

给水排水设计手册

5

水质处理与循环水冷却

中国建筑工业出版社

给 水 排 水 设 计 手 册

第 五 册

水质处理与循环水冷却

《给水排水设计手册》编写组

中国建筑工程出版社

毛主席语录

我们一定要有无产阶级的雄心壮志，敢于走前人没有走过的道路，敢于攀登前人没有攀登过的高峰。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。

《給水排水設計手冊》全書共分九冊。本分冊為《水質處理與循環水冷卻》包括 葯劑軟化、離子交換、電滲析、水質穩定、其他處理（除鐵、錳、氟）、冷卻構築物的設計計算及冷卻構築物的選擇與布置等部分。

本書供給水排水專業設計人員使用，也可供基建單位、廠礦企業有關人員和大專院校給水排水專業師生參考。

* * *

派出人員參加本手冊編寫組的單位：

湖南省建築設計院	甘肅省給水排水勘察設計院
湖南大學	吉林省給水排水勘察設計院
上海市政工程设计院	北京市市政設計院
北京市環境保護科學研究所	北京電力局設計所
四川省給水排水設計院	中南給水排水設計院
重慶建築工程學院	天津大學
冶金工業部北京有色冶金設計院	四川省工業建築設計院
陝西省第一建築設計院	中南工業建築設計院
水利電力部西北電力設計院	水利電力部西安熱工研究所
冶金工業部瀋陽鋁鎂設計院	第一機械工業部洛陽設計院
第一機械工業部第八設計院	第二機械工業部第七設計院
第二機械工業部第二研究設計院	第七機械工業部第七設計院
第四機械工業部第十設計院	交通部第三鐵路設計院
國家建委建築科學研究院	

前 言

为了适应我国社会主义革命和社会主义建设的新发展，我们根据广大读者的需要，对原中国工业出版社1968年以来内部出版发行的《给水排水设计手册》，进行了改编，增订了内容，编写出本设计手册，准备分册付印，国内发行，以便为进一步搞好“三结合”设计，提供一套比较实用的工具书。改编后的手册共计九个分册：第一册——常用资料；第二册——管渠水力计算表；第三册——室内给水排水与热水供应；第四册——室外给水；第五册——水质处理与循环水冷却；第六册——室外排水与工业废水处理；第七册——排洪与渣料水力输送；第八册——材料器材；第九册常用设备。

本册《水质处理与循环水冷却》包括药剂软化、离子交换、电渗析、水质稳定、其他处理（除铁、锰、氟）、冷却构筑物设计计算及冷却构筑物的选择与布置等部分。同1969年出版的《给水排水设计手册》第二册——《工业企业水处理》比较，增加内容较多，阐述亦较详尽。水质处理部分，增加了水质分析的鉴定、石灰、凝聚、镁剂除硅联合处理方法、离子交换设备参数选择等内容，吸收了无产阶级文化大革命以来国内采用的先进技术，如移动床、电渗析等；循环水冷却绝大部分是在总结国内实践经验的基础上，重新编写的。

改编本手册时，有关的标准和规范也在编制和修订过程中，因此，使用本手册时，需注意查阅新颁布的标准和规范，并以新的标准规范为准。

尽管我们作了上述一些工作，但是限于能力和时间，书中的错误和缺点仍然难免，我们热诚地希望各兄弟单位和广大读者提出宝贵意见。

《给水排水设计手册》编写组

1973年11月

目 录

前言

第一章 水处理概论	1
一、处理方式	1
二、原水水质分析	2
三、水质分析结果的校正	8
第二章 药剂软化	14
第一节 药剂软化方法	14
一、石灰软化	14
二、石灰、苏打软化	19
三、石灰、纯碱、磷酸三钠软化	21
四、石灰、凝聚、镁剂除硅联合处理	22
五、其他处理方法	30
六、锅炉内部药剂软化	35
第二节 药剂制备与投加	41
一、石灰乳	41
二、苏打、磷酸盐溶液	43
三、苛性钠溶液	44
四、镁剂	44
第三节 药剂软化设备	46
一、药剂制备、加药设备	46
二、混合、反应设备	65
三、澄清设备	66
四、过滤设备	86
第三章 离子交换	88
第一节 离子交换剂	88
第二节 离子交换水处理方式	104
第三节 离子交换水处理设计	124

