

中国工程建设标准化协会标准

间接空冷塔空冷散热器传热元件

试验规程

Specification for test of indirect cooling tower heat
exchanger

T/CECS ***-20**

主 编 单 位：中国水利水电科学研究院

批 准 单 位：中国工程建设标准化协会

执行日期：20**年**月**日

(征求意见稿)

***出版社

中国工程建设标准化协会公告

第***号

关于发布《间接空冷塔空冷散热器传热元件试验规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2017 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划》的通知（建标协字[2017]031 号）的要求，由中国水利水电科学研究院等单位编制的《间接空冷塔空冷散热器传热元件试验规程》，经本协会工业给水排水专业委员会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS ***-20**，自 201**年**月**日起施行。

中国工程建设标准化协会

****年**月**日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2017]031号）的要求，制订本规程。

本规程共分 6 章，主要技术内容包括总则、术语和符号、试验装置及测试仪器、试验要求和流程、试验结果、数据记录和试验报告等。

本规程由中国工程建设标准化协会工业给水排水专业委员会归口管理，由中国水利水电科学研究院负责解释。本规程在执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利水电科学研究院（北京市海淀区复兴路甲一号，邮编 100038）。

主 编 单 位：中国水利水电科学研究院

参 编 单 位：北京玻璃钢研究设计院有限公司

西安热工研究院有限公司

江苏海鸥冷却塔股份有限公司

北京首航艾启威节能技术股份有限公司

双良节能系统股份有限公司

主要起草人：赵顺安 尹 证 宋小军 李陆军 王明勇

姚立波 王永新 包冰国 黄春花 杨 岑

黄卿雄 冯 晶 宋志勇

主要审查人员：待定

目 次

- 1 总则
- 2 术语和符号
- 3 试验设备及测试仪器
- 4 试验要求和流程
- 5 试验结果
- 6 试验数据和试验报告

本规程用词说明

附：条文说明

1 总则

- 1.0.1 为了规范间接空冷塔空冷散热器传热元件性能试验装置、试验仪器、试验流程和试验数据处理方法，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于间接空冷塔空冷散热器传热元件的热力阻力性能试验。
- 1.0.3 间接空冷塔空冷散热器传热元件的试验，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 间接空冷塔 Indirect dry air cooling tower

