

## 散热器的选配与安装

### 散热器的选配原则

#### 1. 选用散热器的依据

电力半导体器件（以下简称器件）的耗散功率、热阻（结壳电阻与接触热阻之和）和冷却介质的入口温度是其在应用中如何选用散热器将其热散逸的基本依据。

器件被设计应用在各种各样的工况，设计工程师在选用散热器时应该正确识别散热器、绝缘件和紧固件的型号和含义，了解各型散热器的散热能力和范围、冷却方式、技术参数和结构特点。通常，一种器件仅从参数看可能有两、三种散热器都能满足要求，但应结合自己的应用情况，诸如：冷却、安装、通用互换和经济性来综合考虑选取一种最佳的散热器。

#### 2. 选用散热器的一般方法

##### 2.1 器件制造厂选用的方法

###### 2.1.1 计算准则

当客户需用指定型号器件带散热器在一定工况下运行时，其散热器选择原则通常按最高工作结温、额定冷却条件、热阻和器件正向(通态)伏安特性曲线(上限值)选用散热器，总的公式是：

$$R_{sa}=(T_{jm}-T_a)/P_{T(AV)}-(R_{jc}-R_{cs}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

$R_{sa}$ —所求散热器的热阻， $^{\circ}C/W$ ；

$T_{jm}$ —最高工作温度， $^{\circ}C$ ；

$T_a$ —环境温度， $^{\circ}C$ ，水冷时规定为  $35^{\circ}C$ ，风冷时规定为  $40^{\circ}C$ ；

$R_{jc}$ —器件的结壳热阻， $^{\circ}C/W$ ；

$R_{cs}$ —接触热阻， $^{\circ}C/W$ ；

$P_{T(AV)}$ —正向(耗散)均功率，W。

###### 2.1.2 计算步骤

2.1.2.1.在器件所对应的正向(通态)伏安特性曲线上求出门槛电压  $V_{TO}$  和斜率电阻  $R_{TO}$ ；

2.1.2.2.根据不同的导通角按公式(3)计算器件在一定工况情况下的耗散功率  $P_{T(AV)}$

$$P_{T(AV)}=V_{T0} * I(AV)+F^2 R_{T0} * I^2(AV) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中： $I_{(AV)}$ —器件的工作电流（平均值），A。

2.1.2.3.由  $R_{jc}$ 、 $T_{jm}$  和  $P_{T(AV)}$ ，按公式(3)算出最大允许的管壳温度  $T_c$ ，若器件的参数列表中已经给出了  $T_c$  值，则此步骤可以省略，

$$T_c=T_{jm}-R_{jc} * P_{T(AV)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

2.1.2.4.由  $R_{cs}$ 、 $T_c$ 、 $P_{T(AV)}$ ，按公式(4)算出最大允许的散热台面温度  $T_s$ ；

$$T_s=T_c-R_{cs} * P_{T(AV)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

2.1.2.5.由  $R_{cs}$ 、 $T_c$  和  $P_{T(AV)}$ ，按公式(5) 计算出散热器的热阻值  $R_{sa}$

$$R_{sa}=(T_s-T_a)/ P_{T(AV)} \quad \dots\dots\dots(5)$$

2.1.2.6.查散热器标准(GB8446.1)，标准中热阻值与 2.1.2.5 项计算值相同，或小于接近计算值的散热器为所选用的散热器。

2.1.2.7.根据器件最高工作结温并留有一定裕量的原则，直接按式（1）计算出所选用的散热器。

### 2.1.3 计算示例

已知：50A( $I_{(AV)}$ )整流管的参数为： $R_{jc}=0.6^{\circ}C/W$ 、 $R_{cs}=0.2^{\circ}C/W$ 、 $V_{T0}=0.8V$ 、 $T_{jm}=150^{\circ}C$   
 $R_{T0}=6m\Omega$ 、 $T_a=40^{\circ}C$ 。 求：用全动态测试法验证应带的散热器及允许的最大正向峰值电压  $V_{FM}$ 。

