

环境工程治理技术丛书

气浮净水技术

国家环境保护局科技标准司主持
环境工程科技协调委员会

中国环境科学出版社



环境工程治理技术丛书

气浮净水技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

陈翼孙 胡 斌 编著

顾国维 审校

300/08



内 容 简 介

本书主要从气浮净水技术的概述、基本原理、技术鉴别与参数选择、适用范围与应用实例、气浮法与沉淀法的技术经济比较、提高气浮净水技术的途径等六个方面介绍。可供环境工程科研人员和管理人员参考。

环境工程治理技术丛书 气 浮 净 水 技 术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会
陈翼孙 胡 斌 编著
顾国维 审校
责任编辑 陈菁华

中国环境科学出版社出版
北京崇文区北岗子街8号
三河县艺苑印刷厂印装

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1991年3月第 一 版 开本 787×1092 1/32
1991年3月第一次印刷 印张 2 1/2
印数 1—2,800 字数 56千字

ISBN 7-80010-730-2/X·390

定价：1.50元

《环境工程治理技术丛书》编辑委员会

主 编 张崇华

副主编 顾国维 沈光范 刘秀茹 臧玉祥

编 委 魏 平 朱耀华 程岩法 彭志良

黄文国 蒋如质 曹凤中 宫 伟

蒋琪瑛

41798

序

解决我国的环境问题，一靠政策，二靠管理，三靠科学技术。在政策上，我国已把环境保护列为一项基本国策并制定了一系列方针政策；在管理上，我们不断总结经验，加强制度建设，强化监督管理，正在建立环境保护工作的新秩序；在科学技术上，关键是要抓好两头，一头是集中财力物力和人力，围绕解决经济建设和社会发展中迫切需要解决的环境问题的关键性技术课题，认真开展科研攻关；另一头是大力开发和普遍推广效益好、见效快、适用性强的治理污染的技术成果，提高广大环境保护工作人员的业务水平和技术素质，帮助广大企业包括乡镇企业加速实现环境保护的技术进步。这是密切科技和生产的结合，迅速提高我国防治污染水平的重要途径。

十多年来，我国各科学研究所、高等院校、设计单位以及工业地区的专业部门在污染防治、环境工程技术等方面取得了许多科技成果，积累了不少经验。把这些科技成果和经验加以归纳总结使多数人掌握，可以避免环保科研工作在一水平上的重复劳动。把国内科技研究同引进先进技术有效地结合起来，有利于加速对引进技术的消化、吸收和创新。

鉴于科学技术的重要性和交流、总结经验的迫切性，国家环境保护局科技司和国家环境保护局环境工程协调委员会组织编写了这套《环境工程治理技术丛书》，在编写的体例上既不同于一般的科研成果报告，又不同于一般的教科书，而

是突出应用性和经验的总结。

本套丛书的编辑委员会承担了组织选题、编写和审稿等具体工作。丛书的内容有单元技术和设备、处理工艺技术和环境污染区域综合防治；废水、废气、废渣的处理与利用和环境影响评价等。在治理技术的编写中，一般包括国内外的技术进展，工艺技术的特点和原理，设计计算和实例介绍与分析，其中有的还包括作者对一些技术问题的讨论和看法。承担编写和审稿的同志大都是多年在第一线上从事这方面工作的专家。本套丛书共几十本，计划分批付印出版。

虽然我们力图使本套丛书深入浅出，图文并茂，具有科学性、实用性和先进性，但由于篇幅所限，每个问题的论述不可能面面俱到，加之从编写到编辑出版时间较紧，而科学技术本身又在不断发展，所以丛书中的缺点和错误在所难免，希望得到读者批评指正。

