

给水排水设计手册

第4册
工业给水处理
第二版

中国建筑工业出版社

给水排水设计手册

第 4 册

工业给水处理

第 二 版

华东建筑设计研究院有限公司 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

给水排水设计手册. 第4册, 工业给水处理/华东建筑设计研究院有限公司主编. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

ISBN 7-112-04147-3

I. 给… II. 华… III. ①给排水系统-设计-手册②工业用水-给水处理-设计-手册
IV. TU991-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 088755 号

本手册主要包括: 工业给水处理方法和水质分析、水质预处理、药剂软化、离子交换、膜分离、系统选择与站房设计、循环冷却水处理、循环水冷却设施、冷却构筑物计算、冷却构筑物的选择与布置以及附录等。可供给排水、环境保护专业设计人员和有关科研、基建、厂矿企业、施工管理技术人员使用以及大专院校有关师生参考。

* * *

责任编辑: 魏秉华

给水排水设计手册

第 4 册

工业给水处理

第二版

华东建筑设计研究院有限公司 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 36 插页: 1 字数: 895 千字

2002 年 4 月第二版 2002 年 4 月第三次印刷

印数: 61 951—65 950 册 定价: 51.00 元

ISBN 7-112-04147-3

TU·3266(9626)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

《给水排水设计手册》第二版编委会

主任委员：林选才 刘慈慰

副主任委员：（按姓氏笔划排序）

王素卿	李远义	曲际水	刘信荣	汪天翔	陈伟生
张 傑	沈德康	宗有嘉	杨奇观	钟淳昌	贾万新
栗元珍	熊易华	魏秉华			

编委：（按姓氏笔划排序）

马庆骥	马遵权	王江荣	王素卿	王德仁	方振远
冯旭东	左亚洲	许国栋	田钟荃	李远义	李金根
李炎林	曲际水	刘信荣	刘慈慰	汪天翔	汪洪秀
陈伟生	陈秀生	陈志斌	张中和	张 傑	苏 新
沈德康	印慧僧	杭世珺	宗有嘉	林选才	杨奇观
杨喜明	金善功	姚永宁	钟淳昌	贾万新	栗元珍
徐扬纲	戚盛豪	熊易华	戴毓麟	魏秉华	

《工业给水处理》第二版编写组

主 编：冯旭东

成 员：王华星 陈立宏 王学良 张澄信 赵凤娟
高從堦 任德谦 张维润 胡振华 戴毓麟
杨 琦 鲁海平 周来发 王洁如 王玉麟
梁葆春 冯旭东 谭 奕

主 审：戴毓麟

顾 问：胡 正 贾克欣

前 言

《给水排水设计手册》系由原城乡建设环境保护部设计局与中国建筑工业出版社共同组织各设计院主持编写。1986年出版以来深受广大读者欢迎,在给水排水工程勘察、设计、施工、管理、教学、科研等各个方面发挥了重要作用。为此,曾于1988年10月荣获全国科技优秀图书一等奖。

由于这套手册出版至今已有十余年,随着改革开放的日益深化,国民经济的飞速增长,国家建设事业的蓬勃发展,以及国外先进技术和设备的引进、消化,我国给水排水科学技术和设计水平取得了前所未有的发展。与此同时,有关给水排水工程的标准、规范进行了全面或局部的修订,并相应颁发了部分给水排水推荐性规范和规程,在深度和广度方面拓展了给水排水设计规范中新的内容。显然原设计手册已不能适应工程建设和设计工作的需要,亟需修改、补充和调整。为此,建设部勘察设计公司与中国建筑工业出版社及时组织和领导各主编单位进行《给水排水设计手册》第二版的修订工作。这次修订的原则是:以1986年版为基础,以现行国家标准、规范为依据,删去陈旧技术内容,补充新的设计工艺、设计技术、科研成果和先进的设备器材。修订后的手册将原11册增加《技术经济》一册,共12册,使手册在内容上更为丰富、在技术上更为先进,成为一部更切合设计需要的给水排水专业的大型工具书。

为了《给水排水设计手册》第二版修订工作的顺利进行,在编委会领导下,各册由主编单位负责具体修编工作。各册的主编单位为:第1册《常用资料》为中国市政工程西南设计研究院;第2册《建筑给水排水》为核工业第二研究设计院;第3册《城镇给水》为上海市政工程设计研究院;第4册《工业给水处理》为华东建筑设计研究院;第5册《城镇排水》、第6册《工业排水》为北京市市政工程设计研究总院;第7册《城镇防洪》为中国市政工程东北设计研究院;第8册《电气与自控》为中国市政工程中南设计研究院;第9册《专用机械》、第10册《技术经济》为上海市政工程设计研究院;第11册《常用设备》为中国市政工程西北设计研究院;第12册《器材与装置》为中国市政工程华北设计研究院。在各主编单位的大力支持下,修订编写任务获得圆满完成。在编写过程中,还得到了国内有关科研、设计、大专院校和企业界的大力支持与协助,在此一并致以衷心感谢。

