

大家之言

徐亚同. 农村生活污水处理系统的构建与评估[J]. 净水技术, 2021, 40(4):1-5, 30.

XU Y T. Construction and evaluation of rural domestic wastewater treatment system[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):1-5, 30.



扫我试试?

农村生活污水处理系统的构建与评估

徐亚同

(华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241)

摘 要 农村生活污水处理对农村地区地表水体的保护和美丽乡村的建设至关重要, 目前尚鲜见有关农村生活污水处理系统的规范性构建与评估的标准等参考材料。文中根据作者多年来在农村污水处理工作实践中的经验与教训, 介绍了农村生活污水处理系统构建的要点和投运后对处理系统进行评估的方法和建议, 以供相关专家和操作管理人员参考借鉴。

关键词 农村生活污水 处理系统的构建 评估

中图分类号: X321; TU992 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2021)04-0001-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.04.001

Construction and Evaluation of Rural Domestic Wastewater Treatment System

XU Yatong

(School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract Rural domestic wastewater treatment is very important to the protection of surface water bodies in rural areas and the construction of beautiful villages. This article systematically introduces methods on the construction, operation and evaluation of rural domestic wastewater based on author's experience and lessons in this field for many years. It also provides suggestion of evaluation of rural domestic wastewater treatment systems for experts and operation managers.

Keywords rural domestic wastewater construction of treatment system evaluation



徐亚同, 华东师范大学生态与环境科学学院教授、博士生导师。享受国务院特殊津贴专家, 受聘为3家国家级学会的顾问或理事。研究方向为水环境生物生态修复、环境微生物、污染控制微生物工程, 从事环境领域的科研和生产性应用推广工作逾50年, 有关成果出版专著13部、发表论文200余篇。获国家及上海市科技进步奖4项。

生活污水是指人类在生活过程中所排放的粪尿污水、衣服洗涤、食材清洗和加工废水等的总称。据调查, 农村生活污水是农村地区三大主要的面源污染之一, 对农村地区地表水体的污染严重, 是目前公众关注的热点, 为此各级政府已将农村生活污水的处理列入实事工程予以实施。以上海市为例, 目前已有近百万农户的农村生活污水得到了治理, 至2020年底, 覆盖率达到87%左右。与服务区域达数10 km²以上、污水在输送管网中的停留时间在数h~十几h从而使入厂污水水量和水质的峰值趋于平稳、水质和水量昼夜和年度变化不大的大中型城镇污水不同, 农村地区的青壮年劳动者往往在外务工谋生以致工作日在外、周末或节假日回家度假, 人

[收稿日期] 2021-03-19

[作者简介] 徐亚同(1943—), 男, 教授, E-mail: ytxu@des.ecnu.edu.cn。

员的流动性大;同时,就地污水处理站的服务区域狭小、距农户近,早晚和半夜的高、低峰变化明显,进入处理系统污水的水量大小和水质的浓度等波动大,不均匀系数高,对处理系统的冲击影响大;加上处理站的规模小,对于大中型污水厂一些常规的污水处理工艺,如强化除磷、外加碳源以提升脱氮效果、剩余污泥排放浓缩和及时清运处理处置等均具有不少难度,影响其稳定达标处理,也不利于降低运行的费用。调查显示,部分农村生活污水处理系统存在以下主要问题:处理工艺有所缺陷;管网收集和雨污分流不完善;早晚和半夜的高、低峰变化明显;管网渗漏严重;处理的设备存在质量问题;运维不到位,缺乏有效的评价和调控的方法和手段。虽然对已具有上百年发展历史的大中型城市污水厂积累了成套的行之有效的污水处理系统建造与评价的经验,但对处理规模小、水质水量波动大、近十几年才出现的新的小型农村污水处理系统往往缺乏行之有效的经验。为此,试图在近十几年对农村污水处理的实践和对农村污水处理系统投运后的评估中发现的一些有益经验或失败教训等的基础上,介绍农村生活污水处理系统构建和评估的方法及建议,以供有关方面参考。

1 农村生活污水处理系统的构建

(1) 选址

基于农村生活污水处理系统的基建投资和运维等在管网上的费用占比较高,因此,处理站宜选择在服务范围农户所处中心的区域,同时须考虑地形地势,还需兼顾用地属于村民公用的地块,须由设计人员与当地村委会一起协商,在数个后备选址中择优选用。

