

昆明市合流污水调蓄池效能评估指标体系的构建

佟举钢, 冯江, 郭婷

(北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083)

摘要: 合流污水调蓄池的投入是缓解城市面源污染和减少合流制溢流的一种手段。以昆明市主城调蓄池为研究对象,通过现状分析和调研,将影响调蓄池运行效率和对整体环境污染负荷削减的关键性指标进行了完善和整理,提取出了可获取性强、指导性强的重点关注核心指标,并提供了计算方法和分析示例,同时给出了评估工作的实施步骤。合流污水调蓄池效能评估体系的构建为提高调蓄池运行效率、减少对整体环境的污染提供了具有实操性的评估技术支撑,对相关部门管理考核标准的制定也有一定的借鉴意义。

关键词: 合流制污水; 调蓄池; 效能评估

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0034-05

Construction of Index System for Assessing Efficiency of Combined Sewage Storage Tanks in Kunming

TONG Ju-gang, FENG Jiang, GUO Ting

(Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute Co. Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: The construction of combined sewage storage tank is a method to alleviate urban non-point source pollution and reduce combined flow overflow. Taking the main city storage tank of Kunming as the research object, through the analysis and investigation of the current situation, the key indicators that affect the operation performance of the storage tank and the overall environmental pollution load reduction are improved and sorted out, and the obtain ability is strong. This paper focused on the core indicators, provided calculation methods and analysis examples, and gave the implementation steps of the evaluation work. The construction of the efficiency evaluation system of the combined sewage storage tank provided practical technical support for improving the operation performance of the storage tank and reducing the pollution to the overall environment, and had certain reference significance for the establishment of relevant department management assessment standards.

Key words: combined sewer overflows; storage tank; effectiveness evaluation

昆明主城现状建成区面积约为 297 km²、人口约为 295 万人,其中二环内面积只有 45.8 km² (占主城的 15%),而人口达到 114.5 万人(约占主城人口的 40%),由于种种原因,昆明主城污水收集系统已建管网中错接、漏接等现象严重;排水管网运行状态不佳,淤积严重,水流不畅等问题仍然在一定范围内长期存在。昆明现状以合流制排水体制为主,随

着城市建设,在市中心改造、新建的生活小区及部分旧城改造路段已实施了分流制排水体制,形成了“合流制”与“分流制”相互结合的排水体制。有研究表明,滇池污染负荷主要来自于城市生活污染,总氮、总磷占入滇污染负荷的 65% 以上,化学需氧量占总量的一半以上。污染源控制作为滇池治理工作的核心,控制城市生活污染源就成了这项核心工作

中的最重要的一环。

针对昆明主城区的上述排水现状、昆明雨季暴雨较为集中且降雨分布不均等特点,根据管网系统现状特征,开展了昆明主城区市政排水管网及调蓄池建设工程,在昆明市主城区的西北片、东北片、西南片和东南片主要排水通道溢流河道前共建成并已投入运行17座合流污水调蓄池,总容积达 $21.24 \times 10^4 \text{ m}^3$,服务面积约 44.4 km^2 ,对削减高浓度初期雨水造成的面源污染,降低降雨过程中产生的超负荷合流污水溢流排放河道的次数和污染物总量,减少排入滇池的污染负荷总量起到了一定积极的作用。

但是由于缺乏具有操作性强的运行管理规程和技术规范,昆明主城调蓄池的运行存在进水管设计不合理、设备故障率高、溢流控制量低等一系列问题,合流污水调蓄池的运行管理也处于初级阶段,管理经验有限,运行效能评估工作更是处于起步阶段^[1-2],缺乏清晰的评估思路和具有实际指导意义的技术路线,评估工作的随意性较大。目前较为常见的效能评估方法主要是采用模型模拟和实时监测相结合的评估方法,但由于模型模拟工作的专业性强,考虑到模型参数的选取和率定,监测点位的布置合理性和实时监测数据的稳定性等众多因素,会对评估结果的真实性造成一定影响。因此建立一套可操作性强、指标结果易获取的评估指标体系对指导调蓄池的实时运行,提高调蓄池的运行效率具有重要意义。