《给水排水设计手册》编委会

编 者 的 话

水是关系到人类生存和社会发展的基本物质条件,是一种有限的、不可替代的宝贵资源,也是实现经济社会可持续发展的重要保证。我国人均水资源占有量约为 2400 多立方米,仅为世界人均水资源量的四分之一,属于缺水国家。合理使用我国有限的淡水资源和提高我国工业水处理的技术水平,是一项重要的工作。工业给水处理涉及的面较广,近年来新技术、新工艺、新材料发展也较快。《工业给水处理》第二版删除了第一版中的部分陈旧技术、淘汰产品、过时的规范与标准,补充了部分新近发展的技术与产品。

本手册分为水质处理与循环冷却水两大部分。水质处理部分内容包括水质分析、预处理、药剂软化、离子交换、膜分离、水处理系统和站房设计;循环冷却水部分内容包括循环冷却水处理、冷却构筑物分类、冷却构筑物计算、冷却构筑物的选择与布置。为了便于查阅,将部分常用设计数据和图表列于附录,供参考。

本手册采用目前国家所规定的法定计量单位。过去人们在工业给水处理中习惯使用的表示物质浓度的单位“当量/升”或“毫克当量/升”,本书均改为 mol/L 或 mmol/L ,并以基本单元定义。基本单元可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的某种特定组合。为了能利用广大科技人员十分熟悉的现有公式、图、表、曲线和数据等,物质浓度未注明基本单元,均指以一个分子或离子作为基本单元;对于二价离子则以其 $\frac{1}{2}$ 作为基本单元,对于三价离子则以其 $\frac{1}{3}$ 作为基本单元。

本手册在修订工作阶段,新版的《工业循环水冷却设计规范》尚未批准,我们参考了该规范的送审稿。为了与新规范相协调,并满足规范的有关要求,对原手册中与新规范不符之处进行了调整,根据新规范新增的内容进行了必要的补充。在修订工作中,不仅注意总结国内经验,而且借鉴了国外的经验,使修订后的手册内容更充实、新颖,更具有实用性。

本手册主编单位为上海现代建筑设计(集团)有限公司华东建筑设计研究院有限公司,由胡正、贾克欣任顾问,冯旭东任主编,戴毓麟任主审。各章节撰写人为:第 1 章王华星;第 2 章陈立宏;第 3 章王华星;第 4 章王学良、张澄信、赵凤娟;第 5 章高從增、任德谦、张维润、胡振华、戴毓麟、杨琦;第 6 章鲁海平、周末发、王洁如、王玉麟;第 7、8 章梁葆春、冯旭东;第 9、10 章谭奕。在本手册最后编写阶段,由王学良负责第 1~6 章的统稿工作,由谭奕负责第 7~10 章的统稿工作。编写过程中得到国家标准《工业循环水冷却设计规范》编写组李志悌,国家标准《工业循环冷却水处理设计规范》编写组薛树森、全国化工给排水设计技术中心站及韩玲,以及金久远、陈松梅、赵振国、王方、王大哲、沈鸿澧、齐冬子、朱伟德、黄家栩、胡三季、陈玉林、黄志明、徐祖根等的大力支持和帮助,并参考引用了有关规定、规范和文献等资料,谨此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,所收集的资料有一定的局限性,难免存在一些缺点和错误,敬希广大读者批评指正。

目 录

1 工业给水处理方法和水质分析

1.1 处理方法	1
1.2 原水水质分析	2
1.2.1 水质分析项目	2
1.2.2 分析项目含义	3
1.3 水质分析结果的校核	7
1.3.1 校核的主要内容	7
1.3.2 计算示例	9
1.4 水质分析资料的选用	11

2 水质预处理

2.1 对象及其目的	12
2.1.1 水中有害成分对后续水处理 装置的影响	12
2.1.2 各种水处理装置的进水水质 要求	14
2.2 预处理常用工艺手段和设备	15
2.2.1 氧化	15
2.2.2 混凝与接触混凝过滤	19
2.2.3 吸附	24
2.2.4 精密过滤	33
2.2.5 超过滤	37
2.2.6 杀菌	38
2.3 水中铁、锰成分及活性余氯的去除	41
2.3.1 水中铁、锰成分的去除	41
2.3.2 水中活性余氯的去除	42
2.4 预处理的常用系统及选择	42

