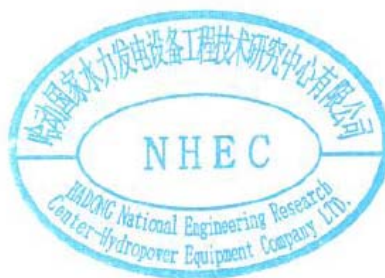


技术报告	哈动国家水力发电设备工程技术研究中心有限公司	DJS-2021COOLER-1
项目名称: 基威埃工业换热器 (江苏) 有限公司 Project:		版次: 1 Rev. No.1
报告内容分类: Classification of report content	<input type="checkbox"/> 电磁 Electromagnetic  <input type="checkbox"/> 强度 Mechanics  <input type="checkbox"/> 水力 Hydrodynamic  <input type="checkbox"/> 轴承 Bearing  <input checked="" type="checkbox"/> 冷却 Cooling  <input type="checkbox"/> 其他 Other	第 1 页/共 10 页 Page: 1/10

## 穿片式冷却器

### 传热性能与风阻性能试验报告



编制部门: 电机室

Department: Electric Machine Research Office

审 定: Authorized by	安志华 2021.9.13	校 核: Checked by	刘双 2021.9.13
审 查: Approved by	李树芬 2021.9.13	编 制: Created by	秦光宇 2021.9.13
	签 字 Signature	日 期 Date	签 字 Signature

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 2 页/共 10 页 Page: 2/10

## 目 录

1 前言 .....	3
2 冷却器模型的几何尺寸 .....	3
3 试验内容 .....	4
4 试验方法 .....	4
5 试验数据整理及其结果 .....	5
6 冷却器传热系数 $K=f_1(V_a)$ 、风阻特性 $\Delta H_a=f_2(V_a)$ 的关系方程式 .....	10

---

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 3 页/共 10 页 Page: 3/10

## 1 前言

根据基威埃工业换热器（江苏）有限公司的委托，哈动国家水力发电设备工程技术研究中心有限公司对基威埃工业换热器（江苏）有限公司生产制造的 BFe10-1-1 管 T2 片穿片式冷却器进行了性能试验。试验是在哈动国家水力发电设备工程技术研究中心有限公司的重点设备“闭路循环中速风洞”上进行的。此风洞装置包括风路循环系统、电加热系统、水路循环系统和测控系统等几部分，能够模拟冷却器在电机中运行的条件。经试验获得技术参数，现提出试验分析报告。

## 2 冷却器模型的几何尺寸

试验采用实际冷却器的模型来进行。冷却器的模型是基威埃工业换热器（江苏）有限公司提供的，既能与试验系统相匹配，同时又可以反映实际冷却器的运行性能。

冷却器模型的基本尺寸见表 1，穿片式冷却器是由冷却水管与穿片式冷却元件组成的，而穿片式冷却元件是一片多管胀接的整体破口片，其结构如图 1 所示，

表 1 冷却器模型的基本尺寸

项 目	基本尺寸	项 目	基本尺寸
冷却器长 (m)	0.40	冷却器宽 (m)	0.40
水管直径 (m)	0.0124/0.0140	水管排距 (m)	0.0295
水管间距 (m)	0.034	水管排数	3
每排根数	12,11,12	水管总数	35
片距 (m)	0.0025	水路数	2
散热片数量	160	水管/散热片材质	BFe10-1-1/T2
总散热面积(m <sup>2</sup> )	10.09		

