

刁蓉梅. 城市供水全链路智慧化管理水平评估[J]. 净水技术, 2025, 44(12): 55–66.

DIAO R M. Evaluation of intelligent management level for full-chain of urban water supply[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(12): 55–66.

城市供水全链路智慧化管理水平评估

刁蓉梅*

(上海市供水管理事务中心, 上海 200081)

摘要 【目的】为支撑城市供水管理向数字化、智慧化转型, 本文构建覆盖取水、制水、供水、用水全过程的智慧化管理水平评估指标体系, 旨在科学评估城市供水全链路智慧化管理现状。通过评估与分析, 精准识别供水企业在智慧化管理中的薄弱环节, 提出针对性优化升级建议, 为促进供水企业向智能化、高效化方向发展提供依据。【方法】基于智慧化建设基础、智能系统应用、信息化管理、服务效能及保障体系 5 个核心维度, 构建包含 47 项具体指标的城市供水智慧化管理评价模型。采用层次分析法(AHP)确定各指标权重, 并选取上海市供水企业进行实证分析。【结果】该评估体系具有良好的实用性和可操作性。应用该体系可有效识别供水企业在智慧化管理各环节的具体短板, 为其制定改进策略和优化资源配置提供科学支撑。【结论】本文构建的评估体系及其应用结果, 对提升供水企业运营效率具有直接实践指导价值, 同时为推动城市供水行业向智慧化、可持续化方向转型提供了理论依据与方法参考。

关键词 供水系统 智慧化管理 评价指标体系 层次分析法 评估准则

中图分类号: TU991 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)12-0055-12

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.12.007

Evaluation of Intelligent Management Level for Full-Chain of Urban Water Supply

DIAO Rongmei*

(Shanghai Water Supply Management Affairs Center, Shanghai 200081, China)

Abstract [Objective] To support the digital and intelligent transformation of urban water supply management, this paper constructs a comprehensive evaluation index system for assessing the smart management level across the entire water supply chain—from water abstraction and treatment to distribution and consumption. The system aims to scientifically evaluate the current status of smart management in urban water supply networks. Through assessment and analysis, it precisely identifies weaknesses in water supply enterprises' smart management practices and proposes targeted optimization strategies, providing a foundation for advancing intelligent and efficient development in the sector. [Methods] Based on five core dimensions—smart infrastructure, intelligent system application, information management, service efficiency, and safeguard systems—a smart management evaluation model comprising 47 specific indices were developed. The analytic hierarchy process (AHP) was applied to determine indicator weights, followed by an empirical study of local water supply enterprises in Shanghai. [Results] Empirical findings demonstrated the model's strong practicality and operability. The system effectively identified specific shortcomings in smart management across all operational stages, offering scientific support for enterprises to formulate improvement strategies and optimize resource allocation. [Conclusion] The evaluation framework and application provide direct practical guidance for enhancing operational efficiency in water supply enterprises. It also contributes theoretical foundations and methodological references for advancing the transformation of the urban water supply industry toward intelligence and sustainability.

Keywords water supply system intelligent management evaluation index system analytic hierarchy process evaluation criteria

随着我国智慧城市建设的不断深入, 城市供水 也全面向智慧化转型, 但是供水智慧化水平需要科

[收稿日期] 2025-06-09

[基金项目] 上海市供水管理事务中心科技项目

[通信作者] 刁蓉梅(1969—), 女, 主要从事供水规划、供水标准和技术规范的制修订及智慧供水等工作, E-mail: 13524236105@163.com。

学的评估方法来进行评价,这样有利于发现城市供水智慧化管理中存在的问题和不足,进一步促进供水智慧化向更高层级发展。

近些年,智慧水务绩效和效能的评估体系、评估方法和管理机制等方面得到了较广泛的探讨和研究。王宝令等^[1]和罗贤伟^[2]构建了智慧水务建设评价指标体系;陈栩云^[3]对关注供水调度信息系统进行了综合评价研究;朱波等^[4]基于模糊层次分析法(FAHP)对供水信息化建设效果进行了评价;张一鸣等^[5]基于技术-组织-环境(TOE)框架对之后水务建设影响因素进行评价;张美玲^[6]对城市智慧水务建设成熟度评价体系进行研究;夏明^[7]对YC水务公司智慧水务平台成熟度进行评价研究;韩心星等^[8]对供水监测指标体系进行研究。城市供水涵盖原水、制水、供水和用水4大环节,各环节内容各异且业务关注点不同。目前缺乏针对供水全链条的专业性评估,针对供水管理智慧化程度的定量评估研究也较为匮乏^[9-10]。因此,构建一个全面覆盖、精确度高且能动态适应行业最新动态和技术进步的评价体系尤为重要。

1 评估方法构建

1.1 评估方法

本次评估采用层次分析法,针对原水输送、水厂运营、管网运行及小区二次供水环节的智慧化管理现状进行数据采集及取值、判断及分析。指标体系结构设计为多层次,广泛覆盖智能硬件、网络、制度规范及应用价值等领域,内容涉及水质、水压、管网管理、生产经营和客户服务等方面,实现定量指标与定性指标的有机结合。在此基础上,构建统一的评估指数方法,以量化指标开展评估,确保评估结果的客观准确。评估方法框架如图1所示。

权重制定采用G1法。作为层次分析法的改进版,G1法计算简便,无需一致性检验,无评价指标数量限制,能有效解决层次分析法中因指标数量过多而导致的专家判断不精准问题。在评价指标增减时,无需专家重新评估整个体系,仅需对新指标与相邻指标的重要程度进行赋值,显著节省评价指标体系更新所需的人力与时间成本,应用上能够契合上海市高质量发展过程中政策、营商环境和水资源环境波动等因素要求的评价指标体系迭代升级的变化。

