

水污染防治生物处理技术验证 评估指标研究

许春莲¹,张 伟¹,宋乾武¹,黄海明¹,田艳丽²,陈 栋³

(1.中国环境科学研究院,北京 100012; 2.北京科技大学,北京 100083; 3.华北水利水电学院,郑州 450011)

[摘要] 建立科学的验证评估指标体系是开展环境技术验证评估的前提条件。立足于水污染防治生物处理技术,以公正、科学、保护知识产权等为原则,在总结国外验证评估指标体系、验证评估方法的基础上,结合我国的国情开展了水污染防治技术验证评估指标的设计。验证指标共分参考指标、测试指标、评价指标3个部分,按特性又划分为通用指标和特征指标两类。

[关键词] 生物处理技术;验证评估;指标

[中图分类号] X52;X172 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)03-0044-05

1 前言

在创新技术的市场化进程中,独立可靠的技术信息的缺乏是创新环保技术推广的关键阻碍。针对这种问题,美国、加拿大、日本等国在20世纪90年代先后建立并实施了环境技术验证(ETV)制度^[1]。该制度的核心是以第三方验证测试和数理统计为基础,通过科学、公正的运行数据和信息提高技术的可信度,加速创新技术市场化的进程。美国、日本等国将该制度实施的最初5年确定为试点阶段,所需费用全部列入财政计划,待制度完善后,逐渐向受益者负担方向过渡,由技术持有者、政府共同分担验证费用。该制度的实施推动了创新技术的应用,在扩大市场方面得到了广泛认可。

近年的环境管理实践表明,目前我国的环境技术评估体系尚不健全,评估方法不完善,科学性、公正性相对较差,对环境技术创新的支撑能力不足。此外,由于基础数据、中间数据的严重缺失,也导致了最佳可行技术(BAT)的筛选缺乏可靠依据。因此急需建立科学、公正的环境技术验证评估体系以满足流域污染治理、环境监管、环保产业发展的需求。

环境技术验证主要是对环保技术的污染物去除效果、经济性、可靠性、二次污染以及技术持有方自我声明的其他技术性能进行以实证测试为基础的评估。建立一套水污染防治技术验证评估方法、指标体系和质量保证程序,指导验证评估按照科学、公正、客观的程序和方法开展工作是验证评估技术体系的核心。本文以水污染防治生物处理技术为对象,开展验证评估指标体系研究。

2 国外研究进展

美国于1995年启动ETV试点,2001年正式开始运行。美国的《环境技术验证策略》^[2]中规定了ETV计划的目标、术语、基本操作原则、项目选择标准、实施流程等。2008年修订的《环境技术验证质量管理计划(QMP)》^[3]中规定了质量管理要求、工作程序及数据的采集、分析、评估要求等。美国ETV验证的质量管理体系采用了美国质量协会(ASQ)制定的美国国家标准《环境数据采集及环境技术计划质量体系规范和纲要》。目前,美国的废水处理技术验证主要以民用生活污水的验证为主。美国的废水处理技术验证主要依据2001年发布的《废水

[收稿日期] 2012-12-13

[基金项目] 国家重大科技专项资助(2009ZX07529-007)

[作者简介] 许春莲(1971—),女,辽宁抚顺市人,副研究员,研究方向为水污染控制与治理工程技术、环境技术评估等;E-mail: xucl@craes.org.cn

处理技术验证规程》进行。规程中规定了用来评价污水处理装置处理性能的参数,包括水质参数和运营维护参数。其中,处理性能核心参数包括pH、温度、总悬浮固体(TSS)、五日含碳生化需氧量(CBOD₅)、化学需氧量(COD)等项,核心参数是检测过程中的最低要求^[4];补充参数包括总凯氏氮(TKN)、硝酸盐氮与亚硝酸盐氮(NO₃+NO₂-N)、碱度、总磷(TP)、溶解性磷(SP)、粪便大肠菌群等。运营维护参数包括耗电量、消耗品用量、维护工作量、剩余污泥、操作的难度等。6000型序批式反应装置是用于住宅的分散式污水处理系统,包含生物处理、砂滤和紫外消毒等处理单元。以该系统的验证为例,验证测试的水质指标包括TSS、五日生化需氧量(BOD₅)、TKN、氨氮、NO₃+NO₂-N、总磷(TP)、SP、总大肠菌;运行参数包括流量、pH、碱度、温度、溶解氧、化学品消耗、系统操作难易程度、污泥量和重金属含量等^[5]。

