



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

环境科学与工程类专业 创新实验指导书

朱四喜 王凤友 吴云杰 王志康 杨秀琴 编著

非外信



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

环境科学与工程类专业 创新实验指导书

朱四喜 王凤友 吴云杰 王志康 杨秀琴 编著

北 京

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书分七个部分来阐述环境科学与工程类专业创新实验体系,分别介绍了水污染控制工程、大气污染控制工程、固体废物处理与处置、土壤环境分析、植物生理生化分析、环境生态工程和环境仪器分析创新实验。

本书可作为高等学校环境科学与工程类专业(环境科学与工程、环境科学、环境工程、环境生态工程、资源环境科学)、生态学、市政、给排水、农业资源与环境等专业的实验教学和环境保护行业技术人员的教材和参考指导书。

图书在版编目(CIP)数据

环境科学与工程类专业创新实验指导书/朱四喜等
编著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7713-4

I. ①环… II. ①朱… III. ①环境科学—实验—
高等学校—教学参考资料 ②环境工程—实验—
高等学校—教学参考资料 IV. ①X-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 012037 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹 蕊

责任校对 郑 娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7713-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版, 2018 年 1 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 13.75 印张; 266 千字; 209 页

27.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjcs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

本书得到了 2015 年国家自然科学基金项目 (31560107)、贵州省科技厅 2018 年度科技支撑计划 (社会发展) 项目和 2016 年度贵州民族大学校级教学改革项目 (GUN2016JG25) 的资助, 在此一并表示感谢!

前 言

创新实验是环境科学与工程类专业人才培养与教学计划中重要的实践环节。学生应掌握专业的基本知识、基本技能和基本方法，而且应具有分析问题和解决问题的能力。本书的编写力图适应“十三五”高等教育改革和环境科学与工程类专业的实验要求，在使用多年的贵州民族大学校内讲义《环境科学与工程类专业综合创新实验指导书》的基础上，由贵州民族大学生态环境工程学院部分教师编写完成。

本书分为七个部分：第一部分为水污染控制工程创新实验；第二部分为大气污染控制工程创新实验；第三部分为固体废物处理与处置创新实验；第四部分为土壤环境分析创新实验；第五部分为植物生理生化分析创新实验；第六部分为环境生态工程创新实验；第七部分为环境仪器分析创新实验。

本书为贵州民族大学环境科学与工程类专业的本科必修课-环境科学与工程类专业实验的指定教材，对于其他兄弟院校工科专业环境科学与工程类专业的实验教学也有一定的参考价值。本书由朱四喜、王凤友、吴云杰、王志康、杨秀琴编著，贵州民族大学生态环境工程学院、化学工程学院部分老师提出了许多重要的修改意见，部分实验的编写也得到浙江大学常杰教授、葛滢教授，浙江海洋大学杨红丽高级实验师等老师的指导，以及研究生赵斌、顾金峰、徐铖负责校对工作。同时，本书得到了2015年国家自然科学基金项目（31560107）、贵州

省科技厅 2018 年度科技支撑计划（社会发展）项目和 2016 年度贵州民族大学校级教学改革项目（GUN2016JG25）的资助，在此一并表示感谢！

由于时间紧迫和编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请批评指正。

朱四喜

2017 年 10 月于贵阳

目 录

第一部分 水污染控制工程创新实验	1
实验 1 化学混凝实验	3
实验 2 水静置沉淀实验	7
实验 3 离子交换实验	11
实验 4 加压溶气气浮实验	14
实验 5 臭氧氧化实验	16
实验 6 活性污泥评价指标实验	18
实验 7 空气扩散系统中氧的总转移系数的测定	22
实验 8 厌氧消化实验	24
实验 9 湿地植物吸收水中硝氮能力比较分析	27
实验 10 湿地植物吸收水中氨氮能力比较分析	29
实验 11 水中总磷含量与富营养化的关系	31
实验 12 水中氮含量及存在形态对水质的影响	34
实验 13 人工湿地对污水中的 COD 去除效应分析	36
实验 14 人工湿地对污水中的 BOD 去除效应分析	38
实验 15 模拟人工湿地对污水中铬的去除效应	42
第二部分 大气污染控制工程创新实验	45
实验 16 环境空气中悬浮颗粒物浓度的测定	47
实验 17 烟气流量及含尘浓度的测定	51
实验 18 文丘里-旋风水膜除尘器的除尘模拟实验	59
实验 19 GR 型消烟除尘脱硫一体化装置的模拟实验	62
实验 20 干法脱除烟气中二氧化硫	67
实验 21 粉体粒度分布的测定	70
实验 22 道路交通环境中颗粒物污染特性评价	75
实验 23 室内空气污染监测	79
实验 24 大气中总悬浮颗粒物的测定	88
实验 25 大气中二氧化硫的测定	91

