

流动床TM生物膜反应器工艺在市政污水处理中的应用

廖足良¹, 喻培洁², Hallvard Ødegaard³

(1. AnoxKaldnes AS, Tønsberg, 挪威; 2. Pia Welander AnoxKaldnes AB, 瑞典; 3. 挪威科技大学
水与环境工程系, Trondheim, 挪威)

摘 要: 流动床TM生物膜反应器(MBBRTM)工艺基于生物膜工艺的基本原理, 又利用活性污泥工艺中生物量悬浮生长的特性。本文试图总结该工艺的主要特点和优势, 总结该工艺在市政污水处理中去除有机物和脱氮除磷方面的研究和工程应用。

1 简介

生物膜广泛存在于自然界和人类活动中。例如自然界中, 土壤中的微生物吸附在土壤颗粒表面, 形成生物膜, 当从土壤的空隙流过的水中污染物(或基质)与土壤表面的生物膜接触, 污染物被生物降解, 因而污水被净化。生物膜一般具有很长的固体停留时间(SRT)。这有利于在不断的液流流过和基质利用过程中形成较为致密又布满孔隙的生物膜的微型空间结构。尽管生物膜的致密程度由于各方面因素(液流流速, 基质浓度, 供氧状态等)不同而异, 其共同的非整形(Fractal)结构特征已被广泛认同。非整形的空隙孔径分布使得不同颗粒粒径的污染物(基质)都能够被生物膜通过不同的途经被捕获和生物降解。生物分解的产物也通过空隙传输到生物膜以外, 进入水流中。当生物膜厚度达到基质难以进入最内层时, 营养不足将导致生物膜本身被内源分解。这样, 生物膜的厚度将随其外部生长条件的变化而变化, 并处于动态平衡。由于单位体积的生物膜量很大, 生物反应器容积则可以很小, 达到高效紧凑的工艺流程目标。然而, 在自然界的生物膜和固定式生物膜反应器中, 被处理的污染物不很容易扩散到生物膜的内部, 在好氧状态, 氧分子也不很容易均匀扩散到生物膜内。同时, 老化的生物膜和生物降解产物也不易于传送到生物膜外。这样, 固定式生物膜反应器在理论上的优越性并没有得到充分的发挥。加上采用的挂膜材料(生物填料)可能易于变形和垮塌, 使固定式生物膜反应器的应用受到很大的影响。生物流化床工艺利用流化的颗粒填料, 很好地解决了脱落的生物膜堵塞反应器的问题。流化床中采用的填料是颗粒填料, 如砂, 或其他人工烧结的以黏土为骨料的轻质填料。粒径小的颗粒填料虽易于流化, 也易于被水流带走, 颗粒大的填料不易于流化, 需要很高的流化速度。为使填料保留在反应器中, 适当的结构措施(如斜板)是必要的。为达到流化的目的, 流化床反应器的结构设计必然较为复杂。当流化速度大时, 生物膜不易于附着在颗粒填料表面, 所以, 颗粒填料的巨大表面积并没有得到充分利用。多孔型轻质填料虽然使有效表面积增加, 但并不能根本改变这一局面。此外, 当采用好氧生物流化床时, 曝气充氧不易于与流化过程结合起来。

活性污泥法在二十世纪初应用于污水处理以来得到很大的发展, 主要是由于其系统相对简单, 处理效果在系统运行稳定情况下比较好。但长期以来, 活性污泥经受负荷冲击、温度变化(特别是低温)、毒性影响、污泥膨胀的脆弱性困扰。污泥流失和系统效率低下是许多污水处理厂经常面对的问题。一种能结合生物膜法的较高污泥浓度、长泥龄和无需污泥回流, 以及活性污泥法的无堵塞和配水及混合均匀的特点的生物处理工艺将使生物处理变得高效、稳定和容易维护管理。流动床TM生物膜反应器(MBBRTM)工艺很好地反映了这样的要求。由 AnoxKaldnes 集团完成的采用 MBBRTM 工艺的市政和工业污水处理项目已达 350 多个, 广泛应用于包括中国在内的全球 43 个国家。

