

中国工程建设标准化协会标准

间接空冷塔测试规程

Specification for test of indirect dry air cooling tower

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《间接空冷塔测试规程》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《间接空冷塔测试规程》，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、测试程序、条件和要求、测试数据处理和测试结果评价及测试报告等。

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

国网山西省电力公司电力科学研究院

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 李陆军 宋小军 续 宏

姚立波 余 喆 胡九如 杨 岑 黄卿雄

冯 晶 宋志勇 黄春花

主要审查人员：待定

目 次

- 1 总则
- 2 术语和符号
- 3 测试程序、条件和要求
- 4 测量方法
- 5 测试数据处理
- 6 测试结果评价及测试报告

本规程用词说明

引用标准名录

附：条文说明

1 总则

1.0.1 为指导和规范间接空冷塔的性能和验收测试的条件、程序、方法及评价，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建或扩建的自然通风间接空冷塔和机械通风间接空冷塔的性能和验收测试。

1.0.3 间接空冷塔性能和验收测试，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、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 冷却柱 cooling column

间接空冷系统中采用铝制管束时，由若干个管束组成一定长度和一定宽度的一片换热器。采用钢制翅片管时，一片管束即一个冷却柱。

2.1.5 冷却三角 cooling delta

间接空冷系统中由两个冷却柱和一组同长度的百叶窗垂直组成类似三角形的功能单元，每个冷却柱和百叶窗各为三角形的一个边。两个冷却柱和百叶窗分别固定在三角形钢构架的三个面上。每个冷却柱由数个冷却管束串联组成。

2.1.6 冷却扇段 cooling sector

间接空冷系统中由若干个冷却三角组成的功能组。

2.1.7 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。

2.1.8 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。

2.1.9 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。

2.1.10 冷却能力 cooling capacity

间接空冷塔实际散热量与同等条件下设计散热量比。

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

2.2.2 流量

W —流量

G —冷却塔的体积通风量

2.2.3 流速

V —流速

\bar{V} ——平均风速

2.2.4 散热器特性

ξ_r —进风口阻力系数

ξ_t ——总阻力系数

Q ——热量

K ——对应迎风面积的散热器总传热系数

m ——质量流速

k ——实测条件差别修正系数

η ——冷却能力

2.2.5 压力、压差

P —大气压

ΔP —压力差

Δh —压差

F —抽力

P_{at} ——测试时的大气压力

P_{ad} ——绘制运行曲线的大气压力

2.2.6 物性参数

g —重力加速度

ρ_c —测量介质的密度

ρ —密度

ϕ —空气相对湿度

C —比热

2.2.7 几何参数

R —半径

A_{in} —散热器进风百叶窗面积

h_e —有效高度

A_z —散热器迎风面积

2.2.8 其它

M —冷却三角数量

N —出塔气温测点总数

A, n ——试验整理系数与指数。

注：本规程中脚标 1—表示进塔参数；2—表示出塔参数；

d —表示设计参数； r —表示实测参数；

a —表示空气； w —表示水。

3 测试程序、条件和要求

3.1 测试程序及测试前准备

3.1.1 间接空冷塔测试应按以下步骤进行：

- 1 编写测试大纲；
- 2 做好测试前各项准备工作；
- 3 现场测试；
- 4 分析处理测试数据；
- 5 编写测试报告。

3.1.2 用户方应允许间接空冷塔或散热器制造商或提供商（以下简称制造方）在验收测试工作前检查间接空冷塔的状态，确保间接空冷塔处于良好的运行状态。间接空冷塔的状态应满足以下条件：

- 1 循环水系统应通畅无堵塞，无漏水现象；
- 2 空冷散热器应无缺损、无变形，翅片表面不应有大量灰尘、油污及其它杂物；
- 3 百叶窗可灵活控制并处于全开状态；
- 4 间接空冷塔的进、回水母管上的控制阀门、冷却塔之间联络管阀门应启闭灵活，关闭严密；
- 5 各扇段的进、回水管上的控制阀门应启闭灵活，关闭严密。
- 6 冷却水的水质满足设计要求。