一、操作步骤及有关参数	124
二、设计数据	152
三、单元离子交换器操作程序	155
第四节 离子交换系统和设备选择	161
第五节 再生剂制备	299
第六节 防腐	311
第七节 移动床	318
一、移动床类型及工艺流程	319
二、移动床设备	330
三、附属设备	359
第八节 除二氧化碳器	378
第四章 电渗析	402
第一节 电渗析概述	402
第二节 电渗析设计要点	417
第三节 电渗析计算和实例	436
第五章 水质稳定	479
第一节 循环冷却水的稳定处理	480
第二节 直流用水与生活饮用水的稳定处理	533
第六章 其他处理	547
第一节 除铁和除锰	547
一、曝气法	547
二、曝气天然锰砂过滤法	561
三、药剂处理法	569
四、阳离子交换法	574
第二节 除氟	575
一、概述	575
二、活性氧化铝吸附过滤法	576
三、磷酸三钙过滤法	579
第七章 冷却构筑物分类	580
第一节 冷却池	580

一、天然冷却池	580
二、喷水冷却池	585
第二节 冷却塔	589
一、冷却塔的分类与组成	589
二、淋水装置	592
三、配水系统	621
四、通风设备	633
五、空气分配装置	639
六、通风筒	642
七、收水器	644
八、塔体	646
九、集水池	646
十、防冻措施	647
第八章 冷却构筑物计算	650
第一节 循环水冷却原理	650
第二节 基础资料	656
第三节 冷却塔	664
一、天然冷却池	664
二、喷水冷却池	673
第四节 冷却塔	677
一、通风阻力计算	677
二、热力计算	687
三、配水系统水力计算	752
第五节 冷却构筑物的水量损失	757
第九章 冷却构筑物的选择与布置	759
第一节 冷却构筑物的选择	759
第二节 冷却构筑物的平面布置	761
附录	763
一、受工业废水污染的水源，水中杂质对水处理的 影响	763

二、电站锅炉水、蒸汽质量要求	764
三、常用再生剂在不同浓度下的冰冻点	764
四、喷嘴制造图	765
五、淋水装置的加工与制作	770
六、淋水装置的试验资料	778
七、公式 $N = A' \lambda^m$, $\beta_{xv} = Ag_k^m q^n$ 的推导	823
八、 $C = 370.09 + 0.292 \theta$ 数值表	826
九、饱和水蒸汽压力表	828
十、蒸发水量带走的热量系数 K 值表	834
十一、空气相对湿度计算图	837
十二、湿空气容重计算图	838
十三、空气含热量计算图	
十四、空气含湿量曲线图	
十五、温度-饱和水蒸汽焓曲线	841
十六、全国主要城市平均每年最高温度超过 5 ~ 20 天干、湿球 温度统计表	842

第一章 水处理概论

一、处 理 方 式

天然水中含有多种杂质，大体分以下三类：

1. 悬浮物质：指悬浮于水中的物质。其比重大于1者，如泥土、砂的微粒等；比重小于1者，如水藻、植物的遗体及细菌等。

2. 胶体物质：指水中带电荷的胶体微粒。如硅、铁、铝的化合物及有机质等。

3. 溶解物质：指为水所溶解的，呈分子和离子状态的溶质和气体。如氯化物、硫酸盐、重金属离子及氧、二氧化碳等。

由于水中的杂质对生产工艺、产品质量、设备材料会产生不同的影响，因此，不同的用水对象对水中杂质允许含量的要求也不相同。而且，随着生产技术的飞跃发展，对水质纯度的要求也愈来愈严格。

根据不同工业用水的水质要求，天然水除通过混凝、沉淀、澄清、过滤等一般处理外，还需进行软化、除盐、稳定以及其它处理。

软化，指用化学的方法降低或去除水中的钙、镁离子，降低水中硬度。软化水的剩余硬度与软化方法有关，一般在0.01~0.8毫克当量/升之间。

软化方法通常分为药剂软化法和离子交换软化法两种。药剂软化法是在水中投加药剂后，使溶解于水中的钙、镁盐类转变为溶解度很小的化合物从水中析出，以达到软化水的目的；离子交换法主要是利用阳离子交换剂中的 Na^+ 、 H^+ 、 NH_4^+ 等离子置换水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子，达到软化水的目的。

