

# 决策支持系统在污水处理厂的应用研究进展

马慧玲 刘欢  
湖北武汉 430010

**摘要:** 决策支持系统(DSS)作为一种基于计算机用于支持业务或组织决策活动的信息系统,在污水处理厂的设计、能源消耗、运行优化、出水水质提标和环境可持续发展等方面有较为广泛的应用。且总结了决策支持系统在解决污水处理厂相关问题时采取的方法主要是生命周期评估(LCM)、数学建模(MM)、多目标规划(MCDM)和智能决策支持系统(IDSS)。本文对近年来决策支持系统在污水处理厂中的应用研究进展进行了综述,系统地阐述了各类决策支持系统在污水处理厂的应用及决策支持系统在优化污水处理厂流程的决策过程以及研究进展。

**关键词:** 决策支持系统;污水处理厂;决策过程;流程优化

## 引言

1960年,决策支持系统大多基于数学模型,利用线性规划和动态规划来优化操作问题。1970年,决策支持系统基于数学模型,集成了动态概念和成本函数。1980年,决策支持系统应用了动态数学模型,并且规定了环境标准与水质标准的实现有关。1990年,智能决策支持系统应用于解决与污水处理厂相关的多用途问题,决策支持系统开始致力改善水质,追求最佳设计及成本效益。2000年,在决策过程中考虑经济、社会和环境因素。MCDA和LCA开始用于作为解决污水处理厂动态问题的解决方案。2010年,决策支持系统用于核算污水处理厂的化学和能源消耗以及碳降解路径,在环境和社会方面通过MCDM改善参加污水处理厂运行技术。

## 一、从决策支持系统的起源到它作为动态工具的应用

从20世纪60年代开始,就已经开始采用决策支持系统对污水进行优化处理。这段时期基于计算机系统的可用性增加了,从这一时期开始,污水处理厂的主要问题主要与其固有的复杂性和动态性有关,由于缺乏适当的仪器、控制和自动化,这些问题很难解决。故信息技术

### 作者简介:

1. 马慧玲(1997.11——),女,汉族,硕士研究生,助理工程师,主要从事道路给排水设计、给排水厂站设计研究工作。
2. 刘欢(1996.06——),女,汉族,硕士学历,助理工程师,主要从事道路给排水设计、隧道消防及排水设计方面的研究工作。

在水处理系统的规划、设计和运行中发挥着越来越大的作用<sup>[1]</sup>。因此,决策支持系统被应用于解决污水处理厂相关问题及其复杂性。1965年,Deininger利用线性规划的概念,即通过用线性方程或不等式来解决问题,研究了获得较优水质的方法。

20世纪70年代,由于在废水处理方面应用了更加动态的理念,包括运输系统和不同处理水平的集成,使得此类决策支持系统的应用更加成熟。模型中成本函数的使用也有研究,目的是将操作质量和成本优化集成到更复杂的算法中,例如凸优化、启发式和几何规划,从决策支持系统提供的备选方案中获得可能的最佳解决方案。Klemetson也使用动态规划来选择设计阶段的最优解。

从1981年开始,研究报道了决策支持系统的拓展,根据时间考虑状态变量,以确保结果将包括不同时期污水质量的内在动态性表征清楚。在决策过程中考虑的环境标准大多是基于与水质标准相关的。到了80年代,将生长动力学知识与数学建模相结合,发表了1号活性污泥模型(ASM)。在此期间,开发了第一批智能决策支持系统。它们是独立的人工智能(AI)技术,使用基于知识的系统(KBS)方法来模拟专家的推理过程,或一些智能控制方法,如使用遗传算法(GA)控制方法或模糊逻辑(FL)控制方。

## 二、智能决策支持系统作为设计和操作工具的应用

在1990年代初,污水处理厂的设计考虑到需要遵循三个阶段的过程,包括列出可能的处理过程;进行小规模测试,以确认所建议的处理程序的适用性;在测试过程中选择最佳方案,并考虑工程师水平。与此同时,假设分析和效用函数包括成本已有研究。近十年来,对实时操作控制的需求和对安全的关注不断增加,并倡导使用在

线系统来改善污水处理厂管理和预防事故。关于采用在线系统的详细信息在Olsson等人提出的综述中有报道。

关于智能决策支持系统,在此期间,在创造智能决策支持系统方面有重大发现。在使用以知识为基础的系统方面有一个概括,据报道,这是为了解决多用途的需求,如活性污泥处理的处理,水质符合规范要求、逼近最佳设计以及具有成本效益的污水处理厂操作和控制技术。其他一些基于人工神经网络方法的智能控制技术也得到了应用,或使用类似于模糊规则的生成方法。此外,在这十年中,一些文章提出将基于案例的推理(CBR)应用于污水处理厂的监管。此外,在文献中提出了一种用于监督污水处理厂的多代理分布式集成管理体系结构(Multi-agent Distributed and Integrated Management Architecture),以使用多种AI技术。近十年中,人工智能在决策支持环境系统中的应用被高度概括,其中详细介绍了适用于污水处理厂的智能决策支持系统通用体系结构。这个最初的提议在后来的研究中得到了完善。

