

科学版环境科学与工程精品系列

微污染原水 强化混凝技术

王东升 等 著



科学出版社

科学版环境科学与工程精品系列

微污染原水强化混凝技术

王东升 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了近年来水体有机物的强化混凝处理技术及其研究进展,分别对混凝研究现状、水质问题与微污染特征进行了概括性分析和探讨。针对混凝剂和混凝作用机制着重探讨了优势混凝形态的物化特性、表征技术与作用机制;结合典型微污染原水,从混凝剂的优化筛选、混凝剂作用效能的强化、混凝工艺过程的强化、絮体形态结构控制与混凝工艺监控等多个角度对强化混凝工艺进行了系统介绍;最后根据 IPF 的基础理论研究和工程实践,在高效絮凝集成系统(FRD)基础上,进一步探讨了以复合型 IPF 为核心的工艺集成系统的研究,并对强化/优化混凝技术的发展方向进行了论述。

本书适合从事水处理行业的科研、设计与运行管理的技术人员参考,同时也可用作给排水、环境工程等相关专业高等院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

微污染原水强化混凝技术/王东升等著. —北京:科学出版社,2009
(科学版环境科学与工程精品系列)

ISBN 978-7-03-024344-7

I. 微… II. 王… III. 饮用水-水处理 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 049352 号

责任编辑:杨 震 朱 丽 沈晓晶/责任校对:邹慧卿

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 4 月第 一 版 开本: B5(720 × 1000)

2009 年 4 月第一次印刷 印张: 17

印数: 1—2 500 字数: 324 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

混凝是水质净化处理工艺中最主要的单元技术之一。它实际包括投药混和、凝聚脱稳、絮体聚集等过程,所以也通称为凝聚或絮凝。混凝技术往往用于水处理流程的始端,作为污染杂质分离去除的前处理过程,但它的行为和质量会影响到全工艺流程的操作和最终效果,而且混凝药剂的使用消费是水工业运行成本的重要组成部分。因此,混凝过程的优化和强化一直是水质处理领域中十分受关注和持续研究发展的前沿课题。

优化混凝或强化混凝并没有严格区分的定义和统一公认的内涵。我所理解的传统观念中,混凝的优化是针对不同水质以最低的药剂用量达到最佳的净化效果。其中包括混凝剂和助凝剂的配置选用,投加及混和的操作方式和程序,絮体成长的条件和设施等诸多方面的运用和改进。这实际正是固有混凝技术研究和创新的一贯追求和最终目标。后来发展的混凝的强化则是在常用的混凝技术外,再附加若干其他技术,如有机污染物的氧化降解,超声波、高磁场的应用,投药系统的自动化、程序化等,用来提高混凝过程的效率或应对特殊难处理的原水水质。当然,在水质科学与技术广泛利用现代科技新进展的历程中,再严格区分优化和强化的概念似是属于咬文嚼字或许没有必要,一切能够提高混凝技术常见功效的措施都可称之为优化或强化。不过,在实用中提高混凝技术的核心价值仍然在于:最大限度地降低药剂用量和技术费用并切实达到预期最佳或可以接受的净水效果。

现代生产技术和生活质量的需求日益复杂和精细,水质净化的工艺也不断改进,在整个流程中混凝技术的强化显然会首当其冲。归纳起来,在以下方面对混凝技术不断提出更高的要求:①水源包括地面水和地下水的污染不断加重,污染物种类及形态更趋多样化,对饮用水、工业用水和废水排放的水质要求随之提高。从而要求混凝过程发挥更多的功能,由传统的颗粒物扩展到广义颗粒物,包括溶胶、高分子以及有机和生物大分子甚至溶解有机物。②传统的浊度和色度的内涵有根本变化,不再限于感观指标。浊度标准的日益提高说明它实际代表着微细颗粒物吸附浓集的各种痕量污染物。色度反映的除溶解性天然有机物外,还有多种工业化学品的光学效应。③水质处理其他分离或转化技术的改进和创新对其前处理混凝技术提出不同的更高要求,例如,沉淀、澄清、过滤以及消毒等传统工艺过程的形式结构有所变换,高级氧化、膜分离、气浮、污泥浓缩、污染水体修复等方面的新技术开发,都要求混凝环节与之密切适应配合。④水资源缺乏促使污水废水循环利用和地下回注的需求日益迫切,其不同层次的净化和深度净化也同时要求混凝技术更精细而有