(2) 污水的收集

入户收集污水的管道须分成两类,收集粪尿黑水的管道将污水送入化粪池,以去除和截留污水中的手纸、垃圾等杂物,以防止管道堵塞;其余的厨余废水和洗涤废水称之为灰水,可不经化粪池直接纳入污水收集外排的管网中。农村的排水体制应采用雨污分流制,严禁雨水流入污水处理设施。农村生活污水的来源一般为厕所污水、厨房污水、洗涤污水。其中:厕所污水应先经化粪池处理后,再接入污水管网中;厨房污水应先经厨房清扫井(小型一体化隔油井)处理后,再接入污水管网中;洗涤污水可

直接接入污水管网中。在出户的污水管中,需设置U型存水管,以防臭气的泄漏和昆虫沿管进入。

另外,需注意部分农村中存在一些高浓度污水,其来源包括:农家乐、民宿、餐饮店等产生的含油污水;酿酒作坊、豆腐作坊、小型屠宰作坊、米粉红薯粉作坊等产生的污水。对于这些来源的污水,应根据实际情况予以单独处理,如不具备单独处理条件,应先进行预处理,将其排出的污水相关指标控制在设计水质范围以内,再接入污水管网中。

(3) 化粪池的设置及其大小

对于农村污水而言,由于水量少,输水的管道往往口径较小,加上污水中可能含有较多的垃圾等杂物,一般需设置化粪池以拦截杂物,否则会引起管网的堵塞。除非在高度城镇化的近郊农村地区,农户成排成片聚居、污水管道的口径较大时,方可不设化粪池。基于化粪池对有机物COD的去除往往在30%以上,多的可达50%~70%,为防止碳源有机物在化粪池中停留期间过多导致的消耗造成后续主体生化处理池中污水反硝化因缺乏碳源对TN去除效果的下降,建议化粪池容积不必过大,可按规范中设计值的下限选用。

(4) 污水的输送

一般可采用自流污水管输送,沿线按一定的距离设置检查井。当输水距离较远时,因坡降造成的水头损失,可通过设置一体化的自控提升泵站以提升水位,也可在农户所在地采用增压污水泵压力输送管输水。其所用低扬程潜污泵的数量较多,维修养护的工作量较大,但可确保管道不渗漏;在具体操作时,还可将邻近的农户污水自流入数个共用的集水池,再在集水池中设置增压的潜污泵用以输水。目前,还开发出负压输水的污水输送系统,其采用负压泵站抽吸污水,负压污水泵的数量较少,运行较为稳定可靠,但与上述2种输水方法相比,其基建的投资略高,可依据实际情况择优选用。

(5) 污水管线的走向

污水管线的走向需因地制宜,建议沿农村道路的边缘和河道的岸边行进,避免穿越农田造成农民在机械耕作时对管网的损坏。对于部分受地理因素制约而安装在农田旁的检查井,应对检查井进行加固或设置明显标识,避免农耕时期因杂草遮挡收割机驾驶员视线,造成检查井被收割机损毁。管网应尽量避免穿越大的河道和高等级的主干交通要道,

否则不仅费用高昂,且存在输水不安全的隐患。

(6) 调蓄池的设置

因农村生活污水变化系数大、水质水量冲击大,为达到稳定的运行,调节池的设置十分必要。调节池的容积一般设计在进水流量达到停留 12 h 以下为宜,过大的调节池不仅占地大、造价高,且在污水长期停留期间会消耗过多的优质碳源,不利于后面的生化处理工艺对氮、磷的去除。

(7) 就地生化处理工艺的选择

由于生活污水中的污染物大多易被生物降解,主体处理系统一般采用生物法、生态法或将生物和生态法组合后予以处理。各地的专业技术人员和环保企业已开发出上百种生物、生态及其组合处理系统用于处理农村生活污水,并取得了较好的处理效果。从投运后观察,生物法处理站占地一般较为节省,而生态法处理站占地较多,因此,在人口密集的农村地区一般推荐采用生物法处理;对于日处理水量小于 10 t/d 的处理系统或远离中心的村落、集中处理时管网建设费用较高的零星居住农户,以及周边有较多可用闲置空地的区域,可以采用生态法予以处理。

