

# 10W连续波Ar<sup>+</sup>激光器的机械设计

顾惠廉

摘要: 本文介绍10W连续波Ar<sup>+</sup>激光器的磁场参数的计算及机械设计

## 一、前言

Ar<sup>+</sup>激光器具有可见光谱输出功率大、波长多样、光束发射方向性好、谱线单色性好、相干性好等特点,成为连续波可调谐染料激光器的泵浦源,在激光全息照相和全息光栅等领域也获得了广泛的应用。10W连续波Ar<sup>+</sup>激光器是连续波可调谐染料激光器的配套器件。

10W连续波Ar<sup>+</sup>激光器需要较大的输出功率、工作稳定可靠,因而对放电管磁场和谐振腔的机械稳定性提出了一定的要求。我们参考国内外经验,结合实际条件,在结构设计、基材选择、处理工艺和辅助工装夹具等方面做了一些工作。

## 二、环形染料激光器泵浦源10W连续波Ar<sup>+</sup>激光器磁场的设计

10W连续波Ar<sup>+</sup>激光器提出磁场的要求:在1m螺线管内轴向磁场强度  $H = 1000\text{Gs}$ , 通水冷却。

螺线管磁场机械结构尺寸如下:

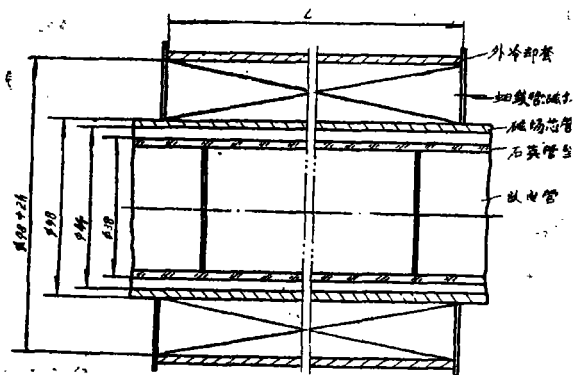


图1

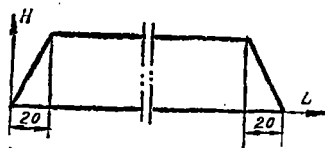


图2

磁场芯管壁厚2mm,通水层2mm是由磁场承重和冷却效果考虑决定。放电管结构由Ar<sup>+</sup>激光器总体决定。这样磁场线包内径(即磁场芯管外径)为 $\phi 48\text{mm}$ 。

关于螺线管长度 $L$ ,从高斯计实际测定一些磁场线包,发现轴向磁场在起始和终端有起落现象,在距绕组端头20mm处轴向磁场强度呈线性变化,见图2。为了确保Ar<sup>+</sup>激光器放电管在均匀磁场中工作,建议磁场螺线管长度选得比1m稍长一些,即 $L = 1.04\text{m}$ 。

1. 由  $H$ 、 $L$  决定  $IW$  安匝。

从公式

$$0.4\pi IW = HL \quad (1)$$

$H$  取高斯为单位,  $L$  取 cm 为单位,

$I$  取安培为单位,  $W$  为匝数。

求得

$$IW = \frac{HL}{0.4\pi} = \frac{10^3 \times 104}{0.4\pi} = 82802.5 \text{ 安匝}$$

2. 选取电流密度  $j$  和漆包线铜芯直径  $d_0$ 。

在小直径 ( $< 4\text{mm}$ ) 导线上, 认为电流密度在整个截面上是均匀的。导线上通过的电流

$$I = jS \quad (2)$$

若截面为聚脂漆包线圆截面, 则

$$S = \frac{\pi d_0^2}{4} \quad (3)$$

$d_0$  为漆包线铜芯直径

$$I = \frac{\pi}{4} j d_0^2 \quad (4)$$

$j$  取  $\text{A}/\text{mm}^2$  为单位

$d_0$  取  $\text{mm}$  为单位

一般来说, 选择  $j$  值大一些, 可减小和减轻磁场的尺寸和重量, 但必须有良好的通水冷却才能安全使用。在我们目前实验室通水冷却条件下, 合理大的  $j$  值是通过试验决定的。

