

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 7190.2—2018  
代替 GB/T 7190.2—2008

## 机械通风冷却塔 第 2 部分：大型开式冷却塔

Mechanical draft cooling towers—Part 2: Large open cooling towers

2018-12-28 发布

2019-11-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

GB/T 7190《机械通风冷却塔》分为3个部分：

- 第1部分：中小型开式冷却塔；
- 第2部分：大型开式冷却塔；
- 第3部分：闭式冷却塔。

本部分为GB/T 7190的第2部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替GB/T 7190.2—2008《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》。

本部分与GB/T 7190.2—2008相比主要变化如下：

- 标准名称由《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》修改为《机械通风冷却塔 第2部分：大型开式冷却塔》；
- 修改了适用范围，将“机力通风工业型冷却塔”修改为“装有淋水填料的逆流、横流机械通风开式冷却塔”（见第1章，2008年版的第1章）；
- 修改和删除了部分引用标准，增加了结构用纤维增强复合材料拉挤型材、噪声测量值修正技术要求的引用标准（见第2章，2008年版的第2章）；
- 修改和删除了部分术语和定义，规定引用GB/T 7190.1中的术语和定义（见第3章，2008年版的第3章）；
- 修改了产品标记的规定（见4.2，2008年版的4.2）；
- 将“热力性能”修改为“冷却性能”“标准设计工况”修改为“标准工况”（见5.1，2008年版的5.1）；
- 增加能效等级的规定，并按耗电比划分为1级、2级、3级、4级和5级（见5.3，2008年版的5.3）；
- 增加了塔体材料外观、金属件浸锌层厚度及模压、拉挤型材制品等复合材料件的性能要求，删除巴柯尔硬度、树脂含量、围护结构和风筒外观的要求（见5.5，2008年版的5.5）；
- 修改淋水填料的要求（见5.6，2008年版的5.6）；
- 修改填料的试验方法（见6.6，2008年版的6.6）；
- 修改出厂检验的检验项目和判定规则（见7.2.1和7.2.3，2008年版的7.3.2）；
- 修改型式检验判定规则（见7.3.4），2008年版的7.3.4.3）；
- 增加了冷却塔产品的使用环境条件（见9.8）；
- 试验报告在相应的附录中给出（见附录A、附录C、附录D、附录E，2008年版的9.9）；
- 删除了附录A中的主要符号及单位、进塔空气湿球温度实测值的修正、热平衡计算等内容，修改了冷却数的符号及计算公式（见附录A，2008年版的附录A）；
- 修改了耗电比计算公式（见附录D，2008年版的附录C）。

本部分由中国建筑材料联合会提出。

本部分由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本部分负责起草单位：北京玻璃钢研究设计院有限公司、中国水利水电科学研究院、清华大学、中国石化工程建设有限公司、西南电力设计院有限公司。

本部分参加起草单位：江苏海鸥冷却塔股份有限公司、中化工程沧州冷却技术有限公司、广州览讯

**GB/T 7190.2—2018**

科技开发有限公司、上海金日冷却设备有限公司、大连斯频德环境设备有限公司、浙江金菱制冷工程有限公司、浙江上风冷却塔有限公司、浙江东杰冷却塔有限公司、南京斯贝尔复合材料有限责任公司。

本部分主要起草人：尹证、赵顺安、冯鹏、刘力生、张立晨、吴浪洲。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 7190—1987；

——GB/T 7190.2—1997、GB/T 7190.2—2008。

# 机械通风冷却塔

## 第2部分：大型开式冷却塔

### 1 范围

GB/T 7190 的本部分规定了大型开式冷却塔的产品分类和标记、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及其他等。

本部分适用于单塔冷却水量不小于  $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ，装有淋水填料的逆流、横流机械通风开式冷却塔。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法

GB/T 2518 连续热镀锌钢板及钢带

GB/T 7190.1 机械通风冷却塔 第1部分：中小型开式冷却塔

GB/T 8924 纤维增强塑料燃烧性能试验方法 氧指数法

GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法

GB/T 31539—2015 结构用纤维增强复合材料拉挤型材

DL/T 742 冷却塔塑料部件技术条件

HJ 706 环境噪声监测技术规范 噪声测量值修正

### 3 术语和定义

GB/T 7190.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**淋水填料 fill**

将循环冷却水以水膜或水滴形式和空气接触，以增加接触面积和延长接触时间的一种装置，简称填料。

#### 3.2

**配水系统 cooling water distribution system**

将循环冷却水均匀喷洒到填料顶部，由水槽或管道与喷头组成的一种装置。

#### 3.3

**收水器 drift eliminator**

用来收集出塔空气所夹带水滴的一种装置。

### 4 产品分类和标记

#### 4.1 产品分类

冷却塔根据水和空气在填料中的相对流向分为逆流式和横流式两种。

## 4.2 产品标记

机械通风开式冷却塔按横逆流、名义冷却水流量和能效等级及符合标准进行标记。



示例：名义冷却水流量 3 000 m<sup>3</sup>/h、能效等级为 1 级的机械通风开式逆流冷却塔标记为：  
KN-3000-1 GB/T 7190.2—2018

## 5 要求

### 5.1 冷却性能

#### 5.1.1 标准工况

进塔空气干球温度  $\theta=31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿球温度  $\tau=28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，大气压力  $p=99.4\text{ kPa}$ ，进塔水温  $t_1=43.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，出塔水温  $t_2=33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.1.2 冷却能力

冷却能力应不小于 95.0%。

### 5.2 噪声

冷却塔的噪声标准测点的噪声值应不大于表 1 的规定值。

表 1 噪声规定值

型式	名义冷却水流量 $Q$ m <sup>3</sup> /h	标准点噪声值 dB(A)
逆流式	$1\ 000 \leq Q < 2\ 000$	78.0
	$2\ 000 \leq Q < 3\ 000$	79.0
	$Q \geq 3\ 000$	80.0
横流式	$1\ 000 \leq Q < 2\ 000$	74.0
	$2\ 000 \leq Q < 3\ 000$	75.0
	$Q \geq 3\ 000$	76.0

