

无 He 横流 CO₂ 激光器散热器性能分析

陈培锋 丘军林 龚志伟 唐宗化 陈义红 陈涛

(华中理工大学激光所, 武汉, 430074)

摘要: 本文分析了无 He 横流 CO₂ 激光器散热器传热性能, 计算结果与实验吻合很好。

The performance analysis of radiator for transverse flow He-free CO₂ laser

Chen Peifeng, Qiu Junlin, Gong Zhwei, Tang Zonghua, Chen Yihong, Chen Tao

(Laser Institute HUST)

Abstract: Based on the analysis of heat conductivity of radiator, we design a new radiator for TF He-free CO₂ laser. The experimental results are consistent with theoretical analysis satisfactorily.

一、引言

在横流 CO₂ 激光器中, 注入激光器的功率只有大约 15% 作为激光输出, 其余 85% 则需要由冷却系统的散热器排出激光器外。由此可见, 散热器的性能对于激光器整体性能的影响是很大的。散热器散热面积不足, 则激光器内气体温度上升, 发光效率降低, 放电区起弧; 散热面积过大, 则会产生很大的风阻, 降低风速, 激光器同样无法正常工作。因此, 散热面积存在一个最佳值。这一最佳值与激光器的注入功率、发光效率、风机效率、气体成分等许多因素有关。精确地求出这一最佳值是一个很复杂的问题。本文针对我所研制的无 He 横流 CO₂ 激光器的散热器散热性能, 给出一个较精确的分析, 以使我们求最佳散热面积时有所依据。

二、模型及参量

我所研制的无 He CO₂ 激光器的气压比最佳值为 CO₂ : N₂ : Ar = 1.5 : 10 : 10, 总气压为 60 Torr。经过分析比较, 在各种形式的散热器中, 以翅片圆管式散热器性能较佳。翅片圆管式的散热器的翅片间距为 2mm, 翅片厚度 $t_f = 0.2\text{mm}$, 圆管直径 $\varnothing = 10\text{mm}$, 翅片大小为 25mm × 25mm, 圆管壁厚 1mm。翅片材料为金属铝, 圆管材料为紫铜。

散热器进口处气体温度为 80℃, 出口处气体温度为 10℃, 平均温度 $T = 45^\circ\text{C} = 318\text{K}$ 。

放电区风速为 30m/s。放电区的面积为 $1.25\text{m} \times 0.047\text{m} = 0.057\text{m}^2$ 。

以上是进行计算的依据。

三、计算传热系数

首先, 我们必须求出气体的一些热力学参数, 如粘性系数和定压比热等。由于气体的压力很低, 因此, 可视为理想气体。气体的相对容积成分为

$$\tau_{\text{CO}_2} = P_{\text{CO}_2} / P_{\text{总}} = 1.5 / 21.5 = 0.07, \quad \tau_{\text{N}_2} = \tau_{\text{Ar}} = 0.47$$

混合气体的折合分子量为:

$$M = \sum r_i M_i = 34.7$$

相应的气体常数为:

$$R = 239.6 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

混合气体的密度为:

$$\rho = P/RT = 0.13 \text{ kg/m}^3$$

在上述条件下,参阅气体的各种参数可以求得^[1,4]:

混合气体的粘性系数

$$\mu_c = \sum r_i \mu_i = 2.11 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 = 0.76 \text{ kg/m} \cdot \text{h}$$

混合气体的导热系数

$$\lambda_c = \sum r_i \lambda_i = 0.0195 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

混合气体的定压比热

$$c_{p,m} = \sum g_i c_{p,i} = 0.74 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

式中, $g_i = r_i M_i / M$ 为相对质量成分。

现在,我们可以着手计算传热系数了。首先,计算管外壁的放热系数^[3]:

$$h_0 = 0.251 \times (D_e G_{\max} / \mu)^{0.67} \times (S_1 - D_e)^{-0.2} / D_e^{-0.2} \times [(S_1 - D_e) / Y + 1]^{0.2} \\ \times [(S_1 - D_e) / (S_2 - D_e)]^{0.4} \times \lambda / D_e \times (c_p \mu / \lambda)^{1/3}$$

式中, $D_e = \left[A_r \cdot D_r + A_f \sqrt{A_f / (2n_f)} \right] / (A_r + A_f)$ 为当量直径; D_r 为散热管直径; n_f 为散

