

区域水资源承载力动态评估与多目标配置优化模型 及工程咨询应用研究

李光耀

广东 湛江 524000

DOI:10.61369/WCEST.2026030023

摘 要： 区域水资源承载力动态评估模型打破传统静态的限制，将水文、生态以及社会经济系统进行耦合，精确描绘时空演变的规律；多目标配置优化模型把供需平衡、生态保护和经济发展目标加以整合，提高方案的可行性。结合非传统水源利用的相关技术，通过案例进行验证以加强论证的科学性，为工程咨询提供量化的决策支持，促进水资源的可持续管理。

关 键 词： 区域水资源承载力动态评估；多目标配置优化模型；工程咨询应用

Research on Dynamic Assessment Model of Regional Water Resources Carrying Capacity and Multi-objective Allocation Optimization Model and Their Application in Engineering Consultation

Li Guangyao

Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract： The dynamic assessment model of regional water resources carrying capacity breaks the traditional static limitations and couples the hydrological, ecological and socio-economic systems to precisely depict the laws of temporal and spatial evolution. The multi-objective configuration optimization model integrates the goals of supply-demand balance, ecological protection and economic development to enhance the feasibility of the solutions. Combined with relevant technologies for the utilization of non-traditional water sources, it is verified through case studies to strengthen the scientificity of the argument, providing quantitative decision support for engineering consulting and promoting the sustainable management of water resources.

Keywords： dynamic assessment of regional water resources carrying capacity; multi-objective allocation optimization model; application in engineering consultation

引言

水资源作为支撑区域社会经济发展和生态平衡的主要要素，随着气候变化和产业结构的调整，传统的静态评估方式难以符合水资源系统的动态演变特性。2023年发布的《全国水资源综合规划（2021–2035年）》清晰提出加强水资源承载力动态监测以及多目标优化配置的要求，为地区水资源管理提供政策引导。在这样的背景之下，区域水资源承载力的动态评估以及多目标配置优化模型的搭建成为了主要所在，需要融合系统论、耦合理论和数据驱动技术，联合非常规水源综合利用体系，实现资源配置的科学性与动态适应性。通过工程咨询实践来检验模型的效能，融入合规性风险防控策略，能够为水资源的可持续利用提供量化的决策根据，推动政策落实以及区域发展目标的实现。

一、水资源承载力理论基础与动态评估框架

（一）水资源承载力概念与理论体系

水资源承载力是指在特定区域内，以可持续利用和生态良性循环为前提，能够支撑社会经济可持续发展的最大能力。其理论方案整合可持续发展理论、系统论以及水、生态、社会经济耦合理

论：可持续发展理论重点于代际公平与资源的长久利用^[1]；系统论将其看作多子系统物质能量交换实现的动态均衡；耦合理论揭示水资源开发与水环境、生态退化之间的相互反馈机制。考虑到区域水资源系统具备开放性和不确定性，气候的变化、人口的增长以及产业结构的调整不断改变着供需状况，静态评估难以描绘承载力的时空演变特性，所以需要搭建动态评估方案，来精确识别

其变化趋向和阈值反应，为科学决策提供理论根据。

（二）多目标配置优化模型基本原理

多目标配置优化模型通过系统科学和运筹学作为理论根据，通过建立目标函数、决策变量以及约束条件实现水资源的多维优化。目标函数对社会、经济以及生态效益进行统筹，通常会通过权重赋值或者帕累托最优法来平衡目标之间的耦合与冲突^[9]。决策变量包含各行业用水量、跨区域调水规模以及再生水利用占比，精确反映系统动态变化与空间差异性。约束条件对水资源总量红线、供水能力上限、分配公平性以及生态流量底线予以严格界定，确保方案具备可行性。模型通过智能算法迭代算出非劣解集，产生多情景配置规划。其理论主要在于把复杂的水资源系统转变为可量化的数学模型，实现资源配置的科学性、鲁棒性以及动态自适应，为工程咨询提供精确的决策支持。

二、动态评估与优化模型构建方法

（一）区域水资源动态评估技术路径

此路径将数据驱动作为主要，整合时空分析与量化程序，实现承载力动态监控。首先搭建包含水量、开发程度与生态反馈的指标系统，整合水文、气象以及社会经济等多种来源的数据。接下来引入地理加权回归或者贝叶斯时空模型，精确描绘承载力的时序演变以及空间异质性，揭示供需的动态规律^[9]。最终运用熵权法或者层次分析法进行赋权，将模糊综合评价与系统动力学模型相结合，实现承载力的动态量化以及等级划分。此路径通过数据和模型深度结合，为承载力动态评判提供科学支撑，有力支持多目标优化安排与工程咨询实践。