3.1.3 用户方应协助测试方进行下列准备工作：

- 1 确定各测量项目的测点位置并装设测量辅助装置；
- 2 搭设测试平台和气象亭；
- 3 架设临时电源；
- 4 加工及安装循环水流量和进塔风量测试辅助装置；
- 5 清理妨碍冷却塔正常运行和测试工作的杂物。

3.2 测试时间及测试有效性

- 3.2.1 验收测试应在间接空塔安装调试完成后 12 个月内进行，制造方与用户方的合同中有约定测试时间时，按合同约定时间进行测试。
- 3.2.2 验收测试应由具有测试能力和经验的第三方测试机构承担。
- 3.2.3 验收测试应在制造方和用户方代表在场的情况下，由第三方测试机构现场测试完成，测试数据应由三方人员共同签字。
- 3.2.4 性能测试根据制造方或用户方的要求进行测试。

3.3 测试条件

- 3.3.1 间接空冷塔验收测试气象条件应符合以下规定：
 - 1 测试应在气温较高季节、无雨天进行；
 - 2 测试不应在雨后立即测试，测定开始时间应在雨停后1h以上；
 - 3 环境平均风速不应大于3.0m/s，阵风每分钟平均风速不应大于5.0m/s；
 - 4 自然通风间接空冷塔测试时大气温度不应存在逆温层。
- 3.3.2 间接空冷塔验收测试机组负荷应保持90%以上，循环水量与设计

值的偏差不应大于10%。

3.3.3 自然通风间接空塔性能测试的组负荷宜分成100%、80%、60%直至机组允许的最低负荷分别测试。

3.3.4 机械通风间接空冷塔性能测试的空冷塔散热负荷应保持设计负荷的80%以上，通风量应包含设计风量及设计风量80%或以下两组测试数据。

3.4 测试要求

3.4.1 间接空冷塔的验收测试应测量下列参数：

- 1 环境气象参数，包括空气干湿球温度、大气压、环境风速风向；
- 2 进塔循环水流量；
- 3 间接空冷塔的进、出塔水温；
- 4 进、出塔空气干球温度；
- 5 进塔空气流量；
- 6 间接空冷塔的通风阻力。

3.4.2 性能测试的测量参数在符合3.4.1要求的条件下，根据试验目的的不同宜增加下列测量参数：

- 1 各扇段的循环水量；
- 2 各扇段排水温度；
- 3 散热器的空气阻力；
- 4 间接空冷塔进风口空气压力损失；
- 5 进风口空气流速分布；
- 6 散热器水阻。

3.5 测试工况

3.5.1 空冷塔运行参数进入稳定状态60min后进行测试，每一个测试工况点的测试时间不应小于1h；验收测试不应少于3个测试工况点。

3.5.2 同一测试工况点内所测的参数变化范围应满足下列要求：

- 1 循环水流量变化小于 3%；
- 2 热负荷变化小于 5%；
- 3 进出塔水温降小于 5%；
- 4 进塔空气干球温度测量值与平均值的变化不应超过 3℃。

3.5.3 不同测量参数的测量读数频率应符合表3.5.3的要求。

表3.5.3 测量参数测测量读数频率

测量变量	每小时最少记录次数	
	人工	自测
大气压及环境空气干湿球温度	3	60
进塔循环水流量	6	60
进、出塔水温	6	60
进、出塔空气干球温度	6	60
进塔空气流量	1	60
空气阻力	2	60
散热器的水阻	2	60
扇段风量分布	2	60
各扇段水量	2	60
各扇段进水温度	2	60
各扇段出水温度	2	60
环境风速风向	持续的	

4 测量方法

4.1 环境风速和风向

4.1.1 测量仪表宜采用带风向标的旋杯式风速风向仪、或带连续记录的遥感式风速风向仪。

4.1.2 测点应布置在冷却塔的上风向，距塔约20~50m处的开阔地带。

4.1.3 风速风向仪的安装高度宜在地面上1.5~2.0m处。

4.2 环境空气干湿球温度

4.2.1 测量仪表宜选用机械通风干湿表，或其它测温仪表，仪表的最小刻度值不应大于0.2℃，精度不应低于0.5级。当采用表4.2.1中的干湿表测量时，应采用对应的修正系数。

