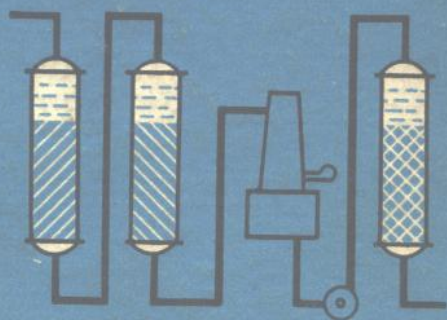


纯水制备



国防工业出版社

纯水制备

第十设计院等 编

化学工业出版社

1978年

内 容 简 介

本书是在国内现有生产实践经验和试验总结资料的基础上，并吸取了部分国外的资料编写而成的。

本书内容以离子交换法制取纯水为主，着重介绍了电子工业对纯水的水质要求、纯水制取工艺、离子交换装置的计算、设备与材料、测量与控制、设备的安装及操作管理和纯水站设计等；对六十年代发展起来的新技术——射流技术在纯水制取系统中的应用以及电渗析在纯水制取中的应用，亦作了较详细地介绍。

本书主要供电子工业工厂设计、建设和生产部门的同志参考应用；亦可供化工、电力、医药、食品、造纸等工业纯水应用部门有关同志参考。

纯 水 制 备

(只限国内发行)

第十设计院等 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 15¹/₁₆ 插页2 412千字

1972年7月第一版 1972年7月第一次印刷

统一书号：15034·1261 定价：2.20元

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

备战、备荒、为人民。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。我们伟大的领袖毛主席亲自发动和领导的无产阶级文化大革命，极大地推动了我国社会主义建设的飞跃发展。电子工业战线上的广大工人、革命干部和革命技术人员，遵照毛主席关于“**备战、备荒、为人民**”、“**打破洋框框，走自己工业发展道路**”等伟大教导，发扬“**自力更生**”、“**奋发图强**”的革命精神，抓革命，促生产，为迅速改变我国电子工业的落后面貌，为我国社会主义革命和社会主义建设事业作出了新的贡献。

随着电子工业的不断发展，电子技术对水的纯度要求愈来愈高，应用纯水的部门不断增多，因此纯水的制取技术也逐渐引起了人们的注意，并得到了很大的发展。为了适应我国社会主义建设和电子工业发展的需要，我们第十设计院、第十一设计院与锦州晶体管厂及清华大学土建系的同志共同协作，编写了这本《纯水制备》。

本书主要是根据我们在工作中的一些粗浅体会、兄弟单位的一些试验总结和生产经验，并参考部分国外资料编写而成的。但由于我们学习马克思主义、列宁主义、毛泽东思想不够，分析能力及技术水平不高，加之调查研究范围有限，因而书中可能存在不少缺点和错误，诚恳希望同志们批评指正，并及时把批评和建议以及你们的经验告诉我们，以便今后进一步修改和补充。

本书在编写过程中，曾得到了许多工厂、学校、科研单位的大力支持和热情帮助，我们在此表示衷心的感谢！

编 者

一九七二年六月

目 录

前言	3
第一章 概论	7
1-1 纯水的概念	7
1-2 水的电阻率及其影响因素	8
1-3 纯水制取工艺的发展概况	23
1-4 电子工业对纯水的水质要求	28
第二章 原水水质分析	36
2-1 天然水的成份	36
2-2 几个主要分析项目的基本概念	40
2-3 水质分析结果的校正	51
第三章 离子交换剂	57
3-1 概述	57
3-2 离子交换树脂的种类	59
3-3 离子交换树脂的性能	66
第四章 纯水制取工艺	78
4-1 基本原理	78
4-2 离子交换树脂的选择	87
4-3 影响交换效果的主要因素	93
4-4 离子交换装置的类型	101
4-5 单元装置	105
4-6 系统流程的选择	117
第五章 离子交换树脂的再生	129
5-1 再生原理及方法	129
5-2 影响再生程度的主要因素	131
5-3 再生剂的选择	145
5-4 再生技术	150