日本在废水处理方面验证的技术主要包括小规模食品加工企业有机废水处理技术及非金属元素废水处理技术两个领域,小规模有机废水处理技术的验证主要参照《小规模食品企业有机废水处理技术领域实证试验要领》^[6]进行。该规程适用于日排水量小于50 m³的食品加工企业、公共厨房、餐厅等的有机废水处理技术验证。验证内容包括环境保护效果、运行所需能源、材料和成本、正常的操作环境、运营维护所需劳动力等方面。验证指标包括水质指标和运营维护指标两个方面。其中,水质指标包括pH、BOD₅、COD、悬浮固体(SS)、正己烷(*n*-HEX)、大肠菌值、TN、TP等;运行维护指标包括环境影响(如污泥、废弃物产生量、噪声、臭味等)、药剂、能源消耗、启动所需时间、正常运行至停止的持续时间、运行维护所需操作人员的技术和数量要求、可靠性、故障解决办法、运行维护手册合理性等。

目前,美国、日本等国开展的污水处理验证技术主要以生活污水、食品加工企业废水、餐厨废水等处理技术为主,在各国公开发布的验证测试报告中,尚没有找到高浓度工业废水处理技术的验证实例。

环境技术验证的最大特点是不对技术是否合格进行评价,而是通过公正、科学、客观的测试程序向技术的潜在使用者提供高质量的技术运行数据和技术特征。由于ETV制度在加速创新环保技术进入市场方面发挥了其他评估模式不可替代的作用,在国际上已经引起了越来越多国家的重视,继美国、日本、加拿大之后,欧盟、韩国等也先后创立

了ETV评估制度。目前,ETV制度有逐步国际化的趋势。但从美国、日本的验证技术数量的变化来看,在试点阶段由于政府承担全部验证费用,每年的验证技术数量呈快速上升趋势,而当财政拨款减少,逐步过渡到受益者负担方式后均呈现验证数量急剧减少的趋势。以美国为例,财政全额负担阶段,验证数量最高时每年达60多项,而转为技术持有方支付测试费用后的2008—2010年间年平均验证技术数量仅为8项左右(其中地下水和地表水污染防治技术领域为年平均1项)。日本的发展情况也呈现类似的趋势。验证费用是影响企业参加验证评估积极性的主要原因,另外水污染防治技术验证特别是生物处理技术验证的周期长、设备设置复杂等也是影响验证评估吸引力的一个原因。

3 验证评估指标体系设计原则

环境技术验证是指受技术持有方、使用者或其他利益相关者的委托,在技术最具有代表性的运行条件下由第三方机构依据国家的测试规范、标准、法规等,对环保技术的环境保护效果、环境影响以及经济性等进行科学、客观、公正的验证和测试,在此基础上综合运用数理统计以及专家辅助评价等方法,对该技术的性能进行评价和分析的过程。本研究在充分吸收国外验证评估体系发展的经验教训基础上,以实现验证评估体系的可持续发展,推动环保技术的创新发展为目标,确定了水污染防治生物处理技术验证评估指标体系的设计原则^[7-9]。

1) 符合国家的相关法规、政策、技术标准。我国现行的环境法规、环境政策,国家、地方、行业的排放标准、技术规范等是本指标体系设计的主要依据和立足点。

2) 为技术使用者提供系统、全面的技术运行信息,确保验证结果的科学性。指标体系应具有系统性和完整性,各指标具有明确的内涵,验证指标的设计应能够真实、准确地反映技术的环境保护效果和技术特点、创新性,确保验证评估结果的科学性。

3) 保护技术开发者的知识产权。验证评估以推动环保技术的创新发展为目标,侧重技术的实际使用效果的测试和评价,避免涉及和泄露技术的核心内容。在满足验证测试最低要求的基础上,企业具有特征指标的选择权,增加验证过程中的企业参与度,提高技术创新主体参加验证评估的积极性。

4) 结合中国国情,注重实用性、可操作性,支撑验证评估制度的可持续发展。从中国的经济发展

水平和验证成本等角度出发,评估指标的设计不宜过于复杂,要充分考虑测试数据的获得可能性,应便于操作和应用,增加对企业的吸引力,具有可持续发展性。

5)充分考虑今后与国际接轨的可能性。验证评估制度的国际化趋势已经显现,我国的验证评估指标体系的设计应充分考虑与国际上其他国家接轨的可能性,为将来实现国际互认奠定基础,为中国企业参与国际竞争提供支撑。

