

基于生命周期评价的中水回用系统经济与环境效益分析

邱地恒

韶关市北纺智造科技有限公司, 中国·广东 韶关 512136

摘要: 本文以生命周期评价为理论基础, 深入分析了中水回用系统的经济与环境效益。通过构建中水回用系统的生命周期模型, 从原材料获取、生产制造、运行维护到废弃处置等阶段, 全面评估了中水回用系统的成本投入、经济效益产出以及环境影响。研究表明, 中水回用系统在节约水资源、降低污水处理成本、减少环境污染等方面具有显著优势, 同时能够带来长期的经济效益。本文还针对中水回用系统推广应用中存在的问题, 提出了相应的政策建议和发展策略, 旨在为中水回用技术的进一步推广和应用提供理论支持和实践指导。

关键词: 生命周期评价; 中水回用系统; 经济效益; 环境效益

Economic and Environmental Benefit Analysis of Reclaimed Water Reuse System Based on Life Cycle Assessment

Qiu Diheng

Shaoguan Beifang Intelligent Manufacturing Technology Co., Ltd. China Guangdong Shaoguan 512136

Abstract: Based on the theory of life cycle assessment, this paper deeply analyzes the economic and environmental benefits of reclaimed water reuse systems. By constructing a life cycle model of reclaimed water reuse systems, it comprehensively evaluates the cost input, economic benefit output, and environmental impact from the stages of raw material acquisition, production and manufacturing, operation and maintenance to disposal. The research results show that reclaimed water reuse systems have significant advantages in water conservation, reduction of sewage treatment costs, and reduction of environmental pollution, and can bring long-term economic benefits. This paper also puts forward corresponding policy suggestions and development strategies for the problems existing in the promotion and application of reclaimed water reuse systems, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the further promotion and application of reclaimed water reuse technology.

Keywords: Life cycle assessment; Reclaimed water reuse system; Economic benefits; Environmental benefits

0 引言

我国是一个水资源短缺的国家, 人均水资源占有量仅为世界平均水平的四分之一。随着城市化进程的加快和工业的快速发展, 水资源需求量不断增加, 同时污水排放量也日益增大, 导致水资源短缺和水环境污染问题日益严重。中水回用作为一种有效的水资源循环利用方式, 可以将污水经过处理后回用于非饮用水领域, 如冲厕、绿化、道路浇洒、工业冷却等, 从而缓解水资源短缺问题, 减少污水排放对环境的污染。生命周期评价是一种用于评估产品或服务在整个生命周期内对环境影响的方法, 它考虑了从原材料获取、生产制造、使用到废弃处置等各个阶段的环境因素。将生命周期评价应用于中水回用系统的经济与环境效益分析, 可以全面、系统地评估中水回用系统的综合效

益, 为中水回用技术的推广和应用提供科学依据。

1 中水回用系统概述

1.1 中水的定义与来源

中水是指各种排水经过物理处理、物理化学处理或生物处理, 达到规定的水质标准, 可在生活、市政、环境等范围内杂用的非饮用水。中水的来源主要包括建筑物内部的生活污水、生活废水、冷却水和其他可利用的水源, 有的城市还将建筑屋面雨水作为中水水源的补充。

1.2 中水回用系统的组成与工艺

中水回用系统主要由原水收集系统、处理系统和回用系统三部分组成。原水收集系统负责将建筑物内的污水收集起来, 输送到处理系统; 处理系统采用物理、化学和生物等方法对污水进行处理, 使其达到规定的水质标准; 回

用系统将处理后的中水输送到各个用水点，实现中水的回用。中水处理工艺主要包括物化法、生化法和生化和膜分离法等。物化法主要以优质杂排水为水源，主要去除水中的悬浮物和少量有机物，降低浊度和色度；生化法适用于以达标污水和生活污水为水源进行深度处理，对有机物有很好的处理能力；生化和膜分离法可以得到水质优良的回用水，可广泛用于循环水补水、生活用水及生产用水等。

1.3 中水回用系统的应用现状与问题

目前，中水回用系统在我国的一些缺水城市得到了广泛应用，如北京、天津、大连等。这些城市在工业、市政和居民生活等领域都建设了一定规模的中水回用设施，取得了一定的经济效益和环境效益。然而，中水回用系统在推广应用过程中还存在一些问题，如中水利用率低、应用范围不广泛、管道建设不完善、宏观调控机制不完善等。

2 生命周期评价理论与方法

2.1 生命周期评价的概念与框架

生命周期评价是一种用于评估产品或服务在整个生命周期内对环境影响的方法。它包括四个相互关联的阶段：目标与范围定义、清单分析、影响评价和结果解释。目标与范围定义阶段确定评价的目的、对象和范围；清单分析阶段收集和整理产品或服务在整个生命周期内的物质和能量输入输出数据；影响评价阶段将清单分析结果转化为对环境的影响指标；结果解释阶段对影响评价结果进行分析和解释，提出改进建议。

