



同济大学本科教材出版基金资助



水处理装备装置实验技术

盛 力 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济大学本科教材出版基金资助

TUP
134

水处理装备装置实验技术

盛 力 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

水处理实验课程,既能够帮助学生了解和掌握实际水处理工程中通用机械和控制技术的基础知识和基本操作,也为在本科教学条件下复杂水处理实验课程提供了有力支持。通过水处理实验教学,能够强化学生工程实践和科研创新能力的可行性和有效性。本书的突出特点是将实现水处理工艺目标必备的通用机械设备、控制技术融合在水处理工艺设备和实验装置中,开展水处理工艺系统的综合实验。

本书是环境科学水处理实验本科教学的教材,也可作为环境科学、环境工程、市政工程及相关专业水处理实验工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水处理装备装置实验技术/盛力编著. —上海:同济大学出版社,2016.4

ISBN 978-7-5608-6247-7

I. ①水… II. ①盛… III. ①水处理设施—实验 IV. ①TU991.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 054755 号

水处理装备装置实验技术

盛 力 编著

责任编辑 马继兰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 常熟大宏印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 11.5
字 数 287000
版 次 2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-6247-7

定 价 35.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前言

水处理工艺效果的实现是以相适应的水处理装备为物质基础的,实际生产中的水处理效果与由处理构筑物、泵阀风机和专用工艺设备构成的水处理装备的性能状况直接相关,水处理技术的发展也离不开水处理装备的持续改进和应用技术的进步。

实验是水处理工艺效果验证的重要手段。对于一个水处理过程,每一个阶段所产生的处理效果的确切数据必须通过应用相当规模的实验装置进行模拟试验才能获得。水处理过程是在处理装置中通过动量、质量、热量的传递过程实现的,装置的工程流体力学性质、机械设备功用、过程控制效能对水处理效果至关重要。因此,水处理实验中性能合理的实验装置是获得理想实验结果不可或缺的保障。

目前水处理专业教育往往更注重工艺机理的学习,而对实现工艺过程所必需的装备、装置方面的知识、技能的教学关注不够。基于水处理装备装置对水处理工艺过程的重要性,相关专业的学生应该学习一些相应的基础知识,并对实际应用有所了解,以满足社会发展的需求。同济大学环境科学与工程实验教学中心一直注重实验教学装置的开发,坚持通过实验装置的完善提升实验教学内涵。中心通过改进实验装置,统合工艺模型、通用机械设备和过程控制系统,开展了以水处理工艺连续流动态实验为主题的拓展、创新实验。实践过程表明,这样的实验不但让学生增长了水处理技术实践的技能,而且锻炼了解决实际问题的能力、培养了创新意识。笔者根据工作心得编写了这本实验教材——《水处理装备装置实验技术》。

水处理装备装置实验内容是以连续流工艺实验为核心,以工程流体实验、泵阀实验、过程控制实验为基础支撑的。实验内容的构成基于以下考虑:

一、实验过程中能够遇到更多的实验现象和问题,与常规静态实验相比,连续流动态实验在使学生深入理解水处理工艺基本原理的同时,提供更多学生自主分析问题、解决问题的机会,有效锻炼学生的实践和创新能力。

二、水处理工艺的动态运行离不开工程流体力学的基本常识,以及泵阀风机等通用设备的运行操作。另外,在线监测、自动化技术、计算机控制与网络技术在水处理工业中得到日益广泛的应用。一个优秀的专业工程师不但要掌握水处理工艺技术原理,还要对水处理反应器、通用设备和监测、控制技术的应用有一定程度的了解。

最后,在线监测、网络技术的应用,在客观上克服了水处理工艺连续流动态实验耗时长、测试分析工作量大的特点,以及给本科生完成实验造成的阻碍,使本科生有条件利用零散时间,通过合理安排完成大型复杂实验。本书介绍的“在线连续流水处理工艺实验系统”在保证学生动手操作体验的同时,让学生在互联网上完成真实实验的大部分内容,在实验时间和空间上给予学生更大的自由,让连续运行工艺实验更便于完成。

