

THE PRINCIPLE OF COOLING TOWERS

冷却塔工艺原理

赵顺安 著

中国建筑工业出版社

冷却塔工艺原理

赵顺安 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

冷却塔工艺原理/赵顺安著. —北京: 中国建筑工程出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-112-18197-1

I. ①冷… II. ①赵… III. ①冷却塔-工艺学 IV. ①TF3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 131194 号



冷却塔工艺原理

赵顺安 著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

环球印刷 (北京) 有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 32 字数: 796 千字

2015 年 8 月第一版 2015 年 8 月第一次印刷

定价: 96.00 元

ISBN 978-7-112-18197-1

(27402)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书共有十九章，内容包括了空冷却塔、湿式自然通风冷却塔、湿式机械通风冷却塔、海水冷却塔、排烟冷却塔、干/湿式冷却塔、闭式冷却塔等的发展历史、现状及热力阻力计算与设计方法。第一章为概述，介绍各种冷却塔的分类和基本情况；第二章为空冷却塔、干/湿式冷却塔与闭式冷却塔相关的传热基础；第三章为空冷却塔、干/湿式冷却塔与闭式冷却塔核心部件性能介绍；第四章主要介绍了直接空冷却塔、表面式间接空冷却塔和冷凝式间接空冷却塔的设计与运行相关问题及处理；第五、六章是湿式冷却塔的基础理论，包括理论模型与发展历史，模型求算方法等；第七章为湿式冷却塔核心部件的发展历史与特性分析；第八章为机械通风冷却塔的设计与计算方法以及与塔的相互干扰；第九章介绍自然通风冷却塔，包括高位集水冷却塔的设计与计算方法；第十章为如何采用现代计算流体软件进行自然塔的优化设计；第十一章为冷却塔的配水设计与水力计算；第十二章介绍自然通风冷却塔的塔型与性能的关系；第十三、十四、十五、十六章分别介绍了海水冷却塔、排烟冷却塔和干/湿式冷却塔及闭式冷却塔的发展历史和设计与计算方法；第十七章为电力系统冷端优化与冷却塔的优化设计；第十八章介绍冷却塔对环境的影响及环境对冷却塔性能的影响与评价方法；第十九章给出了进行冷却塔相关工艺问题试验研究的方法。

本书内容新颖全面、概念清晰、理论系统、论述详细，可供从事冷却塔设计、科研、运行和制造人员阅读，也可供高等院校相关专业师生参考。

* * *

责任编辑：田启铭 李玲洁

责任设计：王国羽

责任校对：张颖 赵颖

前 言

冷却塔是一门古老而又年轻的学科，是一门涉及流体力学、水力学、传热传质学、机械传动学和材料学的边缘学科。它是随着生产实践不断完善发展起来的一门学科，总的发展也仅 100 年。目前，冷却塔已经由 1940 年前的湿冷塔发展成为包含自然通风冷却塔、机械通风冷却塔、空冷塔、干/湿式冷却塔和蒸发冷却塔等种类多样综合的学科。冷却塔正在石油、化工、冶金、电力、纺织、轻工、电子以及我们的日常生活中发挥着作用。

在冷却塔的百年发展历史中，我们不能忘记 100 年间一些特别的人、特殊的阶段、特殊的事促使了冷却塔学科的进步与发展。1925 年迈克尔提出焓差理论，从而冷却塔有了自己的理论体系；20 世纪 40 年代起发展直接空冷技术，开启了节水冷却的新纪元；20 世纪 50 年代海勒教授提出混凝式间接空冷技术，20 世纪 60 年代应用于工程，丰富了节水冷却技术；20 世纪 60 年代首先在冶金行业提出了蒸发冷却技术，开始了闭式冷却塔的技术；20 世纪 70 年代表面式间接空冷技术发展起来，使空冷技术适用于了更大的机组；也是在这个年代，焓差理论得到广泛接受和工程采用。20 世纪 70 年代法国电力公司花了大量人力、物力进行自然通风冷却塔的技术研究，研究的内容不仅是冷却塔自身的设计问题，还将研究拓延至冷却塔与环境的相互影响等问题；20 世纪 80 年代法国电力公司和德国电力公司通过研究提出了高位集冷却塔和排烟冷却塔。而远离欧洲大陆的美国重点发展了机械通风横流式冷却塔和逆流塔，中国也在不断地发展着自己的冷却塔技术，20 世纪 60 年代开发了 LF4.7 机械通风冷却塔，还重点研究了冷却塔的核心部件淋水填料。20 世纪 80 年代中国引进了哈蒙公司冷却塔技术，20 世纪 90 年代国内与电厂冷却塔配套的 PVC 淋水填料如雨后春笋般涌现。2000 年后冷却塔的发展热点转移到中国，至 2007 年世界规模最大的空冷机组已经都在中国了，为适应电力对冷却塔技术的需求，中国电力工程顾问集团公司设立了海水冷却塔、排烟冷却塔、超大型冷却塔以及核电超大型冷却塔的相关研究课题，对冷却塔相关技术进行深入研究。中国核电工程公司、中广核工程公司、国核电力规划设计研究院、西南电力设计院、中南电力设计院、河北省电力勘测设计研究院以及广东省电力设计研究院等单位都对冷却塔的相关技术展开了研究工作，为冷却塔的技术发展作出了贡献。经过百年的发展，冷却塔的基本理论已经形成相对完善的体系。

