



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

# “冯如杯” 创意大赛论文

半导体对流式电脑散热系统

---

## 摘要

电脑的硬盘、CPU 和主板上的一些器件都会产生热量，高效散热能保证电脑正常运行，提高运行速度，减缓硬件老化。传统风扇散热系统效率不高、噪音大，半导体对流式电脑散热系统利用半导体冷端制冷技术和液体循环散热技术，旨在实现安全、高效散热。

关键词：电脑散热、半导体制冷、液体循环制冷、制冷性能

---

## Abstract

Computer hard disk and some components on CPU and motherboard all can produce heat, so that dissipating heat efficiently promises that computers can work normally, improving running speed and delaying the aging hardware. Traditional fan cooling system has low efficiency and serious noise, while semiconductor and convection type cooling system aims to dissipate heat safely and efficiently with Semiconductor refrigeration technology and Liquid circulation cooling system.

**Key words:** computer, heat yield, semiconductor, Liquid circulation

## 目录

引言 .....	2
1. 方案 .....	3
1.1 原理 .....	3
1.1.1 半导体制冷片的工作原理 .....	3
1.1.2 液体循环系统的工作原理 .....	4
1.2 具体结构图 .....	4
1.3 工作过程 .....	5
2. 数据计算 .....	6
2.1 半导体制冷系统 .....	6
2.2 液体循环制冷系统 .....	7
2.3 最佳制冷性能分析 .....	9
3. 材料类型及规格 .....	10
3.1 半导体制冷系统 .....	10
3.2 液体循环系统 .....	11
4. 可行性分析 .....	12
5. 方案优劣性分析 .....	13
6. 参考资料 .....	14

## 引言

电脑保养的一个重要方面就是电脑散热，散热有利于提高运行速度、延缓硬件老化，而现在常见的传统的风扇散热系统散热效率不高且噪音大。新型的对流式电脑散热系统是寻找优值系数大的半导体材料和散热效率高的液体，将半导体冷端制冷技术和液体循环散热技术结合到一起，在通电情况下，给电脑散热。近年来，随着科学技术的迅猛发展，半导体制冷器件的各个技术难题逐步攻破，使半导体制冷的优势重新显现出来，逐渐应用于许多小型家电、设备。半导体制冷技术相较风扇制冷系统最大的优点是能使温度很容易地低于环境温度，散热效率高。

## 1. 方案

### 1.1 原理

#### 1.1.1 半导体制冷片的工作原理

电流流过两种不同导体的界面时，将从外界吸收热量，或向外界放出热量。这就是帕尔帖效应。由帕尔帖效应产生的热流量称作帕尔帖热。

对帕尔帖效应的物理解释是：电荷载体在导体中运动形成电流。由于电荷载体在不同的材料中处于不同的能级，当它从高能级向低能级运动时，便释放出多余的能量；相反，从低能级向高能级运动时，从外界吸收能量。能量在两材料的交界面处以热的形式吸收或放出。

1837 年，俄国物理学家楞次（Lenz，1804～1865）发现，电流的方向决定了吸收还是产生热量，发热（制冷）量的多少与电流的大小成正比，比例系数称为“帕尔帖系数”。

帕尔帖效应的数学表达式：

$$Q = \pi \cdot I = a \cdot T_c \cdot I, \text{ 其中 } \pi = a \cdot T_c, \pi_{pn} = \pi_p - \pi_n$$

式中：Q——放热或吸热功率

$\pi$ ——比例系数，称为帕尔帖系数

I——工作电流

$T_c$ ——冷端温度

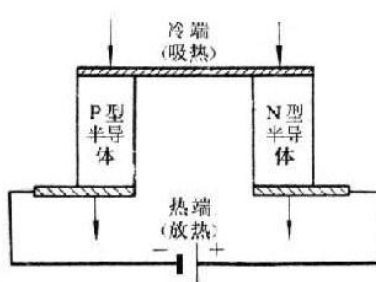


图 1 半导体结构简图

如图:制冷片由两片陶瓷片组成，中间为 N 型和 P 型的半导体材料。当一块 N 型半导体材料和一块 P 型半导体材料连结成电偶对时，在这个电路中接通直流电流后，就能产生能量的转移。电流由 N 型元件流向 P 型元件的接头吸收热量，成为冷端；由 P 型元