张崇华

1990年4月

目 录

第一章 概 述.....	(1)
第二章 基本原理.....	(8)
第一节 带气絮粒的上浮速度.....	(8)
第二节 水中气泡的形成及其特性.....	(10)
第三节 絮粒的形成及其特性.....	(14)
第四节 气泡与絮粒的粘附.....	(17)
第三章 技术鉴别与参数选择.....	(20)
第一节 压力溶气系统.....	(20)
第二节 溶气释放系统.....	(22)
第三节 气浮分离系统.....	(26)
第四章 适用范围与应用实例.....	(30)
第一节 给水净化中的应用.....	(30)
第二节 废水处理中的应用.....	(37)
第五章 气浮法与沉淀法的技术经济比较.....	(63)
第六章 提高气浮净水技术的途径.....	(68)
主要参考材料.....	(71)

第一章 概 述

气浮净水技术是国内外正在深入研究与不断推广的一种水处理新技术。它是设法在待处理水中通入大量密集的微细气泡，使其与杂质、絮粒相互粘附，形成整体比重小于水的浮体，从而依靠浮力上浮至水面，以完成固、液分离的一种新净水法。

近十年来，气浮净水新技术已在国内迅速发展，据不完全统计，全国已拥有千余座各类气浮净水装置，其中有应用于饮用水净化的日产数十万t水的大型气浮净水装置，也有运行于实验室、研究所处理废水量不到0.5t/h的小型气浮净水装置。

目前，气浮净水装置已广泛应用于炼油、造纸、印染、电力、电镀、化工、化纤、毛纺、皮革、电泳漆、食品、机械、城市污水、浴室、自来水等行业，并取得了良好的效益。

随着气浮净水技术的推广应用，有关气浮净水的设计参数、计算方法、注意事项、配套设备的产品规格等等均已首次纳入新编的给水设计规范及给水排水设计手册，以供全国的给排水工作者参考选用。此外，还可参考由中国建筑工业出版社及上海科学技术出版社出版的两本有关气浮方面的专著即《气浮法净水》及《气浮净水技术的研究与应用》。目前，除大、中型气浮池采用钢筋混凝土结构外，为了适应社会上对本项新技术的急切要求，全国数十家环境保护设备厂，对

小型气浮装置均以成套钢结构产品形式对外供应。

在不长的时期内，一项水处理新技术得到如此广泛的重视与应用，这在给水排水发展史上也是少见的。为此，总结10年来气浮净水技术推广应用的成功经验与不足之处，显然是十分必要的。

鉴于过去已有专著出版，为了避免冗长与重复，因此，在理论及实验、研究等方面都作了精练与更新。而在应用实例方面则作了加强。

应该指出，一种新的净水技术的出现，往往是在传统的净水技术遇到困难，或者丧失其优越性时才脱颖而出的。气浮法净水也不例外。当分离水中的油类、纤维、藻类以及一切轻飘的杂质，而沿袭传统的重力沉淀法达不到满意的净水目的时，人们创造了气浮法这项新的净水技术。可见，去除水中轻飘杂质是气浮法净水的最大特点。

气浮净水技术按产生气泡的方式不同而有多种类型。国内已经采用的有：压力溶气气浮法、电解凝聚气浮法、微孔布气气浮法（须投加表面活性剂）、叶轮散气气浮法（引进设备）。其中压力溶气气浮又分压缩空气供气及水射器吸气两种，而以压缩空气供气的压力溶气气浮装置为数最多，应用面最广。

电解凝聚气浮法的优点是，在通电的状况下，凝聚与气浮同时进行，效果较好，其缺点是电能消耗及极板损耗较大，运行费用较高。

微孔布气气浮法的优点是直接利用净化后的低压空气经微孔板切割成微孔泡而进行气浮，可以大大降低能耗，可惜目前的微孔板孔径太大，必须投加表面活性剂方能形成可利用的微小气泡，这样就极大地限制了它的使用范围。

叶轮散气气浮法是利用叶轮、固定孔板将水气混合流切割成含微小气泡的乳浊液，以此粘附杂质。由于该法产生的气泡大、小不均匀，无效气泡较多，目前仅用于个别炼油厂的含油废水处理。

