

曝气生物滤池在污水处理中的应用

齐兵强 王占生

提要 根据现场试验结果及国外有关资料报道,从工艺原理、特征、主要形式、工艺参数及其优缺点等方面对曝气生物滤池在污水处理中的应用进行了阐述,最后对其理想填料做了较为综合的介绍。

关键词 污水处理 曝气生物滤池(BAF) BIOFOR 滤料 水力负荷 容积负荷 反冲洗

我国是一个水资源缺乏的国家,近年来许多地区缺水现象逐渐加剧。与此同时,我国污(废)水排放量逐年增加,以1997年为例,污(废)水排放总量为416亿 m^3 ,污水中化学需氧量(COD_{Cr})排放量1757万t,而集中处理率仅为10%左右。大量污水未经处理或未经有效处理即进行排放,其结果是一方面污染了环境特别是水环境,另一方面加剧了水资源的短缺。可以说,资金和技术已成为制约我国污水处理的两大主要因素。因此,很有必要找到一种基建投资少、运行费用低、占地面积小、管理方便、适合我国国情的污水处理新技术,既能使污水得以有效处理,又能使其适当回用。

曝气生物滤池作为一种新型污水处理技术,在国外已有实际应用。运行经验表明,采用该工艺可显著节约基建投资并减少占地面积,出水水质较好,运行费用低,管理方便,特别是其模块化结构利于未来的扩建。该工艺可独立建立,也可与其他污水处理工艺组合应用,是一种可替代传统的污水处理工艺、适合我国国情的污水处理法。

1 曝气生物滤池简介

低于0.5NTU,完全达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)的水质要求。

工程的建设投产,不仅完善了琼山市的供水系统,缓解用水紧张状况,而且城市居民的饮用水水质得到显著提高,作为城市重要的基础设施之一,有着良好的社会效益。

由于选用了先进的V型滤池,使得水厂自用水量率大大降低,每年可节水约190万 m^3 ,经济效益显著;另外,工程的建设改善了投资环境,对引进外资,

1.1 工艺原理及主要特征

曝气生物滤池(BAF, Biological Aerated Filter)也叫淹没式曝气生物滤池(SBAF, Submerged Biological Aerated Filter)。国外从20世纪初开始进行研究,于80年代末基本成型,后不断改进,并开发出多种形式。在开发过程中,充分借鉴了污水处理接触氧化法和给水快滤池的设计思路,集曝气、高滤速、截留悬浮物、定期反冲洗等特点于一体。其工艺原理为,在滤池中装填一定量粒径较小的粒状滤料,滤料表面生长着生物膜,滤池内部曝气,污水流经时,利用滤料上高浓度生物膜量的强氧化降解能力对污水进行快速净化,此为生物氧化降解过程;同时,因污水流经时,滤料呈压实状态,利用滤料粒径较小的特点及生物膜的生物絮凝作用,截留污水中的大量悬浮物,且保证脱落的生物膜不会随水漂出,此为截留作用;运行一定时间后,因水头损失的增加,需对滤池进行反冲洗,以释放截留的悬浮物并更新生物膜,此为反冲洗过程。一般说来,曝气生物滤池具有以下特征:(1)用粒状填料作为生物载体,如陶粒、焦炭、石英砂、活性炭等;(2)区别于一般生物

加快城市经济的发展,创造了良好的条件,其宏观经济效益是显著的。

采用地面水为主要的城市供水水源,使水资源的使用更加合理,保护了有限的地下水资源,对环境保护起到了良好的作用。

作者通讯处:430010 武汉市解放公园路45号

中国市政工程中南设计研究院

电话:(027)82426036

收稿日期:2000-6-21

滤池及生物滤塔,在去除 BOD、氨氮时需进行曝气;(3)高水力负荷、高容积负荷及高的生物膜活性;(4)具有生物氧化降解和截留 SS 的双重功能,生物处理单元之后不需再设二次沉淀池;(5)需定期进行反冲洗,清洗滤池中截留的 SS,同时更新生物膜。

