

水处理设施设计计算丛书

# 工业用水

## 处理设施设计计算

● 崔玉川 李思敏 李福勤 编



化学工业出版社

水处理设施设计计算丛书

# 工业用水处理设施设计计算

崔玉川 李思敏 李福勤 编



化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

工业用水处理设施设计计算/崔玉川,李思敏,李福勤编. 北京:化学工业出版社,2003.6  
(水处理设施设计计算丛书)  
ISBN 7-5025-4453-4

I. 工… II. ①崔…②李…③李… III. 工业用水-水处理设施-设计计算 IV. TU991.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第034314号

---

水处理设施设计计算丛书  
**工业用水处理设施设计计算**  
崔玉川 李思敏 李福勤 编  
责任编辑:郭乃铎 王蔚霞  
文字编辑:邹宁  
责任校对:李林  
封面设计:于兵

\*  
化学工业出版社出版发行  
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)  
发行电话:(010) 64982530  
<http://www.cip.com.cn>

\*  
新华书店北京发行所经销  
北京管庄永胜印刷厂印刷  
三河市东柳装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 13 $\frac{1}{4}$  插页 1 字数 349 千字  
2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5025-4453-4/X·290  
定 价: 28.00 元

---

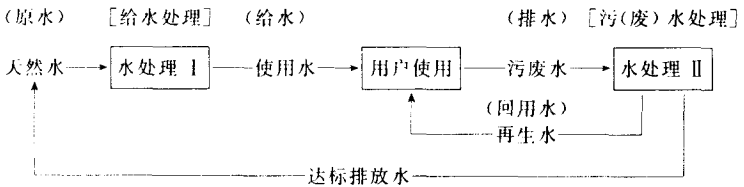
**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# — 序 —

随着我国社会主义现代化建设的深入进行、城市化进程的加快以及人民生活水平的不断提高，不仅用水量将迅速增加，而且对水质的要求也会越来越高。

从水质角度考虑，人类社会上的水大致可分为三大类，即天然水（地表水与地下水）、使用水（生活与生产用水）和污废水（生活与生产使用过的水）。水处理则是这三种水质类型转化的重要手段，从而构成了水的社会循环，这种关系可如下图所示。



水处理是对水质成分的变革，亦即采用各种必要的物理、化学或生物学的工艺技术，将水中的污染物质分离出去，使水质达到所要求水质标准的一种加工净化过程。按照原水水质性质类别的不同，水处理通常分为给水处理和污（废）水处理两大类。近些年来，由于天然水源水质不断污染以及污水资源化的逐步实施，使原来两类水处理工艺技术的隶属关系正在模糊，从而也使两类水处理技术的界限日渐淡化。

水处理工艺是由若干不同功能的水处理工序和输配水联络管渠所组成。每个处理工序都有一种主要处理构筑物或设备。水处理技术的不断发展，使同一功能处理设施的类型在不断增多。在水处理工艺流程及其处理构筑物（设备）类型确定后，水处理工艺的设计计算任务主要是确定有关构筑物（设备）及管渠的几何尺寸和数量，以及附属装置、材料和药品等的规格及用量，从而为水处理厂（站）的布置等提供依据。因此，每个单元处理设施（构筑物或设备）的设计计算，不单是各处理工序的重要计算内容，也是整个水

处理工艺和水处理厂(站)的设计计算基础。

进行《水处理设施设计计算丛书》的整体设计时着眼于全局,内容较为完善,基本涵盖了各类水处理主要单元设施的重要设计计算课题。《丛书》由如下分册组成:

1. 《给水厂处理设施设计计算》(含计算例题 85 个)
2. 《工业用水处理设施设计计算》(含计算例题 100 个)
3. 《纯净水与矿泉水处理工艺及设施设计计算》(含计算例题 37 个)
4. 《城市污水厂处理设施设计计算》(含计算例题 90 个)
5. 《城市污水回用深度处理设施设计计算》(含计算例题 95 个)

本《丛书》重在突出实用性。撰写中均以设计计算为主,通过例题形式对各种水处理基本单元设施设计计算的内容、步骤、方法和要求,进行具体深入的介绍。例题大部分源于实际工程设计计算,作者在大量收集实例的基础上,从中筛选出最具代表性的典型实例,继再加以整理、精辟分析而成文。例题计算过程中所需的公式、插图和表格,在演绎计算过程的同时加以引用和简要说明。计算例题的表述形式一般分为“已知条件”和“设计计算”两大部分。对某些新型水处理设施或暂无法规性设计文件的设施,在进行具体计算之前,于“设计概述”中先行简要介绍其构造组成、工艺原理和主要设计参数等,以方便读者不必再到它处进行查找。

