



**CECS 118:2000**

---

中国工程建设标准化协会标准

# 冷却塔验收测试规程

**specification for acceptance test of water-cooling tower**

**2 0 0 0**

北京

中国工程建设标准化协会标准

冷却塔验收测试规程

specification for acceptance test of water-cooling tower

**CECS 118:2000**

主编单位:西安建筑科技大学

批准单位:中国工程建设标准化协会

施行日期:2000年12月1日

2000 北 京

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会(92)建标协字第 14 号《关于下达推荐性工程建设标准规范计划的通知》的要求,制订本规程。

现批准协会标准《冷却塔验收测试规程》,编号为 **CECS 118:2000**,推荐给工程建设设计、制造及施工单位采用。本规程由中国工程建设标准化协会工业给水排水委员会归口管理,由西安建筑科技大学(西安市雁塔路 13 号,邮编 710055)负责解释。在使用中如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

**主 编 单 位:**西安建筑科技大学

**参 编 单 位:**国家电力公司东北电力设计院

国家电力公司热工研究院

机械工业部第四设计研究院

**主要起草人:**王大哲、李志悌、史佑吉、傅敬远

中国工程建设标准化协会

2000 年 9 月 20 日

# 目 次

1	总则 .....	(1)
2	术语、符号.....	(2)
2.1	术语 .....	(2)
2.2	符号 .....	(3)
3	测试前准备 .....	(6)
4	测试大纲 .....	(8)
5	测试条件和要求 .....	(9)
6	测试仪表和测量方法.....	(13)
6.1	环境风速和风向测量 .....	(13)
6.2	环境空气干湿球温度测量 .....	(13)
6.3	大气压测量 .....	(13)
6.4	进塔空气干湿球温度测量 .....	(14)
6.5	进塔水流量测量 .....	(15)
6.6	进塔水温测量 .....	(16)
6.7	出塔水温测量 .....	(16)
6.8	进塔空气流量测量 .....	(17)
6.9	补充和排污水流量和水温测量 .....	(18)
6.10	出塔空气干湿球温度测量 .....	(19)
6.11	淋水密度及冷却后水温分布测量 .....	(19)
6.12	塔内风速分布测量 .....	(19)
6.13	塔内各部分阻力及风机全压测量 .....	(20)
6.14	风机轴功率测量 .....	(20)
6.15	其它参数测量 .....	(20)
7	测试数据处理 .....	(22)
8	测试结果评价 .....	(29)

8.1	冷却水量对比法 .....	(29)
8.2	冷却水温对比法 .....	(30)
8.3	冷却能力评价 .....	(32)
9	小型玻璃钢冷却塔测试及评价 .....	(33)
10	测试报告 .....	(35)
附录 A	冷却数近似计算公式 .....	(36)
附录 B	$\Delta t \sim \tau$ 关系曲线 .....	(41)
附录 C	冷却塔评价计算例题 .....	(42)
附录 D	噪声测试 .....	(53)
附录 E	飘滴损失水量测试 .....	(55)
附录 F	冷却塔验收测试常用仪表 .....	(56)
	本规程用词说明 .....	(57)

# 1 总 则

**1.0.1** 本规程为循环水冷却塔热力性能验收测试、噪声测试和飘滴损失水量测试提供统一的程序,各项参数的测量方法及测试数据的处理方法。

**1.0.2** 本规程适用于湿式冷却塔安装现场的验收测试,不适用于干式冷却塔、干湿式冷却塔及喷射式冷却塔的验收测试。非验收性质的冷却塔测试可参照本规程执行。

**1.0.3** 除本规程规定的冷却塔验收测试内容外,冷却塔验收的其他内容应按现行相关标准的规定执行。

**1.0.4** 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,并具有资格的独立单位承担。测试单位应与冷却塔的设计、制造及运行管理单位无隶属关系。冷却塔测试时,设计、制造和运行管理单位应派人参加。

**1.0.5** 验收测试应按以下步骤进行:

- 1 编写测试工作大纲;
- 2 作好测试前各项准备工作;
- 3 现场测试;
- 4 对测试数据进行处理分析计算;
- 5 编写验收测试报告。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 湿式冷却塔 wet cooling tower

水和空气直接接触,同时进行热、质交换的冷却塔。

#### 2.1.2 冷却塔群 group of cooling towers

由多个机械通风冷却塔单列或多列布置而成的群或组。

#### 2.1.3 冷却塔格 cell of cooling tower

冷却塔群中的一个独立单元。具有单独的配水系统和风机,可以单独工作。

#### 2.1.4 冷却塔热力性能曲线 thermal performance

冷却塔散热性能特性数  $\Omega'$  与气水比  $\lambda$  的关系曲线 [ $\Omega' = f(\lambda)$ ]。在双对数坐标纸上为一直线。

