

凉水塔

〔美〕

N. P. 彻雷密西诺夫

P. N. 彻雷密西诺夫

著



石油工业出版社

凉水塔

〔美〕 N. P. 彻雷密西诺夫 著
P. N. 彻雷密西诺夫

黄定生 译

石油工业出版社

COOLING TOWERS

Selection, Design and Practice by

Nicholas P. Cheremisinoff

Paul N. Cheremisinoff

Ann Arbor Science Publishers, Inc. 1981

凉水塔

〔美〕 N. P. 彻雷密西诺夫 著
P. N. 彻雷密西诺夫

黄定生 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 13³/₈印张 294千字 印1—8,000

1984年12月北京第1版 1984年12月北京第1次印刷

书号: 15037·2514 定价: 1.40元

前 言

作为比较经济而效率又高的可行办法，一次通过式冷却在历史上曾经是工业生产和电厂用来冷却工艺用水的盛行方法。不过，就环境保护而论，由于热污染已成为重大问题，因此无限用水来达到冷却目的遂变成社会政治争论中一大焦点，致使座落在美国不少地区的工厂受到约束。就水资源而论，例如，一座利用一次通过式冷却法的1,000兆瓦电厂，水耗用量每分钟就需要300,000~700,000加仑。靠近水源，可能这样用水的建厂地址已明显缩小。因此，试图使有限供水获得最有效利用的密闭循环式冷却法，就成为冷却设计中的第一方案。

凉水塔技术直至最近发展缓慢。新的开发立足于使热效率提高并使原有设计维修减少，以大大节约投资。当我们运用可靠的工程原理使原有设计或新装置升级时，凉水塔就能获取较冷一些的工艺用水，而且输入的能量可以节约，同时还可以减少污染。为此，兼工艺设计工程师就必须全面理解操作原理，并懂得当前可资利用的、最高水平技术的局限性。相当重要的是需要对将来技术变革的方向具有一定的洞察力。

本书将论述蒸发式凉水塔技术的最新研究成果。提出近代凉水塔技术的实际设计方法与应用。通过所阐明的详细计算程序，并借助于汇编在本书末尾的近400篇参考文献，为设计奠定了基础。通过已编纂过半的文献的详细摘要。读者可以根据本人所触及的特定课题，获得最有用的数据资料。

N.P. 彻雷密西诺夫

P.N. 彻雷密西诺夫

内 容 提 要

本书全面而系统地介绍蒸发式凉水塔的基本原理和设计程序以及操作方法。撰文形式兼具教材和手册特点,讲述由浅入深,伴随举例配有习题,附录部分编有常用基本数据。书末搜集了最近20年间凉水塔领域研究方面398篇重要文献资料,并过半作了文摘,为凉水塔科研课题指出方向,并为凉水塔实际设计提供难得的参考。

本书可供从事凉水塔设计和操作的人员以及高等和中等学校化工系和电力系有关专业师生参考。

内 容 提 要

目 录

第一章 总论	1
概述	1
发展史	2
操作原理	3
凉水塔术语	5
设计概论	9
第二章 空气-水系统物理性质及定义	13
概述	13
蒸汽压	13
饱和状态	16
热力学定义	19
湿球温度	27
湿度图	29
符号说明	31
习题	33
第三章 传热和传质原理	36
概述	36
能量衡算一般方程式	36
能量衡算和物料衡算原理	40
直接接触传递原理	43
传热和传质类似律	44
传质理论	47
传递单元	52

刘易士 (Lewis) 准数关系	53
符号说明	54
习题	56
第四章 凉水塔分类	60
概述	60
凉水塔再分类及造型	60
填料安排方式	69
配水系统	72
机械通风凉水塔	72
在承建厂中组装好的塔	75
有辅助风扇的双曲面型凉水塔	76
新塔设计	79
干式凉水塔	80
湿-干塔系统	84
第五章 理论设计原理	87
概述	87
气-液接触	87
湿度图的应用	91
能量衡算应用	96
平衡曲线绘制法	101
凉水塔操作规范参考	103
设计概论及填料系数	109
水膜阻力校核	113
积分法求塔尺寸	114
符号说明	119
习题	121
第六章 操作和设计实践	125
概述	125
塔系数	125

塔操作性能特性	127
工艺操作条件	130
凉水塔选择因素	134
经验法确定塔尺寸	137
露天装置有关问题	138
冬季操作 ₁	142
有雾生成时出现的问题	144
排污	146
水损失量及再循环速率	150
气冷操作	151
凉水塔防火安全措施	153
凉水塔卷流	155
凉水塔说明书参考	158
符号说明	160
习题	162
第七章 凉水塔机械部件	165
概述	165
循环泵	165
风扇	167
变速器	169
主动轴	170
测量仪表、阀门及流程	170
凉水塔征求书举例	171
凉水塔试验	183
投标评价	183
凉水塔经济性	185
第八章 凉水塔水处理	189
概述	189
存在的水污染问题	189
冷却水系统预处理	192

