

# 活性污泥膨胀与控制对策

[日] 田口 广 著

孙玉修 蔡汉弟 译 张自杰 校



中国建筑工业出版社

# 活性污泥膨胀与控制对策

[日] 田口 广 著

孙玉修 蔡汉弟 译

张自杰 校

中国建筑工业出版社

本书共分十二章，系统地阐述了活性污泥沉降性能恶化的现象、原因和对策，污泥膨胀发生的原因和机理，发生膨胀时应采取的运行管理办法以及防止污泥膨胀发生的生产装置的规划与设计等，内容丰富，在理论和实践分析上有许多新的见解。文字浅显，通俗易懂。

本书供从事废水处理运行管理的工作人员及有关的科研人员、大专院校有关专业师生参考使用。

## 活性污泥のバルキングとその抑制対策

著者 田口 広

発行 日本水処理技術研究会

\* \* \*

## 活性污泥膨胀与控制对策

孙玉修 蔡汉弟 译

张自杰 校

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

\*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：11 字数：247千字

1982年8月第一版 1982年8月第一次印刷

印数：1—3,700册 定价：1.45元

统一书号：15040·4291

## 译 者 序

本书译自日本《水处理技术》1976年第10期~1977年第9期，田口 广发表的连载长篇论文—〈活性污泥膨胀与控制对策〉。

全书分为十二章，系统地阐述了活性污泥沉降性能恶化的现象、原因和对策，污泥膨胀发生的原因和机理，发生膨胀时应采取的运行管理办法以及防止污泥膨胀发生的生产装置的规划、设计等。

本书是以作者的研究成果和实际运行经验为基础，并广泛搜集了有关文献，内容丰富，在实践和理论分析上均有许多新的见解。可供从事废水处理运行管理的技术人员及有关的科研人员参考。

翻译时，对原文前言作了适当删节和整理，其它各章节均保持了原文的完整性和系统性。

本书在翻译过程中张春风同志曾参加部分工作，特此说明。

由于译者水平所限，错误在所难免，望读者指正。

译 者

1981年5月

## 前 言

在工业废水的处理方法中，对有机废水来说，生物处理是最常用的方法，其中，由于活性污泥法经济而且高效，应用范围广泛以及处理水质良好，因此得到了最广泛地应用。

活性污泥法虽然是一种非常优异的废水处理方法，但是为了经常得到良好的处理效果，有若干技术问题必须加以解决。

著者根据自己对活性污泥生产装置的运行管理经验及研究成果，将这些重要技术问题归纳如下：

- ( 1 ) 处理功能和处理水质的季节变化；
- ( 2 ) 活性污泥的沉降性能恶化；
- ( 3 ) 剩余污泥的处理与处置。

活性污泥的重要特点是能够对相当广泛的有机物迅速地加以去除分解。因为去除有机物主要是微生物的作用，所以微生物增长与去除有机物的功能当然受水温的影响很大。这就是说，在生产性装置中活性污泥去除有机物的功能及处理水的水质等随季节而有很大的变化。

但是，工业废水排往公共水域的水质标准应是全年一致的，然而经常发生工业废水的处理水由于季节不同而不符水质标准要求的情况。

这一点对于处理装置的使用者来说，既要遵守法律，又要较长时间地（半永久性地）进行废水处理是一个重要问题。

关于这个问题，滝口用小规模试验装置和生产性装置进行了研究并对问题做了分析，提出了在实际使用上很有意义的技术解决方法。如将这一运行管理方法用于实际，则这个问题在技术上是能够解决的。

活性污泥法，废水通常是在曝气池内与氧充分接触由活性污泥加以生物氧化后，与活性污泥共同进入沉淀池中，在沉淀池内通过自然沉淀，活性污泥被分离，上澄液作为处理水而被排放。

但是，有时活性污泥的沉降性能恶化，难于自然沉降，在某些场合甚至完全不能分离。处于这种状态的活性污泥随处理水排入公共水域，这样不仅提高了处理水中的SS（悬浮物质）值，而且BOD值也显著上升，结果大大地超过了排水的水质标准。

活性污泥的沉降性能恶化现象若长时间延续，由沉淀池向曝气池回流的活性污泥就会显著地减少。其结果，将导致曝气池中的活性污泥大大地低于需要的浓度，不仅处理功能显著降低，而且往往可以产生无法继续运行的情况。活性污泥的沉降性能恶化现象在生产装置中通常是突然出现而且延续时间较长，关于这种现象虽然有若干报告作过阐述，但是还不能说已经取得了明确的解决。