2 流动床TM生物膜反应器工艺的基本原理和工艺特点

2.1 基本原理

流动床TM生物膜工艺运用生物膜法的基本原理，充份利用了活性污泥法的优点，又克服了传统活性污泥法及固定式生物膜法的缺点。技术关键在于研究和开发了比重接近于水，轻微搅拌下易于随水自由运动的生物填料。生物填料具有有效表面积大，适合微生物吸附生长的特点。填料的结构以具有受保护的可供微生物生长的内表面积为特征。当曝气充氧时，空气泡的上升浮力推动填料和周围的水体流动起来，当气流穿过水流和填料的空隙时又被填料阻滞，并被分割成小气泡。在这样的过程中，填料被充分地搅拌并与水流混合，而空气流又被充分地分割成细小的气泡，增加了生物膜与氧气的接触和传氧效率。在厌氧条件下，水流和填料在潜水搅拌器的作用下充分流动起来，达到生物膜和被处理的污染物充分接触而生物分解的目的。流动床TM生物膜反应器工艺由此而得名。其原理示意图如图 1 所示。因此，流动床TM生物膜工艺突破了传统生物膜法（固定床生物膜工艺的堵塞和配水不均，以及生物流化床工艺的流化局限）的限制，为生物膜法更广泛地应用于污水的生物处理奠定了较好的基础。

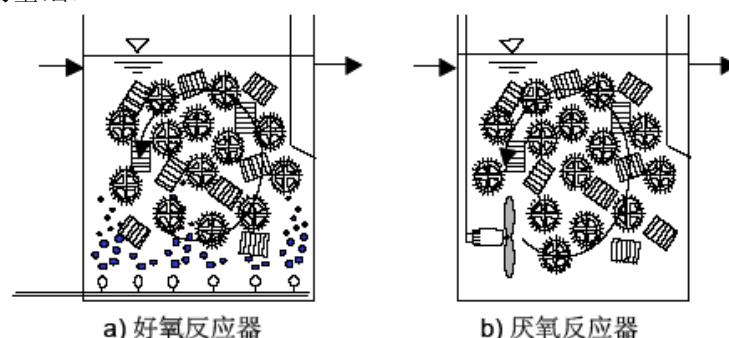


图 1 流动床TM生物膜工艺原理示意图

2.2 工艺特点

流动床TM生物膜工艺的特点包括：

① 容积负荷高、紧凑省地：容积负荷取决于生物填料的有效比表面积。不同填料的比表面积相差很大。AnoxKaldnes 集团开发的填料比表面积可以从 200 平方米/立方米到 1200 平方米/立方米填料体积的范围内变化，以适应不同的预处理要求和应用情况。

② 耐冲击性强、性能稳定、运行可靠：冲击负荷以及温度变化对流动床TM工艺的影响要远远小于对活性污泥法的影响。当污水成分发生变化或污水毒性增加时，生物膜对此的耐受力很强。

③ 搅拌和曝气系统操作方便，维护简单：曝气系统采用穿孔曝气管系统，不易堵塞。搅拌器采用具有香蕉型搅拌叶片，外形轮廓线条柔和，不损坏填料。整个搅拌和曝气系统容易维护管理。

④ 生物池无堵塞，生物池容积得到充分利用，没有死角：由于填料和水流在生物池的整个容积内都能得到混合，从根本上杜绝了生物池的堵塞可能，因此，池容得到完全利用。

⑤ 灵活方便：工艺的灵活性体现在两方面。一方面，可以采用各种池型（深浅方圆都可），而不影响工艺的处理效果；另一方面，可以很灵活地选择不同的填料填充率，达到兼顾高效和远期扩大处理规模而无需增大池容的要求。对于原有活性污泥法处理厂的改造和升级，流动床TM生物膜工艺可以很方便地与原有的工艺有机结合起来，形成活性污泥—生物膜集成工艺（HYBASTM工艺）或流动床TM—活性污泥组合工艺（BASTM工艺）。

