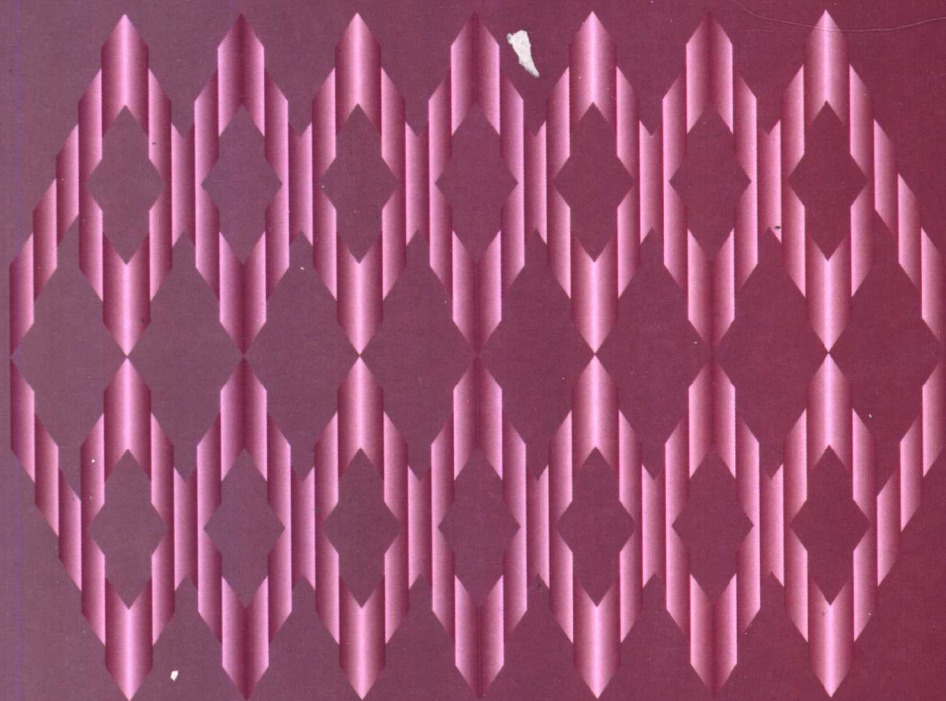


饮料生产工艺与 设备选用手册

朱蓓薇 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

饮料生产工艺与设备选用手册

由大连市学术专著资助出版评审委员会 资助

朱蓓薇 主编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

饮料生产工艺与设备选用手册/朱蓓薇主编. —北京:
化学工业出版社, 2002.11
ISBN 7-5025-4144-6

I. 饮… II. 朱… III. ①饮料-生产工艺-技术手册
②饮料-食品加工设备-技术手册 IV. TS275-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083971 号

饮料生产工艺与设备选用手册

朱蓓薇 主编

责任编辑: 张兴辉

文字编辑: 赵媛媛 徐雪华

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(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

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25¼ 字数 626 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4144-6/TS·70

定 价: 58.00 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

(京工商广临字 2002-05 号)

编写人员

主 编 朱蓓薇

副主编 张 彧

其他编写人员(以姓氏笔划为序)

王兆雨 王绍胜 云 霞 付 荣 付 猛

杜 明 金英实 郝英红 赵 鹏 段 君

高振雨 韩 冰 葛瑞宏 董秀萍

前 言

近 20 年来，我国饮料工业保持了 21% 以上的增长速度，饮料工业在食品工业中已占据了十分重要的地位。加入 WTO 后，我国的饮料行业同许多行业一样面临着日趋激烈的竞争。开放的中国，13 亿人口的巨大市场，吸引着众多的国际大公司和投资者。在这种形势下，饮料工业在继续保持高速发展的同时，必须注重有市场潜力的饮料品种的开发及生产设备的更新改进。正是在这样的背景下，我们编写了这本《饮料生产工艺与设备选用手册》，希望为读者提供比较全面的各种饮料的生产工艺，并为相应的设备选型提供参考。