效地与之响应或加以强化。

传统的给水处理流程中一般由混凝—沉淀—过滤—消毒等主要单元操作构成基本模式。通常认为正常过程应是：对水中微细颗粒物及污染物先以混凝技术脱稳聚集成为粗大絮团，具有吸附卷扫作用，然后以重力沉降和颗粒层过滤先后分离，达到水质的最终净化。虽然历年在各个单元技术中都陆续出现了多种不同结构的反应器，应用了各种物理—化学—水力学原理，但是这一基本概念思路并没有根本的改变，仍然是当前水处理工艺设计、建设和运转的基本原则。

滤池具有截流和黏附双重作用，但反向流、双层、多层和深床滤池等仍都只是以增大容污能力为设计目的。直到微絮凝滤池的出现才实现了在混凝中取消生成粗大絮团的反应过程，以微细絮体直接过滤，由颗粒层吸附絮凝来完成水质净化。这种形式不但省去混凝中的絮团聚集阶段而且省去初级分离的沉淀过程，从而大大缩短流程，显著节省设备成本和运行时间。因此，充分利用颗粒层群体微界面的吸附来强化絮凝过程，使微细颗粒物及污染物的脱稳聚集和分离在微界面上同时完成。这种过程可以称为微界面吸附絮凝或接触絮凝。

实际上，在近代水处理工艺中很多单元操作都存在界面吸附絮凝作用，如多层多管沉淀、悬浮絮体层澄清、溶气气浮分离、活性炭吸附分离、活性污泥生物絮凝，甚至各种纳米孔隙膜分离操作等，往往是由颗粒物群体以固定床、悬浮床、流动床、透析床等形式构成微界面体系进行吸附絮凝来完成的。如何把微界面吸附絮凝作用这一普遍存在的现象，不只在水力学层面上而且在微界面化学层面上加以理论深化，并且在反应器应用上加以强化，将会对水处理技术的发展起到启发和创新作用。

无机高分子絮凝剂的发展恰正适应和要求界面吸附絮凝的强化。聚合类絮凝剂的特征是预制形态稳定、电中和能力强、吸附与聚集能力强、界面反应快、适合吸附絮凝、用药量较少。这与传统絮凝剂如硫酸铝的形态趋向水解沉淀、电荷接近中性、絮团比较松散、适合网扑卷扫絮凝、用药量较多等特征有很大差异。目前通用的水处理反应器和工艺流程大多是适应硫酸铝的特征，以形成粗大絮团再加分离的目的而设计运行的，因而不能充分适应和发挥聚合类絮凝剂的特征和优点。

在我国，聚合类絮凝剂大量生产使用，已基本代替了硫酸铝。絮凝形态和作用机理的基础研究也居于国际前列。如果使处理工艺的参数及设施更好地适合聚合絮凝剂的特征，就可以最大限度发挥其效能从而提高全流程的处理功效。把界面吸附絮凝作为强化混凝的发展方向，从理论和实验室研究走向水处理工艺工程实践，可能会对水处理工艺的总体发展也起到强化作用。我们在北京自来水厂进行的高效絮凝集成系统(FRD)现场中试结果就是例证。