⑥ 使用寿命长：优质耐用的生物填料，曝气系统和出水装置可以保证整个系统长期使用而不需

要更换，折旧率较低。

2.3 工艺基本物理要素

流动床TM生物膜工艺的基本物理要素包括：生物填料、曝气系统或搅拌器系统、出水装置、池体。图 2 所示为工艺基本物理要素示意图。

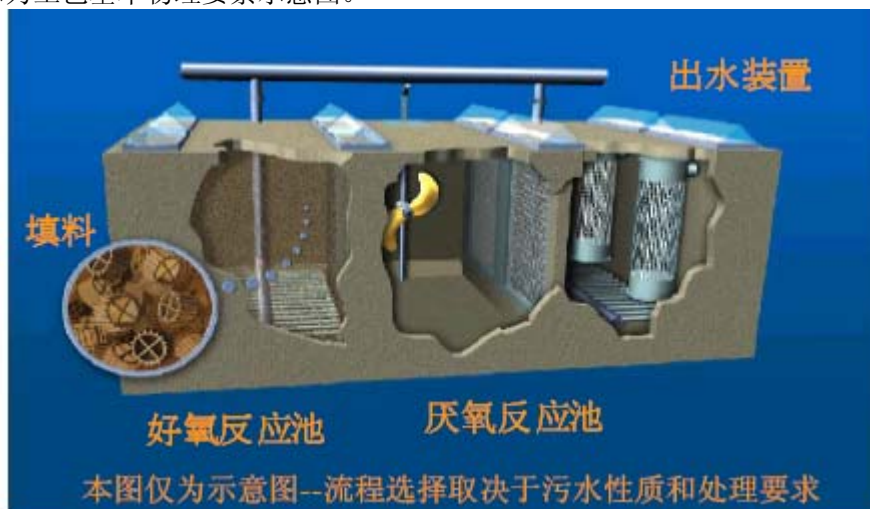


图 2 流动床生物膜工艺的基本物理要素

生物填料：针对不同性质的污水及出水排放标准，我们开发了一系列不同的生物填料，比表面积介于 $200 \sim 1200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ （如 K1、K3、NATRIX、BIOFILM-CHIP 等），以适用各种处理要求。当预处理要求较低，或污水中含有大量纤维物质，如市政污水处理中不采用初沉池，或者在处理含有大量纤维的造纸废水时，采用比表面积较小、尺寸较大的生物填料。当已有较好的预处理，或用于硝化时，采用比表面积大的生物填料。生物填料由塑料制成。填料的比重介于 $0.96 \sim 1.30$ 之间。

曝气系统：由于生物填料在生物池中的不规则运动，不断地阻挡和破碎上升的气泡，曝气系统只需采用开有中小孔径的多孔管系，这样，不存在微孔曝气中常有的堵塞问题和较高的维护要求。曝气系统要求达到布气均匀，供气量由设计而定，并可以控制。

搅拌器系统：厌氧反应池中采用香蕉型叶片的潜水搅拌器。在均匀而慢速搅拌下，生物填料和水体产生回旋水流状态，达到均匀混合的目的。搅拌器的安装位置和角度可以调节，达到理想的流态。生物填料不会在搅拌过程中受到损坏。

出水装置：出水装置要求达到把生物填料保持在生物池中，其孔径大小由生物填料的外形尺寸而定。出水装置的形状有多孔平板式或缠绕焊接管式（垂直或水平方向）。出水面积取决于不同孔径的单位出流负荷。出水装置没有可动部件，不易磨损。

池体：池体的形状是否规则、深浅以及三个尺度方向的比例基本不影响生物处理的效果，可以根据具体情况灵活选择。搅拌器系统的布置也需根据池型进行优化调整，池体材料不限。在需要的时候，池体可以加盖，并留有观察窗口。

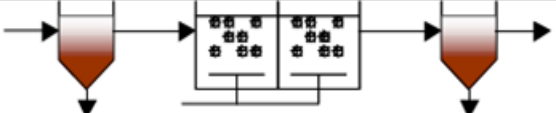
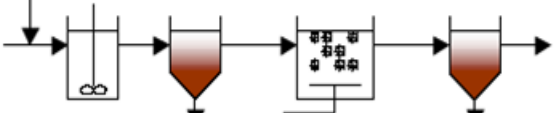
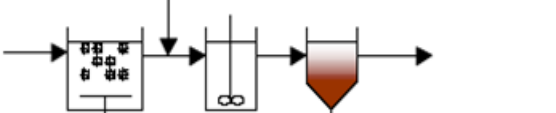
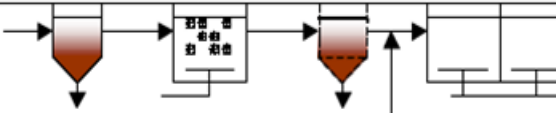
3 流动床TM生物膜反应器工艺的常用流程

污水生物处理的目标包括去除有机物，生物脱氮和除磷。去除有机物的工艺流程相对简单一些，而脱氮除磷工艺则较为复杂。

3.1 去除有机物工艺流程

一般而言，去除有机物工艺流程较为简单。对于一般二级生物处理，出水 BOD 要求为 25 mg/L 时，一般采用两级流动床™ 流程。如二沉池前设有混凝单元，或一级处理中采用化学沉淀，则可采用一级流动床™ 流程。对于出水 BOD 要求为 10 mg/L 时，采用两级流动床™ 流程，并需要采用化学沉淀一级处理，或者混凝沉淀二沉池。对于采用流动床™ 工艺作为活性污泥工艺的生物预处理对付冲击负荷时，则可采用一级流动床™ 流程。以上各种情况的设计负荷因预处理工艺的不同和 BOD 去除要求的不同而异。表 1 列举了可能的工艺流程。

