

基于两级液态调质理论的 污泥处理处置技术

吴学伟 著



科学出版社

www.sciencep.com

基于两级液态调质理论的 污泥处理处置技术

吴学伟 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

污水厂污泥处理处置是当前国内的难题。本书是作者结合多年的研究和最新的应用成果,围绕如何将亲水性的污泥颗粒调质改性为具有疏水性的污泥颗粒,进而脱水干化和综合利用的主线撰写而成。本书共十章,包括概论、污泥微观结构模型与水分组成、干污泥成分与特性、污泥一级液态调质浓缩技术、污泥二级液态调质压滤脱水技术、污泥载体干化技术、污泥掺混制砖技术、污泥掺混制肥技术、基于两级液态调质理论污泥处理处置技术的应用和技术经济分析等内容。

本书可供从事环境工程和给水排水工程的工程技术人员阅读,也可供有关专业的管理人员以及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于两级液态调质理论的污泥处理处置技术/吴学伟著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-023178-9

I. 基… II. 吴… III. 污泥处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 158108 号

责任编辑: 童安齐/责任校对: 刘彦妮

责任印制: 吕春珉/封面设计: 耕者设计工作室

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张: 8

印数: 1—2 000 字数: 120 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010—62136131 编辑部电话 010—62137026 (BA08)

前言

污水厂剩余污泥的处理处置是污水处理系统的一个重要组成部分。长期以来我国对污水厂剩余污泥的处理只停留在浓缩脱水阶段,对后续的处置未予以足够重视,导致污泥二次污染问题日益严重。一些发达城市尝试引进国外的干化和焚烧技术解决污泥处理处置问题,但由于投资和运行费高昂,经济上难以承受;而且国内外污泥泥质差异大,国外设备易磨损和堵塞,对国内污泥的适应性也存在问题。因此,迫切需要寻找适合我国国情的污泥处理处置技术和设备。

鉴于污泥浓缩工艺的投资和运行费用大大低于脱水工艺,脱水工艺的投资和运行费用又大大低于热干化或焚烧处理工艺,因此如果强化污泥浓缩和脱水环节降低污泥含水率,就可以减少后续热处理的污泥量,从根本上降低污泥的处理处置成本。为此,本书依据建设部2007年科技计划项目“城市污水厂污泥载体干化与组合工艺处置技术”(编号2007-K7-7)的研究成果,系统阐述了污泥两级液态调质的理论,重点论述了污泥浓缩、脱水、载体干化、掺混制砖和掺混制肥的工艺原理和应用效果,并进行了详细的技术经济分析。

全书共分十章。第一章介绍污泥处理处置技术的发展概况和基于两级液态调质理论污泥处理处置工艺的特点;第二章阐述了污泥的胶羽结构特征,提出了污泥小颗粒模型和大颗粒模型,并分析了污泥水分的组成;第三章分析了国内和广州干污泥的成分,介绍了污泥的各种特性;第四章重点论述了污泥一级液态调质的技术原理;第五章重点论述了污泥二级液态调质的技术原理;第六章重点介绍了污泥载体干化工艺的技术原理;第七章分析了载体干化污泥掺混制砖的技术原理;第八章介绍了载体干化污泥掺混制肥的技术原理,并对不同污泥制肥的种植效果进行了比较;第九章基于两级液态调质理论污泥处理处置技术的应用,介绍了基于两级液态调质理论污泥处理处置技术的应用实例;第十章针对新建和已建的污水厂,对“一体化离心浓缩脱

水+热干化”方案与“调质浓缩+调质板框脱水+载体干化”方案分别进行了技术经济比较。

在本书的撰写过程中,广州市污水处理有限责任公司、广州普得环保设备有限公司、广州市市政工程设计研究院、广州市绿化公司园林基质厂和广州世生环保建材有限公司等单位提供了很多技术资料,作者谨此对他们表示诚挚的谢意。

限于作者水平,书中难免会出现一些不当之处,希望读者多提宝贵意见。

目 录

前言

第一章 概论	1
1.1 污泥处理技术发展概况	1
1.2 污泥处置技术发展概况	3
1.3 基于两级液态调质理论的污泥处理处置工艺特点	4
第二章 污泥微观结构模型与水分组成	6
2.1 污泥的胶羽结构	6
2.2 污泥模型	8
2.2.1 污泥小颗粒模型	8
2.2.2 污泥大颗粒模型	9
2.3 污泥水分组成	10
第三章 干污泥成分与性质	13
3.1 国内干污泥成分	13
3.1.1 黏土质	13
3.1.2 重金属	13
3.1.3 可溶性氮、磷和钾盐	14
3.1.4 有机质	15
3.1.5 微生物	16
3.2 广州污水厂干污泥成分	16
3.3 污泥特性	17
3.3.1 流动性	17
3.3.2 收缩性	18
3.3.3 黏结性	18
3.3.4 开裂和板结	18
3.3.5 厌氧产气	19
3.3.6 恶臭	19
3.3.7 病菌传播	20
3.3.8 可压缩性	20
3.3.9 燃烧热值	20

