

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：

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

而 $Z_{thsa\ tot}$ 为动态热抗, 同样可以由传感器温度 (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:

$$Z_{thsa\ tot} = \sum_{v=1}^4 R_v \cdot [1 - \exp(-t/\tau_v)]$$

传热模型参数 (四时间常数模型)									
R_1	R_2	R_3	R_4	ΣR	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	
K/W	K/W	K/W	K/W	K/W	s	s	s	s	
2 臂 SKiiPPACK ($V_{air}/t = 310\ m^3/h$)									
$1.383 \cdot 10^{-2}$	$1.886 \cdot 10^{-2}$	$6.663 \cdot 10^{-3}$	$3.640 \cdot 10^{-3}$	$4.299 \cdot 10^{-2}$	$2.579 \cdot 10^2$	$6.350 \cdot 10^1$	5.831	$1.543 \cdot 10^2$	
3 臂 SKiiPPACK ($V_{air}/t = 305\ m^3/h$)									
$1.157 \cdot 10^{-2}$	$1.669 \cdot 10^{-2}$	$3.512 \cdot 10^{-3}$	$3.097 \cdot 10^{-3}$	$3.487 \cdot 10^{-2}$	$2.638 \cdot 10^2$	$6.625 \cdot 10^1$	6.049	$2.000 \cdot 10^2$	
4 臂 SKiiPPACK ($V_{air}/t = 300\ m^3/h$)									
$1.398 \cdot 10^{-3}$	$2.048 \cdot 10^{-2}$	$7.012 \cdot 10^{-3}$	$2.448 \cdot 10^{-3}$	$3.134 \cdot 10^{-2}$	$5.398 \cdot 10^2$	$1.724 \cdot 10^2$	$2.008 \cdot 10^1$	$2.876 \cdot 10^2$	

当 SKiiPPACK 处于热串联状态下时, 在计算中需要考虑由于压差的增加而引起的冷却空气流量的降低以及前置的 SKiiPPACK 对冷却空气的预热效应。

图 3.22 解释了相应的处理方法:

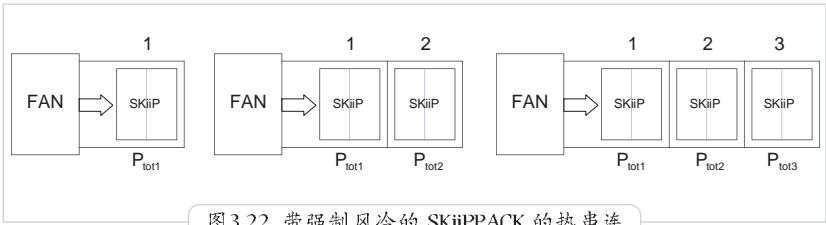


图 3.22 带强制风冷的 SKiiPPACK 的热串连

上述的预热效应可以由 SKiiPPACK 的总功耗 P_{totn} 、以及相邻两个散热器之间的静态热阻和动态热抗来计算, 见图 3.22。每一个 SKiiPPACK 的动态热抗可由下列公式来计算:

第一个 SKiiPPACK

$$Z_{thsa\ tot1} = \sum_{v=1}^4 R_v \cdot [1 - \exp(-t/\tau_v)]$$

第二个 SKiiPPACK

$$Z_{thsa\ tot2} = \sum_{v=1}^4 R_v \cdot [1 - \exp(-t/\tau_v)] + (P_{tot1}/P_{tot2}) \cdot R_{thaa1-2} \cdot [1 - \exp(-t/\tau_{aa1-2})]$$

第三个 SKiiPPACK

$$Z_{thsa\ tot3} = \sum_{v=1}^4 R_v \cdot [1 - \exp(-t/\tau_v)] + [(P_{tot1} + P_{tot2})/P_{tot3}] \cdot R_{thaa2-3} \cdot [1 - \exp(-t/\tau_{aa2-3})]$$