4 验证评估指标体系设计

根据上述原则本文开展了水污染防治生物处理技术验证评估指标体系的设计。本指标体系适用于:a.生活污水、工业废水(不包含危险废物)、城镇污水处理过程中所有采用生物处理单元技术或以生物处理技术为主的工艺技术的验证测试与评估;b.以生物处理技术为主的一体化小型污水处理装置、各类生物反应器性能的验证测试和评估。验证评估指标按指标特性划分为通用指标与特征指标两大类。通用指标具有普遍适用性,适用于各种生物处理技术的验证评估,是验证评估的最低要求。特征指标是指能够表征所验证技术特异性处理效果或水质污染特征的指标。特征指标由测试机构与技术验证申请方根据技术特征、验证评估的要求及成本控制等情况从指标体系中选择确定。

指标体系由参考指标、测试指标、评价指标3个部分构成。

4.1 参考指标

参考指标主要由技术持有方提供,包括技术的基本信息指标和设计参数指标。基本信息指标中的工艺流程与自我声明技术指标、技术创新性指标为通用指标。

设计参数指标按技术的类别划分为好氧活性污泥法、好氧生物膜法、厌氧活性污泥法、厌氧生物膜法4类,分别设定了各工艺方法的设计参数指标。其中,好氧活性污泥法主要包括厌氧-缺氧-好氧法(A²O)、缺氧-好氧法(A/O)、序批式活性污泥法(SBR)、氧化沟、传统活性污泥法、膜生物反应器等及其改良工艺;好氧生物膜法主要包括接触氧化法、曝气生物滤池法(BAF)、生物滤池法、生物转盘法等及其改良工艺;厌氧活性污泥法主要包括上流式厌氧污泥床法(UASB)、厌氧内循环反应器法(IC)、水解酸化法等及其改良工艺;厌氧生物膜法主要包括厌氧生物滤池法、厌氧流化床法、厌氧膨

胀床法、厌氧生物转盘等及其改良工艺。为了能够准确反映技术的特征,设计参数指标的选取不宜少于两项。

4.2 测试指标

测试指标是指在技术最具有代表性的运行条件下,由第三方验证机构对技术的性能进行实际测试、验证的指标。验证评估以定量指标为主,以定性指标为辅。测试指标包括水质指标、二次污染指标、工艺运行指标、资源能源消耗及回收量、操作及维护管理指标等。

水质指标的测试主要通过分析水质中的污染物浓度,衡量污水处理技术的水污染物去除性能。水质指标分为第一类污染物指标与第二类污染物指标。第一类污染物指标主要适用于成分复杂及含有毒有害物质的工业废水处理技术的验证评估。水质指标的确定依据是目前国家现行的城镇污水处理厂排放标准、污水综合排放标准、各种行业排放标准等。水质指标中COD、BOD₅、pH、氨氮等4项为通用指标。为了真实、有效地反映技术的特征和处理效能,成分复杂的工业废水处理技术的特征水质指标的选择不宜少于两项,特征指标的选取应突出技术的污染物去除特性及原水的水质特征。

二次污染指标主要考察技术在使用过程中对周边环境造成的影响。二次污染指标包括噪声、臭味、固废3个方面。

工艺运行指标测试的目的是考察污染物消减效果与工艺运行参数之间的相关关系,监控异常状况的发生,为科学的工艺运行管理及数据的分析、评价提供支持。运行指标包括表观指标与运行参数指标两类,其中流量、溶解氧(厌氧为ORP)、污泥浓度、水温4项工艺运行参数指标为通用指标。为了科学、真实、有效地反映技术的运行状况,生活污水处理技术的特征运行参数指标不宜少于两项,对于成分复杂的工业废水处理技术的特征运行参数指标不宜少于3项。

资源能源消耗与回收量指标包括能源消耗指标、药剂消耗指标、材料消耗指标、水耗指标、资源能源回收利用率5项,其中能源消耗指标中的耗电量指标为通用指标。

操作及维护管理指标以定性描述为主,包括基本指标和补充指标。基本指标适用于所有水污染防治生物处理技术的评价。产品类的一体化污水处理装置、小型生物反应器的性能测试除要测试基本指标外,还应进行补充指标的测试。基本指标中

