

S H U I C H U L I X I T O N G S H E J I S H I W U

水处理系统设计实务

金明柏 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

S H U I C H U L I X I T O N G S H E J I S H I W U

水处理系统设计实务

金明柏 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

在环保、节水问题日益受到人们关注的情况下,对原水处理和水的循环使用是很重要的环节。为此,本书以水处理系统设计实践为基础,对工业用水范围内的常用水处理技术与基本原理作了介绍。具体包括水质概述、预处理、离子交换、膜处理技术、循环冷却水处理、工业废水处理、水处理设备、水处理设计等方面的内容。书中汇集了常用的水处理系统、设备结构的专业数据、图表和专业设计规程、规范条文等资料,是有关水处理设计方面的实用书籍。本书适用于从事水处理工作方面的专业人员及相关专业的大专院校师生参考,也可作为水处理专业人员的培训资料。

图书在版编目(CIP)数据

水处理系统设计实务/金明柏编. —北京:中国电力出版社, 2009.9

ISBN 978-7-5083-9162-5

I. 水… II. 金… III. 工业用水—水处理—系统设计 IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 122422 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 月第一版 2010 年 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 15.5 印张 409 千字

印数 00001—00000 册 定价 0.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言



水处理系统设计实务

随着我国经济建设事业的发展,各行业为生产、环保、节能、节水的需要,在水处理科研、应用、设备、材料等方面作了许多实质性的工作。尤其在改革开放后的 30 年中,众多从事水处理的专业公司和制造厂成立;新产品、新材料系列更趋齐全、完善;新工艺的采用日益成熟,改变了水处理设计和设备的供应状况。由各部委组织编写和修订的专业规程、规范,典型设计图纸内容广泛、全面。在贯彻《质量管理体系》的基础上,使水处理产品、系统设计与施工有了切实的安全与质量保证,通过工程实践积累了丰富的经验和文献资料,积极推动了国内水处理技术的发展。目前从水质分析资料的校核到系统设计都有应用“软件”可选择采用,为技术经济分析、合理选择水处理工艺提供了方便条件。

编者从水处理设计实务考虑,着重选择设计需要的技术资料,结合设计规程、规范条文和现场设备运行的经验编写本书,以供专业同行参考。本书共八章,内容包括:水质概述(就原水水质与水处理技术中的有关问题作综合叙述),预处理(主要包括凝聚、沉淀—澄清、过滤等部分),离子交换(对交换剂性能、常用床型与系统作了介绍),膜处理技术(主要介绍膜处理技术概况与设计应注意的一些问题),循环冷却水处理(叙述开式循环冷却水系统的浓缩倍数、极限碳酸

盐硬度的计算与循环冷却水处理方法)，工业废水处理（废水分类与酸碱废水处理、含油废水处理等）以及水处理设备、水处理设计。

水处理专业内容十分广泛，本书主要介绍工业用水处理范围内的常用技术资料。在近几十年的发展更新过程中，有些水处理材料、设备现在已很少采用，如作为化工设备的一种床型——移动床，目前在离子交换系统中已很少采用，但作为技术资料仍予以编录以供设计参考。限于编者水平，书中内容不全面和疏漏不妥之处在所难免，恳请读者批评指正，并借此机会向编写本书时所引用的资料，作者表示感谢。

编者

2009 年 10 月

目 录



水处理系统设计实务

前言

第一章 水质概述	1
第一节 原水与水的社会循环	1
第二节 天然水中溶存物质的状态	2
一、水溶液(2) 二、水溶液中的主要盐类(3)	
三、水处理常用的溶液浓度单位(4)	
第三节 水质分析	7
一、水质分析类别(7) 二、水质分析项目(8)	
三、水质分析结果的校核(37)	
第四节 天然水的水化学特征	40
一、雨水(40) 二、河水(40) 三、湖水(41)	
四、水库水(42) 五、地下水(42) 六、海水(43)	
七、天然水的化学分类(45) 八、水体的污染和自净(46)	
第五节 水质稳定性判断	48
一、水质稳定性(48) 二、饱和指数 I_s 与稳定指数 R_s (51)	
第六节 工业用水水质标准	57
一、天然水水质指标(58) 二、再生水回用于工业用水 选择性标准(63) 三、工业用水水质要求(64)	
四、工业企业排水水质分类标准(68)	
第二章 预处理	71
第一节 概述	71
第二节 混凝	72
一、混凝原理(72) 二、混凝剂(74) 三、助凝剂(78)	
四、影响混凝效果的主要因素(79) 五、混凝剂的剂量(81)	