本书分为上、下两篇。上篇总论篇为实验基础知识,第一至第三章包括介绍水处理反应

器、泵阀通用设备、控制技术的基础知识。下篇为实验篇,包括流体和反应器实验、泵阀实验、过程控制基本实验、水处理系统综合实验等四章。第四、五、六、七章实验内容相对独立,同时四、五、六章的实验内容也是第七章实验内容实施的基础。水处理工艺实验的内容包含了在线检测仪表的使用、工艺执行设备控制系统的操作,如不开展第四、五、六章的实验,则要先学习实验中四、五、六章涉及的机电、控制知识,并掌握实验系统的操作方法,再开展第七章实验。

本书中与水处理工艺相关的泵阀等通用机械设备以及监测、控制和自动化系统的基础实验内容是较为浅显的,以体验工程流体力学现象、机电设备、控制系统的基本认知和使用为目标,水处理相关专业本科生修习的基础课和专业基础课就能够满足这些实验的理论知识要求。本书实验与常规水处理教学实验相结合,能够全面强化学生专业素质,也可以选一部分作为常规水处理实验教学的有益补充。

在实验建设和教材编写过程中,徐竟成教授给予了方向性的引导和全方位的支持,在此致以诚挚的感谢。同济大学环境科学与工程实验教学中心的各位老师对实验装置建设提供了帮助,彭毅工程师在实验装置自动化和网络通信技术方面提供了支持,在此表示感谢。

由于实验涉及的知识跨度较大,限于编者的水平,疏漏和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2016年4月于同济大学

目 录

前言

上篇 总论篇

第 1 章 水处理实验及反应器	3
1.1 水处理实验概述	3
1.2 水处理工艺中的反应器	5
1.3 反应器的设计放大	11
第 2 章 水处理工艺通用设备——泵阀	15
2.1 水处理过程使用的泵	15
2.2 水处理工艺常用阀门	27
第 3 章 系统控制概述	37
3.1 自动控制系统的组成	37
3.2 检测仪表与传感器	38
3.3 自动控制中的调节器(控制器)	50
3.4 自动控制系统	52
3.5 用于工业控制的组态软件	60

下篇 实验篇

第 4 章 流体与反应器实验	69
4.1 实验一 流动演示实验	69
4.2 实验二 孔口与管嘴出流实验	72
4.3 实验三 流体流动阻力系数测定实验	75
4.4 实验四 固体流态化实验	80
4.5 实验五 水处理设备流动特性测定实验	87
第 5 章 泵阀实验	95
5.1 实验六 普通单向阀和液控单向阀的拆装及分析实验	95
5.2 实验七 SCY14 型手动变量轴向柱塞泵拆装与分析实验	97

5.3	实验八 气缸实验	99
5.4	实验九 离心泵特性曲线测定实验	102
5.5	实验十 罗茨鼓风机性能实验	107
第6章 过程控制与自动化基础实验		117
6.1	实验十一 基本控制仪器设备的认识与使用——变频器	117
6.2	实验十二 数字调节器的基本操作	120
6.3	实验十三 气动调节阀实验测量	130
6.4	实验十四 系统液位的测量过程	133
6.5	实验十五 工业电导仪的认识和使用	136
6.6	实验十六 过程控制对象特性的实验测试	138
6.7	实验十七 基于调节器/计算机的液位单闭环控制系统实验	141
第7章 水处理工艺综合实验		145
7.1	在线水处理综合实验系统简介	145
7.2	流动电流混凝剂投加控制实验	158
7.3	强化絮凝高速沉淀池连续运行实验	162
7.4	完全混合型活性污泥法曝气沉淀池实验	166
7.5	CASS工艺去除水中有机物、氮、磷连续运行实验	169
参考文献		175