#### 2.1.5 冷却塔工作特性曲线 performance curve

在设计气象参数和进出塔水温一定的条件下,由不同气水比  $\lambda$  计算出的冷却数  $\Omega$  和气水比  $\lambda$  的关系曲线 [ $\Omega = f(\lambda)$ ]。在双对数坐标纸上为一曲线。

#### 2.1.6 气水比 air/water ratio

指进塔干空气质量流量  $G$  与进塔冷却水质量流量  $Q$  之比,即  $\lambda = G/Q$ 。

#### 2.1.7 淋水密度 water demching density

在单位淋水填料横断面积上冷却水的流量。

#### 2.1.8 冷却能力 cooling capacity

冷却塔的散热量。设计冷却能力是指在设计工况条件下塔的散热量;测试冷却能力是指在测试工况条件下塔的散热量;实测冷却能力是指将实测进塔气象参数和进出塔水温,或进塔水温和水

量修正到与设计工况相同时塔的散热量。

### 2.1.9 冷却塔评价指标 **assessment index of a cooling tower**

实测冷却能力与设计冷却能力之比。以符号  $\eta_Q$  或  $\eta_m$  表示。

### 2.1.10 环境空气干湿球温度 **ambient dry-wet bulb temperature**

在冷却塔上风向且不受出塔空气回流影响条件下测得的空气干湿球温度。

### 2.1.11 进塔空气干湿球温度 **inlet air dry-wet bulb temperature**

包括湿空气回流和外部干扰影响在冷却塔进风口测得的空气干湿球温度。

### 2.1.12 飘滴损失水量 **drift loss**

在冷却塔风筒出口处以水滴形式被空气带走的水量。不包括冷却塔进风口处溅出的水滴量。

### 2.1.13 进塔水压 **tower pumping head**

进塔水管中心线处的总压力。包括静压、动压和以集水池上缘为基准面的位置压力。

### 2.1.14 风机轴功率 **fan driver output power**

作用在风机叶片传动轴上的功率。不包括传动部分消耗的功率。

## 2.2 符号

$Q$ ——进塔水流量

$t$ ——水温

$\Delta t$ ——水温差

$Q_{\text{bo}}$ ——补充水流量

$t_{\text{bo}}$ ——补充水水温

$Q_{\text{po}}$ ——排污水流量

$t_{\text{po}}$ ——排污水水温

$\theta$ ——空气干球温度



$\tau$ ——空气湿球温度  
 $\phi$ ——空气相对湿度  
 $P$ ——大气压  
 $G$ ——进塔空气流量  
 $N$ ——风机轴功率  
 $P_w$ ——塔进水压力  
 $q$ ——淋水密度  
 $g$ ——单位面积空气质量流量  
 $\lambda$ ——气水比  
 $\Delta h$ ——焓差  
 $K_a$ ——以焓差为动力的容积散热系数  
 $X_d$ ——淋水填料深度  
 $Z_d$ ——淋水填料高度  
 $V_1$ ——淋水填料体积  
 $T_h$ ——出塔水温滞后测定时间  
 $V_w$ ——集水池水体积  
 $\rho_w$ ——水的密度  
 $\rho$ ——空气密度  
 $v_s$ ——空气比容  
 $C_w$ ——水的比热  
 $\Delta \epsilon$ ——热平衡误差  
 $h$ ——空气焓  
 $h''$ ——饱和空气焓  
 $x$ ——空气含湿量  
 $G_s$ ——干空气比热  
 $C_q$ ——水蒸汽比热  
 $\gamma_0$ ——温度  $0^\circ\text{C}$  时水的汽化热  
 $P''$ ——饱和空气水蒸汽分压力

$K$ ——蒸发水量带走热量系数

$Q$ ——冷却数

$Q'$ ——特性数

$\eta_Q$ ——水量对比法冷却塔评价指标

$\eta_m$ ——水温对比法冷却塔评价指标

$\delta_b''$ ——饱和空气焓修正值

$\Phi$ ——综合数

$Q_2$ ——蒸发水量

$P_f$ ——漂滴损失水量占循环水量的百分数

$\beta_w$ ——以含湿差为动力的容积散质系数

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，**t**—表示测定参数，**b**—表示标准工况，**m**—表示平均值，**(DA)**—表示干空气。

