

废水生物处理 微型动物图志

中国科学院水生生物研究所

王家楫 沈韞芬 龚循矩

中国建筑工业出版社

废水生物处理微型动物图志

中国科学院水生生物研究所

王家楫 沈韞芬 龚循矩

中国建筑工业出版社

前 言

在“全面规划，合理布局，综合利用，化害为利，依靠群众，大家动手，保护环境，造福人民”的方针指引下，我国废水处理和综合利用的工作，已取得一定成效。

按照科学研究必须与生产实践相结合的原则，自1971年至1975年，我们在全国三十多个有代表性的废水处理厂，对废水生物处理运转情况进行了调查研究，就地观察了微型动物种类、数量和生长活动状况，共观察到微型动物166种；调查了废水处理过程中污泥和水的理化性质的变化以及它们与生物消长的关系等。通过学习和观察，丰富了感性知识。在调查研究过程中，北京市环境保护科学研究所、哈尔滨师范大学生物系史新柏、南开大学生物系陈天乙给予了大力协助，并提供了宝贵的实验资料和显微照片等。在此基础上，我们编写了这本《废水生物处理微型动物图志》。

书中概述了废水生物处理的基本原理和方法，废水生物处理中微型动物的生态，并对已观察到的原生动物的轮虫、寡毛类等进行了分类、形态和生态的描述，附有图及照片；提出了可作为废水处理效果指示作用的微型动物主要种类，并提出用指示生物以预报出水的质量。本书可供废水处理厂的检验人员和从事给水排水、环境保护工作的技术人员及有关院校师生参考。对废水生物处理中出现较多的线虫，我们未作深入工作，没有把它列入本书。希望广大读者结合生产实践中的丰富经验，提出修改补充的宝贵意见。

本书经北京市环境保护科学研究所曹维勤、史增锐、朱新源协助审核。

目 录

前 言

第一章 废水生物处理概况	1
一、水体自净与废水的生物处理	1
二、废水的生物处理方法	2
1. 氧化塘	2
2. 活性污泥法	2
3. 生物过滤法	3
三、废水生物处理中微型动物的生态	4
1. 种类变化	4
2. 数量变化	7
四、指示生物的应用	13
1. 什么叫指示生物	13
2. 生物在废水处理中的机能	13
3. 可作为指示生物的种类	15
4. 开展预报工作	16
第二章 微型动物形态特征及工作方法	19
一、原生动动物形态特征	19
1. 细胞质	19
2. 细胞核	19
3. 行动胞器	19
4. 支持、保护胞器	21
5. 消化、营养胞器	22
6. 排泄胞器	25
7. 感觉胞器	26
8. 生殖及孢囊的形成	26
二、轮虫形态特征	33
1. 外部形态	33
2. 内部构造	35
3. 生殖	36
三、其它微型动物形态特征	36
1. 线虫	36
2. 腹毛虫	37
3. 水栖寡毛类	37
4. 节肢动物——水熊、枝角类、桡足类、水螅、摇蚊幼虫	38

四、工作方法	40
1. 微型动物形态的显微观察	40
2. 微型动物的测量	40
3. 微型动物的简易计数法	41
第三章 废水生物处理时出现的微型动物分类	42
一、原生动物门	42
1. 植鞭纲	42
2. 动鞭纲	50
3. 根足纲	54
4. 辐足纲	70
5. 纤毛纲	71
二、轮虫	149
三、寡毛纲	168
索引	231
参考文献	245

ILLUSTRATED MICROZOOLOGICAL FAUNA IN BIOLOGICAL
WASTE-WATER TREATMENT

Wang Jia-ji, Shen Yun-fen and
Gong Xun-ji
(Section of Invertebrate Taxonomy,
Institute of Hydrobiology,
Academia Sinica)

CONTENTS

INTRODUCTION

CHAPTER I. AN INTRODUCTION TO BIOLOGICAL WASTE-WATER

TREATMENT	1
I. Water self-purification and biological waste-water treatment	1
II. Methods of biological waste-water treatment	2
1. Oxidation pond method	2
2. Activated sludge method	2
3. Biological filter tank method	3
III. Ecology of microzoa in biological waste-water treatment	4
1. Variation of species composition	4
2. Variation of abundance	7
IV. The use of biological indicators	13
1. What is biological indicators	13
2. Mechanism of organisms in waste-water treatment	13
3. Indicator species	15
4. Development of prediction	16

CHAPTER II. MORPHOLOGICAL CHARACTERS AND METHODS OF

MICROZOA	19
I. Morphology of Protozoa	19
1. Protoplasm	19
2. Nuclei	19
3. Locomotor organelles	19
4. Supporting and protection organelles	21
5. Digestion and nutrition organelles	22
6. Excretion organelles	25
7. Neuromotor organelles	26
8. Reproduction and encystment	26
II. Morphology of Rotatoria	33
1. External morphology	33
2. Internal structure	35
3. Reproduction	36
III. Morphology of other microzoa	36