2.2 生命周期评价的步骤与方法

2.2.1 目标与范围定义

明确中水回用系统生命周期评价的目标，如评估中水回用系统的经济与环境效益、比较不同中水回用工艺的优劣等。确定评价的范围，包括中水回用系统的生命周期阶段、系统边界、功能单位等。

2.2.2 清单分析

收集和整理中水回用系统在整个生命周期内的物质和能量输入输出数据，包括原材料的消耗、能源的消耗、污水的排放、中水的回用等。对收集到的数据进行分类、量化和汇总，建立中水回用系统的生命周期清单。

2.2.3 影响评价

将清单分析结果转化为对环境的影响指标，常用的影响评价方法有特征化、归一化和加权等。特征化是将不同种类的环境影响转化为统一的指标；归一化是将环境影响指标与参考值进行比较，使其具有可比性；加权是根据不同环境影响的重要性，对环境影响指标进行加权处理。

2.2.4 结果解释

对影响评价结果进行分析和解释，识别中水回用系统在整个生命周期内对环境的主要影响阶段和影响因素。提出改进中水回用系统经济与环境效益的建议和措施，为中水回用技术的推广和应用提供决策依据。

3 中水回用系统的生命周期模型构建

3.1 模型构建的原则与思路

中水回用系统生命周期模型的构建应遵循科学性、系统性、可操作性和可比性等原则。以中水回用系统的生命周期为主线，将中水回用系统划分为原材料获取、生产制造、运行维护和废弃处置等阶段，分别对每个阶段的成本投入、经济效益产出和环境影响进行分析和评估。

3.2 模型的结构与内容

3.2.1 原材料获取阶段

该阶段主要包括中水回用系统所需设备和材料的采购，如处理设备、管道、阀门等。成本投入包括设备和材料的购置费用、运输费用等；环境影响主要包括设备和材料生产过程中的能源消耗、污染物排放等。

3.2.2 生产制造阶段

该阶段主要是中水回用系统的安装和调试。成本投入包括安装费用、调试费用等；环境影响主要包括安装和调试过程中的噪声污染、废弃物排放等。

3.2.3 运行维护阶段

该阶段是中水回用系统的核心阶段，主要包括中水的收集、处理和回用。成本投入包括设备运行费用（如电费、药剂费等）、设备维护费用、人工费用等；经济效益产出主要包括节约的水资源费用、减少的污水处理费用等；环境影响主要包括处理过程中产生的污泥、废气等污染物的排放。

3.2.4 废弃处置阶段

该阶段主要是中水回用系统设备和材料的报废和处置。成本投入包括设备和材料的拆除费用、处置费用等；环境影响主要包括设备和材料处置过程中的污染物排放等。

4 中水回用系统的经济与环境效益分析

4.1 经济效益分析

4.1.1 成本投入分析

中水回用系统的成本投入主要包括原材料获取阶段的设备和材料购置费用、运输费用，生产制造阶段的安装费用、调试费用，运行维护阶段的设备运行费用、设备维护费用、人工费用以及废弃处置阶段的设备和材料拆除费用、处置费用等。通过对实际案例的分析，不同规模和工艺的

中水回用系统成本投入存在较大差异。一般来说,规模越大、工艺越复杂的中水回用系统,成本投入越高。

4.1.2 经济效益产出分析

中水回用系统的经济效益产出主要包括节约的水资源费用和减少的污水处理费用。节约的水资源费用是指通过中水回用,减少了对新鲜自来水的的需求,从而节省了水资源费用;减少的污水处理费用是指通过中水回用,减少了污水排放量,从而降低了污水处理厂的运行成本和维护费用。以某住宅小区为例,该小区总面积为20万平方米,按每户建筑面积100平方米、每户居民人口平均以3人、人均日用水量按250升/(人·天)计,中水回用比例为用水量的三分之一,则中水回用系统日处理水量为500立方米/天。实际可用的中水水量按相关标准计算,中水的运行费用(含设备折旧及维护、人工、电费、药剂等)按0.7元/立方米计,中水系统纳管费按10元/平方米计。经计算得出,中水回用系统及维护费用现值、每年可节省的费用以及投资偿还期等经济指标。

4.1.3 经济效益评估指标与方法

常用的经济效益评估指标包括投资回收期、净现值、内部收益率等。投资回收期是指项目投资回收所需的时间,反映了项目的投资风险和资金周转速度;净现值是指项目在整个生命周期内的净现金流量按照一定的折现率折现到初始投资时点的现值,反映了项目的盈利能力;内部收益率是指项目在整个生命周期内的净现金流量现值等于零时的折现率,反映了项目的实际收益率。通过计算这些指标,可以对中水回用系统的经济效益进行全面评估。

