

# 设计手册

朱月海 主 编  
邳玉声 副主编  
顾国维 主 审

# 水处理技术设备设计手册

朱月海 主 编  
鄧玉声 副主编  
顾国维 主 审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

水处理技术设备设计手册/朱月海主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 8  
ISBN 978-7-112-15468-5

I. ①水… II. ①朱… III. ①水处理-技术手册  
②水处理设备-技术手册 IV. ①TU991.2②TU991.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 110401 号

本书为处理水量相对较小, 采用设备化进行处理的综合性水处理技术设计手册。处理内容为: 生活用水、优质饮用(直饮)水、工业给水、特种水处理、海水苦咸水淡化、生活污水、工业废水、中水回用、膜处理技术及污泥的处理与处置和水的循环冷却设备等, 全书共 16 章, 较系统, 翔实地阐述了各种水处理技术设备的工艺布置和设计计算及设备(产品)的研制和开发。

本书可供从事于水处理领域的科技人员、各设计研究院的给水排水专业的设计人员、给水排水工程技术人员、水处理设备生产企业管理与产品研发人员等使用, 也可供给水排水专业和相关的环境保护、暖气通风、水利水电等有关专业师生和专业技术人员阅读参考。

\* \* \*

责任编辑: 俞辉群 石枫华

责任设计: 张虹

责任校对: 肖剑 党蕾

## 水处理技术设备设计手册

朱月海 主编

鄧玉声 副主编

顾国维 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 59½ 字数: 1500 千字

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月第一次印刷

定价: 158.00 元

ISBN 978-7-112-15468-5

(23478)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前 言

无论是给水处理、污水处理、中水回用处理、特种水处理、海水苦咸水淡化处理、饮用水深度处理等，都可称水处理；无论是哪种水，处理的目的是去除水中的物质，使水得到净化，故也可称水的净化处理。不同用途和不同处理对象的水，其水量水质及处理的要求不同，则处理的方法、工艺、构筑物大小和规模也不同。处理水量相对较大的，其处理构筑物一般均采用钢筋混凝土结构，处理水量较小、特别是小于 50t/h 的，可采用工厂化生产的设备进行处理，称为水处理设备。本书就是论述内容为小水量的、可采用设备化进行处理的综合性设计计算手册。

不同处理对象与用途的水，把处理工艺和流程组合在一起，称为一体化；把这些工艺和流程组合在一个设备中，称为一体化水处理设备。如把自来水管厂的加药、混合、反应、沉淀、过滤等常规处理工艺组合在一个设备中，称为给水一体化处理设备。书中把各种水处理的原理、机理、处理方法、工艺组合、适用条件、优缺点、设计参数、设计计算公式及应用等，与具体的水处理设备的设计计算相结合，技术含量较高，使读者既懂得“因为”又知道“所以”，故把该书定名为“水处理技术设备设计手册”。

本书的水处理内容丰富齐全，可采用设备进行处理的各水水源及处理设备都编入在内。如给水处理一体化技术设备（I 型、II 型、III 型）、污水处理技术设备（A/O 法、SBR 法、生物转盘、生物塔滤等）、特种给水处理设计设备（除铁、除锰、除氟、水的软化处理）、优质饮用水处理设备、中水回用处理设备、海水苦咸水淡化处理设备，特别是编入了近几年来快速深入发展的膜分离处理技术设备（电渗析、反渗透、纳滤、超滤、微孔滤膜过滤等）。是一本设备化进行各种水处理的综合性著作。

一体化水处理技术设备的综合性特点为：单台设备处理水量小，布置机动灵活。无论哪种水处理技术设备，单台的处理水量，一般从几 t/h 到 50t/h，也有相对较大的，如给水处理一体化设备最大可达 100t/h，一天处理水量可达  $\leq 2400\text{t/d}$ ，约可供应 16000 人左右生活用水，如果要建一座产水量为 1 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的水厂，则可采用 5 台 100t/h（包括反冲洗、维修等）处理设备并联组合工作，显示了机动灵活性的特点；工厂化生产、现场安装。每种水处理设备都有翔实的设计图纸，在专业厂家按图纸加工制作，进行工厂化生产，而且多数设备的尺寸符合卡车运输的规定，较大的设备可分两段运输，到现场拼装。设备运到现场后按已做好的基础就位，连接管道后就可进行调试；多数设备的制作材料主要是 A<sub>3</sub> 钢板，主要工序为钣金工、冷作工、电焊机焊接、防腐蚀处理。制作成本低、上马快、工期短，与采用钢筋混凝土构筑物相比，首先施工现场要“三通”（通水、通电、通交通），要采购石子、砂子、水泥、钢材等，还要交通运输、施工机械设备、工程施工队等，施工周期长，造价与设备化相比要大 3 倍以上，而工厂化生产的设备，合同签订后 15d 左右就可发货，这对于急需要解决困难的户来说“雪中送炭”，解决了困难，这一特点在某些场合和时间段内，具有独特的优越性；占地面积小。除地理式组合一体化污水处理构筑物之外，其他处理设备占地面积均很小，如给水处理 100t/h 一体化设备（I

型), 占地面积仅为  $13.2\text{m}^2$ , 处理  $1\text{t}$  水的占地面积只有  $0.0055\text{m}^2$ , 与水厂相比, 至少小 20 倍以上, 对节省土地具有重要意义; 调试、维护管理简便, 严格按设计图纸制作的设备, 给水处理主要是调节加药量, 污废水处理主要是菌种的培养(微生物培养需要一段时间), 调试正常后即可投入运行。日常运行操作主要是投加药剂和管道的闸阀闭启及适当的排泥。如果水量水质无多大变化, 则药剂投加量不需要调节、阀门闭启也很少, 故往往不需要设专职人员, 兼职管理或巡视即可。