的故障和异常的发生频率指标为通用指标。

4.3 评价指标

评价指标是指由第三方评价机构在对测试指标与参考指标进行全面分析与计算的基础上,对技术某一方面性能给出评价结果的指标。评价指标包括污染物去除率指标、处理效果稳定性指标、运转可靠性指标、环境友好性指标、技术经济性指标5项。其中污染物去除率指标为通用指标。

污染物去除率为测试期间相应条件下的污染物平均去除率。在计算平均去除率和抽样误差的基础上,计算置信水平为80%时的置信区间。

处理效果稳定性指标主要通过通过对进水、出水浓度变化的分析,对出水水质的波动、抗冲击负荷能力、连续稳定运行状况等进行评价,并对冲击负荷情况下的达标情况、出现波动的原因进行分析。

运转可靠性指标主要根据维护管理难易程度、故障发生频率、排除故障的难易程度、维护管理所需要的技能水平、构造安全性等来进行分析和判断。

环境友好性指标是定性分析和评价在验证技术的运行过程中使用的化学试剂、材料、排放的噪声、剩余污泥等是否会对周围环境以及人体健康存在潜在的危害风险,是否会对包括地下水在内的周边水体环境产生潜在的风险。评价应参照《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)、《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284—1984)等现行国家标准进行。

技术经济性指标是通过计算和分析吨水处理的直接成本,吨水建设占地面积、吨水能耗、吨水维护管理所需人数及技能等来进行评价的。

5 应用案例

以化工生产废水处理技术——3T-IB固定化微生物技术的现场验证为例,采用本文的方法建立验证评估指标。

5.1 技术概况

3T-IB固定化微生物处理技术由两级厌氧滤池及缺氧池、好氧池等组成,工艺流程如图1所示。其技术特点是在两级厌氧池内填装一种生物附着力强的多孔结构高效生物载体,并接种一种培养、驯化的优势菌种,提高对难降解、有毒有害物质的降解效果和脱氮能力,提高系统的抗冲击负荷能力。

验证测试工程的实际水量为8 000 m³/d,原水包括尼龙化工生产废水、工程塑料生产废水、生活污水等,排放标准执行《污水综合排放标准》

(GB 8978—1996)中的一级标准。

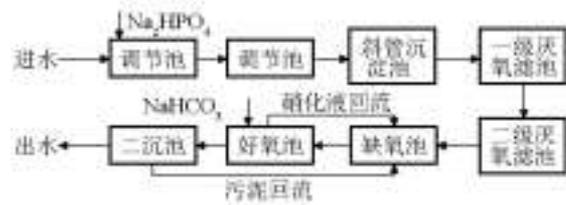


图1 3T-IB技术工艺流程图

Fig.1 3T-IB technology process flow diagram

5.2 指标体系的建立

1)参考指标。验证准备阶段由技术持有方向评估机构提供验证技术的技术特点、原理、历史数据、主要设备、工艺流程及平面布置图等基本信息及主要构筑物设计水力停留时间、设计回流比、厌氧滤池填料厚度等设计参数作为评估机构掌握技术的基本情况,并根据技术特点制定验证测试方案。

2)测试指标。废水中含二胺、己二酸等成分,水质成分复杂,pH变化大(4~12),硝酸盐浓度较高。此外,由于化工生产过程中采用了含重金属的催化剂,废水中含有微量Cu²⁺等有害物质。根据水质特征、排放标准及验证成本控制要求等,最终选定的验证测试水质指标包括pH、BOD₅、COD、TN、氨氮、NO₂-N、NO₃-N、TP、Cu²⁺、SS、色度等。

本次验证的化工废水属于中温废水,原水水温在33~43℃范围内波动。本次验证需要通过测试数据考察水温变化、季节变化等对处理效果的影响;需要考察有毒有害物质对生物处理效果的影响,同时还要密切监控工艺运行过程中的异常情况,便于及时采取对策。综合上述因素,本次验证选取的工艺运行指标主要包括水温、溶解氧、混合液悬浮固体浓度(MLSS)、污泥沉降比(SV30)、流量、碱度、好氧池微生物数量及长势等。

