

高纯氧活性污泥法

下 册

[美] J. R. 麦克沃特 主编
李维材 张希衡 译 张希衡 林则荣 校

中国建筑工业出版社

高纯氧活性污泥法

下 册

[美] J.R. 麦克沃特 主编

李维材 张希衡 译

张希衡 林则荣 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，这是下册的译本。主要内容有：高纯氧活性污泥法充氧系统总的设计依据和辅助设备包括 UNOX 系统的充氧设备和曝气池设计、污泥产量、污泥的脱水特性、污泥消化和臭氧的应用等；纯氧的生产供应技术包括氧的安全问题、氧气供应、低温制氧和压力变换吸附制氧等。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 II

Editor

J.R. McWhirter

Editor-in-Chief

Richard Prober

CRC Press, Inc. 1978

* * *

高 纯 氧 活 性 污 泥 法

下 册

李维材 张希衡 译

张希衡 林则荣 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：15¼ 字数：368 千字

1983年5月第一版 1983年5月第一次印刷

印数：1—4,600册 定价：1.60元

统一书号：15040·4394

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》一书的下册。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。原版中的一些错误，翻译时作了更正，必要时作了译注。

本书第一、二、五、七章由李维材同志翻译，第三、四、六、八、九、十章由张希衡同志翻译。

鉴于本书涉及的范围较广，我们水平有限，错误之处，请读者批评指正。

译 者

1982.5.

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氧的工艺，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，供上述各类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，已不太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，这种方法在整个美国已获得了迅速和广泛的应用，并正在全世界受到重视。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：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。

我真诚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，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倦努力。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

充氧系统总的设计依据和辅助设备

第一章	UNOX系统的充氧设备和曝气池设计.....	3
第二章	纯氧曝气系统中的污泥产量.....	59
第三章	纯氧曝气活性污泥的脱水特性.....	79
第四章	纯氧曝气污泥的消化	109
第五章	纯氧曝气活性污泥系统中的硝化作用	127
第六章	臭氧的应用	161

供 氧 技 术

第七章	氧的安全问题	177
第八章	氧气供应问题	194
第九章	低温制氧	203
第十章	压力变换吸附法制氧	224

充氧系统总的设计依据和辅助设备

第一章 UNOX系统的充氧设备和曝气池设计

J.G. Albertsson
N.T. Nenov

W.E. Grunert
C. Scaccia

I 引言	4	7. 传质的运行特性	28
II 混合与充氧: 功能要求和标准	5	V 曝气的标准检验法	30
A. 一般要求	5	A. 曝气器特性的测试	30
B. 传质能力	6	B. 水力特性的测试	30
1. α	8	1. 轴功率	30
2. β	8	2. 速度测量	31
C. 混合和固体悬浮	8	3. 液伞大小和表面水力性能	31
D. 充氧器的布置	9	C. 传质	31
III 机械表面曝气器	9	D. 非稳定态的曝气测试技术和步骤	31
A. 物体描述	9	1. 添加亚硫酸钠	31
B. 运行原理	10	2. 采样点	32
1. 水力学和传质	10	3. 溶解氧样品的采集和分析	39
C. 表面曝气器的类型	11	E. 传质系数的确定	33
D. 附加底部混合器的根据	13	F. 曝气试验计划和设施	35
1. 上泵式底部混合器	14	VI 曝气池设计的一般原理	36
2. 下泵式底部混合器	14	A. 曝气池的总布置	36
E. 运行特性	15	B. 进水分配	37
1. 水力特性	15	1. 水力分配	37
2. 传质	20	2. 回流污泥的投配	37
IV 淹没式涡轮充氧器	23	3. 气体空间的压力考虑	37
A. 物体描述	23	C. 出水堰	37
B. 运行特性	24	1. 概述	37
1. 水力特性	24	2. 外堰	38
2. UNOX淹没涡轮曝气系统的		3. 内堰	38
功率和泵脚特性	24	4. 气体密封和防止泛滥问题	38
3. UNOX淹没涡轮曝气系统的		D. 活性污泥废水处理系统中的	
混合特性	25	曝气池选择	39
4. 充气运行对UNOX淹没涡轮系		1. 引言	39
统的池内混合特性的效应	26	2. 曝气池类型	39
5. UNOX淹没涡轮曝气器充气后		3. 停留时间的分配	41
的轴功率特性	26	4. 曝气池运行特性	42
6. UNOX淹没涡轮曝气系统的		VII 曝气池的其它设计依据	46
传质运行特性	26	A. 浮渣和泡沫控制	46