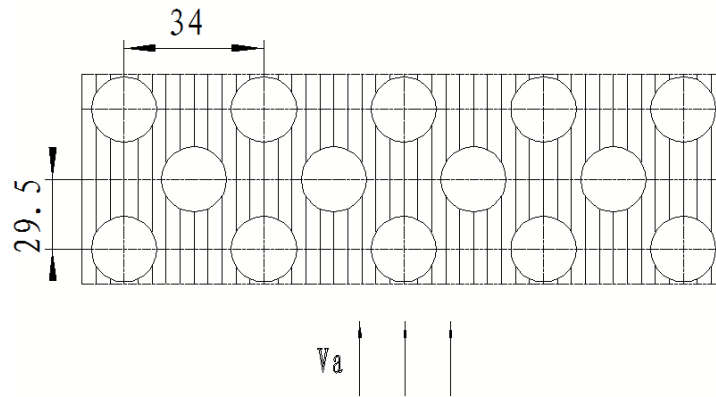


图 1 穿片式冷却器水管排列方式

### 3 试验内容

在“闭路循环中速风洞”上，进行有 3 排管束排列的穿片式冷却器的传热性能和风阻性能试验。

通过试验确定基威埃工业换热器（江苏）有限公司生产制造的穿片式冷却器的传热性能和风阻性能，由此，为穿片式冷却器的设计、生产制造和运行提供依据。

### 4 试验方法

试验采用模型试验法。

为准确地测试出冷却器的传热性能与风阻性能，把冷却器模型制造成符合风洞截面尺寸，其排数、管束排列方式与实际电机中运行的冷却器相同的试验模型。把这样的冷却器模型安装到闭路循环中速风洞试验段上，分别调整不同的加热功率、不同的风速及不同的流速，以达到试验要求。

通过冷却器模型的风量是由鼓风机供给的，在试验段内最大风量可达  $8640\text{m}^3/\text{h}$ 。

通过冷却器模型的水量是由水箱经过水泵供给的，水箱为圆柱型，尺寸为  $\Phi 2.3\text{m} \times 2.5\text{m}$ ，可容纳  $10\text{m}^3$  水。

通过冷却器模型的气体温度是由加热元件加热气体至需要值，其加热功率可达  $60\text{kW}$ 。

传热系数  $K=f(V_a)$  的关系是在保持一定常流速  $V_w$  状态下，调节鼓风机转速，使风速达到不同的数值，而求得  $K$  值与风速  $V_a$  之间的关系。

风阻特性是在分别调节出不同的风速状态下，测试冷却器模型前后的压力差而得到的。

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 5 页/共 10 页 Page: 5/10

风速的测量是由“毕托管”取得动、静压，再送至“差压变送器”，最后经“控制台”风速仪显示的。风速的计算公式为：

$$V_a = \sqrt{\Delta H \times 2g / \gamma} \quad \text{m/s}$$

$\Delta H$  — 动压差                      Pa

$g$  — 重力加速度            9.81  $\text{m/s}^2$

$\gamma$  — 空气的比重                 $\text{kg/m}^3$

气体温度是以铜丝电阻网根据电阻值的变化测量的。

冷却器模型进、出水温度是用两支铂薄膜热电阻分别安装在冷却器的进水管和出水管测量的。

为保证水温测量准确，还在进、出水阀门处安装了热电偶直接测量水温差，做对比校验。

流速是用涡轮流量计—频率计测量的。

试验中气体的流速、温度和冷却水的流速保持稳定。

## 5 试验数据整理及其结果

### 5.1 传热性能试验数据及计算结果

试验用穿片式冷却器的过风面积为  $0.16\text{m}^2$ ；单管每米长散热面积为  $0.721\text{m}^2$ ；单管有效长为  $0.4\text{m}$ 。

试验在三种不同流速下进行，表2给出了水量为  $7.6\text{m}^3/\text{h}$ 、流速为  $1.0\text{m/s}$  工况的测试结果，表3给出了水量为  $11.4\text{m}^3/\text{h}$ 、流速为  $1.5\text{m/s}$  工况的测试结果，表4给出了水量为  $15.2\text{m}^3/\text{h}$ 、流速为  $2.0\text{m/s}$  工况的测试结果。

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 6 页/共 10 页 Page: 6/10

表2 水量为7.6m<sup>3</sup>/h、水速为1.0 m/s工况测试结果

风速点数	1	2	3	4	5
热风温度 (°C)	60.163	64.646	66.897	69.732	68.388
冷风温度 (°C)	34.814	41.819	46.894	51.576	53.216
风温度差 (K)	25.348	22.828	20.003	18.156	15.172
热风密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.1043	1.0859	1.0745	1.0629	1.0624
冷风密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.1485	1.1247	1.1073	1.0921	1.0865
空气比热 (kJ/(kg·°C))	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	2.194	4.308	6.389	8.508	10.554
气侧容量 (kW)	9.917	17.242	22.169	26.505	27.464
热水温度 (°C)	29.3	29.2	30	31	31.4
冷水温度 (°C)	28.204	27.276	27.551	28.04	28.364
水温度差 (K)	1.096	1.924	2.449	2.96	3.036
水的比热 (kJ/(kg·°C))	4.175	4.176	4.175	4.174	4.174
水的密度 (kg/m <sup>3</sup> )	996	996.1	996	995.8	995.7
水侧容量 (kW)	9.619	16.897	21.504	25.975	26.64
气侧容量 (K)	1.097	1.925	2.452	2.961	3.039
算水温差					
对数温差 (K)	15.739	23.463	27.182	30.505	30.519
传热系数	0.0606	0.0714	0.0784	0.0844	0.0866

