

循环冷却水处理基础知识

纪芳田 包义华 编

化学工业出版社

本书拟系统介绍工业循环冷却水处理知识,提供从事工业给水处理的生产管理人员和技术人员参考。全书内容共分十二章:第一章化学工业用水综论;第二章冷却水系统的选择;第三章循环水的冷却;第四章敞开式循环冷却水系统的运行参数;第五章补充水的处理;第六章循环冷却水的旁流处理;第七章冷却水的腐蚀与腐蚀控制;第八章结垢与阻垢;第九章缓蚀阻垢复合抑制剂;第十章微生物与杀生剂;第十一章冷却水系统的清洗与预膜;第十二章冷却水的运行监测。

循环冷却水处理基础知识

纪芳田 包义华 编

责任编辑: 骆文敏

封面设计: 季玉芳

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $10^{1/2}$ 字数238千字 印数1—5,370

1986年8月北京第1版1986年8月北京第1次印刷

统一书号15063·3818 定价 2.20 元

前 言

近年来，随着生产的发展，淡水资源的紧张，环境保护要求的日趋严格，从而对工业用水的合理使用与处理引起人们的高度重视。占工业用水百分之八十以上的冷却用水采用循环冷却水系统，是节约水资源、保护环境的有效措施。

冷却用水的水质对换热设备的腐蚀、结垢以及生物粘泥所带来的危害影响很大。如处理不善，不仅浪费能源、影响产量，而且也影响工厂的安全生产。循环冷却水的水质处理技术是一门多学科知识的综合，有关的文献资料内容复杂，本书系统地介绍循环冷却水水质处理的基础知识，给从事工业给水处理的生产管理人员和技术人员提供一本基础读物。

全书内容分为十二章。第一章是叙述化工用水的特点，采用循环冷却水系统的重要意义和化学工业对水质的要求；第二章是叙述冷却水系统的选择，这一章着重介绍工程设计以及老厂改造如何正确的确定冷却水系统的方案；第三章是叙述水的冷却原理、冷却设备和冷却效率；第四章是介绍敞开式循环冷却水系统的流程和运行参数之间的关系；第五章是叙述循环冷却水系统对补充水的水质要求和处理；第六章是介绍循环冷却水的旁流处理，着重讨论旁流处理量的确定；第七、八、九、十章着重叙述冷却水水质对换热设备结垢、腐蚀及微生物腐蚀的机理、危害及其控制处理，并介绍国内外一些企业的处理实例；第十一、十二章是叙述冷却水系统换热设备的预处理以及系统的运行监测。

本书第一章至第六章由包义华编写，第七章至第十二章由纪芳田编写。全书原稿经吴棣同志审阅，在审稿中曾得到秦裕珩同志的大力协助，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，书中难免有缺点错误，敬请批评指正。

目 录

第一章 化学工业用水综论	1
第一节 水是有限的资源	1
一、世界各国都感到水源不足	1
二、世界各国用水的动向	5
三、我国水资源的情况	11
第二节 化学工业用水的特点	12
一、用水量，而实际消耗量小	12
二、主要用于冷却	14
三、化工厂排水对环境的污染	17
第三节 合理用水	19
一、化学工业的合理布局	19
二、合理用水	21
第四节 化学工业对水质的要求	23
第二章 冷却水系统的选择	26
第一节 直流冷却水系统	26
第二节 循环冷却水系统	27
一、密闭式循环冷却水系统	27
二、敞开式循环冷却水系统	28
第三章 循环水的冷却	31
第一节 水的冷却原理	31
第二节 冷却设备	33
第三节 冷却塔中水的冷却效率	42
第四章 敞开式循环冷却水系统的运行参数	44
第一节 敞开式循环冷却水系统流程	44
第二节 热交换器中的传热	45
第三节 运行参数之间的关系	47
第四节 冷却塔风吹飘滴对环境的影响	55