本书的宗旨在于将冷却塔，包括湿冷塔、干/湿式冷却塔、蒸发冷却塔（闭式塔）、自然通风塔、机械通风塔、排烟冷却塔、海水塔基本工艺理论和最新研究成果系统地综合起来，介绍给读者，以促进冷却塔的研究和设计制造工作的不断发展。

由于时间仓促、水平所限，错误或不妥之处在所难免，望读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
第一节 工业循环水与冷却塔	1
第二节 冷却塔的种类	2
第三节 冷却塔的发展	12
第二章 传热	16
第一节 传热现象	16
第二节 导热 (热传导)	16
第三节 平板对流换热	19
第四节 管外绕流对流换热	22
第五节 管内换热	26
第三章 翅片管	28
第一节 翅片管原理	28
第二节 翅片管的导热	31
第三节 翅片管的性能参数	35
第四节 翅片管的热力阻力特性	41
第五节 翅片管束与翅片管换热器	44
第四章 空冷塔	52
第一节 空冷塔的种类与发展历史	52
第二节 空冷散热器及其热力阻力特性	57
第三节 空冷的热力计算	67
第四节 直接空冷	73
第五节 直接空冷的防风、防冻和度夏	83
第六节 表面式凝汽器间接空冷塔	87
第七节 海勒式 (凝凝式) 间接空冷塔	92
第八节 间接空冷的水力计算	95
第五章 蒸发冷却	103
第一节 水蒸发冷却原理	103
第二节 湿空气的性质	106

第三节	蒸发冷却极限·····	110
第四节	湿式冷却塔热力计算模型·····	113
第六章	湿式冷却塔的热力计算 ·····	122
第一节	热力计算模型求解·····	122
第二节	逆流式冷却塔的热力计算方法·····	127
第三节	横流式冷却塔热力计算方法·····	134
第四节	热力计算方法比较评价·····	141
第七章	塔芯材料 ·····	150
第一节	国内外塔芯材料发展简介·····	150
第二节	冷却塔淋水填料性能试验·····	161
第三节	喷溅装置性能试验·····	170
第四节	收水器·····	172
第五节	淋水填料的特性规律分析·····	176
第八章	机械通风冷却塔 ·····	181
第一节	机械通风冷却塔的构成与设计·····	181
第二节	机械通风逆流式冷却塔的热力阻力计算·····	190
第三节	机械通风横流式冷却塔的热力阻力计算·····	195
第四节	鼓风式机械通风冷却塔的热力阻力计算·····	197
第五节	机械通风冷却塔的运行曲线·····	198
第六节	机械通风冷却塔的布置·····	201
第九章	自然通风湿式冷却塔 ·····	207
第一节	自然通风湿式冷却塔的构成与布置·····	207
第二节	自然通风逆流式冷却塔的热力阻力计算方法及适用范围·····	211
第三节	外区配水的热力阻力计算方法·····	216
第四节	双系统冷却塔的热力计算与设计·····	221
第五节	进风口安装防冻导风装置、挡风板及消噪声装置的阻力修正·····	224
第六节	超大型自然通风逆流式冷却塔的热力计算存在问题及修正·····	230
第七节	高位收水冷却塔·····	235
第八节	自然通风横流式冷却塔的空气动力计算·····	238
第十章	大型自然通风冷却塔的二维、三维热力优化设计方法 ·····	240
第一节	冷却塔数值模拟优化设计的意义及发展·····	240
第二节	自然通风逆流式冷却塔的二维优化设计方法·····	242
第三节	冷却塔的三维数值模拟方法·····	251
第四节	冷却塔数值模拟方法的相关问题·····	259

第十一章	自然通风冷却塔的配水设计与计算	264
第一节	冷却塔配水方案.....	264
第二节	槽管结合配水水力计算方法.....	271
第三节	虹吸配水.....	275
第四节	配水不均匀对冷却塔热力特性影响的估算.....	281
第五节	横流式冷却塔配水设计与计算.....	283
第六节	配水的防冻设计与核电无阀门系统冷却塔配水设计.....	285
第十二章	自然通风冷却塔的塔型优化	288
第一节	自然通风冷却塔塔型设计原理.....	288
第二节	大型自然通风冷却塔塔型曲线推导.....	290
第三节	自然通风冷却塔塔内气流流态和塔型优化.....	292
第四节	塔型与热力特性的关系.....	296
第五节	冷却塔结构计算相关的流体力学问题.....	304
第十三章	海水冷却塔	313
第一节	海水的物理特性.....	313
第二节	海水冷却塔的特点.....	316
第三节	海水与淡水散热特性比较.....	319
第四节	海水冷却塔热力特性评价.....	323
第五节	海水冷却塔填料热力特性试验.....	327
第十四章	排烟冷却塔	330
第一节	排烟冷却塔产生背景与发展.....	330
第二节	排烟冷却塔的排烟特性.....	335
第三节	排烟冷却塔排烟器与热力阻力特性研究.....	340
第四节	排烟冷却塔的热力阻力计算方法修正.....	346
第十五章	自然风对自然通风冷却塔的影响与防治	347
第一节	自然风对冷却塔的影响.....	347
第二节	自然风对逆流式冷却塔影响的研究.....	350
第三节	自然风条件下自然通风冷却塔的热力阻力计算修正.....	358
第四节	降低自然风对冷却塔特性影响的措施研究.....	359
第十六章	干/湿式冷却塔(消雾冷却塔)与闭式冷却塔	372
第一节	干/湿式冷却塔概述.....	372
第二节	干/湿式冷却塔设计计算.....	379
第三节	干/湿式冷却塔消雾运行曲线.....	384

