

给
水
排
水
设
计
手
册

5

水质处理与循环水冷却

中国建筑工程工业出版社

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
(限国内发行)

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
天津市第一印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 26 5/8 插页: 2 字数: 809千字

1974年11月第一版 1976年10月第二次印刷

印数: 36,621—61,820册 定价: 2.10元

统一书号: 15040·3091

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》包括藥劑軟化、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，也可供基層單位、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

湖南大學

上海市政工程設計院

北京市環境保護科學研究所

四川省給水排水設計院

重慶建築工程學院

冶金工業部北京有色冶金設計院

陝西省第一建築設計院

水利電力部西北電力設計院

冶金工業部瀋陽鋁鎂設計院

第一機械工業部第八設計院

第二機械工業部第二研究設計院

第四機械工業部第十設計院

國家建委建築科學研究院

甘肅省給水排水勘察設計院

吉林省給水排水勘察設計院

北京市市政設計院

北京電力局設計所

中南給水排水設計院

天津大學

四川省工業建築設計院

中南工業建築設計院

水利電力部西安熱工研究所

第一機械工業部洛陽設計院

第二機械工業部第七設計院

第七機械工業部第七設計院

交通部第三鐵路設計院

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）、冷却构筑物的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、螯剂除硅联合处理 | 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、螯剂 | 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 冷却池 | 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 $N = A' \lambda^m$, $\beta_{x_0} = Ag_k^m q^n$ 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^{2+} 、 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 | |
| 浑浊度 | | 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 ₂ SiO 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 % |
|-------------------------------------|------|------------|-----------|-------------------------------|------|------------|-----------|
| K ⁺ +Na ⁺ | | | | HCO ₃ ⁻ | | | |
| Ca ⁺⁺ | | | | CO ₃ ⁼ | | | |
| Mg ⁺⁺ | | | | SO ₄ ⁼ | | | |
| Fe ⁺⁺ +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（HCO₃⁻变成 CO₂ 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 ≈ 溶解固体的测定值 + $\frac{1}{2}$ HCO₃⁻（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。

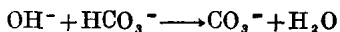
酸度可用来表示离子交换水处理过程中，经氢离子交换后的水质及游离碳酸的含量。

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 ⁼ | 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 $Ca^{2+} + Mg^{2+} > HCO_3^-$ 时，说明水中有非碳酸盐硬度存在。 $Ca^{2+} + Mg^{2+} < HCO_3^-$ 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：

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

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：

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

用负对数形式表示，即

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

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

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