

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发〈2014 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2013〕169 号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本规范。

本规范共分 7 章和 2 个附录,主要技术内容包括:总则、术语、基本规定、气象参数、设计计算、塔型及部件设计、环境保护等。

本规范修订的主要技术内容是:

- (1)去除了不适用的条、款,增补了塔型设计与选择的条文;
- (2)新增加了冷却塔的消雾、消噪声章节。

本规范由住房城乡建设部负责管理,由中国工程建设标准化协会化工分会负责日常管理,由东华工程科技股份有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如发现需要修改和补充之处,请将意见和有关资料寄交东华工程科技股份有限公司(地址:安徽省合肥市望江东路 70 号,邮政编码:230024),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、参加单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国石油和化工勘察设计协会
东华工程科技股份有限公司

参 编 单 位:中国成达工程公司
中化工程沧州冷却技术有限公司
上海理工大学
江苏海鸥冷却塔股份有限公司

参 加 单 位:广州览讯科技开发有限公司

主要起草人: 韩 玲 项元红 王进友 章立新 蒋晓明
马 强 徐东溟 包冰国 彭 昕 刘婧楠
主要审查人: 赵顺安 尹 证 谭中侠 韩红琪 于 峥
胡连江 魏江波 李建国 陈良才 黄纪军
贺颂钧

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(4)
3.1	一般规定	(4)
3.2	冷却塔布置	(5)
3.3	冷却塔防护	(7)
4	气象参数	(9)
5	设计计算	(10)
5.1	热力计算中常用参数计算	(10)
5.2	逆流式冷却塔工作特性	(11)
5.3	横流式冷却塔工作特性	(12)
5.4	热力计算	(13)
5.5	阻力计算	(13)
5.6	水量计算	(16)
5.7	水力计算	(17)
6	塔型及部件设计	(21)
6.1	塔型	(21)
6.2	集水池	(22)
6.3	进风口	(22)
6.4	填料	(23)
6.5	配水系统	(24)
6.6	收水器	(25)
6.7	风筒	(26)
6.8	风机	(27)

7 环境保护	(28)
7.1 冷却塔消雾	(28)
7.2 冷却塔消噪声	(29)
附录 A 横流式冷却塔冷却数中心差分近似算法	(30)
附录 B 逆流式冷却塔塔体阻力系数计算方法	(33)
本规范用词说明	(41)
引用标准名录	(42)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(4)
3.1	General requirements	(4)
3.2	Layout of cooling tower	(5)
3.3	Prevention and protection for cooling tower	(7)
4	Determination of meteorological parameters	(9)
5	Design calculations	(10)
5.1	Calculation of commonly used thermodynamic parameters	(10)
5.2	Counter-flow cooling tower characteristics	(11)
5.3	Cross-flow cooling tower characteristics	(12)
5.4	Design point calculation	(13)
5.5	Resistance calculation	(13)
5.6	Calculation of capacity	(16)
5.7	Hydraulic calculation	(17)
6	Selection of tower type and components	(21)
6.1	Selection of tower type	(21)
6.2	Cooling water basin	(22)
6.3	Air inlet	(22)
6.4	Fill	(23)
6.5	Water distribution system	(24)
6.6	Eliminators	(25)
6.7	Cylinders	(26)

6.8	Fan system	(27)
7	Environmental protection	(28)
7.1	Anti-fogging measures of cooling tower	(28)
7.2	Anti-noise measures of cooling tower	(29)
Appendix A	Central difference approximate calculation method on characteristics of cross-flow cooling tower	(30)
Appendix B	Calculation method of counter-flow cooling tower body resistance coefficient	(33)
	Explanation of wording in this code	(41)
	List of quoted standards	(42)

1 总 则

1.0.1 为规范机械通风冷却塔工艺设计,做到技术先进、经济合理、节能环保,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于工业企业新建、改建和扩建中开式机械通风冷却塔的工艺设计。

1.0.3 机械通风冷却塔工艺设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 冷却塔 cooling tower

把冷却水的热量传给大气的设备、装置或构筑物。

2.0.2 开式冷却塔 opened cycle cooling tower

冷却水与空气直接接触的冷却塔。

2.0.3 闭式冷却塔 closed cycle cooling tower

冷却水与空气不直接接触的冷却塔,包括干式、湿式、干湿复合式闭式冷却塔。

2.0.4 淋水密度 water loading

填料区域水平投影面单位时间和单位面积上的喷淋水量。

2.0.5 气象参数 meteorological parameters

冷却塔设计时采用的大气压力、干球温度、湿球温度、相对湿度、自然风向和风速。

2.0.6 逼近度 approach

冷却塔的出水温度与进塔空气湿球温度之差值。

2.0.7 水温差 range

冷却塔进水温度与出水温度之差值。

2.0.8 气水比 mass ratio of dry air and water through cooling tower

进入冷却塔的干空气与冷却水的质量流量之比,以 λ 表示。

2.0.9 任务曲线 demand curve

在设计气象参数、进出塔水温一定的条件下,由不同的气水比 λ 计算出的一组冷却数 Ω ,表示为 Ω 和气水比 λ 的关系曲线 $[\Omega = f(\lambda)]$,在双对数坐标上为 Ω 随 λ 增大而降低的曲线。

2.0.10 冷却塔(填料)热力特性曲线 characteristic curve

冷却塔(填料)散热性能特性数 Ω' 与气水比 λ 的关系曲线 [$\Omega' = f(\lambda)$], 在双对数坐标上为 Ω' 随 λ 增大而增大的直线。

2.0.11 阻力特性 resistance characteristic

冷却塔塔体及部件对空气流产生的阻力, 阻力值为风速和淋水密度的函数, 符合特定函数关系。

2.0.12 羽雾 plume

冷却塔排出的湿热空气与冷却塔内外的冷空气接触后, 在风筒出口产生的可见水雾。

2.0.13 回流 recirculation

冷却塔的进塔空气中混入了一部分本塔或塔排排出的湿热空气的现象。

2.0.14 干扰 influence

冷却塔的进塔空气中混入了一部分其他冷却塔或塔排排出的湿热空气的现象。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 冷却塔设计应根据生产工艺和气象条件,进行多方案比较。

3.1.2 冷却塔的大、中、小型界限宜按下列规定划分:

- 1 大型:单格冷却水量不小于 $3000\text{m}^3/\text{h}$;
- 2 中型:单格冷却水量小于 $3000\text{m}^3/\text{h}$ 且不小于 $1000\text{m}^3/\text{h}$;
- 3 小型:单格冷却水量小于 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 。

3.1.3 冷却塔应按下列要求采取优化空气流场的措施:

1 横流式冷却塔填料顶部至风机吸入段下缘的高度不宜小于风机直径的 20%。

2 横流式冷却塔的淋水填料从顶部至底部应有向塔的垂直中轴线的收缩倾角。点滴式淋水填料的收缩倾角宜为 $9^\circ\sim 11^\circ$,薄膜式淋水填料的收缩倾角宜为 $5^\circ\sim 6^\circ$ 。

3 横流式冷却塔应设置防止空气从填料底至集水池水面间短路的措施。

4 逆流式冷却塔填料顶面至风筒进口之间气流收缩段的高度宜符合下列规定:

- 1) 当塔顶盖板为平顶时,从填料顶面算起的气流收缩段顶角宜小于 90° ;当平顶盖板下设有导流圈(伞)时,从收水器顶面算起的气流收缩段顶角宜为 $90^\circ\sim 110^\circ$;
- 2) 当塔顶盖板自收水器以上为收缩型时,收缩段盖板的顶角宜为 $90^\circ\sim 110^\circ$ 。

5 双侧进风的逆流式冷却塔应设中部挡风隔板,隔板上缘紧贴填料支撑梁底,下缘宜伸入集水池水面以下 $200\text{ mm}\sim 300\text{ mm}$ 。

3.1.4 逆流式冷却塔的淋水密度和塔内风速宜按下列规定范围取值,寒冷地区淋水密度宜取大值:

1 大、中型冷却塔:淋水密度宜为 $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \sim 16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,塔内风速宜为 $2.0 \text{ m/s} \sim 2.5 \text{ m/s}$;

2 小型冷却塔:淋水密度宜为 $12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \sim 16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,塔内风速宜为 $2.0 \text{ m/s} \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。

3.1.5 逆流式冷却塔填料支撑梁、柱的投影面积不宜超过冷却塔横截面积的 20%。

3.1.6 横流式冷却塔的淋水密度与进风口风速宜按下列规定范围取值:

1 进风口的平均风速宜取 $1.8 \text{ m/s} \sim 3.3 \text{ m/s}$;

2 点滴式或点滴、薄膜混装式填料的淋水密度宜为 $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \sim 26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

3 薄膜式填料的淋水密度宜为 $26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \sim 50 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.2 冷却塔布置

3.2.1 冷却塔塔排布置与主导风向的关系应符合下列规定:

1 单侧进风的冷却塔,进风口宜面向夏季主导风向;