件流向 N 型元件的接头释放热量，成为热端。制冷片内部是由上百对电偶联成的热电堆，以达到增强制冷的效果。

### 1.1.2 液体循环系统的工作原理

导热液局部吸收热量，形成温差，热的液体流向冷端，形成对流，在对流过程中散发热量。

## 1.2 具体结构图

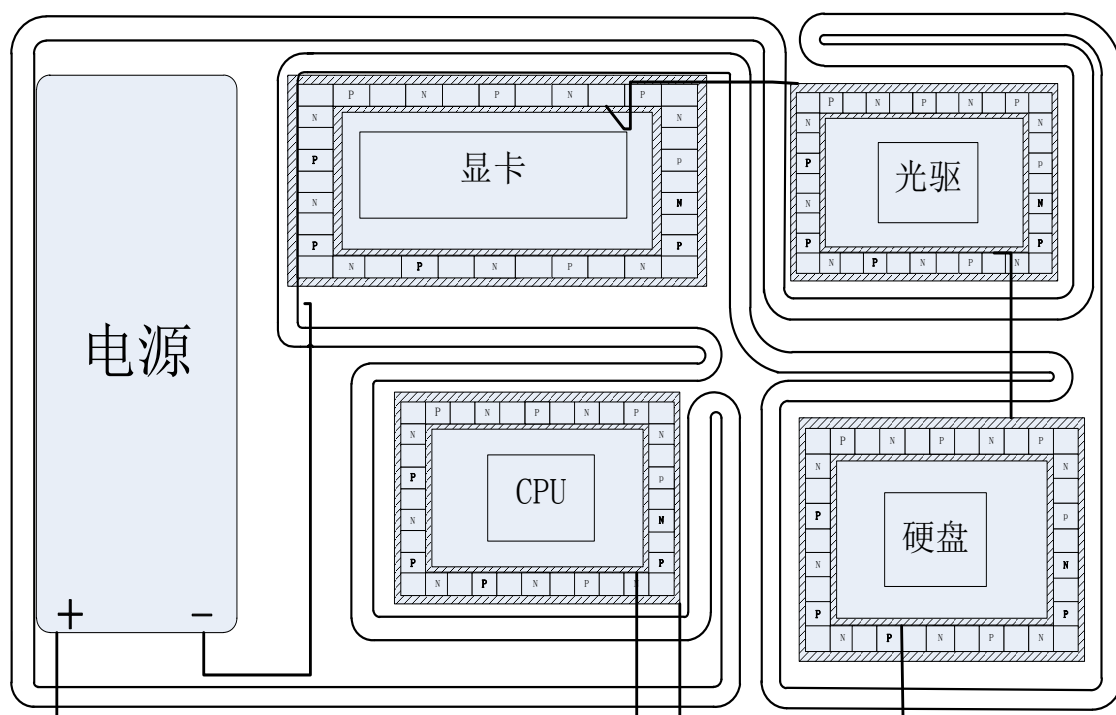


图 2：半导体对流散

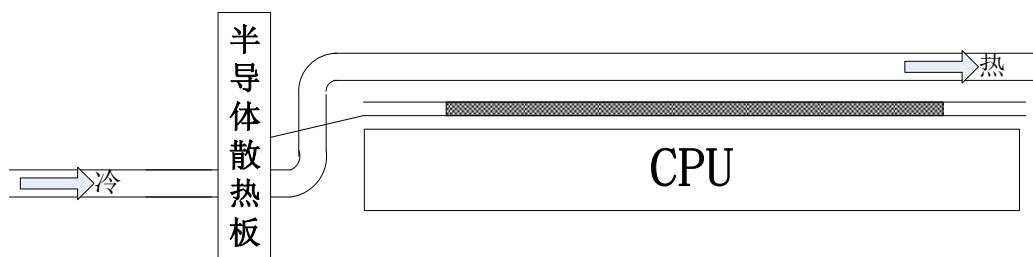


图 3：散热片具体安装实例

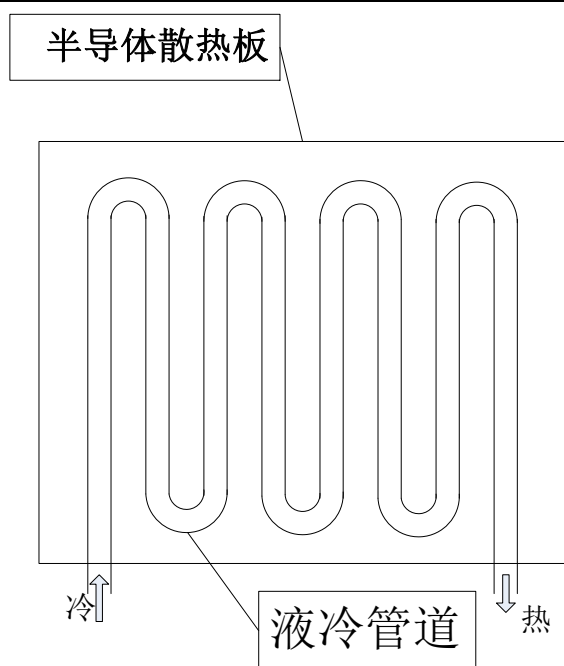


图 4：半导体散热板

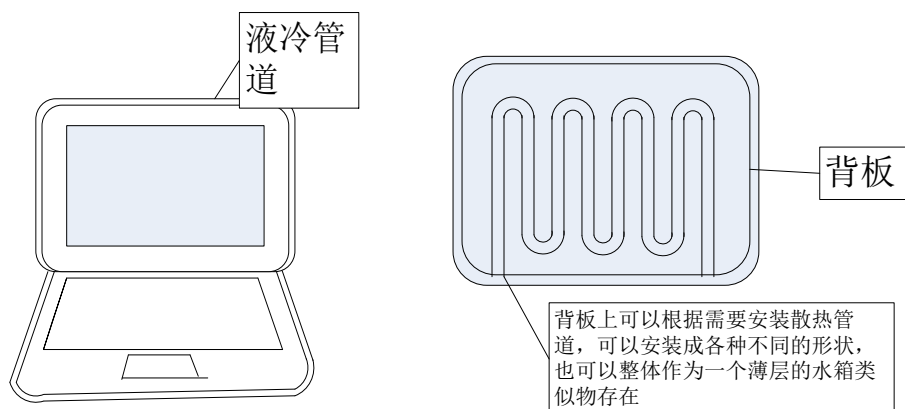


图 5：液冷管道安装位置

### 1.3 工作过程

给 CPU、显卡等主要发热部件周围放上由热电堆组成的半导体散热片，并在散热片周围布上导管，导管中密封导热液，导管以尽可能大的表面积接触电脑机身。当电脑元件散热时，半导体冷端为元件散热，热端接触导管，热量由导热液吸收，使冷端保持低温，能持续散热。导管中导热液形成温差，热的液体流向冷端，由于在材料选择中选择的导热液流动性强，所以可以形成对流，导热液散热快且与机身的接触面积大，热量可以很快由机身散发出去。



## 2. 数据计算

### 2.1 半导体制冷系统

电偶的固定特性系数主要是电偶的电阻和导热率。对于 P 和 N 两个原件组成的电偶，电阻和导热率分别为：

$$R_1 = R_p + R_n = \frac{\rho_p}{r_p} + \frac{\rho_n}{r_n} \quad (\Omega)$$

$$K_1 = K_p + K_n = \lambda_p r_p + \lambda_n r_n \quad (W/K)$$

式中

$R_1$ ——一对热电偶的电阻 ( $\Omega$ )

$K_1$ ——一对电偶的导热率 ( $W/K$ )

$R_p$   $R_n$ ——分别为 P 型和 N 型元件的电阻 ( $\Omega$ )