表 1 应用流动床™ 生物膜工艺去除有机物的工艺流程

	流程	备注
1)		常规二级处理
2)		常规二级处理 (强化一级 及化学除磷)
3)		常规二级处理 (强化二级 及化学除磷)
4)		强化二级处理 (强化二级 及化学除磷)
5)		强化二级处理 (强化一级 及化学除磷)
6)		常规二级处理 (流动床工艺 为预处理- BAS™工艺)

3.2 生物脱氮工艺流程

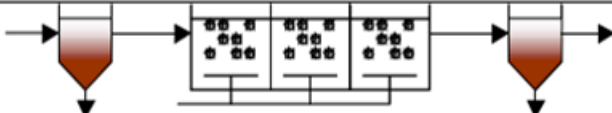
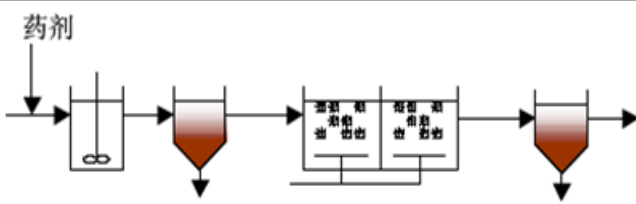
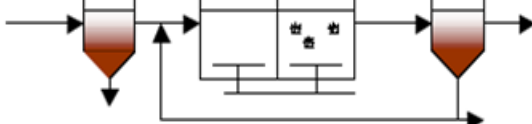
生物脱氮的途经一般包括两步：第一步是硝化，将氨氮氧化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。这一步由于硝化菌生长缓慢而需要很大的生物池容积。硝化只有在有机物氧化基本完成后才易于进行，是因为氧化有机物的异养菌生长迅速。硝化可以单独进行；第二步是反硝化，在厌氧条件下将硝酸盐氮还原为分子氮而逸出。这一步很快，不是脱氮的控制因素。硝化是否前置或后置，取决于污水中碳源的质和量。

① 硝化工艺流程

当采用常规一级处理时，一般采用三级流动床TM工艺流程，其中第一个反应池用于有机物的去除，第二和第三个反应池用于硝化。当采用化学沉淀强化一级处理去除大部分悬浮物和胶体物质时，可以采用两级流动床TM工艺流程，溶解性有机物的氧化和部分硝化在第一反应池中进行，而第二反应池则用于硝化。当采用活性污泥法全流程（预沉—活性污泥—二沉）去除有机物时，可以采用一级或两级流动床TM工艺进行硝化。

当对活性污泥法工艺去除有机物的污水处理厂升级改造为硝化工艺时，采用活性污泥—生物膜集成（HYBASTM）工艺能够很灵活地解决问题。在现有的活性污泥池中投加生物填料，这样，活性污泥将与生物膜共存于同一反应池中。活性污泥将主要去除有机物，而吸附生长于生物填料表面的硝化菌则完成硝化作用，充分利用了两种工艺的优点，从而充分利用现有工艺条件又达到升级改造的双重目的。这种工艺的灵活性还体现在生物填料的填充率可以根据需要在 30%至 67%之间选择。在这一工艺中需要回流污泥以保持反应池中的 MLSS 污泥浓度。表 2 列举了有关工艺流程。

表 2 应用流动床TM生物膜工艺去除有机物及硝化工艺流程

	流程	备注
7)		有机物去除 及硝化
8)		有机物去除 及硝化 可化学除磷
9)		有机物去除 及硝化 HYBAS TM 工艺

② 生物脱氮工艺流程

生物脱氮包括硝化和反硝化。反硝化需要碳源。当碳源可以由污水中的溶解性 BOD 提供时，应充分利用，如污水中碳源不足，则要外加碳源。外加碳源可以由污泥水解而产生的富含挥发性有机物提供，也可以是其他来源，如工业用甲醇或乙醇或其他工业生产的高浓度溶解性有机废物。反硝化工艺可以前置或后置，或同时前后置。