1.2 主要形式

曝气生物滤池主要分为以下三种形式。

1.2.1 BIOCARBONE

结构简图如图 1,污水从滤池上部流入,下向流流出滤池。在滤池中下部设曝气管(一般距底部 25~40cm 处)进行曝气,曝气管上部起生物降解作用,下部主要起截留 SS 及脱落的生物膜的作用。运行中,因截留了 SS 及生物膜的生长,水头损失逐渐增加,达到设计值后,开始反冲洗。一般采用气水联合反冲,底部设反冲洗气、水装置。BIOCARBONE 属早期曝气生物滤池,其缺点是负荷仍不够高,且大量被截留的 SS 集中在滤池上端几十厘米处,此处水头损失占了整个滤池水头损失的绝大多数,滤池纳污率不高,容易堵塞,运行周期短。最新的曝气生物滤池有法国 Degrémont 公司开发的 BIOFOR 和 OTV 公司开发的 BIOSTYR,克服了 BIOCARBONE 的这些缺点。

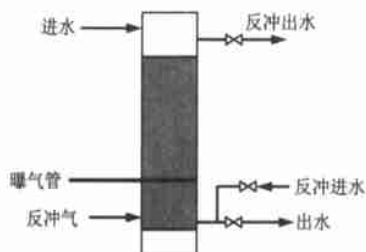


图 1 BIOCARBONE 示意

1.2.2 BIOFOR

BIOFOR 结构示意图如图 2 所示。底部为气水混合室,之上为长柄滤头、曝气管、垫层、滤料。所用滤料密度大于水,自然堆积。BIOFOR 运行时一般采用上向流,污水从底部进入气水混合室,经长柄滤头配水后通过垫层进入滤料,在此进行 BOD、COD、氨氮、SS 的去除。反冲洗时,气、水同时进入气水混合室,经长柄滤头配水、气后进入滤料,反冲洗出水回流初沉池,与原污水合并处理。BIOFOR 采用上向流(气水同向流)的主要原因有:(1)同向流可促使

布气、布水均匀;(2)若采用下向流,则截留的 SS 主要集中在填料的上部。运行时间一长,滤池内会出现负水头现象,进而引起沟流,采用上向流可避免这一点;(3)采用上向流,截留在底部的 SS 可在气泡的上升过程中被带入滤池中上部,加大填料的纳污率,延长了反冲洗间隔时间。

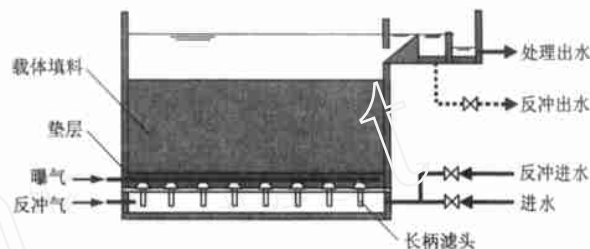


图 2 BIOFOR 结构示意图

1.2.3 BIOSTYR

BIOSTYR 和 BIOFOR 不同的是采用密度小于水的滤料,一般为聚苯乙烯小球。运行时采用上向流,在滤池顶部设格网或滤板以阻止滤料流出,正常运行时滤料呈压实状态,反冲时采用气水联合反冲,反冲水采用下向流以冲散被压实的滤料小球,反冲出水从滤池底部流出。其余跟 BIOFOR 大同小异,如图 3。