表4.2.1 系数A值表

序号	干湿表类型	通风方式	通过感温元件的风速 (m/s)	系数A ℃ ⁻¹
1	标准百叶箱通风干湿表	机械通风	3.5	0.000667
2	阿斯曼通风干湿表	机械通风	2.5	0.000662
3	百叶箱球状干湿表	自然通风	0.4	0.000857
4	百叶箱柱状干湿表	自然通风	0.4	0.000815
5	阿费古斯特湿度表	自然通风	0.8	0.0007947

4.2.2 测量仪表宜安装在距离空冷塔20~30米处的地面以上1.5~2.0m高处。根据塔的大小宜布置2~6处测点，测点布置在同一圆周上，且圆心角相等。

4.2.3 仪表宜设在气象亭内或避免阳光直接照射及其它强辐射源照

射。

4.3 大气压力

4.3.1 大气压力测量宜采用空盒式大气压力表。

4.3.2 测量仪表宜放在环境气温测点处。

4.4 温度

4.4.1 温度测量仪表宜采用水银温度计，或遥测式铂电阻、热电阻、热电偶温度计。温度计的最小读数不应大于 0.1°C ，仪表精度不应低于0.2级。

4.4.2 进塔水温测点宜布置在空塔进塔循环水母管上，测点不宜少于两个。

4.4.3 出塔水温测点宜布置的空冷塔的回水母管上，测点不宜少于两个。

4.4.4 进塔空气温度测点应采用多点布置，测点布置应符合下列要求。

1 散热器布置在进风口周围的间接空冷塔的进塔空气温度测点应布置在冷却三角进风百叶窗中心线上外0.3米处。平面位置以轴对称或等间距布置数量不应少于4个；高度方向均匀布置的温度测点不应少于3个。

2 散热器水平或倾斜布置在塔内的间接空冷塔进塔气温测点应布置在进风口断面，高度方向测点应不少于2个；自然通风塔圆周方向应不少于4个；机械通风塔每个进风面水平方向测点不应少于2个。

4.4.5 当出塔空气温度的测量断面选择自然通风冷却塔的喉部断面或机械通风塔的风机叶片下断面时，气温测点应分别布置在按等面积环划分的两个相互垂直的直径上，总测点数量不应少于20个。

4.4.6 当出塔空气温度的测量断面选择散热器出口断面时，散热器布置在进风口周围的间接空塔的出塔空气温度的测点应位于冷却三角出风断面垂向中心线上，并应符合下列要求。

