



LENGUETA

冷却塔

上海化工设计室 李德兴

上海科学技术出版社

冷 却 塔

李德兴 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书叙述了冷却塔发展概况、构造、热力计算和设计方法，并简要介绍了国内外最近冷却塔的试验和研究成果。书后附录了饱和空气的含热值等常用资料和图表。

本书可供从事冷却塔设计和运行管理的工程技术人员使用，并可作为大专院校有关专业的师生阅读参考。

冷 却 塔

李德兴 编著

上海科学技术出版社

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 江苏溧水印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 12.125 插页 1 字数 279,000

1981年5月第1版 1981年5月第1次印刷

印数 1—6,000

书号: 15119·2112 定价: (科四) 4.15元

前 言

随着社会主义建设事业的发展,合理解决供水问题,尽量减少工业废水的排放,防止热污染等是当前基本建设和运行管理中迫切需要解决的重要问题。循环冷却水系统已在各个工业部门,尤其是在冶金、石油、化工、动力、纺织等行业中获得广泛应用。实现循环水的蒸发冷却所用的冷却设备——冷却塔是当今普遍用于处理工业生产过程中所产生大量废热有效的手段。近几年来,冷却塔的设计、选型、制造和计算机理,新型淋水装置以及大型塔用轴流风机等方面的生产和科研工作,进展迅速并取得了显著的成效。

蜂窝、点波、斜交错及水泥格网板等新型填料的问世,为提高冷却塔的热交换效率,节约占地面积等起着极大的作用。

1925年迈克尔首先提出了以焓差为原动力的热力计算基本方程式,至今仍为人们所采用。由于迈克尔在推导过程中所作的近似假设以及冷却塔里气水操作过程的复杂性,其计算精度还要不断完善。许多从事冷却塔研究的工作者还在努力探索新的途径,以求能较全面地来描述塔内热交换的特性,或者修正基本方程。虽说有人对以焓差为推动力这一基本论述提出异议,但仍缺乏充分的论据。书中介绍的热力计算方法仍是以前者为基础的近似解,对一些简化计算,图解法等亦作了一些适当的介绍。

本书初稿写于1973年,出版前曾作了多次修订,充实了一些国内外的新技术和科研成果。由于笔者水平所限,实践

经验不足,错误在所难免,深望读者批评指正。

本书在编写过程中,承华东工业建筑设计院、上海医药工业设计院、轻工设计院,给排水设计手册编写组的大力协助。周光亮、章兆仅同志在修订稿中提出许多宝贵意见及提供资料,并参加第三章、第六章的增订工作,在此谨致谢意。

编 著

1979.12 上海

目 录

前 言

第一章 冷却塔概况	1
第一节 冷却塔的进展	1
第二节 冷却塔的分类	6
第二章 冷却塔的构造	28
第一节 淋水装置	28
第二节 配水系统	47
第三节 通风设备	58
第四节 空气分配装置	72
第五节 通风筒	76
第六节 收水器	79
第七节 集水池	84
第三章 冷却塔热力计算	85
第一节 湿空气的性质	85
第二节 冷却塔热力计算的任务及原始资料	88
第三节 冷却塔热力计算简介	93
第四节 平均压差法	98
第五节 交换数 $N = \int \frac{dt}{t'' - t}$ 的求解	103
第六节 麦克尔方程的修正	111
第七节 二次抛物线倒数积分法	121
第八节 机力通风冷却塔的热力计算实例	124
第九节 横流式冷却塔热力计算简介	137
第十节 冷却塔的经验曲线	145

第四章 配水系统的水力计算	157
第一节 管式配水系统	157
第二节 槽式配水系统	179
第三节 旋转式配水系统	183
第四节 孔板配水系统	196
第五章 冷却塔的实践	200
第一节 冷却塔的设计	200
第二节 塔型的选择	204
第三节 淋水装置的性能	209
第四节 新型淋水装置	227
第五节 湿热空气的再循环及冷却塔的布置	258
第六节 补充水量的计算	263
第七节 冷却塔的运行与维护	267
第六章 冷却塔的通风阻力和风机的选择	274
第一节 流体在管内流动的概念	274
第二节 空气的流动阻力	279
第三节 冷却塔的局部通风阻力	282
第四节 淋水装置阻力降的近似计算	290
第五节 通风设备的选型计算	296
第七章 循环冷却水的水质处理概要	304
第一节 循环冷却水的结垢及其判别	304
第二节 循环水系统除垢的方法	311
第三节 循环冷却水腐蚀的特点	316
第四节 循环冷却水水质处理	323
附录	333