2.1.3.1.按公式(2)，整流管最大的允许功耗为  $P_{T(AV)}=V_{T0} * I(AV)+F^2 R_{T0} * I^2(AV)$

2.1.3.2.按公式(3)，最大允许的管壳温度为  $T_c=T_{jm}-R_{jc} * P_{T(AV)}=103.77^{\circ}C$

2.1.3.3.按公式(4)，散热器基准点最高温度为： $T_s=T_c-R_{cs} * P_{T(AV)}=88.36^{\circ}C$

2.1.3.4.按公式(5),计算要求的散热器热阻为  $R_{sa}=(T_s-T_a)/P_{T(AV)}=(88.36-40)/77.05$   
 $\approx 0.63^{\circ}C/W$

2.1.3.5.实际选用的散热器查散热器标准(GB/T 8446.1),SL16 型风冷螺栓型散热器的热阻值为  $0.6^{\circ}C/W$ ，略小于又最接近 2.1.3.5 项计算值，则 SL16 型散热器即为所求。

2.1.3.6.由已知的  $V_{T0}$  和  $R_{T0}$ ，按  $V_{FM}=V_{T0}+R_{T0} * \pi I_{T(AV)}$ ，可求得  $V_{FM}=1.74V$ 。本例器件实配的散热器热阻( $0.60^{\circ}C/W$ )，稍小于计算要求的值( $0.63^{\circ}C/W$ )。对于器件制造厂,考虑到做为上限值  $V_{FM}$  的少许余量和总是用 50A( $I_{T(AV)}$ )的峰值电流测试  $V_{FM}$ ，本例以  $V_{FM}=74V$  给出较为妥当。

## 2.2 整机设计中散热器的选用方法

### 2.2.1 整机设计中选用散热器的一般原则

首先应根据器件在电路中的稳、瞬态工作情况,并考虑一定的余量来选择器件参数，然后根据器

件参数再选用所需要的散热器。

整机设计中器件散热器的选择,应根据器件在整机中工作的实际冷却条件(冷却介质温度和流量)和稳、瞬态负载情况,并适当考虑安全系数应有的余量,按稳态不超过最高工作结温并留有一定裕量来选取。

## 2.2.2 一般步骤

2.2.2.1.根据器件在电路中工作的电流波形和导通角确定器件工作时的  $I_{T(AV)}$ ,

2.2.2.2.由  $I_{rms}$  或  $180^\circ\text{C}$  导通角的  $I_{T(AV)}$ ,并结合浪涌电流等器件参数的考虑,查器件产品标准或数据手册,找到所需器件的型号;

2.2.2.3.由所需器件的最大允许管壳温度  $T_c$  与主电流的关系曲线,查得工作点  $I_{T(AV)}$  值对应的  $T_c$  值,或由所需器件的有关参数按 2.1.2.1~2.1.2.3 步骤计算出  $T_c$  值;

2.2.2.4.用和 2.1.2.4~2.1.2.5 相同的方法,算出散热器的热阻  $R_{sa}$ ;

## 2.2.3 示例

控制直流马达需要一个三相晶闸管整流桥,设线电压是  $V_{line} = 660\text{V(RMS)}$ ,  $50\text{Hz}$ , 直流电流输出  $I_d = 3600\text{A}$ , 晶闸管空气冷却,最高环境温度为  $T_A = 40^\circ\text{C}$ , 选配元件与散热器。

元件和散热器选择

由于  $I_d = 3600\text{A}$ , 那么每个器件的平均电流值为  $I_{T(AV)} = 1200\text{A}$ 。

从《大功率半导体器件产品目录》上的“普通晶闸管”系列中查到有  $KP_B3000-24$  元件可能满足要求。

查《大功率半导体器件产品数据手册》,得到的数据如下表所示:

	$KP_B3000-24$
门槛电压 ( $V_{T0}$ )	1.05V
斜率电阻 ( $r_T$ )	0.121m $\Omega$
结壳热阻 ( $R_{jC}$ )	0.008 K/W
接触热阻 ( $R_{CS}$ )	0.002 K/W
浪涌电流 (kA)	53

用以上数据计算元件的通态损耗,考虑到其他损耗的存在,取通态损耗值的 1.1 倍作为元件的总的功率损耗值,再用总的功率损耗值来计算所需散热器的热阻值,所得数据如下表所示:

	KP <sub>B</sub> 3000-24
通态损耗 (W)	1689
总损耗 (W)	1858
散热器热阻 (R <sub>SA</sub> )	0.036 K/W

