

ICS 27.100
CCS F24
备案号: 19448-2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1027 — 2006

工业冷却塔测试规程

Acceptance test specification of industrial cooling tower



2006-12-17 发布

2007-05-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 4

5 测试前的准备工作..... 4

6 冷却塔的热力性能测试..... 5

7 噪声测试..... 19

8 飘滴损失水量测试..... 21

9 测试报告..... 22

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2003 年行业标准项目补充计划的通知》（发改办工业〔2003〕873 号）的要求制定。

本标准结合近年我国火力发电厂循环水冷却塔的发展现状和测试工作的实际需要，在原能源部标准 NDGJ 89—1989《工业冷却塔测试技术规定》和中国工程建设标准化协会标准 CECS 118—2000《冷却塔验收测试规程》基础上，广泛征求了国内有关冷却塔测试、设计、科研单位专家意见的基础上编制的。

本标准对火力发电厂工业循环水湿式冷却塔的热力性能、飘滴损失水量和噪声三项主要工艺性能的验收测试做了规定。为便于测试工作的开展和适应对测试项目的不同要求，对冷却塔的热力性能、飘滴损失水量和噪声三项测试工作分章单列。

本标准发布实施后，原能源部 NDGJ 89—1989《工业冷却塔测试技术规定》同时废止。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由中国电力行业电力规划设计标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：东北电力设计院。

本标准参加起草单位：西安热工研究院有限公司、中国水利水电科学研究院、西安建筑科技大学。

本标准主要起草人：李志梯、胡三季、段杰辉、王大哲、赵顺安、史鲁平。

工业冷却塔测试规程

1 范围

本标准规定了工业循环水湿式冷却塔的热力性能、噪声和飘滴损失水量测试的统一程序，及各项参数的测量方法、测试数据的处理方法和对测试结果的评价方法。

本标准适用于新建或改建的湿式机械通风和自然通风的工业循环水冷却塔的验收测试。非验收性质的冷却塔测试可参照本标准。

本标准不适用于各类空冷塔以及烟囱和冷却塔合建的排烟冷却塔的验收测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 3785 声级计的电、声性能及测试方法

GB/T 7190.1 玻璃纤维增强塑料冷却塔 第1部分：中小型玻璃纤维增强塑料冷却塔

GB/T 7190.2 玻璃纤维增强塑料冷却塔 第2部分：大型玻璃纤维增强塑料冷却塔

GB 12348 工业企业厂界噪声标准

GB/T 12349 工业企业厂界噪声测量方法

GB/T 50050 工业循环冷却水处理设计规范

DL 5000 火力发电厂设计技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

循环水冷却塔 circulating water cooling tower

用于循环水冷却的一种设施。水被输送到塔内，使水和空气之间进行热交换或热、质交换，达到降低水温的目的。

3.2

湿式冷却塔 wet cooling tower

水和空气在塔内直接接触，热、质交换同时进行的冷却塔。

3.3

自然通风冷却塔 natural draft cooling tower

靠塔内外空气的密度差或自然风力进行通风的冷却塔。

3.4

风筒式自然通风冷却塔 chimney type natural draft cooling tower

具有一定高度的，不同几何形状通风筒的自然通风冷却塔。火力发电厂常用的冷却塔风筒为双曲线型。

3.5

机械通风冷却塔 mechanical draft cooling tower

靠风机进行通风的冷却塔。

3.6

逆流式冷却塔 counter-flow cooling tower

在冷却塔内水流自上而下，空气流自下而上，水流与空气流的方向相反。

3.7

横流式冷却塔 cross-flow cooling tower

在冷却塔内水流自上而下，空气流水平流动，水流与空气流纵、横成交叉流动。

3.8

淋水填料 packing

设置在冷却塔内，使水溅散成水滴或水膜，以增加水和空气的接触面积和时间的一种装置。

3.9

填料高度 packing height

淋水填料顶面和底面之间的垂直距离。

3.10

填料径深 packing length

横流式冷却塔淋水填料竖向两端面间的水平距离。

3.11

淋水面积 area of water drenching

冷却塔内淋水填料顶面可淋到水和通风的净面积。

3.12

淋水密度 mass water flow per unit plan area of packing

单位时间通过每平方米淋水填料断面的循环水质量流量。

3.13

冷却塔配水系统 distribution system of cooling tower

冷却塔内由水槽、水管或水池与溅水喷头组成的水分配系统。

3.14

溅水喷头 spray nozzle

冷却塔配水系统的部件，通过它使水喷溅成细小水滴。

3.15

配水竖井 vertical well for water distribution

逆流式自然通风冷却塔内的井式构筑物，用于把进入塔内的水分配到配水系统。

3.16

除水器 drift eliminator

设置在冷却塔内，用来拦截和收集出塔气流中所夹带飘滴的装置。

3.17

飘滴损失水量 water flow rate of drift loss

被出塔空气流夹带出冷却塔的飘滴水量。

3.18

冷却水温差（冷却幅宽） cooling range

进入冷却塔的热热水与被冷却后的水之间的温度差值。

3.19

环境空气干、湿球温度 ambient air dry-wet bulb temperature

在冷却塔上风向，不受出塔空气回流影响条件下测得的空气干、湿球温度。

3.20

进塔空气干、湿球温度 inlet air dry-wet bulb temperature

在冷却塔进风口处测得的空气干、湿球温度。

3.21

气水比 air/water ratio

进入冷却塔的干空气与循环水的质量流量之比。常以符号 λ 表示。

3.22

冷却数 number of transfer units (NTU)

表征冷却塔内包括喷淋区、淋水填料区和填料下的雨区在内的淋水装置的热、质交换能力的特性数，也称为交换数。常以符号 Ω 或 N 表示。

3.23

容积散质系数 coefficient of transfer mass

表征冷却塔淋水装置单位体积的热质交换能力的特性数。常以符号 K_a 或 β_{xv} 表示。

3.24

冷却塔格(单元) cell of cooling tower

机械通风冷却塔群或塔组中的一个独立单元。具有单独的配水系统和风机，有围护结构与其他单元分开。

3.25

冷却塔群(组) group of cooling towers

由多个独立的机械通风冷却塔格组成的单列或多列塔群(组)。

3.26

塔的实测冷却能力 test cooling capability

将试验中实测的工况条件修正到与设计工况条件相同时塔的散热量。

3.27

冷却塔的热力性能曲线 thermal performance curves of cooling tower

表示冷却塔的淋水填料的性能和体积所确定的冷却数 Ω 与气水比 λ 的一条关系曲线 $\Omega=f(\lambda)$ ，在双对数直角平面坐标系中为一直线，其特征是当 λ 增大时 Ω 相应增大。

3.28

冷却塔的工作特性曲线 working performance curve of cooling tower

表示由设计气象参数和进出塔水温所确定的冷却任务与气水比之间的关系曲线 $\Omega'=f(\lambda)$ 。在双对数直角平面坐标系中为一曲线，其特征是 λ 增大 Ω' 相应减小。

3.29

进塔水压 input water head of tower

自然通风冷却塔指配水竖井内的水面水位与塔贮水池水面水位差值，机械通风冷却塔则指进塔水管中心线处的总水头与塔贮水池水面间的差值，又称之为配水高度或供水高度。

3.30

风机轴功率 input power of fan

作用在风机叶片轮毂传动轴上的功率，不包括传动部分消耗的功率。

3.31

背景噪声 environmental noise

冷却塔外噪声源产生的噪声。

3.32

厂界冷却塔噪声 noise for cooling tower at boundary of power plant

在对冷却塔噪声敏感的环境区域的电厂法定厂界外 1.0m，距地面高度 1.5m 处测得的冷却塔噪声。

当厂界有围墙时，应为在围墙顶部测得的噪声。

3.33

冷却塔噪声 noise for cooling tower

在冷却塔周围固定位置测得的冷却塔噪声。

4 总则

4.1 火力发电厂新建或改建的工业循环水冷却塔在投入正常运行后，应及时对冷却塔的冷却能力、飘滴损失水量和噪声进行单项或多项验收测试。因测试条件不符合要求，不能在冷却塔投入正常运行后及时进行验收测试时，验收测试工作也应在冷却塔投入正常运行后的一年内完成。

