

火力发电厂空冷塔及空冷凝汽器 试 验 方 法

DL/ T 552—1995

目 次

1 总则	331
2 试验前的准备工作	332
3 试验条件和要求	332
4 测量仪表和测试方法	335
5 试验数据的整理计算和试验结果的评价	340
6 试验报告编写	343
附录 A 空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器的实测计算评价举例	344
附加说明	355
编制及条文说明	356

火力发电厂空冷塔及空冷凝汽器 试 验 方 法

DL/T 552—1995

The testing code of dry cooling tower and
condenser of thermal power plant

1 总则

1.1 编制本试验方法的目的是，为火力发电厂间接空冷系统的空冷塔及直接空冷系统的空冷凝汽器的考核试验、性能试验提供统一的试验程序、试验方法、试验数据的整理方法及试验结果的评价方法。

1.2 本试验方法适用于火力发电厂新建或改建的空冷塔和空冷凝汽器的冷却能力的考核试验及性能试验；适用于空冷塔、空冷凝汽器所采用的空冷散热器（元件，下同）试验室选型试验及热力阻力性能试验。

本试验方法原则上也适用于投运多年的空冷塔和空冷凝汽器的性能试验。

1.3 用于空冷塔、空冷凝汽器的空冷散热器必须经过试验室热力阻力性能试验，测定其技术指标及性能。

火力发电厂新建或改建的空冷塔、空冷凝汽器投入正常运行后一年内，应对其冷却能力进行考核试验。

新设计的空冷塔、空冷凝汽器和首次使用的空冷散热器（包括布置形式的改变），在投入正常运行后的三年内，应进行性能试验。

1.4 同一火力发电厂新建或改建多座空冷塔、空冷凝汽器，当其类型、各部分几何尺寸、所用空冷散热器及其布置形式完全相同时，可对其中一座进行考核试验。当上述条件不同时，应分别进行考核试验。

如果新建空冷塔、空冷凝汽器的设计是套用其他工程的，对其类型及各部分几何尺寸、所用空冷散热器及其布置形式没有作任何修改，且使用条件相近，在其他工程中又进行过考核试验或性能试验，则该新建的空冷塔、空冷凝汽器可不进行考核试验。否则，仍应进行考核试验，性能试验一般可不再进行。

1.5 空冷塔及空冷凝汽器的考核试验和性能试验，应由具有空冷设备检验资格的测试机构独立承担，不受设计、施工、制造及运行管理单位的干预。

1.6 空冷塔、空冷凝汽器的考核试验、性能试验及空冷散热器的试验室热力阻力性能试验应按下述步骤进行：

- a) 根据试验的性质、内容及要求编制试验大纲；
- b) 进行试验前现场或试验室的准备工作；

- c) 进行空冷塔、空冷凝汽器的现场测试或空冷散热器的试验室测试；
- d) 整理及分析试验数据；
- e) 编写试验报告。

2 试验前的准备工作

2.1 试验大纲应包括下述内容：

- a) 试验目的和要求。
- b) 被测试空冷塔、空冷凝汽器的主要概况；空冷系统图，设计单位提供的空冷塔、空冷凝汽器设计性能曲线；被测试空冷散热器的设计制造图及有关性能曲线等资料。
- c) 测试项目、测点布置、测试方法和使用的仪器仪表，需要加工制作的设备和工具。
- d) 试验范围及试验工况。
- e) 资料整理方法和评价方法。
- f) 试验人员的组成及分工。
- g) 试验工作进度计划及实施方案。
- h) 安全操作注意事项。

2.2 为了保证空冷塔、空冷凝汽器在良好的运行工况下进行试验，各部件、设备及被测试的空冷散热器应满足下述各项要求：

- a) 冷却水的水质满足设计要求；
- b) 空冷系统的输送汽、水管道及旁路无阻塞、泄漏；闸阀严密、灵活、可靠；
- c) 空冷散热器无破损变形，表面干净，无粉尘严重污染及杂物粘堵；
- d) 自动控制系统准确、可靠、无故障，手动操作系统灵活、方便；
- e) 百叶窗启闭灵活、自如；
- f) 所有风机、抽气机、电动机运转正常；
- g) 试验大纲中提出的其他要求。

2.3 空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器试验中应使用经校验合格的仪器仪表，使用过程中注意检查，保证其达到试验要求的精确度。

2.4 空冷塔及空冷凝汽器试验前应在测试现场完成以下各项工作：

- a) 确定各测试项目的测点位置；
- b) 提供测试所需用的电源；
- c) 加工及安装试验设备和测试仪表；
- d) 清除现场有碍试验工作进行的杂物，保证试验现场有良好的测试环境。

2.5 试验前应准备好各种试验所用的记录表格、简易工具及用品。

2.6 参加测试人员应熟悉各测试项目和所用仪器仪表，并按试验大纲的要求进行空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器的预测试。

3 试验条件和要求

3.1 雨雪天和外界离地面 10m 高处风速大于 4m/s 时，不应进行空冷塔、空冷凝汽器的考核试验和性能试验；在出现大气温度逆变的情况下也不应进行上述试验。

3.2 测试工作应在空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器的各项测量参数调整稳定 30min 后进行。空冷塔及空冷凝汽器的考核试验、性能试验中，每一工况持续测试的时间不应少于

60min, 空冷散热器的试验室热力阻力性能试验中, 每一工况持续测试的时间不应少于30min。

3.3 各工况内相同参数的测量次数和每次测量的间隔时间应相同。空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器必须测量的参数, 其测量次数应符合表1的规定。

表1 每一工况各参数的测量次数

序号	参数名称	符号	单位	测量次数		
				空冷塔	空冷凝汽器	空冷散热器
1	大气干球温度	θ_1	℃	6	6	3
2	大气湿球温度	τ_1	℃	6	6	3
3	大气风速	v_0	m/s	6	6	
4	大气压力	p_0	kPa	12	12	6
5	"室温"	t_0	℃	12	12	6
6	空冷塔进口空气温度 (大气温度)	t_{a1}	℃	12	12	6
7	空冷塔出口空气温度	t_{a2}	℃	12		6
8	空冷塔进口水温	t_1	℃	12		6
9	空冷塔出口水温	t_2	℃	12		6
10	冷却 (凝结) 水流量	W	m ³ /s	12	12	6
11	通过散热器风速	v_1	m/s			6
12	凝汽器排汽压力	p_c	kPa	12		
13	汽轮机排汽压力	p_e	kPa		12	
14	汽轮机排汽温度	t_e	℃	12	12	
15	凝结水温度	t_w	℃		12	
16	汽轮机抽汽点压力	p_d	kPa		12	
17	汽轮机抽汽点温度	t_d	℃		12	
18	凝结水接受槽水位	H	m		12	
19	散热器风阻	Δp_1	kPa			6
20	风机功率	P	kW		12	

3.4 空冷塔:

3.4.1 空冷塔的考核试验、性能试验应在设计规定的保证值大气温度下进行, 此温度与设计大气温度的偏差不超过 $\pm 3^\circ\text{C}$ 。考核试验时空冷塔所有散热器应全部投入运行, 所有百叶窗处于全开状态。

空冷塔的一般性能试验, 是在设计工况下对设计水量、投入散热器数量、百叶窗开度等进行的各种组合试验。

3.4.2 空冷塔考核试验时, 要求机组保持90%以上负荷, 冷却水量与设计值的偏差应在 $\pm 10\%$ 范围内。性能试验时, 应根据试验要求, 将机组负荷分成100%、80%、60%直至机组允许的最低负荷, 在各负荷下进行试验。机组负荷、进口空气温度、冷却水量的波动不大于5%, 并应切断进入凝汽器的各种疏水及其他热源。

3.4.3 空冷塔性能试验时, 应测量空冷塔出口空气温度及各个扇形段的进口水温 and 散热器进口断面风速分布等有关资料, 以便计算散热器的传热系数, 并为冬季防冻提供依据。

3.5 空冷凝汽器:

3.5.1 空冷凝汽器进行考核试验、性能试验时,应满足下述条件:

- 考核试验时,机组负荷应不低于额定负荷的 90%,性能试验时,机组负荷应不低于额定负荷的 40%;
- 考核试验时,空冷凝汽器的热流量应不低于设计热流量的 90%,性能试验时,空冷凝汽器的热流量应不低于设计热流量的 50%;
- 考核试验时,风机最大功率应不低于额定功率的 90%,性能试验时,风机最大功率应不低于额定功率的 50%;
- 进口空气温度应在空冷凝汽器设计性能曲线的设计保证值 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内;
- 所有风机都全速运转,任何情况下都不应有 8% 上台数的风机处于停车,也不应有多于 1 台的 K-D 组处于停车,如有一台分凝器风机停车,则整个 K-D 组应当停运;
- 关闭进入凝结水接受槽的各种疏水。

3.5.2 每一工况测试过程中,各参数的每次测量值相对于该工况平均值的允许变化范围,应符合下列规定:

- $t_{a1} \leq \pm 1.0^{\circ}\text{C}$;
- $t_e \leq \pm 1.0^{\circ}\text{C}$;
- $W \leq \pm 5\%$ 。

3.5.3 自然通风空冷凝汽器的试验方法可参照机力通风空冷凝汽器的试验方法进行。

3.6 空冷散热器:

3.6.1 空冷散热器的试验室热力阻力性能试验的测试装置,由空气系统和热水(蒸汽)系统两部分组成,且均应有稳定段和测试段。图 1 给出空气-热水系统试验装置示意图。

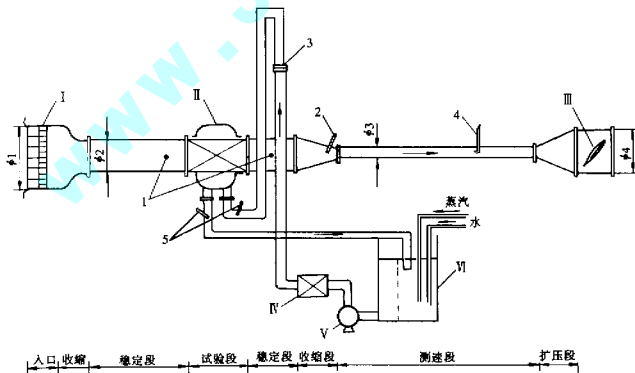


图 1 试验装置

I—散热器; II—试验元件; III—风门; IV—温度调节器; V—水泵; VI—水箱;

1—测压孔; 2—温度测点; 3—流量孔板及 U 形管差压计; 4—动压管及 U 形管差压计; 5—温度测点

3.6.2 每一工况测试过程中,各项参数的每次测量值相对该工况的平均值的允许变化范围,应符合下列规定:

- a) $t_{a1} (t_{a2}) \leq \pm 1.0^{\circ}\text{C}$;
- b) $t_1 \leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$;
- c) $W \leq \pm 2\%$;
- d) 进出口水温差 $\Delta t \leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

4 测量仪表和测试方法

4.1 空冷塔

4.1.1 大气风速测量

4.1.1.1 测量大气风速的仪表宜采用旋杯式风速风向仪或遥测式风速风向仪，优先选用遥测式风速风向仪。

4.1.1.2 大气风速测量应符合下列规定：

- a) 测点应位于距空冷塔 20~40m 远处的开阔地带，沿塔周测点不应少于 4 处；
- b) 风速风向仪的安装高度在地面以上 10m 处，风向标的方位和字标必须正确设置。

4.1.2 进口空气温度测量

4.1.2.1 测量进口空气温度的仪表应选遥测通风湿球温度计或遥测通风干湿球温度计，其精确度不应低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.1.2.2 进口空气温度测量应符合下列规定：

- a) 仪表距地面高度应为进风口高度的 2/3；
- b) 仪表距塔边缘的距离应为 3~4m；
- c) 在塔周设置 4~8 个对称的测点；
- d) 悬挂仪表处需遮阳和通风；
- e) 如系散热器竖直布置的空冷塔，亦可将测点设在散热器上部平台外侧。

4.1.3 出口空气温度测量

空冷塔出口空气温度测点宜选在空冷塔喉部内侧，宜使用遥测温度计测量。

4.1.4 大气压力及大气干、湿球温度测量

4.1.4.1 测量大气压力及大气干、湿球温度的仪表，宜采用福廷式或空盒式大气压力表及手动或电动阿斯曼干湿球温度计。

4.1.4.2 大气压力和大气干、湿球温度测量应符合下列规定：

- a) 仪表距地面高度应分别为 0.5m 和 1.8m；
- b) 仪表距塔的距离应为 20~40m；
- c) 在塔周围设置 2~4 个测点；
- d) 放置仪表处应有遮阳和通风装置。

4.1.5 进塔水温度测量

4.1.5.1 测量进塔水温度的仪表宜采用精密水银温度计或电阻温度计，仪表分度为 0.1°C ，仪表精确度不应低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.1.5.2 进塔水温度测量应符合下列规定：

- a) 在进塔母管靠近塔边的截面顶部设置温度测点；
- b) 温度计应安放在温度计套管内，温度计套管应伸入管内不小于 300mm 的长度；
- c) 温度计套管内应灌注少量汽轮机油，油量应能淹没温度计的感温元件。

4.1.6 出塔水温度测量

测量出塔水温度的仪表与测量方法同 4.1.5, 测点应布置在出塔母管上。

4.1.7 冷却水量测量

4.1.7.1 测量冷却水量的仪表, 宜采用皮托管、流量孔板或电磁感应流量计、超声波流量计。采用皮托管或流量孔板测量时, 仪表精确度应不低于 $\pm 1.0\%$; 采用电磁感应流量计和超声波流量计测量时, 仪表精确度应不低于 $\pm 2.5\%$ 。

4.1.7.2 冷却水量测量应符合下列规定:

a) 冷却水量的测点应选在进塔母管或出塔母管上。如有多根母管, 每根管上均应布置一个流量测点。

b) 测点前应保持长度不小于 8 倍管道直径的直管段, 测点后应保持长度不小于 5 倍管道直径的直管段, 在此直管段范围内无闸阀。

c) 在管道上安装电磁感应流量计或超声波流量计时, 应满足该仪表其他的技术要求。

4.1.7.3 采用皮托管测量冷却水量时, 应

在管道的两个相互垂直的直径上分别设置测点。当管径小于 500mm 时, 也可仅在一条直径上设置测点。管道截面等面积圆环的划分数不应小于表 2 的规定, 不同等面积圆环的测点位置应符合表 3 的规定。

表 2 管道截面等面积圆环的划分数

管径 (mm)	<300	300~900	1000~1500	>1500
等面积环数	3	5	7	9

表 3 等面积圆环中心至测点距离与 R 的比值

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.707	0.500	0.409	0.354	0.316	0.290	0.267	0.250	0.236	0.224
	0.866	0.707	0.612	0.548	0.500	0.466	0.433	0.406	0.388
		0.914	0.790	0.707	0.646	0.597	0.559	0.528	0.500
			0.936	0.836	0.764	0.707	0.661	0.624	0.592
				0.949	0.866	0.805	0.751	0.707	0.671
					0.957	0.885	0.829	0.782	0.741
						0.964	0.902	0.851	0.805
							0.968	0.914	0.866
								0.972	0.922
									0.975

4.1.8 凝汽器排汽压力测量

4.1.8.1 测量凝汽器排汽压力的仪表宜采用内置式测压探头及其他测压仪表, 其精确度不低于 $\pm 0.75\%$ 。

4.1.8.2 凝汽器排汽压力测量应符合下列规定:

a) 混合式凝汽器测点应布置在凝汽器喉部以下、距水室顶部约 2m 处的器壁上; 表面式凝汽器测点应布置在距凝汽器第一排管子以上 300mm 处的器壁上, 对称布置, 测点数不少于 2 个。

b) 内置式探头不应受汽流的直接冲击影响。

c) 如采用内置式探头配 U 形管差压计, 则 U 形管差压计宜高于传压管, 而传压管又高于采样探头, 使测量系统自动向凝汽器内疏水。

4.1.9 主蒸汽压力、流量及温度测量, 发电机功率测量等采用电厂经过标定的表计读数。

4.2 空冷凝汽器

4.2.1 进口空气温度测量

4.2.1.1 测量进口空气温度的仪表,宜采用精密玻璃水银温度计或电阻温度计。仪表的刻度范围应能适应测试期间温度变化的需要,仪表最小分度应为 0.1°C , 仪表精确度不应低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.2.1.2 进口空气温度测量应符合下列规定:

- a) 测点应设置在空冷凝汽器周围、离空冷凝汽器基础 3m 远处;
- b) 仪表安装在 1.8m 高的钢筋柱上;
- c) 沿凝汽器四周等距离布置 12~18 个测点;
- d) 温度计应采取遮阳措施,勿受阳光照射。

4.2.2 “室温”测量

在测量汽轮机排汽压力及各抽汽点压力的测点附近,用精密玻璃水银温度计测量“室温”,用于校正仪表。温度计的刻度及精确度要求与 4.1.5.1 相同。

4.2.3 大气压力及大气干、湿球温度测量

4.2.3.1 测量大气压力的仪表宜采用水银气压计或空盒式大气压力表;测量大气干、湿球温度的仪表宜采用手动或电动通风阿斯曼干湿球温度计。水银气压计刻度范围为 $0 \sim 1000\text{mm}$, 仪表精确度不应低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.2.3.2 大气压力及大气干、湿球温度测量应符合下列规定:

- a) 仪表距地面高度应分别为 0.5m 和 1.8m;
- b) 仪表分别安装在真空表附近和距空冷凝汽器基础 20m 远处;
- c) 空冷凝汽器周围布置 2~4 个测点,真空表附近布置 1 个测点;
- d) 仪表应放置在遮阳、通风处。

4.2.4 外界风速测量

4.2.4.1 测量外界风速的仪表,宜采用旋杯式风速风向仪或时间积分式风速风向仪。

4.2.4.2 外界风速测量应符合下列规定:

- a) 测点选在发电厂周围及厂区空旷处,以空冷凝汽器为中心,分散布置,受建筑物影响风速风向发生变化的地方应加设风速风向测点;
- b) 风速风向仪的安装高度应在地面以上 1.8~2.0m 处,风向标的方位和字标必须正确设置。

4.2.5 汽轮机排汽压力测量

4.2.5.1 测量汽轮机排汽压力的仪表,宜采用水银压力计,刻度范围 $0 \sim 1000\text{mm}$, 分度 1.0mm , 仪表精确度不应低于 $\pm 0.75\%$ 。

4.2.5.2 汽轮机排汽压力测量应符合下列规定:

- a) 测点应设在汽轮机排汽管道上,在离排汽口 1m 的管道截面上,沿周围等距离布置 8 个取压孔;
- b) 取压孔用联箱连接,以测得排汽的平均压力。

4.2.6 汽轮机排汽温度测量

4.2.6.1 测量汽轮机排汽温度的仪表,宜采用精密玻璃水银温度计或电阻温度计,精确度不应低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.2.6.2 汽轮机排汽温度测量应符合下列规定:

- a) 在汽轮机排汽管道两侧对应的位置上各设一个温度测点;
- b) 温度计设置在温度计套管内,温度计套管深入管道应不小于 300mm 长度;

c) 温度计套管内注入少量硅油或汽轮机油, 油量应能淹没温度计感温元件。

4.2.7 各抽汽点压力测量

4.2.7.1 测量各抽汽点压力的仪表, 宜采用精密压力表。仪表精确度应不低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.2.7.2 各抽汽点压力测量的规定与汽轮机排汽压力测量同, 可参照 4.2.5.2 的规定。

4.2.8 各抽汽点温度测量

4.2.8.1 测量各抽汽点温度的仪表, 宜采用热电偶温度计或电阻温度计, 其精确度应不低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.2.8.2 抽汽点温度测点的位置应尽可能靠近汽轮机。

4.2.9 凝结水温度测量

4.2.9.1 测量凝结水温度的仪表, 宜采用精密玻璃水银温度计或电阻温度计, 可根据需要选用范围为 $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 和 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的温度计, 其分度为 0.1°C , 仪表精确度应不低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.2.9.2 凝结水温度测量应符合下列规定:

a) 测点设在凝结水接受槽泵的出口、各给水加热器之间和来自给水加热器的凝结水排出口处。

b) 玻璃水银温度计装在温度计套管内。套管内应注入硅油或汽轮机油, 油量应能淹没温度计的感温元件。

c) 温度计套管应伸入管道 300mm 以上。

4.2.10 凝结水流量测量

4.2.10.1 测量凝结水流量的仪表, 可采用流量喷嘴、流量孔板或皮托管。流量测量的精确度应不低于 $\pm 1.0\%$ 。

4.2.10.2 凝结水流量测量应符合流量喷嘴、流量孔板及皮托管的有关规定, 可参照 4.1.7.2 的规定。

4.2.11 凝结水接受槽水位测量

凝结水接受槽的水位, 可用带有刻度的玻璃管水位计来测量, 并将水位刻度换算成体积, 用以校正凝结水流量。

4.2.12 风机功率测量

电动机功率宜采用功率表测量, 或在测定电动机的电压、电流和功率因数后, 经计算确定; 风机的转速宜采用转速表或光电测速仪等仪表进行测量。

4.3 空冷散热器

4.3.1 大气压力及大气干、湿球温度测量

在试验室通风且不受局部温度影响的地方用空盒式大气压力表及手动或电动阿斯曼干湿球温度计测量大气压力及大气干湿球温度, 仪表精确度不应低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.3.2 进口空气温度测量