因此，本书广泛地搜集了有关文献，并以著者的研究成果和生产装置的运行经验作为基础，就活性污泥沉降性能恶化现象的实际状态；与微生物的关系；发生的原因；发生的机理；发生时生产装置的运行管理法以及为了不使沉降性能恶化现象发生的运行管理法等问题加以论述。

在论述上述问题时，〈膨胀〉（bulking）这个术语是必然出现的。虽然这个术语是英语的习惯含义，但在使用上

却是因人而异。广泛流行的是把活性污泥的沉降性能恶化现象统称为膨胀的广义使用法。本文著者认为广义的膨胀是一种错误的用法；多数人的意见使用狭义的膨胀是正确的。

关于狭义的或者真正意义的膨胀，本文将作为重点详细叙述。除此外，对广义的膨胀也进行广泛地探讨。

本书第一章以〈活性污泥的沉降性能恶化现象及其原因〉为题将活性污泥沉降性能恶化现象分为：真正的污泥膨胀（活性污泥的压缩性能降低）和凝聚性能不良与比重降低导致的沉降性能恶化等两种类型，并对产生这些现象的原因和对策，进行了详细叙述。活性污泥膨胀大致分为：由于丝状性细菌异常增殖造成的丝状菌性膨胀及由于高粘性多糖类的积蓄发生的高粘性膨胀。

第二章，以〈活性污泥中的微生物与膨胀〉为题，详细叙述了活性污泥中的主要微生物及这些微生物增殖时的状态，并论述了这些微生物与膨胀的关系。

因为有必要对与膨胀有直接关系的微生物性质加深理解，所以本文的第三章，以〈与膨胀有关的微生物〉为题，详细叙述了球衣菌属（*Sphaerotilus*），芽孢杆菌属（*Bacillus*），贝氏硫菌（*Beggiatoa*），黄杆菌属（*Flauobacteriam*），假单胞菌属（*Pseudomonas*）及地霉菌属（*Geotrichum*）的微生物学性质与废水水质和处理条件的关系等问题。

因为对于活性污泥膨胀，不仅要从微生物方面考虑，而且还有必要从废水水质和处理条件的角度研究，所以第四章，〈以发生膨胀的原因〉为题，将到目前为止所报导的或从经验上所知道的各种各样膨胀发生的原因，系统地按废水水质、处理条件、运行管理等进行了分类、并加以探讨。

为了将各种膨胀发生的原因进行归纳，有必要对于普遍性的某些发生机理加以论述。因此，第五章，以〈丝状菌性膨胀的发生机理〉为题，对于活性污泥的沉降理论、决定沉降性能的因素以及关于膨胀发生机理的假说等进行了论述，并提出了丝状菌性膨胀的发生机理。

因为对高粘性膨胀也有必要掌握其发生机理，所以第六章，以〈高粘性膨胀的发生机理〉为题，将滝口的实验结果比较详细地做了介绍，并阐明高粘性膨胀是由于高粘性多糖类的积蓄造成的，随后将这种污泥沉降性能恶化的机理，从胶体化学的角度进行了说明。

关于高粘性膨胀的研究虽然不多，但是因为许多方面已被判明，所以第七章，对于高粘性膨胀的致因物质，以〈活性污泥中的粘性物质〉为题，比较详细地将滝口的研究结果做了介绍。

在膨胀已经发生的情况下，对生产装置的运行管理者来说，最重要的问题，首先是防止活性污泥的流失以及制定解决流失的应急处置和对策。关于这个问题，将在第八章以〈污泥膨胀时的应急运行管理措施〉为题加以论述。

在生产装置中，通过采取应急处置，活性污泥的流失就可能被制止。但应急处置仅使活性污泥流失量减少，活性污泥的膨胀状态没有改变。为了将生产装置恢复到正常的运行状态，还必须弄清产生异常状态的原因，并排除其原因，对膨胀进行治疗，以使膨胀污泥恢复到正常状态。此外，还应采取预防处置，以确保在正常状态下进行运行。为此第九章，以〈防止污泥膨胀的运行管理法(1)〉为题，对上述问题做了详细叙述。

在活性污泥膨胀的控制对策中，曝气池内溶解氧的正确



4901-204

控制，是非常重要的，所以第十章，以〈防止污泥膨胀的运行管理法(2)〉为题，对于曝气池内溶解氧浓度的控制方法将滝口的研究成果作为中心，进行了详细叙述。

根据生产装置的类型，虽然膨胀控制对策当中有些是必要的，但多数情况下，完全采用这些对策是不可能的。因此，许多膨胀控制对策，在生产装置的设计和计划阶段，还有若干事项应充分考虑。本书第十一章，以〈不发生膨胀的生产装置的设计与计划(1)〉为题，对于废水调节池、曝气池、沉淀池等进行了叙述。