3 药剂软化

3.1 药剂软化方法及其运用	44
----------------------	----

3.1.1 石灰软化法	44
3.1.2 平衡图解法	48
3.1.3 石灰、凝聚剂、镁剂除硅系统	51
3.1.4 石灰-纯碱软化法	54
3.1.5 其他处理方法	56
3.2 药剂的制备与投加	59
3.2.1 石灰乳的制备与投加	59
3.2.2 其他药剂的制备与投加	61
3.3 药剂软化设备	63
3.3.1 混合、反应设备	63
3.3.2 澄清设备	63
3.3.3 过滤设备	64

4 离子交换

4.1 离子交换技术在水处理中的应用	65
4.1.1 离子交换水质软化	65
4.1.2 离子交换水质除盐	66
4.1.3 离子交换水处理的适用范围	67
4.1.4 离子交换单元装置分类及 适用范围	67
4.2 离子交换剂	68
4.2.1 分类	68
4.2.2 有机合成离子交换树脂的 命名	69
4.2.3 离子交换树脂产品技术参数	70
4.2.4 离子交换树脂物理性能	70
4.2.5 离子交换树脂化学性能	73
4.2.6 离子交换树脂水力学特性	76

4.2.7 离子交换树脂工艺性能	77	5.3.1 渗透和反渗透	205
4.2.8 离子交换树脂再生	106	5.3.2 反渗透膜	205
4.2.9 离子交换树脂鉴别、使用和存 贮	110	5.3.3 反渗透装置	208
4.2.10 离子交换树脂变质、污染及 污染复苏方法	112	5.3.4 反渗透工艺参数	214
4.2.11 离子交换树脂的选用	115	5.3.5 反渗透处理工艺流程及设计 计算	216
4.3 固定床	116	5.3.6 反渗透运行与维护	233
4.3.1 逆流再生固定床	116	5.4 纳滤	237
4.3.2 顺流再生固定床	124	5.4.1 特点	237
4.3.3 双层床	126	5.4.2 纳滤膜	237
4.3.4 浮动床	129	5.4.3 纳滤组器技术性能	239
4.3.5 混合离子交换装置	139	5.4.4 纳滤系统工艺设计及计算	240
4.4 移动床、流动床	151	5.4.5 纳滤系统的运行管理及 清洗再生	243
4.5 脱气装置	153	5.4.6 纳滤在工业给排水中的应 用	243
4.5.1 作用与分类	153	5.5 超滤	244
4.5.2 鼓风填料式除碳器	153	5.5.1 概述	244
4.5.3 真空除气器	159	5.5.2 分离的特性	244
4.5.4 工艺计算实例	164	5.5.3 装置	244
4.6 再生系统	166	5.5.4 影响超滤过程的因素	249
4.6.1 单元设备	167	5.5.5 工艺流程及设计计算	252
4.6.2 常用系统	171	5.6 微孔滤膜过滤	255
5 膜分离		5.6.1 原理及特性	255
5.1 膜分离和膜分离法分类及其 技术特点	174	5.6.2 微孔滤膜	256
5.1.1 膜分离和膜分离法分类	174	5.6.3 微孔滤膜过滤器	258
5.1.2 膜分离技术特点	174	5.6.4 微孔过滤的设计中应注意的 问题	259
5.2 电渗析	178	6 系统选择与站房设计	
5.2.1 电渗析过程	178	6.1 软化水处理	260
5.2.2 离子交换膜	179	6.1.1 软化水进水水质要求、出水 质量	260
5.2.3 电渗析装置	180	6.1.2 软化水系统选择	261
5.2.4 电渗析运行工艺参数	186	6.1.3 常用钠离子交换系统	263
5.2.5 电渗析水处理工艺及设计 计算	191	6.1.4 常用氢-钠离子交换系统	265
5.2.6 电渗析器运行与维护	198	6.1.5 其他软化脱碱系统	271
5.2.7 频繁倒极电渗析装置	201	6.1.6 软化水系统工艺计算	274
5.2.8 填充床电渗析装置	203	6.1.7 软化水处理站房设计实例	274
5.3 反渗透	205		

6.2 除盐水处理	278
6.2.1 离子交换常用除盐系统	278
6.2.2 离子交换树脂的化学再生	282
6.2.3 反渗透-离子交换除盐系统	283
6.2.4 电渗析-离子交换除盐系统	289
6.2.5 除盐水系统选择与工艺计算	290
6.3 纯水(高纯水)制取	301
6.3.1 部分行业用纯水水质指标	302
6.3.2 高(超)纯水系统介绍	311
6.3.3 系统设计	320
6.3.4 几种典型高纯水系统分析及 工程实例简介	325
6.3.5 后处理系统的清洗	333
6.4 除盐水系统的运行监测及控制	334
6.5 水处理站房布置与防腐蚀	340
6.5.1 站房布置原则	340
6.5.2 设备及土建设施的防腐蚀	344