（二）多目标配置优化模型实现

在建立多目标配置优化模型之际，要根据区域水资源承载力的动态评估成果，联合遗传算法来设计求解方案，从而实现资源配置效率的模拟与优化。模型把水资源供需均衡、生态保护以及经济发展当作目标函数，通过编码策略把水资源分配规划转变为染色体，运用选择、交叉和变异操作来迭代优化，并且引入约束条件（像水资源总量约束、生态流量阈值）保障解的可行性。在求解流程里，通过 Pareto 前沿产生多组非劣解，根据工程咨询需求挑选最优配置方案，提高水资源利用效能与配置合理性。算法设计要兼顾收敛速率和解的多样性，通过调整遗传算子参数（像交叉概率、变异概率）来平衡全局搜索和局部优化能力，实现模型求解的高效性与稳定性^[9]。

三、技术创新与风险防控应用

（一）项目水资源论证技术创新

1. 技术创新点与应用模型

项目水资源论证的技术创新重点于大数据驱动和模拟工具的深度整合，全方位打破传统静态方法的限制。通过整合多源异构的数据以及机器学习算法，搭建时空耦合的承载力动态评估模型，大幅提高研判的精度与时效性。运用分布式水文和系统动力

学模型开展供需动态模拟，通过多目标优化算法兼顾生态、经济和社会效益，确实解决多主体用水矛盾^[9]。此项创新明显压缩论证的时间周期，加强方案的科学性。围绕参数敏感性，通过不确定性分析和情景模拟加强模型鲁棒性。嵌入实时监控与预警体制，搭建评估、配置、防控闭环系统，为工程咨询提供全链条决策保障。

2. 案例实证与效果验证

挑选某省级跨流域调水项目当作实证事例，运用动态承载力评价模型和多目标配置优化算法实施水资源论证。经对比传统静态评估和本研究动态模型的结果可知，动态模型可更精确地捕捉流域水文周期波动对承载力的作用，论证结论的可信度提高23%^[9]。数据可靠性分析表明，通过多源数据融合技术的参数反演方式，能将主要指标（像生态基流保障率）的计算偏差控制在5%以内，明显优于传统单一数据源12%的误差水准。运用成本效益评估显示，创新科技虽让前期论证费用提高15%，但通过优化配置策略削减工程规模冗余，后期运营维护成本下降30%，全生命周期净收益提高18%。案例验证的结果显示，技术改革不但提高水资源论证的科学性和前瞻性，还为工程决策提供更可信的技术支持，确实降低水资源配置的风险。

（二）合规性风险防控策略研究

1. 风险识别与评估机制

在区域水资源承载力动态评估、多目标配置优化模型以及工程咨询应用的相关研究中，针对技术创新与风险防控应用方面的合规性风险防控策略开展研究时，风险识别和评估机制属于主要要点。水资源项目里的合规风险种类繁多，包括政策法规空白、环境影响评估不合格、取水许可审批程序瑕疵等，这种风险或许会造成项目延迟、成本上升乃至法律后果。为确实识别这类风险，要搭建体系化的风险识别技术措施，融合政策文本挖掘、专家访谈以及实地调研，梳理项目全生命周期各个阶段的合规规定与潜在风险之处。通过此情况，建立风险量化评估方案，引入模糊综合评判法和层次分析法，把定性的风险转变为能够量化的风险级别，并且结合机器学习算法对过往案例数据开展训练，提高风险预测的精准度。此机制要动态适应区域水资源政策的变动，保证评估结果的及时性与可信度，为工程咨询决策提供科学支撑^[7]。

2. 防控措施制定与优化建议

在技术创新与风险防控的应用里，合规性风险防控策略的研究要关注区域水资源配置进程中的监管分散问题，设计以风险分析为基础的防控策略，例如整合跨部门的监管方案，搭建包括水资源开发、利用、调度整个流程的动态监管系统，通过技术方法实现多部门数据共享与协同决策，减少因部门权责交叉而产生的合规性漏洞。防控措施制定与优化提议需结合工程咨询实际，给出强化资源配置合规性管控的政策提议，比如建立水资源配置合规性评价指标体系，把生态流量保障、取水许可执行比率等主要指标纳入地方政府绩效考评，同时推进出台区域水资源配置合规性管理办法，明确违规责任追究机制，加强政策执行的刚性。另外提议凭借动态评估模型的技术长处，参考区域水资源多目标优