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 7 页/共 10 页 Page: 7/10

表3 水量为11.4m<sup>3</sup>/h、水速为1.5 m/s工况测试结果

风速点数	1	2	3	4	5
热风温度 (°C)	64.105	65.432	65.847	65.199	66.11
冷风温度 (°C)	34.41	41.401	45.072	47.573	50.011
风温度差 (K)	29.695	24.031	20.775	17.626	16.099
热风密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.0985	1.0852	1.079	1.0761	1.071
冷风密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.1501	1.1259	1.1133	1.1052	1.097
空气比热 (kJ/(kg·°C))	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	2.209	4.316	6.428	8.535	10.642
气侧容量 (kW)	11.634	18.172	23.263	26.135	29.624
热水温度 (°C)	28.5	29.6	29.4	29.4	29.5
冷水温度 (°C)	27.643	28.248	27.686	27.455	27.318
水温度差 (K)	0.857	1.352	1.714	1.945	2.182
水的比热 (kJ/(kg·°C))	4.176	4.175	4.175	4.175	4.175
水的密度 (kg/m <sup>3</sup> )	996.2	996	996	996.1	996.1
水侧容量 (kW)	11.285	17.808	22.565	25.612	28.735
气侧容量 (K)	0.857	1.353	1.715	1.945	2.184
算水温差					
对数温差 (K)	17.367	22.63	25.751	27.21	29.099
传热系数	0.0644	0.078	0.0869	0.0933	0.0979

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 8 页/共 10 页 Page: 8/10

表 4 水量为 15.2m<sup>3</sup>/h、水速为 2.0 m/s 工况测试结果

风速点数	1	2	3	4	5
热风温度 (°C)	61.908	64.443	65.01	63.992	65.448
冷风温度 (°C)	34.634	39.718	43.885	46.142	48.607
风温度差 (K)	27.274	24.725	21.125	17.85	16.84
热风密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.1016	1.0896	1.0823	1.0803	1.0744
冷风密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.149	1.132	1.1174	1.11	1.1018
空气比热 (kJ/(kg·°C))	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	2.222	4.311	6.453	8.6	10.717
气侧容量 (kW)	10.777	18.751	23.818	26.774	31.302
热水温度 (°C)	29.5	28	28.5	28.7	28.4
冷水温度 (°C)	28.905	26.954	27.185	27.206	26.672
水温度差 (K)	0.595	1.046	1.315	1.494	1.728
水的比热 (kJ/(kg·°C))	4.175	4.176	4.176	4.176	4.176
水的密度 (kg/m <sup>3</sup> )	996.1	996.3	996.2	996.2	996.3
水侧容量 (kW)	10.453	18.376	23.104	26.239	30.363
气侧容量 (K)	0.596	1.047	1.317	1.494	1.73
算水温差					
对数温差 (K)	15.396	22.571	25.327	26.271	28.834
传热系数	0.0673	0.0807	0.0905	0.099	0.1044