## 3 测试前准备

**3.0.1** 测试单位在测试前应到冷却塔安装现场调查,有条件时宜参加冷却塔施工结束时的工程验收工作。

**3.0.2** 试验塔一般由委托单位指定,但应征求测试单位意见。冷却塔群中的单格塔测试,应避免相邻格和周围环境对其产生的影响。

**3.0.3** 测试前应对冷却塔进行全面检查,并消除缺陷,包括下列内容:

1 配水系统应清洁、通畅、无杂物堵塞,无漏水和溢水现象,喷头应无脱落、损坏且喷溅正常。

2 淋水填料应无缺损、无变形,填料表面不应有藻类、油污及其它杂物。

3 除水器不应有破损且表面清洁,不应有阻碍空气正常流动的杂物、油污及其它沉积物。

4 进塔水管上的控制阀门、冷却塔之间联络管阀门应启闭灵活,关闭严密。

5 冷却塔集水池水位应处于正常运行水位或测试要求水位。

**3.0.4** 循环水水质化验结果应符合本规程第 5.0.3 条的规定。

**3.0.5** 测试现场应进行下列准备工作:

1 确定各测试项目的测点位置;

2 搭设测试平台和气象亭;

3 架设临时电源;

4 加工及安装测试装置;

5 清理妨碍冷却塔正常运行和测试工作的杂物。

**3.0.6** 测试使用的仪表应按仪表使用说明书要求进行校验,并附有校验合格证书和校正曲线。

**3.0.7** 准备测试数据记录表格,仪器放置台架,以及塔上下的通讯联络工具。

**3.0.8** 测试准备工作完成后,参加测试人员应熟悉测试仪表,根据需要可进行预测试。

## 4 测试大纲

**4.0.1** 冷却塔测试前测试单位应编制测试大纲,并征得委托单位同意。测试大纲应包括下列内容:

- 1 测试目的和要求;
- 2 测试塔概况,循环水场平面图,冷却塔平、剖面图,冷却塔设计参数及性能曲线,冷却塔运行及循环水水质化验报告等资料;
- 3 测试内容及工况;
- 4 测定项目,测点布置,测试方法与使用仪表,以及需加工制作的设备;
- 5 资料处理及评价方法;
- 6 委托单位现场测试配合事项;
- 7 测试人员组成及分工;
- 8 测试工作进度计划;
- 9 安全操作注意事项及应采取的措施。

## 5 测试条件和要求

**5.0.1** 冷却塔验收测试应在冷却塔建成,或改造完工投入运行后一年内进行。

**5.0.2** 验收测试时环境气象条件应符合下列规定:

- 1 测试宜在气温较高季节、无雨天进行;
- 2 自然通风冷却塔不宜在雨后立即测试,测定开始时间应在雨停后 1h 以上;
- 3 机械通风冷却塔测试时,环境平均风速不得大于 4.0 m/s,阵风每分钟平均风速不得大于 6.0 m/s;
- 4 自然通风冷却塔测试时,环境平均风速不得大于 3.0 m/s,阵风每分钟平均风速不得大于 5.0 m/s。从风筒排出的雾气团,目测宜充满风筒出口;
- 5 自然通风冷却塔不应在大气温度存在逆温层条件下进行测试,必要时可按本规程第 6.15.1 条判定逆温层是否存在。

**5.0.3** 循环水水质应符合下列规定:

- 1 总溶解固体不超过 5000 mg/L;
- 2 油、焦油或其它油脂性物质不超过 10 mg/L;
- 3 循环水水质不符合要求时,应考虑水质对散热效果的影响。

**5.0.4** 验收时必须测试下列参数:

- 1 环境气象参数,包括空气干湿球温度、大气压及风速、风向;
- 2 进塔水流量;
- 3 进出塔水温;
- 4 进塔空气流量;
- 5 进塔空气干湿球温度;

- 6 补充水流量、水温；
- 7 排污水流量、水温；
- 8 风机轴功率。

**5.0.5** 进塔空气流量为验收测试必须确定的参数，确定方法如下：

1 自然通风冷却塔，进塔空气流量宜根据测定进塔水流量，进出塔水温及进塔气象参数用计算方法确定，如委托单位要求也可以直接测定；

2 机械通风冷却塔，进塔空气流量宜采用直接测定方法。当设计单位给出设计风机轴功率，且委托单位同意，进塔空气流量也可根据测定风机轴功率，以及设计进塔空气流量由计算确定。