1. Nematoda	36
2. Gastrotricha	37
3. Oligochaeta	37
4. Arthropoda.....Tardigrada, Cladocera, Copepoda, Acari, Chironomus	38
IV. Methods	40
1. The microscopical observation of microzoa	40
2. The measurement of microzoa	40
3. A simple method for counting microzoa	41
CHAPTER III. SYSTEMATICS OF MICROZOA OCCURED IN BIOLOGICAL WASTE-WATER TREATMENT	42
I. Protozoa	42
1. Phytomastigophorea	42
2. Zoomastigophorea	50
3. Rhizopodea	54
4. Actinopodea	70
5. Ciliata	71
II. Rotatoria	149
III. Oligochaeta	168
INDEX	231
REFERENCES	245

第一章 废水生物处理概况

一、水体自净与废水的生物处理

水是人类重要的环境因素。未经处理的废水，或其它污染物进入自然水体，造成水体污染、破坏水产资源、危及人民健康。因此防治城市污水、工业废水对河流及水源的污染，是社会主义制度下，环境保护科学研究工作中的重要任务。

天然水体在受到一定程度的污染后，由于自然界物理、化学及生物等过程的作用，会使污染的水体得到净化，这种现象称为水体的自净。生物在自净过程中起了相当重要的作用，这就是因为水中各种生物，主要是微生物，在它的生命活动过程中，经过吸附、氧化、还原、分解，吸收了某些污染物，转化了污染物的性质的结果。有机体在使污染物质分解和无机化的过程中，直接或间接地把污染物作为营养源，既满足了在有机体的原生质合成、繁殖及其它生命活动等方面的需要，又使水体得到了净化，这就是生物处理废水的基本原理。但是在自然水体中，自净过程往往进行得比较缓慢，如大量的污染物质排入水体，则不但得不到净化，而且还会破坏自然水体的自净能力。所以，工业废水与生活污水必须经过处理，在相当程度的净化后，达到了规定的排放标准，才能排入水体。

调查了污染河流的自净现象及其生物相，并对许多工业废水、生活污水的生物处理构筑物中的活性污泥进行了研究，从生物组成和净化机理的角度，发现了很多一致的现象。例如某河，由于焦化厂等废水的排入，河水中酚、氰含量超过国家排放标准较多。该处及下游河段的渠岸旁，附着生长着大量以球衣菌、菌胶团及其它游离状细菌为主的生物膜。生物膜中还发现了少量沟钟虫等原生动动物。随着河水向下游河段流动，河水中及附着在岸边的生物种类也逐渐增加。流经二小时约十公里后，酚、氰含量分别比原来浓度降低12倍和20倍。酚、氰含量的下降，反映了该河段的自然净化能力。在附着于岸边的生物膜中，除菌胶团等类细菌占优势外，还出现了相当多的群体原生动动物纤毛虫——褶累枝虫。此外，占比较优势的还有瓶累枝虫、钩刺斜管虫、单怯管叶虫、转轮虫等。从生物膜的外形及其生物相结构的情况看，在污染河流中附着生长的生物膜和活性污泥相似，尤其与生物滤池、生物转盘上的生物膜有极相似之处。经试验证明，河流中附着生长的生物膜，与生化处理装置中生长的活性污泥及生物膜，在净化方面所起的作用也是一致的。例如，将从河流中采集的生物膜放在与河流条件（水温、流速、pH、酚、氰等有毒物质的含量）相似的试验装置中，经四小时的试验，有生物膜的试验组，酚、氰从开始的2.15及3.8毫克/升，降至0.0075和0.003毫克/升。在四个小时内，有生物膜的试验组，对酚、氰的去除百分率，比没有生物膜的对照组，对酚、氰的去除百分率平均高50%左右。在没有生物膜的对照组中，酚、氰的去除，主要是物理、化学过程的净化作用和向空气中的挥发作用所

致。试验组及对照组对酚、氰去除率的差值，体现了生物的净化作用。试验前后，生物膜的酚、氰积累量并无显著变化的分析结果表明，生物膜对水中酚、氰等的去除作用，主要是表现为把它们转化成了其它成分。

由上述情况可见，废水的生物处理，是利用污染物质在天然水体中，能得到自然净化的基本原理，在人工控制下，创造更有利于生物净化的条件，使废水得到处理。

二、废水的生物处理方法

生物处理废水有三种方法，即氧化塘、活性污泥和生物过滤法。这三种方法都是在好气性生物的作用下进行的，现简介如下：

1. 氧化塘 最原始的废水生物处理方法，是采用氧化塘。这个方法的基本原理是利用自然界水体的自净能力，废水经过适当处理后排入到天然的池塘、洼地、水坑中去。这些氧化塘内长有很多水草和藻类，由于空气中的氧气不断地溶入水中、以及水生植物的光合作用，使水中氧气不断地得到补充，也就促进了废水中有机物质的氧化作用。再加上氧化塘内各类微生物的吸附、生化作用更促进了有机物质的迅速分解，从而收到了废水处理的效果。在人口稀少的地方利用荒芜的池塘、洼地稍加整修即可用以处理废水，但采用此法时，亦要注意不要污染地下水源。目前氧化塘又进一步发展为利用天然的水体，加入人工条件以强化净化过程，叫强化氧化塘（沟）。如上述含有氰、酚废水的河流，自净过程中如采用充氧装置、栽植各种水生维管束植物、增加生物膜得以附着的底物……等措施，便可加速河流的净化过程。