1 平面位置不应少于4个，每个位置沿高度方向测点数量不应少于4个。

2 自然通风空冷塔的冷却三角测量断面应以轴对称方式选择；机械通风空冷塔测点水平方向应均匀布置，每个进风侧不应少于2个。

4.4.7 当出塔空气温度的测量断面选择散热器出口断面时，散热器布置在塔内的间接空冷塔的出塔空气温度测点应位于冷却三角出风断面纵向中心线，并应符合下列要求。

1 选择的冷却三角出风测量断面不应少于4个，每断面上均匀测点不应少于4个。

2 自然通风空冷塔的冷却三角测量断面应以轴对称方式选择；机械通风空冷塔，沿水平均匀选择。

4.4.8 出塔气温的测量时宜同时测量该点的空气流速。

4.4.9 各扇段出塔水温的测点应布置在各扇段的回水管。

4.5 循环水流量

4.5.1 循环水流量的测点宜布置在间接空冷塔的进水或回水管的直管段上，并满足测点位置上游直管长度不应小于10倍管径，下游直管段长度不应小于5倍的管径。

4.5.2 各扇段的循环水流量测点，宜选择在扇段的进水管或回水管。

4.5.3 流量测量仪表可采用超声波流量计、皮托管或电磁流量计，精

度应不低于±2.5%。当现场直管段无法满足要求时，测量仪表宜采用皮托管。

4.5.4 采用皮托管与压差计测流量时应符合下列规定：

1 在水管道测试断面上划分等面环，测点应布置在该断面相互垂直的两条直径上。

2 各等面环测点与管中心的距离按下式计算：

$$R_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2m}} \quad (4.5.4)$$

式中： R_n —从管中心到各测点的距离(m)；

R —测试断面管道半径(m)；

n —从中心算起的测点编号；

m —等面环数(个)。

3 等面环划分数目不应少于表4.5.4的规定值。

表4.5.4 等面环划分数

管径 (mm)	≤300	300~900	1000~1500	≥1600
等面环数 (个)	3	≥5	≥7	≥9

4 压差计可采用电子表计或U型管，采用电子表计时，其精度应不低于2.5%。

4.6 进塔空气流量与通风阻力

4.6.1 进塔空气流量可选择与出塔空气温度同时测量，测点布置与要求应符合4.5.4~4.4.8的要求。

4.6.2 风速与通风阻力的测量仪表方法应符合DL1027。

4.6.3 机械通风的间接空冷塔的通风阻力测量断面宜选择风机叶片下20cm处断面，测点布置应符合4.4.6。

4.6.4 自然通风间接空冷塔的通风阻力测点布置应符合下列规定。

1 散热器布置在进风口周围的自然通风间接空冷塔的进风口区域通风阻力可通过测量空冷塔中心地面点与塔外的压力差获得。

2 散热器布置在塔内的空冷塔通风阻力布置应符合4.4.8要求。

4.7 散热器水阻

4.7.1 散热器水阻测点位置散热器的进水管与出水管上。

4.7.2 测量仪表宜选用压差计，精度不应低于2.5%。

5 测试数据处理

5.1 测试数据选取

5.1.1 测试工作完成后，应对各测试参数的测试数据进行分析，选取符合3.5.2条的数据作为有效测试数据。

5.1.2 每一工况点各项参数测定值，应为该工况点历次测定值的算术平均值。

5.2 各参数数据整理

5.2.1 用皮托管及U形管差压计测量循环水流量时，流速、压差计算应按下列规定进行。

1 各测点流速按式5.2.1-1计算：

$$V_i = \sqrt{\frac{2\Delta P_i}{\rho_w}} \quad (5.2.1-1)$$

式中： ΔP_i ——第*i*测点的压差，Pa；

ρ_w ——循环水密度， kg/m^3 。

2 当采用U型管测量测压差时，压差按式5.2.1-2计算：

$$\Delta P_i = \Delta h_i g (\rho_c - \rho_w) \quad (5.2.1-2)$$

式中： Δh_i ——测点的压差，m；

g ——重力加速度，m；

ρ_c ——测量介质的密度， kg/m^3 。

3 循环水流量按式5.2.1-3计算:

$$W_w = \frac{\pi}{4N} d^2 \sum_{i=1}^N V_i \quad (5.2.1-3)$$

式中: W_w ——循环水流量, m^3/s ;

d ——循环水管内径, m;

N ——流速测点总数, 个。

5.2.2 通风量的数据整理计算应符合下列规定。

1 通风量测量断面位于散热器进口时, 通风量按下式计算:

$$W_a = \rho_1 A_{in} M \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} V_i \quad (5.2.2-1)$$

式中: W_a ——通风量, kg/s ;

ρ_1 ——进风口空气密度, kg/m^3 ;

A_{in} ——散热器进风百叶窗面积, m^2 ;

M ——冷却三角数量, 个;

N_a ——进塔空气流速测点数量, 个;

V_i ——进塔空气流速第*i*点测量流速值, m/s 。

2 通风量测量断面位于散热器出口断面时, 通风量按下式计算:

$$W_a = \rho_2 A_{ou} M \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} V_i \quad (5.2.2-2)$$

式中: ρ_2 ——塔内空气密度, kg/m^3 ;

A_{ou} ——冷却三角出口面积, m^2 。

3 通风量的测量断面位于自然通风空冷塔的喉部或风机叶片下断面时，体积通风量应按《工业冷却塔测试规程》DL/T1027的规定进行计算，通风量按下式计算：

$$W_a = \rho_2 G \quad (5.2.2-3)$$

式中： G ——冷却塔的体积通风量， m^3/s 。

5.2.3 环境空气参数、进塔空气温度、进出塔循环水温度、通风阻力及散热器水阻各工况点的测量值应为各测点的算术平均值。

5.2.4 出塔空气温度按下式计算：

$$\theta_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{V_i \theta_i}{\bar{V}} \quad (5.2.4)$$