B. 气流的考虑	47	2. 剖分阀	53
C. 曝气池盖的设计	47	B. 排氧纯度的控制	53
D. 曝气池接缝	47	1. 功能	53
E. 设备的底座	47	2. 控制方法	55
F. 混合器支座	47	人工控制	55
G. 其它设备的支座	48	C. 氧气流量的测定	56
H. 曝气池盖的其它孔眼	49	1. 基本测量法	56
I. 维修和事故时运转的设计原理	50	2. 温度和压力补偿	56
VII 管线	51	3. 易燃气体与氧气的监测	57
VIII 仪器和运行过程的控制	52	X 配电	57
A. 第一级的压力控制	52	参考文献	57
1. 功能	52		

I 引 言

高纯氧系统的设备基本上包括氧发生器、充氧（溶氧）装置及其有关设备、有关仪器、管道以及把氧发生器和溶氧装置协调起来的控制系统。氧发生器的基本工艺和设计概念将在第七至第十章加以讨论。本章专门论述溶解和混合设备、反应器（也称曝气池）以及有关系统设计的技术。

在高纯氧二级废水处理系统中，其所使用的混合和溶解设备要满足操作要求与运行功能的需要。这些作用相似于传统空气曝气系统中对同类设备的要求。高纯氧系统运行性能的改善主要是由于高纯氧大大地增加了物质从气相转移到混合液相的推动力，因而比传统空气曝气系统增加二至四倍的溶氧速率。虽然这些系统的基本功能是相似的，然其充氧设备具有某些特殊的机械特点，这使其易于使用高纯氧。这些特点将在以后几节讨论。

充氧反应器要设计成能有效地满足本法的生物化学氧化和溶解与混合要求，并且要提供有助于充氧器有效运行的形状和构造。一个典型的反应器设计方案，根据水力负荷的要求，应包括两组或更多组平行工作的多级式“分隔反应器”。在“分隔反应器”的每一级一般都装设和运转着一个充氧器。这种平行的“分隔反应器”和多级运转的方法，对设施的水力性能来说提供了全面的优越的适应性，使溶解能力有效地配合处理过程的需氧量，并充分利用溶解装置内的高纯氧。反应器加盖以容纳和控制流入池内的氧。加盖反应器装设必要的监测和控制设备，以确保在整个处理过程（即需氧）的运行条件下保持安全、有效的运转。反应器的设计和控制将在本章以后几节详述。

高纯氧系统主要使用两种基本的混合和和充氧设备：机械的表面曝气器和淹没式的涡轮（喷气）装置。两种装置可以机械地划为具有驱动齿轮系的低速旋转轴式的混合器。它一般由驱动电机、齿轮减速器，悬吊式低速旋转轴和混合叶轮组成。机械设计参数（例如结构材料、运行因数等）都详细说明，以确保连续运行时高度可靠和经久耐用。在功能特性方面，通过广泛的小型和大型试验，设备的混合与传质递能力已被特性化和相关化。本章对设备作了实际的描述，对两种装置的运行情况较为详细地加以讨论。

这种基本的机械表面曝气器与传统的空气曝气活性污泥处理厂中所使用的普通曝气器极为相似。这种设备在许多已经运转的高纯氧系统中正在可靠地运行。最近，一种具有优越的混合效果和传质性能的新型表面曝气涡轮已在高纯氧设备中采用。这种新涡轮的运行特性已完全确定，而且在欧洲废水处理厂中成功地无故障地运转多年。这种涡轮现在正大量地应用在处理城市和工业废水的高纯氧系统。

在高纯氧废水处理厂中使用的淹没式涡轮装有一个旋转喷气器，它和一个轴流式混合叶轮一起（装在一根共同的轴上）旋转。在这方面，它的设计基本上不同于传统的空气淹没涡轮，后者一般使用固定的喷气器。混合叶轮与旋转喷气器的结合显示了优越的混合和传质性能，特别当考虑到高纯氧系统中一般使用较低的喷气量的时候，更是如此。

