

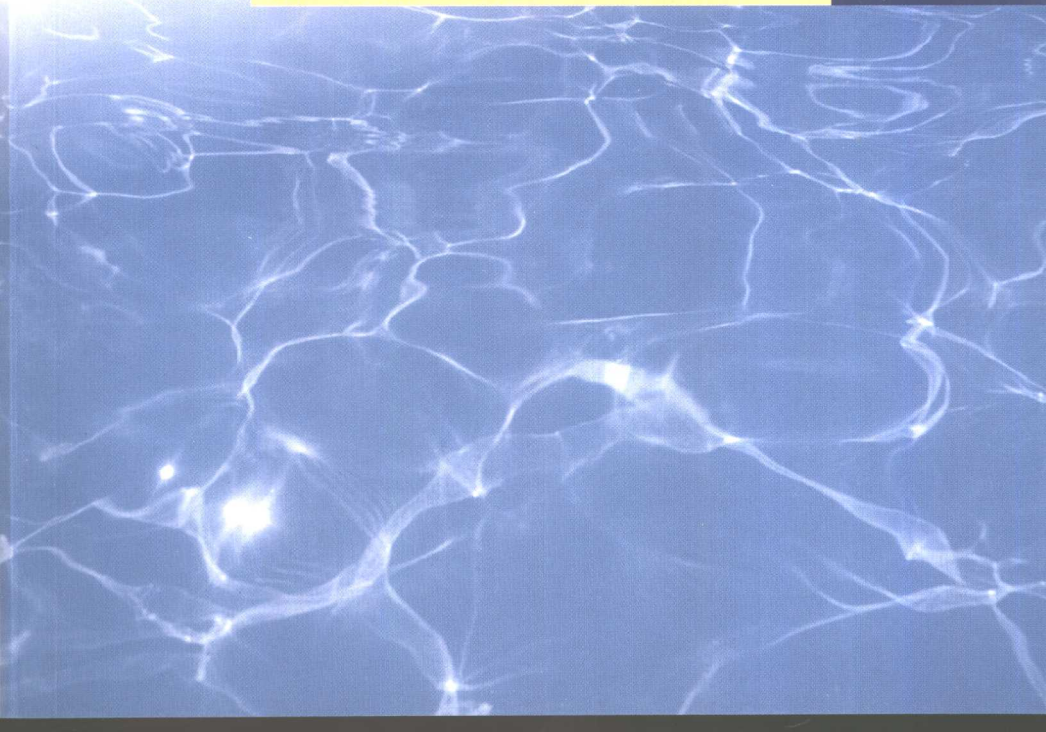
X U N H U A N
L E N G Q U E S H U I
C H U L I
xunhuanlengqueshuichuli

循环冷却水 处理

第三版

编著 □ 龙荷云

江苏科学技术出版社



循环冷却水处理

(第三版)

编著 龙荷云

江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

循环冷却水处理/龙荷云编著. —3版. —南京:江苏科学技术出版社, 2001.3

ISBN 7-5345-3316-3

I. 循... II. 龙... III. 循环水:冷却水—水处理
IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 08635 号

循环冷却水处理(第三版)

编 著 龙荷云
责任编辑 王明辉

出版发行 江苏科学技术出版社
(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

经 销 江苏省新华书店
照 排 江苏苏中印刷厂
印 刷 扬州鑫华印刷有限公司

开 本 850mm × 1168mm 1/32
印 张 9.625
字 数 240 000
版 次 2001 年 3 月第 1 版
印 次 2001 年 3 月第 1 次印刷
印 数 1—5 000 册

标准书号 ISBN 7-5345-3316-3/TQ·29
定 价 15.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

前 言

循环冷却水处理技术是节约水资源和保护环境的重要途径。此项技术自 20 世纪 70 年代中期由法、美、日等国引进和改进后,在国内已普遍推广使用,取得良好的经济效益和社会效益。

1984 年由江苏科学技术出版社组织作者编著的《循环冷却水处理》一书出版发行,1991 年再版发行,受到读者的欢迎,对推动循环冷却水处理技术的普及起到了积极的作用。

目前,循环冷却水处理仍处于遍地开花阶段,许多新从事该技术的工作人员,迫切需要这方面知识的书籍。作者应出版社的要求,将原书重新整理,结合十几年来教学和生产实践的经验,扩充了原水前处理方面的知识和新药剂、新配方,以及新仪器和现场操作经验等内容。