式中： θ_i ——第*i*测点的出口气温， $^{\circ}C$ ；

\bar{V} ——平均风速， m/s ；

N ——出塔气温测点总数，个。

5.3 热力计算公式

5.3.1 进塔空气密度可按《消雾节水型冷却塔验收测试规程》T/CECS 517-2018规定进行计算。

5.3.2 自然通风空冷塔的抽力计算按下式5.3.2计算。

$$F = (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot h_e \quad (5.3.2)$$

式中： F ——抽力，Pa；

h_e ——有效高度，m。

注：散热器在塔进风口周围布置时，有效高度值等于散热器中部位置至塔筒顶部的距离；当散热器在塔筒内布置时，有效高度值为散热器顶部距离塔筒顶

部的距离。

5.3.3 冷却三角的通风阻力系数按下式计算：

$$\xi_r = \frac{\Delta P_r}{0.5\rho_a V_a^2} \quad (5.3.3)$$

式中： ξ_r ——进风口阻力系数；

V_a ——迎面风速，m/s；

ρ_a ——塔内外空气平均密度， kg/m^3 。

5.3.4 散热器迎面风速按下式计算：

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a A_z} \quad (5.3.4)$$

式中： W_a ——间接空冷塔空气流量，kg/s；

A_z ——散热器迎风面积， m^2 。

5.3.5 自然通风间接空冷塔总阻力系数按下式计算：

$$\xi_t = \frac{F}{0.5\rho_a V_a^2} \quad (5.3.5)$$

式中： ξ_t ——总阻力系数。

5.3.6 间接空冷塔实测散热量 Q_w 按下式5.3.6计算。

$$Q_w = W_w \rho_w C_w (t_1 - t_2) \quad (5.3.6)$$

式中： Q_w ——空冷塔散热量，W；

C_w ——循环水的比热， $J/(kg^\circ C)$ ；

t_1 ——进塔水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_2 ——出塔水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.7 散热器实测工况条件下平均传热系数的按下式5.3.7计算。

$$K = \frac{Q_w}{A_s \Delta t_{ln}} \quad (5.3.7)$$

式中： K ——对应迎风面积的散热器总传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ ；

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

5.3.8 对数平均温差按下式5.3.8计算。

$$\Delta T_{ln} = \frac{(t_1 - \theta_2) - (t_2 - \theta_1)}{\ln \frac{t_1 - \theta_2}{t_2 - \theta_1}} \quad (5.3.8)$$

式中： θ_1 ——进塔空气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.9 散热器热力特性可整理表示下式5.3.9。

$$K = A m_a^n \quad (5.3.9)$$

式中： m_a ——对应迎风面积的空气流速， $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ ；

A, n ——试验整理系数与指数。

6 测试结果评价及测试报告

6.1 实测工况对比法

6.1.1 当间接空冷塔的运行特性或曲线已知时，可采用实测工况对比法。

6.1.2 间接空冷塔的运行曲线应由散热器供应商提供，特性曲线应满足下列要求。

1 运行曲线为多簇曲线，分别是设计降温幅度为80%、100%、120%时和水流量为设计循环水量的90%、100%、110%时的变量组合。

2 运行曲线的横坐标为进塔空气温度，纵坐标为冷却塔的出塔水温。

3 运行曲线的标度应是增量坐标，最小温度刻度每毫米不应大于0.2℃。

6.1.3 间接空冷塔的特性曲线应由散热器供应商提供，特性曲线应满足下列要求。

1 散热器热力特性应用以迎风面积为基准的总传热系数方式给出，总传热系数宜表示为散热器水侧流速与迎风侧质量风速的函数；

2 散热器的阻力特性应散热器的通风阻力方式给出，散热器阻力应表示迎面风速的函数。

6.1.4 实测条件下的间接空冷塔的冷却能力按下式6.1.4计算。

$$\eta = C \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{2d}} \quad (6.1.4)$$

式中： t_1, t_2 ——进出塔水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

C ——实测条件差别修正系数；

t_{2d} ——实测条件下设计出塔水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.5 当间接空冷塔的运行曲线已知时，实测条件下设计出塔水温可从运行曲线上获得，步骤如下：