饮料方面的专业教材及相关资料、书籍较多，本书的特色之处在于将生产工艺与设备选用紧密结合，为读者提供的是最新的饮料生产设备的技术参数、生产厂家，查阅十分便捷。同时介绍了主要设备的维护方法及常见质量问题，为读者提供了使用上的方便。

本手册共分 9 章，主要内容包括饮料生产的原辅料；碳酸饮料加工工艺及设备选用；果蔬汁加工工艺及设备选用；乳饮料加工工艺及设备选用；植物蛋白饮料加工工艺及设备选用；瓶装水加工工艺及设备选用；茶饮料加工工艺及设备选用；固体饮料加工工艺及设备选用和功能性保健饮料加工工艺及设备选用等。

本手册适用于食品专业人员、大专院校师生，特别适用于工程技术人员、管理人员阅读、使用。

由于编者学识和水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2002 年 7 月

内 容 提 要

本书系统地介绍了各种饮料的生产工艺及设备，包括碳酸饮料、果蔬汁饮料、乳饮料、植物蛋白饮料、固体饮料、功能性保健饮料等。详细阐述了原材料的选用、生产工艺、设备选用及维修、典型生产实例等，并对实际生产中常见的质量问题及防止措施进行了介绍。

本书最大的特点是将工艺与设备有机结合，方便企业技术人员根据工艺条件、特点和参数合理地选用生产设备。

本书是实用工具书，适用于食品工业工程技术人员、管理人员查阅和参考，也可供高等院校相关专业师生参考。

目 录

第 1 章 饮料生产的原辅料及其处理	1
1.1 饮料用水及水处理	1
1.1.1 水源与水质	1
1.1.2 水处理	3
1.2 饮料生产的原料.....	31
1.2.1 甜味料.....	31
1.2.2 二氧化碳.....	40
1.3 饮料生产的辅料.....	42
1.3.1 辅料.....	42
1.3.2 包装容器及材料.....	51
参考文献	55
第 2 章 碳酸饮料生产工艺及设备选用	56
2.1 生产工艺流程.....	56
2.1.1 一般工艺流程.....	56
2.1.2 工艺流程说明.....	56
2.2 生产设备.....	61
2.2.1 设备的选型方法.....	61
2.2.2 主要设备的说明.....	63
2.3 主要设备的维护、常见故障诊断及检修.....	77
2.3.1 灌装机的维护、常见故障诊断及检修.....	77
2.3.2 卷封机的维护、常见故障诊断及检修.....	78
2.3.3 混比机的维护、常见故障诊断及检修.....	78
2.3.4 包装塑膜机的维护、常见故障诊断及检修.....	78
2.3.5 卸垛机的维护、常见故障诊断及检修.....	79
2.3.6 码垛机的维护、常见故障诊断及检修.....	79
2.4 常见的质量问题及解决方法.....	79
2.4.1 质量标准.....	79
2.4.2 碳酸饮料常见的质量问题及其防止措施.....	80
参考文献	82
第 3 章 果蔬汁饮料生产工艺及设备选用	83
3.1 果蔬汁的分类和原料.....	83
3.1.1 果蔬汁的营养价值.....	83
3.1.2 果蔬汁的分类.....	85
3.1.3 果蔬汁的原料.....	86
3.2 生产工艺.....	89

3.2.1	一般工艺流程	89
3.2.2	工艺流程说明	90
3.3	生产设备	100
3.3.1	设备选型	100
3.3.2	主要设备的说明	103
3.4	生产实例	134
3.4.1	苹果汁	134
3.4.2	柑橘汁	136
3.4.3	砂囊果汁	137
3.4.4	葡萄汁	138
3.4.5	菠萝汁	141
3.4.6	芒果汁	142
3.4.7	桃汁	144
3.4.8	杨梅汁	146
3.4.9	荔枝汁	147
3.4.10	酸枣汁	147
3.4.11	猕猴桃汁	147
3.4.12	番茄汁	148
3.4.13	胡萝卜汁	150
3.4.14	芹菜原汁	151
3.4.15	甜瓜汁	152
3.4.16	其他蔬菜汁	153
3.4.17	复合蔬菜汁	154
3.4.18	发酵蔬菜汁	155
3.5	主要设备的维护、常见故障诊断及检修	156
3.5.1	高压均质机常见故障及使用注意事项	156
3.5.2	超高温杀菌机的维护	157
3.5.3	浓缩设备的常见故障	157
3.6	常见的质量问题及解决方法	159
3.6.1	果汁中常见的质量问题及解决方法	159
3.6.2	蔬菜汁常见的质量问题及解决方法	162
	参考文献	168
第4章	乳饮料生产工艺及设备选用	169
4.1	含乳饮料的生产工艺	170
4.1.1	一般生产工艺流程	170
4.1.2	工艺流程说明	172
4.2	生产设备	179
4.2.1	设备的选型方法	179
4.2.2	主要设备的说明	181
4.3	主要设备的维护、常见故障诊断及检修	195

