

# 电力电子装置强制风冷散热方式的研究

Research on Heatsinking Mode of the Power Electronic Equipment with Forced Cooling

西安交通大学 杨旭 马静 张新武 王兆安 (西安 710049)

**摘要:**对电力电子装置中常用的强制风冷散热方式进行了研究,通过深入分析对流换热过程和对多种根据散热系统进行的对比实验,确定了影响散热效果的因素,并通过对实验结果的分析总结出了风道设计的指导原则。实验证明,通过合理的风道设计,可以在散热器和风机参数一定的条件下,有效地提高散热效果。

**Abstract:**The authors reseache on the heatsinking mode of the power electronic equipment with forced cooling. Base on the detail analysis of the tropospheric heat exchanging and according to comparative experiment of heat sinker designed for the practical application ,the factors influencing on the cooling effeciencies are determined. Experiment proves the cooling effectiveness can be enhanced through reasonable design under the known specifications of the heat sinker and blast fan.

**叙词:**散热 强制冷却/ 电力电子装置

**Key words:**heat sinking;forced colling;power electronic equipment

## 1 概述

随着电力电子装置向小型化和轻量化发展,更有效的散热技术成了研究的重点。在众多散热方式中,强制风冷的散热效果远好于自然风冷,复杂性大大低于水冷和油冷,可靠性也较高,因此是功率为数百瓦到数百千瓦的电力电子装置的主要散热方式。

通常情况下,选用散热面积较大的型材散热器和风量较大的风机可以降低散热器到环境的热阻,提高散热效果,但散热面积的增加和风机风量的提高均受散热器的加工工艺、装置体积、重量以及噪音指标等的限制。因此,在散热器和风机参数一定的条件下,合理的风道设计是改善散热的又一有效途径。

本文在深入分析以空气为介质的对流换热过程的基础上,提出通过合理的风道设计,在散热器表面的流场中引入紊流来提高换热效果。针对实际应用中常见的风道形式,设计了多种有代表性的强制风冷散热系统,对其逐一进行了实验,并测定了热阻。通过分析和比较实验数据,总结出了风道设计的指导原则。

## 2 对流换热过程的分析<sup>[1]</sup>

在强制风冷散热系统中,热量从管芯散发到环境中,需要经过几个主要的热过程:管芯到管壳;管壳到散热器;散热器台面到散热器其它表面;散热器表面到环境。

前三个过程的传热机制以热传导为主,这些过程已有较深入的研究。文本主要研究散热器表面到环境的传热过程。由于冷却介质被强制流过散热器表面,因此其传热机制以对流为主。根据传热学理

论,对流换热过程满足方程:

$$P = A ( T_s - T_a ) \tag{1}$$

式中  $P$  ——单位时间内由散热器传递到环境的热量

——对流换热系数

$A$  ——散热器与空气接触的面积

$T_s$  ——散热器表面的平均温度

$T_a$  ——环境温度

一个散热器的散热效果可以用其热阻  $R_{th}$ 来描述:

$$R_{th} = ( T_s - T_a ) / P \tag{2}$$

热阻较小的散热器具有更好的散热能力。

比较式(1)和式(2),可知:

$$R_{th} = 1 / ( A ) \tag{3}$$

式(3)说明对流换热系数和换热面积  $A$  越大,热阻越小,散热效果越好。

显而易见,较大散热面积的散热器具有较大的换热面积  $A$ 。为了搞清各种因素对换热系数  $h$  的影响,需要利用对流换热的模型,对其换热过程进行深入分析。散热器与空气间对流过程可以借助图1的模型<sup>[1]</sup>来描述。

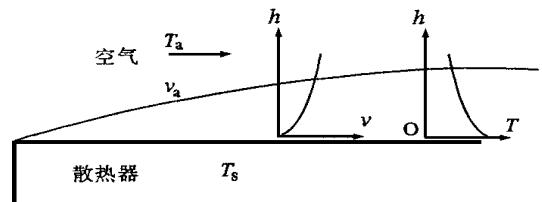


图1 对流换热过程

散热器的温度  $T_s$  高于环境温度  $T_a$ ,空气沿散热器表面流动,远离散热器表面的流速为  $v_a$ 。在以散热器为边界、空气为介质的温度场和流场中,温度和流速按以下的形式分布:

(1) 温度场分布

散热器与空气间发生传热过程,紧贴散热器表面的一薄层空气中,温度沿散热器表面法线方向从  $T_s$  变化到  $T_a$ ,变化非常明显,而在这一薄层之外基本等于  $T_a$ ,不再变化,这一空气薄层为热边界层。