从目前各地的农村就地处理站规模看,日处理污水水量大多在数十~100 t/d,为保证处理构筑物的质量,并降低制造的费用,推荐使用模块化、系列化的一体化处理构筑物,在企业基地的厂内成批制造,运到现场后组装而成。

对于上述生物法的处理构筑物,其设计的工艺参数可参照设计手册。在实践中,发现对于二沉池的设计,由于构筑物较小,如按设计手册的参数设计时,二沉池的高度往往不够,表面水力负荷过高,造成出水飘泥较多,影响处理效果,建议采用低于设计规范中的表面水力负荷值予以设计^[1-3]。

(8) 氮的强化处理工艺和措施

生物法中对氮素的去除主要是通过微生物的硝化、反硝化作用,此时需利用占氮素 3 倍重量的碳源作为其反硝化的电子供体,从而达到反硝化脱氮的目的。农村污水处理系统将粪尿黑水纳入化粪池进行预处理,进水的水质和水量不均匀,在调节池停留时间太长,导致污水中的碳源浓度下降极多,进入到生化池后往往因碳源不足而造成 TN 的去除效果较差,为此需补充碳源^[4-6]。

常规的外加液体碳源的做法是有效的,但需采

用计量泵投加,同时在半夜往往没有进水,因此很难控制,费用也较贵。替代方法为在反硝化的处理池中放置固体碳源,可选用废弃的玉米芯、植物秸秆等制成的固体缓释碳源供作反硝化的碳源,具体操作时可采用分批少量投加和定期置换的方法达到均衡缓释碳源的目的。同时,固体碳源也可具有生物填料同样的作用,其上可附着生长生物膜,起到同时处理污染物的作用。

研究报道,在反应器中放置含硫填料,如废弃后被粉碎成颗粒状的硫化橡胶轮胎颗粒等,利用硫自养反硝化作用脱氮,此时硫自养反硝化菌可利用零价硫作为反硝化的电子供体进行反硝化脱氮,达到既不需碳源,又可脱氮的目的^[5]。同样,目前已发现存在铁自养反硝化作用,铁自养反硝化菌可利用零价铁作为电子供体进行反硝化脱氮。铁基质也可作为反应器中的填料予以利用^[5]。

调查中发现,部分处理站长期进水水量较少、进水浓度较低,造成处理系统中的溶解氧浓度居高不下。虽出水氨氮很低,但由于碳源不足, TN 的去除很差,此时可适当减少曝气的气量,控制生化池内的溶解氧在 1 mg/L 以下,为同步硝化反硝化和短程硝化反硝化营造一个合适的环境条件,以提升 TN 的去除效果。

(9) 磷的强化处理工艺

基于生化处理法对磷的去除有一定的限度,对于运行正常的处理系统,当 $BOD_5/TP > 20$ 时,除磷效果好,通过将富含磷的剩余污泥外排而达到除磷的目的;当 $BOD_5/TP < 20$ 时,其出水往往难以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准和地方标准较严值所需的 0.5 mg/L 以下的排放标准,因此,需采用化学或外加碳源等方法予以强化除磷。常规的化学法除磷是投加混凝剂与污水中溶磷作用生成不溶性的磷盐,并通过排泥从系统中去除^[1-3]。农村污水处理系统的排泥量本身不多,排泥的频率更低,生成的化学污泥沉淀物长期在处理系统中循环流动,不溶性的磷盐沉淀物被重新转化成溶磷而释放出来,达不到除磷的目的,因此,化学混凝沉淀处理方法对小型的污水处理站不适用。对于小型的污水处理系统,一般推荐采用吸附除磷的方法进行强化除磷,可在出水流程中设置吸附除磷装置模块,其内放置除磷的填料或滤料,如火山岩或炉渣等,吸附饱和后予以更换新的

