

矩形通道内强化表面的传热研究

曾德越 马重芳 秦文新 孙东良

(北京工业大学热能工程系, 100022)

【摘要】 使用三种强化器, 在矩形通道内进行受迫对流实验。整个实验是在 $R_{\text{e}_D} = 2.2 \times 10^3 \sim 6.25 \times 10^3$ 范围内进行的。根据每种强化器的实验数据, 关联出相应的经验公式 $N_{\text{u}_D} = c R_{\text{e}_D}^m$, 对各种强化器的强化特性进行了研究; 并利用强化比 $N_{\text{u}_D}/N_{\text{u}_D}$, 对三种强化器的强化效果进行比较, 实验结果表明: 深齿强化器优于浅齿, 浅齿优于孔板强化器。

【关键词】 强化表面传热, 深齿强化器, 矩形通道

【中图分类号】 TK124

随着电子计算机集成电路芯片的热负荷不断增加, 先进的集成电路散热量已超过 10^5 W/m^2 而集成电路的性能对温度很敏感, 通常不允许超过 85°C , 温度每超过 2°C , 可靠性便下降 40%^[1]。采用空气冷却已难于满足要求, 因此国际传热学界纷纷转入液体冷却的研究^[2], 而且采用了各种强化手段。文献[3]采用齿形鳞状强化器, 文献[4]在进行矩形粗糙通道及孔锯齿翅片实验, 发现锯齿翅片中间穿孔可显著提高换热系数(在 $R_e > 3000$ 条件下)。文献[5]采用平肋、孔板肋和裂缝肋进行实验, 结果表明孔板肋换热效果最好。本实验采用孔板肋及齿形肋, 结果表明, 齿形肋传热效果优于孔板肋。

1 实验设备与过程

实验设备如图 1 所示。

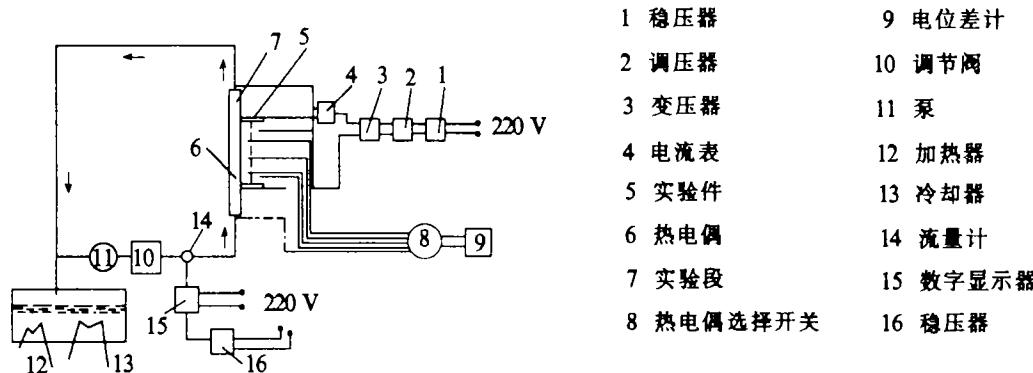


图 1 实验设备装置

收稿日期: 1993-06-25.

实验工质为变压器油，工质在循环回路中循环，设置前加热器及后冷却器是为了保持工质温度恒定在35℃。

实验段为长 $L=1000\text{ mm}$ ，横截面积为 $15\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 的矩形。实验件为一个面积 $100\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ ，厚为 0.01 mm 的康铜膜片，膜片与胶木之间用很薄的一层胶粘接。在膜片的表面装有测量热态件温度的8支直径为 0.03 mm 铜—康铜热电偶，热电偶位置如图2所示。

热电偶沿通道内工质流向依次定义为第1号，第2号，3号，4号，5号，6号，7号，8号，所对应的测点为1~8号测点，后续的论述中将按该次序称呼每一对热电偶为1~8点。

