子等固体的实例。1891 年,多克哈姆发明负压式气力输送系统,应用于港口装卸,气力输送设备逐渐普及^[2]。在我国气力输送设备发展起步较晚,20 世纪 80 年代初开始在燃煤电站使用国外进口的产品,主要是美国艾伦公司的负压稀相系统和美国 U C C 公司的低正压气锁阀稀相系统;1988 年引进了 ABB 公司的正压浓相流态化小仓泵系统;1994 年引进德国穆勒公司的内套管正压浓相系统。近两年的统计资料显示,我国从国外进口的气力输灰设备仍占

收稿日期:2014-12-04;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.02.019

基金项目:煤炭科学研究总院技术创新基金资助项目(2012CX02)

作者简介:郑祥玉(1985—),男,山东菏泽人,助理工程师,学士,从事煤粉工业锅炉技术开发工作。E-mail:mozxy@sina.com

引用格式:郑祥玉,徐 尧.气力输送工艺在煤粉输送中的应用[J].洁净煤技术,2015,21(2):85-88.

ZHENG Xiangyu, XU Yao. Application of pneumatic conveying technology in pulverized coal conveying[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(2): 85-88.

40%的市场份额,若包括合资企业生产的产品,则占一半以上。1994 年浙江菲达机电集团有限公司从美国 Dynamic Air 公司引进了助推型正压浓相气力输灰技术。

长久以来,气力输送技术主要以悬浮式的稀相输送为主。但由于物料输送速度较快,管道磨损严重,而且输送所需的气量大,能耗较高。因此,近些年来固气比高、能耗低的密相输送技术被广泛关注。密相气力输送由于固气比高、流动形态复杂,还没有成熟的理论可供参考。目前的技术主要以工程实践和经验公式为依据。国内外众多学者,从不同方面对密相气力输送进行了研究。最初有人使用蒸汽喷射泵输送液体,后来 Vallance 搭建了气力输送实验装置,丹麦塞克公司及美国富勒公司的正压输送装置相继发明,而我国在“八五”、“九五”期间组织了气力输送技术和产品的科技攻关,并相继开发出负压稀相系统和正压浓相流态化小仓泵系统,取得了有价值的研究成果。但总体来说对密相气力输送的研究尚处于发展阶段,有待进一步深入研究。

1 几种气力输送工艺介绍

根据颗粒在输送管道中的密集程度不同,可将气力输送分为稀相输送和浓相输送^[4]。稀相输送是指固体质量浓度低于 100 kg/m³ 或固气比(输送固体量与气体用量的质量流率比)为 0.1 ~ 25 的输送方式。稀相输送操作气速为 18 ~ 30 m/s,高于浓相输送。根据管道内气体压力不同,可将气力输送分为吸引式(即负压气力输送)和压送式(即正压气力输送)^[5]。吸引式气力输送管道内压力低于大气压,能自吸进料,缺点是必须负压卸料,而且物料输送距离较短;压送式气力输送管道内压力高于大气压,卸料方便,物料输送距离较长,其缺点是须用给料器将物料送入带压的管道中。

1.1 负压输送

负压气力输送指利用风机(真空泵)产生系统负压,将与空气均匀混合的粉粒状物料通过管道抽送至储存装置的输送工艺,主要用于燃煤电厂的灰处理和港口等散料输送。

负压气力输送系统投资较省,可以多点受料,由于设备和管路在真空状态下,只能发生内泄漏,因此环境比较清洁。缺点是输送距离较短,输送的极限距离为 200 m,实际工程宜按 ≤150 m 设计;单个系统的最大出力一般 40 t/h^[6]。

1.2 稀相正压输送

稀相输送系统由压力泵和输送管道组成,输送距离在 400 m 左右。采用罗茨风机作为动力源,直接驱动于物料颗粒上,使物料以悬浮状态向前流动。设备简单,占地面积小,密闭性好,配置灵活^[7]。

由于稀相输送靠动能转换传递能量,在悬浮状态下进行物料输送,因而固气比很低(通常为 5 ~ 10),对风速的要求较高(物料流速为 30 m/s 左右)。稀相输送能耗也较高,在能量传递过程中存在能量损失,悬浮颗粒间以及颗粒与管壁间的摩擦也会产生能量损失,而且摩擦会造成严重的管道磨损^[8]。

