

密相气力输送系统中几种气量控制方式的比较

李 勇 蒋存刚

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266042)

摘 要 从调压范围、压力特性和流量特性方面介绍了减压阀的主要性能,讨论了气力输送交流中减压阀的选择和调节,分析了密相气力输送系统中各种气量控制方法,对其各自的优缺点进行了详细讨论,重点分析减压阀及减压阀与拉法尔联合气量控制系统的优、缺点,表明可调式拉法尔管是今后气力输送气量控制发展的方向。
关键词 气力输送,气量控制,减压阀
中图分类号:TH 411 文献标识码:A
文章编号:1008-5548(2005)06-0029-04

Comparing with Air Control Modes in Dense Phase Pneumatic Conveying

LI Yong, JIANG Cun-gang

(School of Electronic and Mechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The main properties of the pressure regulators were introduced such as regulating range, pressure characteristic and flow characteristic. The choice and regulation of the pressure regulator for pneumatic conveying was discussed. The air control modes in dense phase pneumatic conveying were analyzed, and their advantages and disadvantages were discussed in detail. Pressure regulator and pressure regulator-LAVAL air control modes were emphasized. Adjustable LAVAL pipe air control is a developmental direction for pneumatic conveying.
Key words: pneumatic conveying; air control; pressure regulator

气量控制是气力输送系统的核心技术,它不仅决定输送的流态,同时对输送的技术性能,比如输送速度、管道磨损、粒子破碎、气量消耗、输送阻力、过滤除尘等有着直接影响。为此,气力输送研究的一个重点是开发合理的、可靠的、智能化的气量控制系统,它不仅对稀相气力输送非常必要,对于密相气力输送,更是评价输送优劣的决定性因素。本文中对外旁通双管密相气力输送系统的气量控制方法进行比较,为气力输送系统的设计和使用提供一些帮助。

收稿日期:2005-02-16
本项目获 2004 年国家科技进步二等奖。
第一作者简介:李勇(1962-)男,硕士,副教授。

1 减压阀的作用

在气动自动化系统的设计中,为了提供各气动元件符合要求的气压,一般安装各种规格的减压阀。减压阀的作用是将较高的输入压力调到规定的输出压力,并能保持输出压力稳定,不受空气流量变化及气源压力波动的影响^[1]。

1.1 减压阀的主要性能

表示减压阀的主要性能有调压范围、压力特性、流量特性和溢流特性。

1.1.1 调压范围

减压阀的输出压力调节范围,称为调压范围。减压阀的输出压力在调压范围内应能连续稳定地调整,无突跳现象。减压阀的输入及最大输出压力关系如表 1 所示。

表 1 减压阀的输入及输出关系								M Pa
输入压力 p_1	0.16	0.40	0.60	1.00	1.20	1.60	2.50	4.00
输出压力 p_2	0.10	0.25	0.40	0.63	0.80	1.00	1.60	2.50

1.1.2 压力特性

压力特性是指减压阀输出流量一定时,输入压力的变化对输出压力的波动的影响,用特性曲线表示。如图 1 所示。

1.1.3 流量特性

流量特性是指减压阀的输入压力一定时,输出流量的变化对输出压力的波动的影响,用特性曲线(图 2)表示。减压阀的流量特性和压力特性表示了阀的稳定性能,是选用阀的重要依据。阀的输出压力

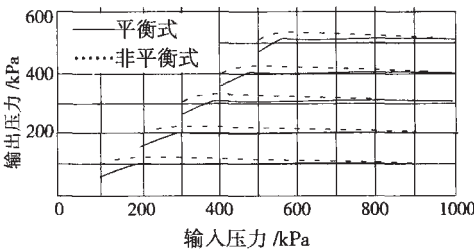


图 1 减压阀的压力特性曲线

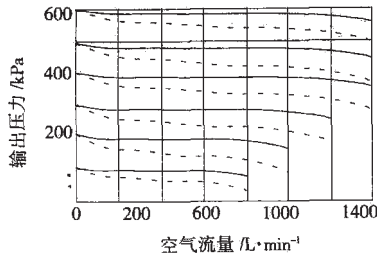


图2 减压阀的流量特性曲线

表2 LR型减压阀的流量参数 L/min

项目	MINI型			MIDI型			MAXI型	
连接尺寸	G1/8"	G1/4"	G3/8"	G3/8"	G1/2"	G3/4"	G3/4"	G1"
标准额定 (1)	800	1500	1700	3200	3500	3500	11000	11500
流量 (2)	1000	1600	1800	3300	4000	4500	12000	12500

* 输入压力 1.0 MPa, 输出压力 0.6 MPa, 压差 $\Delta p=0.1$ MPa.

* (1) 调压范围 0.05 ~ 1.2 MPa, (2) 调压范围 0.05 ~ 0.7 MPa.