具体的计算式为:

$$\text{通态损耗: } P_{T(AV)} = I_{T(AV)} \times V_{T0} + 2.46 \times I_{T(AV)}^2 \times r_{T0}$$

$$\text{总损耗: } P_{tot} = 1.1 \times P_{T(AV)}$$

$$\text{散热器热阻: } R_{SA} = \frac{T_j - P_{tot} \times (R_{jc} + R_{cs}) - T_A}{P_{tot}}$$

因此, 选择 KP<sub>B</sub>3000-24 晶闸管, 然后选用通用风冷散热器中的 SF17 就可以满足系统运行的要求。

## 散热器的安装方法

### 1. 紧固力(力矩)特性曲线

#### 1.1 概述

1.1.1 紧固力(F)或紧固力矩(M)特性曲线是敏感与力(力矩)的电特性曲线。通常以力(力矩)表示自变量, 并作为曲线的横坐标, 以接触热阻(R<sub>cs</sub>)或正向(通态)峰值电压 V<sub>FM</sub>(V<sub>TM</sub>)表示因变量, 并作为曲线的纵坐标;

1.1.2 此曲线用于确定或正确的选择散热器与器件安装的紧固力(力矩)的额定值。

#### 1.2 曲线的性质

紧固力(F)或紧固力矩(M)特性曲线是一条实验曲线; 曲线特性的优劣取决于散热器与器件有效接触面积的大小, 接触表面材质和机械加工等因素。曲线 a 是常观察到的形状, 曲线 b 是实验难于得到的微观的必然定性情况。

#### 1.3 曲线的四个区域(图一)

紧固力(力矩)特性曲线的定性形状如图二所示,并按力的大小和效果分为四个区域。

**1.3.1 力偏小区域(积热区):**此区域的力不能达到使散热器与器件良好的接触,热特性不稳定,接触热阻过大,有积热产生,热和机械效应恶性循环将导致器件特性恶化或烧毁;

**1.3.2 力合适区域(安全区):**此区域又称定值区,在靠近曲线最底点右侧有一小范围,确定或选取紧固力(力矩)额定值,切忌选取曲线的最低点或其右侧范围的值。

**1.3.3 力偏大区域(应力区):**此区域前半段,表面上对有关短暂测试的出厂参数有利,但是器件管芯硅片已受应力,散热器紧固件的塑性也可能消失或部分消失,对型式(周期)实验和长期工作寿命极为不利,这种内部已有应力的器件往往通不过浪涌电流实验。此区域后半段由于力偏大,接触面积反而减小,宏观参数也朝不利方向变化;

**1.3.4 力过大区域(断裂区):**有效的接触面积进一步减小,特性参数进一步恶化,直到使管芯硅片断裂、散热器紧固件和绝缘件变形或破裂。

#### **1.4 确定紧固力(力矩)的原则**

由紧固力特性曲线可以看出,使散热器与器件组装后具有良好的热接触的安装力或安装力矩是具有较小范围的额定值,组装时应严格要求不要超过范围。紧固力(力矩)由器件制造厂或器件标准给出,或根据紧固力(力矩)的有关参数曲线确定。在应用中,散热器与器件的接触分为干接触和湿接触。湿接触是为增加有效的接触面积,提高散热效果,在散热器和器件之间涂一薄层无腐蚀性物质的接触。湿接触的紧固力(力矩)应不大于干接触的。

## **2 安装方法**

### **2.1 水冷散热器**

#### **2.1.1 装配图(如图二)**

#### **2.1.2 装配说明**

零件布置如图,装配时应注意散热体上有 K 字的应该靠近螺旋头侧,管芯的阴极朝向螺旋头一侧,组装时位置应该对准,加压时用力要均匀,并按台面大小计算压力(一般  $30\text{N/mm}^2$ ),使之达到指定的压力。