由于本书内容涉及面广,本人水平所限,书中难免有误,敬请读者不吝赐教,给予指正。

龙荷云

2000.12 于南京化工大学

目 录

第一章 水及工业冷却水的基本知识	1
第一节 水在自然界的分布和循环	1
一、水在自然界的形态	1
二、水在自然界的循环	1
三、我国天然水的分布及其特点	2
第二节 各种天然水的特点及化学特征	4
一、各种天然水的特点	4
二、天然水的化学特征	7
第三节 工业冷却水的水质要求	14
一、工业冷却水	14
二、冷却水的水质要求	15
第四节 节约冷却水和防止水体污染的重要性	17
一、节约冷却水的迫切性	17
二、防止水体污染的重要性	18
第二章 工业冷却水的前处理	20
第一节 天然水中的杂质	20
一、悬浮物	20
二、胶体物	20
三、溶解物质	20
第二节 工业冷却水的前处理	24
一、混凝	25

目 录

二、沉淀与澄清	30
三、过滤	35
第三节 混凝剂与助凝剂	39
一、混凝剂	39
二、助凝剂	46
第三章 循环冷却水处理	48
第一节 冷却水系统	48
一、直流冷却水系统	48
二、循环冷却水系统	49
三、冷却塔	50
第二节 敞开式循环冷却水系统	54
一、敞开式循环冷却水系统	54
二、敞开式循环冷却水系统的操作	55
第三节 循环冷却水处理的重要性	61
一、循环冷却水系统产生的问题	61
二、敞开式循环冷却水处理的重要性	64
第四章 循环冷却水系统中沉积物及其控制	67
第一节 循环冷却水系统中沉积物	67
一、沉积物的分类	67
二、水垢析出的判断	69
三、污垢热阻的判断	98
第二节 循环冷却水系统中沉积物的控制	104
一、水垢的控制	104
二、污垢的控制	110
第三节 阻垢剂及分散剂	115
一、聚磷酸盐	115

二、有机膦酸	120
三、膦羧酸	124
四、有机膦酸酯	125
五、聚羧酸	126
六、天然分散剂	130
七、有机膦酸和聚羧酸的阻垢和分散机理	133
八、阻垢剂的应用实例	135
第五章 循环冷却水系统中金属的腐蚀及其控制	137
第一节 循环冷却水系统中金属腐蚀的机理	137
一、冷却水中金属腐蚀的机理	137
二、冷却水中金属腐蚀形态	143
三、影响腐蚀的因素	148
第二节 循环冷却水系统中金属腐蚀的控制	158
一、冷却水中金属腐蚀的控制方法	158
二、缓蚀剂	164
第六章 循环冷却水系统中微生物及其控制	181
第一节 循环冷却水系统中常见的微生物	181
一、微生物	181
二、冷却水系统中常见的微生物	183
第二节 循环冷却水系统中微生物引起的危害	195
一、形成大量黏泥沉积物	195
二、加速金属设备的腐蚀	195
三、破坏冷却塔中的木材	196
第三节 循环冷却水系统中微生物的控制	197
一、防止日光照射	197
二、加强原水前处理、改善水质	197

目 录

三、投加杀生剂和黏泥剥离剂	198
第四节 杀生剂及其应用	199
一、氧化性杀生剂	199
二、非氧化性杀生剂	205
三、黏泥剥离剂	211
四、杀生剂的应用及注意事项	212
第七章 水处理剂的筛选和应用	215
第一节 阻垢剂的筛选	216
一、静态阻垢筛选法	216
二、极限碳酸盐法	217
三、称垢重法	220
第二节 缓蚀剂的筛选	220
一、静态挂片失重法	222
二、旋转挂片失重法	224
第三节 杀生剂的筛选	227
一、杀生效果的筛选	227
二、毒性的评定	228
第四节 复合水处理剂的筛选和应用	229
一、筛选方法	229
二、复合水处理剂的应用	241
第八章 循环冷却水系统的清洗、预膜和正常运行	246
第一节 循环冷却水系统的清洗	246
一、清洗的目的	246
二、清洗方法	247
第二节 循环冷却水系统的预膜	255
一、预膜的目的	255