2 双侧进风的冷却塔,塔排的长轴宜平行于夏季主导风向。

3.2.2 单格冷却塔,塔平面宜为正方形,当场地限制,需要采用长方形冷却塔时,长方形平面的长宽比不宜大于 4:3,并且进风口宜设在矩形的长边。

3.2.3 冷却塔宜单排布置,塔排的长宽比应符合下列规定:

1 大、中型冷却塔,塔排的长宽比宜为 3:1~5:1;

2 小型冷却塔,塔排的长宽比宜为 4:1~5:1。

3.2.4 考虑回流影响时,设计湿球温度的修正宜按下式计算:

$$\tau_1 = \tau_0 + \frac{kQ}{8150 + 0.622Q} \quad (3.2.4)$$

式中: τ_1 ——修正后的设计湿球温度($^{\circ}\text{C}$);

τ_0 —— 原始设计湿球温度(°C)；

Q —— 塔排冷却水量(m^3/h)；

k —— 逼近度与水温差的修正系数,可通过表 3.2.4 查取。

表 3.2.4 逼近度与水温差修正系数 k

逼近度 (°C)	水温差(°C)						
	8	10	12	14	16	18	20
3	0.62	0.74	0.86	0.98	1.10	1.22	1.34
4	0.69	0.82	0.95	1.09	1.21	1.34	1.52
5	0.73	0.89	1.03	1.17	1.30	1.45	1.64
6	0.76	0.92	1.07	1.21	1.36	1.51	1.71
7	0.81	0.98	1.14	1.28	1.44	1.59	1.79
8	0.85	1.03	1.20	1.34	1.50	1.66	1.86
9	0.90	1.08	1.25	1.40	1.56	1.72	1.92
10	0.94	1.12	1.29	1.45	1.61	1.77	1.99
11	0.96	1.14	1.31	1.47	1.63	1.80	2.02
12	0.99	1.18	1.35	1.51	1.68	1.85	2.08
13	1.02	1.21	1.38	1.55	1.72	1.90	2.12

注:中间值由线性插入法计算。

3.2.5 多排布置的逆流式冷却塔的塔排间距应符合下列规定:

1 长轴位于同一直线上的相邻塔排,净距不应小于 4m;

2 长轴不在同一直线上、平行布置的相邻塔排,塔排间距不应小于塔的进风口高度的 4 倍。

3.2.6 多排布置的冷却塔,当相邻塔排的间距小于塔排平均长度时,设计湿球温度的修正宜符合本规范第 3.2.4 条的规定。冷却水量应取两塔排的冷却水量之和,逼近度和水温差应取组合后修正值 k 较大者。

3.2.7 大型冷却塔塔群的回流与干扰影响的修正,宜通过流场数字模拟实验或根据实际工程经验确定。

3.2.8 当需要用围护板屏蔽冷却塔时,应保证冷却塔与屏蔽装置之间气流畅通。冷却塔进风口侧与其他建筑物的净距不应小于塔的进风口高度的 2 倍。

3.2.9 冷却塔的位置宜靠近主要用水装置,其布置应符合下列规定:

1 应布置在厂区主要建筑物及露天配电装置的冬季主导风向的下风侧,并留有适当间距;

2 应布置在贮煤场等粉尘影响源的全年主导风向的上风侧;

3 应远离厂内露天热源;

4 冷却塔进风口侧的建(构)筑物不应影响冷却塔的通风,塔排中间布置构筑物或大型设备时,进风口与构筑物或大型设备的距离不宜小于进风口高度的 2 倍;

5 宜避免冷却塔的羽雾对周围环境及生产装置的影响;

6 宜避免冷却塔的噪声对敏感区域的影响;

7 应布置在爆炸危险区域以外,当不能避免时,驱动风机的电机应选用防爆电机,同时布置在防爆区域内的电气、仪表应采用防爆设备。

3.3 冷却塔防护

3.3.1 寒冷地区的冷却塔应按下列要求采取防冻措施:

1 应在进风口设置防止水滴外溅的设施;

2 当同一循环冷却水系统冷却塔的数量较多时,宜减少运行冷却塔数量,停止运行的冷却塔的集水池应保持一定量热水循环或采取其他保温措施;

3 可采用减小风机叶片安装角、停止部分风机运行、选用允许倒转的风机等措施;

4 在进风口上下缘及易结冰部位设热水化冰管,化冰管的热水量应与防冻化冰要求相适应;

5 设置能通过部分或全部循环水量的旁路水管,当冬季运行

或热负荷较低时,循环水可通过旁路直接进入集水池;

6 冬季可在进风口加挡风板。

3.3.2 冷却塔应按下列要求设置安全设施:

1 应设置通向塔顶平台、淋水填料的梯子;

2 风筒应有向外开启的检修门;

3 塔内应有检修平台、走道,并应有安全护栏;平台、走道、护栏的材质应防腐蚀或采用耐腐蚀材质,并应符合相关安全规定;

4 塔顶应有避雷装置、接地设施和照明设施。

3.3.3 当环境对冷却塔的噪声有限制时,应根据工程具体条件,采取降低冷却塔噪声的措施。

3.3.4 含有腐蚀性污染物的冷却水系统,冷却塔塔体内壁、配水设施、淋水填料和收水器安装的紧固件等应采取相应的防腐措施。集水池宜根据水质情况及相关标准进行防腐、防渗处理。

3.3.5 采用聚合物或其复合材料制成的冷却塔的塔体结构、围护结构、填料、配水系统、收水器、喷头、风筒等部件应具有抗光氧老化、抗湿热老化的性能。

3.3.6 冷却塔中采用的淋水填料、收水器、喷头等塑料材质的强度、刚度、耐热性、耐低温性等物理力学性能,应符合现行行业标准《冷却塔塑料部件技术条件》DL/T 742 的有关规定,复合材料结构件应符合现行国家标准《结构用纤维增强复合材料拉挤型材》GB/T 31539 的有关规定。

3.3.7 寒冷地区的冷却塔宜采取消雾措施。

3.3.8 缺水地区的冷却塔宜采用节水措施。

3.3.9 多风沙地区的冷却塔应有防风沙措施。

4 气象参数

4.0.1 冷却塔设计的气象参数,应取能代表冷却塔所在地气象特征的气象台(站)的气象资料。

4.0.2 气象参数的统计宜采用近期连续不少于 5 年中的每年最热时期 3 个月的日平均值。

4.0.3 气象参数宜取一昼夜 4 次标准时间测值的算术平均值作为日平均值。

4.0.4 冷却塔的设计湿球温度宜采用当地多年平均、每年最热时期 3 个月中最热天数不超过 5d~10d 的日平均湿球温度,并以与之相对应的日平均干球温度、大气压作为设计参数。

4.0.5 当收集到的气象资料没有湿球温度时,湿球温度应根据干球温度、相对湿度和大气压按本规范式(5.1.2)计算,或用国家气象局编制的《湿度查算表》查算到阿斯曼湿球温度。

5 设计计算

5.1 热力计算中常用参数计算

5.1.1 饱和水蒸气压力应按下式计算：

$$\lg p'' = 2.0057173 - 3.142305 \left(\frac{10^3}{273.15 + t} - \frac{10^3}{373.15} \right) + 8.21 \lg \frac{373.15}{273.15 + t} - 0.0024804(100 - t) \quad (5.1.1)$$

式中： p'' ——饱和水蒸气压力(kPa)；

t ——温度(°C)。

5.1.2 空气相对湿度宜按下式计算：

$$\varphi = \frac{p''_{\tau} - 0.000662 p(\theta - \tau)}{p''_{\theta}} \quad (5.1.2)$$

式中： φ ——空气相对湿度；

θ ——空气干球温度(°C)；

τ ——空气湿球温度(°C)；

p ——大气压力(kPa)；

p''_{θ} ——空气温度等于 θ °C时的饱和水蒸气分压力(kPa)；

p''_{τ} ——空气温度等于 τ °C时的饱和水蒸气分压力(kPa)。

5.1.3 空气含湿量宜按下式计算：

$$x = 0.622 \frac{\varphi p''_{\theta}}{p - \varphi p''_{\theta}} \quad (5.1.3)$$

式中： x ——空气含湿量[kg/kg(干空气)]。

5.1.4 湿空气比焓(简称空气焓)应按下式计算：

$$h = 1.005\theta + x(2500.8 + 1.846\theta) \quad (5.1.4)$$

式中： h ——湿空气比焓[kJ/kg(干空气)]。

5.1.5 饱和空气比焓(简称饱和空气焓)应按下式计算：

$$h'' = 1.005t + 0.622 \frac{p''}{p - p''} (2500.8 + 1.846t) \quad (5.1.5)$$

式中: h'' ——饱和空气比焓, 即当空气温度为水蒸气分压达到饱和状态温度 t 时的比焓[kJ/kg(干空气)]。

5.1.6 湿空气密度应按下式计算:

$$\rho = \rho_d + \rho_s = \frac{(p - \varphi p''_{\theta}) \times 10^3}{287.04(273.15 + \theta)} + \frac{\varphi p''_{\theta} \times 10^3}{416.50(273.15 + \theta)} \quad (5.1.6)$$

