



城市水资源与水环境国家重点实验室优秀成果

生物复合絮凝剂的开发与应用

马 放 高宝玉 胡勇有 周集体 彭先佳 等 著



科学出版社

城市水资源与水环境国家重点实验室优秀成果

生物复合絮凝剂的开发与应用

马 放 高宝玉 胡勇有 周集体 彭先佳 等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面阐释生物复合微生物絮凝剂的开发、复配技术、环境安全性及工程应用等。全书共分为 5 章,系统介绍了多元化生物质废弃物高值利用制备生物絮凝剂关键技术、生物复合絮凝剂高效复配/复合关键技术、生物复合絮凝剂环境安全性分析及生物复合絮凝剂规模化生产关键技术和工程应用示范等相关内容,这有助于增进读者对这类新型环境生物功能材料的理解及认识。

本书可作为环境微生物学、环境科学与工程等专业研究生的参考用书,以及高校相关专业教师的教学和科研用书,也可供相关领域科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物复合絮凝剂的开发与应用/马放等著. —北京:科学出版社, 2017.3
城市水资源与水环境国家重点实验室优秀成果
ISBN 978-7-03-052338-9

I. ①生… II. ①马… III. ①絮凝剂—研究 IV. ①TQ047.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 051359 号

责任编辑:朱 丽 李丽娇 / 责任校对:何艳萍
责任印制:肖 兴 / 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>

北京威通印刷股份有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2017 年 3 月第一次印刷 印张: 20 1/4

字数: 400 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《城市水资源与水环境国家重点实验室优秀成果》

编辑委员会

顾 问：李圭白 张 杰

主 任：任南琪

副主任：马 放 冯玉杰 陈忠林

委 员（按姓氏汉语拼音顺序排列）：

崔福义 韩洪军 李一凡 马 军

南 军 祁佩时 汤 洁 田 禹

王 鹏 尤 宏

《生物复合絮凝剂的开发与应用》编委会

主 编：马 放 高宝玉 胡勇有 周集体 彭先佳

主 审：任南琪

编写人员（按参与编写单位排列）：

哈尔滨工业大学

李 昂 杨基先 郭海娟 王 立 邱 珊
邢 洁 吴 丹 魏 薇 李立欣 皮姗姗
陈 婷

山东大学

王 燕 岳钦艳 薄晓文 赵艳侠

华南理工大学

于 琪 雷志斌 成 文 黄晓武

大连理工大学

王 竞 张爱丽 吕 红 金若菲 张 玉
项学敏 曲媛媛 张 瑛 乔 森

中国科学院生态环境研究中心

倪 帆

上善若水，天道酬勤

——《城市水资源与水环境国家重点实验室优秀成果》丛书序

随着我国城市化进程的加快，尤其是当前我国的社会经济进入快速发展轨道，我国面临着资源需求增加、能耗水平高、水资源缺乏以及水生态环境改善缓慢等问题，城市水环境存在着巨大的、难以预测的风险，严重制约着城市化进程的发展及和谐社会的建设，也严重影响着我国居民用水安全及健康。城市水系统相关理论和保障技术也越来越受到高度重视，是我国经济社会可持续发展的重要方面和保障之一。

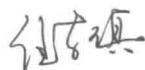
哈尔滨工业大学环境科学与工程学科和市政学科的发展最早可以追溯到 20 世纪 50 年代建立的卫生工程专业，在半个多世纪的发展过程中，该方向一直处于学科发展的前沿，为我国在该领域的发展做出了重要贡献，并为国家培养了大批优秀人才。进入新世纪，我国环境与生态问题面临着前所未有的挑战，经济发展和生态环境保护之间的矛盾与冲突也越来越大，全球环境问题以及由此带来的一些经济摩擦也对我国环境生态保护及经济发展提出了新的要求，传统的污染治理模式亟需改革与突破，以适应循环经济、低碳、可持续发展等国际化发展主题。在周定、李圭白、王宝贞、张杰等老一代专家的指导下，在新一代中青年学者共同努力下，近十年来哈尔滨工业大学相关学科发展迅速，科学研究水平取得了重要进展。于 2007 年开始建设的城市水资源与水环境国家重点实验室正是在这一背景下发展起来的一个新的重要的国家级研究平台。