除了对热电偶要进行校验外，还要避免热电偶与膜片直接接触，否则会产生测量误差。实验时通以低压 10 A 电流是为了模拟计算机中集成电路芯片的发热情况。

为了改善热态模拟电子元件的冷却效果，在距实验件表面 $\delta=0.1\text{ mm}$ 处放置强化器。孔板强化器的结构如图3所示。

其中：强化器高 $h=3.9\text{ mm}$ ，强化器宽 $S=1.9\text{ mm}$ ，强化器到加热面距离 $\delta=0.1\text{ mm}$ ，用 β 表示孔板强化器通过面积的比率则

$$\beta = \frac{\text{所有孔面积之和}}{\text{整个板的迎流面积}} \times 100\% = 40\%$$

齿形强化器结构如图4所示。

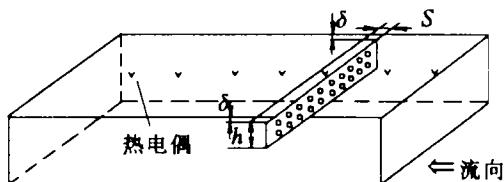


图3 孔板强化器

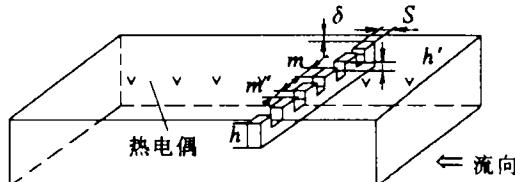


图4 齿形强化器

根据参数的不同分为甲乙两种类型，其中有关参数如表1所示。

表1 齿形强化器的参数

齿形强化器	肋高 h	肋宽 S	齿高 h'	齿宽 m	齿间宽 m'	强化器到加热面距离 δ	/mm
甲	3.76	1.90	2.04	1.00	1.00	0.10	
乙	4.72	1.90	3.01	1.00	1.00	0.10	

2 实验结果与讨论

2.1 换热公式的拟合

换热关系式可写成:

$$N_{u_D} = c R_{e_D}^m P_r^{1/3}$$

其中 N_{u_D} 为努谢尔数 $= \alpha D / \lambda$; α 为换热系数; λ 为导热系数; D 为水力直径; R_{e_D} 为雷诺数 $= U \cdot D / v$; U 为流速; v 运动粘度; P_r 为普朗特数; m 雷诺指数; c 为常数.

通过所得实验数据可以确定 c 和 m 值, 结果见表 2.

表 2 各类强化器的 C 和 m 值

热电偶类型		1	2	3	4	5	6	7	8
光通 滑道	C	0.796	0.247	0.0476	0.0114	0.00361	0.00356	0.00176	0.000851
	m	0.468	0.605	0.749	0.908	1.037	1.039	1.116	1.185
孔强 化板 器	C	0.954	1.204	1.290	1.591	1.146	1.230	1.267	1.130
	m	0.906	0.834	0.740	0.251	0.931	0.490	0.448	0.630
齿 形 强 化 器	甲 C	1.001	1.286	1.346	1.307	1.281	1.301	1.225	1.130
	m	0.871	0.733	0.676	0.569	0.561	0.737	0.633	0.633
	乙 C	0.987	1.243	1.389	1.243	1.217	1.330	1.196	1.072
	m	0.956	1.000	0.599	0.759	0.946	0.605	0.657	0.709

根据表 2 中的 C 和 m 值可以计算出各种情况下的换热情况, 从表中还可以看到在用光滑通道时, R_{e_D} 的指数 m 随着热边界层的发展而依次增长, 但加入各种强化器后, 指数 m 的变化没有规律比较复杂.

