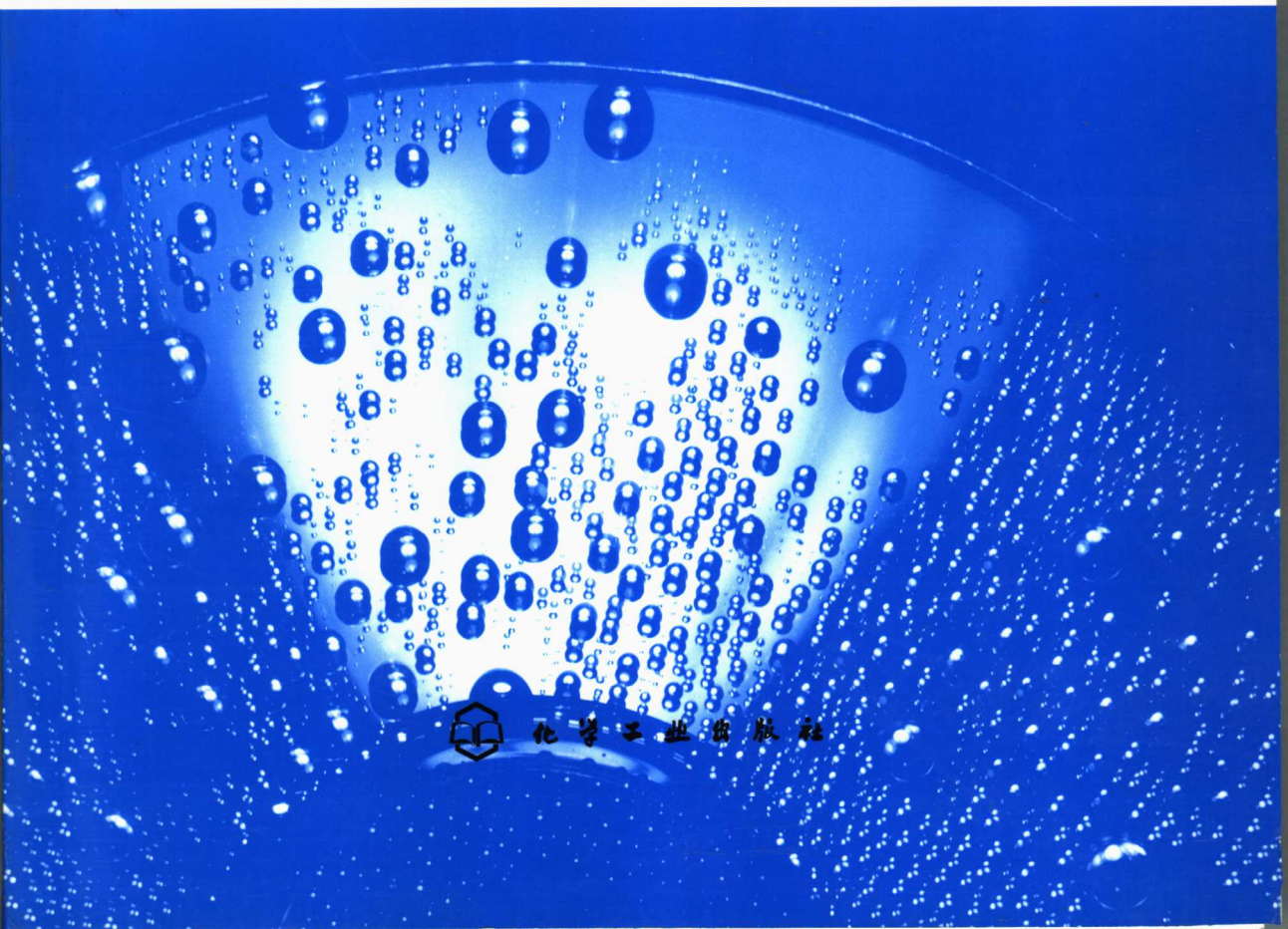


工业纯水 制备技术、设备 及应用

康勇 王志 朱宏吉 编

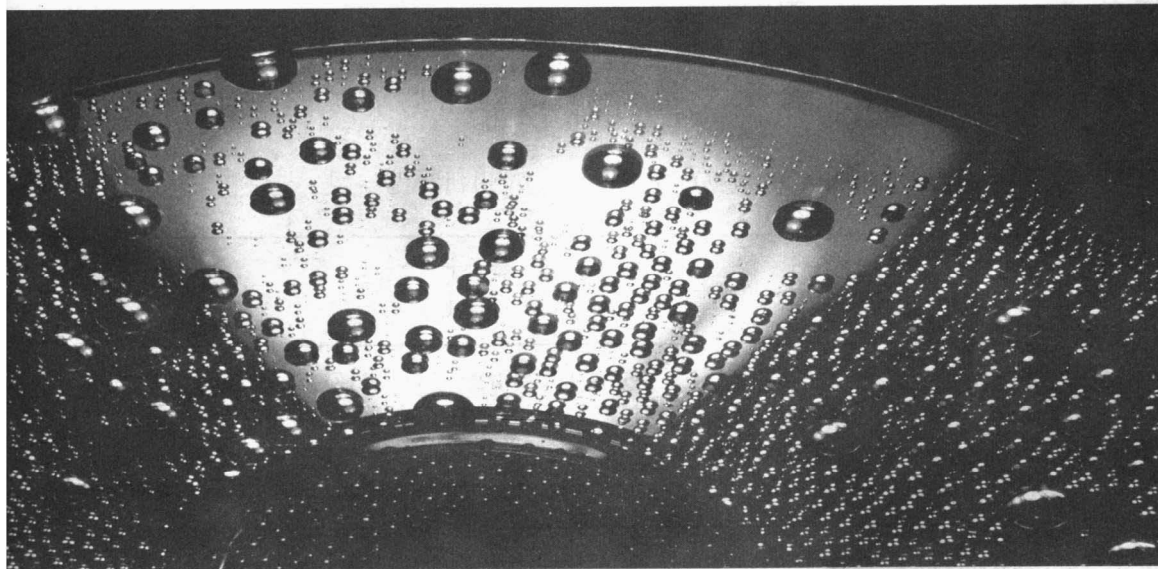


化学工业出版社



工业纯水 制备技术、设备 及应用

康勇 王志 朱宏吉 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍工业纯水的各种制备工艺、技术要点、设备等核心内容,包括工业纯水的等级及应用范围、水源选择、水质分析、工艺流程及特点,目前最常用的各种工业纯水制备技术(预处理、膜法脱盐、离子交换树脂、微滤、超滤、灭菌消毒、水质监控等)及其在工业中的应用。内容新颖,力求反映国内外纯水生产和检测中的新技术、新工艺、新进展,并紧密结合国内技术应用现状,有一定的实用性。

本书可供从事纯水制备研究、生产、检测的工程技术人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业纯水制备技术、设备及应用/康勇,王志,朱宏吉编.
北京:化学工业出版社,2006.11
ISBN 978-7-5025-9718-4

I. 工… II. ①康…②王…③朱… III. 工业用水:高纯水-研究 IV. TQ085

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第144422号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:荣世芳

责任校对:陈静