4.3.2.1 测量进口空气温度的仪表, 宜选用玻璃水银温度计或电阻温度计, 其精确度不低于 $\pm 0.25\%$;

4.3.2.2 进口空气温度的测点布置在紧靠工作段的进风管道口的中部。

4.3.3 出口空气温度测量

4.3.3.1 测量出口空气温度的仪表, 宜采用精密玻璃水银温度计或电阻温度计, 精确度应不低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.3.3.2 出口空气温度测量应符合下列规定：

- a) 测点宜设置在试验装置出风管道上，或布置在试验装置出风口的中部；
- b) 出风管道应采取保温措施；
- c) 温度计安放在敞开式温度计套管内，使感温元件直接接触出风气流；
- d) 布置在出风口的仪表应不受侧面气流温度的影响。

4.3.4 进口水温度测量

4.3.4.1 测量进口水温度的仪表，宜采用精密玻璃水银温度计或电阻温度计，仪表精确度不低于 $\pm 0.25\%$ 。

4.3.4.2 进口水温度测量应符合下列要求：

- a) 测点设在试验装置的进水管道上；
- b) 温度计安放在温度计套管内，温度计套管端部伸入进水管道的中部；
- c) 温度计套管内应灌入少量汽轮机油，油量应能淹没温度计的感温元件。

4.3.5 出口水温度测量

出口水温度测量所用仪表及测量方法与 4.3.4 同，测点设在试验装置出水管上。

4.3.6 冷却水量测量

4.3.6.1 测量冷却水量的仪表，宜采用流量孔板、皮托管或超声波流量计，采用流量孔板或皮托管测量时，仪表精确度应不低于 $\pm 1.0\%$ ，采用超声波流量计测量时，仪表精确度应不低于 $\pm 2.5\%$ 。

4.3.6.2 冷却水量的测量应符合下列规定：

- a) 测点选在试验装置进水管道上；
- b) 测点前应保持长度不短于 8 倍管道直径的直管段，测点后应保持长度不短于 5 倍管道直径的直管段，在此直管段范围内无闸阀；
- c) 在管道上安置超声波流量计时，应符合该仪表其他技术要求。

4.3.7 散热器通风的风速风量测量

4.3.7.1 测量散热器通风风速风量的仪表，宜采用动压管，试验装置的测试段中，应有满足要求的进风或出风管道。

4.3.7.2 测量方法及规定可参照 4.3.6。

4.3.7.3 测出通风管道的风速，转换成散热器断面的风速和风量。

4.3.8 散热器风阻测量

4.3.8.1 测量散热器风阻的仪表，宜采用传压管及倾斜式或补偿式差压计，其精确度应不低于 $\pm 0.75\%$ 。

4.3.8.2 散热器风阻测量应符合下列规定：

- a) 传压管分别布置在散热器元件前后 0.5m 距离内；
- b) 在进、出风管道的上、下、左、右各布置一个取压孔，分别用联箱连接进、出风管道上的取压孔，取其平均压力引入差压计。

4.4 测量仪表的检定

空冷塔、空冷凝汽器的考核试验、性能试验及空冷散热器试验室热力阻力性能试验使用的仪器仪表，除符合 GB2624 规定的标准孔板及符合 GB1236 规定的动压管可不再进行计量检定外，其余测试仪表在测试前均需进行检定；流量、温度、压力测量仪表及节流装置的二次仪表，应按有关规定送法定计量部门检定，并限定在有效期内使用。

5 试验数据的整理计算和试验结果的评价

5.1 试验数据的整理计算

5.1.1 测量参数的符号与单位见表 1。计算中还用到以下物理量：

d	m	进水管或流量孔板内径
g	m/s^2	重力加速度
h_g	m	U 形差压计中四氯化碳液面高差
ρ_c	kg/m^3	四氯化碳密度
ρ'_w	kg/m^3	四氯化碳上部水的密度
ρ_w	kg/m^3	冷却水的密度
K_v		管道流速不均匀系数
α		流量系数
ϵ		水的压缩系数
Δp	kPa	流量孔板前后压差
ΔH	m	流量孔板前后压差相应的 U 形管水柱高度差
p_s	MPa	实测凝汽器真空
Φ_w	MW	空冷塔散热量
c_p	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$	循环(凝结)水的比热
t_c	$^\circ\text{C}$	凝汽器排汽温度
P_l	W	机组负荷
k	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$	平均传热系数
A	m^2	散热面积
Δt_{\ln}	$^\circ\text{C}$	对数平均温差
ϕ		温差修正系数
$\Delta p'$	Pa	单排管风阻
S_R	kg/h	汽轮机抽汽点蒸汽流量
h_s	kJ/kg	抽出蒸汽热焓
h_c	kJ/kg	加热器泄水热焓
W_e	kg/h	汽轮机排汽量
W_h	kg/h	加热器泄水量
W_b	kg/h	锅炉给水泵水封及汽轮机水封泄水量之和
W_c	kg/h	凝结水接受槽水量变化
h_e	kJ/kg	汽轮机排汽热焓
Φ_g	MW	空冷塔保证的散热量或空冷凝汽器保证的热流量
Φ	MW	空冷凝汽器实测热流量
W_g	kg/h	空冷凝汽器保证的蒸汽流量
h_f	kJ/kg	测得汽轮机排汽压力下的饱和蒸汽潜热
W_p	kg/h	测得周围温度和排汽压力下从空冷凝汽器性能曲线图上得到的工况蒸汽流量

C_b		大气压力实测值与设计值的不同带来冷凝能力差异的修正系数
C_n		取决于凝汽器类型的系数，一般在 0.5~0.7 范围内
p_d	kPa	设计大气压力值
C_f		风机投入数的修正系数
N_{off}		关闭的风机数
N_t		总风机数
K_t		包括风机功率在内的空冷凝汽器综合性能系数
K_f		空冷凝汽器性能系数
P_g	kW	风机功率保证值
P_t	kW	风机功率实测值
r		取决于空冷凝汽器类型的因数，可取 0.2~0.3

5.1.2 测试工作完成后，应对测试数据的可靠性、合理性进行评价分析，删去不符合试验规定的测量数据。

5.1.3 各参数均应取其在同一工况下的多次测量值的算术平均值作为有效数值。

5.1.4 应对测量的各参数工况值进行分析，凡有不符合规律，而又不能查明原因加以修正的工况值，应删去或重测。

5.1.5 冷却水流量 W 的计算：

5.1.5.1 用皮托管及 U 形管差压计测量流量，当差压计用四氯化碳作工作介质时采用下述公式计算：

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh_s(\rho_c - \rho'_w)/(\rho_w K_v)}$$

当用其他介质测量时，上式中之 ρ_c 改为该介质的密度即可。

5.1.5.2 用流量孔板及 U 形管差压计测量流量时，采用下述公式计算：

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 a \epsilon \sqrt{2\Delta p / \rho_w}$$

如果用孔板前后压差相应的 U 形管水柱高度差 ΔH 代入计算，可将 $\Delta p = g\rho'_w \Delta H$ 代入公式，则得

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 a \epsilon \sqrt{2g\rho'_w \Delta H / \rho_w} = 3.478a \epsilon \sqrt{\Delta H}$$

5.1.5.3 用超声波流量计测量时，可采用其直接显示的流量数据进行计算。

5.1.6 凝汽器排汽压力 p_c 计算：

若无实测凝汽器排汽压力 p_c ，排汽压力可用实测当地大气压力 p_0 与实测凝汽器真空 p_s 计算：

$$p_c = p_0 - p_s$$

5.1.7 空冷塔散热量 Φ_w 计算

$$\Phi_w = W\rho_w c_p (t_1 - t_2)$$

5.1.8 空冷系统初始温差 ITD 的计算

$$\text{ITD} = t_e - t_{\text{at}}$$

5.1.9 散热器平均传热系数 k 的计算

$$k = \Phi_w / (A\phi\Delta t_{\text{lm}})$$

5.1.10 散热器风阻 Δp_1 的计算

$$\Delta p_1 = \Sigma \Delta p'$$

5.1.11 汽轮机抽汽点蒸汽流量 S_R 计算

$$S_R = \frac{W_{cp'd}}{h_s - h_c}$$

5.1.12 汽轮机排汽量 W_e 计算

$$W_e = W - W_h - W_b \pm W_c$$

式中 W_b 可用测量排汽管道泄水/膨胀箱在 1h 内所增加的体积来确定。

5.1.13 空冷凝汽器热流量 Φ 计算

$$\Phi = W_e(h_e - h_c)$$

式中 h_c 可根据汽轮机抽汽点温度/压力条件外延到测得的汽轮机排汽压力线上得到, 即

$$h_c = c_{p'w}$$

5.1.14 空冷凝汽器保证的热流量 Φ_g 计算

$$\Phi_g = W_g h_f$$

其中

$$W_g = W_p C_b C_f$$

$$C_b = 1 + C_n \frac{p_0 - p_d}{p_d}$$

$$C_f = 1 - \frac{N_{ent}}{N_t}$$

5.1.15 空冷凝汽器综合性能系数 K_t 的确定

$$K_t = K_t \left(\frac{P_g}{P_t} \right)^r$$

其中

$$k_t = \frac{\Phi}{\Phi_g}$$

5.1.16 在应用 C_b 、 C_f 修正系数进行 5.1.14 的计算之前, 必须将风机功率校正到对空冷凝汽器进口空气温度和大气压力的保证条件。

5.1.17 应绘制各参数间的关系曲线来表示空冷塔测量结果。这些关系曲线有:

a) $\Phi_w = f(t_{a1})$: 大气温度 t_{a1} 与空冷塔散热量 Φ_w 的关系曲线, 见图 A1;

b) $t_c = f(t_{a1})$ 、 $t_2 = f(t_{a1})$: 凝汽器排汽温度 t_c 、空冷塔出口水温 t_2 与大气温度 t_{a1} 的关系曲线, 见图 A2;

c) $t_1 = f(t_{a1})$ 、 $t_2 = f(t_{a2})$: 空冷塔进出口水温 t_1 、 t_2 与大气温度 t_{a1} 的关系曲线, 见图 A3;

d) $p_c = f(t_{a1})$: 凝汽器排汽压力 p_c 与大气温度 t_{a1} 的关系曲线, 见图 A4;

e) $t_c = f(t_{a1})$: 凝汽器排汽温度 t_c 与大气温度 t_{a1} 关系曲线, 见图 A5;

