

# 铝铜组合式散热器在激光器冷却系统中的应用研究

张逸民<sup>1</sup>, 银庆<sup>2</sup>, 高光波<sup>1</sup>

(1. 中国航空制造技术研究院, 北京 100024;  
2. 智通电子有限公司, 深圳 518110)

**[摘要]** 小型化、轻量化激光器中的泵浦模块冷却系统需进行减重设计, 提出了一种铝铜组合式散热器结合热电制冷片的冷却方案, 通过 Flotherm 软件对散热器进行优化设计, 然后以实际使用环境对冷却系统进行验证。试验表明, 设计的冷却方案满足激光器的实际工作要求, 完成了激光器泵浦模块冷却系统的减重设计需求。

**关键词:** 散热器; Flotherm 软件; 热电制冷片; 二极管泵浦; 固体激光器

## Application of Al & Cu Combined Heat Sink to Laser Cooling System

ZHANG Yimin<sup>1</sup>, YIN Qing<sup>2</sup>, GAO Guangbo<sup>1</sup>

(1. AVIC Manufacturing Technology Institute, Beijing 100024, China;  
2. Zeta Electronics Co., Ltd., Shenzhen 518110, China)

**[ABSTRACT]** In order to obtain a miniaturization and light weight solid-state laser, the diode pump cooling system need to reduce its weight, a solution based on Al & Cu combined heat sink with thermoelectric coolers is proposed. The software Flotherm is used to optimize the design of heat sink, and then verify the cooling system in the actual use of the environment. The experimental results show that the designed scheme meets the requirements of solid-state laser cooling demand, the weight loss design of the pump module cooling system has been carried out.

**Keywords:** Heat sink; Flotherm; Thermoelectric cooler; Diode pump; Solid-state laser

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2018.04.092

激光器的功率重量比是衡量激光器技术发展水平的重要指标之一。随着二极管泵浦固体激光技术的发展, 激光泵浦效率大幅度提高的同时, 器件体积变得更小、重量变得更轻, 为二极管泵浦固体激光器的小型化、轻量化设计提供了有利条件<sup>[1]</sup>。在二极管泵浦固体激光器中, 激光器冷却系统的重量占整个激光器重量的比率较大, 而冷却系统设计的好坏直接影响激光光束质量、激光效率、工作可靠性等指标<sup>[2]</sup>。所以, 激光器冷却系统的轻量化设计成为激光器研究的重点之一。为满足某型激光器冷却系统轻量化设计的需求, 本文提出了一种铝铜组合式散热器结合热电制冷片的冷却方案, 通过 Flotherm 软件对散热器进行优化设计, 开展了铝铜组合式散热器在激光器冷却系统中的应用研究。

### 1 冷却系统方案设计

目前激光器电光转换效率 50% 左右, 实际应用中光光转换效率 20% 左右, 也就是说激光器注入的电功率的 90% 左右将转化为热量沉积在激光器内, 这部分

热量如果不能及时通过冷却系统带走, 将导致激光器的迅速温升。温度升高导致激光器阈值电流升高、光输出功率下降及激光波长发生漂移, 最终导致激光光束质量变差。因此, 激光器冷却系统的任务是在热源至最终散热环境之间提供低热阻通道, 将激光器内部沉积的热量迅速消散, 以满足激光器温控要求<sup>[3]</sup>。

典型的二极管激光器冷却方案是采取热电制冷片 + 强制风冷的制冷方式, 半导体制冷无机械运动、无噪声、无污染、体积小、可小型化、可靠性高、寿命长、制冷迅速、冷量调节范围宽及冷热转换快等特点。强制风冷是通过增加风扇使空气在设计的风道中快速流动从而带走设备的热量, 是制冷系统热端散热最常用的一种冷却方式<sup>[4-5]</sup>。典型的二极管激光器冷却系统方案结构如图 1 所示。

### 2 冷却系统热负载计算

根据某型激光器的指标要求, 激光器温控要求  $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 、也就是说在环境温度  $-40 \sim 50 ^\circ\text{C}$  之间保证