#### **2.1.3 安装注意事项**

**2.1.3.1 散热器(散热体)台面必须与管芯台面相匹配,严禁压扁压歪,损坏元件。**

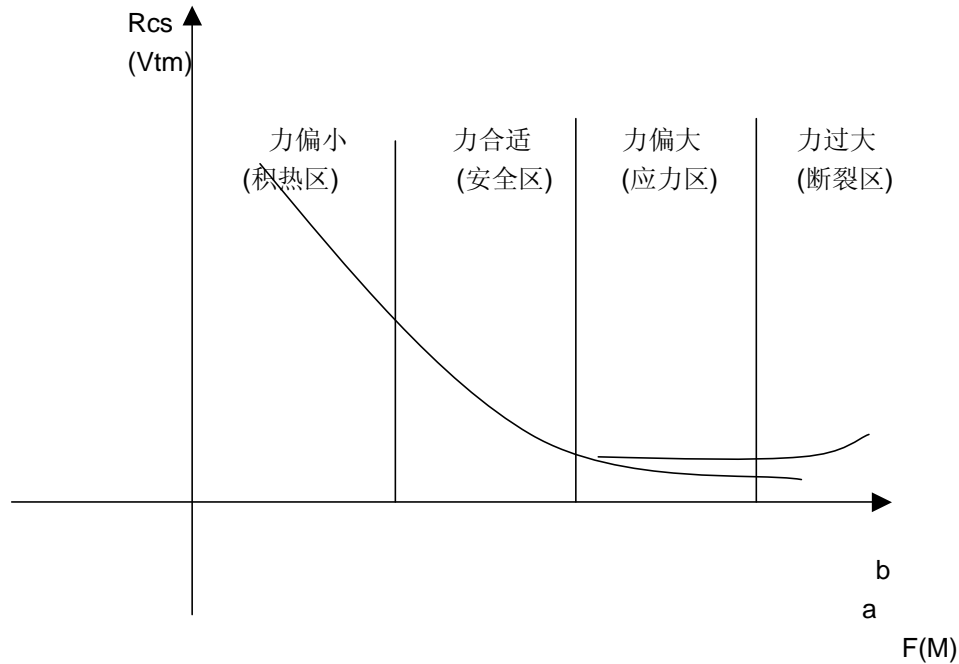
**2.1.3.2 安装时管芯台面与两个散热器必须完全平行、同心。三个紧固螺母必须均匀用力拧紧,直到叠形弹簧基本压平。**