1 评估体系的构建流程

常见的评估指标体系一般包括评估主体、评估指标、评估方法和评估结果四大基本要素。在综合考虑各要素以及对调蓄池运行管理单位和上级责任单位的实际调研结果上,建立了如图1所示的评估指标系统流程。

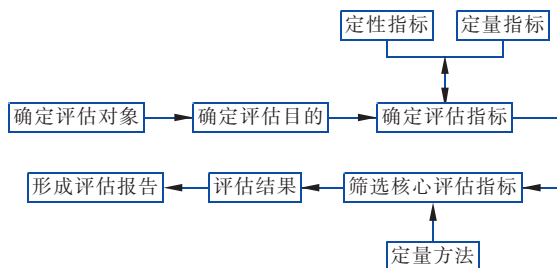


图1 评估指标系统构建流程

Fig.1 Construction process of evaluation indicator system

2 评估对象的确定

根据前期调研,评估对象为昆明市主城区目前投入运行的17座合流污水调蓄池。在调蓄池、污水厂和主要溢流口都设置了现场仪表(流量计、液位计、雨量计、在线SS等)和自控设备,通过在线监测技术、网络通信技术、自动化控制技术和监控平台,在乌龙河调蓄池建立了远程监控中心,实现了17座调蓄池及关联9座污水厂的运行状态的集中监控,并进行数据的采集、远程传输和共享。

昆明市17座合流污水调蓄池进水方式均为重力流进水,出水方式均由调蓄池内设置的放空泵送入下游管网,最终送入相应的污水厂进行处理。

调研得出目前调蓄池运行主要存在进水方式设计不合理、调蓄池内污染物清理不及时、调蓄池运行管理模式粗放、与下游关联泵站及污水厂运行缺乏联动性导致效能低等共性突出的问题,显著影响了其对面源污染控制和降雨径流控制的能力和效果。

3 评估目标

城市排水处理系统中包含各种处理设施,调蓄池仅作为整个排水处理系统中的一环,除了对调蓄池本身的评估,还应考虑调蓄池对上下游关联的主要处理设施的效能影响,因此,该评估指标体系主要针对合流污水调蓄池运行效能和对环境污染削减整体能力低的问题,开展评估体系研究,构建具有实用性、易获取性、可操作性、科学性和合理性的合流污水调蓄池效能评估指标体系,为合流污水调蓄池的运行和减少对整体环境的污染提供借鉴和参考,并为相关部门的考核提供基础依据。

4 评估指标体系

为了使评估标准体系具有普适性,通过对17座合流污水调蓄池的充分调研,从调蓄池的工程设计、运行管理、面源污染控制、对污水处理厂削减效益影响、河道溢流污染控制、对降雨径流控制等方面,对其中的关键性指标进行了提取和分析,形成一套涵盖调蓄池综合性的评估指标体系,评估指标分为定性指标和定量指标,指标的选取兼顾评估的完整性、针对性、综合性和独立性。