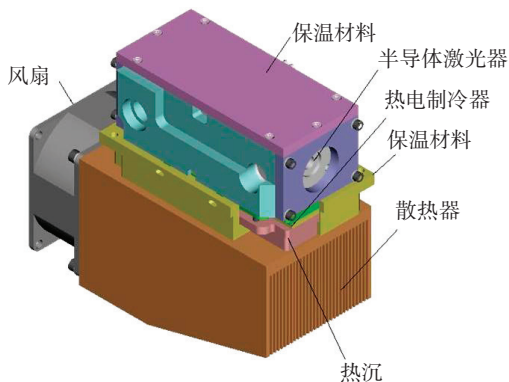


图1 典型二极管激光器冷却系统方案示意图  
Fig.1 Schematic diagram of typical diode laser cooling system

激光器 ( $25 \pm 1$ ) °C 的工作温度及激光器 20Hz 能够连续工作 1min。本文设计的激光器工作电压为 140V, 工作电流为 60A、脉宽为 300 $\mu$ s、工作重复频为 20Hz。

根据以上参数, 考虑光光及电光转换效率, 可以计算出激光器的最大热负载大于 45W, 制冷片及热端散热的设计计算可以根据文献 [3] 所介绍的试验结论进行初步选择。由图 2 可知, 2 只制冷片环境温度 50° 时最大制冷功率约为 42W, 不能满足 45W 热负载的散热需求, 3 只制冷片方可满足激光器的 45W 制冷需求。

当激光器系统所需的制冷功率为 45W 时, 3 只制冷片中每个芯片冷面功率为 15W, 假设半导体制冷片热端与冷端温差  $d_T=50$  °C, 根据制冷片 9500/199/100 B 的性能曲线(图 3 (a)) 制冷功率与电流之间的关系可知, 温差  $d_T=50$  °C、制冷功率 15W 时对应的电流约 4A, 由图 3 (b) 可知, 4A 电流对应的热阻功率约为 50W。综上所述, 3 只 9500/199/100 B 型制冷片热阻功率为  $50W \times 3=150W$ 。

### 3 散热器设计

散热器热阻的大小直接影响半导体的结温。散热器的热阻取决于散热器的结构形式、尺寸大小和所用材料<sup>[6-7]</sup>。肋化系数(基板面积与肋片面积之比)增加, 热阻降低, 耗散功率有所增加, 但尺寸一定时, 肋片数量增加, 肋间距减小, 由于流体黏滞作用导热效果降低<sup>[8-9]</sup>。因此, 应根据具体的冷却系统的结构形式对散热器进行优化设计, 使其满足散热要求的同时尽可能获取质量最轻的散热器。在无减重要求时, 散热器的基板及鳍片材料通常选用高导热系数的无氧铜。为了实现减重设计, 本文提出了铝铜组合式散热器的设计方案。基板与鳍片的材料选定方案包括铝基板+铝鳍片、铜基板+铜鳍片、铜基板+铝鳍片和铝基板+铜鳍片 4 种方案。本文通过 Flotherm 软件对散热器进行优化设计, 并比较 4 种