7 循环冷却水处理

7.1 循环冷却水处理任务	345
7.2 基础资料收集	346
7.2.1 设计基础资料	346
7.2.2 运行过程中水质变化	348
7.2.3 水质判断	350
7.3 循环冷却水处理	356
7.3.1 循环冷却水水质指标和处理 方法	356
7.3.2 结垢控制	358
7.3.3 腐蚀控制	369
7.3.4 阻垢、缓蚀剂复合配方	381
7.3.5 微生物控制	384
7.3.6 水处理剂产品分类和命名	396
7.3.7 水处理剂的投加量计算	396
7.3.8 冷却水系统的清洗、预膜	398
7.3.9 低磷酸盐的运行	404
7.4 补充水、旁流水和排污水的处理	

7.4.1 补充水处理	405
7.4.2 旁流水处理	406
7.4.3 排污水处理	407
7.5 运行监测	408
7.5.1 监测方法	408
7.5.2 化验室设置原则	414
7.6 药剂的贮存和投加	414

8 循环水冷却设施

8.1 分类	417
8.2 冷却塔	417
8.2.1 分类与组成	417
8.2.2 淋水填料	421
8.2.3 配水系统	429
8.2.4 通风设备	439
8.2.5 空气分配装置	447
8.2.6 通风筒	449
8.2.7 除水器	450
8.2.8 塔体	452
8.2.9 集水池	453
8.2.10 防冻措施	454
8.2.11 降噪措施	454
8.3 喷水池	455
8.3.1 喷嘴	456
8.3.2 配水管道和水池	457
8.4 水面冷却	458
8.4.1 影响水面冷却的因素	458
8.4.2 冷却池	458
8.4.3 河道冷却	461
8.4.4 海湾冷却	462

9 冷却构筑物计算

9.1 冷却构筑物热力计算基础	463
9.1.1 循环水冷却散热过程	463
9.1.2 湿空气的性质	463
9.1.3 蒸发量和散热量	465
9.2 基础资料	467

9.2.1 计算基础资料	467
9.2.2 气象参数	467
9.2.3 淋水填料的试验资料	469
9.2.4 湿热空气回流、干扰对冷却 效果的影响	471
9.3 冷却池	472
9.3.1 天然冷却池	472
9.3.2 喷水冷却池	473
9.4 冷却塔	476
9.4.1 通风阻力计算	476
9.4.2 配水系统水力计算	483
9.4.3 热力计算	490
9.5 冷却构筑物水量损失	512
9.5.1 冷却塔水量损失	512
9.5.2 冷却池水量损失	513

10 冷却构筑物选择与布置

10.1 冷却构筑物选择	515
10.1.1 选择冷却构筑物时需考虑的主 要因素	515
10.1.2 各种冷却构筑物优缺点、适用条 件及比较	515
10.1.3 冷却塔塔型选择	516

10.1.4 一般技术指标	517
10.2 冷却塔计算机选型	518
10.3 冷却构筑物平面布置	520
10.4 冷却塔产品选用与性能测定	521
10.4.1 选用原则	521
10.4.2 测试项目	521

附 录

附录 1 水的电阻率计算	522
附录 2 淋水填料热力特性资料	527
附录 3 淋水填料阻力特性资料	538
附录 4 饱和水蒸气压力	544
附录 5 空气相对湿度计算图	545
附录 6 湿空气密度计算图	545
附录 7 空气含热量计算图	546
附录 8 空气含湿量曲线图	546
附录 9 大气压为 103.99~86.66kPa (780~650mmHg) 时不同温度 区间的 a 、 b 、 c 系数	547
附录 10 饱和空气含热值	557
附录 11 各地温度统计	561
主要参考文献	563

1 工业给水处理方法和水质分析

1.1 处 理 方 法

天然水中含有多多种杂质,按颗粒大小分为以下三类:

(1) 悬浮物质:指悬浮于水中的物质(颗粒直径在 10^{-4} mm 以上)。其中相对密度大于 1 的,如泥土、砂的微粒等;相对密度小于 1 的,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,颗粒直径在 $10^{-9} \sim 10^{-5}$ mm。如硅、铁、铝的化合物及一些高分子有机物如腐殖质等。也有一些在此粒径范围内的细菌、病毒等。

