

ICS 27.100
F 24
备案号: 15331-2005

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 933—2005

冷却塔淋水填料、除水器、喷溅装置 性能试验方法

Test methods for determining the performance of cooling tower of
transfer packing, drift eliminator and sprayer

2005-02-14 发布

2005-06-01 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 试验装置.....	2
5 试验用仪表.....	3
6 试验方法和要求.....	4
7 数据记录.....	6
8 试验结果.....	7
附录 A (资料性附录) 淋水填料和除水器试验用的冷却塔图.....	13
附录 B (资料性附录) 圆形截面的管道等面积环.....	15
附录 C (资料性附录) 堰.....	17

前 言

本标准是根据国家发展和改革委员会办公厅《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 号文）安排制订的。

GB/T7190《玻璃钢纤维增强塑料冷却塔》及 DL/T742《冷却塔塑料部件技术条件》主要是针对冷却塔部件的材质物理力学性能、冷却塔整体的热力性能而制定的。冷却塔淋水填料的热力性能及阻力性能、除水器的飘水率及阻力性能、喷溅装置的水力学性能在上述标准中考虑较少。针对上述问题，为了使冷却塔淋水填料、除水器、喷溅装置的性能在试验室试验时有统一的标准，特制订本标准。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 均为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站汽轮机标准化技术委员会归口并解释。

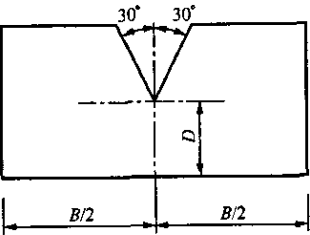
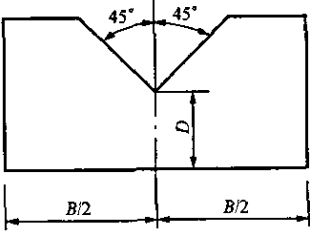
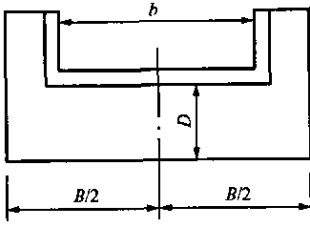
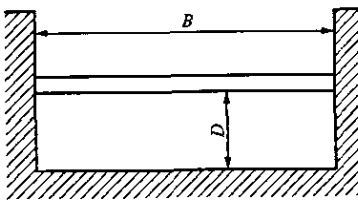
本标准起草单位：西安热工研究院有限公司。

本标准主要起草人：胡三季、陈玉玲。

附录 C
(资料性附录)
堰

- C.1 堰板的内表面必须成平面，距上端 100mm 以内必须光滑，无凹凸部分。
C.2 堰板的安装必须垂直，与水路的长轴应成直角。
C.3 堰板的流量公式及适应范围见表 C.1。

表 C.1 堰板的流量公式及适应范围

	标准堰		
		流量公式	适用范围
60° 三角堰		$Q = 0.577 K h^{3/2}$ $K = 83 + \frac{1.978}{BR^{1/2}}$ $R = 1000h\sqrt{h}/\nu$	$B = 0.44\text{m} \sim 1.0\text{m}$ $h = 0.04\text{m} \sim 0.12\text{m}$ $D = 0.1\text{m} \sim 0.13\text{m}$
90° 三角堰		$Q = K h^{3/2}$ $K = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 \frac{12}{\sqrt{D}}\right) \left(\frac{h}{B} - 0.09\right)^2$	$B = 0.5\text{m} \sim 1.2\text{m}$ $h = 0.07\text{m} \sim 0.26\text{m} < B/3$ $D = 0.1\text{m} \sim 0.75\text{m}$
矩形堰		$Q = K b h^{3/2}$ $K = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 2.04 \sqrt{B/D}$	$B = 0.5\text{m} \sim 6.3\text{m}$ $b = 0.15\text{m} \sim 5.0\text{m}$ $D = 0.15\text{m} \sim 3.5\text{m}$ $\frac{bD}{B^2} \geq 0.06$ $h = 0.03\text{m} - 0.45\sqrt{bm}$
全宽堰		$Q = K b h^{3/2}$ $K = 107.1 + \left(\frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D}\right) (1 + \varepsilon)$ $\varepsilon = 0: D \text{ 为 } 1\text{m 以下时}$ $\varepsilon = 0.55(D-1): D \text{ 为 } 1\text{m 以上时}$	$B \geq 0.5\text{m}$ $D = 0.3\text{m} \sim 2.5\text{m}$ $h = 0.03\text{m} \sim D$ (但 h 为 0.8m 以下, 且为 $B/4$ 以下)

注: Q —流量, m^3/min ; K —流量系数; h —堰的水头, m ; D —从水渠的底面道缺口下缘的高度, m ; B —水渠宽度, m ; b —缺口宽度, m ; ν —运动粘度系数, $0.01\text{cm}^2/\text{s}$

C.4 几种典型堰的流量范围见表 C.2。

表 C.2 几种典型堰的流量范围

堰的形式	宽度 $B \times b$ m	水头范围 h m	流量范围 Q m^3/h
60° 三角堰	0.45	0.040~0.120	1.08~15.60
90° 三角堰	0.60	0.070~0.200	6.60~90.00
90° 三角堰	0.80	0.070~0.260	6.60~174.00
矩形堰	0.90×0.36	0.030~0.270	12.60~330.00
	1.20×0.48	0.030~0.312	16.80~540.00