第四节	闭式蒸发冷却塔（器）	386
第五节	闭式蒸发冷却塔（器）的热力计算方法	390
第六节	闭式蒸发冷却塔（器）的热力特性	393
第七节	闭式冷却塔的设计计算	398
第十七章	发电厂的冷端优化计算	403
第一节	发电厂发电工艺的冷端	403
第二节	冷端优化的方法	405
第三节	湿式冷却系统的冷端优化计算	408
第四节	直接空冷机组冷端优化计算	415
第五节	间接空冷机组与核电机组的冷端优化计算	420
第十八章	冷却塔与环境	421
第一节	冷却塔与环境的相互影响	421
第二节	冷却塔对环境影响评价	426
第三节	冷却塔的噪声与防治	430
第四节	逆温层对冷却塔的影响	438
第十九章	冷却塔研究与试验	447
第一节	概述	447
第二节	模型试验	448
第三节	模拟试验	453
第四节	原型观测	459
附录		473
附录 A	常压下空气的性能参数	473
附录 B	常压下不同气体的性能参数	473
附录 C	水的性能参数	474
附录 D	各种金属的性能参数	475
附录 E	饱和蒸汽与过饱和蒸汽的性能参数	477
附录 F	不同规格翅片式空冷传热元件热力阻力性能	478
附录 G	饱和水蒸气压力 (Pa)	479
附录 H	湿空气密度曲线图	481
附录 I	湿空气湿度曲线图	482
附录 J	湿空气焓曲线图	483
附录 K	湿空气含湿量	483
附录 L	逆流式冷却塔填料热力阻力特性	484
附录 M	横流式冷却塔填料热力阻力特性	486
附录 N	逆流式海水冷却塔填料热力阻力特性	488
参考文献		490

第一章 概 述

第一节 工业循环水与冷却塔

在工业生产与人们的日常生活中，往往需要排出大量的废热，才能得以维持。可以说工业生产越发达、人的物质生活水平越高，需要排出的废热就越多。如冶金行业，要保证产品质量与正常生产，就需将生产过程中的废热排放掉，以轧板工艺为例，轧板的轧辊在轧压热钢板后温度升高，如果不对轧辊进行冷却，其温度将一直升高，最后生产将无法继续进行，同时轧板质量也无法保证；再如化工行业的蒸馏工艺中，需将某气态物质的温度降低至某一温度凝结，就要排出热量，就要求由冷却水系统将其废热带走；废热排放量较大的是蒸汽发电工艺，锅炉将水加热为蒸汽推动汽轮机转动带动发电机发电，同样量的燃

