##### **CECS ：**

中国工程建设协会标准

**消雾节水型冷却塔**

**验收测试规程**

Specification for acceptance test of wet-dry plume abatement cooling towers

（征求意见稿）

\*\*\*\*出版社

**中国工程建设协会标准**

消雾节水型冷却塔

验收测试规程

Specification for acceptance test of wet-dry plume abatement cooling towers

**CECS :**

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

施行日期： 年 月 日

\*\*\*\*出版社

**2018 北 京**

**中国工程建设标准化协会公告**

**第 号**

关于发布《消雾节水型冷却塔

验收测试规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2016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[2016]084号）的要求，由中国水利水电科学研究院等单位编制《消雾节水型冷却塔验收测试规程》，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CECS ： ，自 年 月 日起施行。

**中国工程建设标准化协会**

**二O一 年 月 日**

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2016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[2016]084号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了《消雾节水型冷却塔验收测试规程》CECS ： 。

本规程共分5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，试验结果的评价，测试报告。

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（CECS/TC26）归口管理，由中国水利水电科学研究院负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中如有意见或建议，请将意见和资料寄送解释单位（地址：北京市海淀区复兴路甲1号中国水利水电科学研究院；邮政编码：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

江苏海鸥冷却塔股份有限公司

中化工程沧州冷却技术有限公司

**主要起草人**：赵顺安 尹 证 宋小军 李陆军 宋志勇

包冰国 杨 岑 高金城 黄春花 冯 晶

**主要审查人:**

目 次

[1 总 则 1](#_Toc483313199)

[2 术语和符号 2](#_Toc483313200)

[2. 1 术 语 2](#_Toc483313201)

[2. 2 符 号 3](#_Toc483313202)

[3 测试程序、条件和要求 5](#_Toc483313203)

[3. 1 测试时间 5](#_Toc483313204)

[3. 2 测试参加人员 5](#_Toc483313205)

[3. 3 测试前准备 5](#_Toc483313206)

[3. 4 测试单元的选择 6](#_Toc483313207)

[3. 5 测试条件 6](#_Toc483313208)

[3. 6 测量参数与仪表 7](#_Toc483313209)

[3. 7 测试工况 9](#_Toc483313210)

[3. 8 测量精度和读数频率 10](#_Toc483313211)

[4 试验结果的评价 11](#_Toc483313212)

[4. 1 评价方法 11](#_Toc483313213)

[4. 2 制造方（商）须提供的数据 12](#_Toc483313214)

[4. 3 数据处理 13](#_Toc483313215)

[4. 4 消雾指数的计算方法 13](#_Toc483313216)

[4. 5 出塔空气掺混系数的计算 15](#_Toc483313217)

[4. 6 消雾标准 16](#_Toc483313218)

[4. 7 节水率估算 16](#_Toc483313219)

[5 测试报告 18](#_Toc483313220)

[5. 1 测试报告内容 18](#_Toc483313221)

[5. 2 测试数据记录 19](#_Toc483313222)

[5. 3 测试报告分发 19](#_Toc483313223)

[5. 4 保密 19](#_Toc483313224)

[引用标准名录 20](#_Toc483313225)

附：[条文说明 21](#_Toc483313226)

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc483313199)

[2 Terms and symbols 2](#_Toc483313200)

[2. 1 Terms 2](#_Toc483313201)

[2. 2 Symbols 3](#_Toc483313202)

[3 Procedure and requirement of test 5](#_Toc483313203)

[3. 1 Test time 5](#_Toc483313204)

[3. 2 Participants of test 5](#_Toc483313205)

[3. 3 Preparation of test 5](#_Toc483313206)

[3. 4 Selection of tested cell(s) 6](#_Toc483313207)

[3. 5 Operating conditions 6](#_Toc483313208)

[3. 6 Parameters and instruments of test 7](#_Toc483313209)

[3. 7 Test conditions 9](#_Toc483313210)

[3. 8 Test accuracy and frequency of readings 10](#_Toc483313211)

[4 Evaluation of test results 11](#_Toc483313212)

[4. 1 Evaluation method 11](#_Toc483313213)

[4. 2 Manufacture’s data 12](#_Toc483313214)

[4. 3 Data processing 13](#_Toc483313215)

[4. 4 Calculation of Tower Plume Indicator (TPI) 13](#_Toc483313216)

[4. 5 Calculation of mixing quality coefficient 15](#_Toc483313217)

[4. 6 Standard of plume abatement 16](#_Toc483313218)

[4. 7 Calculation of water-saving rate 16](#_Toc483313219)

[5 Report of test results 18](#_Toc483313220)

[5. 1 Content and form 18](#_Toc483313221)

[5. 2 Data recording 19](#_Toc483313222)

[5. 3 Distribution 19](#_Toc483313223)

[5. 4 Secrecy 19](#_Toc483313224)

[List of normative standard 20](#_Toc483313225)

[Addition：Explanation of provisions 21](#_Toc483313226)