**5.0.6** 验收测试时，如果补充水或排污影响冷却后水温测定，应停止向集水池补充水和排污。否则应测定补充水和排污水流量及水温。

**5.0.7** 验收测试可选测下列参数：

- 1 出塔空气干湿球温度；
- 2 塔内各部分阻力及风机全压；
- 3 进塔水压力；
- 4 塔内风速分布；
- 5 淋水密度及冷却后水温分布；
- 6 配水池或水槽水深。

**5.0.8** 测量参数值允许偏离设计值的范围如表 5.0.8 所示。当进塔水温偏离设计值较大，水温差达不到要求，评价时应计算进塔水温对散热性能的影响。

表 5.0.8 参数值允许偏离设计值范围

参数名称	允许偏离设计值
进塔湿球温度 $t_1$	+5℃ -10℃
进塔水流量 $Q$	±10%
进出塔水温差 $\Delta t$	±20%

**5.0.9** 工况调整到测试参数后,需稳定运行一段时间再进行测定,单格机械通风冷却塔稳定时间不宜小于**30 min**,机械通风冷却塔群和自然通风冷却塔稳定时间不宜小于**1 h**。

**5.0.10** 测定过程中每一工况参数的每次测定值,对该工况参数的起始值允许变化范围如表**5.0.10**所示。

**表 5.0.10 测定参数允许变化值范围**

参数名称	允许变化值
进塔湿球温度 $t_1$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
进塔水温 $t_2$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
进塔水流量 $Q$	$\pm 5\%$

**5.0.11** 每一工况测定延续时间不得少于**1 h**。参数测定次数和时间间隔不得少于表**5.0.11-1**和表**5.0.11-2**的规定值。

**表 5.0.11-1 必测参数测定次数及间隔**

序号	参 数 名 称	次数(次)	间隔(min)
1	环境风速、风向	6	10
2	大气压及环境空气干湿球温度	6	10
3	进塔水流量	6	10
4	进塔水温	6	10
5	出塔水温	2~6	10~30
6	进塔空气流量	1~2	
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	2	30

注:当采用集水容器测水温时,由于布点多,测定**6**次有困难时,可不少于**2**次。



表 5.0.11-2 选测参数测定次数及间隔

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

**5.0.12** 每一工况各项参数应同时进行测定。当出现规程中第 6.7.2 条第 4 款情况时,出塔水温测定时间按该条规定进行。

**5.0.13** 冷却塔验收测试有效工况不宜少于 3 组。由改变进塔水流量来调整工况时,流量变化不宜大于设计进塔水流量的 $\pm 10\%$ 。

**5.0.14** 原始测定数据宜经委托单位参加测试的代表确认并签字。

## 6 测试仪表和测量方法

### 6.1 环境风速和风向测量

**6.1.1** 测量仪表宜采用带风向标的旋杯式风速风向计或带连续记录的风速风向计。

**6.1.2** 测点布置在冷却塔的上风向,距塔约 30~50 m 处的开阔地带。

**6.1.3** 风速风向计的测点高度在地面上 1.5~2.0 m 处。

### 6.2 环境空气干湿球温度测量

**6.2.1** 测量仪表宜选用机械通风干湿表,或精度不低于该表的其它测温仪表,表的最小刻度值不得大于 0.2℃,精度不低于 0.5 级。

**6.2.2** 机械通风冷却塔仪表安装宜在距地面 1.5~2.0 m 处;自然通风冷却塔仪表宜安装在进风口高度的 1/2 处。

**6.2.3** 仪表设在气象亭内,避免阳光直接照射以及其它强辐射源照射。仪表操作应按使用说明书要求进行。

**6.2.4** 机械通风冷却塔可布置一处测点,距塔 30~50 m;自然通风冷却塔,根据塔的尺寸大小宜布置 2~6 处测点,测点布置在距塔外沿 15~30m 的圆周上,且圆心角相等。

### 6.3 大气压力测量

**6.3.1** 大气压力测量宜采用空盒式或水银式大气压力表。

**6.3.2** 测量仪表宜放在气象亭内。

## 6.4 进塔空气干湿球温度测量

**6.4.1** 自然通风冷却塔宜采用环境空气干湿球温度测定值。

**6.4.2** 机械通风冷却塔,除应按本规程第 6.2.1、6.2.3 条的规定进行外,尚应符合下列规定:

### 1 单格逆流式冷却塔:

1) 测点布置不应少于 2 处,矩形冷却塔单侧进风时,测点布置在进风口宽度的  $1/4$  及  $3/4$  处;双侧进风时,测点布置在两侧进风口宽度的  $1/2$  处;圆形塔周边进风时,测点可对称布置。