本书的较多内容是作者长期来结合实际研究、设计开发的产品, 并在实践中进行改进提高的经验总结, 应用性和实践性强, 具有现实意义。特别是膜分离技术在水处理中的应用具有一定的水处理发展方向, 书中的较多举例是近几年来作者设计的具体工程的实例。

本书的第 1 章、3 章、4 章、10 章、11 章、12 章、13 章、14 章、15 章, 第 6 章的 6.1 节、6.2 节, 第 16 章的 16.1 节、16.2 节、16.5 节、16.6 节、16.7 节由朱月海编写; 第 6 章的 6.8 节, 第 8 章的 8.2 节, 第 16 章的 16.3 节、16.4 节由鄧玉声编写; 第 7 章由鄧玉声、姚寿坚、杨燕编写; 第 6 章的 6.3 节、6.4 节、6.5 节, 第 9 章由陈济东编写; 第 2 章、第 5 章, 第 6 章的 6.6、6.7 节由费杰编写; 第 8 章的 8.1 节由刘永昌编写; 第 8 章的 8.3 节由陈岳松编写; 第 8 章的 8.4 节由高顺明、张逸明、许松岩编写; 第 8 章的 8.5 节由姚寿坚编写。

本书是一本采用设备化进行各种水处理的综合性技术设计手册, 内容翔实、结构严密、理论联系实际、概念清楚、说理透彻, 是一本实用性很强的著作。

在编写的过程中, 参考了有关的文献资料, 在此向所有参考文献的作者表示诚挚和衷心的感谢!

# 目 录

<b>第 1 章 水处理技术设备概述</b> .....	1
1.1 一体化水处理技术设备的由来 .....	1
1.2 一体化水处理技术设备的特点 .....	7
1.3 一体化水处理技术设备分类 .....	12
1.4 水中所含的杂质及水处理的任务 .....	34
<b>第 2 章 给水处理的基本原理与方法</b> .....	46
2.1 水的混凝 .....	46
2.2 沉淀与气浮 .....	55
2.3 过滤工艺 .....	67
<b>第 3 章 给水一体化水处理技术设备</b> .....	78
3.1 一体化给水处理 I 型设备设计计算 .....	78
3.2 I 型设备的改进 .....	104
3.3 一体化给水处理 II 型设备设计计算 .....	115
3.4 一体化给水处理 III 型设备设计计算 .....	125
3.5 其他一体化给水处理设备 .....	141
<b>第 4 章 气浮净水技术设备</b> .....	152
4.1 概述 .....	152
4.2 设计要点及计算公式 .....	154
4.3 气浮系统设备 .....	157
4.4 平流式气浮设备设计计算 .....	168
4.5 竖流式气浮设备设计计算 .....	176
4.6 气浮设备的运行与管理 .....	182
<b>第 5 章 无阀滤池给水处理技术设备</b> .....	185
5.1 概论 .....	185
5.2 重力式无阀滤池设备的构造及工作原理 .....	190
5.3 设计参数 .....	192
5.4 设计要点 .....	194
5.5 方形重力式无阀滤池设备设计计算 .....	199
5.6 压力式无阀滤池设备设计计算 .....	207
<b>第 6 章 特种给水处理技术设备</b> .....	215
6.1 铁、锰、氟及硬度的危害 .....	215
6.2 除铁除锰的化学基础知识 .....	218
6.3 除铁除锰的方法 .....	238
6.4 除铁除锰的曝气 .....	245

6.5	除铁除锰设备设计	262
6.6	地下水除氟设备设计	275
6.7	药剂软化设备的设计计算	288
6.8	离子交换软化设备设计计算	296
<b>第7章</b>	<b>水的离子交换除盐处理设备</b>	<b>358</b>
7.1	除盐系统离子交换树脂的性能与原理	358
7.2	一般脱盐水离子交换系统	361
7.3	高纯水离子交换系统	364
7.4	混合床除盐的基本原理和特点	368
7.5	常用离子交换除盐系统	370
7.6	苦咸水淡化-二氧化碳再生法	378
7.7	除盐工艺的设计计算	381
<b>第8章</b>	<b>膜分离水处理技术设备</b>	<b>397</b>
8.1	电渗析水处理技术设备	398
8.2	反渗透除盐技术设备	434
8.3	纳滤水处理技术设备	514
8.4	超滤水处理技术设备	520
8.5	微孔滤膜水处理技术设备	550
<b>第9章</b>	<b>饮用净水处理设备</b>	<b>556</b>
9.1	健康水的由来及标准	556
9.2	饮用水水质标准	562
9.3	直饮水供水量及供水方式	585
9.4	直饮水处理工艺	587
9.5	饮用净水处理设备设计计算	593
<b>第10章</b>	<b>地理式一体化污水处理技术设备</b>	<b>615</b>
10.1	污水的水量、水质及出路	615
10.2	污水生物处理的基本原理	621
10.3	组合地理式污水处理工艺流程	627
10.4	设计参数与计算公式	630
10.5	组合地理式处理设备设计计算	640
<b>第11章</b>	<b>生物滤池污水处理技术设备</b>	<b>664</b>
11.1	生物滤池的构造	664
11.2	生物滤池的机理	668
11.3	生物滤池的分类及流程	673
11.4	生物滤池的设计参数和计算公式	677
11.5	生物滤池设计计算	684
<b>第12章</b>	<b>生物转盘污水处理技术设备</b>	<b>691</b>
12.1	生物转盘概况	691
12.2	构造和布置形式	693
12.3	设计参数	695

