

# 高纯氧活性污泥法

上册

[美] J.R. 麦克沃特 主编  
龙腾锐 译 许保玖 校

中国建筑工业出版社

# 高纯氧活性污泥法

上 册

[美] J·R·麦克沃特 主编

龙腾锐 译

许保玖 校

中国建筑工业出版社

本书系高纯氧活性污泥法的第一本专著，原书共两册，这是上册的译本。内容主要有：高纯氧活性污泥法的发展沿革及其在世界各地的应用现状；该法的优点及其理论与实践根据；该法系统的试验、工艺设计和运行管理等。可供从事给水排水、环境保护的科研、设计与运行管理的工程技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

**The Use of High-purity Oxygen in the Activated Sludge Process**

Volume 1

Editor

J. R. McWhirter

Editor-in-Chief

Richard Prober

CRC Press, Inc. 1978

\* \* \*

**高 纯 氧 活 性 污 泥 法**

上 册

龙腾锐 译

许保玖 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 1/16 印张：15 1/4，字数：368 千字

1983年4月第一版 1983年4月第一次印刷

印数：1—4,600册 定价：1.60元

统一书号：15040·4393

## 译 者 的 话

本书译自美国J·R·麦克沃特主编的《高纯氧活性污泥法》一书的上册，原书共两册。这是高纯氧活性污泥法的第一本专著，它以UNOX系统为主，对高纯氧活性污泥法的试验、设计和运行管理进行了全面系统的论述，总结了该法在处理城市污水、各类工业废水和城市与工业合流废水中的技术数据及资料，详细说明了高纯氧活性污泥法系统（包括澄清池）的设计，纯氧的生产供应技术等，并附有例题。本书的特点是理论性和实用性都较强。我们期望，本书的翻译出版，对我国探索效率高、电耗低、用地省和污泥少的生物处理新工艺的工作有所帮助。

为便于读者查阅，对书中采用英制单位的各主要技术数据都加注了米制单位。原版中的某些错误，翻译时作了更正，必要时作了译注。

在本书翻译过程中，译者曾得到周谟仁教授的热情帮助，在此表示感谢。本书第七章由俞辉群同志翻译。限于译者水平，错误之处，请读者批评指正。

译者

## 原 版 序 言

这第二部水污染控制技术单科丛书是，关于纯氧在废水处理活性污泥法中应用的综合性技术报告。在活性污泥法中，经济可行地用氧代替空气的工艺，也许是最近十年内废水处理中最有意义的一项发展。McWhirter 博士及他的同事们，该项发展的先行者和这种方法实用化的领导人，收集和评述了大批技术报告、杂志文章和会议文献资料，其目的在于提供一本全面而配套的参考手册，内容上既包括了废水处理法本身，又包括一些必要的附属设备。

在水污染控制技术单科丛书中，本书及其它几部书的读者对象是设计工程师、规划工作者和工业与政府的有关管理人员。我们的目的是提供一些参考手册，供上述各有关人员在当前执行水污染控制的极需时期使用。

主编 R.Prober

## 原 版 前 言

十多年来，在活性污泥法中使用纯氧，已从不明确和有限的学术上的兴趣，演变到今天它在废水二级处理法中所享有的占突出作用的地位。前内政部长 W.G.Hickel 认为，在活性污泥法中用纯氧代替空气，从经济上讲是“自二十世纪初活性污泥法发展以来，在废水二级处理中最有意义的技术进展。”确实，这种方法在美国已获得了迅速和广泛的应用，并正在世界受到重视。纯氧活性污泥系统在日本、墨西哥、加拿大、英国和西欧已投入了运转，在菲律宾、南非、芬兰和东欧也正在设计。

随着二级处理中纯氧应用的出现，给有关生化氧化过程的设计，特别给活性污泥法的设计提供了许多新的技术资料。活性污泥法中纯氧的应用，使可能在基本的设计参数上做许多实质性的改变。纯氧的应用和混合液在高溶解氧条件下运行，消除了标准空气活性污泥法中长期恼人的许多传统限制。这就导致了快速、高效法的实现，在多数情况下，它证明比传统的空气活性污泥法及其它可选择的二级处理方案在经济上更引人注目。

这两册丛书的目的在于介绍有关纯氧活性污泥工艺的综合参考资料。主题的论述有相当的深度和广度。纯氧的应用和活性污泥法在混合液高溶解氧条件下运行的主要优点都详尽地涉及到了，也包括有活性污泥系统设计的许多基本概念，这些概念对空气系统和纯氧系统两者都是适用的。本书的主要对象是废水处理专家，特别是从事设计的工程师。然而，也有相当数量的资料，对环境工程和化学工程高年级大学生或研究生的学习同样是有价值的和有用的。