2) 测点在集水池上缘高 1.5 m 处,且与进风口距离在 2.0 m 之内。

### 2 单格横流式冷却塔:

1) 当进风口高度小于或等于 4m 时,测点应不小于 2 处,即每侧不少于 1 处,测点布置在进风口宽度  $1/2$ 、集水池上缘高 1.5 m 处,距进风口百叶窗在 2.0 m 之内。

2) 当进风口高度大于 4 m 时,测点不少于 4 处,即每侧不少于 2 处,测点布置在进风口宽度  $1/2$  处,进风口高度的  $1/4$  和  $3/4$  处,距进风口百叶窗在 2.0 m 之内。

### 3 冷却塔群:

1) 逆流式冷却塔群,测点布置高度及与进风口距离与单格塔相同,测点数量每侧不宜少于 3 处,每一测点负担进风口面积应相等。

2) 横流式冷却塔群,测点布置高度及与进风口距离与单格塔相同,进风口高度小于或等于 4 m 时,测点数量每侧不宜少于 3 处,进风口高度大于 4 m 时,测点数量每侧不宜少于 6 处,每一测点负担进风口面积应相等。

## 6.5 进塔水流量测量

**6.5.1** 进塔水流量宜在冷却塔进水管上测量。当在进水管上测

定有困难时,也可在冷却塔出水管或渠道中测量,但要考虑冷却过程损失水量。

**6.5.2** 在进水管测流量时宜采用皮托管、超声波流量计,以及安装在管道上的插入式涡轮流量计,电磁流量计或文丘里管等,测试精度不低于±2%。当进水管径小于 200 mm 时,也可采用孔板流量计。

**6.5.3** 在出水渠道中测流量时,宜采用堰或流速仪。

**6.5.4** 当流量较小时,可采用容积法或体积法测定。

**6.5.5** 测量仪表安装使用时,应严格按照仪器使用说明书要求进行,测点前后应有足够长的直段,在此直段上不得安装截流阀门。当测流直段无法满足要求时,测点可设在从进水侧算起直管段长的 2/3 处,但应考虑对测量精度带来的影响,应与委托单位协商决定。

**6.5.6** 采用皮托管测流量时应符合下列规定:

1 应在进水管测试断面上划分等面环,测点布置在该断面相互垂直的两条直径上。当管径小于 500 mm 时,测点可布置在一条直径上;

2 各等面环测点与管中心的距离按下式计算:

$$R_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2m}} \quad (6.5.6)$$

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小于表 6.5.6 的规定值。

表 6.5.6 等面环划分数

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

## 6.6 进塔水温测量

**6.6.1** 测温仪表宜采用水银温度计,或热电偶、热电阻温度计。仪表的最小分度值不大于**0.1℃**,精度不低于**0.2**级。

**6.6.2** 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。

**6.6.3** 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。

**6.6.4** 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。

**6.6.5** 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,则应视测温点位置不同,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℃**。

## 6.7 出塔水温测量

**6.7.1** 温度仪表应符合第**6.6.1**条规定。

**6.7.2** 单座冷却塔或冷却塔群测试时,水温可在出塔水管、渠道或水泵出口测定,并应符合下列规定:

1 在出水管测定时,可以装测温套管或将水接到容器中测定;

2 在出水渠道中测定时,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,应沿渠道宽度和深度方向增加测点;

3 在水泵出口测温时,应计入水泵能量损失引起的水温升高;

4 在冷却水落到集水池流到测温点时间大于**5 min**时,则温度测定时间要较其它参数测定时间推迟,推迟的时间按下式计算:

$$T_h = \frac{60 A_w V_w}{Q} \quad (6.7.2)$$

式中  $T_h$ ——推迟时间(min);  
 $\rho_w$ ——水的密度(kg/m<sup>3</sup>);  
 $V_w$ ——集水池中水的体积(m<sup>3</sup>);  
 $Q$ ——进塔水流量(kg/h)。

**6.7.3** 逆流式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:

1 设集水槽时,根据集水池面积大小,集水槽可布置4~14条,槽宽不宜大于300 mm,集水槽受水面积不宜小于集水池面积的15%;

2 设集水容器时,每个容器受水面积不宜小于0.05 m<sup>2</sup>,集水容器等间距布置,每一测点负担的淋水面积不宜大于4 m<sup>2</sup>。