上篇

总论篇

第 1 章 水处理实验及反应器

水处理实验是水处理技术革新、水处理工程建设和保障生产运行的重要手段,随着水处理工业的发展而不断进步,水处理实验所采用的装置、工艺设备对水处理实验的效果起到的作用也是至关重要的。实验装置、工艺设备的设计是做好水处理实验的基础,而将设计的实验装置成功地放大到生产规模,也是实验结果有效地指导生产的重要环节。

1.1 水处理实验概述

在水处理技术发展早期,由于对水处理过程的认识不足,环境污染对水质与人类健康的影响不显著,以及水厂检验水平较低等原因,往往只是把常规处理流程套用到新的设计中去,而不是通过水处理试验以取得需要的设计数据。水处理试验仅限于做一些杯罐试验。

而随着对水处理试验重要性的逐步认识,实验规模从杯罐实验发展到中试规模,甚至大型实验。中试实验装置是与处理设备原型具有某种程度的几何相似的模型,处理水量规模达到一定程度称为大型实验。中试及大型实验是水处理技术革新、系统设计和科学研究的重要辅助手段。

对于水处理试验问题的讨论,前人在试验装置的相似性、实验规模和试验时间三个方面有所论述。

1.1.1 实验装置的相似性

对于实验装置的相似性,首先是在两个系统间存在几何相似的关系,这是严格的相似概念所要求的。在水处理实验中,一些模型虽然未能满足这一要求,却是实践中得到证明的、最可靠的设计模型办法,并起到解决生产问题的作用,这种模型可以想象成构成原型的一个单元。在模型中,水中杂质去除的过程与原型构筑物没有差别,这就是单元模型的设计依据。当研究水质处理过程本身时,由于必须要用处理构筑物原型所用的水,而且是同样含有具有原来物理和化学性质的杂质的水,往往只能采用这种单元模型的概念。

单元模型与真正的生产设备原型间主要存在边界效应的差别。边界效应也称壁效应,是由水处理构筑物边壁与内部水力条件的差异引起的。边界效应还会对断面的水流流速分布产生影响,小面积断面和大面积断面间可能存在较大的流速分布差别。水处理实验模型的设计应尽量避免边界效应造成的模型实验结果与构筑物原型处理效果的差异。

1.1.2 水处理实验规模

试验装置的规模涉及的是与试验所代表的过程与原型过程的相似程度问题。根据实践,可以把试验装置的规模分为五级,如表 1-1 所示。表中台架试验是指直接在实验台上进行的水处理试验,一般用 1~2 L 的容器或烧杯等实验室玻璃器皿即可进行,水也不处于流动状态,因之表中未列出流量数值。台架试验的目的在于模拟水处理原型设备中所发生的水处理效应本身,由于设备很小,与原型无几何上的相似关系。杯罐(混凝)试验是台架试验的典型例子。表中从小型到工业规模的试验设备则属于中试装置或大型实验装置的范围。

表 1-1 试验装置规模

规模	大致流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	规模	大致流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
工业试验	>100	小型试验	$0.05 \sim 0.5$
大型试验	$10 \sim 100$	台架试验	—
中型试验	$0.5 \sim 5$		

试验规模的选择是按试验目的考虑的:

- (1) 为了取得完全和生产规模全过程一致的运行效果,即在处理过程中,水力学与处理过程的行为完全和生产规模相同,必须采用大型或工业级的试验装置。这类试验所解决的,应该是实践中的经验极少,或者是经验尚不可靠,或者在理论上尚处于发展阶段的水处理问题。
- (2) 研究与水力学有关的问题,首先要满足装置的几何相似条件,要用大型以上的试验装置。
- (3) 以水处理过程为主要问题的研究,可采用中型到小型的试验装置。
- (4) 台架试验一般用于下列情况:①药剂的筛选和剂量选择;②有关处理过程的水质特性参数;③模拟水处理中的最基本过程。