热管单位长度上的翅片数; A_r 为散热管单位长度中无翅片部分表面积; A_f 为散热管单位长度上的翅片表面积; Y 为翅片间隙; S_1, S_2, S_3 为散热管排列参数, 如图所示。 $S_1 = \sqrt{2} \times 25 \text{ mm}$, $S_2 = 25 \text{ mm}$; G_{\max} 为通过管排之间的流体的最大质量流率。因为通过散热器的总质量流率等于通过放电区的质量流率, 由放电区迎风面积可推得 G_{\max} 。

将以上所求得的所有参数代入即可求得:

$$h_0 = 4.95 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C} \\ = 20.7 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

因为管内壁的放热系数 h_i 非常大, 可以忽略、

不计其影响, 则散热器的总放热系数为^[3]:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_0} + r_0 + r_f + \frac{A_0}{A_m} \cdot \frac{t_f}{\lambda} + r_i \frac{A_0}{A_i} + \frac{1}{h_i} \cdot \frac{A_0}{A_i}$$

式中, $A_0 = A_r + A_f$; A_i 为每米圆管内表面积; $A_m = (A_0 + A_i) / 2$; r_f 为翅片热阻, $r_f = (1/h_0 + r_0) \{ (1 - E_f) / [E_f + (A_r/A_f)] \}$; r_0 为管外污染系数; t_f 为翅片厚度, r_i 为管内污染系数; E_f 为翅片效率。

查表^[2,3]获得所需参数, 即可求得:

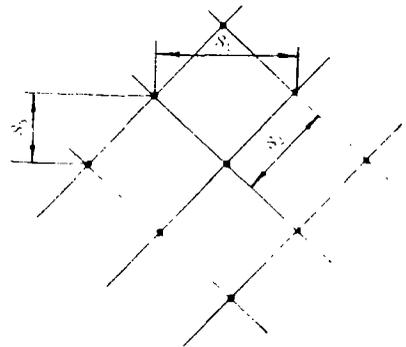


Fig. The structure of the radiator

$$K = 3.36 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 14.7 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

四、结 论

1. 通过一系列分析,我们求得了无 He 横流 CO₂ 激光器中翅片圆管式散热器的传热系数为: $K = 3.36 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 14.7 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 。根据激光器实际注入的功率,实际所使用的散热器面积和制冷工质的温度,可以反推得实际的传热系数为: $K = 12.2 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 。这与理论值已非常接近。考虑到污染系数的随机性,这一误差是可以理解的。

2. 在理论计算和实际工作中都发现污染系数对传热系数的影响非常大,因此,激光器内应保持清洁,同时,散热器在安装前应全面清洗。

3. 由上面计算可见 K 主要由 h_0 决定,而 $h_0 \propto G_{\max}^{0.67}$, 因此, K 与 G_{\max} 有很大关系。风速高,则 K 大,相应的就可以适当减小散热器面积;而减小散热器面积,又有利于风速的提高,因此,散热器的最佳面积要由具体情况决定。

4. 上面的计算主要针对无 He 横流激光器,实际上,代入其它激光器的气体组分,可以很容易地求出其散热器的热工特性。

参 考 文 献

- [1] Cebeci T, Brabshaw P, 朱自强等译. 对流传热的物理特性的计算. 北京: 清华大学出版社, 1988
- [2] 尾花英郎, 徐中权译. 热交换器设计手册. 北京: 石油工业出版社, 1982
- [3] 朱聘冠. 热交换器原理及计算. 北京: 清华大学出版社, 1987
- [4] 马庆芳, 方荣生, 项立成 *et al.* 实用热物理性质手册. 北京: 中国农业机械出版社, 1986

收稿日期: 1993 年 4 月 28 日。

· 简 讯 ·

36fs 脉冲可调谐自锁模掺铬镁橄榄石激光器

纽约市立大学超快光谱和激光研究所的研究者们报导了一种稳定的 36fs 脉冲自锁模掺铬镁橄榄石激光器。12cm 长布儒斯特切割镁橄榄石晶体是由工作在 1064nm 范围的连续功率 5.3W 的主动锁模 Nd:YAG 激光器泵浦。当产生的脉冲小于 50fs 时,可调谐输出功率为 45mW。受谐振腔镀膜的限制,介质膜层光谱范围仅在 1240nm~1270nm 之间。

用镁橄榄石激光器产生超短脉冲的方法类似于用掺钛蓝宝石激光器。由于高阶色散效应的存在,用最佳化内腔棱镜缩窄脉冲宽度。镁橄榄石激光器在 1130nm~1367nm 之间可调谐。市立大学的 Robert R. Alfano 教授认为二次谐波振荡器可以产生从 565nm~683nm 可调谐辐射,可用于医学应用,例如光动力学的治疗。

译自 L F World, 1993; 29(7): 13 於祖兰 译 巩马理 校