

环境工程治理技术丛书

活性污泥膨胀的 机理与控制

国家环境保护局 科技标准司 编
环境工程科技协调委员会

中国环境科学出版社



364891

环境工程治理技术丛书

活性污泥膨胀的机理与控制

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

王凯军 编著

沈光范 审校

中国环境科学出版社

1992

(京)新登字089号

内 容 简 介

本书对活性污泥膨胀现象及国内外对该问题在不同时期的研究结果进行了详细的分析和介绍。在对问题详细地研究和分析的基础上,并结合实验提出了统一的污泥膨胀的理论,该理论对于污泥膨胀的控制和实验分析有很好的指导作用,并据此提出了对于不同类型污泥的不同控制方案。本书还对近年来国内外开发的一些有效的控制污泥膨胀的工艺和技术进行了介绍。

可供环保科技人员及从事于污水生物处理的技术管理人员参考。

环境工程治理技术丛书 活性污泥膨胀的机理与控制

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

王凯军 编著

沈光范 审校

责任编辑 陈晋华

中国环境科学出版社出版
北京崇文区北岗子街8号
三河县宏达印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1992年11月第一版 开本 787×1092 1/32

1992年11月第一次印刷 印张 6³/₈

印数 1-4 000 字数 143千字

ISBN7-80093-156-0/X·602

定价: 4.00元

序

解决我国的环境问题，一靠政策，二靠管理，三靠科学技术。在政策上，我国已把环境保护列为一项基本国策并制定了一系列方针政策；在管理上，我们不断总结经验，加强制度建设，强化监督管理，正在建立环境保护工作的新秩序；在科学技术上，关键是要抓好两头，一头是集中财力物力和人力，围绕解决经济建设和社会发展中迫切需要解决的环境问题的关键性技术课题，认真开展科研攻关；另一头是大力开发和普遍推广效益好、见效快、适用性强的治理污染的技术成果，提高广大环境保护工作人员的业务水平和业务素质，帮助广大企业包括乡镇企业加速实现环境保护的技术进步。这是密切科技和生产的结合，迅速提高我国防治污染水平的重要途径。

十多年来，我国各科研院所、高等院校、设计单位以及工业地区的专业部门在污染防治、环境工程技术等方面取得了许多科技成果，积累了不少经验。把这些科技成果和经验加以归纳总结使多数人掌握，可以避免环保科研工作在一水平上的重复劳动。把国内科技研究同引进先进技术有效地结合起来，有利于加速对引进技术的消化、吸收和创新。

鉴于科学技术的重要性和交流、总结经验的迫切性，国家环境保护局科技司和国家环境保护局环境工程协调委员会组织编写了这套《环境工程治理技术丛书》，在编写的体例上既不同于一般的科研成果报告，又不同于一般的教科书，而是突出应用性和经验的总结。

本套丛书的编辑委员会承担了组织选题、编写和审稿等

具体工作。丛书的内容有单元技术和设备、处理工艺技术和环境污染区域综合防治；废水、废气、废渣的处理与利用和环境影响评价等。在治理技术的编写中，一般包括国内外的技术进展，工艺技术的特点和原理，设计计算和实例介绍与分析，其中有的还包括作者对一些技术问题的讨论和看法。承担编写和审稿的同志大都是多年在第一线上从事这方面工作的专家。本套丛书共几十本，计划分批付印出版。

虽然我们力图使本套丛书深入浅出，图文并茂，具有科学性、实用性和先进性，但由于篇幅所限，每个问题的论述不可能面面俱到，加之从编写到编辑出版时间较紧，而科学技术本身又在不断发展，所以丛书中的缺点和错误在所难免，希望得到读者批评指正。

张崇华

1990年4月

前 言

自从1914年Aldern和Lockett首次发明活性污泥法处理污水技术之后，到今天的七、八十年中，活性污泥工艺由于其处理出水水质好，工艺比较稳妥可靠，而且人们在长期的实践中，在设计和运行管理等方面也积累了丰富的经验，因此，活性污泥法得到广泛的应用。长期以来，它是各种废水处理，特别是城市污水处理工艺的主流。