纯氧活性污泥法的现有地位，在很大程度上是由于联合碳化物公司林德分公司 (the Linde Division of the Union Carbide Corporation) 对 UNOX 系统的发展和实用化所取得的。因此，本书几乎专门论述 UNOX 纯氧活性污泥系统。其中上册分两部分：(1) 有关纯氧利用和 UNOX 系统发展的历史和背景资料 (第一至四章)；(2) 有关纯氧活性污泥系统设计中基本工艺过程的设计考虑 (第五至九章)。下册也分两部分：(3) 整个充氧系统的设计考虑和附加应用 (第一至六章)；(4) 供氧 (第七至十章)。这样，两册相互有效地补充，同时资料介绍的顺序合理，很自然地从上册转入下册。然而，两册的各部分和每部分的各章又都详尽地论述了主题的某一特定内容，使之实际上可以成为独立部分。因此，读者可集中精力于自己感兴趣的领域和深入钻研这一课题，而不必广泛参阅本书的其它部分。

我真感谢和敬佩联合碳化物公司所有参加本书编写工作的同事们 (人数众多，无法一一列举)，他们之中许多人对 UNOX 系统的发展，从早期的实验室试验到目前世界范围的应用，都做出了巨大的贡献。在这方面，要特别感谢 L.C.Matsch 博士、E.H.Zander

博士、J.L.Steele博士、J.C.LeFever博士、R.H.Harris博士，要特别感谢M.Costanzo在协调众多作者所编的原稿方面做出的不懈努力。还要特别感谢CRC出版社水污染控制技术单科丛书主编R.Prober博士，他对本书提出了许多有益的意见和建议，特别感谢CRC出版社编辑部，感谢T.Weintraub、G.A.Becker和M.Saulino在编辑加工本书时的合作和耐心。

**J.R.McWhirter**  
**Westport, Connecticut**  
**1977**

# 总 目 录

## 背 景 和 绪 论

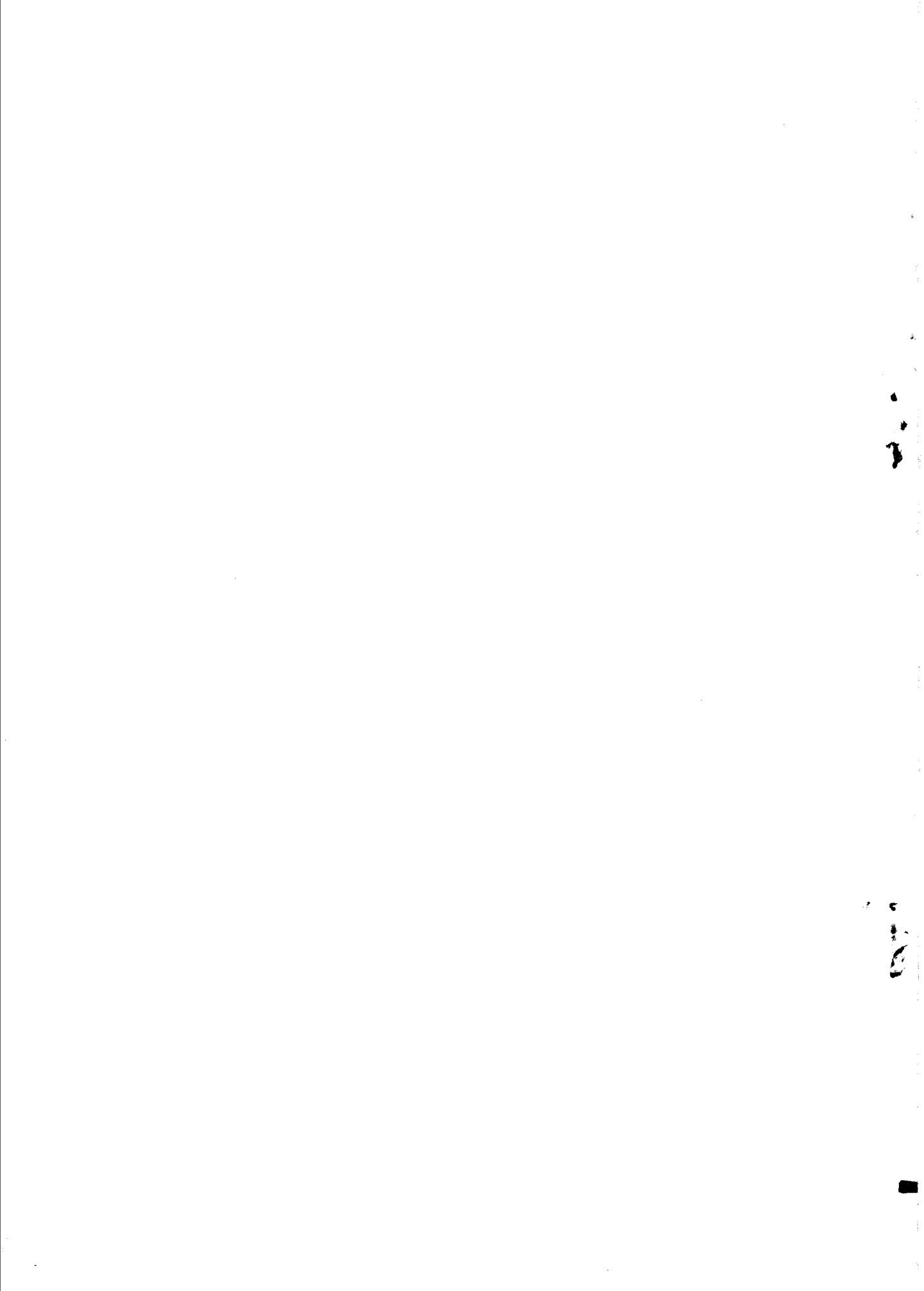
第一章	绪论	3
第二章	纯氧和生物沉淀法	14
第三章	纯氧和活性污泥法	23
第四章	环境保护局纯氧活性污泥法研究工作总结	58