采用间壁式换热方式将循环水所携带的热量传给大气的装置。通风方式包括自然通风和机械通风，散热器以冷却三角的方式垂直布置在冷却塔的进风口周围或水平或倾斜布置在塔内。

2.1.2 冷却管束 bundles

由翅片管模块和管板构成，在间接空冷塔中起核心热交换作用的装置，也称冷却管束。

2.1.3 散热器 Heat exchanger

由管束和翅片构成，在间接空冷塔中起核心热交换作用的装置。

2.1.4 散热器传热元件 Sample of heat exchanger

用于测试散热器性能的散热器的小样，代表了散热器结构基本特征，由管束和翅片组成。

2.1.5 迎面风速 air windward design velocity

参与换热的冷空气通过散热器管束有效平面区域内的平均流速。

2.1.6 总传热系数 Heat transmission coefficient

单位散热面积、每度对数平均温差所能散发的热量。

2.1.7 循环水流量 circle water mass flow rate

单位时间通过间接空冷塔散热器的水流量。

2.2 符号

2.2.1 温度

θ —空气干球温度

τ —空气湿球温度

t —水温

Δt_m —对数平均温差

T —绝对温度

2.2.2 流速

V —流速

2.2.3 散热器特性

ΔQ ——热量平衡误差

K_z ——对应迎风面积的散热器总传热系数

m_a ——空气质量流速

2.2.4 压力、压差

P_a —大气压

p'' —饱和蒸气压力

P_{τ_1}'' —与空气进口湿球温度相应的饱和蒸汽压力

p_{θ_1}'' —与空气进口干球温度相应的饱和蒸汽压力

p_{θ_2}'' —与空气出口干球温度相应的饱和蒸汽压力

Δp —散热器传热元件的通风阻力

2.2.5 物性参数

g —重力加速度

ρ —密度

ϕ —空气相对湿度

C —比热

x —空气的含湿量

A_z —散热器迎风面积

2.2.6 其它

N —试验数据总数

A, B, m, m_r, n ——试验结果系数与指数。

注：本规程中脚标 1—表示进塔参数；2—表示出塔参数；

a —表示空气； w —表示水。

3 试验装置及测试仪器

3.1 试验装置

3.1.1 间接空冷塔空冷散热器传热元件性能试验装置，如图3.1.1示，试验装置应包含下列部分组成：

- 1 通风系统；
- 2 循环水系统；
- 3 加热设备；
- 4 数据采集系统；
- 5 试验段；
- 6 散热器传热元件。

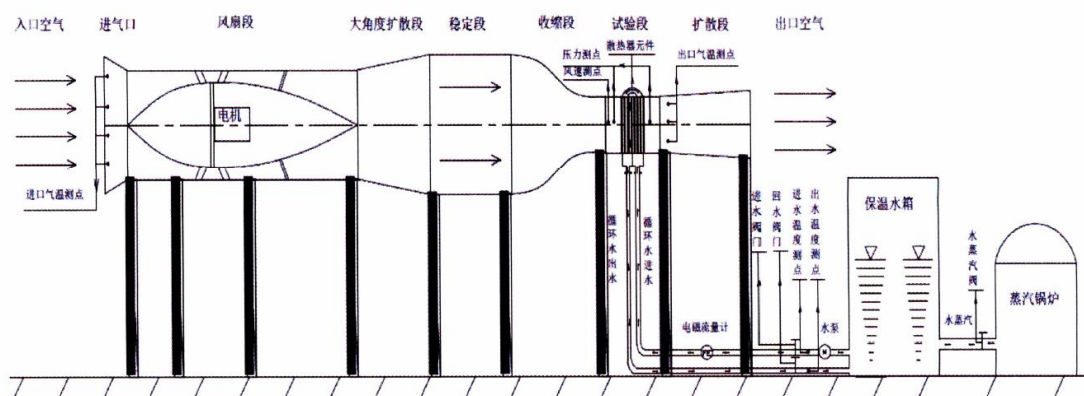


图3.1.1 间接空冷塔空冷散热器传热元件性能试验装置示意图

3.1.2 通风系统可采用抽风方式通风，也可采用鼓风方式送风。通风系统应满足下列要求：

- 1 试验段断面的风速均匀性偏差不应大于1.5%；
- 2 气流偏角应小于1°；
- 3 风速可调节范围应包含0.5m/s~5.0m/s；
- 4 试验段面的边长比不应大于2，且面积不应小于0.5m²。

3.1.3 循环水系统应能够满足六排管单流管中循环水流速大于3m/s。

3.1.4 加热设备加热能力应可控制，并应保障进入散热器传热元件循环水温度偏差小于 0.2°C 。

3.1.5 数据采集可采用电子方式采集，也可采用人工读数方式记录。

3.1.6 散热器传热元件在检测前应完成管箱及管路接口加工，并且接口管径应与试验装置保持一致。

3.2 测试仪器及测点

3.2.1 所有试验用测量仪表必须经过计量部门核验合格，并应在规定的有效期内。

3.2.2 循环水流量可采用电磁流量计或孔板或超声波流量计测量，测量位置与仪表应满足下列要求：

1 流量测量精度不应大于1级；

2 流量测点位置应满足上游直段大于10倍管径，下游直段应大于5倍管径。

3.2.3 温度可采用铂电阻温度计或水银温度计或其它温度测量仪表测量，仪表精度应满足表3.2.3的规定。

表3.2.3 温度测量仪表的精度要求

名称	精度	分辨率
空气干、湿球温度	0.2	0.2
水温	0.1	0.1

3.2.4 空气出口温度应采用多点测量方式，测点布置在散热器传热元件出口断面。每个测点代表相同的通风面积，测点数量不应少于9个。

3.2.5 空气流速测点宜布置在试验段上的进风侧，空气流速测量可采用毕托管，也可采用热线风速仪。测量仪表应满足下列要求：

1 仪表的挡风面积不应大于测量断面的1.5‰;

