
国际标准分类号ICS

中国标准文献分类号CCS

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

T/HGJ XXXXX-YYYY

冷凝式消雾节水冷却塔 验收测试标准

Standard for test procedure of condensing plume
abatement cooling tower

（征求意见稿）

20YY-MM-DD 发布

20YY-MM-DD 实施

中国石油和化工勘察设计协会 发布

前 言

本标准根据中国石油和化工勘察设计协会《关于印发 2019 年第二批团体标准制订项目计划的通知》（中石化勘设协〔2019〕77 号）的要求，由给排水设计专业委员会负责组织，山东蓝想环境科技股份有限公司为主编单位，会同有关单位共同编制完成。

本标准在编制过程中，标准编写组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本标准共分 5 章 20 节，主要技术内容包括：总则，测试程序、条件和要求，测试方法，测试结果的评价。

本标准由中国石油和化工勘察设计协会负责管理，由中国石油和化工勘察设计协给排水设计专业委员会负责日常管理，由山东蓝想环境科技股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送山东蓝想环境科技股份有限公司（地址：山东省安丘市经济开发区恒山街 99 号，邮编：262100，电子邮箱：lxzq@cnlanxiang.com），以便今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：山东蓝想环境科技股份有限公司

参编单位：全国化工给排水设计技术中心站

中国水利水电科学研究院

东华工程科技股份有限公司

中石化洛阳工程有限公司

中石化齐鲁工程有限公司

万华化学集团股份有限公司

山东京博控股股份有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 测试程序、条件和要求	5
3.1 测试程序及测试前准备	5
3.2 测试时间及测试有效性	6
3.3 测试单元的选择	6
3.4 测试条件	6
3.5 测量参数及仪表	7
3.6 测试工况	9
4 测试方法.....	10
4.1 循环水流量	10
4.2 水温测量	10
4.3 大气压力、环境风速和风向测量	11
4.4 进塔空气参数测量	11
4.5 出塔空气参数测量	12
5 测试结果的评价	13
5.1 评价方法	13
5.2 制造方提供的数据	13
5.3 数据处理	14
5.4 消雾指标计算	14
5.5 节水率计算	17

5.6 消毒评价	18
5.7 测试报告	19
本标准用词说明	20
引用标准名录	21
附：条文说明.....	22

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols	3
3	Procedure and requirement of test	5
3.1	Test procedure and preparation.....	5
3.2	Test time and validity.....	6
3.3	Selection of tested cell(s).....	6
3.4	Operating conditions.....	6
3.5	Parameters and instruments of test	7
3.6	Test conditions	9
4	Test method.....	10
4.1	Circulating water flow	10
4.2	Water temperature.....	10
4.3	Ambient pressure、 wind speed and direction.....	11
4.4	Inlet air parameters	11
4.5	Outlet air parameters.....	12
5	Evaluation of test results.....	13
5.1	Evaluation method	13
5.2	Manufacture’s data.....	13
5.3	Data processing.....	14
5.4	Calculation of plume index.....	14
5.5	Water-saving rate	17
5.6	Evaluation of plume abatement.....	18
5.7	Report of test results	19
	Explanation of Wording in this specification	20
	List of normative standard.....	21
	Addition: Explanation of provisions.....	22

1 总 则

1.0.1 为了规范冷凝式消雾节水冷却塔的消雾和节水性能的验收测试条件、程序及评价方法，促进提高冷凝式消雾节水冷却塔的消雾和节水技术水平，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建、改建的冷凝式消雾节水冷却塔的消雾和节水性能的验收测试。

1.0.3 本标准针对冷凝式消雾节水冷却塔的消雾和节水性能进行测试考核，冷却塔的热力性能及其它性能测试应按国家现行标准《机械通风冷却塔第 2 部分：大型开式冷却塔》GB7190.2 或《工业冷却塔测试规程》DL/T1027 的规定执行。

1.0.4 冷凝式消雾节水冷却塔验收测试除应符合本标准外，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 消雾节水冷却塔 water-saving plume abatement cooling towers

采取了消雾节水措施的具有消雾节水作用的冷却塔。

2.1.2 冷凝式消雾节水冷却塔 condensation plume abatement cooling towers

在机械通风冷却塔内安装间壁式换热器，通过引入的外界冷空气与出填料区的湿热空气进行换热后冷凝，起到消雾节水作用的冷却塔。

2.1.3 冷凝模块 condensation module

安装在机械通风冷却塔内，实现外界冷空气与出填料区的湿热空气热交换，起到冷凝作用的部件。

2.1.4 冷却塔单元 cooling tower cell

冷却塔组中可以独立运行的工作单元，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。

2.1.5 上部进风口 upside inlet

进入冷凝模块的冷空气通道入口。

2.1.6 下部进风口 downside inlet

进入填料区的冷空气通道入口。

2.1.7 风道门 air duct door

用于切换及调节运行方式的调节装置。

2.1.8 消雾设计点 design point for non-visible plume condition

消雾设计点为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。

2.1.9 一级羽雾保障消雾塔 Level 1 Plume Guarantee cooling tower

指在设计消雾点，冷却塔出口到 2 倍风筒直径范围内有少量透明的可见雾团的冷却塔。

2.1.10 二级羽雾保障消雾塔 Level 2 Plume Guarantee cooling tower

指在设计消雾点，冷却塔出口区域无可见雾团的冷却塔。

2.1.11 消雾指数 tower plume indicator

指出塔空气相对湿度的设计值（从制造方提供曲线上查出）与实测值之比。

2.1.12 出塔空气掺混指数 mixing quality coefficient of exhaust air

指出塔空气相对湿度偏离其断面加权平均值不超过 20% 的测点的空气流量之和，与出塔断面空气总流量的比值。

2.1.13 节水率 water-saving rate

测试工况下冷凝水量与冷却塔蒸发水量的比值。

2.2 符 号

2.2.1 温度

t_{hw} ——实测冷却塔进水温度；

t_{cwm} ——实测冷却塔出水温度；

t_{mu} ——冷却塔补水温度；

t_{bd} ——冷却塔排水温度；

t_{cw} ——考虑补水或排水时修正后的出塔水温；

2.2.2 相对湿度

Rh ——实测计算的空气相对湿度；

Rh_c ——修正后的空气相对湿度；

Rh_{gc} ——设计出塔空气相对湿度；

Rh_m ——修正后的实测出塔空气相对湿度；

2.2.3 含湿量

x_{lin} ——下部进口空气含湿量；

x_{uin} ——上部进口空气含湿量；

x_{fout} ——计算出填料空气含湿量；

x_{out} ——消雾塔出口空气含湿量。

2.2.4 大气压

p_a ——湿空气焓图对于的大气压；

p_m ——实测的大气压；

2.2.5 流量

Q_{tw} ——实测的循环水流量；

Q_{wmu} ——补充水流量；

Q_{wbd} ——排污水流量；

2.2.6 流速

V_a ——实测的出塔空气流速；

V_v — V_a 的垂向分量；

V_{vi} ——相对湿度偏离其断面加权平均值超过 20%的测点的流速垂向分量；

2.2.7 几何特征

α ——偏转角，出塔空气流向与垂向的夹角；

2.2.8 性能参数

M_Q ——出塔空气掺混系数；

TPI ——消雾指数；

η_w ——节水率；

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 冷凝式消雾节水冷却塔测试应按照下列的步骤进行：

- 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 冷却塔制造商或冷却塔提供商（以下简称制造方）在验收测试前需要对冷却塔进行检查工作，确保冷却塔处于良好的运行状态，冷却塔测试应满足下列条件：

1 保证冷却塔配水系统清洁，通畅无杂物堵塞、无漏水和溢水现象，喷嘴应保证完整无损且喷溅正常；

2 填料应保证外观整齐、无破损、无变形。填料表面不应有藻类、油污、水垢等其他杂物；

3 收水器表面应保持清洁，不得有藻类和阻碍空气流动的其他异物；

4 冷却塔集水池的水位应处于正常的运行水平，且测试过程中宜保持水位稳定；

5 冷凝模块应保证外观整齐，无破损，通道内无阻碍空气流动的异物；

6 百叶窗及风道门应开启灵活，密封良好；

7 在结冰季节，应保证风道内无挂冰现象；

8 冷却塔的风机、电动机及减速装置应运转正常；

9 空气和水流的控制部件应按照制造方的设计要求进行设置；

10 冷却水水质满足设计要求。

3.1.3 其他技术要求应满足下列条件：

1 测试仪表应进行校检，齐备完好；

2 加工及安装测试必需的辅助装置；

3 准备完整的测试数据记录表格。

3.2 测试时间及测试有效性

3.2.1 验收测试应在冷凝式消雾节水冷却塔安装调试完成后 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，应按合同约定的时间进行测试。