二、预膜方法	256
三、预膜效果的检验	256
第三节 循环冷却水系统的正常运行	257
一、浓缩倍数	258
二、pH	263
三、浊度	267
四、碱度	267
五、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}	269
六、总铁	269
七、其他离子	270
八、水处理剂等药剂浓度	270
九、污垢	274
第九章 循环冷却水系统的现场监测及事故处理	277
第一节 循环冷却水系统的现场监测	277
一、旁路挂片	277
二、旁路挂管	278
三、监测换热器	279
四、腐蚀结垢监测仪	282
五、生物黏泥的监测	283
六、细菌总数的监测	283
第二节 循环冷却水系统事故处理	284
一、事故原因分析	284
二、事故处理举例	285
附 录	287
1. 化学元素原子量表	287
2. 碳钢腐蚀速率单位换算表	288

目 录

3. 导热系数、传热系数单位换算表	289
4. 常用浓酸和碱的规格	289
5. 法定计量单位概况	290
参考文献	297

第一章 水及工业冷却水的基本知识

第一节 水在自然界的分布和循环

一、水在自然界的形态

水在自然界以气、液、固三种状态存在。自然界的水,主要是指海洋、河流、湖泊、地下水、冰川、积雪、土壤水和大气水分等水体,其总量共约 $1.4 \times 10^{19} \text{ m}^3$,如果将其平铺在地球表面,水层厚度可达到约 3 000 m 深。但是,自然界的水绝大部分是咸的海水,加上内陆地表咸水湖、地下咸水,共约占总水量的 98%,而冰川、积雪约占总水量的 1.7%,这些水目前尚难以利用和开发。实际上可供开发利用的淡水只占总水量的 0.3%,约为 $4 \times 10^{16} \text{ m}^3$ 。因此,水在自然界中虽然是一种分布最广的资源,但淡水却是非常有限的宝贵资源。

二、水在自然界的循环

水在自然界中并不是静止不动的,它在太阳辐射和地心引力等的影响下不停地流动和转化。海洋、湖泊等水面受太阳的照射而蒸发,蒸汽升入天空为云,在适当条件下又降为雨或雪,称为降水。降落在陆地上的水又分成两路流动,一路在地面上汇集为江河湖泊,称为地面径流;另一路渗入地下,形成地下水层或水流,称为地下渗流。最后这两路水流都流入海洋或湖泊。高山冰川融化的水常是河流湖泊的发源地,源源不断地补充水源。地面森林草原也会蒸发大量水分。自然界中的水始终这样周而复始地运动

着,构成水的自然循环,如图 1-1 所示。

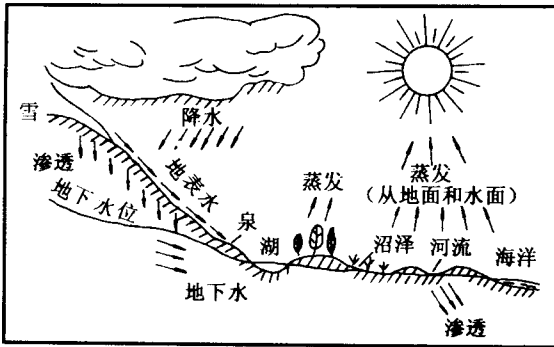


图 1-1 水在自然界的循环

水在自然界循环过程中不会增加,也不会减少。

三、我国天然水的分布及其特点

1. 我国天然水的分布

我国河流、湖泊众多,水量丰沛,根据一些特征,天然水的分布基本上可分为 4 个区:潮湿区、湿润区、过渡区和干旱区,这是由气候、地形、土壤、地质等各种条件决定的,它们的降水和径流量、浑浊度、含盐量及化学组成等各有特点,见表 1-1。

表 1-1 我国各地区的水质特征

分区	潮湿区	湿润区	过渡区	干旱区
水质特征				
年降水量,mm	> 1 600	800 ~ 1 600	400 ~ 800	< 400
年径流量, 10^8m^3	> 1 000	100 ~ 1 000	25 ~ 100	< 25
平均含沙量, kg/m^3	0.1 ~ 0.3	0.2 ~ 5	1 ~ 30	—
常见浑浊度, mg/L	10 ~ 300	100 ~ 2 000	500 ~ 20 000	—
含盐量, mg/L	< 100	100 ~ 300	200 ~ 500	> 500