3.3.10	传热传质效率	20
3.3.11	高温裂解臭气	21
第四章	污泥一级液态调质浓缩技术	22
4.1	污泥浓缩技术概述	22
4.2	评价污泥浓缩性能的参数	23
4.3	污泥一级液态调质浓缩试验	25
4.3.1	试验的理论依据	25
4.3.2	试验	26
4.4	污泥一级液态调质原理	30
4.4.1	静电中和作用	30
4.4.2	吸附架桥作用	30
第五章	污泥二级液态调质脱水技术	32
5.1	污泥脱水技术概述	32
5.2	污泥脱水前的调质技术概述	33
5.2.1	污泥脱水前的调质方法	33
5.2.2	影响污泥脱水性能的因素	34
5.2.3	污泥脱水性能指标	34
5.3	污泥二级液态调质压滤脱水试验	36
5.3.1	试验的理论依据	36
5.3.2	试验	37
5.4	污泥二级液态调质原理	42
5.4.1	三氯化铁和石灰的调质机理	42
5.4.2	氧化钙的骨架作用	43
5.4.3	石灰释放细胞水作用	43
5.5	离心脱水污泥抱团现象	45
5.6	污泥板框压滤脱水原理	46
5.6.1	压滤脱水过程	46
5.6.2	滤饼层理论	47
5.7	重金属的稳定化	48
5.7.1	重金属的有效性	48
5.7.2	稳定重金属方法	49
5.7.3	重金属的钝化作用	49
5.8	污泥杀菌	50
5.8.1	污泥杀菌方法	50
5.8.2	石灰的稳定作用	50

5.9	污泥除臭	50
5.9.1	常用的污泥脱除方法	51
5.9.2	三氯化铁和石灰的除臭作用	51
第六章	污泥载体干化技术	54
6.1	污泥干化技术概述	54
6.1.1	流化床干化技术	54
6.1.2	带式干化技术	54
6.1.3	两段式干化技术	56
6.1.4	水平螺旋式干化技术	56
6.1.5	真空板框干化技术	57
6.2	污泥干化理论	58
6.3	污泥载体干化试验	60
6.3.1	试验的理论依据	60
6.3.2	污泥干化能耗分析	61
6.3.3	干化载体的比选	62
6.3.4	干湿污泥的比例控制	64
6.3.5	成品污泥含水率的控制	64
6.3.6	干化载体的粒径控制	65
6.3.7	干化温度的控制	66
6.3.8	干燥器的防爆控制	67
6.4	污泥载体干化原理	68
6.4.1	污泥颗粒化原理	68
6.4.2	污泥干化过程	70
6.4.3	污泥干化机理分析	70
6.4.4	污泥除臭杀菌	72
6.5	污泥载体干化技术的改进措施	72
6.5.1	混合器的刀片磨损问题	72
6.5.2	热源问题	73
6.5.3	提高安全性的措施	73
第七章	污泥掺混制砖技术	74
7.1	污泥制砖技术概述	74
7.2	试验	75
7.2.1	污泥制砖流程	75
7.2.2	脱水污泥掺混粉煤灰和黏土的制砖试验	76
7.2.3	脱水污泥掺混河底淤泥的制砖试验	77