1.2 评估计算方法

1.2.1 原水取水环节评估计算方法

针对上海市两大水源(长江水源和黄浦江水源)以及四大取水口(青草沙水库、陈行水库、金泽水库和东风西沙水库),选取上海市11家供水企业承担这一关键环节的任务。

针对各单位,依据评估指标体系进行实地考察和数据收集,分别评估各单位原水取水环节智能化水平,根据各单位的实际取水量进行加权计算。

1.2.2 制水、配水、用水环节评估计算方法

针对上海市的11家供水企业及其下属的供水厂进行实地考察和数据收集,分别评估各单位取水、制水、配水、用水环节智能化水平,制水环节根据各单位的实际制水量进行加权计算,配水和用水环节根据各单位的服务人口进行加权计算。

1.2.3 全链路整体智慧化水平评估

根据评估方法对各项二级指标进行分数计算,智能化水平得分即为二级指标得分的加权求和。智能化水平计算如式(1)。

$$S = \sum_{i=1}^n r_i b_i \quad (1)$$

其中: S ——智能化水平得分;

b_i ——某项二级指标取值;

r_i ——某项二级指标权重。

1.3 智慧化管理水平定级方法

评分结果与智慧化水平对应关系如表1所示,参照行业智慧化标准及相关文献,依据城市供水智慧化评分进行不同级别划分,共划分为智慧级、智能级、中控级、集散级和初始级5个水平。

2 指标权重确定

2.1 建立层次结构模型

本次评估构建共计5个一级指标,26个二级指标,47个三级指标的城市供水全链路评估指标体系。

2.2 评估指标取值方法

评估指标的取值,采用贴近度取值法。贴近度是用于量化指标实际值与标准参考值之间接近程度的指标。在具体应用中,贴近度取值法可能会采用多种计算方式,如相对误差法、距离比率法或分段评估法等,来量化实际值与标准值之间的

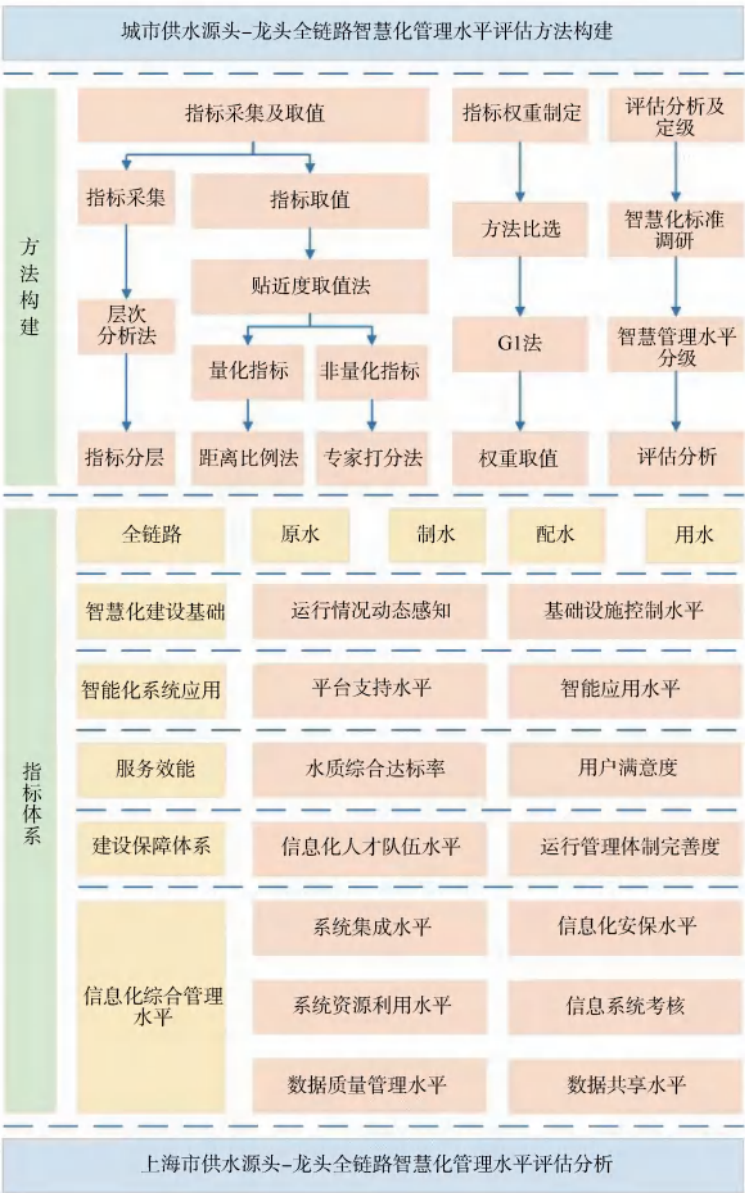


图1 城市供水全链路智慧化管理水平评估框架

Fig. 1 Evaluation Framework for Intelligent Management Level for Full-Chain of Urban Water Supply

接近程度。

2.2.1 量化指标取值方法

针对量化指标,主要采用正向化处理,通过改进距离比率法,将原始数据转换为正向指标,即数值越大,代表该指标表现越优,确保综合评价结果能直接反映智慧化建设水平的高低。同时进行无量纲化处理,消除不同指标因量纲,如单位、参考数值差异带来的影响,让各指标数据处于同一可比维度,为后续综合计算奠定基础。