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 试验装置.....	2
5 试验用仪表.....	3
6 试验方法和要求.....	4
7 数据记录.....	6
8 试验结果.....	7
附录 A (资料性附录) 淋水填料和除水器试验用的冷却塔图.....	13
附录 B (资料性附录) 圆形截面的管道等面积环.....	15
附录 C (资料性附录) 堰.....	17

前 言

本标准是根据国家发展和改革委员会办公厅《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 号文）安排制订的。

GB/T7190《玻璃钢纤维增强塑料冷却塔》及 DL/T742《冷却塔塑料部件技术条件》主要是针对冷却塔部件的材质物理力学性能、冷却塔整体的热力性能而制定的。冷却塔淋水填料的热力性能及阻力性能、除水器的飘水率及阻力性能、喷溅装置的水力学性能在上述标准中考虑较少。针对上述问题，为了使冷却塔淋水填料、除水器、喷溅装置的性能在试验室试验时有统一的标准，特制订本标准。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 均为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站汽轮机标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司。

本标准主要起草人：胡三季、陈玉玲。

冷却塔淋水填料、除水器、喷溅装置 性能试验方法

1 范围

本标准规定了试验室冷却塔淋水填料的热力性能及阻力性能、除水器的阻力性能及飘水率、喷溅装置的水力学性能试验方法。

本标准适用于湿式逆流式冷却塔、湿式横流式冷却塔中使用的淋水填料、除水器、喷溅装置。

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，其最新版本适应于本标准。

GB/T2624 流量测量节流装置 用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

淋水填料 packing

将配水系统喷溅下来的热水，以水膜或水滴的形式，最大限度地增加水和空气的接触面积和时间的装置。

3.2

除水器 drift eliminator

用来阻止出塔空气中所夹带水滴的装置。

3.3

喷溅装置 sprayer

也称喷头，是把水尽可能均匀地喷洒在淋水填料上的装置。

3.4

热力性能方程式 thermal performance equation

以淋水填料散热性能冷却数 Ω 与气水比 λ [$\Omega=f(\lambda)$]，或以淋水填料散质系数 K_a 与通风密度 g 、淋水密度 q [$K_a=f(g, q)$] 表示的方程式。

3.5

阻力性能方程式 resistance performance equation

以淋水填料阻力 Δp 、进塔空气密度 ρ_1 与淋水填料处平均风速 v_{cp} 、淋水密度 q [$\Delta p/\rho_1=f(v_{cp}, q)$] 表示的方程式。

以除水器阻力 Δh 、进塔空气密度 ρ_1 与除水器处平均风速 v_c [$\Delta h/\rho_1=f(v_c)$] 表示的方程式。

3.6

飘水率 drifting ratio

单位时间内除水器飘出的水量与进塔水量之比，通常以百分数表示。

3.7

干球温度 dry-bulb temperature

在当地气温条件下,用通风干湿表所测的空气温度称为干球温度,单位以“℃”表示。

3.8

湿球温度 wet-bulb temperature

在当地气温条件下,用通风干湿表所测的液体蒸发达到稳定状态时的温度称为湿球温度,单位以“℃”表示。

3.9

相对湿度 relative humidity

空气中实际的水蒸气分压力与同温度下饱和状态空气的水蒸气分压力之比,通常以百分数表示。

3.10

大气压力 atmospheric pressure

由大气的质量所产生的压强,单位以“hPa”或“kPa”表示。

3.11

热水温度 hot water temperature

经过加热从喷溅装置流出的水温度,单位以“℃”表示。

3.12

冷水温度(出塔水温) cold water temperature

经过喷溅装置、淋水填料、塔尾部冷却后的水温度,单位以“℃”表示。

3.13

水温差 cooled range

热水和冷水温度之差,单位以“℃”表示。

3.14

淋水密度 water drenching density

单位时间内通过每平方米淋水填料水平断面的水流量,单位通常以“t/(m²·h)”或“kg/(m²·h)”表示。

3.15

通风密度 air passing density

单位时间内通过每平方米淋水填料断面的空气质量流量,单位通常以“kg/(m²·s)”或“t/(m²·h)”表示。

3.16

气水比 dry air/water ratio

干空气流量与冷却水流量之比。

3.17

流量系数 coefficient of flow

计算喷头流量时所用的修正系数。

3.18

溅水均匀分布系数 homoyeneous coefficient of spraying distribution

以单一喷头的径向水量为依据,取一代表性区域为统计范围,将所有邻近喷头对该区域所涉及到的各微元面积上的落水量进行叠加,得到该区域以微元为单位的水量分布状态,再进行均方差计算。也可称喷头组合均布系数或均方差。

4 试验装置

4.1 试验塔

4.1.1 试验塔的作用及构成

试验塔用于淋水填料的热力性能及阻力性能、除水器的阻力性能及飘水率试验。试验塔由风路系统和水路系统两部分组成，这两部分均有预处理段和试验段。预处理段主要用于保证试验所要求的空气和水的参数。试验段必须保证测试参数的准确性，以便提供可靠的试验数据。

4.1.2 风路系统的测量装置

4.1.2.1 风路系统进行空气流量、流过试验件的阻力损失和干、湿球温度的测量。

4.1.2.2 流过试验件的风速应均匀，试验件前、后断面上的最大风速与最小风速之差不得超过最小风速的20%。

4.1.2.3 空气流量可用皮托管进行测量，测点应安装在试验塔的进风直管道上。测点位置应满足直管段前10D、后5D管道直径的要求。

4.1.2.4 进入试验塔的空气干、湿球温度应在进塔风道内测量，测点宜与塔体保持适当距离，以免下淋水滴溅落在温度计探头上，影响测量的准确性。

4.1.2.5 试验件的阻力测量应在试验件的上、下（前、后）部安装笛形管，每端部不得少于三根。笛形管距试验件的距离不得大于300mm。笛形管感压孔总面积不宜超过笛形管内截面积的30%。