f) $P_1 = f(ITD, \Delta t)$: 机组负荷 P_1 与空冷系统初始温差 ITD 和空冷塔进出口水温差 Δt 关系曲线, 见图 A6;

g) $\Delta p_1 = f(v_1)$: 空冷塔中散热器风阻 Δp_1 与通过散热器的风速 v_1 的关系曲线, 见图 A13。

5.1.18 应绘制如下关系曲线来表示空冷散热器试验室热力阻力性能试验的测量结果:

a) $k = f(v_1)$: 传热系数 k 与通过散热器的风速 v_1 的关系曲线, 见图 A12;

b) $\Delta p_1 = f(v_1)$: 风阻 Δp_1 与通过散热器的风速 v_1 的关系曲线, 见图 A13;

c) $Nu = f(Re)$: 努塞尔数 Nu 与雷诺数 Re 的关系曲线;

d) $E_u = f(Re)$: 欧拉数 E_u 与雷诺数 Re 的关系曲线;

e) $\Phi = f(P)$: 空冷凝汽器实测热流量 Φ 与风机功率 P 的关系曲线, 见图 A14。

5.2 试验结果的分析评价

5.2.1 根据测试结果, 评价空冷塔散热量是否达到保证值。可用实测大气温度 t_{a1} 和按实测 (或计算) 凝汽器排汽压力 p_c 由蒸汽性质表中查得对应的凝汽器排汽温度 t_c , 从空冷系统性能曲线图上查得空冷塔保证的散热量 Φ_g , 与实测空冷塔散热量 Φ_w 相比较。如 $\Phi_g - \Phi_w \leq 0$, 则说明实测的空冷塔散热量较保证值大, 该空冷塔达到设计要求。

5.2.2 根据测试结果, 评价空冷塔的出水温度 t_2 是否达到设计要求。可将实测的出水温度 t_2 与测试工况条件下由设计的 $t_c = f(t_{a1})$ 、 $t_2 = f(t_{a1})$ 关系曲线上查得的出水温度的保证值 t'_2 相比较, 若进水温度基本相同, $t'_2 - t_2 \geq 0$, 则说明该空冷塔达到了设计要求。

5.2.3 根据间接空冷系统的测试结果, 评价凝汽器排汽温度 (凝汽器端差达到设计值时, 也可用凝结水温度) 是否达到保证值的要求。可用实测大气温度 t_{a1} 和实测空冷塔散热量 Φ_w 值从空冷系统性能曲线上查得的凝汽器排汽温度保证值 t_g 与按实测 (或计算) 凝汽器排汽压力从蒸汽性质表中查得的相应凝汽器排汽温度 t_c 相比较, 如 $t_g - t_c > 0$, 即实测的 t_c 较保证值 t_g 低, 则空冷系统达到设计要求。

5.2.4 空冷凝汽器的测试结果, 应按 5.1.15 确定的空冷凝汽器综合性能系数 K_i 对空冷凝汽器进行评价, $K_i \geq 1$ 说明该空冷凝汽器达到保证值的要求。 $K_i \geq 1$ 时, 其值越高, 说明该空冷凝汽器的综合性能越好。

5.2.5 根据设计单位或制造单位提供的不同风机运行方式下的空冷凝汽器的性能曲线, 用实测一定的空冷凝汽器进口空气温度和蒸汽流量与背压之间的关系曲线来评价空冷凝汽器是否达到背压保证值的要求。

5.2.6 对空冷散热器试验室热力阻力性能的测试结果, 应从散热器单位散热面积所消耗的风机驱动功率进行分析评价, 即根据实测资料, 假定风机效率和电动机效率计算出其单位面积散热量 Φ' 与单位面积所消耗的风机驱动功率 P' 的关系曲线, 与设计资料所作的 $\Phi_s - P_s$ 曲线进行比较, 若 $P' \leq P_s$, 则说明达到相同的单位面积散热量所需的风机驱动功率比设计值小, 该元件达到设计要求。

5.2.7 对空冷散热器试验室热力阻力性能测试结果, 还应评价散热器管簇的排列方式、翅片间距、进风角度、介质流程等对空冷散热器的传热系数及阻力性能的影响; 还应就设计、制造工艺的其他有关规定和要求, 作出相应的分析评价。

5.2.8 对空冷塔及空冷凝汽器的测试结果, 可用上述的一种方法评价, 也可用多种方法同时评价。

6 试验报告编写

试验报告应包括下述内容:

- 任务来源;
- 测试目的;
- 测试条件, 包括环境条件, 空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器的技术数据、测试装置及测点布置;
- 测试起止时间及人员;
- 数据记录、整理与计算;

f) 结论与分析评价。

附录 A
空冷塔、空冷凝汽器及空冷散热器的
实测计算评价举例

A1 空冷塔

以某电厂带混合式凝汽器的间接空冷系统空冷塔的运行特性试验为例。

A1.1 该系统空冷塔的实测运行性能试验数据汇总如表 A1 所示。

表 A1 空冷塔运行性能

序号	项 目	符号	单位	试 验										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	大气温度	t_{at}	℃	-12.4	-9.2	-10.9	-6.1	-4.5	-6.6	-5.3	-3.7	8.9	15.1	18.1
2	机组负荷	P_1	MW	196.2	197.2	161.0	162.0	148.0	118.0	122.0	117.0	199.0	199.8	200.0
3	调节级后压力	p_2	MPa	9.61	9.41	7.85	7.85	7.11	5.30	5.64	4.90	10.30	10.72	10.80
4	凝汽器排汽压力	p_c	MPa	0.011080	0.01128	0.0108	0.0109	0.0110	0.0113	0.0112	0.0154	0.0062	0.0095	0.0113
5	凝汽器排汽温度	t_c	℃	47.9	48.8	47.6	47.1	48.8	48.8	48.0	54.8	37.0	44.8	48.2
6	冷却(凝结)水流量	W	m ³ /h	18873.5	19000.3	18893.3	18955.2	18701.0	18844.8	18737.6	18680.9	19068.9	22701.3	23066.4
7	空冷塔出口空气温度	t_{a2}	℃									26.7	34.6	38.1
8	空冷塔进口水温度	t_1	℃	47.7	46.1	46.0	45.8	45.9	41.9	42.7	42.1	37.3	45.3	48.0
9	空冷塔出口水温度	t_2	℃	36.3	34.3	36.0	34.8	34.3	31.0	34.0	33.9	23.9	34.3	36.9
10	空冷塔进出口水温差	Δt	℃	11.4	11.8	10.0	11.0	11.6	10.9	8.7	8.2	13.4	11.0	11.1
11	空冷塔散热量	Φ_w	MW	250.23	260.74	219.72	242.49	252.3	238.88	189.59	178.15	297.17	290.42	297.71
12	凝汽器传热端差	δt	℃	0.2	2.7	1.6	1.3	2.9	0.9	5.3	12.7	-0.3	-0.5	0.2
13	空冷系统初始温差	ITD	℃	60.1	55.3	56.9	51.9	50.4	48.5	48.0	45.8	28.4	30.2	29.9
14	散热器平均传热系数	k	W/(m ² ·℃)										29.28	31.42
15	大气风速	v_0	m/s	1.0	1.2	0.9	2.0	3.6	2.0	1.3	2.9	1.5	1.8	3.2
16	散热器进出口空气温度差	Δt_1	℃									17.8	19.5	20.0

A1.2 根据实测数据及设计值,绘制出:

- 大气温度 t_{a1} 与空冷塔散热量 Φ_a 的关系曲线 (图 A1);
- 凝汽器排汽温度 t_c 、空冷塔出口水温 t_2 与大气温度 t_{a1} 的关系曲线 (图 A2);
- 空冷塔进、出口水温 t_1 、 t_2 与大气温度 t_{a1} 的关系曲线 (图 A2、图 A3);
- 凝汽器排汽压力 p_c 与大气温度 t_{a1} 的关系曲线 (图 A4);
- 凝汽器排汽温度 t_c 与大气温度 t_{a1} 关系曲线 (图 A5);
- 机组负荷 P_1 与初始温差 ITD 和空冷塔进出口水温差 Δt 的关系曲线 (图 A6)。

A1.3 经分析比较认为:

- 空冷塔散热能力达到设计要求。由性能试验数据汇总表 A1 及图 A1 可见,机组带额定负荷在不同季节运行时,在不同的大气温度下,空冷塔实际散热量(实测值)大于设计散

试验数据汇总

工 况																	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
19.2	20.0	21.0	24.2	25.1	26.3	26.8	28.8	30.3	10.0	15.1	17.5	20.0	22.0	26.3			
202.0	197.3	200.0	200.0	200.0	195.4	197.0	197.0	179.0	134.0	129.0	123.0	122.0	115.0	111.0			
10.90	10.70	10.80	10.9	10.79	10.80	10.79	10.80	9.83	7.11	6.93	6.77	6.90	6.33	6.13			
0.0115	0.0140	0.0125	0.0167	0.0186	0.0185	0.0191	0.0198	0.0216	0.0116	0.0102	0.0107	0.0125	0.0197	0.0201			
48.5	52.5	50.2	56.2	59.7	58.3	59.6	59.8	61.9	48.7	45.4	47.2	50.3	59.6	61.6			
22149.0	22501.9	21883.0	22149.2	22147.7	22105.1	22314.0	20518.9	20666.8	22148.9	22240.5	22278.7	22281.8	22231.7	22107.8			
37.7	39.2	40.1	47.6	43.4	44.4	45.3	44.5	51.6	30.9	33.5	36.0	38.6	40.0	44.1			
48.5	50.9	50.5	54.8	57.0	57.5	58.9	58.1	60.5	38.7	39.5	41.8	43.7	46.3	51.6			
36.8	39.3	38.6	42.6	44.5	45.2	46.2	45.1	48.2	29.5	30.7	33.5	35.5	38.3	43.4			
11.7	11.6	11.9	12.2	12.5	12.3	12.7	12.2	12.3	9.2	8.8	8.3	8.2	8.0	8.2			
301.38	303.56	304.24	314.27	329.2	319.01	329.58	291.13	295.64	236.98	227.62	215.05	212.49	206.84	210.83			
0.0	1.6	-0.3	1.4	2.7	0.8	0.7	1.7	1.4	10.0	5.9	5.4	6.6	13.3	10.0			
29.3	30.9	30.4	30.6	31.9	31.2	32.1	29.3	30.2	28.7	24.4	24.3	23.7	24.3	25.3			
31.72	29.30	32.56	30.51	29.53	29.54	29.60	29.49										
2.9	0.9	1.0	0.4	3.0	2.7	2.7	2.4	1.8	1.5	1.3	4.0	4.0	3.8	2.9			
18.5	19.2	19.1	18.4	18.3	18.1	18.5	15.7										