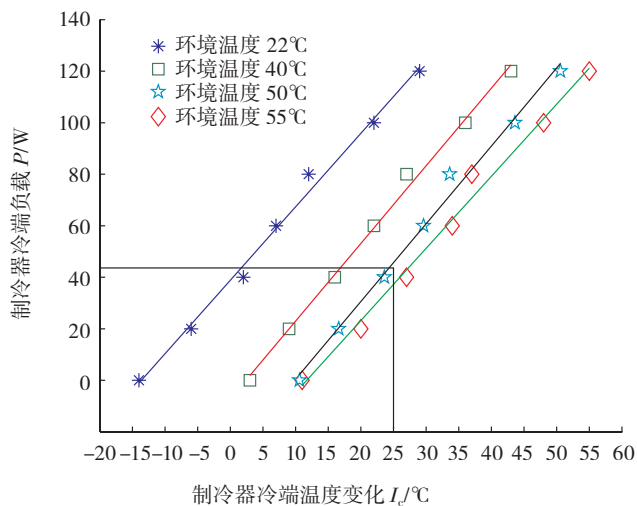
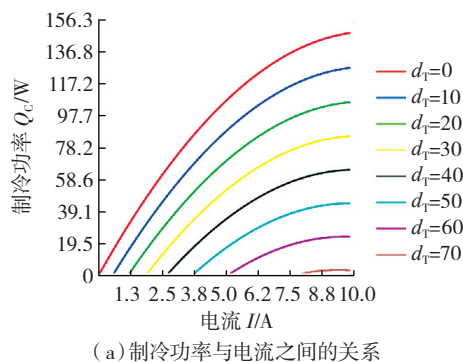
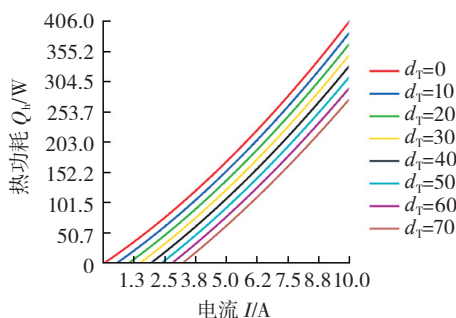


图2 制冷片冷端温度随负载功率变化关系  
Fig.2 Relationship between cold junction temperature of thermoelectric cooler and load power



(a) 制冷功率与电流之间的关系



(b) 制冷片热阻功率与电流之间的关系

图3 制冷片9500/199/100 B的性能曲线  
Fig.3 Performance curve of 9500/199/100 B thermoelectric cooler

方案进行热设计效果, 最终选定散热器的设计方案。

#### 3.1 散热器优化设计

散热器的设计就是来确定散热器基板的长、宽、厚度, 肋片厚度, 肋片间距以及材料等参数, 从而得出众多不同的组合, 散热器的优化则是在众多组合中得出一组最优的组合<sup>[10]</sup>。

Flotherm 软件的优化过程分为：设定参数、建立计算模型、设置优化变量、求解计算和结果分析。

3.1.1 设定参数及模型建立

根据激光器冷却系统的结构形式，散热器的外形尺寸确定为 90mm × 80mm × 120mm。由于制冷片与散热器之间已由铜沉转接，故基板厚度选定为 5mm，风扇选用 AVC 的 8038 型，参数为风量 102CFM，风压 256.4Pa。散热器的仿真模型如图 4 所示。

3.1.2 优化变量

由于散热器的外形尺寸已经选定，只需对鳍片厚度和数量进行优化设计，设定散热器的优化变量和取值范围(见表 1)。

3.1.3 优化计算及优化

通过 Flotherm 的优化计算，可得到鳍片厚度和数量两变量取不同值的求解结果。以最低系统温度为目标函数进行优化计算，经过 200 次循环后，系统得到最优值，优化计算生成 36 组数据，数据如表 2~5 所示。

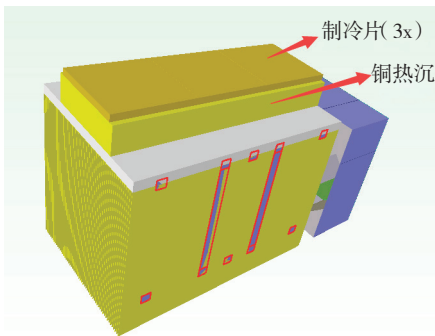


图4 散热器的仿真模型

Fig.4 Simulation model of heat sink

表1 变量参数表

参数	鳍片厚度 /mm	鳍片数量 / 片
最大值	0.3	76
最小值	0.2	44

表2 方案1：铝基板+铝鳍片最低温度迭代数据

鳍片数量 / 片	制冷片 1 温度 /℃	制冷片 2 温度 /℃	制冷片 3 温度 /℃
60	58.03	58.85	59.79
56	58.00	58.76	59.65
53	58.02	58.74	59.61
48	58.18	58.83	59.64
44	58.32	58.93	59.72
40	58.50	59.06	59.81
64	58.14	59.04	60.01
68	58.36	59.35	60.37
72	58.55	59.62	60.69