填料。在土地条件允许时,也可后置生态法处理系统,予以强化对氮和磷的去除,可参见生态法处理系统的介绍^[2-3]。

(10) 污泥干化池的设置

农村生活污水的处理工艺以生化处理工艺为主,该类型工艺或多或少均有污泥产生,且剩余污泥长期不排出污水处理系统,会造成污泥老化和出水飘泥,对污水处理站的处理效果影响明显。目前,农村生活污水处理设施剩余污泥的去向是农村污水处理中的一个老大难问题,因此,建议在农村污水处理设计之初,考虑以村或镇为单位,设置污泥干化池。污泥干化池用于对剩余污泥进行干化处理,可设置在某个较大型的污水处理站内,或另外设置在距离各农村污水处理站近中心的地方。农村生活污水处理站定期排放剩余污泥,或当污水处理构筑物底部剩余污泥厚度大于 30 cm 时,即可对污泥进行清理。污泥干化池内的干化污泥经检测合格后,可用于园林绿化或送至垃圾填埋场进一步处置,还可设置流动的污泥脱水机、污泥浓缩池。污泥浓缩池用于对剩余污泥进行浓缩处理,然后将污泥浓缩池的剩余污泥运到某个较大型污水处理站的脱水机进行处理,处理后的污泥可运到有能力的单位进一步处置。

(11) 生态处理系统的构建

生态法处理系统一般适用于处理水量较小的处理站或分散居住的农户。从气候的角度来看,对于南方温暖以及人口稀少的地区、丘陵或山地等地势有一定坡度有利于污水自流的地区较为适用。常用的各种人工湿地、生态塘、土壤渗滤池的设计与建造可参见相关的设计手册或专著,在此不一一赘述^[4]。对于生态法处理系统,可在土壤基质中添加人工强化除磷或吸附氨氮的火山岩、沸石等填料,除可增加基质的孔隙度、避免基质的堵塞、延长基质的使用寿命外,还可提升对营养物去除的效果。在生态系统中植被的选用时,以生长快速、对氮磷吸收利用率较高的土著适生种以及常绿物种为好;对于落叶的植物,须在冬季注意植株的采收和对枯枝残叶的收集和处置,以免产生二次污染,避免将枯枝残叶留在地下到来年后又将其中的营养物释放出来影响处理的效果。

(12) 农村生活污水的资源化回用

早先我国农村地区大都采用旱厕,用厕后的粪

尿污水在粪坑内经发酵后用于农田庄稼的肥料,其虽有一定的经济利用价值,但对环境的危害和疾病的传播等造成严重的不利影响;其他生活用水往往就地被土壤渗滤后排放,可导致地下水的污染,并影响农户建筑物周边环境的卫生状况。目前,随着新农村建设和农村厕所的革命化改造,旱厕已被逐渐弃用,可将生活污水收集,将粪尿污水采用改良的化粪池进行预处理后,输送到周边的林地或农田附近,再经沉淀或过滤等处理,去除污水中大部分有机物和悬浮物(SS),保留其中的氮、磷等营养物,并经消毒杀灭病原微生物,达到林地和农田灌溉回用水标准后,用于资源化利用。如此,既可节省农业林地用水对水资源的消耗,又可节省生活污水中氮、磷营养物深度处理时所需的大量费用,还可使回用水中的氮、磷营养物起到肥料的效用,可谓一举多得。目前,上海崇明地区正利用林地占比高的特点进行试验和生产性实施和应用。

2 农村生活污水处理系统的评估

投运一段时间后,对处理系统的运行情况等做全面的评估有助于发现工艺的设计、建造或运维中存在的问题,以供后续农村污水处理工程参考和借鉴。通过评估,可将农村生活污水处理系统中存在的问题予以整改,以便确保长期稳定达标运行,并节省运行的费用。在具体的评估中可测定和评估以下内容。

(1) 进出水水质及达标情况

处理系统的出水能否达标是评估工作中的一个最为重要的指标,但并非唯一的指标。如出水未达标,需进一步了解:是否为进水浓度过高所致;观察出水的透明度,是否为出水中飘泥所致。如 TN 超标,需了解系统中溶解氧的状况,是否为缺氧段溶解氧过高所致;了解污泥的浓度,是否为污泥因流失造成污泥的浓度过低,导致反硝化不足所致;同时,需了解是否为碳源不足导致反硝化因电子供体缺乏而造成 TN 去除效果的下降。如出水磷超标,需了解强化除磷模块的运行情况,吸附除磷填料是否堵塞、是否吸附饱和,除磷的药剂投加是否到位等。