本实验室紧密结合国家战略需求和经济社会发展需要，围绕城市水系统中的关键科学与技术问题，以“格物穷理，知行合一，海纳百川”的实验室文化为基础，在应用基础理论研究方面取得了一批重要研究成果，为我国污染控制与节能减排做出了重要贡献。为总结实验室在过去十几年取得的研究成果，实验室整理出版了这套《城市水资源与水环境国家重点实验室优秀成果》丛书，丛书从多尺度阐述了可持续发展的城市水资源与水环境理论与技术。丛书汇集了城市水资源与水环境国家重点实验室在城市水生态安全、城市水水质保障、城市水健康循环、多元生物质能源化与资源化、城市水环境系统节能及优化理论与技术等方面的研究成果。丛书系统总结了实验室人员在环境化学、环境生物学等理论方面的一些重要研究进展和新的发现，以及实验室研究人员在水与

废水处理及保障技术方面的成果、工程实践，还涵盖了实验室近年来在新兴污染物检测与去除、环境风险评价与预警等方面的研究进展与实用技术。

本套丛书在策划和出版过程中，得到了实验室许多前辈的指导和帮助，以及实验室成员的大力支持，也得到了科学出版社等出版机构的大力支持，在此一并表示感谢。

“半世纪风雨兼程，六十载春花秋实”。本套丛书的出版，既是对以往实验室成果的总结，也是对未来实验室发展的鞭策。实验室将秉承“以人为本，自主创新，重点跨越，引领未来”的方针，继续为我国城市水系统可持续发展做出应有的贡献。



2011年10月

序

随着世界人口剧增和工业高速发展,全球用水量急剧增长,而城市污水、工业污水的大量排放给工农业生产、生态环境和人类健康带来严重的影响。因此,水处理技术的发展成为社会经济可持续发展的必要组成,而水处理技术的生物方法推动了环境科学和污染治理技术的发展,这其中以环境生物菌剂的应用最为广泛。

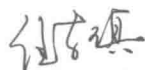
为满足可持续发展的基本要求,根据水处理化学药剂的安全标准,研发绿色高效、环境友好型的生物絮凝剂产品迫在眉睫,其可生物降解性及无毒无害的本质特点,能有效避免二次污染,有利于降低污水后续处理压力及成本,对工业生产、人类健康和环境保护都有很重要的现实意义,是顺应时代环保需求、构建和谐社会、共创美丽中国的大势所趋。2009年,科技部专门设立了国家高技术研究发展计划(“863”计划)子课题“生物复合絮凝剂的制备和应用关键技术与工程示范”来推动我国微生物絮凝剂的研究与应用。而近年来出台的《“十一五”生物技术发展规划》和《“十二五”生物技术发展规划》都强调重点发展高性能的水处理絮凝剂、混凝剂等生物技术产品,这就为生物絮凝剂的产业化生产及工业化应用提供了重要的机遇。

我国生物絮凝剂的研究起始于20世纪90年代,在生物絮凝剂开发、应用等方面取得了巨大进展。絮凝剂总的发展趋势是由低分子向高分子,由单一向复合。努力寻求一种廉价实用、环保、无毒高效型的絮凝剂是当今该领域研究者的主要任务之一。哈尔滨工业大学马放教授团队、华南理工大学胡勇有教授团队、山东大学高宝玉教授团队、大连理工大学周集体教授团队及中国科学院生态环境研究中心彭先佳团队在此方面做了大量的工作。

在多元化生物质废弃物高值利用制备生物絮凝剂的基础上,以生物絮凝剂为主体,制备出多功能生物复合型絮凝剂,开发出廉价、高效的生物复合絮凝剂,实现优势互补,提高了污水和废水中絮凝处理的效果。在此基础上,提出了生物复合絮凝剂的规模化生产和评价综合体系,进一步推动了生物复合絮凝剂的产业化生产。

该书凝结了多个生物絮凝剂研究团队多年来的研究成果,详细介绍了以多元化废弃物为基本原料的生物絮凝剂制备、生物复合絮凝剂高效复配/复合、生

物复合絮凝剂规模化生产等关键技术，对于生物复合絮凝剂的研发、生产及应用做了详细的论述。很高兴见证生物复合絮凝剂研究成果的出版，相信其必为生物絮凝剂的产业化生产做出巨大贡献，必会对推动生物絮凝剂的工业化应用提供重要依据。



