

带内翅片园管流动阻力的实验研究

北京航空航天大学 吴一黄**
北京石油化工设计院 孙毅 蒋元丁

【摘要】 介绍了空气和高温燃气在带内翅片园管内流动时,流动阻力实验的研究结果。全部实验数据整理成 $\xi = f(Re)$ 的准则方程,除两个实验状态的偏差为 $\pm 10.2\%$ 外,其它的实验点,按我们所综合的阻力公式的计算值与实测值之间的偏差大都小于 5% 。

关键词: 带内翅片圆管 空气 高温燃气 流动阻力 实验

1 实验设计、物理参数的测量

目前广泛采用的各种强化传热管,有带粗糙肋园管、碾轧槽管和带内翅片园管等,流体流经时的阻力系数随雷诺数之间的关系,也不同于普通光滑园管的阻力公式。为了满足换热器设计的需要,必须用实验方法确定每种新型强化传热管的阻力系数与雷诺数之间的函数关系。本实验的目的就是建立国产带内翅片强化传热管的阻力计算公式。

图1为测量流体在带内翅片园管内流动时压力损失的实验设备和测量仪表的示意图。图中1—鼓风机与电机,2—阀门,3—稳压箱,4—收缩管,5—燃烧室,6—连接管,7—调节阀,8—测量段,9—实验件,10—出口段,11—测温数字电压表,12—测压管排。鼓风机空气流量为 0.8kg/s ,其压头为 19.6kPa 。

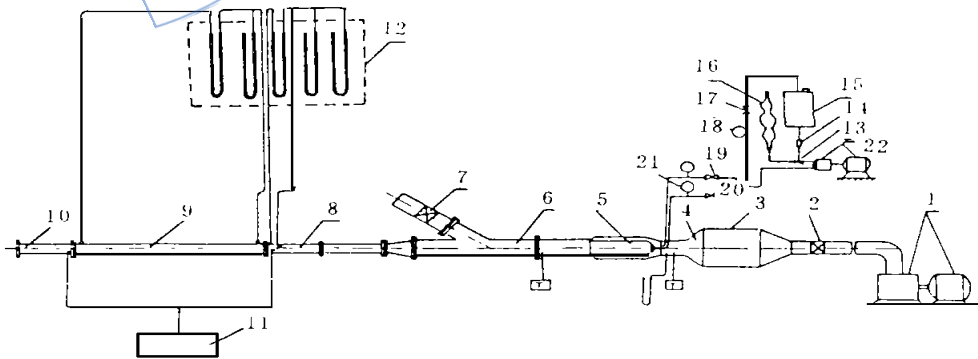


图1 实验设备和测量仪表

图2为带内翅片圆管的截面图。由于加工翅片材料的厚度不同、圆管的直径不等以及焊接工艺的问题,两根实验管的几何尺寸并不完全相同。为了保证实验结果的准确性,取十余

次测量结果的平均值, 得测量段的平均内径为 51.5mm。两个实验件的几何尺寸分别为:

实验件 1 内径为 54.5mm, 无翅片时园管的横截面积为 2332.8mm^2 , 有效流通面积为 1946.4mm^2 , 翅片管总的周长为 817.6mm (无翅片处管的周长为 86.72mm, 翅片的周长为 730.84mm)。故实验件 1 的当量直径为:

$$d_{e_1} = (4 \times 1946.4) / 817.6 (\text{mm}) = 9.52\text{mm}$$

实验件 2 内径为 54.2mm, 无翅片时园管的横截面积为 2302.1mm^2 , 全部翅片的横截面积为 388.2mm^2 , 带内翅片园管的有效流通面积为 1913.9mm^2 , 翅片管总的周长为 811.8mm。实验件的当量直径为: $d_{e_2} = (4 \times 1913.9) / 811.8 (\text{mm}) = 9.43\text{mm}$ 。

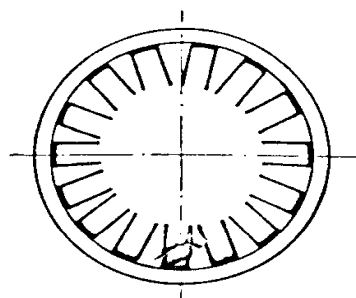


图 2 带内翅片园管的截面图

气流的温度采用了热电势高的镍铬—考铜电偶来测量, 检定结果表明, 被校热电偶的电势值与标准电偶热电势的误差均小于 0.6%。实验中热电偶的电势由数字电压表测量。气流进入实验件前的温度由三点梳状电偶测量, 出口温度由一支单点电偶测量。气体的密度和粘性系数均由进、出口的平均温度确定。

气体运动时的速度采用测定气流的总、静压差、静压与大气压之差, 并由连续方程进行计算得出。气流的总压由外径为 1mm 的不锈钢总压管耙测量, 它的静压由离实验件进口 150mm 处的测量段上的静压孔测量。静压孔的直径为 1mm, 孔的中心线与测量管道的中心线垂直。