王东升研究员多年从事混凝理论、聚合絮凝剂开发应用和强化混凝的研究及实践，积累了很多学术理念和实际资料。这本书是他和同事及研究生们在混凝及其强

化技术方面研究工作的深入总结。相信这本书的出版会对这一领域的发展起到良好的作用，同时期望从事水质处理技术的同行专家进行探讨并指正。

中国科学院生态环境研究中心
环境水质学国家重点实验室

吕鸿霄

2009年3月

前 言

上善若水。水善利万物而不争；处众人之所恶，故几于道。

水是万物之灵，是生物体最重要的组成成分之一，在生命的发生、发展、进化过程中起着十分重要的作用。水问题关系到国民经济与人类健康的发展，水量和水质是其中辩证相关的两个方面。由于水环境的日益恶化与工农业生产、生活用水需求剧增的矛盾，使水质问题成为我国 21 世纪制约国民经济发展中仅次于人口问题的第二大难题。确保水质安全是我国现阶段国民经济可持续发展的关键之一。

饮用水安全保障是国家公共卫生安全体系的重要组成部分，与人民身体健康、社会稳定和经济发展息息相关。我国目前饮用水安全问题严重，尤其是一些重大水污染事件的频繁发生，对饮用水水质安全保障与健康风险控制提出了技术挑战，受到了政府和社会各阶层的高度关注。积极应对饮用水水源污染、保障饮用水安全、控制饮用水健康风险已成为我国面临的重大科技问题。

混凝技术广泛地应用于各种水处理工艺流程之中，决定着后续流程的运行工况以及最终出水质量与成本费用，不仅是环境工程的重要科技研究开发领域，而且在我国水处理高新技术的发展中也占有重要地位。传统混凝工艺的去除目标为水体颗粒物与以腐殖酸类为主的色度。随着环境污染问题日趋严重以及水质标准越来越严格，常规混凝技术已不能很好地满足人们对水质安全的要求。尤其在经济发达的沿海地区，由于工农业生产的高速发展，水安全问题近年来尤为突出。现有常规净水工艺（混凝—沉淀—过滤—消毒）不能有效去除溶解性有机物、人工合成污染物、臭味物质、氨氮、藻与藻毒素、微生物和消毒副产物等。而强化/优化混凝在现有的水处理工艺设施基础上进行改进与提高，同时兼顾前处理与后续工艺流程的运行工况，使水与废水达到深度处理的效果。因此，大力发展强化/优化混凝技术并加以重点研究，有助于进一步促进、完善我国的水处理工艺技术，推动我国水工业的发展。对于一既定体系（一定的水源及处理设施与选定的混凝剂）以定量计算来描述整体工艺流程，仍然是该领域研究人员所为之努力追求与奋斗的目标。深入研究混凝过程本质，定量描述其絮体的形成、结构、行为与性能以及诸影响作用关系，对混凝工艺过程加以调控，成为当前环境科学与水工业的重要研究课题。

本书内容总体分为 4 个部分 8 个章节：混凝概论，流域水质变化特征与 AOM 表征，包括优势混凝形态的探讨、混凝剂的优化筛选与典型微污染原水的强化混凝等强化混凝工艺以及混凝工艺过程的强化与控制、优化混凝工艺的系统集成。分别

对水质问题与微污染特征进行了概括性分析和研究探讨,同时针对混凝剂形态功能和混凝作用机制着重探讨了优势混凝形态的物化特性、表征技术与作用机制,为混凝工艺的进一步发展提供了参考依据。进一步结合典型微污染原水,从混凝剂的优化筛选、混凝剂作用效能的强化、混凝工艺过程的强化、絮体形态结构控制、混凝工艺监控等多个角度对强化混凝工艺进行了系统介绍。最后根据 IPF 的基础理论研究和工程实践,在高效絮凝集成系统(FRD 系统)基础上,进一步探讨了以复合型 IPF 为核心的工艺集成系统的研究,并对强化/优化混凝技术的发展进行了论述。

本书得以完成,首先要感谢我的导师汤鸿霄院士多年来的谆谆教诲并为我指导研究方向,先生的鼓励与鞭策是我涉足混凝研究领域的重要动力源泉,只是限于自身资质愚钝,唯恐有负先生的殷切期望。同时要特别感谢中国科学院生态环境研究中心主任曲久辉研究员的鼓励和宝贵意见,没有曲先生的再三鼓励也就没有勇气写作本书。环境水质学国家重点实验室的杨敏主任和华东理工大学的姚重华教授对我的热情鼓励和苦心鞭策也使我鼓足了勇气。而本书得以最后成稿,更离不开我的许多同事和学生的辛勤劳动,以及多年来共同完成的研究课题与发表的一系列论文。这些论文以及研究生们的学位论文构成了本书写作的基础。同时, 特别感谢国家“863”计划项目研究工作中来自北京万水净水剂有限公司以及北京、天津、广州、深圳等自来水公司的同仁与工作人员。

