

除磷脱氮新工艺在昆明市第二污水处理厂中的应用

胡大卫 姚念民 冯生华

[提要] 本文在分析 A²/O 处理工艺的基础上, 结合昆明市第二污水处理厂的工程设计, 介绍了我国首次采用的“以多格串联厌氧池和同心圆 BOD·P/N 池为主体的除磷脱氮新工艺。

[关键词] 城市污水 A²/O 工艺 生物脱磷 生物脱氮 化学脱磷 污水处理厂

当污水最终排入水体 (特别是封闭的湖泊水体) 时, 不仅要求控制排放污水中的 COD 量, 而且要求控制氮磷污染物的含量。普通活性污泥法在降解 BOD 的同时, 只能去除 10~20% 的磷、氮, 远远不能满足当前除磷脱氮的需求。而 A²/O 工艺不仅能高效地去除 BOD, 还能有效地除磷脱氮, 使出水水质接近三级处理的标准。本文根据昆明市第二污水处理厂设计中的试验、研究成果和运行经验, 说明以“多格串联厌氧池和同心圆 BOD·P/N 池”为主体的 A²/O 生物脱氮除磷新工艺。

一、A²/O 工艺的基本流程和特点

A²/O 工艺是通过厌氧、缺氧和好氧交替变化的环境完成除磷脱氮反应的。在厌氧条件下, 回流污泥中的聚磷菌受到抑制, 只能释放体内的磷酸盐获取能量, 以吸收污水中的可快速生化降解的溶解性有机物来维持生存, 并在细胞内将有机物转化成聚 β 羟丁酸 (PHB) 贮存起来。在这个过程中完成了磷的厌氧释放; 在缺氧条件下, 反硝化菌利用污水中的有机碳作为电子供体, 以硝酸盐作为电子受体进行“无氧呼吸”, 将回流液中硝态氮还原成氮气释放出来, 完成反硝化过程; 而在好氧条件下, 一方面聚磷菌将体内的 PHB 进行好氧分解, 释放的能量用于细胞合成、增殖和吸收污水中的磷合成聚磷酸盐, 随剩余污泥排出系统, 从而实现污水的脱磷, 另一方面硝化菌把污水中的氨氮氧化成硝酸盐; 再向缺氧池回流, 为脱氮作好必要的准备。

A²/O 工艺的特点是把除磷、脱氮和降解有机物三个生化过程巧妙地结合起来, 在厌氧和缺氧段为除磷和脱氮提供各自不同的反应条件, 在最后的好氧段为三个指标的处理提供了共同的反应条件。这就能够用简单的流程, 尽量少的构筑物, 完成复杂的处理过程, 给工程实施创造方便条件。随着生物除磷脱氮的研究, 曾经提出过很多种工艺流程, 也各有特点, 如 Bardenpho 和 Plioedox 流程、UCT 流程等, 目前在污水处理厂的设计方案中, 大多采用图 1 所示的流程。

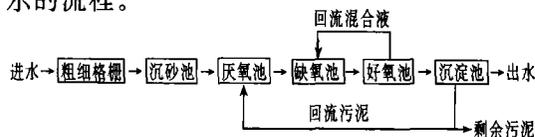


图 1 改良 UCT 工艺流程图

这种称之为改良 UCT 的工艺流程是由 UCT 工艺演变而来的, 目前 A²/O 的工艺流程仍在不断发展之中。

二、A²/O 工艺影响因素的分析

国内外科学试验的结果已经充分证明, 要保证 A²/O 工艺的正常运行, 产生最佳的处理效果, 必须既有严格的控制条件, 还要科学地把握住影响因素。而在污水处理厂的实际运作中要达到试验的要求是相当困难的, 也是设计和运行管理上面对的最重要课题。