4.3.1	热交换器的使用与维护	195
4.3.2	杀菌设备的使用及维护、保养	196
4.3.3	发酵罐的维护及保养	197
4.3.4	均质设备的使用注意事项	197
4.4	生产实例	198
4.4.1	咖啡乳的生产实例	198
4.4.2	巧克力乳的生产实例	198
4.4.3	水果乳的生产实例	199
4.4.4	酸奶的生产实例	199
4.4.5	乳酸菌饮料的生产实例	199
4.5	常见质量问题及其解决办法	200
4.5.1	果汁乳饮料加工中需要注意的问题及其解决办法	200
4.5.2	咖啡乳饮料生产中的注意事项	201
4.5.3	酸奶生产常见问题及防止方法	201
4.5.4	杀菌乳酸饮料生产常见的质量问题及解决方法	202
	参考文献	203
第5章	植物蛋白饮料生产工艺及设备选用	205
5.1	生产工艺	206
5.1.1	豆乳	206
5.1.2	发酵酸豆乳	210
5.1.3	椰子(乳)汁饮料	213
5.1.4	杏仁乳(露)饮料	214
5.1.5	花生蛋白饮料	215
5.2	生产设备	216
5.2.1	设备的选型方法	216
5.2.2	主要生产设备的说明	216
5.2.3	生产实例	244
5.3	主要设备的维护、常见故障诊断及检修	246
5.4	常见质量问题及其解决方法	246
5.4.1	豆乳生产常见质量问题及其解决方法	246
5.4.2	花生奶生产常见质量问题及解决方法	248
5.4.3	植物蛋白饮料生产常见质量问题及解决方法	249
	参考文献	252
第6章	瓶装饮用水生产工艺及设备选用	253
6.1	饮用矿泉水	254
6.1.1	矿泉水生产的一般工艺流程	254
6.1.2	工艺流程说明	254
6.2	纯净水	259
6.2.1	纯净水生产的一般工艺流程	260
6.2.2	工艺流程说明	261

6.3	生产设备	266
6.3.1	设备的选型方法	266
6.3.2	主要设备的说明	268
6.4	主要设备的维护、常见故障诊断及检修	291
6.4.1	过滤装置的维护	291
6.4.2	净水器的使用与维护	292
6.4.3	离子交换树脂的处理、转型及再生	292
6.4.4	超滤装置的操作与保养	293
6.4.5	膜污染后的处理	294
6.4.6	电渗析器的维护与保养	294
6.4.7	反渗透装置的保养	297
6.4.8	加氯操作的安全事项	298
6.5	常见的质量问题及解决方法	298
6.5.1	矿泉水生产中的质量问题	298
6.5.2	反渗透装置常出现的问题及解决方法	303
6.5.3	水中铁和锰含量过高	303
6.5.4	桶装饮用水的质量控制	303
	参考文献	305
第7章 茶饮料生产工艺及设备选用		306
7.1	概述	306
7.1.1	茶叶的分类	306
7.1.2	茶叶的主要成分及其功能性作用	308
7.1.3	茶饮料用水	312
7.1.4	茶饮料	312
7.2	生产工艺	314
7.2.1	一般茶饮料	314
7.2.2	速溶茶	315
7.2.3	冰茶	317
7.3	生产设备	319
7.3.1	浸提设备	319
7.3.2	包装、灌装及杀菌设备	320
7.4	生产实例	326
7.4.1	富硒茶饮料	326
7.4.2	苦丁茶饮料	326
7.4.3	苦荞麦茶饮料	327
7.4.4	牛蒡茶饮料	328
7.4.5	甜茶饮料	328
7.4.6	玉米茶饮料	329
7.4.7	柠檬蜜茶饮料	330
7.4.8	红枣保健茶饮料	330