腐蚀探测法	195
冷却水抑制剂评价方法	195
兰格里尔-赖茨纳尔 (Langelier-Ryznar) 方程式, 饱和指数及稳定指数	196
有机物的生长	197
军团 (Legionnaires) 病	198
水分析及处理	199
塑料凉水塔	204
第九章 冬季操作管理	217
概述	217
防冻系统总体设计	217
填料旁路和防冻环部件构造	219
控制结冰的其他方法: 填料划区制	221
整体系统操作管理	222
结论	223
附录A 水蒸气表	224
附录B 换算系数	233
附录C 各章选题题解	259
附录D 凉水塔参考文献及摘要一览表	272

第一章 总 论

概述

在最近二十年的生态学复兴过程中，热污染当前正引起严重关注。从环境保护观点来看，用水冷却化工设备、发电透平机或冷冻和空调设备，随后再把热水直接回归水源是不能容许的。热工艺用水要冷却再排放，或者冷却后再循环。买大量水然后又排入污水系统，这点美国许多地区已感到不上算，再说，即便有利可图，从环境保护角度也不可行。

过去水资源丰富，有可能根据一次通过式来用冷水。由于地理上的条件、那时是用巨大池塘，湖泊或沟渠来容纳、冷却并再循环或排放工艺用水。为有利冷却并减少占地面积起见，往往用喷雾系统给池水充气。

但根据当代经济体制，保存能量总是和重视生态学一致的。因此，使冷却水获得最有效利用是工程领域应注意研究的。举例来说，经采用冷一些的水后，一座化学厂就可以冷凝更多冷凝液作为商品；冷冻机空调机耗电就可减少；电厂发电供不应求现象就能显著减缓。

凉水塔技术直至最近，进展缓慢。新发明中绝大部分是着眼于改进原有凉水塔以节约巨大投资。如能用可靠的近代工程原理来提高原有设计或室外装置，凉水塔就能制取出较冷的水并节约所输入能量，并且还能解决可能的污染。

为此，设计兼工艺工程师就要深刻理解操作原理以及目

前实际存在可资利用的最高水平技术的局限性。能洞察最近的将来技术变革的趋势也同样重要。本书试图作为现代凉水塔工艺设计及应用的一部最新成果。

发展史

蒸发式冷却技术可追溯到古代，那时河流，海洋，湖泊和池塘等等都是作为供水手段被利用。由于过去年代工业活动有限，加之水源丰富，冷水被用一回就排放掉那是无可非议的。在厂址选择中，当考虑地理配置时，总是要利用巨大池塘或沟渠来贮存、冷却、再循环或排放工艺用水。这样办法就需要占地面积很大。为了少占有效地面，在贮水池中装设喷雾系统使池水充气，同时依靠水在大气中被喷成雾状而产生更大表面面积，以加快冷却。早期发明的这一喷雾法，就不再依赖池水顶层表面的蒸发及显热交换。

凉水塔技术另项合逻辑的发明，是当时曾发现采取在箱内朝下而不是朝上地喷雾方式，就能降低温度。这一观察以后不久，就淘汰掉依靠盛行风使喷水池和常压雾化塔空气发生运动，在设计中引入根据空气动力学为原理的风扇或气动推进器。

随着对水冷却方面机械力学及流体动力学的更完臻理解，在设计中添加填料材料以减慢水滴重力沉降速度，并提供空气-水两相更大的接触界面面积，解决较难冷却问题。在现代，每项上述这种技术都这样那样地获得利用。

凉水塔技术已经极为普遍，因为主要采用的仍是大气冷却法。不过，这些现代设计比起早期原型确有天壤之别。无风扇或气动推进器的双曲面凉水塔正在建造之中。这种建筑其塔底直径约980~1700米，高980~1700米。建筑物这样庞大，因而实际工程设计就必须细腻可靠。

目前,世界凉水塔市场中,美国占50%。在美国市场中,石油化工约占25%;日用消费品15%;发电占60%〔1〕。这些凉水塔中,机械通风式比自然通风式多两倍以上。前者类型广用于全国范围,后者则集中在北美东海岸阿帕拉执安(Appalachian)山区。但根据发展中的技术看来,这一平衡总会要改变。