为了既能准确地测量气流流经实验件的压力降, 又能防止静压孔被堵塞, 在离实验件进口和出口为 40mm 处, 沿圆管的半周 (180°) 内打了直径为 1mm 的 6 个小孔, 同时在管的外壁焊接了两个集气环, 将从小孔流出的气体, 收集到环内并与测压管接通。实验件的总长为 2m, 两个气环内静压孔之间的距离 $L = 1.92\text{m}$ 。

为了能建立较准确的阻力系数计算公式, 在实验过程中采用了两套测量压差的仪表。即气流速度较低时, 采用以酒精为介质的倾斜式微压差计; 当气流速度较高时, 则用以水为介质的 U 型管压差计。从而保证了全部实验数据的准确性。

2 流阻实验与数据整理

2.1 流阻实验

实验分别用两种流体进行, 即压缩后的空气和喷油燃烧后的燃气。通过改变调节阀门 7 的开度改变气流的压降。将阀门固定在不同的位置 (一般是将开度从小调到, 然后再反行程从大开度调到小开度), 待流动稳定后, 分别测量气流在实验件进、出口的温度和压力降, 气流在测量段的总压和静压之差, 以及静压与大气压力之差等。在用高温燃气进行实验时, 是将阀门固定在一定的位置, 改变喷油量, 从而改变了燃气的温度。实验过程中各种物理量的变化范围如下: 气流速度变化的范围为 $(7.3 \sim 41.7) \text{ m/s}$, 气流温度变化的范围为 $(14.2 \sim 226.7) ^\circ\text{C}$, 与这些数据相对应的压力降为 $(0.108 \sim 3.07\text{kPa})$ 。

2.2 实验数据的整理

表 1 给出部分实验的原始数据, 计算的雷诺数和阻力系数 ($Re = w \rho d_e / \mu$, $\xi = (2 \Delta P /$

$\rho w^2) / (L/d_e))$ 。为了说明实验结果和我们提出的阻力系数计算公式的可靠性,表中同时给出了按阻力系数公式计算的阻力系数与实测的阻力系数 ξ 的值。

表 1 部分实验数据及其整理结果

T (K)	W (m/sec)	$\triangle P$ (kPa)	Re	$\xi \times 10^2$	$\xi_{\text{计算}} \times 10^2$	$\triangle \xi_{\text{计算}}/\xi$ (%)
292.4	7.3	0.108	4643.0	2.808	2.612	- 7.5
291.7	13.9	0.505	8874.8	2.283	2.222	- 2.7
291.2	18.8	0.901	12089.8	2.062	2.058	- 0.2
293.4	23.3	1.34	14892.1	1.980	1.954	- 1.3
293.7	25.9	1.62	16561.3	1.930	1.904	- 1.4
295.0	29.9	2.05	19001.0	1.833	1.840	+ 0.39
429.3	32.8	1.99	11068.2	2.151	2.103	- 2.3
293.9	36.7	2.89	23674.2	1.697	1.743	+ 2.6
487.0	41.7	2.78	11467.6	2.096	2.085	- 0.5

图 3 为根据表 1 中的数据绘制在对数坐标上的 $\xi-Re$ 曲线,可以看出全部实验点都落在一条直线附近,经过多次反复综合,得到下列形式阻力计算公式:

$$\xi = 0.0008 + (0.2236/Re^{0.258})$$

式中,雷诺数的定型尺寸为翅片管的当量直径 d_e ,确定流体物理参数的定性温度为空气(或燃气)在实验件进、出口的平均温度 $\bar{t}_a$ (或 $\bar{t}_g$)。气流速度是由测量值与连续方程计算得出。上式适用于与实验件几何相似的所有带内翅片的园管,其雷诺数的变化范围为4643.0~24986.0。实验结果表明,上式综合了全部实验数据,除两点的相对偏差为±10.2%以外,其它的实验数据按上式计算的阻力系数,与实测阻力系数之间的偏差大部分均小于5%。所推荐的阻力系数计算公式,可供带内翅片园管的管式换热器设计时使用。为了说明带内翅片园管的流阻变化规律,不同于光滑园管的流阻变化规律,图3中同时给出了按布拉修斯公式绘出的曲线(虚线)。

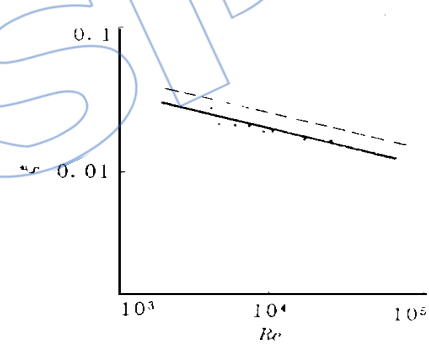


图 3 ξ 随 Re 的变化曲线

(责任编辑 杨再荣)