由于著者水平有限, 诚望读者对书中谬误之处不吝指正。

王东升

2008 年 12 月 20 日

目 录

序

前言

第1章 强化混凝概论	1
1.1 混凝：概念、定义与范畴	1
1.1.1 混凝基本概念	1
1.1.2 混凝研究概况	2
1.1.3 混凝评估方法体系与操作规范	4
1.2 水质问题与水质安全	6
1.2.1 水质问题	7
1.2.2 水质迁移转化过程	10
1.2.3 饮用水水质标准	10
1.2.4 水质安全保障、管理与计划	11
1.3 强化混凝与优化混凝	14
1.3.1 消毒副产物与控制标准	14
1.3.2 工艺研究与进展	15
1.3.3 混凝剂的研究与进展	17
参考文献	18
第2章 原水水质特征	20
2.1 流域水质变化特征	20
2.1.1 河流水质原理	20
2.1.2 河流水质变化趋势	22
2.1.3 河流水质监控分析	24
2.2 水体污染物及其赋存特征	26
2.2.1 微污染水质概况	26
2.2.2 水体颗粒物	27
2.2.3 水体有机物	29
2.2.4 水体无机物	34
2.3 典型区域原水水质特征	34
2.3.1 典型北方水厂原水水质变化	34
2.3.2 典型南方水厂原水水质变化	35

参考文献	45
第3章 微污染水体有机物及其去除特征	47
3.1 微污染水体 DOM 的分析表征	47
3.1.1 AOM 分级表征的重要性与技术概况	47
3.1.2 化学分级表征	51
3.1.3 物理分级表征	56
3.2 有机物分级方法的改进与操作	57
3.2.1 化学分级方法的改进	57
3.2.2 物理分级参数的确定	63
3.3 典型水体 DOM 的分级表征	68
3.3.1 化学分级表征	68
3.3.2 分子质量分级表征	73
3.3.3 各组分 SUVA 和 STHMFP 的关系	76
3.3.4 物理化学结合 DOM 分级	77
3.4 DOM 去除机制的分级研究	79
3.4.1 不同水体 DOM 的混凝去除率	79
3.4.2 分级组分的混凝去除特征及相互关系	81
3.4.3 结合分级方法对 DOM 混凝去除过程	83
3.5 水厂工艺对 DOM 的去除特征	84
3.5.1 常规处理工艺	84
3.5.2 强化处理工艺	87
参考文献	93
第4章 优势混凝形态表征与作用机制	96
4.1 高效混凝剂研究概况	96
4.2 优势混凝形态研究与进展	97
4.2.1 铝(Ⅲ)水解化学概论	97
4.2.2 Al_{13} 的形成机制	99
4.2.3 Al_{13} 形成的影响因素	102
4.2.4 形态鉴定方法	104
4.3 Ferron 法的优化解析及 k 值判据	111
4.3.1 优化解析方程的建立	112
4.3.2 铝形态的反应 k 值	115
4.3.3 改进 Ferron 法- k 值判据	120
4.3.4 NMR 法与 Ferron 法- k 值判据法的比较	121