实验 26	大气中氮氧化物的测定	95
实验 27	大气中一氧化碳的测定	98
第三部分	固体废物处理与处置创新实验	101
实验 28	土柱(或有害废弃物)淋滤实验	103
实验 29	生活垃圾厌氧堆肥产气实验	106
第四部分	土壤环境分析创新实验	109
实验 30	典型喀斯特湿地土壤有机质含量分析	111
实验 31	典型森林土壤全氮含量的测定	115
实验 32	典型农田土壤速效磷含量分析	119
实验 33	典型农田土壤速效钾含量的测定分析	121
实验 34	典型喀斯特湿地土壤容重分析	123
实验 35	典型喀斯特湿地土壤含水量的分析	125
实验 36	典型茶园土壤矿化氮含量的测定	126
实验 37	典型森林土壤硝态氮含量的测定	128
实验 38	典型茶园土壤铵态氮含量的测定	130
第五部分	植物生理生化分析创新实验	133
实验 39	主要蔬菜体内硝态氮含量的测定	135
实验 40	主要蔬菜叶绿素含量的测定	137
实验 41	主要水果中维生素 C 含量的测定	139
实验 42	污染胁迫对湿地植物根系活力的影响	142
实验 43	污染胁迫对湿地植物体内丙二醛含量的影响	146
实验 44	污染胁迫对湿地植物体内游离脯氨酸含量的影响	149
实验 45	污染胁迫对湿地植物体内过氧化物酶活性的影响	152
实验 46	污染胁迫对湿地植物体内氧自由基含量的影响	154
实验 47	污染胁迫对湿地植物组织中过氧化氢含量的影响	157
实验 48	环境条件对淀粉酶活性的影响	159
实验 49	污染胁迫对湿地植物体内硝酸还原酶活性的影响	161
第六部分	环境生态工程创新实验	165
实验 50	植物结构对环境的适应及可塑性	167
实验 51	城市树木年龄与生产力的关系	169
实验 52	种群增长观测及 Logistic 增长模型	171

实验 53	气孔对微生物的感应性关闭调控分析	173
实验 54	代谢生态-群体密度调控指数确定	175
实验 55	生物多样性对土壤呼吸的影响	177
实验 56	植物群落物种多样性测定与计算	179
实验 57	鱼类对温度、盐度耐受性的观测	181
实验 58	种子发芽毒性实验	183
第七部分	环境仪器分析创新实验	185
实验 59	高锰酸钾紫外可见吸收光谱定性扫描及数据处理	187
实验 60	苯酚紫外吸收光谱的绘制及定量测定	190
实验 61	红外吸收光谱法定性测定苯甲酸	192
实验 62	红外吸收光谱法测定液体有机化合物的结构	195
实验 63	荧光分析法定性测定维生素 E	197
实验 64	荧光分析法测定维生素 B ₂	199
实验 65	火焰原子吸收光谱法测定矿泉水中的镁	201
实验 66	原子吸收光谱法测定人头发中的锌	203
参考文献		205

第一部分

水污染控制工程创新实验

SHUIWURAN KONGZHI GONGCHENG CHUANGXIN SHIYAN



实验 1 化学混凝实验

一、实验意义和目的

分散在水中的胶体颗粒带有电荷，同时在布朗运动及其表面水化作用下，长期处于稳定分散状态，不能用自然沉淀方法去除。向这种水中投加混凝剂后，可以使分散颗粒相互结合聚集增大，从水中分离出来。由于各种废水差别很大，混凝效果不尽相同。混凝剂的混凝效果不仅取决于混凝剂种类、投加量，同时还取决于水的 pH 值、水温、浊度、水流速度梯度等影响。