式中: ρ ——湿空气密度(kg/m³);

ρ_d ——湿空气中干空气部分的密度(kg/m³);

ρ_s ——湿空气中水蒸气部分的密度(kg/m³)。

5.2 逆流式冷却塔工作特性

5.2.1 逆流式冷却塔工作特性冷却数的热力计算宜采用焓差法, 冷却数可按下列公式计算:

$$\Omega_n = \frac{K k_a V}{Q} = \int_{t_2}^{t_1} \frac{C_w dt}{h'' - h} \quad (5.2.1-1)$$

$$h = h_1 + \frac{C_w dt}{K \lambda} \quad (5.2.1-2)$$

$$K = 1 - \frac{C_w t_2}{r_{t_2}} = 1 - \frac{t_2}{586 - 0.56(t_2 - 20)} \quad (5.2.1-3)$$

式中: Ω_n ——逆流式冷却塔工作特性冷却数(无量纲);

K ——蒸发水量带走热量系数($K < 1.0$, 无量纲);

k_a ——以焓差为动力的容积散热系数[kg/(m³·h)];

V ——淋水填料体积(m³);

Q ——冷却水量(kg/h);

h_1 ——进填料空气的比焓[kJ/kg(干空气)];

h ——出微元填料空气的比焓[kJ/kg(干空气)];

dt ——微元填料进水与出水的水温差(°C);

λ ——进填料的空气(以干空气计)与水的质量比(kg[干

空气]/kg);

C_w —— 水的比热, 取 $4.1868 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

t_1 —— 进填料(塔)水温($^\circ\text{C}$);

t_2 —— 出填料(塔)水温($^\circ\text{C}$);

r_{t_2} —— 出填料水温时水的汽化热(kJ/kg)。

5.2.2 冷却数积分部分的计算可采用切比雪夫四点积分法、多段辛普逊积分法。冷却数计算时的积分分段数应与填料实验数据整理计算分段数一致。

5.3 横流式冷却塔工作特性

5.3.1 横流式冷却塔冷却数的热力计算宜采用焓差法, 冷却数可按下式计算:

$$\Omega_h = \frac{Kk_a H}{q} = \int_0^{z_d} \int_0^{x_d} \frac{C_w \partial(\partial t / \partial x) / \partial z}{h'' - h} dx dz \quad (5.3.1)$$

式中: Ω_h —— 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填料高度(m);

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

H —— 填料高度(m)。

5.3.2 横流塔冷却数的计算宜符合下列规定:

1 单格水量小于 $3000 \text{ m}^3/\text{h}$, 水温差为 $6^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$ 的中、小型横流式冷却塔可采用修正系数法, 宜按下列公式计算:

$$\Omega_h = \frac{\Omega_n}{F_0} \quad (5.3.2-1)$$

$$F_0 = 1 - 0.106 \left(1 - \frac{h_2'' - h_2}{h_1'' - h_1} \right)^{3.5} \quad (5.3.2-2)$$

式中: F_0 —— 修正系数;

Ω_n —— 按逆流式冷却数计算公式计算出的冷却数。

2 单格水量大于 $3000 \text{ m}^3/\text{h}$, 水温差为 $6^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$ 的大型横

流式冷却塔宜采用经过鉴定的计算机软件程序计算,条件不具备时可采用本规范附录 A 中心差分法,按下式计算:

$$\frac{C_w \partial t}{K \partial z} z_d = -\lambda \frac{\partial h}{\partial x} x_d = -\Omega'_h (h'' - h) \quad (5.3.2-3)$$

3 水温差大于 15℃ 的大、中、小型冷却塔和新开发的横流式冷却塔宜采用经过鉴定的计算机软件程序计算。

5.4 热力计算

5.4.1 热力工作点气水比的确定可采用试算法或作图法,求取塔(填料)的热力特性曲线与塔的任务曲线的交点处的气水比。填料的热力特性曲线与冷却塔的任务曲线计算公式的条件应一致。

5.4.2 采用填料热力特性公式 $\Omega = A\lambda^m$ 时,应对填料实验资料整理中 Ω 的计算公式进行比较,若所采用的公式不同,应进行修正。

5.4.3 设计工况宜与填料实验的工况相同或接近,否则应对填料的热力特性公式 $\Omega = A\lambda^m$ 进行修正。

5.4.4 冷却水质如与填料实验条件差别较大时,应对计算结果进行修正。

5.5 阻力计算

5.5.1 冷却塔的通风阻力计算,宜采用原型塔的实测数据换算成总阻力系数,并按总阻力系数法进行计算。

5.5.2 当缺乏原型塔的实测数据时,可按经验和通风工程理论计算方法,采用分步计算迭加求出塔体总阻力系数,并按下式中的总阻力系数法进行计算:

$$\Delta P_1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \xi_i \rho_i v_i^2 = A_1 \rho_1 v_m^2 \quad (5.5.2)$$

式中: ΔP_1 ——塔体的通风总阻力(Pa);

ρ_1 —— 进塔湿空气密度 (kg/m^3) ;
 v_m —— 填料断面的平均风速 (m/s) , $v_m = G_1 / (3600 F_m)$;
 A_1 —— 塔体总阻力系数 $A_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [\xi_i]$, 计算方法见本规范附录 A ;
 n —— 阻力部位的总数 ;
 ρ_i —— i 部位的湿空气密度 (kg/m^3) ;
 v_i —— i 部位的计算空气流速 (m/s) ;
 ξ_i —— i 部位的阻力系数 ;
 $[\xi_i]$ —— 将 ξ_i 从以 ρ_i 、 v_i 计修正到以 ρ_1 、 v_m 计的阻力系数 ;
 F_m —— 填料区计算面积 (m^2) ;
 G_1 —— 进塔风量 (m^3/h) 。

5.5.3 填料阻力宜采用原型塔的实测数据, 换算成填料阻力系数, 按下式计算:

$$\frac{\Delta P_2}{\rho_1} = A_2 v_m^m \quad (5.5.3)$$

式中: ΔP_2 —— 填料通风阻力 (Pa) ;

v_m —— 通过填料的风速 (m/s) ;

A_2 、 m —— 系数, 由实验资料整理后给出 $A_2 = f(q)$ 、 $m = f(q)$ 进行计算。

5.5.4 塔的总阻力宜按下式计算:

$$\Delta P = K_T \Delta P_1 + K_m \Delta P_2 \quad (5.5.4)$$

式中: ΔP —— 塔的总阻力 (Pa) ;

K_T —— 塔体阻力调整系数, 视 A_1 的实测数据或计算条件与该工程塔设计条件的差异程度以及计算精度确定, 宜取 1.0 ~ 1.2 ;

K_m —— 填料阻力性能修正系数, 即填料实验模拟塔与工程塔之间安装状况不同的阻力调整系数, 宜取 1.0 ~ 1.2 。

5.5.5 设计进塔风量应按阻力与风压相平衡的原则确定, 计算方

法宜采取先将塔的阻力特性曲线 $\Delta P - G_1$ 换算到与风机性能曲线气体状态相同, 即 $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 条件下的 $H'_0 - G'_0$ 曲线, 再通过 $H'_0 - G'_0$ 曲线与制造厂提供的风机标准曲线 $H_0 - G_0$ 求交点的方法。

鼓风式风机的风压、风量换算应按下列公式计算:

$$H'_0 = \frac{1.2}{\rho_1} \Delta P \quad (5.5.5-1)$$

$$G'_0 = G_1 \quad (5.5.5-2)$$

抽风式风机的风压、风量换算应按下列公式计算:

$$H'_0 = \frac{1.2}{\rho_2} \Delta P \quad (5.5.5-3)$$

$$G'_0 = G_2 = \frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} G_1 \quad (5.5.5-4)$$

式中: H'_0 ——换算到与风机标准状态 ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 相同时的当量阻力 (Pa);

G'_0 ——换算到与风机标准状态 ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 相同时的当量风量 (m^3/h);

ρ_1 ——进塔湿空气密度 (kg/m^3);

ρ_2 ——出塔湿空气密度 (kg/m^3);

ρ_{1d}, ρ_{2d} ——进塔、出塔湿空气中干空气部分的密度 [kg/kg (干空气)];

G_1, G_2 ——进塔、出塔风量 (m^3/h)。

5.5.6 当用风机选型软件采用静压选择风机时, 应考虑风速不均匀对动压的影响, 且应按平均风速计算动压, 应对动压进行修正, 修正系数宜取 1.1~1.2。

5.5.7 出塔湿空气密度计算宜采用下列方法:

1 设定若干个出塔空气干球温度 θ_2 , 令湿球温度 $\tau_2 = \theta_2 - (0 \sim 0.3)^\circ\text{C}$, 计算其空气焓 h_2 , 当其与热力计算设计工作点 λ_0 的 h_2 相同时, 用该组温度 (θ_2, τ_2) 代入式 (5.1.6) 计算出塔湿空气密度 ρ_2 。