### 5.3 能效

冷却塔的能效按耗电比分为 5 个等级，各级的限值见表 2。

表 2 能效等级表

单位为千瓦时每立方米

能效等级	能效				
	1级	2级	3级	4级	5级
耗电比	≤0.030	≤0.035	≤0.040	≤0.045	≤0.050

#### 5.4 飘水率

冷却塔的飘水率应不大于 0.005%。

#### 5.5 塔体材料

##### 5.5.1 复合材料件

###### 5.5.1.1 外观

厚度均匀、边缘整齐,表面光洁平整、色泽均匀,应无裂纹、分层、气泡、毛刺、纤维裸露、纤维浸润不良等缺陷,切割加工断面应加封树脂。

###### 5.5.1.2 氧指数

有阻燃要求时,应不小于 28%。

###### 5.5.1.3 力学性能

手糊成型制品和 SMC 模压制品弯曲强度应不小于 147 MPa;拉挤型材制品由制造商进行结构设计并确定材料等级和壁厚,非结构用拉挤型材应不低于 GB/T 31539—2015 中的“M17 级”;结构用拉挤型材应不低于 GB/T 31539—2015 中的“M23 级”。

##### 5.5.2 金属件

###### 5.5.2.1 外观

平整,涂层均匀无漏涂、无损伤。

###### 5.5.2.2 浸锌层厚度

金属件(包括连接件)表面应作防锈、防腐处理或采用防锈、防腐材料,应符合 GB/T 2518 或 GB/T 13912 的要求。

#### 5.6 淋水填料

如为改性聚氯乙烯(PVC)材质填料片组装的薄膜填料时,填料片和组装块应符合以下要求:

- 外观:成型片上 0.2 mm~0.3 mm 的孔眼不应超过 20 个/m<sup>2</sup>、分散度不超过 5 个/(10 cm×10 cm),且破损孔径不超过 2 mm;成型片片边不得有破裂或明显缺口;片面不得翘曲、起拱;
- 厚度:平片 0.4±0.05 mm,成型片应不小于 0.2 mm;
- 变形率:平片在(90±1)℃水中,15 min 纵向变形率应不大于 5%、填料块放在 65℃的水中 72 h,目测无明显变形;
- 氧指数:应不小于 40%;
- 密度:应不大于 1.55 g/cm<sup>3</sup>;

- f) 成型片拉伸强度:纵向应不小于 42 MPa,横向应不小于 38 MPa;
- g) 承载力:粘接或联杆联接的填料块,常温时在简支条件下承受 2.94 kN/m<sup>2</sup>均布荷载 1 h,支承面及加载面应无明显变形,卸载后应无明显残余变形,粘结点松脱率应不大于 10%。

## 6 试验方法

### 6.1 冷却能力

冷却能力试验方法按附录 A 的规定,计算示例参见附录 B。

### 6.2 噪声

噪声试验方法按附录 C 的规定。

### 6.3 能效

试验方法按附录 D 的规定。

### 6.4 飘水率

飘水率试验方法按附录 E 的规定。

### 6.5 塔体材料

#### 6.5.1 复合材料件

6.5.1.1 试件采用产品取样或随炉试样。

6.5.1.2 外观采用目测方法。

6.5.1.3 氧指数试验按 GB/T 8924 的规定。

6.5.1.4 弯曲强度试验按 GB/T 1449 的规定,拉挤型材力学性能试验按 GB/T 31539—2015 的规定。

#### 6.5.2 金属材料件

6.5.2.1 外观采用目测方法。

6.5.2.2 热浸镀锌层厚度按 GB/T 2518 和 GB/T 13912 的规定。

### 6.6 填料

填料的外观、厚度、变形率、氧指数、密度、拉伸强度和承载力按 DL/T 742 的规定。

## 7 检验规则

### 7.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

### 7.2 出厂检验

#### 7.2.1 检验项目

出厂检验项目包括冷却能力、噪声、能效、飘水率、复合材料件外观、复合材料件力学性能、金属件外观、填料外观、填料厚度、填料变形率、填料承载力。

## 7.2.2 抽样

以同原材料、同工艺、同类型的冷却塔为一批,每批抽检一台。

## 7.2.3 判定规则

7.2.3.1 冷却能力符合 5.1.2 规定、噪声符合 5.2 规定、能效符合 5.3 规定和飘水率符合 5.4 规定时,判相应项为合格。如不符合,允许调整一次,再进行一次试验(冷却能力、噪声、能效、飘水率同时进行),如符合相应要求,判为合格,否则判相应项为不合格。

7.2.3.2 复合材料件符合 5.5.1 规定为合格,如有不符合项,则抽取二倍数量的试样进行试验,如均符合要求判为合格,否则判相应项为不合格。

7.2.3.3 金属件符合 5.5.2.1 规定为合格。如不符合,允许采取一次修补措施,否则判相应项为不合格。

7.2.3.4 填料外观、厚度、变形率、承载力符合 5.6 规定为合格。如有不符合项,则抽取二倍数量的试样,再进行一次不合格项试验,如均符合要求判为合格,否则判相应项为不合格。

7.2.3.5 以上各项全部符合要求,判冷却塔出厂检验合格。若冷却能力、噪声、能效和飘水率有不合格项时,则判冷却塔不合格。其他有两个或两个以上不合格项时,则判冷却塔为不合格,如有一个不合格项时,则判冷却塔为合格,同时应注明不合格项。

## 7.3 型式检验

### 7.3.1 检验项目

第 5 章的全部项目。

### 7.3.2 检验条件

有下列情况之一时,应对冷却塔进行型式检验。

- a) 首制塔;
- b) 主要原材料或工艺方法有较大改变时;
- c) 正常生产每满三年时;
- d) 停产一年以上,恢复生产时。

### 7.3.3 抽样

以同项目、同规格的冷却塔为一批,每批抽检一台。

### 7.3.4 判定规则

7.3.4.1 冷却能力、噪声、能效、飘水率分别符合相应要求时为合格。如其中任何一项未符合要求,在不更换零部件的前提下,允许调整一次,重做试验(冷却能力、噪声、能效、飘水率同时进行),若该项已符合要求且另三项仍符合要求,则判该项合格,否则判该项不合格。

7.3.4.2 复合材料件符合 5.5.1、金属件符合 5.5.2 要求为合格,否则判该项不合格。

7.3.4.3 填料符合 5.6 为合格。如有不合格项,则抽取二倍数量的试样,再进行一次不合格项试验。

7.3.4.4 以上每项指标均符合要求,判该塔合格。若冷却能力、噪声、能效、飘水率和复合材料件性能有不合格项时,则判该塔不合格。其他有两个或两个以上不合格项时,则判该塔为不合格,如有一个不合格项时,则判该塔为合格,同时应注明不合格项。