**1** 总 则

**1. 0. 1** 为了规范和统一消雾节水型冷却塔的验收测试程序和评价方法，制定本规程。

**1. 0. 2** 本规程适用于新建、改建的干湿式消雾节水型冷却塔的验收试验。

**1. 0. 3** 本规程重点针对节水型冷却塔的消雾性能进行测试考核，冷却塔的其它性能测试参考已有规程。

**2** 术语和符号

**2. 1 术 语**

**2. 1. 1** 湿区 wet section

指干湿式消雾节水型冷却塔的蒸发散热区段。

**2. 1. 2** 干区 dry section

指干湿式消雾节水型冷却塔的非蒸发散热区段。

**2. 1. 3** 冷却塔单元 cooling tower cell

指干湿式冷却塔可以独立运行的最小划分单元，每个冷却塔单元可以有一个或多个风机或风筒以及一个或多个配水系统。

**2. 1. 4** 消雾设计点 design point for non-visible plume condition

是根据冷却塔所在地的气象条件和环境要求确定的一组空气干球温度与湿度的组合参数，通常以白昼时间发生可见雾的频率低于15%～20%的气象条件作为消雾设计点。

**2. 1. 5** 少雾型 limited visible plume

消雾设计点选择在塔空气出口上方15米的范围内有少量的可见雾气团的冷却塔。

**2. 1. 6** 零雾型 zero visible plume

消雾设计点选择在塔空气出口以及其上方很小范围内也无可见雾气团的冷却塔。

**2. 2 符 号**

**2. 2. 1** 温度

*T*bd ——排水温度；

*T*mu ——补水温度；

*T*CWm ——实测的出塔水温；

*T*CW ——考虑补水或排水时修正后的出塔水温；

——干区的进塔水温；

——干区的出塔水温；

——湿区的进塔水温；

——湿区的出塔水温。

**2. 2. 2** 湿度

*Rh* ——实测算出的空气相对湿度；

*Rh*c——修正后的空气相对湿度；

*Rh*gc——设计的出塔空气相对湿度；

*Rh*m——实测的出塔空气相对湿度。

**2. 2. 3** 大气压

*P*a——空气焓图对应的大气压；

*P*m——实测的大气压。

**2. 2. 4** 流量、流速

*Q*W ——实测的循环水流量；

*Q*wbd ——排水流量；

*Q*wmu ——补水流量；

——干区的循环水流量；

——湿区的循环水流量；

*V*m ——塔空气出口排出的空气流速；

*V*V ——塔空气出口排出空气的垂直速度（*V*m的垂直方向数值）；

*V*V*i*——塔空气出口排出空气超出平均相对湿度的测点流速。

**2. 2. 5** 几何特征

*a* ——塔空气出口排气流向与竖直方向的夹角。

**2. 2. 6** 性能参数

*M*Q ——出塔空气掺混系数；

TPI——消雾指数；

——节水率。

**3** 测试程序、条件和要求

**3. 1 测试时间**

**3. 1. 1** 验收试验应在冷却塔安装调试完成后12个月内进行，当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 测试参加人员**

**3. 2. 1** 验收试验应当在有制造方和用户方代表在场的情况下由第三方测试机构进行，现场测试完毕后，测试数据由三方人员共同签字。

**3. 3 测试前准备**

**3. 3. 1** 用户方应允许制造方在验收试验前检查冷却塔的状态，以确保冷却塔处于良好的运行状态。满足以下条件：

**1** 配水系统应当洁净，无影响正常配水的杂物；

**2** 机械系统应当处于正常工作状态。风机旋转方向和前后缘安装方向正确。风机叶片安装角度一致、轴功率与设计值偏差在10%以内；

**3** 收水器应当保持洁净，没有水藻或其他会影响正常空气流动的杂物；

**4** 填料表面没有油、沥青、水垢、污垢和水藻等异物（与冷却塔配置无关的物品）；

**5** 集水池中的水位应当保持在正常的运行水平上，并尽量在测试过程中保持水位稳定；

**6** 干区应当保证散热器内外两侧均无异物；

**7** 在结冰季节，干区和湿区都应保证无冰，以免影响冷却塔性能；

**8** 空气和水流的控制部件都应按照制造方的设计要求进行设置以达到要求的消雾性能与热力性能。

**3. 4 测试单元的选择**

**3. 4. 1** 可对冷却塔的一个单元进行测试，以代表整塔性能。如果单独的单元无法代表整塔性能时，可对几个单元同时测试，这时测试结果将按照具有相同设计的塔应拥有相同性能的原则进行加权平均计算。各方代表应在测试前协商确定测试单元。本规程所提到的测试均是针对测试单元的，如果测试单元的水温和流量无法单独测量时，可以用整塔的数据代替。

**3. 5 测试条件**

**3. 5. 1** 依据美国CTI标准CTI ATC-150的规定，进行验收试验时，自然风的平均风速应不大于3m/s且一分钟内阵风风速不大于4.5m/s，其它测量参数与设计点的偏离量允许范围符合下列规定：

**1** 空气湿球温度：-0.0℃～+8.5℃；

**2** 空气干球温度：-0.0℃～+14.0℃；

**3** 进出塔水温差：±20%；

**4** 循环水流量：±10%；

**5** 大气压：±3.5kPa；

**6** 干区热载荷：±10%（仅适用于干湿两区热载荷相互独立的干湿式冷却塔）；

**7** 干区水流量：±10%（仅适用于干湿两区热载荷相互独立的干湿式冷却塔）；

**8** 风机轴功率：±10%。

**3. 5. 2** 验收测试工作不应在雨中或雨后立即进行。

**3. 5. 3** 测试多单元系统时需要按要求关闭一个或多个单元，以确保各测试单元内循环水流量均满足测试规程要求。

**3. 5. 4** 测试多个单元时须确保所有被测单元之间的运行参数设置的偏差在±5%以内。

**3. 5. 5** 对任何低于冰点的设计条件，都应在环境空气湿球温度在0℃ ~ 8℃范围内进行测试。

**3. 5. 6** 测试时循环水中的溶解物含量应不大于5000ppm且与设计浓度的偏差量在±10%以内。

**3. 6 测量参数与仪表**

**3. 6. 1** 干湿式消雾节水型冷却塔的验收试验应对环境空气的干湿球温度、环境风速、大气压、进出塔空气的干湿球温度、测试冷却塔单元的循环水流量、干区的进出塔空气温度、干区的进出塔水温、干区的循环水流量、湿区的进出塔空气温度、湿区的进出塔水温、湿区的循环水流量、干湿区的风机轴功率、塔空气出口的流速等参数进行测量。当冷却塔有补水或排水时还应测量补水流量和温度、排水流量和温度。干湿式冷却塔干区参数的测试仪器和湿区参数的测试方法与仪器按DL/T 1027规定执行。