## 基本工艺设计的考虑

第五章	纯氧活性污泥系统的工艺设计	91
第六章	纯氧活性污泥小型试验厂及可处理性的研究	139
第七章	固液分离和澄清池设计	177
第八章	充氧池-澄清池的设计统合	204
第九章	充氧系统传质的设计考虑	211



# 背景 和 绪 论



# 第一章 绪 论

J. R. McWhirter

I 纯氧在废水处理中应用的简史..... 3	III 纯氧活性污泥系统应用的现状..... 9
A 早期研究..... 3	IV 其它纯氧系统的设计..... 12
II UNOX系统..... 4	参考文献..... 13

自六十年代中期以来,在活性污泥法中应用纯度相当高的氧气,已从原来主要是学术上的兴趣发展成今天它所享有的广泛的商品化应用的境地。已经投入运转和在修建的纯氧活性污泥废水处理厂的数目很大,而且还在迅速地增加。这种方法在美国、日本、加拿大和欧洲连续获得了急剧的增长。到1977年7月为止,全世界已有90个纯氧活性污泥处理厂投入了运转,其总处理容量大约为每天15亿加仑。还有61个厂正在修建中,其累计容量达每天28亿加仑以上。此外,另有97个厂正处于不同的设计阶段,这又使其总的处理厂容量每天增加31亿加仑。总起来讲,采用纯氧活性污泥法的这248个厂的全部处理容量超过了每天74亿加仑。到1985年,计划采用纯氧法的二级处理总容量估计将超过每天110亿加仑。这在预期的二级处理总容量中是相当大的一部分,它充分证明了纯氧活性污泥法的重要性和广泛应用,也证明了如下事实,即纯氧活性污泥法比正常的有关新废水处理方法的发展、商品化和应用都更为迅速和广泛。

## I 纯氧在废水处理中应用的简史

### A. 早期研究

关于纯氧在废水处理中应用的商品化考虑,最早的参考资料或许是1934年联合碳化物公司林德分公司的一份内部备忘录<sup>(1)</sup>。这是早在我们今天所知的现代工业的气体工业出现之前很久的事了,它涉及了在废水处理中可能使用纯氧所应有的市场的特性。曾经认为,这一应用将会刺激一个稳定的基本负荷的纯氧需要量,这种需要将促进工业用气体的使用和供应。1934年12月4日,J. J. Murphy先生在给当时林德研究实验室主任L. I. Dana博士的信中写道:“在和你们一位最近参观纽约的人交谈的时候,我们两人一致认为,值得寻求纯氧的新的和更广泛的应用。此外,我个人相信,我们一定能够找到稳定的、不太受经济循环的正常萧条影响的使用。如果有一个很稳定的负荷,我们或许可能会处于非常便宜地出售纯氧的境地。我想到的两种应用就是水的净化和污水处理。

第二次世界大战后,这一课题被再次重新提出,由于通过相对是低成本的、简单的氧气厂生产了“低纯”氧(95%),从而出现了“廉价吨位氧气”,使Pirnie<sup>(2)</sup>和Okun<sup>(3~5)</sup>