第一章 冷却塔概况

第一节 冷却塔的进展

冷却塔是用空气同水的接触(直接或间接)来冷却水的装置。水与空气直接接触的称为湿式冷却塔,水和空气间接接触的称为干式冷却塔。冷却塔冷却的基本原理有两个方面:一是利用水本身的蒸发潜热来冷却水;二是利用水和空气两者的温度差通过热传导来冷却水。

随着工业循环冷却水发展的需要,早期的一些冷却设施无论是冷却效果和生产能力及冷却设备的紧凑布置等各方面都不能满足工业发展的需要,因此在开放式冷却塔的基础上出现了一种带有通风筒的冷却塔。起初外形采用圆柱形的风筒,以后用一对削去尖头的圆锥体(顶上一只倒置在另一只上)组成冷却塔,一直发展到现在的双曲线式冷却塔。所用材质则由木结构、钢架木护板发展为钢筋混凝土双曲线薄壳结构。

近二十多年来随着机械工业的发展,通风机强制通风的使用提高了冷却效果。淋水装置也由各种木制填料、金属网等发展成现在的窄、宽钢筋水泥板条,钢丝网水泥格网板,纸质蜂窝、塑料点波、斜波等水膜式淋水装置。塔体则向薄壁、轻质耐腐蚀材料发展。为了减少塔的基建投资、减少经常费用及对周围环境的影响,所以国外最近设计并使用了有辅助通风机的双曲线风筒式冷却塔。

在缺水的地方或对水质要求特别高的冷却设备,宜采用

干式冷却塔。这种型式的冷却塔其特点是：冷却水在密闭系统中循环，水与空气不发生直接接触；冷却水温的降低或水蒸汽的凝结是靠水与空气之间的热传导和对流而进行热交换作用的。目前干式冷却塔已在许多国家和地区成功地投入运转。

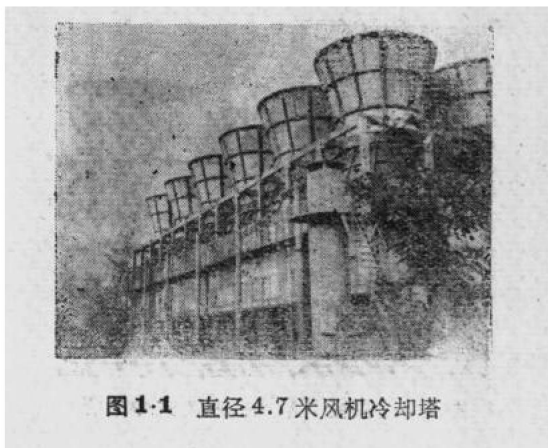
在大型冷却塔内由于大量热空气的排出，形成人造云朵，干扰了周围环境，因此又设计了一种干湿式冷却塔。

喷射器式冷却塔是一个值得注意的发展趋向，即在文丘利式集气室的一端喷水，在喷嘴的中间，大量空气和喷出的水在集气室内有效地混合，进行传热或传质降温，不需要象一般冷却塔那样设置淋水装置。被冷却的水落到集水池内，再由水泵进行循环。由于这种塔没有其他运转部件，因此维护保养方便，经常费用省。

冷却塔热力特性的理论研究开始于本世纪的二十年代，德国人麦克尔于1925年提出的焓差热力特性方程式迄今还广泛用于欧美各国，其后又有一些学者提出压差法及各种经验公式等热力计算方法。麦克尔方程式的解题方法亦不断改进，至1956年美国富尔提出用辛普森积分法求解交换数方程最为简单。

我国自然通风冷却塔用于火力发电厂中已较普遍，但是解放前我国在循环水冷却塔装置技术领域内还是一个空白点，大部分火力发电厂都是从江湖直接取水或采用喷水池。建国初期开始建造了一些风筒式冷却塔（即自然通风冷却塔）以及开放式冷却塔。1952年已有专门研究单位做了许多工作，并已取得一定的成就，如各种淋水装置的热力特性、阻力特性、冬季防冻、大型轴流冷却塔专用风机，玻璃钢风机叶片，塔型的合理结构，以及一系列的塔体热效率研究、水质稳定药剂