7.4.9	营养杏仁奶茶	331
7.4.10	怀菊花、乌龙茶碳酸饮料	332
7.5	常见质量问题及其解决方法	332
7.5.1	浸提常见质量问题	332
7.5.2	调配过程中如何提高茶饮料品质	333
7.5.3	加热杀菌对茶饮料品质的影响	333
7.5.4	改善茶汤色、香、味的方法	334
7.5.5	焙火对乌龙茶饮料的影响	335
7.5.6	茶饮料的澄清方法	335
7.5.7	茶饮料对包装的要求	338
	参考文献	338
第8章	固体饮料生产工艺及设备选用	340
8.1	生产工艺	340
8.1.1	果香型固体饮料工艺流程	341
8.1.2	蛋白质型固体饮料工艺流程	344
8.1.3	其他类型固体饮料	350
8.2	生产设备	353
8.2.1	干燥器的选型方法	353
8.2.2	主要设备的说明	360
8.3	生产实例	370
8.3.1	速溶酸奶的生产工艺流程	371
8.3.2	工艺流程说明	371
8.3.3	产品的技术指标	372
8.3.4	关键步骤控制	372
8.4	常见的质量问题及解决方法	372
8.4.1	粉末果汁常见的质量问题及解决方法	372
8.4.2	蛋白型固体饮料常见的质量问题及解决方法	373
8.4.3	喷雾干燥制品的主要质量问题及解决方法	374
	参考文献	374
第9章	功能性保健饮料生产工艺及设备选用	375
9.1	概述	375
9.1.1	功能性饮料的概念及分类	375
9.1.2	功能性饮料的生理活性物质	375
9.1.3	商品化的功能性食品原料	380
9.2	生产工艺	380
9.2.1	运动饮料	380
9.2.2	螺旋藻保健饮料	383
9.2.3	密环菌健脑饮料	384

9.2.4	无糖 SOD 饮料	385
9.3	生产设备	386
9.3.1	沸腾干燥器	386
9.3.2	冷冻离心机	388

第 1 章 饮料生产的原辅料及其处理

1.1 饮料用水及水处理

1.1.1 水源与水质

水是饮料生产中的主要原料，在日常饮用的各种饮料中，85%以上的成分是水。水质的好坏直接影响着饮料的质量，制约着饮料生产企业的生存和发展。

1.1.1.1 天然水的来源及其特点

(1) 自来水

自来水一般已在水厂进行过一定的处理，水中的杂质及细菌指标已符合饮用水标准，因此若采用此水源，可简化饮料厂的水处理流程。

(2) 地下水

地下水通常指井水、泉水、地下河水，其中含有较多的矿物质，如铁、镁、钙等，硬度、碱度都比较高。但由于水透过地质层时，过滤掉许多泥沙、悬浮物和细菌，因此，地下水相对来说比较澄清。

(3) 地表水

地表水来自江、河、湖泊和水库，其中含有各种有机物质及无机物质，污染严重，必须经过严格的水处理方能饮用。

1.1.1.2 天然水中的杂质

天然水中含有许多杂质，这些杂质按其微粒大小，大致可分为三类：悬浮物、胶体、溶解物质，它们对水质有着严重的影响。

(1) 悬浮物质

天然水中凡是粒度大于 $0.2\mu\text{m}$ 的杂质统称为悬浮物，这类物质使水质呈浑浊状态，在静置时会自行沉降。悬浮物质主要包括泥沙、虫类、藻类及微生物等。这类杂质会使产品装瓶后过一段时间产生瓶底积垢或絮状沉淀的蓬松性微粒，影响 CO_2 的溶解，造成装瓶时喷液，影响风味。如果有微生物的存在还会导致产品的变质。