第五章 补充水的处理	58
第一节 天然水中的杂质	58
一、天然水中的杂质	58
二、天然水源的水质概况	63
三、天然水的水质分类	68
第二节 循环冷却水对补充水水质的要求	75
一、含盐量	75
二、钙镁离子	76
三、铝铁离子	78
四、铜离子	80
五、氯离子	80
六、硫酸根离子	81
七、溶解气体	82
八、悬浮物	86
九、微生物	86
十、有机物与耗氧量	87
第三节 补充水水质处理	88
一、悬浮物的去除	88
二、软化	93
三、脱盐	100
四、除铁	103
五、脱气	105
六、有机物和微生物的去除	105
第六章 循环冷却水的旁流处理	107
第一节 污染物质浓度与运行参数的关系	108
一、水中溶解离子的变化关系	108
二、水中悬浮物的变化关系	112
第二节 旁流处理量的确定	118
第三节 旁流处理	122
第七章 冷却水的腐蚀与腐蚀控制	123
第一节 冷却水处理技术的发展概况	123
第二节 冷却水对金属的腐蚀	128

一、冷却水对金属的腐蚀作用	129
二、腐蚀种类及形态	132
三、影响金属腐蚀的主要因素	138
第三节 腐蚀控制与缓蚀剂	146
一、腐蚀控制	146
二、缓蚀剂的分类	147
三、常用缓蚀剂的性能	150
第八章 结垢与阻垢	159
第一节 碳酸的平衡	160
第二节 垢的形成	164
一、垢的形成机理	164
二、垢的形成过程	165
三、影响沉积成垢的主要因素	167
四、难溶盐的结晶析出与过饱和度	176
第三节 沉积物及其性质	179
一、难溶盐类的沉积物	179
二、污垢	182
三、沉积垢的危害	183
第四节 冷却水结垢趋势的判断及控制方法	184
一、冷却水结垢趋势的判断	184
二、污垢热阻	198
三、冷却水中沉积物的控制方法	205
第五节 阻垢剂及其阻垢作用	212
一、阻垢的一般机理	212
二、常用的阻垢剂及其应用特性	214
第九章 阻垢缓蚀的复合应用	226
一、磷系复合抑制剂	227
二、铬系复合抑制剂	228
三、有机磷系复合抑制剂	230
四、多元醇与天然有机物复合抑制剂	233
五、其他复合抑制剂	234
六、复合抑制剂选择的原则	237

第十章 微生物与杀生剂	239
第一节 循环冷却水中常见的微生物	239
一、藻类	240
二、细菌	244
三、真菌	253
四、原生动物	256
第二节 微生物控制	258
一、微生物在循环水中的影响作用	259
二、微生物引起的危害	261
三、微生物的控制方法	262
四、生物粘泥及其控制	265
第三节 杀生剂及其性能	267
一、氧化性杀生剂	268
二、非氧化性杀生剂	272
第四节 杀生剂的选择及影响杀生效力的因素	281
第十一章 冷却水系统的清洗与预膜	288
第一节 冷却水系统的清洗	289
一、物理清洗法	289
二、化学清洗法	292
三、有机复合清洗剂清洗	295
第二节 预膜处理	297
一、预膜的作用	300
二、预膜方法	301
三、预膜剂及控制条件	302
四、循环水系统的衬膜与个别设备的预膜处理	305
第十二章 冷却水的运行监测	306
第一节 监测内容与范围	306
一、监测的范围	307
二、监测内容	307
第二节 腐蚀与结垢的监测	309
一、腐蚀监测	309
二、结垢监测	317

第三节 微生物与粘土的监测方法	321
一、菌类监测	321
二、藻类微生物的监测	323
三、粘土附着量的测定	324

第一章 化学工业用水综论

第一节 水是有限的资源

一、世界各国都感到水源不足

许多科学家断言：“今后若干年内，人类将面临许多困难问题，这些问题是由以下两个矛盾的日益激化所引起的：一个是人口的成倍增长，使文化、物质生活资料需要量猛增；另一个是地球上的水资源是有限的”。“水”，过去、现在和未来都是人类生存不可缺少的物质。

工业的发达，大量的耗用水资源，工业用水量的比重在总用水量中逐年增高。英国自1955年以来，工业用水量每年增加2.8%，1971年工业用水量已达180亿米³，如果按同样的增长率计算下去，1985年就会出现每天缺水95万米³的情况。不但是英国，欧洲大陆上的法国等，东方的日本，都在惊呼水源的不足，呼吁采取有效措施，保护和合理分配有限的淡水资源，其迫切性，概可见。