当污水中碳源充足时，反硝化前置充分利用现成的碳源，剩余有机物才被好氧氧化。后置的硝化出水回流到反硝化池。此时可以采用三级流动床TM工艺流程，第一反应池为厌氧反硝化，第二反应池为有机物好氧氧化，第三反应池为好氧硝化池，硝化池出水按反硝化效率计算得来的回流比回流到前置反硝化池。

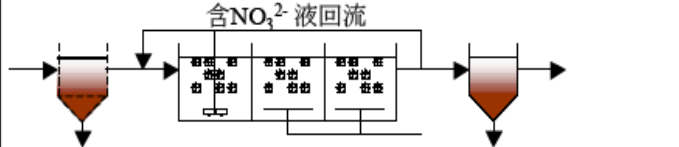
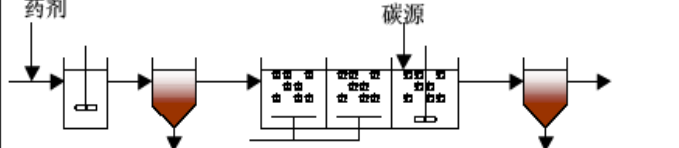
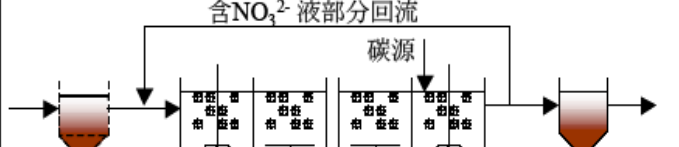
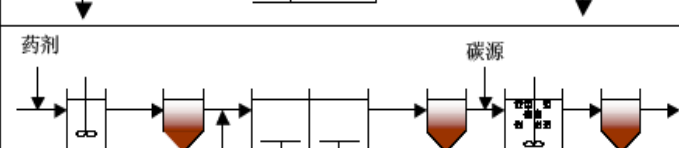
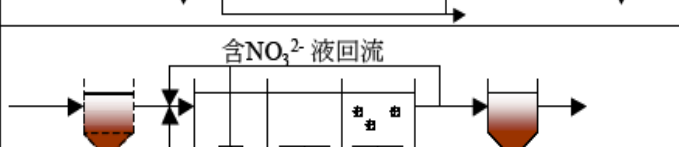
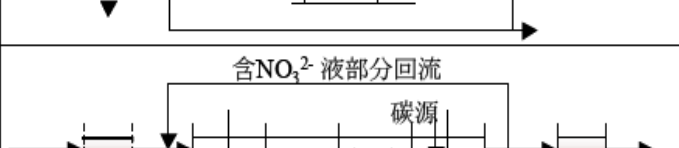
当污水中碳源严重不足时，采用后置反硝化工艺，外加碳源可以来源于污泥水解的上清液，并补充部分碳源。此时由于污水中有机物主要以颗粒以及胶体形式存在，强化一级处理会很有效地减少有机物好氧氧化池的体积，同时，颗粒状有机物也充分地保留在污泥中并经水解后用作反硝化的碳源。此时采用后置反硝化的三级流动床TM工艺流程，无需回流硝化池出水。第一第二池用于有机物氧化和硝化，第三池为反硝化池。

当污水中碳源不足但可以利用时，则可以采用反硝化同时前置和后置的流动床™工艺。此时采用四级流动床™工艺流程，第一池为前置反硝化，第二和第三池为有机物氧化和硝化（该两池可以合并为一池），第四池为后置反硝化，未完全反硝化的出水以适当的回流比回流到第一池中。

流动床™工艺与活性污泥工艺有机结合起来，也可以达到生物脱氮目的。当现有的活性污泥法硝化污水处理厂升级时，可以在其后增设流动床™单池工艺进行反硝化。

HYBAS™工艺也能很好地适应于生物脱氮。在活性污泥法中为了达到硝化，好氧泥龄应很长，污泥浓度较高，容易导致丝状菌的大量繁殖，而出现污泥膨胀和难以沉淀。而在HYBAS™工艺中，利用生物填料来富集生长缓慢的硝化菌，从而可以利用生物膜来进行硝化，利用较短泥龄的活性污泥去除有机物。富含硝氮的水流以按照反硝化效率而确定的回流比回流到前置的反硝化厌氧/缺氧池中。前置反硝化池中未被利用的溶解性有机物（超过反硝化需要的部分）和可生化降解的颗粒有机物则在后续的有机物氧化池及HYBAS™池中被分解。HYBAS™工艺生物脱氮因而包括三池，第一池为活性污泥反硝化池，第二池为活性污泥有机物氧化池，HYBAS™池进行硝化和最后的有机物氧化。表3列举了相应的工艺流程。