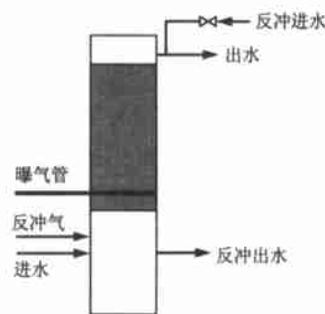


图 3 BIOSTYR 示意

以上为曝气生物滤池主要的三种形式,在世界范围内都有应用。其中 BIOCARBONE 为早期形式,目前大多采用 BIOFOR 和 BIOSTYR。BIOFOR 的滤料——球状轻质陶粒已实现国产化,笔者于南昌市污水总排放口的现场试验证明,采用该滤料的 BIOFOR C/N + BIOFOR C 工艺进行处理,出水水质可达到生活杂用水标准。滤料的国产化为 BIOFOR 在我国的应用创造了重要的条件。

2 曝气生物滤池的工艺流程及其主要工艺参数(以

2.1 工艺流程

完整的 BIOFOR 工艺流程如图 4 所示。污水经格栅、沉砂池后,进入初沉池进行初步沉降,出水从底部进入一级 BIOFOR (BIOFOR C/N),进行 BOD、COD 的降解以及部分氨氮的氧化;上向流流出后,从底部进入二级 BIOFOR (BIOFOR N),进行剩余 BOD、COD 的降解及氨氮的完全氧化;接着再从底部进入三级 BIOFOR (BIOFOR DN),通过在进水端投加外加碳源(如甲醇等)和化学除磷剂(如 FeCl_3 等),进行反硝化脱氮和化学除磷,最终排出。另外需建两池,一为反冲水储备池,另一为反冲出水缓冲池。BIOFOR 每运行一定周期即进行反冲洗(用滤后水),反冲污泥先进入污泥缓冲池,以缓冲反冲污泥对初沉池造成的冲击负荷,最终流入初沉池。BIOFOR 反冲污泥具有较强的生物活性,表现为具有一定吸附悬浮有机物颗粒的作用,可作为一种生物絮凝剂,将其回流到初沉池进水端,和原污水充分混合后,将大大有助于原污水中 SS 的沉降及 COD 的去除。

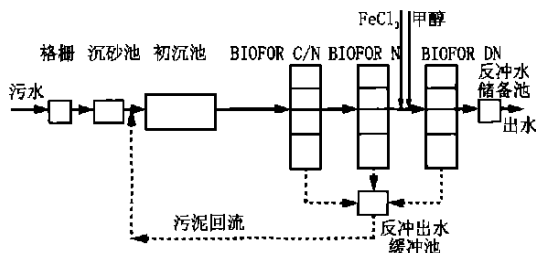


图 4 BIOFOR 工艺流程 1

该工艺也可将 BIOFOR DN 置于 BIOFOR C/N 前, BIOFOR N 出水部分流入 BIOFOR DN 内,利用原污水中的 BOD 进行前置反硝化;同时在 BIOFOR N 入口处投加化学除磷剂,将化学除磷置于 BIOFOR N 池内,如图 5 所示。此外,国外的研究表明 BIOFOR 工艺也可通过间歇曝气,实现生物除磷,不过目前还处于试验阶段,尚未有生产性的报道。

以上为 BIOFOR 全套处理工艺。根据要达到的不同出水标准,也可对 BIOFOR 的级数进行取舍,如仅需达到二级处理排放水标准,则只需单 BIOFOR C/N 或者 BIOFOR C/N + BIOFOR N;如

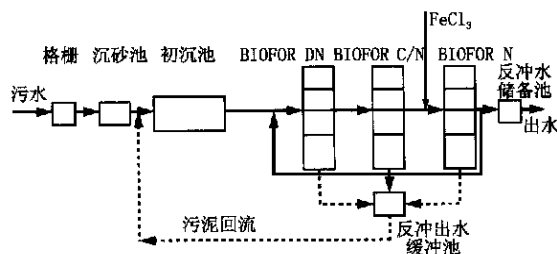


图 5 BIOFOR 工艺流程 2

需进行反硝化处理,也可根据对出水总氮的不同要求,采用 BIOFOR DN + BIOFOR C/N 或 BIOFOR C/N + BIOFOR DN。

2.2 曝气生物滤池的主要工艺参数

水力负荷: $6 \sim 8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

容积负荷:与要求出水水质相关,一般情况为:有机物负荷 $2 \sim 6 \text{ kgBOD}_5 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$;硝化 $0.5 \sim 2 \text{ kgNH}_3 - \text{N} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$;反硝化 $0.8 \sim 5.0 \text{ kgNO}_3^- - \text{N} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$;

