

水污染治理技术综合评估方法研究^{*}

李 娇¹⁾ 宋永会¹⁾ 蒋进元^{1)†} 洪尉淞^{1,2)} 贾萌远³⁾ 谭 伟¹⁾

(1) 中国环境科学研究院, 100012, 北京; (2) 重庆交通大学国家内河航道整治工程技术研究中心, 400074, 重庆;

(3) 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 100083, 北京)

摘要 水污染治理技术评估方法可用于指导筛选科学合理的水污染治理技术. 本研究以我国现有水污染治理技术为评估对象, 对评估原则、评估框架、评估模型及评估结果进行系统研究, 并开展案例验证. 采用层次分析法构建了基于“目标层-准则层-要素层-指标层”的水污染治理技术综合评估指标体系, 其中, 指标体系的准则层包括环境、经济、技术3个维度, 涵盖了环境效益、二次污染、技术成本、技术效益、技术可靠性、技术适用性6个要素. 指标层指标提出, 根据各技术类型特征利用数理统计分析法进行筛选, 采用排序赋值和分级赋值法对指标赋值, 并通过加权法计算得到评估结果, 评估结果通过雷达图和三维坐标实现. 在构建评估方法的基础上, 以典型城镇污水处理技术为例验证了评估方法的适用性. 本研究提出的水污染治理技术综合评估方法, 为评估和筛选适宜的水污染治理技术提供了方法学上的参考.

关键词 水污染治理技术; 综合评估方法; 评估指标体系; 评估模型; 雷达图; 三维坐标

中图分类号 X52

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2020065

自“九五”以来, 水体污染控制得到国家空前的重视, 先后实施了一系列重点流域水污染治理举措, 我国学者也开展了不少关于水污染治理技术的相关研究^[1-5]. 其间, 大量科学成果转化为水污染治理技术, 从“小、散、全”的单项水污染治理技术, 到流域尺度的水污染控制工程技术, 对改善流域水质起到了积极作用. 然而, 仅有少量的技术实现了标准化和规范化, 大量在当前水污染治理中迫切需求的技术已具相应水平但尚未进行技术评估, 未进行标准化和规范化, 在实际应用中如何选择出适合特定流域的水污染治理技术时, 仍存在极大的不确定性, 难以有力支撑当前我国流域治理中水污染控制技术的迫切需求. 因此, 对我国已有水污染治理技术进行全面系统评估, 对流域水污染控制技术选择提供参考与指导性建议具有重要意义.

水污染治理技术涉及类型多、数量大, 且不同类型水污染治理技术均有各自的特征, 如何建立统一的标准实现技术评估的系统化、规范化, 是水污染治理技术评估领域的难点, 也是水污染治理技术集成与应用的关键点之一. 目前, 国内外关于环境技术评估已有了一些研究. 在国外, 美国对现有污染源的技术评估以费用效益分析方法为主, 根据不同污染物排放所能采用的控制方法, 考虑各种技术的能源、环境、经济和其他成本来判定技术等级^[6]; 欧盟则是根据《综合污染预防与控制第96/61/EC号指令》的规定开展环境技术评估以确定最佳可行技术^[7]. 我国在技术评估方面的研究起步较晚, 黄擎明等学者于1980年左右首次提出技术评估体系, 并对技术评估的方法论和实践论进行了详细的研究^[8-9]. 进入21世纪后, 技术评估在我国水污染防治领域开始较大范围开展, 许多学者采用不同的评估方法从多个角度对各类水污染治理技术进行了评估, 对技术优选及水污染防治路线的制定提供了支持. 如: 李丛^[10]选取了6大典型重化工行业所使用的水污染治理技术为研究对象, 基于环境费用效益法优选水处理技术; 姚金玲^[11]应用成本效益分析法和模糊综合评估法对污泥处理处置技术进行了评估, 并构建了综合评估指标体系; 梁静芳^[12]基于层次分析法和模糊综合评价法构建了制药行业水污染防治技术评估模型, 并对16家制药企业的废水处理技术进行了技术评估.