试验磁场漆包线外皮直径  $d_{\text{外}} = 0.74\text{mm}$ , 铜芯直径  $d_0 = 0.67\text{mm}$ , 10层, 总匝数 10000 匝, 如图 3。在磁场线包  $A$ 、 $B$  两端各紧贴一个温度计, 通水通电试验, 结果如表 1。

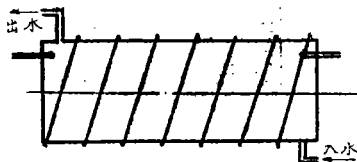


图 3

断电后, 测得水温下降为  $12^\circ\text{C}$

试验说明在 3 小时内 ( $\text{Ar}^+$  激光器一般连续工作时间) 通水冷却条件下, 电压升至  $350 \sim 390\text{V}$ , 电流达到  $4.5\text{A}$ , 磁场线包达到热平衡, 温升维持在  $70^\circ\text{C}$  左右, 使用是安全可靠的。确定这个电流密度  $j$  为我们设计磁场采用的  $j$  值, 即为:

$$j = I/S = 4.5\text{A} / \frac{\pi}{4} d_0^2 = 12.76\text{A}/\text{mm}^2$$

绕制磁场线包是在机械加工车床上用手控绕制的, 根据多次绕制的经验, 漆包线直径  $d_{\text{外}}$  选在  $0.6 \sim 1.5\text{mm}$  范围内比较合适, 便于制作。最后根据体小量轻, 选定  $d_{\text{外}} = 0.8\text{mm}$ 、 $d_0 = 0.7^4\text{mm}$  的漆包线。

3. 确定磁场电流和匝数

$$\text{最大磁场电流 } I = \frac{\pi}{4} j d_0^2 = 5.5\text{A}$$

$$W = \frac{HL}{0.4\pi I} = 15096 \text{ 匝}$$

表 1

通水通电 时间(min)	电 压(V)	电 流(A)	A 处温度(℃)	B 处温度(℃)	水 温(℃)
0	350	4.3	17	17	14
15	372	4.2	64	61	14
30	370	4.2	68	64	14
45	365	4.2	68	64	14
60	367	4.2	68	64	14
75	365	4.2	68	64	14
90	370	4.2	69	65	14
105	368	4.2	68	66	14
120	372	4.2	68	67	14
135	375	4.2	70	68	14
150	380	4.4	72	68	14
165	382	4.5	72	69	14
180	390	4.5	72	69	14

4. 磁场线包层数 $n$ 和高度 $h$

$$n = \frac{Wd_{外}}{L} \approx 12 \text{层}$$

$$h = n \cdot d_{外} \approx 9.6 \text{mm}$$

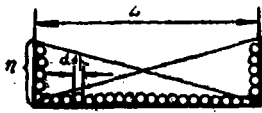


图 4

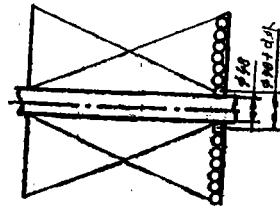


图 5

5. 磁场漆包线长度  $l$  (见图 5)

$$\text{第一层线长 } l_1 = \frac{L\pi}{d_{外}} (48 + d_{外})$$

$$\text{第二层线长 } l_2 = \frac{L\pi}{d_{外}} (48 + 3d_{外})$$

⋮

$$\text{第十二层线长 } l_{12} = \frac{L\pi}{d_{外}} (48 + 23d_{外})$$

$$\text{总长 } l = \sum_{i=1}^{12} l_i = \frac{L\pi}{d_{外}} (48 \times 12 + 12^2 d_{外}) \approx 2.82 \text{km}$$

6. 求磁场线包电阻  $R$

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1.55 \times 10^{-6} \Omega \text{mm} \times \frac{2.82 \text{km}}{\frac{\pi}{4} (0.74 \text{mm})^2} = 101.7 \Omega$$