4.4 改进 Ferron 法的应用	123
4.4.1 铝盐的自发水解	123
4.4.2 铝盐的强制水解	124
4.5 Al_{13} 的亚稳平衡与转化	126
4.5.1 新制 PACl 的短期熟化行为	126
4.5.2 PACl 的稀释	128
4.5.3 Al_{13} 在沉淀中的溶出	130
4.5.4 Al_{13} 的鉴定	132
4.5.5 沉淀转化 Al_{13} 过程的 Ferron 解析	133
4.6 高浓 PACl 的制备	137
4.6.1 3 种方法的初步比较	138
4.6.2 $B=2.2$ 高浓 PACl 中 Al_{13} 的形成	139
4.7 Al_{13} 的形成机制	140
4.7.1 PLI- Al_{13} 的介稳平衡	140
4.7.2 对影响 Al_{13} 生成参数的认识	142
4.8 Al_{13} 的静电簇效应	144
4.8.1 电中和能力比较	144
4.8.2 絮体生长动力学	145
4.8.3 静电簇效应	147
参考文献	149
第 5 章 混凝剂的优化与筛选	152
5.1 不同形态的相对重要性与稳定性	152
5.1.1 聚合铝混凝过程中的形态分布	152
5.1.2 聚合铝混凝过程的形态重要性	155
5.2 聚合铝混凝作用机制	158
5.2.1 pH 对聚合铝混凝效果影响	158
5.2.2 温度对聚合铝混凝性能影响	163
5.2.3 混凝作用机制	164
5.3 混凝剂形态与效能的强化：无机、有机复合	166
5.3.1 不同助凝剂的复合特征	166
5.3.2 复合絮凝剂的混凝性能	168
参考文献	173
第 6 章 典型微污染水的强化混凝	176
6.1 原水基本水质特征	176

6.2	原水季节性混凝特征	176
6.3	原水中有有机物特性及强化混凝目标	178
6.3.1	滦河水与黄河水污染物分析	178
6.3.2	黄河水和滦河水水体有机物混凝特性比较	181
6.3.3	天津水体强化混凝目标	182
6.4	天津原水碱度效应	184
6.4.1	pH 优化	184
6.4.2	强化软化絮凝	187
	参考文献	192
第 7 章	混凝过程强化与控制	194
7.1	絮体的形成与结构	194
7.1.1	絮体形态学	194
7.1.2	絮体形态学研究方法	196
7.1.3	絮体的分形维数	198
7.1.4	絮体的强度	201
7.1.5	絮体性状的影响因素	204
7.1.6	工艺控制条件对絮体性状的影响	205
7.2	混凝过程控制与监控技术	221
7.2.1	基于多变量参数模型的混凝控制	222
7.2.2	基于特性参数模型的混凝控制	222
7.2.3	基于人工智能模型的控制技术及其设计	223
7.2.4	絮体性状实时图像检测系统的开发	225
7.2.5	絮体性状神经网络预测的基础研究	229
	参考文献	231
第 8 章	混凝工艺的优化集成	234
8.1	研究概况	234
8.2	混凝剂优化的中试系统对比	235
8.3	气浮与沉淀工艺对强化混凝的影响	236
8.3.1	有机物去除对比	236
8.3.2	颗粒物去除对比	237
8.4	预氧化工艺对混凝的影响	238
8.4.1	预臭氧氧化的除浊作用	238
8.4.2	预臭氧氧化去除水中有机污染物	240
8.5	强化混凝对过滤工艺的影响	241

8.5.1	有机物的去除	241
8.5.2	浊度的去除	242
8.5.3	对滤池过滤周期影响	242
8.6	系统优化的检测评价	243
8.6.1	全流程颗粒物成分分析	243
8.6.2	全流程金属元素迁移分析	244
8.6.3	全流程颗粒物去除规律	244
8.6.4	全流程 DOM 迁移转化	246
8.7	发展方向与研究展望	249
8.7.1	混凝剂形态组成的重要性及其作用机制	249
8.7.2	反应器与反应条件的重要性	251
8.7.3	水体有机物、颗粒物与水质数据库	252
8.7.4	优化混凝集成技术	254
8.7.5	高效絮凝技术的产业化	255
8.7.6	强化/优化混凝操作规范	255
	参考文献	256

