

如果需要对强制风冷的散热器剖面进行优化,则可以将其热传导与热对流的函数对翼片的高度进行积分。在一番简化后可以得到下列公式:

$$R_{thfa} = \frac{1}{n \cdot \sqrt{\alpha \cdot U \cdot \lambda \cdot A} \cdot \left[\frac{1}{1 + \exp - 2\kappa h} - \frac{1}{1 + \exp - 2\kappa h} \right]}$$

$$\text{其中 } \kappa = \sqrt{\frac{\alpha \cdot U}{\lambda \cdot A}}$$

(以上 α 为对流系数, U 为翼片的周长, λ 为散热器的热传导系数, A 为翼片的截面, h 为翼片的高度)。

常常有数个散热器共用一个风扇的情形。在此情形下,散热器既可以并联(散热器左右相邻),又可以串联(散热器在空气流动方向上前后相接)。

尤其是在热串联的情形下,例如,用标准 GB 电路(半桥模块)的 SKiiPPACK 构成三相逆变器时,需要在传热设计中特别注意冷却空气会被前置的 SKiiPPACK 所加热。

作为经验值,在空气流量为 $300\text{m}^3/\text{h}$ 时,每千瓦功耗所导致的进出口气温差可达 10 度左右。更详细的细节可见 3.3.6.1 节。

3.3.5 水冷

对于功率模块进行水冷既可以用于特大功率的变流器(兆瓦级),又可以用于较小的功率,条件是系统本身已经提供了循环水的装置(例如,汽车驱动、电解装置、感应加热等)。

如果冷却介质的热量被直接释放到环境大气中,则冷却介质的进口温度多为 $50-70^\circ\text{C}$ 。在具有主动制冷的工业装置中也可以是 $15-25^\circ\text{C}$ 。

和空冷相比,散热器的表面和冷却介质之间的温差比较小。它可以从两方面来加以利用:

1. 提高功率,在负载循环变化时允许芯片产生更大的动态温差 ΔT_j (有关寿命的限值见 3.2.3 节);
2. 降低芯片的温度,延长寿命。

由于水具有较大的热容量(热容 $c_p = 4.187\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$),所以它原则上优于其他液体介质,如油、乙二醇等

图 3.21 显示了 SEMIKRON 采用水冷散热板的三臂 SKiiPPACK 的标准结构。

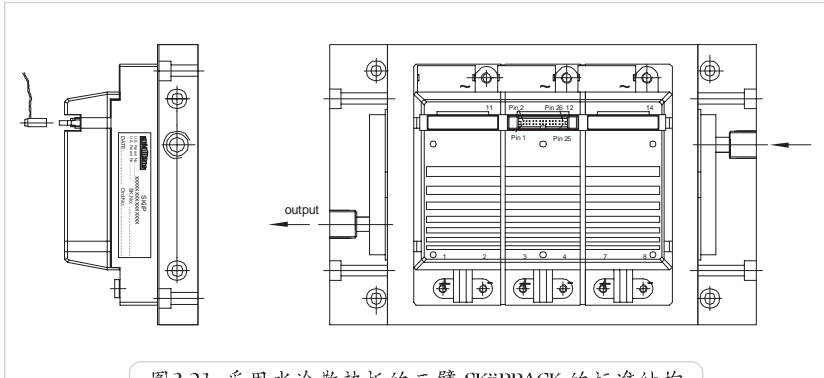


图3.21 采用水冷散热板的三臂 SKiiPPACK 的标准结构

然而，由于水可能会引起生锈和结冻，所以开放式的或封闭式的纯水循环系统极少被应用。

如果将水与例如醇相混合，则冷却液的热容量会下降（例如，当入醇量为 50% 以及液体温度为 40°C 时的值为 3.4kJ/kg·K）。另外，冷却液的粘度和比重随加醇的比例上升而上升，导致散热器和冷却液之间的热阻 R_{thw} 急剧增加。例如，同纯水相比，含 50% 醇的冷却液热阻会增加约 50% 到 60%；而当醇含量为 90% 时，热阻会进一步上升 60% 到 70%。

为了防锈的目的，SEMIKRON 的铝制水冷散热器要求醇的含量不低于 10%。冷却液的硬度不得超过 6。当冷却液温度大于 60°C 时，则建议使用循环式的冷却液。

采用水冷时，带功率模块或 SKiiPPACK 的散热器也可以串联。作为经验值，每个散热器（例如，SEMIKRON 用于 SKiiPPACK 的水冷散热器）在流量为 10 l/min 以及采用 50/50% 的水醇混合液时，每千瓦功耗的进出口温差约为 1.7K。

有关水冷 SKiiPPACK 更详细的参数请参阅 3.3.6.2 节。

3.3.6 用于 SKiiPPACK 的标准散热器的参数

3.3.6.1 强制风冷

当 SKiiPPACK 采用标准 P16 型散热器以及 SKF 型 16B 风扇（GD 133-2k-40105）时，其基于四个时间常数的传热模型的参数如下表所示。在表中， $R_{thsa\ tot}$ 为静态热阻，由传感器温度 (T_s) 和进口温度 (T_a) 之间的温差与系统的总功耗 P_{tot} 计算得出：

$$R_{thsa\ tot} = \sum_{\nu=1}^4 R_{\nu}$$