关于生物沉淀法的工作受到了促进。五十年代初, Budd 和 Lambeth<sup>[6]</sup>进一步研究了生物沉淀法, 后来开展的兴趣就小了。正如本书上册第二、三章所讨论的, 这种方法不仅涉及纯氧的利用, 而且涉及一种新型的活性污泥法的构型, 该构型采用一种预充氧进水的联合的反应器-澄清器概念。

五十年代末至六十年代初, 使用纯氧的兴趣大大地降低了。因为当时的注意力主要集中在常规活性污泥法的运转条件下, 溶解氧的浓度对生化氧化速率或氧的吸收速率的影响<sup>[7,8]</sup>。这些研究揭示出, 在常规的空气活性污泥法所采用的典型运转条件下(低水平的混合液挥发性悬浮固体含量的相对低的氧吸收速率), 增加混合液的溶解氧含量并不增加生化氧化速率或底物的去除速率。这些结果对于在常规活性污泥法中较高溶解氧浓度可能有利的说法显然是否定的, 再联系到所假定的效率低和使用纯氧的成本高, 便产生了一个普遍缺乏兴趣的概念。正如在以后各章所讨论的那样, 这些研究没有揭示出应用纯氧的许多优点, 也没有揭示出在高溶解氧水平下运转的某些最根本的理由。早期研究所出现的否定结果, 即使用纯氧对处理效率没有改进或改进很小, 实质上也是由于同样的原因。

1965年, Mckinney和Pfeffer<sup>[12]</sup>提出了关于废水生物处理中使用富氧空气的报告。他们论证说, 重要的并不是由于在使用纯氧时的溶解氧浓度所能达到的水平, 而是纯氧能被传递到混合液中的速率。他们观察到, 在较低溶解氧水平时, 纯氧的传递速率将通过使用富氧空气而大大提高。他们推论, 较高的纯氧浓度只能在纯氧是限制条件的情况下有利。如果能够获得较高的充氧速率, 就可能显著提高系统的有机物负荷。在同时提高有机物负荷和混合液悬浮固体水平时, 便可能在较高负荷和较高纯氧传递速率条件下获得高度的处理效果。自然, 这就是在活性污泥法中使用纯氧的重要方法及其具有经济效益的情况。

Mckinney 和 Pfeffer 进一步指出, 与常规空气曝气相比, 纯氧的使用必然要和某些经济收益或工艺上的改进联系起来。他们提及将会得到改进的领域如下:

1. 避免过高的曝气速率和降低传递每单位氧气的能量, 特别在氧的吸收速率高的条件下是如此。

2. 通过消除氧的传递限制来提高有机物的稳定速率。

3. 减短或消除溶解氧浓度为零的时段来改善整个过程的运转条件。

4. 减小污水处理厂的尺寸和基建投资。

5. 提高污水处理厂的有机物超负荷容量而不需增加污水厂的水力容量。

6. 在消除氧的传递限制后, 使高速率、高有机物负荷的系统以高去除效率运转。

正如本两册书将要充分地阐明并提供资料来证明的, 这些改进以及其它工艺与经济上的好处, 都可通过在活性污泥法中有效地利用纯氧来实际有效地实现。

但是, 剩下的问题是, 如何发挥应用纯氧天然(本来)的潜在工艺优点, 同时又获得有效而经济的氧气利用, 以及保持常规活性污泥法工艺流程构型的合理的特点。

## II UNOX 系 统

纯氧在废水处理中的应用的主要推动, 是由于联合碳化物公司林德分公司研制出UNOX系统所引起的。联合碳化物公司于1966年底开始研究纯氧在废水二级处理中的应用, 随后

发明了UNOX系统。UNOX系统的一般形式可用图 1-1 示意说明。该系统使用加盖的多段充氧和反应系统。在该系统中，废水和活性污泥在一串同向流气液混合段中接触。系统中较高纯度的氧、废水和回流污泥共同引入第一段，并且以同向流连续流过各接触段，基本上在大气压下运行。排出气从最后段排出，混合液则在常规重力式澄清池中沉淀。供氧速率通过第一段的一简单压力控制器，按系统中的实际氧吸收速率成正比例自动控制。如果氧的吸收速率减小，第一段中的压力趋向于增加，供氧速率则降低；反之，氧的需要量增加，第一段的压力趋向于降低，供氧速率则增高。采用的段数、全部反应池的几何构形、池子的深度以及采用的各气液接触装置或曝气器的具体类型，能按每一特定的装置及工艺要求在经济上作出最优选择。该系统在设计 and 建造上都非常灵活，并可采用空气曝气做法中所用的标准机械设备。在多数装置中，典型地使用了标准的表面曝气器。较简单的构造外形和采用标准的设备元件是该系统的两大优点。

