

# 双套管气力输灰系统管道优化研究

李俊华<sup>1</sup>, 曹志坚<sup>2</sup>

1. 西京学院机电系自动化教研室, 陕西 西安 710123

2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710032

[摘要] 简述双套管气力输灰原理。结合气固两相流压力损失的相关理论, 建立了双套管流体输送压降方程。在分析双套管管道结构的基础上, 提出了两管管径最优化配置所依据的计算公式, 并通过试验予以验证, 理论模型计算结果与试验结果基本一致。

[关键词] 气力输灰; 空气阻力; 双套管; 管径配比; 管道

[中图分类号] TM 621.7<sup>+</sup>3

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-3364(2008)11-0089-03

双套管气力输灰系统采用了特殊结构的输送管道, 可使输送管道内的输送空气保持连续紊流。这种紊流是采用两条管道来实现的, 即管道采用大管内套小管的特殊结构形式, 小管布置在大管内的上部, 在小管的下部每隔一定距离有扇形缺口, 并在缺口处装有圆形孔板。正常输送时大管主要走灰, 小管主要走气, 压缩空气在不断进入和流出内套小管上特别设计的开口及孔板的过程中产生剧烈紊流效应, 不断搅动物料。低速输送会引起输送管道中物料堆积, 这种堆积物引起相应管道截面压力降低, 所以迫使空气通过第2条管道(即内套小管)排出, 第2条管道中下1个开孔的孔板使这部分“旁路空气”返回到原输送管中, 此时增强的气流将吹散堆积的物料, 并使之向前移动, 从而使物料能实现低速输送而不堵管。

## 1 双套管内空气阻力特性

为了对比, 首先给出单管内空气阻力特性。单管结构形式见图1。

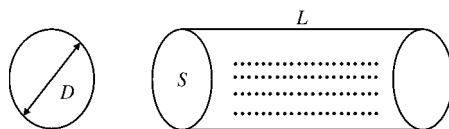


图1 单管结构形式示意

在长度为  $L$  的管段上, 单管的纯空气压损可按下列式计算:

$$\Delta p \cdot S = U \cdot L \cdot \tau \quad (1)$$

式中  $S$  为管路的截面积:

$$S = \pi D^2 / 4 \quad (2)$$

$U$  为管路的周长:

$$U = \pi D \quad (3)$$

$\tau$  为空气与管壁的摩擦应力:

$$\tau = \frac{\lambda}{8} \rho v^2 \quad (4)$$

将式(2)、式(3)、式(4)代入可得:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (5)$$

式(5)中  $\lambda$  为气体的沿程阻力系数, 在气力输送中多采用柏列斯公式:

收稿日期: 2007-12-24

作者简介: 李俊华(1978-), 女, 西安科技大学控制理论与控制工程专业毕业, 硕士学位。

技术交流

热力发电 · 二〇〇八

Vol.37 No.11

$$\lambda = 0.0125 + \frac{0.0011}{D} \quad (6)$$

双套管的主要特点是在输送管道上部装设有一直径较小的内管,内管每隔一定的间距开设一特定的开口。当输送管道中某处发生物料堵塞时,堵塞前方的输送压力增高而迫使输送气流进入内管,进入内管的压缩气流从堵塞下游的开口处以较高的速度流出,从而对该处堵塞的物料产生扰动和吹通作用,保证管内物料的正常输送,其结构如图2所示。

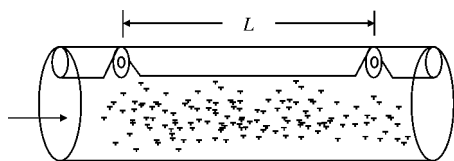


图2 双套管结构示意图

假定正常输送时管内的气固两相混合均匀(气固混合比为 $m$ ,灰粒相的表观密度为 $\rho_s$ ),其空隙率为 $\varepsilon$ ,内管的开口间距为 $L$ 。如果忽略小管的影响,则类似于流体输送的压降方程,此时 $L$ 段的压降为:

$$\Delta p = \frac{U}{S} L \tau = \frac{\pi(D+d)}{\pi(D^2-d^2)} L \tau = \lambda \cdot \frac{L}{D-d} \cdot \frac{\rho_s u_s^2}{2} \quad (7)$$

式中: $\lambda$ 为气固均匀混合物与管壁的摩擦系数; $u_s$ 为管内颗粒的平均速度; $d$ 为内管直径。

内管内 $L$ 段长度的压损可根据范宁公式给出:

$$\Delta p = (4f + \lambda) \cdot \frac{\rho_s u_s^2}{2} \cdot \frac{L}{d} \quad (8)$$

式中: $f$ 为气流与管道壁面的摩擦系数; $\lambda$ 为内管节流孔板处气流的局部压力损失。 $f$ 在气力输送中多采用柏列斯公式来确定:

$$f = 0.0125 + \frac{0.0011}{d} \quad (9)$$

当流体流过外管内的阻力刚好大于流过内管内的阻力时,此时内管管径即为临界管径,则有:

$$\lambda \cdot \frac{L}{D-d} \cdot \frac{\rho_s u_s^2}{2} = (4f + \lambda) \cdot \frac{\rho_s u_s^2}{2} \cdot \frac{L}{d} \quad (10)$$

由此可求得两管的管径配比为:

$$\frac{D}{d} = 1 + \frac{\lambda}{4f + \lambda} \cdot \frac{\rho}{\rho_s} \left( \frac{u_s}{u_a} \right)^2 \quad (11)$$