3.3.6.2 液体冷却

当 SKiiPPACK 采用标准水冷散热器 S1021450 (进水口与出水口在同一端, 冷却液为 50%/50% 水醇混合液, 温度为 50°C) 时, 基于四个时间常数的传热模型的参数如下表所示。由于 SKiiPPACK 具有内置的温度传感器, 它的温度 T_s 可以被用作散热器温度 T_h 的参考点, 从而适用下列定义:

$R_{thsw\ tot}$ 为静态热阻, 由传感器温度 (T_s) 和进口温度 (T_w) 之间的温差与系统的总功耗 P_{tot} 计算得出:

$$R_{thsw\ tot} = \sum_{v=1}^4 R_v$$

而 $Z_{thsw\ tot}$ 为动态热抗, 同样可以由传感器温度 (T_s) 和进口温度 (T_w) 之间的温差与系统的总功耗 P_{tot} 计算得出:

$$Z_{thsw\ tot} = \sum_{v=1}^4 R_v \cdot [1 - \exp(-t/\tau_v)]$$

冷却液 流量 l/min	传热模型参数 (四时间常数模型)								
	R ₁ K/W	R ₂ K/W	R ₃ K/W	R ₄ K/W	ΣR K/W	τ ₁ s	τ ₂ s	τ ₃ s	τ ₄ s
2 臂 SKiiPPACK									
6	1.942· 10 ⁻³	6.262· 10 ⁻³	3.785· 10 ⁻³	6.608· 10 ⁻³	1.860· 10 ⁻²	1.225· 10 ⁻¹	2.911	1.189· 10 ¹	5.196· 10 ¹
10	1.942· 10 ⁻³	6.262· 10 ⁻³	4.402· 10 ⁻³	2.993· 10 ⁻³	1.560· 10 ⁻²	1.225· 10 ⁻¹	2.911	1.782· 10 ¹	1.131· 10 ²
14	1.942· 10 ⁻³	6.262· 10 ⁻³	4.628· 10 ⁻³	1.667· 10 ⁻³	1.450· 10 ⁻²	1.225· 10 ⁻¹	2.911	2.000· 10 ¹	1.355· 10 ²
3 臂 SKiiPPACK									
6	2.143· 10 ⁻³	3.818· 10 ⁻³	9.405· 10 ⁻³	2.535· 10 ⁻³	1.790· 10 ⁻²	2.204· 10 ⁻¹	3.343	2.800· 10 ¹	1.123· 10 ²
10	2.143· 10 ⁻³	3.818· 10 ⁻³	6.683· 10 ⁻³	2.057· 10 ⁻³	1.470· 10 ⁻²	2.204· 10 ⁻¹	3.343	2.367· 10 ¹	1.094· 10 ²
14	2.143· 10 ⁻³	3.818· 10 ⁻³	5.662· 10 ⁻³	1.878· 10 ⁻³	1.350· 10 ⁻²	2.204· 10 ⁻¹	3.343	2.205· 10 ¹	1.083· 10 ²
4 臂 SKiiPPACK									
6	8.714· 10 ⁻⁴	2.893· 10 ⁻³	7.573· 10 ⁻³	1.970· 10 ⁻³	1.331· 10 ⁻²	9.939· 10 ⁻²	2.038	2.700· 10 ¹	1.462· 10 ²
10	8.714· 10 ⁻⁴	2.893· 10 ⁻³	4.785· 10 ⁻³	2.052· 10 ⁻³	1.060· 10 ⁻²	9.939· 10 ⁻²	2.038	1.868· 10 ¹	9.085· 10 ¹
14	8.714· 10 ⁻⁴	2.893· 10 ⁻³	3.649· 10 ⁻³	2.086· 10 ⁻³	9.499· 10 ⁻³	9.939· 10 ⁻²	2.038	1.529· 10 ¹	6.830· 10 ¹

在有热串联的计算中原则上需要做的考虑与风冷时相同。