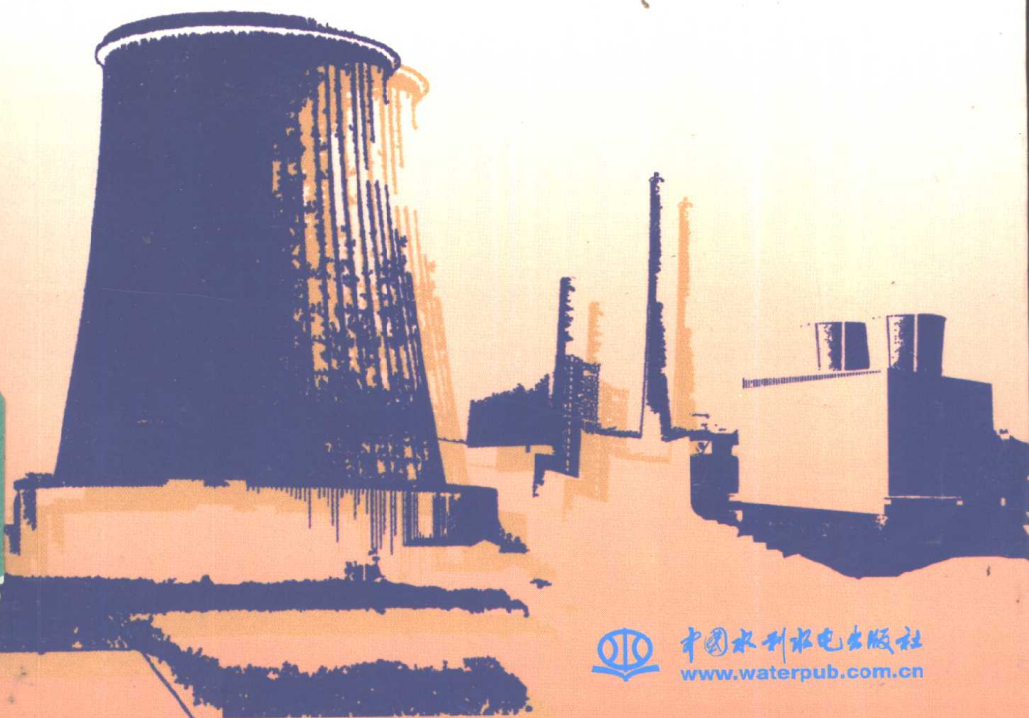


赵振国 著

冷却塔



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

冷 却 塔

赵振国 著

中国水利水电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

冷却塔/赵振国著. -北京:中国水利水电出版社, 1996
ISBN 7-80124-173-8

I. 冷… II. 赵… III. 冷却塔 IV. TQ051.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 17444 号

书 名	冷却塔
作 者	赵振国 著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京金剑照排厂
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 32开本 14.125印张 317千字
版 次	1997年6月第一版 2001年11月北京第二次印刷
印 数	3681—6880册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

再版序言

本书的前几章已对冷却塔的设计和试验方法做了全面的介绍，但是事物总是在不断的发展和进步的，冷却塔也不例外。自本书写成以来，中国水利水电科学研究院冷却水所在冷却塔方面又做了一些新的工作，对提高冷却塔技术方面会产生相当的作用，所以把这些成果也收入本书中，单独作为一章，放在最后。另外，对原书中的印刷错误也加以改正，并作小的补充。

作者

2001年9月

前 言

冷却塔广泛地应用于国民经济的许多部门，如电力、石油、化工、钢铁和轻纺等。目前所应用的冷却塔有170多米高的大型自然通风冷却塔；也有冷却几十吨水的小型玻璃钢冷却塔。

近十几年来，随着我国工业的迅速发展，冷却塔的发展也很快，小型冷却塔随处可见。但是，冷却塔的工艺设计理论，作为一门科学还很年轻，还处在发展阶段。

利用水来冷却其他热质已经很早了。早在1912年，世界上第一个简单的自然通风冷却塔，在荷兰的一个矿上建成使用，但分析冷却塔传热关系的第一个成功者，当推F. 麦克尔(Merkel)⁽¹⁾，他把焓差作为传热的推动力，给出了以焓差为参数的传热公式。他的公式当时引起了很多争论，没有立刻得到承认。后来，发生了第二次世界大战，战争蔓延到大多数工业国家，只有美国没有受到战争破坏，工业得到了得天独厚的发展，冷却塔也相应地发展起来。为了进行冷却塔的热力计算，麦克尔公式受到了重视。美国当时使用的冷却塔，都采用机械通风。这就为计算造成了便利，塔的通风量除受阻力的影响外，基本上是已知的。