2000年代,人们开始关注可持续发展的三大要素:经济、社会和环境。因此,制定全面的规划是为了应付日益增长的可持续性需求,倡导在污水处理厂采用专门的污水排放系统,以减少排放到环境中的污染物。不过,多用途需求是利用智能决策支持系统特别管理的,创建的一些新的专家系统的逻辑与人类推理相似。据报道,基于人工神经网络(ANN)概念的模型被用于预测污水处理厂及社会及经济过程之间的相互联系。

在2000年中期,模拟和标准似乎是支持污水处理厂决策的主要依据来源。Roehl等提出了降低高额仿真成本的策略。文献中提出了一些新的智能技术,如使用多智能体系统(MAS)操作和管理污水处理厂,并将多智能体应用于流域的水资源管理,实现情景模拟的流域决策<sup>[2]</sup>。此外,Comas等通过数据驱动测试构建智能决策支持系统,接着提出规范术语和污水处理厂中的背景知识的使用需求是通过本体实现的,并有研究结合实例介绍了CBR的应用。最后,智能决策支持系统领域的研究人员开始意识到越来越需要为该系统的发展制定一些总体框架。MCDM方法是一种权宜的解决方案,在选择最合适的处理系统时考虑技术和成本信息,对其他重要指标进行加权,目的是对特定问题的可能解决方案进行最终排序。其也被应用于对污水处理厂的环境影响进行可靠的全生命周期评估。

### 三、解决污水处理厂问题的主要决策支持系统

目前报道中提出了四种主要的决策支持系统,分别是生命周期评估(LCM)、数学模型(MM)、多目标规划(MCDM)和智能决策支持系统(IDSS)。

### 1. 基于生命周期评估的污水处理厂决策支持系统

将LCA应用于污水处理厂,以评估污水处理厂从始至终各个方面的环境状况,包括污水处理厂的处理效率和服务。该系统可计算所有相关过程中产生的所有环境排放(固体、液体和气体),接着综合考虑环境、社会和经济因素将它们转化为环境影响和影响指标。污水处理厂污水处理计划的理念是制定和量化指标,以评估污水处理厂对环境的影响。污水处理厂提供的环境概况的主要成分是能源消耗、废水排放、污泥处置及再利用和土地占用。由于污泥作为农业肥料或作为燃料在工业共生中的潜在适用性,LCA运行过程中通常考虑了污泥的再利用。关于废水再利用,基于其可应用于农业灌溉、城市生活、地下水补给、娱乐等,故也被LCM考虑在内。

尽管这类再利用提出了一种可持续的方法,但环境法规要求有限制性的目标,由于一些管理问题,这些目标很难实现。在过去的十年中,LCA促进了污水处理厂难点的解决。但社会发展迫切需要污水处理厂更好地量化化工厂对环境的影响,降低运营成本,减少污染物排放的质量,促进废水回收和重用回收材料或能源。

目前专家学者已将LCA应用于多个领域,如评估特定污水处理厂案例研究的环境影响;构建控制策略,以改善基于纯LCA或结合数学建模的污水处理厂操作;比较不同的设备配置或非传统(如MBR)与传统技术(如CAS)的设计。

### 2. 基于数学模型的污水处理厂决策支持系统

调查发现最原始的决策支持系统是基于数学模型的。这类决策支持系统更加发达,因为应用它们所需的知识已然成熟。基于数学模型的决策支持系统代表了获得对污水处理厂特性的全面理解的强大工具,主要因为其实现不需要很高的成本。其可对生物除碳、除磷、除氨的效果进行评价,目的是预测污水水质。此外,生物物质代谢可以通过了解剩余污泥产量、耗氧量以及温室气体CO<sub>2</sub>排放来进行评估。

## 四、决策支持系统在污水处理厂中的主要应用

根据相关文献,污水处理厂应用决策支持系统的重点是:设计新厂、降低能耗、改善出水水质、使污水处理厂可持续运行、改善厂内运行及其组合。根据需要关注的几个点,首先需要数据库的集合来运行用作支持的模型或软件;研究结果有助于辅助专家分析;最后,结果解释为决策提供信息和潜在的建议。

### 1. 基于决策支持系统的污水处理厂设计

目前,关于污水处理厂的设计,发现全球分为两种不同的情况:改进废水处理工艺(如美国和欧洲),寻求对现有设施进行改造,以满足更严格的水质法规;构建

新的污水处理厂（如印度、拉丁美洲和非洲），以达到健康和生态标准<sup>[9]</sup>。为设计目的寻找合适的决策支持系统是一个挑战，因为污水处理厂通常具有明显的站点特定条件，这使得所有污水处理厂难以采用决策支持系统。