4.2 冷却塔的验收测试工作应委托具有冷却塔测试能力和经验的单位承担。

4.3 当新建或改建的冷却塔需进行验收测试时，宜在工程的初步设计阶段阐明，并宜将验收测试所需的费用列入工程投资概算。

4.4 冷却塔的验收测试宜按以下程序进行。

- a) 编写测试工作大纲；
- b) 进行测试前的各项准备工作；
- c) 现场测试；
- d) 对测试数据进行处理和分析；
- e) 编写验收测试报告。

5 测试前的准备工作

5.1 测试塔应由委托单位指定。当对冷却塔群中的单格塔进行测试时，也可由委托单位和测试单位协商选择测试塔。

5.2 测试单位在测试前应到测试塔现场调查。

5.3 冷却塔测试前，测试单位应编写测试大纲。测试大纲应包括下列内容。

- a) 测试目的和要求。
- b) 被测试冷却塔的设计、施工和运行概况，包括下列内容。
 - 1) 冷却塔的塔型、主要几何尺寸及设计淋水面积。
 - 2) 淋水填料的形式、材料、填料高度、横流式冷却塔的填料径深、填料的安装支承方式、支承材料。设计采用的淋水填料热力和阻力特性。
 - 3) 除水器的形式、材料、安装位置、安装方式，设计采用的除水器阻力特性。
 - 4) 配水系统的形式和布置、溅水喷头的形式和塔内不同配水分区的喷嘴直径、喷头间距和各种直径喷头的数量、喷嘴前的设计压力。
 - 5) 机械通风冷却塔的风机形式、叶轮直径、风机的特性曲线及设计工作点风量和全压、风机的设计轴功率。
 - 6) 冷却塔的设计热力特性曲线。
 - 7) 冷却塔实际运行中存在的问题。
 - 8) 循环水水质分析报告。
- c) 被测试冷却塔的竣工图或施工图，包括：
 - 1) 冷却塔在火电厂总平面图中的位置图；
 - 2) 冷却塔的平面图、剖面图。
- d) 测试内容和试验工况。
- e) 测试项目、测点布置、测试方法和使用的仪表。
- f) 需要加工制作的测试工具和设备。

- g) 测试数据的处理方法。
- h) 测试结果的评价方法。
- i) 测试人员的组成和分工。
- j) 测试工作进度计划。
- k) 安全操作注意事项和采取的安全措施。
- l) 需要委托单位(业主)配合的事项。

5.4 冷却塔测试开始前,应对冷却塔进行全面检查,按设计和测试要求消除冷却塔各部分的缺陷。为了保证冷却塔在良好的运行工况下进行测试,冷却塔的各部件和设备应满足下列要求。

- a) 冷却塔的配水系统应清洁、通畅,无杂物堵塞、无漏水和溢水现象,喷嘴应完整无损、喷溅正常。
- b) 淋水填料外观应整齐、无缺损、无变形、填料表面不应有藻类、油污及其他杂物。
- c) 逆流式冷却塔的淋水填料应充满填料层。横流式冷却塔应避免在淋水填料顶部出现空气直流通道。
- d) 除水器表面应清洁,不应有阻碍空气正常通流的杂物、藻类和其他附着物。
- e) 除水器层应布满除水器,不应有空气的旁路通道。
- f) 冷却塔的进水管阀门、冷却塔之间的联络管阀门应启闭灵活,便于调节。
- g) 机械通风冷却塔的风机、电动机和减速装置应运转正常。
- h) 冷却塔集水池内水位应处于正常运行水位或测试要求的水位。
- i) 试验大纲中提出的其他要求。

5.5 冷却塔测试中应使用经检验合格的仪表,使用中应注意检查,以保证仪表在测试过程中达到测试要求的精度。

5.6 冷却塔测试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) 搭设测试平台和气象亭;
- c) 架设临时电源;
- d) 加工和安装测试设备和仪表,备好测试时放置仪表的台、架。

5.7 测试前应准备好各种测试所用的记录表格。

5.8 测试前应组织参加测试的人员熟悉各测试项目和所用的仪表,并按测试大纲的要求进行各种项目的预测试。

6 冷却塔的热力性能测试

6.1 测试条件

6.1.1 在进行冷却塔的热力性能测试时,环境气象条件应符合下列规定。

- a) 测试工作宜在夏季接近设计的气象条件或气温较高季节的白天进行。
- b) 测试工作不应在雨中或雨后立即进行。雨后的测试开始时间宜在雨停 1h 以后。
- c) 机械通风冷却塔的环境平均风速不应大于 4.5m/s,阵风每分钟平均风速不应大于 7.0m/s;自然通风冷却塔的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。
- d) 在自然通风冷却塔的测试过程中,测试人员在地面目测从自然通风冷却塔风筒出口排出的湿热空气流应充满风筒出口。
- e) 当大气存在逆温层时,不应进行自然通风冷却塔的热力性能测试。

6.1.2 进入冷却塔的循环水水质应符合 GB/T 50050 和 DL 5000 的有关规定。

6.1.3 冷却塔验收测试中,各项主要参数允许偏离设计值的范围见表 1。非验收性质的冷却塔测试可根据测试需要确定各参数的测试范围。当进塔水温偏离设计值较大,水温差与设计值相差较大时,应计算

进塔水温对冷却塔散热性能的影响。

表 1 主要参数允许偏离设计值范围

参 数 名 称	允许偏离设计值范围
进塔干球温度 θ_1	$\pm 14.0^\circ\text{C}$
进塔湿球温度 τ_1	$\pm 8.5^\circ\text{C}$
进塔水流量 Q	$\pm 10\%$
进、出塔水温差 Δt	$\pm 20\%$

6.2 测试项目

6.2.1 冷却塔的热力性能应测试下列参数。

- a) 环境气象参数，包括空气干、湿球温度，大气压力，风速和风向；
- b) 进塔空气干、湿球温度；
- c) 进塔水流量；
- d) 进、出塔水温；
- e) 进塔空气流量；
- f) 机械通风冷却塔的风机轴功率和风机叶片的安装角。

6.2.2 根据测试工作要求的深度和现场测试条件，经委托单位和测试单位双方协商，可选测下列各项参数。

- a) 出塔空气的干、湿球温度及其分布；
- b) 淋水密度分布；
- c) 冷却后水温分布；
- d) 塔内风速分布；
- e) 塔内各部分阻力及全塔总阻力；
- f) 配水池或水槽内水深；
- g) 管式配水系统中溅水喷嘴前的水压；
- h) 自然通风冷却塔配水竖井内水位或机械通风冷却塔的进塔水压。

6.2.3 当被测试的冷却塔集水池有补充水注入，或相邻冷却塔的循环水从塔间联络沟注入，并且循环水系统的排污水也从冷却塔排出，冷却塔的出水温度又在集水池出口测量时，还应测量补充水、来自相邻塔的循环水以及排污水的流量和水温。否则，在每一工况的测试过程中，应停止向冷却塔的集水池补水和从集水池向塔外排污，并关闭塔间联络沟闸门。

6.3 测试要求

6.3.1 各项参数的测试应在该试验工况调整后稳定运行一段时间后再进行。自试验工况调整完毕至开始。各项参数的测试时间为：单格的机械通风冷却塔不宜小于 30min，机械通风冷却塔群和自然通风冷却塔不宜小于 1h。