(2) 胶体物质

胶体物质的大小大致为 $0.001\sim 0.2\mu\text{m}$ ，它具有两个很重要的特性，即光照发生丁达尔现象及具有稳定性。胶体可分为无机胶体和有机胶体两种。无机胶体如硅酸胶体和黏土，是由许多离子和分子聚集而成的，是造成水浑浊的主要原因。有机胶体主要是高分子物质、有机体，如蛋白质、腐殖质等，多带负电。腐殖质、腐殖酸是造成水带色的主要原因。

(3) 溶解物质

这类杂质的微粒在 $0.001\mu\text{m}$ 以下，以分子或离子状态存在于水中。溶解物主要为：①溶解盐类包括 NaCl 、 Na_2S 以及 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等的碳酸盐、硝酸盐、氯化物等，它们构成水的硬度和碱度，能中和饮料中的酸味剂，使饮料的酸碱比失调，影响质量；②溶解气体如 CO_2 、 O_2 、 N_2 、 Cl_2 、 H_2S 等的存在会影响饮料的风味和色泽。

1.1.1.3 饮料用水的水质要求

水质的标准主要反映在碱度、硬度、浊度、色度以及化学指标、毒理学指标、微生物指标等几个方面。

(1) 硬度

硬度是指水中存在的金属离子沉淀肥皂的能力，可分为暂时硬度和永久硬度。暂时硬度又称碳酸盐硬度，主要成分是钙、镁的酸式碳酸盐（工业上称为重碳酸盐），其次是钙、镁的碳酸盐，它们在煮沸过程中会分解成为溶解度很小的碳酸盐沉淀，硬度大部分可除去。永久硬度又称非碳酸盐硬度，包括钙、镁的硫酸盐、硝酸盐、氯盐，这些盐类经加热煮沸不会产生沉淀，硬度不变化。水的总硬度是暂时硬度和永久硬度之和，决定于水中钙、镁离子盐类的总含量。硬度的单位是 mg/L 或 mmol/L CaCO₃。

曾使用过的单位有 meq/L（毫克当量/升）和德国度（°d）（1L 水中含有 10mg 的 CaO 为 1 度），换算关系为：1mmol/L=1meq/L=2.804 德国度=50.045mg/L。

天然水按硬度（德国度）可分为极软水（<4 度）、软水（4~8 度）、中等硬度水（8~16 度）、硬水（16~30 度）和极硬水（>30 度）。饮料用水要求硬度小于 8.5 度，否则会产生碳酸钙沉淀和有机酸钙盐沉淀，影响产品口味及质量。使用高硬度的水还会使洗瓶机、浸瓶槽、杀菌槽等产生污垢，使包装容器发生污染，从而增加烧碱的用量。高硬度的水必须经过软化处理。

(2) 碱度

水的碱度取决于天然水中能与 H⁺ 结合的 OH⁻、CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 的含量，以 mmol/L 表示。水中的 OH⁻ 和 HCO₃⁻ 不可能同时并存。OH⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻ 分别称为氢氧化物碱度、碳酸盐碱度和重碳酸盐碱度，三种碱度的总量为水的总碱度。天然水中通常不含 OH⁻，又由于钙、镁碳酸盐的溶解度很小，所以当水中无钠、钾存在时 CO₃²⁻ 的含量也很少。因此，天然水中仅有 HCO₃⁻ 存在。只有在含 Na₂CO₃ 或 K₂CO₃ 的碱性水中，才存在 CO₃²⁻ 离子。碱度过高时，会影响其溶解度；水中的碱性物质和金属离子反应形成水垢，会产生不良气味；碱性物质还和饮料中的有机酸反应，改变饮料的酸甜比而使饮料显得淡而无味，失去新鲜感；同时酸度下降，使微生物容易在饮料中生存。

总碱度和总硬度的关系有三种情况，见表 1-1。

表 1-1 总碱度和总硬度的关系

分析结果	硬度 / mmol · L ⁻¹		
	H 非碳	H 碳	H 负
H _总 > A _总	H _总 - A _总	A _总	0
H _总 = A _总	0	H _总 = A _总	0
H _总 < A _总	0	H _总	A _总 - H _总