2 仪表精度不应大于1级。

3.2.6 散热器传热元件通风阻力测点宜布置在散热器传热元件前后断面上，距离小样不应小于150mm。测量可采用电子微压计或补偿式微压计，分辨率不应大于1Pa，精度不应大于1级。

3.2.7 大气压采用合式压力计测量，精度不大于1级。

4 试验要求和流程

4.1 试验要求

4.1.1 试验的参数组合宜按表4.1.1规定的参数范围进行确定。

表4.1.1 散热器元件试验参数范围

项目	试验范围	同工况每次测量允许波动范围
空气进口温度	试验季节确定	$\pm 0.25^{\circ}\text{C}$
循环水进口水温	30~90 $^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
进试验段风速	0~5m/s	$\pm 0.1\text{m/s}$
散热器管内流速	1.0~3.0m/s	$\pm 0.05\text{m/s}$
散热器传热元件 通风阻力	试验确定	$\pm 2\text{Pa}$

4.1.2 各稳定工况内相同参数的测量次数和每次测量时间不应少于表4.1.2中的规定。

表4.1.2 各参数测量的时间间隔和次数

参数名称	测量次数	时间间隔（分钟）
空气进口温度	3	3
空气出口温度	3	3
循环水进口温度	3	3
循环水出口温度	3	3
试验段风速	3	3
通风阻力	3	3
空气的湿球温度	1	9

大气压	1	
-----	---	--

4.1.3 各参数应调整稳定后进行试验。

4.1.4 试验数据热平衡计算误差超过3%时，循环水出口温度宜采用热平衡计算值。

4.2 试验操作流程

4.2.1 检查仪器设备是否正常工作。

4.2.2 按规范布置仪器设备。

4.2.3 启动加热设备，将水加热至实验工况。

4.2.4 开启循环水泵并排气，开启风洞设备。

4.2.5 根据所需工况调节各个变化参数，进行测量。

4.2.6 关闭加热系统。

4.2.7 实验完毕关闭所有仪器设备，并切断电源。

5 试验结果

5.1 计算公式

5.1.1 热平衡误差应按下式计算：

$$\Delta Q = \left(1 - \frac{C_w(t_1 - t_2)}{C_a(\theta_2 - \theta_1)}\right) \times 100\% \quad (5.1.1)$$

式中： ΔQ —热平衡误差，%；

C_w —水的比热，J/(kg·°C)；

C_a —空气的比热，J/(kg·°C)；

t_1 —循环水进口温度，°C；

t_2 —循环水出口温度，°C；

θ_1 —空气进口温度，°C；

θ_2 —空气出口温度，°C。

5.1.2 当热平衡误差大于3%时，循环水出口温度宜按下式计算：

$$t_2 = t_1 - \frac{C_a}{C_w}(\theta_2 - \theta_1) \quad (5.1.2)$$

5.1.3 空气的相对湿度应按下式计算：

$$\phi_1 = \frac{p_{\tau_1}'' - 0.000662 p_a(\theta_1 - \tau_1)}{p_{\theta_1}''} \quad (5.1.3)$$

式中： ϕ_1 —空气进口相对湿度；

p_{τ_1}'' —与空气进口湿球温度相应的饱和蒸汽压力，kPa；

p_{θ_1}'' —与空气进口干球温度相应的饱和蒸汽压力，kPa；

p_a —大气压力, kPa 。

θ_1 —空气进口干球温度, $^{\circ}C$;