6.3.2 每一工况测试过程中，各项主要参数的每次测值与该工况各次测值的算术平均值的允许变化范围应符合下列规定：

进塔空气湿球温度 τ_1	$\pm 0.5^\circ\text{C}$
进塔空气干球温度 θ_1	$\pm 3.0^\circ\text{C}$
进塔水温 t_1	$\pm 0.5^\circ\text{C}$
进塔水流量 Q	$\pm 5.0\%$

6.3.3 每一工况测试延续时间不应少于 1h。各项参数的测试次数和时间间隔不应少于表 2 和表 3 的规定。

表2 必测参数测定次数及间隔

序号	参 数 名 称	次 数	间 隔 min
1	环境风速、风向	3	20
2	大气压力及环境空气干、湿球温度	6	10
3	进塔水流量	2~3	30~20
4	进塔水温	6	10
5	出塔水温	2~6	30~10
6	进塔空气流量	1~2	60~30
7	进塔空气干、湿球温度	6	10
8	补充水流量、水温	2	30
9	排污水流量、水温	2	30
10	风机轴功率	1~2	30

注：当采用集水容器测出塔水温时，由于布点多，测定6次有困难时，应不少于2次。

表3 选测参数测定次数及间隔

序号	参 数 名 称	次 数	间 隔 min
1	出塔空气干、湿球温度	1~2	60~30
2	各部分阻力及风机全压	1~2	30
3	进塔水压力	2	30
4	塔内风速分布	1	60
5	淋水密度及冷却后水温分布	1~2	60~30
6	配水池或水槽水深	2	30

6.3.4 每一测试工况的各项参数应同时进行测定。当出塔水温的测试点距冷却塔集水池较远，冷却水落到集水池流到测温点时间大于5min时，则出塔水温度测定时间要较其他参数测定时间推迟，推迟的时间按公式(1)计算：

$$T_h = \frac{60\rho_w V_w}{Q_i} \quad (1)$$

式中：

T_h ——推迟时间，min；

ρ_w ——水的密度，kg/m³；

V_w ——集水池中水的体积与沟入口至测点间的体积之和，m³；

Q_i ——实测进塔水流量，kg/h。

6.3.5 冷却塔的验收测试有效工况点不应少于3组。

6.4 测试仪表和测量方法

6.4.1 环境风速和风向测量应符合下列规定。

a) 测量仪表采用带风向标的旋杯式风速风向计。

b) 测点布置在被测冷却塔或塔群的上风向开阔地带；机械通风冷却塔和进风口高度等于或小于8.0m

的自然通风冷却塔，测点距塔或塔群边缘不小于 30m；进风口高度大于 8.0m 的自然通风冷却塔，测点距塔或塔群边缘不小于 40m。

c) 风速风向计的测点高度在地面以上 1.5m~2.0m 处。

6.4.2 环境空气干、湿球温度测量应符合下列规定。

a) 测量仪表选用机械通风干湿表，或精度不低于机械通风干湿表的其他测量干、湿球温度的仪表。温度表的分辨率不应大于 0.2℃，精度不应低于 0.5 级。利用不同的干湿表所测得的干、湿球温度计算相对湿度时，系数 A 按表 4 取值。

表 4 干湿表的 A 值

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

b) 在被测试冷却塔的上风向，距冷却塔或塔群的进风口 30m~50m 处布置测点一处。

c) 测温仪表应悬挂在通风良好的气象亭内，避免阳光直接照射。仪表距地面高度为 1.5m~2.0m。

6.4.3 大气压力的测量。

仪表宜采用福廷式或空盒式大气压力表，大气压力表上应附有温度计。

6.4.4 进塔空气的干、湿球温度测量应符合下列规定。

6.4.4.1 自然通风冷却塔可根据塔的大小和周围环境条件，沿塔周围均匀布置测点 2~4 处。测点距塔进风口下缘的距离为 3m~5m。仪表安装高度为距集水池上缘 1.5m~2.0m。也可采用环境空气干、湿球温度测量值。

6.4.4.2 机械通风冷却塔的测点位置应符合下列规定。

a) 单侧和双侧进风的矩形冷却塔。

1) 当进风口高度不大于 4.0m，且宽度不大于 6.0m 时，在每侧进风口宽度的 1/2 处设测点一处。测点距进风口百叶窗的距离在 2.0m 之内。仪表安装在集水池上缘 1.5m~2.0m 的高处。

2) 当进风口高度大于 4.0m，宽度大于 6.0m 时，在进风口宽度和高度的 1/4 及 3/4 处各设测点一处，测点距进风口百叶窗的距离为 2m~3m。

b) 周围进风的多边形和圆形冷却塔，沿塔周围均匀布置 4 处测点，测点至进风口的距离为 2m~3m。当进风口高度不大于 4.0m 时，仪表安装在集水池上缘 1.5m~2.0m 高处；当进风口高度大于 4.0m 时，在进风口高度的 1/4 和 3/4 处各设测点一处。

6.4.4.3 测温仪表应符合 6.4.2a) 的规定。

6.4.5 进塔水流量的测量应符合下列规定。

6.4.5.1 进塔水流量宜在进水压力管上测量。当在进水压力管上测量有困难时，也可在冷却塔的出水管（沟）中测量。在出水管（沟）中测得的水流量数据还应计入该工况测试时段内的冷却塔蒸发量、风吹量、排污量和补充水量（当循环水排污和补充水在冷却塔集水池实施时）。

6.4.5.2 在进水管测水流量时，仪表的测量精度不低于 2.5 级。

6.4.5.3 在无压的出水沟道测量水流量时，宜采用量水堰或流速仪。

6.4.5.4 测量仪表的安装位置应按仪表的使用说明书要求设置。

6.4.5.5 采用皮托管测进塔水流量时应符合下列规定。

- a) 测点前保持 5~8 倍、测点后保持 3~5 倍进水管直径的直管段，在此直管段范围内不得设有截流阀门。
- b) 在进水管相互垂直的两条直径上分别设置测点。当管径小于 500mm 时，测点可布置在一条直径上。
- c) 在进水管测试断面上划分等面积环，等面积环的划分数目应符合表 5 的规定。

表 5 等面积环划分数

管径 mm	≤300	400~900	1000~1500	≥1600
环数 个	≥3	≥5	≥7	≥9

各等面积环测点与管中心的距离按式 (2) 计算：

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

式中：

R_n ——从管中心到各测点的距离，m；

R ——测试断面管道内半径，m；

n ——从管中心算起的测点编号；

m ——等面积环数，个。

6.4.6 进塔水温的测量应符合下列规定。

- a) 测温仪表分辨率不大于 0.1℃，精度不低于 0.2 级。
- b) 测点宜设在进塔水管或配水竖井内，横流式冷却塔也可在配水池内测定。
- c) 在进塔水管测温时，需预先在水管上安装测温套管，并在套管内注入少量机油，油面应淹没温度计的感温元件。也可从上塔水管的放空管放水到容器中，在容器中测定水温。
- d) 采用水银温度计在配水池、竖井或渠道中测温时，温度计宜装保护性套管，套管内存水应淹没温度计的感温元件。
- e) 当自然通风冷却塔进水管为敷设在集水池水面下的钢管时，应视测温点位置的不同，考虑钢管散热量对进出塔水温的影响并进行修正，其修正值不大于 0.1℃。

6.4.7 出塔水温的测量应符合下列规定。

6.4.7.1 温度仪表应符合 6.4.6a) 的规定。

6.4.7.2 单座冷却塔或冷却塔群测试时，水温可在出塔水管（沟）或水泵出口测定，并应符合下列规定。

- a) 在出水管测定时，可以装测温套管或将水接到容器中测定。
- b) 在出水沟道中测定时，测点布置沿宽度方向不宜少于 3 处，沿深度方向不宜少于 2 处。当测试断面水温分布不均或成层分布时，应沿沟道宽度和深度方向增加测点。
- c) 在水泵出口测温时，应计入水泵能量损失引起的水温升高。