热量 8%~12% ; 由图 A2 及图 A3 可见, 当散热量为 291MW 时, 实测的空冷塔进口水温稍高于设计保证温度, 出口水温与设计保证值基本一致, 也可说明该空冷塔的散热性能基本达到设计要求。

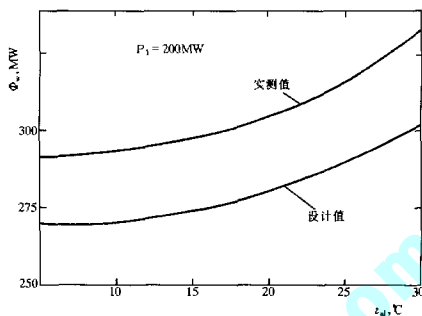


图 A1 大气温度 t_{at} 与空冷塔散热量 Φ_w 的关系曲线

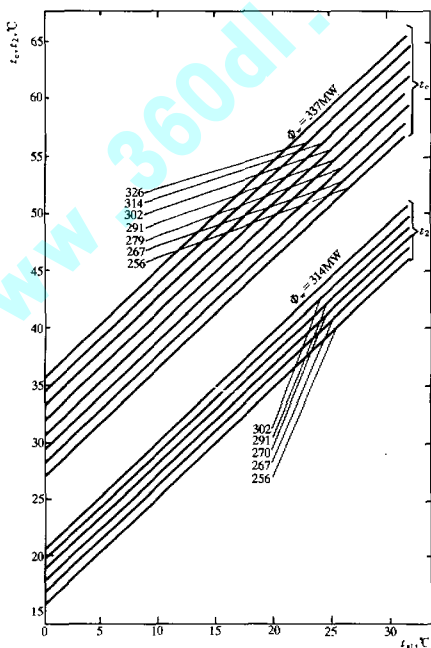


图 A2 空冷系统性能曲线

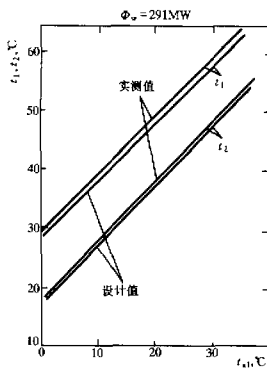


图 A3 空冷塔进出口水温 t_1 、 t_2 与
大气温度 t_{al} 的关系曲线

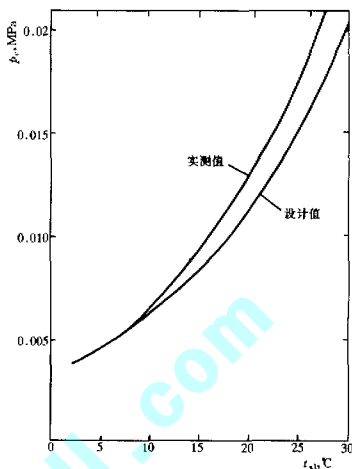


图 A4 凝汽器排汽压力 p_c 与大气温度 t_{al} 的关系

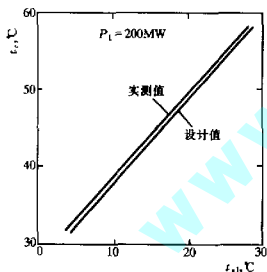


图 A5 凝汽器排汽温度 t_c 与大气
温度 t_{al} 的关系曲线

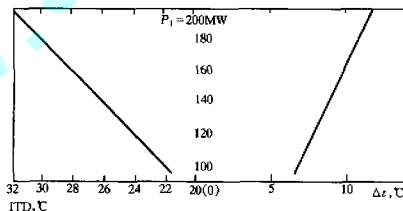


图 A6 机组负荷与空冷系统初始温差 ITD 和
空冷塔进出口水温差 Δt 的关系曲线

b) 由图 A4 及图 A5 可见，凝汽器排汽压力和凝汽器排汽温度普遍高于设计条件下的压力和温度。其主要原因是冷却塔出口水温控制不够合理，冬季出于安全考虑而提高了冷却塔出口水温；当冷却水量不变时，降低散热量导致冷却塔进出口水温差 Δt 的降低，机组回热及疏水系统不严密造成凝汽器传热端差较大。另外，凝汽器传热端差增大和百叶窗开度不足及循环水量小于额定水量还造成 ITD 偏大。

A2 空冷凝汽器

以某电厂空冷凝汽器性能测试为例。

A2.1 有关设计参数和性能曲线

a) 汽轮机设计参数:

额定/最大功率 (背压 20.32kPa)	330/365MW
额定蒸汽流量:	1076556kg/h
排汽压力	6.773~50.796kPa
额定条件下排汽热焓	2536.27kJ/kg

b) 空冷凝汽器设计参数:

热负荷	548.34MW
蒸汽流量	854931kg/h
进口空气温度	18.89℃
大气压力	85.68kPa
初始温差	41.67℃
风机台数	69 台
风机直径	6.4m
风机转速, 全速/半速	180/90r/min
风机功率, 全速/半速	75/18kW

c) 空冷凝汽器性能曲线及测试期间低压加热器系统热量平衡图:

图 A7: 空冷凝汽器性能曲线

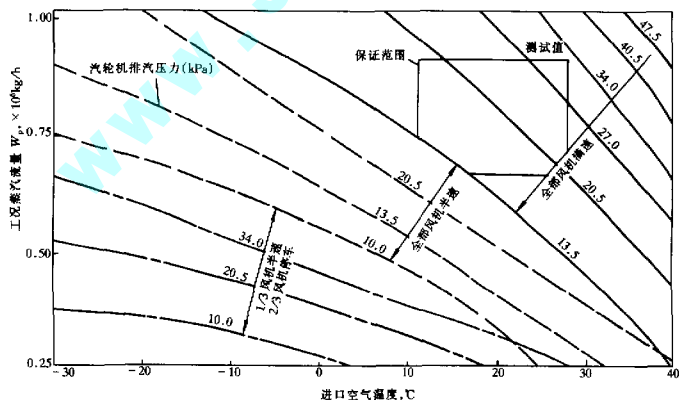


图 A7 空冷凝汽器性能曲线

图 A8: 汽轮机蒸汽膨胀线莫理尔图外推法

图 A9: 低压加热器系统测试期间热量平衡图

A2.2 热平衡测试数据

热平衡测试数据见表 A2 所示。

表 A2 热平衡测试数据

测 试 项 目	第三个加热器	第四个加热器	第五个加热器
抽出蒸汽温度 t_i ($^{\circ}\text{C}$)	348.72	235.72	151.83
抽出蒸汽压力 p_i (kPa)	644.66	223.39	107.56
抽出蒸汽热焓 h_i (kJ/kg)	3163.95	2943.74	2781.72
加热器泄水温度 t_c ($^{\circ}\text{C}$)	153.78	122.22	101.89
加热器泄水热焓 h_c (kJ/kg)	648.76	513.28	427.38
凝结水温度 $t_{w1}/t_{w3}/t_{w2}$ ($^{\circ}\text{C}$)	126.67	106.50	102.00
凝结水流量 W (kg/h)	985253		
凝结水温度 t_w ($^{\circ}\text{C}$)	92.5		

A2.3 计算公式

a) 抽汽点蒸汽流量计算:

$$S_{R3} = \frac{Wc_p(t_{w4} - t_{w3})}{h_{i3} - h_{c3}}$$

式中 S_{R3} ——第三个抽汽点蒸汽流量, kg/h;
 W ——凝结水流量, kg/h;
 c_p ——凝结水比热, kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$);
 t_{w3} ——第三个加热器凝结水温度, $^{\circ}\text{C}$;
 t_{w4} ——第四个加热器凝结水温度, $^{\circ}\text{C}$;
 h_{i3} ——第三个抽汽点抽出蒸汽热焓, kJ/kg;
 h_{c3} ——第三个加热器泄水热焓, kJ/kg。

$$S_{R4} = \frac{Wc_p(t_{w3} - t_{w2}) - S_{R3}(h_{c3} - h_{c4})}{h_{i4} - h_{c4}}$$

式中 S_{R4} ——第四个抽汽点抽出蒸汽流量, kg/h;
 t_{w2} ——第五个加热器凝结水温度, $^{\circ}\text{C}$;
 h_{i4} ——第四个抽汽点抽出蒸汽热焓, kJ/kg;
 h_{c4} ——第四个加热器泄水热焓, kJ/kg。

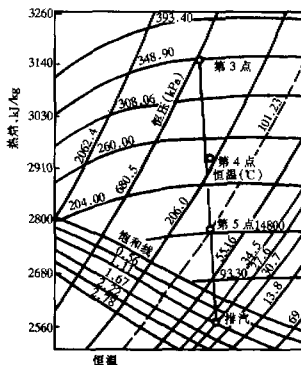


图 A8 汽轮机蒸汽膨胀线莫里尔图外推法

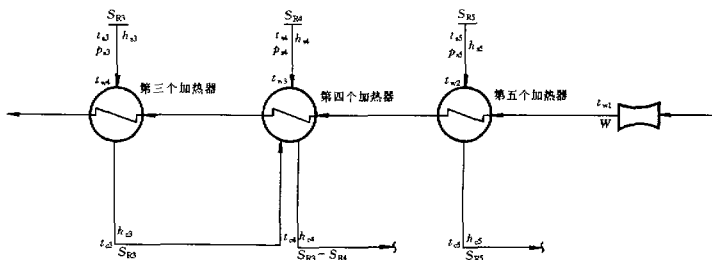


图 A9 低压加热器系统测试期间热量平衡图

$$S_{R5} = \frac{W_{c,p}(t_{w3} - t_{w1})}{h_{d5} - h_{c5}}$$

式中 S_{R5} ——第五个抽汽点抽出蒸汽流量, kg/h;

t_{w1} ——凝结水槽的凝结水温度, °C;

h_{d5} ——第五个抽汽点抽出蒸汽热焓, kJ/kg;

h_{c5} ——第五个加热器泄水热焓, kJ/kg。

b) 排汽量 W_e 计算

$$W_e = W - W_h - W_b \pm W_c$$

式中 W_h ——加热器泄水量, kg/h;

W_b ——锅炉给水泵水封及汽轮机水封泄水量之和, 即泄水膨胀箱增加泄水量, kg/h;