(3) 溶解物质:指为水所溶解的、呈分子或离子状态的溶质或气体。如氯化物、硫酸盐、重金属离子及氧、二氧化碳等。

悬浮物质和胶体物质是使天然水产生浑浊的主要因素。

自来水的常规处理工艺过程中,主要是去除悬浮物、胶体物、消毒等,很难去除溶解的有机物等有害物质。城市给水处理以满足生活饮用水标准为目标,而工业给水处理则根据工业生产工艺、产品质量、设备材料等对水质的要求来决定处理工艺。由于各种工业产品生产的工艺要求不同,对水质的要求差异极大。对于水质要求不高于生活饮用水标准的场合,采用城市给水处理工艺(混凝、沉淀或澄清、过滤等)。而当生活饮用水水质不能满足生产工艺要求时,就需要对水作进一步处理(如软化、除盐和制取纯水、循环冷却水的处理和水质稳定处理等),这正是本册着重讨论的范围。

工业给水处理工艺,大体分为以下几种:

(1) 软化:指用化学的方法降低或去除水中的钙、镁离子,降低水的硬度。软化后水的剩余硬度与软化方法有关,一般在 $0.05 \sim 0.80$ mmol/L 之间。软化方法通常分为药剂软化法和离子交换法两种。

(2) 除盐(包括一级除盐和二级除盐):是采用物理、化学(包括电化学)的方法,以去除水中无机盐类为主要目的。在除盐的过程中亦除去了部分机械杂质和有机物质,获得电导率为 $10 \sim 0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 的除盐水。除盐的方法通常有蒸馏、膜分离、离子交换,或将这些方法综合应用。

(3) 纯水(高纯水、超纯水)制取:是采用物理、化学的方法,对经过除盐以后的出水再进一步处理,使水的电导率小于 $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$,并达到金属元素、有机物、微粒含量、细菌等多项指标要求。水质指标接近理论纯水的亦称为“超纯水”。纯水制取通常采用离子交换、灭菌、膜分离等方法。

(4) 水质稳定处理:主要采用物理和化学的方法。如用加酸、阻垢剂、缓蚀剂和杀生剂

等,对冷却水作控制沉积物、腐蚀和微生物生长的全面处理

(5) 冷却循环水处理:是应用物理的方法,降低工业用水在使用过程中增加的热量,供循环使用

1.2 原水水质分析

1.2.1 水质分析项目

原水成分是确定适宜的水处理工艺、选择合理的水质处理流程、采用适当的化学药剂及其剂量、进行水处理设备计算的重要基础资料。不同用途的水,要求的水质分析项目也不相同,所确定的指标也有很大的差异。原水水质分析项目及格式,一般如表 1-1 所示,也可以综合成其他格式或按需要另行确定分析项目和格式。

水质分析项目

表 1-1

项 目	符 号	单 位	数 值	项 目	符 号	单 位	数 值
温度		℃		铵	NH_4^+	mg/L	
pH 值				钾	K^+	mg/L	
色度①		度		钠	Na^+	mg/L	
臭和味				钙	Ca^{2+}	mg/L	
浊度②		度		镁	Mg^{2+}	mg/L	
悬浮固体	XG	mg/L		总铁	$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	mg/L	
溶解固体	RG	mg/L		锰	Mn^{2+}	mg/L	
总固体	QG	mg/L		氨氮	$\text{NH}_3 - \text{N}$	mg/L	
固体残渣	SC	mg/L		重碳酸根	HCO_3^-	mg/L	
灼烧减量	SG	mg/L		碳酸根	CO_3^{2-}	mg/L	
碳酸盐硬度	H_2	mmol/L		硫酸根	SO_4^{2-}	mg/L	
非碳酸盐硬度	H_Y	mmol/L		硝酸根	NO_3^-	mg/L	
总硬度	H_0	mmol/L		亚硝酸根	NO_2^-	mg/L	
负硬度		mmol/L		磷酸根	PO_4^{3-}	mg/L	
钙硬度	H_{Ca}	mmol/L		氯根	Cl^-	mg/L	
镁硬度	H_{Mg}	mmol/L		硫化物	S^{2-}	mg/L	
甲基橙碱度		mmol/L		二氧化硅③	SiO_2	mg/L	
酚酞碱度		mmol/L		油和脂		mg/L	
酸度		mmol/L		耗氧量	(COD)	(O)mg/L	
溶解氧	O_2	mg/L		电导率④	K	$\mu\text{S}/\text{cm}$	
游离 CO_2	CO_2	mg/L		淤塞密度指数	SDI(FI)		
余氯	Cl_2	mg/L		总有机碳	TOC	C mg/L	

① 采用铂钴标准比色法。

② 需注明测定方法。

③ 过滤水样中的全硅含量。

④ 电导率和电阻率成倒数关系。

注:分析报告需注明分析结果是如何计算的,如硬度需注明以 $\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}$ 计还是以 $\frac{1}{2} \text{CaO}$ 或 $\frac{1}{2} \text{CaCO}_3$ 计。