由于磁场绕线不可能充满到图5所示理想状况, 所以实测磁场线包电阻经常在 $90\Omega$ 左右。

### 7. 电源功率 $P$

$$P = I^2 R = 2.7 \text{ kW}$$

### 8. 磁场重量 $Q$

磁场漆包线重量 $Q_1$

$$\begin{aligned} Q_1 &= d_{cu} \times l \times s \\ &= 8.89 \text{ gf/cm}^3 \times 2.82 \text{ km} \times \frac{\pi}{4} (0.74)^2 \text{ mm}^2 \\ &= 10.77 \text{ kg} \end{aligned}$$

磁场芯管是铝材, 其重量为 $Q_2$

$$\begin{aligned} Q_2 &= d_{Al} \times L \times \frac{\pi}{4} (d_{外Al}^2 - d_{内Al}^2) \\ &= 2.7 \text{ gf/cm}^3 \times 1.04 \text{ m} \times \frac{\pi}{4} (48^2 - 44^2) \text{ mm}^2 \\ &= 0.811 \text{ kg} \end{aligned}$$

磁场重量

$$Q = 10.77 + 0.811 = 11.5 \text{ kg}$$

设计制作的磁场, 经过长期使用, 一般能使 $\text{Ar}^+$ 激光器获得最佳磁场, 满足 $10 \text{ W Ar}^+$ 激光器使用要求, 因而 $\text{Ar}^+$ 激光器也满足了环形染料激光器的使用要求。

## 三、微微秒染料激光器泵浦源 $\text{Ar}^+$ 激光器磁场的设计

微微秒染料激光器要求锁模 $\text{Ar}^+$ 激光器输出功率较高(一般在 $8 \text{ W}$ 以上), 放电管长度要相应增长, 因此对磁场提出要求: 磁场长度增长为 $1240 \text{ mm}$ , 轴向磁场强度仍为 $H = 1000 \text{ G}$ 。

根据  $IW = \frac{HL}{0.4\pi}$  算得锁模 $\text{Ar}^+$ 激光器磁场的安匝数为

$$IW = \frac{1000 \times 124}{0.4\pi} = 98726 \text{ 安匝}$$

磁场电源 $500 \text{ V } 3000 \text{ W}$ , 选定参数的工作是进行一系列计算, 以 $I$ 为 $5 \text{ A}$ ,  $4.5 \text{ A}$ ,  $4 \text{ A}$ ,  $3.5 \text{ A}$ 和变换线径 $d_{外}$ 、 $d_0$ 代入, 最后获得如下一组数据可用。

从表2中可看出 $I = 4 \text{ A}$ 时采用第三列数据可满足锁模 $\text{Ar}^+$ 激光器提出的安匝数和电源的要求。

它的磁场线包重量 $Q_1$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 8.89 \text{ gf/cm}^3 \times 4.8 \text{ km} \times \frac{\pi}{4} (0.80)^2 \text{ mm}^2 \\ &= 21.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

表 2

参数及单位	$W = 24681.5 \text{ 匝}$			
	$I = 4 \text{ A}$			
$d_{\text{外}}(\text{mm})$	0.75	0.83	0.9	1
$d_0(\text{mm})$	0.67	0.74	0.80	0.9
$j(\text{A}/\text{mm}^2)$	11.35	9.3	7.96	6.29
$n$	15	16	18	20
$h(\text{mm})$	11.175	13.695	16.11	19.9
$l(\text{km})$	4.6	4.6	4.8	5.0
$R(\Omega)$	202	165	121	129
$P(\text{W})$	3232	2640	1936	2064

其磁场芯管重量 $Q_2$

$$Q_2 = 2.7 \text{ gf}/\text{cm}^3 \times 1.240 \text{ m} \times \frac{\pi}{4} (48^2 - 44^2) \text{ mm}^2$$

$$= 0.967 \text{ kg}$$

总重量  $Q = Q_1 + Q_2$

$$= 22.4 \text{ kg}$$

#### 四、腔长稳定部份的设计

两块腔镜分别固定在两块方形调节板上，调节板悬空，通过拉簧和三个调节螺钉顶在三根腔长稳定棒上（见图 6）。由于放电管和磁场线圈发热量大，使激光器内温度场不均匀，零件热膨胀差异，引起腔长发生变化。为克服温度不均匀，使不均匀温度场迅速均衡化，在设计上采取以下措施。