1 用实测进塔气温、进出塔水温差和循环水量可查得出塔水温；

2 用实测进塔气温、循环水流量和实测进塔水温与查得的出塔水温差为进出塔温差可查得新的出塔水温，若此水温与上次查得的出塔水温偏差大于 0.2°C ，重复查曲线直到满足偏差为止。

3 对于自然通风间接空冷塔公式6.1.4中的 C 按下式计算。

$$C = \frac{P_{ad}}{P_{at}} \quad (6.1.5)$$

式中： P_{at} ——测试时的大气压力， kPa ；

P_{ad} ——绘制运行曲线绘的大气压力， kPa 。

6.1.6 当间接空冷塔的特性曲线已知时，实测条件下设计出塔水温按《火力发电厂间接空冷系统设计规范》DL/T 5545-2018规定方法计算获得，此时 C 的取值为1。

6.2 设计工况对比法

6.2.1 设计工况对比法是由实测的空冷塔的热力阻力特性计算设计条件下的间接空冷塔的进出塔水温差与设计值比较。

6.2.2 采用设计工况对比法时应开展间接空冷塔的特性测试，采用第5章的数据整理方法得到冷却塔的总传热系数和阻力系数。

6.2.3 设计条件下的间接空冷塔的冷却能力按下式6.2.3计算。

$$\eta = \frac{t_{1d} - t_{2r}}{t_{1d} - t_{2d}} \quad (6.2.3)$$

式中： t_{1d}, t_{2d} ——设计条件下的进出塔水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{2r} ——实测特性核算到设计条件下的出塔水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.4 机械通风间接空冷塔的实测特性核算到设计条件的出塔水温计算时的输入参数应为实测的散热器的热力特性、实测风量、设计进塔循环水流量、设计气象条件和设计进塔水温。核算方法应符合《火力发电厂间接空冷系统设计规范》DL/T 5545-2018规定。

6.2.5 自然通风间接空冷塔的实测特性核算到设计条件应按以下步骤进行。

- 1 按设计气象条件计算进出塔空气密度；
- 2 按式5.3.2计算空武昌鱼塔的抽力；
- 3 以实测空冷塔的总阻力系数和计算的抽力，由式5.3.5反算迎面风速；
- 4 由计算的迎面风速计算总传热系数；
- 5 由式5.3.7及设计传热量计算平均对数温差；
- 6 由式5.3.8和下式联立可求解出塔水温与出塔气温；

$$W_w \rho_w C_w (t_1 - t_2) = W_a C_a (\theta_2 - \theta_1) \quad (6.2.5)$$

式中： C_a ——空气的比热， $J/(kg^{\circ}\text{C})$ 。

- 7 以计算的出塔水温、出塔气温及设计气象条件、设计水温和实

测的热力阻力特性重复第2至6款，直到计算的出塔水温与上次计算偏差小于0.2℃为止。

6.3 评价标准

6.3.1 冷却能力值在95%~105%应视空冷塔达到设计能力。

6.3.2 冷却能力小于95%应视空冷塔未达到设计能力。

6.3.3 冷却能力大于105%应视空冷塔超过设计能力。

6.4 测试报告

6.4.1 测试报告应包括下列内容。

1 测试任务，测试目的及要求；

2 冷却塔设计、施工及运行管理概况，测试冷却塔平、断面布置图，以及标明测点的位置图；

3 测试项目、测试方法、测点布置及使用仪表名称、规格和精度；

4 测试范围及测试工况；

5 测试数据处理方法及测试数据汇总；

6 测试结果，对测试结果的评价和分析；

7 存在问题分析及建议；

8 根据合同及业主要求，需要特殊说明的问题；

9 参加测试单位及人员名单。

6.4.2 测试报告完成后应由测试单位分发给委托单位和用户单位。

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”