通过本次实验，希望达到以下目的：

- (1) 加深对混凝沉淀原理的理解；
- (2) 掌握化学混凝工艺最佳混凝剂的筛选方法；
- (3) 掌握化学混凝工艺最佳工艺条件的确定方法。

二、实验原理

化学混凝的处理对象主要是废水中的微小悬浮物和胶体物质。根据胶体的特性，在废水处理过程中通常采用投加电解质、相反电荷的胶体或高分子物质等方法破坏胶体的稳定性，使胶体颗粒凝聚在一起形成大颗粒，然后通过沉淀分离，达到废水净化效果。关于化学混凝的机理主要有以下四种解释。

(一) 压缩双电层机理

当两个胶粒相互接近以至双电层发生重叠时，就产生静电斥力。加入的反离子与扩散层原有反离子之间的静电斥力将部分反离子挤压到吸附层中，从而使扩散层厚度减小。由于扩散层减薄，颗粒相撞时的距离减少，相互间的吸引力变大。颗粒间排斥力与吸引力的合力由斥力为主变为以引力为主，颗粒就能相互凝聚。

(二) 吸附电中和机理

异号胶粒间相互吸引达到电中和而凝聚；大胶粒吸附许多小胶粒或异号离子， ξ 电位降低，吸引力使同号胶粒相互靠近发生凝聚。

(三) 吸附架桥机理

吸附架桥作用是指链状高分子聚合物在静电引力、范德华力和氢键力等作用下，通过活性部位与胶粒和细微悬浮物等发生吸附桥连的现象。

(四) 沉淀物网捕机理

当采用铝盐或铁盐等高价金属盐类作凝聚剂时，当投加量很大形成大量的金

属氢氧化物沉淀时，可以网捕、卷扫水中的胶粒，水中的胶粒以这些沉淀为核心产生沉淀。这基本上是一种机械作用。

在混凝过程中，上述现象通常不是单独存在的，往往同时存在，只是在一定情况下以某种现象为主。

三、实验材料及装置

(一) 主要实验装置及设备

- (1) 化学混凝实验装置，它采用的是六联搅拌器，其结构如图 1-1 所示；
- (2) pHs-2 型精密酸度计；(3) COD 测定装置；(4) 干燥箱；(5) 分析天平。

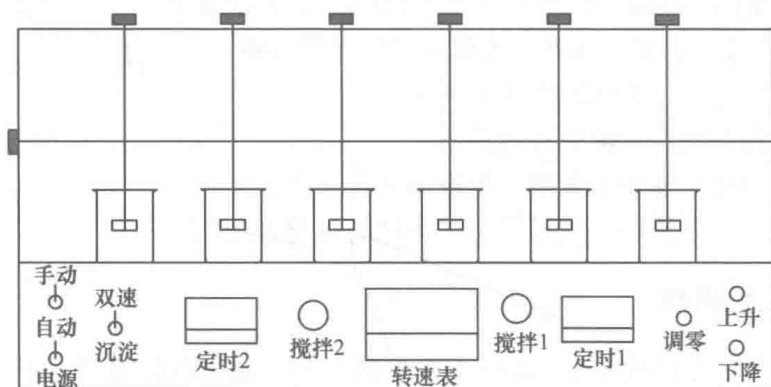


图 1-1 化学混凝实验装置

(二) 实验用水

生活污水、造纸废水、印染废水等。

(三) 实验药品

- (1) 混凝剂：聚合硫酸铁（PFS）、聚合氯化铝（PAC）、聚合硫酸铁铝（PAFS）、聚丙烯酰胺（PAM）等；
- (2) COD 测试相关药品。

四、实验内容

(一) 实验方法

取 300mL 废水于 500mL 烧杯中，加酸或碱调整 pH 值后，按一定的比例投加混凝剂，在六联搅拌器上先快速搅拌（转速 200r/min）2min，再慢速搅拌（80r/min）10min，然后静置，观察并记录实验过程中絮体形成的时间、大小及密实程度、沉淀快慢、废水颜色变化等现象。静置沉淀 30min 后，于表面 2~3cm 深处取上清液测定其 pH 值和 COD。