3.2.2 冷凝式消雾节水冷却塔验收测试工作，应由具有测试能力和经验的测试机构承担。

3.2.3 验收测试应在制造方和用户方代表在场的情况下，由测试机构现场测试完成，测试数据应由参与人员共同签字。

3.3 测试单元的选择

3.3.1 测试单元应由各方共同协商确定，宜选择一台具有代表性的冷却塔，若没有单一的冷却塔代表整个塔群，可选择多台同规模、同塔型的冷却塔进行测试；

3.3.2 多台冷却塔测试的结果应按照多台塔具有相同设计性能的原则，进行加权平均作为最终性能的考核结果。

3.4 测试条件

3.4.1 性能测试时，环境平均风速不应大于 3m/s，且阵风风速每分钟不应大于 4.5m/s。其他测试参数偏离设计点的允许范围应满足下列规定：

1 空气湿球温度：-0.0℃~+8.5℃；

2 空气干球温度：-0.0℃~+14.0℃；

3 进出塔水温降：±20%；

4 冷却塔热负荷：±10%；

5 循环水流量：±10%；

6 大气压：±3.5kPa；

7 风机轴功率：±10%。

3.4.2 验收测试工作不应在雨中或雨后立即进行测试，测试开始时间应在雨停后 1h 以上。

3.4.3 对于任何低于冰点的设计条件，测试应在环境空气湿球温度为 0℃-8℃范围内进行。

3.4.4 对于多台冷却塔测试时，各被测冷却塔单元之间运行参数设置的偏差应在±5%以内。

3.4.5 测试时循环水中的总溶固体含量不应大于 5000mg/L 或与设计浓度的偏差控制在±10%以内。

3.5 测量参数及仪表

3.5.1 消雾冷却塔验收测试的测量参数应包含下列内容：

1 评价冷却塔消雾效果的测量参数应包括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和进出塔水温、风机轴功率和出塔空气的流速。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。

2 评价冷却塔节水效果时，除应考虑本条第 1 款的测量参数外，尚应包括上、下部进风口空气流量及干湿球温度，出塔空气流量及干湿球温度等参数。

3.5.2 大气压力宜采用空盒式大气压力表；

3.5.3 环境风速和风向的测量仪表宜采用带风向标的旋杯式风速风向仪，或带有连续记录功能的遥感式风速风向仪；

3.5.4 循环水流量测量仪表可选用皮托管、超声波流量计或电磁流量计等，测量精度不应低于 $\pm 2\%$ 。

3.5.5 水温度的测量仪表宜采用水银温度计，或遥测式铂电阻温度计、热电阻温度计、热电偶温度计。温度计最小分度值不应大于 0.1°C ，精度等级不应低于0.2级。

3.5.6 进、出塔空气干湿球温度测量仪表宜选用阿斯曼机械通风干湿表，仪表的最小刻度值不应大于 0.2°C ，精度不应低于0.5级。

3.5.7 上、下部进风口空气流量的测量仪表宜采用旋桨式风速仪，出塔空气流量测量仪表宜采用皮托管及微压计。

3.5.8 对于参数的测量次数和时间间隔不得少于表 3.5.8 中的规定。

表 3.5.8 测量参数的测定次数及间隔

参数名称	次数(次)	间隔(min)
环境风速、风向	3	20
大气压及环境干湿球温度	6	10
进塔空气干湿球温度	6	10
出塔空气干湿球温度	1~2	60~30
进塔水流量	2~3	30~20
进塔水温	6	10
出塔水温	6	10
出塔空气流量	1~2	60~30
下部进风口空气流量	1~2	60~30
上部进风口空气流量	1~2	60~30
出塔空气流速	1~2	60~30
补充水流量、水温	2	30
排污水流量、水温	2	30

风机轴功率	2	30
-------	---	----

3.6 测试工况

3.6.1 冷却塔进入稳定运行状态后进行测试，稳定时间应大于 1h。

3.6.2 同一测试工况的测量参数变化范围应符合下列规定：

- 1 循环水流量变化应小于 3%；
- 2 热负荷变化应小于 5%；
- 3 进出塔水温降变化应小于 5%；
- 4 干球温度测量值与平均温度测量值变化应小于 3℃，湿球温度变化应小于 1℃。
- 5 上下部进塔干空气总量与出塔干空气量的偏差应不大于 2%。

4 测试方法

4.1 循环水流量

4.1.1 循环水流量的测量点宜布置在冷却塔进水管段；当循环水流量的测量点布置在进水管的直段无法满足测量要求时，测点可布置在从进水侧算起直段长 2/3 处，宜采用皮托管测量。

4.1.2 当采用皮托管测量循环水流量时应符合下列规定：

1 在进水管道的测试断面划分等面环，测点应布置在该断面相互垂直的两条直径上。

2 各等面环与管中心的距离按照下式计算：

$$R_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2m}} \quad (4.1.2)$$

式中： R_n ——从管中心到各测点的距离(m)；

R ——测量断面管道半径(m)；

n ——从中心算起的测点编号；

m ——等面积环数(个)。

3 等面环划分数量不应小于表 4.1.2 中的规定值。

表 4.1.2 等面环划分数

直径(mm)	≤300	300~900	1000~1500	≥1600
等面积环数(个)	3	≥5	≥7	≥9

4.1.3 补充水和排污水的水流量宜在补充水水管和排污水水管上测量。

4.2 水温测量

4.2.1 进塔水温度宜在进塔水管段上测量，也可在上塔水管的放空管处引水入容器，在容器中测量。

4.2.2 出塔水温的测量，对共用集水池的多个冷却塔中的单个塔测量时，应在被测冷却塔集水池中设集水槽，在集水槽中测量水温。集水槽宽度不宜大于300mm，集水槽受水面积不宜小于集水槽面积的10%，同时根据集水池的尺寸，集水槽不宜少于4条。

4.2.3 补充水水温和排污水水温宜在补充水管和排污水管上测量。

4.3 大气压力、环境风速和风向测量

4.3.1 大气压力测量仪表宜放置在气象亭内。

4.3.2 环境风速和风向的测点应布置在冷却塔的上风向的开阔地带，测点距塔或塔群边缘不小于30m。

4.3.3 风速风向仪的安装高度宜在地面上1.5~2.0m处。

4.4 进塔空气参数测量

4.4.1 冷却塔下部进风口空气干湿球温度测点应不得少于2个，测点位置宜布置在距离进风口2m处，安装位置在集水池上缘1.5m处。当冷却塔采用单侧进风时，测点宜布置在进风口宽度1/4及3/4处，双侧进风时，测点宜布置在两侧进风口宽度1/2处。

4.4.2 冷却塔上部进风口空气干湿球温度测点，应在每个百叶窗处布置，在进风百叶窗外侧测量。

4.4.3 上部进风口百叶窗处空气流量的测量应符合下列规定：

1 进塔空气流量测量点宜布置在百叶窗中心线上，对单个进风百叶窗以轴对称或等间距均匀布置，单个测点代表面积不应大于 1m^2 ；

2 计算进塔空气风量时应扣除无效区面积。

4.4.4 下部进风口空气流量的测量应符合下列规定：

1 对于进风口不装设百叶窗时，根据进风口面积的大小，应划分不同的等面积方格，在每个方格中心测量风速，方格的尺寸不宜大于 $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$ ；

2 当进风口装进风百叶窗时，测点宜布置在百叶窗中心线上；

3 计算风量时应扣除无效区面积。

4.5 出塔空气参数测量

4.5.1 出塔空气的干湿球温度应在冷却塔风筒出口断面上方 1.0m 的平面进行测量。测点布置应满足下列要求：

1 圆形出口断面采用 4 个半径，每个半径上布置 5 个位置。对于小直径风筒出口断面测段总数不得少于 8 个。

2 矩形出口断面采用划分 20 个面积相同的矩形面，测点布置矩形的中心位置。

4.5.2 出塔空气干湿球温度的测量要求通过温度传感器的空气流速不小于 3m/s，同时保证没有水滴接触到干球温度传感器。

4.5.3 出塔空气的流速测量可选择螺旋桨式风速计或毕托管与微压力计。测点的位置与干湿球温度测点相同。如果采用皮托管测量时，垂向速度计算如下：

$$V_v = V_a \times \cos \alpha \quad (4.5.3)$$

式中： V_a ——实测的出塔空气流速 (m/s)；

V_v —— V_a 的垂向分量 (m/s)；

α ——偏转角，出塔空气流向与垂向的夹角 (Deg (°))。

4.5.4 出塔空气流量测量应符合下列规定：

1 测量仪表宜采用皮托管及微压计；

2 测点宜布置在风机吸入侧的风筒断面上，被测定断面气流应稳定，且气流方向与断面垂直，测试断面与风机叶片轴线间垂直距离不宜小于 0.4m；

3 测点布置宜采用等面环方法，每个等面环面积不宜大于 3.0m²，并选择两条有代表性相互垂直的直径上布置测点，各等面环测点与风筒中心距离应按下列式计算：

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

式中， r ——测试断面无效区半径(m)；

5 测试结果的评价

5.1 评价方法

5.1.1 冷凝式消雾节水冷却塔消雾性能评价，应采用测试数据与制造方提供的消雾特性曲线对比的方法进行评价。

5.1.2 一级羽雾保障冷凝式节水消雾塔应采用消雾指数评价其消雾效果。

5.1.3 二级羽雾保障冷凝式节水消雾塔应采用消雾指数及出塔空气掺混系数两个指标评价其消雾效果。

5.1.4 测试工况下节水率的评价，采用测试工况下冷凝水量与冷却塔蒸发水量的比值。

5.2 制造方提供的数据

5.2.1 制造方应提供同一风机安装角度下的 9 组消雾特性曲线，分别为循环水温降为设计温降的 80%、100%、120%时和循环水流量为设计流量值的 90%、100%、110%时性能曲线组合。每一簇曲线应至少 4 条相对湿度曲线。整组曲线应体现出湿球温度及相对湿度或干球温度及相对湿度、进出塔水温降和循环水流量对消雾性能的影响。