操作原理

凉水塔操作是以蒸发冷凝和显热交换为基础。温度不同的两股流体(在凉水塔情形下为空气和水)混合时便放出蒸发潜热,引起较热流体(水)发生冷却。这种冷却效应是借一部分液体变成汽态因而放出蒸发潜热来实现。

上述效应可简单用弄湿手背再吹一吹来说明。空气流带走蒸发潜热,使表皮水温下降。由于水变成汽态,便消耗热量,这部分热量是由表皮余剩的水来供给,净结果便是冷却效应之一。

凉水塔操作中,显热亦起作用。当温水接触较冷空气时,空气把水冷却,故空气温度上升,因空气从水中获得显热。在塔内所传递热量中,显热约占25%,它和蒸发时放出汽化潜热达到的冷却现象是保持平衡的。简单地说,凉水塔也就是把热量从一物质传递给另一物质的装置。犹如在下一章就要看到的,凉水塔纯粹是一种气团换热器。

一种更贴合技术原理的描述是这样:凉水塔是化工过程热量排放的解决方法,或对压缩设备产生热恶化的改正〔2〕。不管是否广用这一定义,但凉水塔确把热量由A处搬至B处,最终排入大气。因此大气成为废热能最终处置场所,故称大气为“热沉”是适宜的。

操作过程中,水总会有些损失。水蒸气通过凉水塔后被

排入大气。当操作正常时，水损失量将占循环水总体积大概为：在每磅水分蒸发量 1000 英热单位范围内，对于每 10° 冷却范围，占0.2%；对于每 12° 冷却范围，占1%。举例来说，一凉水塔每分钟流量10,000加仑，冷却范围 20° （即：进水温度 100°F ，出水温度 80°F ），水分蒸发损失量平均将为每分钟167加仑。蒸发损失原因有多种，主要是正在排污时发生溅散还有漂浮。排污，溅散和漂浮这三概念稍后将详细进行讨论。

当被加热空气温度低于 140°F 时，一般地说，凉水塔数得上是经济的大气吸热系统。冷却范围是和周围湿球温度有关。它是自然条件的函数，和塔设计无关。

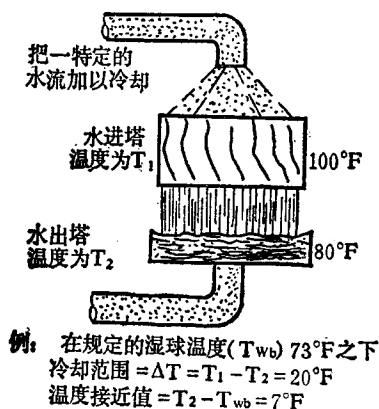


图 1-1 凉水塔操作过程

1-1是凉水塔操作示范。

如上所述，这个传热过程涉及蒸发和对流两种原理。靠蒸发兼对流而进行的传热速率将随空气-水界面面积、相对流速、接触时间以及冷却范围增加而增加。塔填料是用来

正常操作时，连续不断再循环着的水从冷冻压缩机或工艺换热器吸夺余热，热水被用泵输送至塔，尔后越过凉水塔落下。蒸发作用除掉水中热量并传给空气。热的湿空气则由风扇气管排走，被冷却了的凉水回归压缩机或换热器再次吸热。图

扩充界面表面面积的，塔排气管或风扇将产生空气对水相对运动，接触时间是和塔尺寸有关。这三因素将决定于塔的设计。

一座凉水塔发挥功效的能力是用它使凉水温度接近于周围空气湿球温度的差距来衡量。湿球温度愈低（这情况说明空气被冷却，湿度下降，或者空气既被冷却同时湿度又下降），水出塔时就愈凉。水出塔温度总不可能低于空气入塔温度。实际水最终出塔温度总要比湿球温度高若干度。

凉水塔术语

凉水塔领域内，有定义相当严格的一套术语。对于新探索这一课题的人，在讨论前，先领略这些定义是很有必要的。随后各章中就要用下述定义来建立具体的设计标准。

验收测试——这是确定塔水冷容量的试验程序。所用仪表及测量手续必须是凉水塔协会（CTI）“验收测试程序”中所推荐的。

空气入口——凉水塔建筑体的组成部分，空气就从这里被导入该系统。

周围空气干球温度——干球温度计指示的室外温度，用华氏度表示。

周围空气湿球温度^①——实际所谓湿球温度，也即温度计球体部分用灯蕊保持湿润，而空气越过该球表面进行循环，当达到稳定时的温度。用华氏度表示。对于空气-水系统这个特例，湿球温度凑巧地近似等于绝热饱和温度，即在绝热条件下，空气冷却同时被水的蒸汽所饱和。