6.4.7.3 机械通风冷却塔群中的单格塔测试时，如果集水池相互连通，应在被测格集水池水面上设集水槽或集水容器，在集水槽出口或集水容器中测定水温。集水槽及集水容器的设置应符合下列规定。

- a) 设集水槽时，集水槽受水面积不宜小于集水池面积的 10%，根据集水池面积大小，集水槽不宜少于 4 条，槽宽不宜大于 300mm。
- b) 设集水容器时，每个容器受水面积不宜小于 0.05m²，集水容器等间距布置，每一测点负担的淋水面积不宜大于 4m²。

6.4.8 进塔空气量的测量应符合下列规定。

6.4.8.1 自然通风冷却塔进塔空气流量测量应符合下列规定。

- a) 测量仪表宜采用旋桨式风速仪或其他测量仪表。
- b) 测试断面宜选在风筒的喉部，或接近风筒出口不受外界风速影响的断面上，逆流式冷却塔也可布置在塔内除水器以上不低于 4.0m 处。
- c) 宜采用划分等面积环的方法布置测点，视测试断面的尺寸大小划分 10~20 个等面积环，测点布置在有代表性的两条相互垂直的直径上。等面积环上测点与塔中心距离按公式 (1) 计算。

6.4.8.2 机械通风冷却塔进塔空气流量测量应符合下列规定。

- a) 测量仪表宜采用皮托管及微压计。
- b) 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。
- c) 测点布置采用等面积环方法，每个等面积环面积不宜大于 3.0m²，并选择两条有代表性相互垂直的直径上布置测点，各等面积环测点与风筒中心距离按公式 (3) 计算：

$$R_0 = \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{2m}(2n-1) + r^2} \quad (3)$$

式中：

r ——测试断面无效区半径，m。

d) 计算风量时应扣除无效区面积。

e) 当无条件在风机吸入侧风筒内测量时，也可在下列部位测量。

- 1) 当冷却塔进风口不装进风百叶窗时，在冷却塔进风口测量。采用旋桨式或热球式等风速仪表时，应视进风口尺寸大小，划分若干个等面积或不等面积的方格，在每个方格中心测风速，方格尺寸不宜大于 1.0m×1.0m。
 - 2) 在冷却塔风筒出口测量，采用旋桨式等风速仪表，并按本条采用划分等面积环方法规定布置测点。
- f) 逆流式机械通风冷却塔不淋水时可进入塔内，在淋水填料上方或除水器上方 0.5m~0.8m 处测量空气流量，测量仪表可采用旋桨式或热球式等风速仪表。
- 1) 矩形冷却塔可在塔内划分若干个等面积的方格，方格的尺寸不大于 1.0m×1.0m，在每个方格的中心测量风速。
 - 2) 多边形和圆形冷却塔可根据塔的大小划分 5~10 个等面积环，测点布置在有代表性的两条相互垂直的直径上（多边形塔为内切圆直径），等面积环上测点与塔中心的距离按公式 (1) 计算确定。

6.4.9 出塔空气的干、湿球温度测量应符合下列规定。

- a) 测量仪表宜采用遥测通风干湿表、热电阻温度计或水银温度计等测温仪表。温度计的分辨率不应大于 0.2℃，仪表精度不应低于 0.5 级。
- b) 当测量空气干球温度有困难时，可仅测空气湿球温度，出塔空气视为接近饱和，其相对湿度可取 98%。
- c) 自然通风冷却塔测点宜布置在风筒喉部，或接近风筒出口不受外界风速影响的断面上，对于逆流式自然通风冷却塔也可布置在除水器之上、气流稳定及便于测定的高度处。
- d) 机械通风冷却塔测点可布置在风筒出口或风机进风侧的风筒内。
- e) 宜按 6.4.8.2 规定采用划分等面积环方式布置测点。
- f) 出塔空气温度取各测点温度的算术平均值。当测试断面风速和温度分布相差较大时，宜采用温度和风量的加权平均值。

6.4.10 淋水密度和冷却后水温分布测量应符合下列规定。

- a) 在集水池水面上采用集水容器或自动记数式翻板雨量计测定水量及水温。
- b) 自然通风冷却塔测线不宜少于 4 条半径，且圆心角相等，并视塔底部直径大小每条测线上等间距布置 8~15 个测点。机械通风冷却塔在集水池水面上布置测线，测线不宜少于 4 条，视塔的尺寸大小，每条测线布置 6~12 个测点。
- c) 测温仪表按 6.4.6a) 选用。

6.4.11 塔内风速分布测量应符合下列规定。

6.4.11.1 当逆流式自然通风冷却塔的进塔空气量在除水器顶面以上不低于 4.0m 处测量时，塔内风速分布测量可与进塔空气量测量同时进行。

6.4.11.2 逆流式机械通风冷却塔可按 6.4.8.2 f) 的规定，与进塔空气量测量同时进行。

6.4.11.3 横流式冷却塔应符合下列规定。

- a) 测量断面布置在除水器后 0.5m~1.0m 处。
- b) 视淋水填料高度和宽度划分为若干等面积或不等面积的方格，方格的高度不超过 1.0m，宽度为 1.0m~2.0m，在每个方格的中心测量风速。
- c) 测量仪表采用旋桨式风速仪。

6.4.12 补充水和排污水流量及其水温测量应符合下列规定。

- a) 补充水和排污水流量及水温宜在补充水管和排污水管上测量。
- b) 补充水和排污水流量测量应按 6.4.5 有关规定执行。
- c) 补充水和排污水温测量应按 6.4.6 有关规定执行。

6.4.13 塔内风速分布、淋水密度分布、冷却后水温分布三项测量工作应同步进行，并应与进塔空气量、进塔水流量和进塔水温的测量同步进行。

6.4.14 塔内各部分阻力及风机全压测量应符合下列规定。

- a) 塔内各部分阻力及风机全压测量宜采用笛形管或皮托管与微压计。
- b) 根据测试要求笛形管可布置在冷却塔进风口、淋水填料上下、除水器上，以及风机进风口与风机出风口等位置。
- c) 笛形管宜由钢管、铝管或铜管制作，测压孔直径不宜小于 5mm，孔距宜在 250mm 左右，测压孔总面积不宜大于笛形管内截面积的 30%。
- d) 测压管在测试断面上应均匀布置，每个测试断面笛形管数目不宜少于 3 根，且孔眼应正对气流方向。
- e) 为了避免淋水时水滴堵塞孔眼，可在孔眼上作防水帽。

6.4.15 机械通风冷却塔风机轴功率的测量应符合下列规定。

- a) 风机轴功率宜采用功率表直接测定，或测定电动机的电流、电压和功率因数后由计算确定。
- b) 当在控制室测定功率时，如果配电线路距电动机较远，应考虑线路的电压降，并对读数进行修正。

6.4.16 冷却塔进水压力测点宜布置在进塔水管中心线处，静压可由压力表测定，动压可通过进塔水流量和测压点处的管断面面积计算确定。测点至水池上缘垂直距离所产生的压力，可根据垂直距离计算。

6.4.17 配水槽或配水池深，可用直尺直接测量。管式配水系统溅水喷嘴前的水压宜采用测压管在喷嘴前的管道上测量。

6.4.18 风机叶片的安装角度应按风机制造厂提供的产品说明书中规定的位置和方法及专用量角器进行测量。

6.4.19 大气逆温层的判定可采用下列方法。

- a) 测温仪表的分辨率不得大于 0.1℃，精度不低于 0.2 级。
- b) 测点可选择在冷却塔的上风向，距冷却塔进风口边缘 30m~50m，不受热辐射及其他热源干扰处。

- c) 在距地面 1.5m 高处设低位测点一处, 用绳索或氢气球将感温元件升高至 25m 以上高度设高位测点一处, 分别在两点测量大气的干球温度。
- d) 如果低位测点的大气温度低于高位测点, 或低位测点的气温虽高于高位测点, 但两者相差小于 0.15℃ (按温度变化梯度 0.65℃/100m 计), 则可视为大气有逆温现象。

