

圆锥形空腔内冲击式传质(传热)的实验研究*

康海军 陶文铨

(西安交通大学)

1989.12.20

冲击式冷却广泛应用于燃气轮机叶片的冷却、玻璃钢化等要求换热效率高的工业生产中。本文用萘升华技术对玻璃器皿的常用形状——一端封闭的渐缩形空腔的换热/传质特性进行了实验研究。虽然从边界条件而言,萘升华试验模拟的是恒壁温边界条件,但由于冲击式冷却中绝大部分情况下气流的流动均已进入紊流,因而边界条件的影响大为减弱。大量实验结果表明,用萘升华试验得到的冲击式冷却规律与用加热法得到的结果是完全吻合的^[1]。因此萘升华技术在冲击式冷却规律的研究中应用十分广泛,例如 Sparrow 等采用该技术对冲击式冷却中喷嘴的不同布置和冲击表面的不同形状进行了广泛的试验研究^{[2][3]}。但以往的研究多注重于平均值方面,而在钢化玻璃的生产中,特别关心局部换热特性,这是因为局部换热特性的剧烈变化会导致内应力的不均匀,极易使产品爆裂^[4]。鉴于此,本文不仅对平均换热特性而且对局部特性进行了实验研究。

一、实验装置及测试过程简介

图1中,空气由大空间进入喷嘴($d_j = 9\text{mm}$),然后冲击流过萘试件($d = 40\text{mm}$, $L = 47\text{mm}$)。气流通过引风机排至试验室外,由旁通伐调节风量以改变试验段的风速。

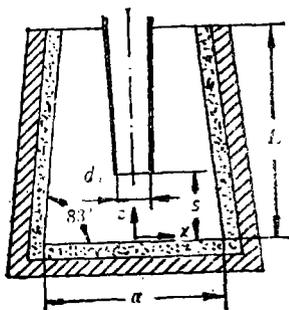


图1 试件

在试验过程中,总的质交换量由一台分辨率为0.1mg,最大称重200g的电光分析天平测定。整个测量试件采用套筒法定位,局部变化值由自动控制台测定^[5]。本试验中所得的局部值之和与由天平称重所得之值间的相对偏差保持在9%以内。

二、数据处理方法

质量传递数值以无量纲准则数 Sh 数表示: $Sh = \beta d / D$, 其中 d 为冲击底面直径, D 为质扩散率。引入 $Sc = \nu / D$, 这样 $Sh = (\beta d / \nu) \cdot Sc$, 对萘在空气中的扩散 Sc 数取为 2.5^[6]。质交换系数 $\beta = (\Delta M / \tau A) / (\rho_{nw} - \rho_{ni})$, τ 为时间间隔,此处来流中的萘浓度 $\rho_{ni} = 0$ 。 ρ_{nw} 可用蒸气压方程及由埋入萘中的热电偶温度值求取。在局部值的数据处理中,用局部处的质交换量 ΔM_i 代替 ΔM , 局部表面积 A_i 代替 A 。

Re 数以喷嘴出口直径为定性尺寸,喷嘴出口平均速度为计算流速。

本文曾于1988年11月在上海召开的中国工程热物理学会第六届年会上宣读。

* 国家自然科学基金资助项目。

三、实验结果及讨论

底面及侧面的平均 Sh 数随 S/d_j 的变化情况示于图 2 中。从该图可以看出：Sh 数

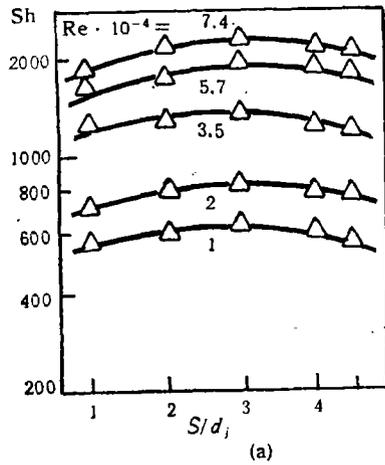


图 2(a) 底面

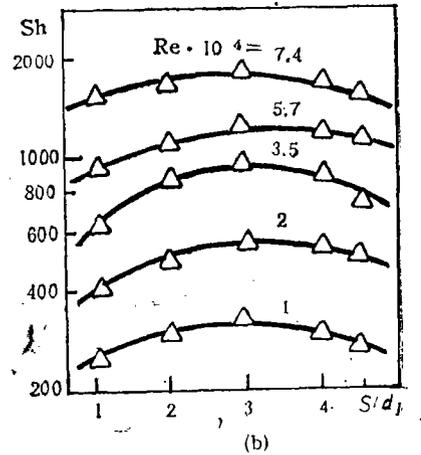


图 2(b) 侧面

随 S/d_j 的增加首先逐渐增加,达极大值($S/d_j = 3$ 处)后又逐渐减小。据文献[2], Sh 数随 S/d_j 的这种变化特性可解释如下:随着 S/d_j 的增加,自由射流区增长,自由射流区与环境间的动量交换增加。随着距离的加大,速度核的紊流度增加,传质系数随之增加。当距离再进一步增加时,该速度核便由于射流与周围流体的混合而被吞没,结果冲击速度下降。这些变化导致了如上述图中传质系数的变化。