战后，自然通风冷却塔在其他工业国家得到了发展。在进行自然通风冷却塔的热力计算时，首先遇到的问题是塔的通风量怎么算，这关系到两个问题：其一，计算塔抽力的有效高度怎么取？其二，塔的通风阻力怎么计算？尤其是塔中

的雨区阻力怎么计算？都没有现成的答案。1952年，H·契尔顿(Chilton)在文章[2]中想绕过这两个问题，提出了根据已建成塔的测试结果来设计相似新塔的方法，但并不能根本解决问题。围绕上述问题，各国科研人员一直在逐步深入地进行着研究工作。

上述只是从大的方面提出，笔者在文献[3]中指出，实际上还存在着很多其他问题。

由于工业不断发展，水资源日益紧张，干式冷却塔也相应地发展起来。但在我国，干式冷却塔还处在起步阶段。

本书的宗旨在于，除介绍常见的内容外，将把一些新的研究成果，包括笔者对一些问题的研究成果介绍给读者，共同促进对冷却塔的研究和设计制造工作的不断发展。

本书编写得到中国水利水电科学研究院冷却水研究所领导的大力支持；得到许玉麟、陆振铎、石金铃、赵顺安等同志的多方面帮助；得到宜兴循环水设备厂家的热心资助，由于这些支持和帮助，本书才得以顺利出版，在此一并表示衷心的感谢。

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。

作者

1994年12月



作者简介

赵振国，教授，陕西省西安市人，1932年生，1953年毕业于清华大学水利系，后又在清华大学及中国科学院两次读研究生七年。毕业后一直在中国水利水电科学研究院工作，曾从事明渠急流、管道流及气蚀等方面的研究，后转向冷却塔的研究。现为博士生导师，国家有贡献的专家。

目 录

前 言

第一章 总论	1
第一节 冷却塔的作用	1
第二节 冷却塔的分类	2
第三节 各种冷却塔简述	3
第二章 水的冷却原理	17
第一节 湿空气的性质	17
第二节 传热和传质	24
第三节 水的冷却原理	30
第四节 冷却极限的测定	33
第三章 冷却塔的组成部分及其特性	36
第一节 塔体	36
第二节 填料	41
第三节 配水	79
第四节 收水器	79
第五节 雨区及集水池	85
第六节 百叶窗	86
第七节 风机和风筒	88
第八节 塔群布置	94
第四章 冷却塔的配水	102
第一节 逆流式冷却塔的配水	102
第二节 横流式冷却塔的配水	121

第三节	飞溅装置	124
第五章	冷却塔的空气动力计算	137
第一节	冷却塔的气流场	137
第二节	自然通风逆流式冷却塔的通风量计算	145
第三节	自然通风横流式冷却塔的通风量计算	179
第四节	机械通风冷却塔的通风量计算	185
第六章	冷却塔的热力计算	191
第一节	逆流式冷却塔的热力计算	192
第二节	横流式冷却塔的热力计算	222
第七章	冷却塔和环境	248
第一节	自然风对冷却塔的影响	248
第二节	大气逆温及其对冷却塔的影响	274
第三节	冷却塔对周围环境的影响	287
第四节	冷却塔的结冰及防冻措施	296
第五节	冷却塔的噪声及减噪措施	301
第八章	冷却塔的室内试验	311
第一节	室内试验的模型律	311
第二节	填料模拟试验	314
第三节	收水器试验	324
第四节	配水试验	329
第五节	飞溅装置试验	333
第六节	自然风影响的室内试验	335
第九章	冷却塔的原体测试	337
第一节	试验任务	337
第二节	试验前的准备工作	338
第三节	测量参数和所用仪表	339
第四节	几个测量参数的讨论	345

第五节	试验数据整理	350
第六节	试验结果的评价	352
第十章	几个方面的新进展	357
第一节	逆流式冷却塔的二维计算	357
第二节	冷却塔填料热力特性的新表达式	389
第三节	虹吸式配水	394
第四节	自然风对冷却塔的影响 (续)	400
附录	424
附表 1	饱和水蒸气压力	424
参考书目	428
参考文献	430