本书最后一章，即第十二章，以〈不发生膨胀的生产装置的设计与计划(2)〉为题，对废水投加方法和水流模型(flow pattern)，进行了详细叙述，并对防止膨胀发生的曝气池设计方法，也加以探讨。

# 目 录

译者序

前 言

第一章 活性污泥的沉降性能恶化现象及其原因 .....	1
1. 活性污泥性能的评定方法 .....	1
2. 活性污泥沉降性能的恶化现象 .....	8
3. 由凝聚不良导致的沉降性能恶化现象 .....	10
4. 由比重降低所导致的沉降性能恶化现象 .....	13
5. 由膨胀导致的沉降性能恶化现象 .....	17
6. 沉降性能恶化现象原因的判别法 .....	20
第二章 活性污泥中的微生物与膨胀 .....	23
1. 正常活性污泥的生物相 .....	23
2. 膨胀的研究与微生物 .....	39
3. 丝状菌性膨胀与微生物 .....	41
4. 非丝状菌性膨胀与微生物 .....	43
第三章 与膨胀有关的微生物 .....	48
1. 球衣菌属 (Sphaerotilus) .....	48
2. 芽孢杆菌属 (Bacillus) .....	56
3. 贝氏硫菌 (Beggiatoa) .....	63
4. 黄杆菌属 (Flavobacterium) .....	67
5. 假单胞菌属 (Pseudomonas) .....	70
6. 地霉属 (Geotrichum) .....	74
第四章 污泥膨胀发生的原因 .....	77
1. 废水水质与污泥膨胀 .....	77
2. 处理条件与污泥膨胀 .....	88
3. 冲击负荷与膨胀 .....	92

4. 生产装置和其运行方法与污泥膨胀	96
第五章 丝状菌性污泥膨胀的发生机理	102
1. 活性污泥沉降性能的主要决定因素	102
2. 对污泥膨胀提出的假说	111
3. 表面积/容积比假说	115
4. 其他有用的假说	121
第六章 高粘性膨胀的发生机理	125
1. 活性污泥中的粘性物质	125
2. 活性污泥的沉降性能与粘性物质	131
3. 高粘性膨胀与粘性物质	136
4. 活性污泥中粘性物质的生成和分解	142
5. 高粘性膨胀的发生机理	147
第七章 活性污泥中的粘性物质	155
1. 粗粘性物质的采集	155
2. 粗粘性物质粉末的性质	165
3. 粘性物质的精制	172
4. 精制粘性物质的理化性质	177
5. 考察	186
第八章 污泥膨胀时的应急运行管理措施	190
1. 生产性装置的运行条件与控制对策	190
2. 应急的运行管理法— I	198
3. 应急的运行管理法— II	201
4. 应急的运行管理法— III	203
5. 发生高粘性污泥膨胀时的应急处置	207
6. 控制丝状菌性膨胀致因微生物的增殖	211
第九章 防止污泥膨胀的运行管理法 ( 1 )	217
1. 控制对策 1 ——在调节池内发生厌氧发酵的控制	217
2. 控制对策 2 ——对曝气池内MLSS的正确管理	222
3. 控制对策 3 ——对曝气池内溶解氧的适当管理	224

4. 控制对策 4 ——曝气池内的水温管理 .....	227
5. 控制对策 5 ——废水投加方法的选择 .....	231
6. 控制对策 6 ——对废水中氮和磷含量的控制与管理 .....	232
7. 控制对策 7 ——沉淀池内厌氧状态的排除 .....	237
8. 控制对策 8 ——回流污泥的活化(再曝气或再生) .....	239
<b>第十章 防止污泥膨胀的运行管理法(2) .....</b>	<b>245</b>
1. 曝气池内的溶解氧与膨胀 .....	245
2. 活性污泥的耗氧 .....	246
3. 生产性装置曝气池内的溶解氧 .....	255
4. 生产性曝气池内的供氧能力确定法 .....	260
5. 生产曝气池内的溶解氧控制方法 .....	266
6. 生产装置处理性能的变化 .....	268
7. 生产装置处理性能的稳定化 .....	271
<b>第十一章 不发生膨胀的生产装置的设计与计划(1) .....</b>	<b>276</b>
1. 废水量及其水质的调查方法 .....	276
2. 为规划、设计生产装置的处理试验 .....	282
3. 废水调节池的设计 .....	290
4. 曝气池运行方法、条件的选择 .....	293
5. 曝气池的设计 .....	298
6. 沉淀池的设计 .....	303
7. 回流污泥和再曝气 .....	305
<b>第十二章 不发生膨胀的生产装置的设计与计划(2) .....</b>	<b>307</b>
1. BOD的投加方法和活性污泥的沉降性能 .....	307
2. 曝气池内BOD的不均匀性与紊流扩散 .....	313
3. 紊流扩散与活性污泥沉降性能 .....	319
4. 紊流扩散与废水处理效率 .....	327
5. 活性污泥中微生物的选择、改良及管理方法 .....	332
6. 影响活性污泥沉降性能的其他两个因素 .....	336
7. 不易发生膨胀的曝气池的设计法 .....	340