1.1.3 水处理实验周期

水处理试验所需要的时间,与试验的目的和规模密切相关。

试验所需要的时间往往随试验的内容不同而差异很大。当试验只为解决水力学的问题时,数周的时间就可以满足。当试验是为解决处理过程的问题时,一般要进行数月甚至数年。例如原水水质变化复杂,由于试验期间要把原水水质的季节性变化,甚至数年的变化包括在内,甚至又涉及新工艺或新设计概念的试验,就需要更长的时间。这类试验同时也要在中型以上的试验装置中进行。上述的试验时间都是指在水流条件下,中试装置或大型实验的连续运行时间。而简单的台架试验一般是一种间断性的试验,在数小时内即可完成一个试验。

在传统水处理实验教学中,由于受到实验场地、课时安排等因素的限制,实验教学形式以台架试验为主,涉及的水处理问题覆盖面较小,对知识能力培养的助益有限,多种实验教学形式的开发和应用才能使水处理实验教学有效发挥作用。

1.2 水处理工艺中的反应器

传统上给水工程和排水工程是土木工程两个学科分支,给水处理和排水处理分别是两个分支的一个组成部分。随着水处理技术的发展,习惯上给水处理与排水处理又统称为水处理工程。水处理工程比起给水排水工程的其他组成部分具有鲜明的独特性。水处理是改造原水水质的工程,所解决的问题是如何在水流的条件下,发挥水处理的物理化学的最佳水处理效果。水处理中发生的物化或生化作用是在水流过程中同时发生的,水处理的构筑物虽然也存在结构设计的问题,但现在它已是一个水处理的从属问题,不再是水处理工程的内容了。

1.2.1 水处理反应器的概念

近年来,水处理工程的这种独特性越来越明显,已逐步形成一个独立的学科。这个独立学科虽然从传统意义上说带有土木工程的痕迹,但它所带有的明显特征却倾向于化学和化学工程。

在化工生产中,发生化学反应的容器是整个化工生产的核心。这个反应容器就称为反应器。化学反应是在反应器内的具体动量传递、质量传递和热量传递的综合条件下发生的,因对反应器的研究必然是一种综合性的研究,从而能够全面地反映反应的真实整体结果。反应器以及伴随而生的化学反应工程成为化学工程的特征学科。水处理工程这一学科的发展也是沿着类似的路径。

近几十年来,在水处理的文献中,开始引入反应器这一术语,并运用了有关反应器的一些理论。反应器理论的引入主要起到两个作用:①通过“水处理效应”这一概念作为处理设备的最基本共性,可以把它们都称为水处理的“反应器”,从而能把它统一起来,在学科上有了更确切的体系;②引入新的理论和方法来研究水处理设备。因此,引入反应器的理论有效推动了水处理工程学科的发展。

在化学工程中只限于产生化学反应的装置称为反应器,与之不同,在水处理中反应器被赋予较广的含义。凡是能起水处理效应的容器或设备都称为反应器。因此水处理各个单元工艺所用的设备统统都称为反应器,池内产生化学沉淀反应的沉淀池和产生重力沉淀的沉淀池都称为反应器,为使冷却水降温的冷却塔也是一个反应器。

与化工生产中进行的化学反应过程一样,水处理过程不仅与工艺本身的特性(相态、反应速度、热效应等)有关,而且与反应器的特性(反应器形式、结构、操作方式等)有关。所谓反应器的特性,实质上就是反映了传递过程的特性,不同的反应器形式(如搅拌釜、鼓泡塔、管式反应器等),不同的操作方式(如间歇操作、连续操作、半连续操作等),物料的流动状况不同,传热与传质的情况也不同。反应器中的影响因素是错综复杂的,为了使实验室的过程有效地放大到工业规模,必须将工艺过程与反应器两方面结合起来进行分析。下面就反应器形式、操作形式和反应器放大方法进行介绍。