W_c ——凝结水接受槽水量变化, kg/h。

c) 空冷凝汽器实测热流量 Φ 计算

$$\Phi = W_e(h_e - h_c)$$

其中

$$h_c = c_p t_w$$

式中 h_e ——排汽热焓, 根据三个抽汽点压力、温度值在图 A8 上得出汽轮机膨胀线, 外延到汽轮机排汽压力线上可得到排汽的热焓, kJ/kg;

h_c ——凝结水热焓, kJ/kg;

t_w ——凝结水温度, °C。

d) 空冷凝汽器保证的热流量 Φ_g 计算

$$\Phi_g = W_g h_f$$

其中

$$W_g = W_p C_b C_f$$

$$C_b = 1 + C_n \frac{p_0 - p_d}{p_d}$$

$$C_f = 1 - \frac{N_{\text{off}}}{N_t}$$

上四式中 W_g ——保证的蒸汽流量, kg/h;

h_f ——饱和蒸汽潜热;

W_p ——工况蒸汽流量, 根据空冷凝汽器进口空气温度和汽轮机排汽压力在图 A7 上查到;

C_b ——大气压力修正系数;

C_f ——风机投入数的修正系数;

p_0 ——实测大气压力, kPa;

p_d ——设计大气压力, kPa;

C_n ——取决于凝汽器类型的修正系数;

N_{off} ——关闭的风机数;

N_t ——风机总数。

e) 空冷凝汽器综合性能系数 K_t 计算:

$$K_t = K_f \left(\frac{P_g}{P_t} \right)^r$$

其中

$$K_f = \frac{\Phi}{\Phi_g}$$

上二式中 K_t ——空冷凝汽器综合性能系数, K_t 值越大, 综合性能越好;

K_f ——空冷凝汽器性能系数, $K_f \geq 1$, 则符合保证值要求;

P_g ——风机功率保证值, kW;

P_t ——风机功率实测值, kW;

r ——取决于空冷凝汽器类型的因数, 取为 0.20。

A2.4 性能测试结果:

风机方式	67 台全速, 2 台停车
机组负荷	353MW
净蒸汽流量	955447kg/h
排汽压力	29.33kPa
排汽热焓	2574.55kJ/kg
空冷凝汽器进口空气温度	25.39℃
大气压力	87.37kPa
大气风速	3~5.5m/s
凝结水过冷度	0.68℃
空冷凝汽器实测热流量	611.55MW

空冷凝汽器保证的热流量	570.99MW
性能系数	1.071
风机功率实测值	5478.7kW
风机功率保证值	6267.6kW
需用功率因数	0.875
综合性能系数	1.100

A2.5 测试结果评价

该空冷凝汽器性能测试是在总发电功率超过额定功率，大气压力及凝汽器进口空气温度略高于设计值的情况下进行的，凝结水过冷度仅为 0.68°C ，测得的空冷凝汽器性能系数达到 1.071，综合性能系数达到 1.100，从而可得出该电厂空冷凝汽器已满足保证条件的结论。

A3 空冷散热器

以钢制椭圆翅片管散热器元件试验室热力阻力性能试验为例。

A3.1 试验装置

钢制椭圆翅片管散热器元件试验室热力阻力性能试验的试验装置如图 A10 所示。

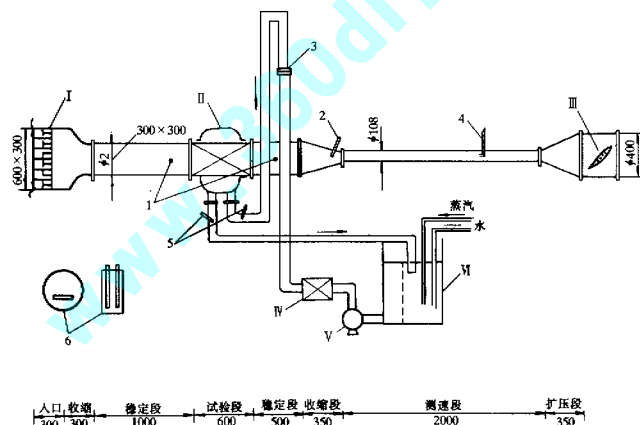


图 A10 试验装置

- I—蜂窝器；II—试验元件；III—风门；IV—温度调节器；V—水泵；VI—水箱；
1—测压孔；2—温度测点；3—流量孔板及U形管差压计；
4—动压管及U形管差压计；5—温度测点；6—气压表及干湿球温度计

A3.2 试件

钢制椭圆翅片管散热器元件为钢结构，外壳用 A3 钢，管子用 20 号钢。因翅片间距不同，共有 5 组元件，其管簇排列方式有两种：

- a) 图 A11 (a) 所示方式，为 1、3、5 组元件采用；

b) 图 A11 (b) 所示方式, 为 2、4 两组元件采用。

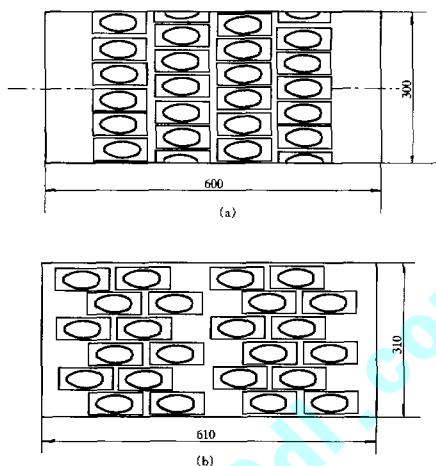


图 A11 管簇排列示意

(a) 1、3、5 组元件采用排列方式; (b) 2、4 组元件采用排列方式

A3.3 测试工况

风速: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 m/s;

进口水温: 30, 40, 50, 60℃;

冷却水量: 14, 18, 22 t/h。

A3.4 测试结果

1~5 组元件的风阻、单位面积传热系数与迎面风速的关系式如表 A3 所示, 1~5 组元件的关系曲线如图 A12、图 A13 所示, 散热量 Φ 与风机功率 P 的关系曲线如图 A14 所示。

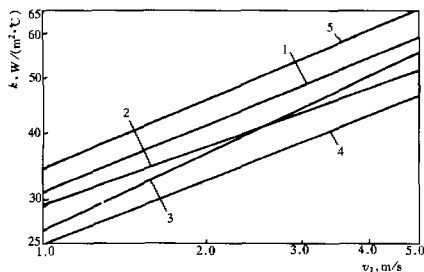


图 A12 散热器平均传热系数 k 与风速 v_1 的关系曲线

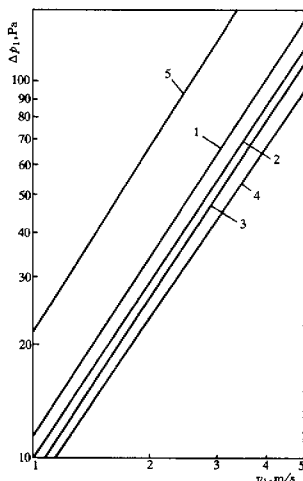


图 A13 散热器风阻 Δp_1 与通过散热器的风速 v_1 的关系曲线

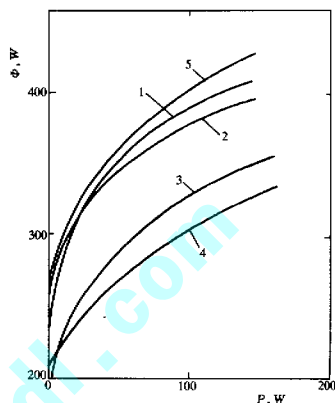


图 A14 空冷凝汽器实测热流量 Φ 与风机功率 P 的关系曲线

表 A3 各小样的关系式

编号	关系式	备注	符号说明
1	$\Delta p_1 = 11.36 v_1^{1.59}$ $k = 30.70 v_1^{0.39}$	按图 A11 (a) 排列	Δp_1 ——散热器风阻, Pa; k ——散热器的平均传热系数, $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$; v_1 ——迎面风速, m/s。
2	$\Delta p_1 = 9.80 v_1^{1.55}$ $k = 29.93 v_1^{0.33}$	按图 A11 (b) 排列	
3	$\Delta p_1 = 9.04 v_1^{1.55}$ $k = 26.67 v_1^{0.45}$	按图 A11 (a) 排列	
4	$\Delta p_1 = 8.40 v_1^{1.49}$ $k = 24.40 v_1^{0.40}$	按图 A11 (b) 排列	
5	$\Delta p_1 = 21.76 v_1^{1.62}$ $k = 34.08 v_1^{0.41}$	按图 A11 (a) 排列	

A3.5 试验结果分析评价

a) 从图 A12 看, 元件 2 号比 1 号好, 1 号又比 5 号好。从图 A13 看, 5 号比 1 号好, 1 号又比 2 号好, 从图 A14 看, 1 号、2 号和 5 号相当, 3、4 号综合性能较差。由于 5 号小样排列紧凑、造价低, 可以推荐选用。

b) 1、2 号翅片间距较小, 3、4 号翅片间距较大。由图 A14 看, 1、2 号综合性能优于 3、4 号, 说明翅片间距过大对传热不利, 翅片间距与翅片高的比值在 0.38~0.5 之间为宜。

c) 从图 A14 可见, $P < 30\text{W}$ (相当 $v_1 < 3.0\text{m/s}$), $\Delta\Phi/\Delta P > 1$, 即 Φ 增长比 P 增长快, $P = 60\text{W}$ (相当 $v_1 = 4.0\text{m/s}$), $\Delta\Phi/\Delta P \approx 1$, 即 Φ 与 P 增长速度相同, $P > 100\text{W}$ (相当 $v_1 > 5.0\text{m/s}$), $\frac{\Delta\Phi}{\Delta P} < 1$, 即 Φ 增长慢于 P 的增长, 故迎风面风速小于 4m/s 为宜。

d) 由本次试验结果可知, 1、5 号小样比匈牙利福哥式散热器热力性能好。例如在迎风面的风速 $v_1 = 1.8\text{m/s}$, 且散热面积相同时:

福哥式散热器 $k = 36\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\Delta p_1 = 49.1\text{Pa}$

1 号小样 $k = 38.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\Delta p_1 = 28.9\text{Pa}$

可见后者的 k 比前者大 6.5% , Δp_1 小 40% 。

又如在一个 15m 高的冷却柱中, 5 号散热器的总面积比福哥式散热器大 13% , 在 1.8m/s 迎风面风速下, 前者风阻比后者大 13% , 传热系数大 20.3% , 综合热力性能比福哥式散热器好。

附加说明:

本标准由电力工业部汽轮机标准化技术委员会提出。

本标准由电力工业部科技司归口。

本标准由电力工业部热工研究院负责起草, 主要撰写人为张鹏、史佑吉、高伟桐、胡三季。

火力发电厂空冷塔及空冷凝汽器 试 验 方 法

DL/T 552—1995

编制及条文说明

目 次

一、编制说明	358
二、条文说明	358
1 总则	358
2 试验前的准备工作	359
3 试验条件和要求	360
4 测量仪表和测试方法	361
5 试验数据的整理计算和试验结果的评价	362
6 试验报告编写	365