1.2.2 分析项目含义

(1) 含盐量和总固体:

1) 含盐量:水中的盐类一般指离解为离子状态的溶解固体,其阴、阳离子含量的总和称为含盐量。水的电导率与含盐量有关。

2) 总固体是指水在一定温度下蒸发,烘干后剩留在器皿中的物质重量,包括悬浮固体(即截留在滤器上的全部残渣)和溶解固体(即通过滤器的全部残渣)。

水样中的物质由于在分析过程中受烘干温度和时间等条件的影响,使某些有机物挥发或吸着水、结晶水的变化,或者加热分解的物质(如重碳酸盐)以及气体逸失等造成减重,也有由于氧化而增重。所以不要认为悬浮物和溶解性蒸发残渣的测定值就直接表示了水样中悬浮固体的总量和溶解固体的总量。因此,在用溶解固体的测定值估算含盐量时需注意校核。

(2) 酸度:是指水中含有能与强碱(如 NaOH、KOH 等)起作用的酸性物质的含量。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、醋酸等有机酸等。

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,这些盐类水解产生氢离子。

酸度的测定,是用一定浓度的强碱(如 0.1mol/L 的 NaOH 标准溶液)滴定求得。滴定时,用甲基橙作指示剂所测得的酸度(指示终点 $\text{pH}=3.7$)仅包括 1)、3)两类强酸酸度。用酚酞作指示剂(指示终点 $\text{pH}=8.3$)所测得的酸度称为总酸度。

(3) 碱度:是指水中含有能与强酸(如 0.1mol/L 的 HCl 标准溶液)作用的碱性物质的含量,碱度指标常用于评价水体的缓冲能力及金属在其中的溶解性和毒性。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^-)。

碱度的测定值因滴定终点 pH 值不同而有很大的差异。滴定时,用甲基橙作指示剂(指示终点 $\text{pH}=4.4\sim 4.5$)测得的碱度称为甲基橙碱度,又称总碱度;用酚酞作指示剂(指示终点 $\text{pH}=8.3$)测得的碱度称为酚酞碱度,是总碱度的一部分。

一般天然水的碱度只有 HCO_3^- ,即水的碱度等于其碳酸盐硬度。当水中含有硼酸盐、磷酸盐或硅酸盐等时,则总碱度的测定值也包括它们所起的作用。但天然水中它们含量极微,可略而不计。

水中各类碱度的相互关系

表 1-2

M 和 P 之关系	水中各类碱度含量		
	OH	CO_3^{2-}	HCO_3^-
$P=A$ 或 $M=0$	$P=A$	0	0
$A>2P$	0	2P	$A-2P$

续表

M 和 P 之关系	水中各类碱度含量		
	OH	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
$A < 2P$	$2P - A$	$2M = 2(A - P)$	0
$A = 2P$ (即 $P = M$)	0	$A - 2P = 2M$	0
$P = 0$	0	0	$A = M$

注：表中 P—用酚酞作指示剂时，所用盐酸溶液的毫升数(HCl 为 0.1mol/L)；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 0.1mol/L)；盐酸标准溶液总消耗量为 $A = M + P$

(4) 硬度：水的硬度分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度两类，二者之和称为总硬度(H_0)。

1) 碳酸盐硬度(H_2)：指水中钙、镁离子与重碳酸根所组成的盐。由于水受热后，重碳酸盐分解为碳酸盐，溶解度降低后生成沉淀而析出。因此又称为暂时硬度。

2) 非碳酸盐硬度(H_Y)：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。因水在常压下加热至沸腾，它们不会生成沉淀，故又称永久硬度。

硬度按其存在的离子，又分为钙硬度(H_{Ca})和镁硬度(H_{Mg})。

此外还有称之为负硬度的概念，它是水样中碱度与硬度的差值，是水中存在碱金属(如钾、钠)的碳酸盐、重碳酸盐及氢氧化物所形成的，负硬度和非碳酸盐硬度不会共存于水中。

硬度和碱度的关系

表 1-3

	H_2	H_Y	负 硬 度
$H_0 > A$	A	$H_0 - A$	0
$H_0 < A$	H_0	0	$A - H_0$
$H_0 = A$	H_0	0	0

注：1. 表中 A 代表碱度。

2. 本手册中未注明的碳酸盐硬度均以 $\frac{1}{2} \text{CaCO}_3$ 计。

(5) pH 值：pH 值是指每升水中氢离子浓度的负对数，即 $-\lg[H^+]$ 。由实验测得，在 24℃ 时纯水中 H^+ 离子浓度和 OH^- 离子浓度均等于 $10^{-7} \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，即 $\text{pH} = \text{pOH} = -\lg[10^{-7}] = 7$ 。因此，当 $\text{pH} < 7$ 时，表示溶液呈酸性；当 $\text{pH} = 7$ 时，表示溶液呈中性；当 $\text{pH} > 7$ 时，表示溶液呈碱性。