4.1.3 水路系统的测量装置

4.1.3.1 水路系统进行水流量、水温的测量。

4.1.3.2 水流量可用孔板、堰及超声波流量计测量。采用孔板或超声波流量计测量时，测点应设在直管段上，并应满足仪表的测量要求。

4.1.3.3 水温测量应在混流均匀的地方上设置测点。如果混流不均匀，在测点的上游加装混流装置。试验装置（试验塔）系统参见附录A。

4.2 喷溅装置（喷头）的试验装置

4.2.1 试验装置的作用及构成

4.2.1.1 试验装置用于喷溅装置（喷头）泄流能力、喷溅范围及喷溅的均匀性试验。

4.2.1.2 试验装置由喷淋系统和接水系统组成。喷淋系统保证对喷头形成一个稳定的水压，接水系统测量喷洒水滴形成的喷溅半径（范围）、喷溅的均匀性。

4.2.2 喷淋系统

4.2.2.1 配水箱（槽）应有稳流、稳压设置，箱前应装有压力表、控制调节阀。

4.2.2.2 配水箱（槽）一侧应有水位计。

4.2.3 接水装置

4.2.3.1 接水装置可用一个长方形接水槽，水槽分成若干个正方形的方格，方格边长不宜大于150mm。

4.2.3.2 方格下泄的雨量可用自动雨量计或量桶和秒表测量。

5 试验用仪表

5.1 仪表使用要求

所有试验用仪表必须经过计量部门校验合格，并在规定的有效期内方可使用。

5.2 温度测量

5.2.1 温度测量仪表的准确度必须满足表1的规定。

表1 温度测量仪表的准确度

℃

名称	准确度
空气干、湿球温度	±0.2
水温	±0.1
大气压力表内附温度	±1

5.2.2 必须保持流过湿球的风速不小于2.5m/s，读取数据时湿球应达到蒸发平衡。

5.2.3 测量湿球温度必须使用专用纱布和蒸馏水，每次试验前必须更换新纱布。

5.2.4 测量水温时，宜把仪表测量探头直接插入水中。如果插入套管中，套管中的液体应是导热系数大、热容量小、不易挥发的液体。

5.3 压力测量

5.3.1 测量阻力使用补偿式微压计或电子微压计。补偿式微压计允许基本误差不超过 $\pm 0.8\text{Pa}$ ，最小分度值应为 1Pa ；电子微压计精度不应低于 1% 。

5.3.2 测量水压差的汞 U 形管差压计应能保证其测量值准确到 133Pa 。

5.3.3 测量水压的压力表，其精度不应低于 0.4% 。

5.3.4 测量试验环境大气压力的气压表，其误差不应大于 2hPa ，最小分度值应为 1hPa 。

5.4 空气流量测量

5.4.1 采用皮托管测量空气流速时，皮托管的外径不宜大于所测管道内径的 0.035 倍，其所配用的倾斜式微压计精度不应低于 1% ，最小分度值应为 2Pa 。

5.4.2 采用皮托管时，应在所测管道截面进行等面积环流速分布系数校验。等面积环的划分参见附录 B。

5.4.3 使用叶轮式风速表测量空气流量时，应在风洞内进行校验，按其给定的关系曲线或方程式进行流速修正。

5.5 水流量测量

5.5.1 采用液体定量计时，其准确度不应低于测定值 1% 。

5.5.2 采用孔板时，孔板的结构尺寸及安装要求应符合 GB/T2624 的规定。

5.5.3 采用堰时，堰的结构尺寸参见附录 C 的规定。

5.5.4 采用堰时，应设有整流装置。如无整流装置，整流段的长度应为水路宽度的 10 倍。

5.5.5 堰的水位测量宜在上流侧 300mm 处进行。如有波浪及其他影响，可在水路侧面设置有连通管的储水槽，用于测量水位。

5.5.6 采用超声波流量计时，其精度不应低于 1.5% 。

5.6 质量测量

测试除水器飘水率使用的天平，其精度不应低于 0.5% ，分辨率不应低于 0.1mg 。

6 试验方法和要求

6.1 淋水填料

6.1.1 按表 2 规定的参数范围定出试验所需的参数组合。

6.1.2 各稳定工况内相同参数的测量次数和每次测量的时间间隔应不得少于表 3 中的规定。

6.1.3 各参数调整稳定后，方可进行试验。

6.1.4 进行热平衡计算时，热平衡误差不得超过 $\pm 5\%$ 。

6.2 除水器

6.2.1 除水器阻力性能及飘水率试验都是在冷态工况下进行的。按表 4 规定的参数范围定出试验工况参数组合。

表 2 淋水填料的试验参数范围

项目	试验范围	每次测量值对该工况的平均值 允许波动范围
进塔空气干球温度 ℃	30 ± 5	± 1
进塔空气湿球温度 ℃	25 ± 3	± 0.5

表 2 (续)

项目	试验范围	每次测量值对该工况的平均值 允许波动范围
热水(进塔)温度 ℃	42±2	±0.5
冷水(出塔)温度 ℃	试验确定	±0.2
淋水密度 $t(m^2 \cdot h)$	6~30	±3%
淋水填料处平均风速 m/s	1.0~3	±0.1
淋水填料阻力 Pa	试验确定	±5