火力发电厂空冷塔及空冷凝汽器试验方法

编制及条文说明

一、编制说明

随着我国火力发电厂建设规模的不断发展和水资源的日渐紧缺,特别在北方缺水丰煤地区建设火电空冷机组势在必行。过去我国没有大型火力发电空冷机组,1987年底投入运行的大同二电厂5号汽轮发电机组是我国首次在国产200MW汽轮机组上采用匈牙利带混合式凝汽器的间接空冷系统的空冷机组,近年又在太原第二热电厂及内蒙丰镇电厂安装了带国产空冷系统的大型空冷机组。

空冷系统是火电厂空冷机组的重要设备之一。空冷机组要求有较高的管理水平,有安全经济运行可靠条件,因此开展对间接空冷系统的空冷塔和直接空冷系统的空冷凝汽器的考核试验及性能试验是十分重要和必不可少的。

本试验方法由电力工业部汽轮机标准化技术委员会委托电力工业部热工研究院编制,报部批准后作为我国电力行业标准实施。本试验方法既包括间接空冷系统的空冷塔、直接空冷系统的空冷凝汽器,又包括空冷塔及空冷凝汽器所使用的散热器元件,其目的就在于使我国空冷机组在起步阶段就有一个统一的考核试验和性能试验的方法,使试验工作得以顺利进行。1992年6月《火力发电厂空冷塔及空冷散热器试验方法》(征求意见稿)完成后,由部汽轮机标准化技术委员会向国内17个单位有关专家发了征求意见函,收到各有关专家对征求意见稿的反馈意见46条。根据这些意见和建议,对征求意见稿做了补充和修改,特别是大量增加了直接空冷系统空冷凝汽器试验内容的条文,编制成《火力发电厂空冷塔及空冷凝汽器试验方法》(送审稿)其名称、内容及各有关条文都更加确切和充实。1993年12月,电力工业部汽轮机标准化技术委员会组织有关专家对送审稿进行函审,并根据审查意见,修改完成此报批稿。

本试验方法主要参考的文件有:

1. 能源部电力规划设计管理局颁发的NDGJ89—1989《工业冷却塔测试技术规定》;
2. 机电部通用机械局企业标准《空冷器翅片管单管传热性能测试方法》;
3. 西德VDI2049标准1988译本《干式冷却塔验收性能导则》;
4. 美国供暖制冷空调工程师学会标准《出风口和进风口空气流动性能试验方法》(1983)。

二、条文说明

1 总则

1.1 本条阐明了编制本试验方法的目的。

空冷机组所采用的空气冷却系统,按其结构形式和运行方式可分为间接空冷系统和直接空冷系统两大类。间接空冷系统又分为带混合式凝汽器和带表面式凝汽器间接空冷系统两种,都是把凝汽轮机排汽所用的冷却水通过空冷塔加以冷却、循环使用的;直接空冷系统

是把汽轮机排汽直接通过空冷凝汽器加以冷凝、回收利用的。本试验方法提供了空冷塔及空冷凝汽器在考核试验、性能试验中应遵循的统一的试验程序、试验方法、试验数据的整理方法及试验结果的评价方法。

1.2 本条阐明了本试验方法的适用范围。

空冷塔和空冷凝汽器考核试验,是指通过试验,验证新建或改建的空冷塔及空冷凝汽器的性能是否达到设计或改建的预期要求;空冷塔和空冷凝汽器的性能试验,是针对新设计的空冷塔和空冷凝汽器的结构、类型及采用的散热器布置形式,通过试验取得热力特性、阻力特性、风速分布特性等有关资料,为设计同类空冷塔及空冷凝汽器以及为电厂的安全经济运行提供资料和经验。运行多年、经过改造的空冷塔和空冷凝汽器,可通过性能试验取得改造前后不同的热力阻力特性资料,以验证改造工作的效果。

空冷散热器是空冷塔和空冷凝汽器所使用的主要散热部件,如铝制翅片管散热器、钢制椭圆翅片管散热器等,直接关系到空冷塔及空冷凝汽器的性能,因此,本试验方法也包含了空冷散热器的有关试验内容。空冷散热器的选型及热力阻力性能试验,是指在试验室的专用试验台上,对空冷散热器元件所作的选型及热力阻力性能等试验。

1.3 本条规定了空冷塔及空冷凝汽器的考核试验、性能试验的时间和范围。空冷散热器必须首先经过试验室选型及热力阻力特性试验,取得可靠资料,才能在空冷塔和空冷凝汽器中使用。

空冷塔、空冷凝汽器的正常运行,是指汽轮机组能够满负荷运行,空冷系统的各种设备和空冷塔、空冷凝汽器都运转正常。机组投产初期,往往由于各种因素的影响,达不到正常运行。如果空冷塔和空冷凝汽器运行时间太长,则可能导致设备不具备完好的运行和试验条件,影响试验资料的实用价值。因此,考核试验及性能试验均要求在投入正常运行后一年内进行。

1.4 本条阐述对建有多座空冷塔、空冷凝汽器或套用其他工程的空冷塔、空冷凝汽器的试验要求。

同一火电厂投建多座空冷塔或空冷凝汽器时,因其使用的气象、环境条件基本相同,所以只要这些空冷塔、空冷凝汽器的结构形式、各部分几何尺寸、所用空冷散热器及其布置形式完全相同,就可只对其中一座进行考核试验。属于套用其他工程的,不仅要求其外形条件相同,而且要求使用条件相近,即该空冷塔、空冷凝汽器与套用的空冷塔、空冷凝汽器的设计气象参数、群塔布置方式及其他环境条件基本相近。在套用工程中已进行过考核试验者,可不再进行考核或性能试验,否则,仍应进行考核试验,以验证其是否达到设计散热能力。

1.5 空冷塔及空冷凝汽器的考核试验和性能试验技术复杂,参加人员较多,并要求他们掌握一定的空冷系统基础理论知识和实际工作经验,试验所需专用仪表设备也较多,因此这项工作必须由具有一定测试工作经验和能力的单位来承担。例如电力工业部热力发电设备及材料质量检验检测中心(挂靠电力工业部热工研究院)等单位。

1.6 本条规定了空冷塔及空冷凝汽器考核试验和性能试验工作的实施步骤。

2 试验前的准备工作

2.1 本条规定了空冷塔及空冷凝汽器考核试验及性能试验的试验大纲应包括的主要内容。试验大纲是指导试验工作的纲领性文件。试验任务一经确定,承担试验的单位即应根据试验任务、要求,按本试验方法所规定的内容,认真编写试验大纲。

2.2 空冷塔及空冷凝汽器运行是否正常,直接影响试验结果。为了保证空冷塔及空冷凝汽器在良好的运行工况下进行试验,本条规定了对空冷塔及空冷凝汽器各部件设备的基本要求。试验工作开始前,必须按设计和试验要求消除各部分的缺陷。

2.3 为了保证考核试验及性能试验各项数据的测量准确可靠,应当选用合适的仪表和确定恰当的测点。所有仪表和设备均应送交国家指定的标准计量检测部门及有标定能力的部门进行校验和标定。

试验中应对各种仪表进行监视和检查,发现异常,应及时处理,必要时应更换仪表重新测试。

2.4 本条阐明试验工作开始前应在测试现场完成的准备工作,主要内容有:

a) 按试验任务的性质和内容及试验大纲所规定的测试项目,根据有关测试规定并结合现场的实际条件确定各测试项目的测点位置。所选测点位置应具有代表性,能保证测试结果的准确、可靠和测读工作方便、安全。

b) 仪表所需的电源应在试验前妥善架设。

c) 加工和安装设备仪表,包括在进水管道上安装动压管插座、温度计套管,测温及测风的长杆、支架,必要的操作平台及气象亭等。

d) 在试验现场必须保证测试工作的顺利进行,对影响交通和测点安装,影响通风的堆积物等应予以清除。

2.5 试验前准备好试验中可能用到的各种工具用品,例如刀、剪、钳、胶布、布带、细铅丝、手电筒等。

2.6 试验工作往往由试验单位承担,设计单位及电厂进行配合。部分测试人员对测试内容及仪表操作并不熟悉,应在试验开始前按试验大纲要求进行空冷塔及空冷凝汽器的预测试验,以保证所有的测点位置选择恰当,正式的测试数据准确无误。

3 试验条件和要求

3.1 空冷塔及空冷凝汽器的试验工作要求在气象条件相对稳定的情况下进行,雨雪天气及自然风速过大时,会破坏塔内正常空气循环,导致冷却效果恶化,逆温层的出现也会恶化散热效果,因此空冷塔及空冷凝汽器的试验工作不宜在雨雪天及外界风速大于4m/s及逆温层存在的情况下进行。

3.2 本条规定了空冷塔及空冷凝汽器试验的工况稳定时间及每一工况的测试持续时间。工况稳定时间是指机组负荷、冷却水量、百叶窗开度、风机功率等影响测量值的参数调整完毕至测试开始之间的一段时间。

3.3 本条规定了空冷塔、空冷凝汽器考核试验、性能试验及空冷散热器试验室热力阻力性能试验中各参数的每次读数间隔时间和每工况的测量次数应该相同。本条表1给出了每个工况的测量次数。

3.4.1 本条规定了空冷塔考核试验、性能试验要满足的气温、投入散热器数量及百叶窗开度等条件。

外界大气温度过低时,散热器因管内滞流层逐渐加厚,流速愈来愈小,最终导致管内结冰,或因局部故障造成管内结冰,不仅得不到可靠的试验数据,还会危及空冷塔的安全运行,所以规定空冷塔的考核试验和一般性能试验应在与设计大气温度的偏差不超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 时进行,并且要求空冷塔所有散热器全部投入运行,所有百叶窗处于全开状态。

3.4.2 本条规定了空冷塔考核试验和一般性能试验应满足的机组负荷条件及机组正常运行、凝汽器满足试验要求的条件。

3.4.3 本条规定了空冷塔性能试验应根据该试验的具体要求。测量进、出塔空气温度、扇形段进、出口水温 and 散热器进口断面风速等参数，计算出散热器的传热系数，并为冬季防冻提供依据。

3.5.1 本条规定了空冷凝汽器考核试验、性能试验应满足的各项条件。考核试验应在机组负荷、空冷凝汽器热流量及风机额定功率不低于 90% 的条件下进行，性能试验时，只规定了机组负荷，空冷凝汽器热负荷及风机额定负荷功率的最低限。空冷凝汽器试验中进入凝汽器的蒸汽量很难测定，故以测量从凝汽器出来的冷凝水量代替。为了测量准确，减少误差，要求关闭进入凝结水接收槽的各种疏水。

