

### 燃烧室新型迷宫复合冷却结构冷却比较

蒋永健<sup>1</sup>, 何立明<sup>1</sup>, 李名魁<sup>1</sup>, 金涛<sup>1</sup>, 袁泉<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西西安 710038; 2. 空军驻常州 370 厂军代室, 江苏常州 213022)

摘要: 以燃烧室新型迷宫复合冷却结构为研究对象, 取燃烧室新型迷宫复合冷却结构的一块瓦块, 并在某型航空发动机原型气膜冷却火焰筒相同位置切出尺寸相等的块, 在流量、吹风比与实际流场相同的条件下分别对它们的三维流场和壁温进行了数值模拟, 获得了其壁温及冷却效率的分布规律, 并与原型火焰筒进行了对比。研究表明: 相对某型航空发动机燃烧室原型火焰筒, 该冷却结构的冷却效率高, 流场分布均匀, 温度梯度小。

关键词: 燃烧室; 迷宫复合冷却结构; 冷却性能; 数值模拟

中图分类号: V23 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2006)03-0010-03

随着涡轮前燃气温度的不断提高, 燃烧室的工作环境变得极为恶劣。美国的 IHPTET 计划中明确提出“如何在减少冷气流量的情况下提高燃气涡轮进口温度”这一技术难题。而保证发动机燃烧室能够安全可靠地工作, 40% 依靠的是材料耐热性的改进, 而 60% 依靠的是冷却技术的进步, 其中气膜冷却作为热端部件先进冷却方法之一, 在航空发动机领域得到了广泛应用<sup>[1-3]</sup>。近年来, 由于高性能发动机研制的需要, 各种新型的冷却结构形式不断出现, 其中燃烧室迷宫复合冷却结构是一种集冲击、对流换热和近似发散冷却于一身, 结构合理, 冷却效率高, 具有创新性的新型冷却结构<sup>[4]</sup>。

## 1 数值计算方法

### 1.1 物理模型

迷宫复合冷却结构火焰筒是由某型航空发动机 5 段气膜冷却火焰筒改造而成的, 每段沿周向均匀分布 3 块瓦块, 整个火焰筒由 15 块瓦块组成, 每块瓦块由 3 层壁面(即外侧壁、中间壁和内侧席壁)组成, 见图 1。2 股通道的冷却空气首先流过瓦块式迷宫冷却结构的外侧壁, 对外侧壁面进行对流换热, 然后从壁面后部的进气孔进入上冷却通道, 直接冲击到中间壁上, 对中间壁有很强的冲击冷却换热作用; 然后, 该冷却空气沿着上冷却通道向前流动, 与中间壁上壁面和外侧壁内壁面都有对流换热作用; 其后通过中间壁前部的槽缝向下流入下冷却通道, 对席壁的前部有冲击冷却作用; 最后沿下冷却通道一边向后流动与席壁上表面和中间壁下表面进行对流换热, 一边经席壁编织过程中形成的小孔在席壁的外表面形成一层均匀的气毯, 对外侧席壁进行保护。为验证迷宫复合冷却结构的优越性, 本文与某发动机气膜冷却火焰筒的冷却性能进行比较, 为此在某型航空发动机气膜冷却火焰筒相同位置处切出尺寸相同的 1 块瓦块, 见图 2。