第一章 总 论

第一节 冷却塔的作用

工业生产或制冷工艺过程中产生的废热，一般要用冷却水来导走。从江、河、湖、海等天然水体中汲取一定量的水作为冷却水，冷却工艺设备吸取废热使水温升高，再排入江、河、湖、海，这种冷却方式称为直流冷却。当不具备直流冷却条件时，则需要用冷却塔来冷却。

冷却塔的作用是将挟带废热的冷却水在塔内与空气进行热交换，使废热传输给空气并散入大气。

如图 1-1 所示的火电厂为例，锅炉 1 将水加热成高温高压蒸汽，推动汽轮机 2 做功使发电机 3 发电。经汽轮机做功后的乏汽排入凝汽器 4，与冷却水进行热交换凝结成水，再用水泵打回锅炉循环使用。这一热力循环过程中，乏汽的废热

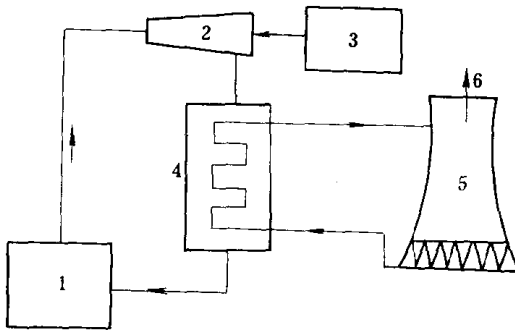


图 1-1 循环系统

- 1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；
4—凝汽器；5—冷却塔；6—空气

在凝汽器中传给了冷却水，使水温升高。挟带废热的冷却水，在冷却塔 5 中将其热量传给空气 6，从塔筒出口排入大气。在冷却塔内冷却过的水变为低温水，水泵将其再送入凝汽器，循环使用。前一循环为锅炉中水的循环，后一循环为冷却水的循环。其他工业部门，如石油、化工、钢铁等，也广泛使用冷却塔。

冷却塔中水和空气的热交换方式之一是，流过水表面的空气与水直接接触，通过接触传热和蒸发散热⁽¹⁾，把水中的热量传输给空气。用这种冷却方式的称为湿式冷却塔（简称湿塔）。湿塔的热交换效率高，水被冷却的极限温度为空气的湿球温度。但是，水因蒸发而造成损耗；蒸发又使循环的冷却水含盐度增加，为了稳定水质，必须排掉一部分含盐度较高的水；风吹也会造成水的损失。这些水的亏损必须有足够的新水持续补充，因此，湿塔需要有补给水的水源。

缺水地区，补充水有困难的情况下，只能采用干式冷却塔（简称干塔或空冷却塔）⁽⁸⁾。干塔中空气与水（也有空气与乏汽）的热交换，是通过由金属管组成的散热器表面传热，将管内的水或乏汽的热量传输给散热器外流动的空气。干塔的热交换效率比湿塔低，冷却的极限温度为空气的干球温度。