的筛选、壳体的局部地震应力计算、装配式塔壁、附着脚手架施工、塔壁防水材料研制等等。随着我国工业的飞跃发展,冷却水的用量越来越大,要求冷却塔构筑物布置紧凑、占地面积小,所以采用机械通风塔就较广泛。随着机械工业的发展,大型塔用风机的问世为冷却塔向大型化发展创造了条件。配用直径4.7米轴流通风机的冷却塔(图1·1)已在各工业部门使用,并从1963年开始有关工厂、设计、科研等单位致力于探求淋水装置的合理形式。提供一批冷效高、阻力小的新型填料,对冷却塔内气流的组织和配水方式亦做了大量的工作。不少单位组成了试验小组,因地制宜地采用了钢丝网水泥板、石棉水泥板、铅丝网水泥格网板等淋水装置,代替了过去木制淋水装置。钢筋混凝土塔体代替了木结构。紧接着又试制成功了纸质蜂窝、塑料点波、斜波等高效淋水装置,并且先后在工业塔中广泛应用。近几年来,我国又建成了一座 2500米^2 (直径为64米,高为75米)纸质蜂窝双曲线逆流风筒式冷却塔(图1·2)经过生产运转,效果较好。在电力部门还设计了一座 3500米^2 ,高为90米,淋水装置为铅丝网水泥格网板的双曲



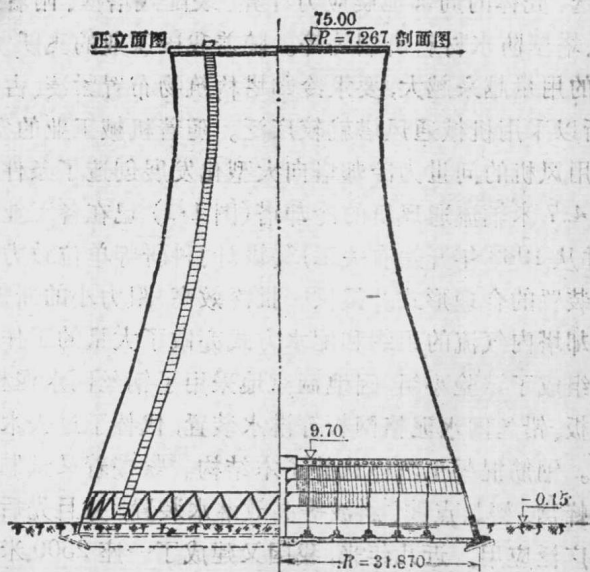


图 1.2 2500 米²纸质蜂窝逆流风筒式冷却塔

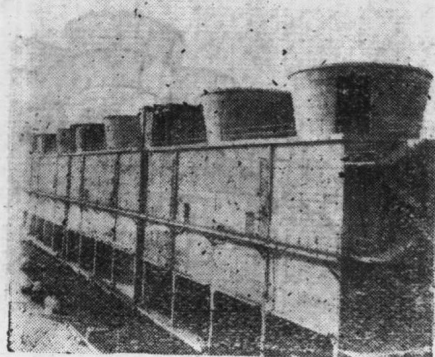


图 1.3 直径 8 米风机逆流式冷却塔

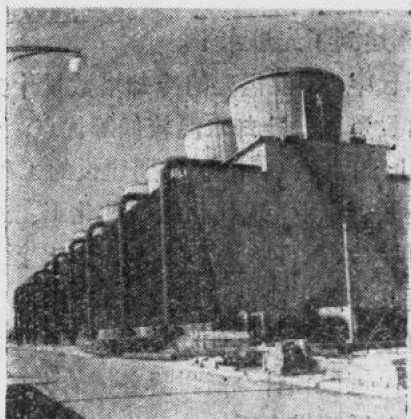
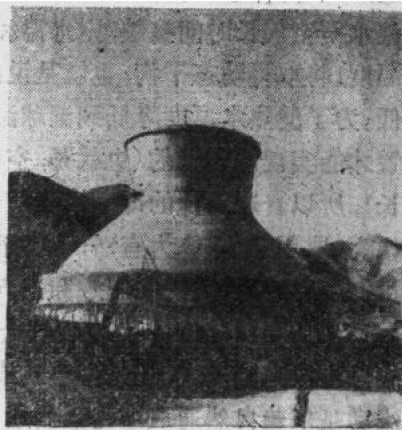


图 1.4 直径 8 米风机横流式冷却塔

线逆流冷却塔。其标准设计将在电力系统推广使用。196~224 米³的逆流式、横流式机械抽风冷却塔，配用 8 米轴流通风机(图 1.3~1.4)的大型塔先后在全国各地建造并投入生产。这些塔将在石油化工、纺织、冶金等部门中大量采用。

1972 年在陕西省华阴县秦岭电厂建造了若干座 5000 米²逆流式机械通风冷却塔，配用了沈阳鼓风机厂生产的直径为 12.5 米轴流通风机，其淋水装置为纸质蜂窝及水泥格网板，现已投入运转。东北某个电厂建成了 1963 米²，直径为 50 米的逆流式机械通风冷却塔，淋水