温度接近值——凉水出塔温度和周围空气湿球温度之

① 原文叙述不清楚，翻译时略有改动。

差。

平衡阀——手动或机动阀，安装在多冷却塔中每根升气管上，以控制水流量。

水槽——塔底水域内用来收集凉水，对于错流塔，热水分布水槽是位于塔顶，某些情况下，塔底水槽和塔顶水槽之间还有另一水槽。

排污（清洗）——连续地或间歇地放掉少量循环水。旨在防止因蒸发引起水流中固体浓度增加，通常用循环水的百分率表示。

容量——在任意给定时刻循环水的平均量，用每分钟加仑数表示。

外壳——凉水塔中使立向封闭的侧壁或界限壁，百叶式空气入口部分除外。

格——由配水系统，机械设备和隔墙所组成的单元。一座单塔可设有互不相干的若干格。各单独格可以停工，也可以是几个格各承担部分容量操作。

网膜——石棉填料，把水滴变成箔的分子滤片，以利更有效冷却。其静压力损失比用溅棒式填料时低，因而许用较高气速。

浓度系数——补给用水固体浓度与循环水固体浓度之比。

冷却系数——每单位时间循环水磅数对每单位时间干空气使水冷却下来的磅数之比。

凉水塔协会——凉水塔工程师，制造厂商以及用户的国际组织，致力于革新专业技术现状。

逆流——空气和热水在系统内相遇成 180° 角度。空气从塔底附近进入，并贯穿填料和淋降水向上运动。

冷却范围 ΔT ——入塔水温和出塔水温之差。

错流——空气和热水在系统内相遇成 90° 角度。空气由侧壁各处入塔，并水平运动贯穿填料和淋降水。

设计条件——购凉水塔时提要求的热参数。包括已知的人塔热水温度、给定流量gpm、给定冷却范围、出塔水温和温度接近值。

再分布用的扩散层面——错流式塔中热水分布槽底下一种装置，用来把从喷嘴射出的水分散开再进入填料段。

配水系统——使热水均匀越过填料表面的机械方法。逆流塔中通常是用通过管道喷嘴的低压喷雾法；错流式塔中一般是用重力沉降法。

漂浮物——废空气夹带水滴从凉水塔逸出。表示成循环水的百分数。

漂浮物清除器——使挟带有水滴的排出热空气几经周折的设施。水滴碰撞着这种清除器的表面便坠落返回塔内。

焓——总热焓量。空气和水蒸气显热再加上水蒸气汽化潜热之总和。

填料——专门设计的破碎装置，以保证有很大表面积供传热用。用两类材质：木制溅棒；过渡金属或塑料膜组件（网格填料）。溅型填料能把水冷却是由于水滴跳跃落在空气中一系列溅棒上。膜式填料把水滴变成箔膜。

雾——遇周围空气再也吸收不了卷流中全部水分时形成的一种阴霾现象。雾的强度是和空气通过凉水塔时温度升高、周围空气温度和湿度有关。雾和卷流通常是容许的，因为在排放区水滴还不至成雨。不过，雾会引起附近道路结冰，并妨碍视野。

强制通风——用离心式风机逼迫塔底引入的空气升至塔

顶。

热负荷——由凉水塔带走的热量，用英热单位表示。它等于每单位时间循环水重量乘以冷却范围。

诱导通风——安在塔顶的气动机，即普通风扇吸引空气上升穿过填料再离开排气管。

蒸发潜热——在温度或压力不变的情况下液体变成蒸汽所需要的热量。

百叶窗——折流装置，用以使均匀、平行入塔的空气改变流向，并用以防止水滴经过塔降落时飞溅出塔。

补给用水——系指为抵消蒸发，液滴漂浮，排污以及泄漏引起的循环水损失而需要的那部分水。用循环水百分数表示。通常由浮阀自动控制。

净有效体积——占总塔建筑体积的一部分，循环水可以在其中和从塔流过的空气保持密切接触，用立方英尺表示。

操作特性——对凉水塔把水加以冷却的能力大小的量度。通常是用在所指定湿球温度下把水由一定热水温度冷却到一定凉水温度的冷却量(加仑/分)表示。

特性曲线——水温、温度接近值、湿球温度、冷却范围、静压力以及风速间关系的图解表示法。

加压通风系统——压力高于大气压的密封室。

卷流——由于热湿空气混以塔外较冷空气，使其中水蒸气冷凝所产生的肉眼可见的现象。

湿度计——量度湿球温度用的测量仪表。

水泵压头——把水升举到配水系统标高并克服管路，阀门，管件以及喷嘴等摩擦损失所需要的能量。用若干英尺泵送液柱表示，并等于总摩擦损失、静压头以及经过配水系统的压降。