总体来看, 当前我国针对水污染治理技术评估的相关研究还相对较少, 已有的研究也还存在不少问题, 如评估体系缺乏系统性, 评估对象大多仅针对某一行业, 评估方法和评价标准相对杂乱, 这使得评估结果主观性较强, 技术之间很难进行横向比较, 无法为特定流域水污染治理和控制提供切实的指导. 因此, 如何从可持续发展角度出发, 对这些水污染治理技术进行综合评估是当前的迫切需要. 本研究以我国现有水污染治理

^{*} 国家水体污染控制与治理重大科技专项资助项目((2017ZX07401); 广西创新驱动发展专项资金资助项目((AA17202032))

[†] 通信作者: 蒋进元(1974—), 男, 研究员, 博士. 研究方向: 水污染控制技术. e-mail: jiangjy@craes.org.cn

收稿日期: 2019-10-24

技术为评估对象,结合流域或区域水环境现状,综合考虑环境、经济、技术3个方面的水污染治理技术特征,提出一种科学合理的多维度水污染治理技术综合评估方法,并选择典型城镇污水处理技术进行案例验证,为评估和筛选适宜的水污染治理技术提供科学的方法指导。

1 水污染治理技术综合评估技术体系框架

根据本研究的评估尺度和评估目的,提出水污染治理技术综合评估技术体系框架(图1)。

1) 指标体系. 对我国现有水污染治理技术进行梳理总结,依据治理目的、治理对象等技术进行分类,形成水污染治理技术库。同时根据评估体系的需求,从环境、经济、技术3个侧面收集相应的指标数据,构建水污染治理技术评估指标数据库。

2) 问题识别. 对要研究的流域或区域进行污染源解析,识别研究区内面临的主要水环境问题,并针对性地提出治理水污染的技术类型。这里的水污染治理技术类型可能包含一种类型,也包含多种类型,视研究区实际污染特征而定。

3) 筛选对象. 将提出的治理流域或区域水污染问题的技术类型与水污染治理技术库进行比较,筛选出符合该流域或区域的水污染治理技术类型,即本研究要评估的对象。通过对这些技术进行综合评估,最终筛选出适合该流域或区域的水污染治理技术。同样地,要评估的技术可能属于一类技术,也可能属于多类技术。对于多类技术的情况下,要分类型分别进行评估。

4) 评估建模. 在确定评估对象的基础上,基于环境、经济、技术3个维度对水污染治理技术进行评估,对每个维度制定评判标准,采用排序赋值法和分级赋值法确定每个技术在三维空间的位置,由此找出每个技术的优势和短板,根据研究区的实际需要最终确定出适合该流域或区域的水污染治理技术。

2 评估方法

2.1 指标筛选 通过对相关领域的文献检索^[13-16]和分析,结合本研究的研究目的,提出以下基本原则来构建水污染治理技术评估指标体系: 1) 目的性原则. 评估指标体系紧紧围绕评估目的展开,最终的评估结论准确反映评估意图。2) 全面性原则. 评估指标必须全面反映评估对象的各个侧面,整个评估指标体系要包含水污染治理技术的判别性指标。3) 独立性原则. 指标间尽可能独立、不重叠,尽量选择那些有代表性的综合指标和主要指标。4) 层次性原则. 评估指标体系必须具有合理的层次性,为进一步分析要素与指标的对应关系创造条件。5) 可比性原则. 评估指标体系必须对每一个评估对象是公平可比的,方便每种类型技术在不同流域或区域进行比较。6) 可测性原则. 数据来源符合客观实际易于获取、统计口径一致,尽可能具有通用性。