到一九七七年七月止，约九十家高纯氧废水处理厂在各城市和工业区运转，容量从0.5至300百万加仑/日不等。不断地收集有关这些设备的运转和性能的资料，就能使高纯氧系统的机械和功能设计保持优良，并进一步改善，以提供持续的优越性能和可靠性。

II 混合与充氧：功能要求和标准

A. 一般要求

混合与充氧设备的基本功能要求：

1. 产生和保持有效的气-液接触，并保持足够的溶解氧。
2. 在曝气区内，形成有效的整体混合和液体循环的模式及流动。
3. 保持足以悬浮混合液生物固体的流体速度。

这些性能可用不同方式获得，取决于所用的充氧设备的设计和具体的水力机械。例如，机械表面曝气器（示于图1-1）是以局部的高度搅动气-液接触区和靠近液面的质量传递为特征的。局部接触区富氧的表面液体然后与被曝气的全部液流必须有效地进行混合和循环，以全面获得优越的效能。

另一方面，淹没的涡轮（喷气）装置用以混合与充氧的叶轮却安装在液面下相当深处（图1-2）。质量传递发生在两个区域：在涡轮（喷气）区内的局部高强度质量传递，和由于整个曝气池里高度分散的气泡在上升时所产生的广泛的质量传递。造成气泡在池内的分布、以及全池范围内的混合、环流和固体悬浮等的基本因素是混合涡轮有效的液体抽吸作用。输送充氧的气体至淹没式旋转喷气器，要求压力较低的压气机。从质量传递观点来看，这种压缩能可通过加强了驱动力和增加的气-液接触区（与喷射的气体体积有关）而得到补偿。

总之，已描述了两种机械充氧器，它们具有完全不同的设计和运行机理。但每一种基

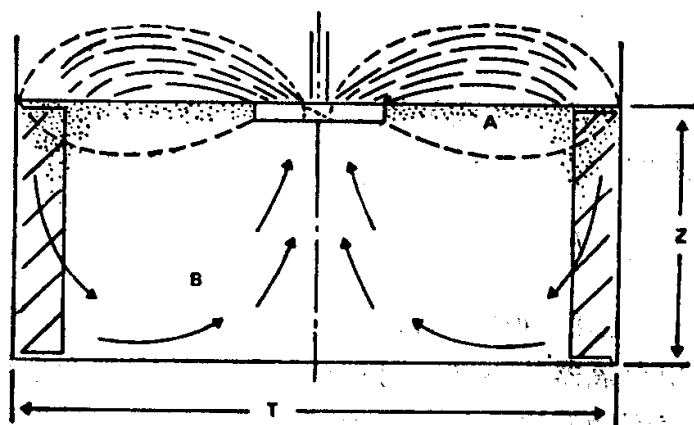


图 1-1 表面（机械的）曝气系统

系统设备：开式斜叶轮转子，上吸式涡轮，传质机理，局部强搅动区A，有效混合与循环区B。有关参数：输入功率，叶尖速度；池子几何形状 $(Z \cdot Z/T)$ ；表面涡轮的设计；有效混合与循环

本上都完成了相同的工艺目的。在表面曝气器中，液体被打碎和在连续气体介质中散开（即形成伞状）。对淹没式涡轮，压缩气体在规定深度处喷出，并作为较小的气泡分散在连续的液相内，以获得必须的气-液接触。两种装置均能有效地工作，但必须认识和使用不同的充氧器设计和关键的设计参数，以便当估价和应用（在最经济情况下）这些基本不同类型的充氧器时，有利于具体的废水处理。