(2) 流场分布

与温度场分布相类似,空气沿散热器表面流动时,紧贴散热器表面的一薄层空气中,由于空气与散热器表面的粘滞作用,空气流速沿散热器表面法线从零变化到  $v_a$ ,变化非常明显,而在这一薄层之外基本等于  $v_a$ ,不再变化,因此称这一空气薄层为速度边界层。对于空气介质,速度边界层的厚度同热边界层的厚度基本一致。在流场中还存在层流和紊流两种状态,如图 2。

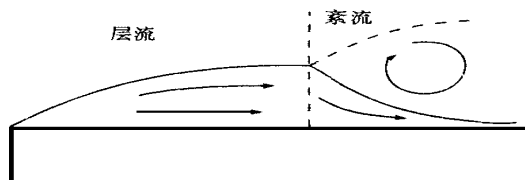


图 2 层流与紊流  
降低热阻、提高对流换热的途径有:

加大散热器尺寸或增加散热器翅片的数量,以增加散热器的散热面积  $A$ 。

采用尺寸更大或转速更高的风机,提高空气流动速度,以增大换热系数。

在流场中引入紊流,增加局部对流,以增大换热系数。

加大散热器会受到装置体积和重量的限制,而在体积重量一定的前提下增加翅片的数量往往导致翅片过薄,热传导性能下降,散热器温度分布不均匀,整体散热性能难以进一步提高。选用尺寸更大或转速更高的风机可以提高风速,但需要增加成本,而且带来寿命下降和噪音增大的问题。因此除了改进散热器和风机外,还应通过合理的风道设计,在流场中引入紊流以提高散热效果。

根据流体力学的原理,适当地改变空气相对于散热器表面的流动方向,就可能产生紊流。比如图 3b 的流场中就比较图 3a 中容易产生紊流。

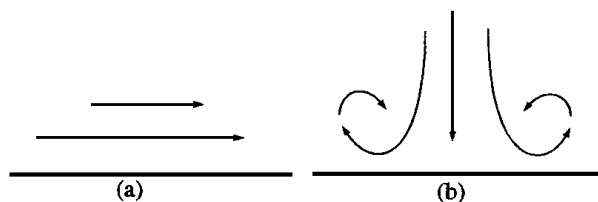


图 3 两种不同的流场的比较

### 3 各种强制风冷散热系统的对比实验

为了研究在散热器和风机条件参数一定的条件下,风道设计对散热情况的影响,本文根据电力电子装置中常见的风道设计方案,设计了十二种散热系统,在风机和散热器及发热功率都相同的条件下,进行了对比实验研究。

其中最有代表性的四种方案如图 4,其余的方案大多是以这四种方案为基础,在风道中增加各种阻挡物而得到的。

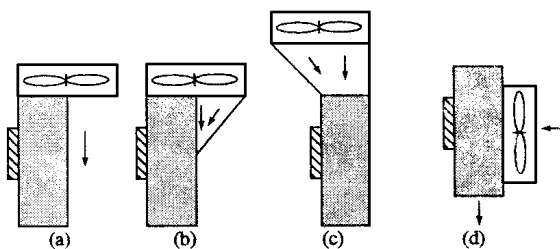


图 4 各种不同的散热系统

实验装置中,发热元件采用固定在铝合金型材散热器上的大功率电阻,通过调节电压就可以准确设定其发热功率。采用一台扇叶直径为 120mm 的交流驱动轴流风机进行冷却。实验中用厚纸片制成各种风道。实验装置的主要参数如表 1。型材散热器的截面形状如图 5。

表 1 实验装置的主要参数

项目	参数
风机风量	3m <sup>3</sup> /分钟
发热功率	200W
散热器尺寸	240 × 140 × 50(mm)

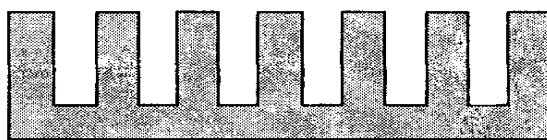


图 5 散热器截面形状

实验中,用电子点温计测量散热器温度,精度为 0.1,测温点选取在散热器台面上靠近发热元件的位置。环境温度采用水银温度计测量,精度 0.1 每一实验进行 40 分钟左右,每隔 5 分钟记录一次散热器温度和环境温度,根据记录即可确定系统是否已达稳态。最后将稳态的散热器温度和环境温度代入式(2) 求出散热器到环境的热阻  $R_{thsa}$ 。作为例子,方案 d 中散热器的升温过程如图 6。