基于评估指标体系构建的基本原则,该研究采用层析分析法^[17-20]构建“目标层-准则层-要素层-指标层”的4层次框架结构的评估指标体系(见图2): 第1层为目标层,即水污染治理技术综合评估;第2层为准则层,设置环境指标、经济指标和技术指标3个不同侧面来全面体现综合评估的评估目标;第3层为要素层,将准则层进一步细化分解,将评估同一侧面或同一目标的指标归到一类,优化指标体系,使目的更加清晰。本研究设置6个要素来体现3个准则,其中:环境指标包含环境效益和二次污染2个要素来分别体现环境的正、负效应;经济指标包含技术成本和技术效益2个要素来分别体现技术产生的费用和收益;技术指标由技术可靠性和技术适用性2个要素来体现。第4层为指标层,即用来评估水污染治理技术的具体指标。由于水污染治理技术涉及类型多、数量大,无法提出统一的评估指标涵盖所有的水污染治理技术类型,因此在6个共性要素的基础上,根据各水污染治理技术类型的特征,再分别提出各技术类型的指标层。

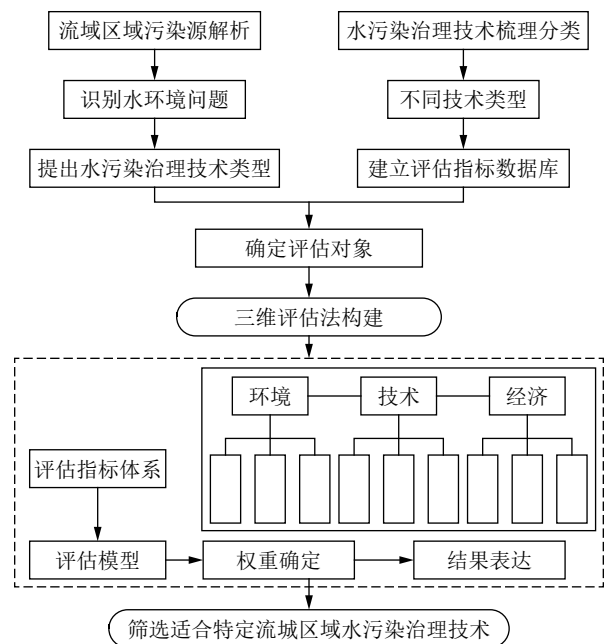


图1 水污染治理技术综合评估技术体系框架

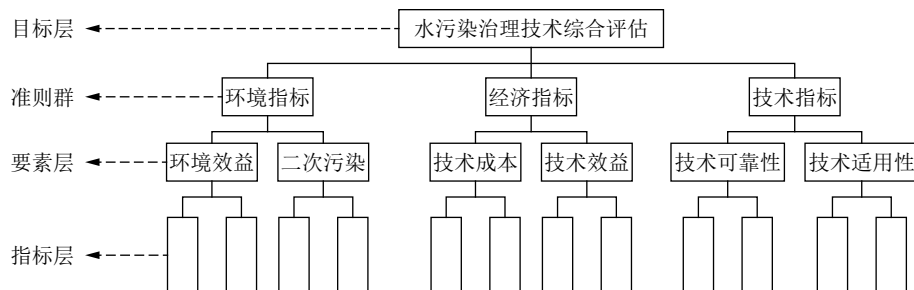


图2 水污染治理技术综合评估指标体系

为确保指标层选取的科学性、客观性和代表性,本研究在遵循指标体系构建原则的基础上,提出了水污染治理技术评估体系中指标层指标筛选新方法,筛选过程的技术路线见图3。在查阅相关文献及总结我国现有水污染治理技术研究成果的基础上,构建出备选指标库和指标数据库,经频度分析、重要性判断、可测性判断、可比性和独立性检验等一系列数理统计分析后,符合入选标准的评估指标最终确定为水污染治理技术综合评估的指标层。其中:重要性判断是通过专家咨询法判断指标的重要性等级,以避免漏掉频度低但十分有价值的指标;可测性判断是分析单项指标能否准备、及时地获取,依据现有水平无法获取且不重要的指标则要舍去;可比性检验是检验单项指标取值的区分度,对于取值都比较接近的某单项指标即使指标权重较大,但对评估结果作用几乎为零;独立性检验是定量地分析各复合指标之间交叉重叠程度,避免由于指标之间的相关关系引起的重复评估。