除盐，是采用物理、化学（包括电化学）的方法，降低或去除水中的绝大部分盐类，以获得纯度较高的除盐水。

除盐的方法通常分为蒸馏、离子交换、电渗析、反渗透以及电渗析—离子交换、反渗透—离子交换等多种。

蒸馏法，是用热能将水蒸发，再使蒸汽冷却，即得除盐水。蒸发的级数愈多，水的纯度愈高；

离子交换法除盐，是用阳离子交换剂中的氢离子置换水中盐类的阳离子（如 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 等），用阴离子交换剂中的氢氧根离子置换水中盐类的阴离子（如 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 、 SiO_3^{2-} 、 NO_3^{-} 等），然后再用除二氧化碳器去除经氢离子交换后产生的二氧化碳气，以达到除盐的目的；

电渗析除盐，是在外电场作用下，利用阴、阳离子交换膜对水中阴、阳离子的选择透过性（即阳膜只允许阳离子通过，阴膜只允许阴离子通过），除去水中的盐类；

反渗透除盐，是将水加压，使之克服渗透压，让水分子通过半透膜而得到除盐水；

电渗析—离子交换除盐、反渗透—离子交换除盐，是在电渗析和反渗透除盐后，再用离子交换法深度除盐，以获得高纯度的除盐水。

由于采用蒸馏法费用较大，反渗透法目前国内尚处试验研究阶段，故本手册对这两种方法不予详细介绍。

稳定，是采用物理、化学的方法，使水中的二氧化碳、重碳酸盐和碳酸盐之间的关系稳定，以防止碳酸盐沉淀（结垢）和产生二氧化碳的侵蚀。

其它处理，是指去除水中的其他杂质，如除铁、除锰、除氟等。

二、原水水质分析

（一）水质分析项目

原水成分是确定适宜的水处理方案、选择合理的水处理流程、采用适当的化学药剂剂量和进行水处理设备计算的重要基础资料。原水水质分析项目及格式，一般如表1-1、1-2所示。

（二）主要水质分析项目含义

1. 含盐量与总固体

水中的盐类一般均离解为离子状态，其阴、阳离子含量的总和称含盐量。

总固体，包括悬浮固体及溶解固体两部分。悬浮固体是指水中悬浮

水质分析项目

表 1-1

项 目	符 号	单 位	数 量
温度		°C	
色度①		度	
透明度②		厘米	
渾浊度		毫克/升	
总固体		毫克/升	
溶解固体		毫克/升	
固体残渣		毫克/升	
灼烧减量		毫克/升	
总硬度	H_o	毫克当量/升	
碳酸盐硬度	H_z	毫克当量/升	
非碳酸盐硬度	H_y	毫克当量/升	
负硬度		毫克当量/升	
钙硬度	HCa	毫克当量/升	
镁硬度	HMg	毫克当量/升	
甲基橙碱度	T	毫克当量/升	
酚酞碱度	P	毫克当量/升	
pH值			
溶解氧	O_2	毫克/升	
耗氧量		毫克/升	
游离 CO_2	CO_2	毫克/升	
钾	K	毫克/升	
钠	Na	毫克/升	
钙	Ca	毫克/升	
镁	Mg	毫克/升	
铅	Pb	毫克/升	
砷	As	毫克/升	
总铁	Fe	毫克/升	
锰	Mn	毫克/升	
氯离子	Cl	毫克/升	
重碳酸根	HCO_3	毫克/升	
碳酸根	CO_3	毫克/升	

续表

项 目	符 号	单 位	数 量
硝酸根	NO_3	毫克/升	
硫酸根	SO_4	毫克/升	
硅酸	H_2SiO_3	毫克/升	

①通常采用铂钴标准。

②需注明是铅字法或十字法。

用离子式表示的水质分析项目

表 1-2

阳 离 子	毫克/升	毫克当量 /升	毫克当量 %	阳离子	毫克/升	毫克当量 /升	毫克当量 %
$\text{K}^+ + \text{Na}^+$				HCO_3^-			
Ca^{++}				$\text{CO}_3^{=}$			
Mg^{++}				$\text{SO}_4^{=}$			
$\text{Fe}^{++} + \text{Fe}^{+++}$				Cl^-			
Mn				NO_3^-			
.....							
.....							
Σ				Σ			

