

基于智能优化与GIS的水利工程布局一体化设计研究

陆梓尧

扬州市勘测设计研究院有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6937

[摘要] 针对传统水利工程布局设计在多目标、多约束及复杂空间条件下面临的不足,本文提出一种基于智能优化与GIS融合的一体化设计方法。通过引入智能优化算法构建工程布局优化模型,并利用GIS实现空间数据管理、约束条件量化及结果可视化分析。实例研究表明,该方法能够有效提升水利工程布局设计的科学性、合理性与决策效率,可为水利工程规划与设计提供技术参考。

[关键词] 智能优化; GIS; 水利工程; 布局设计; 一体化设计

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Research on Integrated Design of Water Conservancy Project Layout Based on Intelligent Optimization and GIS

Ziyao Lu

Yangzhou Survey, Design and Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] To address the limitations of traditional water conservancy project layout design under multi-objective, multi-constraint, and complex spatial conditions, this paper proposes an integrated design method based on intelligent optimization and GIS. Intelligent optimization algorithms are employed to construct layout optimization models, while GIS is used for spatial data management, constraint quantification, and result visualization. A case study demonstrates that the proposed method improves the scientific rationality and efficiency of layout design, providing a useful reference for water conservancy project planning.

[Key words] Intelligent Optimization; GIS; Water Conservancy Project; Layout Design; Integrated Design

1 引言

随着我国经济社会的快速发展和城镇化进程的不断推进,水资源供需矛盾日益突出,水利工程在防洪减灾、水资源配置及生态环境保护中的作用愈发重要。水利工程布局的合理性直接影响工程效益、运行安全及区域水资源的综合利用水平。传统水利工程布局设计多依赖经验分析与单一目标优化方法,难以在复杂地形、多约束条件及多目标需求下实现整体最优,已逐渐难以满足现代水利工程精细化、智能化的发展要求。

近年来,智能优化技术在工程规划与设计领域得到了广泛应用。遗传算法、粒子群算法等智能优化方法具有全局搜索能力强、适应性好的优点,能够有效处理多目标、多约束的复杂优化问题,为水利工程布局优化提供了新的技术手段。同时,地理信息系统(GIS)在空间数据管理、地形分析及空间可视化方面具有显著优势,可直观反映水利工程与自然环境、社会因素之间的空间关系。

将智能优化方法与GIS技术相结合,构建水利工程布局一体化设计方法,有助于实现工程方案的自动优化与空间信息的协同分析,提高设计的科学性和合理性。通过GIS提供的空间数据

支持,智能优化模型能够更加准确地刻画工程约束条件与环境因素;而优化结果又可在GIS平台上进行直观表达与分析,为决策提供有效支撑。

基于此,本文以水利工程布局设计为研究对象,探索智能优化与GIS融合的一体化设计方法,构建相应的技术框架与优化模型,并通过实例分析验证方法的可行性与实用价值,以期为水利工程规划与设计提供新的思路和技术参考。

2 理论基础与关键技术

2.1 水利工程布局设计基本理论

水利工程布局设计是指在一定流域或区域范围内,综合考虑水资源条件、地形地貌、社会经济发展需求及生态环境保护要求,对水库、堤防、引调水工程、泵站及配套设施等工程要素进行空间配置与功能组合的过程。其核心目标是在满足防洪、供水、灌溉、发电及生态用水等多重需求的前提下,实现工程整体效益最大化与风险最小化。

从理论上讲,水利工程布局设计具有显著的系统性与综合性特征。一方面,各类水利工程之间在水量调配、运行调度及功能发挥上相互影响,单一工程的布局变化可能引起区域水资源

配置格局的调整;另一方面,工程布局受自然条件与人为因素的共同制约,如地形坡度、河网结构、土地利用类型、人口分布及投资成本等。因此,水利工程布局设计通常属于多目标、多约束的复杂决策问题,需要在经济效益、社会效益与生态效益之间进行综合权衡。

传统水利工程布局多采用定性分析与局部定量计算相结合的方法,设计过程依赖规划人员经验,方案比选效率较低,且难以保证全局最优。随着计算技术和数据获取能力的提升,引入系统优化理论和智能化方法,已成为水利工程布局设计发展的重要方向。