评价结果采用主客观相结合的方式,既客观

依据参考国家、地方标准和规范性文件的明确要求,也结合行业实际情况、专家经验等主观判断,使标准值更贴合城市供水智慧化建设的实际需求,对于无法获取标准值的指标,选用合理的替代值,如行业平均水平、先进城市实践值等,保证评价体系的完整性和可操作性。评价指标标准参考值如表2所示。

2.2.2 非量化指标取值方法

针对未量化指标,采用专家评判法对指标考察内容的水平进行打分,利用领域内资深专家的专业

表 1 城市供水系统智能化水平评分区间及特性

Tab. 1 Scoring Intervals and Characteristics of the Intelligence Level of Urban Water Supply Systems

智慧化水平	评分区间	特征
智慧级	$0.8 < S \leq 1$	城市供水系统中具备完善的智能化设施;智能化应用水平高,拥有水力计算模型、大数据模型等辅助决策;自动化控制水平高,能实现在线设施的统一管理和远程集中控制;具备统一高效的信息化管理体系;具有示范性与可借鉴经验
智能级	$0.6 < S \leq 0.8$	基本达到城市供水系统的各项智能化要求;智能化应用水平较高,拥有数据中台;自动化控制水平较高,站内能实现设施的自动化控制;信息化管理体系较完善;具有示范性与可借鉴经验
中控级	$0.4 < S \leq 0.6$	城市供水系统中信息化水平较高;数据通信实时性良好;但智能化软硬件系统应用度不高
集散级	$0.2 < S \leq 0.4$	城市供水系统中的信息化设施仅支持向数据中心单向发送数据;信息化建设能力薄弱
初始级	$0 \leq S \leq 0.2$	城市供水系统处于智能化改造初级阶段,相关设施还未部署;各项指标均不满足城市供水系统智能化相关要求

表 2 评价指标标准参考值

Tab. 2 Reference Values of Evaluation Index Standard

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明	考察内容	标准参考值
智慧化建设基础(A ₁)	原水运行情况动态感知水平(B ₁)	原水在线监测内容全面性(C ₁)	依据输水管渠的水质、水压、流量	输水管渠水质监测点密度	0.3 个/(10 km)
			监测点密度,水源水质监测点数目,在线监测设备覆盖率,运行设施在线监测覆盖率评估	输水管渠水压监测点密度	0.6 个/(10 km)
				输水管渠流量监测点密度	3.6 个/(10 km)
				每个水源水质监测点数目	2 个
				在线监测设备覆盖率	100%
				运行设施在线监测覆盖率	100%
		在线监测内容准确性(C ₂)	依据在线监测设备的数据完好率和设备率进行评估	定期校准率	100%
				数据完好率	97%
				设备完好率	97%
	原水基础设施控制水平(B ₂)	设施自动化程度(C ₃)	依据原水水质检测系统记录、原水设备设施巡检维修工作系统记录及异常情况系统记录评估	有无水质检测系统记录	1
				有无设施巡检维修工作系统记录	1
				有无异常情况系统记录	1
			依据设施(泵、阀等)自动化控制率评估	原水设施(泵、阀等)自动化控制率	100%
	制水运行情况动态感知水平(B ₃)	制水在线监测内容全面性(C ₁₁)	依据自来水厂的水质、水压、流量	水质监测点覆盖率	100%
			监测点密度,在线监测设备覆盖率,运行设施在线监测覆盖率评估	水量监测点覆盖率	100%
				水压监测点覆盖率	100%
				在线监测设备覆盖率	100%
				运行设施在线监测覆盖率	100%
		在线监测内容准确性(C ₁₂)	依据在线监测设备的数据完好率和设备率进行评估	定期校准率	100%
				数据完好率	97%
				设备完好率	97%
	制水基础设施控制水平(B ₄)	设施自动化程度(C ₁₄)	依据制水水质检测系统记录、制水设备设施巡检维修工作系统记录及异常情况系统记录评估	有无水质检测系统记录	1
				有无设施巡检维修工作系统记录	1
				有无异常情况系统记录	1
			依据设施(泵、阀等)自动化控制率评估	制水设施(泵、阀等)自动化控制率	100%
		远程控制程度(C ₁₅)	依据设施(泵、阀等)远程指令控制率评估	制水设施(泵、阀等)远程控制率	100%

(续表2)