5-5 再生废液的利用与处理	166
5-6 再生剂的贮存、配制与输送	168
第六章 离子交换装置的计算	174
6-1 一级复床的计算	174
6-2 二级复床的计算	188
6-3 混合离子交换装置的计算	190
6-4 脱气塔的计算	195
6-5 计算实例	201
6-6 树脂用量和设备大小的估算方法	229
第七章 设备与材料	232
7-1 离子交换柱	232
7-2 脱气塔	245
7-3 再生设备	250
7-4 辅助设备及配件	264
7-5 管道、阀门与管件	270
7-6 防腐材料及其性能	280
7-7 设备结构计算	288
第八章 水的辅助处理	293
8-1 预处理的任务及内容	293
8-2 预处理的方法	300
8-3 纯水的后处理	310
第九章 测量与控制	315
9-1 水质的测量	316
9-2 水质的控制	327
9-3 pH 值的测定	332
9-4 水量及水压的测量及控制	333
9-5 水位及水泵的控制	335
9-6 射流技术在混合床程序控制上的应用	341
第十章 纯水处理设计	354
10-1 原始资料	354
10-2 纯水制取系统的确定	355
10-3 纯水处理的位置、组成及布置	359

10-4	对各专业的要求	368
10-5	纯水站设计的内容	370
第十一章 设备安装及操作管理		376
11-1	设备的安装注意事项	376
11-2	树脂的预处理及贮存	381
11-3	操作管理与维护	384
11-4	主要故障及消除方法	391
第十二章 纯水供水系统		394
12-1	供水系统	394
12-2	纯水供水管网的方式	397
12-3	供水管网的计算	400
12-4	水泵与水箱	408
12-5	纯水的回收	412
第十三章 电渗析		415
13-1	基本原理	415
13-2	处理流程及其应用	417
13-3	电渗析设备	420
13-4	影响运行的主要问题	431
13-5	计算及设计参考数据	434
附录 I. 名词浅释		441
附录 II. 离子交换树脂主要性能的测定方法		444
附录 III. 常用元素原子量表(1962年)		448
附录 IV. 常用药剂的性质及规格		449
附录 V. 常用溶液的比重(表 V-1~表 V-5)		451
附录 VI. 常用设备的性能及规格		455
附录 VII. 有关单位的换算		460
附录 VIII. 钢管水力计算表		471

毛主席语录

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

第一章 概 论

1-1 纯水的概念

根据毛主席对**立统一**的光辉哲学思想，世界上绝对纯的东西是没有的。纯是相对的、暂时的，不纯则是绝对的。绝对纯的水，也就是不含任何杂质的水，实际上是不存在的。

从化学观点上看，绝对的纯水实际上也是不存在的。“纯水”是一种溶解力很强的溶剂。许多物质不但在水中具有很大的溶解度，而且具有最大的离解度。它可以溶解很多固态、液态和气态的物质，极易与金属氧化物、非金属氧化物以及最活泼的金属等起化合作用。这些物质溶解在水中，并在水中离解，从而大大地影响水的纯度。

在工业上，水的“纯”与“不纯”及水的“纯度”，主要是指水中各种导电介质（即水中各种盐类阳、阴离子）和水中所含溶解气体及挥发物质等非导电介质的含量的大小。是相对而言的。

在实际生产中，用来表示水的纯度的主要指标，是水中含盐量（即水中各种盐类阳、阴离子的数量）的大小。而水中含盐量的大小，测定较为复杂，因而，目前通常用电阻率或导电率来间接表示。

目前，纯水制取技术已有了很大的发展和提高。制出的纯水纯度已能达到99.99999%，水的电阻率已能达到 18×10^8 欧姆·厘米以上。但是，水中依然存在着0.01毫克/升的杂质离子。

在电子工业中，各种产品对水的纯度要求各不相同。根据对水纯度的要求不同，通常可将水分为软化水、脱盐水、纯水及高纯水等四种。

软化水 一般系指将水中的硬度（暂时硬度及永久硬度）降低或去除至一定程度的水。水在软化过程中，仅硬度降低，而总含盐量不变。软化水中的剩余硬度与软化方法有关，一般应在 $0.1^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 之间。

脱盐水 一般系指将水中易于去除的强电解质去除或减少至一定程度的水。脱盐水中的剩余含盐量一般应在 $1\sim 5$ 毫克/升之间， 25°C 时，水的电阻率应为 $0.1\sim 1.0\times 10^6$ 欧姆·厘米。

纯水 又称去离子水，或深度脱盐水。一般系指既将水中易去除的强电解质去除，又将水中难以去除的硅酸及二氧化碳等弱电解质去除至一定程度的水。纯水中的剩余含盐量一般应在 1.0 毫克/升以下， 25°C 时，水的电阻率应为 $1.0\sim 10\times 10^6$ 欧姆·厘米。