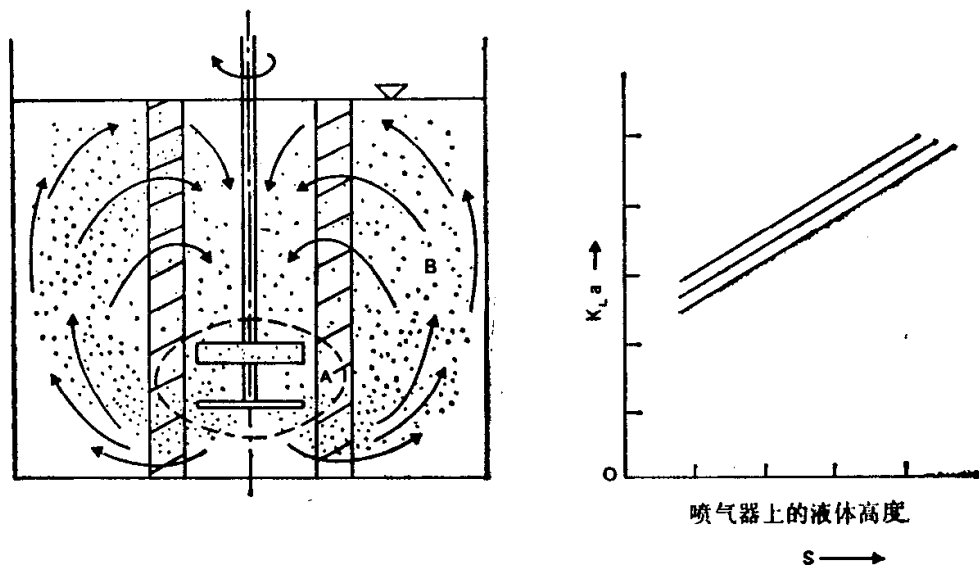


图 1-2 UNOX淹没式涡轮系统

系统设备：轴流式叶轮(体积混合，气体扩散)；旋转喷气器(产生气泡)。传质机理：局部的强搅动区A，自由气泡的上升区B。有关参数：输入功率的抽升率，进气率，池子的几何形状与喷气器的深度，叶轮与喷气器的设计，池内的液体混合

B. 传质能力

在空气和高纯氧两种曝气系统中，充氧器的质量传递功能是有用地利用能量(即动力)来增加废水中的溶解氧。充氧器的性能可用其总传质系数 $K_L a$ 来表示。该系数是液膜传质系数(K_L)与单位体积液体中所产生的气-液接触面积($a = \frac{A}{V}$)的乘积。

已经确认并有许多文献资料证明^[1]氧溶入水内的支配性阻力系液膜的阻力。根据所用充氧器的不同，可用截然不同的方式产生界面接触面 a 。机械表面曝气器通过对抽升到表面的液体施加一定的剪力，使形成一种散开的液体“伞”和伴随的表面紊流而产生界面面积。对淹没式涡轮喷气器系统来说，界面面积是通过喷气的一定剪力伴同有效的液体抽升作用和细气泡分散在整个液体内而产生的。

无论那一种系统，有效的运转取决于在液体抽升所用的能量与产生剪切和搅动所用的能量之间保持适当的平衡，即取决于充氧器叶轮保持适当的抽送特性。为了标称其功率，这两种输入能可用充氧器的总轴功率计。

在高纯氧溶解过程中，一般用90%至40%纯度的气态氧与废水(混合液)接触。然而，多年来充氧器一直在“标准”^①状态下用不稳定的空气和自来水进行试验和测定。那么，为了设计之用，特别需要精确和可靠的方法，能把高纯氧/废水情况转化成“标准”