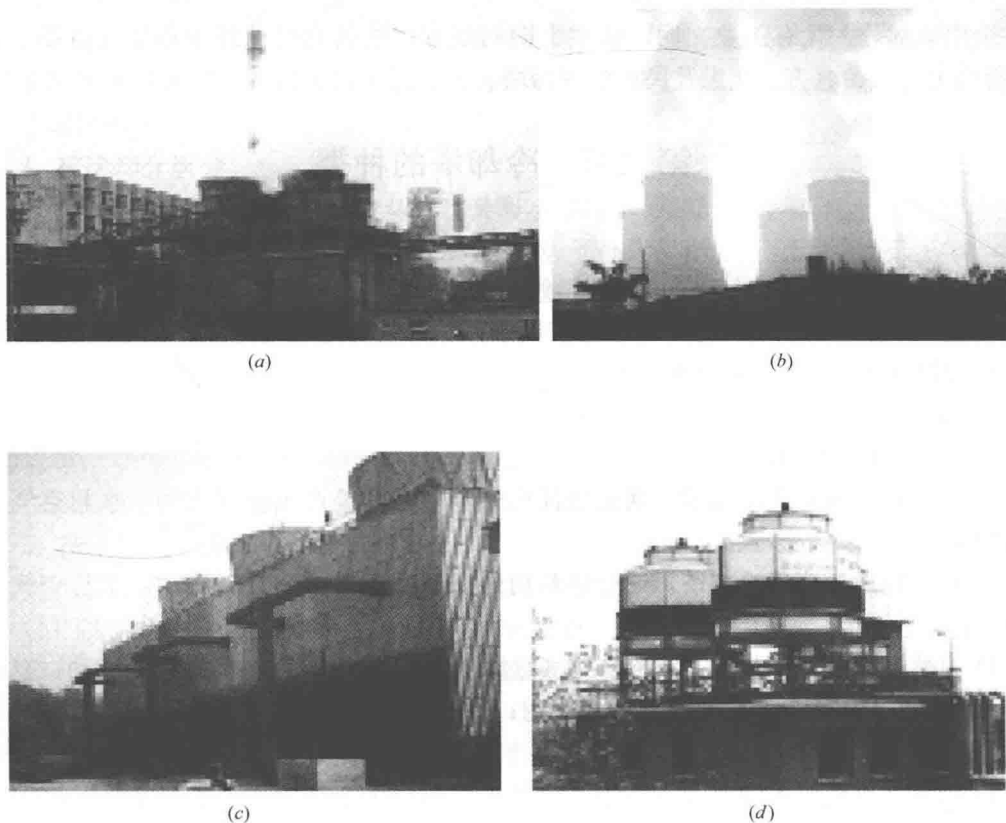


图 1-1 用于不同行业的冷却塔
(a) 冶金；(b) 电力；(c) 化工；(d) 民用

煤, 蒸汽的高压端与低压端的压差越大, 发电效率越高, 要形成大压差就要使汽轮机末级叶片排出的高温蒸汽降温凝结为水形成真空, 真空度 (真空中的绝对压力大小的标志) 的高低与蒸汽冷却后的水温度有关, 温度越低真空度越高, 发电燃煤效率也越高。蒸汽及其凝结的热量需要用冷却水将其带走。日常生活中也处处可见废热的排放, 如建筑物内的空调系统、冷库系统等, 都需要冷却水将其中的废热带走或排向大气。所以, 要进行生产、提高生活水平必然伴随大量废热排出。这种废热的排出一般是通过冷却水带向环境水域或遗散向大气的。在火力发电厂中, 燃料燃烧的能量中仅 40% 转化为电能, 12% 随烟气排放, 48% 随冷却水排放掉。核电站的能量中仅 33% 转化为电能, 其余的 67% 均变为废热全部由冷却水带走。一台 1000MW 的燃煤电厂需要的冷却水量可达 10^5 t/h 级, 这就是为什么冷却水用量占工业总用水的 80% 的原因。较经济和有效的办法是利用已有的江、河、湖、泊或海洋作为冷却水的水源, 经过工艺装置后将带热的水排回江、河、湖、泊或海洋中, 热量由江、河、湖、泊或海洋等散向大气。

随着冷却水用量的不断增加, 很多江、河、湖、泊资源已经用尽, 或者说这些环境水域不能容纳如此多的废热的排出, 也有是由于远离这些水域、取水工程投资过高等原因, 冷却水就必须循环使用。要循环使用, 就必须把冷却水中的热量在短时间内散发掉。这种把循环冷却水中的热量在短时间内散发到大气中的装置就是冷却塔, 即冷却塔是将冷却水在其内与大气充分直接或间接接触, 使水的热量传给大气的装置。冷却塔就成了工业生产的一个组成部分, 凡有工业文明、物质文明的地方, 便随处可见到冷却塔的身影, 如图 1-1 所示为冶金、电力、化工及民用的冷却塔。

第二节 冷却塔的种类

一、冷却塔的分类

经过 100 多年的发展, 冷却塔根据使用条件、目的与地区等形成了很多种类与形式, 总体可按以下几种方式进行划分。

1. 按通风方式分

(1) 自然通风冷却塔。

1) 自然通风逆流式冷却塔, 通过塔筒内外空气密度差产生空气流动, 水与空气的流动方向相反。

2) 自然通风横流式冷却塔, 通过塔筒内外空气密度差产生空气流动, 水与空气的流动方向相垂直。

3) 自然通风干式冷却塔 (空冷塔), 通过塔筒内外空气密度差产生空气流动, 空冷散热器有两种布置方式, 一种是布置在塔壳内; 另一种是垂直布置于塔进风口四周。

(2) 机械通风冷却塔。

1) 抽风式机械通风逆流式冷却塔, 由风机动力产生空气流动, 水与空气的流动方向相反, 风机为抽风式。

2) 抽风式机械通风横流式冷却塔, 由风机动力产生空气流动, 水与空气的流动方向垂直, 风机为抽风式。

3) 鼓风式机械通风逆流式冷却塔, 风机为鼓风式。

(3) 混合通风冷却塔。由风机动力与塔筒内外空气密度差同时产生塔内空气流动, 可以是横流式, 也可以是逆流式。

2. 按水气接触方式分

水与大气的热交换主要通过蒸发传热与接触传热两种方式完成, 将水的热量传给大气的冷却塔称为湿式冷却塔, 简称湿冷塔。湿冷塔的传热效率高, 冷却极限是空气的湿球温度, 而缺点则是蒸发使部分冷却水损失到大气中, 造成水资源浪费, 余下的水由于含盐量增大, 还需进行水质稳定处理, 否则, 造成工艺设备的腐蚀或结垢。为节约用水, 缺水地区只能使用干式冷却塔, 简称空冷塔, 空冷塔是将热水的热量传给散热金属片, 散热金属片与空气通过接触传热的方式将热再传给大气。空冷塔没有蒸发, 所以, 循环水不损失, 可节约淡水资源。但是, 空冷塔效率低, 冷却极限为空气干球温度。

(1) 湿式冷却塔。

1) 自然通风冷却塔, 由风筒内外空气密度差产生抽力, 使空气流动。

2) 机械通风冷却塔, 由机械风机转动使空气流动。

3) 混合通风冷却塔, 在塔筒的抽力作用的同时, 增加风机鼓风或抽风。

(2) 干式冷却塔。即空冷塔, 空气与水不直接接触, 水的热量是间接传给空气的。

(3) 干湿式冷却塔。冷却塔中安装有空冷塔的散热器, 同时也有湿冷塔的填料换热。

(4) 闭式蒸发冷却塔。热水与空气不直接接触, 塔内装有封闭式散热器, 塔内安装喷嘴将水喷洒于散热器上, 形成塔内水自循环, 自循环水与空气接触通过蒸发和传热将散热器的热量传给大气。