注：1. H 表示硬度；A 表示碱度。

2. H 负：表示水的负硬度，主要含有 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 的钠钾盐。

(3) 浊度和色度

通常用浊度和色度来定量表示水中的各种悬浮物和胶体。浊度表示水中悬浮物对光线透射时发生的阻碍程度，通常把 1L 水中含有 1mg 高岭土（或硅藻土）表示为 1 浊度。根据水质情况，采用凝聚沉淀和过滤、氯化等方法去除浑浊。某些胶体物质的存在使水中带有一定的颜色，通常用氯铂酸钾和氯化钴溶液配成标准色列，与水样进行比较，相当于 1mg 铂在

1L 水中所具有的颜色称为 1 度，即色度单位。饮料用水要求浊度小于 1.6 度，色度为无色透明。

选择饮料用水，基本上要求符合我国“生活饮用水卫生标准 (TJ 20—1976)”，见表 1-2。根据汽水工艺用水水质的特殊要求而强调的指标见表 1-3。

表 1-2 生活饮用水卫生标准(摘自 TJ 20—1976)

项目	要求	说明	项目	要求	说明
色	色度不超过 15 度，并不得呈现其他异色	这些指标过高后，不但给人嫌恶的感觉，也有可能是水中含有有害物质和某些病毒的标志	阴离子合成洗涤剂(以烷基苯磺酸钠计)	不超过 0.3mg/L	过量会使水产生异臭、异味和泡沫，并阻碍净水处理过程
嗅和味	在原水中或者煮沸后饮用时，保证无异臭和异味		氯化物	不超过 200mg/L	过量会产生咸味，影响成品口味
浑浊度	不超过 5 度		硫酸盐	不超过 250mg/L	过量会引起腹泻
肉眼可见物	无肉眼可见物	人体必要的元素，过量时会使成品带有铁锈味，并影响成品色泽	总硬度	不超过 25 度	
总铁	不超过 0.3mg/L		pH 值	6.5~8.5	
锰	不超过 0.1mg/L		细菌总数(37℃, 24h)	1ml 水中不超过 100 个	保证水质卫生安全
铜	不超过 1.0mg/L	大肠杆菌	1L 水中不超过 3 个		
锌	不超过 1.0mg/L	过量时会产生氯酚臭	游离性余氯(Cl ₂)	出厂水 0.5 ~ 0.1mg/L, 管网末梢 0.05~0.1mg/L	余氯量过高，产生氯臭，影响产品风味
挥发性酚类(以苯酚计)	不超过 0.002mg/L				

表 1-3 汽水工艺用水水质要求(原轻工业部部颁标准补充件)

项目	标准	项目	标准
总硬度(以 CaO 计)	低于 85mg/L	浊度	低于 1.6 度
总固形物	500mg/L 以下	细菌总数	每毫升水不超过 100 个
游离氯	低于 0.2mg/L	大肠菌群	每升水样中大肠菌群不超过 3 个
色度	无色透明	致病菌	不得检出

1.1.2 水处理

饮用水必须符合国家规定的卫生标准，而饮料用水对水质往往还有特殊要求，水质的好坏直接影响饮料的产品质量。因此当原料用水的水质指标不符合标准要求时，就需要进行相应的水处理。水处理的主要目的是保持用水水质的稳定和一致、除去水中的悬浮物和胶体、去除异臭异味、脱色、将水的碱度降到标准以下及去除微生物，使微生物指标符合规定标准。根据水质的不同，可选择相应的水处理方法。

1.1.2.1 水中悬浮物质、胶体物质的去除

除去原水中的悬浮物质和胶体物质，通常采用混凝和过滤两种方法。

(1) 混凝

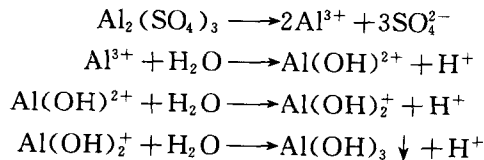
胶体物质在水中具有保持悬浮分散不易沉降的稳定性，其原因是同一种胶体的颗粒带有相同电性的电荷，彼此间存在着静电斥力，使颗粒之间相互排斥，不可能互相接近结合成大的粒子，因而也就不易沉降。添加混凝剂后，胶体颗粒表面电荷被中和，破坏了胶体的稳定性，促使小颗粒变成大颗粒而下降，从而达到澄清的目的。若不经过程混凝处理而采用自然沉

