

工业循环 冷却水处理

● 唐受印 戴友芝 等编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

工业循环冷却水处理

唐受印 戴友芝 等编著

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业循环冷却水处理/唐受印等编著. —北京: 化学工业出版社, 2003.5
ISBN 7-5025-4443-7

I. 工… II. 唐… III. 工业用水: 循环水-水处理
IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030815 号

工业循环冷却水处理

唐受印 戴友芝 等编著

责任编辑: 夏叶清 陈丽

责任校对: 陈静

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 384 千字

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4443-7/X·286

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

节约用水，废水回用是可持续发展战略的要求。工业冷却水占工业用水的 80% 以上，对冷却水实行循环利用，具有显著的环境效益、经济效益和社会效益。因而许多国家都规定，采用地下水、自来水作间接冷却水时，必须循环利用。然而，冷却水在循环使用过程中会出现结垢、腐蚀和微生物滋生等危害，需要进行妥善的处理。循环冷却水处理技术就是为解决这些危害问题而发展起来的，而且还在快速发展中。

我们涉足循环冷却水处理领域时间不长，曾参加过国家“九五”重点攻关课题“水处理剂的研究开发”的工作。在化学工业出版社的帮助下，我们编成了此书，主要介绍工业循环冷却水处理的基本方法，尤以敞开式系统为主。

参加本书编写的有唐受印、戴友芝、荆国华（第一、二章）、石璐（第三章）和陈颖（第四章），由唐受印统稿。

由于我们学术水平和实践经验有限，时间仓促，书中错误和疏漏之处，敬请专家和读者批评指正。

编 者

2003 年 3 月

内 容 提 要

全书共分6章，第一章循环冷却水系统及循环水的冷却，第二章循环冷却水系统的结垢及其控制，第三章循环冷却水系统的腐蚀及其控制，第四章循环冷却水系统微生物的危害及其控制，第五章循环冷却水系统的清洗和预膜，第六章循环冷却水系统的运行管理。

本书内容系统实用，可供化工、石油化工、炼油、电力、冶金、纺织等使用循环冷却水的部门从事冷却水处理的工程技术人员和管理人员参考。

目 录

第一章 循环冷却水系统及循环水的冷却	1
第一节 概述	1
第二节 冷却水系统及其构筑物	2
一、冷却水系统	2
二、冷却构筑物	4
三、冷却塔的工艺构造	8
第三节 循环水的冷却机理	18
一、湿空气的性质	18
二、水的冷却机理	21
第四节 冷却塔的设计计算	24
一、冷却塔热力计算	24
二、冷却塔空气动力计算	30
三、冷却塔的设计和选型	32
第五节 敞开式循环冷却水系统的水质处理	37
一、循环过程中水质变化特点	37
二、敞开式循环冷却水系统对水质的要求	41
三、循环冷却水水质处理	42
第二章 循环冷却水系统的结垢及其控制	44
第一节 水垢的种类、来源和危害	44
第二节 水垢的结垢趋势判断	46
一、碳酸盐水垢	46
二、磷酸盐水垢	55
三、硅酸盐水垢	58
四、硫酸盐水垢	60
五、镁垢	62
第三节 水垢的控制技术	62
一、水中溶解物质的结垢过程	62

二、影响水垢产生的因素	64
三、冷却水系统防垢原理和方法	68
第四节 阻垢分散剂及其在水处理中的应用	82
一、阻垢分散剂的种类和性质	83
二、阻垢分散机理	105
三、阻垢剂的选择、配方与性能评定	109
四、阻垢分散剂在水处理中的应用实例	117
第五节 无污染水垢控制技术	119
一、磁化处理	119
二、电场处理	130
三、超声波处理	142
第三章 循环冷却水系统的腐蚀及其控制	154
第一节 冷却水中金属腐蚀的机理	154
一、液滴试验	154
二、冷却水中金属腐蚀的机理	155
三、电池的极化作用	162
四、金属腐蚀速度表示方法及控制指标	164
第二节 冷却水系统金属腐蚀的形态	166
一、金属腐蚀的分类	166
二、全面腐蚀与局部腐蚀	166
三、冷却水中常见的金属腐蚀类型	168
第三节 冷却水系统金属腐蚀的影响因素	178
一、水质的影响	178
二、运行条件的影响	187
三、其他影响因素或存在的腐蚀隐患	190
第四节 冷却水系统金属腐蚀的控制	192
一、正确选用金属材料, 合理设计金属结构	193
二、采用新型耐蚀换热器	193
三、添加缓蚀剂	194
四、提高冷却水运行的 pH 值	196
五、电化学保护	201
六、防腐涂料覆盖法	206
第五节 冷却水缓蚀剂及其研制	214