**6.7.4** 横流式机械通风冷却塔群中的单格塔测温时,可设置集水槽或集水容器,水温在集水槽或集水容器中测定。

## 6.8 进塔空气流量测量

**6.8.1** 自然通风冷却塔进塔空气流量测量应符合下列规定:

1 测量仪表宜采用旋桨式风速仪或其它测量仪表;

2 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上不低于4.0 m处;

3 宜采用划分等面环的方法布置测点,视测试断面的尺寸大小划分10~20个等面环,测点布置在有代表性两条相互垂直的直径上。等面环上测点与塔中心距离按本规程公式(6.5.6)计算。

**6.8.2** 机械通风冷却塔进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 **0.4 m**;

**3** 测点布置采用等面环方法,每个等面环面积不宜大于 **3.0 m<sup>2</sup>**,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按下式计算:

$$R_n = \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{2m}(2n-1) + r^2} \quad (6.8.2)$$

式中  $r$ ——测试断面无效区半径(m)。

**4** 计算风量时应扣除无效区面积;

**5** 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 **1.0 m×1.0 m**。

**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环方法规定布置测点。

**6** 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 **0.5 m~0.8 m** 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。

## **6.9 补充水、排污水流量及水温测量**

**6.9.1** 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。

**6.9.2** 补充水和排污水流量测量应按照本规程第 **6.5** 节有关规定进行。

**6.9.3** 补充水和排污水温测量应按照本规程第 **6.6** 节有关规定进行。

## **6.10 出塔空气干湿球温度测量**

**6.10.1** 测量仪表宜采用遥测通风干湿表、热电阻温度计和水银温度计等测温仪表。温度计的最小读数值不应大于 **0.2℃**，仪表精度不应低于 **0.5** 级。

**6.10.2** 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%**。

**6.10.3** 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。

**6.10.4** 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。

**6.10.5** 宜按本规程第 **6.8.2** 条规定采用划分等面环方式布置测点。

**6.10.6** 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。

## **6.11 淋水密度及冷却后水温分布测量**

**6.11.1** 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。

**6.11.2** 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。

**6.11.3** 测温仪表按本规程第 **6.6.1** 条选用。

## **6.12 塔内风速分布测量**

**6.12.1** 自然通风冷却塔塔内风速分布宜和进塔空气流量合并测量，详见本规程第 **6.8.1** 条。



**6.12.2** 逆流式机械通风冷却塔塔内风速分布仅在不淋水时进入塔内测量,宜和不淋水时进塔空气量合并测量,详见本规程第6.8.2条。

### **6.13 塔内各部分阻力及风机全压测量**

**6.13.1** 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。

**6.13.2** 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,以及风机进风与风机出风口等位置。

**6.13.3** 笛形管宜由钢管、铝管或铜管制作,测压孔直径不宜小于5 mm,孔距宜在250 mm左右,测压孔总面积不宜大于笛形管断面积。

**6.13.4** 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条,且孔眼应正对气流方向。

**6.13.5** 为了避免淋水时水滴堵塞孔眼,可在孔眼上作防水帽。

### **6.14 风机轴功率测量**

**6.14.1** 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。

**6.14.2** 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。

### **6.15 其它参数测量**

**6.15.1** 大气逆温层判定,可采用遥测通风干湿表、热电偶或电阻温度计等测温仪表,在塔的上风向且不受热辐射及其它热源干扰处,用绳索、梯子或氢气球将感温元件升高到8~10 m高度进行测定。

**6.15.2** 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。

**6.15.3** 配水槽或配水池深,可用直尺直接测量。

## 7 测试数据处理

**7.0.1** 每一工况各项参数测定值,取该工况历次测定值的算术平均值作为该工况参数值。

**7.0.2** 出塔水温在水管或渠道中测定时,如果集水池有补充水和排污水,且补充水仅考虑排污水量和蒸发水量,则冷却后出塔水温按下式计算:

$$t_2 = \frac{Qt'_2 + Q_{ps} t_{ps} - Q_{bs} t_{bs}}{Q + Q_{ps} - Q_{bs}} \quad (7.0.2)$$

式中  $t_2$ ——出塔水温(℃);

$t'_2$ ——测点实测出塔水温(℃);

$t_{ps}$ ——排污水温度(℃);

$t_{bs}$ ——补充水温度(℃);

$Q$ ——进塔水流量(kg/h);

$Q_{ps}$ ——排污水流量(kg/h);