与前面三种方法相比，压力溶气气浮法具有以下优点：

1. 在加压情况下，空气的溶解量增加，供气浮用的气泡数量能得到很大程度的满足，从而确保了气浮净水效果。

2. 溶入的气体经骤然减压释放，产生的气泡不仅尺寸微细、均匀，而且上浮稳定，对液体扰动小，因此，能适用于疏松絮粒、细小颗粒的固、液分离。

3. 工艺设备比较简单，管理、维修也方便。

因此，压力溶气气浮法的应用范围较广，采用的单位最多，且大、中、小规模给水与废水处理均能适应，故而，对其基本原理及技术性能的研究也较深入和有系统性。

压力溶气气浮法由溶气系统、释气系统、分离系统三部分组成。常用的工艺流程如下：

水泵2自调节池1将原水提升到反应池3，絮凝剂在吸水管上投入，并经叶轮混和于反应池中进行絮凝，反应后的絮凝水通过穿孔墙进入气浮池5的接触区，与来自溶气释放器4释出的释气水相混和，此时水中的絮粒与微气泡相互碰撞粘附，形成带气絮粒而上浮，并在分离区进行固液分离，浮至水面的泥渣由刮渣机刮至排渣槽7排出。清水则由穿孔集水管汇集至集水槽6后出流。部分清水经由回流水泵8加压后进入溶气罐9，在罐内与来自空压机10的压缩空气相互接触溶解，饱和溶气水从罐底通过管道输向释放器。