续表

分区	潮湿区	湿润区	过渡区	干旱区
水质特征				
总硬度, mmol/L	< 0.5	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 3.0	> 3.0
pH	6.0 ~ 7.0	6.5 ~ 7.5	7.0 ~ 8.0	7.5 ~ 8.0 以上
地区范围	东南沿海	长江流域, 西南地区, 黑龙江流域, 松花江流域	黄河流域, 河北地区, 辽河流域	内蒙地区, 西北地区

(1) 潮湿区

潮湿区为我国东南沿海地区, 降水量丰富而蒸发量小, 因而径流量大。土壤层薄, 多坚硬花岗岩地层, 故河水含沙量低, 浑浊度也低, 一般在 10 mg/L 左右。土壤经多年淋浴, 可溶性盐已流失, 所以水的含盐量低, 硬度也低, 属软水。水中主要化学组成为碳酸氢钙和碳酸氢钠等。

(2) 湿润区

湿润区为长江流域及其以南地区, 黑龙江和松花江流域之间的地区也属湿润区。该区降水充足, 蒸发量不大, 故径流量较大。长江上游如金沙江、嘉陵江等江段含沙量较大, 浑浊度可达 1 000 mg/L 以上。由于区内降水充足, 径流量大, 所以含盐量一般不高, 在 200 mg/L 左右。但在贵州、广西地区有石灰岩溶洞, 水的硬度增大。在长江流域, 水中主要化学组成为碳酸氢钙类, 在东北地区也有含碳酸氢钠的。

(3) 过渡区

过渡区为黄河流域及其以北地区, 直到辽河流域。该区降水量较少, 蒸发量较大, 故径流量不大, 水量贫乏。黄河虽为我国第二大河, 但年径流量只有长江的约 1/20。黄河流经黄土高原, 冲刷大量泥沙, 浑浊度极高。由于径流量小, 水的含盐量较高, 因而硬度高。水中主要组成为碳酸氢钙类, 但也有相当多的地方为碳酸氢钠类, 甚至出现硫酸盐类或氯化物类。

(4) 干旱区

干旱区为内蒙古和西北大片地区。该区降水量少而蒸发强烈,因此形成径流量很低的干旱地带。由于径流量小,土壤中可溶性盐含量高,所以水的含盐量和硬度都很高。水中主要组成是硫酸盐或氯化物类。

第二节 各种天然水的特点及化学特征

一、各种天然水的特点

江河、湖泊、水库及地下水等均为天然水,但由于形成的过程不同,因此分别有各自的特点。

1. 江河水

河流是降水经地面径流汇集而成的,流域面积十分广阔,又是敞开流动的水体,其水质受地区、气候以及生物活动和人类活动的影响而有较大的变化。

河水广泛接触岩石、土壤,不同地区的矿物组成决定着河水的基本化学成分。此外,河流水总混有泥沙等悬浮物而呈现一定浑浊度,可从几十mg/L到数百mg/L。夏季河水上涨浑浊度还要高,冬季又可降到很低。水的温度则与季节、气候直接有关。

河流水中主要离子成分构成的含盐量,一般在 100 mg/L ~ 200 mg/L,不超过 500 mg/L,个别河流也可达 30 000 mg/L以上。一般河水的阳离子中 $[Ca^{2+}]^{\text{①}} > [Na^+]$,阴离子中 $[HCO_3^-] > [SO_4^{2-}] > [Cl^-]$;也有一些河水中 $[Na^+] > [Ca^{2+}]$;个别河水中 $[Cl^-] > [HCO_3^-]$ 。我国主要河流的水质组成见表 1-2。

① “[]”表示浓度。即 $[Ca^{2+}]$ 表示 Ca^{2+} 的浓度。

表 1-2 我国主要河流的水质组成

成分	含量,mg/L						
	珠江	长江	黄河	黑龙江	闽江	塔里木河	松花江
Ca ²⁺	18	28.9	39.1	11.6	2.6	107.6	12.0
Mg ²⁺	1.1	9.6	17.9	2.5	0.6	841.5	3.8
Na ⁺ + K ⁺	16.1	8.6	46.3	6.7	6.7	10 265	6.8
HCO ₃ ⁻	32.9	128.9	162.0	54.9	20.2	117.2	64.4
SO ₄ ⁻	34.8	13.4	82.6	6.0	4.9	6 052	5.9
Cl ⁻	7.3	4.2	30.0	2.0	0.5	14 368	1.0
含盐量	110.2	193.6	377.9	83.7	35.5	31 751.3	93.9