1.2.2 水处理反应器的形式

我们用化学工程的研究方法对水处理中的反应器进行阐述。

工业生产上使用的反应器形式多种多样,最常见的分类方式是按相态进行分类。工业生产上应用最广泛的几种反应器形式如表 1-2 和图 1-1 所示。

表 1-2 常用反应器类型

相态			反应器类型	工艺构筑物实例
均相	单相	液相	管式、釜式反应器	预氯化、预氧化、预臭氧化管道
非均相	二相	液固	固定床	砂滤池、活性炭池、离子交换柱
			流化床	各种生物流化床污水处理设备
			移动床	连续式移动床离子交换器
	三相	气液	鼓泡塔	臭氧接触池
		气液固	涓流床反应器	生物滴滤池、冷却塔
			淤浆床反应器	活性污泥曝气池、气浮池



图 1-1 常用反应器的形式

(1) 化学工程中均相管式反应器是常用的反应器形式之一。大多采用长径比很大的圆形空管构成,因而得名“管式反应器”,多数用于连续气相反应场合,亦能用于液相反应。均

相管式反应器中的物料在轴向的返混很小,其流型趋近于平推流;它的管径一般都不太大,径向上能够充分混合。水处理工程中水处理厂外的预投氯、预投臭氧后的预氧化过程都属于典型的均相管式反应器中进行的过程。

(2) 搅拌釜式反应器是另一类应用广泛的反应器。其轮廓特征是高径比要比管式反应器小得多,因而成“釜”状或“锅”状。釜内装有一定形式的搅拌桨叶进行搅拌以使釜内物料混合均匀。搅拌釜式反应器可采用间歇或连续两种操作方式,它大多用于液相反应场合。间歇操作的搅拌釜式反应器设备简单、操作方便,特别是清洗和更换物系很方便。连续操作的搅拌釜式反应器,因釜内物料强烈返混造成停留时间分布,通常使反应速率下降。但它便于生产过程的自动控制,不像间歇操作那样有加料、出料等多步操作,因而更适用于大规模的生产要求,能大大减轻劳动强度,稳定产品质量。水处理工程中,机械搅拌絮凝池是典型的连续操作搅拌釜式反应器,而混凝杯罐实验(六联烧杯搅拌实验)则属于典型的间歇操作搅拌釜式反应器反应过程。

(3) 固定床反应器是用来进行气/固催化反应的典型设备。常用的固定床反应器下部设有多孔板,板上放置固体催化剂颗粒。气体自反应器顶部通入,流经催化剂床层反应后自反应器底部引出。催化剂颗粒保持静止状态,故称固定床反应器。固定床反应器在石油化工和化学工业中有着极为广泛的应用,而在水处理工程中砂滤池、活性炭滤池、离子交换树脂柱属于典型的固定床反应器,水以一定流速上向或下向流过砂滤料、颗粒活性炭床层或树脂床,达到截留颗粒悬浮物、吸附溶解物质或溶解物质与固相表面发生化学反应的效果。

(4) 流化床也是实现气固催化反应的另一种重要反应器类型。它的主体是一个圆筒,底部有一多孔或其他形式的分布板,以使气体均匀分布于床层。气流速度要大到足以使颗粒催化剂呈悬浮状态,此时床层犹如“沸腾”一般,故也称“沸腾床”。它的最大特点是由于床层内气、固两相呈强烈湍动状态,增强了传质和传热,使床层内温度达到均匀,因而特别适合一些强放热反应或对温度很敏感的过程。而水处理过程中的流化床使固体颗粒呈悬浮状态的介质是水,砂滤床、颗粒炭床等的反冲洗过程属于流化床反应过程。污水的生化处理工艺中有时为了使颗粒保持悬浮状态,也会采取搅拌桨搅拌或鼓泡等辅助方式。

(5) 固定床与流化床结合在一起的移动床反应器在水处理工程中也有所应用,几种内含微生物膜载体悬浮物的生化处理构筑物、内循环式能够实现连续过滤-洗砂的滤罐等都属于移动床反应器。