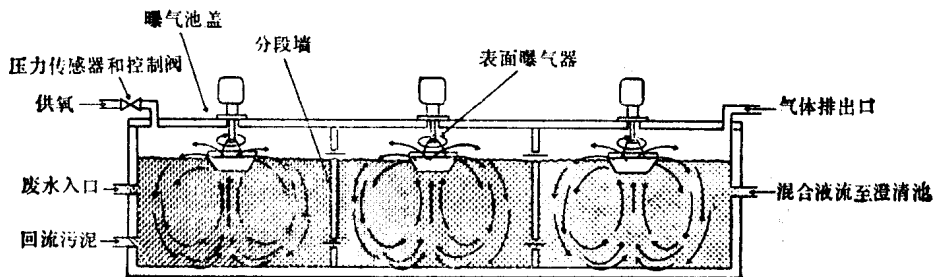


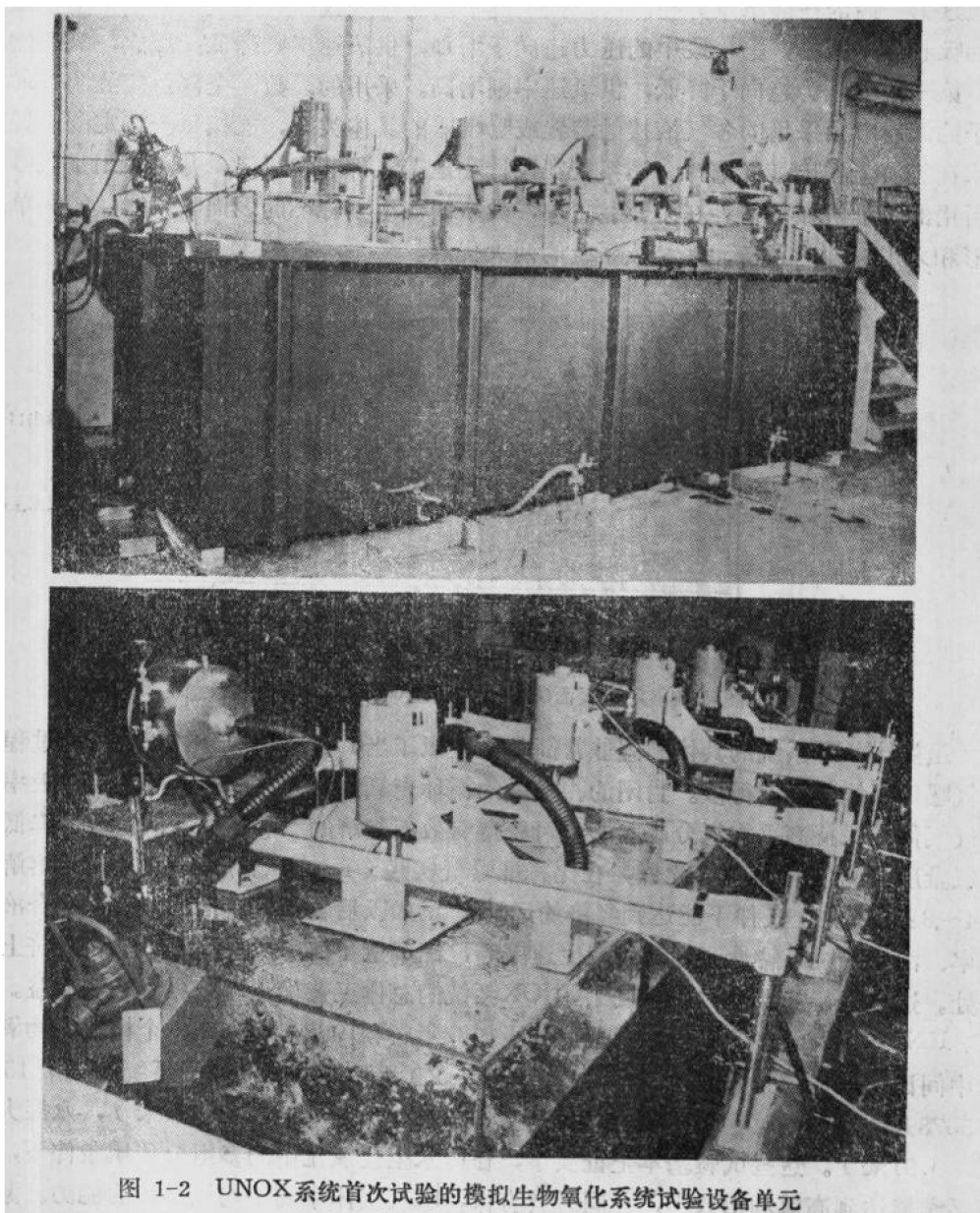
图 1-1 采用表面曝气器的三段UNOX系统简化示意

虽然UNOX系统的具体装置非常简单而直截了当，但它的传质过程和反应过程比传统空气曝气系统却复杂得多。封闭的、多段的循环充氧系统使之能获得高氧利用效率，并在曝气气体中保持高平均氧分压。这就可获得有效而经济的氧利用，并同时显著降低单位溶解氧量所需的溶解能量。此外，在比标准曝气实践（1~2 毫克/升）相对高的溶解氧水平（4~6 毫克/升）条件下能达到经济的运转。正如以后各章所讨论的，这对混合液的沉淀速率、污泥的脱水特性和污泥的产生速率等，都产生了值得注意的工艺上和经济上的附加好处。这种独特的综合效果造成了UNOX系统的总体工艺优点和兼有的经济效益。

UNOX系统最初的实验性试验，是于1967年底和1968年初，在一个模拟生物氧化系统的中间试验设备中完成的。该单元（示于图1-2）采用四段表面曝气系统和一个1500加仑（5678升）的曝气池。曝气池长14英尺（4.23米），宽3英尺（0.91米），水深大约3英尺（0.91米）。这些试验基本上证实了，在废水生化氧化中的多组分传质条件下，多段充氧系统能达到高氧利用效率，并同时具有保持曝气气体中高平均氧分压的能力。紧接着这次生物氧化模拟试验，中间试验包括在1968年间纽约州的巴塔维城（Batavia）进行的对城市废水以实际活性污泥运转的试验（图1-3）。这些试验进一步证实了活性污泥法由于纯氧曝气所能获得的利益，也同时证实了纯氧的经济利用与溶解的好处。

UNOX系统下阶段的计划，是在联邦水质管理局（FWQA）——现称环境保护局（EPA）——的资助下，在纽约州巴塔维亚城的城市废水处理厂进行工厂装置的试验。该