3. 按冷却介质分

(1) 海水冷却塔。冷却塔的冷却介质是海水或盐水等非淡水介质。

(2) 淡水冷却塔。冷却塔的冷却介质是淡水。

(3) 冷却介质干式冷却塔。将干式冷却塔散热器中的循环水用冷却介质代替。

4. 按用途分

(1) 民用冷却塔。用于楼宇的空调系统、冷库的制冷系统等。分为横流式民用冷却塔和逆流式民用冷却塔, 其中逆流式民用冷却塔又分为圆形逆流塔和方形逆流塔。还有闭式冷却塔等。

(2) 工业冷却塔。用于工业生产过程中的冷却水系统中。

5. 按水气流动方向分

(1) 逆流式冷却塔, 水流与空气流动方向相反。

(2) 横流式冷却塔, 水流与空气流动方向垂直。

(3) 混流式冷却塔, 水流与空气的流动方向介于横流与逆流之间。

6. 其他类

还有其他一些用量较少的冷却塔, 如喷射式冷却塔、开放式冷却塔、无填料塔等。

二、各种冷却塔简介

1. 机械通风逆流式冷却塔

机械通风逆流式冷却塔分为抽风式和鼓风式, 鼓风式可用于冷却水中含有腐蚀性物质

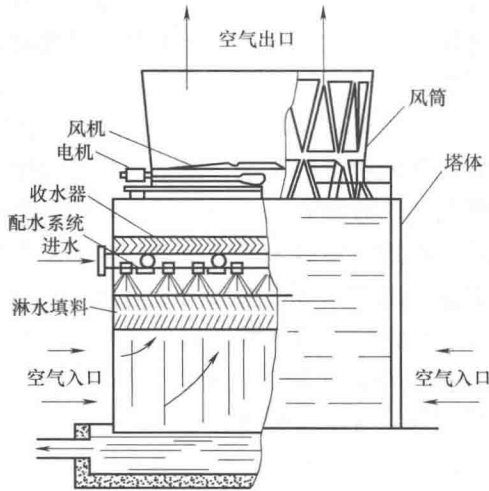


图 1-2 机械通风逆流式冷却塔示意图

小型塔一般采用玻璃钢结构或钢结构，大型塔一般采用钢筋混凝土结构或钢结构。

机械通风逆流式冷却塔几个部分都很重要，都能影响冷却塔的效率与使用。填料是冷却塔热交换的核心部件，70%的散热靠填料完成。但填料能发挥效果的前提是配水均匀，若配水损坏或极不均匀，填料效率再高，填料上多处无水，效率也无法发挥。风机系统是冷却塔的另一个核心部件，风机的风量大小影响冷却塔的冷却效果，风机的效率高低影响冷却塔的运行费用，若风机出现故障，冷却塔则无法运行。

我国 20 世纪 70 年代及以前的机械通风逆流式冷却塔主要塔型是风机直径 4.7m 的钢筋混凝土冷却塔，处理水量一般为 600~800t/h。填料采用水泥网格，收水器为百叶板，配水多为槽式，喷头为溅水澡，风筒由钢筋水泥制作，如图 1-3 所示。除此之外也有其他一些塔型，如图 1-4 所示，为安庆石化于 20 世纪 70 年代从法国引进的逆流塔，该塔风机直径为 9.14m，平面尺寸为 16.5m × 16.5m，进风口高 5.4m，风机平台高度 22.77m。最大的机械通风冷却塔为 1972 年在陕西华阴市秦岭电厂建成的 500m² 机械通风逆流式冷却塔。20 世纪 80 年代，冷却塔得到了较大发展，化工部先后对风机直径 8.53m 和 9.14m 进行了标准化设计，后在各行业广泛使用。目前，逆流式冷却塔的处理水量已经达到 5000 t/h，塔体高度与安庆石化引进的法国逆流式冷却塔相比也减小了。图 1-5 为金山石化采用的风机直径 9.14m 逆流式冷却塔，处理水量为 4000t/h，平面尺寸为 15.8m × 18.0m，风机平台高度仅为 11.5m。

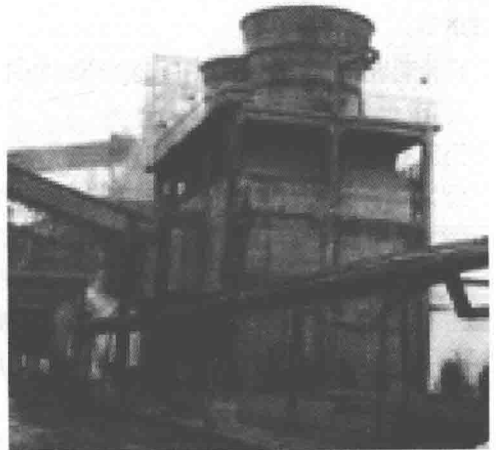


图 1-3 风机直径为 4.7m 的机械通风逆流式冷却塔

目前,机械通风逆流式冷却塔的设计淋水密度一般为 $12\sim 16\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, 填料断面风速为 $2.2\sim 3.0\text{m}/\text{s}$, 风速过高将带来较大的风吹损失。