(6) 气—液相反应器是用来进行气液反应的另一大类反应器。由于气—液反应的复杂性,对不同的反应条件和传质、传热、返混的不同要求,形成多种气液反应器的类型和结构形式。工业气液反应器按外形可分为塔式、釜式和管式等。按其气液两相的接触形态可分为鼓泡塔、填料塔、鼓泡搅拌釜和喷雾塔等。多数有机物的氧化、氯化都采用气液反应器。在水处理中,臭氧接触池可以归为塔式或釜式气液两相反应器,而一些带填料床的接触氧化池(曝气生物滤池)可以归入填料塔气—液两相反应器。

(7) 化学工程中气液两相在固体催化剂作用下发生的反应属于气液固三相反应过程。当两股流体以并流向下方式通过催化剂颗粒的固定床层时,称它为涓流床反应器,它实际上是固定床反应器的一种特殊形式。在一些气—液系统中的固体催化剂,以颗粒状或细粉状悬浮于液相中,这类反应器称为淤浆床反应器。水处理中的气—液—固三相反应器也有多种类,生物滴滤池、填料冷却塔都可以归为涓流床反应器,更普遍的活性污泥曝气池和溶

气浮池与淤浆反应器更为类似。

(8) 分离设备是完成分离过程的设备。分离过程是指两组分或多组分的混合物分离成为接近于纯的物质,或者分离成为满足一定组成要求的物质的过程,它是化学工程学科的一个重要分支。分离过程及其设备不仅是为了生产合格的产品所必须具备的手段,而且在化工生产的经济上也具有重要意义。分离设备的投资在化学工业基本建设投资中占有很大比重,炼油和石油化工企业中,分离设备投资占总投资的 50%~90%。

在水处理工程中,通过化学反应将水中杂质消除掉,从而达到净化水质目的的工艺所占比例并不大,更多的工艺单元是通过某种过程将杂质从水中分离出来。水处理中的化学反应往往是为了将水中杂质转化为更容易从水中分离掉的形态。

如前所述,凡是能起水处理效应的容器或设备都称为反应器,因此完全发生物理过程的分离设备也称为水处理反应器。如沉淀池、气浮池、快滤池、膜过滤组件、蒸馏设备等都属于水处理反应器。

1.2.3 反应器的操作形式和理想反应器

反应器的形式多种多样,但从操作形式来分析,可归结为间歇操作搅拌釜、连续操作搅拌釜和管式反应器等基本形式。这几种反应器内物料的流动状况具有典型性,深入研究其中的物料流动情况对水处理过程的影响,将有助于对其他反应器形式的理解。水处理过程的动力学分析也基本以这三种流动状况为基础建立数学模型进行研究。

1.2.3.1 基本的反应器操作形式

1. 间歇操作的搅拌釜

在水处理工程中,使用的处理药剂种类较多、水中杂质去除机理以化学反应为主的一些工业废水的处理,尤其是水量较小、水质变化幅度较大的废水,比较适合这种操作方式。如小规模工业废水的投药中和、化学沉淀、萃取等工艺,宜采用间歇操作;由于设备条件限制,一些野外或临时性水处理设施也采用间歇操作的方式;目前应用范围较广的工业规模的间歇式操作水处理工艺主要是序批式生物反应器工艺(SBR 法)。间歇操作的反应器装置简单,操作方便灵活,适应性强。

这种反应器的特点是物料一次加入,全部物料参加反应的时间是相同的,在有效的搅拌下,釜内各点的温度、浓度可以达到均匀一致,釜内各种物质浓度随时间而变化,所以反应速度也随时间而变化,如图 1-2 所示。