根据对双套管内流动特性的分析,认为表征输送系统的能耗指标 $\eta(\text{kW} \cdot \text{h})/(\text{t} \cdot \text{km})$ 可作为比较不同管径配比下输送工况经济性的评价指标之一,其数学表达式可表示为:

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot V_a}{M_s L} \quad (12)$$

式中: $\Delta p$ 为输送距离 $L$ 上的系统压降,Pa; $V_a$ 为管内的气体体积流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ; $M_s$ 为输送系统的出力, $\text{t/h}$ 。

## 2 管道优化

双套管浓相输送系统不堵塞的特点使其比任何其它系统都适合于大颗粒、高密度物料的气力输送。目前,该系统允许少量粒径为20 mm物料与粉状物料一起输送,而不必破碎;允许输送堆积密度在 $(0.6 \sim 1.5) \text{ t/m}^3$ 的物料,尤其适合高堆积密度煤灰的输送。据此,对双套管管径配比的试验数据进行了分析,重点比较了在同一外管直径和同样开口间距,且输送物料混合比相同时内管变化对输送工程的影响,所得结论如下:(1)双套管浓相输灰系统可在低正压即 $(25 \sim 45) \text{ kPa}$ 条件下工作;(2)输灰浓度高,灰:气(质量:质量)可达40:1~50:1;(3)输灰流速低,始端为 $(4 \sim 6) \text{ m/s}$ ,末端为 $(10 \sim 16) \text{ m/s}$ ,仅为其它系统的30%~70%。输灰距离150 m典型试验结果如图3所示。

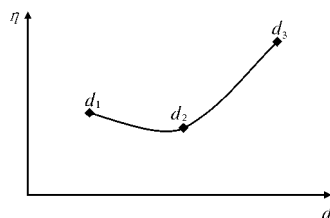


图3  $\eta$ 与 $d$ 的关系

低流速、低正压的特点使系统磨损非常小,因而系统耐用,维护量小。由图3可见,在外管尺寸和其它条件相同时,双套管系统的输送能耗 $\eta$ 和内管直径 $d$ 之间基本上呈正抛物线关系。在所选定的内管尺寸变化范围内,存在着1个使系统输送能耗最低的极值点,而这个最低点所对应的内管直径与本文所要寻求的最优化的内外管道配比直接相关。相配的几种内管在其它条件相同时,内管直径为 $d_2$ 时系统能耗最低、输送情况最佳。根据上面的理论模型和对试验灰样的物性分析,可以计算得到此时内、外管径的比例关系。理论模型的计算结果与图3所示的试验结果相当接近。

## 3 结 语

在分析双套管管道结构基础上,给出了2管管径最优配置所依据的计算公式,并通过试验加以验证,该模型可使双套管浓相输灰系统的结构设计更加趋于完善。

### [参 考 文 献]

- [1] 西南电力设计院. 火力发电厂除灰计算手册[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1982: 49-153.
- [2] 交通科学研究院水运所. 气力输送装置的设计计算[M]. 北京: 科技文献出版社, 2003: 17-22.
- [3] 原永寿. 火力发电厂气力除灰技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 19-33.
- [4] 乔林. 火力发电厂水力除灰改干灰设备的探讨与分析[J]. 河南电力, 1998, (1): 3-8.

## STUDY ON PIPELINE OPTIMIZATION OF DOUBLE CASING PIPE PNEUMATIC ASH CONVEYING SYSTEM

LI Jun-hua<sup>1</sup>, CAO Zhi-jian<sup>2</sup>

1. Xijing College, Xi'an 710123, Shaanxi Province, PRC

2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co Ltd, Xi'an 710032, Shaanxi Province, PRC

**Abstract:** Combining with related theory concerning gas-solid two-phase flow, the pressure drop equation for double casing pipe liquid conveying has been established. On the basis of analysing the structure of double casing pipeline, the calculation formula, based on which the diameter of two pipes being optimally configured, has been put forward, and being verified through test, the calculated result of theoretical model is basically consistent with the result of test.

**Key words:** pneumatic ash conveying system; air resistance property; double casing pipe; match ratio of pipe diameters

(上接第 88 页)

- [5] 梁庚煌. 运输机械手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1983: 465-471.
- [6] 周波, 史宏. 料仓内物料的结拱原理及破拱设计[J]. 企业技术开发, 2001(4): 7-9.
- [7] 上泊具贞. 粉粒体的空气输送[M]. 电力工业出版社, 1974.

## DESIGN AND STUDY ON SCREW TYPE MICRO-FEEDER USED IN ACOUSTIC AGGLOMERATION OF AEROSOL

LI Xiao-ming, LIU Jian-zhong, ZHANG Guang-xue, ZHOU Jun-hu, CEN Ke-fa

State-level Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang Province, PRC

**Abstract:** Based on the requirements for acoustic agglomeration test of aerosol, a special screw type micro-feeder, which can feed fine powder material, has been designed, and on the basis of preliminary calculation, three feeding screw rods with identical diameter and different pitch of screws for said feeder, as well as a distinctive agitating facility being designed and fabricated. Through calibration in test, the relationship among the feeding velocity rate, the screw pitch, the revolution speed of screw rod, and the agitation rate has been analysed, and the existence of a critical agitation rate being discovered. Results of test show that the designed screw type micro-feeder can stably and uniformly perform micro-feeding work, satisfying requirements of acoustic agglomeration of aerosol.

**Key words:** acoustic agglomeration; micro-feeding; feeder; screw rod; agitation