$Q_{bs}$ ——补充水流量(kg/h)。

**7.0.3** 当以测得出塔空气干湿球温度进行热平衡计算时,有效工况的热平衡误差不宜大于±7%,热平衡误差按下式计算:

$$\Delta\varepsilon = \left[ 1 - \frac{KG(h_2 - h_1)}{C_w Q(t_1 - t_2)} \right] \times 100\% \quad (7.0.3)$$

式中  $\Delta\varepsilon$ ——热平衡误差(%);

$G$ ——进塔空气流量[kg(DA)/h];

$h_1$ ——进塔空气焓[kg(DA)/h];

$h_2$ ——出塔空气焓[kg(DA)/h];

$C_w$ ——水的比热[kJ/(kg·℃)];

$K$ ——蒸发水量带走热量系数;

$t_1$ ——进塔水温(°C)。

**7.0.4** 进塔空气流量根据风机轴功率,按下式计算:

$$G_t = G_d \left[ \frac{v_d}{v_t} \right] \left[ \frac{N_t}{N_d} \right]^{1/3} \left[ \frac{\rho_t}{\rho_d} \right]^{1/3} \quad (7.0.4-1)$$

式中  $G_t$ 、 $G_d$ ——实测和设计进塔空气流量[ $\text{kg}(\text{DA})/\text{h}$ ];

$N_t$ 、 $N_d$ ——实测和设计风机轴功率(kW);

$v_t$ 、 $v_d$ ——实测和设计空气比容[ $\text{m}^3/\text{kg}(\text{DA})$ ];

$\rho_t$ 、 $\rho_d$ ——实测和设计空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

风机进风口处空气的比容  $v$  和密度  $\rho$  按下式计算:

$$v = \frac{0.4615T}{P} (0.622 + x) \quad (7.0.4-2)$$

式中  $v$ ——空气比容[ $\text{m}^3/\text{kg}(\text{DA})$ ];

$x$ ——空气含湿量[ $\text{kg}/\text{kg}(\text{DA})$ ];

$T$ ——空气绝对温度(K);

$P$ ——大气压(kPa)。

$$\rho = \frac{x+1}{v} \quad (7.0.4-3)$$

式中  $\rho$ ——空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

**7.0.5** 当在风机吸入侧的风筒中,由划分等面环方法测定空气动压求风量时,测定断面的平均风速按下式计算:

$$V_t = \frac{1}{n} (\sqrt{P_{d1}} + \sqrt{P_{d2}} + \dots + \sqrt{P_{dn}}) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (7.0.5)$$

式中  $V_t$ ——测定断面的平均风速(m/s);

$\rho$ ——测定断面空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$P_{d1}$ 、 $P_{d2}$ 、……、 $P_{dn}$ ——分别为各测点动压(Pa)。

**7.0.6** 由测定工况参数计算自然通风冷却塔进塔空气流量步骤如下:

1 根据设计工况参数计算进塔空气密度  $\rho_{a1}$ 、出塔空气密度  $\rho_{a2}$ ，空气平均密度  $\rho_{am}$ ，以及密度差  $\Delta\rho_t$ 。

2 根据实测工况参数计算进塔空气密度  $\rho_{a1}$ ，并假定 4 组进塔空气量  $G'_t$ ，分别计算出 4 组出塔空气密度  $\rho_{a2}$ ，空气平均密度  $\rho_{am}$ ，以及密度差  $\Delta\rho_t$ 。

3 按下式计算密度差  $\Delta\rho_c$

$$\frac{\Delta\rho_c}{\Delta\rho_t} = \left[ \frac{G'_t}{G_d} \right]^2 \left[ \frac{\rho_{am}}{\rho_{tm}} \right] \left[ \frac{Q_t}{Q_d} \right]^{K_0} \quad (7.0.6)$$

式中  $\Delta\rho_c$ ——满足阻力和抽力相等的密度差(kg/m<sup>3</sup>)；

$\Delta\rho_t$ ——设计进塔空气密度差(kg/m<sup>3</sup>)；

$G'_t$ ——假定进塔空气流量[kg(DA)/h]；

$G_d$ ——设计进塔空气流量[kg(DA)/h]；

$\rho_{tm}$ ——设计进塔空气平均密度[kg/m<sup>3</sup>]；

$\rho_{tm}$ ——测定参数及假定进塔空气流量下空气平均密度(kg/m<sup>3</sup>)；

$Q_d$ ——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  $G'_t$ ，值，计算出 4 组相应的密度差  $\Delta\rho_c$ 。