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明	考察内容	标准参考值	
配水运行情况 动态感知水平 (B ₅)	配水在线监测 内容全面性 (C ₂₄)	依据供水管网的水质、水压、流量 监测点密度,在线监测设备覆盖 率,运行设施在线监测覆盖率 评估	水质监测点数目	3个(供水服务人口<50万人);5个(50万~100万人);20个(100万~500万人);30个(>500万人)		
			水压监测点密度	1个/(10 km ²)		
			有无末端监测设备增设	1		
			在线监测设备覆盖率	100%		
	在线监测内容 准确性(C ₂₅)	依据在线监测设备的数据完好率 和设备率进行评估	运行设施在线监测覆盖率	100%		
			定期校准率	100%		
			数据完好率	97%		
			设备完好率	97%		
	情况记录 (C ₂₆)	依据管网水质检测系统记录、分 区计量漏损控制系统记录、管网 巡检维修工作系统记录及异常情 况系统记录评估	有无管网水质检测系统记录	1		
			有无分区计量漏损控制系统记录	1		
			有无管网巡检维修工作系统记录	1		
			有无异常情况系统记录	1		
	配水基础设施 控制水平(B ₆)	设施自动化程 度(C ₂₇)	依据设施(泵、阀等)自动化控制 率评估	设施(泵、阀等)自动化控制率	100%	
		远程控制程度 (C ₂₈)	依据设施(泵、阀等)远程指令控 制率评估	设施(泵、阀等)远程指令控制率	100%	
用水运行情况 动态感知水平 (B ₇)	用水在线监测 内容全面性 (C ₃₈)	依据二供水水质监测点密度,在线 监测设备覆盖率,居民远传水表 比例评估	每个小区二供水水质监测点密度	1个		
			每个小区二供设施在线监测覆盖率	1个		
			居民远传水表比例	100%		
			非居民用户远传水表比例	100%		
	在线监测内容 准确性(C ₃₉)	依据在线监测设备的数据完好率 和设备率进行评估	定期校准率	100%		
			数据完好率	97%		
			设备完好率	97%		
	情况记录 (C ₄₀)	依据二供水水质检测系统记录、二 供工作系统记录、管网巡检维修 工作系统记录及异常情况系统记 录评估	有无二供水水质检测系统记录	1		
			有无二供巡检维修、水箱清洗等工 作系统记录	1		
			有无异常情况系统记录	1		
	设施自动化程 度(C ₄₁)	依据设施(泵、阀等)自动化控制 率评估	设施(泵、阀等)自动化控制率	100%		
			远程控制程度 (C ₄₂)	依据设施(泵、阀等)远程指令控 制率评估	100%	
智能化系统 应用(A ₂)	原水平台支持 水平(B ₉)	管路地理信息 系 统 (GIS) (C ₆)	依据原水管网信息化水平评估	GIS平台等地理模型的管路地理信 息、管龄、管材、水压信息管理水 平	1	
			数据分析平台 (C ₇)	依据数据模型、水力模型等系统 智能分析平台建设水平评估	数据模型、水力模型搭建水平	1
			智能监控平台 (C ₈)	依据原水泵站单站监测控制水平 评估	集中控制/单站[供水调度系统 (SCADA)]/[可编程逻辑控制器 (PLC)系统使用水平	1
	原水智能应用 水平(B ₁₀)	智能调度 (C ₉)	依据取水调度的智能化水平评估	有无智能调度功能	1	
		爆管分析 (C ₁₀)	依据原水输送的爆管分析水平 评估	有无爆管分析功能	1	

(续表2)

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明	考察内容	标准参考值
制水平台支持水平(B ₁₁)	水厂信息平台(C ₁₆)	依据水厂运行情况及设施管理信	BIM 模型等感知平台应用水平	1	
		息化水平评估			
		数据分析平台(C ₁₇)	依据运行状况、药耗电耗数据应	过程水水质、出厂水水质水压、电	1
		用分析评估	耗、药耗、污泥系统数据分析水平		
制水智能应用水平(B ₁₂)	异常报警(C ₂₀)	依据水厂的异常报警功能评估	有无异常报警功能	1	
		异常诊断(C ₂₁)	依据水厂的异常分析功能评估	有无异常诊断功能	1
		智能调度(C ₂₂)	依据水厂进出水调度的智能化水	有无智能调度功能	1
		平评估			
配水平台支持水平(B ₁₃)	管网地理信息(C ₂₉)	依据供水管网信息化水平评估	GIS 平台等地理模型系统的管路地理	1	
		信息、管龄、管材、水压信息管理水			
		数据分析平台(C ₃₀)	依据数据模型、水力模型等系统	数据模型、水力模型搭建水平	1
		智能分析平台评估			
配水智能应用水平(B ₁₄)	异常报警(C ₃₄)	依据供水管网的异常报警功能	有无异常报警功能	1	
		异常诊断(C ₃₅)	依据供水管网的异常分析功能	有无异常诊断功能	1
		智能调度(C ₃₆)	依据供水管网调度的智能化水平	有无智能决策功能	1
		平评估			
用水平台支持水平(B ₁₅)	数据分析平台(C ₄₃)	依据数据模型、水力模型等系统	数据模型、水力模型等智能分析	1	
		智能分析平台评估	平台		
		智能监控平台(C ₄₄)	依据加压泵站单站监测控制水平	二供监测控制水平	1
		平评估			
用水智能应用水平(B ₁₆)	异常报警(C ₄₆)	依据异常报警功能评估	有无智能决策功能	1	
		智能调度(C ₄₇)	依据二供调度的智能化水平评估	有无异常报警功能	1
		信息化服务平台(C ₄₅)	依据二供监测控制水平评估	面向用户服务的应用程序(APP)、	1
		公众号平台			

(续表2)

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明	考察内容	标准参考值
信息化综合 管 理 水 平 (B ₁₇) (A ₃)	系统集成水平			管理部门对基层单位智能应用平台的集成及统筹管理水平	1
	系统资源利用水平(B ₁₈)			系统资源[如中央处理器(CPU)、内存、磁盘等]运行能力	1
	信息化安保水平(B ₁₉)			信息系统(包括系统资源如CPU、内存、磁盘等)承载的信息和业务应用的安全保护等级及数据安全水平	1
	信息系统考核水平(B ₂₀)			业务信息系统是否有统一考核机制	1
	数据质量管理水平(B ₂₁)			数据管理规范水平及各企业硬件接口、数据类型、采集精度统一水平	1
	数据共享水平(B ₂₂)			基层单位上下游之间及基层单位到行政管理部门之间管网数据、设备设施数据、监测数据、运营管理业务数据共享水平	1
服 务 效 能 (A ₄)	水质综合达标率(B ₂₃)			末梢水质水压检测结果符合标准的比例	95%
	用户满意度(B ₂₄)			单位供水量投诉数量	30次/a
建设保障体 系(A ₅)	信息化人才队伍水平(B ₂₅)			信息化建设管理部门建设情况及业务信息化系统培训情况	1
	运行管理体制完善度(B ₂₆)			管理部门对基层单位智能应用平台的集成及统筹管理水平	1