计划于1968年底开始，历时约两年半。它包括了UNOX系统与传统空气活性污泥系统的对比。巴塔维亚污水处理厂的一半改装用UNOX系统，另一半用常规设计的空气扩散曝气系统（图1-4，见146页后的彩色插页）。这一综合性研究，以生产规模证实了活性污泥法的纯氧曝气与空气曝气相比较的工艺和经济优点。



随着巴塔维亚示范实验计划做出成功的结论之后，联合碳化物公司于1970年5月宣布此法为它的废水处理业中的商业项目。此后不久，底特律市正式决定，将该市新的二级污水处理厂第一部分的一半采用UNOX系统重新设计，这标志了UNOX系统的首次商业性信任。设计成UNOX系统的这一半的处理容量为300百万加仑/日（113.56万米<sup>3</sup>/日），另一半的设计处理容量为150百万加仑/日（56.78万米<sup>3</sup>/日），采用空气扩散曝气系统。两个

系统采用同样的基本池子。UNOX系统的停留时间设计为1.14小时，空气系统的停留时间设计为2.28小时（每个系统都按通过曝气池的总流量包括进水量和回流污泥量设计）。每个系统均按二级处理系统进水的总BOD<sub>5</sub>为140毫克/升，出水的总BOD<sub>5</sub>低于25毫克/升设计。在决定剩余设备的设计之前，先对两个系统做试验，并在性能和运转上进行直接对比。但是，早在这第一部分的两半设备建成之前，底特律市就决定以纯氧系统的设计作为该处理厂余下部分的依据。1974年年中，又开始修建另一600百万加仑/日(227.12万米<sup>3</sup>/日)的纯氧活性污泥系统。底特律市原来的300百万加仑/日的UNOX系统，于1975年投入运转，它充分证明，UNOX系统的处理能力满足或超过设计性能的要求。图1-5所示为底