## 8 标志、包装、运输和贮存

### 8.1 标志

在塔体适当部位安装铭牌,内容至少包括:

- a) 产品标记;
- b) 制造厂名和生产日期等;
- c) 主要设计参数,包括空气干球温度、湿球温度、大气压力、进塔水温、出塔水温、循环水流量、风机直径、电机功率等。

### 8.2 包装

包装应牢固可靠,有安全起吊标志。

### 8.3 运输

齿轮减速器不应倒放,塔体和风机叶片及填料等上面不应堆放重物。

### 8.4 贮存

8.4.1 齿轮减速器不应倒放,应室内存放。

8.4.2 复合材料件和填料不应暴晒和堆压重物,存放处应干燥、防水、防火,无腐蚀性介质。

8.4.3 风机应妥善保管,防止叶片变形。

### 8.5 随机文件

随同产品应提供以下文件:

- a) 样本或产品说明书:内容包括设计湿球温度、进出塔水温、冷却水流量、风量、电动机功率、标准点噪声、主要安装尺寸、基本尺寸、基础载荷,安装、使用及维修说明;产品样本或产品说明书应提供根据热力测试资料计算的热力性能曲线或数据,以供用户在非标准工况时确定冷却塔的有关参数;
- b) 出厂合格证;
- c) 产品易损件明细表;
- d) 装箱单。

## 9 其他

### 9.1 原材料及部件

所用的材料及部件应符合国家相关标准的技术要求,并经检验合格后方可使用。

### 9.2 风机

风机叶片要求强度可靠,表面光洁,各截面过渡均匀、无裂纹、缺口、毛刺等缺陷。复合材料风机叶片的表面,其可见气泡直径不大于 3 mm,展向每 100 mm 区域内气泡数不超过 3 个。

### 9.3 风筒

风筒线型应为动能回收型,筒壁应能承受 690 Pa 的压力。

#### 9.4 电动机、减速器

配用的电动机、减速器应与风机相匹配。应采用户外型电动机,防护等级不低于 IP54。减速器应有油温和震动保护报警装置。当有要求时,可配用防爆电动机或变速电动机。电动机与减速器相联的轴应做动平衡试验。

#### 9.5 配水系统

逆流式冷却塔宜优先采用低压管式配水系统,当水质太差时,例如悬浮物 70 mg/L,含油量 10 mg/L 以上或含有其他易粘挂、堵塞的杂质时,宜采用槽式配水系统。

#### 9.6 收水器

应采用收水效率高、气流阻力小、容易安装牢固的收水器。收水器组装块之间及其与柱、梁、板之间不应有气流短路的间隙和空洞。从收水器出来的气流方向应与风机转向一致。

#### 9.7 防护措施

##### 9.7.1 防腐措施

钢件,包括预埋钢件外露部分,应有防腐措施。

##### 9.7.2 防冻、防雷和防爆措施

必要时,应有可靠的防冻、防雷和防爆措施。

##### 9.7.3 满足检修、维护安全等要求的措施

应有满足检修、维护、安全等要求的措施,例如:应设检修门、走道、平台、护栏等。

#### 9.8 使用环境条件

冷却塔的选用和安装需要考虑周围构筑物对正常通风的影响、水质对散热效果的影响以及噪声、羽雾对周围环境的影响。

附录 A  
(规范性附录)  
冷却能力试验方法

A.1 范围

本方法适用于不小于 1 000 m<sup>3</sup>/h 机械通风开式冷却塔的冷却能力试验。

A.2 原理

冷却塔的冷却能力是客观存在的。它的实测冷却能力与设计冷却能力有可比性,前提是应将非设计工况下的实测冷却能力换算成相当于设计工况条件下的冷却能力。

A.3 条件

A.3.1 应在使用半个月之后一年之内进行。

A.3.2 空气湿球温度应在 10.0 ℃~31.0 ℃范围内,最好在夏季进行。

A.3.3 应在环境风速小于 4 m/s,阵风小于 7 m/s,无雨条件下进行。

A.3.4 进塔水流量应在设计水流量的 90%~110%范围内,不排放也不补充水。

A.3.5 进塔水温应在 33.0 ℃~53.0 ℃范围内,当进塔水温与设计水温温差大于±2 ℃时,应按公式(A.20)进行修正。

A.3.6 进塔水质总溶固体不超过 5 000 mg/L,含油(包括焦油)量不超过 10 mg/L,不含有直径大于 5 mm的机械性杂质。

A.3.7 风机轴功率应在设计值的 90%~110%范围内。

A.4 仪表

A.4.1 通风干湿球温度计,最小分度值不大于 0.2 ℃,精度不低于 0.5 级。

A.4.2 气压计。

A.4.3 毕托管和压差计或电磁流量计,超声波流量计。压差计精度不低于 1.5 级,电磁流量计,超声波流量计精度不低于 1.5%。

A.4.4 棒式水银温度计,最小分度值不大于 0.1 ℃,精度不低于 0.2 级,或热电偶、铂电阻温度计,最小分度值和精度,不低于棒式水银温度计。

A.4.5 三相功率表和互感器,精度不低于 1.5%。

A.4.6 功率因数表,精度不低于 1.5%。

A.4.7 旋桨式风速仪或热球式风速仪,精度不低于 1.5%。

A.5 步骤

A.5.1 仪表安装布置

仪表安装布置应符合以下要求:

- a) 测量进塔干、湿球温度的通风干湿球温度计应布置在塔的进风口外距塔 2 m 之内,距水池顶 1.5 m 高处,每侧 1~2 个点,温度计应避开阳光直射,所在空间通风良好;
- b) 测量大气压的气压计,测点布置同 A.5.1 a),但只设一个;
- c) 测进塔水流量的仪表,应安装在进塔水管上,测点前直管段长应大于 10D (D 为管直径),测点后直管段长应大于 5D,其间不应有接入、接出管道或有闸阀、法兰。如用毕托管,应另外满足以下要求:

在测点所在管道横断面上划分等面积环,其上的测点距管中心的距离  $R_n$ 。按式(A.1)计算:

$$R_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2a}} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- $R_n$  —— 测点距管中心的距离,单位为米(m);
- $R$  —— 管道半径,单位为米(m);
- $n$  —— 从管中心计起,测点位置的顺序数;
- $a$  —— 等面积环数; $a$  不应小于表 A.1 的规定数。

