

非定常流制冷原理在石油 天然气回收中的应用

沈阳航空工业学院 申振华

“热分离器”是一种七十年代开发的新型制冷装置，将其用于石油天然气回收会带来很高的经济效益。本文提出了一种简化物理模型，并对其工作原理进行了非定常流分析，指出了进一步提高其制冷效率的途径。

一、装置的制冷原理

热分离器的结构如图1所示。该装置有一个转子带有一个（或几个）旋转喷咀，经预先干燥的高压天然气自中心部分流入，带动旋转喷咀旋转，转速约为2000~3000r/min。机壳周围放射式地连接一系列工作管（24根或36根），各管末端封闭。

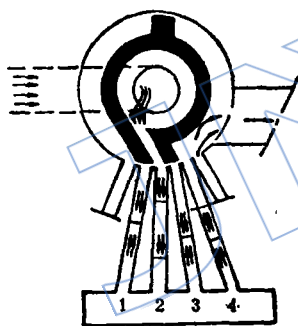


图1 热分离器结构原理图

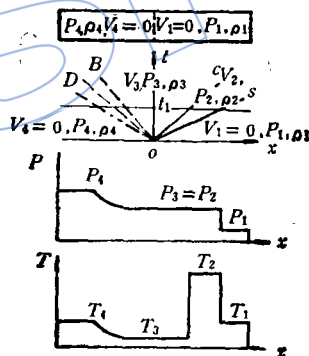


图2 工作管中气体压力、温度分布

当旋转喷咀对准工作管（如图1中管2）的管口时，由于喷咀被封闭而处于静止的高压天然气瞬时冲入工作管，工作情况与冲波管相似。于是有一道冲波S、一个接触面C和一束膨胀波分别向低、高压侧传播。某瞬时 t_1 ，管中冲波S、接触面C、膨胀波束BOD的位置，以及各流动区域的压力、温度的分布如图2所示。接触面是一个温度间断面。尽管包括高、低压气体在内的系统的总能量不变，但高压气体对工作管中原来封闭的低压气体做了功，两部分能量进行重新分配。高压气体在工作管中受到第一次冷却，而管中低压气体受到“加热”。然后，当喷咀继续转动到管4位置时，工作管与出口管接通，则3区中已被初步冷却的气体再次作突然膨胀，受到第二次冷却而达到很低的温度。

由以上两个实例说明, 叶尖增加一翼梢小翼, 确实效果明显。下面将分析其原因。由图 2 可见, 在叶中部分, 二维流动, 只有轴向下洗分速 V_z 和扇叶对气流的相对速度 $V_x = \Omega r$ 。而在叶尖处, 还存在一个指向轴心的分速 V_y , 即叶尖诱导出的径向分速, 使得合速度 V 向外偏转了 θ 角。这时, 如果在叶尖处斜着增加一小翼 (图 3) 气流以合速度 V 与小翼成一定攻角流过, 必然在小翼的叶背方向产生一个指向斜前上方的升力 F , 该升力方向垂直于合速度 V , 与叶片展向也成一 θ 角。 F 又可分成三部分, F_x 与叶尖旋转轨迹相切, 指向前进方向, 与电机转动方向一致, 因此产生了有效的附加推进力矩, 如同在吊扇叶尖处增加了这么个分力, 推着扇叶向前转动。 F_y 指向旋转轴, 抵消一部分离心力, 使转动更加平稳。 F_z 垂直向上, 将扇叶托起。不仅如此, 通过对带有小翼的吊扇作流场显示实验, 发现原先平叶片下那个较大的非定常失速涡团消失了, “扑扑” 声也听不到了。失速涡团的消失是由于小翼外侧是压力面, 即叶盆, 里侧 (即靠叶身一侧) 是吸力面, 压力面压力较高, 阻止了气流在叶尖处上绕, 从而大大减小了叶尖的诱导损失。附加推进力矩的产生又大幅度的克服了型阻损失和诱导损失, 这两个原因是导致整个扇叶提高气动效率的关键。