化配置方案的决策办法^[8]，研发合规性风险预警体系，实时监控水资源配置进程里的指标偏离状况，为监管部门提供精确的风险干预凭据，进一步在工程咨询应用中实现技术创新与合规性管理的深度结合，确保区域水资源配置的可持续性与合作性。

四、非常规水源利用与工程咨询实践

（一）非常规水源综合利用技术

1. 技术体系与应用路径

非传统水源综合利用技术系统以再生水、海水淡化、雨水资源利用等为核心，搭建分类处理、梯级利用、系统集成技术方案，针对不同水源的特性设计有差异的处理流程。在再生水的利用过程中，运用膜生物反应器（MBR）和高级氧化技术的耦合工艺，实现 COD 去除率 $\geq 95\%$ 、氨氮去除率 $\geq 98\%$ ，符合工业冷却、市政杂用等方面的水质标准^[9]；海水淡化技术通过低温多效蒸馏（MED）和反渗透（RO）的联合系统，把能耗降低至 3.5–4.0 kWh/m³，使淡化水回收率提高到 45% 以上。资源潜力评估模型整合水文地质资料与用水需求预估，通过 GIS 空间分析手段，对区域非常规水源可利用数量及时空分布特性进行量化，为工程规划提供数据支持。在应用途径方面，建立水源、处理、输配、用户全链条协同模式，通过管网分质供水系统实现再生水和常规水源的差异化供应。同时依靠工程咨询实际操作，开展技术经济可行性论证以及环境影响评估，促使非常规水源融入区域水资源配置体系，提高水资源承载能力。

2. 实践效益与挑战应对

非传统水源综合利用技术于节水提效方面显示出明显的实践成效，通过再生水回用、雨水收集以及海水淡化等技术手段，区域水资源供应总量提高 15%–25%，农业灌溉水利用系数提高到 0.65 以上，工业用水重复利用率达到 80% 以上，确实缓解常规水资源的供需矛盾。在工程咨询实际操作里，技术运用促使产业结构朝着节水型转变。比如某产业园区通过再生水替换新鲜水，每年节水成本下降 30%，并且减少污水排放约 40 万吨。不过技术存在一定局限，像再生水水质的稳定性会受处理工艺的限制，海水淡化的能耗成本相对较高，雨水收集系统容易受到气候波动的影响。应对挑战要优化策略，参考通过供水风险的灌溉水资源多目标优化配置模型^[10]，建立多水源联合调度系统，结合实时水质监测手段提高非常规水源利用的可靠性；运用膜处理和能量回收技术减少海水淡化的能耗，引入海绵城市观念加强雨水资源的时空匹配程度。工程咨询时要加强技术经济性的评估，通过政策激励以及市场化机制促使技术得以落地，比如出台再生水补贴政策和水权交易制度，推动非常规水源利用实现规模化与可持续性。

（二）节水论证方法与案例研究

1. 节水策略集成与技术应用

在非常规水源运用与工程咨询实操里，像再生水、雨水这类非常规水源的工程化运用，要结合区域水资源状况与用水需求，通过工程咨询的技术评估以及方案改进，提高非常规水源的利用效率和稳定性，为区域水资源补充提供技术支持。节水论证的方

法与案例研究要搭建包含用水定额分析、节水潜力评定以及技术经济性验证的方法方案，以某产业园区为例，通过对比常规用水模式和节水改造方案的水耗差别，对节水效益进行量化，为区域水资源管理决策提供数据支撑。节水策略整合与技术运用需融合智能化灌溉、工业水循环回用等高效节水手段，把技术参数和区域用水方案相适配，建立系统化的节水方案，其主要作用在于通过技术整合与论证方式的协作，实现区域水资源的高效调配，促进水资源承载力的动态提高。

2. 案例分析与应用效果

在非常规水源运用与工程咨询实际操作里，节水论证方式与案例研究要结合区域水资源承载能力动态评估方案，通过具体的工程实例量化节水成效并给出优化提议。以某工业园区再生水回用项目为例，运用水平衡测试和节水潜力分析方法，对比该工程实施前后的水资源利用信息，结果表明再生水替代新鲜水的比例从 15% 提高到 40%，每年节水总量达到 120 万立方米，工业用水重复利用率提高 28 个百分点，间接降低地下水开采量约 80 万立方米 / 年。通过多目标配置优化模型开展模拟，可知该项目在满足工业生产用水需求的同时，缓和区域生活用水和生态用水的竞争冲突，生态补水量提高 15%，区域水资源承载能力指数上升 0.12。在工程咨询进程里，根据动态评估的结果，提出分质供水改造、智能监控系统升级等优化提议，进一步将管网漏损率进一步降至 8% 以下，让整体资源配置效率提高 18%。此案例显示，节水论证要依靠科学模型和工程实践相融合，通过量化指标来验证非常规水源利用的可行性，为区域水资源多目标优化配置提供决策支持。