6.5 测试数据处理

6.5.1 每一工况的各项参数均应取其在该工况历次测值的算术平均值作为该工况的代表值。

6.5.2 当选测项目中有出塔空气的干、湿球温度时, 可按公式 (4) 进行热平衡计算, 选取有效工况点。有效工况点的热平衡误差 $\Delta\varepsilon$ 的绝对值宜不大于 7%。

$$\Delta\varepsilon = \left[1 - \frac{G_a(h_2 - h_1)}{c_w Q_i(t_1 - t_2)} \right] \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$\Delta\varepsilon$ ——热平衡误差, %;

G_a ——进塔干空气量, kg (DA) /h, (DA 表示干空气, 下同);

h_1 ——进塔湿空气比焓, kJ/kg (DA);

h_2 ——出塔湿空气比焓, kJ/kg (DA);

c_w ——水的比热容, kJ/(kg · °C);

Q_i ——实测进塔水流量, kg/h;

t_1 ——进塔水温, °C;

t_2 ——出塔水温, °C。

6.5.3 根据各有效工况点的测试数据, 宜按下列各式计算冷却数和容积散质系数。

6.5.3.1 逆流式冷却塔。

$$\Omega = \frac{K_a V}{Q_i} = \int_{t_2}^{t_1} \frac{c_w dt}{h'' - h} \quad (5)$$

式中:

Ω ——冷却数;

K_a ——容积散质系数, kg/(m³ · h);

V ——淋水填料的体积, m³;

h'' ——与水温相应的饱和空气比焓, kJ/kg (DA);

t ——水温, °C;

h ——湿空气比焓, kJ/kg (DA)。

公式 (5) 右侧可采用辛普森 (Simpson) 近似积分法或其他方法求解。当采用辛普森近似积分法求解时, 对水温 t_1 至 t_2 的积分域宜分为不少于 4 等份; 当水温差 $(t_1 - t_2) < 15^\circ\text{C}$ 时, 水温 t_1 至 t_2 的积分域也可分为 2 等份按公式 (6) 求解。

$$\Omega = \int_{t_2}^{t_1} \frac{c_w dt}{h'' - h} = \frac{c_w \Delta t}{6} \left(\frac{1}{h_2'' - h_1} + \frac{4}{h_m'' - h_m} + \frac{1}{h_1'' - h_2} \right) \quad (6)$$

$$h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

式中:

Δt ——冷却水温差, °C;

h_m ——进塔和出塔湿空气比焓的平均值, kJ/kg (DA);

h_1'' ——温度相当于进塔水温 t_1 的饱和空气比焓, kJ/kg (DA);

h_2'' ——温度相当于出塔水温 t_2 的饱和空气比焓, kJ/kg (DA);

h_m'' ——与进出塔平均水温 t_m 相应的饱和空气比焓, kJ/kg (DA)。

6.5.3.2 横流式冷却塔。

a) 圆形横流式冷却塔。

从圆形横流式冷却塔环形淋水填料中切取中心角为 θ 的填料单元, 水从上面淋下, 空气从周向进入。采用柱坐标系, 坐标原点为塔的中轴线与淋水填料顶面延长线的交点, z 向下为正, r 向外为正。

$$c_w q \frac{\partial t}{\partial z} = g_i \frac{r_1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = -K_a (h'' - h) \quad (7)$$

边界条件为 $r=r_1$, $h=h_1$; $z=0$, $t=t_1$ 。

式中:

r ——塔计算点半径, m;

r_1 ——塔进风口半径, m;

q ——淋水密度, kg/(m²·h);

g_i ——通风密度(塔进风口处空气平均质量风速), kg/(m²·h)。

b) 矩形横流式冷却塔。

从矩形横流式冷却塔切取一填料单元。水从上面淋下, 空气从进风口进入, 进风口在左边。采用直角坐标系, 坐标原点为淋水填料顶面与进风口的交点, z 向下为正, x 沿气流流向为正。

$$-c_w q \frac{\partial t}{\partial z} = g_i \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = K_a (h'' - h) \quad (8)$$

边界条件为 $z=0$, $t=t_1$; $x=0$, $h=h_1$ 。

公式(7)和公式(8)可采用解析法或差分法求解。

6.5.4 测试数据处理计算中, 其他参数宜按下列各式计算。

a) 湿空气的比焓。

$$h = c_d \theta + x(\gamma_0 + c_v \theta) \quad (9)$$

式中:

c_d ——干空气的比热容, 可取 $c_d=1.005$ kJ/(kg·°C);

c_v ——水蒸气的比热容, 可取 $c_v=1.846$ kJ/(kg·°C);

θ ——空气的干球温度, °C;

γ_0 ——水在 0°C 时的汽化热, 可取 $\gamma_0=2500$ kJ/kg;

x ——空气的含湿量, kg/kg (DA)。

b) 湿空气密度。

$$\rho = \frac{1}{T} (0.003483 p_A - 0.001316 \phi p_\theta'') \quad (10)$$

式中:

ρ ——湿空气密度, kg/m³;

ϕ ——空气的相对湿度, %;

p_A ——大气压力, Pa;

p_θ'' ——空气温度为 θ 时的饱和水蒸气压力, Pa;

T ——空气的开尔文温度, K。

c) 空气的含湿量。

$$X = 0.622 \frac{\phi p_\theta''}{p_A - \phi p_\theta''} \quad (11)$$

d) 饱和水蒸气压力。

$$\lg p'' = 5.005717 - 3.142305 \left(\frac{10^3}{T} - \frac{10^3}{373.116} \right) + 8.21 \lg \frac{373.16}{T} - 0.0024804(373.16 - T) \quad (12)$$

式中:

p'' ——饱和水蒸气压力, Pa;

T ——温度为 θ 或 t 时的开尔文温度, K。

e) 出塔空气比焓。

$$h_2 = h_1 + \frac{c_w \Delta t}{\lambda} \quad (13)$$

式中:

λ ——进入冷却塔的干空气和循环水的质量比 (又称气水比)。

f) 出塔空气干球温度。

$$\theta_2 = \theta_1 + (t_m - \theta_1) \frac{h_2 - h_1}{h_m'' - h_1} \quad (14)$$

式中:

θ_2 ——出塔空气干球温度, °C;

θ_1 ——进塔空气干球温度, °C;

t_m ——进、出塔水温的算术平均值, °C。

g) 空气的相对湿度。

$$\phi = \frac{p_\tau' - A p_\Lambda (\theta - \tau)}{p_\theta'} \quad (15)$$

式中:

p_τ' ——气温为湿球温度 τ 时的饱和蒸汽压力, Pa;

τ ——空气的湿球温度, °C;

A ——干湿表系数, 见表 4。

6.5.5 当出塔水温在塔的出水管 (沟) 中测定, 且塔的集水池内有补充水注入和排污水排出时, 应对实测的出塔水温 t_2' 进行修正, 并按公式 (16) 求出实际的出塔水温 t_2 。

$$t_2 = \frac{Q_1 t_2' + Q_{\text{pai}} t_{\text{pai}} - Q_{\text{bu}} t_{\text{bu}}}{Q_1 + Q_{\text{pai}} - Q_{\text{bu}}} \quad (16)$$

式中:

t_2 ——实际的出塔水温, °C;

t_2' ——在塔的出水管 (沟) 实测的出塔水温, °C;

Q_{pai} ——排污水流量, m³/h;

Q_{bu} ——补充水流量, m³/h;

t_{pai} ——排污水温度, °C;

t_{bu} ——补充水温度, °C。

6.5.6 当机械通风冷却塔的进塔空气流量不能按 6.4.8.2 的规定进行测量时, 也可根据实测的风机轴功率, 按下式计算进塔空气流量。

a) 计算进塔空气流量。

$$G_t = G_d \left(\frac{v_d}{v_t} \right) \left(\frac{N_t}{N_d} \right)^{1/3} \left(\frac{\rho_d}{\rho_t} \right)^{1/3} \quad (17)$$