2.2 评估模型 针对定量指标,采用排序赋值法对评估指标进行赋值,计算式为

$$F_i = \begin{cases} \left(1 - \frac{x_{iR}}{N_{\text{sum}}}\right) \times 100\%, & F_{ix} \geq S_i, \\ 0, & F_{ix} < S_i, \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{iR} 为第 x 项技术的第 i 个指标的具体数值在同类技术类型中的排名大小; N_{sum} 为该类型技术总数; F_{ix} 为第 x 项技术的第 i 个指标的具体赋值(%),取值范围为 0~100%,实现了指标归一化处理; S_i 为特定流域区域对第 i 个指标提出的技术需求标准。

针对定性指标,划定区分度比较明显的级别,将相似性的指标都划在一个级别里,用同样的值表示,以达到赋值的目的。

指标间权重采用主客观赋权法^[21-23]来实现。首先对各指标归一化值进行主成分分析,得到各指标的初步权重,然后根据特定流域区域对技术的实际需求,结合专家判别、文献调研,最终确定指标权重。根据各指标的赋值和权重,利用加权法分别计算出在环境、经济和技术3个维度上的值作为评估结果。

2.3 评估结果 评估结果分2种,分别用三维坐标和雷达图形式来表达。该研究基于环境、经济和技术3个维度来对水污染治理技术进行综合评估,以期通过评估来找出每个技术在每个维度的优势和短板,并根据特定流域或区域的实际技术需求筛选出适合该地区的水污染治理技术。该研究提出的三维坐标表达法,即将每个技术计算得到的环境、经济和技术3个维度上的数值以 (x, y, z) 坐标形式表示,实现每个维度的评估结果在三维空间上可视化表达(图4-a)。每项技术的综合评估得分用 $A=x+y+z$ 来表达。

针对环境、经济、技术这3个维度内包含的各评估指标在每个维度上的情况,该研究采用雷达图形式来表达,即将每个维度上各个评估指标的结果集中画在一个圆形图标上,来表现某一类技术在某一维度上的各个指标的变动情形及好坏取值。如将城镇污水处理技术中某2个技术在环境维度下 TN 去除率、TP 去除率、COD 去除率和污泥产生量4个指标的情况用雷达图表示,可直观看出每一指标的情况(图4-b)。