2016年12月

前 言

随着水资源危机和水环境污染的日趋严重,污水处理对污水处理制剂的需求与日俱增,从而掀起了开发绿色环保的新型水处理制剂的热潮。生物絮凝剂是由微生物天然产生的多糖、蛋白质或脂类等无毒无害的生物大分子,具有可生物降解、无二次污染、高效无毒、易于发酵、广泛适用等优势,具有巨大的应用价值及市场潜力。哈尔滨工业大学马放教授团队、华南理工大学胡勇有教授团队、山东大学高宝玉教授团队、大连理工大学周集体教授团队及中国科学院生态环境研究中心彭先佳团队长期致力于生物絮凝剂的相关研究,开发以生物絮凝剂及生物复合絮凝剂为主的绿色净水剂,取得了一系列具有自主知识产权的特色研究成果,并达到国际先进水平。在总结各团队前期研究成果的基础上,完成了本书的撰写,旨在对生物复合絮凝剂这一新型绿色净水剂的制备、原理、应用及发展进行详尽、清晰地阐述,为我国在该领域的研究发展总结出一套创新思路。

《生物复合絮凝剂的开发与应用》阐述了生物复合絮凝剂的特性、制备、生产及应用方面的相关技术,内容以生物絮凝剂为研究对象,从多元化废弃物为基本原料的生物絮凝剂制备到生物絮凝剂与常规絮凝剂复配/复合,开发出了天然无毒害、生产成本低新型生物菌剂,在此基础上完成了生物复合絮凝剂环境安全、保质措施、规模化生产及工程应用的研究,并实现了生物复合絮凝剂的产业化与应用。本书共分为5章,第1章为总论部分,作为起点范畴篇,分析了生物絮凝剂存在的问题,以及该瓶颈如何激发生物絮凝剂的产生与发展;第2章论述了多元化生物质废弃物高值利用制备生物絮凝剂关键技术,开发出以多元化废弃物为基本原料的生物絮凝剂制备关键技术,包括利用复杂基质产絮微生物的选育方法,微生物种质资源库构建,确定多元混合原料预处理技术;第3章论述了生物复合絮凝剂高效复配/复合关键技术,以生物絮凝剂为主体,制备出多功能生物复合型絮凝剂;第4章介绍了生物复合絮凝剂环境安全性分析,介绍了水质特点、絮凝条件、净化效果与生物复合絮凝剂种类相对应的数据库,论述了生物复合絮凝剂存储、运输等环节的保质技术措施和生物复合絮凝剂的安全应用模式等;第5章论述了生物复合絮凝剂规模化生产关键技术及工程应用示范,论述典型产品的规模化生产线,集质量标准、效能评价及安全性评价为一体的综合技术体系的建立。

本书由马放教授和李昂博士共同统稿,参加本书编写的人员有哈尔滨工业大学马放、李昂、杨基先、郭海娟、王立、邱珊、邢洁、吴丹、魏薇、李立欣、皮姗姗、陈婷,山东大学高宝玉、王燕、岳钦艳、薄晓文、赵艳侠,华南理工大学胡勇有、于琪、雷志斌、成文、黄晓武,大连理工大学王竞、周集体、张爱丽、吕红、金若菲、张玉、项学敏、曲媛媛、张瑛、乔森,中国科学院生态环境研究中心彭先佳、倪帆。

谨以此书献给已故中国科学院生态环境研究中心栾兆坤研究员,感谢栾老师项目实施及本书撰写过程中所做的贡献。

本书的编写一直得到任南琪院士的关怀,任南琪院士在百忙之中为本书欣然作序并担任本书的主审,在此,作者及全体编写者表示衷心感谢!

本书的编写和出版得到了城市水资源与水环境国家重点实验室、国家高技术研究发展计划(“863”计划)(No. 2009AA062906)及国家自然科学基金面上项目(No. 51578179)的资助,同时感谢城市水资源与水环境国家重点实验室2015年自主课题(2015 DX06)资助,在此深表谢忱!

