

述评与讨论

城市污水生物法除磷

林荣忱

(天津大学)

前言

为防止湖泊、海湾等水体发生富营养化,城市污水排入水体前,有的需进行除磷和脱氮。

众所周知,现有的生物处理设施的除磷能力是很有限的。普通活性污泥法磷的去除率一般为 10~30%,这是因为去除量基本上是由于合成微生物体所需的磷量决定的。根据 Holmers 提出的活性污泥化学组成经验式 $C_{118}H_{170}O_{51}N_{17}P$ 可知,活性污泥的 C:N:P 为 46:8:1。如果污水中营养物质浓度维持这个比例,则磷和氮可全部被去除,但一般城市污水磷和氮的浓度往往大于上述的比例,用于合成磷一般只去除 15~20% 左右。实际测得的普通活性污泥法磷的去除率,往往高于这个数值。

为了去除污水中的磷,已开发了投加各种混凝剂的除磷方法,这种方法虽已用于生产,但近年来生物法除磷日益受到人们的重视。

六十年代有报告指出,活性污泥从污水中实际摄取的磷量,有时比合成细胞所需的磷量为多,这个现象称为磷过剩摄取。生物法除磷,就是利用活性污泥对磷的过剩摄取作用,在不影响 BOD 和 SS 去除的前提下,如何稳定对磷的过剩摄取,这是开发生物法除磷的关键。本文只介绍厌氧好氧活性污泥法和弗斯特利布(Phostrip)法。

一、厌氧好氧活性污泥法

1. 工艺流程

厌氧好氧活性污泥法除磷的工艺流程如图 1 所示。在厌氧池和好氧池的污水中,溶解性 BOD 和磷的浓度随停留时间的变化如图 2 所示。在厌氧池的污水中,溶解性磷浓度随停留时间的增加而增加,接着在好氧池则随停留时间的增加而减少。磷的生物去除分两个阶段:第一阶段,在厌氧下进行磷的释放;第二阶段,在好

2. 采用大流量混流水泵,效率高,装置面积紧凑,运行稳定。并配用大功率串级调速装置和同步电机失步再整步的新技术,便于水量调度和节约电耗。

3. 泵房(包括前池)采用大型矩形沉井施工,其平面尺寸为国内最大的沉井泵房之一。

4. $\varnothing 3.0m$ 的过江顶管,最大顶进长度 1120m,创国内顶管最大距离的记录。

5. 为适应泵房和调压池之间的沉降差,确保生产安全,采用了法国进口的 $\varnothing 2.2m$ 橡胶活络接头。

6. 对泵房进、出水流动,通过水力模拟试验

进行校核和改进,使整个泵站效率达 0.7 以上。

7. 整个引水系统的运行参数和信号,采用微机巡检、记录和无线电信号传输,使四个泵站的运行状态集中反映至公司中央调度室,进行统一监控调度。

8. 在矩形渠道上,采用大口径超声波流量计计量,解决了流态模拟的计算问题,精度符合要求,运行稳定。

9. 泵站大型闸阀的启闭,采用了先进的液压启动技术。

10. 顶管工作井的施工,采用了分层止水的新技术,保证了工程质量,节约了工程投资。

氧下进行磷的摄取。

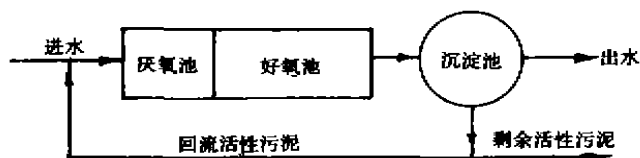


图1 厌氧好氧活性污泥法工艺流程

2. 生物法除磷机理

关于生物除磷的机理，目前尚无定论。以下几点可解释除磷的各种现象，参考图3。

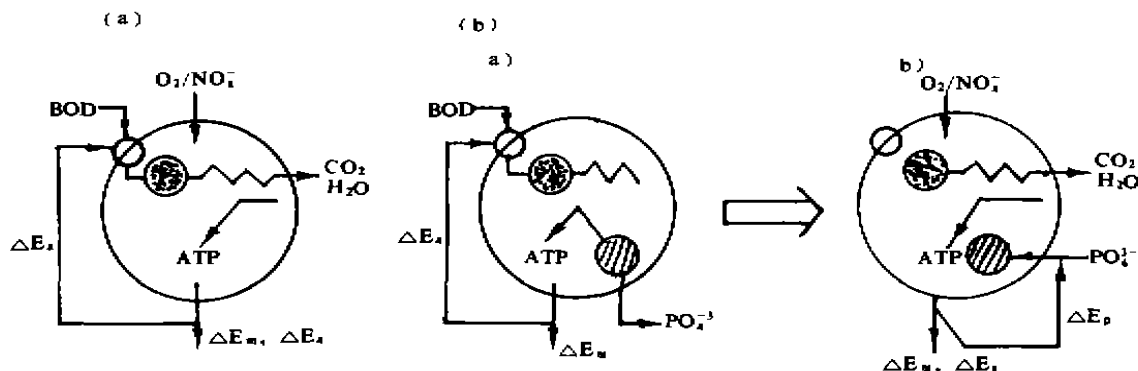
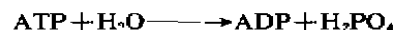