2. 湖泊和水库水

湖泊是由河流及地下水补给而成的,它的水质与补给水水质、气候、地质及生物等条件有密切关系,同时流入和排出的水量、日照和蒸发强度等也在很大程度上影响湖水的水质。如果流入和排出的河流水量都较大,而湖水蒸发量较小,则湖水含盐量较低,形成淡水湖,其含盐量一般在 300 mg/L 以下。通常淡水湖泊在湿润地区形成。

水库实际上是一种人造湖,其水质也与流入的河水水质和地质特点有关,但最终会形成与湖泊相似的稳定状态。

通常取淡水湖和低度咸水湖作水源,其水质离子组成与内陆淡水河流相似,多数是 $[Ca^{2+}] > [Na^+]$ 、 $[HCO_3^-] > [SO_4^{2-}] > [Cl^-]$ 的类型;少数是 $[Na^+] > [Ca^{2+}]$,个别的有 $[SO_4^{2-}] > [HCO_3^-]$ 的情况。表 1-3 为湖泊、水库水质组的例子。

表 1-3 某些淡水湖泊、水库水质组成

成 分	含量,mg/L		
	南湖(武汉)	洪湖(湖北)	立新城水库(长春)
Ca ²⁺	18.9	22.4	20.5
Mg ²⁺	1.83	3.17	5.61
Na ⁺	17.9	11.4	3.17
HCO ₃ ⁻	70.7	75.3	79.9
SO ₄ ⁻	15.8	10.3	5.0
Cl ⁻	13.7	4.55	7.1
含盐量	138.7	127.12	121.3

3. 地下水

地下水是由降水经过土壤地层的渗流而形成的。地下水按其深度可分为表层水、层间水和深层水。通常作水源使用的地下水均属层间水,即中层地下水。这种水受外界影响小,水质组成稳定,水温变化很小,水质透明清澈,有机物和细菌的含量较少,但含盐量较高,硬度较大。随着地下水深度的增加,其主要离子组成从低矿化度的淡水型转化为高矿化度的咸水类型,即从[Ca²⁺] > [Na⁺],[HCO₃⁻] > [SO₄⁻] > [Cl⁻]转化为[Na⁺] > [Ca²⁺],[Cl⁻]或[SO₄⁻] > [HCO₃⁻]。

由于地下水与大气接触不畅通,水中溶解氧很少,有时由于生物氧化作用还会产生 H₂S 和 CO₂。H₂S 使水质具有还原性。表 1-4 为某些地下水的水质组成。

表 1-4 某些地下水水质组成

成 分	含量, mg/L			
	石家庄井水	哈尔滨井水	天津井水	湖南某井水
Ca ²⁺	82.9	78.2	8.0	2.83
Mg ²⁺	19.8	12.8	3.7	1.56
Na ⁺ + K ⁺	16.2	23.5	317	5.29
HCO ₃ ⁻	219.6	317.2	464	9.76
SO ₄ ²⁻	37.3	8.0	48	8.95
Cl ⁻	28.0	21.34	200	2.55
Fe ²⁺	—	0.02	—	1.4 ~ 2.1
Mn ²⁺	—	—	—	—
含盐量	403.8	461.0	1 040.7	38.0
H ₂ S	—	76.4	—	—
游离 CO ₂	—	11.5	—	79.4
pH	7.6	6.9	8.3	
特点		含 H ₂ S	含氟矿化水	软水, 腐蚀性强

二、天然水的化学特征

1. 天然水中碳酸化合物

天然水中普遍存在着各种形态的碳酸化合物, 它们是决定水质 pH 的重要因素, 并且对外加酸、碱有一定的缓冲能力, 同时对水质和水处理有着重要的影响。

(1) 碳酸化合物存在的形态

天然水中碳酸化合物的来源有以下几个方面: 首先是空气中二氧化碳的溶解, 岩石、土壤中碳酸盐和重碳酸盐矿物的溶解; 其次是水中动植物的新陈代谢作用以及水中有机物的生物氧化等产生的二氧化碳; 有时在水处理过程中也会加入或形成各种碳酸化合物。上述各种来源的碳酸化合物综合构成水中碳酸化合物的总量。

水中碳酸化合物通常以下列几种不同形态存在: 溶于水中的