气水比: BIOFOR C/N (1 ~ 3) 1, BIOFOR N (2 ~ 3) 1;

填料高度: $2 \sim 4 \text{ m}$;

填料粒径: $2 \sim 8 \text{ mm}$;

反冲周期: $24 \sim 48 \text{ h}$;

单池反冲水量:约占产水量的 8% 左右,或为单池填料体积的 3 倍左右;

反冲时间: $20 \sim 30 \text{ min}$ 。

3 曝气生物滤池的主要优点及缺点

3.1 主要优点

(1) 占地面积小,基建投资省。曝气生物滤池之后不设二次沉淀池,可省去二次沉淀池的占地和投资。此外,由于采用的滤料粒径较小,比表面积大,生物量高,再加上反冲洗可有效更新生物膜,保持生物膜的高活性,这样就可可在短的时间内对污水进行快速净化。曝气生物滤池水力负荷、容积负荷大大高于传统污水处理工艺,停留时间短(每级 $0.5 \sim 0.66 \text{ h}$),因此所需生物处理面积和体积都很小,节约了占地和投资。

(2) 出水水质高。在 BIOFOR 中,由于填料本身截留及表面生物膜的生物絮凝作用,使得出水 SS 很低,一般不超过 10 mg/L ;因周期性的反冲洗,生物膜得以有效更新,表现为生物膜较薄(一般为

110 μ m 左右),活性很高。高活性的生物膜可吸附、截留一些难降解的物质。采用一级 BIOFOR (BIOFOR C/N),出水可达到国家二级处理出水标准;若采用两级 BIOFOR (BIOFOR C/N + BIOFOR N),出水可达生活杂用水标准;若采用全套 BIOFOR 工艺,则可除磷脱氮。

德国某公司为我国某市污水处理厂设计采用两级 BIOFOR 工艺,出水可达到生活杂用水标准。处理量为 12 万 m^3/d ,其设计出水水质见表 1。

表 1 德国某公司为我国某市污水处理采用 BIOFOR 工艺设计出水水质

项 目	SS		COD _{Cr}		BOD ₅		NH ₃ - N	
	数值 /mg/L	去除率 / %	数值 /mg/L	去除率 / %	数值 /mg/L	去除率 / %	数值 /mg/L	去除率 / %
原水	350		480		216		40	
初沉出水	58	83.4	169	64.8	76	64.8	27	32.5
一级 BIOFOR 出水	14	75.9	56	66.9	17	77.6	21	22.2
二级 BIOFOR 出水	6	57.1	30	46.4	5	70.6	0.1	99.5
BIOFOR 总去除率/ %	89.7		82.2		93.4		99.6	
系统总去除率/ %	98.3		93.8		97.7		99.8	

(3) 氧的传输效率很高,曝气量小,供氧动力消耗低。在 BIOFOR 中,氧的利用效率可达 20 % ~ 30 %,曝气量明显低于一般生物处理法。其主要机理是: 因填料粒径很小,气泡在上升过程中,不断被切割成小气泡,加大了气液接触面积,提高了氧气的利用率; 气泡在上升过程中,受到了填料的阻力,延长了停留时间,同样有利于氧气的传质; 理论研究表明,在 BIOFOR 中氧气可直接渗透入生物膜,因而加快了氧气的传质速度,减少了供氧量。