2. 活性污泥法 活性污泥法是曝气池处理的统称。它的主要特点是利用接种、培养、驯化后的活性污泥，通过在曝气池里与废水混合、曝气以净化废水。活性污泥具有生物的性质，在显微镜下观察主要由微生物、原生动物、轮虫和一些杂质所组成，有时还有寡毛类和线虫出现。活性污泥主要通过两个步骤——吸附及氧化来完成对污水的净化过程。因为活性污泥颗粒疏松、成花絮状、表面面积大，故对污水中的悬浮物、胶体物的吸附能力很强。这些被吸附的有机物质，就被活性污泥中的微生物进行分解和氧化。一般废水，在曝气池中停留4~10小时，就可以完成净化过程，五日生化需氧量（ BOD_5 ）的去除率能达90%以上。为了保持活性污泥吸附、氧化的活力，除了控制合适的酸碱值（ pH ）、温度、溶解氧等条件外，还要有一定的营养物质，作为微生物生长、繁殖的能源，要求有适当的碳、氮、磷比例。生活污水中一般都具有微生物所需的营养物质，工业废水中一般比较缺乏，有时必须加以补充，有条件的废水处理厂，可用补加生活污水的办法解决。活性污泥中的细菌主要是异养菌，也有自养菌如亚硝化细菌、硝化细菌。但自养性的硝化菌生长较慢，往往还没有得到充分的生长就要随污泥排放掉，此外对氧气的不足也十分敏感，故活性污泥中的硝化作用，不如下述生物滤池法比较完全。在正常的活性污泥中真菌亦很少。为了培育、驯化出性能良好的活性污泥，在曝气池的工程设计及运行管理上有很多成套的理论及经验。各工厂可根据本厂废水的性质考虑能否采用活性污泥法来处理，并选择合适的曝气池类型（关于曝气池类型可参阅《给水排水设计手册第六册——室外排水与工

业废水处理》一书^[4])。

3. 生物过滤法 人们在长期的生产实践中，很早就创造了砂滤池净化废水的方法。生物过滤法，是从砂滤池发展而来的。它的主要特点是利用滤池中所铺设的滤料上附着的生物膜，对废水中有机物质进行吸附、生化作用，达到去除其中有害物质的目的。目前我国经常采用的普通生物滤池、高负荷生物滤池、塔式生物滤池、生物转盘等，尽管结构不同，原理都一样，都是利用滤料上附着的生物膜，来完成处理废水的目的。但是滤料上附着的生物膜与活性污泥中的生物来比较，是有些不同的。首先，从生态系统来看，二者有所不同。在活性污泥法中，废水一进入曝气池就与活性污泥接触，活性污泥中的生物组成，在生物学上称之为群落，是单一的，在另一端就是净化了的出水。在生物过滤法中，是由多个生物群落组成的一个连续系统，在不同位置的滤料上（或上下、或前后）就有不同的生物膜，不同的净化程度。滤料上的生物膜中，也有与活性污泥一样的菌胶团、异养菌等，但丝状菌、硝化菌要比活性污泥中多些，真菌更是比活性污泥中多而普遍。此外藻类也较活性污泥中为多，原生动物的种类组成也比较丰富。生物膜更能支持大型的无脊椎动物如寡毛类、昆虫等生长，数量及种类均很多，它们对移去多余的生物膜有很重要的作用；而在活性污泥中寡毛类、昆虫等很少见，多余的活性污泥是单靠排放来解决的。此外生物滤池中的生物，对废水中毒性的忍受力比活性污泥强，硝化作用比较完全，甚至可以

几种主要废水生物处理的效果

表 1-1

成分	含酚废水			石油化工废水			印染废水			农药废水			生活污水		
	进水 (毫克/升)	出水 (毫克/升)	去除率 (%)												
酚类	5.56~250	<1	90~99												
氯化物	10.0~26.9	0.56~1.0	90~96												
丙烯腈				3.3~164	0~4.6	96~99.6									
乙腈				1.7~10	0	99.9									
丙烯醛				1.8~19.2	0	99.9									
丙烯酸				4.55	<0.1	97									
苯				47.7	0.5	99.5									
异丙苯				10.0	极微	99.9									
二甲苯				0.37	极微	99.9									
丙酮				9.3	极微	99.9									
异丙醇				27.01	2.1	92									
甲醛				152.7	26.7	79									
硫化物	10~33.2	<1~1.70	86~95												
BOD ₅	21~500	2.3~50	80~90	89~387	0.8~45	80~97	110~240	4.0~22.4	90~98	590~960	163~2.31	60.9~83	170~250	24.6~40	80~85.7
COD	79~2000	9.6~600	70~87	297~768	40~67	81~91	300~716	70~164	60~80						
有机磷 (乐果)										4.66~10.04	0.4~1.9	80~91			

增加级数来达到强化硝化作用的目的。但是一旦受到意外的干扰，如负荷量突然加大，毒性超过能忍受的限度，生物膜也会遭受破坏，而恢复生物膜活力的时间，要比恢复活性污泥活力的时间缓慢得多，滤料上附着的生物膜的生长和活性污泥一样，也是受温度、氧气、pH、营养物质、流速……等条件控制的。不仅废水的性质会决定生物膜的性质，而且不同类型的生物滤池也会影响生物膜的性质。因此必须根据工厂的废水性质来确定能否采用生物过滤法，并选择合适的类型（关于生物过滤法的工程设计可参阅《给水排水设计手册第六册——室外排水与工业废水处理》一书）。

