

水资源刚性约束指标体系构建与应用研究

宋佳玲

淄博市水利事业服务中心 山东 淄博 255000

摘要: 水资源刚性约束指标体系构建与应用以“资源禀赋-利用效率-生态保护”三维框架为核心,通过理论概述、维度划分、指标筛选及框架设计形成科学完备的管控体系。本文结合动态适配机制与跨领域协同优化,构建“量化-适配-优化”应用逻辑链,推动水资源管理从经验驱动向数据驱动转型,实现水资源利用效率与生态保护协同提升,为区域水资源可持续利用提供坚实科学支撑与实践路径。

关键词: 水资源刚性约束; 指标体系构建; 应用研究

引言: 全球气候变化与经济社会快速发展加剧水资源供需矛盾,传统粗放型用水模式难以为继。水资源刚性约束通过设定不可突破指标边界,成为平衡开发与生态保护的关键手段。立足水循环规律,融合多维度指标关联与动态调整机制,探索构建适应区域特性的刚性约束指标体系,可为破解水资源管理困境提供系统性解决方案,助力水资源可持续利用目标实现。

1 水资源刚性约束指标体系理论概述

水资源刚性约束指标体系是围绕水资源可持续利用目标构建的量化管理框架,其核心在于通过科学设定刚性边界,实现水资源开发利用与生态保护的平衡发展;该体系强调指标的不可突破性,以保障区域水循环健康和生态系统稳定性。(1) 指标选取注重多维关联性:需涵盖水量、水质、水生态三大维度,如地下水开采率、地表水功能区达标率、生态基流保障率等,同时兼顾自然条件差异与经济社会发展需求,避免单一指标的片面性。(2) 动态调整机制强化适应性:根据气候变化、技术进步及用水结构变化,定期校准指标阈值;例如,在节水技术普及区域可适度降低单位GDP(国内生产总值)用水量指标,而在生态脆弱区则需提高生态用水保障比例,确保体系始终与实际需求匹配。(3) 实施路径突出协同治理:通过跨部门数据共享与联合监测,推动指标落地;例如,水利部门与环保部门协同监测水质指标,农业部门与统计部门联合核算农业用水效率,形成“监测-评估-反馈”的闭环管理链条,避免指标孤立化。该体系的构建需以水循环规律为基准,既避免过度开发导致生态退化,也防止指标过严制约合理用水需求。通过刚性约束与弹性调整的结合,推动水资源管理从“经验驱动”向“数据驱动”转型,最终实现水资源利用效率与生态保护水平的双提升,为区域可持续发展提供坚实支撑^[1]。

2 水资源刚性约束指标体系的构建

2.1 指标体系构建的核心原则

水资源刚性约束指标体系的构建需遵循科学性与实用性并重的核心原则,确保指标既能反映水资源管理本质规律,又能为实际工作提供有效指导。(1) 系统性原则:指标选取需覆盖水资源开发、利用、保护、治理全流程,涵盖水量、水质、水生态等多维度要素,形成闭合循环的监测网络;例如将地下水位变化、河湖生态流量、农业灌溉效率等纳入指标框架,避免单一维度导致的评价偏差。(2) 动态适配原则:指标体系需随区域水资源禀赋、经济社会发展阶段动态调整。在干旱缺水地区,可强化节水率、再生水利用率等指标权重;在水资源丰沛区域,则需侧重水环境容量、生态补水需求等维度,确保指标与区域实际需求高度匹配。(3) 可量化可操作原则:每个指标需有明确的计算方法与数据来源,避免模糊表述;如“用水效率”需具体到单位GDP用水量、农田灌溉水有效利用系数等可测度指标,确保数据采集、统计、分析的规范性。构建过程中需注重指标间的逻辑关联与权重分配,避免指标重叠或遗漏。通过多轮专家论证与实证检验,最终形成结构清晰、层次分明、操作性强且符合水资源管理实际需求的刚性约束指标体系,为水资源可持续利用提供科学支撑^[2]。

2.2 指标体系的维度划分

水资源刚性约束指标体系的维度划分需立足水资源管理的多层需求,从资源、利用、生态三大维度构建逻辑清晰的结构框架。(1) 资源禀赋维度:聚焦区域水资源自然特征,包括降水量、地表水径流量、地下水储量等基础指标,反映水资源先天条件对开发利用的约束作用;该维度强调对自然规律的尊重,避免过度开发导致资源枯竭,为后续管理提供基础数据支撑。(2) 利用效率维度:关注用水过程中的产出效益,涵盖工业用水