第三节 沉淀与澄清	83
一、概述(83) 二、沉淀原理(84) 三、沉淀池(88)	
四、澄清池(90) 五、药剂软化(103)	
第四节 过滤	111
一、过滤工艺分类(111) 二、粒状滤料过滤(112)	
三、过滤工艺(117) 四、过滤设备(124)	
第五节 吸附	137
一、概述(137) 二、活性炭过滤器(139) 三、有机物	
清扫器(144) 四、沸石吸附处理材料(145)	
第六节 除铁除锰	145
一、水质概况(145) 二、除铁、除锰工艺(146)	
三、除铁、除锰设备(150)	
第七节 污泥处理	152
一、排泥概况(152) 二、污泥浓缩(154)	
第三章 离子交换	160
第一节 离子交换剂	160
一、离子交换剂分类(160) 二、沸石(160)	
三、磺化煤(161) 四、离子交换树脂(161)	
第二节 离子交换树脂分类	163
一、苯乙烯系离子交换树脂(163) 二、丙烯酸系离子交	
换树脂(163) 三、离子交换树脂的结构类型(163) 四、	
离子交换树脂的特性(164) 五、离子交换树脂产品命名	
(172) 六、离子交换树脂的分类和选用(173)	
第三节 离子交换工艺参数	174
一、离子交换器的出力(174) 二、运行流速(175)	
三、交换剂层高度 H (176) 四、离子交换器的运行周	
期 T (178) 五、离子交换剂工作交换容量 E_0 (178)	
六、再生方式(182) 七、强、弱型树脂的联合应用	
(194)	
第四节 离子交换设备	195

一、固定床(195)	二、混床(197)	三、单室浮动床(201)
四、强、弱型树脂组合的逆流再生离子交换器(207)		
五、移动床—混合移动床(212)		
第五节 离子交换系统	220	
一、离子交换器水质要求(220)	二、硬水软化(222)	
三、脱碱(223)	四、除盐系统(231)	五、再生系统(249)
六、废液排放量与回收(254)		
第四章 膜处理技术	258	
第一节 膜处理技术概述	258	
一、膜处理技术分类(258)	二、用于微滤、超滤、纳滤、反渗透膜的材质与分类(260)	三、膜分离装置(262)
四、膜分离技术的工艺参数(262)	五、膜处理技术的基本操作(264)	六、进入膜处理装置水质(266)
第二节 微滤	268	
第三节 超滤	270	
一、应用(270)	二、产品规格(271)	
第四节 纳滤	283	
第五节 反渗透	286	
一、基本原理(286)	二、水源与水质(288)	三、反渗透膜元件(组件)的类型(290)
四、卷式膜组件(290)	五、中空纤维膜组件(299)	六、系统设计问题(302)
第六节 电渗析	309	
一、电渗析器的工作原理(309)	二、电渗析器的结构(311)	
三、电渗析装置型号及规格(313)	四、电渗析 ED 系统类型(315)	五、系统设计要点(316)
六、系统设计注意事项(321)	七、电渗析器运行(323)	八、电渗析装置应用实例(325)
第七节 电除盐 EDI	330	
一、概述(330)	二、系统流程(333)	三、EDI 工艺参数(335)
四、EDI 实例介绍(340)		

第五章 循环冷却水处理	343
第一节 水循环冷却类型	343
一、直流间接冷却水系统(343) 二、敞开式间接循环冷却水系统(344) 三、密闭式循环冷却水系统(345) 四、直冷开式循环冷却水系统(346)	
第二节 敞开式间接冷却系统循环水处理	347
一、冷却系统(347) 二、循环水系统水量平衡(348) 三、水质稳定性判断(350) 四、浓缩倍数 N (351) 五、循环冷却系统水质控制(353)	
第三节 循环水系统补充水处理	360
一、脱碱—软化(361) 二、循环水系统加阻垢缓蚀剂(362) 三、高硬度、高碱度补充水处理(364) 四、循环冷却水方案比较(某火力发电厂循环水处理设计方案)(367) 五、换热设备材质与适应的水质(371)	
第四节 旁流处理与排污水回收处理	371
一、旁流过滤(372) 二、旁流软化处理(372) 三、排污水回收处理(373)	
第五节 微生物控制	375
一、氧化型杀生剂(375) 二、非氧化型杀生剂(384) 三、表面活性剂类杀生剂(385) 四、加氯量的计算(385)	
第六节 胶球清洗	386
第六章 工业废水处理	387
第一节 概述	387
第二节 酸碱废水处理	388
一、酸性废水处理(388) 二、碱性废水处理(393) 三、离子交换除盐系统酸碱废液处理(393) 四、曝气(394)	
第三节 含油废水处理	396
一、油在废水中的类型(396) 二、油在废水中的上浮速度(396) 三、含油废水处理系统(398) 四、含油废水处理主要设备(398) 五、压力溶气气浮除油工艺(401)	