水的 pH 值与水的酸度、碱度在概念上是有区别的。酸度和碱度是水中含酸性类或碱性类物质多少的指标；而 pH 值则是水呈酸碱性强弱的指标。

(6) 电导率：电导率是以数字表示溶液传导电流的能力。纯水电导率很小，当水中含无机酸、碱或盐时，溶液的电导率升高。电导率常用于间接推测水中金属离子成分的总浓度。水溶液的电导率取决于离子的性质和浓度、溶液的温度和粘度。温度每升高 1℃，电导率增加约 2%~2.5%，通常规定 25℃ 为测定电导率的标准温度。

电导率与电阻率互为倒数。水的电阻率是指在特定温度下，间隔 1cm，有效面积 1cm^2 的一对电极置入水溶液中所测得的电阻值。单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。水的电阻率值与溶液中的离子的种类、浓度、水温及测量方法等有关，纯水电阻率与温度的关系见图 1-1。在一定条件下，

电阻率值可以反映水中总电解质的量。

电导率的标准单位是 S/m (即西门子/米)。一般实际使用单位为 $\mu S/cm$ 。

(7) 浊度: ISO 国际标准将浊度定义为由于不溶性物质的存在而引起液体透明度的降低。根据测试所使用的浊度标准液的不同, 所得的浊度数值及单位不同。若以硅藻土或高岭土作浊度标准液, 用杰克逊蜡烛浊度计测得的浊度称为杰克逊浊度单位, 以 JTU 表示; 以甲腊作浊度标准液, 用散射光浊度仪测得的浊度, 以 NTU 表示; 采用透射光浊度仪测得的结果则用 FTU 表示。由于采用两种不同的浊度标准液和三种测试仪, 所测得的三种结果不存在物理学上的等量关系。但根据实测比较, 1JTU 与 1NTU 的数值基本接近。由于 NTU 浊度采用化学试剂在严格控制条件下制成标准液, 浊度测试结果的重现性较 FTU 为好, 现在国际、国内通用。

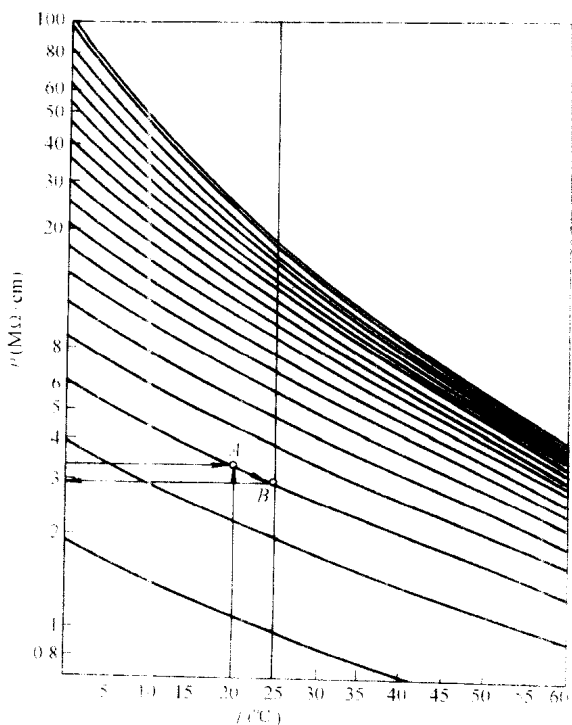


图 1-1 纯水电阻率与温度的关系

(8) 淤塞密度指数 SDI (与污染指数 FI 等同): SDI 是测定在标准压力和标准时间间隔内, 一定体积水样通过一特定微孔膜滤器的阻塞率。它表征水中胶体物和悬浮物含量的多少。与浊度相比, 它是从不同的角度来表示水质, 但是 SDI 要比浊度准确、可靠得多。浊度仪的工作原理是用分光光度法或目视比浊法来确定水中微粒杂质的含量, 但对于不感光的一些胶体微粒就测不出来了。微孔滤膜的孔径为 $0.45\mu m$, 凡大于 $0.45\mu m$ 的胶体、细菌与其他微粒皆截留在膜面上, 所示数据重现性好, 并有可靠的可比性。