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张16 $\frac{3}{4}$ 字数334千字 2007年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着科学技术的飞速发展，制药、食品、化工、电子和电力、轻工、航空航天和冶金等行业对各种等级纯水的需求量日趋增大，对纯水的水质要求也越来越高，尤其是高密度集成电路制造工艺对高等级纯水的制备和检测技术提出了更严格的要求。广大纯水产品研究开发、生产单位和用户需要一些系统的纯水生产、检测和应用资料来对实践进行指导。此外，如何能降低纯水制备过程中的水资源浪费也是一个突出的问题，因此正确掌握和合理应用纯水制备技术，从广义上讲对保护水资源，改善水环境，实现可持续发展方面会起到积极的推动作用。

本书主要介绍工业纯水的各种制备工艺、技术要点、设备等核心内容，包括工业纯水的等级及应用范围、水源选择、水质分析、工艺流程及特点，目前最常用的各种工业纯水制备技术（预处理、膜法脱盐、离子交换树脂、微滤、超滤、灭菌消毒、水质监控等）及其在工业中的应用。内容新颖，力求反映国内外纯水生产和检测中的新技术、新工艺、新进展，并紧密结合国内技术应用现状，有一定的实用性。

本书第1章、第2章、第3章、第6章、第7章由康勇编写，第4章、第9章、第10章由王志编写，第5章、第8章由朱宏吉编写，全书由康勇修改定稿。由于水平有限，时间比较仓促，不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年11月