六、废水过滤(405)	七、凝结水除油(408)	
第四节 脱硫废水处理		409
第五节 电厂废水处理		411
一、废水种类(411)	二、废水集中处理系统基本流程(412)	
三、废水处理后的水质标准(412)	四、处理系统选择(412)	
五、主要设备工艺数据(413)		
第六节 废水膜处理		417
一、应用范围(417)	二、膜生物反应器(MBR)(418)	
第七章 水处理设备		419
第一节 空气分离器		419
第二节 药剂制备设备		421
一、溶液池的容积(422)	二、混合设备(423)	三、溶液
三、溶液	四、石灰制备系统(428)	计量系统(426)
第三节 除碳器		435
一、设计原始资料(435)	二、除碳器所需面积 F 和直径(435)	
三、填料层高度 H_T (436)	四、除碳器风机选择(439)	
五、除碳器主要参数(439)		
第四节 配水装置		440
一、配水系统(441)	二、离子交换器中间排水装置(445)	
三、施工、安装质量(445)		
第五节 水箱与密封措施		446
一、水箱规格(446)	二、密封措施(448)	
第八章 水处理设计		450
第一节 原始资料		450
一、原水水质(450)	二、水源状况(451)	三、水处理设备
三、水处理设备	处理水量确定(451)	
第二节 锅炉用水		452
第三节 水处理系统选择概要		453
一、原水预处理(453)	二、离子交换系统(455)	
三、反渗透(457)	四、电渗析(458)	五、冷却水处理(458)

六、城市污水回用的石灰处理(459)	
第四节 水处理系统设备水流阻力·····	461
一、系统水流阻力(461) 二、设备阻力损失(463)	
三、净水构筑物的水头损失(464)	
第五节 管道流速·····	465
第六节 压缩空气·····	466
一、压缩空气分类(466) 二、净化压缩空气质量(467)	
三、储气设备选用(467) 四、管道系统(468)	
第七节 水处理系统(在线)监督仪表选用·····	469
第八节 常用资料·····	470
参考文献·····	483



水质概述



第一节 原水与水的社会循环

未经任何处理的水称为原水或生水。原水水源分为两大类：地表水源和地下水源。地表水源包括江河、湖泊、水库和海水；地下水源有浅层地下水、深层地下水和泉水等。因工业用水需要准备进一步处理的如工业废水、污水、中水以及生产回水（凝结水）、城市供水（自来水）作为生产用水等需要处理的水也称为原水。

水的社会循环：人类为了生活和工业、农业生产需要从天然水体取水，经适当处理后供生活和生产使用，用过的水含有大量废弃物，水质已受到了污染，需经适当处理后，再排回天然水体，见图 1-1。

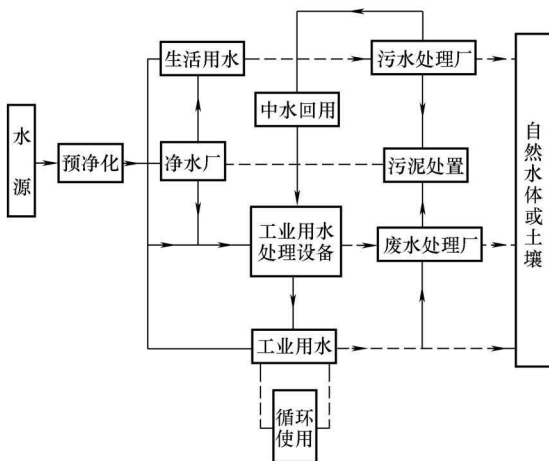


图 1-1 水的社会循环系统

合理、节约使用水资源，加强环境保护把排放的污水减少到最低限度，是水处理工作的目标。



第二节 天然水中溶存物质的状态

一、水溶液

天然水是纯净的，由于水的溶解能力使水成为一种很好的“溶剂”，在自然界中不同来源的水含有不同的物质，这些被溶存于水中的物质称为“溶质”。

天然水中溶存的物质按照溶质的粒径大小在水中形成以下三种溶液状态。

(1) 悬浊液。悬浮物质粒径大于 $1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 的物质颗粒，在水中呈悬浮状态，例如泥沙、黏土、藻类、细菌等不溶物质。悬浮物的存在使天然水有颜色、变浑浊或产生异味，有的细菌可致病。当水溶液中处在分散状态下的物质颗粒平均直径大于 $0.2\mu\text{m}$ ，则称为悬浮颗粒状态系统，它与胶体溶液的区别在于不稳定性，当悬浊液长期放置时，悬浮颗粒的密度与水密度不同时，会沉淀或上浮。

