

二氧化碳气动激光器

中国科学院上海光机所 气动激光研究组

气动激光器是用热泵浦的方法,使热能储存于振动模式中,利用超声速喷管,激光介质迅速冷却,使激光下能级冻结在平动模式,造成粒子数反转的一种激光器,它的出现是激光发展史上的重大进展。它不仅证实了热泵浦方式是可行的,省去电源,而且使气体流动技术应用于激光器内来,大大提高了单位体积、单位质量的功率输出,使气动激光器成了目前有潜力的高能激光器之一。我们自71年起,对 CO_2 气动激光器进行了多方面的实验和理论研究工作,本文是这些工作的总结,特别是实验结果的总结。

首先,总结了连续工作的 CO_2 气动激光器,特别是大流量(10公斤/秒)的高功率激光器的一般设计考虑、器件特性和部分实验结果。在较佳工作条件下,获得了连续输出3万7千瓦的大能量激光,比功率达4瓦/克/秒,接近国际先进水平。接着总结了脉冲气动激光器的研究工作,它为了解决气动激光器燃料问题、气源问题和提高工作介质的滞止温度做了一些开拓与基础性的工作,分析了脉冲气爆激光器的工作时间特性,对 $\text{H}_2 + \text{CO} + \text{O}_2 + \text{N}_2$ 和 $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{CO} + \text{O}_2 + \text{N}_2$ 两种体系,进行了较深入的实验研究,分析了激光能量对 CO_2 含量、 H_2O 比分的依赖关系,测定了激光脉冲半宽度,在本器件上为500毫秒左右,最大单脉冲激光能量为504焦耳。最后总结了固体爆炸气动激光器的实验,固爆使气体滞止温度可达2000K以上,从而有可能提高比功率。本文总结了固体燃料爆炸时的一些技术难关,如燃料要求高含氮和高碳氢比,燃烧积炭问题,以及高温火焰的隔离等。我们已在四硝基甘脲、RDX、662和7201等四种固体炸药中获得激光输出,测得激光脉冲半宽度为10~40毫秒,最大输出功率为196瓦,激光能量约8.6焦耳。

高速流动激光器的稳定振荡条件、 模式结构与输出功率特性

中国科学院力学研究所 陈嗣熊

随着大功率、大能量激光器的产生,用高速流动方法排除废能,用快速膨胀方法冻结激光上能级已被广泛采用。因而,高速流动激光器光腔中的辐射场分布特征、输出功率等问题就成为人们普遍关心的问题。但由于在高速流动情况下,激活介质与辐射场的相互作用是非线性的,比较复杂,至今尚无一种计算高速流动激光器平行平面镜光腔的辐射场分布与功率的可靠有效方法。当然,这方面的工作已发表的也不少。早在1969年,T. A. Cool首先对充有流动激活介质的平行平面镜腔,在光沿着垂直于镜面的直线方向传播的假定下,计算了辐射场分布与功率。由于完全忽略了光的衍射效应,并假定光是沿着垂直镜面的直线方向传播,他得到了高速流动激光器光腔的稳定振荡条件为

$$g = -\frac{1}{2L} \ln(R_1 R_2)$$

这里 R_1 、 R_2 分别为 M_1 镜与 M_2 镜的反射率, L 为镜面之间的距离, g 为光腔中沿光轴方向的平均饱和增益。这一条件完全类似于非流动情形的稳定振荡条件。由这一条件,流动激活介质一进入光腔口,其增益就

被饱和到光腔镜面损失所规定的值 $= \frac{1}{2L} \ln(R_1 R_2)$, 从而在流动入口的镜面上, 辐射场达到了很高的峰值。这一现象显然不符合实际观察到的实验结果。1974年 G. Lee 亦指出了 Cool 这一假定的不合理性, 同时他提出了另一稳定振荡条件:

$$\frac{1}{S} \int_0^S \left(g - \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right) x = 0,$$

这里 S 是沿流动方向镜子的长度。他并没有证明这一条件的正确性, 只是认为这一条件比 Cool 条件的优点似乎考虑了衍射效应。他在辐射场均匀分布的假定下, 利用这一稳定振荡条件, 计算了输出功率。本文导出了一般的稳定振荡条件, 并指出在 $g(x)$ 变化不太剧烈的情况下, Lee 的条件可近似适用, 但不能在所有情形都假定辐射场均匀分布。

最近, 对采用不稳定腔的高速流动激光器, 把辐射场方程与增益动力学方程联立起来求数值解的工作发表不少, 这些计算可以算出辐射场的三维分布, 并可计算激波、镜子畸变与光偏差等对辐射场分布功率的影响。但对于平行平面镜的情形, 用这些数值迭代法一般得不到稳定收敛的解。正如本文指出的对这种谐振腔一般是多模振荡。

本文就是研究充有高速流动介质的平行平面镜腔的模式结构与功率。我们首先由辐射场方程与边界条件导出一般的稳定振荡条件并由它求出功率表达式。用几何光学近似求出横模表达式, 并对 Gerry 的典型实验进行了计算, 计算结果与 Gerry 的实验结果基本相符。

高速流动型激光器超音速喷管的计算

中国科学院力学研究所 盛家宁

本文分两部分, 目的为高速流动型激光器提供喷管设计的依据。

第一部分以喉道处直音速线为初始条件, 用特征线法对二维超音速锐角喷管进行了计算, 分析了节点法和区域法中特征网格稀密度和计算精度的关系, 得到了比热比为 1.35、1.37、1.40, 出口马赫数为 4.00、4.20、4.40、4.50、4.60、4.80、5.00、5.50 和 6.00 等各种组合时喷管型线 27 组, 作为对照, 也对风洞中常用的“ATKLN”喷管设计法作了相应计算, 列出了全部喷管型线。

第二部分以喉道处跨音速流场的弯曲等特性线为起始条件, 用特征线法对各种不同膨胀速率的超音速喷管型线进行了计算, 得到了喉道处为锐角膨胀和弧型膨胀的两类快速膨胀喷管型线, 将所得结果和第一部分有关型线作了比较, 分析了它们对高速流动型激光器的适用程度, 给出了比热比为 1.40, 出口马赫数为 4.00、4.50、5.00、5.50 及 6.00, 喉道曲率半径为一倍喉高的超音速段型线, 该型线是喉道呈弧型膨胀时壁面不出现逆压梯度的最快膨胀形式。

本文所给数据, 可作喷管设计参考。

本文计算程序, 可推广应用于任意跨音速流场之解。

气动激光器的非平衡流计算

中国科学院力学研究所 严海星 陈丽吟

本文对 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-H}_2\text{O}$ 激光体系提出了三振型四(振动)温度的振动弛豫模型, 并给出了正确的弛豫方程组。此方程组同样适用于存在辐射场的情况。对 Anderson 采用的弛豫模型和弛豫方程组作了评述, 认为他