2.2 各种强化器的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的变化关系

2.2.1 孔板强化器的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的变化关系

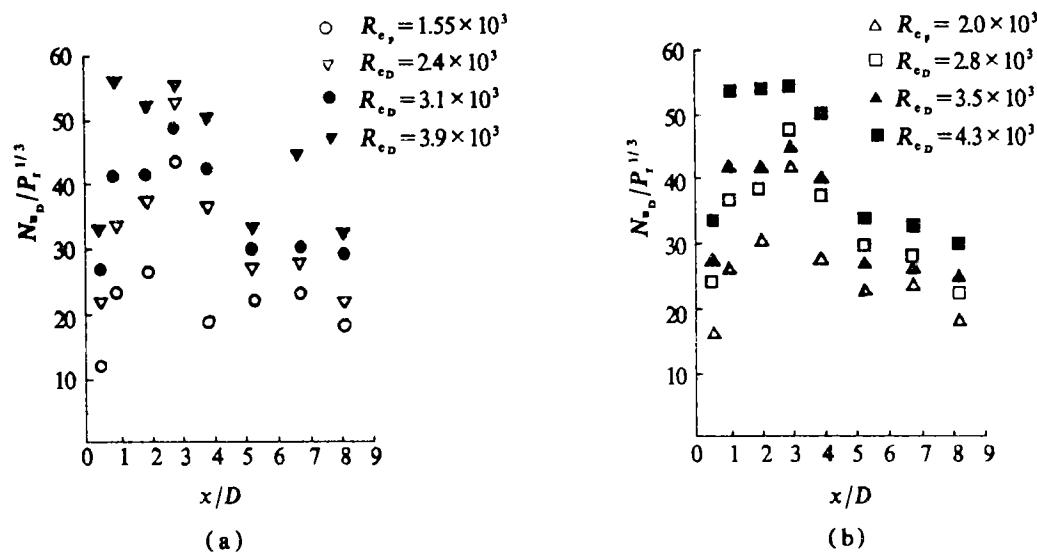
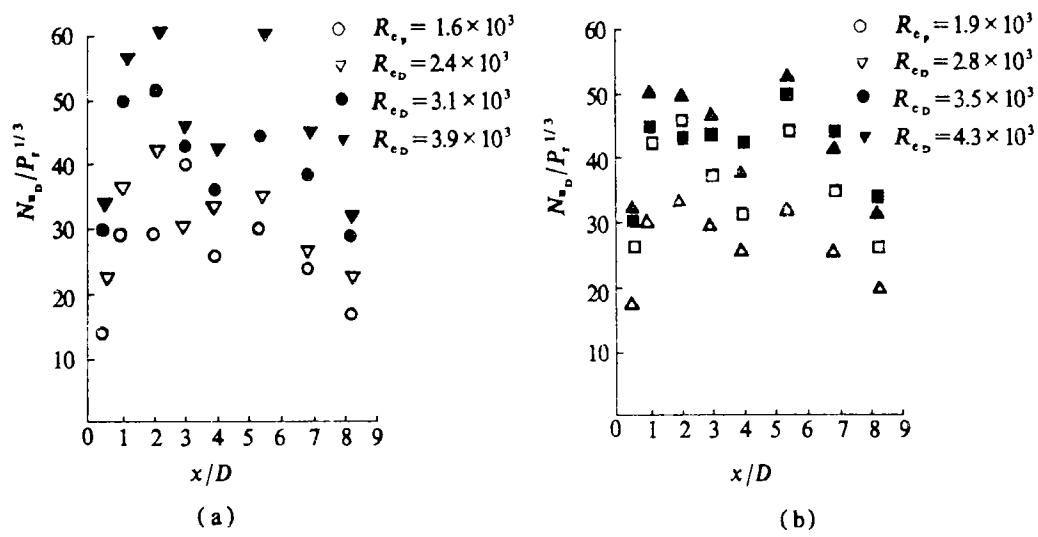
由图 5(x 为实际实验件长度)可以看到, 在强化器位置(第 4 点)之前, $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 的数值随着 R_{e_D} 的增加而提高. 在强化器的位置, R_{e_D} 数对 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 的影响不大. 在第 5 点上 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 随 R_{e_D} 数的增高而显著增加, 在第 6 点以后变化又不明显. 其强化机理是流体穿过孔板上的孔和板的扰动双重作用的结果, 此作用仅在孔板强化器之后产生.

2.2.2 齿形强化器(甲)的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的变化关系

从图 6 可以看到, R_{e_D} 的数值超过 3.9×10^3 后, $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 反而下降, 而且第 4 点(强化器位置)、第 5 点的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 的增加小于第 2 点和第 6 点. 说明加大主流流速对第 4 点、第 5 点的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 影响不大, 反而第 3 点、第 6 点的换热效果有显著的改善. 这说明使用齿形强化器, 在强化器之前及强化器之后都可以提高换热效果.

2.2.3 齿形强化器(乙)的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的变化关系

从图 7 可以看到, 在安放强化器第 4 点的 $N_{u_D} / P_r^{1/3}$ 小于强化器之前的第 2 点和第 3

图 5 孔板强化器的 $N_{ub}/P_r^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的关系图 6 齿形强化器(甲)的 $N_{ub}/P_r^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的关系

点及强化器之后的第 5 点。而 $N_{ub}/P_r^{1/3}$ 随 R_{e_D} 的提高基本上相应增加。

从图 5~7 可以看出, 加入强化器后, 各点的换热规律是复杂的, 这可能是由于加入强化器后改变了主流的湍流度, 进而对传热产生了影响所致。

2.3 各种强化器在同一 R_{e_p} 下的强化比 ($N_{ub}/N_{ub,0}$)

2.3.1 孔板强化器的 $N_{ub}/N_{ub,0}$ 沿实验件长度 x/D 的变化关系

设 $N_{ub,0}$ 为未加强化器时的努谢尔数。从图 8 可以看到, 加入孔板强化器后, 各点强

化比都有所提高, 最佳强化点出现在第4点上, 强化效果提高101%, 其次是第5点与第3点, 分别提高65%和60%. 第1点, 第2点出现恶化区.

