

技术报告 Technical Report	哈动国家水力发电设备工程技术研究中心有限公司 Hadong National Hydropower Equipment Engineering Technology Research Center Co., Ltd	DJS-2022COOLER-2
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"/> 水力 Hydrodynamic <input checked="" type="checkbox"/> 冷却 Cooling <input type="checkbox"/> 强度 Mechanics <input type="checkbox"/> 轴承 Bearing <input type="checkbox"/> 其他 Other	第 1 页/共 9 页 Page: 1/9

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		2022.12.20	校核： Checked by		2022.12.20
审查： Approved by		2022.12.20	编制： Created by	韩佳丽	2022.12.20
	签字 Signature	日期 Date		签字 Signature	日期 Date

1 前言

根据基威埃工业换热器（江苏）有限公司的委托计划，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双管穿片式冷却器（空冷器铭牌型号：40/12/5/2-ESv-DS141-34N306）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。此风洞装置包括了风路循环系统、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，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。冷却器的模型是由基威埃工业换热器（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。

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，冷却器模型的基本尺寸见表 1。

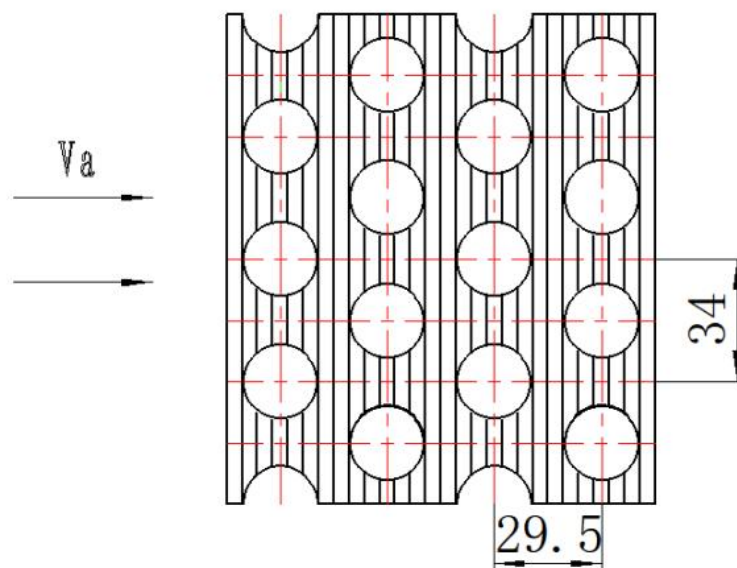


图 1 穿片式冷却器水管排列方式

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2022COOLER-2
		第 3 页/共 9 页 Page: 3/9

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)	0.408
水管直径 (m)	Φ0.011/Φ0.014	水管排距 (m)	0.0295
水管间距 (m)	0.034	水管排数	5
每排根数	12,11,12,11,12	水管总数	58
片距 (m)	0.003	水路数	2
散热片数量	133	片厚 (mm)	0.14
总散热面积(m ²)	14	水管 /散热片材质	CuNi10Fe (内管) Tp1(外管) /T2

3 试验内容

在“闭路循环中速风洞”上，进行有 5 排管束排列的穿片式冷却器的传热性能和风阻性能试验。

通过试验确定该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、管束排列方式都和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水速，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 8640m³/h。

通过冷却器模型的水量是由水箱经过水泵供给的，水箱尺寸为 2m×3m×4m，可容纳 24m³ 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 60kW。

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2022COOLER-2
		第 4 页/共 9 页 Page: 4/9

传热系数 $K=f(V_a)$ 的关系是在保持一定常水速 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。

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：

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

$$\Delta H \text{ — 动压差} \quad \text{Pa}$$

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

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

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。

水速是用涡轮流量计—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 0.16m^2 ；单管每米长散热面积为 0.6m^2 ；单管有效长为 0.4m 。

试验在三种不同水速下进行，表2给出了水量为 $9.92\text{m}^3/\text{h}$ 、水速为 1.0m/s 工况的测试结果，表3给出了水量为 $14.88\text{m}^3/\text{h}$ 、水速为 1.5m/s 工况的测试结果，表4给出了水量为 $19.84\text{m}^3/\text{h}$ 、水速为 2.0m/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-2022COOLER-2
		第 5 页/共 9 页 Page: 5/9