4 将假定的进塔空气流量  $G'_t$  和密度差  $\Delta\rho_t$ ，点绘在以空气流量  $G'_t$  为横座标，密度差  $\Delta\rho$  为纵座标的方格纸上，求得  $G'_t=f(\Delta\rho_t)$  关系曲线，如图(7.0.6)所示。将假定的进塔空气流量  $G'_t$  和密度差  $\Delta\rho_c$ ，也点绘在该图上，求得  $G'_t=f(\Delta\rho_c)$  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。

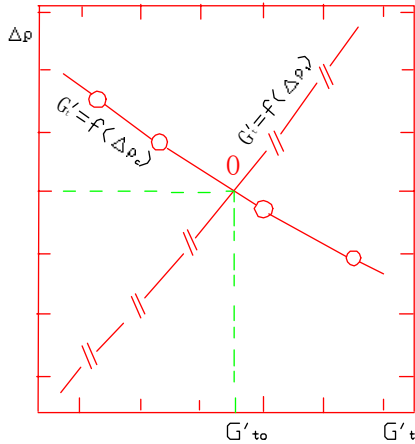


图 7.0.6 空气量计算图

7.0.7 逆流式冷却塔冷却数按下式计算：

$$\Omega_n = \frac{1}{K} \int_{t_2}^{t_1} \frac{C_w}{h'' - h} dt \quad (7.0.7)$$

式中  $\Omega_n$ ——逆流式冷却塔冷却数；  
 $h$ ——空气焓[kJ/kg(DA)]；  
 $h''$ ——饱和空气焓[kJ/kg(DA)]。

冷却数  $\Omega_n$  的近似计算宜采用分段不少于 8 段的辛普逊积分法或切比雪夫积分法，以及计算精度不低于上述公式的其它公式。

7.0.8 横流式冷却塔冷却数按下式计算：

$$\Omega_n = \frac{1}{K} \int_0^{x_1} \int_0^{z_1} \frac{C_w \rho t / \rho z}{h'' - h} dx dz \quad (7.0.8-1)$$

式中  $\Omega_n$ ——横流式冷却塔冷却数；  
 $X_n$ ——从进风口算起淋水填料深度(m)；  
 $Z_n$ ——从淋水填料顶层表面向下算起的高度(m)。

冷却数  $\Omega_h$  的近似计算宜采用中心差分法,修正系数法及平均焓差法,或精度不低于上述公式的其它方法。

采用差分法时,按下式计算:

$$\frac{C_w \theta t}{K \theta z} Z_d = -\lambda \frac{\partial h}{\partial x} X_d = -\Omega'_h (h'' - h) \quad (7.0.8-2)$$

式中  $\Omega'_h$ ——横流式冷却塔特性数;

$\lambda$ ——气水比。

或按下式计算:

$$\frac{1}{K} C_w q \frac{\partial t}{\partial z} = -g \frac{\partial h}{\partial x} = -K_a (h'' - h) \quad (7.0.8-3)$$

式中  $q$ ——淋水密度 [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ];

$g$ ——单位进风面积质量风速 [ $\text{kg}(\text{DA})/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ];

$K_a$ ——以焓差为动力的容积散热系数 [ $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \Delta h)$ ].

**7.0.9** 热力计算中各参数计算公式如下:

1 空气焓

$$h = C_g \theta + x(\tau_0 + C_q \theta) \quad (7.0.9-1)$$

式中  $h$ ——空气焓 [ $\text{kJ}/\text{kg}(\text{DA})$ ];

$\theta$ ——空气干球温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$x$ ——空气含湿量 [ $\text{kg}/\text{kg}(\text{DA})$ ];

$\tau_0$ ——温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时水的汽化热 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ); 取  $\tau_0 = 2500.8$ ;

$C_g$ ——干空气比热 [ $\text{kJ}/(\text{kg}(\text{DA}) \cdot ^{\circ}\text{C})$ ]; 取  $C_g = 1.005$ ;

$C_q$ ——水蒸汽比热 [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ]; 取  $C_q = 1.846$ 。

2 空气含湿量

$$x = 0.622 \frac{\phi P''_{\theta}}{P - \phi P''_{\theta}} \quad (7.0.9-2)$$

式中  $\phi$ ——空气相对湿度 (%);

$P$ ——大气压 ( $\text{kPa}$ );

$P''_{\theta}$ ——空气温度等于  $\theta^{\circ}\text{C}$  时,饱和水蒸气分压力 ( $\text{kPa}$ )。