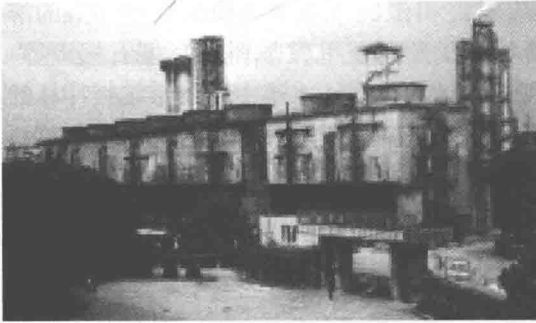


图 1-4 安庆石化引进法国的风机直径 9.14m 逆流塔

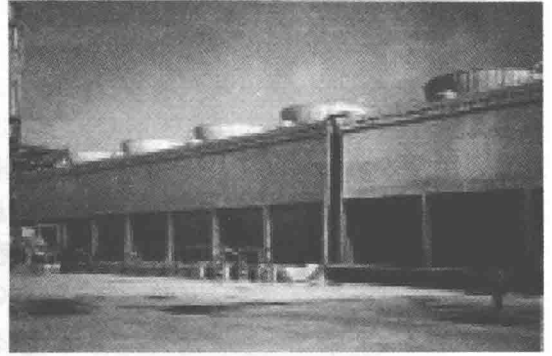


图 1-5 金山石化 $4000\text{t}/\text{h}$ 逆流式冷却塔

2. 机械通风横流式冷却塔

图 1-6 所示为机械通风横流式冷却塔, 主要由五部分构成: 风机系统、配水系统、淋水填料、收水器及塔体。横流式冷却塔的风机一般为轴流风机, 风机与电机之间通常由传动轴连接, 有些小型横流塔也采用皮带连接或直接连接, 风机的直径由小型冷却塔的 1m 到大型冷却塔的 9.14m , 风机出口一般安装风筒, 作用与逆流塔相同; 冷却塔的配水一般为池式配水, 配水管将热水分配至冷却塔风机平台上的配水池中, 配水池底安装有喷头, 通过喷头将热水喷洒于填料的顶面;

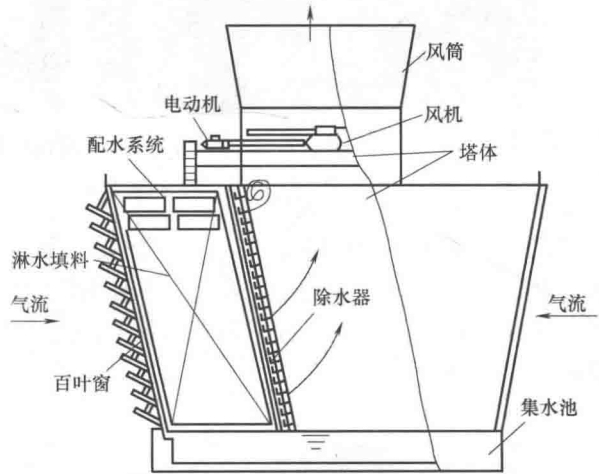


图 1-6 机械通风横流式冷却塔示意图

冷却塔的收水器多为弧型收水器, 置于淋水填料的后面, 也有些是将收水器与填料制作作为一个整体, 即填料的末端部分加工成一定的形状作为收水器, 这在一些小型民用塔中较为常见; 淋水填料一般为点滴式填料, 如 Ω 板、M 板、DC150 \times 150 等, 也有薄膜式填料如塑料正弦波、折波、石棉板等。横流塔的塔体结构有钢结构、钢筋混凝土结构、木结构及玻璃钢结构等。通过填料的风速一般为 $2.2\sim 3.0\text{m}/\text{s}$; 淋水密度一般大于 $20\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, 需根据填料的形式而定, 点滴式填料可大些, 有些塔的淋水密度可以达到 $50\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$; 填料的安装倾角视填料的形式不同而异, 点滴式填料 $9^\circ\sim 11^\circ$, 薄膜式填料 $5^\circ\sim 6^\circ$, 填料的高度与深度比取 $2.0\sim 2.5$; 百叶窗的叶片与水平夹角取 $45^\circ\sim 60^\circ$ 。

机械通风横流式冷却塔在我国应用量非常大, 特别是在石油、化工系统中, 如图 1-7 所示。主要原因是我国在 20 世纪 70 年代从国外引进了 10 多套大化肥项目, 这些项目配

套的冷却塔大多为机械通风横流式冷却塔。这些项目的引进，使国内的相关专业设计人员对机械通风横流式冷却塔有更多的了解与偏好，所以，新的工程建设项目中的冷却塔也多采用横流式冷却塔。这种情形一直延续到 20 世纪 90 年代中，一些新建项目仍采用横流式冷却塔，如燕山石化的 45 万 t 乙烯改扩建工程。这些引进的机械通风横流式冷却塔的淋水填料多为美国马利公司的 Ω 板和 M 板，也有日本的塑料正弦波填料和瓦型石棉板等。这些点滴式填料在中国的北方使用时，经常出现冬季结冰或循环水集中将淋水填料冲坏的现象，原因是冬季冷却塔不开风机，循环水沿进风百叶板下流于底层，集中冲向板条填料造成断裂，或冬季结冰增大板条荷载而损坏。为此，国内开发了填料的混装技术，较好地解决了这个问题，即在横流塔的外侧安装薄膜式填料，里侧安装点滴式填料。冷却塔的处理水量也从引进时的 2500t/h 左右增大到 4000t/h。