(2) 胶体溶液。胶体物质粒径为 $1\sim 100\text{nm}$ 的多分子聚合体，为水中的胶体物质。其中，无机胶体主要是次生黏土矿物和各种含水氧化物；有机胶体主要是腐殖酸。胶体溶液中溶质粒径在 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 之间，如铁、铝、硅的化合物及有机物。胶体溶液“溶质”和“溶剂”之间有一个表面的分界，胶体溶液是两相系统溶液。

(3) 真溶液。溶解物质粒径小于 1 nm 的物质，在水中成分子或离子的溶解状态，包括各种盐类、气体和某些有机化合物。处在真溶液状态的“溶质”粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ 都是呈分子或离子状态，真溶液在平衡状态下，溶液中每一部分的性质都是相同的，如水中溶存的矿物盐类、某些有机化合物、气体。真溶液是单相系统溶液。

盐类及碱类物质在水中的溶解情况如下：

- 1) 钾、钠、铵的化合物在水中都能溶解。
- 2) 硝酸盐在水中都能溶解。
- 3) 氯化物除了银、汞、铅（略溶）外，在水中都能溶解。
- 4) 硫酸盐除了钡、铅、钙（略溶）外，在水中都能溶解。
- 5) 碳酸盐除了钾、钠、铵外，在水中都不能溶解。
- 6) 氧化物和氢氧化物除了钾、钠、铵、钡外，在水中都不能溶解；氢氧化钙略溶于水。
- 7) 胶体物质如铁、铝、硅的氧化物和氢氧化物能溶解于水，溶解度与水的 pH 值有关，水中杂质分类见表 1-1。

表 1-1 水中杂质的分类

杂质	溶解物		胶 体		悬浮物			
颗粒尺寸	0.1nm	1nm	10nm	100nm	1 μ m	10 μ m	100 μ m	1mm
分辨工具	电子显微镜		超显微镜		显微镜		目测	
水的外观	透 明		浑 浊					

水溶液中的悬浮颗粒一般可直接观察到，胶体物质要在高倍显微镜下才能观察到。实际在天然水中这三种溶液状态一般是同时存在的。

二、水溶液中的主要盐类

无论哪种天然水，主要盐类在溶液中解离成以下离子。

阳离子： Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 。

阴离子： HCO_3^{-} 、 CO_3^{2-} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 。

这八种主要离子的含量都占水溶液中溶解质总量的 95%～99% 以上。这八种主要离子相互的结合形态，假想组合的排列顺序由 a～f，如图 1-2 所示。

因为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 最易与 HCO_3^{-} 结合；其次是与 SO_4^{2-} 结合成沉淀物， Na^{+} 、 K^{+} 和 Cl^{-} 结合生成 NaCl 是溶解物质，图 1-2 中的 a—b 量代表 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，b—c 代表 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，c—d 代表 MgSO_4 ，其余是 Na_2SO_4 、 NaCl 盐类。水中主要盐分的盐类溶解度见表 1-2。

Ca^{2+}		Mg^{2+}		$\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$	
HCO_3^{-}		SO_4^{2-}		Cl^{-}	
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$		$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$		MgSO_4	
a	b	c	d	e	f

图 1-2 水中离子假想结合顺序

表 1-2 某些物质的溶度积和溶解度

分子式	温度(℃)	溶度积(K_s)	溶解度 mg/L
CaCO_3	15	9.9×10^{-9}	10.0
	25	4.8×10^{-9}	6.9
CaSO_4	25	6.1×10^{-5}	1060.0
	18	5.47×10^{-5}	1775
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	25	3.1×10^{-5}	1480
	25	1.0×10^{-5}	270
MgCO_3	18	1.2×10^{-11}	81.5
	25	5.0×10^{-12}	64
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	18	1.64×10^{-14}	1.44
	25	4.8×10^{-16}	0.44
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	18	1.1×10^{-36}	4.0×10^{-5}
	25	3.8×10^{-38}	2.85×10^{-5}
$\text{Al}(\text{OH})_3^*$	25	1.9×10^{-33}	2.2×10^{-4}
$\text{Al}(\text{OH})_3^{**}$	25	3.7×10^{-15}	8.6
CaHPO_4	25	5.0×10^{-6}	305
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	25	1.0×10^{-25}	