表 A.1 管道等面积环个数  $a$

管道直径 mm	<300	300~900	1 000~1 500
等面积环数 $a$	3	5	7

- d) 测进塔水温的温度计布置在进塔水管内,或放空水嘴处,或配水竖井内,横流塔也可布置在配水槽内;
- e) 测出塔水温的温度计,最好布置在出水管内或出水渠内。必要时布置在集水池上所设置的集水槽或集水盘内。集水槽宽宜取 200 mm,不少于 4 条。集水盘直径宜取 200 mm,不少于 12 个。集水槽和集水盘均布,可串联。

**A.5.2 测试数据允差**

系统稳定运行,每组测试数据间的允差范围应符合如下要求:

- a) 空气湿球温度:±1.0 ℃;
- b) 进塔水温:±1.0 ℃;
- c) 进塔水流量:±5%;
- d) 进出水温差:±5%;
- e) 大气压:±8 kPa。

**A.5.3 数据采集**

在 A.5.2 允差范围内采集数据,数据采集时长不小于 60 min,记录的有效测试数据不少于表 A.2 规定,出塔水温应比进塔水温滞后 2 min~5 min 采集。

表 A.2 主要试验参数及相应读数频率

序号	参数	记录数	数据间隔 min
1	进塔空气干湿球温度及大气压	6	10
2	进塔空气流量	2	30
3	进塔、出塔水温	6	10
4	冷却水流量	6	10
5	风机配用电机的输入功率	2	30
6	出塔空气干、湿球温度	2	30

A.5.4 进塔空气流量测试

A.5.4.1 间接测试

先测量风机轴功率,然后按式(A.2)计算:

$$G_i = G_d \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_i} \right) \left( \frac{N_i}{N_d} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\rho_d}{\rho_i} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $G_i$ ——实测进塔干空气质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $G_d$ ——设计进塔干空气质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $\gamma_d$ ——设计干空气比容,单位为立方米每千克( $m^3/kg$ );
- $\gamma_i$ ——实测干空气比容,单位为立方米每千克( $m^3/kg$ );
- $N_d$ ——设计风机轴功率,单位为千瓦(kW);
- $N_i$ ——实测风机轴功率,单位为千瓦(kW);
- $\rho_d$ ——设计进塔空气密度,单位为千克每立方米( $kg/m^3$ );
- $\rho_i$ ——实测的进塔空气密度,单位为千克每立方米( $kg/m^3$ )。

A.5.4.2 直接测试

A.5.4.2.1 如在风机吸入侧测量,宜在风机以下 0.2 m 处的水平断面,将用毕托管布置在互相垂直的两个半径上。各点距塔中心距离,按式(A.1)求出,总测点数 14 个~30 个,每个等面积环的面积不宜大于 3  $m^2$ 。计算气流通过的面积时应将风机基础所占面积扣除。

A.5.4.2.2 如在冷却塔进风口或风筒出口测量,可用旋桨式风速仪或热球式风速仪。进风口的测点,每点负担面积不宜大于 2  $m^2$ ;出风口的测点位置、个数可按 A.5.4.2.1 布置。

A.5.4.2.3 逆流塔不淋水时,可在塔内除水器以上 0.5 m 处的水平断面上测量,布点按 A.5.4.2.2 布置。

A.6 结果及计算

A.6.1 测试数据的处理

取每组工况各参数有效测试数据的算术平均值作为该组工况的有效数据。

A.6.2 冷却能力的计算

冷却能力按式(A.3)计算:

$$\eta = \frac{G_i}{Q_d \lambda_c} = \frac{Q_c}{Q_d} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- $\eta$  —— 冷却塔的冷却能力, %;
- $G_i$  —— 实测进塔干空气质量流量, 单位为千克每小时(kg/h);
- $Q_d$  —— 设计冷却水流量, 单位为千克每小时(kg/h);
- $\lambda_c$  —— 修正到设计工况下的气水比;
- $Q_c$  —— 修正到设计工况下进塔冷却水流量, 单位为千克每小时(kg/h)。

A.6.3  $\lambda_c$  的求解

A.6.3.1 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,  $\lambda_c$  的计算步骤如下:

- a) 根据实测进塔水流量  $Q_i$  和进塔空气量  $G_i$  求实测气水比  $\lambda_i$ ;
- b) 根据实测气水比  $\lambda_i$  和实测工况参数计算实测工况的冷却数  $N_i$ ;
- c) 将气水比  $\lambda_i$  和冷却数  $N_i$  点绘在修正气水比计算图上得 b 点, 如图 A.1 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;
- d) 过 b 点引设计热力性能曲线 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  $\lambda_c$  即为所求。

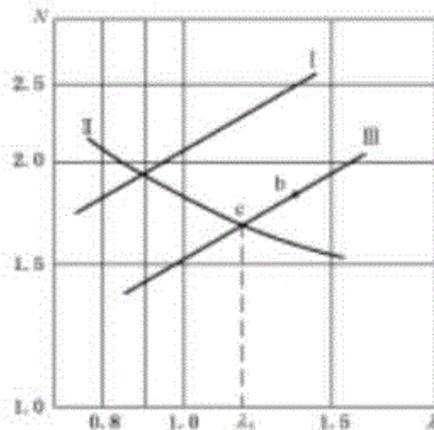


图 A.1 修正气水比计算图

A.6.3.2 当设计或制造单位仅提供设计工况参数, 没有提供该塔的热力性能曲线或公式时,  $\lambda_c$  的计算步骤如下:

- a) 取两组不同工况参数分别求出气水比  $\lambda_1$  和冷却数冷却数  $N_1$ ;
- b) 将求得的两组气水比  $\lambda_1$  和冷却数  $N_1$  分别点绘在修正气水比计算图上, 得  $b_1$  和  $b_2$  两点, 如图 A.2 所示;
- c) 连接  $b_1$  和  $b_2$  两点得直线 III, 直线 III 与工作特性曲线 II 相交与 c 点, c 点对应的气水比即为所求的  $\lambda_c$ 。

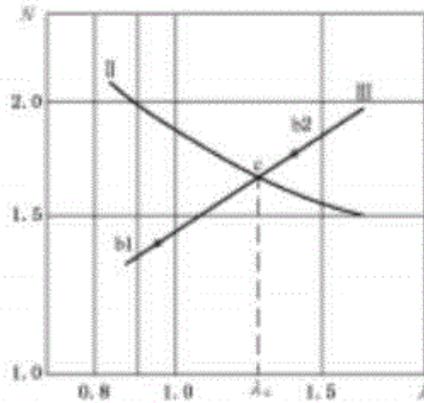


图 A.2 修正气水比计算图

A.6.4 所需参数的计算

A.6.4.1 进塔空气相对湿度按式(A.4)计算：

$$\varphi = \frac{p''_{\tau} - AP_0(\theta - \tau)}{p''_{\theta}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