知识和丰富经验,通过他们的主观判断与客观分析相结合,为各项指标赋予一个合理且准确的分数,所得分数即为该项指标的贴进度取值。打分标准如表3所示。

表 3 非量化指标打分标准
Tab. 3 Scoring Criteria for Non-Quantitative Indices

二级指标	打分标准
系统集成水平(B ₁₇)	系统整合能力强,整体性能卓越,灵活性与可扩展性好,若基层单位已实现监测控制平台和调度平台的系统集成,且运行稳定,专家应给予高分(如1分) 系统整合能力一般,整体性能尚可,灵活性与可扩展性有限,仅实现监测控制平台的系统集成,但调度平台尚未集成,或集成程度较低,专家应给予0.5分 系统整合能力较弱,整体性能不稳定,灵活性与可扩展性差,基层单位仅有单站监测控制平台和调度平台,且两者之间未实现有效集成,专家应给予低分(如0分)
系 统 资 源 利 用 水 平 (B ₁₈)	若系统资源运行良好,未出现明显过载或浪费现象,且服务器故障次数小于2次/a,专家应给予1分 若系统资源运行状况接近最优,仅有轻微的压力或波动,未出现明显的过载现象,且服务器故障次数小于2次/a,但存在一定的优化空间,专家应给予0.5分;若系统资源出现过载现象,或服务器故障次数大于2次/a,专家应给予低分(如0分)

(续表3)

二级指标	打分标准
信息化安保水平 (B ₁₉)	安全策略完善,防火墙与入侵检测效果卓越,数据加密与备份措施健全,员工安全意识强,各信息系统等保等级均达三级及以上,且数据传输过程有安全和加密措施,专家应给予高分(如1分) 安全策略一般,防火墙与入侵检测效果存在不足,数据加密与备份措施有待加强,员工安全意识一般,存在信息系统等保等级未达三级及以上但均达二级,且数据传输过程有安全和加密措施,专家应给予中等分数(如0.5分) 安全策略不完善,防火墙与入侵检测效果差,数据加密与备份措施不足,员工安全意识薄弱,存在信息系统等保等级二级以下,专家应给予低分(如0分)
信息系统考核水平 (B ₂₀)	技术人员技术能力强,拥有统一业务信息系统考核机制,且考核机制有效运行,专家应给予高分(如1分) 若存在分散业务信息系统考核机制,但考核机制尚不完善或存在缺陷,专家应给予0.5分 若无业务信息系统考核机制,或考核机制形同虚设,专家应给予低分(如0分)
数据质量管理水平 (B ₂₁)	若有统一数据管理企业规范,且各企业硬件接口、数据类型、采集精度相同,专家应给予高分(如1分) 若各单位数据管理分散,但各企业硬件接口、数据类型、采集精度有可调节差异,且差异在可接受范围内,专家应给予中等分数(如0.5分) 若各单位无完备数据管理规范,且各企业硬件接口、数据类型、采集精度不统一,专家应给予低分(如0分)
数据共享水平 (B ₂₂)	数据互通性强,数据标准化程度高,数据访问权限设置合理,数据更新与维护及时,实现基层单位上下游之间及基层单位到行政管理部门之间关键数据共享,且共享效果良好,专家应给予高分(如1分) 数据互通性一般,数据标准化程度存在不足,数据访问权限设置存在不合理之处,数据更新与维护不够及时,仅实现基层单位到行政管理部门关键数据共享,但上下游之间数据共享尚未实现或效果一般,专家应给予中等分数(如0.5分) 数据互通性差,数据标准化程度低,数据访问权限设置不合理,数据更新与维护不及时,仅实现单位内部关键数据记录,且未实现与外部单位的数据共享,专家应给予低分(如0分)
信息化人才队伍水平 (B ₂₅)	若企业信息化建设管理部门建设率达100%,且业务信息化系统有定期培训,且培训效果良好,专家应给予高分(如1分) 若信息化建设管理部门建设率达60%,且业务信息化系统有定期培训,但培训效果一般或存在不足,或管理部门建设率虽高但培训频率不足,专家应给予中等分数(如0.5分) 若信息化建设管理部门建设率小于60%,或业务信息化系统未进行定期培训,或两者均不满足条件,专家应给予低分(如0分)
运行管理体制完善度 (B ₂₆)	若企业已制定统一的管理制度和规定,并且这些制度和规定得到有效执行,且各单位运行管理制度差异较小,系统稳定运行能力较强,专家应给予高分(如1分) 若相关管理制度和规定已经制定并得到有效执行,但各单位运行管理制度差异较大,或系统稳定运行能力存在不足,专家应给予中等分数(如0.5分) 若相关管理制度和规定未制定或未得到有效执行,或系统稳定运行能力较差,专家应给予低分(如0分)
C ₆ 、C ₂₉	若GIS平台等地理模型系统能够全面、准确地管理管路地理信息、管龄、管材、水压等信息,且数据更新及时、准确,专家应给予高分(如1分) 若系统能够管理大部分相关信息,但存在部分数据不准确或更新不及时的情况,或某些功能尚未充分利用,专家应给予中等分数(如0.5分) 若系统存在明显缺陷,如信息不完整、数据错误频出、功能无法正常使用等,专家应给予低分(如0分)
C ₇ 、C ₁₇ 、C ₃₀ 、C ₄₃	若数据分析平台能够搭建准确的数据模型和水力模型,有效支持管网系统的数据分析、预测和优化工作,且结果准确可靠,专家应给予高分(如1分) 若平台能够基本满足数据分析的需求,但模型准确性或分析结果存在一定误差,或某些功能尚未充分利用,专家应给予中等分数(如0.5分) 若平台存在明显缺陷,如模型无法搭建、分析结果错误频出等,导致无法有效支持管网系统的数据分析工作,专家应给予低分(如0分)
C ₈ 、C ₁₈ 、C ₃₁ 、C ₄₄	采用集中控制系统或SCADA辅助控制系统且智能监控平台能够稳定运行,实时监测和控制管网系统的各项参数,且具备较高的安全性和可靠性,专家应给予高分(如1分) 仅采用PLC控制,基本满足监控需求,但存在偶然的故障或不稳定情况,或某些功能尚未充分发挥作用,专家应给予中等分数(如0.5分) 若系统无智能监控平台或存在严重故障,无法正常运行,或安全性、可靠性存在严重问题,专家应给予低分(如0分)