随着生产上的广泛应用，对其生物反应、净化机理等方面进行了深入的研究，其工艺流程也不断有所改进和创新，活性污泥工艺已从传统的活性污泥工艺，发展成为阶段曝气、渐减曝气、吸附再生、完全混合型、序批式等一系列的变形工艺。并且一些新的工艺，如纯氧曝气、深井曝气、粉末炭活性污泥法、AB工艺和A/O、A²/O等脱氮、脱磷工艺以及氧化沟等等工艺也得到了进一步的开发。传统活性污泥工艺的一些缺点，如不适应水质的变化、氧的利用不均匀等，也得到不同程度的克服。使得活性污泥工艺适用范围更加广泛。

但是，不论哪一种改进的活性污泥工艺，污泥膨胀是从活性污泥法问世以来在运转管理中一直烦扰人们的最大难题之一。在荷兰有40~50%的城市污水处理厂有膨胀问题，在处理食品工业的废水时，污泥膨胀的发生率更高，在氧化沟处理各类污水时，有50%氧化沟亦面临着污泥膨胀的问题。联邦德国的Stuttgart大学调查了315个活性污泥处理厂，发现有45%的厂有丝状菌过度增长的情况。在108个城市污水处理厂中有27%的污水厂的SVI值，在一年中有半

年以上时间高于150ml/g。在英国调查了65个污水处理厂，其中27个厂的年平均SVI值高于200ml/g，有34个厂的出水悬浮物超标。在所有的处理厂中，有41个（占63%）或者存在SVI平均值高于200ml/g，或者有悬浮物的严重超标或者两者兼而有之。在美国有1/2的污水处理厂由于出水悬浮物高，使处理厂达不到出水标准。另外有1/3的污水处理厂BOD达不到排放标准。

在我国上海，几乎所有的城市污水处理厂和一些工业废水处理厂都存在一定程度的丝状菌膨胀问题。另外，在我国许多工业废水处理厂采用接触氧化工艺，避免污泥膨胀问题恐怕是选择这一工艺的重要原因之一。

可见，活性污泥工艺中的污泥膨胀问题是一个世界范围内的大问题。各国的研究者（如荷兰Wageningen农业大学和环境卫生研究所的Eikelboom和Rensink等人；美国加州大学伯克利分校的Jenkins教授以及捷克的Chudoba等人）对此进行了大量的研究，有的学术团体研究小组对此进行了持续20~30年的不断研究，取得了十分丰富的研究成果。特别是近十几年来，这一领域的研究取得了实质性的进展。本文将综合介绍这些研究成果。并且根据无论是丝状菌膨胀还是非丝状菌膨胀都是与微生物生理活动有关这一特点。采用动力学理论为指导，综合地分析各个研究者研究结果之间错综复杂的关系，提出了污泥膨胀原因和分类的统一的理论，并且以此指导进行污泥膨胀控制的实验和实验分析，提出了一些行之有效的控制方法。可供从事这一领域研究和实践的同行人参考。但是正如作者在正文中指出的那样，由于污泥膨胀问题的严重复杂性，至少有近30种不同的丝状菌和一系列的环境与操作因子（温度、pH、营养物、池型、负荷、DO、

泥龄等)，因此，在一种条件下获得的行之有效的控制方法，不可能适用于所有的膨胀情况。同样，在一定条件下经常出现的膨胀原因，也可能随着系统的其他变量的改变而改变。因此，针对特定问题采用根据生物动力学的分析方法分析，是发现问题和解决问题的关键，这也是本文所采用的基本方法。

由于在各种类型的污泥沉降性能不良问题中，丝状菌膨胀是最为突出和最为常见的问题。因此，本文的重点也是讨论丝状菌的膨胀问题。并且，目前已知有两种丝状菌诺长氏菌和 *N. limilaco* 是引起曝气池中另一大的问题——泡沫问题的致因微生物。这样对丝状菌的膨胀和研究就具有更加丰富的内涵。当然，对于其他问题在讨论中也有涉及，如非丝状菌膨胀——高粘度膨胀在氮、磷对污泥膨胀的影响一节中将作简单的讨论。另外，虽然污泥膨胀在各种类型的废水处理厂都有发生，但由于各种工业废水千差万别缺乏普遍性，选择具有普遍适用性的城市污水做为讨论的主要对象，并不会使结论丧失普遍的指导意义。