2 设定 θ_2 数值时可按下式计算：

$$\theta_2 = \theta_1 + (t_m - \theta_1) \frac{h_2 - h_1}{h_m - h_1} \quad (5.5.7)$$

式中： θ_1, θ_2 ——进塔、出塔空气干球温度(°C)；

t_m ——进出塔的平均水温(°C)；

h_m ——温度为 t_m 时的饱和空气比焓[kJ/kg(干空气)]；

h_1 ——进填料空气的比焓[kJ/kg(干空气)]；

h_2 ——出填料空气的比焓[kJ/kg(干空气)]。

5.6 水量计算

5.6.1 冷却塔设计水量宜按下式计算：

$$Q = K_Q \frac{G_1 \rho_{1d}}{1000 \lambda_0} \quad (5.6.1)$$

式中： Q ——设计进塔水量(m^3/h)；

G_1 ——设计进塔风量(m^3/h)；

ρ_{1d} ——进塔空气中干空气密度[kg(干空气)/ m^3]；

λ_0 ——塔的设计气水比；

K_Q ——调整系数。冷却水中的油、杂物等对冷却效果有明显影响时，可根据实塔使用经验，选取小于 1.0 的系数，对常规清水塔， $K_Q = 1.0$ 。

5.6.2 冷却塔的蒸发损失水量宜按下列公式计算：

$$Q_e = \frac{P_e Q}{100} \quad (5.6.2-1)$$

$$P_e = K_e \Delta t \quad (5.6.2-2)$$

式中： Q_e ——蒸发损失水量(m^3/h)；

P_e ——蒸发水量损失水率(%)；

Δt ——冷却塔进水与出水温度差(°C)；

K_e ——蒸发水量损失系数($1/^\circ\text{C}$)，按表 5.6.2 选用，中间值按内插法计算。

表 5.6.2 系数 K_e

进塔空气干球温度(°C)	-10	0	10	20	30	40
K_e (1/°C)	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.16

5.6.3 冷却塔的风吹损失水量宜按下式计算：

$$Q_w = \frac{P_w Q}{100} \quad (5.6.3)$$

式中： Q_w —— 风吹损失水量(m^3/h)；

P_w —— 收水器与进风口的风吹损失百分率，当缺乏测试数据时取 0.01%。

5.6.4 节水型冷却塔宜以没有热负荷变化时的年平均节水率作为考核指标，节水型冷却塔年平均节约水量宜采用下式计算：

$$Q_j = (x_{1C} - x_{1J}) - (x_{2C} - x_{2J}) \quad (5.6.4)$$

式中： Q_j —— 节约蒸发水量，节水型冷却塔与常规湿式冷却塔相比节约的蒸发水量(kg/h)；

x_{1J} —— 常规湿式冷却塔进塔空气中水蒸气含量(kg/h)；

x_{1C} —— 常规湿式冷却塔出塔空气中水蒸气含量(kg/h)；

x_{2J} —— 节水型冷却塔进塔空气中水蒸气含量(kg/h)；

x_{2C} —— 节水型冷却塔出塔空气中水蒸气含量(kg/h)。

5.7 水力计算

5.7.1 当以集水池池顶为计算进塔水压的交接点时，进塔水压力宜按下式计算：

$$P_{sc} = P_{s0} + 9.81\Delta H + \Delta P_s \quad (5.7.1)$$

式中： P_{sc} —— 配水管进塔水压(kPa)；

P_{s0} —— 配水水平主管起端水压(kPa)；

ΔP_s —— 池顶以上立管沿程与局部阻力(含三通分流)水力损失(kPa)；

ΔH —— 水平干管中心标高至池顶的标高高差(m)。

5.7.2 当水平主干管上并联数根支干管时,水平配水支干管起点(入口)水压宜按下式计算:

$$P_{s1} = P_{s0} - 9.81 \sum i_a l_a - \sum \Delta h_a \quad (5.7.2-1)$$

式中: P_{s1} —— 配水水平支干管进水端水压(kPa);

$\sum \Delta h_a$ —— 水平主干管起点至支干管起点(入口)之间的各个局部阻力损失总和(kPa);

$9.81 \sum i_a l_a$ —— 水平主干管起点至支干管之间各段直管的沿程水力损失总和(kPa)。

当管道材质为钢管时,沿程水力损失坡度 i 可按下列公式计算:

当 $v < 1.2 \text{ m/s}$ 时:

$$i = 0.000912 \left(1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3} v^2 / d^{1.3} \quad (5.7.2-2)$$

当 $v \geq 1.2 \text{ m/s}$ 时:

$$i = 0.00107 v^2 / d^{1.3} \quad (5.7.2-3)$$

式中: d —— 管道内径(m);

v —— 水流速度(m/s)。

5.7.3 当水平支干管的结构形式为等径直管上等距布置若干个支管,支管尺寸形状相同,末端安装喷溅装置(喷头)时,喷溅装置的有效进水压力宜按下式计算:

$$P_{0m} = P_{s1} - 9.81 [i_1 l_1 + (i_2 + i_3 + i_4 + \cdots + i_m) l] -$$

$$0.175(m-1) \left(\frac{v_0}{n} \right)^2 - 0.5 \epsilon (v_m^2 + v_f^2) -$$

$$\sum \Delta h_f + 9.81 (\nabla_0 - \nabla_m) \quad (5.7.3-1)$$

式中: P_{0m} —— 喷溅装置(支管编号为 m) 有效进水压力(水头)(kPa);

$i_1, i_2, i_3, i_4, \cdots, i_m$ —— 支干管起点至支管间第 1、2、3、4、 $\cdots$ 、 m 段的支干管直管段的沿程损失水力坡度;

l_1, l —— 干支管第 1 段、第(2、 $\cdots$ 、 m) 的各段长

度(m);

v_0, v_m, v_i ——支干管起始段水流速、编号为 m 的支管三通前水流速、支管在三通处(分流)的支管流速(m/s);

$\sum \Delta h_i$ ——支管的水力损失总和(包括沿程及局部阻力损失)(kPa);

$(\nabla_0 - \nabla_m)$ ——支干管始端中心标高至支管编号为 m 的喷嘴出口(下口)之间的标高之差(m);

n, m ——支管的总数、编号顺序数,从支干管始端顺序编号 1、2、 $\dots$ 、 n ;

ϵ ——三通分流支管的阻力系数(侧流)。

式中 ϵ 的值取决于面积比与流量比,应按下列公式计算:

当 $\frac{f}{F} \leq 0.35$ 且 $\frac{q_i}{Q_m} \leq 0.4$ 时:

$$\epsilon = 1.1 - 0.7 \frac{q_i}{Q_m} \quad (5.7.3-2)$$

而当 $\frac{q_i}{Q_m} > 0.4$ 时:

$$\epsilon = 0.85 \quad (5.7.3-3)$$

当 $\frac{f}{F} > 0.35$ 且 $\frac{q_i}{Q_m} \leq 0.6$ 时:

$$\epsilon = 1 - 0.65 \frac{q_i}{Q_m} \quad (5.7.3-4)$$

而当 $\frac{q_i}{Q_m} > 0.6$ 时:

$$\epsilon = 0.6 \quad (5.7.3-5)$$

式中: f, F ——支管、支干管的断面积(m^2);

q_i, Q_m ——支管、支干管(编号为 m 的)三通分流前的流量(m^3/h)。

5.7.4 喷溅装置(喷头)的流量宜按下式计算:

$$q_m = 3600 \times \frac{\pi}{4} \phi^2 \times \mu \sqrt{2P_{0m}} = 3999\phi^2 \mu (P_{0m})^{0.5} \quad (5.7.4)$$

式中: q_m ——顺序号为 m 的喷溅装置(喷头)喷水量(m^3/h);

ϕ ——喷溅装置(喷头)喷嘴出口的直径(m);

μ ——流量系数,由实验得出。该系数与池式实验装置喷头直接与配水池底相连得到的流量系数 μ 相当,而与管式配水实验装置给出的包含短管及三通分流阻力在内的流量系数值有差别。

5.7.5 水量、水压计算宜用试算法,并应符合下列规定:

1 应根据总水量及管网布置条件确定喷头数目及单个喷嘴喷水量 q_{m0} 。

2 应按每个支干管上布置的喷嘴数计算各个支干管的始端进水流量。

3 假定一个 P_{s0} 值,应按本规范式(5.7.2-1)计算 P_{s1} 值。

4 应按本规范式(5.7.3-1)及式(5.7.4)计算出某一根支干管上各个喷头的喷水量 q_m 及支干管入口的计算流量。

5 累计各个支干管的流量与设计总水量进行比较后,应调整(第二次)假定的 P_{s0} 值,重新计算,直至流量相同或非常接近。

6 应由计算得到的各喷头流量计算出各支干管入口流量,进一步调整主干管各管段的计算流量和阻力损失,同时调整(第三次) P_{s0} 值,重复计算,直至喷嘴累计流量与设计总水量相同,主干管各管段设定流量与计算结果的流量相等或非常接近。

