

气力输送系统中加速段及弯管的流动现象的探讨

吴 靖

(南京林业大学)

气固两相经弯管处的流动历来是气力输送中的研究课题,木材工业的气力输送也是如此。但对弯管流动的很多探讨研究都没有涉及到紧接弯管后面的加速管段。关于加速段的研究也是现今国际上对之探讨的课题,但理论上的论述往往与实际应用中的情形并非一致。在气力输送系统中,弯管和加速段的压损很大,一般说要比其它形式的压损大得多。本文就国外有关研究情况,结合木材加工中气力输送的应用,对加速段和弯管的流动现象进行探讨,从而进一步阐明了木材加工气力输送系统设计

中考虑弯管和加速段压损的重要性。

一、加速段长度

加速管段通常是指装料器后面的一段管段,物料从装料器进入管道系统中,须得到足够的动能而加速,才能保证物料在管道系统中稳定地输送。所谓加速段长度即物料从静态加速到稳定输送的平均速度所经过的距离。

加速压损的量值要比相同管段区域内物料在管内的摩擦阻力压损大,同时,在气力输送系统设计

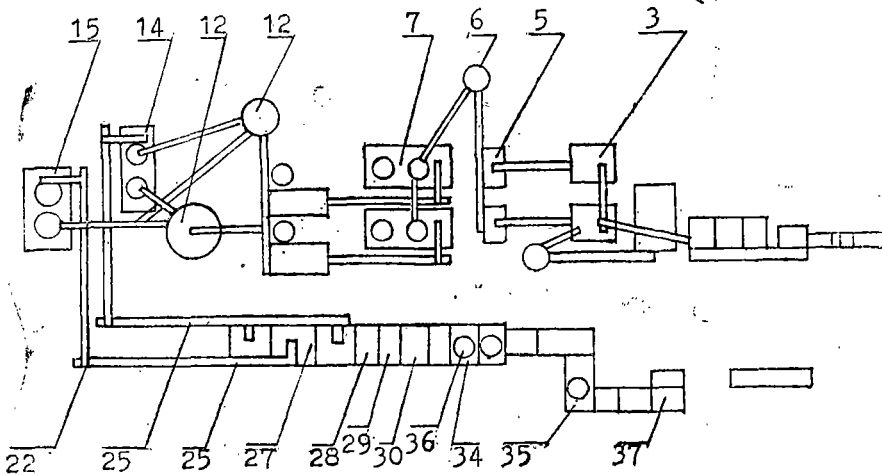


图2 年产1.5万米²刨花板生产线改造设想工艺示意图

注:序号按文中叙述的改造项目顺序排列

等等的作法似不妥。

2.要以改造为中心,采用修、改、换相结合的办法进行。这样速度快、节省投资。切忌贪大求洋、盲目仿效。就是说:能修的不改,能改的不换,需要换的要选择耗能低、生产能力相互匹配的先进设备。

3.消除环境污染,应列为改造重点。干法生产人造板特点是污染大,从设备上,粉尘、噪音来自频繁倒运,落料高差大、有振动,采用正压风送

物料、封闭不好、除尘装置不良等几个方面。只要针对根治,可以解决。

4.必须努力提高设备管理和维修技术水平。从生产中观察,不少设备问题,只要加强管理,提高维修技术,注意使用、操作。故障可以大幅度降低。

5.注意改造的规模要和当地原料来源和销路相适应。要在提高产量的同时提高质量,否则将徒劳一场。

过程中应尽可能地在装料器后保持一定长度 l 的水平通直管段, 以保证物料在管内的顺利加速, 对属于稀相流动的木材加工气力输送系统尤为重要, 因为木材碎料如果没有完成加速过程就遇到某些局部阻力构件时, 很容易形成管路的堵塞。一般对木材碎料气力输送系统, 要求 $l \geq 15D$ (D 为加速段的管径) [1]。

有的学者忽略加速管段长度, 在计算加速压损时未考虑到这个因素。也有学者尝试理论计算加速段长度, Rose, H. E 和 R. A. Duckworth [2] 曾提出适合于木粉、锯屑、水泥等粉状粒体的加速段长度的一般计算公式:

$$l = 6D \left[\frac{G_s}{\rho g^{\frac{1}{2}} D^{\frac{5}{2}}} \cdot \frac{D^{\frac{1}{2}}}{d} \cdot \frac{\rho^{\frac{1}{2}}}{\rho_s} \right]^{\frac{1}{3}} \dots (1)$$