在空冷凝汽器中，包括两个以上 K 基本单元和一个 D 基本单元的一套装置，称作 K-D 组（如图 1 所示）。K 基本单元是凝汽器组中靠外侧的两个或两个以上的单元，也称凝汽器基本单元，大约有 75% 以上的蒸汽是在 K 基本单元中冷凝的，蒸汽同它在向下流动过程中形成的凝结水并流通过凝汽器元件。D 基本单元是位于凝汽器组中间的一个基本单元，也称分凝器基本单元。D 基本单元确保在任何负荷条件下离开 K 基本单元的剩余蒸汽正向流动。由于蒸汽和冷凝水是逆流的，从而防止了过冷。同时，在 D 基本单元中不凝凝物被有效地从冷凝水中分离，采用标准真空喷射器将它们从分凝器顶部抽出。本试验方法规定，在空冷凝汽器的考核试验和性能试验时，不应有多于 1 台的 K-D 组凝汽器装置处于停车，并规定，如有一台分凝器风机停车，则整个 K-D 组应当停车。

3.5.2 本条对空冷凝汽器考核试验、性能试验的有关参数，其每次测量值相对该工况的平均值的允许变化范围作了规定，应删去超出规定的测量读数。每个工况的有效读数不应少于 6 个。

3.6.1 本条规定了空冷散热器试验室热力阻力性能试验的试验装置的组成。本条图 1 所示试验装置是以热水作为被冷却工质的，如果作蒸汽冷凝试验，需将试验台中之热水系统更换为蒸汽系统，并需有前、后蒸汽处理段。前蒸汽处理段位于测试段前，将蒸汽饱和并达到排气温度；后蒸汽处理段可通过测试段被冷凝后的汽水混合物分离开，将剩余蒸汽引入冷凝槽中凝结成水。

3.6.2 参照 3.5.2 说明。每一工况的有效读数应不少于 4 个。

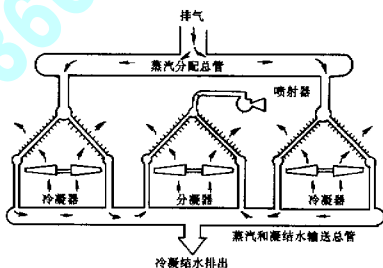


图 1 凝汽器 (K)-分凝器 (D) 组

4 测量仪表和测试方法

4.1 空冷塔

空冷塔的考核试验，实际上是间接空冷系统保证值试验。间接空冷系统的保证值，是由间接空冷系统性能曲线提供的，它包括不同大气（干球）温度下所对应的凝汽器排汽温度、凝汽器排汽压力保证值。凝汽器排汽压力是指汽轮机排汽在凝汽器喉部产生的压力，凝汽器

排汽温度是指用凝汽器排汽压力在蒸汽性质表中查得相应的排汽温度。为了将实际运行工况下测得的凝汽器排汽温度、排汽压力及空冷塔散热量与保证值相比较,不仅要测试空冷塔本身的项目(如进塔风速、风量、水温、出塔水温及大气压力等),还必须测与空冷塔运行有关的一些项目(如凝汽器排汽压力、汽轮机排汽压力等),根据测试结果,求得实际运行工况下的凝汽器排汽压力、温度(当凝汽器传热端差很小的时候,可以用凝结水温度代替凝汽器排汽温度)、空冷塔散热量,与保证值相比较,以确定空冷塔或该空冷系统是否达到设计或改建的要求。空冷塔的性能试验则需根据具体测试要求,有所侧重地测试不同的项目。

4.2 空冷凝汽器

空冷凝汽器的考核试验及性能试验,与空冷塔所不同的是空冷塔的性能可简单地由测得的水流量和通过空冷塔的温度差的乘积来确定,而空冷凝汽器的性能则是由蒸汽流量和热焓差的乘积来确定的。在一个特大直径的蒸汽管道中,蒸汽流量是无法测得的,热焓差也不能直接测得,必须用测量冷凝水流量的办法代替蒸汽流量测量,而用冷凝水温度及其比热简单地算出冷凝水热焓,并用莫理尔图外推法求得排汽焓。用测得的空冷凝汽器的实际热流量与空冷凝汽器特性曲线提供的保证热流量值相比较,以确定空冷凝汽器是否满足设计要求。

4.3 空冷散热器

空冷散热器的热力阻力性能试验是在特定的试验装置上完成的,其测试方法和所使用的仪表应满足该试验装置的测试要求。

4.4 本条规定进行空冷塔及空冷凝汽器考核试验、性能试验和空冷散热器试验室热力阻力特性试验所用的仪表和设备,均应在试验前送国家指定的标准计量检定单位进行检定,并在有效期内使用,超过有效期的,应重新检定。动压管、流量节流孔板等试验装置除符合 GB2624 及 GB1236 规定者外,亦应送有标定能力的单位进行校验和标定后方可使用。

5 试验数据的整理计算和试验结果的评价

5.1 试验数据的整理计算

5.1.2 本条规定应删去试验数据中不符合试验要求的测量数据,例如外界风速过大、有逆温层存在时的测量数据等。

5.1.17 本条规定空冷塔考核试验及性能试验可用 a) ~ g) 条参数间的关系曲线来表示,没有测试风阻的空冷塔,可不作 $\Delta p_1 = f(v_1)$ 关系曲线。

5.1.18 本条规定了空冷散热器试验室热力阻力性能试验的测试结果,可用 a) ~ e) 条各参数间的关系曲线表示,其中

a) 努塞耳数

$$Nu = \frac{a_2 d_e}{\lambda}$$

其中

$$d_e = \frac{4f}{U}$$

上二式中 a_2 ——空气的放热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

d_e ——当量直径, m;

f ——单管横截面面积 (以内径为准), m^2 ;

U ——单管周边长度 (以内径为准), m ;

λ ——空气的热导率, $\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。

若缺乏实测资料, 空气的放热系数可用下式计算:

$$\alpha_2 = \frac{1}{\eta_0 \beta \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{\delta}{\lambda_1} \right)}$$

式中 η_0 ——散热器肋面总效率, 可按散热器设计手册 (日·尾花英朗) (上册) 327 页有关公式计算;

δ ——翅片管壁厚, m ;

λ_1 ——翅片管的热导率 (由传热学及有关书籍查得), $\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$;

β 为肋化系数, 由下式计算:

$$\beta = \frac{A_0}{A_1}$$

式中 A_0 ——翅片管总表面积, m^2 ;

A_1 ——光管总表面积, m^2 。

k 为平均传热系数, 由下式计算:

$$k = \frac{\Phi}{A_0 \phi \Delta t_{1n}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

式中 Φ ——散热量, kJ/s ;

ϕ ——散热器温差修正系数, 由传热学有关图表查得。

Δt_{1n} 为散热器的对数平均温差, 由下式计算:

$$\Delta t_{1n} = \frac{(t_2 - t_{a1}) - (t_1 - t_{a2})}{\ln \frac{t_2 - t_{a1}}{t_1 - t_{a2}}} \quad ^\circ\text{C}$$

式中 t_1 ——进塔水温, $^\circ\text{C}$;

t_2 ——出塔水温, $^\circ\text{C}$;

t_{a1} ——进塔气温, $^\circ\text{C}$;

t_{a2} ——出塔气温, $^\circ\text{C}$ 。

α_1 为水对管壁的放热系数, 若缺乏实测资料时, 可由下式求得:

$$\alpha_1 = 0.023 \frac{(1000 c_p)^{0.4} \lambda_2^{0.6} (\rho_w)^{0.8}}{\mu^{0.4} d_c^{0.2}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

式中 c_p ——水的比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

λ_2 ——水的导热系数, $\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$;

ρ_w ——水的密度 (取进出口平均水温), kg/m^3 ;

u ——管内水流速度, m/s ;

μ ——水的动力粘度（取进出口平均温度）， $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ 。

b) 雷诺数

$$Re = \frac{v_m d_r}{\nu}$$

其中

$$v_m = \frac{v_1 \rho_1}{\rho_m}$$

上二式中 v_m ——散热器的平均风速， m/s ；

v_1 ——迎面风速， m/s ；

ρ_1 ——迎面空气密度， kg/m^3 ；

ρ_m ——散热器平均空气密度， kg/m^3 ；

ν ——以散热器平均风温为准的空气运动粘度， m^2/s 。

c) 欧拉数

$$Eu = \frac{\Delta p'}{\rho_m v_m}$$

式中 $\Delta p'$ ——散热器单排管空气阻力， Pa 。

d) 单位面积散热量

$$\Phi = k A_1 \phi \Delta t_{ln} \quad \text{W}$$

式中 k ——散热器平均传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ；

A_1 —— 1m^2 迎面单排管的翅片总表面积， m^2 ；

ϕ ——散热器温度修正系数；

Δt_{ln} ——散热器的对数平均温差， $^\circ\text{C}$ 。

e) 单排管风机驱动功率

$$P = \frac{W \Delta p'}{\eta_p \eta_b} \quad \text{W}$$

其中

$$W = A_{1m} v_1 \rho_1$$

上二式中 W —— 1m^2 迎面散热器的进风量， m^3/s ；

A_{1m} ——迎面面积， $A_{1m} = 1\text{m}^2$ ；

η_p ——风机效率，近似取 0.65；

η_b ——驱动系统的机械效率，近似取 0.95。

5.2 试验结果的分析评价

5.2.1 用空冷塔实测散热量与保证散热量的比较来评价该空冷塔能否达到保证散热量的要求。

5.2.2 用实测空冷塔出水温度与设计出水温度相比较来评价该空冷塔是否满足设计出水温

度的要求。

5.2.3 用实测凝汽器温度或压力与设计的保证值相比较来评价间接空冷系统是否达到凝汽器温度和背压的保证值的要求。

5.2.4 用空冷凝汽器实测数值计算的空冷凝汽器性能系数及综合性能系数来评价空冷凝汽器是否满足设计要求。性能系数越高,说明其性能越好。

5.2.5 用实测空冷凝汽器进口空气温度和蒸汽流量,在空冷凝汽器设计特性曲线上,查得实测工况下的背压值与设计背压保证值比较,以评价空冷凝汽器是否满足设计背压保证值的要求。

5.2.6 用试验室实测的单位散热面积风机驱动功率与设计的单位散热面积风机驱动功率比较,评价空冷散热器是否达到设计要求。

5.2.7 空冷散热器还应作有关的特殊评价内容。

5.2.8 空冷塔和空冷凝汽器的试验结果,可用上述的一种方法评价,也可用多种方法同时评价,但只要能满足一种评价结果者,该空冷塔或空冷凝汽器即被视为达到设计要求。

6 试验报告编写

本条规定了试验报告编写的具体内容。