国内也有用水射器或泵前插管吸入空气来代替空压机供

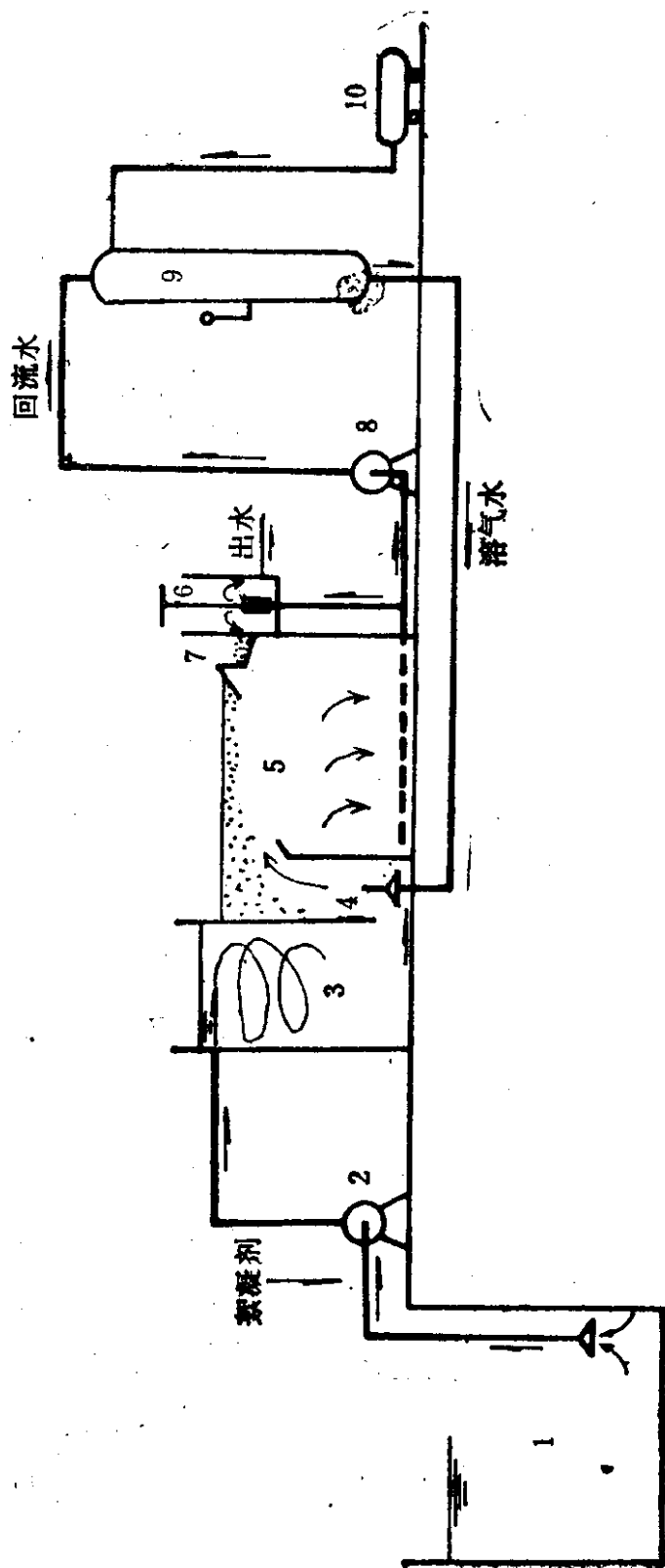


图1 压力溶气气浮法工艺流程

1—调节池（或吸水井），2—原水泵，3—反应池，4—溶气释
放器，5—气浮池，6—集水槽，7—排渣槽，8—回流水泵，
9—压力溶气罐，10—空压机

气的，水射器吸气产生的噪声较空压机小，但其能耗较空压机供气大得多。

我国在压力溶气气浮净水技术的基本理论研究与生产实践方面都已达到国际水平。它反映在：

溶气系统 溶气罐的溶气效率在水温 20°C 时已达90%，水温 30°C 时，溶气效率为99%以上；溶气罐停留时间仅50~75s；过流密度为 $3000\sim 5000\text{m}^3/(\text{d}\cdot\text{m}^2)$ 。

释气系统 研制成在低压条件下，就能释出大量微气泡的TS、TJ、TV型（其中TV型获中国专利86206538）溶气释放器，并在全国普遍应用。其释气压力生产上常用 $2.5\sim 3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，回流比一般给水取5~10%。废水水质变化较大，一般采用20~30%。释气水中的气泡直径平均仅为 $20\sim 30\mu\text{m}$ 。释气效率达99.2%。

分离系统 目前已有平流式、竖流式、组合式三种池型，其中组合式又分气浮-斜管沉淀式、气浮-普通滤池式、气浮-移动罩滤池式、气浮-絮凝池式、絮凝-沉淀-气浮-过滤式等多种类型。组合式具有占地小、造价低、效果好、能耗省等优点，颇受用户欢迎。

气浮池分离区的表面负荷率根据原水水质决定。一般给水在 $7.2\sim 10.8\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ，高的可达 $18\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。废水种类很多，成份复杂，变化较大，浓度高、低不一，可浮性差别很大，有的很快上浮，而且不易下沉；有的上浮缓慢且浮渣稳定性较差，因此，表面负荷率相差很大，通常在 $5.4\sim 7.2\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ，高的可达 $10.8\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。

测试技术 我国研制成功的释气量测定装置（见图2）具有精度高（释气实测值达到溶气理论值的98.6%）且数据重现性好（同条件水样的两次读数误差在 $0.5\text{ml}/\text{L}$ 以内）、

设备简单、测定快速等优点。与国外测定装置相比，其主要特点为：①以释放器代替了针形阀，使释气更趋完善；②以容积小的量气管及容积大的锥形气水分离瓶取代单一的等径溶气测定管使气体分离充分，计量更为正确；③操作更为轻巧简便。

