

地下水监测设备运行维护成本核算与管理模式创新

陈海涛^{1,2}, 刘学^{1,2}, 任广智^{1,2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/ME.2025050002

摘 要 : 本文聚焦地下水监测设备运行维护成本核算与管理模式创新, 剖析了地下水监测设备体系, 深入探讨运维成本的构成要素, 包括人工、设备更换与维修、能源、通信等, 并分析了其持续性、不确定性等特征。基于全生命周期成本理论构建运维成本核算模型, 涵盖框架设计与具体实现步骤, 诊断传统运维管理模式的弊端, 提出“智慧化、社会化、集约化”三位一体的创新管理模式, 旨在提升运维效率、降低成本、保障设备稳定运行, 为地下水监测设备的科学管理提供依据。

关 键 词 : 地下水监测设备; 运维成本; 成本核算; 全生命周期成本

Cost Accounting and Management Model Innovation for the Operation and Maintenance of Groundwater Monitoring Equipment

Chen Haitao^{1,2}, Liu Xue^{1,2}, Ren Guangzhi^{1,2*}

1. Harbin Comprehensive Survey Center for Natural Resources, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Field Scientific Observation and Research Station for the Critical Zone of Black Soil, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : This paper focuses on cost accounting and management model innovation for the operation and maintenance of groundwater monitoring equipment. It analyzes the groundwater monitoring equipment system, delves into the constituent elements of operation and maintenance costs—including labor, equipment replacement and repair, energy, communication, etc.—and examines their characteristics such as sustainability and uncertainty. Based on the total life-cycle cost theory, an operation and maintenance cost accounting model is constructed, encompassing framework design and specific implementation steps. The paper diagnoses the drawbacks of traditional operation and maintenance management models and proposes an innovative "intelligent, socialized, and intensive" trinity management model. This model aims to enhance operational efficiency, reduce costs, ensure stable equipment operation, and provide a scientific basis for the management of groundwater monitoring equipment.

Keywords : groundwater monitoring equipment; operation and maintenance costs; cost accounting; total life-cycle cost

引言

地下水监测作为掌握地下水动态变化的关键手段, 其设备的稳定运行是保障监测数据准确、连续的基础。然而随着地下水监测网络的不断扩大, 监测设备的运行维护工作面临着诸多挑战。传统的运维管理模式在成本控制、效率提升等方面逐渐显现出局限性, 运维成本的构成复杂且存在诸多不确定性, 难以实现精细化管理。在此背景下, 如何科学核算地下水监测设备的运维成本, 创新管理模式以提高运维效率、降低成本, 成为当前地下水监测领域亟待解决的问题。全生命周期成本理论为运维成本的全面核算提供了新思路, 而“智慧化、社会化、集约化”等现代管理理念与技术的融合, 则为管理模式创新指明了方向。本文旨在深入分析地下水监测设备运维成本的构成与特征, 基于全生命周期成本理论构建运维成本核算模型, 并探讨管理模式创新路径, 以期提升地下水监测设备运维管理水平提供理论支持和实践参考。

一、地下水监测设备运维成本构成与特征分析

（一）地下水监测设备体系概述

地下水监测研究工作是国民经济建设的一项基础工作，是水利、水文事业的重要组成部分。地下水位监测的准确性是对地下水资源进行评价和开发利用的基础依据，对地下水动态进行长期监测是科学管理地下水资源的重要基础工作^[1]。地下水监测设备体系是复杂精密的综合系统，旨在实时准确获取地下水信息，为其开发、保护和管理提供科学依据。该体系由多部分协同构成，涵盖数据采集、传输、处理及终端展示全过程，数据采集层含多种直接接触地下水的传感器，是获取一手数据的关键；数据传输设备负责将数据及时稳定发送至处理中心；数据处理中心由服务器、处理软件等组成，对原始数据进行筛选、校验、分析和存储，转化为有价值信息；供电设备提供持续电力支持，辅助设备保护监测设备免受环境破坏以延长寿命。

（二）运维成本构成要素深度剖析

地下水监测设备的运维成本是一个多维度的总和，涵盖了多个方面的支出，每一项要素都对整体成本有着重要的影响^[2]。人工成本在运维成本中占据较大比重，包括定期巡检人员的薪酬，设备故障维修人员的费用，还有数据处理与分析人员的工资。设备更换与维修成本也是不可或缺的一部分，传感器、传输模块、供电设备等部件都有一定的使用寿命，达到使用年限后需要进行更换，这就产生了设备购置费用；在设备运行过程中，难免会出现零部件损坏等情况，需要进行维修和更换，由此产生维修材料费用和维修工时费用^[3]。能源成本主要体现在为设备提供电力的过程中，对于采用太阳能供电的设备，太阳能电板的维护和更换会产生一定费用；而对于使用市电的设备，则需要支付相应的电费；蓄电池作为备用能源，其定期更换也会增加能源成本。通信成本是确保数据能够顺利传输的必要支出，使用无线传输方式时，需要向通信运营商支付数据流量费用或套餐费用；对于一些特殊区域采用的卫星传输等方式，其通信费用相对更高。其他成本还包括设备的定期校准费用，以保证监测数据的准确性；设备保护设施的维护费用，如保护井的修缮、设备箱的更换等；以及相关的管理费用，如运维方案的制定、人员培训等费用。