7.2.4 载体干化污泥的制砖试验	79
7.3 污泥制砖技术原理	79
7.3.1 制坯	79
7.3.2 干燥	81
7.3.3 烧制	82
第八章 污泥掺混制肥技术	85
8.1 污泥制肥技术概述	85
8.2 试验	85
8.2.1 不同污泥直接种植不同植物的试验	85
8.2.2 快速发酵试验	87
8.2.3 堆肥产品生物试验	92
8.3 污泥掺混制肥原理	94
8.3.1 前处理	94
8.3.2 一次发酵	94
8.3.3 二次发酵	95
第九章 基于两级液态调质理论污泥处理处置技术的应用	96
9.1 污泥一级调质浓缩、二级调质脱水和载体干化工艺的应用	96
9.1.1 工艺系统简介	96
9.1.2 工艺系统的运行情况	100
9.2 污泥掺混制砖的生产和应用	101
9.3 污泥掺混制肥的设计和成本分析	103
9.3.1 污泥制肥厂的工程设计	103
9.3.2 污泥掺混制肥的成本分析	104
第十章 技术经济分析	106
10.1 新建 5 万吨/天污水厂剩余污泥处理的设计方案	106
10.1.1 方案一:一体化离心浓缩脱水+流化床干化	106
10.1.2 方案二:调质浓缩+调质板框脱水+载体干化	108
10.1.3 两种污泥处理方案的比较	109
10.2 已建离心脱水系统的 20 万吨/天污水厂污泥处理设计方案	112
10.2.1 方案一:一体化离心浓缩脱水+带式干化	112
10.2.2 方案二:调质浓缩+调质板框脱水+载体干化	114
10.2.3 两种污泥处理方案的比较	115
参考文献	117

第一章 概 论

1.1 污泥处理技术发展概况

污水厂剩余污泥是一种特殊的泥水混合物，它含有大量水分、有机物、无机物和微生物。污泥处理是指对污水厂剩余污泥进行减量化、稳定化和无害化的过程。污泥处理技术主要包括浓缩、消化、脱水、碱稳定和热处理等。

污泥浓缩主要是利用沉降原理，提高污泥固体浓度，去除污泥颗粒间的水分。主要的浓缩方法^[1]有重力浓缩、气浮浓缩和机械浓缩。重力浓缩是最常用的污泥浓缩方法，其运行能耗低和操作维护方便，但浓缩时间长，浓缩池占地大，污泥易腐败发臭，浓缩效率低。气浮浓缩是利用小气泡附在污泥颗粒表面，从而降低污泥颗粒的相对密度，实现泥水分离的一种浓缩方法，其水力停留时间短，浓缩效果较好。气浮浓缩有压力气浮浓缩、生物气浮浓缩、真空气浮浓缩、化学气浮浓缩、电解气浮浓缩和涡凹气浮浓缩等。机械浓缩的浓缩时间最短，浓缩效果理想，但需增加机械设备和消耗动力，维护管理量大。机械浓缩有离心浓缩、带式浓缩、转鼓浓缩和水力旋流浓缩。污泥浓缩的新技术主要有微孔滤剂浓缩、隔膜浓缩和生物浮选浓缩等。

污泥消化可降低污泥中的有机物含量，使污泥实现稳定化。国外污泥的有机物含量高，普遍采用污泥消化。按消化方式的不同，污泥消化分为厌氧消化和好氧消化两种。厌氧消化能耗较低和可回收沼气，适合大规模的污水处理厂；好氧消化具有产物更稳定、运行稳定、环境卫生条件好和能耗高等特点，适合中小规模的污水处理厂。按消化温度的不同，污泥厌氧消化可分为中温消化和高温消化。与中温消化相比，高温消化具有消化时间短、产气量大和挥发性有机物负荷高的优点。厌氧消化工艺主要有两级消化、两相消化、高效消化和中温/高

温两相厌氧消化 (APAD)。污泥好氧消化工艺^[2]主要有传统污泥好氧消化 (CAD)、缺氧/好氧消化 (A/AD)、自动升温高温好氧消化 (ATAD)、两段高温好氧/中温厌氧消化 (AerTAnM) 和深井曝气污泥好氧消化 (VD) 等。

污泥脱水主要是利用机械作用进一步去除污泥中的水分。常用的剩余污泥脱水方法有离心脱水、板框压滤脱水和带式压滤脱水。离心脱水最为常用,其操作管理方便,可脱水至含水率 75%~80%。带式压滤机和板框压滤机效果较好,可脱水至含水率 70%~75%,但其维护人工量大。根据污泥泥质和脱水设备,改进污泥调质方法,还可进一步提高污泥的脱水效率。电渗透脱水^[2]是目前污泥脱水效果最好的方法之一,泥饼的含水率可达 50%~60%,而且还可杀灭部分的病原体。

碱稳定主要是利用石灰、水泥窑灰、烟道气或石油燃料飞灰等碱性物质对污泥进行杀毒和除臭,其基建费用少,但污泥的干基增量较大,适合少量污泥的处理。

污泥热处理是利用热能蒸发作用进一步去除污泥中的水分,包括干化、焚烧、湿式氧化、熔融和碳化等方法。热处理法可实现污泥的有效减量,杀灭病菌,但其设备昂贵、能耗高、安全稳定性差,臭气和灰渣处理费用昂贵。