目 录

第 1 章 工业纯水制备概论	1
1.1 水的纯度及水质标准	1
1.1.1 有关纯水的基本知识	1
1.1.2 纯水的分类	1
1.1.3 水质标准	2
1.2 工业纯水的制备技术	7
1.2.1 纯水制备技术的发展阶段	8
1.2.2 纯水制备工艺的发展.....	10
1.3 工业纯水制备中的水源选择及制备工艺.....	11
1.3.1 纯水制备中的水源选择.....	11
1.3.2 根据水源的不同采取不同的纯水制备工艺.....	12
1.4 原水及工业纯水的水质分析.....	16
1.4.1 原水水质分析.....	16
1.4.2 原水水质分析项目的含义及分析方法.....	16
1.4.3 工业纯水的水质分析.....	23
参考文献	25
第 2 章 工业纯水的制备工艺流程	27
2.1 工业纯水制备中的基本工艺.....	27
2.1.1 预处理.....	27
2.1.2 脱盐.....	29
2.1.3 后处理.....	31
2.2 不同等级工业纯水的制备工艺特点.....	32
2.2.1 电子工业中纯水、高纯水的制备工艺.....	32
2.2.2 食品行业中饮用纯净水的制备工艺.....	35
2.2.3 制药业中纯水的制备工艺.....	38
参考文献	40
第 3 章 高纯水制备中的固液分离技术及设备	41
3.1 水源水的凝聚与絮凝.....	41
3.1.1 水中的杂质.....	41
3.1.2 凝聚与絮凝原理.....	42

3.1.3	混凝药剂	43
3.1.4	混凝设备	50
3.2	澄清原理及设备	58
3.2.1	澄清原理	58
3.2.2	澄清池	60
3.3	过滤原理及设备	64
3.3.1	过滤原理	64
3.3.2	原水处理常用过滤设备	65
3.4	活性炭吸附技术	78
3.4.1	活性炭的吸附机理	78
3.4.2	活性炭吸附的主要影响因素	79
3.4.3	吸附平衡与等温线	80
3.4.4	吸附速度	82
3.4.5	活性炭的再生	83
3.5	水质软化方法	84
3.5.1	概述	84
3.5.2	软化的基本方法	85
3.5.3	水的药剂软化法	85
	参考文献	87
第4章	工业纯水制备中的膜法脱盐技术	89
4.1	电渗析脱盐机理及其各种过程	89
4.1.1	电渗析脱盐机理	89
4.1.2	电渗析过程	90
4.1.3	电渗析工艺的适用范围	91
4.2	离子交换膜	92
4.2.1	离子交换膜的分类	92
4.2.2	离子交换膜的结构与作用原理	93
4.2.3	离子交换膜的性能	93
4.2.4	国内外主要离子交换膜产品简介	96
4.3	电渗析器	96
4.3.1	电渗析器结构	96
4.3.2	电渗析器的组装方式	99
4.3.3	电渗析器的操作方式	100
4.3.4	电渗析器的运行及常见故障分析	101
4.4	电渗析脱盐工艺过程设计	105
4.4.1	设计原理	105
4.4.2	设计程序	107

4.4.3	设计实例	107
4.5	反渗透脱盐机理	108
4.5.1	反渗透理论	108
4.5.2	基本公式	109
4.6	反渗透膜和膜组件	110
4.6.1	反渗透膜	110
4.6.2	膜元件和膜组件	113
4.7	反渗透脱盐工艺过程设计	117
4.7.1	设计程序	117
4.7.2	反渗透进水的预处理	118
4.7.3	反渗透装置的设计	120
4.7.4	后处理工序的设置	123
4.7.5	运行监控系统的设计	123
4.7.6	膜和膜组件的清洗及维护方案的确定	124
4.7.7	工程实例	128
4.8	反渗透脱盐系统的故障分析及设备维护	129
4.8.1	标准化	131
4.8.2	故障特征及解决方法	131
	参考文献	131
第5章	工业纯水制备中的离子交换树脂脱盐技术	133
5.1	离子交换树脂的种类及结构	133
5.1.1	离子交换树脂的类型	133
5.1.2	离子交换树脂的结构	134
5.2	离子交换树脂的脱盐机理	138
5.3	离子交换树脂的交换特性及脱盐率	140
5.3.1	离子交换反应	140
5.3.2	离子交换平衡和选择性系数	141
5.3.3	离子交换容量	143
5.3.4	离子交换速度	144
5.3.5	脱盐率	146
5.4	离子交换脱盐工艺计算	148
5.4.1	离子交换脱盐装置	148
5.4.2	离子交换脱盐的工艺计算	151
5.5	离子交换柱的设计	158
5.5.1	离子交换的操作方式及其特点	158
5.5.2	固定床离子交换	159
5.6	离子交换树脂的再生	163