τ_1 —空气进口湿球温度, $^{\circ}C$ 。

5.1.4 饱和蒸气压力应按下列式计算:

$$\lg p'' = 2.0057173 - 3.142305 \left(\frac{1000}{T} - \frac{1000}{373.16} \right) + 8.21 \lg \frac{373.16}{T} - 0.0024804(373.16 - T) \quad (5.1.4)$$

式中: p'' —饱和蒸气压力, kPa ;

T —温度, K 。

5.1.5 空气进口密度应按下列式计算:

$$\rho_1 = \frac{p_a - \phi_1 p''_{\theta_1}}{287.14(273.15 + \theta_1)} + \frac{\phi_1 p''_{\theta_1}}{461.53(\theta_1 + 273.15)} \quad (5.1.5)$$

式中: ρ_1 —空气进口密度, kg/m^3 。

5.1.6 空气的含湿量应按下列式计算:

$$x = 0.622 \frac{\phi_1 p''_{\theta_1}}{p_a - \phi_1 p''_{\theta_1}} \quad (5.1.6)$$

式中: x —空气的含湿量, $kg/kg(D)$ 。

5.1.7 空气出口的相对湿度应按下列式计算:

$$\phi_2 = \frac{x p_a}{(0.622 + x) p_{\theta_2}} \quad (5.1.7)$$

式中: ϕ_2 —空气出口相对湿度;

θ_2 —空气出口干球温度, $^{\circ}C$;

p''_{θ_2} —与空气出口干球温度相应的饱和蒸汽压力, kPa 。

5.1.8 空气出口的密度应按下列式计算:

$$\rho_2 = \frac{p_a - \phi_2 p_{o_2}''}{287.14(273.15 + \theta_2)} + \frac{\phi_2 p_{o_2}''}{461.53(\theta_2 + 273.15)} \quad (5.1.8)$$

式中： ρ_2 —空气出口密度， kg/m^3 。

5.1.9 散热传热元件的总传热系数应按下列式计算：

$$K_z = \frac{C_a(\theta_2 - \theta_1)}{A_z \Delta t_{ln}} \quad (5.1.9)$$

式中： K_z —对应迎风面积对应的散热元件总传热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

A_z —散热器传热元件迎风面面积， m^2 ；

Δt_{ln} —对数平均温差， $^\circ C$ 。

5.1.10 对数平均温差应按下列式计算：

$$\Delta t_{ln} = \frac{\Delta t_o - \Delta t_i}{\ln \frac{\Delta t_o}{\Delta t_i}} \quad (5.1.10)$$

式中： Δt_o —循环水出口水温与空气进口温度差， $^\circ C$ ；

Δt_i —循环水进口水温与空气出口温度差， $^\circ C$ 。

5.1.11 通过散热元件空气平均密度按下式计算：

$$\rho_a = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (5.1.11)$$

5.2 试验结果

5.2.1 散热器传热元件的总传热系数应按最小二乘法试验数据整理成经验公式5.2.1。

$$K_z = Am_a^n V_w^m \quad (5.2.1)$$

式中： K_z —与应迎风面积对应的散热器传热元件总传热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

m_a —通过散热器传热元件的空气质量流速， $kg/(m^2 s)$ ；

V_w —通过散热器传热元件中管内循环水流速， m/s ；

A —热力试验系数；

m, n —热力试验指数。

5.2.2 散热器传热元件的空气质量流速按下式计算：

$$m_a = \rho_1 V_a \quad (5.2.2)$$

5.2.3 求解5.2.3可获得式5.2.1中的热力试验系数与热力试验指数。

$$\begin{aligned} aN + n \sum x + m \sum y &= \sum z \\ a \sum x + n \sum x^2 + m \sum xy &= \sum xz \\ a \sum y + n \sum xy + m \sum y^2 &= \sum yz \end{aligned} \quad (5.2.3)$$