### **2.2 模块散热器**

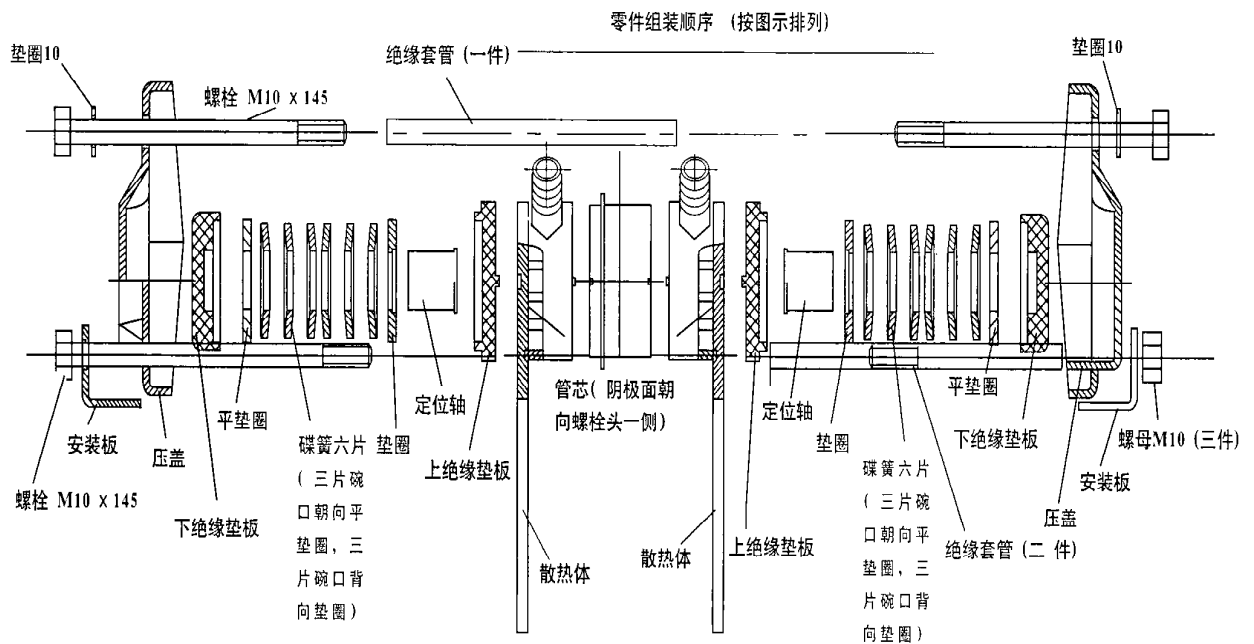
## 2.2.1 装配说明

2.2.1.1 散热器与模块接触面应该平整，确保良好的热传导(平面度 $\leq 0.03\text{mm}$ )。

2.2.1.2 模块安装散热器时，各紧固螺钉应该均匀拧紧，以保证力的均匀好良好的接触(非绝缘模块底板为公用电极)。



图一



## 散热器使用注意事项

### 1. 散热器的表面质量要求

- 1.1 散热器表面应无缩孔、锈蚀、裂纹等缺陷；
- 1.2 平板形散热器的金属紧固件(压板、压盖、叠形弹簧)、水冷散热体的导电片应加镀层保护；
- 1.3 散热体台面的表面粗糙度 Ra 最大允许值为  $1.6\mu\text{m}$ ；
- 1.4 散热体台面的平面度不低于 9 级；
- 1.5 用于温热带电力半导体器件的散热器(包括散热体、紧固件和绝缘件)，表面应经防护处理，其耐潮湿、耐盐雾和耐霉菌的能力应符合相应的热带电力半导体器件标准；
- 1.6 散热器专用的紧固件和绝缘件应符合 GB8446.3 《电力半导体器件用散热器绝缘件和紧固件》；
- 1.7 散热器与电力半导体安装的紧固力或紧固力矩应该器件产品标准的有关规定；
- 1.8 平板形散热体台面的安装中心定位销尺寸：直径  $\phi 2.5\text{mm}$ ,高出台面 1mm。

### 2. 使用散热条件的要求

- 2.1 对冷却水的水质应有一定的要求；循环水的电阻率应不低于  $2.5\text{K}\Omega$ 、PH 值在 6-9 之间；进口水的温度不高于  $35^\circ\text{C}$ 、水流量为  $4\text{L}/\text{min}\sim 8\text{L}/\text{min}$ ；
- 2.2 当用于高电压或较高电压器件时，必须确保上述水质的要求或更高水质的要求；
- 2.3 水冷散热器在工作时，应特别注意防止漏水、防堵塞、防凝露。

### 3. 劣质散热器的危害与鉴别

- 3.1 材质(纯度、厚度、加工精度等)和制造工艺(挤压产生的裂纹、断裂等)的好坏，低劣的材质及粗糙有缺陷的工艺将直接影响散热器的导热系数；
- 3.2 散热器接触台面的表面质量粗糙度和平整度。直接影响接触热阻和压降；
- 3.3 散热器用叠形弹簧，应保证 24 小时压平后，自由高度应该稳定，否则使用一段时间后弹簧可能失效，将导致散热器与管芯的接触效果变差。

### 4. 散热器更换元件重复使用时应该注意的问题

在安装散热器时需要很大的压力或者力矩。由于散热体台面的直径大于管芯的直径，在此压力或者力矩的作用下，散热器台面必然变形。如果再将相同直径或者更大直径的管芯，装在散热器上，则导致台面与管芯表面之间的接触不良，从而不能保证良好的散热效果。

如果用户需要重复使用散热器，则一定要保证散热体台面的表面粗糙度、平行度和平面度满足要求，否则在运行过程中极易因过热而损坏元件。尤其时水冷散热器在重复使用之前一定要仔细检查其台面变形情况，如有明显的下限现象应该更换。

为了保证良好的散热条件，每只管芯应具有相应的散热器匹配。

## 5. SS 系列水冷散热器凝露的防止

水冷散热器容易出现凝露现象，如果不加注意，极易引起设备绝缘下降引发短路故障。对多数使用环境来说，需要注意以下事项以防止凝露。

5.1 在湿热季节，注意环境温度与冷却水温差不小于 5℃；

5.2 停电时，应在关闭闸刀后随即停水；启动时应在通水后随即合闸，分合闸操作与通断水紧密相连，顺序不可以颠倒。

## 6. 高频场合下的应用

当器件工作与 6KHz 以上的电流频率下时，应考虑散热器本身紧固螺杆、压盖等部件的发热效应，用户在安装布置器件时，应注意避免使上述部件处于感应加热效应强烈的位置；必要时，可考虑采用不锈钢材料。