淀，则只能除去水中较大的悬浮颗粒。

混凝包括凝聚和絮凝两种过程。凝聚是指胶体被压缩双电层而脱稳的过程，絮凝则指胶体脱稳后（或由于高分子物质的吸附交联作用）聚结成大颗粒絮状物的过程。凝聚是瞬时的，只需将化学药剂扩散到全部水中的时间即可。絮凝则与凝聚作用不同，它需要一定的时间去完成，但一般情况下两者也不易决然分开，而把能起凝聚和絮凝作用的药剂统称为混凝剂。

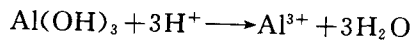
① 混凝剂 水处理中大量使用的混凝剂可分为铝盐和铁盐两类。铝盐混凝剂有明矾、硫酸铝、碱式氯化铝等。铁盐包括硫酸亚铁、硫酸铁及三氯化铁三种。

A. 明矾 明矾学名为十二水合硫酸钾铝，分子式为 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ，是一种复盐，在水中 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 发生水解生成氢氧化铝：

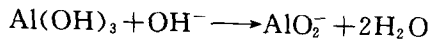


氢氧化铝是溶解度很小的化合物，聚合后以胶体状态从水中析出。在近乎中性的天然水中，氢氧化铝带正电荷，而天然水中的自然胶体，大都带有负电荷，两者具有中和和凝聚作用。同时氢氧化铝胶体又可吸附水中的自然胶体和悬浮物。通过中和作用和吸附作用，水中的胶体微粒渐渐凝聚成粗大的絮状物而沉降，在沉降的过程中，悬浮物被裹入而同时沉降。明矾的用量一般是 0.001%~0.02%。

B. 硫酸铝 硫酸铝的作用原理类似于明矾。它是强酸弱碱所成的盐，水解时会使水的酸度增加，而水解产物 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 是两性化合物，水中 pH 值太高或过低都会促使其溶解，使水中残留的铝含量增加。当 $\text{pH} < 5.5$ 时，氢氧化铝有明显的碱的作用。



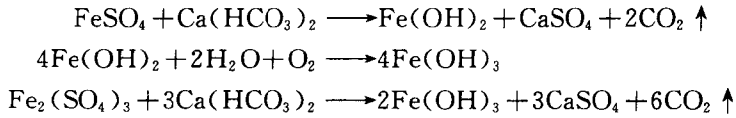
当 $\text{pH} > 7.5$ 时，氢氧化铝又有酸的作用，开始有偏铝酸根 AlO_2^- 生成。



当 $\text{pH} > 9$ 时，水中不再有 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 存在。当水的 pH 值为 5.5~7.5 时，生成的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 量最大，所以在使用硫酸铝为混凝剂时，往往要用石灰、氢氧化钠或酸调节原水的 pH 值接近中性，一般取 6.5~7.5。采用 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 时的有效剂量为 20~100mg/L。每投 1mg/L 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 需添加 0.5mg/L 的石灰。

C. 碱式氯化铝 (PAC) 碱式氯化铝又称聚合氯化铝，其分子式为 $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ ，其中 $n=1\sim 5$ ， $m \leq 10$ 。PAC 在水中时，由于羟基的架桥作用生成多核络合物，带有大量的正电荷，能吸附水中带负电的胶粒。另外它还有较强的架桥吸附性能，不仅能除去水中的悬浮物，还能吸附微生物使之沉淀。它是一种新型的混凝剂，具有许多优点，如对污染严重或低浊度、高浊度、高色度的原水都可达到好的混凝效果；水温低时，其仍可以保持稳定的混凝效果，尤其适合我国北方地区；矾花形成快，颗粒大而重，沉淀性能好，投药量比硫酸铝低；适宜的 pH 值范围较宽，在 5~9 之间，当过量投加时也不会像硫酸铝那样造成水浑浊的反效果。碱式氯化铝的一般用量为 0.005%~0.01%，在相同的效果下，其用量仅为硫酸铝的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ ，目前其有代替明矾和硫酸铝的趋势。