5.2.2 消雾特性曲线可以分为“出塔空气特征曲线”和“出塔空气最大湿度曲线”两种方式。测试评价应与制造方提供的曲线保持一致。

5.2.3 出塔空气特征曲线是以出塔空气湿球温度及其干球温度为纵坐标，进塔空气湿球温度为横坐标的一组曲线。其中一条曲线给出出塔空气的湿球温度，通过改变进塔空气的相对湿度得到一簇出塔空气干球温度曲线。出塔空气特征曲线图坐标标度为增量坐标，最小温度刻度每毫米应不大于 0.2°C 。进塔空气相对湿度的增量应不大于 20%，且至少保证相对湿度 100%、80%、60%、40%的曲线。

5.2.4 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。以进塔空气相对湿度作变量给出出塔空气最大湿度的一组曲线。出塔空气最大湿度曲线图坐标标度为增量坐标，横坐标的最小温度刻度每毫米应不大于 0.2℃，纵坐标的最小刻度应为每毫米 0.5%。进塔空气相对湿度的增量应不大于 20%，或应至少保证相对湿度 100%、80%、60%、40% 的曲线。

5.3 数据处理

5.3.1 每一工况下各参数的测定值，应取该工况下各次测量值的算术平均值作为该工况的参数值。

5.3.2 当集水池有补充水和排污水时，则冷却塔出水温度按照下式计算：

$$t_{cw} = (Q_{tw} \times t_{cwm} + Q_{wbd} \times t_{bd} - Q_{wmu} \times t_{mu}) / (Q_{tw} + Q_{wbd} - Q_{wmu}) \quad (5.3.2)$$

式中： t_{cw} ——修正后的出塔水温（℃）；

Q_{tw} ——实测的循环水流量（m³/h）；

t_{cwm} ——实测的出塔水温（℃）；

Q_{wbd} ——排污水流量（m³/h）；

t_{bd} ——排污水温度（℃）；

Q_{wmu} ——补充水流量（m³/h）；

t_{mu} ——补充水温度（℃）；

5.3.3 出塔空气的各测点的干、湿球温度及含湿量，应按照对应测点的空气流量进行加权平均计算。

5.4 消雾指标计算

5.4.1 根据出塔空气特征曲线计算消雾指数的方法应按以下步骤进行：

1 由于存在实测大气压与焓湿图中的大气压力不同，需要对进塔空气、环境空气与出塔空气的相对湿度进行修正，修正过程按照下式计算：

$$Rh_c = Rh \times (p_a / p_m) \quad (5.4.1-1)$$

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 ——湿空气焓图对应的大气压，应取消雾设计点的大气压（kPa）；

p_m ——实测的大气压（kPa）。

2 在焓湿图中绘制出塔空气扩散实测特征曲线：

- 1) 在焓湿图中绘制环境干球温度点及修正后的相对湿度点；
- 2) 在焓湿图中绘制出塔空气干球温度和修正后的相对湿度点；
- 3) 在焓湿图中绘制两点的连线作为出塔空气扩散实测特征曲线。

3 计算设计出塔的空气相对湿度。在制造方提供的出塔空气特征曲线上，通过线性插值法，读出实测条件下冷却塔的运行数据对应的出塔空气干球温度和湿球温度，并计算出塔空气的相对湿度。

4 绘制出塔空气扩散设计特征曲线：

- 1) 在焓湿图中绘制环境干球温度点及修正后的相对湿度点；
- 2) 在焓湿图中绘制设计出塔空气干球温度和相对湿度点；
- 3) 在焓湿图中绘制两点的连线作为出塔空气扩散设计特征曲线。

5 比较出塔空气扩散实测特征曲线与设计特征曲线。当出塔空气扩散设计特征曲线在实测特征曲线之上，冷却塔的消雾性能符合设计要求，否则不符合设计要求。为进一步量化冷却塔消雾性能，采用消雾指数量化表示。需要对设计出塔空气相对湿度进行修正。将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结果。

6 消雾指数应采用下式计算：

$$TPI = RH_{gc} / RH_m \quad (5.4.1-2)$$

式中： TPI ——消雾指数；

RH_{gc} ——设计出塔空气相对湿度（%）；

RH_m ——按（5.4.1-1）修正后的实测出塔空气相对湿度（%）。

5.4.2 根据出塔空气最大湿度曲线计算消雾指数应按以下步骤进行：

1 实测大气压与湿空气焓图的大气压不一致时，应采用本标准公式（5.4.1-1）对实测空气相对湿度进行修正。

2 在焓湿图中绘制出塔空气扩散实测特征曲线：

- 1) 在焓湿图中绘制环境干球温度点及修正后的相对湿度点；
- 2) 在焓湿图中绘制出塔空气干球温度和修正后的相对湿度点；
- 3) 在焓湿图中绘制两点的连线作为出塔空气扩散实测特征曲线。

3 在焓湿图中绘制出塔空气扩散设计特征曲线。在制造方提供的出塔最大湿度曲线上，通过线性插值法读出实测条件下冷却塔设计出塔的相对湿度并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。在湿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，则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标准公式（5.4.1-2）。

5.4.3 “二级羽雾保障” 冷凝式消雾节水型冷却塔应保证出塔的空气掺混均匀，冷却塔空气出口断面上各测点的相对湿度应控制在平均相对湿度的0.8~1.2倍范围之内。

5.4.4 当冷却塔空气出口个别测点的相对湿度不满足本标准第5.4.3条的要求时，则相关测点的空气流量之和不应超过出口断面空气总流量的15%。

5.4.5 出塔空气掺混系数应采用下式计算：

$$M_Q = (1 - \sum V_{vi} / \sum V_v) \times 100 \quad (5.4.5)$$

式中： M_Q ——出塔空气掺混系数（%）；

V_{vi} ——相对湿度偏离其断面加权平均值超过20%的测点的流速垂向分量（m/s）。

5.5 节水率计算

5.5.1 测试工况条件下冷却塔的节水率宜按照下式计算：

$$\eta_w = \frac{G_{uin}x_{uin} + G_{lin}x_{fout} - G_{out}x_{out}}{G_{lin}(x_{fout} - x_{lin})} \times 100 \quad (5.5.1-1)$$

式中， G_{lin} ——下部进塔空气质量 (kg/h)；

G_{uin} ——上部进塔空气质量 (kg/h)；

G_{out} ——消雾塔出口空气质量 (kg/h)；

x_{lin} ——下部进口空气含湿量 (kg/kg(DA))；

x_{uin} ——上部进口空气含湿量 (kg/kg(DA))；

x_{fout} ——出填料空气含湿量 (kg/kg(DA))；

x_{out} ——消雾塔出口空气含湿量 (kg/kg(DA))。

式中 x_{fout} 按如下方法计算：

将进出塔水温划分为若干计算单元，出塔空气含湿量及对应的焓值通过差分计算得到。

出塔空气含湿量及焓值计算如下：

$$x_{i+1} = x_i + \frac{c_w q_i (x_i'' - x_i) \Delta t}{G \left\{ i_i'' - i_i + (Le_{fi} - 1) [i_i'' - i_i - \gamma(x_i'' - x_i)] - (x_i'' - x_i) c_w t_i \right\}} \quad (5.5.1-2)$$

$$i_{i+1} = i_i + \frac{c_w q_i}{G} \left\{ 1 + \frac{(x_i'' - x_i) c_w t_i}{i_i'' - i_i + (Le_{fi} - 1) [i_i'' - i_i - \gamma(x_i'' - x_i)] - (x_i'' - x_i) c_w t_i} \right\} \Delta t \quad (5.5.1-3)$$

式中， c_w ——空气比热，kJ/(kg·°C)；

Δt ——单元水温差，°C；

x_i'' ——当前水温对应的饱和含湿量 kg/kg(DA)；

x_i ——当前空气对应的焓湿量，kg/kg(DA)；

G ——对应的干空气流量，kg/h；

i_i ——当前对应的焓值 kJ/kg；

t_i ——当前的水温，°C；

i_i'' ——当前水温对应的饱和焓值 kJ/kg;

γ ——水的汽化潜热, kg/kg。

Le_{fi} ——当前的路易斯系数, 其计算公式如下:

$$Le_{fi} = Le^{2/3} \frac{\frac{x_i'' + 0.622}{x_i'' + 0.622} - 1}{\ln \frac{x_i'' + 0.622}{x_i'' + 0.622}} \quad (5.5.1-4)$$