在此基础上,结合运行管理单位的实际指导需求和数据获取的难易程度,再次筛选出针对性强且容易量化的关键性评估指标,确定量化的具体方法。

4.1 指标体系的内容

根据对各个调蓄池设施的调研结果,结合其运

行过程中的诸多问题,围绕提高调蓄池运行效能和减少对水体环境污染的影响,建立了如图 2 所示的涵盖不同侧重方面的综合性效能评估指标体系。各指标含义见表 1。

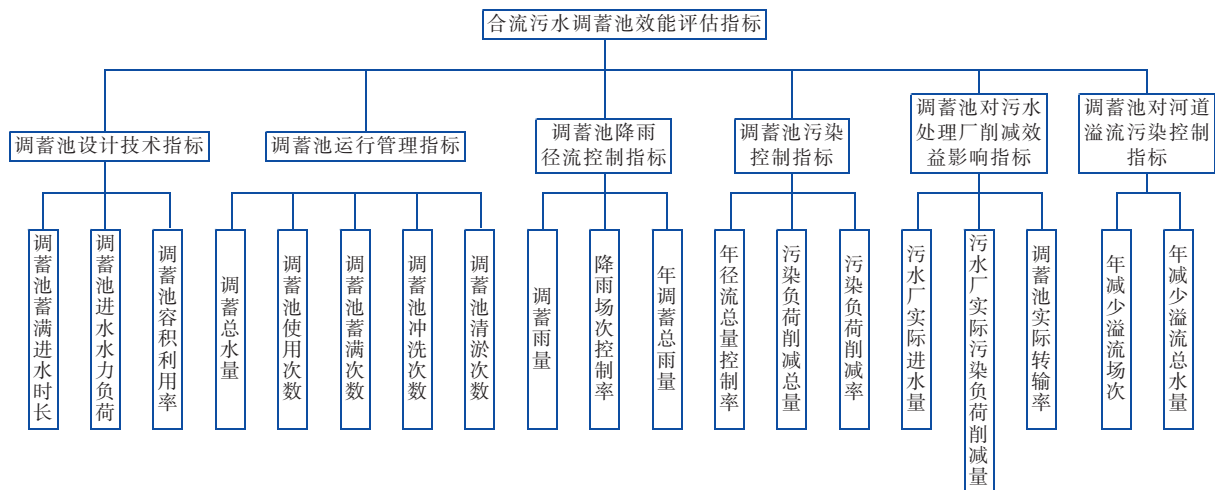


图 2 合流污水调蓄池效能评估指标体系的构成

Fig. 2 Composition of the efficiency evaluation index system for combined sewage storage tanks

表 1 指标含义

Tab. 1 Indicator meaning

项目	指标含义
调蓄池蓄满进水时长	调蓄池从进水闸门开启时刻起,至池内水位达到设计水位对应的进水闸门关闭时刻,所用的进水时间
进水水力负荷	单位时间内调蓄池每次进水量
容积利用率	调蓄池每次的调蓄量占调蓄池设计容积的比例
调蓄总水量	一年内调蓄池的进水总量
调蓄池使用次数	一年内调蓄池进水闸门开启,且有进水量的次数
调蓄池蓄满次数	一年内调蓄池进水闸门开启,且池内液位达到设计水位的进水次数
调蓄池冲洗次数	一年内开启调蓄池冲洗设备的次数
调蓄池清淤次数	一年内对调蓄池进行清淤的次数
调蓄雨量	在一场产生地表径流的降雨且调蓄池使用的情况下,调蓄池服务范围内溢流口开始溢流前累计的降雨毫米数(由雨量计直接读取)
降雨场次控制率	一年内扣除不产生地表径流的降雨场次,调蓄池使用调蓄的降雨场次占一年总降雨场次的比例
年调蓄总雨量	一年内扣除不产生地表径流的全部降雨场次,调蓄雨量的累加
年径流总量控制率	一年内通过调蓄池调蓄和污水厂削减得到控制的雨量与对应片区全年的总降雨量的比值
污染负荷削减总量	一年内通过调蓄池调蓄的污染总负荷和污水厂削减总负荷之和
污染负荷削减率	一年内调蓄池调蓄污染总负荷和污水厂削减总负荷之和与所在片区全年污染负荷总量的比值
污水厂实际进水量	一年内在调蓄池进行调蓄使用的情况下,污水厂的进水总量
污水厂实际污染负荷削减量	一年内在调蓄池调蓄使用的情况下,污水厂按照处理后出水浓度一级 A 标准处理的污染负荷总量
调蓄池实际转输率	一年内在调蓄池调蓄使用的情况下,污水厂的实际进水增加量(污水厂实际进水量与调蓄池全部未使用调蓄时污水厂进水量之差值)与调蓄池实际调蓄水量的比值
年减少溢流场次	构建调蓄池前后,调蓄池服务范围内重点排口溢流次数的差值
年减少溢流总水量	构建调蓄池前后,调蓄池服务范围内重点排口溢流量的差值

4.2 核心评估指标的内容

就具体指标实际指导意义和获取难易程度,与调蓄池运行管理单位的一线管理员工和上级责任单位进行了深入讨论,对上述效能评估指标再一次进

行了筛选、优化和精简,提取出 6 个可获取性好、指导性强的重点关注核心指标,以便对调蓄池运行效能和整体环境污染削减能力的提升起到量化的作用。各个指标具体计算方法如表 2 所示。