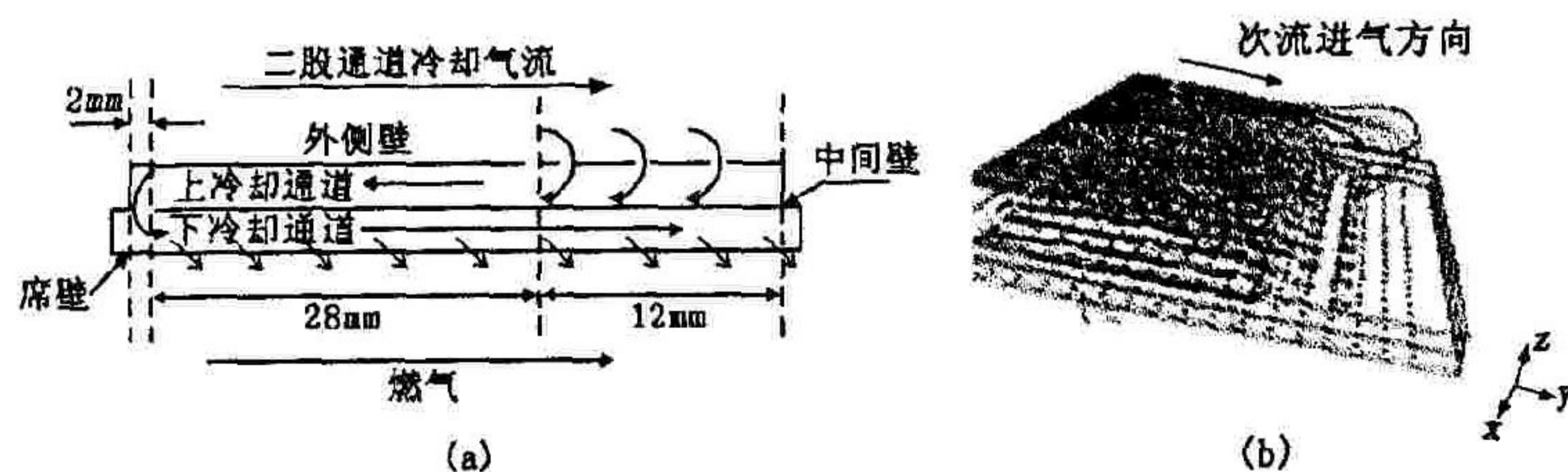


图 1 燃烧室迷宫复合冷却结构瓦块计算模型

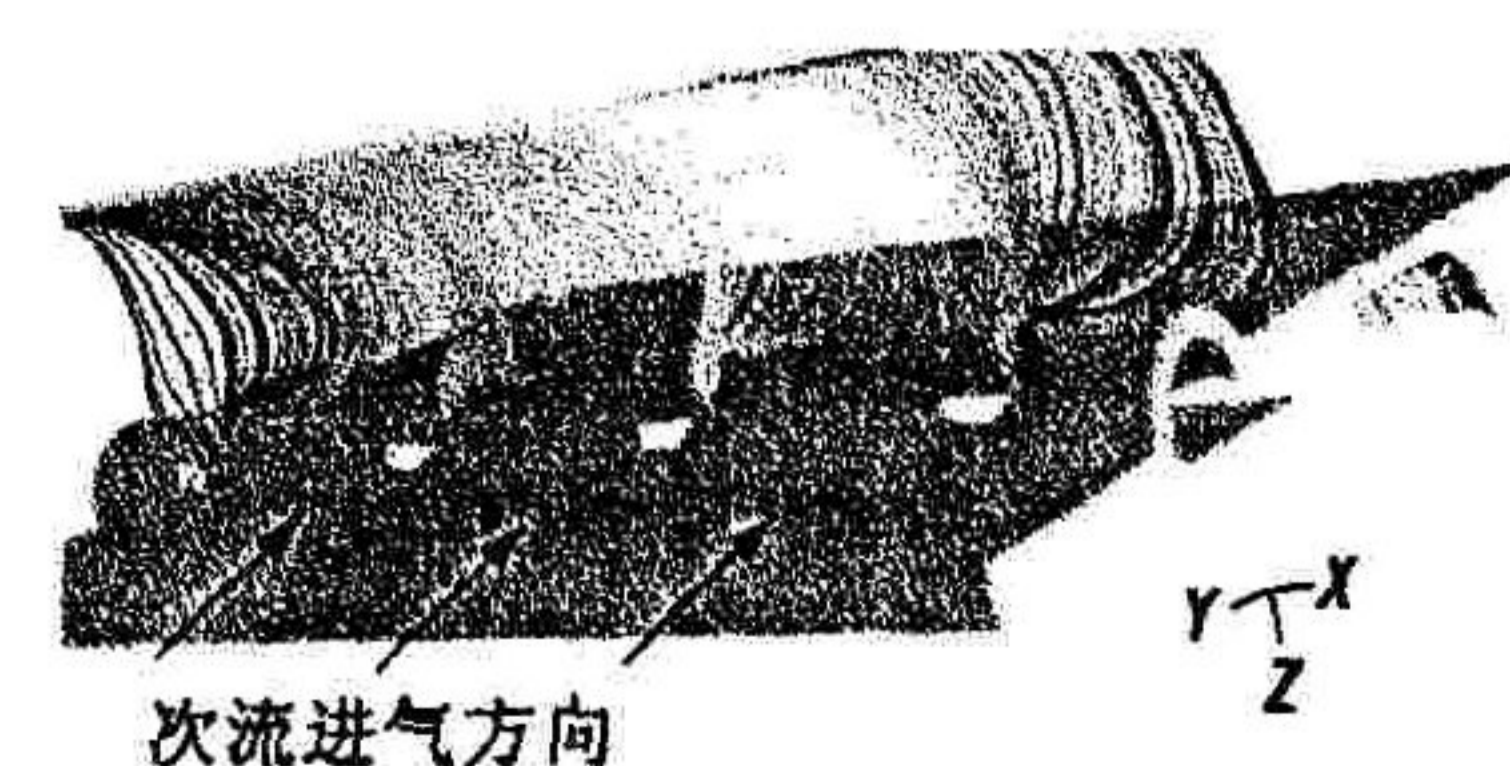


图 2 原型火焰筒瓦块计算模型

收稿日期: 2005-09-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50276070)

作者简介: 蒋永健(1981-), 男, 湖南永州人, 博士生, 主要从事航空发动机燃烧室冷却和换热数值研究;

何立明(1959-), 男, 浙江上虞人, 教授, 博士生导师, 主要从事推进系统气动热力和脉冲爆震发动机研究。

## 1.2 边界条件

外侧壁二次流通道和内侧壁主流通道进口为速度进口边界,假设流过每块瓦片的流量相同,根据燃烧室流量分配规律计算出瓦片的进口速度,将次流、主流通道进口速度分别设为  $39.5 \text{ m/s}$  和  $20.9 \text{ m/s}$ ,进口湍流度设为  $1\%$ ,总温分别为  $610 \text{ K}$  和  $1288 \text{ K}$ 。瓦块式迷宫复合冷却结构通道出口为压力出口边界。进口段壁面以及内部流动通道壁面均给定为零滑移和无渗透的物面边界条件,近壁区网格采用壁面函数法。对称壁面为对称边界条件。