表 3 淋水填料各参数的测量时间间隔及次数

参数名称	测量次数	时间间隔 min
进塔空气干球温度	3	3
进塔空气湿球温度	3	3
大气压力	1	
热水(进塔)温度	3	3
冷水(出塔)温度	3	3
淋水密度	3	3
淋水填料处平均风速	3	3
淋水填料阻力	3	3
出塔空气干球温度	3	3
出塔空气湿球温度	3	3

表 4 除水器试验参数的选择范围

项目	试验范围	每次测量值对该工况的平均值 允许波动范围
淋水密度 $t(m^2 \cdot h)$	6~30	±3%
除水器处平均风速 m/s	1~3	±0.1
除水器阻力 Pa	试验确定	±1

表 5 除水器各参数的测量时间间隔及次数

参数名称	测量次数	时间间隔 min
进塔空气干球温度	3	3
进塔空气湿球温度	3	3
大气压力	1	
淋水密度	3	3
除水器处平均风速	3	3
除水器阻力	3	3
滤纸增重	3	3

DL/T 933 — 2005

6.2.2 各稳定工况内相同参数的测量次数和时间间隔应不少于表 5 的规定。

6.2.3 在距除水器上部（后部）1m 处安放吸水滤纸网盒，网盒内的滤纸应呈单层排放形式，测点应不少于 6 处。

6.3 喷溅装置

6.3.1 单喷头水力学试验可根据不同水压力、不同溅落高度进行工况组合。

6.3.2 对于喷溅装置用于槽式配水试验时，水压力不宜大于 6kPa；管式配水时，水压力不宜大于 15kPa。

7 数据记录

7.1 一般性资料

- a) 试验日期。
- b) 试验地点。
- c) 试验环境。
- d) 试验人员。

7.2 淋水填料

- a) 生产厂商。
- b) 淋水填料名称。
- c) 型号、规格、材质。
- d) 组装高度（深度）。
- e) 每立方米组装块的数量、质量。
- f) 安放（排列）方式。
- g) 进塔空气参数（包括大气压力、干球温度、湿球温度）。
- h) 热水温度。
- i) 冷水温度。
- j) 冷却水量。
- k) 淋水填料的阻力。
- l) 淋水填料处的平均风速。
- m) 出塔空气参数（包括干球温度、湿球温度）。

7.3 除水器

- a) 生产厂商。
- b) 除水器名称。
- c) 型号、规格、材质。
- d) 安放方式。
- e) 进塔空气参数（包括大气压力、干球温度、湿球温度）。
- f) 冷却水量。
- g) 除水器阻力。
- h) 除水器处的平均风速。
- i) 滤纸质量。
- j) 滤纸吸水时间。

7.4 喷溅装置

- a) 生产厂商。
- b) 喷溅装置的名称。
- c) 型号、规格、材质。
- d) 喷溅装置前压力（水位高度）。

- e) 喷头距量水盘的高度。
f) 各量水器液面的高度。

8 试验结果

8.1 淋水填料

8.1.1 计算公式

8.1.1.1 热平衡按式 (1) 计算:

$$\Delta Q_H = \left[1 - \frac{kG_a(h_2 - h_1)}{Q_w c_w(t_1 - t_2)} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中:

ΔQ_H —— 热平衡误差;

k —— 蒸发水量带走的热量系数;

G_a —— 进塔干空气量, kg/h;

h_2 —— 出塔空气比焓, kJ/kg;

h_1 —— 进塔空气比焓, kJ/kg;

Q_w —— 冷却水量, kg/h;

c_w —— 水的比热容, kJ/(kg·°C);

t_1 —— 热水温度, °C;

t_2 —— 冷水温度, °C。

8.1.1.2 空气相对湿度按式 (2) 计算:

$$\phi = \frac{p_\tau^* - 0.000662 p_0(\theta - \tau)}{p_\theta^*} \quad (2)$$

式中:

ϕ —— 相对湿度, %;

p_τ^* —— 空气在湿球温度时的饱和蒸汽分压力, kPa;

p_0 —— 大气压力, kPa;

θ —— 干球温度, °C;

τ —— 湿球温度, °C;

p_θ^* —— 空气在干球温度时的饱和蒸汽分压力, kPa。

8.1.1.3 空气含湿量按式 (3) 计算:

$$x = 0.622 \times \frac{\phi p_\theta^*}{p_0 - \phi p_\theta^*} \quad (3)$$

8.1.1.4 饱和水蒸气压力按式 (4) 计算:

$$\lg p'' = 2.0057173 - 3.142305 \left(\frac{10^3}{T} - \frac{10^3}{373.16} \right) + 8.21 \lg \frac{373.16}{T} - 0.0024804(373.16 - T) \quad (4)$$

式中:

p'' —— 饱和水蒸气压力, kPa;

T —— 开尔文温度, K。

8.1.1.5 湿空气密度按式 (5) 计算:

$$\rho_s = \frac{(p_0 - \phi p_\theta^*)}{R_s T} + \frac{\phi p_\theta^*}{R_q T} \quad (5)$$

式中:

ρ_s ——湿空气密度, kg/m^3 ;

R_g ——干空气气体常数, 287.14;

R_q ——水蒸气气体常数, 461.53。

将气体常数代入式 (5) 化简后得:

$$\rho_s = 0.003483 \frac{P_0}{T} - 0.001316 \frac{p_\theta^*}{T}$$

8.1.1.6 干空气密度 (kg/m^3) 按式 (6) 计算:

$$\rho_g = \frac{P_0 - \phi p_\theta^*}{R_g T} = \frac{P_0 - \phi p_\theta^*}{287.14 T} \quad (6)$$

8.1.1.7 气水比按式 (7) 计算:

$$\lambda = \frac{G_a}{Q_w} \quad (7)$$

式中:

G_a ——进塔干空气量, kg/h ;

Q_w ——进塔水流量, kg/h 。

8.1.1.8 蒸发水量带走的热量系数按式 (8) 计算:

$$k = 1 - \frac{t_2}{586 - 0.56(t_2 - 20)} \quad (8)$$

8.1.1.9 进塔湿空气比焓 (kJ/kg) 按式 (9) 计算:

$$h_1 = 1.005\theta + (2500.8 + 1.846\theta) \times \frac{0.622\phi p_\theta^*}{P_0 - \phi p_\theta^*} \quad (9)$$

8.1.1.10 饱和空气比焓 (kJ/kg) 按式 (10) 计算:

$$h^* = 1.005\theta + (2500.8 + 1.846\theta) \times \frac{0.622 p_\theta^*}{P_0 - p_\theta^*} \quad (10)$$

8.1.1.11 出塔空气比焓 (kJ/kg) 按式 (11) 计算:

$$h_2 = h_1 + \frac{c_w \Delta t}{k \lambda} \quad (11)$$

式中:

Δt ——水温差, $^\circ\text{C}$ 。

8.1.1.12 冷却数的计算。

a) 逆流塔按式 (12) 计算:

$$\Omega = \frac{1}{k} \int_{h_2}^{h^*} \frac{c_w}{h^* - h} dt \quad (12)$$

式中:

Ω ——冷却数;

h^* ——温度为水温时的饱和空气比焓, kJ/kg ;

h ——空气比焓, kJ/kg 。

式 (12) 可采用辛普逊积分法、切比雪夫积分法等方法求解计算; 当采用辛普逊积分法时, 冷却数按式 (13) 计算:

$$\Omega = \frac{c_w \Delta t}{3kn} \left(\frac{1}{\Delta h_0} + \frac{4}{\Delta h_1} + \frac{2}{\Delta h_2} + \frac{4}{\Delta h_3} + \dots + \frac{2}{\Delta h_{n-2}} + \frac{4}{\Delta h_{n-1}} + \frac{1}{\Delta h_n} \right) \quad (13)$$

$n=20$

式中:

Ω ——冷却数;

Δh ——饱和空气与相应空气比焓差, kJ/kg。

b) 横流塔按式(14)计算:

$$\Omega = \frac{1}{k} \int_0^{z_d} \int_0^{x_d} \frac{-c_w \partial t / \partial z}{h^* - h} dx dz \quad (14)$$

式中:

Ω ——横流式冷却塔冷却数;

x_d ——从进风口算起淋水填料深度, m;

z_d ——从淋水填料顶层表面向下算起的高度, m。

横流式冷却塔冷却数的近似计算可采用中心差分法或平均焓差法。当采用中心差分法时,可按式

(15) 计算:

$$\frac{c_w \partial t}{k \partial z} z_d = -\lambda \frac{\partial h}{\partial x} x_d = -\Omega'_n (h^* - h) \quad (15)$$

或

$$\frac{1}{k} c_w q \frac{\partial t}{\partial z} = -g \frac{\partial h}{\partial x} = -K_a (h^* - h) \quad (16)$$

式中:

Ω'_n ——假定冷却数;

q ——淋水密度, kg/(m²·h);

g ——通风密度, kg/(m²·h);

K_a ——容积散质系数, kg/(m³·h)。

c) 容积散质系数按式(17)计算:

$$K_a = \frac{Q_w \Omega}{V} \quad (17)$$

式中:

V ——淋水填料体积, m³。

8.1.2 试验结果

8.1.2.1 冷却数经验公式的求解。

根据实测数据,按最小二乘法把冷却数整理成经验式(18):

$$\Omega = A \lambda^m \quad (18)$$

式中:

Ω ——冷却数;

λ ——气水比;

A ——热力试验系数;

m ——热力试验指数。

求解式(19),可得到冷却数 $\Omega=f(\lambda)$ 指数方程式:

$$\left. \begin{aligned} aN + m \sum x &= \sum y \\ a \sum x + m \sum x^2 &= \sum xy \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

式中:

N ——试验工况组数。

令: $a=\lg A$, $x=\lg \lambda$, $y=\lg \Omega$ 。

8.1.2.2 容积散质系数的求解。

根据求解的冷却数 Ω , 按最小二乘法把容积散质系数整理成经验式(20):

$$K_a = Bg^m q^n \quad (20)$$

式中:

K_a ——容积散质系数, $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$;

B ——试验系数;

g ——通风密度, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;

q ——淋水密度, $\text{t}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

n ——热力试验指数。

求解式(21), 可得到容积散质系数 $K_a=f(g, q)$ 指数方程式:

$$\left. \begin{aligned} aN + m\sum x + n\sum y &= \sum z \\ a\sum x + m\sum x^2 + n\sum xy &= \sum xz \\ a\sum y + m\sum xy + n\sum y^2 &= \sum yz \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

令: $a=\lg B$, $x=\lg g$, $y=\lg q$, $z=\lg K_a$ 。

8.1.2.3 淋水填料阻力公式的拟合。

根据试验资料, 淋水填料阻力可拟合成经验式(22):

$$\Delta p / \rho_1 = A_0 v_{cp}^{m_0} \quad (22)$$

式中:

Δp ——淋水填料阻力, Pa;

ρ_1 ——进塔空气密度, kg/m^3 ;