7 应检查各个喷嘴的喷水量与平均喷水量的差值是否在允许范围内,当差值过大时,则应修改管网的有关结构尺寸,并重新计算。

6 塔型及部件设计

6.1 塔 型

6.1.1 冷却塔塔型的选择,宜根据冷却水量、水温差($t_1 - t_2$)、逼近度($t_2 - \tau$)、冷却水水质、运行方式、可供布置冷却塔空间的大小、施工条件、周围环境要求、当地气候特点、水资源和电力供应条件等,通过技术经济比较后确定。

6.1.2 当工艺要求循环冷却水为洁净水或北方对全年运行总水耗控制要求较高的循环冷却水系统,可选用闭式冷却塔。

6.1.3 新建循环冷却水系统不宜采用水轮机驱动风机的冷却塔。

6.1.4 冷却塔可不设设备用。

6.1.5 开式冷却塔塔型选择应符合下列规定:

1 逼近度($t_2 - \tau$) $\leq 4^{\circ}\text{C}$ 时,宜采用逆流式冷却塔;

2 逼近度($t_2 - \tau$) $> 4^{\circ}\text{C}$ 时,可对横流式或逆流式冷却塔比较后确定。

6.1.6 当噪声控制要求高,水质较差、水量变化大时,可选用横流式冷却塔。

6.1.7 对进风条件差、地下隐蔽工程、冷却水中含有腐蚀介质的系统,宜选择鼓风或侧出风形式的冷却塔。

6.1.8 冷却塔塔体结构的布置应符合下列规定:

1 塔内承重梁、柱布置应与气流顺畅的要求相一致,靠近进风口的梁宜平行气流方向布置;

2 风机风筒进口梁宜为十字形或辐射形布置;

3 风机承台宜直接布置在塔中心主柱顶上;

4 塔体结构的材质应根据水质情况选择。

6.2 集水池

6.2.1 小型冷却塔,集水池平面尺寸宜与塔体填料区平面尺寸一致,应在进风口侧池顶外加回水檐,回水檐伸出尺寸宜为 1.0m~1.5m。大、中型冷却塔宜将水池加宽至进风口外 1.5m~2.0m,不再设回水檐,北方寒冷地区宜加宽至 2.0m~2.5m。

6.2.2 集水池设计应符合下列规定:

1 集水池出水管渠应设置拦污格栅网;

2 集水池应有溢流、排空、排泥设施,池底宜有一定坡度坡向排污坑沟,坡度宜为 0.3%;

3 集水池池顶宜高出地面 0.5m 以上;

4 集水池有效水深宜根据循环水泵布置形式、水泵的必需汽蚀余量、循环水系统所需调节容积及冰冻深度等确定,水池有效水深宜为 1.2m ~ 2.3m,水池最高水位以上保护高度不宜小于 0.3m。

6.2.3 多格组合冷却塔集水池应根据循环冷却水系统水温、试车阶段、检修条件、水质处理要求采取分隔措施。

6.3 进风口

6.3.1 横流式冷却塔进风口应设百叶窗。逆流式冷却塔进风口可不设百叶窗,多风沙或多漂浮物地区的逆流式冷却塔宜设百叶窗或保护网。

6.3.2 进风口的高度宜根据进风口面积与填料区面积比确定。进风口面积与填料区面积比应按下列规定选取:

1 单面进风时宜取 0.35~0.45;

2 两面进风时宜取 0.40~0.50;

3 三面进风时宜取 0.45~0.65;

4 四面进风时宜取 0.50~0.70。

6.3.3 进风口上沿的导流板(檐)应按下式计算,当 P_r 大于 8 时

可不设导流板(檐),当 P_r 等于 5~8 时应设置导流板(檐),当 P_r 小于 5 时应调整有关设计参数。

$$P_r = \sum \Delta P_i / \left(\frac{\rho_1}{2} v_1^2 \right) \quad (6.3.3)$$

式中: P_r ——压力比;

$\sum \Delta P_i$ ——从进风口至收水器后的通风阻力损失总和(Pa);

v_1 ——进风口风速(m/s)。

6.3.4 进风口侧面导流板设置应符合下列规定:

1 进风口与主导风向或塔群周围小区空气流动方向平时,可不设导流板;

2 进风口与主导风向或塔群区空气流动方向存在一定夹角时,宜在塔排端部设置进风口侧面导流板。

6.4 填 料

6.4.1 填料选择应综合考虑冷却塔形式、热力特性、冷却任务、循环冷却水质、通风条件、填料的热力特性、阻力特性、填料的支撑方式、填料的造价等因素确定,并应符合下列规定:

1 应选择热力与阻力性能好、刚度好、耐腐蚀、抗老化、具有阻燃性能的填料;

2 逆流式冷却塔宜采用薄膜式或点滴薄膜式填料;

3 横流式冷却塔宜对薄膜式、点滴薄膜式、点滴式填料与塔体高度等因素匹配比较后确定,淋水填料的装填高度和进深的比值宜为 2.0~2.5。

6.4.2 应根据冷却塔进水温度 t_1 选择耐温性能不同的填料,并考虑材料对散热性能的影响,填料的选择应符合下列规定:

1 $t_1 \leq 45^\circ\text{C}$ 时,宜采用改性聚氯乙烯(PVC)填料;

2 $45^\circ\text{C} < t_1 \leq 60^\circ\text{C}$ 时,宜采用氯化聚氯乙烯(CPVC)和聚丙烯(PP)填料;

3 $60^\circ\text{C} < t_1 \leq 70^\circ\text{C}$ 时,宜采用聚丙烯(PP)或纤维增强塑料

(FRP)材料;

4 $t_1 > 70^{\circ}\text{C}$ 时,宜选铝合金或其他耐高温材料;

5 寒冷地区应选用耐寒型填料。

6.4.3 当冷却水的悬浮物浓度小于 50mg/L 时,宜采用薄膜型填料。当冷却水的悬浮物浓度大于 100mg/L 时,宜采用点滴式或点滴薄膜式填料,当冷却水的悬浮物浓度介于 $50\text{mg/L} \sim 100\text{mg/L}$ 之间时,可选用片距较大或防堵型薄膜填料,或点滴薄膜式填料。

6.4.4 填料的热力特性与阻力特性应结合风机特性进行综合评价,选择在相同设计条件下冷却能力最大者。

6.4.5 当填料块直接简支在支撑小梁上时,支撑梁宜采用宽度小、通风阻力小的结构,梁中距应与填料块简支最优尺寸相配合。当采用支撑型格板时,格板简支设计跨度与支撑梁的跨度应一致,格板的耐腐蚀性能应与填料相适应,同时应考虑格板对通风阻力的影响。

6.4.6 当填料安装方式采用吊装时,应有防止填料发生晃动的措施。填料的组装形式应稳定、便于施工和日常维护。

6.5 配水系统

6.5.1 配水系统总体布置形式应满足配水均匀、水力损失小、通风阻力小、便于施工安装与维修的要求。

6.5.2 逆流式冷却塔宜采用管式配水,应通过水力计算及布置条件比较,确定采用树状管式配水或环状管式配水。冷却水中悬浮物较多时,可采用槽式配水。

6.5.3 树状配水管宜采用对称分流布置形式,使各支干管入口水压接近相同。

6.5.4 主干管管径宜采用分段变径方法,支干管宜通过计算,综合采用变径、变坡或变喷嘴标高的措施,使各喷头入口水压接近相同。

6.5.5 通过水力计算确定合理管径和分段变径布置的配管方案,

应使所有喷头的流量偏差在 5% 以内。

6.5.6 喷头平面布置形式应根据单个喷头布水特性,按照组合布置形式通过计算取最优确定。

6.5.7 横流点滴式冷却塔宜采用池式配水,池底标高应一致。配水池设计水深宜大于喷头内直径的 6 倍,且不宜小于 0.15m。配水池保护高度宜大于 0.1m,在最大设计水量时不应产生溢流。

6.5.8 池式配水前的配水管应能够向各配水池均匀供水。池数、各水池的配水点数、消能设施及水量控制调节设施应结合配水池尺寸经计算比较后确定。

6.5.9 横流式冷却塔配水池宜设置盖板,或采取防止空气短路及光照下滋生微生物和藻类的措施,当冷却水中含有易燃易爆气体时宜设防爆监测点。

6.5.10 横流薄膜式冷却塔宜采用管式配水,单格或双格冷却塔上塔立管宜置于塔体两端;多格冷却塔上塔立管宜分别设置于塔体进风口侧端。

6.5.11 管式配水的支干管宜在进水端设水量、水压调控检修阀,尾端宜设置连通管。

6.5.12 配水管网应有放空、排气设施,根据需要,宜设置稳压管、直接通向水池的旁路水管、化冰管等。

6.5.13 上塔阀门宜采用带防水保护装置的阀门。

6.6 收水器

6.6.1 收水器应选用收水效率高、高(宽)度低、通风阻力小、刚度大、重量轻的形式,材质可采用聚氯乙烯塑料、玻璃钢等,其理化性能应与填料具有同等水平,玻璃钢收水器的氧指数不应低于 28%。