(续表3)

二级指标	打分标准
水厂信息系统(C ₁₆)	感知模型[建筑信息模型(BIM)等]完整,数据准确实时,用户容易上手,平台提供直观易懂的界面和交互方式。能与其他信息系统(如水质管理、设备管理等)集成,实现数据共享,专家应给予高分(如1分) 水厂基本实现动态感知,BIM存在部分缺失,数据准确性有待提高,平台易用性较差,集成性和兼容性有限,专家应给予中等分数(如0.5分) 水厂未实现信息集成,无BIM或无法使用,数据严重缺失或错误,平台无法运行专家应给予低分(如0分)
水厂安全保障平台(C ₁₉)	电子围栏等保障设施完整且覆盖率高,可靠性强且灵敏度高,设施与其他安全系统(如监控系统、报警系统等)兼容性和可扩展性好,维护和保养得当,专家应给予高分(如1分) 设施存在部分缺失或覆盖率较低,可靠性有待提高但灵敏度一般,兼容性和可扩展性有限,维护和保养不够及时,专家应给予中等分数(如0.5分) 无电子围栏等保障设施或设施无法使用,无法提供安全保障,专家应给予低分(如0分)
配水分区管理平台(C ₃₂)	若DMA平台能够准确计量各区域的用水量,有效管理配水和漏损问题,且数据更新及时、准确,专家应给予高分(如1分) 若平台能够基本满足配水和漏损管理的需求,但存在部分数据不准确或更新不及时的情况,或某些功能尚未充分利用,专家应给予中等分数(如0.5分) 若平台存在明显缺陷,如数据错误频出、功能无法正常使用等,导致配水和漏损管理效果不佳,专家应给予低分(如0分)
C ₃₃ 、C ₄₅	若信息化服务平台功能完善、用户满意度高、服务效率高,且能够为用户提供便捷、高效的服务体验,专家应给予高分(如1分) 若平台功能基本满足用户需求,但存在部分功能不完善或服务效率不高的情况,或用户满意度存在一定波动,专家应给予中等分数(如0.5分) 若平台存在明显缺陷,如功能缺失、服务效率低下、用户满意度极低等,导致无法为用户提供有效的服务支持,专家应给予低分(如0分)

2.3 构造判断矩阵

为构建一个有效的判断矩阵,需要采用合适的量化标准以清晰地反映出各个指标之间的相对重要性。

G1法是一种改进的特征值法,用以真实、唯一地体现评价指标之间的序关系。G1法重点解决传统特征值法因判断矩阵非一致性导致的权重混乱及专家间权重不一致的问题。具体步骤如下。

1) 序关系的确定

专家对 m 个评价指标构成的评价指标集 $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 以某种评价准则将评价指标按重要性给出序关系 $X_1^* > X_2^* > \dots > X_{j-1}^* > X_j^* > \dots > X_m^*$ 。其中: α_j 表示 $\{X_j\}$ 按大于或不小于的序关系排定顺序后的第 j 个评价指标[式(2)]。

2) 相邻评价指标间相对重要程度比较

$$\alpha_{j-1}^*/\alpha_j^* = r_j, j = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2 \quad (2)$$

其中: r_j ——相邻评价指标之间相对重要程度赋值,如表4所示;

$\alpha_{j-1}^*, \alpha_j^*$ ——评价指标 X_{j-1}^* 和 X_j^* 的权重系数。

表4 r_j 赋值参考

Tab. 4 Reference for r_j Assignment

r_j	说明
1.0	指标 X_{j-1} 与指标 X_j 具有同样重要性
1.2	指标 X_{j-1} 比指标 X_j 稍微重要
1.4	指标 X_{j-1} 比指标 X_j 明显重要
1.6	指标 X_{j-1} 比指标 X_j 强烈重要
1.8	指标 X_{j-1} 比指标 X_j 极端重要

3) 确定权重系数 α_j

专家给出的理性赋值值需满足式(3)。

$$r_{j-1} > 1/r_j, j = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2 \quad (3)$$

则得到评价指标 X_j 的权重系数 α_j 如式(4)~式(5)。

$$\alpha_m = \left(1 + \sum_{j=2}^m \prod_{i=j}^m r_i\right)^{-1} \quad (4)$$

$$\alpha_{j-1} = r_j \times \alpha_j, j = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2 \quad (5)$$

2.4 计算各指标权重

采用改进G1法,以要素层指标为例,在确定一

级指标的序关系时,首先针对性咨询熟悉行业监管政策与整体发展规划,掌握实际运行数据与技术痛点及具备智慧供水理论研究深度的供水领域和高校在智慧供水领域的多方专家,经由专家充分论证和意见整合,最终确定一级指标的序关系($A_1 > A_2 > A_4 > A_3 > A_5$)。再由式(2)和表4、表5给出相邻指标重要性程度的 r_j ,这一序关系既体现行业实践的优先级,也契合理论研究中的逻辑关联。结果如表5所示。