理论上要求厌氧、缺氧环境应该得到严格控制, 因为它是发生厌氧释放磷和缺氧反硝化脱氮的基本条件。但回流污泥中不可避免地夹带着硝态氧和少量溶解氧, 所以厌氧难以达到

既无溶解氧,又无化合态氧的标准,而来自好氧池的回流混合液中也必然含有溶解氧,所以缺氧池也不能作到没有溶解氧。因此在污水处理厂的实际运作中,只能是尽量保持良好状态、防止出现大的干扰。

科学工作者已经对影响 A²/O 工艺的各种因素作过充分论述,从中可以看到,影响因素不仅很多,而且有的因素在降解 BOD、除磷脱氮三种生化过程中的关系错综复杂,甚至是相互矛盾、相互制约的。这就要求在污水处理厂设计中能提供可以灵活运作的条件,以便在管理时能及时调整出所需要的工况,处理主要矛盾,争取最佳的处理效果。特别要注意对以下因素的调整:

1. 污水中的营养物对除磷和脱氮都有着至关重要的影响,因为无论是磷的厌氧释放、还是氮的缺氧反硝化作用都必须有充分的碳源作基础。所以在 A²/O 工艺中存在着争夺污水中碳源的问题。因此在污水处理厂运行中应该尽量作到合理利用碳源,特别是对于我国普遍存在的城市污水碳源偏低的情况,更要注意充分发挥碳源的作用,才能得到最佳的处理效果。由有机物水解过程可以得出,转化 1mg/L 氨氮需要大约 3mg/L 的 BOD₅。有关研究结果指明,如要维持较高的反硝化速率,设计可按有 1/3 的 BOD₅ 在缺氧池中被转化考虑,可见对于低 BOD₅ 浓度的城市污水,当碳氮比较低时,要得到过高的脱氮率是不现实的。

2. 回流污泥中的微生物是各段反应中菌种生长繁殖的基础,所以回流污泥浓度和微生物成份对处理效果休戚相关,特别是当前工艺流程中的回流污泥全部从厌氧池投入的做法,对厌氧池中磷的释放作用影响更大。如果系统运行中的硝化作用良好、反硝化能力不足,会有大量硝酸盐随回流污泥带到厌氧池,在厌氧条件下,硝酸盐会抢先消耗能快速生化降解的有机物进行反硝化,脱氮完全后才开始磷的释放,势必是加强了脱氮,而使除磷效果下降;反之,如果系统运行中反硝化能力大于硝化作用时,虽然回流污泥中的硝态氮含量低了,可以提高

除磷效果,但硝化作用不完全则会表现出来脱氮效果不佳。因此硝化、反硝化水平的平衡和回流污泥的控制是保持除磷脱氮效果的关键因素。

3. 混合液的回流是影响脱氮效果的重要因素,因为前置反硝化工艺的要点就是使硝态氮随回流液返回到缺氧段完成反硝化脱氮。根据

$$R_N = R / (1 + R) \quad (1)$$

总回流比和脱氮率的关系见表 1。

总回流比 R (%)	100	200	300	400
可能的总脱氮率 R _N (%)	50	67	75	80

所以如何提高回流比减少由于大量混合液回流所需的动力消耗和如何使降解池消除水流死角、便于自动调整回流量,一直是科学研究特别是污水处理厂设计中所关注的课题。

A²/O 工艺系统的泥龄主要受硝化菌世代时间的影响,应较传统活性污泥法长些,而且机理分析可知这一过程主要取决于亚硝化菌的生长速率。国外经验表明,这一生长速率主要受温度的影响,夏天硝化速率可达 80gNO₃⁻-N / (kgSS · d),而冬季水温在 10℃ 以下时,硝化速率降至 20gNO₃⁻-N / (kgSS · d)。瑞典 ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY AB 公司提供的经验公式指出,在 pH=7~8,温度在 5~25℃ 之间,可用下列公式计算:

$$K_N = 0.18e^{0.12(T-15)} \quad (2)$$

由此可见每升高 1℃,生长速率常数 K_N 约提高 13%,据此可以计算各种温度条件下,不能发生硝化作用的临界泥龄。

此外,欧洲其它国家也都提出过各自的计算最小泥龄的经验公式,这为我们确定 A²/O 工艺的流程,提供了量化的控制依据,如英国 HAWKER SIDDELEY WATER ENGINEERING LTD 提供:

$$SRT = 3.05 \times (1.27)^{(20-T)} \quad (3)$$

法国经验公式:

$$SRT = \frac{TKN_{TE} + 1.5}{TKN_{TE}} \times \frac{1.094^{(15-T)}}{0.126} \quad (4)$$