图3 一般的好氧菌、脱氮菌和聚磷菌的代谢

(a) 一般好氧菌、脱氮菌的代谢；(b) 聚磷菌的代谢；a) 厌氧状态，b) 有氧状态；●——细胞内有机物；●——聚磷颗粒；AA——呼吸链； ΔE_a ——主动输送能量； ΔE_s ——合成能量； ΔE_m ——维持能量； ΔE_p ——合成聚磷能量

(1) 在厌氧池，因污水中没有溶解氧或氧化态氮(NO_x)，对无聚磷能力的一般的好氧菌及脱氮菌，不能生产ATP(三磷酸腺苷)，所以这类微生物不能摄取存在细胞外的有机物(BOD)，换言之，不能进行主动输送。与此相反，在厌氧条件下，聚磷菌分解体内聚磷酸盐的同时产生ATP，聚磷菌利用ATP将细胞外的有机物摄入细胞内，以聚β羟丁酸(PHB)及糖原等有机颗粒的形式储存在细胞内。在厌氧池释放

出的磷，为利用ATP时的水解产物。反应如下：



(2) 在好氧池，储存有机物的聚磷菌，在有溶解氧和氧化态氮的条件下进行呼吸，氧化有机物的同时产生ATP。产生的ATP大部分供合成和维持生命活动之用，另一部分用来合成聚磷酸盐。

厌氧好氧活性污泥法除磷实例

表1

实例	运行条件		进出水水质(mg/L) ^[2]							污泥磷 %		备注
	MLSS (mg/L)	停留时间 ^[1] (h)	BOD	SBOD	SS	P	SP	TN	SVI	以 MLSS 计	以 MLVSS 计	
1	—	1.2+2.1=3.3	110/10	/3.2	95/15	8.4/0.9	2.0/0.72	—	41	5	—	处理水量 11400m ³ /d
2	2710	1.8+3.2=5.0	47/5.9	21/2.1	46/11	3.8/0.74	1.9/0.053	2.7/28.7	40	4—4.7	6.1—0.9	中试处理水量 50m ³ /d
3	2990	1.0+3.0=4.0	180/4	—	123/12	5.2/0.3	—	—	—	—	4—4.7	中试处理水量 5m ³ /d
4	2800	3.0+3.0=6.0	130/27	29/1.9	78/10	3.6/0.77	1.5/0.41	—	75	3	—	中试处理水量 36m ³ /d

注：[1]停留时间；加号前为厌氧池，后为好氧池。 [2]例1为未经一级处理的污水，其它为经一级处理的污水。

(3)厌氧池中摄取 BOD 的优势细菌为聚磷菌,它是构成活性污泥絮体的主体。Fuhs 和 Buchan 研究表明,厌氧好氧法活性污泥中异养菌的 48~63% 为聚磷菌(主要为不动细菌 *Acinetobacter*)。这表明厌氧池还起到微生物的筛选作用,使聚磷菌为优势细菌。

应当指出的是,这里所谓厌氧状态或厌氧性(Anaerobic),不仅要求水中没有溶解氧,而且也没有亚硝酸态氮和硝酸态氮等氧化态氮。通常把有氧化态氮,而溶解氧为零的状态,称为无氧状态或无氧性(Anoxic),以区别厌氧状态。在无氧状态下,因聚磷菌不能释放磷,所以厌氧好氧法最重要的是创造微生物处于厌氧环境。

3. 处理实例

表 1 为 4 个处理实例。从表可知,厌氧池和好氧池的停留时间分别为 1~3h 和 2~3h。MLSS 约 3000mg/L, BOD 和 SS 的去除率与普通活性污泥法相同,但磷的去除率可达 76% 以上。

4. 本法的特点

(1)不需投加药剂,除可省去投药设备及节省药剂费外,没有因投药剂而产生的污泥量增加问题;

(2)停留时间比较短;

(3)污泥沉降性能好,从表 1 可知 SVI 一般在 100 以下;

(4)污泥含磷量高,提高污泥的肥效。

5. 本法应注意及今后应解决的问题

(1)设计运行经验不足,例如有的文献报导,当进水有机物浓度比较低时,以及进水的 P/BOD 超过某比值时,磷的去除率就会降低。此外影响除磷的因素,研究的还不够。

(2)二沉池中活性污泥磷的释放。当污泥在二沉池中停留时间过长,一旦处于厌氧状态,磷就会从污泥中释放出来。所以二沉池的污泥应尽快排出,否则污泥处于厌氧状态,二沉池出水磷的浓度达不到排放要求。