5.6.1	树脂的失活	163
5.6.2	树脂的再生	164
5.6.3	影响树脂再生的因素	167
	参考文献	168
第6章	工业纯水制备中的微滤技术	169
6.1	微滤在高纯水制备中的作用	169
6.1.1	概述	169
6.1.2	微滤的过滤原理及应用	171
6.1.3	微孔滤膜的截留机理	172
6.1.4	微滤的膜过程	174
6.2	微滤膜的种类及性能	175
6.2.1	微孔滤膜的主要特征	175
6.2.2	微孔滤膜的性能测定	177
6.2.3	微孔滤膜的形态结构	183
6.2.4	微孔滤膜的种类和应用范围	184
6.2.5	微孔滤膜的制备方法	185
6.2.6	微孔滤膜的发展趋势	188
6.3	微孔过滤设备	189
6.4	微滤膜的再生	191
6.4.1	微滤膜的污染	191
6.4.2	微滤膜的再生	195
6.4.3	清洗效果的鉴定	196
	参考文献	197
第7章	工业纯水制备中的超滤技术	198
7.1	超滤过程的基本特性	198
7.1.1	膜的透过通量方程 (J_v)	198
7.1.2	微孔模型	199
7.1.3	浓差极化及凝胶层阻力模型	199
7.1.4	渗透压模型	201
7.2	超滤膜的性质及制备	202
7.2.1	超滤膜的性质	202
7.2.2	超滤膜的制备	203
7.3	超滤过程的影响因素	205
7.3.1	超滤透过通量	205
7.3.2	膜的寿命	206
7.3.3	膜的清洗以及防污、抗污	207
7.4	超滤设备及流程	208

7.4.1	超滤设备	208
7.4.2	超滤的基本工艺流程	210
7.5	超滤过程的设计计算	212
7.5.1	间歇式超滤	212
7.5.2	重过滤	214
	参考文献	214
第8章	工业纯水制备中的灭菌消毒技术	216
8.1	超纯水中的热原种类及特点	216
8.1.1	热原的种类	216
8.1.2	热原的性质特点	217
8.1.3	热原的去除方法	217
8.2	臭氧灭菌消毒技术	218
8.2.1	臭氧的性质及杀菌机理	218
8.2.2	臭氧消毒的特点	220
8.2.3	影响臭氧灭菌的因素	220
8.3	臭氧发生设备及其维护	221
8.3.1	臭氧发生方法	221
8.3.2	臭氧发生装置	224
8.3.3	臭氧发生装置的维护	225
8.4	臭氧灭菌工艺的设计计算	226
8.4.1	臭氧发生器的计算及选型	226
8.4.2	水-臭氧的接触	227
8.4.3	尾气处理	228
8.5	紫外线杀菌技术	229
8.5.1	紫外线杀菌原理	229
8.5.2	紫外线灭菌特点	231
8.6	紫外灯的功率和灭菌效率的关系	232
8.7	紫外线杀菌的影响因素	233
8.7.1	杀菌效果的影响因素	233
8.7.2	存在的问题及改进措施	236
8.7.3	紫外线杀菌应用前景	237
	参考文献	238
第9章	工业纯水制备中的水质监控	239
9.1	工业纯水制备过程对水质的要求	239
9.2	预处理过程中的水质监控	239
9.3	脱盐过程中的水质监控	241
9.4	微滤和超滤过程中的水质监控	245

9.5 灭菌消毒过程中的水质监控	246
9.6 水站出水口的水质监控	247
参考文献	248
第 10 章 工业纯水的应用	249
10.1 纯水在电子工业中的应用	249
10.2 纯水在医药工业中的应用	251
10.3 纯水在能源工业中的应用	254
10.4 纯水在化工行业中的应用	256
10.5 纯水在其他工业中的应用	257
参考文献	258

第 1 章 工业纯水制备概论

1.1 水的纯度及水质标准

1.1.1 有关纯水的基本知识

水的纯度是指水中杂质的相对含量。天然水中含有许多杂质，按颗粒大小可分为以下三类，即悬浮物质、胶体物质和溶解物质。所谓的悬浮物质是指颗粒直径在 10^{-1} mm 以上的悬浮于水中的物质，如泥土、砂粒、水藻、植物的遗体和细菌等；胶体物质是指水中带电荷的胶体微粒，其粒径一般在 $10^{-9} \sim 10^{-5}$ mm 之间，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；溶解物质是指为水所溶解的、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。

天然水中的杂质对水质有很大的影响，例如悬浮物质类的泥沙和黏土能使水产生浑浊，藻类及原生动物使水有色度和异味，细菌可致病和产生腐蚀；胶体物质（如硅胶）可致使结垢，高分子化合物（如腐殖酸胶体等）能使水浑浊并产生吸附和沉积；溶解性物质中的钙镁盐类是水产生硬度的主要因素，而碳酸盐可以使水的碱度增高。