一、缓蚀剂的分类	214
二、缓蚀剂的作用机理	218
三、常用的冷却水缓蚀剂	222
四、冷却水复合缓蚀剂	255
五、冷却水缓蚀剂的选择依据	260
第四章 循环冷却水中微生物的危害及其控制	264
第一节 冷却水系统的微生物相	264
一、细菌	266
二、真菌	271
三、藻类	271
第二节 冷却水系统金属的微生物腐蚀	273
一、概述	273
二、微生物腐蚀机理	274
三、几种材料的微生物腐蚀	284
第三节 冷却水系统的微生物黏泥	291
一、黏泥的产生	291
二、微生物黏泥的化学组成和特征	294
三、黏泥的污垢热阻	295
四、黏泥的危害	296
第四节 冷却水系统微生物的控制	298
一、控制指标	298
二、控制方法	299
第五节 冷却水杀菌剂及其应用	310
一、概述	310
二、氧化型杀菌剂	316
三、非氧化型杀菌剂	325
第五章 循环冷却水系统的清洗和预膜	341
第一节 物理清洗	341
一、人工清洗	342
二、吹气	342
三、水冲洗	342
四、清管器清洗	342
五、湿式喷砂清洗	343

六、刮管器清洗	344
七、胶球清洗	345
八、其他清洗方法	345
第二节 化学清洗	347
一、清洗剂	348
二、影响清洗效果的各种因素	358
三、化学清洗工艺	360
四、化学清洗的计划和施工	364
五、清洗废液的处理	369
第三节 预膜	374
一、预膜方案的分类	375
二、预膜的时机	375
三、预膜方案一例	376
第六章 循环冷却水系统的运行管理	378
第一节 水质管理	378
一、浓缩倍数控制	378
二、pH值的调控	381
第二节 加药管理	387
一、加药方式	388
二、加药位置	389
三、药剂的分析与检验	389
四、加药量的估算	390
第三节 循环冷却水水质监测	391
第四节 循环冷却水系统监测	394
一、概述	394
二、试片(管)法	397
三、线性极化法	401
四、监测换热器法	403
五、污垢监测仪法	408
六、压力降法	413
第五节 定期检修时的调查方法	414
一、肉眼观察	414
二、无损检查	415

三、抽芯调查	415
四、其他的调查方法	416
第六节 换热器的清洗、损坏与更换	416
一、换热器的清洗	416
二、换热器的损坏	417
三、换热器的更换	420
第七节 冷却水系统的处理实例	421
一、循环冷却水处理方案的制订	421
二、适用于高硬度冷却水系统的实例	421
三、适用于低硬度冷却水系统的实例	424
四、适用于高盐类冷却水系统的实例	426
五、采用非磷酸盐缓蚀剂的处理实例	427
第八节 冷却水系统运行成本节约	428
一、运行成本分析	428
二、节约动力费运行时存在的问题及控制	431
三、节约供水排水费用运行时存在的问题及控制	433
四、使用水稳剂节约运行成本	433
参考文献	436

第一章 循环冷却水系统及循环水的冷却

第一节 概 述

工业生产过程中往往会产生大量热量，使生产设备或产品的温度升高，必须及时进行冷却，否则影响生产的正常运行、产品的质量和产量。水具有热容量大、传热效果好、化学稳定性好、常温下呈液态、便于管道输送、使用方便，且具有价格较低、来源广泛等特点，工业生产中常采用水作为冷却介质，作为冷却介质的水称为冷却水。工业冷却水在各国工业用水总量中都占最大份额。在我国，冷却水量约占工业总用水量的 50%~80%。如一个年产 30 万吨的合成氨厂，冷却水量达 23500t/h，一个 10 万千瓦的火力发电厂，冷却水量达 9000t/h，一个年产 3500 吨聚丙烯的化工厂，冷却水量达 3000t/h 左右。由于冷却水主要是温度升高，水质变化不大，若采取适当措施降温处理后回用，形成循环回用系统，将是节约工业用水的重要途径。例如一套用水量约为 20000t/h 左右的冷却装置，采用循环水系统，每小时补充四五百吨新鲜水就够了，节水的效益非常显著。