高纯水 又称“超纯水”。一般系指既将水中的导电介质几乎完全去除，又将水中不离解的胶体物质、气体及有机物均去除至很低程度的水。高纯水中的剩余含盐量应在 0.1 毫克/升以下， 25°C 时，水的电阻率应在 10×10^6 欧姆·厘米以上。

本书着重介绍的是脱盐水、纯水及高纯水（泛称“纯水”）的制取工艺。软化水不是本书介绍的重点。

1-2 水的电阻率及其影响因素

毛主席教导我们：“大家明白，不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”

1. 水的电阻率

一般将一立方厘米(立方厘米)水的电阻值，称之为水的电阻率（又称比电阻）。电阻率的倒数为导电率（又称之为比电导）。电阻率与导电率的关系为：

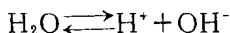
$$\rho = \frac{1}{x}$$

式中 ρ ——电阻率（欧姆·厘米）；

x ——导电率（欧姆·厘米） $^{-1}$ 。

水溶液的导电, 可以看成是溶液中带电离子在电场中移动的结果。因此, 电阻率(或电导率)的大小与水溶液中离子的多少、每个离子的电荷数目及离子的迁移速度有很大的关系。

理论上的“纯水”(即理想纯水), 应不含任何杂质离子, 应是不导电的液体。但实际上, 极纯的水亦具有微量的导电率。这是因为, 即使是“理想的纯水”, 它亦是很弱的电解质, 水分子本身在一定温度下, 能微微地离解为 H^+ 和 OH^- 离子。即:



而 H^+ 和 OH^- 离子都具有一定的导电性能, 从而使“理想纯水”亦具有一定的导电率。

“理想纯水”导电率的大小, 可按下式计算:

$$\kappa_{H_2O} = n_{(H)} V_{(H)} x_{0(H)} + n_{(OH)} V_{(OH)} x_{0(OH)}$$

式中 $n_{(H)}$ 和 $n_{(OH)}$ ——分别是每毫升水中 H^+ 及 OH^- 离子的数目。

此时, 应是 H^+ 与 OH^- 平衡条件下的同一浓度;

$V_{(H)}$ 和 $V_{(OH)}$ ——分别是 H^+ 和 OH^- 离子的离子价, 均等于 1;

$x_{0(H)}$ 和 $x_{0(OH)}$ ——分别是 H^+ 和 OH^- 离子的当量电导 [单位:

(欧姆·厘米²)⁻¹]

水中 H^+ 和 OH^- 离子的当量电导, 与温度有很大的关系。根据测量, 不同温度时 H^+ 和 OH^- 离子的当量电导, 可按表 1-1、表 1-3、表 1-4 及表 1-5 查得。

水中 H^+ 和 OH^- 离子的数量, 可根据水的电离常数 (K_{H_2O}) 来确定。

根据质量定律:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

由于水的离解度极小, 未离解的水分子的数量与离解出来的离子数量相比, 常将 $[H_2O]$ 视为常数, 故而:

$$K_{H_2O} = K[H_2O] = [H^+][OH^-]$$

上式说明：在一定温度下，水中 H^+ 离子与 OH^- 离子浓度的乘积为一常数，称为水的离子积，通常以 K_{H_2O} 表示。

水的电离常数或离子积与温度有着很大的关系。当温度升高时，水的电离常数增大，即水离解为 H^+ 和 OH^- 离子的数量增大；反之，当温度降低时，水的电离常数则减小，即水离解为 H^+ 和 OH^- 离子的数量减少。

在水分子离解时，得到相等数目的 H^+ 及 OH^- 离子，所以，它们的离子浓度是相等的。即：

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{K_{H_2O}} \quad [\text{克离子/升}]$$

理想纯水在室温下，在 1 个大气压时，每 1 千万个水分子中，只有一个水分子离解为 H^+ 和 OH^- 离子。此时，水中 H^+ 和 OH^- 离子的浓度是相等的：

$$\sqrt{K_{H_2O}} = [H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \quad [\text{克离子/升}]$$

即：1 克分子的水，离解为 1 克离子的氢和 1/2 克离子的氧。

在非理想的纯水中，即在中性水中：

$$[H^+] \approx [OH^-]$$

但是，水的离子积始终不变，即 $[H^+][OH^-]$ 始终等于常数。

根据测量，不同温度时理想纯水的离子积详见表 1-1。

根据前述，即可计算出各种不同温度时的理想纯水的导电率及电阻率。例如：25°C 时，理想纯水的导电率为：

$$\begin{aligned} x &= \frac{350 \times \sqrt{1.008 \times 10^{-7}}}{1000} + \frac{196 \times \sqrt{1.008 \times 10^{-7}}}{1000} \\ &= 0.548 \times 10^{-7} \quad (\text{欧姆} \cdot \text{厘米})^{-1} \end{aligned}$$