- $\varphi$  —— 进塔空气相对湿度，%；
- $p''_{\tau}$  —— 进塔空气在湿球温度  $\tau$  时饱和空气的水蒸气分压，单位为千帕(kPa)；
- $p''_{\theta}$  —— 进塔空气在干球温度  $\theta$  时饱和空气的水蒸气分压，单位为千帕(kPa)；
- $A$  —— 不同干湿球温度计的系数。屋式阿弗古斯特干湿球温度计为  $A = 0.000\ 797\ 4$ ；通风式阿斯曼干湿球温度计为  $A = 0.000\ 662$ ；
- $p_0$  —— 大气压力，单位为千帕(kPa)；
- $\theta$  —— 干球温度，单位为摄氏度(°C)；
- $\tau$  —— 湿球温度，单位为摄氏度(°C)。

A.6.4.2 饱和空气的水蒸气分压在 0 °C ~ 100 °C 时按式(A.5)计算：

$$\lg p'' = 2.005\ 717\ 3 - 3.142\ 305 \left( \frac{10^3}{273.15 + t} - \frac{10^3}{373.15} \right) + 8.2 \lg \frac{373.15}{273.15 + t} - 0.002\ 480\ 4(100 - t) \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

- $p''$  —— 饱和空气的蒸汽分压，单位为千帕(kPa)；
- $t$  —— 温度，单位为摄氏度(°C)。

A.6.4.3 空气含湿量按式(A.6)计算：

$$\chi = 0.622 \frac{\varphi P''_0}{P_0 - \varphi P''_0} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

- $\chi$  —— 空气含湿量，单位千克每千克(kg/kg)。

A.6.4.4 空气比容按式(A.7)计算：

$$v = \frac{0.461\ 5T}{P_0} (0.622 + \chi) \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$v$  ——空气比容,单位立方米每千克( $\text{m}^3/\text{kg}$ );

$T$  ——空气绝对温度,单位为开尔文(K)。

A.6.4.5 进塔干空气密度按式(A.8)计算:

$$\rho_1 = \frac{(P_0 - \varphi p_0'') \times 10^3}{287.14 \times (273.15 + \theta)} \quad \dots\dots\dots (\text{A.8})$$

式中:

$\rho_1$  ——进塔干空气密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

A.6.4.6 气水比按式(A.9)计算:

$$\lambda = \frac{\rho_1 G}{Q} \quad \dots\dots\dots (\text{A.9})$$

式中:

$\lambda$  ——气水比;

$G$  ——风量,单位为立方米每小时( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q$  ——冷却水流量(质量流量),单位为千克每小时( $\text{kg}/\text{h}$ )。

A.6.4.7 进塔空气焓按式(A.10)计算:

$$h_1 = 1.005\theta + 0.622 \times (2\,500 + 1.842\theta) \frac{\varphi p_0''}{p_0 - \varphi p_0''} \quad \dots\dots\dots (\text{A.10})$$

式中:

$h_1$  ——进塔空气焓,单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ )。

A.6.4.8 出塔空气焓按式(A.11)计算:

$$h_2 = h_1 + \frac{C_w \Delta t}{k \cdot \lambda} \quad \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

式中:

$h_2$  ——出塔空气焓,单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ );

$C_w$  ——水的比热,  $C_w = 4.187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\Delta t$  ——水温降,单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ );

$k$  ——蒸发水量带走热量系数,按式(A.12)计算。

$$k = 1 - \frac{t_2}{586 - 0.56(t_2 - 20)} \quad \dots\dots\dots (\text{A.12})$$

式中:

$t_2$  ——出塔水温,单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ )。

A.6.4.9 温度为  $t$  时,饱和空气焓按式(A.13)计算:

$$h'' = 1.005t + 0.622 \times (2\,500.8 + 1.842t) \frac{p_i''}{p_0 - p_i''} \quad \dots\dots\dots (\text{A.13})$$

式中:

$h''$  ——温度  $t$  时的饱和空气焓,单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ );

$p_i''$  ——温度  $t$  时的饱和空气的水蒸气分压,单位为千帕( $\text{kPa}$ )。

A.6.5 逆流式冷却塔的冷却数

逆流式冷却塔的冷却数按式(A.14)求解:

$$N = \int_{t_2}^{t_1} \frac{C_w dt}{h'' - h} \quad \dots\dots\dots (\text{A.14})$$

式中:

$N$  ——冷却数,无量纲;

$h''$  ——饱和空气焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$h$  ——空气焓,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$t_1$  ——进塔水温,单位为摄氏度(°C)。

式(A.14)的积分按式(A.15)计算。

$$N = \frac{C_w \Delta t}{4} \left( \frac{1}{h''_{c1} - h_{G1}} + \frac{1}{h''_{c2} - h_{G2}} + \frac{1}{h''_{c3} - h_{G3}} + \frac{1}{h''_{c4} - h_{G4}} \right) \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

$\Delta t$  ——水温降,单位为摄氏度(°C);

$h''_{c1}$  ——出塔水温  $t_2 + 0.1\Delta t$  条件下的饱和空气焓,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h_{G1}$  ——第一个点经过修正以后的空气比焓,按式(A.16)计算,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h''_{c2}$  ——出塔水温  $t_2 + 0.4\Delta t$  条件下饱和空气比焓,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h_{G2}$  ——第二个点经过修正以后的空气比焓,按式(A.17)计算,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h''_{c3}$  ——进塔水温  $t_1 - 0.4\Delta t$  条件下的饱和空气焓,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h_{G3}$  ——第三个点经过修正以后的空气比焓,按式(A.18)计算,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h''_{c4}$  ——进塔水温  $t_1 - 0.1\Delta t$  条件下的饱和空气焓,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)];