就是按人口平均计算，迳流量达12712米³/年·人，比欧洲各国高四倍的美国，1970年总取水量已达13.95亿米³/天，按工农业的发展计算，1980年需19.79亿米³/天，2000年将达到33.62亿米³/天。而美国由年降水量所能达到的淡水迳流量平均仅为72亿米³/天，以现代的技术，最高也只能取用迳流量的30%，如此计算，也将处于每天缺水12亿米³的窘境。

“水源枯竭”真是这样的严重吗？

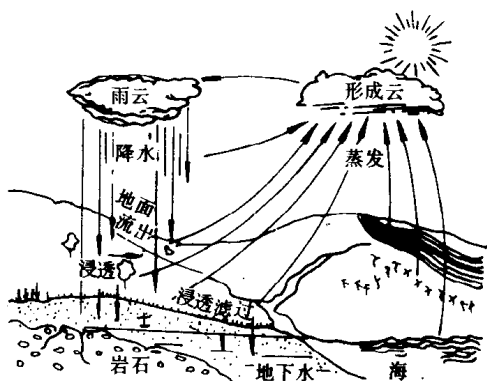


图 1-1 水文学的水循环

应该这样看,水资源既是无限的,又是有限的。在自然界,水的循环是闭合循环,海洋、湖泊、河川、土壤、动植物机体内水份,通过蒸发进入大气层,而后凝结降水,再通过地面、地下迳流而返回海洋,是永无休止的循环,在任何环节上都不会有一滴水从自然界中消失掉。从这一观点上来讲,作为“循环资源”的水应该是无限的,它不像石油、矿产等资源那样总有一天会被用尽。然而水资源的可开发量都严格地受到时间与空间的限制,在一定的地区,每年、每季,每个具体时间内,所能取得的水量都是有限的,这就是水资源的特殊性。

十九世纪以来,许多科学家致力于全球规模的水文学循环的研究,探索地球上水的总储量、分配、移动、平衡之间的规律,推算得出全球水的总储量的97% (约13.2亿公里³)是海洋中的海水,而淡水储量却只有0.38亿公里³,其中的76%又是处于两极的冰川和冰山,还有无法取用的深层地下水、土壤浸润水等。真正可供开采使用的河川、湖泊及浅层地下水,只占淡水总储量的0.4~0.6%而已。

表 1 1 全世界淡水储量分布

分 布	比 率	分 布	比 率
两极地区的冰川和冰山	76	土壤水份	0.18
埋深800~1000米的地下水	13	大气水份	0.036
埋深800米以内的地下水	10	河川	0.151
湖泊	0.33		

地下水、湖泊、河川的最低储量，开采使用时要受到严格限制，否则将引起自然生态的失调。因此，能供使用的水要制约在参加水文学循环的水量之内。全球的水循环量约520,000千米³(KM³)，每年产生地表迳流量为38,800千米³，流入海洋37,400千米³，其他除少量渗入地下成为地下水动储量外，更大的一部分将通过各种途径蒸发，蒸腾而进入大气层（简单地讲，每个地区每年的淡水资源赋存量，相当于该地区的年降水量减去年蒸发量的剩余值，笼统的称作迳流量）。

1970年全世界总迳流量为38,800亿米³，其中稳定流量为14,000亿米³。而这一年度，全世界总取水量仅为600千米³（为稳定流量的1/23），从全球观点看，淡水资源还大有潜力。但由于地区性的分布不均匀，用水点的不平衡，以致贫水区缺水，而富水区则任其漫流入海。怎样合理的分配使用有限的淡水资源，就成为严峻的现实课题。淡水必须首先满足人们赖以维持生命的生活用水和农业灌溉，其次才是工业用水。表现在消耗水量方面（相当于取水量减去排水量），农业灌溉用水所占比重最大，高达80%以上。美国水资源委员会1978年4月发表的全国水资源（The Nation's Water Resources）的报告书中提出，国民经济用水的分配额如表1 3所示，为了保证人们生活的