我们在全国有代表性的32个有废水处理设备的工厂，进行了微型动物区系调查。这些工厂包括炼油厂、炼钢厂焦化车间、焦化厂、煤气厂、各种类型的石油化工厂、化纤厂、维尼纶厂、木材防腐厂、农药厂、印染厂、织袜厂、漂染厂、城市污水处理厂……等。处理的方法包括有上述的活性污泥法和生物过滤法。故收集于本书中的微型动物种类具有一定的代表性。我们根据这些废水处理厂进入生物处理阶段时，废水中的主要有害物质，归纳为含酚废水、石油化工废水、印染废水、农药废水和生活污水五大类，各类有害物质的处理效果是相当好的，详见表1-1。生物处理方法具有成本低、收效好的优点，在减轻环境污染、保护水源、造福人民方面发挥了积极的作用。

三、废水生物处理中微型动物的生态

废水生物处理的装置对微型动物来说是一个特殊的生态系统，各种环境因子，例如进水的物理化学条件、各种技术参数（如充氧条件、转速、曝气时间等）、细菌、乃至暴雨、干旱、气候变化等都会直接或间接影响微型动物的生长。了解微型动物的种类或数量变化，也可以在一定程度上反映出废水处理中的情况，促进更好地加强管理工作。目前我国各废水厂的分析资料中除了物理、化学分析外，都有镜检这个项目。因此我们进行镜检时，不仅要检出是那些种类，还要了解常见种类的生活习性及其对环境的要求。只有这样，才能配合理化分析对生产运转情况作出正确的判断，及时处理意外的情况。微型动物包括原生动物、轮虫、线虫、腹毛类、寡毛类、甲壳类、水螨、水熊等大类，但占最优势的是原生动物，其次是轮虫；而原生动物中又以纤毛虫为优势。因此我们将重点放在原生动物和轮虫上。

1. 种类变化

(1) 种类组成：在同一个废水处理装置中，不同的季节会有不同的种类，不同的年份，常见种类也会不同，如武汉印染厂的曝气池中，1972年的常见种是微盘盖虫、瓶累枝虫，而1974年的常见种只是瓶累枝虫，盖虫几乎罕见。如果在处理相同废水的不同工厂中，同时采集标本，即使这些厂有相同的技术参数，也常常有30%的种类是不相同的。人们从长年积累的资料中，逐渐发现在普遍的种类中有共同性的种类；有终年可见的种类。有人^[12]在全英国93个污水处理厂的52个生物滤池、56个活性污泥生物处理装置中进行普查，共记录了79种纤毛虫。很多种类只是在个别工厂中出现。其中在活性污泥中出现率最大、数量也较多的重要种类依次序排列为有肋楯纤虫、沟钟虫、小口钟虫、卑怯管叶虫、带

盖虫、白钟虫、蟥状独缩虫、多污游仆虫(*Euplotes moebiusi*)、法帽钟虫等九种。还有人^[22]在莱赛斯特(Leicester)的一个处理生活污水和工业废水的活性污泥中进行了一年的观察,得到6种固有种(indigenous species)和他人^[17]在另一个处理厂的活性污泥中看到的80种中提出的6种常见种完全一样,它们是沟钟虫、小口钟虫、累枝虫(未定种)、有肋楯纤虫、半眉虫(未定种)、螺足虫(未定种)。这六种全年出现率均在95%以上。占全年平均数第二位的漫游虫(未定种)因出现率只有70%而未列为固有种;反之,数量不一定多,但出现率高的沟钟虫却列为固有种。里德(Reld 1969)在伦敦的一个处理生活——工业废水的曝气池中进行了一年的观察。共记录了38种原生动物,提出了9种固有种,其余均是偶见种(adventitious species)。这9种固有种是卑怯管叶虫、领钟虫、沟钟虫、白钟虫、褶累枝虫、小盖虫、彩盖虫、蜾蛄纤虫(*Aspidisca cicada*)和双沟游仆虫(*Euplotes bisculcatus*)。而其余的偶见性种类也可能会有个别种类突然数量猛增,甚至左右了原生动物种群的数量。这种在生物学上称之为“水华”的现象往往是某一环境因子的突然变化所引起的,如不及时解决,就会影响处理效果。湖北省水生生物研究所于1971年10月至1972年12月在武汉印染厂开展废水生物处理工作。从活性污泥的接种、培养、驯化开始,一直到正常运转为止。此后两年中仍经常采集、观察标本。在活性污泥中共记录了41种原生动物,5种轮虫。1972年1月至1972年8月在已正常运转五年的汉阳木材防腐厂曝气池中进行定期观察。1973、1974两年仍进行不定期的观察。共记录了原生动物48种,轮虫8种。1972年6月至1972年12月在某石油化工厂进行二纶二酯(锦纶、腈纶、烷基苯磺酸盐(ABS)树脂、环氧树脂)石油废水的生物处理模型试验,共记录了原生动物35种,轮虫4种。1973年至1974年在全国32个不同类型的废水处理厂进行了普查。总共记录了145种原生动物、20种轮虫、一种寡毛类。对线虫未能进行种类鉴定工作,没有把它包括在内。根据我们的分析,认为在我国活性污泥中,最常见的纤毛虫种类是小口钟虫、沟钟虫、八钟虫、领钟虫、瓶累枝虫、褶累枝虫、关节累枝虫、集盖虫、微盘盖虫、彩盖虫、蟥状独缩虫、有肋楯纤虫、盘状游仆虫、卑怯管叶虫,肉足虫类中是蛞蛄变形虫、点滴筒变虫、小螺足虫;鞭毛虫中是尾波豆虫、梨波豆虫、粗袋鞭虫;轮虫则是转轮虫、红眼旋轮虫。无论称之为重要种类、固种类还是称之为常见种类;总之在活性污泥中确实存在一些原生动物和轮虫种类是会常年遇见的,数量上也是往往占优势或是比较多的。如果仅是偶然采集1~2次标本,好象生物处理装置中有十分不同的种类区系;但如从连续的、有规则的、经常的标本采集中则可以看到常见而数量又较多的种类是十分固定的。因此每一个污水处理工厂都须进行长期的观察,掌握本厂常见而又量多的常见种类。如果偶见种类突然发生“水华”现象,就应该及时发现和处理运转中出现的问题。这是因为微型动物,尤其是原生动物种群的生长情况,可以反映有机物质负荷的程度及污泥中细菌的数量,也就能更好地估计活性污泥的质量及污水净化的程度,以求达到充分发挥生物处理装置的作用。