在文献中发现了几个关注设计方面的决策支持系统，其范围包括升级和翻新。决策支持系统开发人员也很难跟上当前的创新发展。因此，很难找到一个包含大量新技术的系统，并将它们整合在一起来处理整个废水处理的案例。尽管有上述的挑战，决策支持系统仍然能够引导决策者做出更理性的决策，因为其同时考虑了几个方面来提供最合适的解决方案。考虑设计的目的，如处理工艺的选择并不只考虑技术方面，还包括环保法规、经济可行性和工作人员鉴定。决策支持系统能在几分钟内呈现出往常决策者需要几个月分析得到的综合评价。

Castillo等对决策支持系统作为支持新污水处理厂设计工具的能力进行了详细的研究。他们的研究可作为决策支持系统设计的一个很好的例子，因为作者采用了三个真实项目的案例研究（美国、南美和欧洲），并与决策支持系统的结果进行了比较。在这方面，他们应用了Novedar\_EDSS工具，因为它有两个相互关联的主要子单元（特定知识库、Skb单元和兼容性知识库、Ckbunits），故该工具可比较不同的设计场景（采用不同的工艺技术，处理具有不同定性和定量特征的废水等）。在定义了要分析的场景之后，在处理过程中，Novedar\_EDSS允许比较不同的技术（通过Skb单元）并识别要采用的适当的流程（通过Ckb单元）。在Novedar\_EDSS的最后一步，利用多目标分析对设计方案进行了比较。Castillo等的研究结果表明，通过使用Novedar\_EDSS工具，选择了与实际项目相同的处理流程，表明该工具代表了一个优秀的决策者，支持选择最佳的技术和处理流程。

## 2. 基于决策支持系统的污水处理厂能源调整

污水处理厂的运行严重依赖能源，但由于工厂管理人员不常访问能源数据，这使得能源问题的发生与检测之间存在较长的时间间隔。目前，能源是由自动传感器来测量的，这些传感器收集数据，为庞大的数据库提供数据，很难从中获取支持决策过程的信息。除了这种情况外，还可能发现一些研究将流程低效作为污水处理厂中能源消耗增加的原因之一，这直接影响了工厂成本。这两种情况都突出了决策支持系统在能源需求方面的重要性。

Torregrossa等证实了专门关注污水处理厂管理的能源方面的决策支持系统并不存在。然而，使用决策支持工具计算能源消耗并将其结果转换为间接温室气体排放的研究是可能的。这种方法的主要问题是，决策支持系统通常将能量视为从工厂测量中收集的输入数据，而不

是决策过程的结果，即因为能耗似乎是其他绩效指标的结果，故在评价工厂的绩效时，管理人员并不追求降低能耗。Singh和Kansal提出了应用决策支持系统以减少污水处理厂的能源消耗和温室气体排放的首次尝试。具体来说，他们结合了不同的简单数学模型和生命周期来评估污水处理厂的总能耗和温室气体排放量。Singh and Kansal提出的简单数学模型是基于质量平衡和th能源消耗以及由于机械设备（如混合机泵、通风装置）、建筑材料、污泥从工厂运输到最终目的地（如填埋、堆肥厂等）所用的柴油和在工厂中化学物质（如消毒剂或絮凝剂）的使用过程导致的直接温室气体的排放。

Singh和Kansal的研究阐明了减少污染、节约能源和减少温室气体排放之间的平衡，这可能影响有关基础设施选择的决策。因此，作者认为，集中式和分散式系统的选择取决于目标，即如果目标是降低污染程度，那么集中式系统可以提供更多的节能；但如果城市污水基础设施要设计成在当地回收和再利用，分散式系统更节能。

## 结语

本文基于国内外大量研究调查的结果，对现阶段决策支持系统在污水处理厂中的应用研究进展进行了深入的探讨和分析。决策支持系统在污水处理厂中的应用研究进展主要集中在污水处理厂的设计、能源消耗、运行优化、出水水质提标和环境可持续发展等方面。主要的决策支持系统种类是生命周期评估（LCM）、数学建模（MM）、多目标规划（MCDM）和智能决策支持系统（IDSS），每种决策支持系统在污水处理厂的应用都是按实际需求而言的，可以是独立系统，也可以是复合系统。

此外，本文认为可以发展更方便用户使用和基于网络的决策支持系统系统，以扩大其应用。且目前环境智能决策系统的发展与水行业的实际运行之间仍存在滞后，今后应更深入地探讨并解决这一问题。

## 参考文献

- [1] 叶鹤峰. 关于污水处理厂建设施工管理的研究[J]. 科技与企业, 2015(12): 104.
- [2] Garrido-Baserba M, Rubén Reif, Francesc Hernández, et al. Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams[J]. Journal of Environmental Management, 2012, 112(none): 384-391.
- [3] 孙艳, 王浩昌, 赵冬泉, et al. 基于物联网的污水处理厂无人值守管理模式探讨[J]. 中国给水排水, 2015, 402(22): 33-36.