表3 方案2：铜基板+铜鳍片最低温度迭代数据

鳍片数量 / 片	制冷片 1 温度 /℃	制冷片 2 温度 /℃	制冷片 3 温度 /℃
60	57.25	57.99	58.73
56	57.13	57.80	58.51
53	57.11	57.75	58.45
48	57.11	57.68	58.34
44	57.15	57.68	58.31
40	57.28	57.77	58.38
64	57.49	58.29	59.05
68	57.90	58.75	59.54
72	58.20	59.12	59.93

表4 方案3：铝基板+铜鳍片最低温度迭代数据

鳍片数量 / 片	制冷片 1 温度 /℃	制冷片 2 温度 /℃	制冷片 3 温度 /℃
60	57.48	58.23	59.04
56	57.36	58.05	58.82
53	57.34	58.00	58.75
48	57.36	57.95	58.66
44	57.41	58.03	58.69
40	57.53	58.03	58.69
64	57.68	58.49	59.31
68	58.08	58.95	59.80
72	58.34	59.27	60.14

表5 方案4：铜基板+铝鳍片最低温度迭代数据

鳍片数量 / 片	制冷片 1 温度 /℃	制冷片 2 温度 /℃	制冷片 3 温度 /℃
60	57.82	58.61	59.46
56	57.78	58.50	59.31
53	57.80	58.49	59.27
48	57.93	58.55	59.29
44	58.08	58.65	59.36
40	58.25	58.77	59.45
64	57.94	58.79	59.68
68	58.18	59.12	60.05
72	58.38	59.40	60.37

综上所述数据，4 种方案鳍片数量与温度关系曲线如图 5 所示。

以最低温度为目标，从迭代结果可知：方案 2 的材料搭配为最低温度优化，而铝铜组合式散热器的设计方案 3 的散热效果与方案 2 相差不大。此外，由图 5 可知，方案 1 与方案 2 之间的散热效果最大温度温差为 1.3℃。从仿真结果可知，材料选型对散热效果的影响并不大。

4 种方案的重量分别为：方案 1 为 0.578kg，方案 2 为 1.87kg，方案 3 为 1.575kg，方案 4 为 0.863kg。

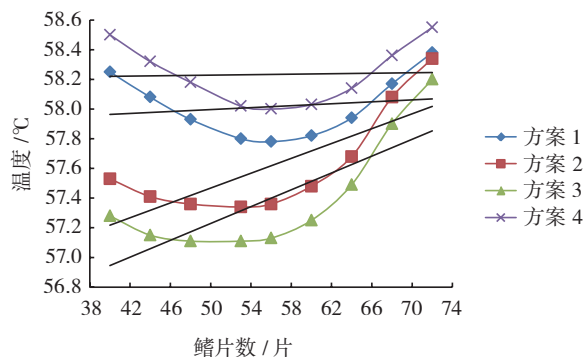


图5 鳍片数量与温度曲线关系

Fig.5 Relationship between fin number of heat sink and temperature curve

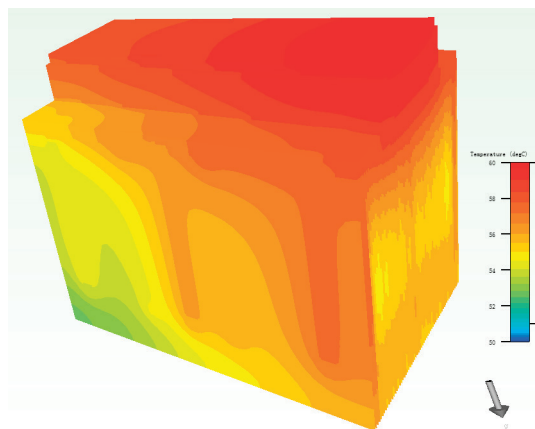


图6 环境温度50℃, 散热温度分布云图

Fig.6 Temperature distribution nephogram in 50°C ambient temperature

为满足激光器冷却系统的减重要求,综合散热器的散热效果,散热器结构设计最终采用方案4为最优选择,鳍片数目选定为54片。由于散热器鳍片尺寸较高,为保证鳍片强度,鳍片厚度采用0.30mm。