(2) 影响种类出现的因子:如果将微型动物各种种类的出现和各废水处理厂的出水质量作一对照,就会发现大多数的原生动物种类是广栖性的,能忍受很宽的环境范围。因此任何原生动物种类的少量出现,从废水处理的角度来看,并没有实际意义,只能作为相对的种类组成而已。有人^[15]在实验室条件下做了不同负荷、曝气时间、有机物质的去除

率……等与活性污泥中微型动物的关系。曝气池的平均负荷幅度为164~6010毫克BOD₅/升·日；活性污泥的平均负荷幅度为70~1360毫克BOD₅/升·日；活性污泥平均浓度的幅度为2.10~4.90克/升；曝气时间幅度为0.9~30小时；曝气池处理量为5.3~198.0升/日；BOD₅的去除率幅度为67.0~94.1%。共记录了54种微型动物，其中原生动物38种、轮虫12种、其它线虫、寡毛类等4种。在这样大幅度的技术参数之下，微型动物区系组成差别相当小，而其各主要种类的数量差别是很大的。这说明微型动物，尤其是原生动物对环境的忍受幅度很宽；但其大量生长的最适环境的幅度还是狭的，而且各种类的最适环境也是不同的。

由于有的工厂排出的废水温度相当高，各废水处理厂的温度范围也不同。自然界的四季温度变化对生物处理装置中的温度变化影响也不一。大体上微型动物数量最多是在摄氏26~29°C，35°C时数量就下降，到44°C时只有少数根足虫会出现。

对氧(O₂)也有一定的适合范围。一般认为活性污泥溶解氧在1~2毫克/升时，有较健康的原生动物种群。我们在武汉印染厂的活性污泥中，观察到曝气池溶解氧在1~3毫克/升时，有柄纤毛虫数量最多，污泥性能良好。在汉阳木材防腐厂的活性污泥中，如果曝气量不足，原生动物和轮虫不活跃，并形成孢子。但还不能认为氧是影响某些特殊种类出现的限制因子，须与其它环境因子综合考虑。

此外，工业废水中还含有许多有毒物质。原生动物对毒性的反应比细菌敏感得多。而其它微型动物比原生动物更敏感些。有的废水处理厂的曝气池中，没有原生动物，但仍有良好的处理效果。这是因为原生动物不能适应该厂废水中的有毒物质，但是细菌却仍能生长，还能分解这些有毒物质，而达到较好的处理效果。但是通过长期的、逐步的驯化过程，原生动物是可以在一定范围的有毒物质中生长，甚至数量还相当多。国外报导，污水中非挥发性酚在5毫克/升时，仍有丰富的纤毛虫；如果突然达到8毫克/升，原生动物就消失。但如果酚的浓度是经常的，那么原生动物也可以在更高的含酚量中得到驯化。从我们调查的资料中，汉阳木材防腐厂1972年2月1日进水含酚量高达14.8毫克/升时，活性污泥中有柄纤毛虫(缘毛目)有7073个/毫升(主要是沟钟虫和褶累枝虫)，游离细菌数量为3.1×10⁶个/毫升，酚的去除率为93.14%，出水BOD₅为2.37毫克/升，反映出处理效果及出水质量均较好。可见该厂自1968年正式运转以来，纤毛虫已在较高的含酚量中得到驯化。但是在含酚量提高到150毫克/升时，所有的钟虫、累枝虫全部死亡，只有少量孢囊。而有的细菌能在含酚量达200毫克/升时仍能生长，并有分解酚的能力。对进水含硫量也有一定的适应范围；在60毫克/升以下时，钟虫还能维持在3000个/毫升左右；在100毫克/升时几乎看不到有柄纤毛虫，但硫的去除率并不下降，因为细菌仍能生存和分解毒物。活性污泥中金属浓度达到Cr 1.2、Cu 2.1、Zn 6.3、Ni 0.8、Cd 0.1、Pb 0.36、Mn 2.6毫克/升时，活性污泥中原生动物种类仍很健康。