(4) 抗冲击负荷能力强,耐低温。国外运行经验表明,曝气生物滤池可在正常负荷 2 ~ 3 倍的短期冲击负荷下运行,而其出水水质变化很小。这主要依赖于滤料的高比表面积,当外加有机负荷增加时,滤料表面的生物量可以快速增值; 另一方面依赖于整体曝气生物滤池的缓冲能力。此外,根据国外的报道,生物曝气滤池一旦挂膜成功,可在 6 ~ 10 $^{\circ}\text{C}$ 水温下运行,并具有良好的运行效果。

(5) 易挂膜,启动快。根据国外的运行及笔者的试验,曝气生物滤池在水温 10 ~ 15 $^{\circ}\text{C}$ 时,2 ~ 3 周即

可完成挂膜过程。曝气生物滤池在暂时不使用的情况下可关闭运行,此时滤料表面的生物膜并未死亡,而是以孢子的形式存在,一旦通水曝气,可在很短的时间内恢复正常。笔者在南昌污水总排放口进行 BIOFOR 的试验时,污水水温 15 $^{\circ}\text{C}$ 左右,停止运行半月(滤柱内排空水且不曝气),恢复运行 3d 后即完全正常。这一特点说明曝气生物滤池非常适合一些水量变化大地区的污水处理,如在旅游地区,污水量受季节及旅游人数的变化影响非常大,在旅游淡季时,完全可以关闭部分曝气生物滤池,以减少不必要的运行费用,一旦需要可在很短的时间内恢复设计处理能力。

(6) 曝气生物滤池采用模块化结构,便于后期改建、扩建。

3.2 主要缺点

(1) 曝气生物滤池对进水的 SS 要求较高。为使之在较短的水力停留时间内处理较高的有机负荷并具有截留 SS 的功能,曝气生物滤池采用的填料粒径一般都比较小。如果进水的 SS 较高,会使滤池在很短的时间内达到设计的水头损失发生堵塞,这样就必然导致频繁的反冲洗,增加了运行费用与管理的不便。根据国外的运行经验,进水的 SS 一般不超过 100mg/L,最好控制在 60mg/L 以下。这样就对曝气生物滤池前的处理工艺提出了较高的要求。对初沉池而言,解决的方法是:或者减小表面负荷、延长停留时间,或者采用斜板(管)沉淀池,或者增加预曝气以改善固体颗粒的沉降性能。另外,因曝气生物滤池的反冲污泥具有比较高的生物活性,将其回流入初沉池,可利用其吸附、絮凝能力,将污泥作为一种生物絮凝剂,提高 SS 的去除率;国外也有采用投加化学药剂进行化学絮凝沉淀。

(2) 采用曝气生物滤池,水头损失较大,水的总提升高度大。曝气生物滤池虽具有截留 SS,代替二沉池的功能,但同时伴随着的是其水头损失较大。一般来说,水头损失根据具体情况,每一级为 1 ~ 2m,这样就在整体上加大了水的总提升高度。

(3) 采用曝气生物滤池工艺,在反冲洗操作中,短时间内水力负荷较大,反冲出水直接回流入初沉池会对初沉池造成较大的冲击负荷。因此该工艺虽节约了二沉池,但需一污泥缓冲池,反冲出水一般先

