

# 高运载率情况下水平管道内气—

## 固二相平稳湍流运载能力下降的研究\*

Esmailzadeh-Kandjani

很久以来,用气动力输送颗粒已为人们所熟知并利用,对于气-固二相流做了大量的研究,但都是限于运载率很小的情况。根据实践的需要,我们在这儿所提出来研究的却是高运载率( $q = q_s/q_g > 10$ )的流动。

把动量定理分别应用于流体和固体颗粒两相并利用连续方程,得到了两个微分方程,可用以计算作为横坐标 $x$ 的函数的压力 $p$ ,浓度 $c$ 和固体与流体速度比 $\phi = U_s/U_g$ 。

为了求出解,必须引进有物理意义并可以测量的几个平均值,然后根据实验定出文献[12]中所述的三个总系数 $\Lambda_g$ ,  $\Lambda_s$ 和 $C_D$ 。

实验是在流体力学实验室的长约40m,直径分别为 $D = 32\text{mm}$ 和 $55\text{mm}$ 的水平管道内进行的,使用的是硅砂( $\rho = 2655\text{kg/m}^3$ ,  $\bar{d} = 70\mu\text{m}$ )及聚乙烯颗粒( $\rho_s = 958\text{kg/m}^3$ ,  $\bar{d} = 3\text{mm}$ )。

另外,由于与D.G.R.S.T.签订了合同并在C.E.A.技术援助下,我们能用放射性示踪器测量出固体颗粒的速度损失以及利用 $\beta$ 射线的吸收定出其空间平均浓度。

实验研究指出:

1.和人们的想像相反,固体颗粒几乎从来没有跟随流体相一起运动(除非颗粒极细而运载率又极小时)。

2.当运载率增大时,按输送的法向速度,二相流从稀薄状态变到稠密状态,然后随着剧烈的脉动(压力和浓度),它变得不稳定,接着形成结块和塞子而使整个管子完全堵塞。

3.对于稳定的二相湍流来说,进口区长度是209D的量级。这就意味着长度局限于此长度范围内时,二相流必然是准稳态。

4.上述进口区的压力降要比准稳区的压力降大得多。这一点很容易用该区中固体颗粒的加速,相互的撞击以及和壁面的撞击来解释。

我们的实验次数不算多,变化也不够大,因此还不能预测出任何二相流的压力降,因为加速度起了相当大的作用。

然而,如果知道 $\Lambda_g$ ,  $\Lambda_s$ ,  $C_D$ 的数值(或近似值),那么利用上述[12]的由动量定理得到的微分方程进行Runge-Kutta型数值积分,就能进行完整的计算。

5.在准稳区中的压力降可与同样Re数的单相流的压力降作比较,于是就可定出一个因子 $K$ ,即

$$\frac{\Delta p/L}{\Delta p_g/L} = 1 + Kq$$

对于大的Froude数来说,  $K$ 趋于常数;而对于小于40的Froude数来说,  $K$ 是Froude数的递减函数。

我们的理论计算表明,

$$K = \frac{\Lambda_s}{\Lambda_g} \cdot \frac{1}{mc}, \text{ 而 } \frac{1}{mc} = \frac{U_s}{U_g}$$

至于参数 $d/D$ ,实验表明,像沙那样细小的颗粒,对运载能力的下降的影响是很微弱的,相反,对于聚乙烯颗粒来说则是不能忽略的。

### 参 考 文 献

[12] Fortier, A. et Chen, C.P. (沈士本), Ecoulement turbulent stationnaire diphasique Air-Solide dans un tube cylindrique a forte concentration massique (圆柱形管道中高浓度气-固二相平稳湍流), Journal de Mécanique, 15, 1 (Janvier 1976)。

(栗小华译, 黄瑞新校)

\* 本文是沈士本教授送给中国科学院力学研究所的一篇博士论文摘要。