只有低于输入压力一定值时,才能保证输出压力的稳定,输入压力至少要高于输出压力 0.1 MPa,阀的输出压力越低,受流量的影响越小,且在小流量时,输出压力波动较大。当使用流量超过规定的流量时,减压阀的输出压力将急剧下降。

1.2 减压阀的选用

为了保证气力输送系统的正常工作,选择使用减压阀应考虑以下问题:

(1) 根据要求的工作压力、调压范围和使用流量的最大值及稳压精度来选择减压阀。对于气力输送,调压范围和使用流量的最大值是选择减压阀的关键。从表1可以看出,减压阀的选择必须根据气源压力(减压阀进口压力)和减压阀输出压力进行选择,减压阀输出压力与输送管道阻力有关。对于国内一些密相气力输送系统,在输送停止时,气源压力比较高,但在输送过程中,出现气源压力急剧下降,有时甚至低于 0.3 MPa,在此时输送,减压阀的工作特性非常差,已经满足不了输送条件,必须增大气源压力、增大气源供气量或增大空气储罐进行稳压,这也是密相气力输送系统设定在输送过程中最低气源压力为 0.45 MPa 的原因。当然对于输送距离短,物料容易输送,输送阻力小,减压阀出口压力设定比较小(低于 0.2 MPa),可以考虑将减压阀进口压力限定降低一点。

(2) 减压阀的输出流量是主要性能参数,一般与阀的接管口径相对应。若没有足够大的大口径减压阀供选用,可用几个减压阀并列输出。但需注意相应的输入、输出管道截面积之和不得小于减压阀

公称通径截面积之和。目前质量比较可靠的减压阀最大工作口径为 DN50,如果 DN50 减压阀气量满足不了要求,必须采用多个减压阀并列输送。

国内外外旁通密相气力输送系统,不论是采用一个 DN50 减压阀控制整体气量,还是采用两个 DN50 减压阀,一个调节主气路,一个控制旁通管气路压力,在实际输送过程中,输出压力变化很大,说明减压阀的流量已远超过规定的流量。产生的原因一方面是,在输送过程中,随着管道压力的降低,气量急剧增大,减压阀供气量满足不了要求;另一方面,用户压缩空气主管道设计存在问题,当气量增大时,空气管道气速增加,管道压力损失与气速的平方成正比,压力损失增加,造成减压阀进口压力减小。

在减压阀选择时,必须正确选择调压范围,从表2可以看出,对于相同规格的减压阀,调压范围从 0.05 ~ 1.2 MPa 降低到 0.05 ~ 0.7 MPa,标准额定流量增大,对于 G1" 减压阀,额定流量从 11 500 L/min 增大到 12 500 L/min。在选择减压阀时,在保证最高调压值时,调压范围尽量低。

1.3 减压阀的计算

根据减压阀的特性可知,减压阀的进出口压力差越大,其流量越大。对空气其进出口绝对压力比值 $p_2/p_1=0.528$ 时流量达到最大并不随出口压力的减小而增大,流量为恒流区。当绝对压力比值大于 0.528 时出口压力值增大流量明显减小。可由下面公式表示^[2]

$$q = \frac{36u}{f} \sqrt{98 \left(\frac{K}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}} \frac{p_1}{u_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K+1}{K}} \right]}$$

当 $p_2/p_1 \leq 0.528$ 时

$$q = \frac{36u}{f} \sqrt{98K \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}} \frac{p_1}{u_1}}$$

式中 q ——减压阀每平方厘米阀孔截面的实际流量, $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$;

μ ——阀孔流量系数取 0.45 ~ 0.6;

p_2 ——阀后流体压力(绝压) MPa;

p_1 ——阀前流体压力(绝压) MPa;

K ——流体绝热系数,空气 $K=1.4$;

u_1 ——阀前流体比容 $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$;

f ——减压阀孔计算截面 cm^2 。

从上面公式可以发现,对于多数气力输送,其减压阀出口压力不超过 0.32 MPa。为了保证减压阀

的流量稳定,即处于恒流区,减压阀进口压力为 $(0.1+0.32)0.528=0.795\text{ MPa}$ (绝压),这就是双管气力输送生产商要求用户气源压力大于 0.7 MPa 的原因。对于气源压力小于 0.7 MPa 的气力输送系统,可以选用大于 $\text{DN}50$ 减压阀或采用主、辅管分别采用各自的 $\text{DN}50$ 减压阀来增大流量弥补由于气源压力不足造成流量波动。