表 2 合流污水调蓄池效能评估核心指标计算方法

Tab.2 Calculation method for core indicators of efficiency evaluation of combined sewage storage tank

核心指标	计算方法或判断依据	备注	数据来源
容积利用率	$\eta_{\text{利用}} = Q_{\text{调蓄}} / V \times 100\%$	$Q_{\text{调蓄}}$ 为单个调蓄池每次调蓄容积, V 为调蓄池的设计容积	$Q_{\text{调蓄}}$ 可由在线液位计或流量计读取后按公式计算,也可由运行报表中获得调蓄池每次的调蓄水量
调蓄总水量	$Q_{\text{调蓄}} = \sum_{i=0}^n (h_i \times S)$	由于采莲河、兰花沟、大观河、昆一中、乌龙河、麻线沟、教场北沟、圆通沟、金色大道、小路沟、学府路调蓄池在进水闸门前端不具备流量计的安装条件,故在调蓄池体底部安装了液位计,根据公式计算得出进水流量。 h 表示调蓄池每次调蓄过程进水闸门关闭和开启时池体液位的差值, S 表示调蓄池底面积, n 表示一年调蓄次数	h 由调蓄池内液位计读取, S 由调蓄池池体尺寸的乘积求得。该值也可由运行报表提供
	$Q_{\text{调蓄}} = \sum_{i=0}^n (q_i \times t)$	由于明通河、老运粮河、七亩沟、白云路、核桃箐沟、海明河调蓄池在进水闸门前端具备流量计的安装条件,故可直接读取进水瞬时流量。 q 表示调蓄池每次进水平均流量, t 表示调蓄池每次进水时长, n 表示一年调蓄次数	进水流量由每次调蓄池进水闸门关闭与开启时段的流量取得, t 调用运行报表中每次调蓄的进水闸门关闭与开启时间得出,也可由运行报表提供
降雨场次控制率	$k = n_{\text{使用}} / n_{\text{降雨}}$	k 表示降雨场次控制率, $n_{\text{使用}}$ 表示一年内,扣除不产生地表径流的降雨场次,调蓄池使用调蓄的降雨场次(即使用次数); $n_{\text{降雨}}$ 表示全年降雨次数。此处对降雨场次的定义为:两场雨之间的时间间隔超过 24 h,即视为两场降雨	$n_{\text{使用}}$ 根据调蓄池内液位数据统计; $n_{\text{降雨}}$ 为人工统计,手动填写
污水厂增加水量	$Q_{\text{污水厂增加}} = Q_{\text{污水厂新}} - Q_{\text{污水厂基准}}$	$Q_{\text{污水厂增加}}$ 代表调蓄池构建(或使用)前后,污水厂一年增加的进水量	Q 由污水厂运行报表提供
污水厂实际污染负荷削减量	$\frac{M_{\text{增加}}}{C_{\text{实际}}} = Q_{\text{污水厂增加}} \times$	$M_{\text{增加}}$ 代表调蓄池使用后,污水厂一年增加的处理污染负荷总量, $C_{\text{实际}}$ 代表调蓄池使用后,污水厂一年实际增加进水量下污染物的进出水削减浓度	$C_{\text{实际}}$ 由污水厂运行报表提供
年减少溢流场次	$n_{\text{减少}} = n_{\text{前}} - n_{\text{后}}$	$n_{\text{减少}}$ 表示调蓄池服务范围内重点溢流口一年减少的溢流场次, $n_{\text{前}}$ 表示调蓄池构建(或使用)前重点排口一年溢流的次数, $n_{\text{后}}$ 表示调蓄池构建(或使用)后重点排口一年溢流的次数;重点溢流排口溢流堰处安装有液位计,当对应溢流堰的液位高程值相对溢流堰顶高程值 > 0 时,即视为一次溢流	n 由重点溢流排口溢流堰处的液位计读数统计得出