表 1-2 世界各国的淡水资源比较表

	集水面积 Km ²	人 口 千 人	年平均降水量 毫米	总径流量 10 ⁶ 米 ³ /年	按人口平均的水资源	
					米 ³ /年/人	米 ³ /日/人
欧 洲*	1,424,630	254,050	966	747,839	2,943	8.07
美 国*	9,346,751	207,661	762	2,639,000	12,712	34.83
(阿拉斯加除外)						
苏 联*	22,402,200	242,000	531	4,636,000	19,126	52.40
中 国	9,600,000	900,000	660	2,700,000	2,993	8.20
日 本		111,000	1,788	449,400	4,000**	

注: *—据1978年第12届国际给水会议资料。

**—据1978年1月日本工业用水杂志, p. 7。

表 1 3 国民经济用水分配额 (%)

	1975年	1985年	2000年
生活用水	12.0	14.4	17.4
工业用水	21.2	10.6	9.2
农业用水	66.8	75.0	73.4

需要，要大力压缩工业用水的比例，而提高生活用水的比例。

“水源枯竭”的另一个原因是遭到污染，1970年全世界约有4200亿米³被污染的水排入河川、湖泊和海口，污染水体达55,800亿米³，污染了稳定径流量的40%。有人预测，到本世纪末，世界总取水量将达到71,700亿米³，而排放污水量会达到60,900亿米³，污染水体近776,000亿米³，接近全部径流量，耗尽全部淡水资源。既或加以处理，现代技术也只能消除污染物80~90%，而且某些化学污染物往往是无法彻底处理干净的，长年积累，使世界上将无可取用的净水。所有这些，都迫使我们致力于做到无污染的工业系统，对取水、排放都严格的加以限制，以恢复天然水的自净能力，水资源在利用过程中，使其所受到的污染是天然水自然更新机制所能承担的范围，这就是水处理技术所要解决的问题。

二、世界各国用水的动向

面临淡水资源的缺乏，各工业发达国家都在努力压缩工业用水的实际取水量。美国提出的2000年节约用水计划设想：到2000年时，工业生产产量年增长率平均为3.1%，即到2000年时产值较1975年增加两倍，而工业用水的实际取水量却要降低为1975年的62% (Water Pollution Control Federation., Vol.51, No. 3., March1979.)。美国1975年全国总淡水取水

量为12.86亿米³/日,预计到2000年时降低至1975年的90%,即11.67亿米³/日,如图1-2所示。其中工业用水则由1975年的1.95亿米³/日降为0.75亿米³/日(详见表1-4),工业用水取水量的