装置为纸质蜂窝，配用直径为 20 米大型轴流风机(图 1.5)已

图 1.5 直径 20 米风机逆流式冷却塔

投入运转,效率达到了先进水平。

在六十年代中,工业需要的冷却塔数量十分可观。尽管直流供水具有投资省、冷却水温较低等优点,但供水水质较差,河道污染也难以解决。除了早期建设的工矿企业外,大多数用户尤其是联合企业,现代化的石油化工、热电站、电力工业等部门,在供水水源日益紧张的情况下,广泛采用循环供水的方式。最近几年除了少数水源充沛的国家,如日本、法国等一般采用直流供水外,其他如英、美等国家采用循环供水方式日趋增多,可以预计今后世界各国的循环供水量将占有更大的比重。对循环供水系统冷却塔的设计将提出更高的要求。

第二节 冷却塔的分类

蒸发一公斤的水就需要约 570 千卡的热量,所以水的蒸发,可以降低水温。蒸发其 1% 的水量,水温约降低 6°C 。若使水与空气长时接触,则水温和空气的湿球温度(绝热饱和温度)将取得动态平衡,也就是说冷却塔中水温不能再继续降低。为了使热水温度降低到湿球温度,就要用无限高的淋水装置才能实现冷却目的(也就是,空气和水的接触方向长度要很长),所以普通设计的冷却水温均比湿球温度高,其值(即冷却幅高)取用 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 为宜,一般情况下,使水蒸发是容易的,欲提高蒸发效果,关键在于水和空气的接触面积、接触时间和空气同水的相对速度。要实现这个目的,必须根据水同空气的接触形式是滴点式,还是薄膜式或者点滴薄膜混合式;空气的流动是依赖自然通风还是强制通风以及空气同水的流向是逆流还是横流(交流)等方式而定。

冷却塔可分为下述几种:

(一) 开放式冷却塔(敞开式冷却塔)

1. 开放喷水式冷却塔

开放喷水式冷却塔(图1.6)是高架的中空塔,在塔顶安装水喷嘴,并在一定压力之下,将水由喷嘴喷成雾状与空气接触达到冷却的目的,大多数喷嘴是向下的,也有向上喷的,淋水密度为 $1.5\sim 3$ 米³/米²·时。温差一般为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,宜为小型冷却塔中使用。

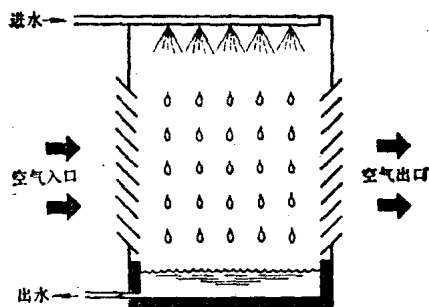


图 1.6 开放喷水式冷却塔

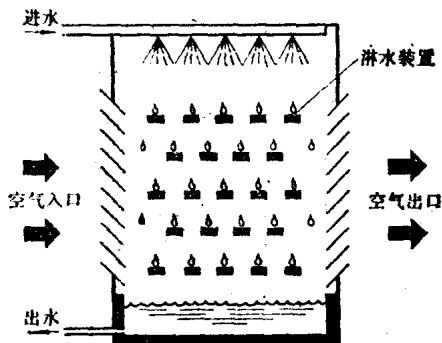


图 1.7 开放点滴式冷却塔

2. 开放点滴式冷却塔

开放点滴式冷却塔(图1.7),塔顶安装配水喷嘴,水从上面喷嘴喷出,空气从水平方向通过淋水装置与垂直降落的水滴接触,进行热交换使水得到冷却。淋水密度通常采用 $2\sim 4\text{米}^3/\text{米}^2\cdot\text{时}$ 。温差视淋水装置高度而异,一般为 $2\sim 3^\circ\text{C}$ 。

开放式冷却塔的特点是结构简单,并且许多构件可预制,无风机的动力消耗且噪音小,冷却效果受到自然风力及风向的影响,淋水密度小,塔较高,占地面积大,冬季在附近容易形成雾气,水的吹失比其它形式的冷却塔大,且有冰冻的危险,

一般在小型空调系统及对水温差要求不严的机械厂中允许使用。

(二) 风筒式冷却塔 (塔式冷却塔)