污泥干化是污泥热处理的一个必经阶段。根据热介质与污泥的接触方式^[3],污泥干化分为直接加热式 (热对流干化技术) 和间接加热式 (热传导干化技术); 根据干化设备进料方法和产品形态,污泥干化技术分为直接进料干化和干湿返混干化。

污泥焚烧是在高温下使污泥中的有机物充分燃烧,转化为二氧化碳、氮氧化物以及硫化物等气体和灰渣的过程。焚烧技术的关键^[1]是热量回收,固化重金属,减少二噁英、呋喃和二氧化硫等污染气体的排放,处理高含碳量的二氧化碳气体以及灰渣的处置等。污泥焚烧的典型技术有立式多膛焚烧炉、回转式焚烧炉、流化床焚烧炉和电动红外焚烧炉。

湿式氧化技术^[1]是把污泥置于密闭反应器中,在高温高压下通入空气或氧气作为氧化剂,把污泥中的有机物氧化分解为无机物的过程。

该技术适应性强、杀菌和除臭效果好、残渣少、反应时间短,但设备昂贵、电耗大以及需设气体除臭装置。湿式氧化工艺正向超临界湿式氧化和催化湿式氧化多个方向发展。

污泥熔融技术是把干污泥在高于其熔点温度($1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$)的炉内燃烧,将剩下的不燃物以溶液状态流出,冷却后生成炉渣。

污泥碳化技术是把干污泥在低氧或无氧下高温(800°C 左右)加热燃烧,最后残渣为碳。

1.2 污泥处置技术发展概况

污泥处置是对污泥的最终处理途径,如填埋、土地利用和建材化利用等。污泥处置方式主要取决于污泥泥质。

污泥填埋的投资少和运行成本低,但占地大、容易造成二次污染、臭气难控制以及渗滤液难处理,不适合作为大量污泥的长期处置方式。国外发达国家对污泥填埋标准要求越来越高,我国也新规定^[4]了含水率低于60%的污泥才能填埋。污泥填埋可分为传统填埋、单独卫生填埋、与城市垃圾混合卫生填埋和安全填埋等^[1]。该技术的关键在于渗滤液和沼气的收集和处理。

污泥土地利用主要是利用污泥堆肥和用作土地改良剂,可以消纳大量污泥。

污泥堆肥主要利用污泥中的有机物来生产农肥和园林绿化肥,其工艺简单和设备投资少,但占地大、处理周期长、肥料产品单一以及存在重金属和有毒有害物质超标的风险。污泥堆肥技术主要有条垛堆肥系统、强制通风静态垛系统和发酵槽系统^[5]。前两种技术适合二次发酵堆肥,第三种适合一次发酵。强制通风静态垛系统是国外最常用的污泥堆肥系统。

针对严重扰动的土地,污泥可作为土地改良剂,改善土壤结构,促进土壤熟化,但目前待改良的土地远离污泥产地,运输不便,而且污泥用于改良土地的法规标准不完善,所以该方面的实际应用较少^[2]。

污泥的建材化利用主要是利用污泥中的无机物生产建筑材料,包括制砖、制水泥、制陶粒,以及作混凝土混料的细填料和制生化纤维

板等。污泥的建材化利用需要与关联产业相结合。

污泥制砖分为湿污泥制砖、干化污泥制砖和污泥焚烧灰渣制砖三种。国内利用含水率 80% 的污泥与粉煤灰和黏土进行掺混制砖，污泥的掺比量（质量）可达 30%^[6]。国外污泥掺混黏土制砖，干化污泥的最大掺比量为 40%，污泥灰的最大掺比量为 50%^[7]。污泥焚烧灰制造非建筑承重用地砖，不需要掺和黏土，并在抗压强度、抗折强度、吸水率和耐磨等指标上都较优，但也存在着一些弊端：表面易长苔藓、易结冰以及表面会出现由碳酸钙结晶形成的白斑^[1]。

污泥制水泥技术是利用水泥窑焚烧温度高、停留时间长和焚烧状态稳定等特点，把干化污泥掺混石灰石和铁矿粉等生料一起焚烧，可彻底分解有机物、固化污泥中的重金属和减少废气排放。