本书在编写过程中参考了大量的教材、专著及国内外相关资料,在此对这些著作的作者表示感谢。

由于生物复合絮凝剂的研究日新月异,且编著者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

著 者

2016年7月

目 录

丛书序

序

前言

第 1 章 总论	1
1.1 国内外常规絮凝剂的研究现状	2
1.1.1 无机絮凝剂的研究及发展	2
1.1.2 有机絮凝剂的研究及发展	4
1.1.3 常规絮凝剂存在的问题	6
1.2 国内外生物絮凝剂的研究现状	7
1.2.1 生物絮凝剂的发展简史	8
1.2.2 生物絮凝剂产生菌种类及其图谱	10
1.2.3 生物絮凝剂的分类及结构性质	31
1.2.4 生物絮凝剂的化学组成	32
1.2.5 生物絮凝剂的安全性	33
1.2.6 生物絮凝剂的絮凝机理	33
1.2.7 生物絮凝剂絮凝效果的影响因素	36
1.2.8 生物絮凝剂的发酵生产工艺	37
1.2.9 生物絮凝剂的优势	39
1.2.10 生物絮凝剂在水处理中的应用	40
1.2.11 复合型生物絮凝剂的内涵及研究进展	45
1.3 生物絮凝剂的发展趋势及展望	47
第 2 章 多元化生物质废弃物高值利用制备生物絮凝剂关键技术	49
2.1 高效产絮微生物的选育及菌种资源库的构建	49
2.1.1 高效产絮微生物的选育	49
2.1.2 产絮菌菌株 BIOLOG 系统分析	49
2.1.3 产絮菌生长特性研究	53
2.1.4 复合型生物絮凝剂的理化特性	55
2.1.5 复合型生物絮凝剂的成分分析	63
2.1.6 生物絮凝剂产生菌的菌群构建	72

2.1.7 生物絮凝剂产生菌种质资源库的构建	73
2.2 产絮微生物的絮凝效能影响因素	78
2.2.1 营养元素对 MF3 絮凝能力的影响	78
2.2.2 环境因素对 MF3 絮凝能力的影响	80
2.2.3 生物絮凝剂发酵模型的建立	84
2.3 多元化廉价底物的高效预处理方法	89
2.3.1 微生物糖化复合菌系的富集与培养	90
2.3.2 草秸秆作为廉价底物制备生物絮凝剂的预处理	100
2.3.3 有机废水作为廉价底物制备生物絮凝剂的预处理	104
2.4 基于多元混合原料的生物絮凝剂定向制备	112
2.4.1 以稻草秸秆为底物制取复合型生物絮凝剂的研究	112
2.4.2 利用高浓度有机废水制取复合型生物絮凝剂的研究	113
2.4.3 以纤维素水解液为底物生产絮凝剂的技术	114
2.4.4 以糖果废水为主要原料的复合生物絮凝剂制备技术	117
2.4.5 以啤酒废水及发酵废水为底物生产生物絮凝剂的发酵罐 生产技术	123
2.4.6 复合型生物絮凝剂生产工艺流程和发酵参数的确定	123
2.4.7 生物絮凝剂的固定化发酵技术	128
第 3 章 生物复合絮凝剂高效复配/复合关键技术	144
3.1 生物复合絮凝剂复配技术的影响因素	144
3.1.1 复合无机组分的筛选	144
3.1.2 复合生物絮凝剂的制备	145
3.2 生物复合絮凝剂的高效复配	149
3.2.1 一价阳离子 K^+ 、 Na^+ 与微生物絮凝剂的复配	149
3.2.2 二价阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与微生物絮凝剂的复配	149
3.2.3 三价阳离子 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 与微生物絮凝剂的复配	149
3.2.4 高分子无机絮凝剂 PFS、PAC 与微生物絮凝剂的复配	150
3.2.5 以高岭土-腐殖酸模拟水样为对象对 CBF 与硫酸铝 (AS) 进行复配	151
3.2.6 以高岭土-腐殖酸模拟水样为对象对 CBF 与 $TiCl_4$ 混凝剂 进行复配	154
3.2.7 以地表水为对象对 CBF 与铝盐混凝剂进行复配	156
3.2.8 以分散黄模拟水样为对象对 CBF 与铝盐进行复配	161

