

工业冷却塔测试方法

中国建筑科学研究院建筑标准设计研究所

中国建筑工程出版社

工业冷却塔测试方法

中国建筑科学研究院建筑标准设计研究所

中国建筑工业出版社

本书主要包括：冷却塔测试分类及测试前的准备工作、冷却塔测定参数及测定工作要求、测试仪表与测试方法、测试资料的整理以及鉴定测试的评价及淋水装置的性能比较等。供从事冷却塔科研、设计和运行管理方面的有关人员使用。

工业冷却塔测试方法

中国建筑科学研究院建筑标准设计研究所

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本·787×1092毫米1/32 印张：1 3/4 字数：39 千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷

印数：1—5,250 册 定价：0.17元

统一书号：15040·3762

前 言

随着我国工业和民用建筑的发展，冷却用水量迅速增加，国内不少单位，在冷却塔的研究方面，进行了大量的工作。为对冷却塔研究成果及工业冷却塔运行效果，有个共同认识的基础，以便推广这一成果，为此，根据近年来的科研实践，我们组织编写了这本书。本书由上海工业建筑设计院周光亮同志、西安冶金建筑学院王大哲同志、西安热工研究所史佑吉同志执笔，并经多次讨论和修改，最后于1978年7月在北京邀请20多个单位的有关代表进行了审查定稿。

本书供从事冷却塔科研、设计和运行管理方面的有关人员使用。

中国建筑科学研究院建筑标准设计研究所

目 录

主要符号的名称及单位	1~2
一、冷却塔测试分类及测试前的准备工作	3
(一) 冷却塔的测试分类	3
(二) 测试前的准备工作	3
二、冷却塔测定参数及测试工作要求	3
(一) 冷却塔测定参数	3
(二) 测试工作要求	5
三、测试仪表与测试方法	6
四、测试资料的整理	13
(一) 试验工况点的选择	13
(二) 逆流式冷却塔热力特性试验资料的整理	14
(三) 横流式冷却塔热力特性试验资料的整理	19
(四) 淋水装置风压损失特性公式或曲线	22
(五) 表示冷却特性的其它形式	24
五、鉴定测试的评价及淋水装置的性能比较	24
(一) 鉴定测试的评价	24
(二) 淋水装置的性能比较	25
附录 1 圆形横流式冷却塔的計算	27
附录 2 用水温数法整理淋水装置的热力特性	30
附录 3 国外对鉴定测试的评价及計算	32
附录 4 目前生产的冷却塔测试常用仪表	36
附录 5 国外几种冷却塔性能测试方法一览表	38
主要参考资料	52

主要符号的名称及单位

符号	名 称	单 位
t	水温	$^{\circ}\text{C}$
Δt	水温差	$^{\circ}\text{C}$
t_m	平均水温	$^{\circ}\text{C}$
T	绝对温度	$^{\circ}\text{K}$
θ	空气干球温度	$^{\circ}\text{C}$
τ	空气湿球温度	$^{\circ}\text{C}$
φ	空气相对湿度	%
P_0	大气压力	毫米汞柱或公斤/厘米 ²
P^*	饱和空气水蒸气分压力	毫米汞柱或公斤/厘米 ²
Q	冷却水量	米 ³ /时或公斤/时
C_w	水的比热	千卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$
q	淋水密度	米 ³ /米 ² ·时
G	进塔干空气量	米 ³ /时或公斤/时
g	进塔干空气重量速度	公斤/米 ² ·时
$\vec{v}$	外界风速风向	米/秒
i	空气焓	千卡/公斤(干空气)
i^*	饱和空气焓	千卡/公斤(干空气)
γ_0	干空气容重	公斤/米 ³

续表

符号	名 称	单 位
λ	气水比	
H	交换热量	千卡/时
K_0	以焓差为基准的总容积散热系数	公斤/米 ³ ·时或千卡/米 ³ ·时 Δ_t
v_m	淋水装置处平均风速	米/秒
Z	淋水装置高度	米
F	淋水装置处塔断面积	米 ²
$\bar{V}$	淋水装置有效容积	米 ³
ϕ	交换数(冷却数)	
h	空气总风压损失	毫米水柱
Δh	空气各部分风压损失	毫米水柱
k	蒸发水量带走热量系数	
$SL(A)$	A挡总声压级	分 贝

注: (1) 下标 1 为进塔, 2 为出塔, m 为平均值。

(2) Δ_t 为平均焓差(千卡/公斤)。

一、冷却塔测试分类及测试前的 准备工作

(一) 冷却塔的测试分类

根据冷却塔测试的目的和要求不同,一般分为两大类:

1. 鉴定测试: 这种测试主要是对新塔或经过改造后的老塔进行性能鉴定。通过测试, 验证新设计的塔或老塔改造后的性能是否达到设计或改造要求。

2. 特性测试: 这种测试主要是为了获得在某一塔型下完整的热力及阻力特性, 有时也测定配水及配风的均匀程度, 作为设计和运行管理的依据。

(二) 测试前的准备工作

1. 深入现场, 对冷却塔的运行情况作详细的调查研究, 在此基础上根据测试的目的和要求, 确定测试项目、选定仪表并进行标定、编写测试大纲。

2. 清理现场, 消除冷却塔中缺陷, 检修设备, 并清除水中杂物及藻类, 以保证冷却塔处于正常运行状态。

二、冷却塔测定参数及测试工作要求

(一) 冷却塔测定参数

1. 大气气象参数

(1) 空气干、湿球温度

- (2) 外界风速风向
- (3) 大气压力
- 2. 进塔空气干、湿球温度
- 3. 进塔干空气量
- 4. 出塔空气干、湿球温度及温度分布
- 5. 冷却水量
- 6. 进塔水温
- 7. 出塔水温
- 8. 淋水装置及塔各部分风压损失; 塔总风压损失
- 9. 淋水密度分布
- 10. 冷却后水温分布
- 11. 补充水量及水温
- 12. 排污水量及水温
- 13. 进水管喷头前水压
- 14. 槽式及池式配水中的水位
- 15. 塔内的风速分布
- 16. 出塔水滴的漂散范围及影响
- 17. 机械通风冷却塔中的机电参数
 - (1) 电机电流
 - (2) 电机功率
 - (3) 电机转速
 - (4) 风机叶片安装角度
 - (5) 风机进出口全压
- 18. 噪声(包括风机、电机、淋水声源)
- 19. 水质分析

其中1~8项为冷却塔鉴定测试必测参数, 其余各项可根据测试目的和要求的不同, 加以选择。

(二) 测试工作要求

1. 测试时间：鉴定测试应在工业塔投入运行后一年之内进行。特性测试一般在夏季进行。

2. 雨天或外界风速大于4米/秒时不应进行测试。

3. 鉴定测试时，塔运行状态应接近设计条件，冷却水量变化一般为 $\pm 10\%$ ；进水温度变化一般为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

4. 在测试过程中，参数允许变化范围：进塔水量为 $\pm 5\%$ ，进塔水温 t_1 为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，进塔湿球温度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

5. 测定应在各参数调整稳定半小时后开始进行。

每一工况测定参数的测量次数和间隔时间如表1。

每一工况测定参数的测量次数和间隔时间 表 1

测 定 参 数	机 械 通 风 塔		风 筒 型 塔	
	测定次数	间隔时间(分)	测定次数	间隔时间(分)
t_1, t_2	4~6	10	6	10~15
Q	4~6	10	6	10~15
G	2	—	2	—
θ_1, τ_1	4~6	10	6	10~15
θ_2, τ_2	2	30~50	2	50~75
P_0	2	30~50	2	50~75
h	4~6	10	6	10~15
$\bar{v}$	2	30~50	2	50~75

注：小型的冷却塔其测定次数可取低值。

测定数据采用算术平均。如发现测定值有错误，应增加测试次数，删去错误值之后再行算术平均。每一工况可复测2~3次。

6. 测定顺序：一般应根据水气的流程，先测进塔水温，其次为进塔空气量及干湿球温度，最后测定出塔气态参数及

出塔水温。一般出塔水温比进塔水温后读0.5~1.5分钟。

7.测试工况安排：冷却塔的特性测试，其工况宜在20个左右；鉴定测试，其工况则可少一些。

为了获得冷却塔的特性曲线，如交换数和气水比的关系曲线，则气水比不应过于集中，一般变化在0.5~1.5之间。

8.冷却塔测试报告应满足下述要求：

(1)写明测试目的及要求。

(2)附有冷却塔工艺简图，淋水装置的形式及规格尺寸、材质；风机型号；配水形式等。并在工艺简图上标明测点位置。

(3)说明所用测试仪表及精度。

(4)测试塔周围的简况，如是否靠近热源及排放蒸汽设备等。

(5)资料整理方法及所用公式。

(6)各工况测定数据及成果汇总表以及整理出的公式或曲线。

(7)测试结果的评价分析，对存在的问题加以说明。

(8)写明测定时间，参加单位及工作人员。

三、测试仪表与测试方法

1.大气气象参数

(1)大气干、湿球温度：

在距塔15~50米处气流畅通的地方设置气象亭，采用最小刻度值为0.2℃的电动（或机动）阿斯曼通风干、湿球温

度计测定。

(2) 外界风速风向:

采用带有风向标的旋杯式风速计测量。风速计在气象亭附近垂直放置, 离地面高2米, 风向标的方位和字标必须安置正确。

(3) 大气压:

将福廷式大气压力表或盒式(薄膜式)大气压力表置于气象亭中测量。后者使用前必须根据福廷式大气压力表调整指针的位置。大气压力表上均附有温度计, 用以对测得大气压力值进行温度修正。

2. 进塔空气干、湿球温度

采用最小刻度值为 0.2°C 的电动(或机动)阿斯曼通风干、湿球温度计测定。

测点布置在冷却塔水池面以上2米, 距塔2~5米处, 应避免阳光直接照射。

测点布置数目: 中小型机械通风冷却塔每个进风口宜布置2个以上, 双面进风冷却塔, 在进风口两侧对称布置; 大型的风筒式冷却塔宜布置4个以上, 然后取各测点的算术平均值; 对横流式机械通风冷却塔还需在淋水装置高度 $2/3$ 处增设测点。

测试时先将包有纱布的水银球用蒸馏水润湿, 然后接通电源(或上紧弦), 等湿球温度达到平衡后(约2分钟), 每隔20秒钟连续读数三次, 取其平均值。

3. 进塔干空气量

(1) 对机械通风冷却塔, 在风机进风口喉部划分等风环。用毕托管测量, 毕托管头部需在风机风筒内不少于10厘米。大中型塔应测4个半径, 取算术平均值。径向布置与进

风口轴线呈 45° 角。

对小型机械通风冷却塔，可采用旋桨式风速计，在塔进风口处测其平均风速，同时测量进风口面积，计算风量。

平均风速的测定，是将进风口分成若干块小面积，风速变化大处测点适当加密，求各对应面积测点风速的加权平均值。测点布置不应少于 9 个。

如果在塔进风口及风机进风口处测量有困难，亦可在风筒出口用毕托管或旋桨式风速计分等面环测量。

此外，还可利用测定风机功率进行推算的方法，求得进塔干空气量。

(2) 对风筒式冷却塔，采用旋桨式风速计在淋水装置上部高 5 米以上处，沿 2~4 个直径方向，按等面环划分测点，测定各环风速之和，乘等面环的面积，求出风量。等面环视塔断面的大小可分成 5~30 个，测点距离用下式计算：

$$R_n = R \cdot \sqrt{\frac{2n-1}{2m}} \quad (3-1)$$

式中 R_n ——从圆中心到各测点的距离(米)；

R ——布点断面的圆半径(米)；

n ——从中心算起的测点编号；

m ——划分的等面环数目。

如在淋水装置上部测量有困难，亦可在塔进风口测量。

测风时，人和仪器应保持一定的距离，以免人体影响气流。

4. 出塔空气干、湿球温度及温度分布

由于排出空气含水滴较多，测量出塔空气干球温度目前尚有困难，一般只测量湿球温度。

机械通风冷却塔，采用多点半导体温度计，表头包纱

布。用蒸馏水润湿，在风机进风口喉部或风筒出口处4~8个半径向位置，每个半径向布置6~10个点（按等面环布置）同时测量，求其出塔湿球温度的平均值。

风筒式冷却塔，可在淋水装置上，用多点半导体温度计或水银棒式温度计，表头包纱布，用蒸馏水润湿，测量多点，取其平均值。

上述测量精度要求较高时，应测量湿球温度场及相应的气流分布场，采用对应点的焓和风量加权平均。

5. 冷却水量

采用的仪表有：

- （1）毕托管
- （2）孔板
- （3）堰板
- （4）转子流量计
- （5）水表

当管径大于500毫米时，宜采用毕托管测量。小水量时采用孔板、堰板、水表较好。当采用毕托管、孔板或堰板测量时，测点前后均需有5~7倍管径的平直段。为了与直接测量结果核对，可利用循环水泵特性曲线，冷凝器的热平衡，水位变化等方法计算水量。

6. 进塔水温

采用最小刻度值为 0.1°C 的标准温度计测量。

测点布置在靠近冷却塔的压力管道内，在管道上应事先焊上装温度计的铜套管，内装少许机油以使传热均匀。

当进水管直径大于500毫米时，测温点应布置2个。在风筒型冷却塔的中央竖井测水温时，测温点应布置4个。小型工业塔可在进水立管上装设阀门，不断放水注入一容器内

测量。

7. 出塔水温

采用最小刻度值为 0.1°C 的标准温度计测量。

测点布置在回水管或回水沟内。为保护温度计，应将温度计装在如图 3-1 所示的套管里。在回水沟测水温时，测试前应检查回水沟内冷却后水温分布是否均匀，以便选择温度计的安放位置。