图 7 为通过实验测定的图 4 四种散热系统的热阻,热阻小说明散热效果好,反之则效果差。

通过比较可以看出方案 a 和 c 的热阻较大,而 b 和 d 的热阻较小,说明 b 和 d 的散热效果好。在其

它方案的实验中发现,在大多数情况下,在风道中增加阻挡物使散热效果变差,仅有一种情况使散热效果有所改善。

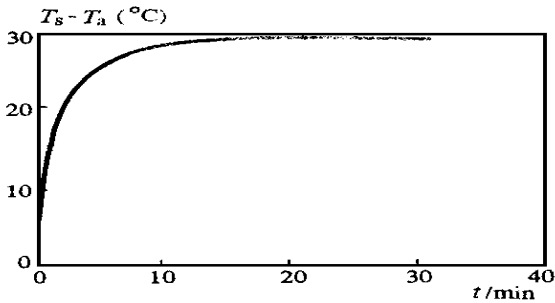


图6 散热器的升温过程

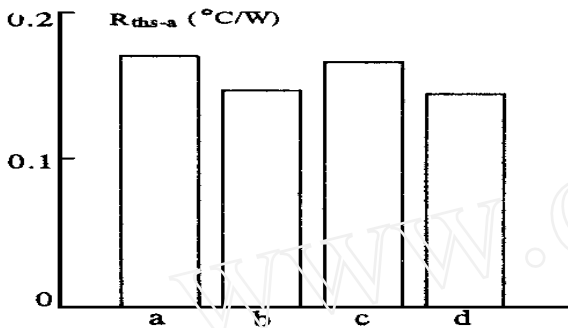


图7 不同散热系统的热阻

实验表明,在散热器和风机参数相同的情况下,合理的风道设计可以将散热器到环境的热阻减小10~20%,通常电力电子装置中散热器的温升为30~60,因此通过合理设计风道可以降低温升5~10,效果是明显的。

值得注意的是,实验中用散热器台面温度与环境温度间的温差来计算热阻,得到的实际上是台面到环境的热阻,除散热器表面到环境的热阻外,还包含了散热器导热热阻。采用这样的实验方案主要是考虑到散热器表面平均温度测量很困难,而且台面到环境的热阻在工程上更有实际意义。

## 4 实验结果分析

下面对图4所示的四种方案进行分析。

方案a中气流平行于散热器表面流过,流场以层流为主,因此散热效果欠佳。

方案b中气流被挡板引导冲向散热器,造成了扰动,在散热器表面形成紊流,因此其传热效果明显改善。另外,由于风道的约束,空气的流速会比a中高,这也是热阻小的原因之一。

方案c中空气的流速也较高,但风道的引导并

作者简介

杨旭:男,1972年8月生,博士。研究方向为软开关拓扑、开关电源和功率因数校正技术。

未使气流冲向散热器,而是冲向风道的另一侧挡板。由于不能在散热器表面形成紊流,因此同b相比,其散热效果并不好。

方案d中气流直接冲击散热器表面,在流场中造成很大的扰动,在散热器表面形成广泛的紊流区域,因此散热效果最好。

从其它方案的实验结果中发现,在风道中增加阻挡物,会使空气流速降低,因此使散热效果变差。但阻挡物也能给流场造成扰动,形成紊流,使散热效果有所提高。

以上实验证实,通过合理的风道设计在流场中引入扰动可以提高散热效果。从中还可以总结出风道设计的另一个原则,即不应过度阻挡气流,使流速下降过多,以免降低散热效果。

在实际的设计中,引导气流形成扰动的同时往往会造成气流流速的损失,因此应权衡考虑,以达到最优的设计。

## 5 结论

本文在分析影响对流换热的各种因素的基础上,提出了通过合理的风道设计来提高散热效果的方法,并得出以下结论:

(1)理论分析说明,通过增加散热器散热面积和增加风机的尺寸和转速可以改善散热,但受到装置体积、重量、成本、噪音等的限制。在散热器和风机参数一定的条件下,通过合理的风道设计,在流场中引入紊流,增加局部对流,可以加强换热,从而提高散热效果。

(2)合理的风道设计原则为:应引导气流冲击散热器表面,造成扰动,从而形成紊流,以加强散热效果。不应使气流压头损失过大,流速下降过多,以免降低散热效果。在实际的设计中,这两方面往往会有矛盾,应权衡考虑,以达到最优。

实验证明,合理的风道设计可以使热阻降低10~20%,温升降低5~10,效果明显。

## 参考文献

- 1 俞佐平. 传热学. 北京:人民教育出版社,1979.

收稿日期:2000-01-25

定稿日期:2000-05-10