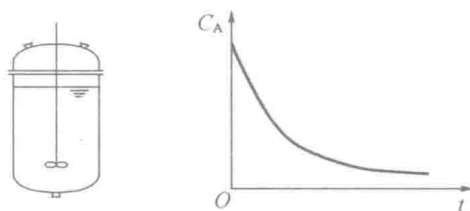


图 1-2 间歇反应釜的浓度变化

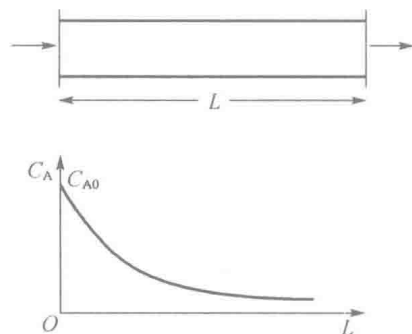


图 1-3 管式反应器的浓度变化

2. 连续操作的管式反应器

这种反应器的特点是物料从反应器的一端进入,从另一端流出;物料顺着流动方向前进,各种反应物的反应时间是管长的函数;反应物浓度、反应速度沿流动方向逐渐降低,在出口处达到最低值,如图 1-3 所示。物料在流动过程

中前后相对位置不发生变化。在操作达到稳定状态时,沿管长上任一点的反应物浓度、温度、压力等参数都不随时间而改变,因而反应速度也不随时间而改变。

这种反应器形式在水处理工程中绝大部分不是以管道形式存在,而是以敞开的明渠或竖井的形式存在。例如推流式的活性污泥曝气池、各种水力搅拌絮凝反应池比较接近连续操作的管式反应器。

3. 连续操作的搅拌釜

其构造与间歇操作的搅拌釜没有大的差别。这种反应器的特点是反应器内能够产生强烈的搅拌效果,使物料剧烈翻动,反应器内各点的温度、浓度均匀一致。物料的流进和流出是连续不断的,出口处物料中的反应物浓度与釜内反应物浓度相同。在稳定状态运行时,釜内反应物温度、浓度都不随时间而变化,因此反应速度也保持恒定不变,如图1-4所示。

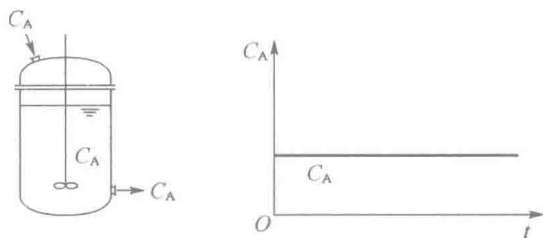


图1-4 连续反应釜的浓度变化

在连续操作的搅拌釜内反应物的浓度与出口物料中的浓度相等,因而釜内反应物的浓度较低,反应速度很慢,效率不高。要达到同样的转化率,连续操作搅拌釜需要的反应时间较其他形式反应器更长,因而需要的反应器容积较大。

而另一方面,在连续操作的搅拌釜内,反应物的浓度和反应速度保持恒定不变,这对某些构筑物维持一个高效运行的处理过程又是非常重要的。例如对于澄清池来说,只有当澄清池下部积累了一定浓度的由水中杂质与絮凝剂反应生成的悬浮泥渣层才能保证一个良好的澄清效果。这种效应类似于化学工程中的自催化反应。因为自催化反应利用反应产物作为催化剂,反应速度与反应物浓度的关系如图1-5所示。

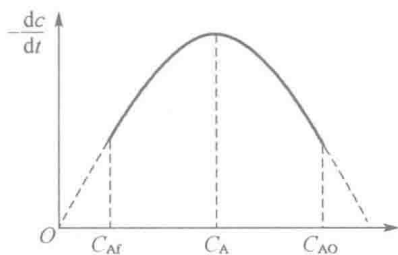


图1-5 自催化反应的反应速度

当反应物浓度为某个 C_A 值时,反应速度最大。利用间歇操作搅拌釜或管式反应器进行这种反应时,由于反应物浓度要经历一个由大变小的过程,所以反应速度都要经历一个由小变大再变小的过程。如采用连续操作的搅拌釜,可以使釜内反应物浓度始终保持在最佳的 C_A 值,则反应就可以一直保持在最大的速度下进行,大大提高了反应器的生产能力和处理效果。