第二节 冷却塔的分类

目前已经被淘汰的冷却塔型这里不再介绍，现还在使用的塔型，分类如下。

一、按通风方式分

按通风方式分有：①自然通风冷却塔；②机械通风冷却塔；③混合通风冷却塔。

二、按热水和空气的接触方式分

按热水和空气的接触方式分有：①湿式冷却塔；②干式冷却塔；③干湿式冷却塔。

三、按热水和空气的流动方向分

按热水和空气的流动方向分有：①逆流式冷却塔；②横流(交流)式冷却塔；③混流式冷却塔。

四、其他型式的冷却塔

其他型式有喷流式冷却塔和用转盘提水冷却的冷却塔等。

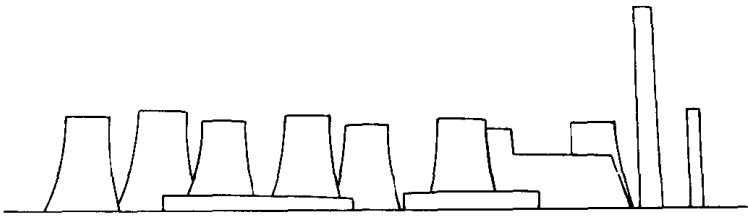
第三节 各种冷却塔简述

一、自然通风逆流湿式冷却塔

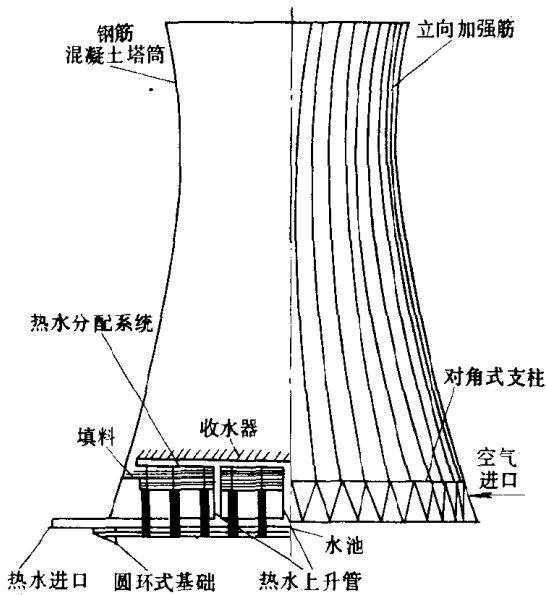
自然通风逆流湿式冷却塔在我国电力部门使用最多，见图 1-2。这种塔型的通风筒常采用双曲线形，用钢筋混凝土浇制，其高度已达 170 多米。老式的塔筒平面上呈多角形、立面为锥形的，现在已经很少用了。

如图 1-2(b)所示，热水由管道通过竖管(竖井)送入热水分配系统。这种分配系统在平面上呈网状布置，分槽式布水、管式布水或槽管结合布水；然后通过喷溅设备，将水洒到填料上；经填料后成雨状落入蓄水池，冷却后的水抽走重新使用。塔筒底部为进风口，用人字柱或交叉柱支承。空气从进风口进入塔体，穿过填料下的雨区，和热水流动成相反方向流过填料(故称逆流式)，通过收水器回收空气中的水滴后，再从塔筒出口排出。

塔外冷空气进入冷却塔后，吸收由热水蒸发和接触散失的热量，温度增加，湿度变大，密度变小。因此，收水器以



(a)



(b)

图 1-2 自然通风逆流湿式冷却塔

(a)全貌；(b)冷却塔详图

上的空气经常是饱和或接近饱和状态，其温度要通过计算确定，初步设计时，可取为冷却塔进、出水温的平均值。塔外空气温度低、湿度小、密度大。由于塔内、外空气密度差异，在进风口内外产生压差，致使塔外空气源源不断地流进塔内

而无需通风机械提供动力，故称为自然通风。

为满足热水冷却需要的空气流量，塔内、外要有足够的压差，但塔内、外空气密度差是有限的，因此自然通风冷却塔必须建造一个高大的塔筒。填料断面气流速度一般为 $1.0 \sim 1.2\text{m/s}$ ，比机械通风冷却塔气流速度要小。

逆流方式冷却效果高，但通气阻力相对也大，所以填料体积小。填料有点滴式和薄膜式之分，现在大多采用薄膜式填料。这种填料的特点是，水淋过填料时，水的表面积比较固定，在水量增大时其表面积没有多大变化，所以其淋水密度不宜太大，一般采用 $6 \sim 8\text{[t/(m}^2 \cdot \text{h)]}$ 。

在高温、高湿地区，气压较低，形成同样的过塔气量，需要更高的塔筒，所以对建造这种塔不利。自然通风湿式冷却塔建造费用高，运行费用低，随着国际上石油价格的提高，机械运行费用相应增加，自然通风冷却塔就显得更经济，因而被采用的愈来愈多了。

二、自然通风横流湿式冷却塔

这种塔的填料设置在塔筒外，如图 1-3 所示。热水通过上水管，流入配水池，池底设布水孔，孔距约 50cm ，下连喷嘴，将热水洒到填料上冷却后，进入塔底水池，抽走重复使用。空气从进风口水平向穿过填料，与水流方向正交，故称横流式或交流式。空气出填料后，通过收水器，从塔筒出口排出。