其中 Le 为 0.865。

空气过饱和时, 计算如下:

$$x_{i+1} = x_i + \frac{c_w q_i (x_i'' - x_i'') \Delta t}{G \left\{ i_i'' - i_i'' + (Le_{fi} - 1) [i_i'' - i_i'' - \gamma (x_i'' - x_i'')] - (x_i'' - x_i'') c_w t_i \right\}} \quad (5.5.1-5)$$

$$i_{i+1} = i_i + \frac{c_w q_i}{G} \left\{ 1 + \frac{(x_i'' - x_i'') c_w t_i}{i_i'' - i_i'' + (Le_{fi} - 1) [i_i'' - i_i'' - \gamma (x_i'' - x_i'')] - (x_i'' - x_i'') c_w t_i} \right\} \Delta t \quad (5.5.1-6)$$

式中的 Le_{fi} 为当前的路易斯系数, 计算如下:

$$Le_{fi} = Le^{2/3} \frac{\frac{x_i'' + 0.622}{x_i'' + 0.622} - 1}{\ln \frac{x_i'' + 0.622}{x_i'' + 0.622}} \quad (5.5.1-7)$$

式中的 q_i 计算如下:

$$q_{i+1} = q_i \left[1 - \frac{G}{q_i} (x_2 - x_{i+1}) \right] \quad (5.5.1-8)$$

其中, x_2 为冷却塔出口焓湿量, kg/kg(DA); q_i 为进塔水流量, kg/s。

将进出塔水温分为不应少于 100 个计算单元, 首先假设出口空气含湿量, 利用差分方程进行求解计算出出口空气含湿量, 若与假定的差值小于千分之一则输入计算结果, 该结果包括湿区出塔空气温度、含湿量、焓值。

5.6 消雾评价

5.6.1 二级羽雾保障冷凝式消雾节水冷却塔的消雾性能应符合下列规定:

1 消雾指数不应小于 1;

2 出塔空气掺混系数不应小于 85%。

5.6.2 一级羽雾保障冷凝式消雾节水冷却塔的消雾指数不应小于 1。

5.7 测试报告

5.7.1 测试报告至少应包含下列内容：

- 1 测试任务、测试目的及要求；
- 2 冷却塔设计资料、位置及设计尺寸的详细描述；
- 3 制造方提供的消雾特性曲线；
- 4 测点的布置及使用的仪表名称；
- 5 测试数据记录及对应的处理方法；
- 6 冷却塔消雾节水效果评价。

5.7.2 测试报告中应附参加测试单位、人员姓名及职务。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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

《玻璃钢纤维增强塑料冷却塔 第2部分：大型开式冷却塔》GB7190.2

《工业冷却塔测试规程》DL/T 1027

《消雾节水型冷却塔验收测试规程》T/CECS 517

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

T/HGJ XXXXX-YYYY

冷凝式消雾节水冷却塔
验收测试标准

Standard for test procedure of condensing plume
abatement cooling tower

条文说明

目 次

1 总则	24
2 术语和符号	25
3 测试程序、条件和要求.....	28
4 测试设备及测试方法	30
5 测试结果的评价	33

1 总 则

1.0.1 随着冷凝式消雾节水冷却塔的广泛应用，如何评价其节水和消雾性能是产品用户、工程公司和生产企业关注的焦点，建立统一的、严谨的验收测试标准，明确测试步骤、程序及评价方法，满足市场需求十分必要。

1.0.2 ~1.0.3 规定了本标准适用于新建、改建的冷凝式消雾节水冷却塔的消雾和节水性能的验收测试。冷凝式消雾节水冷却塔的其它性能测试应按国家现行标准《机械通风冷却塔第 2 部分：大型开式冷却塔》GB7190.2 或《工业冷却塔测试规程》DL/T1027 的规定执行。

2 术语和符号

2.1.3 环境冷空气与出填料区的湿热空气通过冷凝模块进行热交换，起到对湿热空气冷凝作用。冷凝式消雾节水机械通风冷却塔内的冷凝模块有阶梯与菱形两种布置方式。图 2-1 给出了冷凝式（阶梯布置）消雾节水机械通风冷却塔示意图，图 2-2 给出了冷凝式（菱形布置）消雾节水机械通风冷却塔示意图。

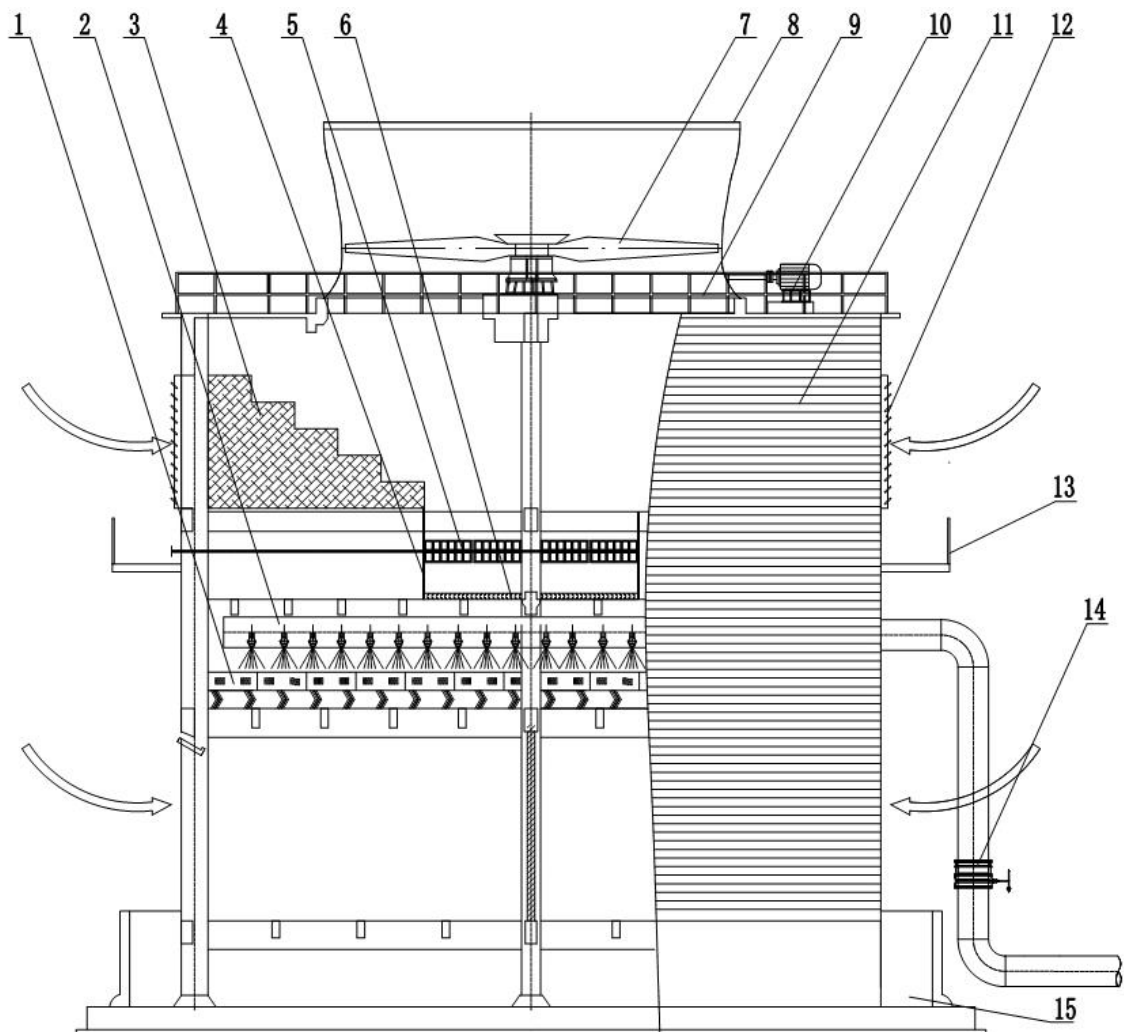


图 2-1 冷凝模块式（阶梯布置）消雾节水机械通风冷却塔示意图

1—填料； 2—配水系统； 3—冷凝模块； 4—风道； 5—风道门； 6—收水器； 7—风机系统； 8—风筒； 9—栏杆； 10—电机； 11—面板； 12—环境风量调节装置；
13—检修走道； 14—进水管路及阀门； 15—水池；