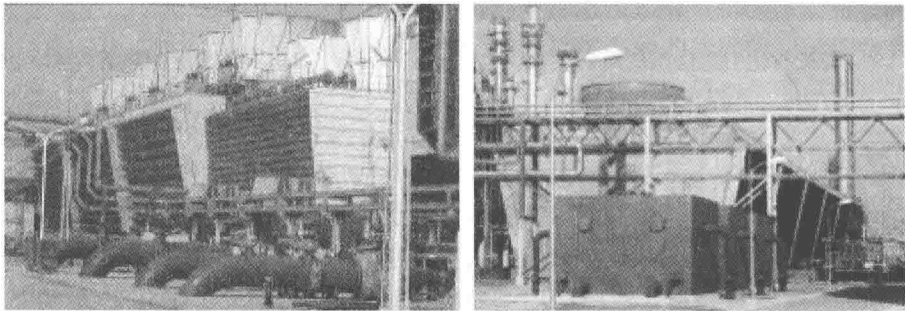


图 1-7 用于石化系统中的机械通风横流式冷却塔

3. 自然通风逆流式冷却塔

自然通风逆流式冷却塔由塔筒（或壳体）、塔芯材料支撑结构、淋水填料、配水系统、收水器及集水池组成，如图 1-8 所示。热水由管或压力沟送入塔的配水系统，配水系统将热水喷洒在填料顶面上，经过填料与填料下的进风空间（又称为雨区）落入集水池；空气在填料区中与热水发生热交换，空气吸热，温度升高，密度变小，与塔外的空气密度形成

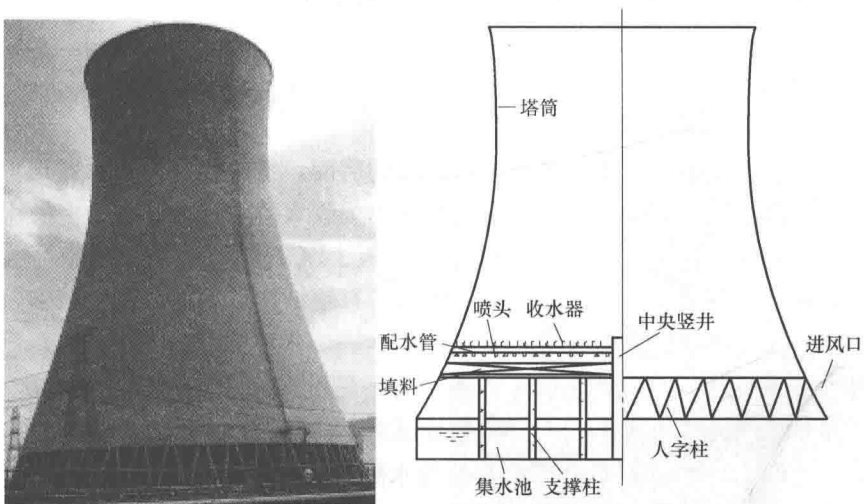


图 1-8 自然通风逆流式冷却塔示意图

密度差,在塔筒内产生抽力,向塔筒上方运动至塔出口进入大气,新的空气从进风口经过人字柱,再经过雨区,最后补进填料区。填料断面的风速一般为 $0.8\sim 1.5\text{m/s}$,夏季风速小,冬季风速大。冷却塔的淋水密度一般采用 $6\sim 11\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。

自然通风逆流式冷却塔的塔体大多是钢筋混凝土结构,也有玻璃钢结构或其他结构,图 1-9 为玻璃钢与钢结构的混合结构,这种结构仅用于小型塔。配水系统有槽式配水系统、管式配水系统、槽管结合式配水系统。早期的冷却塔多用槽式配水系统,槽式配水系统具有水槽体积大、不易制作、通风阻力也大、喷头不易布置均匀等缺点,目前已经很少使用,取而代之的是管式配水系统或槽管结合式配水系统,该配水系统通风阻力小、配水均匀、喷头易布置。现在使用的喷头大致分为两种类型,一类是反射型喷头,即水从喷嘴喷出后,经过溅水碟反射将水散开;另一类是旋流式,热水在喷头内经过旋转后喷出散开。20 世纪 70 年代及以前的自然通风逆流式冷却塔有很多不安装收水器,造成塔的周围出现雨雾或结冰,后研究开发了波型收水器解决了这个问题,现使用的收水器多为波型收水器,由 PVC 塑料挤塑而成。淋水填料的变化较大,早期采用点滴式填料,填料高度可达七八米,后来出现塑料填料,现在的塑料填料的高度已经降低到 1.5m 以内。塔的支撑结构多为钢筋混凝土结构。

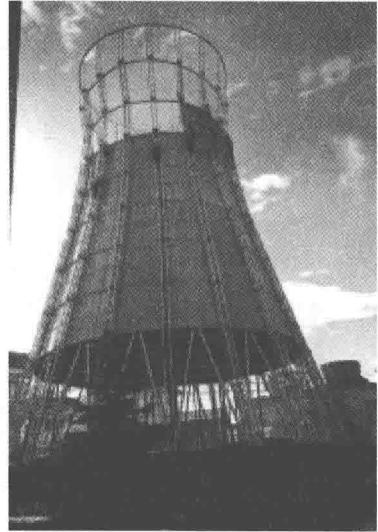


图 1-9 玻璃钢与钢结构混合的风筒冷却塔

自然通风逆流式冷却塔主要在电力行业中使用。电力行业的冷却水流量大,要求冷却塔处理能力强,运行费用低,这正是自然通风逆流式冷却塔的特点。钢筋混凝土壳体的自然通风逆流式冷却塔最小的淋水面积为 600m^2 ,最大的已经达到 13000m^2 以上,处理水量少的每小时几千吨,多的达每小时 10 万 t 以上。发电厂的循环水系统多用自然通风逆流式冷却塔,很少用机械通风冷却塔。但是,近几年随着电力短缺形势的加剧,也有 200MW 机组使用机械通风冷却塔的案例,这是因为机械塔的一次投资低,建设工期短,适应了急速的电力发展需求。水量太大时,使用机械通风冷却塔不经济,一般冷却水量 10000t/h 以上宜采用自然通风逆流式冷却塔。