（三）运维成本的主要特征

地下水监测设备运维成本具有多方面显著的特征，这些特征与设备的运行环境、自身特性以及运维工作的要求密切相关^[4]。成本的持续性是其首要特征，地下水监测是一项长期的工作，只要设备在运行，就需要持续投入运维成本，这种持续性贯穿于设备的整个使用寿命周期。成本的不确定性较为突出，设备运行环境复杂多变，如极端天气、地质灾害等不可抗力因素，可能导致设备损坏的概率增加，从而使维修和更换成本大幅上升；通信费用、能源价格等市场因素的波动，也会使运维成本出现不确定性。成本与设备性能的关联性较强，高性能的设备通常具有更高的稳定性和更长的使用寿命，能够减少故障发生的频率，从而降低维修和更换成本；但高性能设备的购置成本和初期运维成本可能相对较高，而性能较差的设备则可能在后期运维中产生较高的

费用^[5]。区域差异性明显，不同地区的地质条件、气候环境、通信基础设施等存在较大差异，导致运维成本各不相同。规模效应特征也有所体现，当监测设备的数量达到一定规模时，在设备采购、人员培训、运维方案制定等方面能够形成规模效应，降低单位设备的运维成本。

二、基于全生命周期的运维成本核算模型构建

（一）全生命周期成本理论概述

全生命周期成本理论是贯穿产品或系统从规划到报废处置全过程的成本管理理论，强调综合考量全周期所有相关成本，而非局限于某一阶段^[6]。在地下水监测设备领域，该理论要求将设备选型采购、运行维护、更换及报废处理等各阶段成本纳入核算。其核心是通过分析和优化全生命周期成本，实现资源最优配置，以最低总成本保障设备有效运行。该理论打破传统成本管理局限，能全面反映设备真实成本消耗，为设备选型、运维策略制定及长期成本规划提供科学依据，例如选型时需综合考虑购置价、运行能耗、维护成本及寿命等，选择全生命周期成本最低的设备。

（二）运维成本核算模型框架设计

基于全生命周期成本理论，地下水监测设备运维成本核算模型框架围绕运维阶段成本展开，兼顾与其他生命周期阶段的关联，以实现全面准确核算。成本要素识别层为基础，识别人工、设备更换维修、能源、通信等所有运维成本要素。数据采集与处理层收集相关数据并进行整理、校验和标准化，为核算提供可靠支持。成本核算层作为核心，运用合适方法计算各项运维成本^[7]。成本分析与输出层分析核算结果并以直观形式输出，辅助决策。此外，框架考虑与设备全生命周期其他阶段的接口，保证核算连贯性和完整性。

（三）成本核算模型的具体实现

成本核算模型的具体实现需结合实际业务流程和数据情况，通过系列步骤将框架转化为可操作的核算系统。成本要素量化方面，为各项成本要素确定量化指标和计算方法，如人工成本、车辆成本、通行油耗成本、施工材料成本等，设备更换成本按“购置价格÷更换周期”得年均值^[8]。搭建数据支撑体系，建立数据库存储各类成本数据，制定采集规范和流程，明确责任主体，还可借助物联网等技术自动采集数据，提升效率与准确性。设计核算公式与算法，如总成本为各成本要素之和，对不确定性成本采用概率统计估算。最后进行模型验证与优化，将计算结果与实际成本对比，若有偏差则调整优化，使模型更贴合实际。

三、传统运维管理模式诊断与创新模式设计

（一）传统运维管理模式及其弊端分析

传统地下水监测设备运维管理模式以人工为主导，采用分散化、经验化管理。巡检依赖人工定期现场进行，周期固定，难以设备实际状况灵活调整；数据收集处理靠人工记录整理，效率

低且易出错或遗漏^[9]。管理架构上,存在部门分割、权责不清问题,不同部门负责不同设备运维,缺乏有效沟通协作,资源无法优化配置,重复劳动和浪费突出,如同一区域不同监测点由不同部门巡检,浪费人力时间。成本控制方面,因缺乏科学核算和监控机制,难精准管理运维成本,往往只关注购置、维修等直接成本,忽略人工、通信、能源等间接成本,导致总成本高;且对设备故障预测不足,多为事后维修,增加成本还可能影响监测数据连续性。此外,该模式对运维人员专业素质依赖高,人员流动或技能不足会影响工作质量效率;且缺乏有效监督评估机制,难客观评价运维效果,部分工作流于形式,无法确保设备稳定运行。