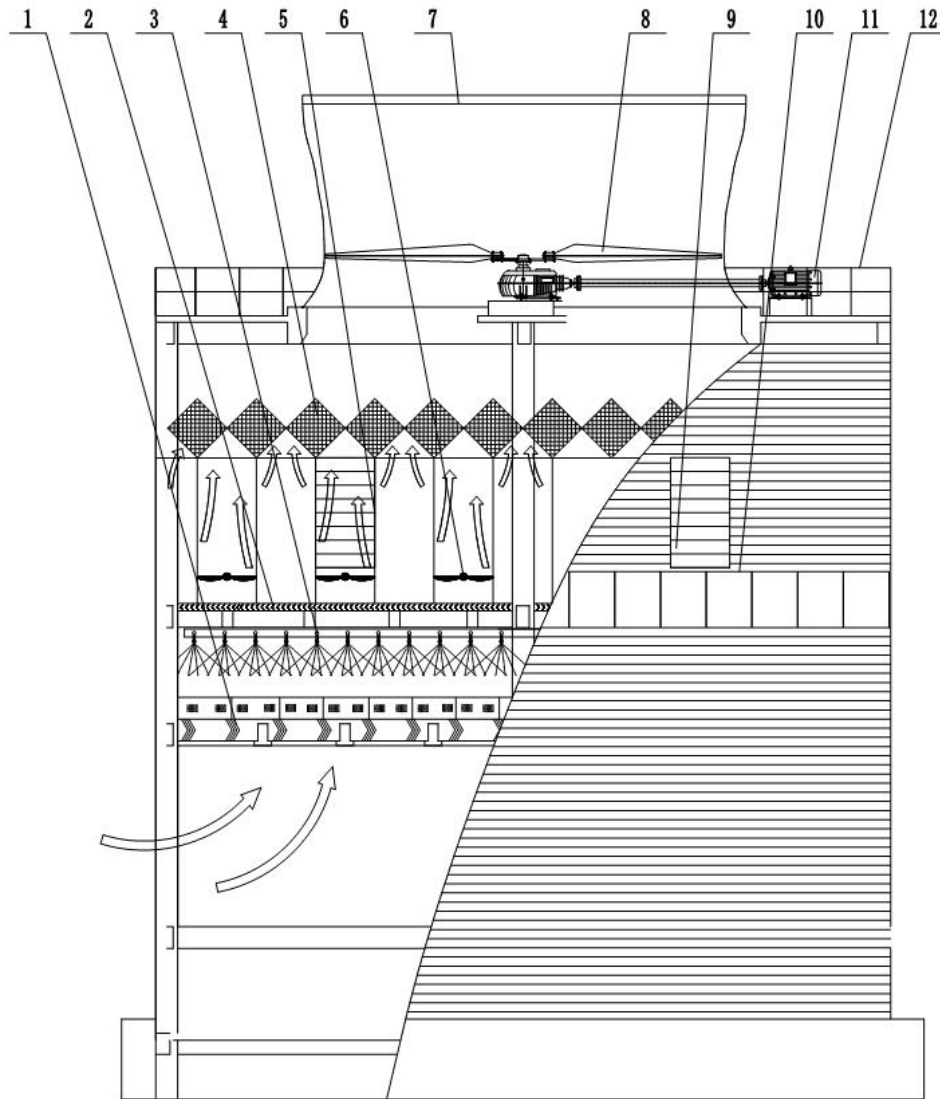


图 2-2 冷凝模块（菱形布置）式消雾节水机械通风冷却塔示意图

1—填料； 2—收水器； 3—配水系统； 4—冷凝模块； 5—风道门； 6—风道； 7—风筒；
8—风机系统； 9—环境风量调节装置； 10—检修走道； 11—电机； 12—栏杆；

2.1.8 冷凝式消雾节水冷却塔的消雾设计点是根据冷却塔的使用工况、当地气象条件和周边环境要求确定的。消雾设计点为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。

为了阐明冷凝式消雾节水冷却塔消雾设计点的选择，图 2-3 描述了在相同的设计消雾点工况下，对应的不同冷凝模块换热面积条件下出塔空气特征曲线。由图中可以看出，在湿区空气状态参数确定的时，随着冷凝模块换热面积的增加，出口的空气温度升高，含湿量降低。出口的空气相对湿度降低，消雾的效果也就随之增强。

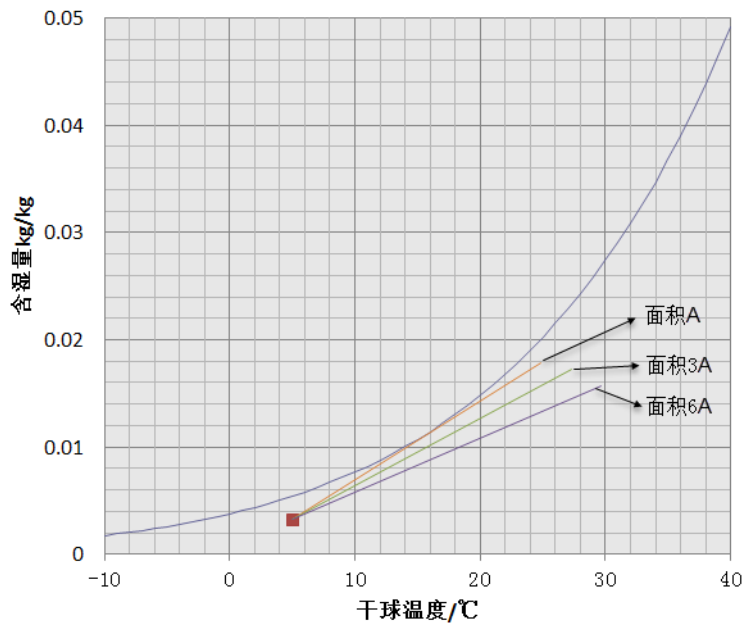


图 2-3 不同换热面积下出塔空气特征曲线

对比现行的《消雾节水型冷却塔验收测试规程》T/CECS 517，将白昼时间发生可见雾的频率为 15%~20%的气象条件作为消雾设计点。若按照此要求进行消雾点的设计，则需要考虑冷凝式消雾节水冷却塔所在地全年的气象条件。由于地区的差异性较大，因此每个地区消雾点设计值偏离较大。

2.1.10~2.1.11 “一级羽雾保障消雾塔”、“二级羽雾保障消雾塔”仅是对冷却塔出口雾气团的定性说明和描述。“消雾指数”作为评价“一级羽雾保障消雾塔”消雾性能的定量考核指标，“消雾指数”和“出塔空气掺混系数”作为评价“二级羽雾保障消雾塔”消雾性能的定量考核指标。

2.1.12 “出塔空气混掺系数”是反映“二级羽雾保障消雾塔”出塔空气掺混均匀程度的量化指标。

2.2.13 测试工况下冷凝水量与冷却塔蒸发水量的比值为“节水率”，该“节水率”的计算方法仅适用于冷凝式消雾节水冷却塔。

3 测试程序、条件和要求

3.1 测试程序及测试前准备

3.1.2~3.1.3 配水系统清洁，填料和冷凝模块完好无损，集水池的水位处于正常水平，风机、电动机及减速装置运转正常等是测试冷凝式喷雾节水冷却塔的必要条件。因此，对冷却塔测试前应满足的条件进行了规定。

3.2 测试时间及测试有效性

3.2.1 冷凝式喷雾节水冷却塔的长周期运行过程中，循环水水质、日常维护都会对冷却塔的性能造成偏差，为最大限度的消除运行性能偏差对测试结果的影响，规定验收测试时间很有必要。

3.2.2 本条的目的是确保测试结果的准确性、公正性。

3.3 测试单元的选择

3.3.1~3.3.2 为确保测试结果的正确性和可比性。单一测试单元的选择应具有代表性，测试单元之间结构和位置差异较大的、存在明显缺陷和受干扰的单元不能作为测试单元。同时测试多个单元时，应按照相同设计条件下质量加权平均作为最终的考核结果，主要包括出塔的空气中的干、湿球温度以及循环水相关的特性参数。

3.4 测试条件

3.4.1 外界环境的影响对冷却塔的测试结果产生一定的影响。环境风速的变化，对冷却塔的进风产生的影响很难评估，因此测试就对环境风速有一定的要求。喷雾节水冷却塔的喷雾节水性能考核应最大程度的接近设计工况，而0℃以下有出现结冰现象，因此要求干湿球温度都在0℃以上。同时要求循环水流量变化控制在±10%，这样不会对冷却塔配水造成较大的影响，同时为保证冷却塔的热力性能要求，要求冷却塔的热负荷变化控制在±10%，进出塔

水温降 $\pm 20\%$ 。冷却塔风机角度一般现场调节难度较大，因此需保证风机轴功率控制在 $\pm 10\%$ 以接近冷却塔设计的风量要求。对测试条件进行规定，以确保验收的合理性。

3.4.2 规定了验收测试时的天气情况，雨后空气湿度变化较大，在 1h 内湿球温度的变化大于 1°C ，因此为避免测试条件对测试结果造成的影响，因此冷却塔测试不宜在雨后立即进行测试，同时至少保证雨停 1h 以上在开展测试工作，此时保证 1h 以上空气的湿球温度变化为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

3.4.3 测试应在环境湿球温度 0°C 以上进行，当环境湿球温度低于 0°C 时，机械通风干湿球表测量湿球温度时后产生结冰现象，无法保证测量结果的准确性。

3.4.4 规定被测单元之间运行参数的偏差范围，是为最大限度的降低多台冷凝式消雾节水冷却塔测试时对测试结果偏差的影响。

3.5 测量参数及仪表

3.5.1 根据冷凝式消雾节水冷却塔消雾和节水性能评价的过程需要，给出了冷凝式消雾节水冷却塔验收测试测量应包含的参数。

3.5.8 为保证冷却塔的测试结果，冷却塔测试中各个测量参数需要同步进行，测量参数中规定的次数在 3-6 次的项目，测试中很容易达到。而下部进风口空气的流量、上部进风口空气的流量、出塔空气干湿球温度及出塔空气流速可以通过适当增加测试人员，同步开展进行，保证 1h 内至少测量次数 1 次。