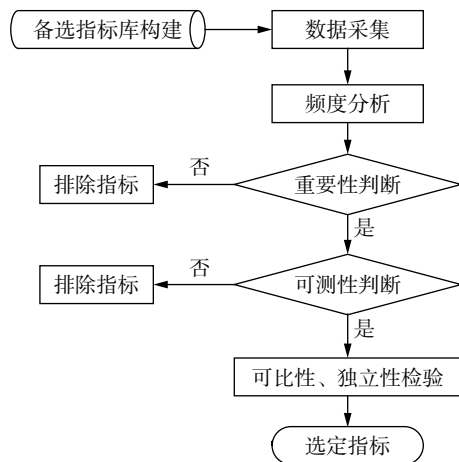


图3 评估指标筛选过程的技术路线

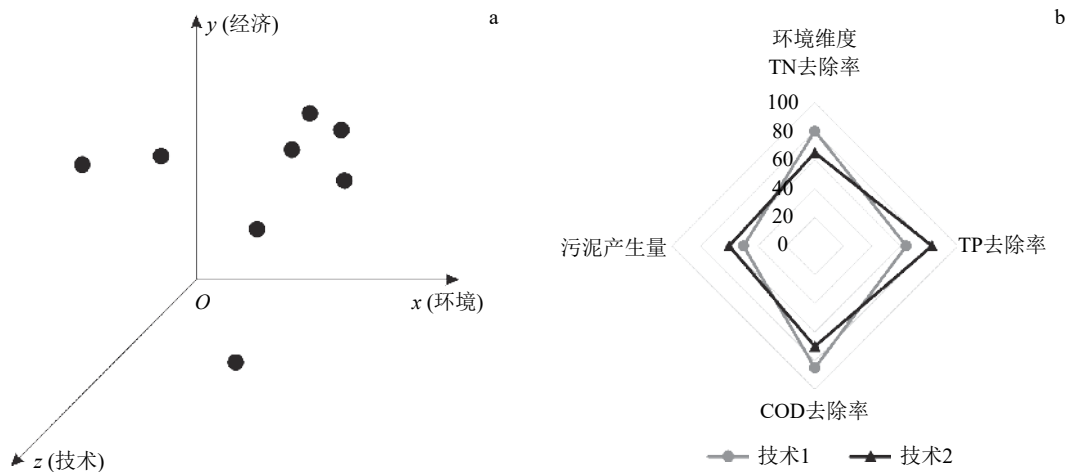


图4 三维坐标表达法(a)和雷达图表达法(b)

3 案例应用

3.1 城镇污水处理技术综合评估指标体系构建 以城镇污水处理技术为例,在对城镇污水处理技术评估进行国内外文献调研的基础上,以《水污染防治先进实用技术汇编(水专项第一批)》研究成果^[24]为数据基础,根据上述评估指标体系构建原则、方法以及评估指标筛选方法,构建出了基于“目标层-准则层-要素层-指标层”的城镇污水处理技术评估指标体系,评估体系及指标层各指标计算式如表1所示。值得注意的是,由于城镇污水处理技术主要是经济投资,不涉及经济收益,故要素层中舍弃技术效益。可以理解为该要素下的指标权重为0,因此,舍弃技术效益相关指标并不会对评估指标体系框架的统一性产生影响。

表1 城镇污水处理技术评估指标体系及指标层各指标计算式

目标层	准则层	要素层	指标层	指标含义	计算方法
城镇污水处理技术综合评估	环境指标	环境效益	COD去除率(H_1)	污水处理运行稳定后对COD的去除效果	$(\rho_{\text{进水}}(\text{COD}) - \rho_{\text{出水}}(\text{COD})) / \rho_{\text{进水}}(\text{COD}) \times 100\%$
			BOD去除率(H_2)	污水处理技术运行稳定后对BOD的去除效果	$(\rho_{\text{进水}}(\text{BOD}) - \rho_{\text{出水}}(\text{BOD})) / \rho_{\text{进水}}(\text{BOD}) \times 100\%$
			SS去除率(H_3)	污水处理技术运行稳定后对SS的去除效果	$(\rho_{\text{进水}}(\text{SS}) - \rho_{\text{出水}}(\text{SS})) / \rho_{\text{进水}}(\text{SS}) \times 100\%$
			氨氮去除率(H_4)	污水处理技术运行稳定后对氨氮的去除效果	$(\rho_{\text{进水}}(\text{氨氮}) - \rho_{\text{出水}}(\text{氨氮})) / \rho_{\text{进水}}(\text{氨氮}) \times 100\%$
			TN去除率(H_5)	污水处理技术运行稳定后对TN的去除效果	$(\rho_{\text{进水}}(\text{TN}) - \rho_{\text{出水}}(\text{TN})) / \rho_{\text{进水}}(\text{TN}) \times 100\%$
			TP去除率(H_6)	污水处理运行稳定后对TP的去除效果	$(\rho_{\text{进水}}(\text{TP}) - \rho_{\text{出水}}(\text{TP})) / \rho_{\text{进水}}(\text{TP}) \times 100\%$
	经济指标	二次污染	污泥产生量(H_7)	1t污水平均产生的污泥量	$m(\text{日污泥产生量}) / m(\text{日均处理水量})$
			基建投资费用(E_1)	污水厂一次性建设投资费用与污水厂日处理水质量之比(万元/t)	$(f(\text{土建费用}) + f(\text{设备购置费用})) / m(\text{日均处理水量})$
		技术成本	运行费用(E_2)	污水厂处理1t废水所需要的费用(万元/t)	$(f(\text{电}) + f(\text{药剂}) + f(\text{人工}) + f(\text{设备折旧}) + f(\text{其他})) / m(\text{日均处理水量})$
			抗水力冲击负荷能力(J_1)	被评估的技术对来水水量及水质变化的适应能力,用水量变化系数来定量表征	$m(\text{年最大日处理水量}) / m(\text{年均日处理})$
技术指标	技术可靠性		运行稳定性(J_2)	是出水达标合格的保证,用年出水达标率来表征	$t(\text{全年出水达标时间}) / t(\text{全年总运行时间}) \times 100\%$
			操作管理难易程度(J_3)	与废水处理技术是否能够广泛开展密切相关,且直接影响出水的稳定达标性	用设备完好率(%)和人工劳动强度($\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$)来定量判断