12.4	计算公式	696
12.5	设计计算示例	699
<b>第 13 章</b>	<b>SBR 法污水处理技术设备</b>	<b>701</b>
13.1	概述	701
13.2	工艺流程及性能特点	703
13.3	SBR 工艺的配套设备和装置	709
13.4	SBR 工艺的改进	716
13.5	SBR 工艺设计计算	726
<b>第 14 章</b>	<b>污泥的处理与处置技术设备</b>	<b>733</b>
14.1	污泥的种类、性质和数量	733
14.2	污泥的处理工艺及处置	737
14.3	污泥的浓缩处理	739
14.4	污泥的稳定	748
14.5	消化池的设计计算	764
14.6	污泥的脱水	775
<b>第 15 章</b>	<b>中水回用处理技术设备</b>	<b>791</b>
15.1	中水水源特点及回用的重要意义	791
15.2	中水水源、水量和水质	795
15.3	中水水源的集流及水量平衡	801
15.4	中水处理工艺	805
15.5	处理装置及处理站设计	814
15.6	设计计算示例	822
<b>第 16 章</b>	<b>循环水冷却技术设备</b>	<b>829</b>
16.1	概述	829
16.2	冷却塔各部分的功能特性和要求	834
16.3	水冷却的基本原理	862
16.4	湿空气的性质	865
16.5	冷却塔的热力计算	881
16.6	冷却塔的设计与计算	905
16.7	设计计算示例	920
<b>主要参考文献</b>		<b>941</b>



# 第 1 章 水处理技术设备概述

## 1.1 一体化水处理技术设备的由来

### 1.1.1 给水处理一体化技术设备

#### 1. 农村饮水状况

我国是个农业大国，长期以来我国农业人口占全国人口的 80% 以上。近几年来，城镇发展很快，再加上大批农民工进城，农村人口结构发生了变化，城镇人口增加较快，但农村人口仍占全国人口的 70% 左右。农村又相当分散，居民点小而分布很广，一个居民点少则几户，多则几十户，上百户的属于大的村庄。20 世纪 80 年代之前，全国农村基本上没有供水设施，饮用的都是天然水体的水，根据居民点位置、地点的不同，饮用水水质也不同。山区农村基本上饮用山间溪水、小水库水或蓄水池水、或泉水，这些水经山区地层、岩石渗流，水质一般清晰透明，矿物质含量高，在当时农村饮用水中属水质最好的水，至今仍在饮用；平原地区的农村基本上饮用河网、湖泊、池塘水，这些水长期受到洗菜、洗衣、生活污水排放、农药水、村镇企业污水等污染，水质很差，远达不到饮用水水质要求。农民们常采用两种方法来改善水质：一是把水挑入家里的水缸中，加明矾搅拌后沉淀，然后再取用；二是开挖土井，浅层潜水经渗流流入土井，再在土井中取用，水质优于河网、湖泊水，但上述中无论哪种水，均未经过杀菌消毒，很不卫生，对人体健康不利，因此迫切要求改变农村饮用水水质。

农村居民点分散，用水量少，地势起伏不平，相互间间距大，又多坑沟、河流，管线多而长，又不易铺设，故造价高，因此不宜集中建造水厂供水。如设计一种不同处理水量的各种规格的一体化给水处理设备，处理后的水质基本上达到饮用水水质标准，满足不同用水量的农村居民点的供水需要，可基本上解决农村饮用水问题。这是给水一体化水处理设备产生的主要原因。

#### 2. 远离城镇企业的供水需要

有些企业，规模不大，但因某些原因建在离城镇较远处，生产和生活用水量并不大，一般为每天几百吨到上千吨，如从城镇水厂供水，则不仅要铺设数公里以上长途的管道，沿途还要穿越河流、道（公）路、民房等，投资大、费用高、工期长，而且通水后每月还应按工业用水付水费。企业附近虽有水源地，但因用水量不大，专门建造一个小型水厂又不合算。在这种情况下，采用给水一体化水处理设备，则占地面积小、工期短、上马快、制水成本低、安装调试简便，而且不要付自来水费。

#### 3. 部队营房供水的需要

我国部队的营房分布在全国各地，多数驻地在远离城镇的边缘地区，供水相对困难，战士们洗衣、洗澡、饮水以及食堂用水等均会发生困难，长期来未能得到较好或完美的解决，而饮用不卫生的水会影响战士们的身体健康。因此研制开发给水一体化水处理设备，解决部队营房用水问题，具有重要的现实意义。

工程兵等部队,随着工程的需要而流动,营房也随之变更,则一体化水处理设备可装上卡车,随部队运送到新的营房地,安装后可继续运行供水。一般来说,钢制一体化给水处理设备可使用15年以上。

#### 4. 解决建筑工地的用水需要

我国有众多的建筑施工工地,如铁路、公路、桥梁、隧道、大坝等,更多的是厂房和民用建筑工地,人数一般上百人,大工地可能上千人。除在城镇及附近的工地外,多数远离城镇,无法通自来水,因此包括饮用水在内的用水发生了很大的困难,需要采用一体化给水处理设备来解决施工工地的用水问题。

#### 5. “水改”促进了农村饮用水改革

上述我国农村饮用水的现状,在世界农村范围内普遍存在,主要是发展中国家,特别是非洲和亚洲部分贫穷的国家更为严重。“病从口入”,因饮用水的不卫生而产生的各种疾病,死亡率较高,特别是儿童。联合国世界卫生组织(WHO)根据当时现状,由20世纪80年代在发展中国家开展农村10年“水改”工作,并给予落实一定的资金,我国是其中之一。

抓住这个机遇,我国着手对农村饮用水进行改革,开展较早、较快的是经济相对较发达、河网较多、水资源较充足的上海、江苏、浙江等地区。同济大学、浙江省城乡规划设计研究院等首先研究设计了适合农村应用的一体化给水处理设备,很快在较多农村推广应用。同时诞生了一批生产销售一体化给水处理设备的厂家,进而向全国农村及有关企业单位推广应用。这就是给水一体化处理设备的由来。