表2 水量为9.92 m³/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)	62.282	69.309	64.495	65.836	66.124
冷风温度 (°C)	31.052	37.944	40.382	43.865	46.111
风温度差 (K)	31.230	31.365	24.112	21.971	20.013
热风密度 (kg/m ³)	1.1104	1.0913	1.0962	1.0897	1.0866
冷风密度 (kg/m ³)	1.1660	1.1458	1.1376	1.1271	1.1201
空气比热 (kJ/kg·°C)	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	2.006	3.979	6.112	8.161	10.195
气侧容量 (kW)	11.228	21.989	26.083	31.543	35.791
热水温度 (°C)	27.700	28.100	28.000	28.200	28.000
冷水温度 (°C)	26.750	26.221	25.793	25.504	24.973
水温度差 (K)	0.950	1.879	2.207	2.696	3.027
水的比热 (kJ/kg·°C)	4.176	4.176	4.176	4.176	4.177
水的密度 (kg/m ³)	996.3	996.3	996.3	996.4	996.5
水侧容量 (kW)	10.891	21.549	25.300	30.912	34.717
气侧容量 (K)	0.951	1.880	2.209	2.697	3.030
算水温差					
对数温差 (K)	14.528	23.456	23.891	26.855	28.801
传热系数	0.0532	0.0652	0.0751	0.0816	0.0855

表3 水量为14.88 m³/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)	62.402	63.454	63.260	63.868	68.674
冷风温度 (°C)	29.761	34.772	38.148	41.214	44.747
风温度差 (K)	32.641	28.682	25.111	22.654	23.927
热风密度 (kg/m ³)	1.1120	1.1048	1.1016	1.0969	1.0857
冷风密度 (kg/m ³)	1.1704	1.1557	1.1452	1.1361	1.1259
空气比热 (kJ/kg·°C)	1.0090	1.0090	1.0090	1.0090	1.0090
风 速 (m/s)	2.063	4.090	6.113	8.172	10.256
气侧容量 (kW)	12.089	20.923	27.298	32.783	43.014
热水温度 (°C)	26.800	26.900	26.500	26.200	25.400
冷水温度 (°C)	26.118	25.708	24.962	24.334	22.977
水温度差 (K)	0.682	1.192	1.538	1.866	2.423
水的比热 (kJ/kg·°C)	4.177	4.177	4.178	4.178	4.179
水的密度 (kg/m ³)	996.6	996.6	996.7	996.8	997.1
水侧容量 (kW)	11.726	20.505	26.479	32.127	41.724
气侧容量 (K)	0.682	1.192	1.540	1.867	2.425
算水温差					
对数温差 (K)	14.019	19.713	22.994	25.899	31.300
传热系数	0.0594	0.0738	0.0817	0.0880	0.0946

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2022COOLER-2
		第 7 页/共 9 页 Page: 7/9

表 4 水量为 19.84 m³/h、水速为 2 m/s 工况测试结果

风速点数	1	2	3	4	5
热风温度 (°C)	64.597	67.238	64.353	68.677	68.696
冷风温度 (°C)	30.412	35.730	38.820	43.156	45.150
风温度差 (K)	34.186	31.508	25.534	25.520	23.546
热风密度 (kg/m ³)	1.1068	1.0969	1.0981	1.0860	1.0839
冷风密度 (kg/m ³)	1.1676	1.1522	1.1421	1.1295	1.1233
空气比热 (kJ/kg·°C)	1.0090	1.0090	1.0090	1.0090	1.0090
风 速 (m/s)	2.015	4.034	6.116	8.164	10.270
气侧容量 (kW)	12.308	22.506	27.683	36.531	42.316
热水温度 (°C)	27.700	27.700	27.800	27.700	27.300
冷水温度 (°C)	27.179	26.738	26.629	26.139	25.511
水温度差 (K)	0.521	0.962	1.171	1.561	1.789
水的比热 (kJ/kg·°C)	4.176	4.176	4.176	4.177	4.177
水的密度 (kg/m ³)	996.3	996.4	996.4	996.4	996.5
水侧容量 (kW)	11.938	22.056	26.852	35.800	41.046
气侧容量 (K)	0.521	0.962	1.172	1.562	1.791
算水温差					
对数温差 (K)	13.826	20.626	22.186	27.265	29.178
传热系数	0.0613	0.0758	0.0859	0.0931	0.0998