1. 采用热膨胀系数小的石英管作为腔长稳定棒。

石英膨胀系数 $\alpha = 5 \times 10^{-7}/\text{C}$ ，是常用金属和非金属材料中 $\alpha$ 值最小的。选用管状则比实心棒抗弯性能好。Ar<sup>+</sup>激光器腔长决定石英管长为1.85m（见图 7）。这样长的石英管在生成时是很难达到均匀正直的，所以由玻璃细工把两根预先选直的短石英管和两个一端滚边的石

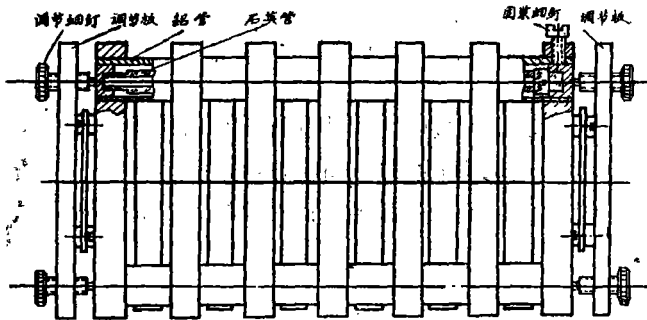


图 6

石英管连接成上述长度，并修直。这样的石英管套在保护承重铝管内，石英管滚边两端套上殷钢保护套，便于螺钉顶上不碎。有一端（如图右端）石英管和殷钢套胶接成一体，并由旁侧螺钉顶殷钢套固紧在铝管上，此端可看成为整个长石英管的固定端。石英管另一滚边端和殷钢套之间是滑动的，使温度变化时石英管伸缩可沿着铝管内壁滑动。

## 2. 腔长稳定架的设计

腔长稳定架由两端各一块方形固定板和五块L形中间支承板构成，三根铝管穿在这七块板上。三铝管之间以六块L形导热板焊接相连通（见图8）。它们都是铝材，一旦温度场热影响

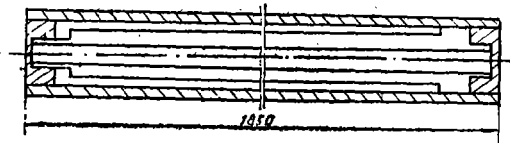


图7

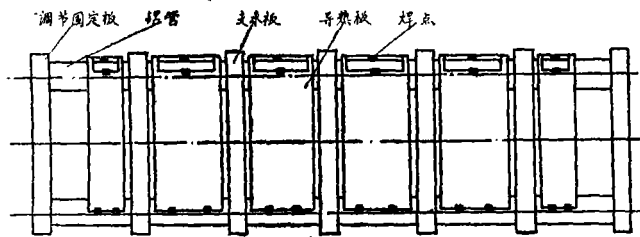


图8

不一致，通过铝迅速传热使整个腔长稳定架温度达到一致。腔长稳定架长度1.86m，导热板厚2mm，铝材焊接采用氩弧焊。在氩弧焊接时容易使铝管产生大弯曲变形，严重时石英棒可能穿不过去。解决这个问题，在工艺措施上采取一系列考虑保证。设计了一个腔长稳定架的焊接架，把七块板固定在此架上，焊接前穿上铝管，并为了防止铝管变形在铝管中焊前插入三根实心铁棒。在焊接中采取焊点连接，逐点少时焊接，多时冷却，防止局部过热。焊完抽出铁棒，插入石英管，检查能否顺利装入。最后整个腔长稳定架送入炉中进行时效处理，消除焊接应力，确保稳定。

## 五、整机稳定底座的设计

底座是铸铁的，高35mm，长1970mm，宽240mm，呈狭长体。筋厚12mm，呈方网状，增加刚度。使底座稳定主要是采取铸态时效和粗加工后时效，两次时效处理。

# The Mechanical Design of a 10W Continuous Wave Ar<sup>+</sup> Laser

Gu Huilian

## Abstract

This paper described calculations of the magnetic field parameters and the mechanical design of a 10W continuous wave Ar<sup>+</sup> laser.