1.3 密相正压输送

密相正压输送又称为浓相输送^[9]。密相正压输送采用静压输送,与普通气力相比,压缩空气输送量少,固气比高(大于 25),但输送速度低;其优点是对管道磨损小,可使用普通钢管降低成本,且运行噪音小,设备简单易于布置,维护工程量很小,卸料灵活。其输送高度达 30 ~ 40 m,水平输送距离可达 450 m,主管直径可达 150 ~ 200 mm,最大能力为 30 t/h^[10]。

2 输送方式比较

2.1 适用范围及主要特点

负压输送受限于负压范围,输送距离一般在 50 m 以内,稀相输送靠动能转换传递能量和悬浮态输送,要求风速较高输送距离较短,一般输送的极限距离为 200 m,实际工程宜按 ≤150 m,正压密相输送固气混合比高,输送速度低,输送高度达 30 ~ 40 m,输送距离可达 450 m。各输送方式的主要参数特点见表 1。

表 1 主要参数特点比较

项目	稀相输送	密相输送	负压输送
固气比	<5	>25, ≤60	≤10
气流速度/(m · s ⁻¹)	18 ~ 30	2 ~ 3	18 ~ 30
最大输送距离/m	水平 200, 垂直 50	水平 450, 垂直 40	水平 50, 垂直 22
输送压力/MPa	<0.1	0.6 ~ 0.8	-0.05
特点	设备压力低, 维修少;管道磨损严重, 参数调节范围小, 长距离输送效果差	输送量大, 输送稳定, 距离长, 磨损小; 设备复杂, 电动、气动部件较多	投资少, 负荷低; 输送距离短, 管道磨损严重, 磨损出现漏洞不易察觉

2.2 输送设备配置对比

负压气力输送和稀相正压气力输送技术大都以罗茨风机为动力。由于通过风机的气流中难免有一定量的粉尘,因此要求负压风机过流通道上的零件应耐磨蚀,密封件防尘效果良好。为了提高物料输送速度,必须加大风量,并在一定程度上降低物料浓度。故而要求输送管道管径、阀门、除尘器等设备的配置要远高于密相气力输送。以 5 t/h 输送量为例,对密相和稀相气力输送煤粉在设备配置方面的对比见表 2。

表 2 输送工艺设备配置对比

项目	密相输送	稀相输送	负压输送
输送设备	DB-1.0 仓式泵	YJD-DX250 卸料阀	YJD-DX250 卸料阀
管径/mm	80	150	150
除尘面积/m ²	8	40	25
供料调节方式	PLC 调节	变频调节	变频调节

2.3 能耗比较

3 种输送工艺动力设备能耗对比见表 3。

表 3 3 种输送工艺动力设备能耗对比

项目	密相输送	稀相输送	负压输送
动力设备	空气压缩机	罗茨风机	罗茨风机
耗气量/(m ³ ·min ⁻¹)	4	26	26
压力/kPa	500	60	-50
功率/kW	22	45	45
运行方式	间歇运行	连续运行	连续运行

2.4 输送品质比较

1)稀相气力输送通常采用卸料阀卸料,末端配备罗茨风机进行物料输送,输送空气未经处理,经常含有大量杂质,若在罗茨风机出口加装过滤器和干燥器,压力损失很大,需加大电机功率。密相气力输送使用压缩空气为动力,压缩空气通过冷干机和过滤器除去油、水、固体杂质后,再通过分子筛等干燥机进一步去除水分,得到洁净而干燥的空气。

2)在稀相气力输送中,用于输送的空气量较大,固气比较低,输送速度快,末端速度可达 30 m/s。但是如果输送速度过高,煤粉与输送管壁高速摩擦产生热量也易导致煤粉自燃。而密相气力输送因固气比高,输送速度较慢,末端速度低于 18 m/s,管壁温度低,适宜煤粉输送。