$h_{G4}$  ——第四个点经过修正以后的空气比焓,按式(A.19)计算,单位为千焦每千克干空气[kJ/kg(DA)]。

$$h_{G1} = h_1 + 0.1\Delta t C_w / \lambda \dots\dots\dots (A.16)$$

$$h_{G2} = h_1 + 0.4\Delta t C_w / \lambda \dots\dots\dots (A.17)$$

$$h_{G3} = h_2 - 0.4\Delta t C_w / \lambda \dots\dots\dots (A.18)$$

$$h_{G4} = h_2 - 0.1\Delta t C_w / \lambda \dots\dots\dots (A.19)$$

当实测进塔水温与设计水温不相等,且温差大于±2 °C时,应按式(A.20)将实测的冷却数  $N_t$  进行水温修正后再做评价计算。

$$N_{ix} = N_t \left( \frac{t_{d1}}{t_{t1}} \right)^{-P_0} \dots\dots\dots (A.20)$$

式中:

$N_{ix}$  ——修正后冷却数;

$N_t$  ——实测冷却数;

$t_{d1}$  ——设计进塔水温;

$t_{t1}$  ——实测进塔水温;

$P_0$  ——系数,根据有关淋水填料实测值选用,无资料时取 0.4。

### A.6.6 横流式冷却塔的冷却数

横流式冷却塔的冷却数按式(A.21)求解:

$$N_b = \frac{N_a}{F} \dots\dots\dots (A.21)$$

式中:

$N_h$ ——横流冷却塔冷却数;

$N_a$ ——按逆流冷却塔方法求出的冷却数;

$F$ ——修正系数,按式(A.22)计算。

$$F = 1 - 0.106 \left( 1 - \frac{h_2'' - h_2}{h_1'' - h_1} \right)^{3.5} \dots\dots\dots (A.22)$$

式中:

$h_1$ ——进塔水温为  $t_1$  时的空气焓,单位为千焦每千克(kJ/kg),按式(A.10)计算;

$h_2$ ——出塔水温为  $t_2$  时的空气焓,单位为千焦每千克(kJ/kg),按式(A.11)计算;

$h_1''$ ——进塔水温为  $t_1$  时的饱和空气焓,单位为千焦每千克(kJ/kg),按式(A.13)计算;

$h_2''$ ——出塔水温为  $t_2$  时的饱和空气焓,单位为千焦每千克(kJ/kg),按式(A.13)计算。

## A.7 试验报告

A.7.1 冷却塔的冷却能力、噪声、能效、飘水率等指标相互关联,不宜就其中某项指标做单独测试并出具测试报告。

A.7.2 试验报告内容至少包括以下 a)、b)2 项及 c)~h)项中的部分或全部:

- a) 试验结果;
- b) 冷却塔关键参数,至少包括实测外形尺寸、名义冷却水流量、电动机铭牌功率及极数、风机直径及叶片数量、填料片距等;
- c) 试验任务、目的;
- d) 冷却塔设计、运行的概况及有关示意图;
- e) 方法、仪表及测点布置;
- f) 试验记录整理、数据汇总;
- g) 存在问题及分析;
- h) 负责与参加试验的单位、人员、试验日期。

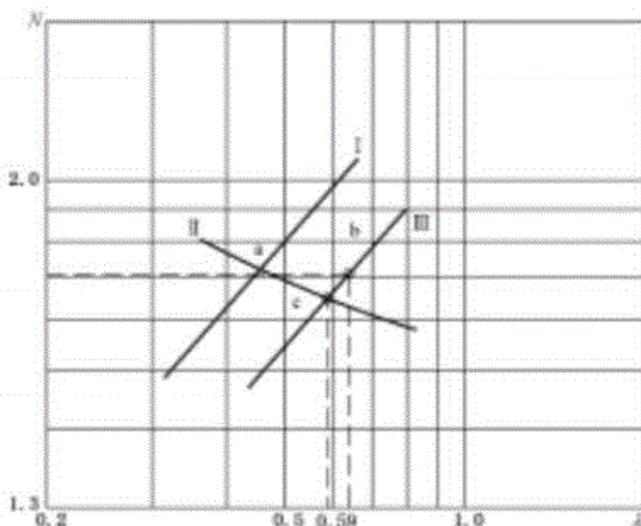
**附录 B**  
(资料性附录)  
**冷却能力计算示例**

**B.1 设计或制造单位给出了热力性能曲线**

**B.1.1** 某机械抽风冷却塔的设计工况及实测工况参数如表 B.1 所示,该塔的热力性能曲线 I,工作特性曲线 II 如图 B.1 所示。

**表 B.1 设计工况及实测工况参数表**

项 目	设计工况	实测工况 I
大气压力/kPa	96.9	97.1
进塔空气干球温度/℃	34.1	25.53
进塔空气湿球温度/℃	28.5	21.85
进塔水流量/(m <sup>3</sup> /h)	4 500	4 476
进塔水温/℃	43.0	36.32
出塔水温/℃	33.0	27.80
风机轴功率/kW	146.4	159.3
进塔空气流量/(m <sup>3</sup> /h)	251.4×10 <sup>4</sup>	—



**图 B.1 修正气水比计算图**

**B.1.2** 由实测数据经计算得实测进塔空气流量  $G_c = 2\,661.3$  [t(DA)/h], 实测气水比  $\lambda_c = 0.64$ , 实测冷却数  $N = 1.83$ 。由于实测进塔水温与设计水温不相等,且温差大于  $\pm 2$  ℃时,应按公式(A.20)将测定的冷却数按式(B.1)进行水温修正后再做评价计算:

$$N'_{ix} = N'_c \left[ \frac{t_{di}}{t_{ci}} \right]^{-P_0} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$N'_{ix} = 1.83 \times \left( \frac{43.0}{36.32} \right)^{-0.4} = 1.71。$$

根据  $\lambda_c$  和  $N'_{dc}$  在图 B.1 上点绘出 b 点, 经过 b 点作热力性能曲线 I 的平行线 III, 直线 III 与工作特性曲线 II 相交于 c 点, 该点对应的气水比  $\lambda_c = 0.59$  即为所求的修正气水比, 见式 (B.2) 和式 (B.3):

$$Q_c = \frac{G_c}{\lambda_c} = \frac{2\,661.3}{0.59} = 4\,510.7 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$\eta_{at} = \frac{G_c}{Q_d \lambda_c} = \frac{Q_c}{Q_d} \times 100\% = \frac{4\,510.7}{4\,500} = 100.2\% \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