表 3 应用流动床™生物膜工艺去除有机物及硝化工艺流程

流程	备注
10) 	前置反硝化 (碳源充足)
11) 	后置反硝化 (碳源缺乏)
12) 	前后置反硝化 (碳源不足)
13) 	后置反硝化 (碳源缺乏) 与活性污泥法 结合
14) 	前置反硝化 (碳源充足) HYBAS™工艺
15) 	前后置反硝化 (碳源不足) HYBAS™工艺

3.3 生物脱氮除磷工艺流程

磷和氮一样都是引起水体富营养化的主要因素。磷污染主要来自工业和生活污水。生物除磷是利用自然界存在的聚磷菌（PAO）在厌氧条件下以释放微生物体内储存的磷酸盐而产生足够的能量而利用挥发性有机酸（VFA）为碳源，而得到迅速繁殖，挥发性有机酸被转化为有机聚合物（PHA）储存在污泥中。在好氧（以及缺氧）条件下，PAO 反过来又利用 PHA 为能源和碳源，以远远高于微生物生长所需的比例大量吸收污水中的磷酸盐，达到将污水中的磷转化为污泥中的磷，并通过排除富含磷的剩余污泥达到污水生物除磷的目标。

生物除磷的效率取决于两方面：

① VFA/P 的比例高于 10 ~ 20 倍，保证有足够的 VFA，促进 PAO 的繁殖。当生物脱氮需要同时进行，并采用前置反硝化时，VFA 常不足，不能二者兼得。

② 二沉效率问题—出水中悬浮物/生物量不能有效去除时，磷也随之排出。提高二沉池效率是保证出水中磷达标的又一关键。为此往往需要投加药剂，特别是出水磷标准为小于 0.5 mg/L 的情况。

生物脱氮和除磷结合在同一系统，可以采用活性污泥—流动床集成（HYBAS™）工艺的处理流程。常用的流程包括基于 UCT 工艺或改良 UCT 工艺的 HYBAS™ 工艺。在 UCT 工艺中，第一池为厌氧池，用于厌氧释放磷和聚磷菌的繁殖。第二池为缺氧池，用于前置反硝化和部分磷吸收。第三和第四池为好氧池，第三池可以是活性污泥池也可以是 HYBAS™ 池，第四池一定是 HYBAS™ 池。硝化主要在生物填料中进行，而活性污泥部分则进行氧化和磷吸收。回流包括水和泥两部分。水回流又分为富含硝酸盐的水从第四池出水回流到第二池（缺氧池）池首进行反硝化，以及第二池的出水（硝酸盐浓度很低）回流到第一池（即回流部分聚磷菌）。污泥从二沉池回流到第一和第二池以保持系统的污泥浓度。如果第二池的反硝化不彻底，从该池回流到第一池的水中硝酸盐会竞争 VFA，从而抑制 PAO 的繁殖，使系统的除磷效果降低。为达到较好的生物除磷效果，可以将第二池一分为二，使反硝化回流和除磷回流不相互交叉。这样形成改良 UCT 工艺。

4 流动床™生物膜反应器工艺的应用

流动床™生物膜反应器（MBBR™）工艺自 1989 年首次应用于挪威 STENSHOLT 市政污水脱氮处理以来，已广泛应用于全球三百余个市政污水和工业废水的处理工程，既可用于新建项目，更方便于老厂的改造和升级换代。其中，市政污水处理厂百余座，工业（造纸、制药、食品、奶制品、酿造、化工、石油、电子、钢铁、机械、海洋、船舶、印染、医院、机场等）废水处理工程一百五十余个，水产养殖水处理站五十余个。还有约 5000 个微型处理单元应用于德国和比利时的乡村和度假村。下面列举应用于市政污水处理的例子。

4.1 LILLEHAMMER 市政污水处理厂

采用流动床™生物膜（MBBR™）工艺进行脱氮。LILLEHAMMER（利勒哈默尔）是挪威的一个内陆城市，地处奥斯陆以北约 170 公里。在这里成功地举办了 1994 年第十七届冬奥会。

该市原有一个化学沉淀除磷及悬浮物的强化一级污水处理厂。随着接纳水体 MJØSA 湖逐渐富营养化，以及该市赢得冬奥会举办权，市政府决定扩建及升级原有污水厂为脱氮除磷污水处理厂。