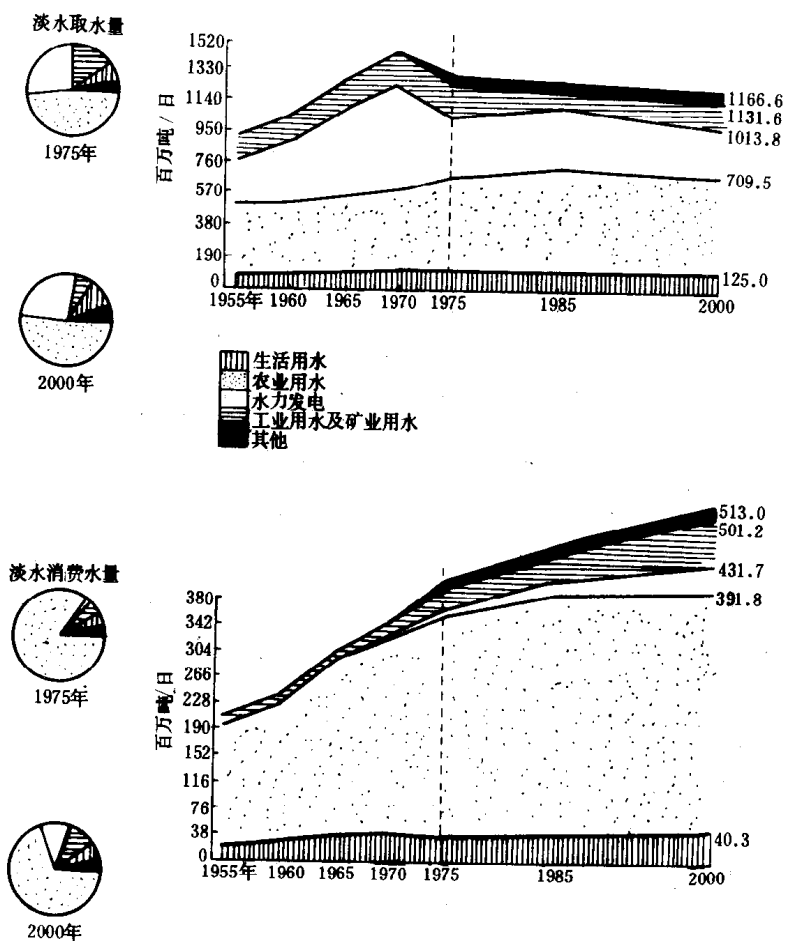


图 1 2 美国需水量的动向

表 1-4 美国取水量的现状与预测动向

用水名称	取 水				量				消 耗		
	1975年		1985年		2000年		比率%	万吨/日	万吨/日	1985年 万吨/日	2000年 万吨/日
	万吨/日	比率%	万吨/日	比率%	万吨/日	比率%					
淡 水	1. 生活用水	10.983	12.0	12.294	14.4	14.079	17.4	2.084	3.589		
	其中：家庭用	8.042	(9.7)	9.114	(11.7)	10.809	(14.2)				
	商业用	2.941	(2.3)	3.180	(2.7)	3.470	(3.2)				
淡 水	2. 工业用水	19.460	21.3	8.992	(10.5)	7.471	9.2	2.299	5.581		
	3. 农业用水	61.049	66.8	64.025	75.0	59.430	73.4	33.556	36.121		
	其中：灌溉用	60.322	(66.0)	63.176	(74.0)	58.461	(72.2)				
淡 水	畜牧用	727	(0.8)	849	(1.0)	969	(1.2)				
	4. 水力发电用水	33.784		30.045		30.420					
	5. 矿业用水	2.681		3.356		4.305					
淡 水	6. 其他	707		808		922					
	小 ①~⑥	128.613		125.519		116.627					
	计 ①~③	91.447	100	85.311	100	80.980	100				
海 水		22.704		34.671		45.150					
	合 计	151.317		160.190		161.777					

大幅度减少，是建立在提高循环水利用率，废水回收利用，改进生产工艺的技术前提下的。

以贫水国著称的日本，特别注意工业用水的回收利用，1977年实际调查表明，日本的化学工业用水的回收利用率已达79.55%（参见表1-5）。

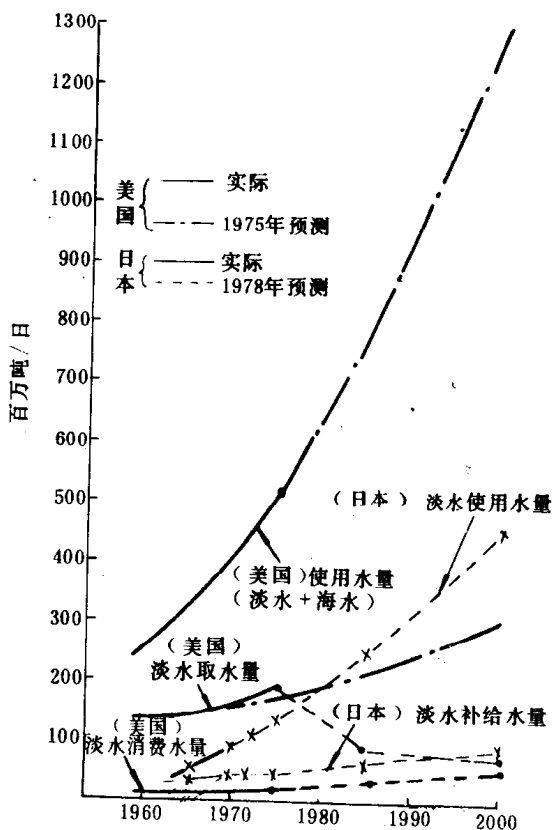


图 1-3 工业用水的变化