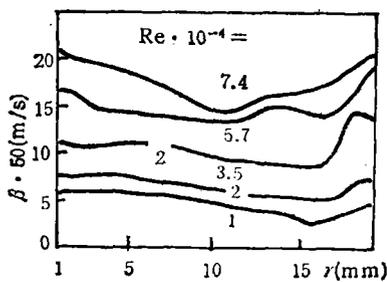


图 3 底面局部值 ($S/d_j = 3$)



图 4 流动示意图

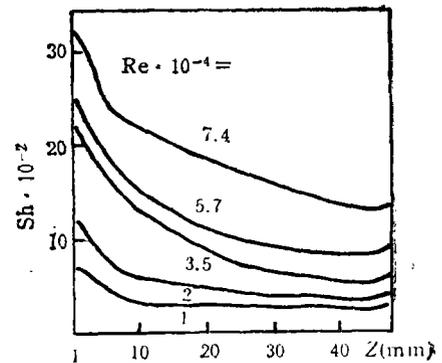


图 5 侧面局部值 ($S/d_j = 3$)

渐缩空腔底面局部质交换率 β 的变化如图 3 所示。由图可见, β 随着离开滞止点距离的增加首先减小,然后又随距离的增加而增加。这是由于气流受阻后而产生的回流引起的(如图 4 所示)。局部质交换系数的这种变化情况与非受限空间中当离开滞止点距离增大时, Sh 数总的来说一直减小下去的趋势是不同的^[7]。

图 5 示出了圆锥形空腔侧面局部 Sh 数的变化情况。由图可见,气流受阻后冲击侧面

与底面相接处的 Sh 数大大高于其它地方,然后沿着流动方向逐渐下降,呈现出边界层类型流动的换热特性。气流出口处的 Sh 数有增加的趋势,这是出口效应影响的结果。

四、结论

1. 对于给定的 Re 数,当 $S/d_j = 3$ 时,底面、侧面的平均 Sh 数达极大值;
2. 在工业常用范围内,底面的平均 Sh 数约高出侧面 40%;
3. 底面局部质交换系数的变化趋势为:在滞止点附近较大,沿半径方向逐渐下降,靠近拐弯处又有所回升;
4. 侧面局部质交换系数在靠近底面处最高,沿着气流方向逐渐减小,呈现出边界层类型流动的换热特性。

上述关于局部值的结论对于圆锥形空腔内冲击式冷却方式的组织具有参考价值。

参 考 文 献

- [1] Дыбан, Е. П. и Мазур, А. И.: "Конвективный Теплообмен при Струйном Обтекании, Тел. Наука Думка, Киев, (1982).
- [2] Sparrow, E. M. Xu, Z. X. and Azevedo, L. F. A.: "Heat (Mass) Transfer for Circular Jet Impingement on a Confined Disk with Annular Collection of the Spent Air", ASME J. Heat Transfer, 109, 2, (1987), pp. 329—335.
- [3] Kang, H. J. and Tao, W. Q. "Heat/Mass Transfer for Circular Jet Impingement in a Cylindrical Cavity with One End Open to the Ambient Air", 27th AIAA Science Meeting, Nevada, U. S. A., (1989.1).
- [4] 西北轻工业学院主编: "玻璃工艺学", 轻工业出版社, (1982).
- [5] 康海军: "圆柱、圆锥形空腔冲击式传热(传质)的实验研究和温度场的数值计算", 西安交通大学硕士学位论文, (1988).
- [6] Sogin, H. H.: "Sublimation from Disks to Air Streams Flowing Normal to Their Surfaces", Trans. ASME, 80, 1, (1958), pp. 61—71.
- [7] Martin, H.: "Heat and Mass Transfer between Impinging Jets and Solid Surfaces", in: "Advances in Heat Transfer", 13, Academic Press, New York, (1977).

EXPERIMENTAL STUDY OF MASS/HEAT TRANSFER FOR CIRCULAR JET IMPINGEMENT IN A CONVERGING CONICAL CAVITY

Kang Haijun Tao Wenquan
(Xi'an Jiaotong University)

Abstract

The heat transfer for circular jet impingement in a converging conical cavity with one end open to the ambient air has been experimentally investigated via naphthalene sublimation technique. It is found that with increasing of S/d_j , the average Sherwood numbers of the bottom and the lateral surfaces increase first, reach their maxima, and then dedecrease. The maximum Sherwood number occurs at $S/d_j=3$. The local mass transfer coefficient of the bottom surface first decreases with the incese in radius, reaches its minimum, and then rises. The distribution of the local mass transfer coefficient of the lateral surface is similar to that of a flat plate over which a fluid flows.