4.2 环境效益分析

4.2.1 资源节约效益分析

中水回用系统通过将污水经过处理后回用于非饮用水领域,实现了水资源的循环利用,节约了大量的新鲜水资源。以某核电厂为例,该核电厂地处辽西地区,淡水资源短缺。通过建设中水回用系统,将生活污水经过处理后回用于道路浇洒、公厕、施工结束后的施工场地还绿等,有效缓解了厂区的用水紧张问题,节约了大量的新鲜水资源。

4.2.2 污染减排效益分析

中水回用系统减少了污水排放量,降低了污水处理厂的负荷,从而减少了污水处理过程中产生的污染物排放。同时,中水回用系统在处理污水过程中,也会对污水中的污染物进行去除,进一步减少了污染物向环境的排放。通过对城市污水处理厂的水处理全过程进行生命周期评价,可以分析出污水处理及再生回用过程所产生的正效益,从

环境影响的角度评价污水处理系统的关键指标。

4.2.3 环境效益评估指标与方法

常用的环境效益评估指标包括水资源节约量、污染物减排量、环境质量改善程度等。水资源节约量是指通过中水回用系统节约的新鲜水资源量;污染物减排量是指通过中水回用系统减少的污染物排放量;环境质量改善程度是指中水回用系统对周围环境质量的改善效果。通过实地监测、模型模拟等方法,可以对这些指标进行量化评估。

4.3 经济与环境效益的综合分析

采用成本效益分析法、多目标决策分析法等方法,对中水回用系统的经济与环境效益进行综合分析。成本效益分析法是将中水回用系统的经济效益和环境效益转化为货币价值,通过比较成本和效益的大小,评估中水回用系统的综合效益;多目标决策分析法是考虑中水回用系统的多个目标,如经济效益、环境效益、社会效益等,通过建立多目标决策模型,对中水回用系统进行综合评价。通过综合分析,可以得出中水回用系统在经济与环境效益方面的优势和不足,为中水回用系统的优化和改进提供依据。

5 案例分析

5.1 案例选取与背景介绍

选取南京市某住宅小区和某核电厂的中水回用系统作为案例进行分析。南京市某住宅小区总面积为20万平方米,居民人数较多,用水量较大。为了节约水资源和降低污水处理成本,该小区建设了中水回用系统,将生活污水经过处理后回用于公厕和庭院绿化等市政杂用水。某核电厂地处辽西地区,淡水资源短缺。为了提高水资源的利用效率,该核电厂建设了中水回用系统,将生活污水经过处理后回用于道路浇洒、公厕、施工结束后的施工场地还绿等。

5.2 案例的生命周期评价过程与结果

5.2.1 目标与范围定义

确定评价的目标为评估两个案例中水回用系统的经济与环境效益;范围包括中水回用系统的原材料获取、生产制造、运行维护和废弃处置等阶段;功能单位为每立方米中水的处理和回用。

5.2.2 清单分析

收集和整理两个案例中水回用系统在整个生命周期内的物质和能量输入输出数据,包括原材料的消耗、能源的消耗、污水的排放、中水的回用等。建立两个案例中水回用系统的生命周期清单。

5.2.3 影响评价

将清单分析结果转化为对环境的影响指标,采用特征

化、归一化和加权等方法，评估两个案例中水回用系统对环境的影响程度。

5.2.4 结果解释

对影响评价结果进行分析和解释，识别两个案例中水回用系统在整个生命周期内对环境的主要影响阶段和影响因素。比较两个案例中水回用系统的经济与环境效益，分析其差异的原因。

6 总结

本文基于生命周期评价理论，对中水回用系统的经济与环境效益进行了全面分析。通过构建中水回用系统的生命周期模型，从原材料获取、生产制造、运行维护到废弃处置等阶段，评估了中水回用系统的成本投入、经济效益产出以及环境影响。研究结果表明，中水回用系统在节

约水资源、降低污水处理成本、减少环境污染等方面具有显著优势，同时能够带来长期的经济效益。然而，中水回用系统在推广应用过程中还存在一些问题，如中水利用率低、应用范围不广泛、管道建设不完善、宏观调控机制不完善等。

参考文献：

[1] 王晓东. 关于中水回用的经济效益分析[J]. 资源节约与环保, 2018.

[2] 朱天琳. 基于全生命周期建筑中水回用综合效益与水价政策研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2025.

[3] 李华, 张明. 生命周期评价在城市污水处理的环境效益分析中的应用[J]. 环境科学与管理, 2019.