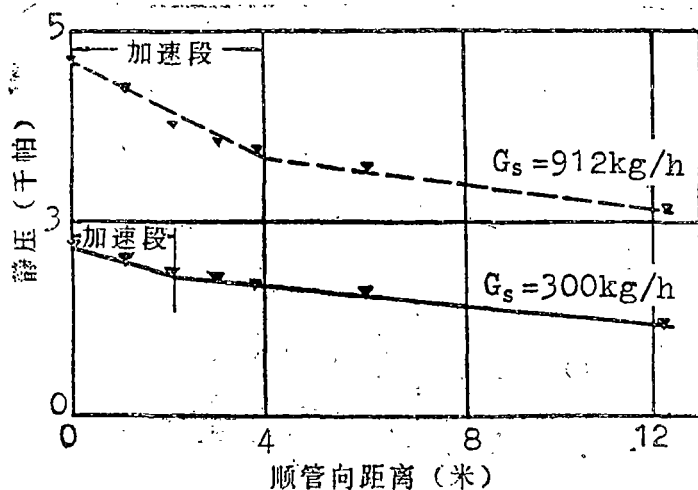


图1 物料加速流动过程

Mohlmann, J. D. 和 R. D. Marcus [3] 就大块状石块稀相气力输送系统进一步强调了加速段长度的意义, 他们测得 l 一般在 10m 左右, 具体值视石块尺寸大小而定, 同时发现尺寸为 35mm 到 40mm 时加速段长度要比尺寸为 10mm 到 15mm 的石块的加速段长度短, 这与式 (1) 不符, 可见对尺寸较大的粒料, 不能按式 (1) 计算其加速段长度。对于木材加工行业中的初分木片, 有些呈片状, 亦有呈块状、棒状, 笔者在南林气力输送实验室通过实验发现, 通常大块状木片的加速段长度要比小尺寸块状的木材碎料相应的加速段长度短。

二、加速压损

计算加速段产生的加速压损, 通常对气流和物

式中: ρ 、 ρ_s ——空气、物料的容重 (kg/m^3)

G_s ——物料的质量流量 (t/h)

d ——物料颗粒的当量直径 (mm)

对普通水泥的气力输送系统, $G_s = 4.41 \text{ t/h}$, $D = 100 \text{ mm}$, 由式 (1) 算得 $l = 3.3 \text{ m}$, 而根据压力测量测得的加速段长度为 4.5m。在他们同样的实验中发现: 加速段长度与物料的质量流量关系不大, 譬如, 对 $G_s = 2 \text{ t/h}$, 虽然按公式算得 $l = 2.5 \text{ m}$, 但这个结果与测得值有所不同。

对于输送飞灰的稀相流系统, $G_s = 0.91 \text{ t/h}$ 时, $l = 4.0 \text{ m}$ 。图1为国外有关学者对飞灰的测量结果, 从图中可见, $G_s = 0.3 \text{ t/h}$ 时加速段长度较短, 这与式 (1) 恰是相符的。

料分别计算, 气流的加速压损为:

$$\Delta P = \rho V^2 / 2 \dots\dots (2)$$

而输送物料时的加速压损为:

$$\Delta P_s = \mu \rho V C \dots\dots (3)$$

式中: V ——气流速度 (m/s);

μ ——重量混合浓度;

C ——物料颗粒的平均速度 (m/s)。

对前水泥气力输送系统, 当 $V = 31.1 \text{ m/s}$, $\mu = 3.1$, 料气速比为 0.8 时, 可以算得 $\Delta P_s = 5.8$ 千帕, 而若在加速段后面通直水平管长 38m 时, 算得压损仅约 4.9 千帕, 可见加速压损占有相当比例。