### 1.1.2 污水、废水处理一体化技术设备

#### 1. 当时我国污废水处理状况

长期以来,我国的城镇生活污水和工业废水得不到有效的控制和治理。其中有治理经费困难问题,也有政策和认识问题,如“先污染后治理”等错误观点,造成我国2/3以上的河流受到不同程度的污染,而且基本上均为城镇附近水体。这等于减少了可利用的水资源量,进一步造成了城市供水和工业用水的紧缺,20世纪90年代初,有260个城市缺水,缺水量为1508万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,影响4090万城市人口的正常生活;因工业生产缺水,造成工业经济损失2000多亿元。可见水资源被污染,将抑制我国国民经济的高速持续发展。

改革开放以来,我国经济得到蓬勃发展,污废水排放量日益增加,污废水处理设施和城市污水处理厂建设没有配套跟上,加剧了水体的污染和水资源的紧缺。1985年全国污废水排放量约340亿t,其中工业废水占75%,城市生活污水占25%(约85亿t/年),83%以上未经处理排入水体,而17%虽经处理,但多数处理后未达到排放标准;1990年全国城市污废水排放量494亿t,其中工业废水378亿t/年(76.5%),城市生活污水116亿t/年(23.5%),1990年全国城市污水处理厂107个,设计污水处理量总和为122176万t/年(即12.22亿t/年),仅为城市污水116亿t/年的10.53%,可见城市污水处理量很低,近90%未经处理而排入水体。治理经济困难、技术落后;水价及排污费偏低;重复利用、循环利用率低;单位产品或万元产值耗水量大;污废水处理率低,排水量大等是当前水体受污染的症结所在。一批水体被判为“死水”,威胁着城镇供水,阻碍着经济发展,危害着人体的健康,生态平衡遭到了严重破坏。因此到了必须实行措施,挽救水体的时候了。

措施可以多种多样,应根据客观条件和实际情况实施,但主要的、能解决实际问题、

见到成效的是建造污废水处理厂或处理设施，达标后排放，或部分深度处理后回用。但建造污废水处理厂是一个系统工程，投资很大。以建城市污水处理厂来说，城市应有系统而完整的分流制排水管网系统，即雨水排水管网系统和污废水排水管网系统，而分流制排水系统在我国只有上海、北京、广州等特大城市建得较早、较齐全、但也已不能满足排水量增加的需要。如上海在1990年已有25座污水处理厂，处理污水量近100万t/h，污水处理厂和处理水量均为全国首位。因上海分流制的污水管网把污水直接输送到污水处理厂进行处理，达到排放标准后再排入水体。但对全国城市来说，大多数大中城市为污水与雨水合在一起的合流制排水系统，则建城市污水处理厂，必须把雨水和污水分开，另建一套完整而系统的污水管网系统，而且中途还需建造若干个污水提升泵站。否则污水处理厂建造好了，也没有污水处理。类似这种情况，在某些城市发生过。这里应说明：建污水处理厂必须是雨、污水分流制，因雨水是不需要处理可直接排放的，如果雨水、污水均流入污水处理厂，特别是雨季、暴雨洪水期间水量很大，污水处理厂是无法设计和承受的。目前县级城镇多数只有雨水排水管道，有的还不是管道，仅为明渠或暗渠，若建污水处理厂，更要齐全雨、污水排水系统。

污水处理厂一般分散建在城市的近郊，虽然城市有大小、污水管网的大小和长度不等，但一般来说，污水管网的始端至污水处理厂起码也有数公里，大城市则几十公里。污、雨水管网系统都是重力流，故污水至处理厂的管网系统中，中途需建造若干个提升泵站。而污水管网和提升泵站的造价要远远大于污水处理厂的造价，而且工期也很长，有的还需要动拆迁，因此总造价高，投资大，按当时的国情，很多城市的资金难以落实。为缓解对环境的严重污染，采取各自分散治（处）理，达到排放标准后排入雨水管道或附近水体，这是一体化污（废）水处理设备（含地埋式）的主要由来。

## 2. 贯彻、落实“谁污染谁治理”

“谁污染谁治理”是我国环保法中的政策，各行各业都应执行。由于各种原因，20世纪80年代之前未能得到切实执行，使环境污染加剧。如果认真贯彻执行“谁污染谁治理”，则污染就不存在了，环境就得到了保护，生态也获得了恢复，水资源紧缺的现状就会得到缓解。

20世纪80年代末、90年代初起，全国各地基本建设大规模开展，“万丈高楼”像雨后春笋那样拔地而起，居住小区、别墅群遍地出现，综合办公楼、新的医院、影剧院、体育馆、宾馆、饭店大量增加。这必造成用水量和污水排放量的大幅度增加，污水处理厂又因多种原因无法同步建造和跟上，那么必然会进一步加剧环境的污染。在这样的背景下，研究设计了地埋式一体化污水处理设备，各单位自行处理达标后排入市政排水管道。

## 3. 实行“三同时”政策

国家规定，污废水处理、环境保护必须同时设计、同时施工、同时生产运行。如果没有达到同步实施，则居住楼、综合办公楼不得销售和出租，影剧院、医院、宾馆、饭店等不得开业。在无法集中处理的情况下，要做到“三同时”，必须上马一体化污水处理设备。

上述三方面是一体化污废水处理设备产生和由来的背景与原因。

### 1.1.3 特种给水处理技术设备

通常指的给水处理是由地面水（淡水）为处理对象（地下水淡水一般清澈透明，不需要处理），以混凝、沉淀、过滤的常规处理工艺为主，主要去除以浑浊度为对象的悬浮物、胶体物及杀菌消毒，在混凝、沉淀等过程中同时去除了其他物质，使水质达到生活饮用水