把反应物浓度保持在一定范围内,对于敏感的生化处理系统也是非常重要的。例如完全混合的活性污泥曝气池,水中底物浓度发生剧烈变化将导致污泥生态系统平衡的破坏,使处理效果迅速恶化。而连续进水的操作形式,使进水底物浓度的短暂波动由于反应器内的稀释作用而不会导致反应器内底物浓度的剧烈变化,从而不会破坏活性污泥曝气池内的生态系统,保持稳定的处理效果。

1.2.3.2 连续操作反应器的流动特性——返混

若连续操作反应器的容积为 V_R , 物料的体积流量为 v , 则 $V_R/v = \bar{\tau}$ 就代表物料通过反应器所需要的时间,称为平均停留时间。

在间歇反应器中,物料一次加入,反应完毕后一起放出,全部物料粒子都经历相同的反

应时间,没有停留时间分布;而在连续反应器中,同时进入反应器的物料粒子,有的很快就从出口流出,有的则经过很长时间才从出口流出,停留时间有长有短,形成一定的分布,称为停留时间分布,其平均停留时间 $\bar{\tau} = V_R/v$ 。

1. 年龄分布与返混

停留时间分布有两种:一种是对反应器内的物料而言,称为器内年龄分布,简称年龄分布;另一种是对反应器出口的物料而言,称为出口年龄分布,也称寿命分布。

1) 年龄分布

从进入反应器的时间点开始算年龄,到分析所处的时间点为止,反应器内的物料粒子,有的已经停留了 1 s(年龄 1 s),有的已经停留了 10 s(年龄 10 s)……这些不同年龄的物料粒子混在一起,形成一定的分布,称为年龄分布。而不同年龄的物料粒子混在一起的现象称为返混。所以,返混是时间概念上的混合,是反应器内不同停留时间的物料粒子的混合,它与停留时间分布联系在一起,有返混就必然存在停留时间分布;反之,如果没有停留时间分布,则不存在返混。如在间歇反应釜内,强烈的搅拌作用使釜内各处物料均匀混合,但由于物料是一次加入,反应完毕一起放出,全部离子在釜内的停留时间相同,所以不存在返混现象。在连续管式反应器中,虽然在层流流动时粒子之间互不干扰,但圆管中心的粒子流速最大,停留时间最短;靠近管壁的粒子流速小,停留时间长,速度不均,造成了停留时间分布,引起管式混合器中返混。所以,返混是连续操作反应器中特有的现象。它与一般所谓在空间上的混合均匀具有不同的概念。

2) 寿命分布

从进入反应器的瞬间开始算年龄,到所考虑的瞬间为止,在反应器出口的物料中,有的粒子在器内已经停留了 5 s,有的已经停留了 8 s……因为这些粒子已经离开反应器了,它们的年龄也就是寿命。在出口的物料中,不同寿命的粒子混在一起,形成一定的分布,称为寿命分布。

年龄分布与寿命分布之间存在一定的关系,已知其中一种分布,即可求出另一种分布。由于反应器内的物料容积大,取样难以代表整个反应器的情况,所以,一般都是通过实验测定寿命分布。

3) 返混产生的原因

产生返混的原因很多,归纳起来大致有下列 5 种。

(1) 涡流与扰动。管式反应器进出口、转弯等不规则内部结构产生的涡流与扰动,引起物料粒子间的轴向混合,造成返混。

(2) 速度分布。管式反应器中沿径向各点的流速不同,因而停留时间的长短不同,引起返混。

(3) 短流。填料床中由于填料不匀等原因造成短流,物料粒子以不同的流速通过反应器,引起返混。

(4) 倒流。连续搅拌釜中由于搅拌作用引起物料倒流,造成返混。

(5) 短路与死角。连续反应器中由于短路与死角使物料粒子在反应器内的停留时间不同,造成返混。

2. 返混对反应过程的影响

由于返混,物料粒子的停留时间长短不一,停留时间短的粒子还未反应完全就离开了反