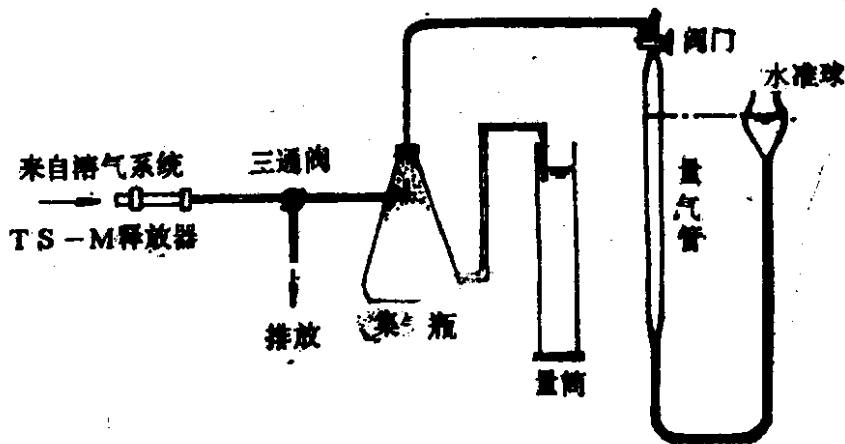


图2 释气量测试装置示意图

在释气水处于流动状态下，采用动态显微摄影装置直接拍摄其中微气泡尺寸分布是我国研制成功的又一项先进技术。该装置摄得的微气泡大小与分布真切可靠。

应该说推广气浮法净水确已具备了良好的技术条件，然而在全面推广与应用中也发现了不少问题。它反映在：

1. 未弄清楚废水中所含成份及含量，也不通过气浮可行性试验，凭主观意愿选用气浮工艺，结果有的絮粒与气泡互不粘附而根本不浮，有的浮而即沉，有的浮渣压不紧，有的气泡自聚力强，很快破碎逃逸，这些都导致气浮效果变差。

2. 对气浮净水系统各部分的作用与技术性能不清楚，随意设计和选用设备，例如误以为溶气罐总是大一些好，溶

气水总是多一些好等等，结果导致即使可浮性较好的废水也变得难以上浮。

3. 虽然废水性质类同，如均属电镀废水或印染废水，但由于生产中所采用的工艺不一，原材料品种不一，操作上的控制不一等原因，都会使含量高、低相差悬殊，气浮效果明显不同，有的经一次气浮就能达到排放标准，有的经两次气浮也无济于事。

4. 尽管废水成份及含量均类似，但未考虑地面水源与地下水源有区别（后者水的表面张力较大）而导致效果显然不同。

5. 废水中表面活性剂含量太多，而未作预处理，引起气浮效果变差也是常见的事。

6. 操作管理上的失误以及药剂品种及投加量的选择不当，也是气浮净水效果不佳的常见原因。

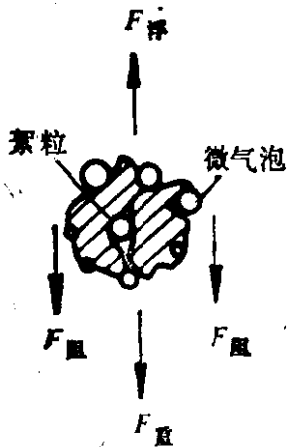
气浮法净水技术还在发展，国内外均在深入研究，然而客观事物给人们设置的障碍，总会在不断总结经验教训的基础上得到克服。

第二章 基本原理

采用气浮法净水时，因水中存在着多种溶解性和非溶解性的有机、无机杂质，净水药剂以及大量的微细气泡，所以它们之间的混和、絮凝以及与气泡粘附的过程是一种十分复杂的物理化学过程。水中杂质、混凝剂、微气泡以及相互粘附后形成的带气絮粒的性质都会影响气浮净水的效果。下面分别介绍它们的特性及基本作用原理。

第一节 带气絮粒的上浮速度

粘附了气泡的絮粒（简称带气絮粒）在水中上浮时，在宏观上将受到重力 $F_{重}$ 、浮力 $F_{浮}$ 和阻力 $F_{阻}$ 等外力的影响（图3）。带气絮粒上浮时的速度可借助牛顿第二定律导出：



$$m \frac{dv_{上}}{dt} = F_{浮} - F_{阻} - F_{重} \quad (1)$$

图8 带气絮粒上浮时的受力情况 将重力 $F_{重}$ 、浮力 $F_{浮}$ 和阻力 $F_{阻}$ 分别以相应的公式代入后，即可求得带气絮粒的上浮速度 $v_{上}$ （推导过程见文献1）

$$v_{\text{上}} = \sqrt{\frac{2g(\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{絮}})}{C\rho_{\text{水}}}} \cdot \frac{V}{A} \quad (2)$$