1.4 减压阀进行气量控制的缺点

减压阀出口压力设定一方面保证输送气量,同时必须考虑输送管的承压能力。虽然减压阀出口设定压力提高,气量增大,料气比下降,输送管道阻力降低,但在出现意外堵塞时,减压阀输出压力太高,在堵塞状态下管道压力将增大到减压阀出口压力,必须考虑管道的承压能力。单纯采用减压阀进行气量控制还存在一个致命的缺点,对于仓泵式密相输送,降低减压阀出口压力,减少输送气量,但同时料气比增大,输送阻力增加,但输送要求减压阀出口压力必须大于输送管道阻力,故减压阀调节流量存在一个下限值,低于该值不能进行调节,否则无法进行输送。

2 气力输送气量控制的方式比较

2.1 单减压阀与拉法尔管组成的气量控制系统

在总进气管采用一个减压阀和输送、清扫拉法尔管组成的气量控制系统。在压缩空气副管上无自动阀门和压力传感器(图3)。

优点:控制系统简单,系统成本低,维修成本也低。对于用户气源压力高(大于 0.7 MPa)输送管线短的系统比较合适。

缺点:由于在整个输送过程中副管始终处于开启状态,压缩空气消耗量大,输送末端气速由于副管的补气作用有所增加。对于用户气源压力低(小于 0.55 MPa)或压力波动大,流量不稳定、输送距离长的情况下,由于副管的排空气量(无效气量)占整个输送气量的比例增大,产生输送后期输送气源压力下降、气量减少造成输送困难或堵塞,输送时间延长。

2.2 双减压阀与拉法尔管组成的气量控制系统

输送主管和副管分别采用各自的减压阀 P 、 P' (图4),分别设置各自压力,一般副管压力 P' 高于主管压力 $0.03\sim 0.05\text{ MPa}$ 。根据输送距离的长短,在输送管上安装压力传感器 $P_1, P_2, \dots$,对应副管上安

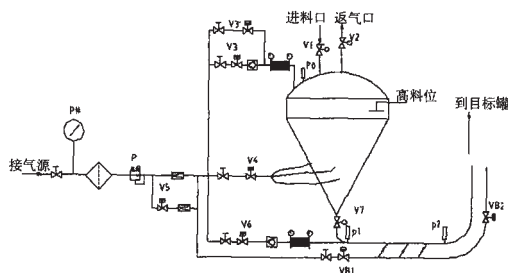


图3 单减压阀与拉法尔管组成的气量控制系统

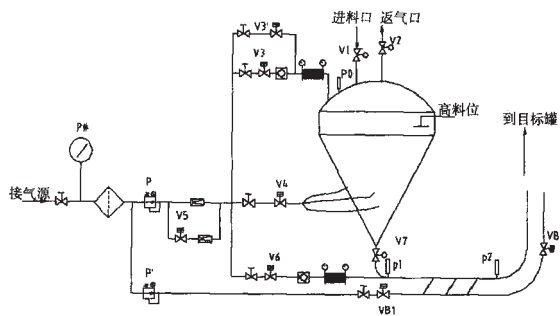


图4 双减压阀与拉法尔管组成的气量控制系统

装气动截止阀 $VB1, VB2, \dots$ 。由主管压力控制对应副管阀门的开关,实现最佳补气。对于含有 $\text{DN}175$ 输送管线,为了保证在清扫过程中的气量,增加图2.4中 $V3'$ 旁路。

优点:主、副管压缩空气管路分开,彻底消除了主管上过滤装置由于密封问题产生的泄露造成副管上小过滤喷嘴的堵塞,副管压力高于主管压力,可真正实现副管的清堵作用;在主副管上设置压力传感器和气动截止阀,最大限度的减少副管的无效气量,实现最佳补气,实现低速、高料气比的稳定输送。在输送距离 100 m ,输送管直径为 $\text{DN}125/150$,在输送管道上设置4个压力传感器,输送气量与上一种控制方式比较,减少 $15\%\sim 25\%$ 。如果输送距离增加或增加副管上的阀门,节约的气量还要增大。同时在意外出现堵塞时,可以通过压力传感器的压力自动监视堵塞位置,并通过清堵程序控制副管阀实现自动疏通。

缺点:根据输送距离的长短设置压力传感器和气动截止阀,使设备投资和维修成本略增加。对于不同物料采用同一条输送线输送,由于物性的变化,输送特性必然发生变化,采用固定气量的控制方式(虽然用户可以根据物料情况手动选择减压阀压力,但实际操作情况用户很难办到)。该系统对一条输送管输送多种物料很难保证所有物料的输送速度和料气比最佳。

2.3 比例调节阀与拉法尔管组成的气量控制系统

将 3.2 控制方式主副管上的减压阀 P、P' 换成电磁比例阀,根据不同的物料自动设置不同的输送压力,实现所有物料的最佳输送。

优点:包含 2.2 控制方式的所有优点,同时实现自动设置输送压力,使所有物料的输送均能实现最佳输送,在清扫过程中,可以自动提高压力增大气量,保证清扫彻底。该方式特别适用于用户物料粒子破碎要求高的场合。