25°C 时，理想纯水的电阻率为：

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{x} = \frac{1}{0.548 \times 10^{-7}} = 1.824 \times 10^7 \\ &= 18.24 \times 10^6 \quad (\text{欧姆} \cdot \text{厘米}) \end{aligned}$$

表1-1 不同温度时理想纯水的电阻率

温 度 (°C)	$\kappa_0(\text{H}^+)$ (欧姆·厘米 ²) ⁻¹	$\kappa_0(\text{OH}^-)$ (欧姆·厘米 ²) ⁻¹	KH ₂ O (1×10^{-14})	水的理论电阻率 (欧姆·厘米)
5	251	133	0.185	6.210×10^6
10	276	149	0.292	45.5×10^6
15	300	164	0.452	31.2×10^6
20	325	182	0.681	26.3×10^6
25	350	196	1.008	18.3×10^6
30	375	212	1.471	14.1×10^6
35	400	228	2.084	9.75×10^6
40	421	244	2.918	7.66×10^6
45	444	260	4.012	7.10×10^6
50	464	276	5.45	5.80×10^6

但是，实际上理想的纯水是没有的。它极易受其它物质的污染，而在水中形成溶解物质、悬浮物质和胶体物质，从而影响水的纯度。

在实际生产中，制取出的纯水，也极易受到污染，而使水的纯度受到影响，使水的电阻率大量降低。

2. 影响水的电阻率的因素

影响水的电阻率的因素很多，本节仅就实际生产中常见的几个主要影响因素介绍如下。

1) 水中含盐量对水的电阻率的影响

水中含盐量（即各种盐类阳、阴离子的数量）的大小是影响水的电阻率的一个主要因素。水中含盐量愈大，水的电阻率则愈低，水的纯度亦愈差；水中含盐量愈小，水的电阻率则愈高，水的纯度亦愈高（如图 1-1 所示）。特别是在纯度较高的水中，盐类对水的电阻率的影响则更

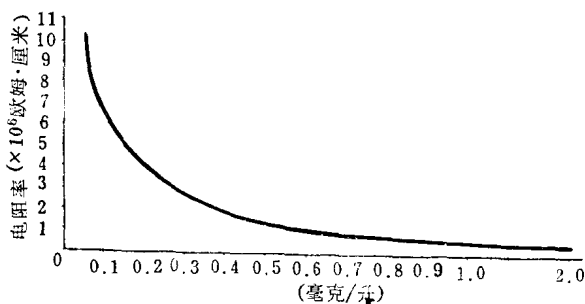


图1-1 18°C时，水中含盐量与电阻率之间的关系

是显著，即使是微量的盐类，对水的电阻率的影响亦很大(见表 1-2)。

表 1-2 微量盐类对纯水电阻率的影响

温 度 (°C)	理论电阻率 (1×10^6 欧姆·厘米)	在下列条件下实测电阻率		
		0.02 毫克/升 NaCl	0.05 毫克/升 NaCl	0.1 毫克/升 NaCl
5	62.1	23	12.5	7.8
10	45.5	18	10	6.0
15	31.2	13	8	5.0
20	26.3	11	7	4.2
25	18.3	9	6	3.7
30	14.1	7	5	3.1
35	9.75	6	4.5	2.8
40	7.66	5.3	3.8	2.5
45	7.10	4.5	3.3	2.3
50	5.80	4.0	2.7	2.0

水的电阻率，可根据水中所含各种盐类阳、阴离子的数量进行计算，计算公式如下：

$$x_i = \sum n_i V_i x_{oi}$$

式中 x_i ——水溶液中含 i 离子的导电率；

n_i ——每毫升溶液中所含 i 离子的数目；

V_i —— i 离子的化合价；

x_{oi} —— i 离子的当量电导（或称之为等价电导系数）。即在

1 厘米³ 溶液中含有 1 克当量电解质时的导电率。

各种离子的当量电导，与该离子在水中的迁移率有关，即

$$x_{oi} = Fv$$

式中 F ——法拉第常数，为 96493 库仑；

v ——离子在水中的绝对迁移速度（或绝对迁移率，或离子淌度），即：当电场强度为每厘米 1 伏特时的迁移速度。以厘米/秒表示。

表 1-3 为温度等于 18°C 时，离子迁移速度的绝对值及当量电导的数值。

表1-3 温度为18°C时, 离子迁移速度绝对值及当量电导值

离子	H ⁺	L ⁺	Na ⁺	K ⁺	OH ⁻	F	Cl	NO ₃ ⁻
ν (厘米/秒)	0.00326	0.00334	0.00045	0.00067	0.00180	0.00048	0.00068	0.00064
λ_{0i}^* (欧姆·厘米) ⁻¹	314.6	32.81	43.42	64.65	173.7	46.32	65.62	61.76