**3. 6. 2** 出塔空气的干湿球温度应在塔的风筒出口断面或鼓风式干湿式冷却塔出风口断面进行测量。测量仪表应采用机械通风干湿球温度计，并要求通过温度传感器的空气流速不小于3m/s，且确保干球温度传感器不会接触到水滴。

**3. 6. 3** 出塔空气干湿球温度的测量断面应设置在离风筒出口断面或出风口断面垂直高度0.5米平面的等面积中心点上。被测断面上应划分成20个面积相同的区域来进行布置测点。圆形出口断面可划分为4条半径，每条半径布置5个点。小直径的出口断面测点可相应减少，但不得少于8个点。对于矩形的出口平面，在长宽相近，面积相等的矩形阵列的每个样品区的中心进行取样。

**3. 6. 4** 塔空气出口流速的测量点应当与出塔空气干湿球温度的测量点一致。测量仪表可使用叶片风速计，或皮托管与微压力计。如果要在测量中加入空气的流向参数，每个取样点的气流流向都要被观测到。空气流向相对竖直方向的角度和流向上的速度都要记录。竖直方向上的空气速度应按下式计算：

*V*v = *V*m \* cos *a* （3. 6. 4）

式中：*V*v——塔空气出口竖直方向上的空气流速（m/s）；

*V*m——塔空气出口排出的空气流速（m/s）；

*a* ——塔空气出口的排气流向与竖直方向的夹角（Deg（°））。

**3. 6. 5** 环境风速风向应使用气象式风向风速表测量，宜使用可远程读取的型号。风速风向的测点宜布置在开阔无阻挡的冷却塔的上风向的位置。若冷却塔总高未超过6米，风速风向测点应在风机平台上方1.5米的水平面上，离塔15米到30米的距离；对于风机平台至塔空气出口面高差超过6米时，测点应布置在风机平台至塔空气出口一半的高度上，且距塔的距离不少于30米。

**3. 6. 6** 如果风机轴功率无法在电动机附近测量，除非各方协商同意忽略，否则，应当在计算中考虑线路损失。

**3. 6. 7** 水质分析：应当保留一份测试时的循环水水样。如果有循环水水质疑问，就可以将这份水样送检。

**3. 6. 8** 其他测量参数：应测量并记录其他任何可能影响冷却塔雾气团测试的因素。需要考虑的因素为进出塔水的温度，如果干湿式消雾节水型冷却塔在干区使用其他介质时该介质的流量。

**3. 6. 9** 可见雾团范围测量，可采用参照物对比法测量。先用卷尺测量出风筒的高度，然后通过拍照的方式，在照片上用等比例的方式计算出雾团的飘出范围。

**3. 7 测试工况**

**3. 7. 1** 在进入稳定状态后，测试时间应当大于一个小时，为一个测试工况。

**3. 7. 2** 同一测试工况内所测的参数变化范围应满足以下规定：

**1** 循环水流量变化小于3%；

**2** 热载荷变化小于5%；

**3** 进出塔水温差小于5%；

**4** 环境空气和进塔空气温度可能会有较大的瞬间变化，但测试工况内干球温度测量值与平均值的变化应不超过3℃，湿球温度变化应不超过1℃；

**5** 干区的热负荷和循环水流量的变化应当小于5%。（仅适用于干湿两区热载荷相互独立的干湿式冷却塔）。

**3. 8 测量精度和读数频率**

**3. 8. 1** 测试的仪表精度和读数频率符合表3. 8. 1中的规定，读数可以通过手工的记录，也可以通过数据采集系统记录。

**表3. 8. 1 测试的仪表精度和读数频率**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量变量 | 每小时最少记录次数 | | SI国际单位 | | |
|
|  | 人工 | 自测 | 单位 | 精度等级 | 分辨率 |
| 进塔空气湿球温度 | 6 | 60 | ℃ | 0.5 | 0.2 |
| 进塔空气干球温度 | 6 | 60 | ℃ | 0.5 | 0.2 |
| 环境空气湿球温度 | 6 | 60 | ℃ | 0.5 | 0.2 |
| 环境空气干球温度 | 6 | 60 | ℃ | 0.5 | 0.2 |
| 出塔空气湿球温度 | 1~2 | 60 | ℃ | 0.5 | 0.2 |
| 出塔空气干球温度 | 1~2 | 60 | ℃ | 0.5 | 0.2 |
| 湿区的进塔水温 | 6 | 60 | ℃ | 0.2 | 0.1 |
| 干区的进塔水温 | 6 | 60 | ℃ | 0.2 | 0.1 |
| 湿区的出塔水温 | 2~6 | 60 | ℃ | 0.2 | 0.1 |
| 干区的出塔水温 | 2~6 | 60 | ℃ | 0.2 | 0.1 |
| 湿区的循环水流量 | 2~3 | 60 | m3/h | 2.5 | 0.001 |
| 干区的循环水流量 | 2~3 | 60 | m3/h | 2.5 | 0.001 |
| 湿区的风机轴功率 | 1~2 | 60 | kW | 2.5 | 0.01 |
| 干区的风机轴功率 | 1~2 | 60 | kW | 2.5 | 0.01 |
| 塔空气出口的流速 | 1~2 | 60 | m/s | 5.0 | 0.01 |
| 环境风速 | 持续的 | | m/s | 5.0 | 0.1 |
| 大气压 | 6 | 60 | kPa | 2.5 | 0.01 |
| 补水温度 | 2 | 60 | ℃ | 0.2 | 0.1 |
| 补水流量 | 2 | 60 | m3/h | 2.5 | 0.001 |
| 排水温度 | 2 | 60 | ℃ | 0.2 | 0.1 |
| 排水流量 | 2 | 60 | m3/h | 2.5 | 0.001 |