(二) 实验步骤

1. 最佳混凝剂的筛选

根据所选废水的水质特点，利用聚合硫酸铁（PFS）、聚合氯化铝（PAC）、

聚合硫酸铁铝（PAFS）、聚丙烯酰胺（PAM）等常规混凝剂进行初步实验，根据实验现象和检测结果，筛选出适宜处理该废水的最佳混凝剂。

2. 混凝剂最佳投加量的确定

利用筛选出的混凝剂，取不同的投加量进行混凝实验，实验结果记入表1-1。根据实验结果绘制 COD 去除率与混凝剂投加量的关系曲线，确定最佳的混凝剂投加量。

表 1-1 最佳投药量实验记录

第_____组 姓名_____ 实验日期_____

原水温度_____℃ 色度_____ pH 值_____ COD _____mg/L

使用混凝剂的种类及浓度_____

水样编号		1	2	3	4	5	6
混凝剂投加量/mg · L ⁻¹							
矾花形成时间/min							
絮体沉降快慢							
絮体密实							
处理水水质	色度						
	pH 值						
	COD/mg · L ⁻¹						
搅拌条件	快速	搅拌时间/min		转速/r · min ⁻¹			
	中速						
	慢速						
沉降时间/min							

3. 最佳 pH 值的确定

调整废水的 pH 值分别为 6.0、6.5、7.0、7.5、8.0 进行混凝实验，实验结果记入表 1-2。根据实验结果绘制 COD 去除率与 pH 值的关系曲线，确定最佳的 pH 值条件。

表 1-2 最佳 pH 值实验记录

第_____组 姓名_____ 实验日期_____

原水温度_____℃ 色度_____ pH 值_____ COD _____mg/L

使用混凝剂的种类及浓度_____

水样编号	1	2	3	4	5	6
HCl 投加量/mg · L ⁻¹						
NaOH 投加量/mL						

续表 1-2

水样编号		1	2	3	4	5	6
絮体沉降快慢							
混凝剂投加量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$							
实验水样 pH 值							
处理水水质	色度						
	pH 值						
	COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
搅拌条件	快速	搅拌时间/min			转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		
	中速						
	慢速						
沉降时间/min							

4. 考察搅拌强度和搅拌时间对混凝效果的影响

在混合阶段要求混凝剂与废水迅速均匀混合，以便形成众多的小矾花；在反应阶段既要创造足够的碰撞机会和良好的吸附条件让小矾花长大，又要防止生成的絮体被打碎。根据本实验装置——六联搅拌器的特点，通过烧杯混凝搅拌实验，确定最佳的搅拌强度和搅拌时间。

五、实验结果与讨论

- (1) 不同混凝剂对 COD 去除率的影响。
- (2) 混凝剂的投加量对 COD 去除率的影响。
- (3) pH 值对 COD 去除率的影响。
- (4) 搅拌速度和搅拌时间对 COD 去除率的影响。
- (5) 混凝最佳工艺条件的确定。
- (6) 简述影响混凝效果的几个主要因素。
- (7) 为什么投药量大时，混凝效果不一定好？

实验2 水静置沉淀实验

一、实验意义和目的

沉淀是水污染控制用以去除水中杂质的常用方法。沉淀有四种基本类型：自由沉淀、凝聚沉淀、成层沉淀和压缩沉淀。自由沉淀用以去除低浓度的离散性颗粒，如沙砾、铁屑等。这些杂质颗粒的沉淀性能一般都要通过实验测定。本实验拟采用沉降柱实验，找出颗粒物去除率与沉降速度的关系。

通过本实验，希望达到以下目的：

- (1) 掌握沉淀特性曲线的测定方法；
- (2) 了解固体通量分析过程；
- (3) 加深对沉淀原理的理解，为沉淀池的设计提供必要的设计参数。

二、实验原理

在含有分散性颗粒的废水静置沉淀过程中，设试验筒内有效水深为 H (图 2-1 和图 2-2)，通过不同的沉淀时间 t ，可求得不同的颗粒沉淀速度 u ， $u = H/t_0$ 对于指定的沉淀时间 t_0 ，可求得颗粒沉淀速度 u_0 。对于沉淀等于或大于 u_0 的颗粒在 t_0 时可全都去除，而对于沉淀 $u < u_0$ 的颗粒只有一部分去除，而且按 u/u_0 的比例去除。