3.6 测试工况

3.6.1 规定冷却塔稳定运行时间大于 1h，是为了满足完成一个测试工况的所有参数测量的需要。

3.6.2 测试过程中为保证同一工况的稳定性，需要对测试工况每次测定值的偏差作出规定，测试过程中各个测量参数波动偏差在允许的范围内能够提高测试的精确度。

4 测试方法

4.1 循环水流量

4.1.1 对循环水流量的测试，尤其是大型机械通风冷却塔，多采用的是超声波流量计，但超声波流量对直管段要求严格，一般测试仪表的安装位置要求满足沿水流方向具有前 10 倍后 5 倍管道直径的直段，否则离散型较差，测量的精度较低。现场冷却塔上水管一般都不具备此条件，因此可以选择测点布置在进水侧算起 2/3 处的位置。对于采用皮托管测试时，保证有前 5 倍后 3 倍的管道直径直段。

4.1.2 当采用皮托管测试循环水流量时，本标准采用 DL/T1027《工业冷却塔测试规程》中的规定，在进水管道相互垂直的两条直径上布置测点，一般环数越多，测量的结果越精确。为保证测量的精度，同时较少测量的工作量，参考 DL/T1027《工业冷却塔测试规程》中的规定，根据进水管道管径的大小，布置不同的环数。

4.2 水温测量

4.2.2 对于单元冷凝式消雾节水冷却塔塔群，一般集水池都为相互连通结构，因此出塔水温的测试比较困难。本标准采用 DL/T1027《工业冷却塔测试规程》中的规定，集水槽受水面积不宜少于集水池面积的 10%。

4.3 大气压力、环境风速和风向测量

4.3.1~4.3.3 消雾冷却塔的测试需要涉及到相对湿度的修正，需要考虑大气压力与设计条件的偏差，同时冷却塔测试对外界环境风速的要求，因此有必要对大气压力、环境风速及风向进行测量。环境风速及风向的测点位置采用 DL/T1027《冷却塔验收测试规程》中的规定。

4.4 进塔空气参数测量

4.4.1 对于进风口空气干湿球温度的测量，国内外标准中规定的测点数量也不相同。本标准采用 DL/T1027 《冷却塔验收测试规程》中逆流式机械通风冷却塔的测试规定。

4.4.2 冷凝式消雾节水冷却塔上部进风口一般设置多套百叶窗，为保证测量的准确性，需要对每个百叶窗处布置干湿球温度进行测量。

4.4.3 上部进风口百叶窗空气流量的测点布置在百叶窗中心线上，表 4-1 为对百叶窗尺寸为 3.2m×2.2m(高×长)的百叶窗测量数据，测量的数据为 16 个。

表 4-1 百叶窗进风口测量数据

测试速度值 m/s	8.4	7.9	8.3	8.0
	7.3	8.4	8.1	8.8
	8.3	8.0	7.4	7.5
	7.4	7.0	8.6	6.9
平均值	7.89m/s			

表 4-2 为对同一百叶窗的测量数据，测量的数据为 8 个。

表 4-2 百叶窗进风口测量数据

测试速度值 m/s	8.3	8.4
	7.7	8.3
	8.4	7.7
	7.4	7.9
平均值	8.01m/s	

两组测量的数据平均值偏差为 1.5%。偏差较小，因此上部进风口百叶窗处的流量按照等面积方格的尺寸不大于 1.0m×1.0m 规定。

4.4.4 对于下部进风口空气的流量测量，若进风口不设置百叶窗，则采用 DL/T1027 《冷却塔验收测试规程》中的规定，划分若干等面积方格。若设置百叶窗，则可参考上部进风口的数据，方格的尺寸不大于 1.0m×1.0m。

4.5 出塔空气参数测量

4.5.1 由于出塔空气的不均匀性，出塔空气干、湿球温度采用多点测量，同时将测点等面积布置，可减小单个测点对测试结果的影响。

4.5.2 干湿球温度的测量一般都采用机械通风干湿表。机械通风干湿表包裹棉纱测量湿球温度时，要求风速达到 2.5m/s 以上。当风速较低时，湿球温度的读数偏高，当风速超过 3.0-5.0m/s 时，湿球温度的读数能够保持稳定，此时的湿球温度值才较为准确。同时干球温度传感器不能接触到水滴，防止由于水的蒸发对干球温度的测量造成的偏差。

4.5.3 由于风筒的作用，出塔空气气流沿着风筒垂直的方向，因此可以将出塔速度分解为垂向速度与径向速度。当采用皮托管测量风速时，测量的速度为垂向速度，出塔空气流向与垂向的夹角定义为偏转角。

4.5.4 出塔空气流量的测量是将皮托管深入风筒内进行测量。通过皮托管测量断面上的风速，然后根据断面的面积求得出塔的空气流量。风筒为环形截面，可采用等面积环的方法进行测量，其中等面积环数量越多，则测量的结果越精确。本标准采用 DL/T1027 《冷却塔验收测试规程》中的规定。

5 测试结果的评价

5.2 制造方提供的数据

5.2.1 制造方应提供同一风机安装角度下的 9 组消雾特性曲线，根据测试的结果，能够在曲线中描绘出实际冷却塔的出塔空气参数的修正结果，根据修正后的数据与设计参数进行比较，判断当前消雾节水冷却塔的消雾效果。

5.2.2 本条规定了制造方提供的冷凝式消雾节水冷却塔消雾特性曲线包含“出塔空气特征曲线”和“出塔空气最大湿度曲线”两种表示方式。两者的数值相差较小，都可作为消雾塔消雾评价条件。

5.4 消雾指标计算

5.4.1 因实测的大气压与设计大气压的不同，需要对相当于湿度的测量值进行修正。通过设计出塔空气的相对湿度与修正后的出塔空气湿度的比值，对出塔空气的消雾指数进行计算。

5.4.5 出塔空气掺混系数的计算，采用出塔空气相对湿度偏离其断面加权平均值不超过 20% 的测点的流量之和与出塔空气断面总流量的比值进行计算。

5.5 节水率计算

5.5.1 冷凝式消雾节水冷却塔的消雾节水性能测试一般都在冬季进行。以某个冷凝式消雾节水冷却塔考核测试结果作为算例，测试的参数如

表 5-1 所示。试对冷凝式消雾节水冷却塔节水性能进行评价。

表 5-1 设计工况与实测工况对比

参数	单位	设计值	实测值
循环水流量	m ³ /h	5000	5000
进塔水温	℃	37.5	38.0
出塔水温	℃	27.5	28.0

进出塔水温降	℃	10.0	10.0
大气压力	kPa	102.9	102.3
进塔空气干球温度	℃	5.0	6.1
进塔空气湿球温度	℃	2.1	2.8
进塔空气相对湿度	%	60.0	56.29
环境空气干球温度	℃	5.0	6.0
环境空气湿球温度	℃	2.1	2.6
环境空气相对湿度	%	60.0	54.85

进出口空气流量的测试数据如表 5-2 所示。

表 5-2 进出塔空气流量

序号	名称	单位	数值
1	下部进风口空气流量	m ³ /h	1339762
2	上部进风口空气流量	m ³ /h	1406046
3	出塔空气流量	m ³ /h	3040000

出塔空气参数如表 5-3 所示。

表 5-3 出塔空气参数计算值

测试编号	速度	干球温度	湿球温度	相对湿度	含湿量	密度	质量流量
	m/s	℃	℃	%	kg/kg	kg/m ³	kg/s/m ²
1	11.59	26.7	26.2	96.13%	0.021157	1.176429	13.6388
2	13.17	27.9	25.4	81.81%	0.01926	1.172793	15.44305
3	14.00	26.8	23.5	75.82%	0.016668	1.178547	16.50394
4	13.92	25	22.1	77.76%	0.015335	1.186419	16.51335
5	13.67	23.4	22.1	89.36%	0.016028	1.192424	16.29507
6	13.07	23.4	22.4	91.77%	0.016472	1.192171	15.58116
7	12.26	24.6	22.5	83.51%	0.0161	1.187578	14.56286
8	12.14	24.6	21.6	76.83%	0.014783	1.188328	14.43012
9	11.65	28.8	25.6	77.42%	0.019204	1.169328	13.62129
10	7.42	26.7	23.2	74.39%	0.016249	1.179177	8.749049