5 指标分析计算案例

以 2017 年昆明市七亩沟调蓄池和对应第三污水处理厂的运行为例,对上述指标进行具体的计算分析。

① 降雨场次控制率

根据七亩沟调蓄池附近雨量站数据和降雨场次的定义可知,2017 年全年降雨次数为 81 场,扣除不产生地表径流的降雨场次 21 场(单场降雨量 ≤ 3

mm),则七亩沟调蓄池全年降雨场次控制率为 23.3%。

② 调蓄总量及容积利用率

根据施工图得知,七亩沟调蓄池底面面积为 1 446 m²,设计容积为 10 000 m³。根据 2017 年运行报表得知,该调蓄池全年调蓄总量为 59 705.6 m³,共调蓄 14 次,单次调蓄水量及单次容积利用率如表 3 所示。

表3 七亩沟调蓄池容积利用率

Tab.3 Volume utilization of Qimugou storage tank

调蓄水量/ m^3	设计容积/ m^3	容积利用率/%
2 790.8	10 000	27.9
1 590.6	10 000	15.9
5 755.1	10 000	57.6
2 212.4	10 000	22.1
2 747.4	10 000	27.5
3 051.1	10 000	30.5
8 039.8	10 000	80.4
7 128.8	10 000	71.3
5 567.1	10 000	55.7
4 381.4	10 000	43.8
3 470.4	10 000	34.7
3 412.6	10 000	34.1
5 856.3	10 000	58.6
3 701.8	10 000	37.0

③ 污水厂增加水量及实际污染负荷削减量

根据昆明第三污水处理厂年度运行报表得知,污水厂一年增加的进水量约为 $305.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 实际污染负荷削减量结果如表4所示。

表4 污水厂实际污染负荷削减量

Tab.4 Actual pollution load reduction of sewage treatment plant

项目	进水浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/%	实际 削减量/ ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)
COD	223.43	11.12	95	648.6
SS	181.68	4.27	98	542.0
TN	28.25	11.18	60	52.2
TP	4.42	0.11	98	13.2
$\text{NH}_3 - \text{N}$	20.73	0.92	96	60.5

④ 年减少溢流场次

根据2017年该调蓄池下游对应的七亩沟菱角塘溢流口的液位计监测数据可得,七亩沟菱角塘溢流口年减少溢流场次为17次。

6 评估报告

评估完成后,评估工作组按照规定的格式撰写评估报告,记录评估工作的具体流程和实施步骤,详细阐述评估工作背景、实施过程、评估结果、存在的问题和建议等,并撰写相应的效能分析报告。同时建立评估工作档案和更新管理制度,以评估指标体现调蓄池运行效果和对整体环境污染的削减效果,以实际效果反向推动指标的迭代优化,在动态管理中不断总结经验,完善评估工作。

7 结语

随着环境污染形势的加剧和国家对生态环境重视的提高,越来越多的城市通过在排水系统中设置合流制调蓄池来缓解城市面源污染。通过建立一套比较客观和综合的合流制调蓄池效能评价的方法,再对各个指标遴选出具有较强指导性、易获取和可量化的核心评估指标进行评估分析,为在有限物力和人力情况下的效能评估工作提出优先关注的目标,规范调蓄池建设、运行和提高运营效率,有助于更好地发挥合流制调蓄池控制面源污染的作用,同时也为相关部门管理考核标准的制定提供了一定的理论支撑。

参考文献:

- [1] 徐晓梅,黎巍,何佳,等. 昆明主城合流污水调蓄池截污效能模拟[J]. 环境科学研究,2012,25(10):1180-1186.
Xu Xiaomei, Li Wei, He Jia, et al. Simulation study on the interception efficiency of rainwater storage tanks in Kunming [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(10):1180-1186 (in Chinese).
- [2] 吴小康,叶春明,吴佳. 上海市初期雨水调蓄设施评估体系的构建[J]. 环境工程学报,2015,9(12):5732-5736.
Wu Xiaokang, Ye Chunming, Wu Jia. Construction of evaluation system for initial rainwater storage facilities in Shanghai [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(12):5732-5736 (in Chinese).



作者简介: 佟举钢(1971—),男,北京人,本科,工程师,研究方向为智慧水务系统技术。

E-mail: ly@bjenv.com

收稿日期:2018-08-18