

们采用的线性化弛豫方程组及 $\text{CO}_2(\nu_3)$ 振型与 $\text{N}_2(\nu=1)$ 振型平衡的假定对于小信号增益计算均会导致较大的误差。

我们对气动激光器的准一维非平衡流计算中有关的一系列问题作了详细分析。用自己收集、处理的(包括最新实验结果的)弛豫速率数据,采用非定常技术(时间相关法),编制了计算程序,在国产的 TQ-16 电子计算机上进行了大量的数值计算,特别是对有实用价值的燃烧型气动激光器的各种条件做了详细分析,得到了一系列结果,可供设计和改进气动激光器时使用。我们的计算结果消除了别的作者的理论计算与实验不能很好相符的现象。

对于燃烧型气动激光器,滞止温度有一最佳值,在 1400~1600 K 范围内,加大喷管的膨胀面积比可有效地提高器件的小信号增益和最大可用激光能量。适当地减小喉道高度对性能也有所改进。研究了各区段喷管型线对器件性能的影响,最小长度喷管比喉道喷管的小信号增益高不到 8%,滞止温度高于 1500 K 时差别更小;面积比大于 5 以上的亚音速段喷管型线对冻结效果几乎没有影响;光腔段进一步膨胀可使增益略微提高。研究了气体组份、滞止压力对燃烧型气动激光器性能的影响,器件最佳水含量在 1% 左右。与 Anderson 的论证不同,我们的结果表明,在高滞止温度,大面积比的所谓第二代气动激光器中,水的最佳含量仍在 1% 左右,器件性能随水含量的增加而迅速变坏。

初步讨论了弛豫模型、方程和弛豫数据对非平衡流计算的影响,表明无论弛豫模型和方程还是弛豫数据都对计算结果影响颇大,Anderson 的计算中这两种误差有一定的抵消,但这种抵消不可能总是十分充分,因而出现了理论结果大大低于实验的不合理现象。

流动气体放电的热稳定性

中国科学院上海光机所 王裕民

在大体积气体介质中如何实现稳定的辉光放电是获得高能激光器的关键技术。因此大体积放电稳定性的研究是一很重要的课题。我们将放电稳定性分为两种类型。一种是与等离子体中带电粒子产生消失有关的过程,如负离子引发的不稳定性等;另一种牵涉中性粒子密度等变化,这个过程是较慢的,我们称之为热不稳定性。我们着重研究了热不稳定性,与文献(J. H. Jacob, S. A. Mani, *Appl. phys. Lett.*, **26**(2), 53, 1975.)不同,我们直接给出密度随时间空间的变化特性,以便更好地了解这种热不稳定性是如何引发的。

由于电子密度、气体密度、压力等的不均匀性都会引发放电的不稳定,考虑到不均匀造成的空间电场后,电子密度在电场方向的不均匀性很容易导致负离子型的放电不稳定。而热的不稳定性主要是由于在垂直电场方向上各种量的不均匀性引起。我们计算了在这一方向上电子密度、气体密度等量的动态起伏和静态不均匀性如何使气体密度下降出现正反馈。由于热效应,介质中总有一处的密度发生指数降低;密度的变化是以介质流动速度 u_0 及 $u_0 \pm a_0$ (a_0 声速)传播的;发生变化的区域并不局限在“扰动元”之内,而是遍及整个放电区。对亚声速放电,总有一些区出现密度持续下降。我们把发生密度下降的时间叫 τ_ρ , 则对亚声速放电 $\tau_\rho \rightarrow \infty$, 对超声速放电 $\tau_\rho \approx \frac{L a_0}{u_0^2}$ (L 是放电区沿流向的长度)。由此得到热稳定的连续放电的条件为是放电成弧的特征时间。

$$\tau_\rho < \tau_{\text{arc}} = \xi \frac{r P_0}{\eta_r (\gamma - 1) J E (1 + M)}, \quad \text{或} \quad \frac{L}{u_0} < \xi \frac{\gamma P_0}{\eta_r (\gamma - 1) J E}$$

r 是比热比, P_0 为气压, J, E 分别为放电电流密度、电场强度, ξ 是与介质成分、 $E/N, n_e$ 有关的参量, η_r 为热效率。由此可见对低热效率的介质和低气压,用超高速办法可以容易实现连续稳定的放电。但由于热效应放电区总不能无限扩大,为了在更大尺寸上实现高能激光连续运转,应该采用湍流放电,因湍流放电中密度扰动特征尺寸不是 L , 而是 l (湍流特征尺寸) $l \ll L$ 。