# 第一章 活性污泥的沉降性能 恶化现象及其原因

## 1. 活性污泥性能的评定方法

可能进行生物处理的废水，换句话说，也就是如果对大部分有机废水进行充分的曝气，则数周后就能得到被这种废水所驯化并具有充分处理功能的活性污泥。废水中的营养能够平衡，即BOD:N:P适宜，或者在不足时进行补充，则在大多数场合都能得到具有充分降解BOD功能的活性污泥。

活性污泥的两个重要性能之一，即取得去除有机物质的功能和保持这种功能，如上所述是容易做到的。但是另一个重要性能，即将活性污泥的沉降性能保持在良好状态是比较困难的。活性污泥的沉降性能每日每刻都在变化，对于参与活性污泥生产装置运行管理的技术者来说，改进和保持活性污泥的沉降性能是最重要的，也是一项困难的业务职责。

在活性污泥性能的评价法里，BOD去除功能能够通过测定生产装置的BOD负荷量和处理后残留BOD量，即处理水中的BOD值，然后计算二者之差加以评价。因为BOD去除功能，在多半情况下变化不大，所以这一评定法几乎是没问题的。

活性污泥的性能中，沉降性能的改善和保持是困难的，在生产装置的运行管理上，必须经常对每时每刻都在变化的沉降性能加以评定。因此，本节将对活性污泥沉降性能的测

定评定方法加以叙述。因为，在述及到活性污泥的沉降性能的场所，有必要用共同的“标准”进行测定评定。

### (1) 活性污泥的外观

曝气池混合液和处理水等的外观观测，对于没有经验者来说虽然意义不大，但对同一种废水和同一生产装置积有长期经验的运行管理技术者来说，却是一个非常重要的活性污泥评定法。也就是说根据外观观测，能够迅速地掌握时刻变化着的活性污泥的动态，还能观察到用各种测定数字无法表示的微妙变化。但是为了达到这个目的，运行管理者必须具有丰富的经验与敏锐的观察力。在活性污泥的外观观测项目中首要的是色与臭。

活性污泥的色相有黄茶褐色、灰褐色、灰白色、灰黑褐色、灰黑色等。这些色相根据其状态而改变。例如处于厌氧状态的活性污泥，即当供氧不足时，则呈黑色。

活性污泥的臭味，按其状态常常出现硫化氢臭、尿臭、海藻臭、鱼臭、腥臭、腐殖土臭和霉臭等。

如上所述，当活性污泥的状态发生变化时，其沉降性能往往也出现变化。活性污泥沉降性能的变化如下述，表现在其凝聚性、比重和压缩性方面。将曝气池内的混合液注入量筒中，经过短时间的静置就能够掌握活性污泥的沉降性能与其外观变化状态。

积累生产性装置中活性污泥的外观观测记录，不仅为将来提供了大量宝贵的参考资料，而且还可以有效地培养技术人员的观察能力。

### (2) 活性污泥的显微镜观察

当活性污泥的色相、臭味和絮凝体状态等出现变化时，还可以看到活性污泥生物相也产生了很大的变化。生物相的

变化往往对活性污泥的沉降性能具有很大的影响。因此，对活性污泥的外观进行观察之后，还有必要对活性污泥的生物相进行观察。

对活性污泥生物相的观察，由于有必要进行活体观察，所以最好使用位相差显微镜在150~600倍下进行。虽然也可使用普通显微镜观察，但这种场合在暗视野下观察比较适宜。

如后所述，对活性污泥生物相的变化与沉降性能的关系进行探讨是非常必要的。为此，最好将所得到的观察结果进行计量和定量地记录下来。但在实际中计量化是困难的，所以不得不采取定性观察。