3.2 辽宁省几种典型城镇污水处理技术综合评估 通过对2017年辽宁省城镇污水处理厂工艺技术进行分类发现,绝大多数采用的是二级生化处理工艺,其主体工艺技术类型包括A/O(T1)、A²/O(T2)、SBR(T3)、传统活性污泥法(T4)、生物膜法(T5)以及其他方法。选取T1~T5这5种典型城镇污水处理技术为评估对象,以

2016—2017 年辽宁省城镇污水处理厂污染物进、出水质量浓度、污泥产生量、污水处理量等数据为基础数据,结合专家判断法,利用表 1 计算式得到指标层各指标数据.为简便起见,本案例设定环境、经济和技术为等权重,根据上述提出的评估模型,以各指标数据平均值为基础分别计算得到辽宁省 5 种典型城镇污水处理技术的综合评估结果以及三维评估结果(图 5-a).从综合评估结果来看,得分由高到低依次为 T3(80.5)、T4(77.7)、T5(75.8)、T1(73.4)、T2(70.6);从三维评估结果来看,环境、经济和技术 3 个维度得分最高的是 T2、T5 和 T3,得分最低的分别是 T5、T3 和 T2.为找出各技术的不足之处,对各指标情况(图 5-b)进行对比分析可以看出:T5 环境得分低主要是由于氨氮去除率和总氮去除率都不高;T3 经济得分低是因为基建投资费用和运行成本比其他 4 种技术都高;T2 技术得分低则主要是由于操作管理程度相对复杂.由此可见,根据评估结果不仅可以优选技术,还可以找出技术的短板,为今后改进技术的不足之处并提高技术的适用性提供指导.需要指出的是,在实际应用中需要结合相关利益者的要求确定权重,最终确定出适合该流域或区域的水污染治理技术.

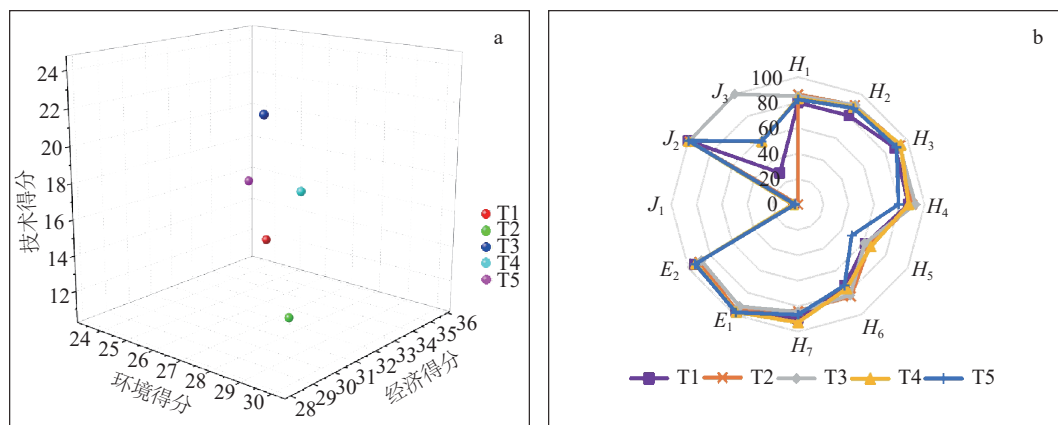


图 5 辽宁省 5 种典型城镇污水处理技术综合评估结果

4 讨论

该研究在充分考虑不同类型水污染治理技术的共性和个性特征的基础上,基于环境、经济、技术 3 个维度来构建水污染治理技术综合评估指标体系,并提出了评估模型和评估结果表达形式.该研究所建立的评估方法与以往研究的不同之处主要体现在:

1) 提出了评估指标筛选的新方法.通过文献调研发现,由于不同学者对评估对象特征和指标含义理解不同,最终确定的评估指标存在很大差异.而目前关于水污染治理技术评估指标筛选方法的研究还不多,以专家咨询法为主,筛选结果主观性强.因此,本研究在遵循评估体系构建原则的前提下,以水专项相关成果为基础构建备选指标库和基础指标数据库,通过频度分析、重要性判断、可测性判断、可比性和独立性检验等一系列筛选后最终选定水污染治理技术评估指标,尽可能保证了所选取指标的科学性、客观性和代表性.

2) 评估结果的表达更能客观反映所评估的水污染治理技术的优势和不足.以往研究中,关于评估结果多用一个最终得分值来表示,并通过分值大小排序来优选技术.但在实际应用中,根据流域或区域特征以及需求目标的不同,高分值的技术并不一定就是最适合某特定流域或区域的水污染治理技术.因此,本研究提出了基于雷达图和三维坐标法来表示评估结果,即通过雷达图来直观反映某一维度中各评估指标的得分,通过三维坐标来表示环境、经济、技术 3 个维度的评估结果,并用加权总和来表示综合评估得分,这样就可以根据实际需要更准确地选择适合该地区的技术.另外,还可以根据评估结果发现技术的短板,对于有潜力的技术可考虑通过研究改进其不足,使之成为适宜的技术.

3) 评估体系实现了系统化、规范化.该研究在水污染治理技术综合评估指标体系框架设计时采用了 4 层次框架结构,将提炼技术的共性特征在准则层和要素层进行体现,即不同类型的水污染治理技术进行评估时准则层和要素层是统一的,而指标层则需根据不同技术类型的特征提出具体的评估指标,这样既能将技术评估统一在大框架中,还能体现出不同技术各自的特点.评估模型和指标权重的确定在该研究中也做了统一的方法和原则规定.这对于实现如此庞大的技术在横向、纵向间的比较具有重要意义.

5 结论

1) 提出了基于“环境-经济-技术”3个维度的水污染治理技术综合评估指标体系框架,确定了环境效益、二次污染、技术成本、技术效益、技术可靠性、技术适用性6个要素层,确定了排序赋值和分级赋值评估模型以及主客观赋权法,构建了水污染治理技术三维综合评估方法.利用雷达图和三维坐标来表达评估结果,以雷达图直观表达某一类型技术在不同维度上各指标的情况,以三维坐标来表示环境、经济、技术评估结果在三维空间的位置,并用加权总和来表示综合评估结果,从而能更准确地指导筛选出适合特定流域区域的水污染治理技术.

2) 结合典型案例验证了所建评估方法的可适性.以城镇污水处理技术为例,构建出了基于“目标层-准则层-要素层-指标层”的城镇污水处理技术评估指标体系,并选取辽宁省5种典型城镇污水处理技术作为评估对象,利用提出的评估模型计算得到评估结果.结果表明,SBR技术的综合评估得分最高;生物膜法、SBR和A²/O分别在环境、经济和技术3个维度的得分最低.根据各评估指标情况进一步得出,影响生物膜法环境维度评估结果的主要指标是氨氮去除率和总氮去除率,而SBR经济得分和A²/O技术得分则分别主要受经济成本和操作管理难易程度的制约.