流入污泥缓冲池,尔后缓慢回流入初沉池,以减轻对初沉池的冲击负荷。

此外,因设计或运行管理不当还会造成滤料随水流失等问题。

4 曝气生物滤池的理想滤料——陶粒

4.1 曝气生物滤池对填料的一般要求

(1) 表面粗糙。表面粗糙的滤料为微生物提供了理想的生长、繁殖地,表现为容易挂膜、生物量高。

(2) 密度适中。密度太大不利于反冲洗的进行,表现为所需反冲强度大、反冲所需时间长;密度太小,在反冲时容易跑料,不易控制反冲强度。

(3) 有一定的强度,耐摩擦。

(4) 无毒、化学性质稳定。

(5) 价格适中。

4.2 陶粒的主要特点

陶粒作为一种生物载体,有其优良的特性。早期的陶粒大多采用页岩直接烧制、破碎、筛分而成,为不规则状(片状居多)。最近出现的球形轻质陶粒,采用粘土(主要成分为偏铝硅酸盐)为原材料,加入适当化工原料作为膨胀剂,经高温烧制而成。表观呈球形,具有表面粗糙、密度适中、强度高、耐摩擦等一系列优点。其主要性能参数见表2。笔者采用该陶粒对 BIOFOR 工艺处理生活污水进行了试验。试验表明尽管采用很高的滤速(6.5~8m/h),其处理出水水质仍很高,完全满足生活杂用水水质标准(CJ25.1-89)。其容积负荷也是一般生物滤池无法比。更为可贵的是在其运行中,曝气量很小,气水比仅为3.3:1,这与传统活性污泥法相比,节约相当多的曝气量,对减少运行费用是很有意义的。此外,在试验中发现采用此球形陶粒作为滤料,水头损失增加较慢,反冲周期较长。BIOFOR C/N 运行48h以上时,水头损失不超过2m;BIOFOR N 有时运行一周,其水头损失仍不足1m。

表2 球形轻质陶粒的主要性能参数

参数	粒径 /mm	堆积密度 /g/cm ³	密度 /g/cm ³	比表面积 /m ² /g	内部孔隙率	外部孔隙率
数值	3~6	0.89	1.56	4.11	0.09	0.339

参考文献

- 1 P Chudoba and R Pujol. A three-stage biofiltration process: performances of a pilot plant. Wat Sci Tech, 1998, 38(8~9): 257~265

- 2 R Pujol, M Hamon, X Kandel and Lemmel. Biofilters: flexible, reliable biological reactors. Wat Sci Tech, 1994, 29(10~11): 33~38
- 3 Frank Rogalla and Marie-Marguerite Bourbigot. New developments in complete nitrogen removal with biological aerated filters. Wat Sci Tech, 1990, 22(1~2): 273~280
- 4 R Pujol, H Lemmel and M Gousailles. A keypoint of nitrification in an upflow biofiltration reactor. Wat Sci Tech, 1998, 38(3): 43~49
- 5 J P Canler and J M Perret. Biological aerated filters: assessment of the process based on 12 sewage treatment plants. Wat Sci Tech, 1994, 29(10~11): 13~22
- 6 F Seguret and Y Raacault. Hydrodynamic behavior of a full-scale submerged biofilter and its possible influence on performances. Wat Sci Tech, 1998, 38(8~9): 249~256

作者通讯处: 100084 清华大学环境科学与工程系

E-mail: Qibq @263. net, Qibq @163. net.

收稿日期: 2000-5-15

全国建筑给水排水委员会水消防分会 成立大会暨第一届学术年会在保定召开

全国建筑给水排水委员会水消防分会成立大会暨第一届学术年会于2000年6月23~27日在河北保定召开,来自全国大专院校、科研设计、消防监督部门的108名代表参加了会议。大会通过专题报告、论文宣读和分组讨论的方式,对我国消防规范进行了研讨,使与会代表对我国消防规范的制定和新技术的应用有了进一步的认识。

在水消防分会成立大会上,上级学会领导宣布了经协商和选举产生的水消防分会领导成员名单,并原则通过了分会章程。

在水消防分会第一届学术年会上,专家们就北京市消防工程施工中的弊病、上海市消防工程习惯作法和设计中存在的问题、《自动喷水灭火系统设计规范》全面修订、《建筑设计防火规范》修订情况以及加入WTO后对我国工程建设标准化的影响等方面作了专题学术报告。

最后代表们就《建筑设计防火规范》第一章总则、第二章术语、第八章消防给水和灭火设备进行了分组讨论,并提出了许多建设性意见。

(本刊)

CONTENTS

Design of Water Supply System in Qiongsan City, Hainan Province *Li Shuyuan et al* (1)

Abstract : Surface water is taken and carried by long distance conduit to the waterworks in Qiongsan City, Hainan Province. This water supply system has been operated fairly for two years. The design of this project is presented in this paper.