塔的高度一般为 $15\sim 150$ 米,如同烟囱一样,在塔壳体内空气的流动全靠塔内外空气的比重差所造成的通风抽力来完成。

目前大型塔采用双曲线薄

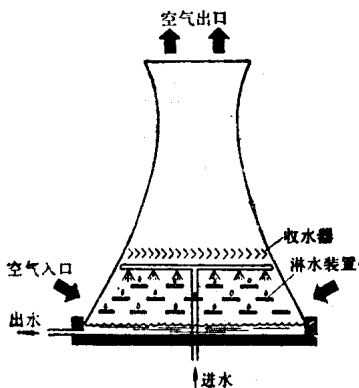


图1.8 双曲线风筒式逆流冷却塔

壳风筒,这种形式不但有优越的结构强度,而且壳体厚度在腰部可以降低到150毫米左右,这样能密切配合塔壳内空气自然流动状态。塔的下部装有配水系统及淋水装置,使水和空气直接接触进行蒸发冷却,从水流与气流方向可分为逆流式(对流式)(图1.8)和横流式(交流式)(图1.9)。逆流式的淋水装置安装在柱头的上部风筒壳体以内,横流式淋水装置是安装在壳体外缘沿着塔底形成环形。淋水装置可以是点

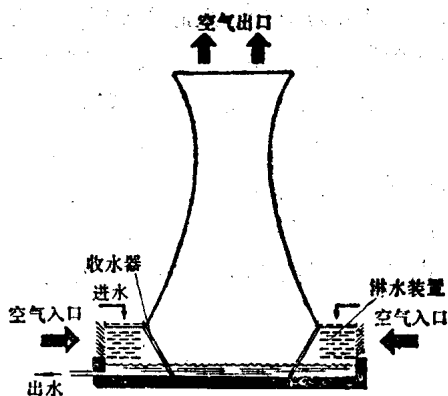


图 1.9 双曲线风筒式横流式冷却塔

滴式或薄膜式，也有中空不设淋水装置的称为喷水式。

风筒式冷却塔的特点是冷却效果较为稳定，但如塔内外空气比重愈小，则通风抽力愈小，对水的冷却不利，因而在高温、高湿和低气压地区及水温差较小时不宜采用。一般在水温差大于 $6\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，冷却幅高大于 $7\sim 10^{\circ}\text{C}$ 及空气湿球温度小于 25°C 的条件之下采用较为有利。在冬季热负载较繁重的情况下（一般动力工业冬季负载大于夏天），国内外特别是电力系统有采用风筒式冷却塔的趋向。以前风筒式冷却塔采用逆流式较普遍，近年来国外也有采用横流风筒式冷却塔的趋势。

风筒式冷却塔的淋水密度一般为 $3\sim 7$ 米³/米²·时，由于这种型式的冷却塔系依靠风筒来造成通风抽力，所以经常费用省，且因风筒高，在运行时水雾漂移对周围环境的影响小，因此风筒式冷却塔在大水量的冷却系统中常被采用。

早在一个世纪前，荷兰最早建立了第一座木质结构的自然通风冷却塔，此后风筒式冷却塔有了较快的发展。美国的第一座双曲线塔于 1960 年初期建于罗萨 (LOUISA) 市的电力

厂。欧洲采用自然通风冷却塔业已多年，由木结构发展到较为先进的加固混凝土的建筑，从原始的圆柱形发展到现在的双曲线形，变化巨大。由于双曲线式不但具有优越的强度，而且亦能密切地配合在塔壳内空气自然流动的形态，更重要的是它所需的材料比先前节省，因为其总容积较小，且壳体的厚度在腰部可以降低到150~180毫米。

双曲线式自然塔在下列情况下将会胜过机械通风塔而获得选用：

(1) 运行条件在外界湿球温度较低和相对较高的湿度情况下。

(2) 进水水温较高而对出水水温要求不严，即“冷却幅高”较大，而“冷却范围”很大的条件下。

(3) 投资的折旧费用可容许以较长的偿还期。

(4) 冬季热负载较夏季繁重。

(5) 可避免任何水汽降落到附近地面上而造成薄冰及污染大气。

1971年法国为美国建造两座130万千瓦机组服务的自然塔，每座冷却水量为136250米³/时，塔高为150米，底部直径为120.4米，冷却温差 Δt 为11.1°C。

法国哈蒙公司建造的自然通风冷却塔遍及国内外，分布在100多个工厂企业单位。

哈蒙公司自1966年起有14座自然通风冷却塔已在运转中，塔型以逆流式为多，并以石棉水泥作为填料的原材料，有的采用半圆形的石棉水泥板，其强度好、耐久、有的采用半圆形空心的塑料板作为填料，普遍认为建造双曲线自然塔运行费用低，故障亦较少，易于维护。

大型自然塔的壳体建筑是个专门的技术问题，它必须具