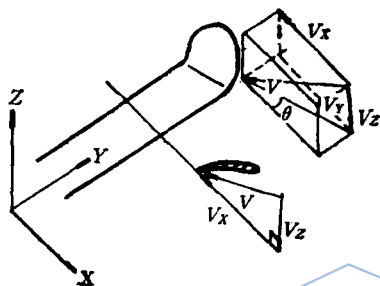


图 2 叶中二维、叶尖三维流动分速及示意

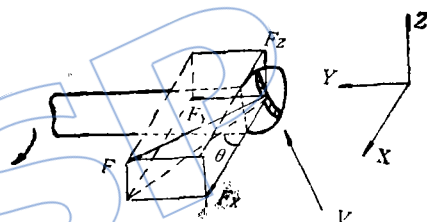


图 3 叶尖小翼气动力分析

叶尖小翼对于沿展向弦长逐步变宽的扇叶更能显示其优越性。因为越靠近叶尖处线速度越高, 潜在的做功能力越大, 充分发挥这部分的优势, 适当加宽弦长, 就能大大提高总的负荷。过去之所以没有这么干, 是因为叶尖负荷因子一高, 叶尖诱导损失急剧上升, 弦长一宽, 叶尖型面阻力矩也很大, 导致转速下跌, 这两个因素使整个扇叶气动效率大幅度下降。然而, 增加了叶尖小翼后, 小翼的外侧压力面扼制了叶尖涡的产生, 从而大大降低了诱导损失。而附加推进力矩又抵消了叶尖型面阻力矩的增大。这样叶尖小翼分别克服了原先的两个不利因素, 使总的气动效率大幅度提高。因此, 笔者认为, 在螺旋桨、直升机旋翼, 吊扇等自由风扇的设计中, 应当优先考虑弦长沿展向逐步加宽和增加叶尖小翼这一设计思想。

本文提供的仅是实验例证, 更进一步的工作是需要对叶尖三维流场进行细致的数值计算, 结合实验分析验证, 相信这一途径定能在新的螺旋桨设计上取得更大的成功。

参 考 文 献

- [1] Glauert, H. 著, 徐华舫译, “螺旋桨理论”, 国防工业出版社 1960。
- [2] Alfred Gessow/Garry, C. Myers, Jr, “Aerodynamics of the Helicopter”, Frederick ungar Publishing Co., 1983.
- [8] 王适存, “直升机空气动力学”, 航空专业教材编审组, 1985 年 1 月。

parison of numerical results with experimental data indicates that the numerical method presented is generally feasible.

A NEW APPROACH TO IMPROVEMENT OF FANS

Su Hanshou

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Abstract

This paper presents experimental results of 3-D flowfields in the fan tip region for two actual fans. It is shown that the fan performance can be significantly improved as proplets are attached to the blade tips. The improving mechanism have been studied and can be stated as follows: The proplets retain the tip vortex and thus the tip induced loss is reduced remarkably, and the additional propulsion moment is gained because the proplets partly balance the drag moment due to profile loss in the tip section. The conclusions presented in this paper may be applied to the tip section of propeller or helicopter rotor for performance improvement.

APPLICATION OF UNSTEADY FLOW REFRIGERATION TO RECOVERY OF PETROLEUM GAS

Shen Zhenhua

(Shenyang Institute of Aeronautical Engineering)

Abstract

The refrigeration principle of "thermal separator" is analyzed in light of unsteady flow dynamics and a simplified physical model is presented to improve the refrigeration efficiency. The analytical study shows that it is necessary to control the pressure ratio P_4/P_1 properly and to match the length of working pipes with the size and revolution speed of the unit in order to increase its efficiency. The unit may be used for recovery of petroleum gas, cold storage and central airconditioning.

APPLICATION OF DAMAGE RULES TO TIME-DEPENDENT FATIGUE LIFE PREDICTION

Dong Zhaoqin, Duan Zuoxiang, He Jinrui

(Beijing Institute of Aeronautical Materials)

Abstract

Linear Damage Rule (LDR) and Interaction Damage Rule (IDR) are compared and applied to Strain Range Partitioning (SRP) and Strain Energy Partitioning (AEP)