标准。因此从广义来说，经上述处理后，某种物质含量仍较高，达不到饮用水标准或某专业用水标准，需要具有针对性的专门设备（或构筑物）进行处理，称为“水的特种处理”或“特种水处理”。“水的特种处理”或“特种水处理”，其核心是去除水中的某些特种物质。

这些特种处理，具体来说包括水的除铁除锰；地下水的除氟；水的软化。广义来说，海水、苦咸水淡化（即除盐）和去除水中的污染物质等，也属于水的特种处理。水的特种处理设备的由来简述以下。

### 1. 除铁、锰设备的由来

铁和锰一般相伴出现，地下水因在地下经过漫长的渗流过程，溶解了各种矿物元素，包括铁和锰，故地下水中的铁、锰含量一般高于地面水，而且主要是二价铁的重碳酸亚铁  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ，硫酸亚铁很少见，含铁量一般在  $5\sim 15\text{mg/L}$  之间，超过  $30\text{mg/L}$  的较为少见。

我国《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）规定：含铁量  $< 0.3\text{mg/L}$ ；含锰量  $< 0.1\text{mg/L}$ 。如果常规处理后达不到规定要求，则应进行除铁、除锰处理。城镇的生活用水量，每天从几万吨到几十万吨，甚至上百万吨，因此不可能采用设备化进行除铁除锰处理，而是采用钢筋混凝土构筑物进行大规模的除铁除锰处理。采用设备化除铁除锰主要是对采用地下水的农村给水、分散性用水和工矿企业生产用水来说的，处理水量不大，但不处理会影响产品质量（含铁锰的水对产品的危害见第6章中“6.1”节），则均采用除铁除锰设备进行处理。如果处理水量相对较大，可采用2台以上的多台并联除铁除锰设备。多台并联还有利于反冲洗、维修及用水量变化进行调节等优点。从目前来看，可以说除铁除锰基本上都是采用设备进行处理。

### 2. 除氟设备的由来

氟对人体健康的危害见“第6章6.1节”。

除氟是指含氟量高的地下水作为生活饮用水来说的，我国华北、西北、内蒙古等不少地方的农村、乡镇缺乏地面水水源，生活用水主要靠地下水，而这些地方的地下水，属淡水的并不多，有的是苦咸水，需要除盐后才能饮用；有不少是含氟量  $> 3\text{mg/L}$  的地下水，须进行除氟处理后才能饮用。

因村镇分散，用水量不大，一般不超过  $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，适用于采用设备进行除氟处理。而且这些地方的单井出水量不大，水量小的  $10\sim 15\text{m}^3/\text{h}$ ，中等的在  $20\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ ，大的单井出水量一般也不会超过  $50\text{m}^3/\text{h}$ ，因此很适合采用设备除氟，水量较匹配。当然，根据需求和可能，也可把多台井的水量集中起来，采用多台设备并联进行除氟。

应该说，到目前为止，地下水除氟基本上均采用设备，工厂化生产，运输、安装、调试均方便。

### 3. 水的软化处理设备的由来

含有钙( $\text{Ca}^{2+}$ )和镁( $\text{Mg}^{2+}$ )的水，称为具有“硬度”的水，当水中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  含量较多时，称为硬水。把水中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  含量降低或基本上全部去除，叫做水的软化，即水的软化处理。

水的硬度分为暂时硬度和永久硬度两种，即为通常指的碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度。碳酸盐硬度是由钙、镁的重碳酸盐形成的，通常指的是  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  和  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ，因加热到水煮沸后会形成  $\text{CaCO}_3\downarrow$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$  而沉淀去除，故称为暂时硬度；非碳酸盐

硬度是指  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$  等，因在水中溶解度很大，水到沸点不会产生沉淀而去除，故称为永久硬度。两者之和为水的总硬度。

对生活用水来说，水的硬度不仅对人体健康无害，而且是有益的， $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  是人体所需要的、有利于健康的矿物元素。马丁·福克斯在《健康的水》中论述说，经过大量的实践和调查证明：水中适宜的硬度有利于降低和减少心脏病、高血压、癌等疾病。适宜的硬度为  $170\text{mg/L}$ ，我国生活饮用水卫生标准(GB 5749—2006)规定 $\leq 450\text{mg/L}$ 。我国地面水水源中的硬度一般都低于  $170\text{mg/L}$ ；地下水中的硬度比地面水高，基本上与健康水的硬度比较接近。对生活用水来说，过去是用硬水洗衣服、织物，消耗肥皂( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$ )较多，现在用洗衣粉，洗涤剂洗衣服和织物，此问题就不存在了。因此，水的软化不是对生活饮用水来说。严格来说，对饮用水硬度达不到健康水要求时，不仅不能软化处理，科学的态度是还应增加硬度。

可见，水的软化处理主要是对部分工业生产用水来说的(硬度对生产和产品的危害见第6章6.1节)。对水的软化处理，除加热能去除碳酸盐 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  和  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 之外，主要是药剂软化法和离子交换软化法两种。采用设备进行水的软化处理的是离子交换法，加热软化和药剂软化法均不属于规格化设备软化法。

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  在  $0^\circ\text{C}$  时溶解度为  $2630\text{mg/L}$ ，到  $100^\circ\text{C}$  时全部分解，产生  $\text{CaCO}_3 \downarrow$  沉淀去除； $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  在  $0^\circ\text{C}$  时溶解度为  $5400\text{mg/L}$ ，到  $100^\circ\text{C}$  时全部分解，产生  $\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$  沉淀去除。可见，加热软化法是利用钙、镁碳酸盐类溶解度随温度升高而分解的规律。