**4** 试验结果的评价

**4. 1 评价方法**

**4. 1. 1** 本规程采用测试数据与冷却塔制造商所提供的一簇消雾运行曲线进行对比的方法来评价干湿式冷却塔的消雾效果。

**4. 1. 2** 对于“少雾型”干湿式消雾节水型冷却塔使用“消雾指数”来表示消雾效果，指出塔空气相对湿度的设计值（从制造商提供曲线上查出）与实测值之比。

**4. 1. 3** 对于“零雾型”干湿式消雾节水型冷却塔使用“消雾指数”和“出塔空气掺混系数”两个指标来表示消雾效果。

**4. 1. 4** 如果在制造方和用户方的合同中没有指明所测塔是“少雾型”还是“零雾型”，测试时视为“少雾型”。

**4. 1. 5** 对于“少雾型”干湿式消雾节水型冷却塔，如果现场测试环境不具备条件，且通过制造方和用户方一致认可的情况下，可以采用图像对比法进行评价，具体评价指标可参考“在塔空气出口上方15米的范围内有少量的可见雾气团”。

**4. 1. 6** 如果需要进行塔的热力性能测试，冷却塔的热力性能评价按DL/T 1027执行。

**4. 2 制造方（商）须提供的数据**

**4. 2. 1** 冷却塔的制造方应提交一簇消雾塔的消雾特性曲线，每簇曲线对应同一个风机叶片安装角度，包括9组曲线，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%时的性能曲线组合。每组曲线应当包含4条或更多的相对湿度曲线，整组曲线应当体现出空气温度（湿球温度及湿度，或干球温度及湿度）、进出塔水温差、和循环水流量对消雾性能的影响。

**4. 2. 2** 消雾特性曲线可由两种不同的方式来表示。分别称为“出塔空气特征曲线”和“出塔空气最大湿度曲线”。测试评价应当与制造商提供的曲线保持一致，两种方法给出的评价结果是一致的。

**4. 2. 3** 出塔空气特征曲线是一组以出塔空气温度（湿球温度和干球温度）为纵坐标，进塔空气湿球温度为横坐标的曲线。一条曲线给出出塔空气湿球温度，再以相对湿度作变量给出出塔空气的干球温度的一组曲线。曲线图的标度应当是增量坐标，以确保曲线读取的精度。建议的最小温度精度为每毫米0.2℃。进气相对湿度的增量应等于或小于20%，或至少保证4条湿度曲线（100%，80%，60%，40%）。

**4. 2. 4** 出塔空气最大湿度曲线是一组以出塔空气最大相对湿度为纵坐标，进塔空气干球或湿球温度为横坐标的曲线。不同的进塔空气相对湿度可得到一组曲线。曲线图的标度应当是增量坐标，以确保曲线读取的精度。建议横坐标的最小温度刻度为每毫米0.2℃，纵坐标的最小刻度为每毫米0.5%。进气相对湿度的增量应等于或小于20%，或至少保证4条湿度曲线（100%，80%，60%，40%）。

**4. 3 数据处理**

**4. 3. 1** 每一测试工况的循环水流量、进出塔水温、进出塔空气参数、环境空气参数均取各测量值的平均值。

**4. 3. 2** 如果未测得测试单元的出塔水温，可用整塔的出塔水温来代替。

**4. 3. 3** 如果测试期间有补水或排水时，出塔水温应按下式进行修正：

*T*CW=(*Q*W\**T*CWm+*Q*wbd\**T*bd-*Q*wmu\**T*mu)/(*Q*W+*Q*wbd-*Q*wmn) （4. 3. 3）

式中：*T*CW——修正后的出塔水温（℃）；

*Q*W——实测的循环水流量（m3/h）；

*T*CWm——实测的出塔水温（℃）；

*Q*wbd——排水流量（m3/h）；

*T*bd ——排水温度（℃）；

*Q*wmu——补水流量（m3/h）；

*T*mu ——补水温度（℃）。

**4. 3. 4** 被测冷却塔单元的出塔空气参数应通过加权平均求得。将每个测点测得的出塔空气数据（干、湿球温度和大气压）按DL/T 1027规定计算其热焓和湿度，再根据每个测点的空气流量进行加权平均，得到该工况条件下出塔空气的热焓和湿度。