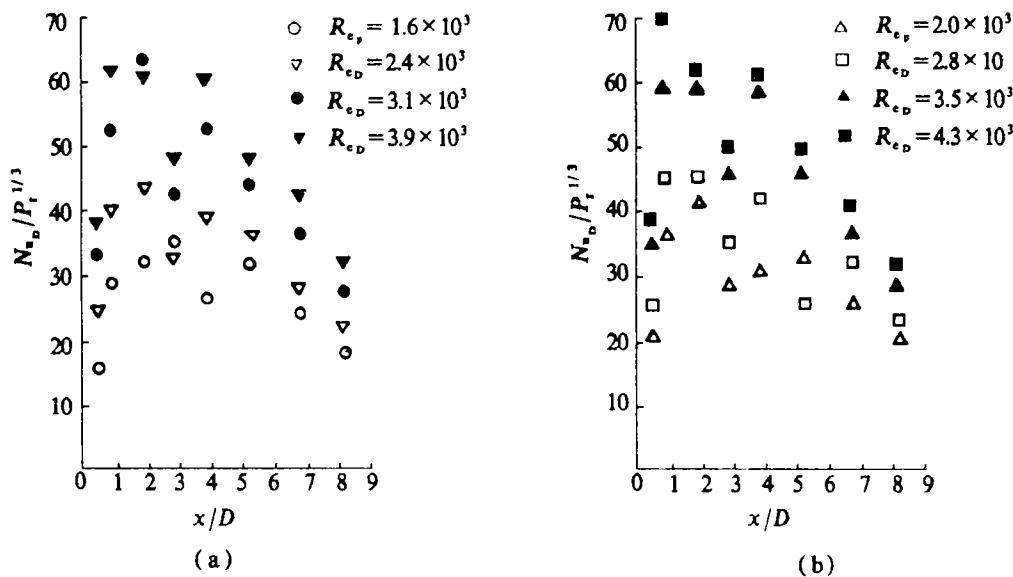


图7 齿形强化器(乙)的 $N_{u_d}/P_t^{1/3}$ 与实验件长度 x/D 的关系

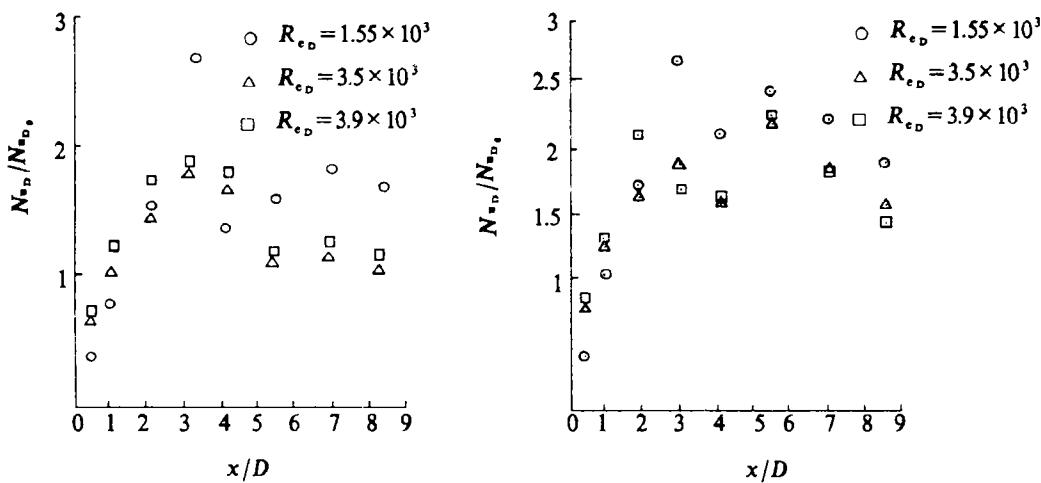


图8 孔板强化器的 N_{u_d}/N_{u_D} 沿实验件长度 x/D 关系

图9 齿形强化器(甲)的 N_{u_d}/N_{u_D} 与实验件长度 x/D 的关系

2.3.2 齿形强化器(甲)的 N_{u_d}/N_{u_D} 沿实验件长度 x/D 的变化关系

从图9可以看到, 加入浅齿强化器后, 第1点出现恶化区, 第2点强化比几乎没有提高, 以后各点都有所提高, 最佳强化点出现在第6点上, 提高112%, 其次是4点和3点, 分别提高86%和83%.