我国现在采用的生物处理装置，从生物生长的环境角度来看，可以分为两大类。一类即活性污泥曝气池，废水通过均匀分散在曝气池中的活性污泥絮状物和游离细菌达到处理效果，简单地说生物长在水中。另一类是生物滤池、生物转盘和塔式滤池。废水通过滤料上附着的生物膜达到处理效果，简单地说生物长在膜上。从微型动物的种类组成来看，二者比较相似，但常见种各有侧重。我们从五个处理厂采集了二个生物滤池、三个生物转

盘、二个塔式滤池的标本，其中有二个处理厂还处在试验培训阶段。共观察到60种微型动物，大部分都是与活性污泥中差不多的种类。常见而又数量多的种类是界屋滴虫、辐射变形虫、蛞蝓变形虫、有肋楯纤虫、小口钟虫、瓜形膜袋虫、钩刺斜管虫、珍珠映毛虫、尾草履虫、背状棘尾虫、梨形四膜虫。由于生物是在膜的表面上生长，虽然这些表面能不断地接受水滴，但毕竟只能保持潮湿的状态，就象自然界中石壁上长的苔藓一样由于水的渗透也只能维持润湿。而生物要在这润湿的表面生长，就不可能是游泳种类，也不可能是有很长的柄和长成很大群体的种类，而是一些个体小、在表面爬行摄食的种类。上面提到的这些主要种类大多具有这一爬行的特征。至于褶累枝虫、微盖盖虫也能经常遇到，但数量远不如活性污泥中那样多，群体也不可能象活性污泥中发展那么大（我们曾在上海织袜四厂的活性污泥中看到一个瓶累枝虫上有57个个体）。当然象丝状菌——球衣菌（*Sphaerotilus natans*）、白地霉（*Geotrichum candidum*）繁殖过多时，会引起活性污泥膨胀，而影响活性污泥的沉淀，而在这类生物处理装置上就不存在这种问题，相反，它们长得多，还有利于处理效果。

（3）种类出现的顺序性：在活性污泥培养和驯化阶段中，微型动物出现的种类，往往有一定规则的顺序性。最初出现的是小的鞭毛虫和根足虫，如粗袋鞭虫、群屋滴虫、变形虫。这是因为有些鞭毛虫及变形虫种类，能够直接吃有机物质颗粒。以后细菌繁殖力增强，细菌的代谢能力比鞭毛虫、肉足虫强得多，鞭毛虫和肉足虫因竞争不过细菌而逐渐减少了。同时开始出现了一些吃细菌的纤毛虫。在细菌大量繁殖并开始形成絮状物以后，就以自由生活的纤毛虫占优势，并有爬行的下毛目种类出现。随着细菌絮状物的增多，生物处理的效果逐渐发展，就开始出现有柄的纤毛虫种类。纤毛虫出现的顺序大体是全毛目→异毛目→下毛目→缘毛目。在有柄纤毛虫出现之前，轮虫也开始出现，它的程序是鞍甲轮虫→腔轮虫→蛭态类轮虫。以上微型动物出现的程序性主要是受食物因子约束的，反应出一个食物链的过程。随着处理厂的正常运转，微型动物种类就变得比较单纯，以有柄纤毛虫占优势。在完全正常运转过程中，如果出现大量鞭毛虫和根足虫，多半表示生产不正常，处理过程中发生了问题，处理效果会下降。

2. 数量变化

（1）数量变动的基本状况：废水生物处理中的微型动物种群如从数量上来说，95%以上是原生动物，其次才是轮虫，其他线虫、寡毛类是很少的。上面已经提到废水生物处理中均有数量较多的常见种类，它们的变化，能反映出运转及生物处理的情况。因此，就很有必要掌握这些常见种类的数量变动规律。在自然水体中我们已发现原生动物和轮虫均有明显的季节变化和数量变动规律。轮虫的数量高峰出现在夏、秋二季^[2]，纤毛虫有春秋二个数量高峰的规律^{[3][22]}。但是在生物处理装置中，微型动物种群数量变动就不同于自然水体。有的种类，特别是小型的鞭毛虫、根足虫往往在3~4天内就会上升或下降几十倍。因此，在周年内看不出季节变化，而且数量高峰出现的时间也是极不相同的。表1-2所示是列举几个污水厂周年观察中的数量高峰。反映出几乎各季均可出现原生动物种群的高峰，这些高峰的出现往往配合着一些常见种类的高峰，也就是说微型动物的高峰，是由于一种或数种常见种类的高峰造成的。但也有的高峰是偶见性种类的突然形成“水华”。