11	8.15	29.5	27.4	85.07%	0.02207	1.165044	9.497615
12	13.65	29.6	25.4	71.36%	0.018516	1.166619	15.9294
13	13.57	27.2	25.4	86.54%	0.019566	1.175355	15.95137
14	13.49	29.9	26.5	76.59%	0.020276	1.164491	15.71131
15	12.64	28.7	26.4	83.46%	0.020628	1.168926	14.77726
16	12.49	29.2	27.2	85.67%	0.021837	1.166327	14.57217
17	12.11	29.1	27.1	85.64%	0.0217	1.166789	14.13514
18	11.82	26.9	25.4	88.65%	0.019698	1.176457	13.90316
19	11.47	24.4	22.3	83.44%	0.01589	1.188496	13.63021
20	8.95	26.4	23.1	75.62%	0.016226	1.180371	10.56985
加权平均值	12.06	26.89	24.5	82.45%			

根据测试的大气压及空气的干、湿球温度，计算进出口空气的参数，如表 5-4 所示。

表 5-4 进出塔空气状态参数

序号	名称	体积	比容	干空气质量	干球温度	含湿量
		m ³ /h	m ³ /kg(DA)	kg/h	℃	g/kg(DA)
1	下部进风口	1339762	0.788	1700206	6.1	3.24
2	上部进风口	1406046	0.788	1784322	6.0	3.24
3	出口空气	3040000	0.868	3501886	26.9	18.259

根据下部进风口的风量，进出塔的循环水流量、下部进风口的空气参数及循环水的进出口温度，按照本标准第 5.5 节中的出塔空气参数的计算方法，采用差分法编程计算出填料区的相对湿度为 132%，含湿量为 42.7g/kg。

计算的节水率如下：

$$\eta_w = \frac{G_{uin}x_{uin} + G_{lin}x_{lin} + G_{lin}(x_{fout} - x_{lin}) - G_{out}x_{out}}{G_{lin}(x_{fout} - x_{lin})} = \frac{G_{uin}x_{uin} + G_{lin}x_{fout} - G_{out}x_{out}}{G_{lin}(x_{fout} - x_{lin})} \times 100$$

$$= \frac{1784322 \times 3.24 + 1700206 \times 42.7 - 3501886 \times 18.259}{1700206 \times (42.7 - 3.24)} \times 100 = 21.5\%$$

5.6 消雾评价

5.6.1 本条规定了二级羽雾保障冷凝式消雾节水冷却塔的消雾评价标准。

5.6.2 本条规定了一级羽雾保障冷凝式消雾节水冷却塔的消雾评价标准。

为进一步阐述冷凝式消雾节水冷却塔的性能考核方法，按照 5.5 节中算例中的考核测试结果对该冷却塔进行消雾评价。

设计大气压力为 102.9kPa，实测大气压力为 102.3 kPa，采用本标准中公式（5.4.4-1）对环境空气参数及进出塔空气参数进行修正。

修正后的环境空气相对湿度为 55.18%；

修正后的进塔空气相对湿度为 56.62%；

修正后的出塔空气相对湿度为 82.93%；

（1）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性曲线。

在湿空气焓湿图中绘制以下两点：

1、环境空气参数：干球温度 6℃、相对湿度 55.18%；

2、实测出塔空气参数：干球温度 26.9℃、相对湿度 82.28%。并将两点用直线连接作为出塔空气扩散实测特性曲线。如图 5-1 所示。

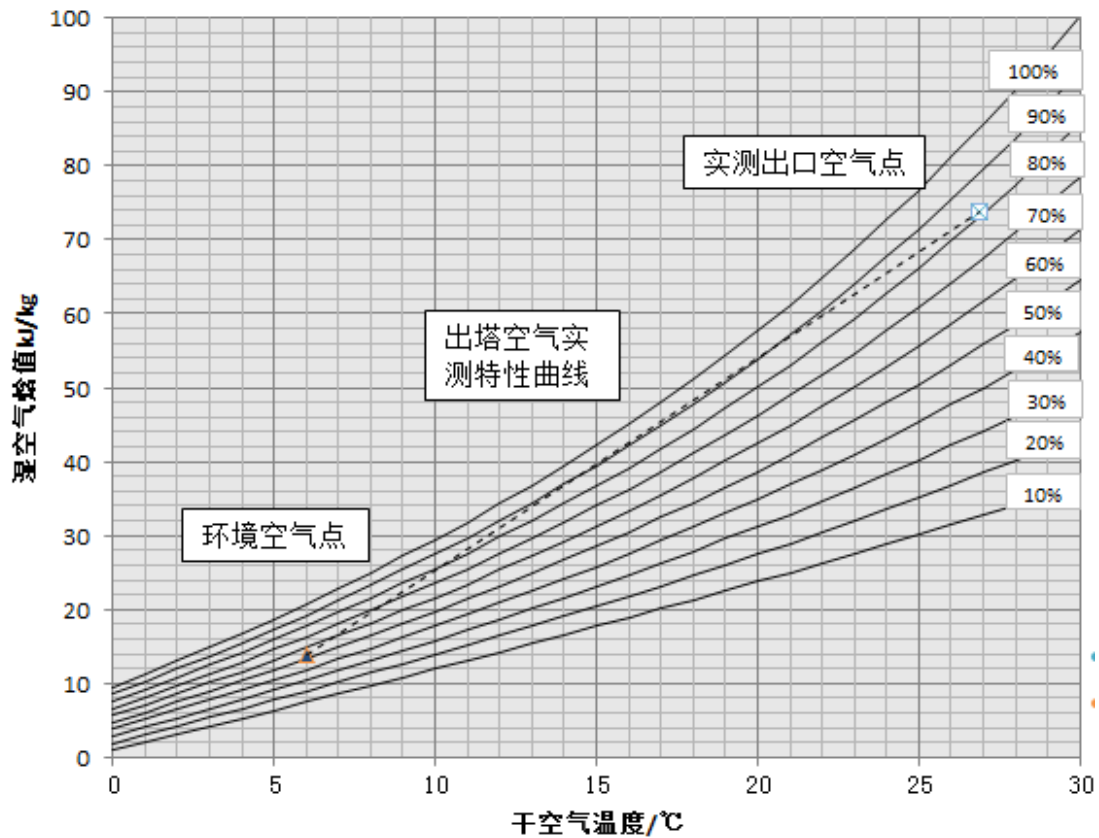


图 5-1 出塔空气扩散实测特性曲线

2) 根据出塔空气特性曲线计算出塔空气参数。

该冷凝式消雾节水冷却塔设计参数为：循环水量 $5000\text{m}^3/\text{h}$ ，进出塔温降为 10°C ；消雾气象条件为空气干球温度 5°C ，湿球温度为 2.1°C ，相对湿度为 60%。设计条件下出塔空气特性曲线如图 5-2 所示。根据实测进塔空气参数，即湿球温度为 2.8°C ，相对湿度为 56.62%，参照图 5-2 中的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，即干球温度为 26.6°C ，湿球温度为 24.6°C ，大气压力为 102.9kPa ，相对湿度为 85%。

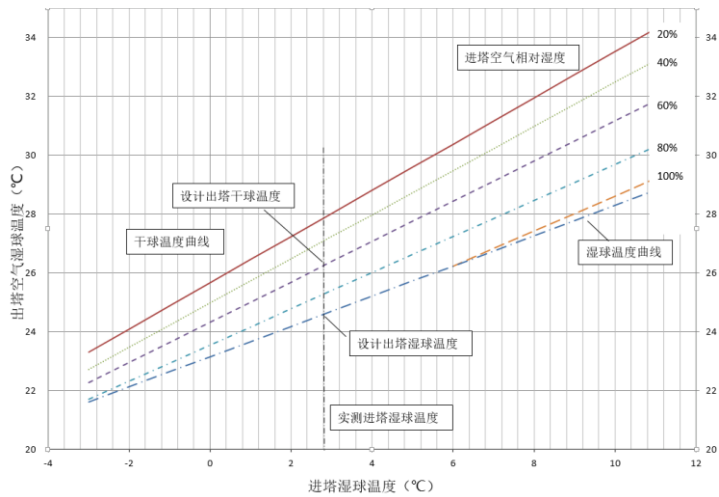


图 5-2 制造方提供的出塔空气特征曲线

3) 绘制出塔空气扩散设计特征曲线。

如图 5-3 所示，在湿空气中绘制以下两点：

1、环境空气参数：干球温度 6.0°C 、相对湿度 55.18% ；

2、设计出塔空气参数：干球温度 26.6°C 、相对湿度 85% 。并将两点有直线连接作为出塔空气扩散设计特性曲线。将出塔空气扩散实测曲线和设计特性曲线绘制在同一张焓湿图，如图 5-4 所示。可以定性判断消雾节水型冷却塔的消雾性能。实测特性曲线位于设计特性曲线以下，则消雾塔负荷设计要求。

4) 实测条件下设计出塔空气湿度的修正

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 5-5 所示。从图中可以看出，设计出塔空气湿度的相对湿度修正值为 86.4% 。