人们对水的认识是随着制水工艺的发展而逐步深化的，早期把蒸馏水当作纯水，在 25°C 时其电阻率通常只有 $0.10 \sim 0.52 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ ，总固形物含量高达 $1 \sim 5 \text{mg/L}$ 。随着科技的发展，许多行业如医药、化工，尤其是电子行业对水的质量提出了越来越高的要求。只有水质指标更高的高纯水（high purity water）或超纯水（ultrapure water）才能满足需求。所谓的高纯水或超纯水是指 25°C 时电阻率不低于 $18 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 、总固形物含量不超过每升数十微克的水，而且其中微生物、溶解气体、胶体及固体颗粒物质的含量也接近于零。

1.1.2 纯水的分类

在工业用水中，根据对水的不同要求可按其纯度进行分类。

① 软化水 一般是指将水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子含量降低或去除至一定程度的水。水在软化过程中，硬度降低，软化水一般广泛用于低压工业锅炉用水。软化方法通常为离子交换法和药剂软化法。

② 脱盐水（包括一级脱盐与二级脱盐）一般是指用物理、化学等方法将水中易于去除的强电解质去除至一定程度的水。在除盐过程中亦除去了部分机械杂质和有机物质。脱盐水中的剩余含盐量一般应在 $1\sim 5\text{mg/L}$ 以下， 25°C 时的电导率为 $1\sim 10\mu\text{S/cm}$ 。常用的脱盐方法有蒸馏、膜分离、离子交换或几种方法的组合使用。

③ 纯水 又称去离子水。一般是指用物理、化学的方法将水中易于去除的强电解质去除之外，还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。 25°C 时纯水中的电导率一般为 $0.1\sim 1\mu\text{S/cm}$ ，剩余含盐量一般应在 1mg/L 以下。纯水制备的常用方法有离子交换、灭菌、膜分离等方法。

④ 高纯水 又称“超纯水”。一般是指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极低程度的水。高纯水中剩余含盐量应在 0.1mg/L 以下， 25°C 时的电导率在 $0.1\mu\text{S/cm}$ 以下。

⑤ 理论水 又称理想水，即不含任何杂质的水，这样的水是不存在的。

随着近年来科技的不断发展，各行业对纯水的水质要求也不断提高，以前将电阻率作为唯一衡量水质纯度的做法已远远不能满足要求了，人们开始对水中阴离子含量、阳离子含量、颗粒数、有机物和细菌等逐步有了定量的指标和限制。在 20 世纪 70 年代中期，微粒、细菌、二氧化硅、钠和总有机碳这五项指标的确定，才确保了集成电路加工用水的质量。进入 80 年代，由于集成度的进一步提高，对纯水水质要求尤其是微粒、细菌更加严格，在此基础上又增加了溶解氧的限制指标。

1.1.3 水质标准

水质参数是一种能反映水的使用性质的量。通常的水质参数有水温、色度、透明度、悬浮固体、电导率、pH 质、硬度、碱度、总矿化度、总盐量等；重金属类参数为铁、锰、汞、镉、铬、铜、铅、锌等；有机污染参数为酚、氰和油类等；无机污染参数为氨氮、硫酸盐、磷酸盐、硝酸盐和卤化物等。水质标准是用水对象（包括饮用和工业用水对象等）所要求的各项水质参数应达到的指标和限值。

(1) 电子工业对水质的要求

电子工业中，单晶硅片、半导体元器件、印刷电路、集成电路等的生产过程都离不开纯水和高纯水，尤其是大规模或超大规模集成电路的制造，其生产过程中 80% 都需要用超纯水来清洗硅片，水中的微量杂质就会导致器件性能的下降乃至报废。随着集成电路集成度的进一步提高，对水中污染物种类和含量的要求越来越严格，20 世纪 60 年代末期，美国五家公司提出的集成电路用纯水的水质指标，以及后来 80 年代美国材料试验学会（ASTM）逐年公布的电子级水质标准，均已不能适应当代大规模集成电路迅速发展的需要。近年来，为适应更大规模集成电路生产的需要，国内外又进一步提出了新的、更为严格的水质要求，而且集成电路的集成度越高，对水质的要求也越高。表 1-1~表 1-4 分别为国内外电子工业用水的水质标准。

表 1-1 我国电子级水的技术指标 (GB/T 11446.1—1997)