6.6.2 机械通风冷却塔应采用高效收水器,收水器宜以实际测试漂滴损失水率作为选择依据,收水器的漂滴损失水率宜小于 0.001%。

6.6.3 收水器布置断面积宜与填料区接近,当收水器构造形状能使出风方向偏转时,应将收水器分区布置,使出收水器的空气向风机(风筒)进口方向汇集。

6.6.4 逆流式冷却塔收水器宜直接敷设在配水管上,当配水管上方有适宜的横梁可利用时,亦可布置在梁的空间内或梁上。

6.6.5 逆流式冷却塔收水器布置平面至风筒进口的距离宜符合下列规定:

1 当塔顶板为平盖板时,从风筒进口边缘做单边倾角 45° (顶角为 90°) 的虚拟喇叭口向下延伸至收水器平面,得到喇叭口圆直径,此圆范围内的收水器面积与总面积之比宜为 80%;

2 当塔顶板为收缩形或平盖板下设置有导流伞时,靠塔壁处塔顶(或导流伞)下沿至收水器顶面应有不少于 0.5m 的过渡高度。

6.6.6 横流式冷却塔收水器宜布置在填料(出风端)后面,从上到下宜分区采用具有不同阻力值的收水器,以使填料区上下风速均匀。

6.7 风 筒

6.7.1 塔顶盖板为平板时,安装风筒的圈梁底应与顶板内侧顶面平接。空气进口不得做成 90° 直角入口,宜做成流线形、圆弧形或喇叭口形,圆弧形半径和喇叭口顶角及高度宜根据土建施工难易、通风状况改善的效果综合平衡后选定。

6.7.2 风筒喉部风机叶片水平轴线以下的吸入段应采用流线型,吸入段高度宜大于 1.2m 并且不小于风筒喉部直径的 15%。

6.7.3 当采用圆锥台型风筒扩散段时,风筒喉部风机叶片水平轴线以上的扩散段(筒)高度宜等于风机半径,扩散段(筒)的中心角宜为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。

6.7.4 圆锥台型风筒扩散段(筒)的出口直径应按下式计算:

$$D_0 = D_f + \tan \frac{\alpha}{2} L_0 \quad (6.7.4)$$

式中： D_0 ——扩散段(筒)出口直径(m)；

D_f ——风机直径(m)；

α ——扩散段(筒)中心角(°)；

L_0 ——扩散段(筒)高度(m)。

6.7.5 当采用曲线回转型风筒时，风筒喉部风机叶片水平轴线以上的扩散段(筒)高度可低于本规范式(6.7.4)中的 L_0 值，但其动能回收效率不得降低。

6.7.6 风机叶片尖端至风筒内壁的间隙不应大于风机厂推荐的间隙值，并且不宜大于风机直径的0.5%。

6.7.7 风机风筒宜采用玻璃钢制作，表面胶衣树脂应含光稳定剂，并应有足够的刚性。

6.8 风 机

6.8.1 风机应采用效率高、噪声小、安全可靠、耐腐蚀、安装及维修方便的产品。

6.8.2 风机的工作点应在其特性曲线的高效区。

6.8.3 冷却塔的格数较多且布置集中时，风机宜集中控制。各台风机应有可切断电源的转换开关及就地控制风机启、停的操作设施。

6.8.4 风机的减速器应配有油温检测和报警装置，当采用稀油润滑时应配有油位指示装置。直径不小于6.0m的风机应配有振动检测、报警和防振保护装置，直径小于6.0m的风机宜配有振动检测、报警和防振保护装置。

6.8.5 当大型起吊机无法靠近冷却塔时，塔顶应有固定或临时起吊风机的设施。

6.8.6 对于进塔风量随季节或负荷变化而改变的冷却塔，驱动风机的电机可以采用双速电机。

7 环境保护

7.1 冷却塔消雾

7.1.1 冷却塔羽雾消除可采用提高湿空气温度以及减小含湿量的方法。

7.1.2 消雾型冷却塔应保证热力性能分别满足最湿热季和消雾季的设计散热要求,当气象状态点处于消雾设计点对应的起雾临界曲线下方、外界风力小于3级时,冷却塔的风筒出口应无明显可见的雾气团。

7.1.3 冷却塔消雾设计点确定应符合下列规定:

1 无气象统计资料时,宜由一个标准大气压下、以冷却塔上风向处空气干球温度为 5°C 、相对湿度为90%的空气状态点及与之对应的各空气状态点所构成的起雾频率曲线为消雾的设计点;

2 有气象统计资料时,消雾的设计点宜选择全年昼间零雾状态的频率为80%~85%;

3 对超低温和高湿地区,零雾状态的频率选择应顾及消雾塔的制造成本。要求全年无羽雾时,应选择最低温度/最高湿度的设计点。

7.1.4 冷却塔的消雾宜按下列规定采取措施:

1 可向塔内引入足量环境空气,与出填料的湿热空气混合;

2 可向塔内引入一定量的环境空气,通过间壁式换热器与出填料的湿热空气换热后,再与该湿热空气混合;

3 可向塔内引入一定量的环境空气,并经过加热后与填料出口的湿热空气混合;

4 可加热冷却塔湿段填料出口的湿热空气。

7.1.5 采用加热方法消雾的热源可来自冷却水自身或废热源,不

应采用电加热等额外消耗能源的方法。

7.1.6 冷却塔消雾方法应根据冷却塔能耗与热力性能,经技术经济比较后确定。

7.2 冷却塔消噪声

7.2.1 冷却塔噪声宜符合现行国家标准《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 7190.1和《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/T 7190.2的规定。冷却塔的噪声控制,应根据周边场所性质和环评要求,按现行国家标准《声环境质量标准》GB 3096、《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348执行。

7.2.2 冷却塔噪声控制可按下列规定采取措施:

- 1 采用低噪声风机;
- 2 在动力设备与塔体框架间加减振垫;
- 3 在出风口采用消声装置;
- 4 进风口采用消声百叶或消声器;
- 5 改善配水或集水系统,降低淋水噪声。

7.2.3 消声装置的材质应抗潮、耐腐蚀。

7.2.4 当冷却塔的噪声不符合敏感点的噪声要求时,宜在冷却塔与控制点间设置组合式隔声屏障。

附录 A 横流式冷却塔冷却数中心差分近似算法

A. 0. 1 中心差分法近似计算应符合下列规定：

1 当令 $\xi = \frac{x}{x_d}, \zeta = \frac{z}{z_d}$ 时，本规范式 (5. 3. 2-3) 可转化为下式：

$$\frac{C_w}{K} \frac{\partial t}{\partial \xi} = -\lambda \frac{\partial h}{\partial \xi} = -\Omega_h''(h'' - h) \quad (\text{A. 0. 1})$$

2 应将交换断面 $\xi=0 \sim 1$ 分成 m 等分, $\zeta=0 \sim 1$ 分成 n 等分, 位置以 (i, j) 表示, 分格为正方形 (图 A. 0. 1)。

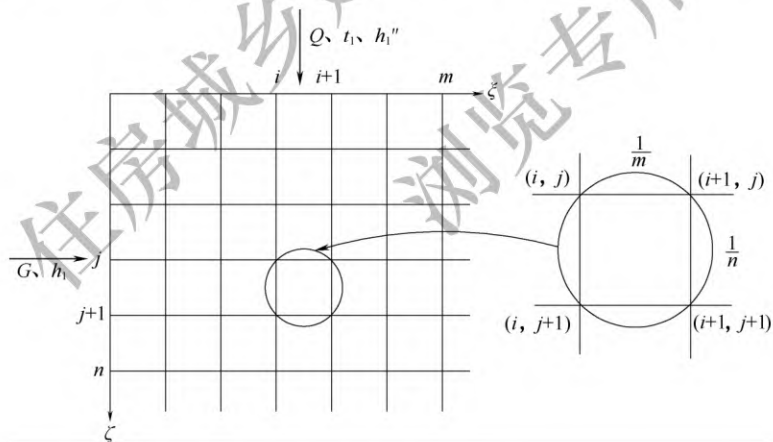


图 A. 0. 1 差分计算图

A. 0. 2 差分计算公式应符合下列规定：

1 当边界条件以填料顶面计算时, $j=1, \zeta=0, t_{(i,1)} = t_1, h''_{(i,1)} = h''_1, h_{(i,1)}$ 应按下式计算：

$$h_{(i,1)} = \frac{h_1'' \left\{ \exp \left[\frac{\Omega_h'}{\lambda m} (i-1) \right] - 1 \right\}}{\exp \left[\frac{\Omega_h'}{\lambda m} (i-1) \right]} \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

2 当边界条件以进风面计算时, $i=1, \xi=0, h_{(1,j)}=h_1, t_{(1,j+1)}$ 应按下式计算:

$$t_{(1,j+1)} = t_{(1,j)} + (K_0 + 2K_1 + 2K_2 + K_3)/6 \quad (\text{A. 0. 2-2})$$

