



中华人民共和国国家标准

GB/T 8446.2—2022

代替 GB/T 8446.2—2004

电力半导体器件用散热器 第 2 部分：热阻和流阻测量方法

Heat sinks for power semiconductor devices—
Part 2: Measurement methods of thermal resistance and
inlet-outlet fluid pressure drop

2022-03-09 发布

2022-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 热阻测量方法	2
4.1 原理	2
4.2 温度测量的规定点	2
4.3 规定点温度的测量	3
4.4 测量系统	3
4.5 测量条件	5
4.6 测量程序	5
5 流阻测量方法	6
5.1 原理	6
5.2 压力测量的规定点	6
5.3 测量系统	7
5.4 测量条件	7
5.5 测量程序	7
附录 A (资料性) 通过测量热流确定双侧散热半导体器件用散热体的热阻	8
附录 B (资料性) 热平衡相对误差计算	11
参考文献	12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

GB/T 8446《电力半导体器件用散热器》与下列标准共同构成我国电力半导体器件用散热器系列标准：

- JB/T 5781 电力半导体器件用型材散热器技术条件；
- JB/T 8175 电力半导体器件用型材散热体外形尺寸；
- JB/T 8757 电力半导体器件用热管散热器；
- JB/T 9684 电力半导体器件用散热器选用导则。

本文件是 GB/T 8446《电力半导体器件用散热器》的第 2 部分。GB/T 8446 已经发布以下部分：

- 第 1 部分：散热体；
- 第 2 部分：热阻和流阻测量方法；
- 第 3 部分：绝缘件和紧固件。

本文件代替 GB/T 8446.2—2004《电力半导体器件用散热器 第 2 部分：热阻和流阻测试方法》。与 GB/T 8446.2—2004 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“规范性引用文件”“术语和定义”两章(见第 2 章和第 3 章)；
- b) 更改了热阻测量的规定,并作为第 4 章(见第 4 章,2004 年版的第 2 章~第 5 章)；
- c) 更改了流阻测量的规定,并作为第 5 章(见第 5 章,2004 年版的 3.2、3.4 和第 5 章)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国电力电子系统和设备标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本文件起草单位：祥博传热科技股份有限公司、广州高澜节能技术股份有限公司、全球能源互联网研究院有限公司、西安派瑞功率半导体变流技术股份有限公司、江苏新彩阳机电技术有限公司、河北华整实业有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司、江苏宏微科技股份有限公司、江苏海鼎电气科技有限公司、湖北台基半导体股份有限公司、西安电力电子技术研究所。

本文件主要起草人：崔鹏飞、曾茂进、周建辉、文玉良、蔚红旗、桑春、宋晓飞、田恩、王晓宝、陶勇、颜家圣、李小国、关胜利、郭绍强、喻望春、纪卫峰、陆正柏、恽强龙。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1987 年首次发布为 GB/T 8446.2,2004 年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

引 言

GB/T 8446《电力半导体器件用散热器》给出构成电力半导体器件用散热器的散热体、绝缘件和紧固件的技术要求,检验规则,标志、包装、运输和贮存要求以及散热体的热阻和流阻测量方法,拟由3个部分组成。

- 第1部分:散热体。目的在于规定构成电力半导体器件用散热器的散热体的术语和定义、技术要求、检验规则以及标志、包装、运输和贮存要求。
- 第2部分:热阻和流阻测量方法。目的在于规范构成电力半导体器件用散热器的散热体(包括铸造、挤压、型材和热管散热体)的热阻和流阻测量方法。
- 第3部分:绝缘件和紧固件。目的在于规定构成电力半导体器件用散热器的绝缘件和紧固件的技术要求、检验规则以及标志、包装、运输和贮存要求。

电力半导体器件用散热器

第2部分：热阻和流阻测量方法

1 范围

本文件给出了电力半导体器件用散热体的热阻和流阻的术语和定义以及测量方法。

本文件适用于电力半导体器件用散热体(包括铸造、挤压、型材和热管散热体)的热阻和流阻测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 8446.1—2022 电力半导体器件用散热器 第1部分:散热体

3 术语和定义

GB/T 8446.1—2022 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

(散热体的)热阻 **thermal resistance**(of a radiator)