本《丛书》除可作为水处理设施设计计算的实用性参考书之外,还可作为设计人员的入门读物。读者只要仿照例题的模式即可完成主要的设计计算,对年轻工程技术人员和大专院校的高年级学生,亦甚实用。

21世纪是全球经济一体化、各个国家竞相发展壮大的大好时机,但同时也显现出淡水资源日益匮乏,乃至呈现水荒的危机状态。在一定程度上,“水”已经成为制约国家经济发展、关系城市建设迫在眉睫的重大问题。本《丛书》的诸位作者力求通过自己的工作,在水处理这一水质类型转化的课题上起到一点推动作用,倘能如此,实感欣慰。

2003年1月于太原

## — 前 言 —

水是工业生产的重要物质条件，在工业产品生产过程中，水不仅可作为电子、化工、轻纺等工业的清洗剂和溶解剂，以及冶金、电力、石油等工业降低温度的冷却介质，同时也是食品、医药等的添加剂和组成成分。水作为工业原料、工艺用水、冷却用水、锅炉用水、洗涤用水、输送用水等，其质量直接影响着产品的质量和成品率。因此，各行业对所用水的水质成分和水温都有不同的严格限制。例如，低压蒸汽锅炉的给水总硬度 $\leq 0.03\text{mmol/L}$ ，火力发电厂的中高压锅炉给水的电导率 $\leq 0.3\mu\text{S/cm}$ ，电子工业用超纯水的电阻率 $> 1000 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。作为一般工业企业主要水源的自来水，从外观上看虽然已相当清净，但由于它可能还含某些溶解性杂质，所以必须进行水质纯化的再处理，才能达到某些工业使用的水质标准。

本书的重点是以计算例题的形式，具体介绍工业用水处理设施（设备、装置、构筑物）设计计算的内容、方法和步骤。本书分为水质处理和循环水冷却两大部分：水质处理是指将达到生活饮用水水质标准的水，再进一步深化处理，以满足工业生产水质的要求，内容主要是水的软化和除盐的各种工艺设施（如离子交换、电渗析、反渗透、电去离子等）的设计计算；循环水冷却包括循环冷却水水质处理（水质稳定）和冷却构筑物（冷却池、湿式冷却塔、火电厂空冷系统）的设计计算。全书共编写有关处理设施设计计算例题100个，其中不少是根据实际生产设计资料加工整理而成。另外，在最后一章还对低压锅炉给水的炉内水处理和除气的单元处理设施以及处理流程的系统设施进行了例题计算。本书可供给水排水、电厂化学、环境工程及工业锅炉水处理等专业的工程设计人员

及大专院校师生参考使用。

本书由崔玉川主编，各章的编写执笔人为：第一章崔玉川、李思敏；第二章李福勤；第三章、第四章李思敏；第五章崔玉川、李福勤。全书由崔玉川统稿。

由于我们的水平有限，书中的错误和不足之处在所难免，诚望读者批评指正。

**编者**

**2003年1月**

## 内 容 提 要

本书通过设计计算例题的形式，具体介绍了工业用水处理构筑物和设备的主要设计计算内容、方法和要求。例题内容包括：水的软化、除盐（离子交换法、电渗析法、反渗透法、电去离子法等）和除气，循环冷却水的水质处理和冷却构筑物（喷水冷却池、湿式冷却塔、发电厂空冷系统）等单元处理设施的工艺设计计算，例题共计 100 个。

本书可供给水排水、电厂化学、环境工程及工业锅炉水处理等专业的工程技术人员和大专院校师生使用参考。



# 水处理设施设计计算丛书编委会

主 任 崔玉川

副主任 杨崇豪 张绍怡

委 员 (按姓氏笔画排序):