* 碱性水解时 $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^{-}$ 。

** 酸性水解时 $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{H}^{+} + \text{AlO}_2\text{H}_2\text{O}^{-}$ 。

三、水处理常用的溶液浓度单位

在一定量的溶液（或溶剂）中，所含溶质的量称为溶液浓度。目前我国已实施法定计量单位，“摩尔”（mol）是物质的量的单位，是七个 SI 基本单位之一。摩尔是一系统的物质的量。在使用摩尔时，基本单元应予指明，可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子或是这些粒子的特定组合。物质的是“摩尔”

(mol) 与该物质的基本单元有关。若不指明基本单元, 所说的摩尔就没有明确的意义。应指明 $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1\text{mol/L}$ 或 $C(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 1\text{mol/L}$ 。前者指明 H_2SO_4 的摩尔质量 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\text{g/mol}$; 后者指明其摩尔质量 $M(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 49.04\text{g/mol}$ 。C 齐线圆括号中的 (H_2SO_4) 或 $(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)$ 便是硫酸物质的基本单元。国家标准规定的名称如表 1-3 所示。

表 1-3 国家标准规定的名称

量的名称及符号	物质的量 n_A	摩尔质量 M_A	物质的量浓度 c_A
单位名称及符号	摩尔 mol	克每摩尔 g/mol	摩尔每升 mol/L

(一) 常用的溶液浓度

1. 质量分数

溶液的浓度用溶质的质量占溶液总质量的百分比表示, 称为质量分数 (W)。溶液的质量 = 溶质的质量 + 溶剂质量。

$$W = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶液的质量}} \times 100\%$$

【例 1-1】 将 20g 食盐溶解在 180g 水中, 计算此溶液的质量分数 W。

$$W = \frac{20}{20+180} \times 100\% = 10\%$$

2. 物质的量浓度

溶液浓度用 1L 溶液中所溶解的溶质的物质的量来表示, 叫作物质的量浓度。用 $c(A)$ 表示, 括号中的 A 为基本单元。

$$c(A) = \frac{n_A}{V}$$

式中 n_A ——基本单元为 A 的物质的量, mol;

V——溶液的体积, L。

【例 1-2】 在 $V=2\text{L}$ 的溶液内溶有 16gNaOH, 计算此溶液的摩尔浓度。

因为 1molNaOH 的摩尔质量为 40g, 16gNaOH 的摩尔数为

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{16}{40} = 0.4 \text{ mol}$$

$$c(\text{A}) = \frac{n_{\text{A}}}{V}$$

$$c(\text{NaOH}) = \frac{0.4}{2} = 0.2 \text{ mol/L}$$

3. 质量浓度

物质 A 的质量浓度是物质 A 的质量 (m) 除以混合物的体积 (V), 符号为 ρ_{A} 。

$$\rho_{\text{A}} = \frac{m}{V}$$

质量浓度的 SI 单位为 kg/m^3 , 常用单位为 g/L 、 mg/L 、 $\mu\text{g/L}$ 。此外, 单位 ppm 是指 mg/kg (百万分之一, 1×10^{-6}), 在水溶液中 mg/L 与 ppm (1×10^{-6}) 可通用, $\mu\text{g/L}$ 以 ppb 表示。1ppm=1mg/kg=1000 $\mu\text{g/kg}$; 1ppb=1 $\mu\text{g/kg}$ =10 $^{-3}$ mg/kg。常用的 mg/LCaCO_3 或 ppmCaCO_3 是在水处理专业中, 人为设定的一种量度单位, 可作为单位同时使用。

(二) 浓度的换算

(1) 质量分数与物质的质量浓度之间的换算, 两者之间是以溶液密度这个量相联系的, 其换算关系式为

$$W(\%) \times \rho \times 1000 = c(\text{A}) \times M(\text{A})$$

式中 $W(\%)$ ——质量分数;

ρ ——溶液的密度, g/cm^3 ;

$c(\text{A})$ ——基本单元为 A 的物质的量浓度, mol/L ;

$M(\text{A})$ ——基本单元为 A 的物质的摩尔质量, g/mol 。

【例 1-3】 求质量分数为 98% H_2SO_4 溶液 ($\rho=1.84$) 的物质的量浓度 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

$$1\text{L} 98\% \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 溶液中含纯的物质的量 } n = \frac{98}{98} = 1$$

因为 H_2SO_4 的分子量为 98, 则换算式:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1000 \times 1.84 \times 98\%}{98} = 18.4 \text{ mol/L}$$