式中:

G_t 、 G_d ——计算和设计进塔空气流量, kg (DA) /h;
 N_t 、 N_d ——实测和设计风机轴功率, kW;
 v_t 、 v_d ——实测和设计进塔空气比体积, m³/kg (DA);
 ρ_t 、 ρ_d ——实测和设计进塔湿空气密度, kg/m³。

b) 空气的比体积。

$$v = \frac{461.5T}{p_A}(0.622 + X) \quad (18)$$

式中:

v ——空气比体积, m³/kg (DA);

6.5.7 当在风机的吸入侧风筒中采用划分等面环的方法测定空气动力压计算进塔空气流量时, 测定断面的平均风速宜按式 (19) 计算:

$$v_t = \frac{1}{n}(\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \cdots + \sqrt{p_n}) \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\rho_t}} \quad (19)$$

式中:

v_t ——测定断面平均风速, m/s;

ρ_t ——测定断面的湿空气密度, kg/m³;

p_1 、 p_2 、 \cdots 、 p_n ——各测点动压, Pa;

n ——测点数。

6.5.8 当不能按 6.4.8.1 的规定测量自然通风冷却塔的进塔空气流量时, 可根据实测的各工况参数, 按满足冷却塔的抽力和阻力相等的条件, 计算进塔空气流量, 计算步骤如下。

- 根据设计工况参数计算进塔湿空气密度 ρ_{d1} , 出塔湿空气密度 ρ_{d2} , 进出塔湿空气平均密度 ρ_{dm} , 以及进出塔湿空气密度差 $\Delta\rho_d$ 。
- 根据实测工况参数计算进塔湿空气密度 ρ_{d1} , 并假定 4 组进塔空气量 G'_i 分别计算出 4 组出塔湿空气密度 ρ_{d2} , 进出塔湿空气平均密度 ρ_{tm} , 以及进出塔湿空气密度差 $\Delta\rho_i$ 。
- 按式 (20) 计算密度差 $\Delta\rho_c$ 。

$$\frac{\Delta\rho_c}{\Delta\rho_d} = \left[\frac{G'_i}{G_d} \right]^2 \left[\frac{\rho_{dm}}{\rho_{tm}} \right] \left[\frac{Q_t}{Q_d} \right]^{K_0} \quad (20)$$

式中:

$\Delta\rho_c$ ——满足阻力和抽力相等的进出塔湿空气密度差, kg/m³;

$\Delta\rho_d$ ——设计进出塔湿空气密度差, kg/m³;

G'_i ——假定进塔空气流量, kg (DA) /h;

G_d ——设计进塔湿空气流量, kg (DA) /h;

ρ_{dm} ——设计进塔湿空气平均密度, kg/m³;

ρ_{tm} ——测定参数及假定进塔空气流量下湿空气平均密度, kg/m³;

Q_d ——设计进塔水流量, kg/h;

K_0 ——由试验确定的系数, 当无实测资料时取 $K_0=0.4$ 。

假定 4 组进塔空气流量 G'_i 值, 计算出 4 组相应的湿空气密度差 $\Delta\rho_c$ 。

- 将假定的进塔空气流量 G'_i 和密度差 $\Delta\rho_i$, 点绘在以空气流量 G'_i 为横坐标, 密度差 $\Delta\rho$ 为纵坐标的方格纸上, 求得 $G'_i=f(\Delta\rho_i)$ 关系曲线, 如图 1 所示。将假定的进塔空气流量 G'_i 和密度差 $\Delta\rho_c$ 也点绘在该图上, 求得 $G'_i=f(\Delta\rho_c)$ 关系曲线, 两曲线相交于 0 点, 其相应的空气流量 G'_w 即为所求。

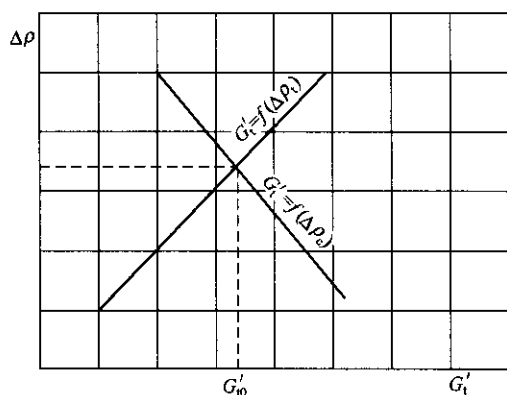


图1 空气量计算图

6.5.9 当在冷却塔的进水管道上划分等面环,利用皮托管测量进水流量时,宜按下列各式计算冷却塔的进水流量。

a) 冷却塔的实测进水流量。

$$Q_t = 3600 \frac{\pi}{4} D^2 \rho_w v_w = 900 \rho_w \pi D^2 v_w \quad (21)$$

式中:

Q_t ——实测进塔水流量, kg/h;

D ——管道的平均内直径, m;

v_w ——管道内水的平均流速, m/s;

ρ_w ——水的密度, kg/m³。

b) 管道内水的平均流速。

$$v_w = K_v \sqrt{\frac{2p_{w0}}{\rho_w}} \quad (22)$$

式中:

K_v ——管道内流速分布系数;

p_{w0} ——管道中心点处动压, Pa。

c) 管道内流速分布系数。

$$K_v = \frac{\sqrt{p_{w1}} + \sqrt{p_{w2}} + \cdots + \sqrt{p_{wn}}}{n\sqrt{p_{w0}}} \quad (23)$$

式中:

n ——管道内的测点数;

p_{w1} 、 p_{w2} 、 \cdots 、 p_{wn} ——各测点动压, Pa。

6.5.10 冷却塔测试时,当进塔水温 t_{t1} 与该塔设计水温 t_{d1} 不相等,且差值大于 2℃ 时,应将测定的特性数进行水温修正后再作评价计算,修正计算按公式 (24) 进行:

$$\Omega'_{tx} = \Omega'_t \left[\frac{t_{d1}}{t_{t1}} \right]^{-P_0} \quad (24)$$

式中:

Ω'_{tx} ——修正后特性数;

Ω'_t ——实测特性数;

t_{d1} ——设计进塔水温, ℃;

t_{i1} ——实测进塔水温, °C;

P_0 ——系数, 根据有关淋水填料实测值选用, 无资料时取 $P_0=0.4\sim 0.45$ 。

6.5.11 冷却塔进水压力按公式 (25) 计算:

$$P_w = P_j + P_d + P_z \quad (25)$$

式中:

P_w ——进水压力, kPa;

P_j ——冷却塔进水管测点或折算到该点的静压值, kPa;

P_d ——测点动压值, kPa;

P_z ——从测点到集水池上缘垂直距离所产生的压力, kPa。

6.5.12 当测试的有效工况点组数较多时, 全部有效工况点的冷却数和容积散质系数的数据宜按最小二乘法或其他统计方法整理成公式 (26) 和公式 (27), 即

$$\Omega = A_0 \lambda^m \quad (26)$$

$$K_a = B_0 g_i^{m'} q^n \quad (27)$$

式中:

A_0 、 B_0 ——试验常数;

m 、 n 、 m' ——试验指数。

6.5.13 冷却塔的总阻力数据的整理应符合下列规定。

a) 实测的各有效工况点的总阻力数据可整理为式 (28) 所示的关系式:

$$h_z = f(q, v_0) \quad (28)$$

式中:

h_z ——总阻力, Pa;

v_0 ——淋水填料断面的计算风速, m/s。

b) 自然通风冷却塔的总阻力系数可按式 (29) 计算:

$$\xi = \frac{4gH_0(\rho_1 - \rho_2)}{(\rho_1 + \rho_2)v_0^2} \quad (29)$$

式中:

ξ ——总阻力系数;

H_0 ——塔的有效抽风高度, 采用淋水填料中部至塔顶的距离, m;

ρ_1 ——进塔湿空气密度, kg/m³;

ρ_2 ——出塔湿空气密度, kg/m³。

6.6 测试结果评价

6.6.1 冷却塔考核试验的评价宜采用下列方法。

6.6.1.1 冷却水量对比法。

a) 根据实测工况参数, 求出修正到设计工况条件下的气水比 λ_c 和冷却水量 Q_c , 再与设计水量 Q_d 相比, 评价指标按式 (30) 计算:

$$\eta_{sQ} = \frac{G_t}{Q_d \lambda_c} = \frac{Q_c}{Q_d} \times 100\% \quad (30)$$

式中:

η_{sQ} ——以冷却水量评价的冷却能力, %;

G_t ——实测进塔空气流量, kg (DA) /h;

Q_d ——设计冷却水流量, kg/h;

λ_c ——修正到设计工况下的气水比；

Q_c ——修正到设计工况下进塔水流量，kg/h。

b) 当设计或制造单位提供设计工况参数及该塔的热力性能曲线或公式时，修正气水比 λ_c 的计算步骤如下。

- 1) 根据实测进塔水流量 Q_t 和进塔空气流量 G_t 求实测气水比 λ_t ；
- 2) 根据气水比 λ_t 和实测工况参数计算实测工况的特性数 Ω'_t ；
- 3) 将气水比 λ_t 和特性数 Ω'_t 点绘在修正气水比计算图上求得 b 点，如图2所示，图中 I 为该塔设计热力性能曲线， II 为冷却塔的工作特性曲线；
- 4) 过 b 点引热力性能曲线 I 的平行线 III ，与工作特性曲线 II 相交于 c 点，其相应的气水比 λ_c 即为所求。

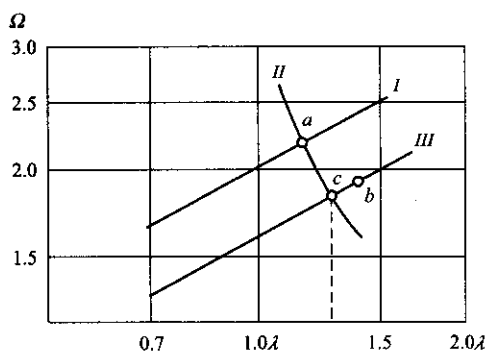


图2 修正气水比计算图（一）

c) 当设计制造单位仅提供设计工况参数，而未提供塔的热力性能曲线或公式时，修正气水比 λ_c 的计算步骤如下。

- 1) 取两组不同工况参数分别求出气水比 λ_t 和特性数 Ω'_t ；
- 2) 将求得两组的气水比 λ_t 和特性数 Ω'_t 分别点绘在修正气水比计算图上，得 b_1 和 b_2 两点，如图3所示；

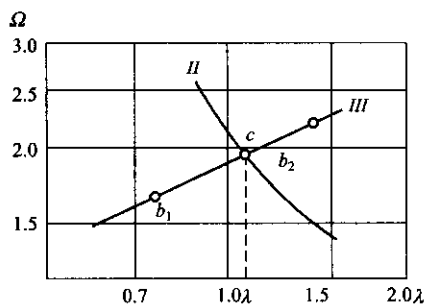


图3 修正气水比计算图（二）

- 3) 连接 b_1 和 b_2 点得直线 III ，直线 III 与工作特性曲线 II 相交于 c 点，其相应的气水比 λ_c 即为所求。

6.6.1.2 冷却水温对比法。

a) 根据实测工况参数，按设计或制造单位提供冷却塔的热力性能曲线或公式，计算出实测参数下冷却水温差 Δt_d 与该工况下的实测冷却水温差 Δt_t 之比，并按式(31)计算评价指标。

$$\eta_{st} = \frac{\Delta t_t}{\Delta t_d} \times 100\% \quad (31)$$

式中：

η_{st} ——以冷却水温评价的冷却能力，%；

Δt_t ——实测冷却水温差，℃；

Δt_d ——计算水温差，℃。

b) 按该方法评价时，设计或制造单位必须提供该塔的热力性能曲线或公式。

c) 水温差 Δt_d 的计算步骤如下。

- 1) 假定出塔水温 t_2 ，根据实测工况参数大气压 p_t ，空气干湿球温度 θ_t 、 τ_t ，进塔水流量 Q_t 、进塔水温 t_{t1} ，及进塔空气流量 G_t ，计算相应的冷却数 Ω ，共假定3组出塔水温 t_2 ，计算出3组相应的冷却数 Ω 值；
- 2) 将上述假定3组出塔水温 t_2 和相应的冷却数 Ω ，点绘在以水温 t_2 为横坐标，冷却数 Ω 为纵坐标的方格纸上，并给出 $\Omega=f(t_2)$ ；
- 3) 关系曲线如图4所示；

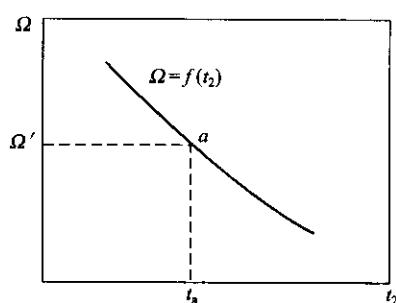


图4 出塔水温计算图

- 4) 根据该塔设计时采用的热力性能曲线或公式，由实测气水比 λ_t 求得相应的特性数 Ω' ，并在图4上由特性数 Ω' 引水温坐标的平行线，与图中 $\Omega=f(t_2)$ 曲线相交于 a 点，其水温为 t_a ，则该水温 t_a 与进塔水温 t_{t1} 之差，即为计算水温差 Δt_d 。

6.6.2 根据测试结果对被测冷却塔冷却能力的评价应执行下列规定。

- a) 当塔的实测冷却能力达到95%及以上时，应视为达到设计要求；当达到105%以上时，应视为超过设计要求。
- b) 当塔的实测冷却能力达不到95%时，应分析原因，并会同有关各方提出改进意见及措施，改进后的冷却塔可再进行一次测试。如果测试再达不到要求时，则视为该冷却塔未达到设计要求。

7 噪声测试

7.1 测试条件

7.1.1 测试冷却塔的噪声时，环境气象条件应符合下列规定。

- a) 测试应在无雨、无雪的气候中进行。
- b) 每次测试期间阵风风速不应大于5.5m/s。当风速超过5.5m/s时，应停止测试。
- c) 环境温度应在拾音器的允许范围之内。
- d) 测试时间分为昼、夜两部分。昼间和夜间的时间按所在地人民政府划定的时间计算，当地政府对昼、夜时间无划定时，可按白天在9~15点之间，夜间在23~3点之间进行测试。

7.1.2 噪声测试应在冷却塔的设计水量和机械通风冷却塔风机的设计参数下进行。噪声测试开始和测试过程中，冷却水量和风机轴功率与设计值的偏离不应大于10%。

7.1.3 测试冷却塔的噪声时，背景噪声的声级值应比冷却塔噪声的声级值低10dB(A)以上，若所测得的冷却塔噪声的声级值与背景噪声的声级相差不足10dB(A)时，应按表6进行修正。当差值小于2dB(A)时，冷却塔的噪声可不测定。

表 6 噪声修正值

差值 dB (A)	3	4~6	7~9
修正值 dB (A)	-3	-2	-1

7.2 测试项目

在进行冷却塔噪声测试时，应测试下列各项参数。

- a) 环境气温和风速；
- b) 机械通风冷却塔的风机轴功率；
- c) 冷却塔的进水量；
- d) 冷却塔停止运行时的环境背景噪声；
- e) 冷却塔运行时的噪声。