各项二级指标也按上述步骤分别计算主权重, G1 法所求一级指标和二级指标权重结果如表6

所示,每个三级指标权重为加权平均数。

表5 一级指标序关系及相对重要性程度
Tab. 5 Sequential Relationship and Relative Importance Degree of First-level Indices

一级指标	r_j
智慧化建设基础(A_1)	—
智能化系统应用(A_2)	1.000
服务效能(A_4)	1.200
信息化综合管理水平(A_3)	1.166
建设保障体系(A_5)	1.000

表6 G1 法权重计算结果
Tab. 6 Results of Weight Calculation by G1 Method

一级指标	一级指标权重	二级指标	指标类型	二级指标权重	二级指标主权重
智慧化建设基础(A_1)	0.234 6	原水运行情况动态感知水平(B_1)	正向	0.136 4	0.032 0
		原水基础设施控制水平(B_2)	正向	0.113 6	0.026 7
		制水运行情况动态感知水平(B_3)	正向	0.136 4	0.032 0
		制水基础设施控制水平(B_4)	正向	0.113 6	0.026 7
		配水运行情况动态感知水平(B_5)	正向	0.136 4	0.032 0
		配水基础设施控制水平(B_6)	正向	0.113 6	0.026 7
		用水运行情况动态感知水平(B_7)	正向	0.136 4	0.032 0
		用水基础设施控制水平(B_8)	正向	0.113 6	0.026 7
智能化系统应用(A_2)	0.234 6	原水平台支持水平(B_9)	正向	0.136 4	0.032 0
		原水智能应用水平(B_{10})	正向	0.113 6	0.026 7
		制水平台支持水平(B_{11})	正向	0.136 4	0.032 0
		制水智能应用水平(B_{12})	正向	0.113 6	0.026 7
		配水平台支持水平(B_{13})	正向	0.136 4	0.032 0
		配水智能应用水平(B_{14})	正向	0.113 6	0.026 7
		用水平台支持水平(B_{15})	正向	0.136 4	0.032 0
		用水智能应用水平(B_{16})	正向	0.113 6	0.026 7
信息化综合管理水平(A_3)	0.167 6	系统集成水平(B_{17})	正向	0.207 9	0.034 8
		系统资源利用水平(B_{18})	正向	0.148 5	0.024 9
		信息化安保水平(B_{19})	正向	0.148 5	0.024 9
		信息系统考核水平(B_{20})	正向	0.148 5	0.024 9
		数据质量管理水平(B_{21})	正向	0.173 3	0.029 0
		数据共享水平(B_{22})	正向	0.173 3	0.029 0
服务效能(A_4)	0.195 5	水质综合达标率(B_{23})	正向	0.545 5	0.106 6
		用户满意度(B_{24})	正向	0.454 5	0.088 9
建设保障体系(A_5)	0.167 7	信息化人才队伍水平(B_{25})	正向	0.454 5	0.076 2
		运行管理体制完善度(B_{26})	正向	0.545 5	0.091 4

利用层次分析法和判断矩阵,可以对各级指标进行权重计算。由表 6 可知,智慧化建设基础和智能化系统应用所占权重较高,表明这 2 个维度是衡量城市智慧化管理水平的重要指标,完善的智慧化建设基础和智能化系统应用是促进整个城市供水智慧化运行的保障。

3 实例应用

本次评估聚焦于上海市 11 家供水企业,旨在通过智慧化建设基础、智能化系统应用、信息化综合管理、服务效能及建设保障体系这五大维度,全面评估上海市供水行业的智慧化发展现状。评估结果如表 7~表 9 所示。结果表明,截至 2024 年 10 月,上海市供水管理智慧化水平达到智能级,基础设施建设成果显著,满足城市供水系统智能化建设的各项要求,展现了较高的自动化控制水平,信息管理体系较完善,为智慧化转型奠定坚实基础,具有示范性与可借鉴经验。

表 7 智慧化建设评估结果
Tab. 7 Evaluation Results of Intelligent Construction

一级指标	评分	权重	综合得分
智慧化建设基础	0.828 6	0.234 6	0.738 5
智能化系统应用	0.632 0	0.234 6	
信息化综合管理	0.575 6	0.167 6	
服务效能	0.909 1	0.195 5	
建设保障体系	0.725 5	0.167 7	

表 8 各环节评估结果
Tab. 8 Evaluation Results of Each Link

供水环节	智慧化建设基础得分		智能化系统应用得分		综合得分
	运行情况 动态感知	基础设施 控制水平	平台支持	智能应用	
原水	0.970 2	0.980 0	0.964 0	0.471 6	0.841 1
制水	0.937 4	0.950 9	0.607 7	0.352 7	0.705 5
配水	0.933 8	0.827 0	0.611 3	0.462 6	0.698 5
用水	0.722 2	0.257 8	0.841 5	0.645 6	0.609 5

4 结论

本文构建的城市供水全链路智慧化管理水平评价体系具有显著创新价值。该体系突破传统单一维度评估模式,创新性融合 G1 法与层次分析法确定指标权重,既克服了传统主观赋权的随意性,又规避了数据依赖导致的局限性,为供水行业同类评估提供了可操作、可复制的技术范式,不仅紧密贴合国家

表 9 二级指标评估结果
Tab. 9 Evaluation Results of Secondary Indices

一级指标	二级指标	得分
信息化综合管理水平	系统集成水平	0.500 0
	系统资源利用水平	0.818 0
	信息化安保水平	0.773 0
	信息系统考核	0.455 0
	数据质量管理	0.500 0
	数据共享水平	0.500 0
服务效能	水质综合达标率	1.000 0
	用户满意度	0.800 0
建设保障体系	信息化人才队伍水平	0.636 0
	运行管理体制完善度	0.800 0