(二) 管理模式创新的总体思路与目标

管理模式创新以提升地下水监测设备运维效率和质量为核心,结合现代信息技术与管理理念,打破传统局限,构建科学、高效、经济、智能的运维管理体系^[10]。思路,要从被动运维转向主动运维,引入先进技术掌握设备状态、提前处理故障;打破部门壁垒,加强协同以整合共享资源;建立全生命周期成本管理理念,精细化核算控制成本;注重人才培养和技术创新,提升人员素质与技术水平。创新目标包括:提高运维效率,优化流程、采用智能手段缩短故障处理时间,提升巡检维护效率;提升监测数据质量,确保数据准确、完整、连续,为决策提供可靠依据;降低运维成本,通过科学核算和资源优化,在保证质量前提下减少支出;增强设备运行稳定性和可靠性,减少故障、延长寿命;实现运维管理规范化和标准化,建立完善制度流程,提高管理科学性和有效性。

(三) “智慧化、社会化、集约化”三位一体管理模式创新

“智慧化、社会化、集约化”三位一体管理模式是在传统模式基础上,结合现代管理思想和技术发展形成的创新模式,三者相互支撑、协同作用,共同提升地下水监测设备运维管理水平。智慧化是该模式的技术核心,主要通过引入物联网、大数据、人

工智能等先进技术,实现对设备运行状态的实时监测和智能分析。利用物联网技术将各类传感器与监测设备相连,实时采集设备的运行参数、环境数据等信息,并通过无线网络传输到数据中心。大数据分析平台对收集到的数据进行深入挖掘和分析,识别设备的运行规律和潜在故障风险,实现故障的提前预警。人工智能技术则可以辅助制定最优的巡检和维护方案,根据设备的实际状况自动调整巡检周期和维护内容,提高运维的精准性和效率。在人员管理上,对运维人员进行统一培训和调度,根据不同地区的运维需求合理分配人力资源,避免人员闲置或短缺。“智慧化、社会化、集约化”三位一体管理模式通过技术赋能、资源拓展和资源整合,形成了一个高效、协同、经济的运维管理体系,能够有效解决传统运维管理模式存在的弊端,为地下水监测设备的稳定运行提供有力保障。

四、结束语

本文围绕地下水监测设备运维成本核算与管理模式创新展开了系统研究,通过对地下水监测设备体系的梳理,明确了运维成本的构成要素及特征,基于全生命周期成本理论构建了运维成本核算模型,并针对传统管理模式的弊端提出了“智慧化、社会化、集约化”三位一体的创新管理模式。研究表明,科学的成本核算与创新的管理模式相结合,能够有效提升地下水监测设备的运维效率、降低运维成本,保障设备稳定运行和监测数据质量。然而地下水监测环境复杂多变,不同地区的实际情况存在差异,相关模型和模式在具体应用中还需根据实际需求进行调整优化。未来可进一步结合更多实际案例,对核算模型和管理模式进行验证与完善,探索更具适应性和操作性的实施方案,为推动地下水监测事业的可持续发展提供更坚实的支撑。

参考文献

- [1]王捷音,李岩,丁福敬.菏泽市国家地下水监测工程运行维护措施[J].山东水利,2020,(07):47-48.DOI:10.16114/j.cnki.sdsl.2020.07.022.
- [2]陈梅,沈晓娟,杨翠翠等.浅议地下水自动监测站的维护与管理[C]//全国水文监测新技术应用学术研讨会论文集.2015:384-387.
- [3]蒋镇涛.贵州省地下水监测站网运行维护实践探讨[J].地下水,2022,44(6):85-86,135.DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2022-06-027.
- [4]任妹娟,张磊,庞丽丽等.基于C/S模式的地下水监测信息管理系统开发[J].中国水利,2018,(15):63-64.DOI:10.3969/j.issn.1000-1123.2018.15.019.
- [5]杨春生,英爱文.国家地下水监测工程自动监测仪器的质量控制和运行维护[J].地下水,2020,42(6):51-53.DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2020-06-017.
- [6]李洋,周盈,鄂建等.浅谈江苏省自动化水位监测站点的运行与维护[J].地下水,2022,44(4):62-64.DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2022-04-019.
- [7]侯智瀚.地下水位监测设备运行现状及对策探讨[J].山西水利,2013,(9):13-14.
- [8]朱珊珊,钱健,成宣宇等.地下水监测设备常见故障及成因分析[J].水利信息化,2021,(3):66-69,85.DOI:10.19364/j.1674-9405.2021.03.014.
- [9]云霏.地下水监测设施设备及运行维护探析[J].内蒙古水利,2024,(11):52-53.
- [10]王燕河,赵倩,马河宽.济南市地下水监测体系构建与应用[J].电大理工,2023,(02):7-11.DOI:10.19469/j.cnki.1003-3297.2023.02.0007.