**4. 4 消雾指数的计算方法**

**4. 4. 1** 根据出塔空气特征曲线计算消雾指数方法按以下步骤进行：

**1** 当实测大气压与空气焓图的大气压不一致时，应对实测的相对湿度进行修正。进塔空气、环境空气与出塔空气的相对湿度按下式修正：

*Rh*c=*Rh* \* (*P*a / *P*m) （4. 4. 1-1）

式中：*Rh*c——修正后的空气相对湿度（%）；

*Rh* ——实测算出的空气相对湿度（%）；

*P*a——空气焓图对应的大气压（kPa，一般取101.3 kPa）；

*P*m——实测的大气压（kPa）。

**2** 在湿空气焓图中画出塔空气扩散实测特征曲线。即环境空气的干球温度、相对湿度和修正后出塔空气的干球温度、相对湿度连线。

**3** 在湿空气焓图中画出塔空气扩散设计特征曲线。根据实测的冷却塔的运行参数，利用制造方提供的出塔空气特征曲线通过线性插值可获得实测条件下冷却塔设计出塔的干球温度和湿球温度，并由此计算出设计出塔空气的相对湿度。即可绘制出塔空气扩散设计特征曲线。出塔空气扩散设计特征曲线在实测特征曲线之上，则消雾塔符合设计要求，否则不符合设计要求。符合程度由消雾指数来量化表示。

**4** 实测条件下设计出塔空气相对湿度的修正。以实测出塔空气等焓线与出塔空气扩散设计特征曲线的交点处的相对湿度作为修正后的设计出塔相对湿度。

**5** 计算消雾指数。消雾指数以百分比（%）表示，指实测条件下设计出塔空气相对湿度与实测出塔空气相对湿度的比值。可采用下式计算：

TPI =100 \* *Rh*gc / *Rh*m （4. 4. 1-2）

式中：TPI——消雾指数（%）；

*Rh*gc——设计出塔空气相对湿度（%）；

*Rh*m——实测出塔空气相对湿度（%）。

**4. 4. 2** 根据出塔空气最大湿度曲线计算消雾指数按以下步骤进行：

**1** 当实测大气压与空气焓图的大气压不一致时，应采用本规程公式（4. 4. 1-1）对实测空气相对湿度进行修正。

**2** 在湿空气焓图中绘制出塔空气扩散实测特征曲线。即环境空气的干球温度、相对湿度和修正后出塔空气的干球温度、相对湿度连线。

**3** 在湿空气焓图中绘制出塔空气扩散设计特征曲线。根据实测的冷却塔的运行参数，利用制造方提供的出塔空气最大湿度曲线线性插值可获得实测条件下冷却塔设计出塔的相对湿度。即可绘制出塔空气扩散设计特征曲线。

**4** 实测条件下出塔空气相对湿度的修正。在空气焓图中找出与出塔空气扩散实测特征曲线相切的相对湿度曲线，该相对湿度即为实测条件下出塔空气的最大相对湿度。

**5** 消雾指数的计算应采用本规程公式（4. 4. 1-2）。

**4. 4. 3** 两种消雾指数计算方法的比较。两种消雾指数计算方法在数值上不可能做到完全一样，但两者数值相差很小。根据出塔空气最大湿度曲线计算消雾指数一般接近100%，而根据出塔空气特征曲线计算消雾指数总是等于或大于100%。

**4. 5 出塔空气掺混系数的计算**

**4. 5. 1** 出塔空气掺混系数是量化反映冷却塔的干区和湿区的出塔空气掺混均匀程度的量化指标。当干湿式消雾节水冷却塔为零雾型时，要求干区与湿区的出塔空气掺混均匀，即冷却塔空气出口断面上各测点的相对湿度须控制在平均相对湿度的0.8~1.2倍范围之内。