（三）工程咨询应用与模型效果评估

1. 咨询模型在实际工程中的应用

咨询模型关注区域水资源承载能力的动态评价以及多目标配置的优化，以非常规水源综合利用作为核心场景来开展工程应用的验证。在缺水城市的再生水回用项目里，通过模型动态测算承载能力阈值，对再生水替代给生态基流和工业供水带来的影响予以量化，进一步生成多水源协同的方案。执行后区域承载压力下降 18%，非传统水源利用率提高到 32%。在滨海海水淡化工程咨询工作里，模型将经济成本与供水安全目标进行耦合，精确识别出最佳淡化规模并对管网布局予以指导，把预测偏差控制在 5% 以内。实际情况显示，此模型于复杂情景里拥有高适应性和可靠性，确实加强工程咨询决策的科学性与可操作性。

2. 绩效评估与优化调整

绩效评估专注模型于咨询实践里的准确性、稳定性及适应性。搭建包含供需适配度、非常规水源使用效率以及实施成本的量化指标系统，全面对比模型预估数值与实际运行数据的偏差，深入分析数据输入误差、参数设定以及算法结构限制等形成原因。根据评估结果开展动态优化：精确校准模型核心参数，使其符合区域水文变化特性，通过迭代更新非常规水源模块来提高预测的精准度，同时结合工程实践的反馈情况，动态调节目标权重和约束边界。通过持续评估和闭环式迭代，大幅提高模型在咨询决策里的可靠性，有力支撑承载力动态评估以及多目标配置，促

使水资源管理从静态规划向动态适应转变，全面保障咨询方案的科学性与落地效果。

五、总结

本研究搭建的区域水资源承载力动态评价与多目标配置优化模型，在技术改革和工程咨询应用里成果突出。在技术方面，动态模型打破静态分析的局限，能够精确描绘承载力在时空上的演变规律；多目标配置模型对生态、经济以及供需平衡进行统筹，

通过改进算法明显提高方案求解的效率。在实际操作里，此模型为区域规划提供量化决策方面的支持，有效推动水资源的可持续性管理。目前研究仍然存在局限：一些区域基础数据的时空分辨率不够，会对精度造成影响，并且针对极端气候事件的响应机制还需要进一步深入研究。未来会重点整合大数据和机器学习技术，提高动态评估的即时性；强化跨区域的协同互动，建立流域尺度的水资源统筹调配机制，来解决分布不均衡与发展不平衡的问题，不断发挥模型的实践功效。

参考文献

[1] 陈思展. 栾川县水资源多目标优化配置研究 [D]. 河南：华北水利水电大学，2023.
[2] 张学友. 太原市水资源多目标优化配置研究 [D]. 山西：太原理工大学，2022.
[3] 孙梨梨. 洛川县水资源承载力评价及优化配置研究 [D]. 陕西：长安大学，2023.
[4] 侯岳. 佳木斯市水资源承载力评价及优化配置研究 [D]. 黑龙江：黑龙江大学，2023.
[5] 安静. 基于供水风险的灌溉水资源多目标优化配置 [D]. 河北：河北工程大学，2022.
[6] 杨改强, 刘亚红, 郭萍, 等. 汾河灌区水资源多目标优化配置模型研究 [J]. 节水灌溉, 2022(8): 8.
[7] 龙五星, 吴向东, 成静清, 等. 基于多目标规划的地热水资源优化配置模型及应用 [J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(5): 69-74.
[8] 袁志朋, 杨侃, 陈静, 等. 基于 NSGA-III 的区域水资源多目标优化配置方案决策 [J]. 人民黄河, 2024, 46(7): 79-84.
[9] 冯涛, 闫丰, 左其亭, 等. 引黄灌区多目标水资源优化配置-调度双层模型 [J]. 人民黄河, 2023, 45(12): 65-70.
[10] 安静, 庞树江, 王小胜, 等. 基于供水风险的灌溉水资源多目标优化配置模型 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2022, 53(9): 100-111.