R_{sa}

在热平衡条件下,散热体台面温度和冷却媒质中的规定点温度之间的温度差与产生该温度差的耗散功率(热流)之比。

注:热阻的单位为摄氏度每瓦($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)或开尔文每瓦(K/W)。

[来源:GB/T 8446.1—2022,3.7]

3.2

(散热体的)流阻 **inlet-outlet fluid pressure drop (of a radiator)**

(散热体的)压力降

Δp

在稳态条件下,规定的风道或水路中,冷却媒质在散热体上游侧规定点和下游侧规定点处的总压力的差。

注1:流阻在风道系统中也称为风阻,在水路系统中也称为水阻。

注2:流阻的单位为帕(Pa)。

注3:散热体在风道或水路中相向迎面冷却媒质流向的一侧为上游侧,其相反的一侧为下游侧。

注4:总压力为静压力与动压力的代数和。

[来源:GB/T 8446.1—2022,3.8]

3.3

冷却媒质 **cooling medium**

将半导体器件产生的热量带走的液体(例如,水)或气体(例如,空气)。

[来源:GB/T 3859.1—2013,3.8.1,有修改]

4 热阻测量方法

4.1 原理

施加流经散热体的热流(功率) P 。达到热平衡后,测量散热体台面温度 T_s 和冷却媒质(例如,水或空气)中的规定点的温度 T_r 。散热体的热阻 R_{sa} 由公式(1)计算。

$$R_{sa} = \frac{T_s - T_r}{P} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- R_{sa} —— 散热体的热阻;
- T_s —— 散热体台面温度;
- T_r —— 冷却媒质中的规定点的温度;
- P —— 造成规定点之间的温度差的热流(功率)。

单侧散热半导体器件(例如,螺栓形器件、某些半导体模块)用散热体的热阻可直接由公式(1)计算。

双侧散热半导体器件用散热体的热阻被认为由其高电位主端子侧散热体的分热阻 $R_{sa(A)}$ 与其低电位主端子侧散热体的分热阻 $R_{sa(K)}$ 并联构成。两个分热阻分别由公式(2)和公式(3)计算。

$$R_{sa(A)} = \frac{T_{s(A)} - T_r}{P_A} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- $R_{sa(A)}$ —— 双侧散热半导体器件高电位主端子侧散热体的分热阻;
- $T_{s(A)}$ —— 双侧散热半导体器件高电位主端子侧散热体的台面温度;
- T_r —— 冷却媒质中的规定点的温度;
- P_A —— 流经双侧散热半导体器件高电位主端子侧散热体的功率。

$$R_{sa(K)} = \frac{T_{s(K)} - T_r}{P_K} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $R_{sa(K)}$ —— 双侧散热半导体器件低电位主端子侧散热体的分热阻;
- $T_{s(K)}$ —— 双侧散热半导体器件低电位主端子侧散热体的台面温度;
- T_r —— 冷却媒质中的规定点的温度;
- P_K —— 流经双侧散热半导体器件低电位主端子侧散热体的功率。

双侧散热半导体器件用散热体的热阻由公式(4)计算。

$$R_{sa} = \frac{R_{sa(A)} \cdot R_{sa(K)}}{R_{sa(A)} + R_{sa(K)}} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- R_{sa} —— 双侧散热半导体器件用散热体的热阻;
- $R_{sa(A)}$ —— 双侧散热半导体器件高电位主端子侧散热体的分热阻;
- $R_{sa(K)}$ —— 双侧散热半导体器件低电位主端子侧散热体的分热阻。

通过测量热流确定双侧散热半导体器件用散热体的热阻的方法见附录 A。

4.2 温度测量的规定点

4.2.1 测量散热体台面温度 T_s 的规定点为该台面上的下游侧,一个直径 0.8 mm、深度 1 mm 的孔中。其位置如下:

- 热源为双侧散热器件:其管壳的台面圆周外 2 mm 处;
- 热源为螺栓形器件:其管壳的底座最大直径的圆周外 2 mm 处;
- 热源为半导体模块:其底板的长边中点外 2 mm 处。

4.2.2 测量冷却媒质温度 T_r 的规定点为:

- 空气冷却散热体:规定的风道中,被测散热体的上游侧距其 300 mm 处(见 4.4.3.1)、风道通风路径横截面的几何中心点;
- 水冷却散热体:规定的冷却水管道中,被测散热体的上游侧、距冷却水进入其端口 200 mm ± 5 mm、沿冷却水管道的垂直径向且距管道内壁底部 $d/3$ (d 为管道内径)处(见 4.4.3.2);
- 自冷散热体(适用时):自冷环境箱中,被测散热体中心正下方 200 mm 处。

注:对于空气冷却散热体或自冷散热体,通常用 T_a 代替 T_r 。 T_a 为测量时的环境空气温度。

4.3 规定点温度的测量

4.3.1 散热体台面温度(T_s)可使用截面直径不大于 0.25 mm、热端焊球直径不大于 0.8 mm 的热电偶测量,且保持热电偶的热端不出现短路。

宜采用如下方法安装热电偶:

- 将热电偶的热端焊球插入散热体台面上的温度规定点;
- 敲击温度规定点孔口处的金属,使孔中的热电偶热端焊球与孔的内壁紧密、可靠地接触。

4.3.2 冷却媒质温度 T_r 或环境空气温度 T_a 使用测温仪测量。

4.4 测量系统

4.4.1 通则

测量系统包括加热电流单元、温度测量仪表以及测量冷却媒质(水或空气)规定点温度和速度(对于空气冷却散热体)或流量(对于水冷却散热体)的温度测量仪表和风速计、流量计。

热阻测量的准确度主要取决于功率 P 和散热体台面温度 T_s 的测量准确度。

安培表、伏特表或瓦特表和测温仪的准确度不应低于 0.5 级。

如果测量系统的电压达几十伏,应注意避免影响测量结果。

4.4.2 功率(热流)的产生

可使用半导体器件或将符合欧姆定律的电阻性元件封装在半导体器件管壳内制成的发热元件作为热源。为避免半导体器件的导通角对功率计算的影响,宜使用整流二极管作为热源。

产生功率(热流)的方法有直流电流法、半正弦波电流法和发热元件模拟法。宜采用直流电流法。如果采用其他方法,应校核其与直流电流法测量结果的一致性。

a) 直流电流法

对作为热源的半导体器件施加直流电流,从而产生功率 P_a 。该功率 P_a 由公式(5)计算。

$$P_a = I_F \cdot V_F \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

I_F ——产生功率 P_a 的直流电流;

V_F ——半导体器件两端的直流电压。

b) 半正弦波电流法

对作为热源的半导体器件施加半正弦波电流,从而产生功率 P_b 。该功率 P_b 由公式(6)计算。

$$P_b = V_{FO} \cdot I_{F(AV)} + 2.46 \times r_{FO} \cdot I_{F(AV)}^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

V_{FO} ——半导体器件的门槛电压，单位为伏(V)；

r_{FO} ——半导体器件的斜率电阻，单位为欧(Ω)；

$I_{F(AV)}$ ——产生功率 P_b 的半正弦波电流的平均值，单位为安(A)。

c) 发热元件模拟法

对作为热源、符合欧姆定律的电阻性元件封装在半导体器件管壳内制成的发热元件施加电流，从而产生功率 P_a 。该功率 P_a 由公式(5)计算或使用瓦特表测量。

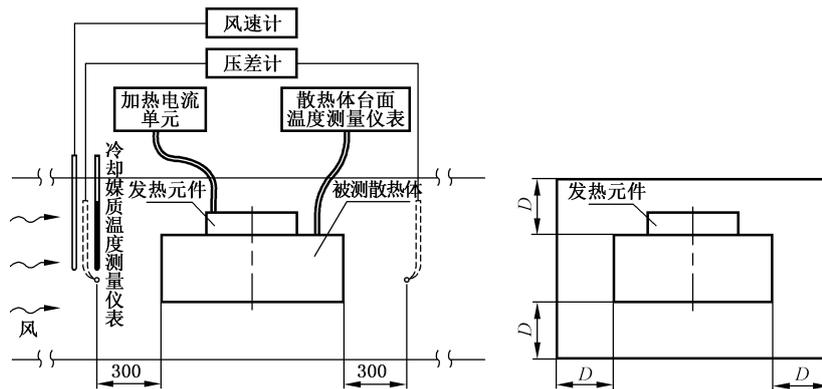
通过测量热流确定双侧散热半导体器件用散热体的热阻的方法见附录 A。

4.4.3 测量系统

4.4.3.1 空气冷却散热体测量系统

空气冷却散热体可使用风道测量。测量系统包括加热电流单元、散热体台面温度测量仪表、冷却媒质温度测量仪表、风道和风速计(见图 1。图 1 中的压差计用于第 5 章给出的流阻测量)。