安沁生 李思敏 李福勤 员 建

张东伟 陈宏平 郜宏漪 管 满

# — 目 录 —

第一章 软化装置 .....	1
第一节 离子交换软化法 .....	2
一、离子交换软化系统与装置 .....	2
例 1-1 离子交换剂用量计算 .....	6
二、钠离子交换系统 .....	6
(一) 一级钠离子交换软化系统概述 .....	6
例 1-2 一级钠离子交换软化系统的计算 .....	7
例 1-3 钠离子交换器计算 .....	9
例 1-4 固定床顺流再生单级钠离子交换系统计算 .....	10
(二) 部分钠离子交换法概述 .....	12
例 1-5 部分钠离子交换系统水量计算 .....	12
例 1-6 钠型双塔式单周期移动床计算 .....	13
三、氢离子交换系统 .....	17
例 1-7 弱酸性氢离子交换系统计算 .....	17
例 1-8 氢离子交换器计算 .....	23
四、选择离子交换器 .....	24
例 1-9 交换器的选择计算 .....	24
五、氢-钠组合离子交换系统 .....	26
(一) 氢-钠并联离子交换系统概述 .....	26
例 1-10 氢-钠并联离子交换系统计算 .....	27
例 1-11 氢-钠并联离子交换系统的水量比及 $\text{CO}_2$ 产生量 计算 .....	32
(二) 不足量酸再生氢-钠串联离子交换系统概述 .....	33
例 1-12 不足量酸再生氢-钠串联固定床离子交换系统计算 .....	33
例 1-13 氢-钠并联双塔连续式移动床计算 .....	39
(三) 铵-钠离子交换系统概述 .....	46

例 1-14 铵-钠混合固定床离子交换系统再生剂用量计算 .....	49
例 1-15 氢-钠并联离子交换系统综合设计计算 .....	50
第二节 药剂软化法 .....	55
一、石灰软化法 .....	56
例 1-16 石灰软化法加药量计算 .....	59
例 1-17 石灰软化法加药量及镁的残留量计算 .....	60
例 1-18 石灰软化法设备计算 .....	61
例 1-19 石灰软化法涡流反应器计算 .....	62
二、石灰-苏打软化法 .....	65
例 1-20 石灰-苏打软化法计算 .....	65
第二章 除盐装置 .....	67
第一节 离子交换除盐法 .....	67
一、H-OH 一级除盐系统 .....	67
例 2-1 H-OH 一级除盐系统的计算 (一) .....	68
例 2-2 一级复床除盐系统计算 (二) .....	77
二、一级混合床除盐系统 .....	83
例 2-3 一级混合床除盐系统计算 .....	83
例 2-4 混合床再生时间估算 .....	84
三、H-OH 一级除盐+混合离子交换器系统 .....	84
例 2-5 一级复床加混合床除盐系统简要计算 .....	87
例 2-6 一级复床加混合床除盐系统计算 (一) .....	89
例 2-7 一级复床加混合床除盐系统计算 (二) .....	92
例 2-8 一级复床加混合床除盐系统计算 (三) .....	95
四、双级复床除盐系统 .....	107
例 2-9 双级复床除盐系统简要计算 .....	107
五、移动床除盐系统 .....	111
例 2-10 三塔移动床除盐系统计算 .....	111
六、弱阳床+除 CO <sub>2</sub> 器+强阳床+阴双层床除盐系统 .....	117
例 2-11 弱阳床+除 CO <sub>2</sub> 器+强阳床+阴双层床 除盐系统的计算 .....	118
第二节 凝结水精处理 .....	123
例 2-12 凝结水精处理系统的计算 .....	125
第三节 电渗析除盐法 .....	130

一、电渗析除盐法简介 .....	130
二、电渗析器设计要则 .....	132
三、电渗析除盐法设计计算举例 .....	134
例 2-13 电渗析器主要技术参数的计算 .....	134
例 2-14 最佳电流密度和极限电流密度等的计算 .....	135
例 2-15 电渗析装置的简要计算 .....	136
例 2-16 膜对电阻和膜对面电阻的计算 .....	138
例 2-17 并联（二级一段）组装方式设计计算 .....	139
例 2-18 串联（二级六段）等电流密度组装方式设计计算 .....	143
例 2-19 多级多段串联（四级八段）综合组装设计计算 .....	150
例 2-20 多台串联等水流速度组装方式设计计算 .....	155
例 2-21 无回路网式电渗析器组装方式设计计算 .....	161
第四节 反渗透除盐法 .....	161
一、反渗透装置设计考虑因素及设计导则 .....	163
二、系统回收率的确定 .....	166
三、膜组件的排列组合 .....	167
例 2-22 膜组件排列组合计算（一） .....	167
例 2-23 膜组件排列组合计算（二） .....	168
例 2-24 膜组件排列组合计算（三）——倒推法 .....	168
四、系统运行压力 .....	170
例 2-25 系统运行压力的计算 .....	171
五、清洗系统的设计计算 .....	172
例 2-26 清洗系统的设计计算 .....	172
六、利用 RO 系统计算软件 .....	173
例 2-27 利用软件计算（一） .....	174
例 2-28 利用软件计算（二） .....	177
七、RO 膜结垢的控制 .....	178
例 2-29 碳酸钙水垢析出的判定计算 .....	178
例 2-30 加酸后碳酸钙水垢析出的判定计算 .....	180
例 2-31 二氧化硅结垢判断的有关计算 .....	182
例 2-32 加酸调整 pH 值的加酸量计算 .....	183
第五节 电去离子法 .....	185
一、EDI 技术原理及应用 .....	185