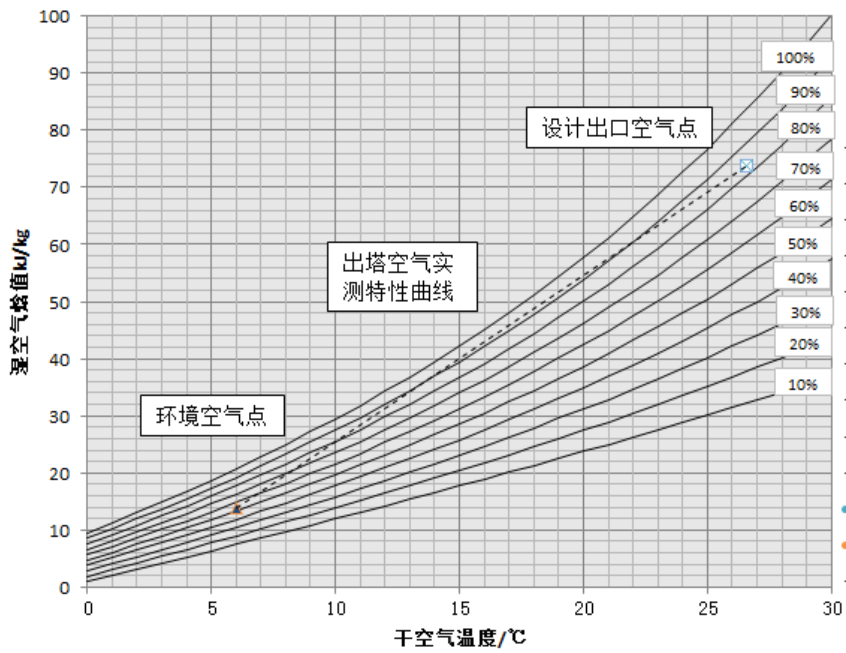


图 5-3 出塔空气扩散设计特征曲线

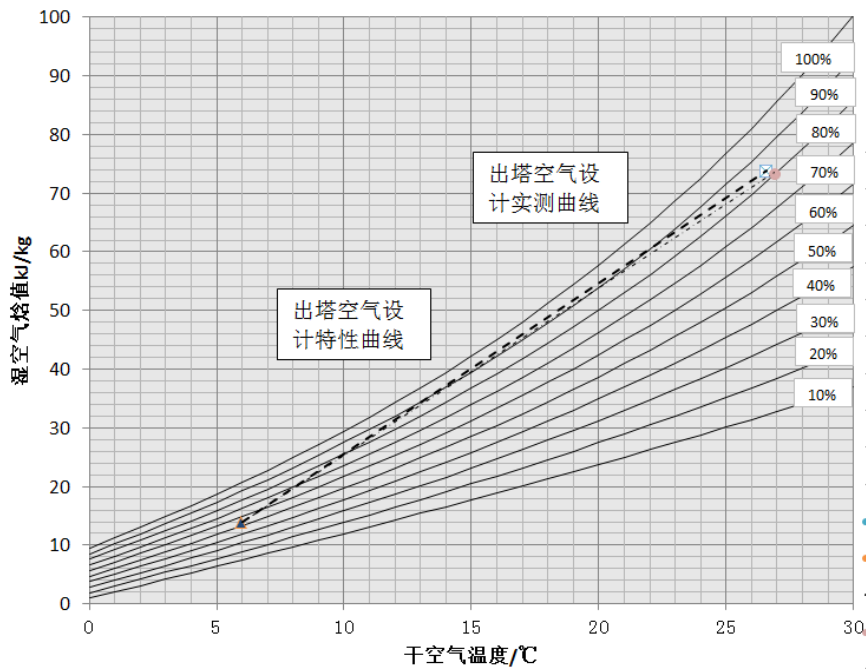


图 5-4 消雾节水型冷却塔消雾性能的定性判别

5) 计算消雾指数

该消雾节水冷却塔的设计出塔空气的相对湿度为 86.4%。实测出塔的相对湿度为 82.93%。根据计算，消雾指数为 $86.4\%/82.93\%=1.04$ 。

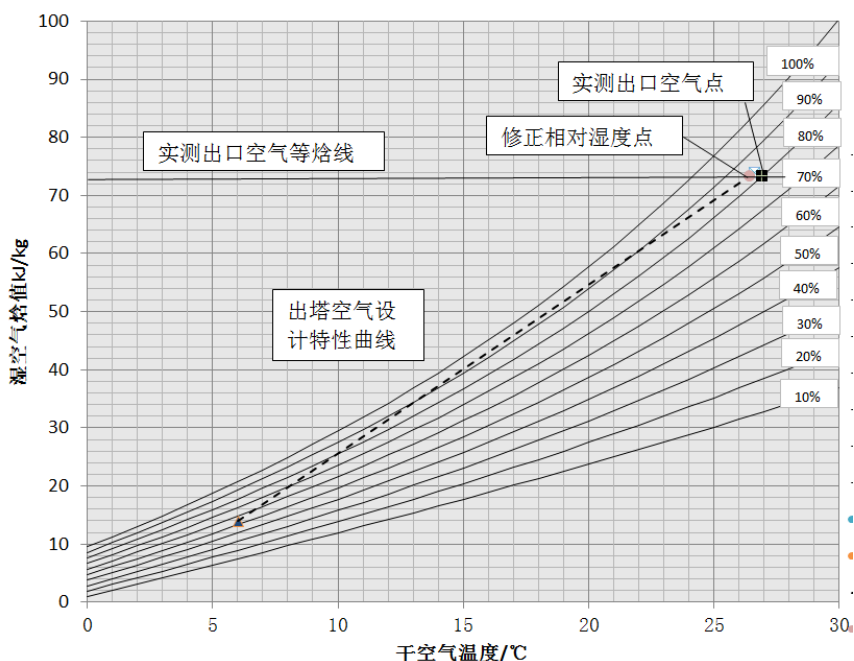


图 5-5 出塔空气相对湿度的修正值

(2)、根据出塔最大相对湿度曲线计算设计出塔空气参数

1) 根据出塔空气的最大湿度曲线计算设计出塔空气参数

设计条件下该消雾节水冷却塔出塔空气的最大湿度曲线如图 5-6 所示。实测进塔空气的干球温度为 6.1℃，相对湿度为 56.62%，根据图中的数据显示，冷却塔出口的最大相对湿度为 93%，作为设计出塔空气的最大相对湿度。

2) 实测出塔空气相对湿度的修正

在湿空气焓图中绘制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。消雾冷却塔的出塔空气最大相对湿度为 91%。

3) 计算消雾指数

此种算法条件下，消雾塔设计出塔空气最大的湿度为 93%，实测出塔空气最大相对湿度为 91%，冷却塔消雾指数为 $93\%/91\%=1.02$ ，故冷却塔满足性能要求。

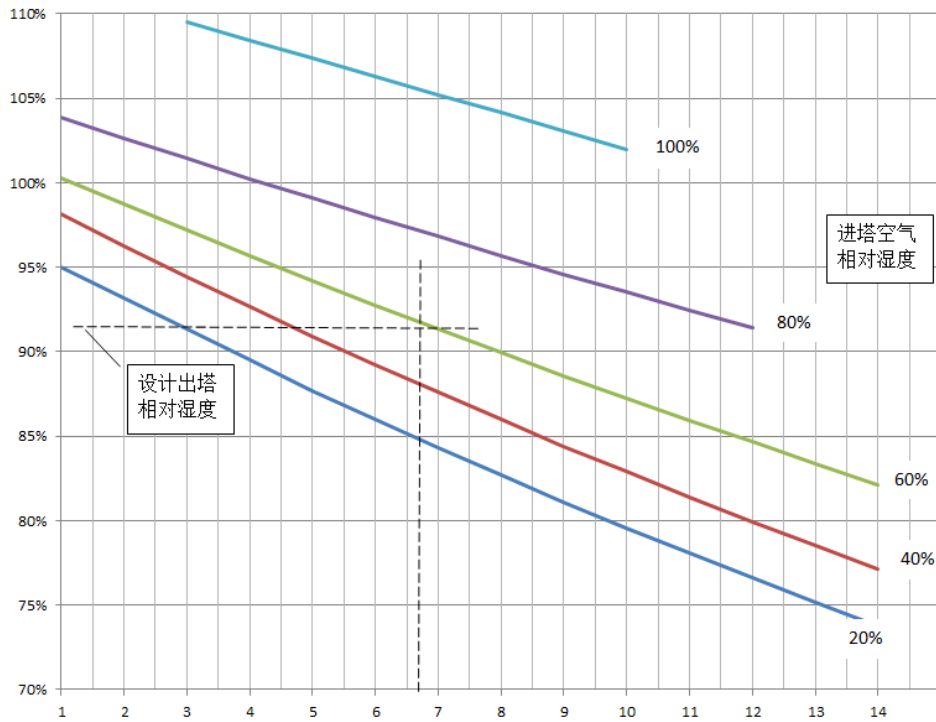


图 5-6 制造方提供的出塔最大湿度曲线

(3) 计算出塔空气掺混系数

由表 5-3 中的结果可以看出，实测条件下出塔空气的加权平均湿度为 82.45%，满足平均值 0.8 倍~1.2 倍的相对湿度范围为 65.824%~98.736%，表中的数据点无数据超出了上述的湿度范围，根据计算结果，计算掺混系数为 100%，满足二级羽雾保障消雾塔的要求。