目 录

前言	(v)
第一章 活性污泥的沉降性	(1)
第一节 污泥沉降性能指标	(1)
第二节 活性污泥性质与污泥膨胀	(6)
第二章 早期污泥膨胀现象的研究	(9)
第一节 污泥膨胀的成因	(9)
第二节 运转条件对污泥膨胀的影响	(11)
第三节 污泥膨胀早期假说	(15)
第四节 污泥膨胀的控制方法	(17)
第三章 污泥膨胀的影响因素	(31)
第一节 水质因素	(31)
第二节 环境因素	(39)
第三节 运转条件的影响	(44)
第四章 活性污泥微生物生态学研究进展	(58)
第一节 活性污泥絮体的形成与结构	(58)
第二节 丝状菌的分类和鉴别	(65)
第三节 丝状菌膨胀类型与控制	(72)
第四节 污泥膨胀成因的诊断	(86)
第五章 统一的污泥膨胀理论	(89)
第一节 污泥膨胀成因的最新假说	(89)
第二节 污泥膨胀控制方法的演化过程	(96)
第三节 控制污泥膨胀的基本原则	(99)
第六章 污泥膨胀的数学模型理论及应用	(102)
第一节 基本模型的研究	(102)

第二节	基本方程的应用	(104)
第三节	双基质限制的动力学模型	(111)
第四节	污泥絮体内的扩散作用	(113)
第五节	稳定性理论的应用	(118)
第六节	应用控制理论防治污泥膨胀	(127)
第七章	污泥膨胀的控制方法	(134)
第一节	低负荷 (F/M) 下选择器控制法	(134)
第二节	高负荷 (F/M) 下膨胀控制方法	(159)
第三节	其他控制膨胀的工艺与方法	(172)
第八章	防止污泥膨胀的设计	(181)
第一节	现存的污水处理厂的改造	(181)
第二节	新设计的污水处理厂	(183)

第一章 活性污泥的沉降性

第一节 污泥沉降性能指标

活性污泥工艺对溶解性和胶体性有机物的高效去除能力和工艺的高度适应能力，使其成为生物处理工艺中应用最为广泛的工艺。活性污泥系统的效率是由：①具有高的生物活性的好氧微生物在曝气池中对有机物的去除；②在二沉池中有效地分离这些微生物决定的。在这两个过程中以取得高质量、高浓度的回流污泥而达到满足。相反许多污水处理厂的运转问题是与活性污泥的沉降性能不良有关——即与污泥膨胀现象有关。评价污泥的沉降性能有很多指标，如污泥容积指数（SVI）、污泥初始沉速等。下面分别介绍几种常用的污泥沉降性能指标。

一、SV与SVI

SV是污泥沉降比，其测定方法是：取1L曝气池中的混合液注于量筒内静置一定时间，一般为30min，然后测出活性污泥所占有的体积百分数。在污水处理厂的操作中，运转工人往往用100ml的量筒进行测量。

在SV的测量中，由于污泥浓度的不同，会给测量带来很大影响，活性污泥的容积，会随浓度的增加而增加。将污泥浓度的变化考虑进来，带来了SVI（即污泥容积指数）这

一参数。SVI的定义如下式：

$$SVI = \frac{SV \times 10}{MLSS} \quad (\text{ml/g}) \quad (1-1)$$

式中：MLSS为活性悬浮污泥浓度g/L。

由于SVI值的测量受到所用容积直径，污泥的初始浓度和搅拌等情况的影响。因此，一般各个污水厂的SVI值之间没有可比性，为了改变这一情况，人们对污泥指数的测定提出了一些修正。考虑到污泥浓度对SVI值的影响(见图1-1)，

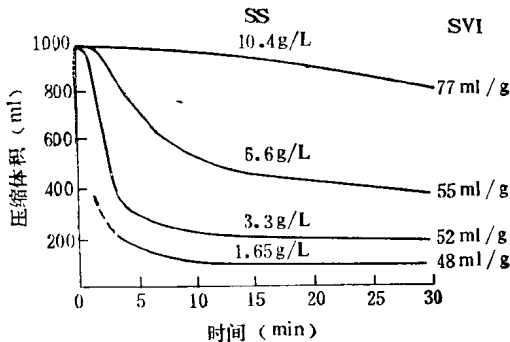


图 1-1 稀释对污泥沉降性能的影响

有人建议采用稀释的污泥容积指数DSVI,做为标准的方法，稀释后的污泥浓度建议为1.5g/L。而在英国，人们更为常用的是搅拌的污泥容积指数(SSVI)。其模拟二沉池中污泥的沉淀情况，在一个1L的量筒(高38.4cm)安装上一个慢速搅拌装置，污泥浓度也模拟在二沉池中的实际浓度取为3.5g/L而测定的SVI值。