## 1.3 数值方法

模型采用直角坐标系下的三维稳态不可压  $N-S$  雷诺时均湍流方程描述,其中湍流模型采用  $k-\epsilon$  湍流模型。 $N-S$  雷诺时均湍流方程应用 Fluent 的分离隐式稳态求解器求解,压力修正采用 SIMPLE 算法,各参数的离散采用一阶迎风格式,亚松弛求解直到收敛。

## 2 计算结果与分析

### 2.1 火焰筒瓦块出口温度的比较

前一瓦块出口即是后一瓦块的进口,其温度分布直接影响到后一瓦块的冷却效果。图 3(a) 和图 3(b) 为两种结构瓦块的出口温度分布图。由图 3(a) 可知,原型火焰筒的高温区域较大,出口平均温度较高,低温区主要集中在火焰筒内壁附近,温度梯度大,这是因为原型火焰筒每段只有一排气膜孔,形成的冷却气膜冷却效果较差。由图 3(b) 可见,迷宫复合冷却结构瓦块出口中间(图 3(b) 的右边界处)下方形成一低温区,这可能是由于流过席壁层后几排孔的流量较大,流速较快,冷却气体隔离高温燃气作用明显,形成低温区。其出口高温区较小,平均温度较低,为  $1014.6 \text{ K}$ ,比原型火焰筒瓦块低了  $160.3 \text{ K}$ 。