式中 TKN_{TE}——进水中凯氏氮浓度(mg/L)。

但在考虑由于硝化作用的因素需要较长泥

温度与发生硝化作用的临界泥龄表 表 2

温度 T (°C)	生长速率常数 (%)	临界泥龄 (d)	临界 F/M (kgCOD/kgMLSS)
5	5.4	18.5	0.1
10	9.9	10.1	0.16
15	18.0	5.6	0.25
20	32.8	3.0	0.4

龄的同时，我们还需要看到由于磷的去除主要通过剩余污泥排出，过高的泥龄会造成磷从污泥中重新释放，影响除磷效果。因此 A²/O 工艺泥龄的建议值应不大于 20d。

此外，A²/O 工艺还有很多的影响因素。如温度、各阶段的停留时间、碱度等等。所以污水处理厂设计中必须根据影响因素变化的要求，提供比较灵活的运行条件，以便及时调整运行工况，达到预期的处理效果。

三、A²/O 新工艺的工程应用

在昆明市第二污水处理厂工程设计中，我们面对的就是如何解决好除磷脱氮技术应用的课题。根据滇池规划，昆明第二污水厂是为综合治理滇池有机物污染和富营养化而建设的主要工程。近期规模是 10 万 m³/d，远期 50 万 m³/d。其进、出水水质如表 3 所示。

从表 3 可以看出，要求的出水水质已经超过通常二级处理的标准，BOD 和 SS 都是 15mg/L，磷、氮的去除率在 80% 以上，而且强调全面达标。为此，在设计中，我们借鉴国内外除磷脱氮研究成果，特别是滇池治理技术研究成果，引进、吸收西欧、北欧先进处理工艺，决定选用以“多格串联厌氧池和同心圆 BOD·P/N 池”为主体的 A²/O 工艺（工艺流程见图 2，工艺布置见图 3），并且采取了新型的回流污泥流程，可以分别向厌氧池和缺氧池回流，以及部分进水也可以跨越厌氧池向缺氧池分流等技术措施。为了保证除磷效果，还加设了同步化学除磷的设施。此外设计中又采取了一些其它工艺措施，如在平流沉砂池的出水渠上设置节制流量的喉管，使得来水水量有所变化时沉砂池出流可保持不变，保证除砂效果；将回流污泥泵房

进水、出水水质表 表 3

指标 项目	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)	处理程度 (%)
BOD	200	≤15	92.5
COD	400		
TN	45	≤8	82
TP	5	≤1	80
SS	250	≤15	94

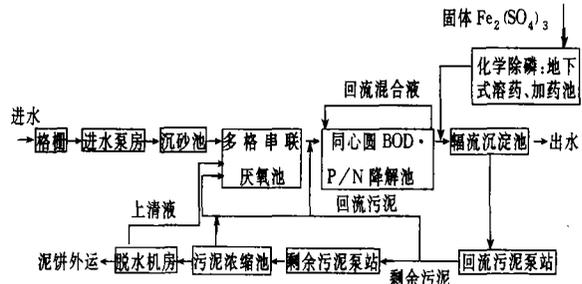


图 2 工艺流程图

和沉淀池配水井巧妙地建成交双层，双环式结构既节省占地，又可减少回流污泥提升过程中复氧。

这套处理工艺的技术特点是：

1. 同心圆 BOD·P/N 池是一组四座外圆 70m、内圆 39m 的大型水池。外圈是环形的曝气池，也是硝化池，使用大型转刷曝气、推流；中间是圆形缺氧反硝化池，设有潜水搅拌机推流；污水通过缺氧池中间圆形隔墙上的开口进入好氧池，好氧池的混合液通过隔墙上的旋转门回流到缺氧池。回流量可以由 PLC 控制旋转