实际上, 加速压损的大小尚与装料器有关, 例如, 经过旋转式供料器的局部阻力压损很大, 它要比后面加速段的压损大得多。因此, 在木材碎料气

力输送装置设计计算中，计算装料器本身的局部压损很重要。

我们从图2来看，装料区段是指一般约2 m长的管段，显然，仅按式（2）、（3）计算没有考虑到总的压损，有一定局限性。

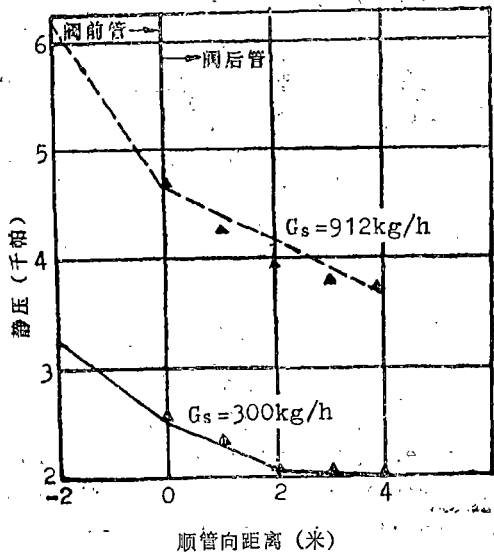


图2 通过旋转供料阀的静压降
三、弯管的压损及不同形式的弯管
最常用的弯管压损公式是EEUA⁽⁴⁾公式：

$$\Delta P_b = B \rho V^2 / 2 \quad \dots\dots (4)$$

式中： ΔP_b ——物料流经弯管时的压损（千帕），
B——由弯管曲率半径与管径之比所确定的系数，
V——输送速度 $V = G_s / \rho \mu A$ （m/s），其中A为管的截面积。

B由下表确定：

R/D	B
2	1.5
4	0.75
6	0.5

在木材加工业气力输送中，由于重量混合浓度 μ 较小，一般其压损按气流速度来计算，考虑纯空气气流流经弯管的局部阻力系数和混合气流的压降比。另外，很多学者都曾尝试通过相当通直管长度来分析计算弯管两相流的压损，如，在木材工业气力吸尘设计计算中，重量混合浓度为 μ 的混合气流流经一个弯曲角度为 α 度、管径为D的弯管时，其当量长度为：

$$10D (1 + \epsilon \mu) \alpha / 90^\circ$$

式中： ϵ ——流经此弯管时的压损比

这些计算公式有些甚至与实测结果相矛盾，尚待提高其计算精确度。

弯管形式的选择也是目前学术界对之持有异议的问题，多数学者看来偏之于小曲率半径的弯管，更有学者提出以1.5m为弯管标准曲率半径。

我们引述参考文献（5）来讨论三种形式的弯管，其实验装置采用三个不同弯管，并保证了弯管后面的加速段长度：

1. 大曲率半径弯管， $R = 1.95m$ ， $D = 100mm$
2. 小曲率半径弯管， $R = 0.165m$ ， $D = 100mm$
3. T型管（见图3）

每次实验仅采用一种弯管形式，只有六个弯管：水平——水平弯管4个，水平——直立管段弯管1个，直立——水平弯管1个。整个实验输送系统总长 $L = 188m$ ，直立提升管 $\Delta L = 8.1m$ 。所

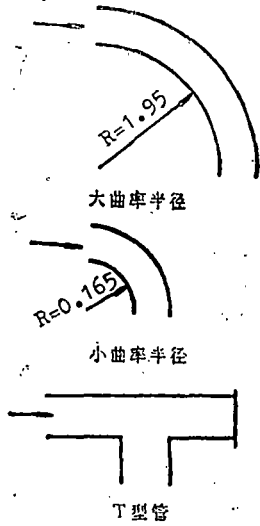


图3 几种不同形式的弯管
输送物料为Saylor 1型水泥，含湿量0.4%， $\rho_s = 1.25t/m^3$ ， $d = 42\mu m$ 。

其实验结果见图4，其中 ΔP 为整个系统总压损随 μ 变化的情况。从图中可见，不同形式的弯管压损随 μ 变化的趋势相同，在 $\mu = 12$ 时， ΔP 最小。