### 3.2 仿真结果讨论

使用Flotherm软件,对方案4的散热器在环境温度为50℃时的散热效果进行分析。散热器的散热温度分布云图如图6所示。

由图6可知,散热器底板温度为58.02℃,考虑铜沉与散热器之间导热硅脂及铜铅使用锡膏焊接连接时产生的温升,则制冷片热端最高温度约为58.74℃。制冷片热端与冷端温差 $d_T=23.74℃ < 50℃$ 。因此,在环境温度50℃下,激光器冷却系统制冷功率是足够的。

## 4 结论

依据上文优选的方案4将设计的散热器应用到某型激光器的冷却系统中,采用高低温箱模拟-40~50℃之间的环境温度进行实验验证。试验验证表明,优化后

的散热器可将激光器二极管泵浦模块控制在 $(25 \pm 1)℃$ 的工作温度,二极管激光器输出波长变化量可控制在0.3nm以内,满足了激光器的散热及减重要求。通过Flotherm软件对散热器优化的仿真数据和试验数据基本一致。

## 参考文献

- [1] 李晋闽. 高平均功率全固态激光器发展现状、趋势及应用[J]. 激光与光电子学进展, 2008, 45(7): 16-29.
- LI Jinmin. Development trend and application of high average power diode pumped lasers[J]. Laser & Ptoelectronics, 2008, 45(7): 16-29.
- [2] 陈桔. 散热方式影响半导体制冷效率的实验研究[J]. 实验科学与技术, 2005(4): 27-28.
- CHEN Ju. Discussion about influence of heat emanation way on efficiency of semiconductor component by experiment[J]. Experiment Science & Technology, 2005(4): 27-28.
- [3] 高光波, 郑四木. 热电制冷在激光器冷却系统中的应用[J]. 航空精密制造技术, 2012, 48(2): 46-49.
- GAO Guangbo, ZHENG Simu. Application of semiconductor refrigeration to laser cooling system[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2012, 48(2): 46-49.
- [4] 郑万烈, 许镇. 热电半导体制冷组件特性的实验研究[J]. 同济大学学报, 1990, 18(2): 211-218.
- ZHENG Wanlie, XU Zhen. Experimental study on characteristics of thermoelectric semiconductor refrigeration module[J]. Journal of Tongji University, 1990, 18(2): 211-218.
- [5] 白晓亮. 热电制冷的散热与热管散热器的设计[J]. 制冷, 1998, 65(4): 46-49.
- BAI Xiaoliang. Heat output of semiconductor-refrigeration and the design of heat-pipe-exchanger[J]. Refrigeration, 1998, 65(4): 46-49.
- [6] 赵焯爻. 电子设备热设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- ZHAO Dunshu. Thermal design of electronic equipment[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry Press, 2009.
- [7] 余建祖. 电子设备热设计及分析技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- YU Jianzu. Thermal design and analysis technology of electronic equipment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [8] 丁连芬, 译. 电子设备可靠性设计手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 1989.
- DING Lianfen, tran. Handbook of reliability design for electronic equipment[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 1992.
- [9] 赵臣炬, 张钰, 张言安. 基于ICEPAK的散热器优化设计[J]. 机械工程师, 2013(6): 124-126.
- ZHAO Chenxuan, ZHANG Yu, ZHNG Yan'an. The optimum thermal design of heat sink based on ICEPAK[J]. Mechanical Engineer, 2013(6): 124-126.

(下转第101页)