3.2.9	以含磷模拟水样为对象对 CBF 与传统化学混凝剂进行复配	163
3.2.10	CBF 与非离子型 PAM 和阴离子型 PAM 的复合研究	166
3.2.11	CBF 接枝丙烯酰胺絮凝剂及其制备技术	174
3.2.12	生物絮凝剂与改性植物胶粉、改性壳聚糖高效复合/复配 关键技术	187
3.3	生物复合絮凝剂的物化特征	201
3.4	生物絮凝剂的絮凝行为和絮凝机理的探讨	206
3.4.1	CBF 与 AS 复配处理高岭土-腐殖酸模拟水样的絮体特性 研究	206
3.4.2	CBF 与 TiCl_4 混凝剂复配处理高岭土-腐殖酸模拟水样的 絮体特性研究	215
3.4.3	CBF 与 PAC 复配处理地表水的絮体特性研究	220
3.4.4	CBF 与铝盐复配处理分散黄模拟水样的絮体特性研究	228
3.4.5	复合生物絮凝剂 CBF-1 与 PAC 复配絮凝高岭土模拟 废水的絮体特性研究	235
3.4.6	微生物絮凝剂 MBF8、改性壳聚糖 CAD 与 PAC 复配絮凝 高岭土模拟废水的絮体特性研究	237
3.4.7	生物复合絮凝剂的絮凝机理探讨	238
3.5	生物复合絮凝剂实际废水应用数据库建设	245
3.6	生物复合絮凝剂稳定性及保质关键技术的开发	250
第 4 章	生物复合絮凝剂环境安全性分析	254
4.1	生物复合絮凝剂的生物安全性分析及评价	254
4.1.1	生物复合絮凝剂的生物安全检测方法	254
4.1.2	生物复合絮凝剂的生物安全性分析	256
4.1.3	生物复合絮凝剂的生物安全性评价指标体系	267
4.2	生物复合絮凝剂的水质安全性分析及评价	268
4.2.1	生物复合絮凝剂的水质安全检测方法	268
4.2.2	生物复合絮凝剂的水质安全性分析	268
4.2.3	生物复合絮凝剂的水质安全性评价指标体系	270
4.3	生物絮凝剂保质措施研究	270
4.3.1	絮凝剂酸碱稳定性	270
4.3.2	高温对絮凝剂稳定性的影响	271
4.3.3	保存温度对絮凝剂稳定性的影响	273

4.3.4	光照对絮凝剂活性的影响	274
4.3.5	超声对絮凝剂活性的影响	275
4.3.6	室内与室外条件下对比	275
第 5 章	生物复合絮凝剂规模化生产关键技术及工程应用示范	278
5.1	生物复合絮凝剂的产业化	278
5.2	生物复合絮凝剂中试示范工程应用	281
5.2.1	技术方案与工艺路线	281
5.2.2	中试示范工程实验研究	281
5.3	生物复合絮凝剂示范工程应用	297
参考文献		301

第 1 章 总 论

水资源是人类生产和生活中不可缺少的自然资源，也是生物赖以生存的环境资源，随着水资源危机的加剧和水环境质量不断恶化，水资源短缺已成为当今世界备受关注的环境问题之一。

随着人民生活水平的提高，用水量日益增加，世界性的水资源危机日益加重。我国水资源匮乏，目前已有 300 多个大中城市缺水，其中 1/3 的城市严重缺水，工业用水占城市用水的 70%~80%以上，加之严重的环境污染，我国估计每年缺水 300 亿吨（雷川华和吴运卿，2007）。这将严重影响人民的日常生活和国民经济的发展。因此，治理污水，提高水的重复利用率，保护水资源迫在眉睫。

当今环保产业领域中，污水的处理方法有生化法、离子交换法、吸附法、化学氧化法、电渗析法、絮凝沉淀法等，其中絮凝技术是目前国内外普遍采用的经济简便的水处理方法，它广泛地应用于水污染控制、水体富营养化、节水回用净化工程技术、城镇用水及工业废水、食品和发酵工艺、制药工程、化工冶金及矿选工程等水处理领域（李桂娇等，2003）。絮凝技术的特点是基建投资少、处理时间短，尤其适合一些中小企业的污水处理。目前絮凝法已在水处理中占有重要地位，其核心技术为絮凝剂的选择与使用。絮凝剂（floculent 或 flocculating agent）是指能够将水溶液中的溶解物、胶体或者悬浮物颗粒凝聚产生絮状物沉淀的物质。随着科学技术的发展，絮凝剂由单一向多样化转变，成为市场上消耗量最大的水处理药剂，根据化学成分不同，主要分为无机絮凝剂、有机絮凝剂、生物絮凝剂和复合絮凝剂四大类，常用的絮凝剂及其分类如表 1-1 所示。