评价: 该冷却塔的实测冷却能力达到设计冷却能力的 100.2%。

**B.2 设计或制造单位未给出热力性能曲线**

**B.2.1** 某机械抽风冷却塔的设计工况及实测工况参数如表 B.2 所示, 对该塔进行的评价。

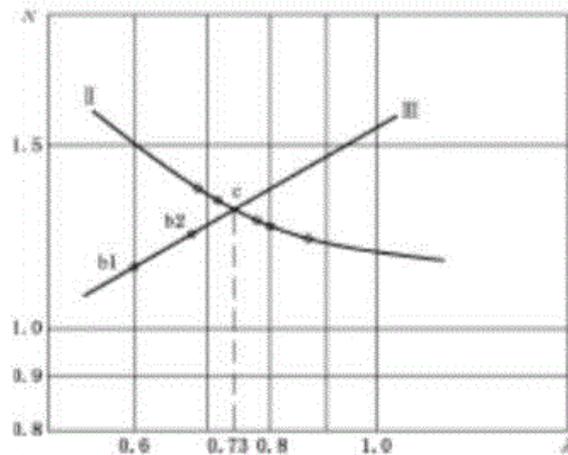
**表 B.2 设计工况及实测工况参数表**

项 目	设计工况	实测工况 I	实测工况 II
大气压力/kPa	99.9	100.3	100.4
进塔空气干球温度/℃	32.6	37.6	33.0
进塔空气湿球温度/℃	28.2	30.5	29.8
进塔水流量/(m <sup>3</sup> /h)	4 000	3 980	4 530
进塔水温/℃	43.0	42.7	42.3
出塔水温/℃	33.0	34.7	34.7
气水比	—	0.68	0.60
特性数	—	1.25	1.19

**B.2.2** 根据设计工况参数, 假定不同的气水比  $\lambda$  计算相应的冷却数  $N$  如表 B.3 所示, 并根据假定的气水比  $\lambda$  相应的冷却数  $N$  绘制工作特性曲线 II, 如图 B.2 所示。

**表 B.3 冷却数计算表**

$\lambda$	0.69	0.72	0.76	0.80	0.85
$N$	1.43	1.37	1.31	1.26	1.22



**图 B.2 修正气水比计算图**

将两组实测工况的气水比和特性数分别点绘在图 B.2 上,得实测工况得  $b_1$  和  $b_2$  两点,连接  $b_1$  和  $b_2$  两点得直线 III,直线 III 与工作特性曲线 II 相交于 c 点,c 点对应的气水比  $\lambda_c=0.73$ 。

根据式(A.3)计算出  $\eta$ ,由实测工况 I 得:

$$G_i = Q_i \lambda_i = 3\,980 \times 0.68 = 2\,706 \text{ [t(DA)/h]};$$

$$Q_c = \frac{G_i}{\lambda_c} = \frac{2\,706}{0.73} = 3\,707 \text{ (t/h)};$$

$$\eta = \frac{G_i}{Q_d \lambda_c} = \frac{Q_c}{Q_d} \times 100\% = \frac{3\,707}{4\,000} \times 100\% = 92.7\%。$$

由实测工况 II 得:

$$G_i = Q_i \lambda_i = 4\,530 \times 0.60 = 2\,718 \text{ [t(DA)/h]};$$

$$Q_c = \frac{G_i}{\lambda_c} = \frac{2\,718}{0.73} = 3\,723 \text{ (t/h)};$$

$$\eta = \frac{G_i}{Q_d \lambda_c} = \frac{Q_c}{Q_d} \times 100\% = \frac{3\,723}{4\,000} \times 100\% = 93.1\%。$$

平均值:  $\eta=92.9\%$

评价:该冷却塔的实测冷却能力达到设计冷却能力的 92.9%。

**附录 C**  
**(规范性附录)**  
**冷却塔噪声试验方法**

**C.1 范围**

本方法适用于大型机械抽风冷却塔噪声的试验。

**C.2 仪表**

I 级声级计。

**C.3 测点布置**

距塔进风口方向离塔壁水平距离为一个塔直径或当量直径,基础顶面以上 1.5 m 高的测点。

**C.4 试验条件与要求**

C.4.1 噪声测定应与热力性能和风机驱动电动机输入有功功率测试同步进行。

C.4.2 噪声测定时周围环境应安静,冷却塔不运转时冷却塔的本底噪声应比运转时的 A 声级至少低 10 dB(A)。

C.4.3 噪声测量值与背景噪声的差值修约到个位数后,其值大于或等于 3 dB(A)小于 10 dB(A)时,按表 C.1 进行修正;其值小于 3 dB(A)时,按 HJ 706 的规定处理。

C.4.4 按表 C.1 进行修正后得到的噪声值应修约到个位数。

表 C.1 噪声修正值表

单位为分贝(A)

噪声差值	3	4~5	6~9	≥10
修正值	-3	-2	-1	0

**C.5 结果**

取经过修正后的几个测点的算术平均值作为最终测试结果。

**C.6 试验报告**

C.6.1 冷却塔的冷却能力、噪声、能效、飘水率等指标相互关联,不宜就其中某项指标做单独测试并出具测试报告。

C.6.2 试验报告内容至少包括以下 a)、b)2 项及 c)~h)项中的部分或全部:

- a) 试验结果;
- b) 冷却塔关键参数,至少包括实测外形尺寸、名义冷却水流量、电动机铭牌功率及极数、风机直径

及叶片数量、填料片距等；

- c) 试验任务、目的；
- d) 冷却塔设计、运行的概况及有关示意图；
- e) 仪表及测点布置；
- f) 试验记录整理、数据汇总；
- g) 存在问题及分析；
- h) 负责与参加试验的单位、人员、试验日期。

**附录 D**  
**(规范性附录)**  
**耗电比试验方法**

**D.1 范围**

本测定方法适用于电动机驱动的机械通风冷却塔。

**D.2 仪表**

三相功率表和互感器,精度不低于1.5%。

**D.3 测量参数**

**D.3.1** 电动机工作电流及输入有功功率。

**D.3.2** 按 A.3.3 的相应仪表测定冷却水流量。

**D.4 测量条件**

**D.4.1** 耗电比测试应与冷却能力测试同步进行。

**D.4.2** 电动机工作电流不得大于其额定电流。

**D.5 测点布置**

应尽量靠近电动机。当输电电缆较长时,应考虑输电沿途的电能损耗。

**D.6 试验结果**

耗电比按式(D.1)计算:

$$\alpha = \frac{P}{\eta Q} \quad \text{.....(D.1)}$$

式中:

$\alpha$  ——耗电比,单位千瓦时每立方米(kW·h/m<sup>3</sup>);