引用标准名录

《工业冷却塔测试规程》 DL/T 1027-2006

《消雾节水型冷却塔验收测试规程》 T/CECS-2018

《火力发电厂间接空冷系统设计规范》 DL/T 5545-2018

中国工程建设标准化协会标准

间接空冷塔测试规程

T/CECS***-20**

条文说明

目 次

- 1 总则
- 3 测试程序、条件和要求
- 4 测量方法
- 5 测试数据处理
- 6 测试结果评价及测试报告

1 总则

1.0.2 间接空冷塔的形式有自然通风间接空冷塔、机械通风空冷塔两种通风方式。散热器的布置方式主要有两种，一种是布置在垂直布置在冷却塔的进风口周围，另一种是布置在冷却塔塔内。自然通风间接空冷塔主要用于火力发电厂的循环冷却水系统，机械通风间接空冷塔多用于火力发电厂的冷却系统和其它工业部门。电力系统的空冷塔的散热器一般以由翅片管束组成冷却三角方式出现，本规程中所述空冷塔是指散热器以冷却三角方式布置的空冷塔，不以冷却三角方式布置的空冷塔可参照本规程开展相关测试。本规程所述的验收测试主要是指空冷制造商产品交付使用后，业主方对产品性能确认性试验，测试多发生在产品交付后。性能试验是指空冷塔制造方或业主方为了解空冷塔的目的的运行特性而进行的测试。

3 测试程序、条件和要求

3.1 测试程序及测试前准备

3.1.2 空冷塔的测试工作需要得到用户方（业主）的配合方能完成。本条文说明了要开展空冷塔测试前，对空冷塔的运行状态的检查与检修，确保在测试期间空冷塔的参数调节和性能发挥。

3.1.3 本条文明确了业主方对空冷塔测试的配合事项，以便于测试工作的开展。

3.2 测试时间及测试有效性

3.2.1 本条文明确了验收测试的时间，验收时间不宜过长，它影响到制造方和用户方的利益，过长会损害到制造方利益，过短设备运行中各种问题尚未出现或现场运行条件不完备，也不利于测试工作开展。

3.2.2 测试工作对于影响双方利益时，有第三方机构较为公正。第一方和第二方也可按本规程开展测试工作只作为数据积累用。

3.2.3 本条文理希望相关利益方对于测试数据认可，以保障测试结果的客观公正。

3.2.4 为了解空冷塔的热力阻力特性，制造方或用户方可要求进行测试。

3.3 测试条件

3.3.1 本条规定了影响空冷塔性能的特殊气象天气，对于空冷塔的设计中有要求的特殊天气除外。如：空冷塔的设计自然风速大于本条

文规定的不一条文限制。

3.3.2 循环水流量与设计偏差大时，散热器的管内传热系数变化较大，对于验收试验结果评价有一定的影响。

3.3.3 本条文规定负荷的变化旨在变化塔内的通风量，以获得总传热系数与空气质量流速的关系，以及塔的总阻力系数变化规律。

3.3.4 本条文要求机械通风间接空塔的风机变风量，以获得总传热系数与空气质量风速之间关系。风机的电动机已经配套完成，风量增大可能性很小，可通过调整风机叶片角度减小风量。

3.4 测试要求

3.4.1 本条文给出了验收试验必须要测试的空冷塔的最少参数要求。

3.4.2 本条给出了性能测试的空冷塔可选择的测量参数，还可根据测试目的，适当增减。

3.5 测试工况

3.5.1 本条规定了测试工况要求和测试工况点的时长。测试工况是指期望测试空冷塔运行参数不变化参数组，工况点是指某工况测试的特定时长的一组数据整合为一组数。

3.5.2 本条规定同一个测试工部点内各参数变化幅度。

3.5.3 因为测试条件中对自然风要求较为详细，要获得有效测试数据须对自然风进行连续监测。

4 测量方法

4.2 环境空气干湿球温度

4.2.1 本条测量空气的干球湿球温度主要目的在于计算空气密度。可采用多种方法测量，不同方法在计算相对湿度时，应采用不同的系数A。

4.2.3 空气的干湿球测量受辐射影响，可以通过增大传热方式消除，所以要采用强力通风式仪表，若采用自然对流通风的，为减少贴身影响，要设置气象亭并将温度传感元件置于气象百叶箱中。

4.4 温度

4.4.2 进塔水温布置两个测点，主要赶到备用，防止一个传感元件失效后整个工况其它数据也失效。

4.4.3 同4.4.2。

4.4.4 本条给出了进塔空气温度测点布置要求。进塔空环境空气温度一般是均匀，原则上布置一个测点即可，但是考虑到进塔空气受塔出口及周边热源影响，布置多个，测试时可根据进塔气温的均匀性适当增加测点。