我们还分析了加热边界对热稳定的影响,加热层的特征厚度 λ 越大,边界引起的密度下降越小。这就使高速流动气体放电中电极边沿形状、预电离电子束密度分布及光腔设计等都有一定要求。

经分析可见,预电离电子密度分布均匀性是很重要的。沿电场方向不均匀容易引起负离子性不稳定。而垂直电场方向不均匀又容易引起热不稳定性(形成电弧热通道),这些对流动气体放电激光器的尺寸扩大无疑都带来困难。

超音流高能气体激光器的喷管设计理论

中国科学院上海光机所 褚成

几年来,在我所 CO_2 气动激光器及 CO 电激励气动激光器的研制过程中,适用于这类激光器的小尺寸喷管的设计理论逐步完善,并已形成完整的计算机程序编码。本文对此作出总结。首先分析了激光方向性对流动介质均匀性(从而对喷管设计)所提出的技术要求,然后概述喷管设计各环节(亚音速段、超音速段、附面层修正)的理论计算方法。

腔区气流密度的不均匀可分为两类:大尺寸的密度不均匀以及小尺寸的密度不均匀——密度的随机起伏。由击波、附面层异常增大、瑞利加热等引起的大尺度非线性密度不均匀将使光束发散;密度的紊流起伏则使输出口径内相位起伏而造成远场强度的下降。这两种现象均需要避免。以 CO 电激励气动激光器的实际工作条件为例进行的计算表明,良好的激光方向性(近衍射极限)要求喷管提供均匀、平直而且紊流度小于额定值($\sim 3\%$)的超音速气流。

为此,喷管亚音速段采用了复变函数理论的计算方法,可保证整个壁面处自始至终不出逆压梯度,不易形成附面层分离而导致气流的紊乱。超音速段核心流采用 A_{kin} 方法作计算,即认为气流由喉道处马赫数为1的平行均匀流膨胀为源流,由此可解析求出过渡区曲线坐标。考虑到实际气体有粘性及热传导,对壁面作附面层修正。因为在所考虑的小尺寸喷管的场合,雷诺数 $\leq 10^6$,故认为转换在尾部实现,而喷管型线可按层流附面层理论加以修正。我们采用的是数值积分方法,即数值求解流函数 f 所满足的五阶微分方程的边界值问题,进而数值积分得到位移厚度,在涉及壁温的时候,采用了合理的简化,指出这种简化所带来的偏差是很小的。

基于以上理论编制了适用于任意参数的电子计算机程序,可直接算出程控自动机床的加工指令,作为一个例子,给出了计算所得 CO 电气动激光器的喷管实际型线。

一个紧凑的高效率 TEACO_2 激光器

中国科学院吉林应用化学研究所 郭川 马莹 侯曜武 宋丕莹 于华

为了开展激光化学和红外激光光谱方面的研究工作,我们设计制造了一台简单而紧凑的 TEACO_2 激光器。因为采用了自制的平板低感电容器和紧凑连接,降低了主放电回路的电抗,提高了泵浦速率,从而增加了激光输出。能量转化效率最高达15%。

整机包括激励电路、激光管、谐振腔、高压电源和充气排气系统。

高压脉冲由电容器和电感器组成的 LC 倍压电路产生。平板电容器与激光管电极紧凑连接构成主放电回路。平板电容器的容量为0.023微法。高压脉冲形成电路与主放电回路用一根电缆较远距离连接。

激光管外壳采用硬质聚氯乙烯管,管长1米,直径190毫米,壁厚10毫米,管子两端焊接法兰。电极近似罗可夫斯基形,在阳极电极上开4条平行于光轴的槽,槽内安装预电离金属丝,金属丝插入直径3.5毫米