① “标准”状态的定义是：试验介质为空气和自来水；大气压力为一个大气压(760毫米汞柱)，水温20°C，剩余的溶解氧(D.O.)为零。

的空气/自来水试验情况。

已经证实⁽¹⁾，使氧溶进指定液体的充氧器的总传质系数 $K_L a$ 相同，不论这气体介质是空气（21%氧）或高纯氧气体。即：

$$K_L a(\text{空气}) = K_L a(\text{高纯氧}) \quad (1-1)$$

对一定的充氧器，那么其传质（溶氧）速率等于 $K_L a$ 和推动力的乘积：

$$\text{氧的传递速率 (OTR)} = K_L a(C_s - C) \quad (1-2)$$

C_s 代表液体中氧的饱和浓度， C 代表液体中剩余氧的浓度。因此， $(C_s - C)$ 代表传质所能获得的总推动力。

高纯氧系统中溶解速率的增加直接起因于可资利用的较大推动力（较高的 C_s ），正如亨利定律所示：

$$C_s = H_{O_2} \cdot Y_{O_2} \cdot P_s \quad (1-3)$$

式中 H_{O_2} ——氧的亨利常数；

Y_{O_2} ——气相中氧的浓度；

P_s ——气相的压力。

例如： Y_{O_2} 为84%的高纯氧系统和 Y_{O_2} 为21%的空气系统相比，在其它条件相同的情况下，前者的 C_s 值增加到四倍。

此外，已建立了（a）从标准温度（20°C）换算成实际废水温度、（b）从自来水换算成废水运转时的经验公式。

$$K_L a_{s,0} = (K_L a)_T \cdot f(T) \quad (1-4)$$

$$K_L a(\text{自来水}) = K_L a(\text{废水}) / \alpha \quad (1-5)$$

$$C_s(\text{自来水}) = C_s(\text{废水}) / \beta \quad (1-6)$$

最后， $K_L a$ 也可用氧的传递速率表述如下

$$K_L a = \frac{\text{OTR}}{C_s - C} \quad (1-7)$$

综合上述等式，可以把充氧系统条件下的传递速率换算成“标准”条件下的传递速率（注意：“标准”条件如前所下定义）：

$$\frac{\text{STR}}{(C_{s,R} - 0)} = \frac{\text{OTR}}{\alpha[\beta(C_{s,T,P})Y_{O_2}/Y_{O_2,R} - \text{D.O.}]f(T)} \quad (1-8)$$

$$\text{STR} = \frac{(\text{OTR})(C_{s,R})}{\alpha[\beta(C_{s,T,P})\frac{Y_{O_2}}{Y_{O_2,R}} - \text{D.O.}]f(T)} \quad (1-9)$$

式中 STR——“标准”条件下的传递速率，（氧的磅数/小时）；

OTR——在氧的条件下的传递速率；

$C_{s,R}$ ——在标准条件（20°C，一个大气压，空气与自来水系统）下，水中氧的饱和浓度；

α 、 β ——在式5和6中所讨论的废水的特性；

Y_{O_2} ——在充氧系统的气体空间中氧的克分子分数；

$C_{s,T,P}$ ——在所论废水温度和气体空间压力条件下（参考空气和自来水系统），水中氧的饱和浓度；

Y_{O_2R} ——空气中氧的克分子分数；

D.O.——废水中的溶解氧（毫克/升）；

$f(T)$ ——温度改正因数， $f(T) = K_L a_T / K_L a_{20} = 0.60 + 0.02T$ ， T 是废水温度（°C）。

正如前述，这个等式的基本原理在于亨利定律，该定律建立了水中气体的饱和浓度与气体分压及水温的关系式。因不是讨论纯水，当在废水中运转时，必须用 α 和 β 来调整系统的实际传质能力。

1. α

α 系数定义为特定的气体传递装置在规定的相同条件下运转在废水中的 $K_L a$ 值和运转在自来水中的 $K_L a$ 值的比率。因而，对特定的溶解装置而言， α 值在规定的运转条件下只有一个。分析上其数值很难预计，因为废水对界面传质系数 K_L 和比表面积 a 的影响很复杂，有时影响相反。实验证明，表面活性剂、分散固体以及油脂的存在，对氧在气-液反应器中的传递增加了扩散阻力。然而，这种对传质系数影响的大小似乎也是局部紊流强度的函数。在某些特有的情况下，充分分散的颗粒由于引起气泡周围更强的紊流边界层而降低了膜的阻力。废水的物理化学特性以及运转条件也能影响总的接触比表面积。在溶盐浓度很高时，偶极静电力大大地减少了气泡的聚合力，因而增加了传质的界面面积 a 。

废水的粘度也能异常地影响 α ，它取决于特定的溶解装置。扩散型系统特别受后一参数的不利影响。

废水中 α 值的实验测定略有困难，因为必须同时确定几个参数。首先必须测定同等条件下自来水的传质系数。废水中有代表性的溶氧速率也要确定。已经证明，除了其它参数外，溶氧速率还依赖于局部的紊流程度、溶解氧传感器的精确度和批量取样地点，所以测定非常困难。曝气池中具有代表性的溶解氧量也要确定。鉴于在大型反应中所碰到的与理想混合条件所产生的差距，这又是一个有点困难的工作。

2. β

β 定义为一种气体在废水中的溶解度与其在水中的溶解度的比值。气体的溶解度主要受废水流中盐的浓度所影响。各种其它表面活性剂影响溶解度的程度较小。由于各种因素，实验确定 β 值变得困难。废水中溶解气体的浓度不能用标准的滴定法精确地确定，因为各种溶解态化学物质的作用未知。因而，废水中饱和平衡浓度测量的精确性受到溶解氧传感器的准确性所限制。