式中, K_0, K_1, K_2, K_3 应分别按下列公式计算:

$$\begin{aligned} K_0 &= R_3 [h_{(1,j)}'' - h_1] \\ K_1 &= R_3 [h_{(K_0)}'' - h_1] \\ K_2 &= R_3 [h_{(K_1)}'' - h_1] \\ K_3 &= R_3 [h_{(K_2)}'' - h_1] \end{aligned} \quad (\text{A. 0. 2-3})$$

$$R_3 = \frac{-K\Omega_h'}{C_w n} \quad (\text{A. 0. 2-4})$$

式中: $h_{(K_0)}'', h_{(K_1)}'', h_{(K_2)}''$ ——水温 $t = t_{(1,j)} + K_0/2, t = t_{(1,j)} + K_1/2, t = t_{(1,j)} + K_2$ 时的饱和空气焓 [kJ/kg (干空气)]。

3 $t = t_{(i+1,j+1)}$ 应按下式计算:

$$t_{(i+1,j+1)} = t_{(i,j)} - \{t_{(i,j+1)} - t_{(i+1,j)} + R_1 [2h_{(i,j)}'' + h_{(i,j+1)}'' + h_{(i+1,j)}'' - 2h_{(i,j)} - 2h_{(i,j+1)}]\} / [1 + R_1 C_{S(i,j)}] \quad (\text{A. 0. 2-5})$$

式中, R_1 及 $C_{S(i,j)}$ 应分别按下列公式计算:

$$R_1 = \frac{K\Omega_h' \lambda m}{C_w (2\lambda m + \Omega_h') n} \quad (\text{A. 0. 2-6})$$

$$C_{S(i,j)} = \frac{h_{(i+1,j+1)}'' - h_{(i,j)}''}{t_{(i+1,j+1)} - t_{(i,j)}} \quad (\text{A. 0. 2-7})$$

4 $h_{(i+1,j+1)}$ 应按下式计算:

$$h_{(i+1,j+1)} = h_{(i,j+1)} - h_{(i+1,j)} + h_{(i,j)} - \frac{C_w n}{K\lambda m} [t_{(i+1,j+1)} -$$

$$t_{(i+1,j)} + t_{(i,j+1)} - t_{(i,j)}] \quad (\text{A. 0. 2-8})$$

5 t_2 应按下式计算:

$$t_2 = \frac{1}{m} \left[t_{(1,n+1)} / 2 + t_{(m+1,n+1)} / 2 + \sum_{i=2}^m t_{(i,n+1)} \right] \quad (\text{A. 0. 2-9})$$

A. 0. 3 中心差分法计算方法应符合下列规定:

1 当进塔空气干球温度 θ_1 , 湿球温度 τ_1 , 大气压 P , 进塔水流量 Q , 进塔水温 t_1 , 出塔水温 t_2 , 进塔空气流量 G , 淋水填料的高度 z_d 、深度 x_d 已知时, 应将交换面分成边长不大于 0. 5m 的方格;

2 在假定特性数 Ω'_h 的条件下, 应按照由上到下、从左到右的顺序计算出塔水温 t_2 ;

3 应比较计算出的 t_2 与已给出的 t_2 的差值, 如差值小于 $\pm 0. 05^\circ\text{C}$, 假定的特性数 Ω'_h 即为所求; 如差值大于或等于 $\pm 0. 05^\circ\text{C}$, 需重新假定特性数 Ω'_h 。

A. 0. 4 假定特性数 Ω'_h 求出水温 t_2 方法应符合下列规定:

1 当 $i=1, 2, 3, \dots, m+1$ 时, $t_{(i,1)} = t_1$, $h''_{(i,1)} = h''_1$, 应按本规范式(A. 0. 2-1)计算 $h_{(i,1)}$;

2 当 $j=1, 2, 3, \dots, n+1$ 时, $h_{(1,j+1)} = h_1$, 应按本规范式(A. 0. 2-2)计算 $t_{(1,j+1)}$, 并应根据 $t_{(1,j+1)}$ 计算 $h''_{(1,j+1)}$;

3 当 $i=1, 2, 3, \dots, m$ 和 $j=1, 2, 3, \dots, n$ 时, 应按本规范式(A. 0. 2-5)计算 $t_{(i+1,j+1)}$ 并由 $t_{(i+1,j+1)}$ 计算 $h''_{(i+1,j+1)}$;

4 应按本规范式(A. 0. 2-8)计算 $h_{(i+1,j+1)}$;

5 应按本规范式(A. 0. 2-9)计算 t_2 。

附录 B 逆流式冷却塔塔体阻力系数计算方法

B 0.1 逆流式冷却塔塔体阻力系数应换算到以填料区风速和空气密度下的阻力系数。换算前的各部件的阻力系数为 ξ_i , 换算后的各部件阻力系数为 $[\xi_i]$, 断面面积不同的静态换算, 以 $[\xi]'$ 表示, 具体计算方法详见第 B 0.2 条~第 B 0.12 条。

B 0.2 进风口的阻力系数 $[\xi_1]$ 应按下列式计算:

$$[\xi_1] = \xi_1 (F/F_1)^2 \quad (\text{B } 0.2)$$

式中: ξ_1 ——进风口处气流速度所决定的阻力系数, 数值为 0.55;

F_1 ——进风口面积(m^2);

F ——填料区面积(m^2)。

B 0.3 导风装置阻力系数 $[\xi_2]$ 应按下列式计算:

$$[\xi_2] = \xi_2 = (0.1 + 0.025g)L \quad (\text{B } 0.3)$$

式中: L ——导风装置的进深(m);

g ——淋水密度 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

B 0.4 进入淋水装置前气流转弯阻力系数 $[\xi_3]$ 应按下列式计算:

$$[\xi_3] = \xi_3 = 0.5 \quad (\text{B } 0.4)$$

式中: ξ_3 ——淋水装置中气流速度所决定的阻力系数, 数值为 0.5。

B 0.5 淋水装置支撑梁的阻力系数 $[\xi_4]$ 应按下列公式计算:

$$[\xi_4] = \xi_4 (F/F_4)^2 \quad (\text{B } 0.5-1)$$

$$\xi_4 = 0.5(1 - F_4/F) + (1 - F_4/F)^2 \quad (\text{B } 0.5-2)$$

式中: F_4 ——淋水装置支撑梁处气流通过的净通风面积(m^2)。

B 0.6 配水装置阻力系数 $[\xi_5]$ 计算应符合下列规定:

1 由于配水装置的管槽占据了冷却塔的有效横截面积而造成的阻力系数 ξ_5 可按下列(伊捷利契克公式)计算:

$$\xi_5 = [0.5 + 1.3(1 - F_5/F)^2](F/F_5)^2 \quad (\text{B 0.6-1})$$

式中: F_5 —— 配水装置管槽平面上的冷却塔的净通风面积(m^2)。

2 填料后方的各部件应考虑填料后方空气密度与体积风量变化对阻力值的影响因素, 并按下列公式计算静态条件下的阻力系数:

$$[\xi_5]' = \xi_5 \quad (\text{B 0.6-2})$$

$$[\xi_5] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_5]' \quad (\text{B 0.6-3})$$

式中: $[\xi_5]'$ —— 静态条件下的阻力系数。

B 0.7 收水器支撑梁处的收缩与扩大阻力系数 $[\xi_6]$ 应按下列公式计算:

$$[\xi_6]' = [0.5(1 - F_6/F) + (1 - F_6/F)^2](F/F_6)^2 \quad (\text{B 0.7-1})$$

$$[\xi_6] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_6]' \quad (\text{B 0.7-2})$$

式中: F_6 —— 收水器支撑梁处气流通过的净通风面积(m^2)。

注: 收水器放置在配水管上时, 不计算支撑梁的阻力系数。

B 0.8 收水器阻力系数 $[\xi_7]$ 应按下列公式计算:

$$[\xi_7]' = (F/F_7)^2 \xi_7 \quad (\text{B 0.8-1})$$

$$[\xi_7] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_7]' \quad (\text{B 0.8-2})$$

式中: F_7 —— 收水器支撑梁处气流通过的净通风面积(m^2), 其值与 F_6 相同; 收水器放置在配水管上时, F_7 与 F_5 相同;

ξ_7 —— 收水器采用实验测得的阻力系数。

B 0.9 风筒圈梁进口阻力系数 $[\xi_8]$ 计算应符合下列规定:

1 进风口为锥形渐缩喇叭口(图 B 0.9-1)应按下列公式计算:

$$[\xi_8]' = \epsilon \xi_8' (F/F_8)^2 \quad (\text{B 0.9-1})$$

$$[\xi_8] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_8]' \quad (\text{B } 0.9-2)$$

式中: ξ_8' ——锥形渐缩喇叭口局部阻力系数, 根据收缩段高度与小口直径之比 L/D 值和渐缩角 α 查表 B 0.9-1 确定;