$K_p$   $K_n$ ——分别为 P 型和 N 型元件的导热率 ( $W/K$ )

$\rho_p$   $\rho_n$ ——分别为 P 型和 N 型元件的材料电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )

$\lambda_p$   $\lambda_n$ ——分别为 P 型和 N 型元件的材料导热系数 [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$r_p$   $r_n$ ——分别为 P 型和 N 型元件的面长比 ( $m$ )

设有一对电偶，冷节点的温度为  $T_c$ ，制冷量为  $Q_{01}$ ，热节点的温度为  $T_h$ 、向外界散发的热量为  $Q_{h1}$ ，输入进电偶的电功率为  $N_1$ 、电流量为  $I$ 。两节点的温度差( $^{\circ}C$ )为：

$$\Delta T = T_h - T_c$$

若没有热量损失，则由热力学第一定律有：

$$Q_{h1} = Q_{01} + N_1$$

由于  $Q = \pi \cdot I$ ，冷节点处帕尔帖热 ( $W$ ) 为：

$$Q_{p1} = \pi_{pn} I$$

帕尔帖热为冷节点所吸入的全部热量，又称为全冷量。

由于电偶臂导热，有热节点传入冷节点的传导热 ( $W$ ) 为：

$$Q_{c1} = K_1 \Delta T$$

电流通过具有电阻的物体，会产生焦耳热 ( $W$ )：

$$Q_j = I^2 R_1$$

忽略材质不均匀和元件圆柱面换热的因素，元件为具有均匀内热源沿轴向导热的圆柱体，传入冷端的焦耳热为（W）：

$$Q_{j1} = \frac{I^2 R_1}{2}$$

从帕尔帖热减去传导热和焦耳热才是实际的制冷量（W）：

$$Q_{01} = Q_{p1} - Q_{c1} - Q_{j1} = \pi_{pn} I - K_1 \Delta T - \frac{I^2 R_1}{2}$$

加在一堆电偶上的电压  $V_1$ ，一部分用来克服电阻引起的压降  $IR_1$ ，另一部分用于克服塞贝克效应的温差电势率  $V_{pn}$ ，所以

$$V_1 = IR_1 + \alpha_{pn} \Delta T$$

[注：关于  $\alpha_{pn} \Delta T$ ，这是另一个效应，塞贝克效应的物理量。产生塞贝克效应的主要原因是热端的载流子往冷端扩散的结果。例如 p 型半导体，由于其热端空穴的浓度较高，则空穴便从高温端向低温端扩散；在开路情况下，就在 p 型半导体的两端形成空间电荷（热端有负电荷，冷端有正电荷），同时在半导体内部出现电场；当扩散作用与电场的漂移作用相互抵消时，即达到稳定状态，在半导体的两端就出现了由于温度梯度所引起的电动势——温差电动势

$$E = \alpha_{pn} \Delta T$$

其中  $\alpha_{pn}$  为比例系数，称为塞贝克系数，与帕尔帖系数存在以下关系：

$$\pi_{pn} = \alpha_{pn} \Delta T$$

一对电偶所需消耗的输入功率（W）为：

$$N_1 = V_1 I = I^2 R_1 + \alpha_{pn} I \Delta T$$

于是可以得到表征制冷效率的量，制冷系数：

$$\varepsilon = \frac{Q_{01}}{N_1} = \frac{\alpha_{pn} \Delta T - K_1 \Delta T - \frac{I^2 R_1}{2}}{I^2 R_1 + \alpha_{pn} I \Delta T}$$