$P$  ——实测电动机输入有功功率,单位为千瓦(kW);

$\eta$  ——冷却能力,%;

$Q$  ——实测冷却水流量,单位为立方米每小时(m<sup>3</sup>/h)。

**D.7 试验报告**

**D.7.1** 冷却塔的冷却能力、噪声、能效、飘水率等指标相互关联,不宜就其中某项指标做单独测试并出具测试报告。

**D.7.2 试验报告内容至少包括以下 a)、b)2 项及 c)~h)项中的部分或全部:**

- a) 试验结果;
- b) 冷却塔关键参数,至少包括实测外形尺寸、名义冷却水流量、电动机铭牌功率及极数、风机直径及叶片数量、填料片距等;
- c) 试验任务、目的;
- d) 冷却塔设计、运行的概况及有关示意图;
- e) 仪表及测点布置;
- f) 试验记录整理、数据汇总;
- g) 存在问题及分析;
- h) 负责与参加试验的单位、人员、试验日期。

附录 E  
(规范性附录)  
飘水率试验方法

E.1 范围

本方法适用于大型机械抽风冷却塔飘水率的试验。

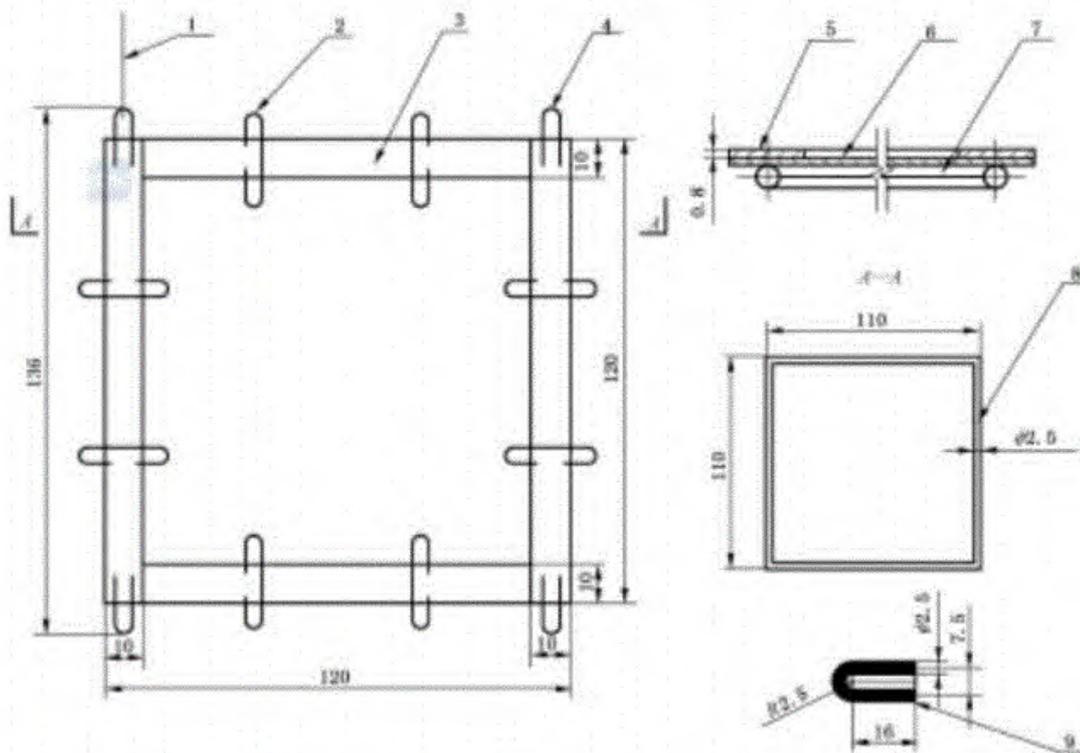
E.2 仪表及设施

E.2.1 普通计量秒表；

E.2.2 分析天平，感量为 0.001 g。

E.2.3 理化实验室普通干燥设备，塑料袋，120 mm×120 mm 普通滤纸，及将滤纸放到冷却塔出口定点位置的固定辅助设备。

单位为毫米



说明：

- |            |                             |           |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 1—绳索；      | 4—骑马钉， $\phi 2.5$ mm，与侧板框焊； | 7—钢丝框；    |
| 2—曲别针，后卡上； | 5—侧板框；                      | 8—钢丝框示意图； |
| 3—侧板框；     | 6—滤纸；                       | 9—骑马钉(钢)。 |

图 E.1 固定滤纸辅助设施示意图

### E.3 试验条件

进塔空气流量与进塔水流量应与热力性能试验时相近,差值在±5%之内。为了减少热力蒸发量的影响,有条件时,最好让进塔水温尽量低,可以不与热力性能试验同步进行。

### E.4 测点布置

将冷却塔出风口顶划分成5个等面积环,每个环中对称布置2个。

### E.5 试验步骤

将滤纸干燥之后放入塑料袋,用天平称量,取出滤纸,用辅助设施将滤纸水平放到各测点,记时。视飘水情况放置1 min~5 min,快速取出,记时。放入原塑料袋中,用天平称量。得出先后两次称量的差值,精确到0.01 g。

### E.6 试验结果

由滤纸的总增量、总面积、出风口面积,滤纸的放置时间可计算出飘水总流量 $Q_a$ ,再与进塔水流量比较,可求出飘水率,按式(E.1)计算:

$$p_i = \frac{Q_a}{Q_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- $p_i$  —— 飘水率, %;
- $Q_a$  —— 冷却塔出风口飘水流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $Q_i$  —— 进塔水流量,单位为千克每小时(kg/h)。

进塔水流量的试验见附录 A。

### E.7 试验报告

E.7.1 冷却塔的冷却能力、噪声、能效、飘水率等指标相互关联,不宜就其中某项指标做单独测试并出具测试报告。

E.7.2 试验报告内容至少包括以下 a)、b)2 项及 c)~h)项中的部分或全部:

- a) 试验结果;
- b) 冷却塔关键参数,至少包括实测外形尺寸、名义冷却水流量、电动机铭牌功率及极数、风机直径及叶片数量、填料片距等;
- c) 试验任务、目的;
- d) 冷却塔设计、运行的概况及有关示意图;
- e) 仪表及测点布置;
- f) 试验记录整理、数据汇总;

- g) 存在问题及分析；
  - h) 负责与参加试验的单位、人员、试验日期。
-