**4. 5. 2** 若冷却塔空气出口个别测点的相对湿度超出了本规程第4. 5. 1条中所要求的范围，则要求该测点相关联的空气流量不能超过总空气流量的15%。

**4. 5. 3** 出塔空气掺混系数采用下式进行计算：

*M*Q = ( 1-∑*V*v*i* / ∑*V*v) \*100 （4. 5. 3）

式中：*M*Q——出塔空气掺混系数（%）；

*V*v*i* ——超出平均相对湿度的测点流速（m/s）；

*V*v——所有测量点的空气流速（m/s）。

**4. 6 消雾标准**

**4. 6. 1** 根据不同的合同条款，设计消雾的性能指标达标须包含以下条件。

**4. 6. 2** 零雾型干湿式消雾节水型冷却塔消雾验收与热力试验须满足以下条件：

**1** 热力性能达到DL/T 1027标准要求；

**2** 消雾指数不小于100%；

**3** 出塔空气掺混系数不小于85%。

**4. 6. 3** 少雾型干湿式消雾节水型冷却塔消雾验收与热力试验须满足以下条件：

**1** 热力性能符合DL/T 1027标准要求；

**2** 消雾指数不小于100%。

**4. 7 节水率估算**

**4. 7. 1** 采用干区热载荷取自循环冷却水的干湿式消雾冷却塔，可减少冷却塔的蒸发损失，具有节水的效果。节水率约等于干区冷却热量占总热量的百分比，可参照以下公式估算：

 （4. 7. 1）

式中： ——节水率（%）；

 ——干区的循环水流量（m3/h）；

 ——湿区的循环水流量（m3/h）；

 ——干区的进出塔水温（℃）；

 ——湿区的进出塔水温（℃）。

**5** 测试报告

**5. 1 测试报告内容**

**5. 1. 1** 测试完成后由第三方测试单位编写测试报告，报告内容包括：

**1** 所有参与和监督测试的人员的姓名和职务；

**2** 冷却塔位置和设计尺寸的描述；

**3** 消雾塔的设计工况点、消雾的类型（“少雾型”或“零雾型”），热力设计中“冬季运行”设计点（如果需要）。以上各项均要配以制造方提供的参考数据和设计曲线；

**4** 各参数的测量点布置或安装位置示意图，图中应标注测试塔附近的建筑、障碍物以及附近排放热量或蒸汽的设备和设施等；

**5** 所使用的仪器校准或检定证书；

**6** 测试中所有本规程所求测量记录的数据以及测试时的天气状况和其他可能影响热力性能或雾气特性的因素；

**7** 按照DL/T 1027 进行热力性能测试评估；

**8** 按照本规程规定的方法进行的评价结果；

**9** 提供测试环境条件下有无开启消雾装置的羽雾对比图像；

**10** 制造方的消雾运行曲线。

**5. 2 测试数据记录**

**5. 2. 1** 测试数据应当输入到登记表（或等效文件）上，并有制造商、用户和测试方代表签字。

**5. 3 测试报告分发**

**5. 3. 1** 完成测试后，一份测试数据的复印件（或等效文件）作为用户方所有，一份交制造商所有。原件则归第三方测试单位所有并存档。第三方应在测试完成后20天内完成测试报告并邮寄给用户和制造商。

**5. 4 保密**

**5. 4. 1** 任何测试数据都仅分发给制造商，用户方和第三方测试单位。

**引用标准名录**

《工业冷却塔测试规程》DL/T 1027

《Acceptance Test Procedure for Wet-Dry Plume Abatement Cooling Towers》CTI ATC-150

中国工程建设标准化协会标准

消雾节水型冷却塔验收测试规程

CECS :

条文说明

目 录

[1 总 则 23](#_Toc484082424)

[2 术语和符号 24](#_Toc484082425)

[3 测试程序、条件和要求 25](#_Toc484082426)

[4 试验结果的评价 26](#_Toc484082427)

[附录A 消雾设计点 27](#_Toc484082428)

[附录B 消雾性能考核算例 30](#_Toc484082429)

**1** 总 则

**1. 0. 1** 本条阐明了编制本测试规程的目的。

干湿式冷却塔是集空冷与湿冷于一体的干湿联合冷却系统，既具有节水的作用，同时也能够消除冷却塔的羽雾，所以干湿式冷却塔也称为消雾节水型冷却塔。按照空气流动方式可分为并联式干湿式横流塔、串联式干湿式逆流塔和并联式干湿式逆流塔三类。按照消雾效果又可分为少雾型和零雾型。本测试规程提供了干湿式冷却塔验收测试的程序，参数测试方法及结果评价等内容。

**1. 0. 2** 本条阐明了本测试规程的适用范围。

干湿式消雾节水冷却塔的验收测试，是指通过原型观测试验，验证新建或改建干湿式冷却塔的性能是否能够达到设计或改建的预期要求。冷却塔的验收测试是履行工程合同的一部分，因此测试程序要严谨规范，测试结果必须公正客观。对于非验收性的测试，也可参考本规程的方法进行。

**2** 术语和符号

**2. 1** 本节阐明了本测试规程的专业性术语，大部分为本规程专用。

**2. 1. 4** 本条阐明了干湿式冷却塔的设计消雾点。

干湿式冷却塔的消雾设计点是用户根据冷却塔的安装位置、当地气候条件和环境要求确定的，对其设计值的选取具有一定的特殊性和差异性。测试单位在验收考核测试前应了解选取消雾设计点的原则和方法，具体参见本规程条文说明的附录A。

**2. 1. 5** 本条阐明的术语“少雾型”仅针对冷却塔的消雾设计点条件下其出口15米范围内雾气团的定性说明和描述，后续测试结果评价中给出了“消雾指数”作为评价冷却塔消雾性能的定量考核指标。

**2. 1. 6** 本条阐明的术语“零雾型”仅针对冷却塔的消雾设计点条件下其出口雾气团的定性说明和描述，后续测试结果评价中给出了“消雾指数”和“出塔空气掺混系数”作为评价冷却塔消雾性能的定量考核指标。

**3** 测试程序、条件和要求

**3. 1. 1** 本条规定了验收测试的时间应在冷却塔安装调试完成后12个月内进行。冷却塔的长时间运行，受用户方在运行维护或使用过程中可能存在的操作偏差等影响，会造成冷却塔性能偏离原有设计值，给性能考核带来误解或分歧。

**3. 2. 1** 本条规定了验收测试的参加人员。制造方、用户方及第三方测试机构需共同见证试验并在测试数据上签字确认，旨在保证测试数据和测试结果的公正客观性。

**3. 4. 1** 本条阐明了冷却塔测试单元的选择方法。冷却塔测试单元选择应具有代表性，单元之间结构和位置差异较大的不宜作为测试单元，存在明显缺陷和受干扰的单元不能作为测试单元。同时测试多个单元塔时，按照相同设计的塔具有相同性能的原则，各单元出塔空气的特性参数需依据出塔空气流量进行加权平均。

**3. 5. 1** 本条规定了验收测试的环境气象条件及冷却塔运行参数的允许偏离范围，保证冷却塔在接近设计工况条件下运行，考核测试结果能够准确反映冷却塔的性能状况。

**3. 5. 5**  本条规定了设计条件低于冰点时的环境条件限制。环境空气湿球温度低于0℃会使机械通风干湿表的湿球温度测试受影响。

**4** 试验结果的评价

**4. 2. 1**  本条规定了制造方应提交冷却塔的消雾特性曲线。冷却塔制造方还须提供消雾设计点的相关设计依据或确定原则等内容。

**4. 7. 1**  本条阐明了消雾节水型冷却塔节水率的估算方法。干湿式冷却塔由于干区的散热没有水分蒸发，相对于全部采用湿冷方式散热的冷却塔是节水的，节水的多少取决于干区的散热量。当干区的热源不是来自循环冷却水，则冷却塔不具有节水作用。干湿式冷却塔的节水率仅可反映干区运行时减少蒸发损失量的相对节水效率，不能作为考核冷却塔绝对节水效率的判别指标。节水率的估算是基于设计工况条件的测试结果，仅可以反映考核设计点条件的节水量，不能用于考核干湿式冷却塔的全年节水量。