(2) 进水水量及其与设计污水水量的差距

如进水污水水量小于设计水量的 70%,需了解进户收集系统是否有漏接、污水的输送管网是否有

渗漏、农户数量及居住的人员生活和流动状况。

如发生进水流量小于设计流量的 70% 造成大马拉小车时,在评估时需予以扣分。

(3) 运行成本

如水量小于设计水量,须计算出实际的吨水处理成本。以生活污水吨水处理成本为 1.00 元/t 作为本项得分 60 分,则每降低 0.01 元/t 时增加 1 分,每升高 0.01 元/t 时减少 1 分。

(4) 污泥的排放及处理处置

说明排泥的频率、数量、处理处置方法以及去向,如长期不排泥需说明理由。

(5) 管网

处理系统中污水管网的完好程度、堵塞和渗漏情况等。

(6) 设备的完好率、维修频率及其费用

(7) 台账完整情况

检查台账是否按时逐项予以记录及其记录内容与运行状况的吻合情况。

(8) 二次污染情况

如臭气、噪声、污泥的处理处置、生态处理单元中植物残体的处理处置、运行过程中扰民的情况等。

(9) 远程监控

远程监控系统的有无,是否具有人工调控溶解氧,以及曝气系统的启闭等手段。

(10) 服务区内民众的投诉以及整改响应的情况

(11) 其他存在的问题

除以上问题外,对污水处理系统存在不利的影响及其造成的后果。

(12) 评估结论

如表 1 所示,按上述评估的结果,对所参评的就地处理系统的评估结论分成以下等级。

表 1 就地处理系统评估结论
Tab. 1 Assessment Conclusion of In-Situ Processing System

评估结论	评估情况
优	出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准和地方标准较严值,运行费用节省,其他指标均处于优良水平
良	出水水质达标,其他指标均处于中上水平
合格	出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 B 标准,其他指标处于中等水平
不合格	(1) 出水水质不达标; (2) 进水流量不足设计流量的 30%;在流量不足设计流量 50%时,需说明原因,如无特殊情况存在,也应评为不合格; (3) 生化处理系统中仅见少量污泥,平时也未见排泥,说明处理系统中缺少降解污染物的微生物,系统运行不正常,应评为不合格; (4) 管网有渗漏,对该地区地下水造成污染; (5) 所在地区的群众投诉多,且没有在限定期限内加以整改; (6) 存在其他严重的运行问题,如工艺参数调整不当、设备的维修不及时、停运时间多、运行费用超高等

(13) 整改建议

对处理系统存在的问题逐一提出整改措施,需如期达到整改目标的时限、所需的费用等,并予以一一落实和实施。

3 结语

农村生活污水处理系统包括将所在区域农户日常生活中所产生的污水分别收集后通过污水管网输送到附近的就地处理站进行妥善的处理,需防止错接漏接,切实做到雨污分离,避免直排进入地表水体。在实践中发现,污水管网的合理布局、精心设计和建造是关键,避免因管网的渗漏使污水污染地下水体或因堵塞而使处理站无水可以处理。最后,在

污水输送进入就地处理站时,需因地制宜地采用既能确保达到预定排放标准又经济实用的方法和工艺予以设计和建造。对于选用的处理工艺设计和建造,可参照相关的规范和设计手册,并依据农村生活污水的特点做必要的调整和修改。另外,还需对处理系统进行精心的运维,对处理系统的设备进行维护和保养,以确保长期稳定达标运行。在投运一段时间、处理系统达到稳定运行后,可对处理系统从处理的效果、运维费用、处理污水水量、处理工艺、设备保障率、长效运维等方面开展全面的评估,从中发现问题并加以改进。

(下转第 30 页)