此外，污泥还可以作为燃料、粘结剂，以及生产可降解塑料和燃料油等。

1.3 基于两级液态调质理论的污泥处理处置工艺特点

基于两级液态调质理论的污泥处理处置工艺是特别针对广州市污水厂未设初沉池、采用了化学除磷、污泥有机质不高和未经消化处理等情况，通过大量试验和工程实践后提出的。该工艺主要包括污泥一级液态调质浓缩、污泥二级液态调质脱水、污泥载体干化、污泥掺混制砖

和污泥掺混制肥等过程，所采用的技术路线如图 1.1 所示。

各阶段的工艺特点如下：

一级液态调质浓缩工艺：将剩余污泥经过有机药剂调质后，可以快速重力浓缩至含水率 95% 左右，或快速机械浓缩至含水率 90% 左右；浓缩时间较短，保证污泥新鲜，不会厌氧发臭；水分去除效率高，大大减少了后续脱水污泥量。

二级液态调质脱水工艺：向浓缩

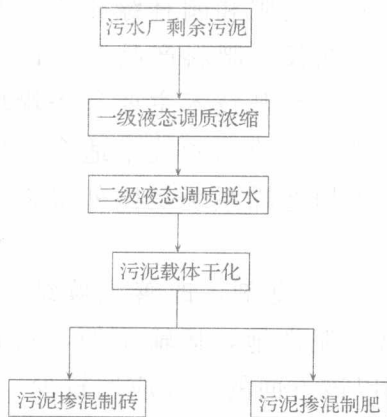


图 1.1 技术路线

污泥中投加铁盐和石灰进行二级液态调质，采用板框压滤机将污泥脱水至含水率 60% 左右；脱水效率较高，减少了后续干化污泥量，大大降低了污泥处理成本。

载体干化工艺：将含水率 60% 左右的脱水污泥与含水率 3%~5% 的干污泥载体机械混合至含水率 30% 左右，一部分作为成品，另一部分用作生产干污泥载体的原料，进入干化炉烘干至含水率 3%~5% 左右，再经过两级分离器收集作为干污泥载体。该工艺具有能耗低、可调节性强和安全稳定的优点。

掺混制砖工艺：干化后含水率 30% 左右的成品污泥颗粒经过好氧翻堆陈化，掺混黏土、砂子、粉煤灰等原料制砖坯，砖坯自然干燥后，在轮窑的 1050℃ 下烧制成砖体。干化污泥的掺比量可达 50%，砖体满足烧结普通砖的标准（GB/T5101—2003），可实现污泥的资源化利用。

掺混制肥工艺：将成品污泥掺混枯枝落叶和 EM 菌种，快速发酵生产园林绿化和种植桉树用肥；与含水率 80% 和 60% 的脱水污泥掺混制肥相比，成品污泥制肥具有臭味少、植物发芽率高、生长状态优良和综合制肥效益好等优点。

第二章 污泥微观结构模型与水分组成

2.1 污泥的胶羽结构

污泥的基本单元是胶羽，胶羽的组成粒子是水中悬浮固体经过不同方式胶结凝聚而成的，具有结构松散、比表面积大和孔隙度高的特点，呈碎形特性，外观上有类似绒毛的分支和网状结构。

Chu 和 Lee^[8] 用光学摄影、小角度光散射、扫描式电子显微镜、穿透式电子显微镜和原子力显微镜等方法探测了胶羽内部结构。

Jorand 等人^[9] 通过研究曝气池中的活性污泥，提出了污泥颗粒三层结构的物理模型，如图 2.1 所示。

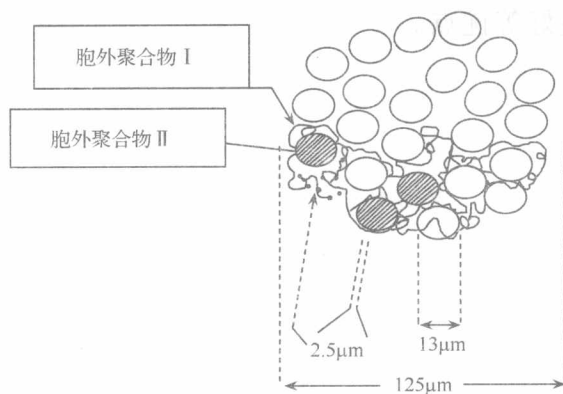


图 2.1 污泥胶羽结构

他们认为单一胶核颗粒（约 125 μm）是由许多小凝集体（约 13 μm）组成的，而小凝集体再由细菌细胞（约 2.5 μm）聚集而成，这些细菌细胞分别镶嵌在胶质网状体中，维持着整个胶羽的结构。小凝集体和细胞细菌的聚集都是由胞外聚合物连接的。而水分则存在于颗粒之间、网状体间隙、胶体表面以及微生物体内。小凝集体和胶核颗粒的聚集机理是不同的：前者是细胞分裂聚集，后者是有限分散小凝