式中: g ——重力加速度 (cm/s^2)

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度 (g/cm^3)

$\rho_{\text{絮}}$ ——带气絮粒密度 (g/cm^3)

V ——带气絮粒体积 (cm^3)

A ——在水流方向带气絮粒的投影面积 (cm^2)

C ——阻力系数

为了便于论证简化式 (2), 先假设带气絮粒为球形, 直径为 d (cm), 则 $\frac{V}{A} = \frac{2d}{3}$ 。对于球形絮粒, 在牛顿阻力平方区 ($R_e = 10^3 - 2.5 \times 10^5$) C 值约为 0.4。将数值代入 (2) 式, 得牛顿 (阻力平方区) 公式

$$v_{\text{上}} = 1.83 \sqrt{\frac{\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{絮}}}{\rho_{\text{水}}}} g d \quad (3)$$

在层流区 ($R_e < 1$) 时, $F_{\text{阻}}$ 按斯托克斯公式代入式 (1), 而得斯托克斯 (层流区) 公式

$$v_{\text{上}} = \frac{g}{18\mu} (\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{絮}}) d^2 \quad (4)$$

式中: μ ——动力粘滞系数 [$\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$]

在 $R_e = 10 - 10^3$ 的过渡区, 有阿伦 (过渡区) 公式

$$v_{\text{上}} = 0.22 \left(\frac{\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{絮}}}{\rho_{\text{水}}} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{d}{v^{1/3}} \quad (5)$$

式中: v ——运动粘滞系数 (cm^2/s)

上面三式均表明带气絮粒的上浮速度 $v_{\text{上}}$ 都取决于水和带气絮粒的密度差, 带气絮粒的直径 (或特征直径) 以及水的温度、流态。如果带气絮粒中气泡所占比例越大, 则带气絮粒的密度就越小, 而其特征直径则相应增大, 两者都使上浮速

度大大提高。

实际上水中的带气絮粒大小不一，形状各异，凹凸不平，内部孔洞密布，随着水力的扰动，在流向的投影面积也不断改变，因此，所受阻力 $F_{阻}$ 也在不断变动。另外，每个带气絮粒的表面活性及其内部微絮粒、微气泡间的附着力也不均等，它们在气浮过程中，还会受外力的变化（包括碰撞作用及水温变化等）而进一步凝聚或断离，以致不断改变着体形和上浮速度。

第二节 水中气泡的形成及其特性

1. 表面张力与表面能 水中通入空气或减压释放水中溶入的过饱和空气，都会产生气泡。所形成的气泡大小和强度取决于释放空气时的各种条件和水的表面张力的_{大小}。表面张力（或两种不同性质的液体界面张力）是大小相等、方向相反，分别作用在表面层的相互接触部分的一对力，它的作用方向总是与液面相切。

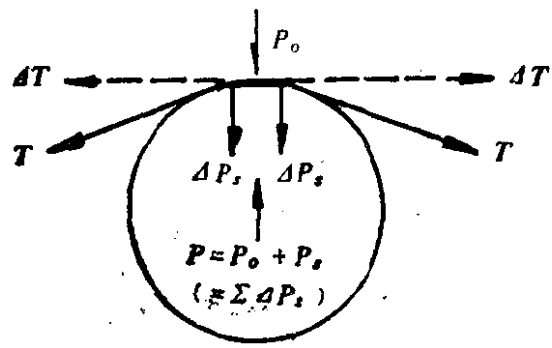


图4 气泡内外受力情况

L ——表面层长度 (cm)

未溶解空气在水中受到水分子引力作用而在二相界面处

表面张力 T 的大小正比于表面层的长度 L ，即

$$T = \alpha \cdot L \quad (6)$$

式中： α ——表面张力系数 (dyn/cm)

T ——表面张力 (dyn)