为了使观察结果具有充分意义，有必要缩小观察的目的。因此，在这里将观察的基本要点加以整理归纳。为了更好地理解这些要点，请参考本文的“膨胀与微生物”部分。为了进一步说明，本节仅将实验方法的要点叙述如下：

- 1) 游离菌体，集合菌体和丝状菌体的相对比例；
- 2) 当丝状菌体大量出现的场合，要判别这些丝状菌体是细菌类还是霉菌；
- 3) 原生动物的种类及其相对比例。特别是游泳型纤毛虫类与有柄纤毛虫类的相对比例。

运行管理人员对以上三项进行记录并将其积累，就可以得到对将来实际应用价值很大的参考资料。此外，这种资料对解决活性污泥沉降性能恶化现象是完全必要的。

### (3) 活性污泥量的测定

在论述活性污泥沉降性能之前，必须测定活性污泥混合液中的污泥浓度。

#### 1) MLSS

MLSS是混合液悬浮固体(即英文Mixed Liquor Ses-

pended Solid的缩写)。它表示1升活性污泥混合液中活性污泥干重的毫克数(毫克/升)。MLSS的实际测定法有离心分离法与过滤法,因为离心法操作方便,所以被广泛采用。

将容量为50毫升的玻璃制离心沉淀管在105°C条件下加热干燥至恒重,测定其准确的重量,然后准确地量取50毫升样液注入离心沉淀管中,以3500转/分的转速进行5分钟的离心分离。随后将管内上澄液完全排除,并原样地将离心沉淀管放入105°C的恒温干燥器内烘干3小时,取出后放入普通干燥器内冷却1小时称重求出MLSS。此外,当混合液的上澄液中含有多量固体物质时,去除上澄液后,必须用50毫升蒸馏水洗涤沉淀物。

## 2) MLVSS

MLVSS是混合液挥发性悬浮固体(即英文Mixed Liquor Volatile Suspend Solid的缩写)。在讨论活性污泥沉降性能の場合,活性污泥中的生物体量是我们希望知道的。另外,根据废水的种类,其中的碱土金属在多数情况下是以氢氧化物的形式含于活性污泥中的。因此,以污泥中有机物含量作为活性污泥生物体量的测定法,简单易行,广泛使用。

将测定MLSS时得到的干燥活性污泥准确地移入瓷坩埚中,然后放入600°C的电炉中强行加热3小时,取出后放在干燥器中冷却,然后称量并求出活性污泥中的灰分含量。在测定中所使用的瓷坩埚要在600°C下进行了充分干燥。从干燥活性污泥量中减去所得的灰分重量即得出活性污泥中的有机物量即为MLVSS。MLVSS与MLSS同样都是以毫克/升表示。

## 3) ATP

关于迅速掌握活性污泥中生物体量的必要性,前面已作

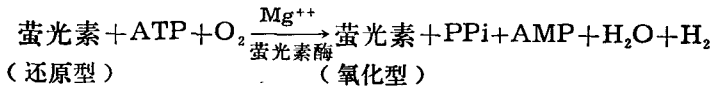


了叙述。但是作为简便法而使用的MLVSS测定法，也未必是十分简便的方法。下面介绍一种生物体量的快速测定法。即近期出现的ATP测定法。

ATP是5'三磷酸腺苷(Adenosine-5'-triphosphate的缩写)。ATP是一切生物为了维持生命所需能量的贮藏物质。因此，通过测定ATP的含量就能测定出活性污泥中的活性生物体量。虽然ATP是广泛生物体量的测定法，但关于这个方法在活性污泥上的应用也曾有过报导。

以下对本测定法的原理简要地介绍一下。由萤尾中提取的萤光素由于ATP的存在，从还原型变为氧化型，此时发出580~590mμ的光。通过光电计(ホトメーター)测定所发出的光量，即能将ATP量测出。

在测定时的反应过程如下：所使用的萤光素酶与萤光素一样，是萤尾中提取出来的酶。



在实际测定时，必须首先将活性污泥中的ATP提取分离，关于其具体操作方法、条件请参考原报导的文献。

测定时使用的光电计，是市场出售的ATP光电计。ATP光电计可以把反应开始15秒钟到1分钟间所发出的光量作为积分值测定出来。由ATP不同投加量与相应的光量测定值制成的标准曲线，可用于未知试样的测定。

本测定法，能比较迅速地将微量试样生物体量测定出来，所以是一种很好的测定方法。

#### (4) 活性污泥的沉降性能

对活性污泥沉降性能的测定，虽然曾提出了各种各样的方法，但基本上都是相同的。即将曝气池混合液静置一定时