6 参考文献

- [1] 秦伯强,杨柳燕,陈非洲,等.湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J].科学通报,2006(16): 1857
- [2] 武淑霞,刘宏斌,刘申,等.农业面源污染现状及防控技术[J].中国工程科学,2018,20(5): 23
- [3] 肖乐,周琪.受污染河流水质修复技术研究进展综述[J].净水技术,2015,34(1): 9
- [4] 燕可翀.水污染控制与生态修复的研究与战略思考[J].智能城市,2019,5(18): 148
- [5] 王心,姜琦,魏东洋,等.水专项技术的分类及其就绪度评价[J].科技管理研究,2017,1: 69
- [6] 路远.美国环境技术管理经验之借鉴[J].环境教育,2007(5): 59
- [7] 王凯军.国外环境技术管理对我国的启示[J].环境保护,2007(8): 32
- [8] 黄擎明,汪翔.技术转移中的技术选择与评价问题[J].管理工程学报,1986(2): 41
- [9] 黄擎明.技术经济综合评价的理论和方法[J].技术经济,1989(增刊1): 33
- [10] 李丛.辽河流域水污染治理技术评估与优选[D].沈阳:东北大学,2011
- [11] 姚金玲.污水处理厂污泥处理处置技术评估[D].北京:中国环境科学研究院,2010
- [12] 梁静芳.制药行业水污染防治技术评估方法研究[D].石家庄:河北科技大学,2010
- [13] 高志永.环境污染防治技术评估方法及技术经济费效分析研究[D].北京:中国地质大学,2010
- [14] 王春元.城市污水处理厂处理工艺技术经济分析研究[D].西安:西北大学,2016
- [15] 苏为华.多指标综合评价理论与方法问题研究[D].厦门:厦门大学,2000
- [16] 张兵堂.水量分配方案后评价指标体系及方法研究[D].武汉:武汉大学,2017
- [17] 刘扬,杨玉楠,王勇.层次分析法在我国小城镇分散型生活污水处理技术综合评价中的应用[J].水利学报,2008,39(9): 1146
- [18] 李林汉,田卫民,岳一飞.基于层次分析法的京津冀地区水资源承载能力评价[J].科学技术与工程,2018,18(24): 139
- [19] 凌琪.AHP法在废水治理技术综合评价中的应用[J].安徽建筑工业学院学报,1996,4(3): 51
- [20] 赵义,曹娜,王园园,等.基于层次分析法的中原经济区流域水系统健康评价[J].环境科学研究,2016,29(6): 936
- [21] 袁昭,林姣,王晋.基于主客观组合赋权法的即墨区饮用水源地水安全评价[J].绿色科技,2018(14): 84
- [22] 张远,高欣,林佳宁,等.流域水生态安全评估方法[J].环境科学研究,2016,29(10): 1393
- [23] 吴易雯,李莹杰,张列宇,等.基于主客观赋权模糊综合评价法的湖泊水生态系统健康评价[J].湖泊科学,2017,29(5): 1091
- [24] 环境保护部,住房和城乡建设部.水专项防治先进实用技术汇编(水专项第一批): 环函[2015]52号[A].北京:环境保护部,住房和城乡建设部,2015

Comprehensive evaluation of water pollution control technologies

LI Jiao¹⁾ SONG Yonghui¹⁾ JIANG Jinyuan^{1)†} HONG Weisong^{1,2)}
JIA Mengyuan³⁾ TAN Wei¹⁾

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

2)National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, 400074, Chongqing ,China;

3)School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, 100083,Beijing , China)

Abstract Comprehensive evaluation can guide selection of water pollution control technology. Existing water pollution control technologies were evaluated, evaluation principles, system framework, evaluation model and results were studied, with case verifications. Analytic hierarchy was used to build a comprehensive evaluation index by “target layer-criteria layer-element layer-indicator layer”. Criteria included three dimensions of environment, economy and technology, and covered 6 elements of environmental benefits, secondary pollution, technical costs, technical benefits, technical reliability, and technical applicability. Indicators of indicator layer were proposed to be screened by statistical analysis with characteristics of each technology. Ranking assignment and hierarchical assignment were used depending on qualitative or quantitative indicators, evaluation results were obtained by weighted calculation. Evaluations were expressed in radar charts and three-dimensional coordinates. Applicability of the evaluation was verified by typical urban sewage treatment technologies. The comprehensive evaluation in this study could provide some reference for evaluating and screening suitable technologies for water pollution treatment.

Keywords water pollution control technology; comprehensive evaluation method; evaluation index system; evaluation model; radar chart; three-dimensional coordinate