二、RO-EDI 工艺特点 .....	186
三、EDI 水处理设计 .....	187
例 2-33 EDI 水处理设计计算 .....	188
<b>第三章 水质稳定</b> .....	189
<b>第一节 循环冷却水结垢与腐蚀的判别</b> .....	189
一、CaCO <sub>3</sub> 水垢沉析的判别 .....	189
二、其他盐类结垢的判别 .....	195
例 3-1 计算在使用温度下循环水达到电离平衡时的 pH 值 .....	197
例 3-2 计算 Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 达到溶解平衡时的 pH 值 .....	197
<b>第二节 循环冷却水防结垢稳定处理</b> .....	198
一、防结垢稳定处理的常用方法 .....	198
例 3-3 CaCO <sub>3</sub> 溶解平衡时 CO <sub>2</sub> 含量的计算 .....	199
例 3-4 循环冷却水极限碳酸盐硬度的计算 .....	200
二、排污法及其组合应用 .....	201
例 3-5 单纯排污法稳定水质的排污量计算 .....	201
例 3-6 排污-酸化法的有关计算 .....	202
例 3-7 排污-磷化法的有关计算 .....	205
例 3-8 排污-酸化-磷化法的有关计算及运行情况分析 .....	207
<b>第三节 循环冷却水的其他处理</b> .....	210
一、水垢控制 .....	210
二、腐蚀控制 .....	212
三、污垢控制 .....	214
<b>第四章 冷却池和冷却塔及发电厂空冷技术</b> .....	217
<b>第一节 冷却池</b> .....	217
一、冷却池的种类和特点 .....	217
二、喷水冷却池 .....	218
例 4-1 喷水冷却池的计算 .....	218
<b>第二节 湿式冷却塔</b> .....	222
一、湿式冷却塔的种类和组成 .....	222
二、湿式冷却塔的計算內容和方法 .....	225
三、湿式冷却塔的设计课题 .....	227
例 4-2 绘制干、湿球温度保证率曲线 .....	228
例 4-3 用近似积分法求冷却塔的冷却数 .....	232

例 4-4	用近似积分简化公式求冷却塔的冷却数 .....	233
例 4-5	用近似积分法的简化公式计算机械通风冷却塔的 面积并选风机 (新塔设计) .....	236
例 4-6	用近似积分法计算机械通风冷却塔的冷却水温 (套用计算) .....	243
例 4-7	用近似积分法的简化公式计算塔式自然通风冷却塔 的冷却水温 (套用计算) .....	246
例 4-8	用梯形近似积分法计算冷却塔淋水装置体积 (新塔设计) .....	253
例 4-9	用梯形近似积分图解法求冷却数 .....	255
例 4-10	用平均焓差法计算逆流式机械通风冷却塔的出 水量和塔数 (套用计算) .....	258
例 4-11	用平均焓差法计算横流式冷却塔淋水装置 (新塔设计) .....	260
例 4-12	用终差法 (分段积分法) 计算逆流式机械通风冷却塔 冷却后水温 (套用计算) .....	263
例 4-13	用水温数法计算冷却塔面积 (新塔设计) .....	268
例 4-14	机械抽风冷却塔固定管式配水系统的计算 .....	271
例 4-15	圆形冷却塔旋转管式配水系统的计算 .....	272
例 4-16	横流式机械抽风冷却塔池式配水系统的计算 .....	276
例 4-17	机械通风冷却塔补充水量的计算 .....	277
第三节	发电厂空冷系统 .....	279
一、	间接空冷系统 .....	282
二、	直接空冷系统 .....	286
三、	计算例题 .....	286
例 4-18	对火电厂 200MW 海勒式空冷机组进行热力计算 .....	286
例 4-19	对火电厂 200MW 海勒式空冷系统进行空气动力 计算 .....	289
例 4-20	200MW 机组喷射式凝汽器的热力计算 .....	291
例 4-21	200MW 空冷机组喷射式凝汽器的水力计算 .....	295
例 4-22	用 $\eta$ -NTU 法对一台 200MW 机组的机械通风直 接空冷系统进行热力计算 .....	301
第五章	低压锅炉给水的其他处理 .....	306

