

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-2020COOLER-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 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	安志华 2020.9.18	校 核: Checked by	刘双 2020.9.18
审 查: Approved by	李艳芳 2020.9.18	编 制: Created by	秦光宇 2020.9.18
	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不锈钢管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，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。

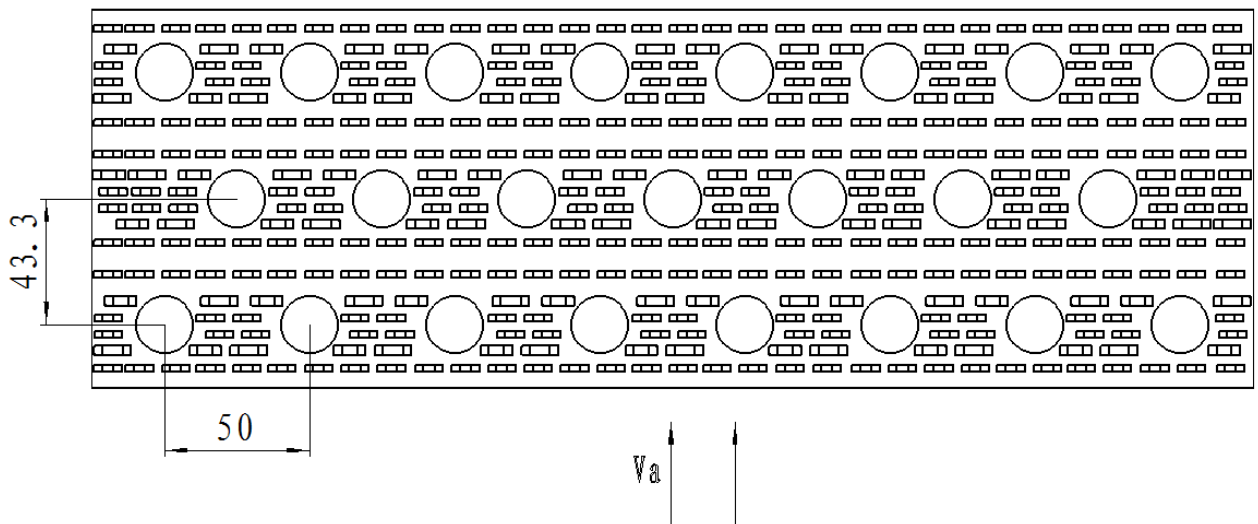


图 1 穿片式冷却器水管排列方式

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)	0.0176/0.020	水管排距 (m)	0.0433
水管间距 (m)	0.05	水管排数	3
每排根数	8,7,8	水管总数	23
片距 (m)	0.002	水路数	4
散热片数量	200	水管/散热片材质	316L/ T2
总散热面积(m ²)	16.5		

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，水箱为圆柱型，尺寸为Φ2.3m×2.5m，可容纳 10m³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-2020COOLER-1
		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：

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

ΔH — 动压差 Pa

g — 重力加速度 9.81 m/s²

γ — 空气的比重 kg/m³

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 0.16m²；单管每米长散热面积为 1.793m²；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5.04m³/h、水速为1.0m/s工况的测试结果，表3给出了水量为7.55m³/h、水速为1.5 m/s工况的测试结果，表4给出了水量为10.07m³/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-2020COOLER-1
		第 5 页/共 9 页 Page: 5/9