弗斯特利布法除磷实例

表 2

实例	运行条件				水质(mg/L) ^{〔2〕}			SVI	污泥含磷%	
	停留时间(h)			MLSS (mg/L)	污泥回流 比(%)	BOD	SS	P		单位 MLSS
	曝气池	除磷池	总 ^{〔1〕}							
1 ^{〔3〕}						253/37	113/13	9.2/0.8		
2 ^{〔4〕}	3.1	3.2	3.7	2120	19.3	111/8.9	106/7.2	3.3/0.31		
3 ^{〔5〕}		5-30		610/3350	11/37	35-270 /2-51	24-250 /2-51	2.0-11.4 /1.0 以下		2.1/7.1
4	5.5	18	9.8	1460	24	158/3.5	/3.0	6.3/0.55	155	
5	4.0	5.3	4.8	2660	30	108/8	96/6	6.4/0.3	106	3.7
6	4.0	7.4	5.1	2600	3.0	122/6	101/3	7.6/0.7	119	4.1

注:〔1〕除磷池的停留时间为换算成处理污水量的时间;〔2〕例 1、4 的进水为生活污水,例 2、3、5、6 为一级处理水;〔3〕处理水量为 75700m³/d,除磷池上清液为处理水量的 16%;〔4〕处理水量为 1560m³/d 的中试,冬季运行数据;〔5〕中试水温 11-20℃。

(3)剩余活性污泥的处理。污泥最好不采用厌氧法处理,因为污泥处于厌氧状态,磷会释放出来,降低肥效;另外污泥经厌氧处理后的上清液中,磷浓度高,如回流到处理系统,会降低磷的去除率。

(4)剩余污泥量。因停留时间比普通活性污

泥法短,所以剩余污泥量可能比普通法多。

(5)出水磷的浓度。为了降低出水磷的浓度,最好用过滤法,除去二沉池出水高含磷的悬浮物。

(6)厌氧池的搅拌设备。为了能在运行中调节厌氧池和好氧池的停留时间,厌氧池的搅拌

设备既能用来搅拌,需要时又能用来充氧。

二、弗斯特利布(Phostrip)法

1. 工艺流程

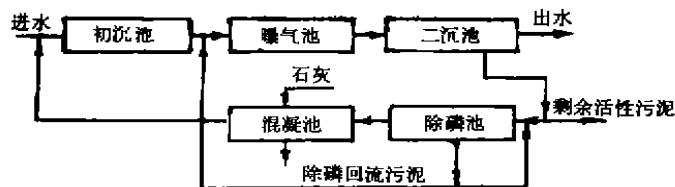


图4 弗斯特利布法除磷工艺流程

图4为弗斯特利布法的一种流程。回流污泥经除磷池,在厌氧条件下释放磷后,送入曝气池。除磷池高含磷的上清液送到混凝池,加石灰除磷,除磷后的上清液送到初沉池前与原污水一起进行处理。混凝池沉淀下来的高含磷的污泥从混凝池排出,可送到初沉池前或另建沉池。本法虽然因投石灰增加混凝池和药剂费,但一部分磷随混凝污泥排出,使除磷效果稳定。

2. 处理实例

列举几个实例于表2中。例4处理水量为3400m³/d,流量变化为日平均流量的22~110%,单位处理水量的石灰投量为31.8mg(以Ca(OH)₂计),污泥量比普通活性污泥法增加

20~30%,除磷池的上清液为处理水量的14%,例5和例6为中试冬季运行的资料。处理水量为36m³/d,回流污泥量的一半直接回流到曝气池,另一半送到除磷池。除磷池例5用一级处理水洗涤,例6用原水洗涤,单位处理水量的石灰投量为21~26mg(以Ca(OH)₂计)。

从表2可知,本法BOD和SS的去除率和普通活性污泥法差不多,出水磷的浓度在1mg/L以下,MLSS的平均含磷率为2.1~7.1%。例5和例6在开始时,活性污泥直接回流到曝气池,MLSS平均含磷率为1.3%,后来活性污泥在回流前经除磷池除磷后,MLSS的平均含磷率分别增到4.7%和5.2%。

参考文献

- (1) 最新下水道ハンドブック編集委員会:“最新下水道ハンドブック,1982
- (2) Levin, G. V. and Shapiro, J.:“Metabolic Uptake of Phosphorus by Wastewater Organisms.” Jour. W. P. C. F., Vol. 37 (1965)
- (3) 松尾吉高ら:“生物脱リソ法(厌氧好氧法)——その沿革と原理機構——”,荏原インフルコ时报通巻第88号(1983)

征订启事

为我国给水排水技术交流和国际给水排水技术会议在京召开,《中国给水排水》编辑部特编制《中国给水排水工程实录》专集。

该专集收录了全国各大设计单位,近年来已施工投产的给水排水工程设施,集中展现了我国给排水专业方面的技术现状。

该书16开本,精装,护封、烫金、压膜,全部用进口双铜纸印制,以照片为主,中英对照文

字说明为附。

印数不多,欲购从速。每册定价40元,个人购买优惠40%,欲购者将款直接邮寄本编辑部。

地址:天津市(西)气象台南路

本刊编辑部启