根据工艺技术运行过程对环境的影响,二次污染指标主要选定剩余污泥量、剩余污泥重金属含量、噪声、臭气等。

该工程在运行过程中需要添加NaHCO₃及Na₂HPO₄,以满足硝化对碱度的需求及除磷的需求。运行过程中还要根据滤料的消耗情况补充适量的滤料。本次验证中测试的资源能源消耗与回收量指标主要包括耗电量、NaHCO₃及Na₂HPO₄的每日投加量、滤料补充量等。

操作及维护管理指标主要记录维护管理工作

量(人数、时间、技能)、故障发生情况、频率等。

3)评价指标。根据参考指标及测试指标,评价指标的经济技术评价主要选取去除率指标、运转可靠性指标、处理效果稳定性指标、环境友好性指标及技术经济性指标5项进行评价。

5.3 主要评价结果

验证测试期间在工艺稳定运行条件下,COD进水浓度在520~1 860 mg/L,平均去除率为93.0%;氨氮进水浓度为17~67 mg/L,平均去除率为78.4%;TN的平均去除率为81.6%,能够满足技术声明中的要求。原水NO₃-N浓度为170~340 mg/L,由于硝酸盐浓度较高,通过两级厌氧、缺氧池的反硝化作用,COD在进入好氧池前大部分已被去除,可最大限度节省能耗。前端厌氧滤池能够对废水中各种冲击负荷起到很好的缓冲作用,能够应对原水的pH波动。

通过测试数据的计算和分析,系统运行中碱剂的投加量偏高,磷剂的投加量合理。当系统受到冲击时,活性污泥状态不佳,但通过7~10天的恢复,污泥可达到良好状态。微生物的长势与污泥中重金属的富集、冲击负荷等密切相关。该工艺运行较稳定,生物活性污泥排放量较少。

6 结语

水污染防治生物处理技术验证指标体系的设计

旨在通过技术验证为技术使用者提供系统、全面、科学的技术性能信息。指标体系的设计在一定时间内应具有相对的稳定性,但是随着环境保护技术不断发展和进步,指标体系应适时进行调整和完善。评价过程中应根据技术特征和验证评估要求、成本控制等情况有针对性地选择指标,使评价结果更具有科学性、公正性和客观性。

参考文献

- [1] 王莹.美国环境技术认证(ETV)计划简介[J].中国人口·资源与环境,2001,11(3):121-122.
- [2] U.S. EPA Office of Research and Development. Environmental technology verification strategy (EPA/600/K-96/003) [R].Washington:U.S.EPA,1997:1-14.
- [3] U.S. EPA Office of Research and Development.Environmental technology verification (ETV) quality management plan (EPA/600/R-08/009) [R].Washington D. C.:U.S.EPA,2008:1-67.
- [4] NSF International. Protocol for The verification of wastewater treatment technologies[R].Washington D. C.:U.S.EPA,2001:15-44.
- [5] NSF International.Environmental Technology Verification Report-Evaluation of a Decentralized Wastewater Treatment Technology (06/28/WQPC-SWP)[R]. Washington D. C.:U.S.EPA,2006:9-58.
- [6] 日本環境衛生センター. 小規模事業場向け有機排水技術実証試験要領 [R]. 3版.東京:日本環境衛生センター,環境省水・大気環境局,2010:8-18.
- [7] 冯霞,吴以中,宗良纲,等.水源地水质安全评价指标体系研究[J].安徽农业科学,2008,36(14):5968-5970.
- [8] 黄进,汤万金,韩淑华.我国环保产业标准化体系研究[J].世界标准化与质量管理,2004,9(9):42-45.
- [9] 石中和.应用技术类科技成果评价及指标体系研究[J].北京交通大学学报:社会科学版,2007,6(3):54-58.

Study of verification index for biological treatment technology of wastewater

Xu Chunlian¹, Zhang Wei¹, Song Qianwu¹,
Huang Haiming¹, Tian Yanli², Chen Dong³

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

3. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

[Abstract] The precondition for ETV is to establish a scientific verification program index system. This study bases on biological treatment technology of wastewater, with the principles of impartial, scientific and intellectual property protection, summarizing the experience of foreign ETV index system and evaluation methods, carrying out the design for the verification index system of wastewater, combined with China's national conditions. Verification indicators consist of reference index, test index, evaluation index, which is divided into common indicators and characteristic indicators according to its characteristic.

[Key words] biological treatment technology; verification assessment; index