A_0 ——阻力系数;

v_{cp} ——淋水填料处的平均风速; m/s;

m_0 ——阻力试验指数。

根据试验资料, 先按不同淋水密度分别用最小二乘法列出各个淋水密度下对应的淋水填料阻力性能方程式:

$$\left. \begin{aligned} q = q_1 \quad \Delta p_1 / \rho_1 &= A_1 v_{cp1}^{m_0} \\ q = q_2 \quad \Delta p_2 / \rho_1 &= A_2 v_{cp2}^{m_0} \\ \vdots & \\ q = q_n \quad \Delta p_n / \rho_1 &= A_n v_{cpn}^{m_0} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

再求综合阻力特性方程式:

$$\left. \begin{aligned} A_x \sum q_i^2 + A_y \sum q_i + A_z N &= \sum A_i \\ A_x \sum q_i^3 + A_y \sum q_i^2 + A_z \sum q_i &= \sum A_i q_i \\ A_x \sum q_i^4 + A_y \sum q_i^3 + A_z \sum q_i^2 &= \sum A_i q_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} m_x \sum q_i^2 + m_y \sum q_i + m_z N &= \sum m_i \\ m_x \sum q_i^3 + m_y \sum q_i^2 + m_z \sum q_i &= \sum m_i q_i \\ m_x \sum q_i^4 + m_y \sum q_i^3 + m_z \sum q_i^2 &= \sum m_i q_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

式中:

N ——试验淋水密度组数。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma A_i &= A_1 + A_2 + \cdots + A_n \\ \Sigma m_i &= m_1 + m_2 + \cdots + m_n \\ \Sigma q_i &= q_1 + q_2 + \cdots + q_n \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

解式 (24) ~ 式 (26), 则可得:

$$\begin{array}{ccc} A_x & A_y & A_z \\ m_x & m_y & m_z \end{array}$$

由此得淋水填料综合阻力性能方程式 (27):

$$\begin{aligned} \Delta p / \rho_1 &= A_0 v_{cp}^{m_0} \\ A_0 &= A_x q^2 + A_y q + A_z \\ m_0 &= m_x q^2 + m_y q + m_z \end{aligned} \quad (27)$$

8.2 除水器

8.2.1 除水器飘水率按式 (28) 计算:

$$\eta = \frac{3600 F W_p}{10^6 F_0 t_0 Q_w} \times 100\% \quad (28)$$

式中:

η ——除水器飘水率;

F ——试验段截面积, m^2 ;

W_p ——滤纸增重, g ;

F_0 ——滤纸面积, m^2 ;

t_0 ——滤纸吸水时间, s ;

Q_w ——进塔水量, t/h 。

8.2.2 除水器阻力按式 (29) 计算:

$$\Delta h / \rho_1 = \bar{\xi} v_c^2 \quad (29)$$

式中:

$\bar{\xi}$ ——除水器阻力系数;

Δh ——除水器阻力, Pa ;

ρ_1 ——进塔空气密度, kg/m^3 ;

v_c ——除水器处的平均风速, m/s 。

$$\bar{\xi} = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{N} \quad (30)$$

8.3 喷溅装置

8.3.1 喷头泄流量按式 (31) 计算:

$$Q_p = \mu F_p \sqrt{2H} \quad (31)$$

式中:

Q_p ——喷头泄流量, m^3/s ;

μ ——流量系数;

F_p ——管嘴出口处过流面积, m^2 ;

H ——作用在管嘴出口断面的水压力, kPa。

8.3.2 溅水均匀分布系数按式 (32) 计算:

$$a_0 = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (32)$$

式中:

a_0 ——溅水均匀分布系数;

X_i ——第 i 微元上的溅落叠加水量高度, mm;

\bar{X} —— N 个微元的平均溅落水量高度, mm;