当溶液浓度在无限稀释、温度为25°C时, 各种离子的当量电导值, 见表1-4。

表1-4 温度为25°C时, 水溶液中各种离子的当量电导值

阳离子	λ_{0i}	阴离子	λ_{0i}
H ⁺	349.80	OH ⁻	197.60
Na ⁺	50.11	Cl ⁻	76.34
K ⁺	73.52	NO ₃ ⁻	71.44
NH ₄ ⁺	73.40	HCO ₃ ⁻	44.50
$\frac{1}{2}$ Mg ⁺⁺	53.06	$\frac{1}{2}$ SO ₄ ⁻	80.00
$\frac{1}{2}$ Ca ⁺⁺	59.50		
$\frac{1}{2}$ Ba ⁺⁺	63.64		

在浓度为C的很弱的溶液中, 温度为18°C时, 各种离子的当量电导, 见表1-5。

表1-5 温度为18°C, 浓度为C时, 各种离子的当量电导值

浓度 C (克当量)	K	Na	Li	Cs	Ag	Cl	I	Br	OH
0.0001	64.1	43.2	33.2	67.4	53.7	64.9	65.6	67.0	172
0.0002	64.0	43.0	33.0	67.2	53.4	64.8	65.5	66.8	172
0.0005	63.7	42.8	32.8	66.9	53.1	64.4	65.3	66.5	171
0.001	63.3	42.4	32.5	66.6	52.8	64.0	64.9	66.1	171
0.002	62.8	42.0	32.1	66.0	52.2	63.5	64.4	65.5	170
0.005	61.8	41.3	31.5	64.9	51.3	62.5	63.5	64.4	168
0.01	60.7	40.5	30.8	63.7	50.2	61.5	62.7	63.7	167
0.02	59.5	39.5	30.0	62.0	49.0	60.2	61.6	62.4	165
0.05	57.2	37.9	28.8	60.0	46.0	57.9	60.1	60.6	161
0.1	55.1	36.4	27.5	58.0	44.0	55.8	58.8	59.1	157

水的电阻率与水中含盐量的关系亦可用下述经验公式来换算：

$$\rho_{18} = \frac{0.695 \times 10^6 \times X}{M}$$

式中

ρ_{18} ——18°C时水的电阻率（欧姆·厘米）；

M ——在 105°C 时的固体残渣（毫克/升）；

X ——水的稀释度，未稀释的水为 1。

当 $X = 1$ 时，

$$\rho_{18} = \frac{695000}{M}$$

25°C 时，含盐量与电阻量及导电率之间的关系，亦可按图 1-2 进行换算。如：25°C 时，当水中 CO_2 及 NH_3 气体去除以后，水中 1 毫克/升的 NaCl 总量，相当于电阻率为 40×10^4 欧姆·厘米，导电率为 2.5 微姆。

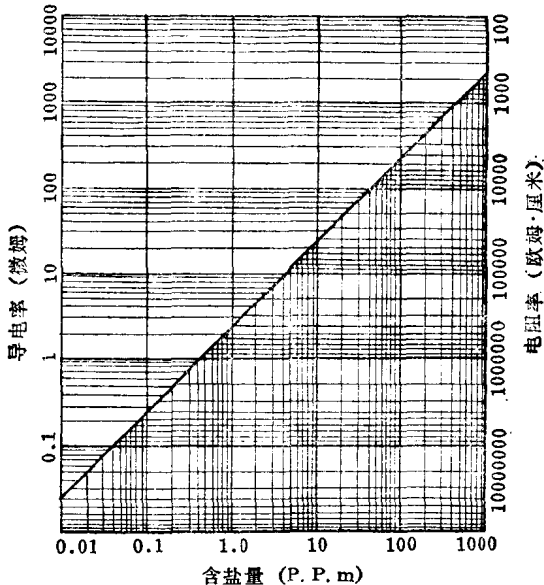


图1-2 含盐量与导电率及电阻率换算图

图 1-3 为各种电解质含量与导电率及电阻率之间的关系。