数字化转型战略要求,更填补了供水行业智慧化水平量化评估的实践空白,为行业制定差异化升级路径提供了科学标尺。

通过上海供水企业的实证评估发现,该体系不仅精准定位了供水企业在智能监测覆盖率、数据协同效率等关键环节的薄弱点,更通过靶向诊断提出包含技术迭代、流程再造、机制创新在内的优化策略。但不可忽视的是,当前研究仍存在区域适配性不足、动态监测能力待加强等局限。

为此,建议后续评价体系可聚焦三方面深化:一是开展国内典型城市供水企业的对比研究,完善指标体系的普适性;二是探索引入物联网实时数据与机器学习算法,构建动态化评估模型;三是强化评价结果与政策制定的衔接机制,推动智慧化管理从评估诊断向长效治理升级,从而全面赋能供水行业高质量发展。

参考文献

[1] 王宝令,张美玲,张青山.智慧水务建设评价指标体系的构建[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2018,20(2):154-162.
WANG B L, ZHANG M L, ZHANG Q S. Research on construction of evaluation index system of smart water construction [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Social Science), 2018, 20(2): 154-162.
[2] 罗贤伟.智慧水务评价指标体系研究[J].给水排水,2020,46(2):125-132.
LUO X W. Research on smart water evaluation index system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(2): 125-132.

- [3] 陈栩云. 广州供水调度信息系统综合评价研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
CHEN X Y. A research on the performance evaluation of Guangzhou water supply dispatching information system [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [4] 朱波, 刘业政. 基于 FAHP 的供水信息化建设效果评价[J]. 电子技术与软件工程, 2022(3): 207-210.
ZHU B, LIU Y Z. Evaluation of water supply informatization construction effectiveness based on FAHP [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2022(3): 207-210.
- [5] 张一鸣, 田雨, 蒋云钟. 基于 TOE 框架的智慧水务建设影响因素评价[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 980-984.
ZHANG Y M, TIAN Y, JIANG Y Z. Evaluation of impact factors of smart water construction based on TOE framework[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(5): 980-984.
- [6] 张美玲. 城市智慧水务建设成熟度评价体系研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2017.
ZHANG M L. Research of maturity evaluation system for urban smart water construction [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2017.
- [7] 夏明. YC 水务公司智慧水务平台成熟度评价研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.
XIA M. Research on maturity evaluation of smart water platform of YC water company [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2023.
- [8] 韩心星, 付明, 梁光华, 等. 地下市政设施运行监测指标体系研究[J]. 安全, 2024, 45(7): 7-13.
HAN X X, FU M, LIANG G H, et al. Research on index system for monitoring the operation of underground municipal facilities [J]. Safety & Security, 2024, 45(7): 7-13.
- [9] 丁睿, 徐首珏, 李君. 数字化项目后评估指标体系探索[J]. 上海信息化, 2024(8): 35-38.
DING R, XU S J, LI J. Exploration of the post-implementation evaluation index system for digital projects [J]. Shanghai Informatization, 2024(8): 35-38.
- [10] 郭小红. 信息化应用水平评价内容的思考[J]. 天津经济, 2011(1): 72-73.
GUO X H. Reflections on the evaluation content of informatization application level [J]. Tianjin Economy, 2011(1): 72-73.
- (上接第 46 页)
- [18] ZOSCHKE K, DIETRICH N, BÖRNICK H, et al. UV-based advanced oxidation processes for the treatment of odour compounds: Efficiency and by-product formation [J]. Water Research, 2012, 46(16): 5365-5373.
- [19] YU J W, YANG M, LIN T F, et al. Effects of surface characteristics of activated carbon on the adsorption of 2-methylisobornel (2-MIB) and geosmin from natural water[J]. Separation and Purification Technology, 2007, 56(3): 363-370.
- [20] 尚菲, 石炳瑞, 丁路明. 基于 UV/H₂O₂ 深度处理组合去除饮用水中嗅味物质的工艺研究[J]. 生物化工, 2022, 8(2): 65-70.
SHANG F, SHI B R, DING L M. Study on the process of removing odorous substances from drinking water based on UV/H₂O₂ advanced treatment combination [J]. Biological Chemical Engineering, 2022, 8(2): 65-70.
- [21] 陈钰杭, 李鑫玮, 甘振东, 等. 中试紫外高级氧化耦合生物活性炭工艺去除典型嗅味物质[J]. 环境化学, 2023, 42(12): 4366-4374.
CHEN Y H, LI X W, GAN Z D, et al. Pilot test of removing typical odors by the coupled UV advanced oxidation and biological activated carbon processes [J]. Environmental Chemistry, 2023, 42(12): 4366-4374.
- [22] 甘慧慧, 俞梦飞, 柳成荫, 等. 饮用水中嗅味物质的高级氧化处理及其检测方法的研究进展[J]. 宁波大学学报(理工版), 2025, 38(1): 73-81.
GAN H H, YU M F, LIU C Y, et al. Advanced oxidation treatment and analytical detection for odorous substances in drinking water: A review [J]. Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering Edition), 2025, 38(1): 73-81.
- [23] 张瑞芳, 刘志壮, 刘玉田. 高级氧化技术在饮用水处理中的应用研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(7): 187-189, 255.
ZHANG R F, LIU Z Z, LIU Y T. Research progress on the application of advanced oxidation technology in drinking water treatment [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2024, 42(7): 187-189, 255.
- [24] SCHOLZ M, MARTIN R J. Ecological equilibrium on biological activated carbon [J]. Water Research, 1997, 31(12): 2959-2968.