第 1 章 强化混凝概论

混凝现象是自然界与人工强化水处理体系中普遍存在的现象之一^[1,2]。在天然水体中, 混凝过程是水质转化中十分显著的影响因素, 对水体颗粒物及有害/有毒物质的迁移、转化与归宿起着十分重要的作用。作为水与废水处理的重要方法之一, 混凝技术广泛地应用于各种水处理工艺流程之中, 决定着后续流程的运行工况以及最终出水质量与成本费用, 因而成为环境工程的重要科技研究开发领域, 在我国水处理高新技术的发展中占有重要地位。与此同时, 随着人类生存环境的恶化, 水资源问题成为我国 21 世纪国民经济发展中仅次于人口的第二大难题。在其互为因果、辩证相关的水量与水质两方面中, 由于水环境污染的加剧, 水质问题尤显突出和严峻。混凝技术作为其中被广泛应用的重要水处理方法, 在净化提高水质从而增加有效水量中起着关键作用, 成为解决整个水污染问题的十分重要的环节之一。

随着环境污染问题日趋严重以及水质标准越来越严格, 常规混凝技术已经不能很好地满足人们对水质安全的要求。尤其由于工农业生产的高速发展, 而环保措施普遍不足, 水安全问题近年来陡显突出。保护水源, 发展、完善水安全保障技术显得十分迫切。强化/优化混凝在现有的水处理工艺设施基础上进行改进与提高, 同时兼顾前、后续工艺流程的运行工况, 使水与废水达到深度处理的效果。因此, 大力发展强化/优化混凝技术, 并加以重点研究, 有助于进一步完善我国的水处理工艺技术, 推动我国水工业的发展。

1.1 混凝：概念、定义与范畴

1.1.1 混凝基本概念^[3,4]

有关凝聚、絮凝的概念已有较多的论述, 鉴于混凝现象的复杂性乃至混杂性, 一直对其缺乏科学的定义。一方面, 沿袭着传统的观点, 如凝聚(coagulation)与絮凝(flocculation)的概念以及在水处理界中所用以分别指整个处理过程中的两个较为明显的步骤时也常常不加区分, 以同义词看待或以混凝概之; 另一方面, 针对一些特殊的过程或为了强调某些具体特征, 出现了一些新概念, 且得到不断的修正。这从某种角度上反映了混凝理论的进展与存在的不足, 因此, 在这里做下述的限定: 混凝(coagulation/coagulation-flocculation)是指对混合、凝聚、絮凝的总括, 具有广义与狭义的双重性。广义而言, 混凝泛指自然界与人工强化条件下所有分散体系(水与非水或混合体系)中颗粒物失稳聚集生长分离的过程。而狭义上指水分散体系中

颗粒物在各种物理化学流体作用下所导致的聚集生长过程,这也是本书将着重讨论的范畴。引发混凝过程的化学药剂概称为混凝剂,涵盖了所有无机型、有机型、复合型、复合型、天然型乃至助凝剂在内的低分子凝聚剂或高分子絮凝剂。目前,有关纳米颗粒物的形成与聚集过程的研究进一步丰富了混凝的内涵,必将增进对混凝机制的深入认识。

强化混凝的概念由来已久,早在美国《给水工程师协会会刊》(AWWA) 1965年的一篇论文中就有所论述。而美国给水工程师协会在 20 世纪 90 年代提出的强化混凝是指水处理常规混凝处理过程中,在保证浊度去除效果的前提下,通过提高混凝剂的投加量来实现提高有机物(相应的也即消毒副产物/disinfection by-product/DBP 前驱物)去除率的工艺过程^[5]。这一强化混凝的概念也即基于混凝剂投加量的提高或反应 pH 条件控制的混凝过程。优化混凝则是在强化混凝的基础上提出来的,是具有多重目标的混凝过程^[6],包括最大化去除颗粒物和浊度,最大化去除总有机碳(TOC)和 DBP 前驱物,减小残余混凝剂的含量,减少污泥产量,最小化生产成本。