D. 铁盐 常用的铁盐是硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)，另外也有氯化铁 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 和硫酸铁 [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$]。国内用于水处理的是前两种，它们的化学反应表示为：



铁盐在水中发生水解产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体， $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的混凝作用及过程与铝盐相似。由于 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 氧化产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的反应在 $\text{pH} > 8.0$ 时才能完成，因此在水处理时需要加石灰去除水中的 CO_2 。



每投加 1mg/L 的 FeSO_4 ，需要添加 0.37mg/L 的 CaO 。用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 时的有效剂量一般为 $14 \sim 70\text{mg/L}$ 。当 $\text{pH} > 6$ 时，铁离子与水中的腐殖酸能生成不沉淀的有色化合物，所以对于含有有机物较多的水质进行处理时，铁盐是不合适的。

② 助凝剂 为提高混凝效果，加速沉淀，有时需加入一些辅助药剂，称助凝剂。助凝剂本身不起凝聚作用，仅用来帮助凝絮的形成。常用的助凝剂有活性硅酸、海藻酸钠、羧甲基纤维素（CMC）、黏土以及化学合成的高分子助凝剂包括聚丙烯胺、聚丙烯酰胺（PMA）、聚丙烯等。使用助凝剂还可保证在较大的 pH 值范围内获得良好的混凝效果。另外助凝剂的使用，还有助于消除沉淀池出水时携带絮状体或有助于提高现有澄清设备的处理能力。

助凝剂中的 PMA 是一种新型的助凝剂，它是线型高分子聚合物，具有吸附架桥及电中和作用，主要靠氢键来吸附水中混凝剂与杂质微粒所形成的絮凝团以及单独存在的杂质颗粒相互缠绕交联形成的复杂聚合物，并沉淀下来。

③ 混凝条件的确定 在确定混凝沉淀条件时，需要考虑的因素包括原水的性质，包括水的温度、 pH 值及其他物理、化学性质、混凝剂的性状及添加量、助凝剂的性状及添加量、混凝沉淀的装置及混凝沉淀工艺（包括混凝剂、助凝剂等的添加顺序、搅拌强度及时间等）。

总之，水处理时，应先通过小试来确定最佳的混凝沉淀条件。

(2) 过滤

过滤是改进水质的最为简单的方法。原水通过粒状过滤材料（简称滤料）层时，其中一些悬浮物和胶体物被截留在孔隙中或介质表面上，这种通过粒状介质层分离不溶性杂质的方法称为过滤。

① 过滤原理 过滤过程是一系列不同过程的综合，包括阻力截留（筛滤）、重力沉降和接触凝聚。这三种作用在同一过滤系统中是同时产生的。一般来说，接触凝聚和重力沉降是发生在滤料深层的过滤作用，而阻力截留主要发生在滤料表层。

过滤的工艺流程由过滤和冲洗两个循环的过程组成。过滤为生产清水的过程，而冲洗是从滤料表面冲洗掉污物，使之恢复过滤能力的过程。多数情况下，冲洗和过滤的水流方向相反，因而一般把冲洗称为反冲或反洗。冲洗是用一定强度的水流由下而上地通过滤层，使滤层在上升的水流中逐渐膨胀到一定程度，由滤料间高速水流所产生的剪力使滤料上吸附的悬浮物脱落下来，并随反冲水流出滤池。这样，当冲洗结束时，砂粒已经得到清洗，滤池可以重新投入使用。

A. 阻力截留 单层滤料层中粒状滤料的级配特点是上粗下细，也就是上层孔隙大，下层孔隙小。当原水由上而向下流过滤层时，直径较大的悬浮物首先被截留在滤料层的孔隙间，从而使表面的滤料孔隙越来越小，拦截住后来的颗粒，在滤层表面逐渐形成一层主要由