重复利用率、农田灌溉水有效利用系数等指标,衡量水资源在经济活动中的利用效果;此维度推动节水技术与管理措施的优化,提升水资源利用的经济与生态效益。

(3) 生态保护维度:突出水生态系统健康需求,包含河湖生态流量保障率、水功能区水质达标率等指标,确保开发利用与生态保护协调平衡;该维度维护水生态系统的稳定性,保障生物多样性与生态服务功能。维度划分需注重各维度间的逻辑关联与互补性,避免指标重叠或遗漏。通过科学划分维度,可系统反映水资源管理的多层次需求,为刚性约束指标体系的构建提供结构化支撑,助力水资源可持续利用目标的实现。

2.3 指标筛选的逻辑方法

水资源刚性约束指标筛选需立足实际管理需求,兼顾区域用水发展特征,结合科学方法与可操作标准,形成逻辑严密的筛选路径。(1) 需求导向法:从水资源管理核心目标出发,优先选取能直接反映资源约束强度的指标;例如通过分析区域用水结构,确定工业节水潜力、农业灌溉效率提升空间等关键指标,确保筛选结果与管理目标高度契合。(2) 专家咨询法:组织多领域专家对备选指标进行论证,通过德尔菲法等工具综合专家意见,剔除冗余指标,保留具有代表性与前瞻性的核心指标,提升指标体系的权威性与科学性。(3) 实证检验法:利用历史数据与试点区域监测结果,对筛选出的指标进行动态验证;通过分析指标与水资源承载能力的关联性,调整指标权重与阈值,确保指标体系在实际应用中具备预测与预警功能。指标筛选过程需注重逻辑严谨性与动态适应性,避免主观偏好与经验主义干扰。通过科学筛选,可构建出既符合水资源管理规律,又具备实际应用价值的刚性约束指标体系,为水资源可持续利用提供精准、可靠的技术支撑^[1]。

2.4 指标体系的框架结构设计

水资源刚性约束指标体系的框架结构设计需注重逻辑性与实用性,形成层次清晰、关联紧密的结构体系,为指标应用提供坚实骨架。(1) 层次结构:采用“目标-维度-指标”三级架构,顶层明确水资源可持续利用总体目标,中层划分资源禀赋、利用效率、生态保护三大维度,底层细化具体指标如地下水储量变化率、工业用水重复利用率等,形成层级分明、逐级支撑的框架。(2) 逻辑关联:各维度与指标间需建立因果关系与协同效应,例如资源禀赋维度为利用效率维度提供基础数据,生态保护维度对开发行为形成约束,三者共同构成闭环管理体系,避免指标孤立存在。(3) 动态适配:框架需具备弹性调整机制。根据区域水资源变化、技术进步或

管理需求,动态优化指标权重与结构,如干旱地区可提高节水率指标权重,丰水地区则强化生态流量指标,确保框架长期适用。框架设计需兼顾科学性与可操作性,通过清晰的结构与逻辑关联,使指标体系既能反映水资源管理本质规律,又能为实际工作提供精准指导,助力水资源可持续利用目标的实现^[4]。

3 水资源刚性约束指标体系的应用研究

3.1 指标体系的应用逻辑框架

水资源刚性约束指标体系的应用逻辑框架以“量化-适配-优化”为核心,形成动态管理闭环。(1) 基础构建维度:需立足区域水文特征与用水结构,筛选可用水量、用水效率、生态需水等核心指标;例如通过降水频率分析确定可用水量阈值,结合灌溉设备效能评估设定农业用水效率基准,依据生态系统需求明确生态需水标准,确保指标体系真实反映水资源承载能力。(2) 应用实施路径:需聚焦三大场景—配置优化、效率提升、生态保障。配置环节通过指标量化引导用水行为,如工业领域推动循环冷却水系统改造提升重复利用率;效率提升环节通过指标对比识别低效环节,推动技术升级;生态保障环节通过生态需水指标确保河流、湖泊等生态系统基本水量需求,维护生态平衡。(3) 动态优化机制:需建立监测与评估体系,通过定期数据采集、模型模拟及效果评估,识别指标运行偏差;例如若某区域农业用水效率持续偏低,可针对性调整灌溉技术推广策略或优化种植结构。通过动态调整指标权重与阈值,形成自适应管理机制,推动水资源管理从经验驱动向数据驱动转型,最终实现利用效率与生态安全保障能力的双重提升^[5]。