4. 自然通风横流式冷却塔

自然通风横流式冷却塔如图 1-10 所示,由进风系统、配水系统、淋水填料、收水器及塔体结构组成。热水通过水管流入配水池内,通过池底孔或小型喷头将热水喷洒于淋水填料的顶面,经过填料区的热交换,流到下面的集水池中,与逆流塔相仿,空气是通过塔内外的空气密度差产生抽力而流动的,经过进风口,在填料区与热水进行热交换,变为湿热空气,密度变小,再经过收水器、人字柱进入塔筒,从塔筒出口进入大气。

横流式冷却塔与逆流式冷却塔相比效率低,故横流式冷却塔的填料体积比逆流塔的大,如使用相同的填料,则耗材太大,所以,横流塔多采用点滴式填料。横流塔的填料通风阻力较逆流塔小,淋水密度可大些,一般可达到 $15\sim 30\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。与逆流塔相比,横

流塔的塔筒直径可减小，所以，相同容量时，横流塔的塔壳造价比逆流塔低。横流塔的配水系统可以作到分区管理，所以，可进行不停机检修。目前，国内在用的自然通风横流式冷却塔的最大配套机组容量为 200MW，与逆流塔相比，积累的经验较少，好多塔型未经过运行考验。横流塔未能在电力系统广泛采用的原因之一是淋水填料没有得到很好地解决。现有的填料中，若采用薄膜式，填料用量太大，而且填料深度不能太大，否则气流阻力过大，这样塔的填料区直径就应很大，占地也大；采用点滴式填料其热力性能较低，填料体积也较大，而且也没有成熟的、经过考验的、理想的点滴式填料品种。

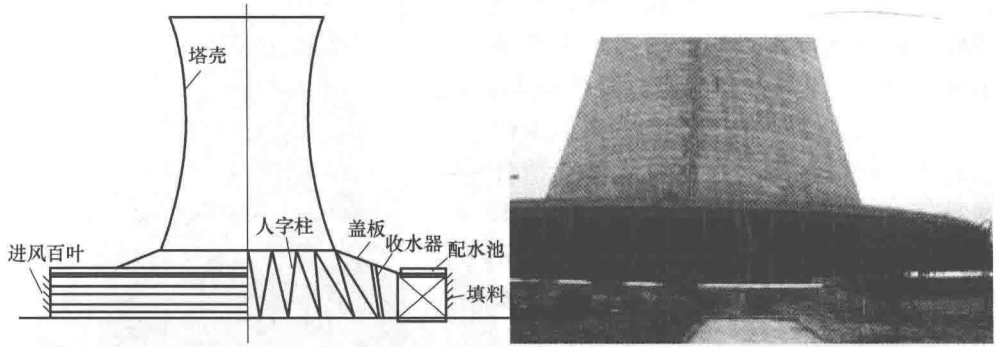


图 1-10 自然通风横流式冷却塔

5. 混合通风冷却塔

混合通风冷却塔如图 1-11 所示，有横流式、逆流式与干式等。这种冷却塔既有通风筒，又有风机，在气温高时风机运行，气温低时，视出塔水温可关闭风机，这样，塔筒高度可比一般自然通风冷却塔低。还有一种情况也使用混合通风，就是原设计的自然通风塔，夏季效率达不到设计要求，影响生产，不得已而增加的降温措施，如国电电力大同第二发电厂的空冷却塔。

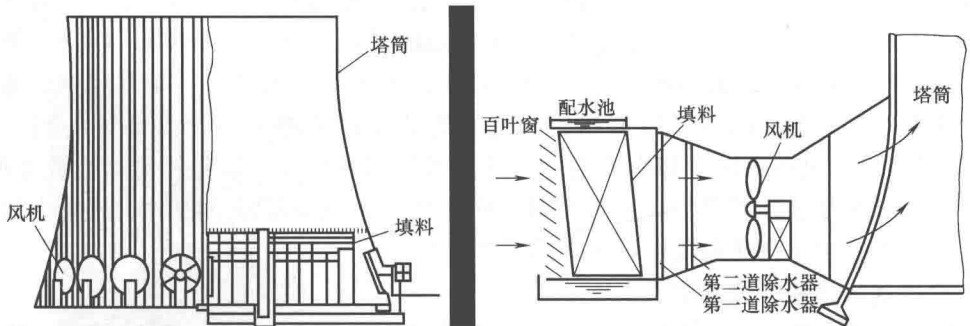


图 1-11 混合通风冷却塔示意图

6. 干式冷却塔

干式冷却塔是将热水通过带有翅片的水管，水热通过管传给翅片，翅片与空气接触传给大气。干式塔有机械通风与自然通风两种，自然通风中分两种散热器布置方式，一种是散热器垂直布置于自然通风塔的塔体外部，如图 1-12 (a) 所示，类似于自然通风横流式冷却塔；另一种是将散热器布置于塔筒内部，类似于逆流塔，如图 1-12 (b) 所示。这两种塔一般用于火力发电的间接空冷系统。机械通风干式冷却塔的通风靠风机提供动力，空