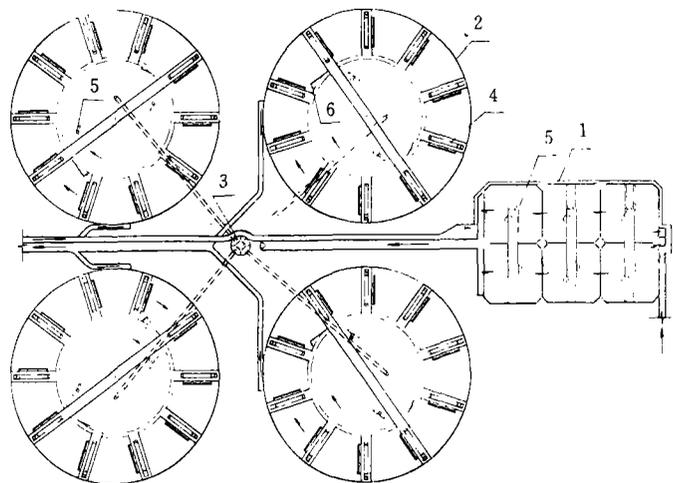


图 3 多格串联厌氧池及同心圆 BOD·P/N 池工艺布置图

1. 多格串联厌氧池 2. 同心圆 BOD·P/N 池
3. 中心配水井 4. 转刷 5. 潜水搅拌机 6. 回转门

门的开启度实现自控调节。这种硝化及反硝化池用圆形整体布置的型式与通常两池分离布置相比,具有顺流及回流都非常通畅,无死角、水头损失小,结构紧凑、占地小等优点。特别是回流液不必用泵提升,节省了常年的电耗,使得这套工艺有很好的实用性。

2. 回流污泥的流程不同于目前通用的改良 UCT 工艺,不是全部经厌氧池回流,而是部分由厌氧池、部分由缺氧池回流,这是对通用流程的进一步改进。主要目的是既要保证厌氧池能有最佳的厌氧状态,得到较好的除磷效果,也要保持反硝化系统微生物的良好接种,提高反硝化作用的水平,加强脱氮的效率。克服除磷和脱氮不能双全的弊病。西欧国家的经验是向厌氧池回流的活性污泥占 10~15% 为佳。考虑到我国污泥浓度偏低,应该适当加大。所以昆明第二污水厂设计中为回流污泥量的分配提供了很宽松的余地。通过回流污泥到厌氧池和缺氧池的两个可调流量堰,按照运行的需要及时进行调整。回流到厌氧池的幅度为 10~80%。在摸清运行规律后,可以通过 PLC 进行程序自控。

3. 在采取新的回流污泥流程的同时,昆明第二污水厂也有比较灵活的污水处理的流程。在沉砂池尾部设置了可以超越厌氧池的污水管道。通过闸门调控直接进入缺氧池的污水量。目的是一方面同回流污泥的配比变化相配合,当增加厌氧池回流污泥量时,则相应减少污水量,以保持厌氧和缺氧池容积负荷的稳定;另一个目的是在脱氮效率不足时,适当增加到缺氧池的污水量,提高池中快速降解 COD 与总氮的比例,为反硝化作用提供碳源。因为如果在运转中硝化作用良好,而原水碳源不足,反硝化作用不充分,会造成大量硝酸盐随回流污泥进入厌氧池,使得生物除磷的目的无法实现。

4. 污水中的磷分成无机的正磷酸盐、聚磷和有机磷,经水解和生物处理后,有机磷得到有效地降解,而磷酸盐和聚磷的进一步去除却要通过絮凝沉淀的作用完成。根据昆明第二污水厂污水含磷成份的分析,生物法除磷的可靠去除率是 60%,所以为了达到要求的 80% 去