二、污泥面成层沉降速度 (ZSV)

除了上述指标外，人们根据污泥沉降曲线（图1-2）的特性，采用不同阶段的数值做为评价沉降性能的指标。

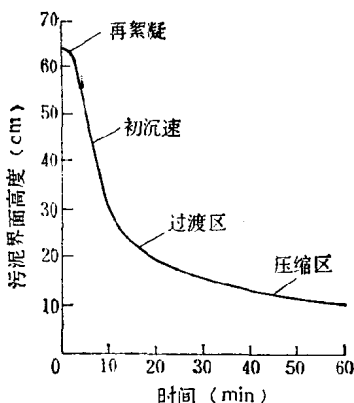


图 1-2 活性污泥的沉降曲线

在量筒（或其他容器）中，活性污泥沉降过程，首先存在一个再凝聚过程，这个过程的时间长短与沉降性能之间也有密切的关系。再凝聚过程完成后成层沉降开始时，这个时间用 T 代表。有时由于细菌分散生长或凝聚不良会造成污泥界面始终不清。

在污泥沉降曲线的下一个阶段是成层沉降阶段，这一阶段的特点是污泥面的沉速始终是一常数，可用 ZSV 代表。在沉降60min左右的时间，污泥面在很长的时间内基本不变，这时的体积称为压实体(V_c)。以上三个参数都可做为评价污泥沉降性能的指标，与SVI一样，不同的初始污泥浓度也将对这三个数值有不同的影响（图1-3），并且与SVI也有十分密切的关系。

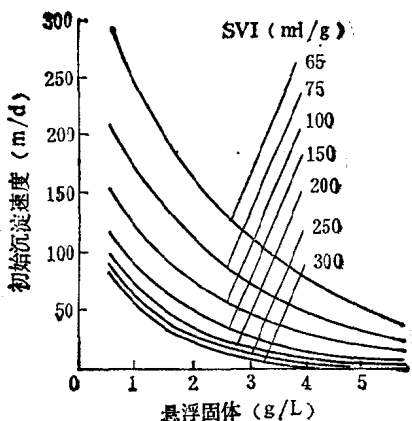


图 1-3 SVI与初始沉速和SS浓度关系

三、丝状菌长度

在活性污泥膨胀中有90%以上的污泥膨胀与丝状菌的过度增殖有关。Palm等人 and Segzin 等人发现污泥沉降性能与丝状菌的长度有很好的相关性，丝状菌长度 $10^7 \mu/\text{ml}$ 是污泥膨胀与否的一个重要的分界。但其采用的测定方法工作量较大，必须经过专门训练的人员才能操作。这里介绍一个较为简单的测定方法。

最少取50ml的污泥混合液，尽可能的及时分析。将样品彻底搅均，用吸液管取少量混合液移入Lund物测微计数室内，液体滴入小室一边的中间以减少样品分布的不均匀性。然后放入显微镜下用10X物镜观察小室上的100个方格。在活性污泥视野中，将对角线上的方块中超过小方格边长的0.6倍的丝状菌计数，否则不计数，如果有两个丝状菌的长度没有超过这一数值，可合计为1。图1-4 (a, b) 给出了

一个计数的例子。实际中由于小室的厚度超过焦距的尺寸。因此每一样品调整5次焦距共测得100个方格中的数据。如样品太浓可进行必要的稀释。

丝状菌长度的计算可用下式：

$$\text{丝状菌长度 } L(\text{cm/mg(MLSS)}) = \frac{N \times F \times 1000}{\text{MLSS}}$$

式中：N为每100个小格中丝状菌计数值

$$F = \frac{\text{小格的宽 (cm)}}{100 \text{ 个小格面积 (cm}^2) \times \text{小室的厚度}}$$

小室厚度可通过称重方法确定：

$$\text{小室的厚度 (cm)} = \frac{\text{载物片 + 水重} - \text{载物片净重 (g)}}{\text{盖薄片下的面积}}$$