7.3 测试仪表和方法

7.3.1 环境气温和风速的测量应符合 6.4.1 和 6.4.2 的规定。

7.3.2 冷却塔进塔水流量的测量应符合 6.4.5 的规定。

7.3.3 机械通风冷却塔风机轴功率的测量应符合 6.4.15 的规定。

7.3.4 噪声测试应采用精度为Ⅱ级及以上的精密声级计或环境噪声自动监测仪，其性能应符合 GB/T 3785 的规定。测试前、后，应对仪器进行校准，灵敏度相差不得大于 0.5dB (A)，否则测量无效。测试时，传声器应加风罩。

7.3.5 测点位置应符合下列规定。

7.3.5.1 声源测点。

- a) 自然通风冷却塔应沿进风口周围均匀布置采样点不少于 4 排。每排采样点应位于进风口外，距集水池上缘内壁或进风口百叶窗外沿的水平距离为 1.0m，沿进风口高的 1/4 和 3/4 处各布置测点 1 个。
- b) 机械通风冷却塔的噪声测试应符合 GB/T 7190.1 和 GB/T 7190.2 的有关规定。

7.3.5.2 厂界冷却塔噪声测点位置的选择应按 GB/T 12349 执行。

7.3.6 噪声测试采用采样测量，采样方式应按 GB/T 12349 执行。

7.3.7 噪声测试的采样时间每次为 1min，每 30min 采样一次。昼、夜采样均不应少于 3 次。

7.4 测试数据处理

7.4.1 将每个测点的昼或夜采样数据分别汇总，并按公式 (32) 计算该测点的昼或夜等效连续 A 声级，即

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right) \tag{32}$$

式中：

L_{eq} ——等效连续 A 声级，dB (A)；

n ——采样总数；

L_i ——第 i 次采样读值的 A 声级，dB (A)。

7.4.2 冷却塔声源测点的噪声值应汇总各采样点噪声值，并按公式 (32) 计算出声源点的噪声代表值。

7.4.3 厂界冷却塔噪声测点的噪声值应按选定的实测点噪声值计算。

7.5 测试结果评价

冷却塔噪声测试结果的评价应符合下列规定。

- a) 声源测点噪声实测值大于被测冷却塔对应点的设计噪声值时, 该冷却塔的噪声应视为未达到设计要求;
- b) 厂界冷却塔噪声的实测值应按 GB 12348 进行评价;
- c) 当厂界测点的采样点选择在紧邻厂界的居民室中央时, 评价标准应按 GB/T 12349 执行。

8 飘滴损失水量测试

8.1 测试条件

8.1.1 测试冷却塔的飘滴损失水量时, 环境气温应在 0℃ 以上, 测试过程中没有任何自然降水, 取样区内没有明显的水汽凝聚, 环境风速应符合 6.1.1c) 的规定。

8.1.2 循环水的水质除应符合 6.1.2 规定外, 在进行飘滴损失水量测试之前的 3~5 天内和测试过程中, 不应向循环水内添加表面活性剂和分散剂。

8.1.3 在测试冷却塔的飘滴损失水量时, 冷却塔的各项主要参数允许偏离设计值的范围应符合表 1 的规定。

8.1.4 在每一工况的飘滴损失水量测试过程中, 各项主要参数的测量值与该工况各次测量值的算术平均值的允许变化范围应符合 6.3.2 的规定。

8.1.5 在测试冷却塔的飘滴损失水量前, 应按 5.4~5.8 的要求, 做好测试前的准备工作。

8.2 测试项目

8.2.1 测试冷却塔的飘滴损失水量时, 还必须测试下列各项参数。

- a) 环境气象参数 (包括空气干、湿球温度, 大气压力, 风速和风向);
- b) 进塔空气干、湿球温度;
- c) 进塔水流量;
- d) 进、出塔水温;
- e) 进塔空气流量。

8.3 测试仪表和方法

8.3.1 环境气象参数, 进塔空气干、湿球温度, 进塔水流量, 进、出塔水温, 进塔空气流量等参数的测量应按 6.4.1~6.4.8 规定执行。

8.3.2 采用滤纸吸湿法测试冷却塔飘滴损失水量的仪表和设施应符合下列规定。

- a) 采用直径为 11cm~15cm 的圆形滤纸;
- b) 用于称量滤纸质量的天平为分辨率 0.1mg 的分析天平;
- c) 用于密封吸湿滤纸的塑料袋为自锁型塑料袋或称量器;
- d) 在塔内用于固定吸湿滤纸的支架夹子, 当夹紧滤纸时, 夹子在滤纸迎风面上的挡风面积应小于 4.75cm^2 (相当于直径 11cm 滤纸面积的 5%)。

8.3.3 采用滤纸吸湿称重法测试冷却塔的飘滴损失水量时, 宜按以下步骤执行。

- a) 将直径 11cm 或 15cm 的圆形干燥滤纸按测点数目和顺序分别编号并放在密封塑料袋或称量器中称量。
- b) 将滤纸从塑料袋或称量器中取出并迅速固定在支架上。然后将支架水平方向送入测点, 使滤纸平面与测点处空气流动方向垂直, 视飘滴量情况停留 1min~5min, 然后将吸湿滤纸从支架上取出迅速装入密封的塑料袋或称量器中。
- c) 将放吸湿滤纸后的塑料袋或称量器用分析天平称量。吸湿前后称量值之差即为该片滤纸所测测点控制面积内的飘滴损失水量。根据全部测试滤纸的吸湿量之和、测试断面的面积以及滤纸在测点的停留时间可计算出全塔的飘滴损失水量。

8.3.4 滤纸吸湿测点的布置应符合下列规定。

- a) 机械通风冷却塔宜布置在风筒出口, 自然通风冷却塔宜布置在除水器上部。
- b) 将测试断面按表 7 的规定划分若干个等面积环, 沿相互垂直的两条直径上布置测点。

表 7 等面积环划分数

风机直径 m	≤4.7	6.0	7.0	8.0	8.53	9.14	>9.14
等面积环数	4	5	6	7	8	9	10
自然塔淋水面积 m ²	≤1000	2000	3000	4000	5000	7000	≥8000
等面积环数	8	12	15	18	20	23	25

8.3.5 每一工况的测试应不少于 2 次，并以各次测值的算术平均值作为该工况的飘滴损失水量代表值。

8.4 测试数据处理

8.4.1 根据各测点滤纸吸湿量宜按式 (33) 和式 (34) 计算冷却塔的飘滴损失水量，即

$$\Delta Q_w = \frac{\Delta q F}{f t} \times 60 \times 10^{-6} \tag{33}$$

$$\Delta q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_{2i} - M_{1i}) \tag{34}$$

式中：

- ΔQ_w ——飘滴损失水量，m³/h；
- Δq ——滤纸吸收的飘滴量，g/min；
- f ——滤纸面积，可取 m²；
- t ——滤纸的停留时间，min；
- F ——测试断面的面积，m²；
- n ——测点数；
- i ——测点编号；

M_{1i} 、 M_{2i} ——第 i 号测点滤纸测试前后称量的质量，g。

8.4.2 冷却塔的飘滴损失水率 W_{pd} 宜按式 (35) 计算：

$$W_{pd} = \frac{\Delta Q_w}{Q_t} \times 100\% \tag{35}$$

9 测试报告

冷却塔测试完成后，应由测试单位编写测试报告，测试报告应包括下列内容。

- a) 测试任务、测试目的和要求。
- b) 冷却塔的设计、施工及运行管理概况，被测试冷却塔的平、断面图及各测试项目测点的位置图。
- c) 测试项目、测试方法、测点布置、使用的仪器、仪表名称、规格和精度。
- d) 试验范围及测试工况。
- e) 测试数据处理方法及测试数据汇总。
- f) 测试结果，对测试结果的评价及分析。
- g) 存在问题及建议。
- h) 根据合同及业主要求，需要特殊说明的问题。
- i) 参加测试的单位及人员名单。