2.5 环境影响比较

稀相气力输送所采用的罗茨风机噪声较大,超过 90 dB,即使增加了消声器和隔音罩,也很难达到环保要求,会降低风压,进而影响输送距离。而密相气力输送所采用的空气压缩机可以集中布置,压缩空气亦可进行长距离输送,通过对压缩机房进行消声与隔音等降噪处理,其噪声能够达到《工业企业噪声卫生标准》的要求。

3 密相输送工艺

密相输送的物料在水平管和垂直管中的流动形态如图 1 所示。一般情况下,低速密相输送多处于不连续相区。根据物料性质的不同,栓流输送在水平管中基本上呈 2 种形态:①黏聚性较低或基本无黏聚性的物料呈现出 H2 型流动形态,物料的流动形态(如煤粉)多为 H2 型;②对有黏聚性的物料呈现 H3 型流动形态。

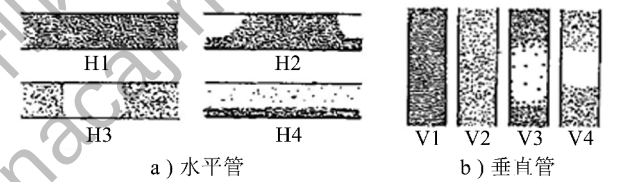


图 1 水平管和垂直管中物料的流动形态

对于 H2 型的栓流输送,如果气速低于某一值,物料流动形态出现转折,从“满管流动”转变成“剪切流动”。转折出现在物料以栓流通过管道的最低速度也是最佳速度处,通过确定最低速度,从而选择所需气源的压力和气量。当浓相输送的固气比大于 20 时,物料在管道中的分布呈密集状态,但管道并未被物料堵塞,因而仍然是依靠空气的动能来输送,同样,垂直输送中也有相应的流动状态,如图 1b 所示,V3 为伴有粒子从尾部下落的栓流,V4 为理论状态下的栓流。

浓相输送管由内管和外管配合组成,特质的内管焊接在外管上壁^[11-12]。2 根管子 1 根送入固体颗粒状物料,1 根送入压缩空气。不同规格的浓度管用法兰相接,浓相输送管线阻力发生变化的地方采用特质的分流器联结,以减少输送过程的阻力和磨损。在浓相输送中,内管的开口距离及内管中的气流速度对物料输送过程影响极大^[13]。

浓相输送管的工作原理是利用流体的最小阻力原理,从压力角度来说,移动一段短料栓比移动一段长料栓所需的总压力小;从气流速度来说,在切割料

栓时,气流速度偏高则会形成长料栓,气流速度偏低则形成短料栓,并且由于内管产生的脉冲力不同,气流速度逐渐降低,料栓长度则变短,到一定程度就会转变成流态化的物料流动状态,为了用较低的空气压力将浓相料栓送走,就要求缩短料栓长度。

在研究栓流式浓相输送技术时,可假设由于管道太长,管中流态化的连续流动物料在遇阻后将停滞。此时,在外管内腔上部设置1根内管,内管朝下的一面开有若干小孔,输送管中的部分气流将进入内管流动,长料栓被气流分割成流态化短料栓^[14]。不断重复此过程,使剩余的连续流态化物料不断被分割,料栓的长度不断变短,到一定程度形成流态化的物料流,从而实现物料在长距离管道中的浓相输送。根据浓相输送的工作原理,推动2段或若干段短料栓所需消耗的总压力比移动1段长料栓(等长于2段或若干段短料栓之和)要小^[15]。

4 结 语

粉粒状物料的输送越来越多地采用气力输送系统,气力输送形式、设备配置以及输送参数的选取,对于节省能耗、避免环境污染、提高输送能力、减少运行费用都有很大的影响。研究表明负压气力输送、稀相正压气力输送、浓相正压气力输送各有不同的适用范围。就煤粉输送而言,煤粉活性高、易自燃,宜采用密相正压输送。目前,气力输送系统的设计主要依据试验和经验数据,加强基础理论研究将是未来工艺完善的必然方向。

参考文献:

- [1] 曹宪周,鲁选民.气力输送技术的发展及其在粮食行业中的应用[J].粮食与饲料工业,2011,33(6):14-18.
- [2] 罗驹华,张颖.气力输送设备综述[J].盐城工学院学报,2000,5(3):37-40.
- [3] 楼建勇,林江.气力输送系统的研究现状及发展趋势[J].轻工机械,2008,15(3):4-7.
- [4] 石炎福,王永安.化工纺织百科气力输送[EB/OL].(2011-06-11)[2014-12-04].<http://8.80008.cn/80>.
- [5] 李成林.全吸式干湿两用扫路车关键技术研究[D].镇江:江苏科技大学,2012:19-20.
- [6] 马克毅,付书红.氧化铝浓相输送技术[J].昆明理工大学学报:理工版,2003,15(5):28-31.
- [7] 吴保华,王玉玲,徐君飞,等.负压气力输送在干混砂浆生产中的应用[J].工业安全与环保,2012,37(10):11-13.
- [8] 杨理,李伟众,孙靖,等.筹建大型自备电厂工艺与设备的选择分析[J].粉煤灰,2013,24(6):10-14,18.

- [9] 王伟.大型自备电厂项目的工艺与设备选择[J].化肥设计,2013,51(4):24-27.
- [10] 王军,李勇,张俊岭,等.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,2007,27(2):47-50.
- [11] 张英建.智能控制在浓相输送系统上的应用[D].兰州:兰州理工大学,2007:6-8.
- [12] 田翔.氧化铝浓相输送过程的两相流建模及参数测量问题的研究[D].兰州:兰州理工大学,2007:3-7.
- [13] 王西能.密相气力输送工艺在PVC粉体输送上的应用优势[J].聚氯乙烯,2010,31(10):9-11.
- [14] 赵丽琴,孟庆敏,周云,等.粉体密相气力输送研究综述[J].锅炉技术,2011,41(5):1-5.
- [15] 梁财,陈晓平,蒲文灏,等.高压浓相粉煤气力输送特性研究[J].中国电机工程学报,2007,43(5):31-35.

(上接第84页)

- [3] 杨忠灿,刘家利,姚伟.准东煤灰沾污指标研究[J].洁净煤技术,2013,19(2):81-84.
- [4] 张军,汉春利,刘坤磊,等.煤中碱金属及其在燃烧中的行为[J].热能动力工程,1999,14(2):7-9,79.
- [5] 汉春利,张军,刘坤磊,等.煤中钠存在形式的研究[J].燃料化学学报,1999,27(6):575-578.
- [6] Quyn D M, Wu H, Li C Z. Volatilisation and catalytic effects of alkali and alkaline earth metallic species during the pyrolysis and gasification of Victorian brown coal. Part I: volatilisation of Na and Cl from a set of NaCl-loaded samples[J]. Fuel, 2002, 81(2): 143-149.
- [7] 卫小芳,刘铁峰,黄戒介,等.澳大利亚高盐煤中钠在热解过程中的形态变迁[J].燃料化学学报,2010,38(2):144-148.
- [8] Bensen S A, Holm P L. Comparison of inorganic constituents in three low-rank coals[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 1985, 24(1): 145-149.
- [9] 付子文,王长安,车得福,等.成灰温度对准东煤灰理化特性影响的实验研究[J].工程热物理学报,2014,35(3):609-613.
- [10] Zevenhoven M, Yrjas P, Skrifvars B J, et al. Characterization of ash-forming matter in various solid fuels by selective leaching and its implications for fluidized-bed combustion[J]. Energy and Fuels, 2012, 26(10): 6366-6386.
- [11] 杨明,陈明华,谷红伟,等.高钠煤中钠的赋存形态与控制技术[J].洁净煤技术,2014,20(5):82-85.
- [12] 陈川,张守玉,刘大海,等.新疆高钠煤中钠的赋存形态及其对燃烧过程的影响[J].燃料化学学报,2013,41(7):832-838.
- [13] 刘晶,郑楚光,贾小红,等.微波消解和电感耦合等离子体发射光谱法同时测定煤灰中的14种元素[J].分析化学,2003,31(11):1360-1363.
- [14] 王琿,宋蕾,姚强,等.ICP-OES/ICP-MS测定煤中多种元素的微波消解方法研究[J].光谱学与光谱分析,2012,32(6):1662-1665.
- [15] 范建勇.准东煤结渣特性及其配煤灰熔融性试验研究[D].杭州:浙江大学,2014:3-4.