## 2.2 液体循环制冷系统

保证发热元器件产生的热量与冷却液充分交换的装置为冷板。为了确保器件的发热表面在被液体冷却时能把所耗散的热量尽量全部带走，器件与冷板的接触和冷板的热阻

就显得尤为重要。设计适当的冷板，需要确定如下参数：冷却液体流速、冷却液体进口温度、安装在冷板上发热器件的热耗散功率、冷板表面允许的最高温度 $T_{\max}$ 。

$$T_{\text{out}} = T_{\text{in}} + \frac{Q}{\rho \cdot v \cdot C_p}$$

$T_{\text{out}}$ : 冷却液体出口温度

$T_{\text{in}}$ : 冷却液体进口温度

$Q$ : 冷板上发热器件的总热耗散功率

$\rho$ : 液体的密度

$v$ : 冷却液体流速

$C_p$ : 冷却液体的比热容

具体电脑元件参数见 3.材料类型及规格

假设  $T_{\text{out}}$  小于  $T_{\max}$ （因电脑工作状态不同，各元件功率不同，且 CPU 等元件的功率只能实际测量而没有一个固定值，所以，此处的计算以及材料类型及规格的选择均为估算），下一步需要确定冷板的标准化热阻，使用如下方程：

$$\theta = (T_{\max} - T_{\text{out}}) \cdot (A/Q)$$

$\theta$ : 热阻

$T_{\max}$ : 冷板表面允许的最高温度

$T_{\text{out}}$ : 冷却液体出口温度

$A$ : 被冷却区域的面积

$Q$ : 冷板上发热器件的总热耗散功率

系统其他部分设计系统其他部分设计：水冷系统硬件重要组成部分主要包括快速接头、管道、各种功能阀门（流量控制阀）、过滤器、其它管接头及密封件等。管道尺寸（如直径、长度等）的计算：

$$d = 18.8 \sqrt{\frac{Q_v}{U}} \text{ (mm)}$$

$Q_v$ : 水流量 (m<sup>3</sup>/h)

$U$ : 水流速 (m/s)。

$D$ : 管道直径可计算管道的直径。

## 2.3 最佳制冷性能分析

由于散热要求大，因此分析散热量最大时的装置安排和此时的散热效率。

最佳散热量的时候由  $Q_{01} = Q_{p1} - Q_{c1} - Q_{j1} = \pi_{pn}I - K_1\Delta T - \frac{I^2 R_1}{2}$  可以看出，制冷量的大小与  $Q_{p1}$ 、 $Q_{c1}$  和  $Q_{j1}$  有关， $Q_{p1}$  越大， $Q_{c1}$  和  $Q_{j1}$  越小制冷量就越大。除了  $Q_{c1}$  只与温度有关，其余的两项都与电流大小有关，所以存在使  $Q_{01}$  最大的电流大小，由

$$\frac{\partial Q_{01}}{\partial I} = \alpha T_c - IR_1 = 0$$

可以得出制冷量最大的电流条件：

$$I_{Q_{0\max}} = \frac{\alpha_{pn} T_c}{R_1}$$

将其带入  $Q_{01} = Q_{p1} - Q_{c1} - Q_{j1} = \pi_{pn}I - K_1\Delta T - \frac{I^2 R_1}{2}$  可得最大制冷量(W)：

$$Q_{0\max} = \frac{(\alpha_{pn} T_c)^2}{2R_1} - K_1\Delta T$$

当工作温度以及材料的性质确定以后，最大制冷量与电偶元件的尺寸因素有关，令  $r_p = r_n$ ，则

$$R_1 = \frac{\rho_p + \rho_n}{r_p}$$

$$K_1 = (\lambda_p + \lambda_n)r_p$$

$$\text{代入 } Q_{0\max} = \frac{(\alpha_{pn} T_c)^2}{2R_1} - K_1\Delta T \text{ 得}$$

$$Q_{0\max} = \left[ \frac{(\alpha_{pn} T_c)^2}{2(\rho_p + \rho_n)} - (\lambda_p + \lambda_n)\Delta T \right] r_p$$

由此可知，当  $r$  较大，截面积较大而长度较短的电偶元件制冷量大，而且制冷量与体积无关。

根据以上算式可以计算出本材料的最大制冷量和制冷效率。（因电脑工作状态不同，各元件功率不同，且 CPU 等元件的功率只能实际测量而没有一个固定值，所以，此处的计算以及材料类型及规格的选择均为估算）