C. 混合和固体悬浮

液体的抽升和整体液体的混合通过以下几个方面对总的传质性能发挥重要的作用：

(a) 有效地分配表面富氧流体（对表面曝气来说）；(b) 有效地扩散气泡（对淹没式涡轮系统来说）；(c) 在整个曝气池里保持较均匀的溶解氧量。第二个有关混合的主要作用是保持生物固体实际上处于悬浮状态。

生物固体的悬浮基本上是一种对流速敏感的操作。紊动的旋涡使固体保持运动。然而要使生物固体悬浮成相当均匀的程度，维持流速标准和所形成的由顶至底的环流模式是关键，

在混合液悬浮固体量一般由3000至6000毫克/升的（或更大的）普通纯氧曝气系统二级处理应用中，0.3至0.5英尺/秒的液体“冲刷”速度被认为是生物固体有效悬浮的最小值^[4]。这些速度值与充氧器的抽吸程度及曝气池的几何形状有关。通过广泛的试验和现

场测定已经得出其适当的相互关系。

在自来水试验中，可接受的最小冲刷速度一般规定为约等于上述规定值（0.3至0.5英尺/秒）的两倍。应用在自来水实验实例中这个因数的作用是想说明：和实际混合液相比，其中存在的表面张力和生物固体减少了，而它们一般对形成的冲刷速度具有抑制作用。

充氧器的大小和类型与曝气池的大小和造形（几何形状）的配合也对混合以及传质效率具有一定的作用。这种作用能按下述条件确定：（a）理论循环率（充气器抽吸率）对池子的液体量之比；（b）池子的几何参数，例如表面积、绝对液体深度（ Z ），或深宽比（ Z/T ）。当充氧器很适合池子大小和形状时，就能产生最佳效率。假如设计受限制，以致在过大的池子内或在不利的几何形状情况下必须应用特别的充氧器时，则氧传递效率可能降低达15%至25%之多。

机械表面曝气器最理想的情况是应用在较浅的池形内，其 Z/T 比一般小于或等于0.3，其绝对液体深度在大多数情况下为18英尺或更小，池面积必须足够，以使液“伞”充分展开和使伴随的表面紊动也充分形成。池子的液体深度必须限制到可受表面叶轮直接作用的深度，以产生必要的液体混合及池底冲刷速度。如果适当的补充混合装置同表面充气设备结合在一起使用，则较深的池子也能适用。

反之，淹没式涡轮系统最好应用于较深的池形，其 $Z/T \geq 0.5$ 。较小的表面积及较深的造型更适合于气泡有效的扩散和使气泡停留时间尽量增长。淹没泵的叶轮有效地控制着池内液体的混合和固体的悬浮。在一些高纯氧的淹没式涡轮系统设计中，很满意地采用了25至30英尺的绝对液体深度。

D. 充氧器的布置

如前所述，高纯氧曝气系统的反应器一般由平行的多级分隔反应器组成，每一个分隔反应器又分成若干独立的气液反应间隔。最普通的设计是每间隔有一个充氧器运转。从水力学的和总的特性观点看来，设计两个或更多的充氧器运转在同一的液体间隔内或者设计两个或更多的气体间隔在共同的液体间隔内也是可行的，有时还希望如此。在一个液体间隔内或称完全混合的液体系统内分成若干气体间隔也是可行的。这些设计概念已在反应器设计受限制或特别的工艺要求使这些办法更具有优点的地方应用。反应器设计细节及典型的分隔反应器示意图编在本章的较后几节。

充氧器是在完全由挡板控制的水力条件下运行的。池内的挡板要确保稳定的水力运行条件和有效的由顶至底的环流过程。适当的阻挡将把旋转或切线方向的液流分速度（这是由旋转轴混合器引起的）减少到最小，并防止会降低混合和传质效率的分层混合。这些防止旋流的垂直挡板可分散装设在池壁，或装在充氧池诸级分散的位置。