指 标	EW-I	EW-II	EW-III	EW-IV
电阻率(25℃) (MΩ·cm)	≥18.0	≥15.0	12.0	≥0.5
全硅 (μg/L)	≤2.0	≤10.0	≤50.0	≤1000.0
颗粒数 (<1μm)/mL ⁻¹	≤0.1	≤5.0	≤10.0	≤500.0
细菌个数/mL ⁻¹	≤0.01	≤0.1	≤10.0	≤100.0
铜 (μg/L)	≤0.2	≤1.0	≤2.0	≤500.0
锌 (μg/L)	≤0.2	≤1.0	≤5.0	≤500.0
镍 (μg/L)	≤0.1	≤1.0	≤2.0	≤500.0
钠 (μg/L)	≤0.5	≤2.0	≤5.0	≤1000.0
钾 (μg/L)	≤0.5	≤2.0	≤5.0	≤500.0
氯 (μg/L)	≤1.0	≤1.0	≤10.0	≤1000.0
硝酸根 (μg/L)	≤1.0	≤1.0	≤5.0	≤500.0
磷酸根 (μg/L)	≤1.0	≤1.0	≤5.0	≤500.0
硫酸根 (μg/L)	≤1.0	≤1.0	≤5.0	≤500.0
总有机碳(μg/L)	≤20.0	≤100.0	≤200.0	≤1000.0

表 1-2 我国电子工业部 1980 年高纯水水质试行标准摘录

水质指标	一级高纯水指标 ^①	二级高纯水指标 ^②	水质指标	一级高纯水指标 ^①	二级高纯水指标 ^②
电阻率(25℃) (MΩ·cm)	≥15	≥10	钠/(μg/L)	<0.5	<2
电导率 (μS/cm)	0.05	0.1	铁/(μg/L)	<1	<2
pH 值	6.8~7.2	6.6~7.4	铜/(μg/L)	<0.5	<1
细菌总数/mL ⁻¹	<3	<9	钙/(μg/L)	<1	<3
颗粒数 (>0.5μm) mL ⁻¹	<150	<300	镁/(μg/L)	<0.2	<1
SiO ₂ (μg/L)	<10	<20	锌/(μg/L)	<0.5	<1
有机物(以 COD 计) (μg/L)	<0.3	<0.5	锰/(μg/L)	<0.2	<0.5

① 一级高纯水适用于大规模集成电路、微波器件以及有相同要求的半导体器件产品。

② 二级高纯水适用于一般电路、分立器件以及有相同要求的半导体器件产品。

表 1-3 美国纯水水质标准 (ASTM D-19, 1990)

水质指标	EW-I	EW-II	EW-III	EW-IV
电阻率(25℃) (MΩ·cm)	18 ^①	17.5 ^②	12	0.5
全硅 (μg/L)	5	10	50	1000
颗粒数 mL ⁻¹	1	3	10	100
微粒粒径 μm	0.1	0.5	1.0	10
细菌数/1000mL ⁻¹	1	10	10000	100000
总有机碳(μg/L)	25	50	300	1000
内毒素 EU	0.03	0.25	—	—
铜 (μg/L)	1	1	2	500
氯 (μg/L)	1	1	10	1000
镍 (μg/L)	0.1	1	2	500
钾 (μg/L)	2	2	5	500
钠 (μg/L)	0.5	1	5	1000
锌 (μg/L)	0.5	1	5	500
硫酸盐 (μg/L)	1	1	5	500
硝酸盐 (μg/L)	1	1	5	100
磷酸盐 (μg/L)	1	1	5	500

① 95%时间纯水电阻率应大于等于 18MΩ·cm, 允许短时间不小于 17MΩ·cm。

② 90%时间纯水电阻率应大于等于 17.5MΩ·cm, 允许短时间不小于 16MΩ·cm。

表 1-4 美国半导体工业用纯水指标

项 目	检测限度	1M DRAM 水质要求	1M DRAM 可接受的水质	<1 μ m VLSI	VLSI 目标
电阻率(25 $^{\circ}$ C)/(M Ω ·cm)	18.2	18.2	18.0	18.2	18.2
TOC/(μ g/L)	5	<10	<30	<10	5
THM/(μ g/L)	<1	—	—	<3	—
粒子数(激光法)/L $^{-1}$					
0.1~0.2 μ m	—	—	—	<1500	<1000
0.2~0.3 μ m	—	—	<2000	<800	<500
0.3~0.5 μ m	—	<200	<200	<50	<10
>0.5 μ m	—	<1	<1	<1	<1
粒子数(SEM法)/L $^{-1}$					
0.3~0.5 μ m	<1	—	—	<50	<10
>0.5 μ m	<1	—	<100	<1	<1
细菌数/10 $^{-2}$ mL $^{-1}$					
培养法	<1	0	<5	0	0
SEM法	—	<1	<10	<5	0
EPI法	—	<5	<50	<10	<1
可溶 SiO $_2$ /(μ g/L)	0.25	<0.4	4	3	1
硼/(μ g/L)	0.05	<0.05	2.0	0.0005	—
离子/(μ g/L)					
Na $^{+}$	0.05	<0.05	0.1	0.025	—
K $^{+}$	0.1	<0.1	0.1	0.05	—
Cl $^{-}$	0.05	<0.05	0.1	0.025	—
Br $^{-}$	0.1	<0.1	0.1	0.05	—
NO $_3^{-}$	0.1	<0.1	0.1	0.5	—
SO $_4^{2-}$	0.1	0.3	0.05	0.2	<0.05
总离子	0.5	<0.5	<1.7	<0.2	—
残留物/(mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	—
金属/(μ g/L)					
Li	0.03	<0.03	0.05	0.003	—
Na	0.05	<0.05	0.1	0.005	—
K	0.05	<0.05	0.1	0.005	—
Mg	0.02	<0.02	0.05	0.002	—
Ca	2	<2	<2.0	0.002	—
Sr	0.01	<0.01	0.05	0.001	—
Ba	0.01	<0.05	0.05	0.001	—
B	0.05	<0.02	2.0	0.005	—
Al	0.05	<0.02	0.05	0.005	—
Cr	0.02	<0.02	0.05	0.002	—
Mn	0.02	<0.02	0.05	0.002	—
Fe	0.1	<0.02	0.1	0.002	—
Ni	0.02	<0.02	0.05	0.002	—
Cu	0.02	<0.02	0.05	0.002	—
Zn	0.02	<0.02	0.05	0.002	—
Pb	0.05	<0.05	0.05	0.005	—