N ——微元个数。

附录 A
(资料性附录)
淋水填料和除水器试验用的冷却塔图

A.1 逆流塔

试验塔示意图 A.1 和图 A.2。

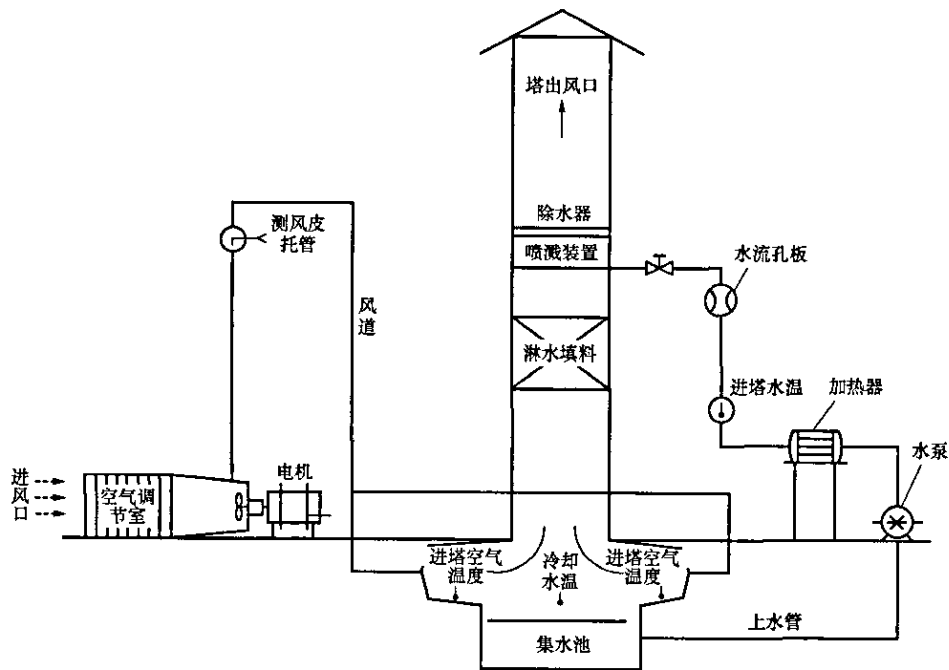


图 A.1 鼓风式试验塔

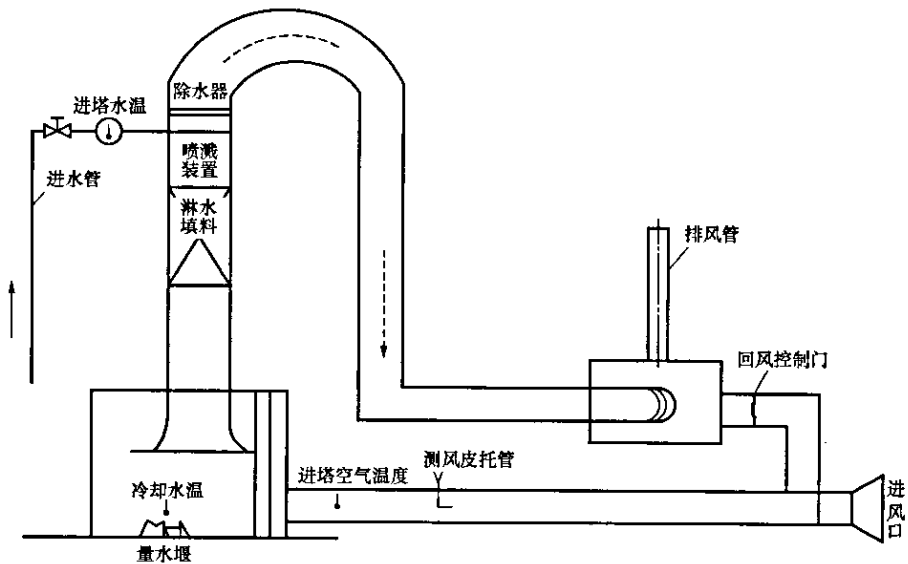


图 A.2 抽风式试验塔

A.2 横流式

试验塔示意图见图 A.3 和图 A.4。

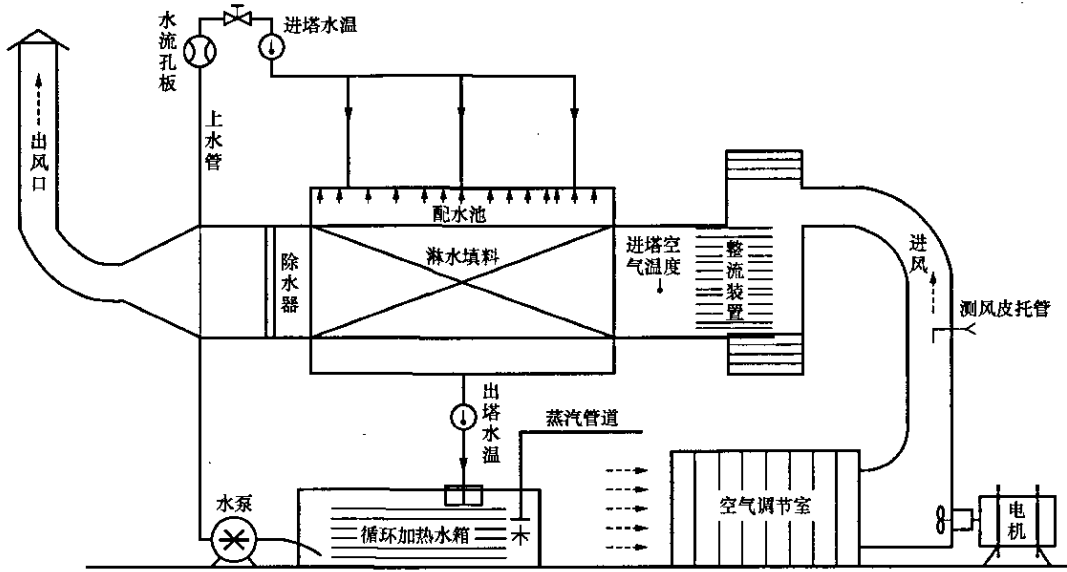


图 A.3 鼓风式试验塔

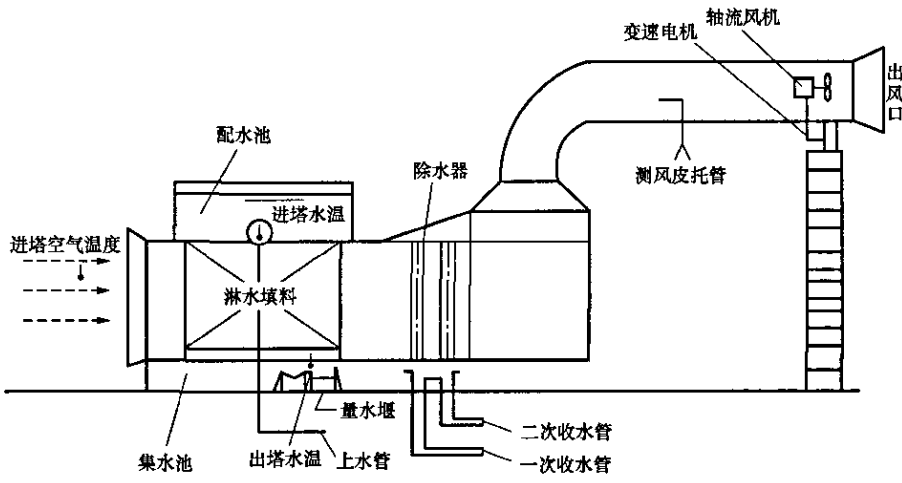


图 A.4 抽风式试验塔

附录 B
(资料性附录)
圆形截面的管道等面积环

B.1 等面积环计算见式 (B.1) :

$$r_{2n-1} = R \sqrt{\frac{2n-1}{2n}} \quad (\text{B.1})$$

式中:

r ——测点距管道中心点半径, mm;