出水水质要求（年平均）：总磷<0.2 mg/L，总氮>70%，BOD₇<10 mg/L。因场地有限，低温（>3.5℃）低浓度污水持续时间长，要求处理工艺必须高效和紧凑。1992 年，KALDNES 公司（AnoxKaldnes AS 的前身）为该工程设计了以流动床™生物膜工艺去除有机物和脱氮的经典流程，接以化学沉淀法除磷的总体工艺。设计负荷为：700000 人口当量，设计流量 1200 m³/h，BOD 负荷 2900 kg/d，COD

负荷 5929 kg/d, TSS 负荷 2900 kg/d, TN 负荷 755 kg/d, TP 负荷 107 kg/d, 温度 10℃。

设计流程如下:

生物处理: 流动床TM生物膜工艺, 总容积 3840 m³, 两列并行, 每列九池串联, BOD 去除/前置反硝化、硝化, 后置反硝化(外加碳源)、后氧化。生物处理设计 HRT 为 3.2 h。

化学处理: 絮凝(投加 PAC)、二沉, 除磷及悬浮物/生物量。

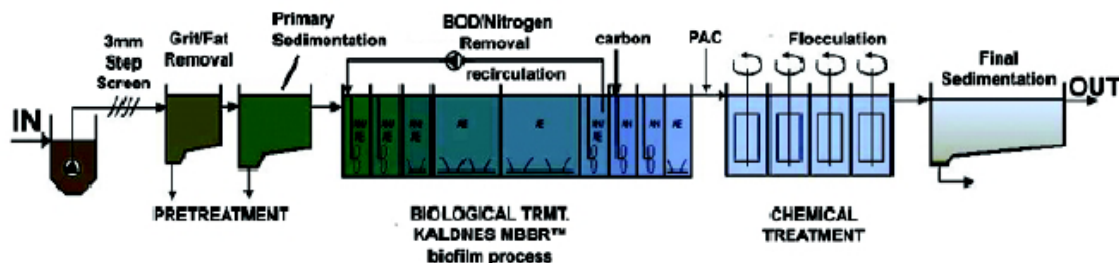


图 3 LILLEHAMMER 市政污水厂流程图

该厂自 1994 年投产运行以来, 处理效率高于设计要求。2000 年全年平均处理效率为: BOD 96%、TN 80%、TP 98%。

特别值得一提的是, 1995 年春汛期间该厂停车月余, 恢复生产后 48 小时内, 硝化达到设计水平。充分显示流动床TM生物膜工艺的优越性。

4.2 BROOMFIELD 市政污水处理厂

采用 HYBASTM 工艺去除有机物和除磷脱氮。BROOMFIELD 地处美国科罗拉多州, 其市政污水处理厂需要扩建以满足除磷脱氮要求。原有活性污泥处理工艺仅能去除 BOD。除了处理规模需要扩大近一倍(由 5 百万加仑到 8 百万加仑)外, 出水还需要达到 TP 小于 1 mg/L, 氨氮小于 2 mg/L, 硝酸盐氮低于 10 mg/L, 以及 BOD 不大于 10 mg/L。KALDNES 北美分公司(AnoxKaldnes Inc.的前身)于 2001 年在现场进行了 HYBASTM 工艺的试验研究, 与其他三个方案进行平行对比研究, 被确定为最有效和稳定的处理工艺。

该工艺利用生物填料的巨大有效表面积促使生长缓慢的硝化菌生长, 而活性污泥则主要用于有机物的氧化。通过改变填料的填充率, 可有效地调整硝化部份的生物量。

该厂的处理流程如图 4 所示。第一池为反硝化, 第二池为除磷(磷释放), 第三和第四池为反硝化, 第五和第六池为 BOD 氧化和硝化。

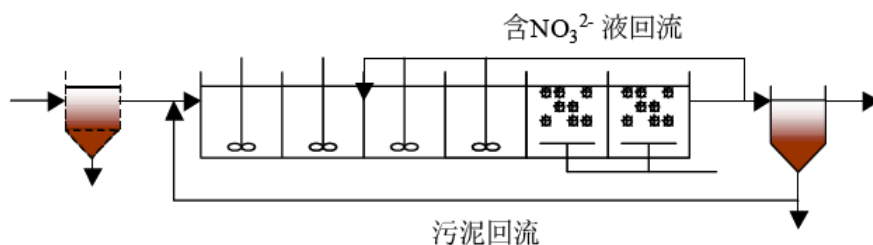


图 4 HYBASTM 工艺流程图

运用该工艺, 在没有新建生物池的前提下, 达到了既扩大规模, 又提高处理效率, 达到脱氮除磷的目的。利用原有活性污泥池小部份容积改建为前置反硝化池(活性污泥法), 其余大部份容积改建为 BOD 氧化池以及硝化池(HYBASTM 工艺)。