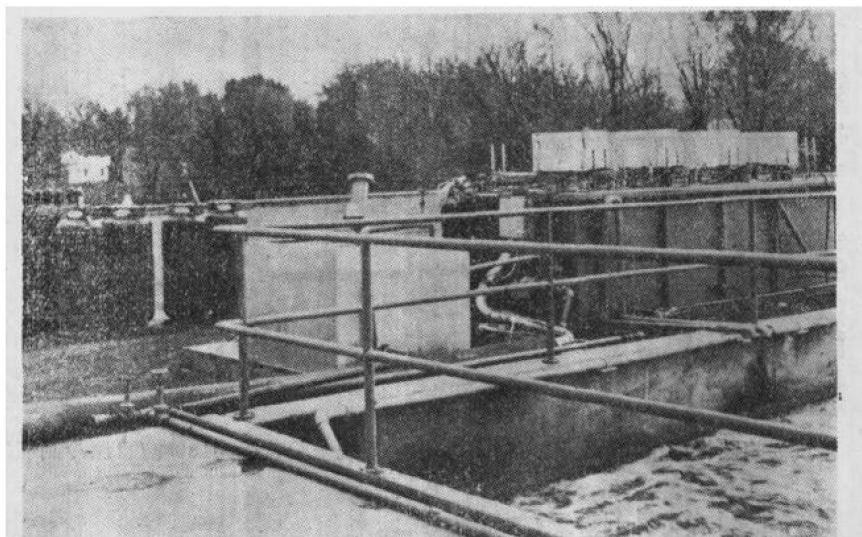


图 1-3 纽约州巴塔维亚城UNOX系统首次活性污泥试验的中间厂试验单元

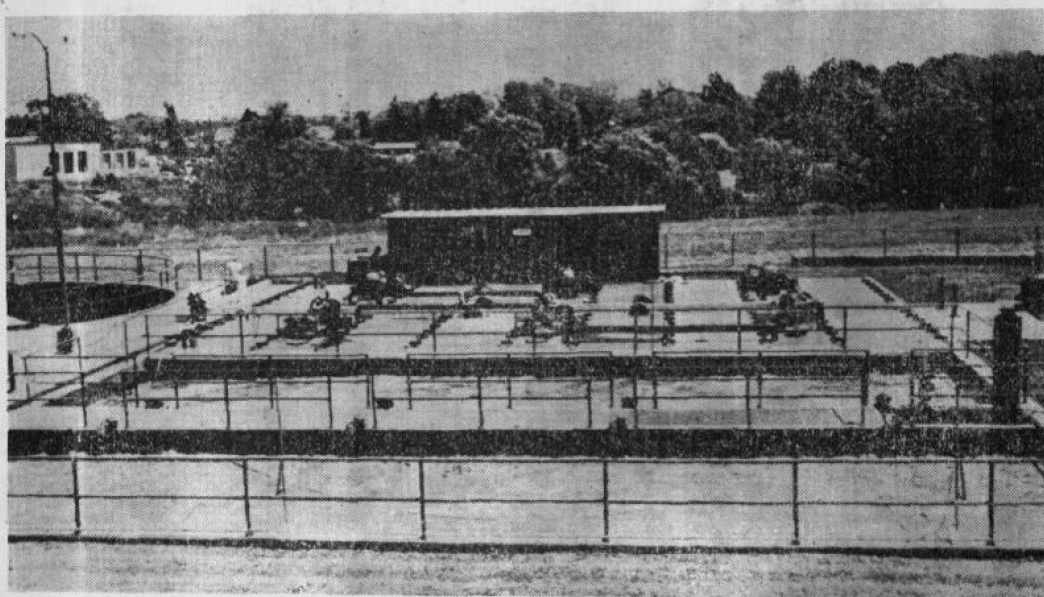


图 1-4 UNOX 系统的第一座生产试验厂，纽约州巴特维亚城，前面是常规空气扩散系统，后面是纯氧系统

特律市300百万加仑/日（113.56万米<sup>3</sup>/日）的UNOX系统全貌，其背景为180吨/日的深冷制氧厂和900吨的液氧储池。

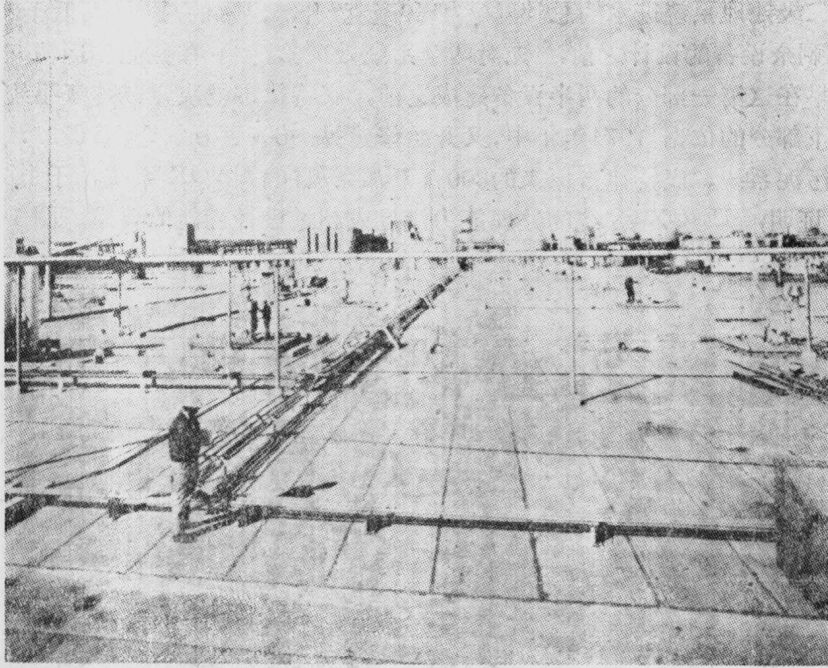


图 1-5 密执安州底特律市300百万加仑/日UNOX 系统全貌背景为180吨/日深冷制氧厂与900吨液氧储池

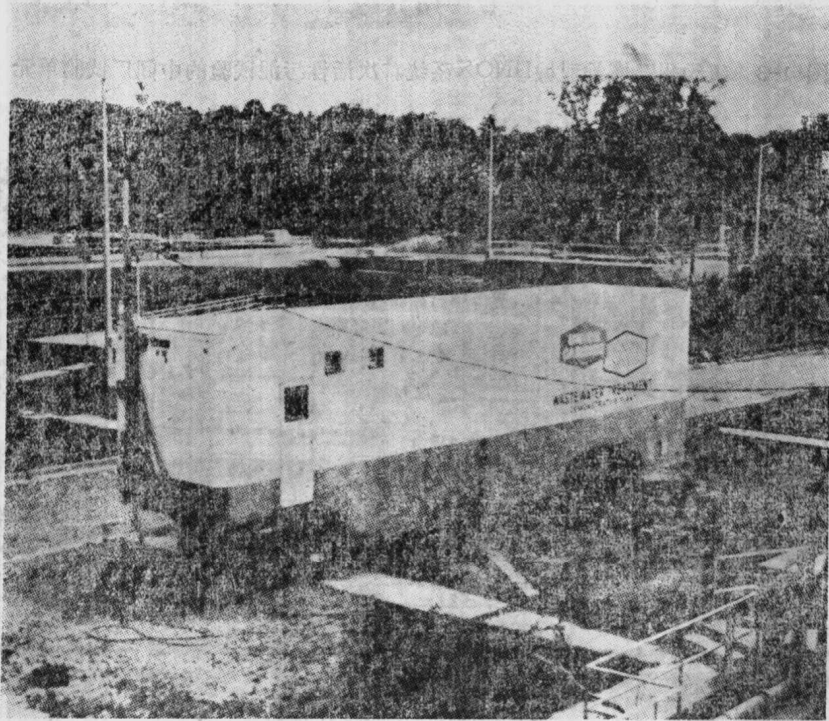


图 1-6 进行现场试验的典型活动UNOX试验单元



七十年代初，联合碳化物公司开始进行广泛的综合性的中间试验计划，以论证UNOX系统应用于广范围废水的优点和能力。此后，进行了200个以上的中间试验或可处理性的研究，它几乎包括每种类型的城市废水和工业废水。这些研究多数采用设在现场的、安装在拖车上的活动中间试验设备进行。图1-6所示为这种装置之一。