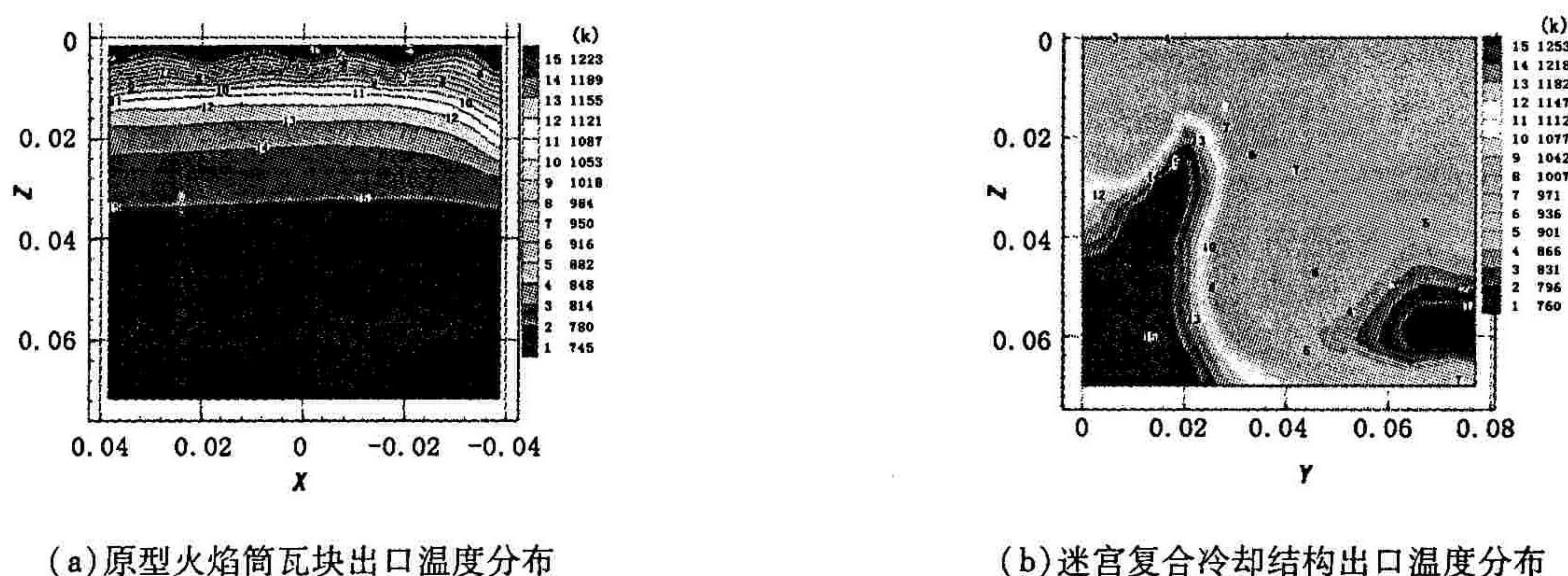


图3 火焰筒瓦块出口温度分布(右边界为对称边界)

### 2.2 火焰筒瓦块热侧面温度的比较

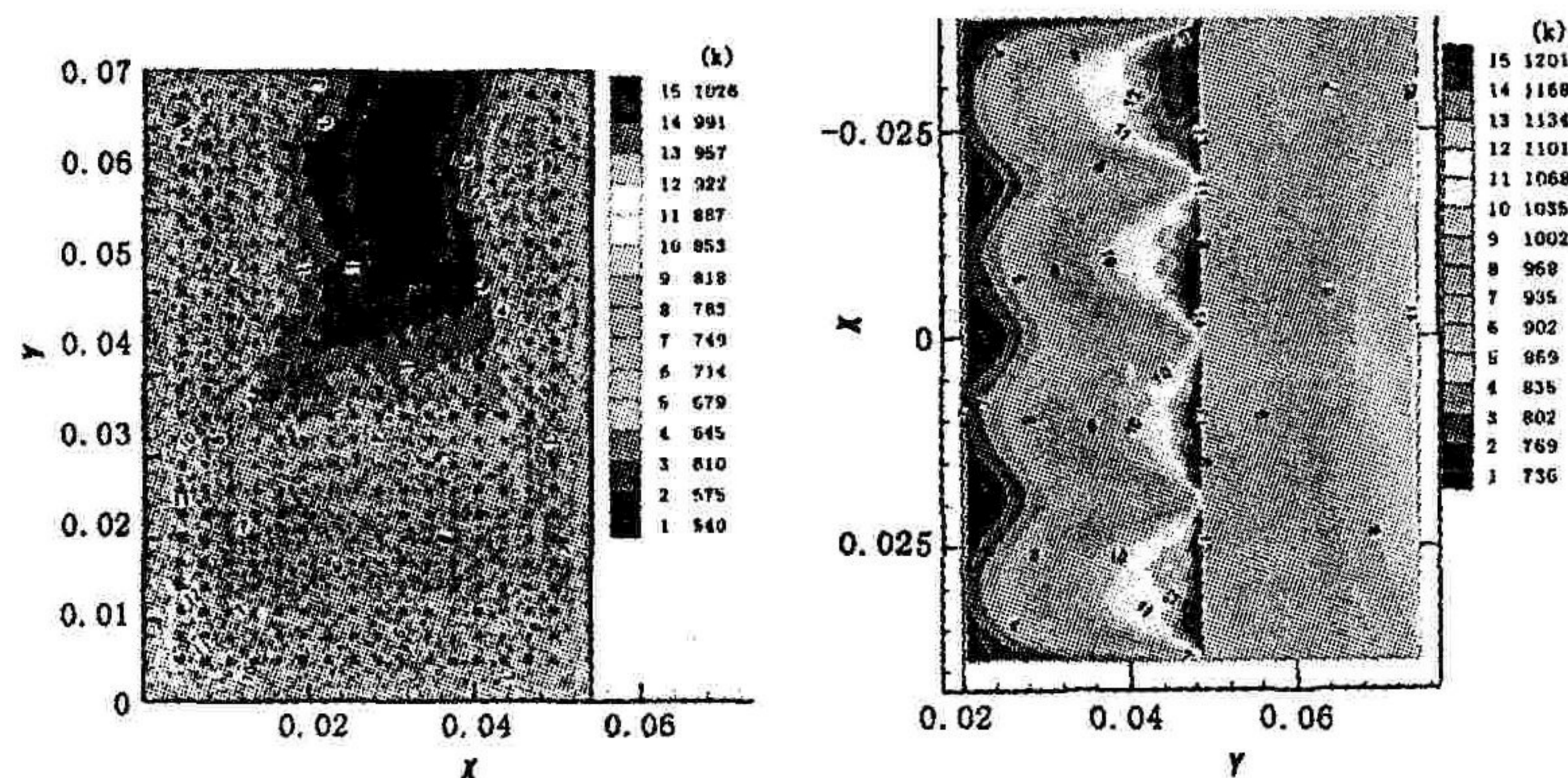
火焰筒内侧面温度分布反映出冷却结构的冷却效果,图 4(a) 和图 4(b) 分别为迷宫复合冷却结构和原型火焰筒瓦块热侧面温度分布图。由图 4(a) 可见,燃烧室新型迷宫复合冷却结构席壁热侧面中间(图 4(a) 的上边界处)形成一低温区,中间最低温度为  $646 \text{ K}$ ,沿这个低温区外围方向温度逐渐升高,在图中的左下角及对称图中的左上角形成局部高温区,这是因为席壁层四周边缘无冷却气膜覆盖,冷却效果较差,温度较高。且沿气流方向左边高温区范围比右边广,温度高。由图 4(b) 可见,原型火焰筒瓦块热侧面沿流向由左至右温度依次降低,出口处温度最低,为  $736 \text{ K}$ 。比较两图可知,迷宫复合冷却结构席壁热侧面温度分布较均匀,平均温度较低,为  $935 \text{ K}$ ,比原型低了  $167.6 \text{ K}$ ,冷却效果好。