从工艺研究角度而言,强化混凝侧重于在现有水处理工艺设施上的改进与提高,也即强化,可以并需要通过对混凝剂的优化筛选、混凝剂剂量与混凝反应过程及反应条件的控制强化来实现。而结合前处理过程(如预氯化、预氧化等)以及后续处理过程(如强化过滤、深度处理等)系统性的结合,则属于优化混凝的范畴。优化混凝是一总体综合、系统化的过程。而从水处理实际过程来看,两者并不能截然区分,往往是“强化中的优化,优化中的强化”。强化混凝需要通过混凝剂、混凝反应条件与反应过程的控制强化来实现,同时必须兼顾前处理、后续的运行工况(而非简单的,虽然是其中最重要的——基于混凝剂投加量的提高或反应 pH 条件控制),才能达到真正强化也即优化的目的。

1.1.2 混凝研究概况

混凝过程的研究贯穿于胶体与界面科学、水质科学的历史发展进程之中。对于胶体稳定与解稳的研究构成胶体科学领域的一个重要内容,连同胶体自身性质的研究一起成为胶体科学发展的两大支柱。20 世纪 60 年代,相继发表的“混凝化学观”与“混凝计量学”成为混凝研究发展过程中的里程碑,与此同时,一些学者也发表了重要论文。例如,我国学者提出的混凝胶体化学观及絮凝形态学。而流体力学观、物理观及溶液化学作用的研究进一步深化了对混凝作用机制的认识。由 Ives 集合众多学者编辑的《絮凝的科学基础》的发表,奠定了混凝研究作为一门独立研究学科的基础,把混凝技术的理论深度与应用广度推向了新的阶段。另外,国内外发表了大量的文献与专著,具代表性的有《论水的混凝》、《凝聚与絮凝》等。而且连续举办以混凝研究为专题的讨论会,并在世界范围建立了学术网络,使混凝研究成为环境科学与技术中十分活跃的研究领域。

随着环境污染的日益严重,水质问题越来越受到人们的关注。对于水体颗粒物的形态和功能的研究成为近代环境水化学的主导内容,其研究的日渐深入成为环境水化学向水质学过渡的一个重要推动因素。在水体中,颗粒物与各种污染物发生多种溶液或界面的反应,连同其自身的相互作用,很大程度地影响甚至决定着水质。因此,研究水体颗粒物的稳定与失稳聚集过程的作用机制与定量规律也成为近年来水化学中最活跃的研究领域。

近几十年来,有关混凝技术领域的研究在各方面均取得了较大的成果,呈现出十分活跃的发展趋势,且面临着突破性进展。其主要研究内容可以粗略地归纳为3个方面,即混凝化学(原水水质化学、混凝剂化学、混凝过程化学)、混凝物理(混凝动力学与形态学)与混凝工艺学(包括混凝反应器与混凝过程监控技术)。

混凝化学:主要研究混凝过程中所参与的各类物质的形态、结构、物理化学特征及其在不同条件下的化学变化规律,因此,尚可细分为混凝处理对象——原水水质化学、混凝剂化学、混凝过程化学。混凝化学研究所取得的成果使人们得以从分子水平探讨混凝过程及混凝剂自身化学形态(包括溶液化学、颗粒与表面形态)的分布与转化规律,推动了混凝剂的分子设计、科学选择及混凝工艺方案的优化设计。随着现代混凝处理对象的不断扩展,水体颗粒物的概念范畴也已相当广泛,一般泛指各类水体中可能含有的多种悬浮物、沉积物、乳浊物及高分子化合物、生物体等,因此,包括了除溶解态的分子以外的所有水体杂质或污染物。同时,天然水体水质成分随季节、区域甚至昼夜变化呈现不同的变化规律;而市政工业废水与生活污水更是随着来源的不同而呈现显著不同的物化性质。因此,对原水水质化学展开深入的研究,成为混凝研究中一个较为迫切的领域。

在混凝过程中,混凝剂的选择与使用是其中的关键因素之一。有关混凝剂的形态、结构、化学性能的研究一直是混凝技术的主要研究内容。例如,在无机高分子聚合氯化铝的研究中,对于混凝过程中起优势作用的形态及其混凝过程的作用机制与形态转化规律仍然缺乏明确的认识。同时,虽然有研究表明商品聚合铝中的形态十分接近经一定熟化过程的实验室预制品的形态特征,但是对混凝剂实际生产过程的形态生成与转化规律所进行的研究仍然欠缺。因而,对混凝剂的生产实践缺乏明确的理论指导。