这些研究进行的持续时间相当长，使有可能对各种不同的气候条件和废水条件，以及在广范围工艺参数条件下的运转进行评价。在现场的许多人都相信，该中间试验计划是迄今对废水处理新方法所进行的最详尽和最综合性的试验计划。这一试验计划的结果很快地总结成一篇报导性论文，刊登在1974年11月的《水污染控制联合会杂志》上<sup>[15]</sup>。

纯氧活性污泥法不再是一种没有实践把握的有趣概念，细致的研究和中间试验已经基本上肯定了它被公众接受的潜力。纯氧活性污泥法已经成为一种独特的方法了。

### III 纯氧活性污泥系统应用的现状

最近几年，许多纯氧活性污泥处理厂投入了生产，每年新增加20~25个厂投入运转。表1-1~表1-4概括了美国和世界上纯氧活性污泥系统应用的现状，它分成城市污水和工业废水两类。这些表是按R.C.Brenner 1976年6月发表的《纯氧活性污泥废水处理最新状况》一文的表格略加修订的。从表中可以看出，纯氧活性污泥法的应用，无论在地理方面还是在废水的类别方面都是有基础的。

Brenner还发表了11个正在运转的纯氧活性污泥处理厂的广泛的运转和性能历史资料。这些处理厂包括各种不同的工艺应用、系统组成、构型和规模。图1-7~图1-9系其中几个厂的照片。除唯一的一个例外，这些厂都满足或显著超过设计性能要求。低于设计性



图 1-7 加拿大温尼伯 (Winnipeg) 城12百万加仑/日 UNOX系统