表2 水量为5.04m³/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)	73.797	66.741	65.66	69.216	68.63
冷风温度 (°C)	32.175	41.465	46.389	52.07	54.076
风温度差 (K)	41.622	25.276	19.271	17.146	14.554
热风密度 (kg/m ³)	1.0852	1.081	1.0748	1.0601	1.0579
冷风密度 (kg/m ³)	1.157	1.1236	1.1063	1.0875	1.0808
空气比热 (kJ/kg·°C)	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	1.983	4.137	6.464	8.7	11.044
气侧容量 (kW)	14.461	18.248	21.615	25.528	27.451
热水温度 (°C)	25.7	28.4	29.6	30.7	30.9
冷水温度 (°C)	23.296	25.332	26.001	26.404	26.328
水温度差 (K)	2.404	3.068	3.599	4.296	4.572
水的比热 (kJ/kg·°C)	4.179	4.177	4.176	4.176	4.176
水的密度 (kg/m ³)	997.2	996.6	996.4	996.2	996.2
水侧容量 (kW)	14.027	17.883	20.967	25.018	26.627
气侧容量 (K)	2.406	3.07	3.602	4.298	4.576
算水温差					
对数温差 (K)	23.212	25.655	27.483	31.658	32.484
传热系数	0.0367	0.0423	0.0463	0.0479	0.0497

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2020COOLER-1
		第 6 页/共 9 页 Page: 6/9

表3 水量为7.55m³/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)	71.3	66.618	65.388	67.458	66.964
冷风温度 (°C)	37.382	43.648	47.559	51.678	53.327
风温度差 (K)	33.918	22.97	17.829	15.779	13.637
热风密度 (kg/m ³)	1.0801	1.0773	1.073	1.0632	1.0614
冷风密度 (kg/m ³)	1.1374	1.1156	1.102	1.0885	1.083
空气比热 (kJ/kg·°C)	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	2.011	4.194	6.583	8.836	11.193
气侧容量 (kW)	11.896	16.755	20.333	23.931	26.156
热水温度 (°C)	33.7	33.7	33.9	34	33.5
冷水温度 (°C)	32.375	31.815	31.636	31.308	30.588
水温度差 (K)	1.325	1.885	2.264	2.692	2.912
水的比热 (kJ/kg·°C)	4.174	4.174	4.174	4.174	4.174
水的密度 (kg/m ³)	994.9	995	995	995	995.2
水侧容量 (kW)	11.539	16.42	19.723	23.452	25.371
气侧容量 (K)	1.326	1.886	2.266	2.694	2.915
算水温差					
对数温差 (K)	16.166	20.608	22.828	26.375	27.757
传热系数	0.0433	0.0483	0.0524	0.0539	0.0555

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2020COOLER-1
		第 7 页/共 9 页 Page: 7/9

表 4 水量为 10.07m³/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)	75.89	63.175	62.46	63.083	63.914
冷风温度 (°C)	30.889	37.236	41.943	45.916	48.794
风温度差 (K)	45.001	25.939	20.518	17.167	15.12
热风密度 (kg/m ³)	1.0839	1.0939	1.0874	1.0798	1.0738
冷风密度 (kg/m ³)	1.1618	1.1388	1.1218	1.1083	1.0983
空气比热 (kJ/kg·°C)	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
风 速 (m/s)	2.026	4.227	6.603	8.961	11.241
气侧容量 (kW)	15.952	19.361	23.781	26.814	29.465
热水温度 (°C)	26	26.2	26.5	27.1	27.6
冷水温度 (°C)	24.672	24.572	24.521	24.845	25.147
水温度差 (K)	1.328	1.628	1.979	2.255	2.453
水的比热 (kJ/kg·°C)	4.179	4.179	4.179	4.178	4.178
水的密度 (kg/m ³)	997.1	997	997	996.9	996.8
水侧容量 (kW)	15.473	18.973	23.068	26.278	28.581
气侧容量 (K)	1.329	1.629	1.981	2.256	2.456
算水温差					
对数温差 (K)	20.971	22.689	25.582	27.865	29.529
传热系数	0.0448	0.0507	0.0547	0.0572	0.0587