Application of Biological Aerated Filter in Wastewater Treatment *Qi Bingqiang et al* (4)

Abstract : On the basis of performance of a pilot plant and data from foreign country, this paper describes a new wastewater treatment process, the biological aerated filter (BAF) from its principle, feature, main forms and process parameters, and advantage and disadvantage, etc. Finally the ideal packing media for BAF is introduced comprehensively.

Treatment of Urban Refuse Landfill Leachate *Zhang Xiangdan et al* (9)

Abstract : Refuse landfill leachate is a high-concentrated organic wastewater in which complex components are contained. If leachate was discharged into environment without any treatment, surroundings will be polluted severely. So it is necessary to treat the leachate. In this paper, the present status of refuse landfill leachate treatment is discussed and some processes of leachate treatment are introduced on the basis of domestic and overseas practices. Finally the treatment processes are compared and some advises are recommended.

Pilot Plant Research on Treatment of Leach Liquid of Urban Refuse Landfill Leachate *Chen Shi et al* (15)

Abstract : A pilot plant study was conducted to treat the leach liquid of Xiaping Solid Waste Landfill Yard in Shenzhen city, Guangdong Province. The research results approved the effectiveness of the ammonia stripping-anaerobic biofilter-aerobic SBR process; the treated liquid is quite good to meet the requirements of class 3 of the national wastewater discharge standard. The removal ratios of 95 %, 99 %, 99.5 % and 97 % have been obtained for COD_T , BOD_5 , $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TN respectively.

Design of Dual Water Supply System in Daqing Oil Field *Ma Wentie et al* (19)

Abstract : The process design of advanced purification of drinking water and the distribution network of dual water supply system in Daqing oil field are presented in this paper, some design parameters are provided as well.

The Application of Interception Sedimentation for Waterworks Reformation *Liu Zhixiao et al* (22)

Abstract : Micro-flocculation interception sedimentation is one of the new water treatment processes. The basic principles of this process and its application to reform the traditional sedimentation tank in a waterworks are described in this paper. The engineering practice shows that interception sedimentation is superior to turbidity removal and reducing coagulant single-consumption. Also some key urgent issues in promotion of this process are pointed.

Bio-Contact Oxidation Pretreatment and Conventional Process for Polluted Raw Water *Zhang Dong et al* (25)

Abstract : The combination of Biological Contact Oxidation Pretreatment (BCOP) and conventional water treatment process to purify polluted raw water has been conducted for over a year in the Big Lujia Bridge Water Plant in Shanghai. The obtained results show that $\text{NH}_3 - \text{N}$ removal efficiency of BCOP is affected greatly by water temperature; the $\text{NH}_3 - \text{N}$ removal ratio of BCOP is around 60 % and 40 % at higher water temperature ($> 10^\circ\text{C}$) and the lower water temperature ($5 \sim 10^\circ\text{C}$) respectively; the COD_{Mn} removal ratio of BCOP is 2.22 % ~ 10.99 %. The removal ratios of $\text{NH}_3 - \text{N}$, COD_{Mn} , $\text{NO}_2 - \text{N}$, Fe and Mn for combination process are 76.73 % ~ 93.43 % ($> 10^\circ\text{C}$) or 47.38 % ~ 65.31 % ($5 \sim 10^\circ\text{C}$), 24.11 % ~ 42.66 %, 97.93 %, 96.59 % and 67.03 % respectively. Higher turbidity (from 50 to 300 NTU) of raw water has no significant effect on removal efficiency of $\text{NH}_3 - \text{N}$.

Sludge Reduction Technologies *Wang Lin et al* (28)

Abstract : The new technologies and processes developed and researched recently worldwide were introduced in this paper, such as: Grazing/Bacterial Perdition technology, it can reduce over 60 % of excess sludge production, even zero