活性污泥中原生动物种群的数量高峰

表 1-2

出现时间	高峰数量 (个/毫升)	主要种类	资料来源
3月	9183	小口钟虫、沟钟虫、领钟虫、有肋楯纤虫	汉阳木材防腐厂 1972
2月	5234	微盘盖虫、小盖虫	武汉印染厂 1972
5月 10月 11月	13000 19350 13250	楯楯纤虫	布朗 (Brown1965)
6月	160000	螺足虫(未定种)	斯科菲尔德 (Schofield1971)
4~5月	53277	鞭毛虫、单祛管叶虫、沟钟虫、八钟虫、微盘盖虫	克利莫威茨 (Klimowicz1972)
1月	33868	微粒螺足虫(<i>Cochliopodium granulatum</i>) 锐利楯纤虫、有肋楯纤虫、沟钟虫、树状聚缩虫	克利莫威茨 (Klimowicz1973)

所导致的。造成高峰的原因要具体分析。例如：有人^[22]所观察到的螺足虫造成的高峰是由于当时久旱后降雨，使这种小型的根足虫得到猛长，同时还出现了许多小的鞭毛虫，活性污泥的条件也较差。1972年1月至5月我们在木材防腐厂观察了微型动物的数量变动（图1-1）。1月11日至2月10日处在正常运转的情况下，微型动物的数量在6500~8000个/毫升之间，其中90%以上是有柄纤毛虫。从2月21日至2月29日污泥体积很小，污泥得不到增长，废水在曝气池内停留时间也过长，污泥条件较差，于是微型动物主要是有柄纤毛虫数量猛跌，到2月29日只有160个/毫升。而此时点滴筒变虫及另一种小型变形虫大量增长，到3月7日已达到6295个/毫升，一跃而成为优势种类，占微型动物总数的76.4%，它的增长显然是由于污泥性质变差之故。到3月22日这类肉足虫又减少到正常运转时的低量，435个/毫升，占微型动物总数的8.1%；而有柄纤毛虫又恢复到4528个/毫升，占微型动物的84.3%。纤毛虫中的优势种是沟钟虫、小口钟虫、有肋楯纤虫、彩盖虫、集盖虫，它们的高峰期是交叉的（图1-2）。

我们将所调查的各处理厂按废水的不同成分分为含酚废水、石油化工废水、印染废水、农药废水及生活污水等五类。并将微型动物数量变动的范围作个比较（表1-3）。这个数量范围并不是绝对的。因为我们调查的时间短、次数少，实际情况还可能超出此范围。但从表上可以看出几点：（1）从微型动物数量来比较，生活污水数量最高，印染废水次之，石油、化工、农药等更少，有时甚至没有看到微型动物，但仍发生毒物的分解，显然是细菌所起的作用。（2）肉足虫主要是小型变形虫的适应力最强，对毒性的抵抗力也最强。（3）小型的鞭毛虫和肉足虫常有突然形成“水华”的现象，故其数量幅度最大。此外，塔式滤池和生物转盘上的生物膜在废水进口处的滤料上微型动物的种类和数量均少些；随着污水的流动和处理，微型动物也就多起来。