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。

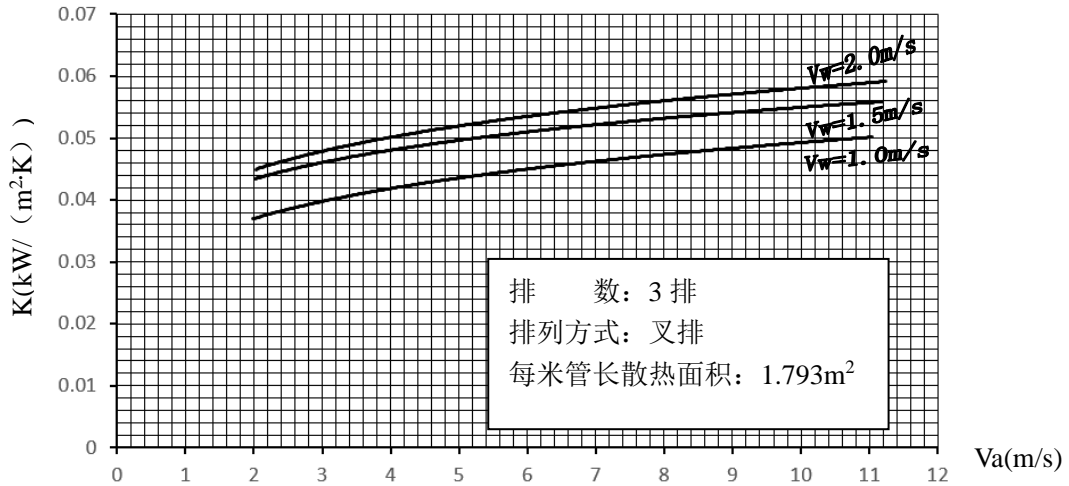


图 2 穿片式冷却器传热系数与进风速度的关系

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)	1.91	4.05	6.41	8.63	10.97
气体压降(Pa)	49	147	294	460.6	686

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。

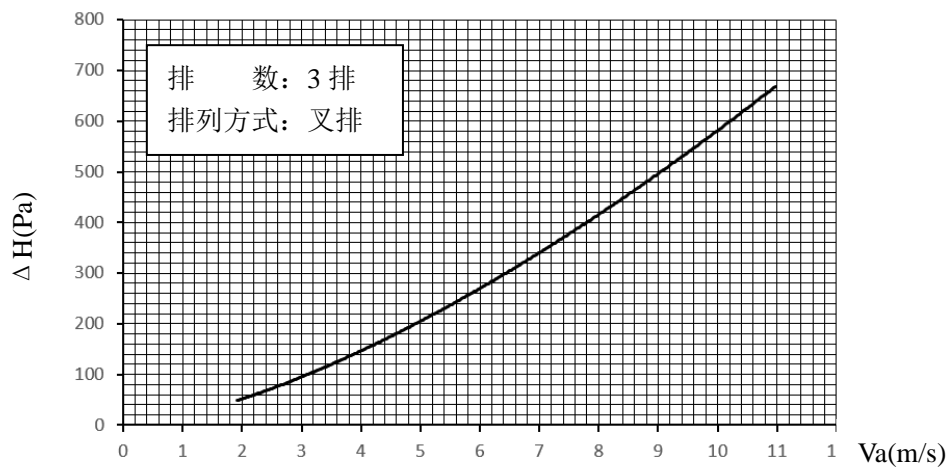


图 3 穿片式冷却器风阻压降与进风速度的关系

技术报告	穿片式冷却器传热性能与风阻性能试验报告	DJS-2020COOLER-1
		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

$$K=0.0327 \times V_a^{0.178} \quad R=0.9966$$

(2) 当 $V_w=1.5(\text{m/s})$ 时

$$K=0.0392 \times V_a^{0.147} \quad R=0.9969$$

(3) 当 $V_w=2.0(\text{m/s})$ 时

$$K=0.0402 \times V_a^{0.1601} \quad R=0.9986$$

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。

$$\Delta H=18.248 \times V_a^{1.5033} \quad R=0.9999$$

注：R：回归分析的相关系数。