III 机械表面曝气器

A. 物体描述

UNOX 表面曝气系统包括一种低比速的水泵叶轮，安装在一根垂直钢轴上并置于曝气池靠近液面的水平平面上（图1-3）。这种曝气池间隔的基本形状是正交的平行六面体，

其上表面可以是正方形或矩形。池内一般装设防止旋流的垂直挡板，以消除过度的旋转流动，并确保在优良的由顶至底的循环和混合情况下，具有稳定的抽运功率。

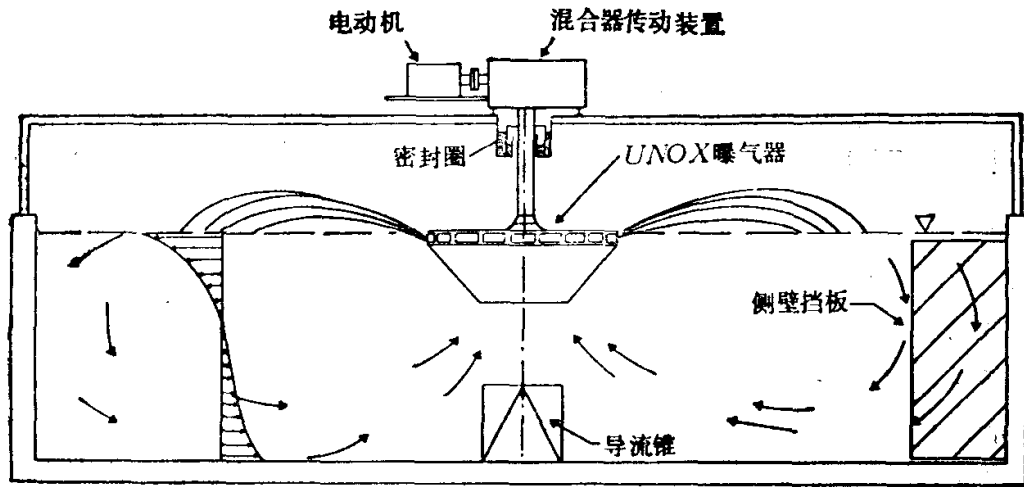


图 1-3 UNOX表面曝气系统示意

B. 运行原理

1. 水力学和传质

在运行时，液体被吸进曝气器，其后以一种称为液“伞”的液体射流形式向外喷出。液“伞”和紊动的液面两者均大大增加气-液传质接触面。在液“伞”内及其表面刚曝过气的液体和其余的大部分整体液体混合，因此成为传递氧的媒介物，它把氧从液体上方的气相通过液面传递到整个液体内部。就这样，曝气器不仅进行了传质，也获得了混合效果。

良好的整体液体的循环流动主要受液体射流伞有效地进入或撞入液面的情况所支配，在较小程度上受涡轮下的抽吸作用所支配。良好的液伞撞击宽度与池宽之比 (D_u/T) 对气泡的合理释放具有重要意义，它使液体动量不在池壁消散，而被有效地用来产生良好的整体液体的循环和混合。当伞径等于池宽的50~60%时，效果最佳。当伞径大大超过该范围时，一些液体动量消耗于驱赶携带的气泡沿壁流下，因为这些气泡要逆着向下流的液体向上浮起。这种状况的最后结果就大大地减少了池内的液体循环，并且在较深的池形中，还能导致形成流动不畅的池底区，因为在液体半深处产生一种“短路”的由顶至底的循环圈。

表面张力较小的液体（典型的废水特性）对 D_u/T 比值较敏感。特别在较深的池内，液流动量和带气泡浮力之间的平衡变得更加重要，因为在含有表面活性剂（SAA）的曝气水内气泡数大大增加。无论在浅或深的池内，底部流速减小得很多。尽管这种组合的速度通常在浅池内是可接受的，但在许多情况下，对高 D_u/T 比的深池混合而言，则完全是不能接受的。

表面曝气系统的溶氧速率通常受下列因素的控制：抽吸的液体量或循环流过表面曝气区的液体量、在界面两边的浓度差推动力 ($C_s - C$)、曝气器所产生的总的表面紊动程度和在曝气区内取得的气-液接触面积等。氧的传递速率的一半是由经过抽升而直接通过曝气器的液体所产生。另一半则由进入表面紊动区的液体的曝气作用产生。

在UNOX表面曝气系统中，绝大部分氧的传递发生在液体喷射过程和液伞撞入液面后