3.2 指标体系的运行机制设计

水资源刚性约束指标体系的运行机制设计需围绕可持续性、适应性展开,通过多维度协同保障体系有效运行。(1) 动态监测与预警机制:依托物联网传感器网络实时采集区域用水数据,结合气象、地质等多源信息构建智能分析模型,对用水趋势进行精准预测,当指标接近阈值时自动触发分级预警,引导用水主体提前调整生产模式,避免资源过度消耗。(2) 跨领域协同优化机制:整合农业、工业、生态等不同领域用水需求,建立跨行业用水配额动态调配平台,通过数据共享与算法优化实现用水效率最大化,例如在农业灌溉高峰期协调工业用水错峰,或在生态补水期优先保障河道生态流量。(3) 反馈修正与迭代机制:定期收集指标体系运行数据,通过专家研讨与公众反馈形成修正方案,对指标权重、阈值设定进行动态调整,确保体系始终适应区域水资源变化特征,如根据季节性降水变化调整农业用水配

额,或根据技术进步更新工业节水标准。运行机制需注重各环节衔接的流畅性与灵活性,避免机械执行导致效率低下。通过持续的数据积累与机制优化,逐步形成自适应、自完善的闭环管理体系,最终实现水资源利用从“被动约束”向“主动优化”的转变,为区域可持续发展提供坚实支撑。

3.3 指标体系的适配性优化方法

水资源刚性约束指标体系的适配性优化需聚焦区域特性与技术进步,通过动态调整实现精准管理。(1)区域特征匹配法:依据不同区域的水文地质条件、气候特征及用水结构差异,定制化调整指标权重与阈值,如干旱地区可提高节水效率指标权重,湿润地区则侧重生态流量保障,确保指标与区域资源禀赋高度契合。(2)技术进步驱动法:结合节水技术、监测设备的更新迭代,动态优化指标体系,例如引入智能水表后,可细化居民用水阶梯指标,提升用水行为分析精度,推动节水技术与管理措施同步升级。(3)多利益方协同法:通过用水主体、科研机构、社会公众等多方参与,建立指标修正的反馈渠道;定期收集农户、企业用水反馈,调整农业灌溉、工业冷却等环节的用水标准,形成“实践-反馈-优化”的良性循环。适配性优化需注重灵活性与前瞻性,避免指标僵化导致管理失效;通过持续的区域特性分析、技术融合创新及多方协同参与,逐步构建起与区域发展需求、技术进步趋势相匹配的动态指标体系,最终实现水资源管理从“一刀切”向“精准适配”的转变,为水资源可持续利用提供科学支撑。

3.4 指标体系的应用效能分析

水资源刚性约束指标体系的应用效能需从多维度综合评估,其核心在于提升资源利用效率与生态保护协同性。(1)动态适配性:指标体系需根据区域水资源禀赋、产业发展特点及气候变化趋势动态调整,例如在干旱地区强化节水灌溉指标权重,在湿润地区侧重水质保护指标,确保约束机制与实际需求精准匹配。(2)技术

支撑力:应用效能依赖数据采集、监测网络及智能分析技术的支撑;通过物联网设备实时采集用水数据,结合大数据模型预测区域用水需求,可实现指标阈值的科学设定与动态预警,避免“一刀切”式管理导致的资源浪费或供给不足。(3)社会参与度:指标体系的落地需激发社会多元主体参与,例如通过社区节水宣传、企业用水透明化公示等措施,推动公众从被动接受约束转向主动参与管理,形成“约束-反馈-优化”的良性循环。应用效能分析需聚焦指标体系的实际影响力,而非单纯的数据堆砌,通过持续跟踪用水效率提升率、水质达标率等核心指标变化,可直观反映约束机制的实施效果,同时为后续优化提供实证依据,最终实现水资源管理从“刚性约束”向“弹性治理”的平稳过渡。

结束语:未来,需强化技术支撑与社会参与,推动指标体系从“刚性约束”向“弹性治理”转型。通过智能监测、大数据分析等技术手段提升动态适配能力,结合公众教育、社区合作等社会参与机制,构建适应气候变化、技术进步及社会发展需求的自适应管理体系。这一转型将实现水资源开发利用与生态保护的动态平衡,为全球水资源可持续利用提供可复制的实践路径。

参考文献

- [1]刘西乐,赵名彦,赵静思,等.冀西北地区水资源刚性约束指标体系研究——以河北省尚义县为例[J].农村经济与科技,2025,36(21):39-43+50.
- [2]赵千子,韩纬波.黄河水资源刚性约束构建与实施路径探析[J].山东水利,2025(6):57-59.
- [3]左其亭,凌敏华,张羽.水资源刚性约束制度研究框架与展望[J].水利水电快报,2024,45(3):6-11.
- [4]黄昌硕,耿雷华,李春华,等.“四水四定”最严格水资源管理管控指标研究[J].水利发展研究,2024,24(7):6-11.
- [5]苏律文,郭刘超,房凯,等.基于水资源刚性约束的城市节水潜力分析[J].人民长江,2024,55(3):117-122+140.