(2) 医药和生物制品工艺对水质的要求

① 在医药生物制品生产中, 纯水主要用于制剂、配液和冲洗。其特点是除对盐、铁、锰含量都有一定的要求外, 尤其对细菌、热原的去除要求极高。热原是一种细菌内毒素, 它有广泛的生物活性, 以致热性居首。普通的过滤和蒸馏难以将之除尽, 一般用高效蒸馏器, 目前也采用反渗透法去除热原。

② 我国 1990 年药典明文规定注射用水为蒸馏水或去离子水经再蒸馏所得的水。

③ 在美国药典中, 药用水的理化指标包括 pH 值、氯化物、硫酸盐、钙盐、氨、二氧化碳、重金属、易氧化物及总固体物含量。在美国最新的药典中不对 pH 值作强制要求而只用电导率来衡量。对于水中的重金属, 原有测定方法的灵敏度仅为 mg/L 级, 而美国饮用水标准中部分金属离子的限量为 $\mu\text{g/L}$ 级, 远比药典标准高, 而且由于药用水必须从符合美国饮用水标准的原水制取, 现有生产工艺也不会给药用水引入重金属, 因此, 重金属一项也被取消。美国有关医药用水标准摘录见表 1-5。

表 1-5 美国药典第 24 版标准摘录

项 目	指 标
有机物 TOC/($\mu\text{g/L}$)	500
电导率(25 $^{\circ}\text{C}$)/($\mu\text{S/cm}$)	<1.3
热原(注射用水)/(EU/mL)	0.25

(3) 锅炉给水对水质的要求

在锅炉给水系统中, 为了防止热力系统设备的结垢、腐蚀和积盐, 必须对锅炉给水水质进行严格监督。补给水所要求的水质根据锅炉压力和型式的要求也不同, 锅炉的压力越高, 补给水的纯度也越高。通常低压锅炉 ($\leq 2.45\text{MPa}$) 是以软水作为补充水, 中压锅炉 (3.82~5.78MPa) 采用脱碱、除盐水作为补充水, 高压锅炉 (5.88~12.64MPa) 则必须是除盐水作为补给水。表 1-6 和表 1-7 是有关锅炉给水的水质标准。

表 1-6 锅炉用脱盐补给水水质指标摘录

锅炉压力/MPa	氯离子/(mg/L)	含盐量/(mg/L)	二氧化硅/(mg/L)
5.9~12.6	≤ 4	≤ 100	≤ 2.00
12.7~15.6	≤ 1	≤ 50	≤ 0.45
15.7~18.3	≤ 1	≤ 20	≤ 0.25

(4) 瓶装饮用纯净水对水质的要求

近年来, 随着生活水平的提高和水环境污染日益加剧, 人们对饮水水质的要求越来越高, 这就使得市场上出现了越来越多的家用净水器和纯净水供应厂家。纯净水包括太空水和蒸馏水, 两者几乎都去除了水中的全部有害杂质, 不添加任

表 1-7 锅炉补给水标准摘录

炉型	压力/MPa	硬度 ^① [H ⁺] /(μmol/L)	溶解氧 /(μg/L)	铁 /(μg/L)	铜 /(μg/L)	钠 /(μg/L)	二氧化硅 /(μg/L)
汽包炉	3.8~5.8	≤3.0	≤15	≤50	≤10	—	应保证蒸汽中二氧化硅符合标准
	5.9~12.6	≤2.0	≤7	≤30	≤5	—	
	12.7~15.6	≤2.0	≤7	≤20	≤5	—	
	15.7~18.3	≈0	≤7	≤20	≤5	—	
直流炉	5.9~18.3	≈0	≤7	≤10	≤5 ^②	≤10 ^③	≤20