第一节 锅内水处理 .....	306
一、天然碱处理 .....	307
例 5-1 天然碱处理的排污率计算 .....	308
例 5-2 计算两种水的混合比和给水硬度 .....	308
二、纯碱处理 .....	309
例 5-3 纯碱处理加碱量的计算 .....	311
例 5-4 用图解法求加碱量 .....	312
三、氢氧化钠处理 .....	313
例 5-5 氢氧化钠处理药用量计算之一 .....	315
例 5-6 氢氧化钠处理药用量计算之二 .....	315
四、磷酸盐处理 .....	316
例 5-7 计算磷酸三钠用量之一 .....	318
例 5-8 计算磷酸三钠用量之二 .....	319
五、栲胶处理 .....	319
六、综合软水剂处理 .....	321
例 5-9 计算混合软水剂各成分用量之一 .....	326
例 5-10 计算混合软水剂各成分用量之二 .....	327
第二节 除气 .....	328
一、除氧器 .....	329
例 5-11 真空式除气器计算 .....	330
二、除二氧化碳器 .....	336
例 5-12 瓷环填料鼓风式除 CO <sub>2</sub> 器计算 .....	337
例 5-13 标准型号鼓风填料式除 CO <sub>2</sub> 器的选型计算 .....	341
第三节 系统设计计算实例 .....	343
例 5-14 三台 4t/h 蒸汽锅炉水处理工艺设计计算 .....	343
例 5-15 三台 360×10 <sup>4</sup> kcal/h 热水锅炉水处理工艺设计 计算 .....	349
例 5-16 两台 10t/h 蒸汽锅炉水处理工艺设计计算 .....	364
例 5-17 三台 240×10 <sup>4</sup> kcal/h 热水锅炉及三台 4t/h 蒸汽 锅炉水处理工艺设计计算 .....	372
附录 .....	384
一、空气含热量计算图 .....	384
二、湿空气密度计算图 .....	384

三、湿空气密度修正曲线 .....	384
四、温度-饱和水蒸气焓曲线 .....	385
五、纸蜂窝淋水装置冷却数曲线 .....	386
六、纸蜂窝阻力曲线 .....	387
七、钢丝网水泥板条点滴式淋水装置容积蒸发散质系数曲线 .....	388
八、小间距薄膜板式淋水装置容积蒸发散质系数曲线 .....	389
九、空气含湿量曲线 .....	390
十、蒸发水带走热量的系数 $K$ 值表 .....	391
十一、饱和水蒸气压力表 .....	394
十二、全国主要城市平均每年最高温度超过 5~20 天的干、湿球 温度统计表 .....	397
十三、冷却塔风机进风口为直角近似形的摩擦阻力系数 $\zeta$ .....	400
十四、含盐量与水电阻率计算 .....	400
<b>参考文献</b> .....	401



# 第一章

## 软化装置

天然水中不论是地下水，还是地表水，通常都含有钙盐、镁盐，它们是锅炉结垢的主要物质。为了保证锅炉的安全运行，有必要在钙盐、镁盐进入锅炉之前，将它们从水中去除。水的总硬度  $H_t$ 。按其硬度成分中阳离子的不同，可分为钙硬度  $H_{Ca}$  和镁硬度  $H_{Mg}$ ；也可按其相应的阴离子的不同，分为碳酸盐硬度  $H_z$  和非碳酸盐硬度  $H_y$ 。碳酸盐硬度是钙、镁的重碳酸盐硬度和碳酸盐硬度的总和，而非碳酸盐硬度是钙、镁的强酸盐硬度的总和。碳酸盐硬度又称暂时硬度，而非碳酸盐硬度则称永久硬度。

一般当水的硬度大于 8 度（德国度）时，则称为硬水。水按硬度大小的分类情况，可参见表 1-1。

表 1-1 水按硬度大小的分类情况

总硬度/德国度	0~4	4~8	8~16	16~30	>30
水的性质	很软水	软水	中等硬水	硬水	很硬水

水的软化就是去除或降低水的硬度。水的软化方法主要有两种。

(1) 沉淀法 即对硬水加热或加药，使水中溶解性钙盐、镁盐等转变成难溶解的化合物，从水中沉淀分离出来，使水得到软化。所以此法又分加热软化法和药剂软化法两种。

(2) 离子交换法 系利用阳离子交换剂中的阳离子（如  $Na^+$ 、 $H^+$ 、 $NH_4^+$ ）把水中的造硬离子（ $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ ）交换出来，从而使水得到软化。

目前常用的软化方法，有离子交换软化法、药剂软化法以及这两种方法的联合使用等。