2.3.3 齿形强化器(乙)的 N_{u_d}/N_{u_D} 沿实验件长度 x/D 的变化关系

从图10可以看到，加入深齿强化器后，第1、2点仍出现恶化区。最佳强化点出现在第5点，强化效果提高117%，其次是6点和4点，分别提高83%和77%。

3 结论

1 加入强化器后，局部 $N_{u_D}/P_r^{1/3}$ 与 R_{e_D} 的关系指数规律较复杂。

2 深齿强化器最佳强化效果为117%，浅齿最佳强化效果为112%。孔板最佳强化效果为101%。所以深齿强化效果优于浅齿，浅齿强化效果优于孔板强强化器。

3 在强化器前的第1、2点出现恶化区。

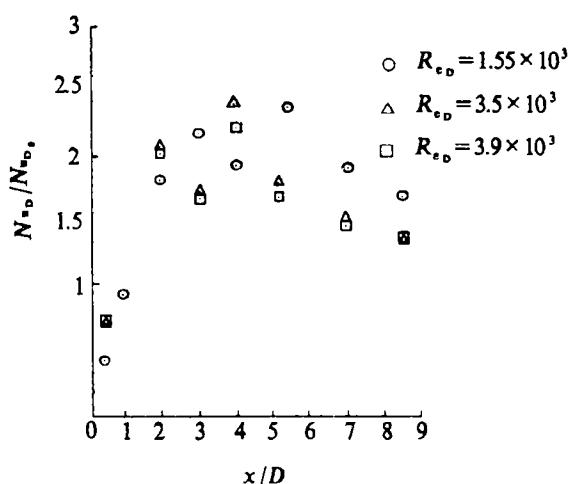


图10 齿形强化器(乙)的 N_{uD}/N_{uD} ₀ 与实验件长度 x/D 的关系

参 考 文 献

- 1 甘永平, 王 迅, 马重芳. 用强化器增强空冷块状电子元件的传热. 北京工业大学学报. 1989, 15(3): 33 ~ 38
- 2 Dipprey D F, Sabersky R H. Heat and momentum Transfer in Smooth and Rought Tubes at Various Prandtl Numbers Int J Heat Mass Transfer. 1963, 6, 319
- 3 Rabas T J, Eckel P W. Effectiveness of Enhancement Devices for Three Row Intine Serrated Finned Tube Banks, ASEM Paper 84-HJ-96, 1984
- 4 顾维藻, 胡敦燕, 刘长春. 几种强化传热表面特性的实验研究. 中国工程热物理学会第7届年会. 903024(1990)
- 5 Tanasawa, Nishio S, Takano K. Enhancement of Forced Convection Heat Transfer in Rectangular Channel Using Turbulence Promoters Institute of Industrial Science University of Tokyo. 1985 JSME, 47, 395 ~ 402

Experimental Study of the Heat Transfer of the Enhanced Surfaces in a Rectangular Channel

Zeng Deyue Ma Chongfang Qin Wenxin Sun Dongliang

(Department of Thermal Engineering, Beijing Polytechnic University, 100022)

【Abstract】 Three types of enhanced promoters were tested for forced convection heat transfer in a rectangular channel. Heat transfer characteristics were measured for the liquid with the range of reynlods between 2.2×10^3 and 6.25×10^3 . Thress types of turbulence promoters, etc perforated ribi-type, shallow serrated rib-type, deep serrated rib-type were tested. Performance comparison was made of the heat transfer ability of the enhanced surfaces with turbulence promoters under the condition of constant blower power. It was found that the surfaces with shallow serated rib-type tubulence promoters showed better and the surfaces with depth serrated rib-type turbulence promoters showed best excellent performace.

【Key words】 enhanced surface heat transfer, depth serrated rib-type, rectangular channel



《中国高等学校自然科学学报编排规范》选登

关键词

- 1) 关键词是为了便于作文献索引和检索而选取的能反映论文主题内容的词或词组，一般每篇选3~8个。
- 2) 关键词应尽量从《汉语主题词表》等词表中选用规范词—叙词；未被词表收录的新科学、新技术中的重要术语，也可作为关键词标出。
- 3) 中、外文关键词应一一对应，分别排在中、外文摘要下方。

论文的分类号

- 1) 为便于检索和编制索引，有条件的学报可按《中国图书资料分类法》对每篇论文编印分类号。
- 2) 一篇涉及多学科的论文，可以给出几个分类号；主分类号应排在第1位。
- 3) 分类号排类排印在中文关键词之后。