设计负荷: 流量 1262 m³/h, BOD 4411 kg/d, TSS 2950 kg/d, TN 1394 kg/d, TKN 1235 kg/d,

$\text{NH}_3\text{-N}$ 1125 kg/d, $\text{NO}_3\text{-N}$ 159 kg/d, $\text{PO}_4\text{-P}$ 227 kg/d。

该厂自 2002 年 11 月投产以来, 完全满足设计要求。在设计水温 13°C , HRT 4.5 h 情况下, 平均 SRT 小于 4.5 d。处理效率为: BOD 91%、COD 89%、TN 80%、氨氮 96%、TSS 93%。

4.3 MOA POINT 市政污水处理厂

BASTM 工艺 (MBBRTM 工艺作为预处理) 去除有机物。惠灵顿是新西兰的首都, 人口约十六万。MOA POINT 市政污水处理厂就是为该市而建, 于 1998 年运行。自 1898 年以来, 该市污水就通过 MOA POINT 向海域排放。自 1992 年起, 污水仅作预处理。污水污染了美丽的海滩, 并且吸引了大量的海鸟, 对临近的国际机场造成相当大的威胁。由于 MOA POINT 临近机场和商住区, 场地有限, 而处理后的出水要达到适合于可游泳并无异味的严格要求。所以, 紧凑高效的处理工艺是首选。

1995 年 2 月该市与英国安格利安水务签署了 25 年的 BOT 合同, 以 KALDNES 公司的流动床TM工艺技术为核心, 于 MOA POINT 建设污水处理厂。

工艺流程如下: 生物处理: 包括流动床生物膜预处理去除 BOD, 固体接触活性污泥池 (三个, 每个分两区, 回流活性污泥经预氧化后与流动床生物膜池出水混合后, 进入生物絮凝池)。二沉池出水紫外线消毒, 达到大肠菌少于 200/100 mL。

设计负荷: 平均流量 $65000\text{ m}^3/\text{d}$, 峰值流量 $3\text{ m}^3/\text{s}$; BOD 负荷 15000 kg/d ; SS 负荷 25000 kg/d ; 温度 $12\sim-25^\circ\text{C}$ 。设计出水水质要求: BOD 小于 20 mg/L , SS 小于 30 mg/L 。

该厂自 1998 年 7 月运行以来, 实际出水水质为 BOD 小于 10 mg/L , SS 小于 5 mg/L 。

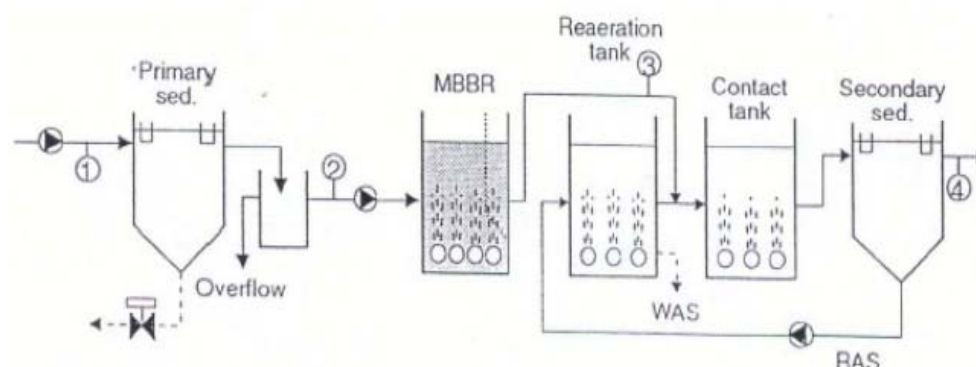


图 5 MOA POINT 市政污水厂流程

5 结语

流动床TM生物膜工艺及其与活性污泥的集成工艺 HYBASTM 工艺, 以及组合工艺 BASTM 工艺经 15 年多遍及全球 43 个国家和地区的 350 多个市政和工业污水处理项目的实践检验, 证明是高效省地、适应性强、耐用、维护管理较简单、应用广泛的先进污水处理工艺技术, 不仅适用于新建项目, 而且更适应于老厂的升级改造。在改造中, 成功地解决了占地要小而处理效果要好, 充分利用污水中碳源而且除磷脱氮二者兼得的矛盾。具有广泛的应用前景。

参考文献 (略)