在加水到小室中时要注意，首先加盖薄片后不能有气泡，也不能使薄片有浮起的趋势。

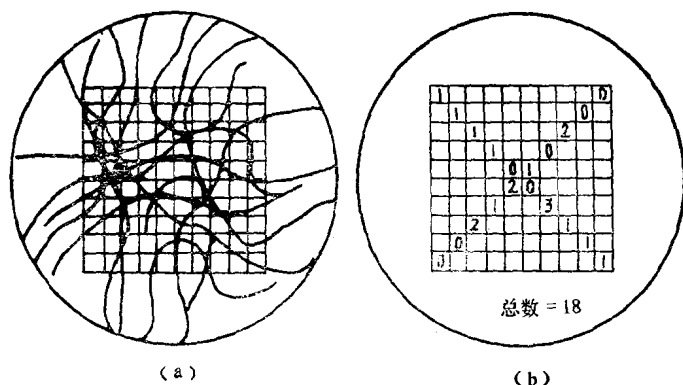


图 1-4 丝状菌计数图示

a. 在显微镜下丝状菌的形态 b. 计数结果

以上虽然介绍了众多对污泥沉降性能的评价参数，但比较常用的指标仍然是SVI值，有时还有ZSV值。读者可根据自己的实际情况选用适合于自己的方法。

第二节 活性污泥性质与污泥膨胀

一、活性污泥按沉降性能分类

在活性污泥工艺运行过程中，造成沉淀池中污泥沉降性能不良的原因和种类很多。例如污泥的分散生长，絮凝体解体，微细絮凝体的形成等。表1-1列出了一些在活性污泥工艺中可能的沉降性能不佳的原因和现象。

表 1-1 活性污泥工艺中与沉降性有关的问题

问题的名称	问题的性质	问题的结果
分散生长	活性污泥不能形成污泥絮体而分散生长，形成小的凝块或单细胞生长	出水混浊，没有成层沉降，没有污泥絮体
微细或针状絮凝体	小的密实的，圆形的絮体大量出现，使虽然沉降加速后，但上清液混浊	低的SVI值，但雾状混浊的出水
膨 胀	丝状菌从絮体中生长出来进入主体溶液影响污泥的沉降和压实	高的SVI，非常清的上清液，低的回流污泥浓度，二沉池污泥流失，最终处理效率下降
粘性污泥	存在大量胞外粘性污泥，严重时胶状物阻碍污泥沉降	严重时没法污泥分离，运转时形成粘性泡沫
污泥上浮	由于脱氮反应在二沉池中发生，氮气使污泥上升到二沉池表面	在二沉池表面形成浮渣层和大量气泡产生
泡 沫	不可降解表面活性剂和诺卡氏菌存在	在二沉池形成大量泡沫，诺卡氏菌泡沫很难清除和被机械破碎

以上各种情况一般工程技术人员都将其称为污泥膨胀，实际上这是概念上的误用。膨胀的真正含义是指污泥的凝聚性能良好，上清液清澈，但是活性污泥的压缩性能很差。

二、污泥膨胀的定义

评价污泥的压缩性能主要用SVI（污泥容积指数）来描述，对于SVI多少即为膨胀污泥，各种资料报道并不一致，一般认为沉淀性能良好的SVI值小于100ml/g，Palm认为当SVI大于150ml/g就可以划为膨胀污泥。并且丝状菌的长度 $>10^7\mu/\text{mg}$ ，而Pulol认为当SVI大于200ml/g时，才称为膨胀污泥。Eckenfelder还建议当ZSV $<0.6\text{m/h}$ 被定义为膨胀，但事实上很多工业废水处理厂，即使当SVI超过200ml/g时，处理工艺仍能一直良好工作。而北京高碑店污水厂工业废水含量超过50%，SVI长年在200~300ml/g之间，也没有污泥溢出的现象，处理效果良好。因此建议将活性污泥膨胀定义为：由于某种原因活性污泥沉降性能恶化，SVI不断上升，沉淀池污泥面不断上升。造成污泥流失，曝气池的MLSS浓度降低，从而破坏正常的处理工艺操作的污泥为膨胀污泥。

三、丝状菌膨胀

对于膨胀污泥，进一步可分为丝状菌膨胀（Filamentous bulking）及非丝状菌膨胀（Non-filamentous bulking）。

丝状菌性膨胀，无疑是由于活性污泥中大量丝状菌繁殖而造成，大量的丝状菌从污泥絮凝体中伸出很长的菌丝体，菌丝体之间互相接触架桥，构成了一个框架结构，支撑着污