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

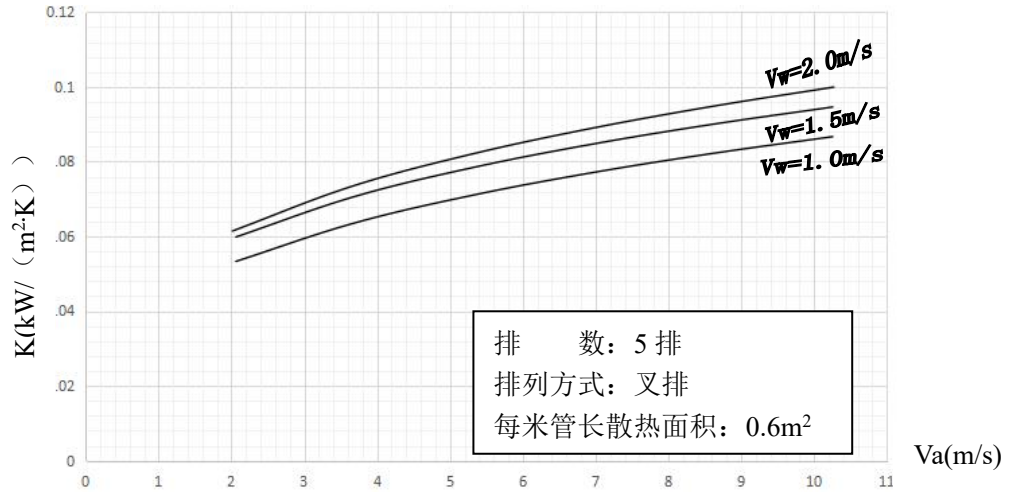


图 2 穿片式冷却器传热系数与进风速度的关系

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)	1.92	3.84	5.88	7.85	9.87
气体压降(Pa)	68.6	166.6	323.4	490	715.4

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。

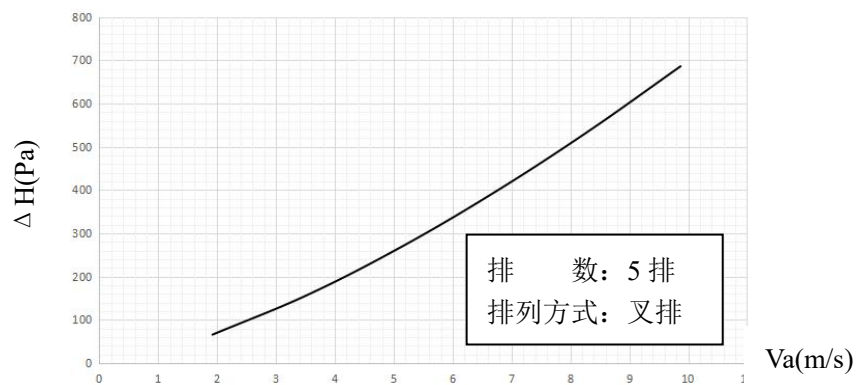


图 3 穿片式冷却器风阻压降与进风速度的关系

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2022COOLER-2
		第 9 页/共 9 页 Page: 9/9

6 求取冷却器传热系数 $K=f_1(V_a)$ 及风阻特性 $\Delta H=f_2(V_a)$ 的关系方程式

6.1 利用一元非线性回归分析，得出传热系数与进风速度的关系

(1) 当 $V_w=1.0(\text{m/s})$ 时

$$K=0.0428 \times V_a^{0.3032} \quad R=0.9983$$

(2) 当 $V_w=1.5(\text{m/s})$ 时

$$K=0.0487 \times V_a^{0.2857} \quad R=0.9988$$

(3) 当 $V_w=2.0(\text{m/s})$ 时

$$K=0.0498 \times V_a^{0.2987} \quad R=0.9999$$

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 5 排水管时风阻压降与进风速度的关系，实际风阻压降可按水管排数线性变化折算。

$$\Delta H=25.866 \times V_a^{1.4318} \quad R=0.9989$$

注：R：回归分析的相关系数。