除率,还要再增加化学除磷的措施,通过投加硫酸铁,使正磷和聚磷被置换成难溶的磷酸铁盐。沉淀后随剩余污泥排出系统。反应方程式如下:



另外,采取化学除磷的措施还有两个理由。一是因为工程中脱氮只能依靠生物法,而缺少碳源时生物法除磷的不足之处还可以用附加的化学法补充,如果忽视这点,就会出现除磷效果较好、而脱氮效果差的弊病。所以昆明第二污水厂的新工艺的基点是在生物处理中,首先考虑使脱氮达标,再努力提高除磷水平。必要时将化学除磷投入运行。这也是在沉砂池尾部设置污水排向缺氧池的超越管的原因之一。二是研究表明,如果在好氧段、缺氧段和沉淀池的停留过长时,已经吸收的磷还会再释放出来,造成最终出水的含磷量超标,所以通过化学沉淀法形成难溶的金属磷酸盐,可以有效地保证磷的去除。

昆明第二污水处理厂采用地下式溶药、加药池的方案,将化学处理与生物处理同步进行,使用条件很方便。

昆明市第二污水处理厂于 1995 年年底建成。通过正在进行的试运转,处理效果已全面达标,初步显示了除磷脱氮新工艺的优势。目前正在为实现自动控制程序化而努力。另外,第二污水处理厂的建成也为除磷脱氮新工艺的进一步研究提供了生产试验的场地。随着我国解决河湖富营养化课题的不断深化,除磷脱氮新工艺也必然会有广阔的发展前景。

★作者通讯处:300051 天津市和平区营口道 239 号

天津市市政工程设计研究院给排水一所

电话:(022)7305311-2402

收稿日期:1996-9-15

* 本期责任编辑 顾 芳 *

CONTENTS

APPLICATION OF NEW PROCESS TO REMOVE P AND N IN THE 2ND

WASTEWATER TREATMENT PLANT IN KUNMING *Hu Darwei et al* (5)

Abstract: In this paper a new process applied first time in this country at the Second Sewage Treatment Plant of Kunming City in Yunnan Province is presented. This process makes use of multicompartiment-serial anaerobic tanks and concentric BOD, P/N tanks as main P and N removal facilities and is designed on the basis of A²/O treatment process data analyzing.

DESIGN OF WATER INTAKE IN JIADING, SHANGHAI *Zhang Yuxian et al* (9)

Abstract: The Jiading District Waterworks in Shanghai was put into operation in December 1995. The raw water is abstracted from Yangtze River by a water intake plant constituted with equalizing reservoir, a intake pumping station and a pressurized pumping station at the riverside. Considering the higher capacity of this waterworks a lot of plans were compared in the planning-design stage and the desired requirements have been achieved by the selected one. The equalizing reservoir at the water intake plant is useful to prevent the salt water backwash and to improve the quality of raw water.

REGIONAL WATER SUPPLY IN SOUTH PART OF JIANGSU PROVINCE

BASED ON THE WATER RESOURCES OF YANGTZE RIVER *Wu Zhongfang et al* (12)

Abstract: On the basis of field investigation the authors propose that the problem of increasingly acute water shortage of quality type in the south part of Jiangsu Province will be solved by exploitation of the water resources of Yangtze River to provide necessary basic condition for the continuously economic development in this region of the country. The authors consider that to set up a regional water supply project for south part of Jiangsu Province in Jiangyin City will be a best plan in virtue of series of conveniences including rich water quantity with high quality, good water intake condition, suitable layout of water transportation lines, enough power supply and easy for investment. Programming proposals on the capacity, content, investment and management of this project are recommended.

COMPUTER AIDED CONTROL OF SECONDARY PUMPING STATION

IN WATER WORKS *Liao Zhenliang et al* (15)