我国淡水资源并不丰富，且时空分布甚不均衡，北方缺水少雨，更显水资源紧张。南方尽管多数地区水量丰沛，但由于不注意排放水的处理，江河湖泊均遭受不同程度的污染，影响用水的质量和水生生态系统。在很多地方并不是没有水，而是水质不合用。为了保护有限的水资源和生态环境不被破坏，国家要求对各类用水实行节约回用，对各类排水的温度、pH 值及其他污染物都作了明确的规定。为使排水各项指标均达到排放标准，在其排放前必须进行适当处理。只有减少排放水的流量才能有利于水的处理，从而降低排水处理的费用。

而且，使用循环水系统还可有效的防止冷却水直流排放可能造成的水体热污染。

要使工业冷却水形成正常的循环系统，需要采取两项关键的处理措施：一是使升温的冷却水降低到可回用的温度，以保持较好的冷却效果，此过程称为循环水的冷却；二是使循环水质保持稳定，防止换热设备与管路结垢和腐蚀。虽然冷却水在每次使用后的物理性状变化很小，但长期循环使用后，会因水中某些溶解物浓缩或散失，尘土积累，微生物滋生等原因，造成设备内垢物沉积或金属设备表面腐蚀。为防止循环冷却水回用系统中垢物沉积或设备腐蚀而对冷却水进行处理的过程称为循环水处理。

第二节 冷却水系统及其构筑物

一、冷却水系统

不同工业生产中，产热的过程各异，被冷却的对象差别也较大。主要的冷却对象有冷凝器、热交换器、油（气或液体）冷却器、发电机组与压缩机组、高炉、炼钢与轧钢机、化学反应器等。冷却水进入这些设备，与热壁接触而被加热。这种用水来冷却工艺介质的系统称为冷却水系统。冷却水系统通常有两种：直流冷却水系统和循环冷却水系统。

（一）直流冷却水系统

图 1-1 为直流冷却水系统的示意图。在直流冷却水系统中，冷却水仅通过换热设备利用一次后就被排放掉了，所以直流水又称为一次利用水。直流冷却水系统通常用水量很大，水经换热设备后的温升很小，而排出水的温度也较低，水中各种矿物质和离子含量基本上保持不变。这种冷却水系统投资少、操作简便，对水质要求不高，但取水量大，运行费用高，不符合节水节能的要求。现在即使在水资源丰富的地区也不提倡采用直流水冷却系统。许多工厂原有的直流式冷却水系统，也逐步改建成为循环式冷却水系统。

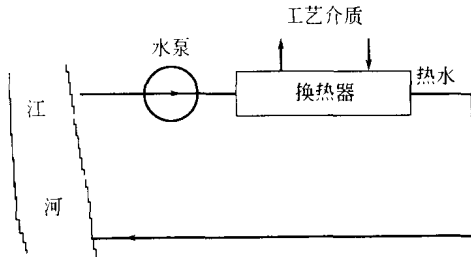


图 1-1 直流冷却水系统

(二) 循环冷却水系统

在循环水系统中，冷却水被反复多次使用。水经换热设备后温度升高，由冷却塔或其他冷却设备将水温降低下来，再由泵将水送至冷却系统中重复使用，这样大大提高了水的重复利用率，节约了大量工业用水。循环冷却水系统又分封闭式和敞开式两种。

1. 封闭式循环冷却水系统

图 1-2 为封闭式循环冷却水系统的示意图。水在这种密闭系统中循环进行热交换，冷却水升温后不与大气直接接触，而在另一台换热设备中经其他冷却介质换热降温后再回用，以冷却高温热介质。这种封闭式系统须使用含盐量很低的软水或纯水，冷却水循环过程中，不直接暴露于空气中，水量损失少，水中各种矿物质和离子含量一般也不发生变化，溶解氧和杂质含量极少，又不与阳光接触，不利于菌、藻等微生物生长繁殖，系统中的结垢和腐蚀较少发生，排污量也很小。因此，这种系统的水质处理方法比较简单，维护较容易。而且补充水量极少，有利于水资源的节约。但是该系统中的冷却水不存在蒸发冷却过程，只靠传导散热，冷却效率很低，循环系统的基建造价和能耗高，一般只用于发电机、内燃机或有特殊要求的单台换热设备。

2. 敞开式循环冷却水系统

图 1-3 为敞开式循环冷却水系统示意图。在敞开式循环冷却水系统中，冷却水也是循环使用，但水的再冷却是通过冷却塔（池）来进行的，冷却水在循环过程中要与空气接触，部分水在通过冷却