式中： $a = \lg A$ ， $x = \lg m_a$ ， $y = \lg V_w$ ， $z = \lg K_z$ 。

5.2.4 散热器传热元件的通风阻力应按最小二乘法把试验数据整理成经验公式5.2.4。

$$\frac{\Delta p}{\rho_a} = B V_a^{m_r} \quad (5.2.4)$$

式中： Δp —散热器传热元件的通风阻力， p_a ；

V_a —通过散热元件管的迎面风速， m/s ；

B —阻力试验系数；

m_r —阻力试验指数。

5.2.5 求解5.2.5可获得式5.2.4中的阻力试验系数与阻力试验指数。

$$\begin{aligned} aN + m_r \sum x &= \sum y \\ a \sum x + m_r \sum x^2 &= \sum xy \end{aligned} \quad (5.25)$$

式中： $a = \lg B$ ， $x = \lg V_a$ ， $y = \lg \frac{\Delta p}{\rho_a}$ 。

6 数据记录和试验报告

6.1 数据记录

6.1.1 试验宜采用纸质记录保存。每张记录表格或文件应包含下列信息：

- 1 试验日期；
- 2 试验地点；
- 3 试验人员签名；
- 4 试验环境；
- 5 生产厂商名称；
- 6 散热器材质、规格、型号；
- 7 散热器传热元件的主要尺寸和参数。

6.1.2 记录数据应包括：

- 1 空气进口温度；
- 2 空气出口温度；
- 3 循环水流量；
- 4 循环水进口水温；
- 5 循环水出口水温；
- 6 散热器进出口压力差；
- 7 试验段风速。

6.2 测试报告

6.2.1 试验报告应包括下列内容：

- 1 报告编号、样品名称、签发日期；

2 散热器传热元件名称、编号、材质、管径、管厚、流程、管排数、翅片尺寸

3 委托单位的名称、地址、联系人、联系方式；

4 试验项目及依据；

5 试验用仪表设备及编号；

6 试验结果；

7 试验数据；

8 试验与审核人员签字。

6.2.2 试验报告应仅分发给委托单位。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”

中国工程建设标准化协会标准

间接空冷塔空冷散热器传热元件试验规程

T/CECS***-20**

条文说明

目 次

- 1 总则
- 3 试验装置和测试仪器
- 4 试验要求和流和
- 6 数据记录和试验报告

1 总则

1.0.2 本规程是针对于间接空冷塔空冷散热器传热元件的热力阻力性能试验而编制的,其它间接空冷塔的散热器也可参照本规程开展性能试验。

3 试验装置及测试仪器

3.1 试验装置

3.1.1 本条文给出试验装置的总体要求，实际操作时可按本规程要求进行试验装置设计建设。如：通风系统采用风洞时需要有进气口、风扇段、大角度扩散段、稳定段、收缩段、试验段和扩散段；加热设备可选用蒸汽锅炉也可选用热水锅炉；循环水系统至少要有循环水管路、进水阀门、出水阀门、循环水泵以及保温水箱等。

3.1.2~3.1.6 条文主要是试验设备的能力方式提出建议和要求。

3.2 测试仪器及测点

3.2.1~3.2.7 是对设备中进行测量的参数的位置和采用仪表提出的要求。

4 试验要求和流程

4.1 试验要求

4.1.1~4.1.4 是对试验的参数控制和试验测量提出要求。

4.2 试验操作流程

4.2.1~4.2.7 是开展试验的主要流程，在采用时还可根据试验室设备等情况作细化。

6 数据记录和试验报告

6.1 数据记录

6.1.1~6.1.2 条文是针对试验的数据记录提出要求，便于试验单位存档与回溯。

6.2 测试报告

6.2.1~6.2.2 条文对试验报告的主要内容及分发给出要求。对报告要求主要是期望报告的内容能够全面记述试验的样品相关信息以及报告的有效性标识，以确保试验结果与样品之间唯一对应关系。报告的分发除试验单位存档外，报告只对委托方负责，也符合委托方对保密的要求。