表 1-1 常用絮凝剂分类及典型代表物（李雨虹等，2014）

分类	类型	典型代表物
无机絮凝剂	无机低分子型	明矾（KA），硫酸铝（AS），硫酸铝（FS），三氯化铁（FC），活化硅酸（AS）
	无机高分子阴离子型	聚合氯化铝（PAC），聚合氯化铁（PFC），聚合硫酸铝（PAS），聚合硫酸铁（PFS），聚合磷酸铝（PAP），聚合磷酸铁（PFP）
	无机高分子阳离子型	聚合磷酸（PSi），聚合硅酸（PS）
	无机高分子阴离子复合型	聚合氯化铝铁（PAFC），聚合硫酸铝铁（PAFS），聚合磷酸化铁（PPFC），聚硫酸化铝（PACS）
	无机高分子阳离子复合型	聚合硅酸硫酸铁铝（PFASSi），聚合硅酸氯化铝（PACSi），聚合硅硫酸铝（PASSi），聚合硅酸氯化铁（PFCSi），聚合硅硫酸铁（PFSSi）

续表

分类	类型	典型代表物
有机高分子絮凝剂	人工合成有机高分子型	聚丙烯酰胺 (PAM), 水解聚丙烯酰胺, 聚氧乙烯, 乙烯吡啶共聚物
	天然有机高分子型	甲壳素, 木质素, 腐殖酸, 动物胶
	天然改性有机高分子型	淀粉衍生物, 甲壳素衍生物, 木质素衍生物
生物絮凝剂	微生物絮凝剂	NOC-1, 黄原胶
	复合型生物絮凝剂	HITM02
	其他生物絮凝剂	甲壳素, 木质素, 腐殖酸, 动物胶
	改性生物絮凝剂	淀粉衍生物, 甲壳素衍生物, 木质素衍生物
复合高分子絮凝剂	无机与无机复合高分子絮凝剂	同无机高分子阴离子和阳离子复合型
	无机与有机复合高分子絮凝剂	聚硅酸铝锌 (PSAZ), 聚合铝聚丙烯酰胺, 聚合铁甲壳素等
	微生物无机复合絮凝剂	微生物絮凝剂与其他絮凝剂的配合使用, 如微生物絮凝剂与硫酸铝、水合氧化铁溶胶的复配; 或者微生物与微生物絮凝剂的复配使用
助凝剂	天然矿物类	膨润土, 硅藻土, 沸石
	改性矿物类	改性膨润土, 改性硅藻土, 改性粉煤灰, 矿化垃圾
	人工合成矿物类	人工合成沸石, 活性炭
	其他	CaO, Ca(OH) ₂ , Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃

1.1 国内外常规絮凝剂的研究现状

1.1.1 无机絮凝剂的研究及发展

无机絮凝剂也称凝聚剂, 应用历史悠久, 因其良好的絮凝效果和低廉的价格优势, 广泛用于饮用水和工业水的净化处理。无机絮凝剂按金属盐种类可分为铝盐系和铁盐系两类; 按阴离子成分又可分为盐酸系和硫酸系; 按相对分子质量则可分为低分子体系和高分子体系两大类。无机絮凝剂主要应用在印染、造纸、饮用水处理等几个方面, 在水处理中仍占有较大的市场 (崔子文和郝红英, 1999)。

1. 无机低分子絮凝剂

无机低分子絮凝剂是一类低分子的无机盐, 是最传统的絮凝剂, 主要包括硫酸铝、明矾、硫酸铝铵、氯化铁、硫酸铁和硫酸亚铁水合物等。该类絮凝剂的絮凝作用机理为无机盐溶解于水中, 电离后形成阴离子和金属阳离子。由于胶体颗粒表面带有负电荷, 在静电的作用下金属阳离子进入胶体颗粒的表面中和一部分负电荷而使胶体颗粒的扩散层被压缩, 使胶体颗粒的 ζ 电位降低, 在范德华力的作用下形成松散的大胶体颗粒沉降下来。虽然无机低分子絮凝剂使用历史悠久, 但由于其较低的相对分子质量导致在使用过程中投入量较大, 产生的污泥量很大,