多段机力塔，当测试仅在其中一段进行而各段集水池之间又相互连通时，为了测量水温，需在淋水装置下面装设集水槽，如图 3-2 所示。集水槽

槽数量一般为 4~8 条，水槽集水面积约为淋水面积的 $1/10 \sim$

16. 测点布置在总水槽的出口处。

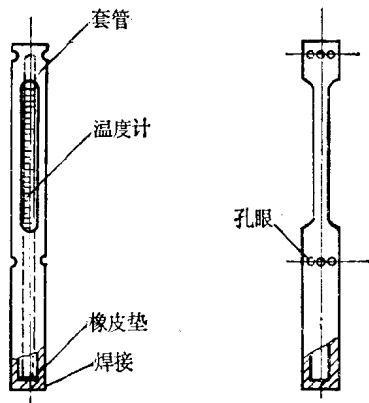


图 3-1 温度表套管

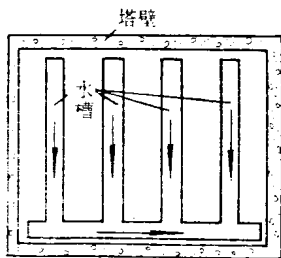


图 3-2 测量冷却水温
用木质水槽

8. 淋水装置及塔各部分的风压损失和总风压损失

采用全压测头和补偿式（或倾斜式）微压计测量，当各断面气流速度相同时，亦可用静压测头测量。测点布置数目：中型冷却塔每平方米可设 1~2 个；小型冷却塔每平方米可设 4 个；测压孔径一般为 3~5 毫米。

全压测头（或静压测头）布置在测段的上下或前后，避开涡流区，将各测头单独引至微压计，测得全压（或静压）差。

当发现测压头或连接胶管被水堵塞时，用压缩空气吹通。

9. 淋水密度分布

一般在冷却水池上安放小集水桶，测量装满水桶的时间，换算成淋水密度。

10. 冷却后水温的分布

大塔一般同测淋水密度分布一起进行，在桶内同时测量水温。

11. 补充水量及水温

与冷却水量和进塔水温测定相同。

12. 排污水量及水温

测定方法同（11）。

13. 进水管水压

可在进水管上安装0~1.0公斤/厘米²标准压力表或压差计测定。

14. 槽式及池式配水中的水位

选择控制点，用钢尺直接测量。

15. 塔内风速分布

在风筒型冷却塔中测定风量时，便同时测得了风速分布。机械通风冷却塔中，一般在不淋水情况下，用旋桨式风速计，在淋水装置的上、下分块测量。

16. 出塔水滴的漂散范围及影响

在塔的下风向，等距离布置测点（10、20、30米以至更大），采用测量大气干、湿球温度的同样方法进行。

17. 机械通风冷却塔中的机电参数

(1) 电机电流, 采用电流表测定。

(2) 电机功率, 采用功率表测定。

(3) 电机转速, 用转速表测定或采用闪光测速法。

(4) 风机叶片安装角度在风机叶片的指定位置用量角器测定。

(5) 风机进出口全压用毕托管分等面环测量气流分布, 采用加权平均计算。

18. 噪声

冷却塔的噪声测定内容是冷却塔运转以后出风口和塔体周围的A档总声级值。

采用经计量校验合格的声级计。传声器前应加防风罩, 以防止风噪声影响测量结果。传声器后应加延伸电缆, 以避免人体靠近传声器而影响测量精度。

噪声测定时, 环境应保持安静。冷却塔不运转时的背景噪声, 应比运转时的声压级值至少低10分贝。如果条件不允许, 则必须进行修正。

测点位置:

(1) 冷却塔出风筒口外 45° 方向, 距出风口的距离等于风机叶轮直径, 当风机叶轮直径大于5米时, 取5米。

(2) 冷却塔进风口外, 离地高度1.5米, 距塔水平距离等于塔体直径; 当塔体直径小于1.5米时, 取1.5米。如塔体为方形或长方形时, 取塔体当量直径 $D = 1.13\sqrt{ab}$ (米) (D 为当量直径, a 、 b 分别为塔体边长, 单位为米)。

测定时, 两个方向都应取二个以上的测点, 然后取算术平均值。