**附录A** 消雾设计点



图1 干湿式冷却塔的消雾设计点

如图1所示，为了阐明干湿式冷却塔消雾设计点选择的方法，以空气干球温度为横坐标，空气相对湿度为纵坐标建立坐标系，绘制出消雾塔安装地不同时间段气象资料的离散点（如上午、下午、夜间或白天、夜间），以及4种干区设计方案条件下干湿式冷却塔的成雾频率曲线。成雾频率曲线是指不同进塔空气温度时相对湿度的最大值包络线，当气象条件点位于冷却塔成雾频率曲线下（右）方时，冷却塔出口不会产生雾气团，称为无雾区；反之，称为可见有雾区，故成雾频率曲线上的所有点均可作为消雾设计点，只是有雾的频率不同。

图1所示的4种冷却塔设计方案是具有满足夏季条件下的热力性能的相同湿区设计且对应不同干区换热面积的干湿式冷却塔。“无干区”方案表示仅有湿区参与换热的工况；“干湿式-A”方案表示设计干区面积为A，且干湿区同时参与换热的工况；“干湿式-3A”和“干湿式-6A”方案分别表示设计干区面积为3A和6A，且干湿区同时参与换热的工况。从图中可以看出，随着冷却塔设计干区面积的增大，可见羽雾区内的气象资料散点个数减少，即冷却塔出口出现可见雾的频率降低，但会增大投资和运行成本，降低经济效益，需综合考虑上述因素进行设计。如图1所示，不同干区配置的干湿式消雾冷却塔出现可见雾的频率如下表：

表1 不同配置干湿式冷却塔出现可见雾的频率

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 不同配置  干湿式冷却塔 | 出现可见雾的频率 / % | |
| 任何时段 | 仅白昼时段 |
| 无干区 | 95.2 | 92.7 |
| 干湿式-A | 66.5 | 54.9 |
| 干湿式-3A | 19.9 | 14.9 |
| 干湿式-6A | 0 | 0 |

当以白天消雾15%设计时，采用“干湿式-3A”方案。

对于“干湿式-3A”方案，如图1所示，选择3种典型的消雾设计点进行对比分析：（1）干球温度-5℃，相对湿度60%；（2）干球温度5℃，相对湿度90%；（3）干球温度15℃，相对湿度99%。设计点（1）远偏离当地气象条件，且低于冰点不易进行考核测试；设计点（3）位于成雾频率曲线的水平区域，此区域内相对湿度的变化会对冷却塔设计产生很大影响；故对于“干湿式-3A”方案选择“干球温度5℃，相对湿度90%”作为设计消雾点。

**附录B** 消雾性能考核算例

以某 “零雾型”并联式干湿式消雾塔的考核测试结果作为算例，阐述试验结果评价和消雾性能考核的方法。

一、设计和实测资料整理

（1）环境条件和循环水流量参数

表2 测试参数的设计值和实测值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试参数 | 计量单位 | 设计值 | 实测值 |
| 循环水流量 | m3/h | 3960 | 3960 |
| 进塔水温 | ℃ | 25.0 | 24.5 |
| 出塔水温 | ℃ | 15.0 | 14.5 |
| 进出塔水温差 | ℃ | 10.0 | 10.0 |
| 环境空气干球温度 | ℃ | 5.0 | 7.0 |
| 环境空气湿球温度 | ℃ | 4.3 | 3.4 |
| 环境空气相对湿度 | % | 90 | 53.9 |
| 进塔空气干球温度 | ℃ | 5.0 | 7.1 |
| 进塔空气湿球温度 | ℃ | 4.3 | 3.6 |
| 进塔空气相对湿度 | % | 90 | 55.3 |
| 大气压 | kPa | 101.3 | 100.6 |

（2）出塔空气参数

出塔空气的温度和流速均采用20个等面积区域进行测量，并对20个区域内的空气参数按照空气质量流量进行加权平均，获得出塔空气平均的干球温度和湿球温度。

表3 出塔空气参数的计算值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点编号 | 干球温度  ℃ | 湿球温度  ℃ | 风速 m/s | 含湿量  kg/kg | 密度  kg/m3 | 质量流量kg/s·m2 |
|
| 1 | 18.9 | 17.7 | 3.4 | 0.01225 | 1.19101 | 4.05 |
| 2 | 19.4 | 17.7 | 15.1 | 0.01203 | 1.18912 | 17.96 |
| 3 | 19.6 | 17.2 | 16.4 | 0.01133 | 1.18880 | 19.50 |
| 4 | 20.4 | 16.1 | 14.8 | 0.00968 | 1.18672 | 17.56 |
| 5 | 20.6 | 16.7 | 6.7 | 0.01030 | 1.18547 | 7.94 |
| 6 | 18.4 | 17.2 | 4.5 | 0.01184 | 1.19333 | 5.37 |
| 7 | 18.8 | 17 | 14.6 | 0.01143 | 1.19199 | 17.40 |
| 8 | 20.2 | 17.1 | 16.7 | 0.01095 | 1.18663 | 19.82 |
| 9 | 20.9 | 16.3 | 15.4 | 0.00970 | 1.18469 | 18.24 |
| 10 | 20.3 | 16.6 | 7.8 | 0.01031 | 1.18668 | 9.26 |
| 11 | 16.9 | 16.4 | 5.1 | 0.01152 | 1.19973 | 6.12 |
| 12 | 17.4 | 16.1 | 13.9 | 0.01095 | 1.19807 | 16.65 |
| 13 | 17.2 | 15.5 | 15.7 | 0.01034 | 1.19933 | 18.83 |
| 14 | 17.7 | 15.2 | 15.2 | 0.00979 | 1.19766 | 18.20 |
| 15 | 18.4 | 14.9 | 8.2 | 0.00915 | 1.19523 | 9.80 |
| 16 | 17.1 | 16.6 | 3.8 | 0.01167 | 1.19880 | 4.56 |
| 17 | 17.5 | 16.3 | 12.9 | 0.01115 | 1.19752 | 15.45 |
| 18 | 17.6 | 15.9 | 14.9 | 0.01063 | 1.19747 | 17.84 |
| 19 | 18.6 | 15.9 | 15.4 | 0.01021 | 1.19367 | 18.38 |
| 20 | 19.2 | 15.3 | 7.2 | 0.00926 | 1.19188 | 8.58 |
| 加权平均值 | 18.83 | 16.34 | 13.34 |  |  |  |
| 相对湿度（%） | 77.82 |  |  |  |  |  |