注：有些微量元素如 Cu^{++} 、 Zn^{++} 、 F^- 等，未列在表 1-1、1-2 内，若原水中含有上述元素时，也应分析列入表内。

物质烘干后的重量；溶解固体是指水中溶解的盐类、有机物等烘干后的重量。在悬浮物极少的水中，其溶解固体与总含盐量近似。

测定水中的溶解固体值时，因水处于蒸发过程，使水的一部分碳酸盐分解（ HCO_3^- 变成 CO_2 逸出）、氧化物挥发和硫酸钙、镁烘干时形成结晶水化物等，造成测定的溶解固体值不能正确地反映水中的总含盐量。所以，在使用溶解固体的测定值估算总含盐量时，须予以校正。通常采用：总含盐量 $\approx$ 溶解固体的测定值 $+\frac{1}{2}\text{HCO}_3^-$ （毫克/升）。

2. 酸度

酸度，是指水中含有能与强碱（如 NaOH 、 KOH 等）起作用的物质

含量，即能与氢氧根离子相化合的物质含量。这类物质归纳起来包括以下三类：

- (1) 能全部离解为氢离子的强酸，如盐酸、硫酸、硝酸等；
- (2) 弱酸，如碳酸、硫化氢、醋酸等；
- (3) 强酸弱碱所组成的盐类，如铵、铁、铝等离子与强酸所组成的盐，这些盐类水解而成氢离子。

酸度的测定，是用一定浓度的强碱（如0.1N的NaOH溶液）滴定求得。滴定时，用甲基橙作指示剂所测得的酸度仅包括（1）、（3）两类强酸酸度。用酚酞作指示剂所测得的酸度叫作总酸度。

原水中除含有不同数量的游离碳酸外，一般不含强酸酸度。当有强酸酸度存在时，表示水已被污染。

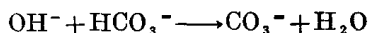
酸度可用来表示离子交换水处理过程中，经氢离子交换后的水质及游离碳酸的含量。

3. 碱度

碱度，是指水中含有能与强酸作用的物质含量，即能与氢离子相化合的物质含量。这类物质归纳起来包括以下三类：

- (1) 重碳酸盐碱度（ HCO_3^- ）；
- (2) 碳酸盐碱度（ CO_3^{2-} ）；
- (3) 氢氧化物碱度（ OH^- ）。

重碳酸盐碱度与氢氧化物碱度不能同时存在。因为二者在水中能起如下反应：



在测定碱度时，可用一定浓度的盐酸或硫酸标准溶液滴定求得。滴定时，用甲基橙指示剂测得的碱度叫作总碱度，又称甲基橙碱度；但用酚酞指示剂测得的碱度叫作酚酞碱度，是总碱度的一部分。

水中各类碱度与甲基橙碱度、酚酞碱度的相互关系见表1-3。

在很多情况下，水的碱度等于其碳酸盐硬度。若水分析结果总碱度大于总硬度时，说明水中有钾、钠的碱度存在。

4. 硬度

水的硬度分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度两大类。

- (1) 碳酸盐硬度

指水中钙、镁的重碳酸盐。水加热后，重碳酸盐分解为碳酸盐沉淀而析出。因此，又称为暂时硬度。

水中各类碱度的相互关系

表 1-3

M 和 P 之关系	水 中 各 类 碱 度 含 量		
	OH^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-
$P=M$	M	0	0
$M>2P$	0	$2P$	$M-2P$
$M<2P$	$2P-M$	$2(M-P)$	0
$M=2P$	0	M	0
$P=0$	0	0	M

注：表中 P —用酚酞作指示剂时，所用盐酸溶液的毫升数(HCl 为 $0.1N$)；
 M —用酚酞作指示剂滴定后，继续用甲基橙作指示剂时，所用盐酸溶液的毫升数(HCl 为 $0.1N$)。

(2) 非碳酸盐硬度

主要是指钙和镁的硫酸盐、硝酸盐和氯化物等所形成的硬度，一般水煮沸时不会析出，故又称永久硬度。

碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度之和叫作总硬度。

水中 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^-$ 时，说明水中有非碳酸盐硬度存在。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^-$ 时，说明水中没有非碳酸盐硬度，而有钾、钠碱度，即负硬度存在。

5. 水的氢离子浓度 (pH值)

水的电离度很小，在 22°C 时呈离子状态的氢离子浓度，即水的电离度仅为 0.00000018% ，其克分子量为：

$$[\text{H}^+] = \frac{1000}{18.016} \times \frac{0.00000018}{100} = 0.0000001 = 10^{-7}$$