ϵ ——面积比阻力修正系数, 根据小口面积与填料区面积之比 F_8/F 查表 B 0.9-2 确定。

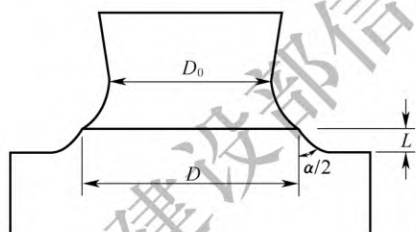


图 B 0.9-1 锥形渐缩喇叭口进风口示意

表 B 0.9-1 锥形渐缩喇叭口局部阻力系数 ξ_8'

L/D	不同渐缩角 α 时的 ξ_8'								
	0°	10°	20°	30°	40°	60°	100°	140°	180°
0.025	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40	0.42	0.45	0.50
0.050	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.30	0.35	0.42	0.50
0.075	0.50	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.30	0.40	0.50
0.100	0.50	0.39	0.32	0.25	0.22	0.18	0.27	0.38	0.50
0.150	0.50	0.37	0.27	0.20	0.16	0.15	0.25	0.37	0.50
0.600	0.50	0.27	0.18	0.13	0.11	0.12	0.23	0.36	0.50

表 B 0.9-2 面积比阻力修正系数 ϵ

F_8/F	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
ϵ	1.00	0.85	0.68	0.50	0.30	0.18	0.00

2 进风口为圆弧形渐缩喇叭口(图 B 0.9-2)应按下列公式

计算：

$$[\xi_8] = \epsilon \xi_8'' (F/F_8)^2 \quad (\text{B } 0.9-3)$$

$$[\xi_8] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_8]' \quad (\text{B } 0.9-4)$$

式中： ξ_8'' ——圆弧形渐缩喇叭口局部阻力系数，根据 r/D 值查表 B 0.9-3 确定；

ϵ ——根据小口面积与填料区面积之比 F_8/F 查表 B 0.9-2 确定。

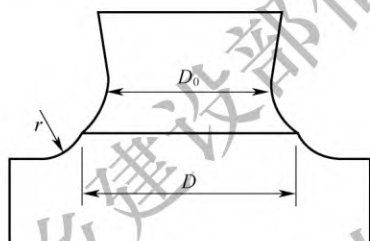


图 B 0.9-2 圆弧形渐缩喇叭口进风口示意

表 B 0.9-3 圆弧形渐缩喇叭口局部阻力系数 ξ_8''

r/D	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	>0.20
ξ_8''	0.50	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.20	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03

3 进风口为“天圆地方形”渐缩管(图 B 0.9-3)应按下列公式计算：

$$[\xi_8]' = (F/F_8)^2 \xi_8 \quad (\text{B } 0.9-5)$$

$$[\xi_8] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_8]' \quad (\text{B } 0.9-6)$$

$$\alpha = 2 \arctan \frac{\sqrt{F/0.785 - D}}{2L} \quad (\text{B } 0.9-7)$$

式中： F_8 ——风筒进口面积，为 $0.785D^2$ (m^2)；

ξ_8 ——“天圆地方形”渐缩长阻力系数，根据渐缩角 α 及两端面积比查表 B 0.9-4 确定。

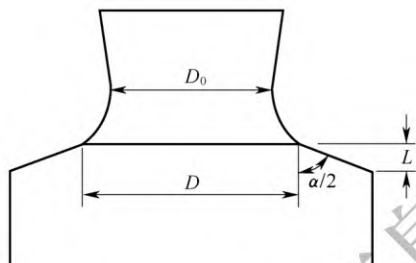


图 B 0.9-3 “天圆地方”渐缩管进风口示意

表 B 0.9-4 “天圆地方”渐缩管阻力系数 ξ_8

F/F_8	α						
	10°	$15^\circ \sim 40^\circ$	$50^\circ \sim 60^\circ$	90°	120°	150°	180°
2	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
4	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
6	0.05	0.04	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

B 0.10 风筒进口渐缩段阻力系数 $[\xi_9]$ 应按下列公式计算：

$$\xi_9 = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + K \left(\frac{1}{\epsilon} - 1 \right)^2 \quad (\text{B 0.10-1})$$

$$\epsilon = 0.57 + \frac{0.43}{1.1 - \frac{F_{\text{小}}}{F_{\text{大}}}} \quad (\text{B 0.10-2})$$

$$[\xi_9]' = (F_{\text{大}} / F_{\text{小}})^2 \xi_9 \quad (\text{B 0.10-3})$$

$$[\xi_9] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_9]' \quad (\text{B 0.10-4})$$

式中： n —— $F_{\text{大}} / F_{\text{小}}$ ， $F_{\text{大}}$ 为风筒进口面积， $F_{\text{小}}$ 为风筒喉部面积；

α ——渐缩角(图 B 0.10-1)；

K ——逐渐缩小缓冲系数，可由图 B 0.10-2 查得；

λ ——沿程损失的摩擦阻力系数，可参照通风工程计算方

法详细计算,一般粗算可取 $\lambda \approx 0.03$ 。

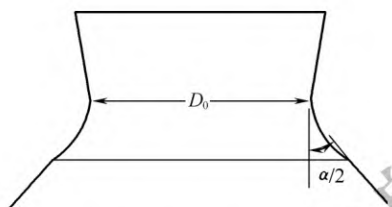


图 B 0. 10-1 渐缩角 α

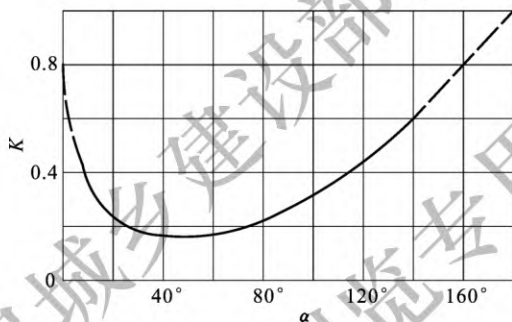


图 B 0. 10-2 逐渐缩小缓冲系数 K

B 0. 11 风筒出口扩散段(图 B 0. 11-1)阻力系数 $[\xi_{10}]$ 应按下列公式计算:

$$\xi_{10} = (\xi_{\text{扩}} + \xi_{\text{出}})(1 + \delta) \quad (\text{B } 0. 11-1)$$

$$\xi_{\text{扩}} = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + K' \left(\frac{1}{n} - 1 \right)^2 \quad (\text{B } 0. 11-2)$$

$$\xi_{\text{出}} = 1 \times (F_{\text{喉}} / F_{\text{出}})^2 \quad (\text{B } 0. 11-3)$$

$$[\xi_{10}]' = (F / F_{\text{喉}})^2 \xi_{10} \quad (\text{B } 0. 11-4)$$

$$[\xi_{10}] = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 [\xi_{10}]' \quad (\text{B } 0. 11-5)$$

式中： δ ——风速分布不均匀的修正系数，可按图 B 0. 11-2 选取；

α ——渐扩角；

λ ——沿程损失的摩擦阻力系数；

K' ——逐渐扩大缓冲系数，可由表 B 0. 11 查得；

n —— $F_{\text{出}}/F_{\text{喉}}$ ， $F_{\text{出}}$ 为风筒出口面积， $F_{\text{喉}}$ 为风筒喉部面积。

表 B 0. 11 逐渐扩大的缓冲系数 K'

α	4°	8°	15°	30°	60°
K'	0. 08	0. 16	0. 35	0. 80	0. 95

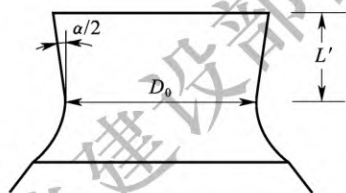


图 B 0. 11-1 风筒出口扩散段示意

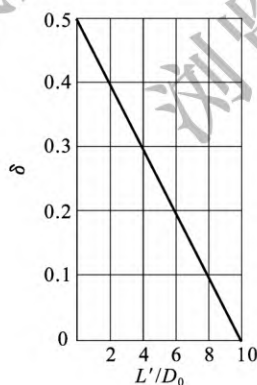


图 B 0. 11-2 风筒内风速不均匀系数

B 0. 12 塔体总阻力系数 $\sum_{n=1}^n [\xi_i]$ 应按下式计算：

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{10} [\xi_i] &= [\xi_1] + [\xi_2] + [\xi_3] + [\xi_4] + [\xi_5] + [\xi_6] + [\xi_7] + \\
&\quad [\xi_8] + [\xi_9] + [\xi_{10}] \\
&= (0.1 + 0.025q)L + ([\xi_1] + [\xi_3] + [\xi_4]) + \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{\rho_{1d}}{\rho_{2d}} \right)^2 \\
&\quad ([\xi_5]' + [\xi_6]' + [\xi_7]' + [\xi_8]' + [\xi_9]' + [\xi_{10}]')
\end{aligned}
\tag{B 0.12}$$

式中： q ——淋水密度 $[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ ；

L ——单面进风时为雨区横向长度(m)，单塔进风面多于2
时为雨区横向长度的50%。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《声环境质量标准》GB 3096

《玻璃纤维增强塑料冷却塔》GB/T 7190

《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348

《结构用纤维增强复合材料拉挤型材》GB/T 31539

《冷却塔塑料部件技术条件》DL/T 742