单位为毫米



标引序号说明：

$D=10\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ 。

图 1 空气冷却散热体测量系统

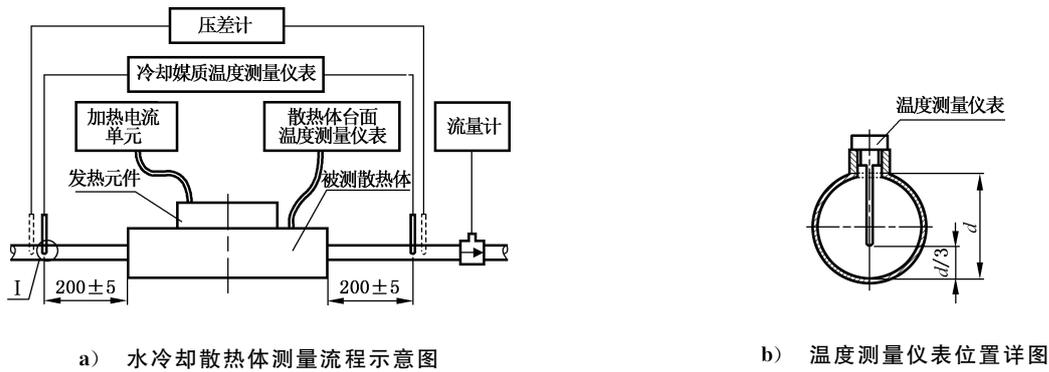
热电偶的热端应处于下游侧，并加以掩蔽。

温度计的位置应符合 4.2.2 的规定。风速计测量探头的位置与之相同。

4.4.3.2 水冷却散热体测量系统

水冷却散热体测量系统包括加热电流单元、散热体台面温度测量仪表、冷却媒质温度测量仪表、供水系统以及流量计(见图 2。图 2 中的压差计用于第 5 章给出的流阻测量)。冷却媒质温度测量仪表探头的位置应符合 4.2.2 的规定。

单位为毫米



标引序号说明：
 d ——管道内径。

图2 水冷却散热体测量系统

4.4.3.3 自冷散热体测量系统

自冷散热体测量系统包括加热电流单元、散热体台面温度测量仪表、自冷环境箱以及测量箱中空气温度的温度计。

被测散热体应悬挂于自冷环境箱内的中部,其叶片应顺应空气的自然对流。

自冷环境箱的内部空间应足以保持箱中 被测散热体四周 200 mm 处的温差不大于 2°C ,空气自然对流的速度不大于 0.5 m/s。

4.5 测量条件

4.5.1 加热功率

加热功率应在被测散热体温升与加热功率(宜参考被测散热体的耗散功率)的关系曲线的线性范围内选取。

4.5.2 被测散热体和作为其热源的元器件的安装力或安装力矩

安装被测散热体和作为其热源的半导体器件的力或力矩应符合其产品标准(如果有)的规定。安装作为热源的发热元件的力或力矩参照其封装管壳对应的器件产品标准中的规定。

4.5.3 被测散热体的冷却条件

测量过程中,被测散热体的冷却条件如下:

- 空气冷却散热体:风道中的风速为 6 m/s,被测散热体的上游侧规定点(见 4.2.2)的温度为环境空气温度;
- 水冷却散热体:冷却水流量为 4 L/min,被测散热体的上游侧规定点(见 4.2.2)的温度为 35_{-3}°C ;
- 自冷散热体:空气自然对流的速度不应超过 0.5 m/s,规定点的温度为环境空气温度。

4.6 测量程序

4.6.1 测量准备

测量准备步骤如下:

- 按照 4.5.2 的规定,将作为热源的半导体器件/发热元件安装到被测散热体上;
- 将被测散热体安置在测量系统中的规定位置;
- 按照 4.2.1 和 4.3.1 的规定安置热电偶;
- 按照 4.2.2 和 4.3.2 的规定安置冷却媒质温度测量仪表;
- 连接加热电流单元;
- 调整测量仪表的零点(如果必要)。

4.6.2 测量步骤

测量热阻的步骤如下:

- 按照 4.5.3 的规定调整冷却条件;
- 按照 4.5.1 的规定施加加热电流;
- 达到热平衡后,记录加热电流 I_F [或 $I_{F(AV)}$]、半导体器件两端的直流电压 V_F (或半导体器件的门槛电压 V_{FO} 和斜率电阻 r_{FO})、规定点温度 T_r (或 T_a) 和 T_s 的值。

如果测得的冷却媒质温度 T_r 偏差较大,可通过计算热平衡相对误差进行评估(见附录 B)。

4.6.3 计算

功率 P 按照 4.4.2 的规定计算。

对于单侧散热半导体器件用散热体,热阻 R_{sa} 由公式(1)计算。

对于双侧散热半导体器件用散热体,应由公式(2)和公式(3)分别计算分热阻 $R_{sa(A)}$ 和 $R_{sa(K)}$,然后由公式(4)计算热阻 R_{sa} 。当 $R_{sa(A)} = R_{sa(K)}$,或同时满足 $T_{s(A)} = T_{s(K)}$ 和 $P_A = P_K$ 时,见公式(7)或公式(8)。

$$R_{sa} = \frac{1}{2} R_{sa(A)} = \frac{1}{2} R_{sa(K)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

或

$$R_{sa} = \frac{T_{s(A)} - T_r}{P} = \frac{T_{s(K)} - T_r}{P} \quad \dots\dots\dots (8)$$

如果 P_A 和(或) P_K 未知而不便计算 $R_{sa(A)}$ 和(或) $R_{sa(K)}$,热阻 R_{sa} 可由公式(9)近似计算。

$$R_{sa} \approx \frac{[(T_{s(A)} + T_{s(K)})/2] - T_r}{P} \quad \dots\dots\dots (9)$$

5 流阻测量方法

5.1 原理

流阻 Δp 由公式(10)计算。

$$\Delta p = p_{in} - p_{out} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- p_{in} ——上游侧规定点处的冷却媒质压力;
- p_{out} ——下游侧规定点处的冷却媒质压力。

5.2 压力测量的规定点

压力测量的规定点为:

- 空气冷却散热体:规定的风道中,被测散热体的上游侧和下游侧距其 300 mm 处(见 4.4.3.1)、风道通风路径横截面的几何中心点;
- 水冷散热体:规定的冷却水管道中,被测散热体的上游侧和下游侧、距冷却水进入和离开其端口 200 mm ± 5 mm、沿冷却水管道的垂直径向且距管道内壁底部 $d/3$ (d 为管道内径)处(见

4.4.3.2)。

5.3 测量系统

5.3.1 空气冷却散热体测量系统

空气冷却散热体测量系统包括测量风道中空气速度的风速计以及测量流阻(Δp)的压差计(见图1)。

压差计的橡胶管应分别套接在距被测散热体的上游侧和下游侧 300 mm 处的风道侧壁上的金属管上。金属管的内径不应大于 6 mm,且不应伸入风道内。

5.3.2 水冷却散热体测量系统

水冷却散热体测量系统包括测量水路中冷却水压力 p_{in} 和 p_{out} 的压力表(或测量流阻 Δp 的压差计),以及测量水流量的流量计(见图2)。

5.4 测量条件

测量条件见 4.5.3。

5.5 测量程序

5.5.1 测量准备

测量准备步骤如下:

- 按照 4.5.2 的规定,将作为热源的半导体器件/发热元件安装到被测散热体上;
- 将被测散热体安置在测量系统中的规定位置;
- 将压力表或压差计等测量仪表的探头安置在规定位置;
- 调整测量仪表的零点(如果必要)。

5.5.2 测量步骤

散热体的流阻 Δp 可直接由压差计读出,或根据被测散热体的上游侧和下游侧压力测量规定点(见 5.2)处的压力表上的读数由公式(10)计算。

附录 A

(资料性)