4.4.5 出塔空气的温度测量断面可有多种选择，因为塔内及出塔空气温度不均匀，须采用多点测量。在风机叶片下断面或喉部断面测量时将测点布置在等面积环上，以减小测点面积权的影响。

4.4.6 出塔气温测点在散热器出口，需要将散热器出口断面划分

为多个小面积，测不同面积开心的气温。

4.4.8 出塔气温的测量无论是在散热器出口或喉部，尽管采用等面环布置方式，但由于空气流速不同，所以要准确获得出口气温须考虑风速的权。

4.5 循环水流量

4.5.1 流量测量的准确性受管道中的流速分布影响很大，因此，选择直管段进行流量测量可提高精度。

4.5.4 如遇直管段不够的情况，可采用皮托管与压差计测量管道中不同直径上的流速分布，来计算流量，以减小流速分布不均对流量测量的影响。本条给出了管道流速测量点的划分要求。

4.6 进塔空气流量与通风阻力

4.6.4 自然通风间接空冷塔的通风阻力主要包括进风百叶、冷却三角入口、散热器管束、散热器出口、气流进入塔筒转弯、塔筒及出口损失。出口损失系数为1，塔筒阻力可忽略，所以主要阻力是前5项，不考虑气流转弯阻力时，塔中心地面点与塔外的压力差即为前4部分和，塔中心区域风速小测量容易准确。

5 测试数据处理

5.1 测试数据选取

5.1.2 每个工况点在一个小时测量多次数据数据，采用历次测定值的算术平均值作为该 工况点的数据，可消除偶然误差。

5.2 各参数数据整理

5.2.2 空冷塔中只有换热没有传质，所以通过空塔的空气质量流量是不变的，所以，通风量按质量流量计算。不同处密度不同体积流量不同，计算时流速应与同点密度相对应。

5.2.4 出塔空气温度计算应考虑面积和流量两个权。

5.3 热力计算公式

5.3.5 自然通风间接空冷塔总阻力与抽力相等，所以，阻力系数可以抽力代替阻力进行计算。

5.3.7 散热器有多种形式，如单流程、双流程，四排翅片管、六排翅片管、福哥型等，热力计算都可采用逆流式换热器计算公式进行计算，同时要对平均对数温差进行修正。修正系数与散热器形式有关可查图表获得。验收测试与性能测试是针对整个空冷塔而言，可视为修正系数包含在总传热系数中。

5.3.9 散热器热力特性与空气的质量流速、管内循环水流速有关，因为试验在设计循环水量附近进行，所以，可仅表示为质量流速的函数。

6 测试结果评价及测试报告

6.1 实测工况对比法

6.1.1 当散热器的热力阻力特性为已知的条件下，有能力的制造商可绘制出间接空塔的运行曲线。验收测试相对简单，实测数据与制造商承诺运行曲线数据对比，获得空冷塔的冷却能力。目前，国内自然通风间接通风空冷塔是由散热器制造商与电力设计院共同完成，有很多情况下无运行曲线，测试需要通过性能测试后核算。

6.1.2 本条件对于制造商的运行曲线提出要求，旨在确保从曲线上获得较为精确的数据。

6.1.4 间接空冷塔实测条件下的冷却能力是指在给定的循环水量、气温和进塔水温的条件下的实际散热能力与同条件下的设计散热能力之比。公式中的修正系数是考虑了运行曲线与实测时大气压力不同造成的冷却塔抽力的变化影响。

6.1.6 当通过散热器热力阻力特性核算冷却能力时，大气压采用实测值，不存在修正问题，所以，修正系数为1。

6.2 设计工况对比法

6.2.1 设计工况对比法是将实测的空冷塔的热力阻力特性计算设计条件下的间接空冷塔的散热能力与设计值比，与实测工况对比法在结果上是一致的，数值上是相同的。

6.3 评价标准

6.3.1 考虑测试仪器仪表存在的误差以及测试方法的偏差，认为

影响约5%，由此确定冷却能力的评价标准。