但加热不能去除  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$  等非碳酸盐硬度(即永久硬度)，则在不加热条件下，把所有的钙、镁盐类(暂时硬度和永久硬度)都转化成  $\text{CaCO}_3$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  沉淀而去除，这就是药剂软化法，使用石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 和苏打( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )进行软化，用石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 软化  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  产生  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CaCO}_3 \downarrow$  沉淀去除；石灰软化  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  产生  $\text{CaCO}_3 \downarrow$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$  而沉淀去除； $\text{Ca}(\text{OH})_2$  去软化镁的永久硬度  $\text{MgCl}_2$  和  $\text{MgSO}_4$ ，则镁硬成为  $\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$  沉淀去除，但产生了等当量的钙硬为  $\text{CaCl}_2$  和  $\text{CaSO}_4$ ，则把水中原有的钙硬( $\text{Ca}_2\text{Cl}$ 、 $\text{CaSO}_4$ )和新产生的钙硬用苏打  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  进行软化，均产生为  $\text{CaCO}_3 \downarrow$  沉淀去除，而生成的  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  不是硬度。因此药剂软化法是利用  $\text{CaCO}_3$ ( $0^\circ\text{C}$ 时溶解度为  $15\text{mg/L}$ )和  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ( $0^\circ\text{C}$ 时溶解度为  $10\text{mg/L}$ )溶解度小的特性。

加热法和药剂软化法的共同点都是把钙、镁盐类转化成  $\text{CaCO}_3$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  达到把  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  去除的目的，它们是在钙、镁盐类内部实行转化。而钠的化合物(钠盐)溶解度都很高，而且随着温度的上升而增加，那么能否利用钠盐溶解度规律，把水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子都交换成  $\text{Na}^+$  离子，而其他的离子又不改变，这样水里全是  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  这些盐类的溶解离子，它们既不是硬度，也不会沉淀出来，而水中也没有残余的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子这就是第三种转化法，即离子交换法。

离子交换法比前两种方法优越，因  $\text{CaCO}_3$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  虽然溶解度很小，但仍有少量  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  溶解在水中，而离子交换是把水中的所有  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  交换成  $\text{Na}^+$ ，转化比较彻底。

用来进行  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  交换的是  $\text{RNa}$  型阳离子交换树脂，简称钠型树脂，安装在交换器(即软化设备)内，含  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的水流过交换器时， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  被吸附上去， $\text{Na}^+$  被交换下来，达到了软化的目的，在第6章中进行详述。

### 1.1.4 水的除盐处理技术设备

去除和降低水的含盐量的工艺称为除盐。因此除盐包括淡水和海水及苦咸水两方面的内容。对淡水来讲,除盐就是基本上去除水中的阳离子和阴离子,达到纯水、高纯水的要求;对海水、苦咸水来说,除盐是降低(即大部分去除)水中的阳离子和阴离子,达到饮用水的要求,故亦称海水、苦咸水淡化。

淡水除盐主要是对水质要求很高的工业用水来说的,如高压锅炉对蒸汽品质要求很高,因此除了去除水中的硬度以外,要求较彻底的去除水中所有的阴、阳离子;对电子工业来说,特别是微电子对水质要求非常高,水中如果存在离子带到电子产品中,会造成断路或离子导电而产生漏电,影响产品质量;对医药工业而言,针剂中混入离子杂质会危害人体健康。凡是上述各种用水,均要进行水的除盐处理。

海水的平均含盐量为 $35000\text{mg/L}$ ;我国内陆的一批咸水湖,如青海的青海湖,西藏的纳木错湖、色林错湖,内蒙古的呼伦湖,新疆的博斯腾湖、赛里木湖等,面积均在 $1$ 千平方公里以上,都是咸水湖,含盐量与海水相似;而西北地区的地下水,很多为苦咸水,含盐量达到 $10000\text{mg/L}$ 。我国沿海人口较密集、经济发达,但不少城市淡水紧缺,海水丰富,如大连、青岛、宁波、温州等,必会影响经济的高速持续发展,海水利用和海水淡化处理,随着经济的发展、实力的增强,也必会提到议事日程上来,目前浙江定海已建成了产水量为 $1$ 万 $\text{m}^3/\text{d}$ 的海水淡化处理厂;西北地区水资源特别紧缺,长期来影响着经济发展和人民的生活,缺淡水的地方必须进行苦咸水淡化处理。

海水、苦咸水淡化处理要求把含盐量降低到 $1000\text{mg/L}$ 以下,达到饮用水的要求。淡水除盐处理和咸水的淡化处理水量均并不大,一般为每小时几吨到几十吨,故一般均以设备化处理,如电渗析、反渗透、离子交换等。根据原水水质和对处理后的水质要求的不同,可用单一性能的设备处理或不同性能的各种设备串联起来处理,其处理工艺均为设备化的组合,故对主要设备有重点的针对性的进行介绍。

### 1.1.5 其他有关的水处理技术设备

#### 1. 中水回用处理设备的由来

城市污水处理厂的水量较大,从几万 $\text{t/d}$ ~几十万 $\text{t/d}$ ,故经深度处理后的水一般回用于工业生产用水,如循环冷却水等。这里指的中水回用是用设备进行深度处理的水,处理水量一般为几 $\text{t/h}$ ~几十 $\text{t/h}$ ,如居住小区、企事业单位、综合楼等生活污水,经处理达到排放标准后再用设备进行深度处理,达到中水回用标准后进行回用。

这些中水主要回用于居住小区景观用水、河道补充水、浇洒道路、洗车、绿地绿化用水等,也可用作消防用水。对我国来说,中水回用在一定程度上可起到缓解水资源紧缺、供需矛盾突出的现状,不仅“三北”地区的中水回用意义重大,而且南方及沿海城市,居住小区设计时要同时考虑小区范围内的中水回用。