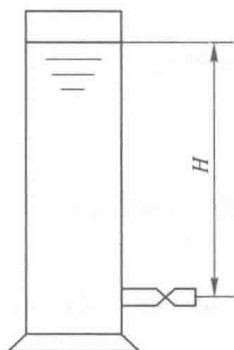


图 2-1 沉降柱

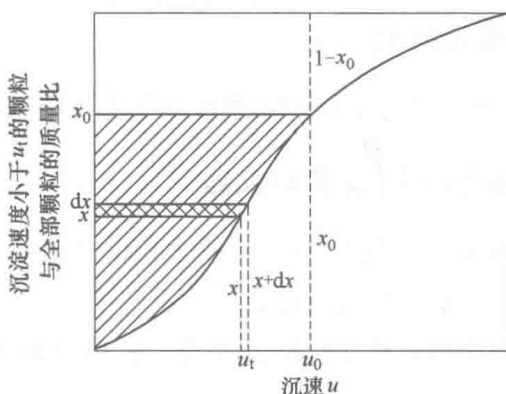


图 2-2 颗粒物沉降速度累计频率分配曲线

设 x_0 代表沉淀速度不大于 u_0 的颗粒所占比例，于是在悬浮颗粒总数中，去除的比例可用 $1-x_0$ 表示。而具有沉速 $u \leq u_0$ 的每种粒径的颗粒去除的部分等于 u/u_0 。因此考虑到各种颗粒粒径时，这类颗粒的去除比例为 $\int_x^{x_0} \frac{u}{u_0} dx$ ，则：

总去除率

$$E = (1 - x_0) + \frac{1}{u_0} \int_0^{x_0} u dx$$

式中第二项可将沉淀分配曲线用图解积分法确定,如图 2-2 中的阴影部分。

对于絮凝型悬浮物的静置沉淀的去除率,不仅与沉淀速度有关,而且与深度有关。因此试验筒中的水深应与池深相同。沉降柱的不同深度设有取样口,在不同的选定时段,自不同深度取水样,测定这部分水样中的颗粒浓度,并用以计算沉淀物质的比例。在横坐标为沉淀时间、纵坐标为深度的图上绘出等浓度曲线,为了确定一特定池中悬浮物的总去除率,可以采用与分散性颗粒相似的近似法求得。

上述是一般废水静置沉淀试验方法。这种方法的实验工作量相当大,因此实验过程中对上述方法进行了改进。

沉淀开始时,可以认为悬浮物在水中的分布是均匀的。可是随着沉淀历时的增加,悬浮物在沉降柱内的分布变为不均匀的。严格地说经过沉淀时间 t 后,应将沉降柱内有效水深 H 的全部水样取出,测出其悬浮物含量,来计算出 t 时间内的沉淀效率。但是这样工作量太大,而且每个试验筒内只能求一个沉淀时间的沉淀效率。为了克服上述弊端,又考虑到试验筒内悬浮物浓度沿水深的变化,所以我们提出的实验方法是将取样口装在沉降柱 $H/2$ 处。近似地认为该处水的悬浮物浓度代表整个有效水深悬浮物的平均浓度。我们认为这样做在工程上的误差是允许的,而试验及测定工作量可大为简化,在一个沉降柱内就可多次取样,完成沉淀曲线的实验。

三、实验用水

生活污水,造纸、高炉煤气洗涤等工业废水或黏土配水。

四、主要实验设备和仪器

- (1) 沉降柱(图 2-3):直径 200mm,工作有效水深 1500mm。
- (2) 真空抽滤装置或过滤装置。
- (3) 悬浮物定量分析所需设备,包括分析天平、带盖称量瓶、干燥器、烘箱等。

五、实验步骤

- (1) 将水样倒入搅拌桶中,用泵循环搅拌约 5min,使水样中悬浮物分布均匀。
- (2) 用泵将水样输入沉淀试验筒,在输入过程中,从筒中取样三次,每次