混凝过程化学的研究是阐明混凝作用机制的关键所在,同时也是指导混凝剂的筛选、推动混凝剂进一步发展的基础。然而,对于混凝过程化学的研究所予以的重视程度仍然不够。这一方面在于传统混凝剂研究大多局限于应用最为广泛的硫酸铝的作用性能,且常以基于无定形沉淀的混凝区域图来概括阐述其混凝机制;另一方面在于混凝过程化学变化通常在瞬间完成,其形态的鉴定缺乏相应的仪器分析检测手段。尽管如此,近年来该领域也引起了研究人员较多的关注,进行了较为初步的研究并取得了一定的成果。

混凝物理：主要研究絮体形成的动态过程，其结构、形态、性能以及随不同条件的变化规律。絮体的结构与性能在混凝研究中占据极其重要的地位，同时对后续分离过程起着决定性的作用。随着现代物理分析检测手段与新方法新理论的引进，近几十年来取得了长足的进展。有关混凝化学、动力学及形态学的研究可以概称为混凝理论。通过混凝理论的深入研究来进一步指导混凝工艺过程的实施，主要体现在混凝工艺学的研究与发展之中。

混凝工艺学：在混凝理论的指导下，主要研究与特定混凝工艺流程、混凝剂以及反应过程相适应的混凝工艺系统，包括混凝反应器、混凝过程监控与投药控制设备等等的研制与开发。而混凝物理的研究使人们对不同碰撞聚集作用机制下，如布朗运动、流体剪切、差速沉降等颗粒物之间的动力学反应过程有了更为深刻的认识，提供了混凝反应器与强化混凝工艺的设计基础。由于各种监测技术的发明与应用，使得混凝过程得到有效的监控并趋向自动化发展。在此基础上，对投药监控的研究提出了若干定量计算模式并应用于工程实践，推动了混凝理论研究的发展。然而，人们虽然逐渐了解混凝过程中的各种影响因素明确，但是综合性的实验研究仍然十分缺乏，制约着人们对混凝过程本质性的认识。

对于一既定体系(一定的水源及处理设施与选定的混凝剂)以定量计算来描述整体工艺流程，仍然是该领域研究人员所为之努力追求与奋斗的目标。深入研究混凝过程本质，定量描述其絮体的形成、结构、行为与性能以及诸影响作用关系，对混凝工艺过程的调控与实施，具有重要的理论价值与广泛的应用前景，成为当前环境科学与水工业的前沿热点问题。

随着环境污染问题日趋严重以及水质标准越来越严格化，常规混凝技术显然已经不能很好地满足人们对水质安全的要求。尤其在经济发达的沿海地区，由于工农业生产的高速发展，水安全问题近年来尤为突出。现有常规净水工艺(混凝—沉淀—过滤—消毒)不能有效去除溶解性有机物、嗅味物质、氨态氮、藻类和藻毒素。水中藻类和有机物的存在，不仅降低了出厂水水质，还不同程度地影响水厂设施的正常运行。多数水厂没有专门地去除溶解性有机物和藻类的单元，主要以常规处理工艺在去除悬浮物的同时兼顾除藻，对藻类和溶解性有机物的去除率一般只有10%~20%，难以满足水质安全的要求。

1.1.3 混凝评估方法体系与操作规范^[7]

近几十年来，对水体有机物、颗粒物和界面过程进行了较为广泛的研究。在水体有机物/颗粒物的分析检测技术、界面反应特征、水质转化功能以及水处理工艺中应用去除颗粒物的高新技术等方面均有着较大的进展。尤其是在表面络合理论的兴起及广泛研究应用后，颗粒物及其界面过程的研究逐步深化，并且着重于动力学规律的探索。而现代光谱技术，如粉末 X 射线衍射、红外/拉曼光谱、固态核磁共