① 有凝结水处理的电厂，硬度应约为 0mol/L。

② 争取≤3μg/L。

③ 争取≤5μg/L。

何药剂（如防腐剂、消毒剂等），无色透明。太空水一般用反渗透等膜技术生产，而蒸馏水则是用蒸馏法生产。目前，纯净水在国外多数发达国家已成为居民的日常生活饮用水，欧美国家纯净水的销售量年增长率超过 10%。

我国“瓶装饮用纯净水卫生标准”和“生活饮用水水质标准”的部分指标见表 1-8 和表 1-9。其中生活饮用水标准是用于检测自来水水质的，饮用纯净水水质显然高于生活饮用水，必须将生活饮用水经预处理、除盐、灭菌、消毒后才能制得合格的饮用纯净水。

表 1-8 国家瓶装饮用纯净水水质标准（GB 17323—1998）摘录

项 目	指 标	要 求
色度/度	≤5	不得呈现其他异色
浊度/度	≤1	—
臭和味	—	无异味、异臭
肉眼可见物	—	不得检出
pH 值	—	5.0~7.0
电导率(25℃)/(μS/cm)	—	≤10
高锰酸钾用量(以 O ₂ 计)/(mg/L)	—	≤1.0
氯化物(以 Cl ⁻ 计)/(mg/L)	—	≤6.0
铅	按 GB 17324 规定执行	
砷		
铜		
氰化物(以 CN ⁻ 计) ^①		
挥发酚类(以苯酚计) ^①		
游离氯(以 Cl ⁻ 计)		
三氯甲烷		
四氯化碳		
亚硝酸盐(以 NO ₂ 计)		

① 氰化物指标、挥发分类指标只限采用蒸馏法的产品。

表 1-9 国家瓶装饮用纯净水卫生标准 (GB 17324—1998)

检测项目	指标	要求
色度/度	≤5	不得呈现其他异色
浊度/度	≤1	—
臭和味	—	无异味、异臭
肉眼可见物	—	不得检出
铅/(mg/L)	≤0.01	
砷/(mg/L)	≤0.01	
铜/(mg/L)	≤1	
氰化物 ^① (以 CN ⁻ 计)/(mg/L)	≤0.002	
挥发酚类 ^① (以苯酚计)/(mg/L)	≤0.002	
游离氯(以 Cl ⁻ 计)/(mg/L)	≤0.005	
三氯甲烷/(mg/L)	≤0.02	
四氯化碳/(mg/L)	≤0.001	
亚硝酸盐(以 NO ₂ ⁻ 计)/(mg/L)	≤0.002	
菌落总数/(cfu/mL)	≤20	
大肠菌群/(MPN/L)	≤30	
致病菌	不得检出	
霉菌、酵母菌/(cfu/mL)	不得检出	

① 为蒸馏水加检项目。

(5) 实验室用水对水质的要求

我国 GB 6682—92 规定分析实验室用水分为三级，即一级水、二级水和三级水。一级水用于有严格要求的分析试验，包括对颗粒有要求的试验，如高压液相色谱分析用水；二级水用于无机痕量分析等试验，如原子吸收光谱分析用水；三级水用于一般化学分析试验。我国有关实验室用水标准摘录见表 1-10。

表 1-10 实验室用水标准摘录

名称	一 级	二 级	三 级
pH 值范围(25℃)	—	—	5.0~7.5
电导率(25℃)/(mS/m)	≤0.01	≤0.10	≤0.50
可氧化物质(以 O ₂ 计)/(mg/L)	—	<0.08	<0.4
吸光度(254nm, 1cm 光程)	≤0.001	≤0.01	—
蒸发残渣(105℃±2℃)/(mg/L)	—	≤1.0	≤2.0
可溶性硅(以 SiO ₂ 计)/(mg/L)	<0.01	<0.02	—

注：1. 由于在一级水、二级水的纯度下，难于测定其真实 pH 值，因此对 pH 值范围不作规定。

2. 一级水、二级水的电导率需用新制备的水“在线”测定。

3. 由于在一级水的纯度下，难于测定可氧化物质和蒸发残渣，对其限量不作规定，可用其他条件和制备方法来保证一级水的质量。

1.2 工业纯水的制备技术

生物技术、医药卫生、化工、食品，尤其是微电子技术、半导体集成电路加