在冷却方式中，逆流式效率最高，顺流式效率最差，横流式居中。由于横流冷却方式效率比逆流式差，所以需要比逆流式大的填料体积，但通气阻力较小，因此淋水密度可以加大到 $15 \sim 20\text{t/(m}^2 \cdot \text{h)}$ 。横流塔若采用薄膜式填料，则因耗材料太多而增加了塔的造价，所以现在多采用点滴式填料。使用点滴式填料的另一个好处是，淋水表面在大水量时有较大

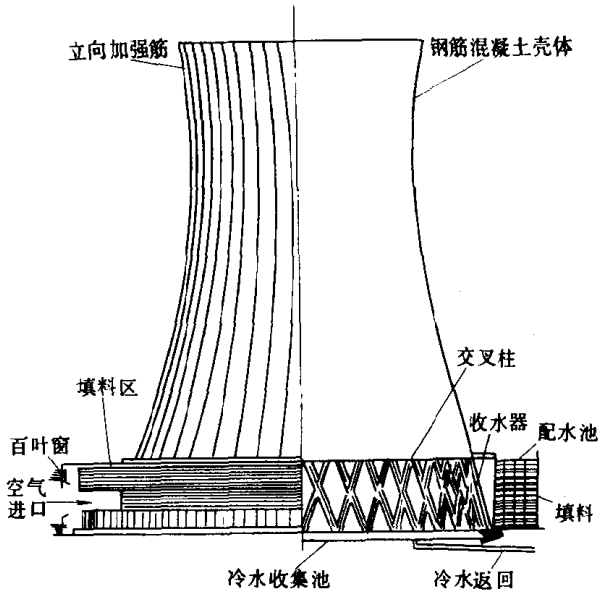


图 1-3 自然通风横流湿式冷却塔

的增加，相应地提高了冷却效果。这种塔的塔筒内是空的，气流速度可以高一些，因此塔筒直径可以比同容量的逆流塔小，相应降低了造价。

这种塔施工场地不互相干扰，有利于施工。运行管理方便，但防冰冻性能不如逆流塔，总造价一般比逆流塔低，但运行费用高。

三、辅助通风冷却塔

图 1-4 是一种自然通风和机械通风共同作用的冷却塔。在自然通风逆流式冷却塔底部，加装鼓风机以辅助塔筒通风。瑞舍吉·考垂(Research-Cottrell)公司设计的这种塔，高度为同容量自然通风逆流塔的 $1/2$ ，底部直径为其 $2/3$ ，负荷小时可以不开风机。

英国因斯“B”(Ince “B”)电厂 1000MW 机组的辅助通风

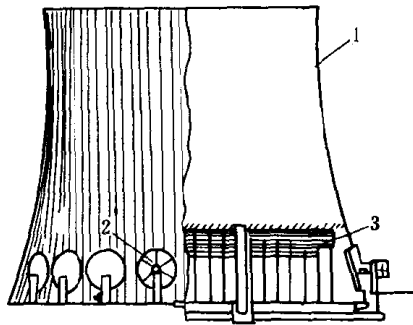


图 1-4 辅助通风风筒式冷却塔

1—钢筋混凝土通风筒；2—风机及电动机；3—淋水填料

冷却塔⁽⁴⁾，见图 1-5，塔筒高 116.4m，底部直径 93.5m，出口直径 53m，填料像横流式冷却塔一样，放在塔筒外边，35 个轴流风机布置在塔筒和填料之间，风机直径 7.9m。填料高 13m，进深 6m。此塔冷效相当于 3 个同尺寸的自然通风冷却塔，而造价较自然通风塔低 15%，但加上 30 年运行费就不便宜了。

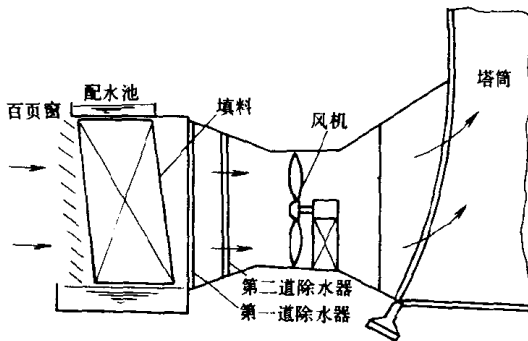


图 1-5 因斯“B”电厂冷却塔

四、机械通风逆流湿式冷却塔

机械通风逆流湿式冷却塔分鼓风式和抽风式两种。鼓风