塔（池）时会被蒸发损失掉，因而水中各种矿物质和离子含量也会不断浓缩增大。当系统水中离子含量增大到一定值后，需排出部分污水，补充一定量的新鲜水。

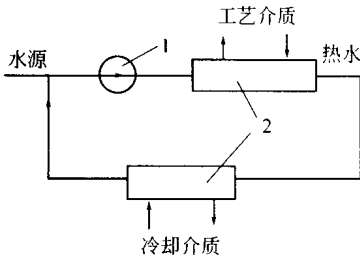


图 1-2 封闭式循环冷却水系统

1—水泵；2—换热器

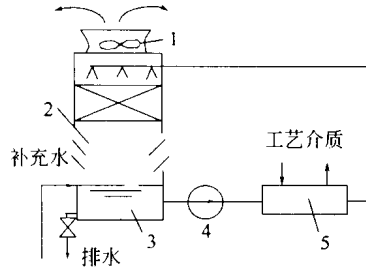


图 1-3 敞开式循环冷却水系统

1—风机；2—冷却塔；3—水池；

4—水泵；5—换热器

这种系统与直流冷却水系统相比，补充的新鲜水一般只是直流用水量的 1/40 左右，可节约大量冷却水用量，排污水量也相应减少，目前得到广泛应用。

二、冷却构筑物

敞开式冷却系统是目前应用最广泛，类型最多的一种冷却系统。根据热水与空气接触的不同方式，冷却系统包括冷却池和冷却塔两大类。

（一）冷却池

冷却池是利用天然或人工池塘、水库等构筑物来冷却循环水，这是最早使用的一种冷却系统。它利用自然蒸发使已吸收热量的水冷却后再循环使用。它的特点是冷却过程缓慢，效率低，冷热水温差小，且需很大的贮水量和占地面积。冷却池分为天然冷却池和喷水冷却池两类。

1. 天然冷却池

将热水引入池塘、湖泊、水库及海湾等自然水体，热水在这里除了与原有冷水掺和降温外，主要是通过水面与空气接触进行散热，冷却过程在池面上进行，效率低。一般水力负荷仅为 0.01~

$0.1\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

为充分利用池面，应尽量使水流分布均匀，减少死水区。有时为方便运转管理和节约投资，将热水进口和冷却水吸水口放在冷却池的同一地段，这时应设导流墙，把冷、热水流组织好。

冷却池的水深不宜太小，以免滋生水草，水深太小也不利于冷热水间形成异重流。异重流是由于冷水与热水的密度不同而形成的，热水浮于上层，冷水沉于下层，两层间可相对流动。形成异重流有利于热水在水面上的扩散，可更好的散热。水深越深，冷热水分层越好，同时热水排放与水面的衔接情况对分层也有影响。一般最小水深为 1.5m，常水位时水深宜在 2.5m 以上。

2. 喷水冷却池

喷水冷却池是在池上架有配水管和喷水装置的冷却池，多数是利用天然水池或水库，也有采用人工水池的，池形多为矩形，小型池也可为圆形。矩形的长边垂直于夏季主导风向，矩形的宽度不宜超过 50m，这样也能使处在下风的喷嘴有较好的冷却效果。喷水池会形成水雾和水凌，因此布置喷水冷却池时要避免设在重要建筑和交通要道的主导风向的上风。

喷头的形式很多，不同形式的性能也不一样，最好选用喷水量大、喷洒均匀、水滴较小、不宜堵塞且省材料、加工和更换简便的型式。喷头布置可呈梅花形、方格形、辐射形。为达到较好的冷却效果，喷头前的配水管中应维持 6~7m 左右的水压，使水能向上喷射成均匀散开的小水滴。水滴在空中与周围空气接触，通过蒸发和传导方式散热冷却，然后跌落池中，经出水管引出再用，冷却效率高于天然冷却池。喷水池四周外侧，应设宽度不小于 5m，以 2%~5% 底坡倾向喷水池的回水台，可减少冷却水量的风吹损失。喷水池设计水深一般为 1.5~2.0m，超高 0.3~0.5m，水流负荷 $0.7\sim 1.2\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。喷头一般安装在喷水池正常水位以上 1.2~2.0m 高度处，喷头间距 1.5~2.2m，配水管间距 3~3.5m。