#### 2. 直饮水处理设备的由来

由于取水水源受到不同程度的污染,水厂的常规处理工艺对某些不利于人体健康的物质不易去除。生活水平的提高,健康长寿的愿望比过去更为强烈,因此对饮用水也提出了更高的要求。为此,20世纪90年代初,出现了以自来水为水源,以臭氧、活性炭、膜技术等为主体的直饮水处理设备,处理后的水可直接饮用,即至今仍在使用的桶装水及居住小区分质供水。

直饮水是指打开水龙头就可直接饮用的水,直饮水从不同的处理工艺和方法得到不同

的水质来说,可分为净水、纯净水、矿化水或矿泉水等,从总体上来说,其水质均符合《饮用净水水质标准》(CJ94—1999)。净水是指自来水再经深度处理(如臭氧、活性炭等),去除了对人体不利的三卤甲烷等物质,保留了人体需要的钙、镁等矿物元素,称为健康的水;纯净水是经过离子交换或膜技术处理的水,水中的所有阴、阳离子(包括人体需要的矿物元素)基本上均被去除了,称为纯水,它的纯度比净水高,但因在去除对人们有害物质的同时又去除了对人体有益的矿物元素,而且水偏酸性,因此是否属于健康的水,是有不同的看法和争议的。

## 1.2 一体化水处理技术设备的特点

### 1.2.1 共同的综合特点

#### 1. 处理水量小

因采用设备进行水处理,又把处理工艺流程组合在一个设备中,为便于运输和安装,其体积受到一定的限制,故总体来说,上述无论哪种设备,单台的处理水量均较小,一般从几 t/h 到 50t/h,最大为 100t/h。单台设备一天的处理水量 $\leq 2400\text{t/d}$ 。因此对于处理水量较大的,则往往采用几台并联组合。如 1 万 t/d 的生活饮用水需要 100t/h 的 5 台一体化给水处理设备并联组合工作。

对于地理式一体化生活污水处理设备,分为工厂化生产的组合式玻璃钢壳体设备和现场浇筑的钢筋混凝土构筑物。前者处理水量小,工厂化生产,装运到现场安装即可;后者处理水量相对较大,不易工厂化生产和运输,则采用钢筋混凝土结构,现场施工,它也是把处理工艺组合在一起的一体化处理构筑物。

#### 2. 工厂化生产、现场安装调试

上述的各种一体化水处理设备,基本上均可在专业厂进行加工制作,工厂化生产是一体化水处理技术设备的共同特点。

每种水处理技术设备都有翔实的设计图纸,按图进行加工制作。使用的材料基本上均为 A<sub>3</sub> 钢材。制作的主要工具为切割机、电焊机、卷板机及起吊设备,主要工种为冷作工、钣金工、电焊工等。设备和制作工具较简单,制作的技术含量也不高,初期投资也不大,因此很容易上马。20 世纪 80 年代,在江、浙两省水处理设备生产厂家,像雨后春笋一般,得到蓬勃的发展,如江苏宜兴市一个镇就有 200 多家,基本上均为乡村和个体企业。

多数一体化水处理设备的长、宽、高符合于卡车运输规定尺寸。较大型的设备,分为两段运输,到现场再拼装。使用单位在设备到达之前数日,按设计图纸浇筑好基础,设备到达后即就位安装,连接进出水和排泥放空等管道后,可进行调试,调试稳定后可投入运行。

#### 3. 工期短,上马快

这是与采用钢筋混凝土结构的现场施工进行比较的。现场施工首先要“三通”(通水、通电、通交通);要采购石子、黄砂、水泥、钢材等材料;要有施工的机械设备及施工队等。因此工期相对较长。而以 A<sub>3</sub> 钢为基材的工厂化生产设备,从下料到制作成功及防腐处理,仅需数日,一般从订货(签订合同)到发货到现场,15d 左右即可完成,这就大大缩短了工期,对于要求上马快,急需要解决困难的单位来说,“雪中送炭”,解决了大问

题。这一特点在某些场合和时间段内，具有它的独特性和优越性。

#### 4. 占地面积小

对于相同的处理水量设备进行比较，污废水一体化处理设备因由调节池、生化、物化及污泥浓缩等工艺所组成，故相对占地面积较大些，其他所有一体化水处理技术设备的占地面积都很小。如给水处理的 100t/h 一体化设备，占地面积仅为  $13.2\text{m}^2$ ，处理每 1t 水占地面积只有  $0.0055\text{m}^2 / (\text{t} \cdot \text{d})$ ，与建自来水厂用地面积相比，至少小 20 倍以上。对于我国人均土地很紧缺来说，节省土地的利用率具有重大意义。

#### 5. 维护管理简便

对于一体化水处理设备来说，安装调试完毕，投入运行后，其主要的运行操作是投加药剂（混凝剂和杀菌消毒剂）和闸阀的启闭（进、出水，反冲洗，排泥等阀门）。一般分手动操作和自动化操作两种，只要水量、水质无变化，则混凝药剂和消毒杀菌药剂不需要调节，而闸阀的启闭次数很少，往往一个班次也不需要启闭一次。因此一体化水处理技术设备的运行一般不需要设专职人员，兼职管理或巡视即可。这样，降低了运行成本和管理系统与机构。

一体化水处理技术设备一般均用在较小水量的分散处理系统，上述是它们的共同特点，给水、污废水等不同的一体化处理设备，还有他们各自的特点，将分别予以论述。因有上述的共同优特点，既能解决实际问题，又受到用户的欢迎，至今仍采用较多较普遍。