根据试验结果，可以得到冷却器的传热系数与风速、水速关系曲线，如图 2 所示。

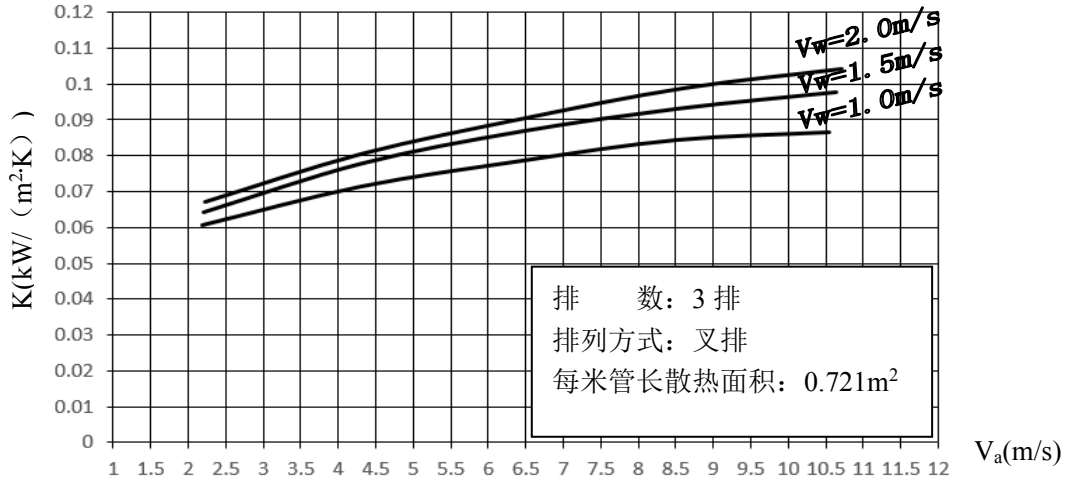


图 2 穿片式冷却器传热系数与进风速度的关系

### 5.2 风阻性能试验及其结果

风阻性能试验及其结果见表 5。

表 5 风阻性能试验结果

风速点数	1	2	3	4	5
风 速(m/s)	2.13	4.15	6.25	8.37	10.45
气体压降(Pa)	39.2	127.4	225.4	343	470.4

根据试验结果，可以得到穿片式冷却器的风阻压降与风速的关系，如图 3 所示。

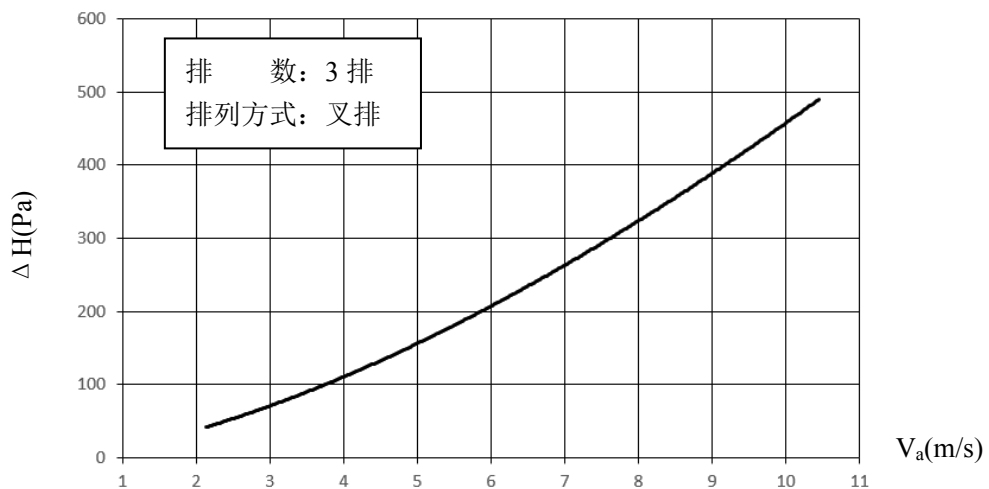


图 3 穿片式冷却器风阻压降与进风速度的关系

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2021COOLER-1
		第 10 页/共 10 页 Page: 10/10

## 6 冷却器传热系数 $K=f_1(V_a)$ 、风阻特性 $\Delta H_a=f_2(V_a)$ 的关系方程式

6.1 利用一元非线性回归分析，得出传热系数  $K(\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$  与进风速度  $V_a(\text{m/s})$  的关系。

(1) 当水速为  $V_w=1.0(\text{m/s})$  时

$$K=0.0507 \times V_a^{0.2331} \quad R=0.9959$$

(2) 当水速为  $V_w=1.5(\text{m/s})$  时

$$K=0.0524 \times V_a^{0.2684} \quad R=0.9981$$

(3) 当水速  $V_w=2.0(\text{m/s})$  时

$$K=0.0536 \times V_a^{0.2818} \quad R=0.9994$$

注：R：回归分析的相关系数

6.2 利用一元非线性回归分析，得出 3 排水管时风阻压降  $\Delta H_a(\text{Pa})$  与进风速度  $V_a(\text{m/s})$  的关系，实际风阻压降可按水管排数线性变化折算。

$$\Delta H_a=12.812 \times V_a^{1.5529} \quad R=0.9966$$

注：R：回归分析的相关系数。