### 2.3 火焰筒瓦块内壁面冷却效率的比较

为更直观地表示冷却结构的冷却效果,图 5 给出了两种结构火焰筒内壁面的冷却效率比较曲线。由图 5 可知,迷宫复合冷却结构冷却效率曲线中间高,左右(进出口)较低,在中间位置冷却效率几乎达到  $1.0$ ,较原型火焰筒要高得多,这与本文前面的分析相吻合。

### 3 结论

- 1) 迷宫复合冷却结构席壁热侧面温度梯度小,分布较均匀,平均温度比原型低 167.6 K。
- 2) 该冷却结构在火焰筒内壁形成明显的冷却气膜毯,极大的改善了冷却效果,席壁热侧面中间位置冷却效率几乎达到 1.0。
- 3) 该冷却结构瓦块出口席壁热侧面附近高温区域小,平均温度比原型低了 160.3K,有利于提高后一个瓦块前部的冷却效果。



(a) 迷宫复合冷却结构瓦片席壁热侧面温度分布 (b) 原型火焰筒瓦块内壁面温度分布  
图 4 瓦块内壁面温度分布(上边界为对称边界)

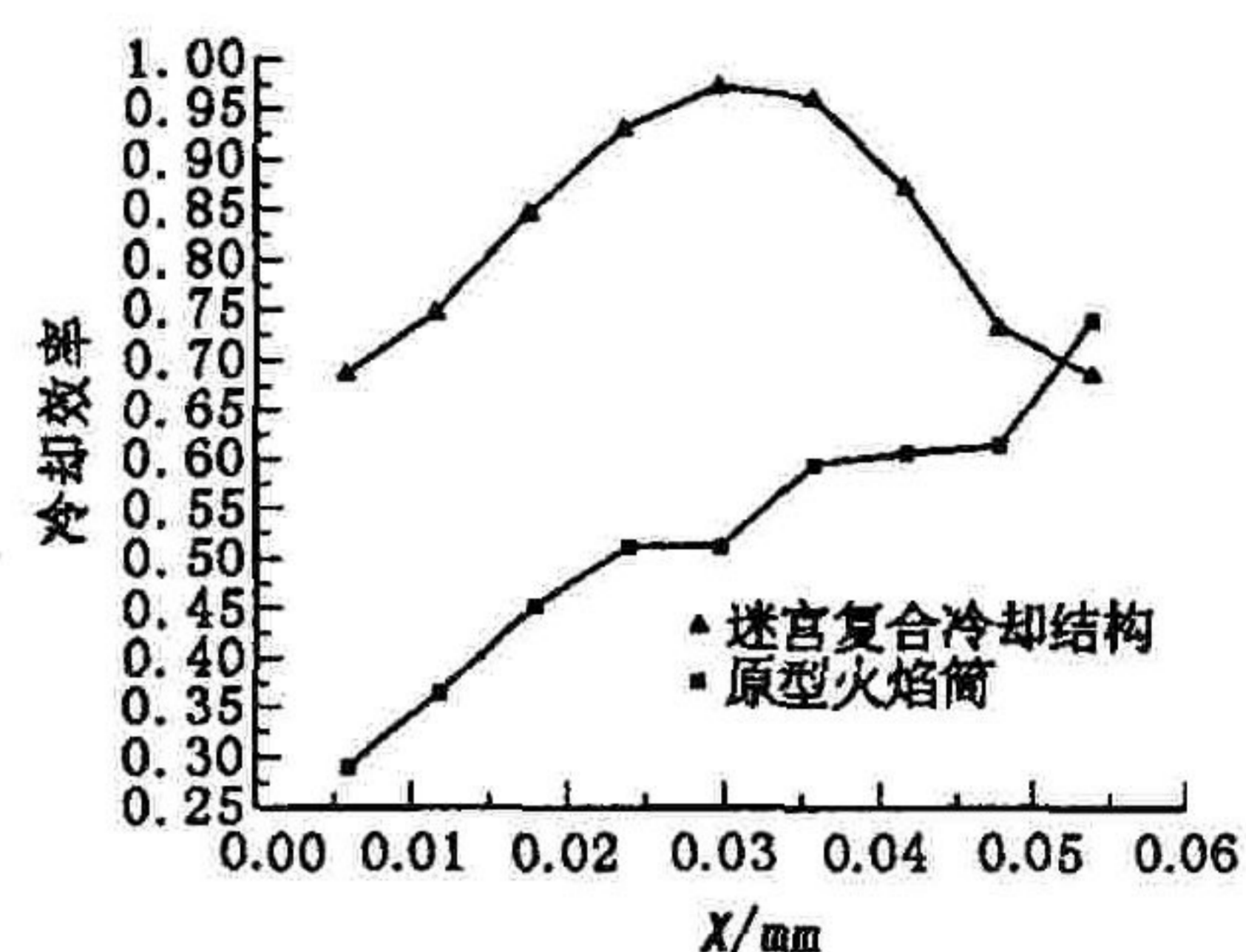


图 5 火焰筒瓦块内壁面冷却效率比较

### 参考文献:

- [1] Kaszeta R W, Simon T W. Measurement of Eddy Diffusivity of Momentum in Film Cooling Flows with Streamwise Injection[J]. ASME journal of Turbomachinery, 2000, 122: 178 - 183.
- [2] 林宇震. 燃烧室多斜孔壁气膜冷却研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1997.
- [3] 许全宏, 张宝华, 林宇震. 冲击加多斜孔双层壁冷却方式气膜绝热温比研究[J]. 航空动力学报, 2000, (4): 387 - 390.
- [4] 何立明, 张立志, 原和朋, 等. 燃烧室新型迷宫复合冷却结构的设计与换热分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 5(6): 1 - 4.

(编辑: 姚树峰)

Cooling Numerical Simulation of Combustor Maze Composition Cooling Structure

JIANG yong-jian<sup>1</sup>, HE Li -ming<sup>1</sup>, LI Ming- kui<sup>1</sup>, JIN Tao<sup>1</sup>, YUAN Quan<sup>2</sup>

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. Air Force Military Representative Office in 370 Factory, Changzhou 213022, China)

Abstract: In order to gain the wall temperature and cooling efficiency distribution characteristics of the maze composition structure in the combustor, a three - dimensional numerical model is employed for its flow field and temperature distribution compared with that of the prototype. The results show that the composition structure works better in cooling efficiency, flow field and temperature distribution. Thus it provides beneficial references to the design of the maze composition structure and the experimental investigation in its cooling performance.

Key words: combustor; maze composition cooling structure; cooling performance; numerical simulation