### 1.2.2 给水一体化水处理技术设备的优特点

#### 1. 原水为地面水水源

众所周知，地下水在岩层、砂砾石层中缓慢渗流（过滤），一方面溶入对人体有益的矿物元素，同时使水清澈透明，故一般不需要净化处理。只有当铁、锰、氟等溶入量多，超过国家规定的标准值时，需要除铁、除锰、除氟等处理，但归入在“水的特种处理”中。

给水一体化水处理技术设备处理的原水为地面水水源，即江河、湖泊、水库水。不包括含盐量高的海水，海水属于淡化处理。被处理的地面水水质为Ⅳ类之内水源，但对磷、氮及藻类等要求限量控制，不能超过规定值。藻类会堵塞一体化处理设备，磷与氮又是藻类营养物，会促使藻类大量繁殖，而一体化给水处理设备又无法除磷脱氮，故对湖水和部分水库水更应注意和控制。

通常情况下浊度应小于 500 度，短期可在 1000 度以上。湖泊、水库相当于一个天然沉淀池，水经较长时间沉淀后，浊度均较低。特别是水库，水于山区很多溪流汇集而成，溪水本身清澈透明，再经水库沉淀，浊度往往在 3 度左右，一般不会超过 5 度，只有当暴雨洪水时浊度会升至 50 度左右，但时间不长。因此取自水库水时，一体化处理设备可省去沉淀部分，使内部结构简化。

#### 2. 加工制作简便

一体化给水处理设备分外购件和制作件两部分，属于外购件的为：管道（进水管、出水管、反冲洗管、取样管等），弯管（多数为  $90^\circ$ ），阀门，斜管（板），石英砂（或塑料泡沫浮珠）等。这些采购后属于装配问题；属于制作件的，主要是  $A_3$  钢为基材的外壳体和反应、过滤部分。因此加工制作较简便，只要按设计图纸及尺寸下料，焊接即可。要把好关的是设备的防腐蚀处理，这关系到使用寿命的长短，特别是连接和焊接部分的防腐处理，考虑要周到，不能有死角。



如果外购件及材料都已具备，则处理水量在 30t/h 之内的设备 3~5d 可制作完毕（小设备时间短，大设备时间长些），所以 15d 左右就可供货，运到现场安装。供货时间短，对于紧迫要供水的用户来说，解决了实际困难，很受用户的欢迎。

### 3. 初期投资省，易上马

具有一定规模、正常生产的企业，应具备：有足够面积的生产车间，设有起吊设备（主要为电动桁车），车床、刨床、钻床、自动切割机、自动电焊机、卷板机、材料仓库、运输卡车、办公楼等。车间又分为钣金工、冷作工、防腐蚀、装配等，产值在几千万元至亿元以上，占地面积通常为 20 亩以上。

但刚上马时初期投资非常省，可称得上“白手起家”，只要有电焊机就可制作，占地面积也很小，发货可委托运输公司。如江苏某企业，在 20 世纪 80 年代初刚上马时，可以说什么都没有，场地是被废弃的矮平房小学，利用订货的预付款购买 A<sub>3</sub> 钢板，靠一台电焊机、采用“小炉洋”的方法，制作成第一台处理水量为 10t/h 的给水处理设备。没有起吊设备，无法把设备吊装在卡车上，就采用把粗木棒绑在树身上，利用杠杆作用，用人工起吊法把设备吊到卡车上。

该企业初期无多大投资，人员也较少，但发展迅速，一年后建造了大型车间，购置了制作所需要的所有设备，建造了办公楼和接待楼。从该企业可见：初期投资少，易上马，在保证技术和销售渠道的前提下，发展较稳较快。

### 4. 体积小，处理效果好

给水一体化水处理设备由反应、沉淀、过滤等处理工艺组合而成。其组合的结构布置有上下叠加的垂直式和平面排列组合的平面式两种，总的来说体积较小，无论是垂直式还是平面式，因设计参数基本上是相同的，故相同处理水量的设备，垂直式与平面式的体积也基本上相同，但垂直式的占地面积小于平面式。

给水一体化处理主要是常规处理工艺，故处理效果与出水水质的好与差，与原水水质关系较大，较密切，一般Ⅲ类半之内的水体作为水源水，处理后的水质浊度（NTU）< 1°，可达 0.5°。对于氨氮、磷及有机物含量较高的原水，则处理后的水质相对较差，其浊度一般≤3°。同时出水水质与过滤方法和滤料有关，常规的过滤为石英砂滤料或塑料泡沫浮珠滤料，如采用活性炭滤料过滤，或采用双层滤料（无烟煤石英砂组合或活性炭石英砂组合等）过滤，则出水水质好于石英砂、泡沫浮珠过滤。

经给水一体化设备处理的水质，经杀菌消毒后，基本上达到生活饮用水水质要求，解决了广大农村和部队营房等生活用水问题。受到各方面的关注、重视和好评。

### 5. 运输、安装方便

处理水量≤30t/h 的一体化给水处理设备，根据长度、宽度和高度的运输规定，垂直式的设备可整体用卡车运输；平面排列布置的设备视组合排列的不同情况而定，一般（多数）也可用卡车整体运输。处理水量>30t/h 的一体化给水处理设备，一般分为两个部分用卡车运输，到现场再焊接或整体安装。可见，根据设备的大小（即处理水量的大小），可分别采用小、中、大卡车运输，总体来说是很方便的。

设备的基础，使用单位按照基础设计尺寸在现场浇注，待设备运到后即可吊装就位。然后安装斜管（板）、滤料等，再安装管子（或连接管子）及阀门。安装的工作量不大，也较简便，一般安装现场 2~3 人即可。安装后应认真检查，必要时试压，检查是否漏水，然后进行调试。