R ——管道半径, mm;

n ——等面积环数。

B.2 等面积环数与测量直径数见表 B.1。

表 B.1 等面积环数与测量直径数

管道直径 D mm	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
等面积环数 n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测流直径数	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
测点总数	6	8	20	24	28	32	36	40	44	48

注: 测点总数不计中心差压

B.3 圆形管道内断面流速分布系数计算见式 (B.2) :

$$K_v = \frac{\sqrt{\Delta h_{g1}} + \sqrt{\Delta h'_{g1}} + \sqrt{\Delta h_{g2}} + \sqrt{\Delta h'_{g2}} + \cdots + \sqrt{\Delta h_{gn}} + \sqrt{\Delta h'_{gn}}}{2n\sqrt{\Delta h_0}} \quad (\text{B.2})$$

式中:

n ——划分等面积环数;

Δh_0 ——管道中心点差压, Pa;

$\Delta h_{g1}, \Delta h_{g2}, \dots, \Delta h_{gn}$ ——管道中心起一侧各测点的差压, Pa;

$\Delta h'_{g1}, \Delta h'_{g2}, \dots, \Delta h'_{gn}$ ——管道中心起另一侧各测点的差压, Pa。

B.4 采用皮托管圆形管道的流速计算 (差压计内所充的工作液体为水时) 见式 (B.3) :

$$v = K_p K_v \sqrt{\frac{2g\Delta h_0}{\rho}} \quad (\text{B.3})$$

上式化简后得:

$$v = 4.43 K_p K_v \sqrt{\frac{\Delta h_0}{\rho}}$$

式中:

v ——管道平均流速, m/s;

DL/T 933 — 2005

- K_p ——皮托管校验系数；
 K_v ——管道流速分布系数；
 Δh_0 ——管道中心测得的水柱高度差，mm；
 g ——重力加速度， m/s^2 ；
 ρ ——流体密度， kg/m^3 。

附录 C
(资料性附录)
堰

- C.1 堰板的内表面必须成平面，距上端 100mm 以内必须光滑，无凹凸部分。
C.2 堰板的安装必须垂直，与水路的长轴应成直角。
C.3 堰板的流量公式及适应范围见表 C.1。

表 C.1 堰板的流量公式及适应范围

	标准堰		
		流量公式	适用范围
60° 三角堰		$Q = 0.577 K h^{3/2}$ $K = 83 + \frac{1.978}{BR^{1/2}}$ $R = 1000h\sqrt{h}/\nu$	$B = 0.44\text{m} \sim 1.0\text{m}$ $h = 0.04\text{m} \sim 0.12\text{m}$ $D = 0.1\text{m} \sim 0.13\text{m}$
90° 三角堰		$Q = K h^{3/2}$ $K = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 \frac{12}{\sqrt{D}}\right) \left(\frac{h}{B} - 0.09\right)^2$	$B = 0.5\text{m} \sim 1.2\text{m}$ $h = 0.07\text{m} \sim 0.26\text{m} < B/3$ $D = 0.1\text{m} \sim 0.75\text{m}$
矩形堰		$Q = K b h^{3/2}$ $K = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 2.04 \sqrt{B/D}$	$B = 0.5\text{m} \sim 6.3\text{m}$ $b = 0.15\text{m} \sim 5.0\text{m}$ $D = 0.15\text{m} \sim 3.5\text{m}$ $\frac{bD}{B^2} \geq 0.06$ $h = 0.03\text{m} - 0.45\sqrt{bm}$
全宽堰		$Q = K b h^{3/2}$ $K = 107.1 + \left(\frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D}\right) (1 + \epsilon)$ $\epsilon = 0: D \text{ 为 } 1\text{m} \text{ 以下时}$ $\epsilon = 0.55(D-1): D \text{ 为 } 1\text{m} \text{ 以上时}$	$B \geq 0.5\text{m}$ $D = 0.3\text{m} \sim 2.5\text{m}$ $h = 0.03\text{m} \sim D$ (但 h 为 0.8m 以下, 且为 $B/4$ 以下)

注: Q —流量, m^3/min ; K —流量系数; h —堰的水头, m ; D —从水渠的底面道缺口下缘的高度, m ; B —水渠宽度, m ; b —缺口宽度, m ; ν —运动粘度系数, $0.01\text{cm}^2/\text{s}$

C.4 几种典型堰的流量范围见表 C.2。

表 C.2 几种典型堰的流量范围

堰的形式	宽度 $B \times b$ m	水头范围 h m	流量范围 Q m^3/h
60° 三角堰	0.45	0.040~0.120	1.08~15.60
90° 三角堰	0.60	0.070~0.200	6.60~90.00
90° 三角堰	0.80	0.070~0.260	6.60~174.00
矩形堰	0.90×0.36	0.030~0.270	12.60~330.00
	1.20×0.48	0.030~0.312	16.80~540.00

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
冷 却 塔 淋 水 填 料、除 水 器、喷 溅 装 置
性 能 试 验 方 法
DL/T 933—2005

*

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
航远印刷有限公司印刷

*

2005年5月第一版 2005年5月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.25印张 33千字
印数0001—3000册

*

版 权 专 有 翻 印 必 究
(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)