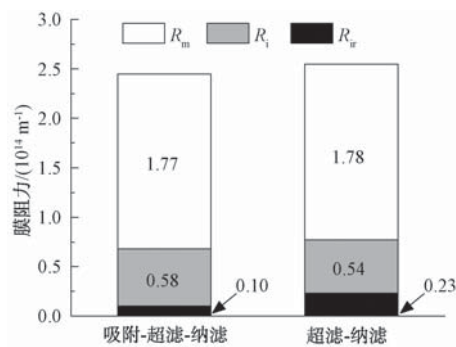


图7 可逆与不可逆膜污染分析

Fig. 7 Analysis of Reversible and Irreversible Membrane Fouling

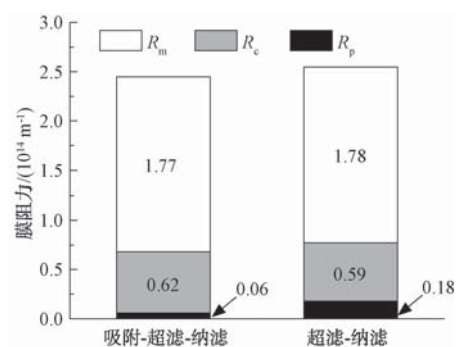


图8 滤饼层阻力与膜孔阻塞阻力分析

Fig. 8 Analysis of Cake Layer Resistance and Membrane Blocking Resistance

4.08%, R_p 占比 2.45%; 无吸附预处理 R_{ir} 占比 9.01%, R_p 占比 7.05%。显然,在膜污染层面上,吸附预处理可有效缓解纳滤膜的不可逆污染,减少纳滤膜孔内的重金属污染累积,保护纳滤膜不受突发污染影响,有利于纳滤膜的长期稳定运行。

3 结论

(1)纳滤工艺能在重金属突发污染时保障出水安全,但重金属突发污染造成的膜阻力以不可逆污

染阻力为主,存在缩短装置寿命的风险。

(2)试验证实,天然沸石静态饱和吸附量约为 3.03 mg/g,动态穿透临界吸附量 4.87 mg/g。前者可用于原位投加沸石吸附剂量计算,后者可用于沸石吸附柱沸石量预设计算。

(3)吸附-纳滤组合工艺对 Cu^{2+} 去除效果显著,去除率达到 99.61%,天然沸石吸附柱可控制纳滤工艺重金属进水浓度在 10 mg/L 以下。

(4)吸附预处理可有效缓解纳滤膜受到的不可逆污染,有利于纳滤膜的长期稳定运行。

参考文献

- [1] 赵伟业,李星,杨艳玲,等.超滤-纳滤双膜工艺深度净化饮用水效能试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2018,49(4):1018-1024.
- [2] 王云波,谭万春.沸石的结构特征及在给水处理中的应用[J].净水技术,2007,26(2):21-24.
- [3] 赵果.纳滤膜苦咸水软化分离性能及膜面污染研究[D].新乡:河南师范大学,2018.
- [4] 田晓媛.纳滤/反渗透膜技术处理高盐废水及高浓度重金属废水的研究[D].湘潭:湘潭大学,2014.
- [5] 杜兆林.河流突发铜污染应急吸附技术研究及处置决策分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [6] 刘有才,钟宏,刘洪萍.重金属废水处理技术研究现状与发展趋势[J].广东化工,2005(4):36-39.
- [7] 杨莹琴,马稳,马万山.多孔质天然沸石颗粒吸附剂对铜离子的吸附及再生[J].非金属矿,2004(2):44-45,48.
- [8] 李文凤.纳滤膜水处理过程中膜污染分析及膜过滤特性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2008.
- [9] 陈岳深,陈梓炜,熊德信,等.钙基蒙脱石、天然沸石对废水中 Cu^{2+} 的吸附研究[J].肇庆学院学报,2018,39(5):46-53.
- [10] 姚咏歌.液/固体系 Cu^{2+} 离子吸附反应的特征曲线与自由能变研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013.

(上接第5页)

参考文献

- [1] 徐亚同,谢冰.废水生物处理的运行和管理[M].2版.北京:中国轻工出版社,2009.
- [2] 赵庆祥,徐亚同.废水处理工[M].北京:劳动与社会保障出版社,2005.
- [3] 徐亚同,史家梁.废水生化处理[M].上海:同济大学出版

- 社,1999.
- [4] 徐亚同,史家梁,张明.污染控制微生物工程[M].北京:化学工业出版社,2001.
- [5] 史家梁,徐亚同.环境微生物学[M].上海:华东师范大学出版社,1993.
- [6] 徐亚同.废水中氮磷的处理[M].上海:华东师范大学出版社,1995.