式中 18.016——水的分子量。

水电离时，所产生的氢离子和氢氧根离子的数量相等。不含任何杂质的理论纯水：

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

用负对数形式表示，即

$$\text{pH} = \text{pOH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg[\text{OH}^-] = 7$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

因此，当 $\text{pH} < 7$ 时，表示水呈酸性反应；

$\text{pH} = 7$ 时，表示水呈中性反应；

$\text{pH} > 7$ 时，表示水呈碱性反应。

水的 pH 值与水的碱度和酸度在概念上是有区别的。酸度和碱度是指水中含酸、碱物质多少的指标； pH 值是指水中酸、碱强弱的指标。例如，往纯水中投加很小量的 NaOH ，则 pH 值急剧增加，而碱度等于其投加量；若改投 Na_2CO_3 ，则 pH 值增大较小，而碱度仍等于其投加量。

6. 有机物

水中的有机物种类繁多，目前尚无准确的直接测定方法，而且和有机物有关的几项指标，如色度、耗氧量、总固体残渣的灼烧减重，也皆不能准确地表示有机物的含量。

色度：有些有机物具有很高的色度，有些却很低，或完全没有颜色；而非有机物亦具有颜色。因此，色度不能反映有机物的含量。

耗氧量：氧化一升水中溶解性有机物所需的氧量，谓之耗氧量。通常用高锰酸钾测定。当水中含有还原物质（亚硝酸盐、二价铁盐、硫化氢等）时，还原物质亦与高锰酸钾起作用，因此确定有机物的耗氧量时，应减去还原物质对高锰酸钾的消耗量。

总固体残渣的灼烧减重：灼烧减重中，除有机物分解挥发外，还有碳酸盐、硝酸盐的分解，故一般灼烧减重大于有机物的含量。通常按下式估算有机物的含量：

$$\begin{aligned} \text{有机物} \approx \text{灼烧减重} - & \left[(30-8) \frac{\text{HCO}_3^-}{61} + (30-8) \frac{\text{CO}_3^{2-}}{30} \right. \\ & + (30-8) \frac{\text{OH}^-}{17} + (46-8) \frac{\text{NO}_2^-}{40} \\ & \left. + (62-8) \frac{\text{NO}_3^-}{62} \right] \quad (\text{毫克/升}) \end{aligned}$$

7. 碳酸的平衡

碳酸在水中一般呈三种形式存在：

(1) 游离碳酸

包括水中溶解的二氧化碳和它的水化物 H_2CO_3 。

(2) 碳酸盐碳酸

是指含于中性碳酸盐(如 CaCO_3 、 MgCO_3 等)中的二氧化碳。

(3) 重碳酸盐碳酸

是指含于重碳酸盐[如 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$]中的二氧化碳。

水中各种形式的碳酸相互的比例,取决于水的氢离子浓度,即pH值。pH值不同时,各种形式碳酸分子浓度的百分比见表1-4。

各种形式碳酸分子浓度的百分比(克分子%) 表 1-4

碳酸的形式	pH值							
	4	5	6	7	8	9	10	11
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$	99.7	97.0	76.7	24.99	3.22	0.32	0.02	—
HCO_3^-	0.3	3.0	23.3	74.98	96.70	95.84	71.43	20.00
CO_3^{2-}	—	—	—	0.03	0.08	3.84	28.55	80.00

水中碳酸平衡的特性,在工业用水处理中占很重要的地位。在用离子交换法对水质进行软化、除盐、稳定以及除铁、除锰等过程中,皆利用pH值不同时的碳酸平衡的特性,以选择合理的物理、化学处理方法。

8. 硅酸

天然水中,硅酸呈溶解状态和胶状硅酸两种形式。不同形式硅酸的比例与水的氢离子浓度即pH值有关。当 $\text{pH值} < 7$ 时,水中实际上只有不离解的硅酸; $\text{pH值} > 7$ 时,水中可能同时含有 H_2SiO_3 和 HSiO_3^- ; $\text{pH值} > 11$ 时,水中同时含有 HSiO_3^- 和 SiO_3^{2-} ,详见表1-5。

三、水质分析结果的校正

水质分析的结果,一般应进行校正。主要内容如下:

(一) 阴、阳离子毫克当量总数的校正

阴、阳离子毫克当量总数应该彼此相等。即