缺点:控制方式复杂,投资、维护成本高。

2.4 可调式拉法尔管与减压阀组成的气量控制系统

在输送主管气量控制回路上采用一只可调式拉法尔管和手动减压阀组成气量控制方式,根据不同物料在输送或清扫阶段用气量不同,改变拉法尔喉径来调节空气流量,是今后气力输送气量控制发展的一个方向。

我公司目前正在开发该种气量控制方式,可以保证输送均匀、平稳。

2.5 减压阀与薄膜调节阀组成的气量控制系统

采用减压阀和薄膜调节阀组合实现气量控制。减压阀的出口压力设定比较高,可参照输送管的承压压力设定,故减压阀的主要功能是保证系统安全,流量的调节主要依靠薄膜调节阀来调节,但调节范围有限,有时不得利用减压阀进行粗调。与所有减压阀流量调节一样,稳压、稳流效果差,意大利高维尼公司炭黑气力输送方式就是采用该方法。

参考文献(References):

- [1] 陆鑫盛,周洪.气动自动化系统的优化设计[M].上海:上海科学技术文献出版社,2000.
LU X in-sheng,ZHOU Hong. Optimal Design of Pneumatic Automation System [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Information Press, 2000. (in Chinese)
- [2] 张红兵,周国庆,李志清,等.化工工艺设计手册.上册[M].北京:化学工业出版社,1992.
ZHANG Hong-bing,ZHOU Guo-qing,LI Zhi-qing, et al. Handbook of Technological Design of Chemical Industry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1992. (in Chinese)

(上接第 28 页)

5 结论

DG 系列双磨盘式磨粉机已经在江苏常州科率粉体机械设备有限公司试制成功并已正式投入生产和使用,取得了较好的经济效益。该型机器具有机构紧凑,生产效率高,维护保养简单,特别是在特种磨粉行业具有广泛的应用前景和市场需求。作为满足特种磨粉系统需求的关键设备,设计了合适有效的制粉工艺系统。除了可以进行常温和深冷磨粉,经过一定的改变,还可以用于液态磨粉。

参考文献(References):

- [1] 孙成林. 2003 年中国粉体工业现状 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2004, 40(3): 7-10.
SUN Cheng-lin. The actuality of powder industry of China in 2003 [J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 2004, 40(3): 7-10. (in Chinese)
- [2] 杨华明,邱冠周,王淀佐.超细粉碎过程粉体的机械化学变化 [J]. 金属矿山, 2000, 293(11): 24-31.
YANG Hua-ming, Qiu Guan-zhou, Wang Diao-zuo. Development of the mechano-chemistry of super-fine crushing [J]. Metal Mine, 2000, 293 (11): 24-31. (in Chinese)
- [3] 张国旺,黄圣生.超细粉碎技术的应用和发展 [J]. 矿业快报, 2002, 379(1): 1-3.

- ZHANG Guo-wang, HUANG Shen-sheng. The application and development of super-fine crushing technology [J]. Express Information of Mining Industry, 2002, 379(1): 1-3. (in Chinese)
- [4] 张更超,应富强.超细粉碎技术现状及发展趋势[J].中国粉体技术, 2003, 9(2): 44-48.
ZHANG Geng-chao, YING Fu-qiang. Actualities and progressive trends of superfine crushing techniques [J]. China Power Science and Technology, 2003, 9(2): 44-48. (in Chinese)
- [5] 马克明,王富祥.粉体深加工技术与设备的现状与发展[J].中国化工装备, 2000, (03): 7-24.
Ma Ke-ming, Wang Fu-xiang. The actualities and development of technology and equipment in further process of powder [J]. China Chemical Equipment, 2000, (3): 7-24. (in Chinese)
- [6] 杨飞龙,潘继民,邱益,等.高速砂轮磨粉制粉过程分析 [J]. 郑州工业大学学报, 1998, 19(3): 120-122.
YANG Fei-long, PAN Ji-min, QIU Yi, et al. Analysis of powder-making process of wheels grinding machine [J]. Journal of Zhengzhou University of Technology, 1998, 19(3): 120-122. (in Chinese)
- [7] 盖国胜,马正先,胡小芳.超细粉碎与分级设备进展 [J]. 金属矿山, 2000(5): 30-35.
GAI Guo-sheng, MA Zheng-xian, HU Xiao-fang. Advance in superfine crushing and classification equipment [J]. Metal Mine, 2000, (5): 30-35. (in Chinese)
- [8] 郑水林.超细粉碎原理、工艺设备及应用 [M]. 北京:中国建材工业出版社, 1993. 114-127, 253-298.
ZHENG Shui-lin. The Principle, Technique Equipment and Application of Super-fine Crushing [M]. Beijing: China Architectural Materials Press. 1993. 114-127, 253-298. (in Chinese)