（2）影响数量变动的因子：从各种技术参数来说，BOD₅负荷量是决定原生动物种

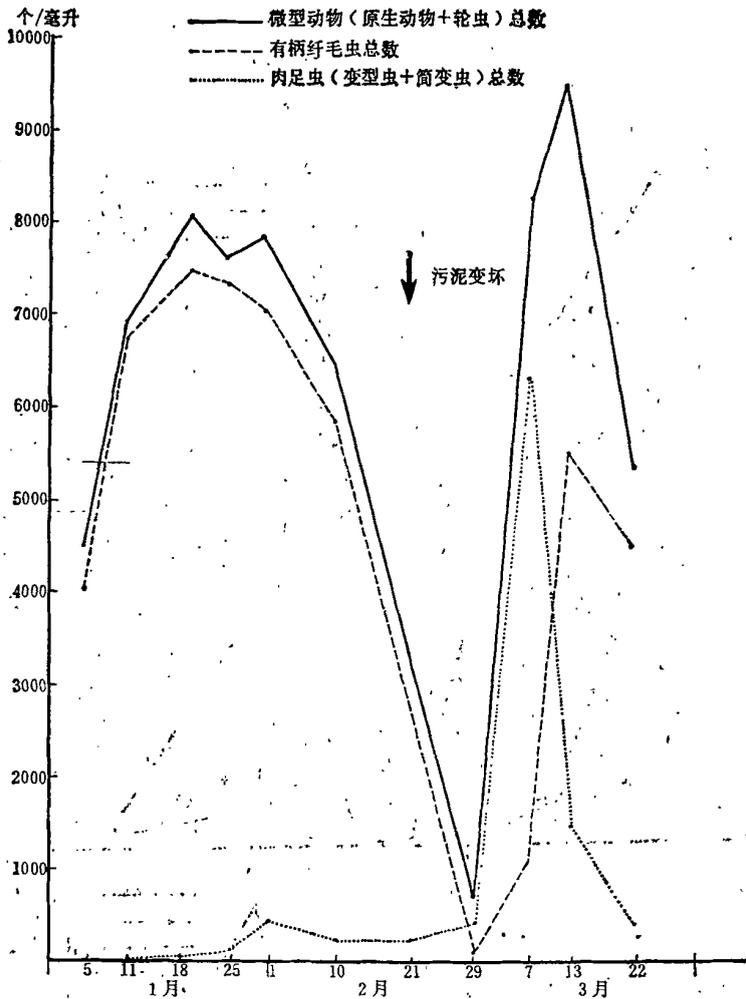


图 1-1 木材防腐厂曝气池中微型动物数量变动

群数量变化的重要因子。虽然原生动物对 BOD_5 负荷的适应范围很宽，可以高达数千毫克 BOD_5 /升·日，但大量出现却只在一较狭的范围内，生物学上称之为最适度。这个最适度对各个种类是不同的。一般的说，在最适度范围内增加负荷，表示营养物质的量增加，可以促进细菌的增长，而细菌又是大多数原生动物的食料，引起了原生动物数量的增加，如小口钟虫、沟钟虫、八钟虫等。因此，在一定程度上原生动物种群可以直接被理化条件所决定，也可以间接被细菌种群的密度（必须是对原生动物有用的细菌）所决定。在活性污泥中，已经找出原生动物与游离细菌数量之间有直接的相关，即游离细菌数量上升时，原生动物种群的数量也跟着上升。与絮状物细菌的数量则无直接相关，这是因为原生动物只能吃自由活动的细菌，对于大量的、裹在絮状物内的细菌，纤毛虫没有专门的器官去啃它，也刮不下来。由于活性污泥中细菌繁殖得快，絮凝作用也进行得快，于是絮状物就限制了纤毛虫的索食活动和生长速度，结果就造成细菌与纤毛虫之间的相对平衡。在活性污

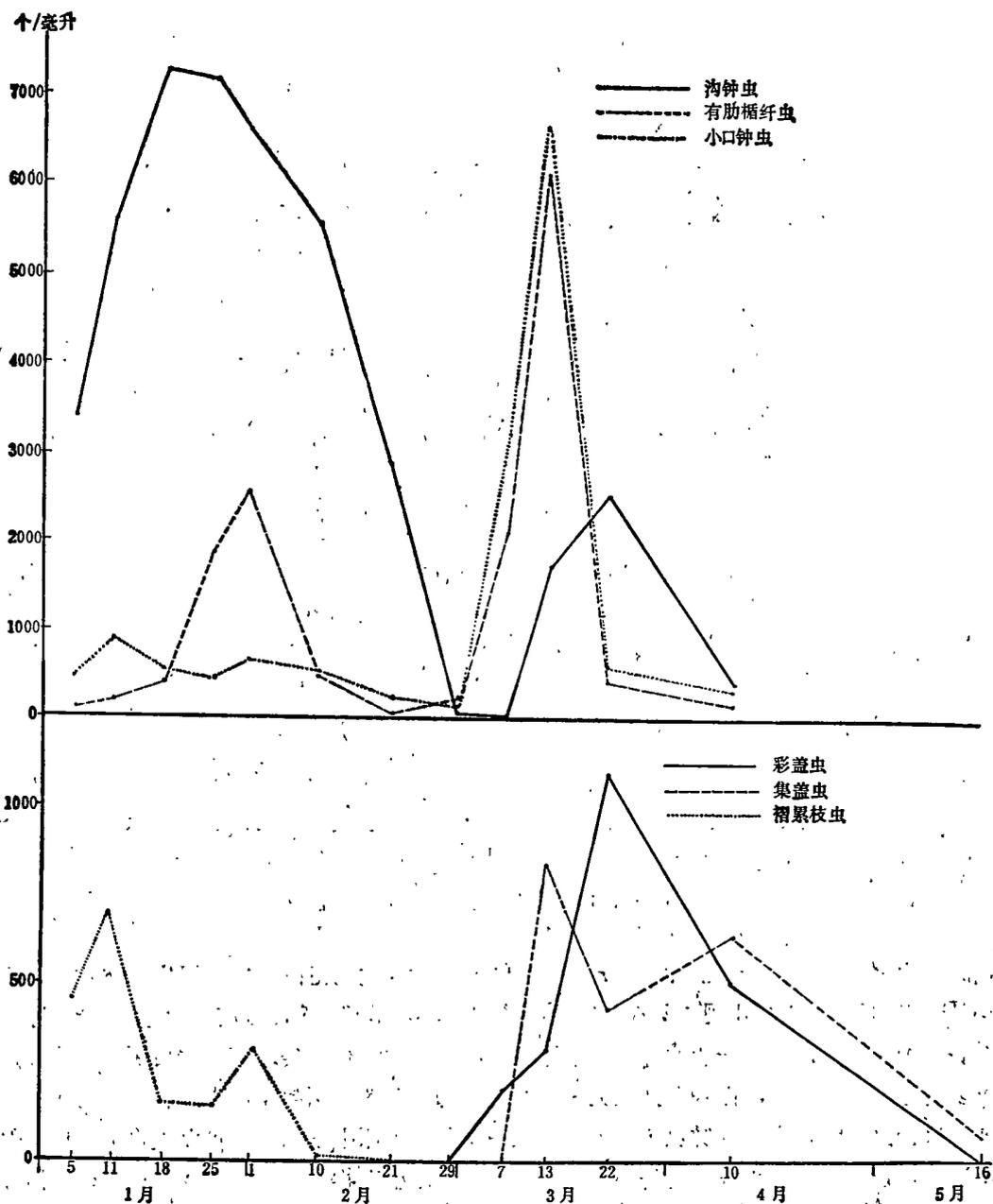


图 1-2 木材防腐厂曝气池中优势种类数量变动