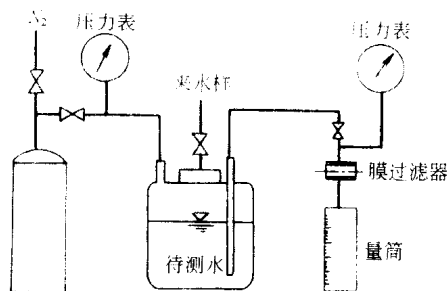


图 1-2 SDI 值测定装置示意

使用淤塞密度指数测定仪 (也称污染指数测定仪) 来测定 SDI (FI), 图 1-2 即为该测定仪工作原理示意。承压罐内采用孔径 $0.45\mu m$ 直径 $47mm$ 的微孔滤膜。在测试系统中通入氮气, 保持在恒压 $0.21MPa$ 下过滤水样, 记录初始滤出 $500mL$ 所需时间 t_0 , 保持继续滤水, 待 $10min$ (含 t_0) 以后, 再继续滤出 $500mL$ 水样的时间为 t_{10} , 用下式计算 SDI (FI):

$$SDI(FI) = \left(1 - \frac{t_0}{t_{10}}\right) \times \frac{100}{10}$$

(9) 有机物种类繁多, 在天然水中的组成成分千变万化, 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, 如耗氧量、总固体残渣的灼烧减重、总有机碳等, 皆不能准确地表示有机物的含量及其组分。

1) 耗氧量:又分为化学需氧量(COD)和生化需氧量(BOD)两种。化学需氧量是指 1L 水中所含还原性物质在给定条件下被强氧化剂氧化时所消耗氧的 mg 数,它是指示水体中还原性污染物的主要指标。还原性污染物包括有机物和无机物(如有机物、亚硝酸盐、亚铁盐、硫化物等)。测定方法有重铬酸钾法(COD_{Cr})和酸性高锰酸钾法(COD_{Mn})两种。重铬酸钾法多用于对工业废水的测定。对于天然水体,多采用酸性高锰酸钾法。本手册未注明处,均指 COD_{Mn} 值(以 O_2 计)。

生化需氧量是指水样在好氧微生物的作用下,生物氧化分解有机物所消耗的水中溶解氧的量,以 mg/L 表示。目前国内外普遍采用 20°C 5d 培养时间所消耗的氧作为指标,称为 BOD_5 。

2) 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总含量。

3) 总有机碳(TOC):是以碳的含量表示水体中有机物质总量的综合指标。由于 TOC 的测定采用燃烧法,能将有机物全部氧化,它比耗氧量更能直接表示有机物的总量,因此常被用来评价水体中有机物污染的程度。但同样不能表明水中有机物的组分。

4) 紫外线吸收光谱法:紫外线吸收光谱法是对在紫外区(一般为 $200\text{nm} \sim 1000\text{nm}$) 范围有吸收峰的物质鉴定和结构分析。但是有机化合物在紫外光谱区段中有些没有吸收谱带,有些仅有较简单而宽阔的吸收光谱。另一方面,如果物质组成的变化不影响生色团及助色团,就不会显著地影响其吸收光谱。因此物质的紫外吸收光谱基本上是其分子中生色团及助色团的特性,而不是它的整个分子的特性。所以,单独从紫外光谱不能完全决定物质的分子结构,还必须与红外吸收光谱、核磁共振波谱、质谱以及其他化学和物理化学的方法共同配合起来,才能得出可靠的结论。

(10) 碳酸的平衡:碳酸在水中一般以三种形态存在:

1) 游离碳酸:即分子状的碳酸,包括水中溶解的二氧化碳和未离解的 H_2CO_3 分子。

2) 碳酸盐类:即碳酸根离子 CO_3^{2-} 。

3) 重碳酸盐类:即重碳酸根离子 HCO_3^- 。

水中的碳酸平衡与 pH 值密切相关。pH 值不同时,水中各种形态碳酸含量的相对比例值的变化曲线见图 1-3;碳酸含量的相对比例值见表 1-4。

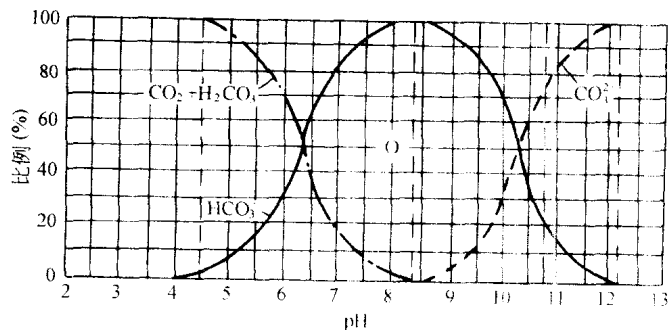


图 1-3 三类碳酸的比例变化曲线