类型	满载温度
半导体散热系统	90℃
风扇散热系统	50℃

### 3. 材料类型及规格

#### 3.1 半导体制冷系统

几种较先进型号 CPU 的主频及最大功率

型号	主频	核心数	最大功率
AMD 羿龙 II X4 95545	3200MHz	四核	152W
AMD 羿龙 II X4 96545	3400MHz	四核	167W
Intel 酷睿 i7 92045	2666MHz	四核	156W
Intel 酷睿 i7 92045	2666MHz	四核	156W

几种较先进型号 CPU 的主频及最大功率

型号	显存频率	最大功率
NVIDIAGTS250	1100MHz	150W
NVIDIAGTX260	2016MHz	182W
ATIHD4870	3600 MHz	160W
ATIHD5830	4000MHz	175W

CPU 与显存是主要产热元件，根据 CPU 和显卡的最大功率，选取单级半导体制冷片

型号规格

应用	型号	最大电流(A)	最大电压(B)	最大冷量(W)	最大温差(℃)	外形尺寸 (mm)
CPU	TEC1-031xx3535	30~80A	3.7V	64.2~171W	66℃	35*35
显卡	TEC1-263xx5050	10~15A	30V	200~268W	65℃	50*50

### 3.2 液体循环系统

东远 SC-L500 专用导热液体：一种良好的液体载热剂，具有良好的导热性能，极强的流动性，挥发缓慢，导电率极差，使用温度范围： $-5^{\circ}\text{C}$ - $100^{\circ}\text{C}$ ，且价格低，市场销售 40 元人民币左右。

系统的管道材料，考虑到冷却介质特殊要求，全部采用无缝不锈钢管，局部用聚胺脂管。

## 4. 可行性分析

INVIDIA 显卡最大功率约 200W，Intel 最新发布的酷睿 i7 980X 至尊版处理器实际满载功耗达到了 151W 左右，存储配件硬盘、光驱和内存的功耗低，1-2W 至 20W，所有将半导体导热片安装在功率大的显卡和 CPU 上就可以满足散热要求，已有的单级半导体制冷片型号可以满足功率要求，而且体积较小，完全可以应用于笔记本电脑，不会过多影响体积和重量。

电脑元件的温度应控制在高于室温 30℃之内，即电脑元件温度应在 50-60℃。半导体在电流的作用下能产生冷端和热端且温差较大，最大可以达到 60-70℃，即高温端温度应控制在 100℃以内。

液体循环系统的载热液性能优良，有很强的流动性，结构图所示的较高速的对流可以实现。适用温度-5℃-100℃恰满足电脑散热温度要求，且价格低廉，经济性好。

## 5. 方案优劣性分析

优点：

结构简单。制冷器的核心是热电堆，有电偶元件和导线组成，无任何运动部件，因而无噪声，无磨损，可靠性好，寿命长。

体积小，重量轻。热电堆的体积仅仅数十立方毫米至数立方厘米，重量仅仅数克。

启动快，控制灵活。只要接通电源即可迅速制冷，制冷量可通过电流方便的调节。

散热量大，起效快。

缺点：

效率不高。由于热电制冷的原理限制和半导体材料的不理想，导热液工作并非理想状态，导致效率与计算值之间存在系统误差，效率不高。

需要直流电源，以电池为电源可以接受但是做成普适装置还需改进。

电脑 CPU 等元件的功率只能实际测量，不同工作状态下的产热量差别很大，所以计算难度大，找到普适装置有些困难。



## 6. 参考资料

- [1] 时阳 《制冷技术》 [M]北京：中国轻工业出版社,2007 年第一版
- [2] (美)DONALD A. NEAMEN 《半导体物理与器件》[M]赵毅强 姚素英 解晓东等译 北京：电子工业出版社,2005 年第三版
- [3] 陈汝东 《制冷技术与应用》 [M]上海：同济大学出版社,2006 年第二版
- [4] 解国珍 姜守忠 罗勇 《制冷技术》 [M]北京：机械工业出版社,2008 年 6 月第一版
- [5] 李洪斌 杨先 《半导体制冷技术原理与应用》 [M]《现代物理知识》，2007 年第 05 期