集体的聚合。

胞外聚合物 I 和胞外聚合物 II 分别指小凝集体间和细胞细菌间的胞外聚合物。胞外聚合物 (ECP) 是指微生物细胞在一定的条件下分泌到体外的高分子聚合物, 主要指活性污泥内部或表面存在的、可以分解有机污染物的一类生物物质的聚合体, 包括多糖、蛋白和胞外酶等, 其成分非常复杂。

菌胶团是由细菌分泌的蛋白质、多糖和核酸等胞外聚合物包裹胶结, 相互融合连为一体, 组成共同的荚膜, 将多个细菌包裹其中的一团胶状物。根据菌胶团的定义, 我们可以知道在胶羽的三层结构中菌胶团就是小凝集体。菌胶团具有很强的吸附和氧化分解有机物的能力, 由于包裹于胶质中, 赋予细菌抵御外界不利因素的能力, 且不易被原生动物吞噬, 有利于沉降, 使活性污泥自身具有良好的凝聚沉淀性能, 故是活性污泥絮体的主要组成部分。

国内何品晶等人^[10]认为, 不同性质污泥的胶羽性质是不同的, 见表 2.1。

表 2.1 各种污泥的胶羽性质

污泥种类	初级污泥	二级污泥	消化污泥
干固体浓度/(mg/L)	6800~7200	12000~14000	6500~7000
pH 值	6.3~6.7	6.7~7.0	6.4~6.7
粒径/ μm	20~30	150~200	50~60
动电势 (Zeta 电势)/mV	-18~-15	-30~-25	-22~-19
溶解性 COD (SCOD) / (mg/L)	50~80	100~120	400~450
ECP/ (mg/gDS)	<1	60~65	2~3
SVI/ (mL/gDS)	40~60	60~70	40~50

初级污泥的胶羽颗粒主要是由外加化学药剂的絮凝等物理化学作用而产生的, 污泥颗粒的粒径较小而且致密, 细胞间质的量也较少。在二级污泥微生物增长的过程中, 增长的胶羽形成菌, 会与自身分泌的 ECP、悬浮固体、丝状菌、真菌、原生动物以及二价钙或镁离子共同聚集连接成大小约为数百微米的污泥胶羽。因活性污泥结构疏松, 含水率极高, 形成的胶羽粒径较大, 不易脱水。厌氧消化后, 污泥胶

羽的高比表面积结构受到破坏，原本吸附在其上的水分被剥离出来，污泥的沉降和脱水性能得以改善。

2.2 污泥模型

2.2.1 污泥小颗粒模型

依据胶体化学理论，我们提出污泥小颗粒模型。污泥小颗粒模型是一个理想的双层结构，它由胶核和水化膜组成，如图 2.2 所示。

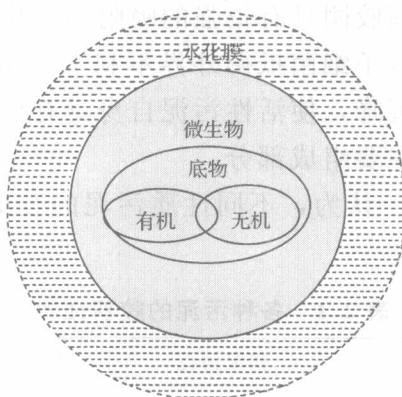


图 2.2 污泥的小颗粒模型

污泥颗粒属亲水胶体，污泥胶核表面带有负电荷，在吸附作用下会形成水化膜。胶核里面一般含有微生物、细胞间质、细胞细菌、携带的无机物和水等。

根据胶体化学理论^[11]，胶体的聚集稳定性是由静电斥力和胶体表面的水化作用引起的。亲水胶体的动电势对胶体稳定性的影响远小于水化膜的影响，因此对于亲水胶体，水化膜作用是影响其稳定性的重要因素。

亲水胶体粒子表面存在一种静电斥力和范德瓦耳斯引力以外的力——排斥的水合作用力。水合作用力是由于吸附在粒子表面的水化异号离子造成的，它是指从吸附在粒子表面上的水化异号离子中移去水合作用的水所需要的能量^[12]。

在水合作用力的作用下，胶粒表面因吸附某种离子而带电，此离