比较各个弯管形式，大曲率半径弯管的系统总压损最大，而小曲率半径弯管系统的总压损最小，T型管居中。这个结论与其他学者之研究结果一致。

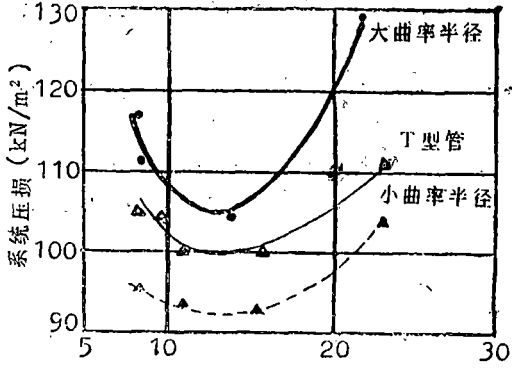


图4 不同弯管形式的系统压损

对弯管流动问题 Shimizu^{〔6〕}作了更详细深入的论述分析,他通过加速段长度与修正雷诺数之间的关系进行研究,具体方法也是基于弯管的压损。从图5中我们可以明显看出,大曲率半径弯管系统与小曲率半径弯管系统的流动情况是不一样的。

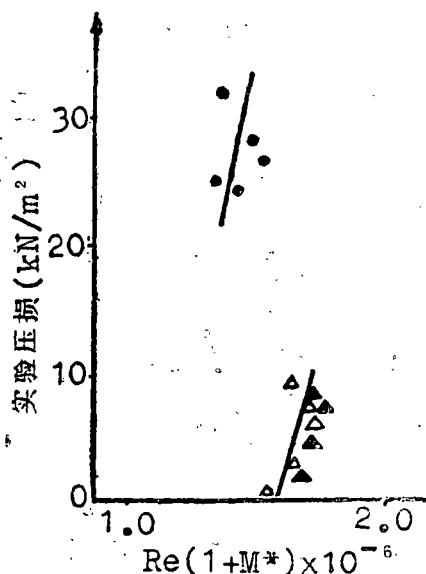


图5 实验结果与修正雷诺数的关系

●—90° 大曲率半径 ▲—90° 小曲率半径弯管
△—T型管

笔者在南林气力输送实验室,通过透明有机玻璃管观察弯管后面的物料流动情况,发现弯管出口处会出现物料沉积床,它是由悬浮输送的物料沉降至管底所致,这说明弯管后面也存在物料的重新加速区域。这个加速段长度常被忽视,包括有关学者的一些实验过程都对此没有引起重视,使实验结果并不能完全反映真实的流动情况。

有学者发现,对大曲率半径的180°回转弯管,其加速段长度约比装料器后面的加速段长度大一倍,而对于小曲率半径的弯管,其后的加速段长度要比相应大曲率半径的小得多。关于这一点已经并正为越来越多的研究所证实。

因此,对于木材碎料的气力输送系统,除特大型、长卷曲型、特长型的特殊碎料外,可选择小曲

率半径的弯管,此外,考虑到弯管装置的投资、安装布置,小曲率半径的弯管具有很大优越性。

结 论

1. 现有关于加速段长度和压损的公式须修正,除加速压损外,装料器本身的局部阻力压损不容忽视。

2. 弯管后面的加速段长度尚没有得到充分重视,其计算方法尚须进一步探讨。

3. 对粉粒状、小块小片状木材碎料,小曲率半径弯管在很大浓度范围内压损最低,经济上最价廉,因此在实际应用中替代大曲率半径的弯管前景可观。

参考文献

- [1] 南京林业大学主编,1983,厂内运输机械及木材工业气力输送,中国林业出版社, P287.
- [2] Rose, H. E. and Duckworth, R. A., 1961, Transport of Solids Particles in Liquid and Gases, The Engineer, 14, 21 and 28 March.
- [3] Mohlmann, J. D. and Marcus, R. D., 1984, Parameters Influencing the Pneumatic Conveying of Large Rock Particles, Proc. Pneumatech 2, Int. Conf. on Pneumatic Conveying Technology, Powder Advisory Centre, London.
- [4] The Engineering Equipment Users' Association, 1963, Pneumatic Handling of Powdered Materials, EEUA Handbook, No. 15, Constable and Co. Ltd.
- [5] Marcus, R. D., Hilbert, J. D. and Klinzing, G. E., 1984, The Flow through Bends in Pneumatic Conveying Systems, Journal of Pipelines, No. 4, 103—112.
- [6] Shimizu^{〔6〕}, A., Echigo, R. and Hasi-gawa, S., 1977, The Flow through Bends, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 4, P. 53.