（3）修正空气相对湿度

设计大气压为空气焓图对应大气压，即为101.3kPa，实测大气压为100.6kPa，采用本规程中公式（4. 4. 4-1）对环境空气、进塔空气和出塔空气的相对湿度进行修正。

修正后的环境空气相对湿度为54.23%；

修正后的进塔空气相对湿度为55.64%；

修正后的出塔空气相对湿度为78.36%。

二、根据出塔空气特性曲线计算消雾指数

（1）绘制出塔空气扩散实测特征曲线

如图2所示，在湿空气焓图中绘制以下两点：（a）环境空气参数：干球温度为7.0℃，相对湿度为54.23%；（b）实测出塔空气参数：干球温度为18.83℃，相对湿度为78.36%。并将两点用直线连接作为出塔空气扩散实测特征曲线。



图2 出塔空气扩散实测特征曲线

（2）根据出塔空气特性曲线计算设计出塔空气参数

该干湿式冷却塔的设计参数为：循环水流量3960m3/h；进出塔水温差10℃；消雾气象条件为空气干球温度5.0℃，湿球温度4.3℃，相对湿度90%。设计点条件下的出塔空气特征曲线如图3所示。依据实测进塔空气参数，即湿球温度为3.6℃，相对湿度为55.64%，并参照图3中数据通过线性差值获得实测进塔空气条件下的设计出塔空气参数，即干球温度17.5℃，湿球温度15.7℃，大气压101.3kPa，相对湿度为83.14%。



图3 制造商提供的出塔空气特征曲线

（3）绘制出塔空气扩散设计特征曲线

如图4所示，在湿空气焓图中绘制以下两点：（a）环境空气参数：干球温度为7.0℃，相对湿度为54.23%；（b）设计出塔空气参数：干球温度为17.5℃，相对湿度为83.14%。并将两点用直线连接作为出塔空气扩散设计特征曲线。将出塔空气扩散实测特征曲线和设计特征曲线绘制在同一张空气焓图，可以定性判别干湿式冷却塔的消雾性能，如图5所示，实测特征曲线位于设计特征曲线以下，则消雾塔符合设计要求。符合程度由后续计算的消雾指数来量化表示。



图4 出塔空气扩散设计特征曲线



图5 干湿式冷却塔消雾性能的定性判别

（4）实测条件下设计出塔空气相对湿度的修正。

设计出塔空气的相对湿度需要根据实测出塔空气的等焓线进行修正，如图6所示。从图中可以看出，设计出塔空气的相对湿度修正为83.5%。



图6 出塔空气相对湿度的修正值

（5）计算消雾指数

该干湿式冷却塔的设计出塔空气相对湿度为83.5%，实测出塔空气相对湿度为78.36%，根据本测试规程所述公式（4. 4. 1-2），计算消雾指数为106.6%，故冷却塔消雾性能满足设计要求。

三、根据出口空气最大湿度曲线计算消雾指数

（1）根据出口空气最大湿度曲线计算设计出塔空气参数

设计条件下该干湿式冷却塔的出口空气最大相对湿度曲线如图7所示，依据实测进塔干球温度7.1℃和相对湿度55.64%可以分析获得冷却塔出口最大相对湿度83.7%，作为设计出塔空气的最大相对湿度。



图7 制造商提供的出口最大相对湿度曲线

（2）实测出塔空气相对湿度的修正

在空气焓图中绘制与出塔空气扩散实测特征曲线相切的相对湿度曲线即为实测条件下出塔空气最大相对湿度。所考核冷却塔实测出塔空气最大相对湿度为78.7%。

（3）计算消雾指数

此种算法条件下，干湿式冷却塔的设计出塔空气最大相对湿度为83.7%，实测出塔空气最大相对湿度为78.7%，根据本测试规程所述公式（4. 4. 1-2），冷却塔消雾指数为106.4%，故冷却塔消雾性能满足设计要求。

四、计算出塔空气混掺系数

由表3中所示结果可以看出，实测条件下出塔空气的加权平均相对湿度为77.82%，满足平均值的0.8~1.2倍的相对湿度范围为62.26%~93.38%，表3所示20个测点中只有测点11和测点16超出了上述相对湿度范围，按照规程所述公式（4. 5. 3）计算出塔空气掺混系数为96.09%，远大于本规程4.6.2中所述限值85%，故该冷却塔满足“零雾型”设计。