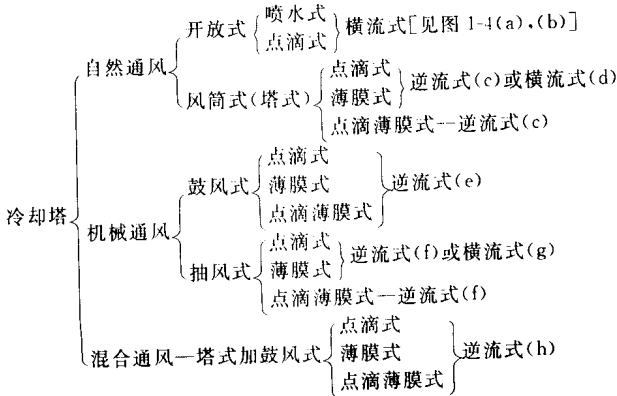
(二) 冷却塔

冷却塔是将生产过程中经热交换升温后的冷却水，通过与空气

直接接触，由蒸发、传导方式散热降温，或隔着换热器器壁与空气间接接触的单纯传导方式散热降温的塔型冷却构筑物。冷却塔内装有填料——淋水装置，水和气都经过填料，增大了接触面积，具有占地面积小和冷却效果好等特点。

冷却塔有很多种类，根据循环水在塔内与空气是否直接接触，可把它们分成干式、干湿式和湿式三种类型。干式冷却塔中循环水不与空气直接接触，而是在安装于冷却塔中的散热器内被空气冷却，适用于某些密闭式循环冷却水系统或不允许水分或特殊污染物散失的场合。干湿式冷却塔一般是让温度高的循环水先通过装在塔顶的盘管，以此来加热将要出塔的湿空气，使湿空气“过热”，以免出塔后形成水雾或水凌，影响环境。热水出盘管后，再被引到配水装置，喷淋到填料上与空气进行直接换热。湿式冷却塔中水与空气则进行直接接触换热。

根据塔内通风方式的不同，冷却塔分为自然通风式、机械通风式和混合通风式三类。根据水气在塔内的流动方向，冷却塔可分为逆流式和横流式两类。所谓逆流式即指水的流动方向与气的流动方向相反，而横流式则指在水气进行热湿交换的区段气流是垂直于水流方向，作水平流动的。根据塔内淋水装置的不同，冷却塔可分为点滴式、薄膜式、喷水式、点滴薄膜式等。图 1-4 是冷却塔的分类以及各种类型湿式冷却塔结构示意图。



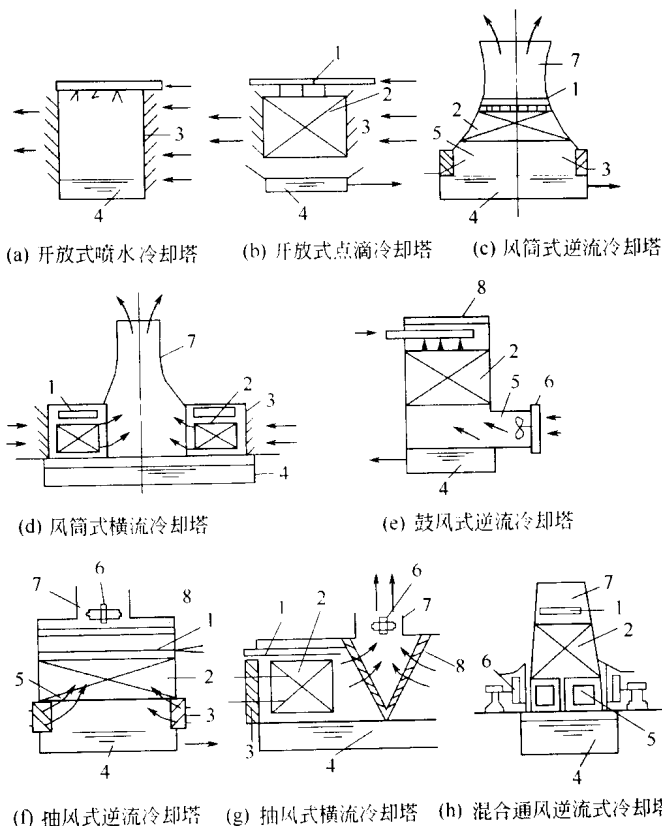


图 1-4 各种类型湿式冷却塔分类及结构示意图

1—配水系统；2—淋水填料；3—百叶窗；4—集水池；
5—空气分配区；6—风机；7—风筒；8—除水器

常用冷却构筑物比较见表 1-1。

表 1-1 常用冷却构筑物比较表

名称	优点	缺点	适用条件
冷却池	1. 取水方便, 运行简单 2. 可利用已有的河、湖、水库、渣池 3. 造价低	1. 受太阳辐射影响, 夏季水温高 2. 易淤、清理较困难	1. 冷却水量大 2. 所在地区有可利用的河、湖、水库、渣池, 且距厂区不远 3. 夏季冷却水温要求不甚严格