通过测量热流确定双侧散热半导体器件用散热体的热阻

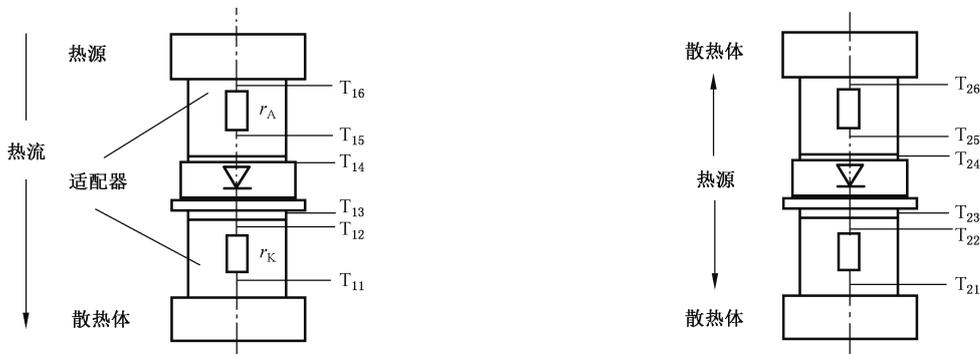
A.1 目的

通过测量热流,确定双侧散热半导体器件用散热体的热阻。

A.2 测量原理

分别测量双侧散热半导体器件高电位主端子侧散热体的分热阻 $R_{sa(A)}$ 和低电位主端子侧散热体的分热阻 $R_{sa(K)}$:

- a) 利用已校准的热阻器[图 A.1a)中置于双侧散热半导体器件与被测散热体之间的 r_A 和 r_K],分别测量从双侧散热半导体器件的高电位主端子侧和低电位主端子侧到相应两个散热体的热流;
- b) 测量两个分热阻 $R_{sa(A)}$ 和 $R_{sa(K)}$:
 - 1) 外部施加从双侧散热半导体器件高电位主端子侧到低电位主端子侧的热流[见图 A.1a)],测量串联热阻 R_S [$R_S = R_{sa(A)} + R_{sa(K)}$];
 - 2) 测量双侧散热半导体器件的耗散功率[见图 A.1b)];
 - 3) 测量分流到高电位主端子侧和低电位主端子侧的功率,由此和已知的 R_S 值计算两个分热阻。



r_A 和 r_K ——已校准的热阻器

- a) 从高电位主端子侧到低电位主端子侧施加热流的装置
- b) 双侧散热半导体器件耗散功率测量和校准装置

图 A.1 通过测量热流确定双侧散热半导体器件用散热体热阻的装置

r_A 和 r_K 的校准:

原则上, r_A 和 r_K 能由公式(A.1)计算:

$$r_A \text{ (或 } r_K) = \frac{4l}{\pi \cdot \lambda \cdot D^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

D ——圆柱形适配器的直径,单位为厘米(cm);

l ——热敏元件安装点间的轴向距离,单位为厘米(cm);

λ ——适配器的材料热导率,单位为瓦每厘米开[W/(cm·K)]。

由于下述原因,使用公式(A.1)仅是估算:

——已知的热常数 λ 不够精确;

—— l 值、 D 值和热敏元件灵敏度的公差未知。

因此,宜仔细校准适配器。校准采用图 A.1b)所示装置进行。采用对称的电加热元件作为热源,测量其总电功率 P 。两个适配器以及高电位主端子侧和低电位主端子侧两个散热体的安置应相同,以使在两侧耗散的功率相等。根据测得的温度差,可分别由公式(A.2)和公式(A.3)计算 r_A 和 r_K 。

$$r_A = 2 \times (T_{25} - T_{26}) / P \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$r_K = 2 \times (T_{22} - T_{21}) / P \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

如果采用半导体器件作为发热元件,宜采用热对称的器件,以避免热流不对称而导致复杂化。可翻转加热元件,采用上述方法再次校准 r_A 和 r_K 。如果两次结果不同,应取两次测量的平均值。

在校准和测量期间,双侧散热半导体器件和被测散热体应具有良好的热绝缘,以使对环境空气的损耗可忽略(无论如何,与校准、测量时的损耗同一数量级)。

适配器可采用铜或镀-铜。后者较硬,热导率较低。

测量高电位主端子侧和低电位主端子侧被测散热体的温度宜采用表面测量的热电偶或电阻温度计,且用弹簧使之与被测散热体接触良好。

另一方法是在适配器与被测散热体的接触面中心正下方规定的小距离处测量温度。但是,该距离产生的附加热阻和表面接触热阻包含在分热阻的测量值中。修正方法为从测量值中减去附加热阻的典型值。

重复试验时,应定期检查适配器与被测散热体的接触板的质量。

A.3 注意事项

如上述“ r_A 和 r_K 的校准”所述,要求良好的热绝缘。

A.4 测量程序

测量分两步进行。

- a) 使用图 A.1a)所示的加热和冷却系统保持流过双侧散热半导体器件的热流。达到热平衡后,记录两个适配器上的温度 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 、 T_{14} 、 T_{15} 和 T_{16} 。由公式(A.4)和公式(A.5)分别计算流经双侧散热半导体器件高电位主端子侧和低电位主端子侧的热流:

$$P_{A1} = (T_{16} - T_{15}) / r_A \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$P_{K1} = (T_{12} - T_{11}) / r_K \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

由于 r_A 和 r_K 位置间的小损耗, P_{A1} 将略大于 P_{K1} 。串联热阻 R_S 可根据 P_{A1} 和 P_{K1} 的平均值由公式(A.6)计算:

$$R_S = 2 \times \frac{T_{14} - T_{13}}{P_{A1} + P_{K1}} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

- b) 采用施加直流电流通过双侧散热半导体器件的方法,在其两侧产生热流[见图 A.1b)]。达到热平衡后,记录两个适配器的温度 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24} 、 T_{25} 和 T_{26} 。由公式(A.7)和公式(A.8)分别计算两侧的热流:

$$P_{A2} = (T_{25} - T_{26}) / r_A \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$P_{K2} = (T_{22} - T_{21}) / r_K \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

根据 P_{A2} 、 P_{K2} 、 R_S 和 T_{24} 、 T_{23} ,由公式(A.9)~公式(A.11)分别计算有效结温 T_j 和两个分热阻:

$$T_j = \frac{P_{A2} \cdot P_{K2} \cdot R_s + T_{23} \cdot P_{A2} + T_{24} \cdot P_{K2}}{P_{A2} + P_{K2}} \dots\dots\dots (A.9)$$

$$R_{sa(A)} = (T_j - T_{24}) / P_{A2} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$R_{sa(K)} = (T_j - T_{23}) / P_{K2} \dots\dots\dots (A.11)$$

根据两个分热阻,由公式(A.12)计算并联热阻:

$$R_{sa} = \frac{R_{sa(A)} \cdot R_{sa(K)}}{R_{sa(A)} + R_{sa(K)}} \dots\dots\dots (A.12)$$

此值仅当高电位主端子侧散热体和低电位主端子侧散热体的温度近似相等时才有实用意义。

附录 B
(资料性)
热平衡相对误差计算

B.1 目的

通过计算热平衡相对误差确定散热体热阻测量的合理性。

B.2 原理

根据 JB/T 10379—2002, 计算散热体的吸收功率 Q_c , 见公式(B.1)。

$$Q_c = V_c \cdot \rho_c \cdot c_p \cdot (t_{\text{out}} - t_{\text{in}}) \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

V_c ——冷却介质换流流量, 测量误差不应大于 $\pm 3\%$;

ρ_c ——定压密度;

c_p ——比定压热容;

t_{out} ——被测散热体下游侧规定点处的温度, 测量误差不应大于 $0.5\text{ }^\circ\text{C}$;

t_{in} ——被测散热体上游侧规定点处的温度, 测量误差不应大于 $0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

根据加热功率 P , 计算热平衡相对误差 η , 见公式(B.2)。

$$\eta = \left| \frac{P - Q_c}{Q_c} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

参 考 文 献

- [1] GB/T 3859.1—2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第 1-1 部分:基本要求
规范
- [2] JB/T 10379—2002 换热器热工性能和流体阻力特性通用测定方法
-