2.2 智能优化方法概述

智能优化方法是受自然界生物进化、群体行为或物理过程启发而形成的一类优化算法,具有无需精确数学模型、全局搜索能力强及适应复杂问题的特点。常见的智能优化方法包括遗传算法、粒子群算法、蚁群算法及模拟退火算法等。

遗传算法以生物进化理论为基础,通过编码、选择、交叉和变异等操作实现解的进化迭代,适用于非线性、多峰及多目标优化问题。在水利工程布局设计中,可将工程位置、规模或组合方式作为决策变量,通过适应度函数综合评价工程效益与成本,从而获得较优布局方案。

粒子群算法模拟鸟群或鱼群的协同行为,通过粒子在解空间中的不断搜索与信息共享,逐步逼近最优解。该方法参数较少、收敛速度快,适合连续变量优化问题,在水利工程参数优化及方案比选中具有良好应用前景。

总体而言,智能优化方法能够有效突破传统优化技术对模型形式和求解条件的限制,为复杂水利工程布局问题提供可行的求解途径。然而,单纯依靠智能优化算法,往往难以准确表达空间约束和地理环境特征,需要与空间信息技术相结合。

2.3 GIS空间分析与数据管理技术

地理信息系统(GIS)是一种集空间数据采集、存储、管理、分析与可视化于一体的信息技术平台,在水利工程规划与设计中具有重要应用价值。GIS能够对地形、河流、土地利用、气象、水文及社会经济数据进行统一管理,为工程布局分析提供可靠的数据基础。

此外,GIS的可视化表达能力能够直观展示水利工程布局方案及其空间关系,有助于设计人员和决策者理解方案差异,提高方案论证与交流效率。然而,GIS本身侧重于空间分析与信息表达,在优化决策方面能力有限。

2.4 智能优化与GIS的融合思路

将智能优化方法与GIS技术相融合,是实现水利工程布局一体化设计的关键技术路径。GIS为智能优化模型提供真实、精细的空间数据和约束条件,而智能优化算法则负责在复杂约束下搜索最优或近优的工程布局方案。通过二者的协同作用,可实现工程方案的自动生成、优化计算与空间表达的有机统一。

这种融合模式不仅提高了水利工程布局设计的科学性与效

率,也为后续工程规划、方案比选及决策支持提供了坚实的技术基础。

3 基于智能优化与GIS的一体化设计方法

3.1 一体化设计总体框架

基于智能优化与GIS的水利工程布局一体化设计方法,旨在将工程优化计算与空间信息分析有机结合,形成“数据—模型—结果—决策”相互支撑的设计流程。总体框架可分为数据层、模型层和应用层三个部分。数据层以GIS为核心平台,负责多源空间数据与属性数据的获取、整理与管理;模型层以智能优化算法为核心,构建水利工程布局优化模型并进行求解;应用层则通过GIS的可视化与空间分析功能,对优化结果进行展示、分析和评价,为工程方案决策提供支持。

在该框架下,GIS不仅作为数据管理工具,还参与工程约束条件的构建和优化结果的空间校验;智能优化算法则在充分考虑空间约束和工程需求的基础上,实现水利工程布局方案的自动搜索与优化。二者的融合使设计过程由传统的“人工主导”向“智能辅助决策”转变。

3.2 设计变量与约束条件构建

水利工程布局一体化设计的关键在于合理确定设计变量与约束条件。设计变量通常包括工程的空间位置、工程规模参数(如库容、引水流量、堤防长度等)以及工程组合方式等。这些变量既包含连续变量,也可能包含离散变量,需要根据具体工程类型进行合理编码,以满足智能优化算法的求解要求。

约束条件主要来源于自然条件、工程技术条件及社会经济因素。在自然条件方面,包括地形坡度、水文条件、河网结构及地质条件等;在工程技术方面,主要包括防洪标准、供水保证率、工程安全要求等;在社会经济与生态环境方面,则需考虑土地利用限制、生态保护红线及投资成本约束。上述约束条件可通过GIS空间分析进行量化表达,并嵌入优化模型中,确保生成的工程布局方案具有现实可行性。

3.3 智能优化模型与求解流程

在明确设计变量和约束条件的基础上,构建水利工程布局智能优化模型。模型目标函数通常为多目标形式,如最大化工程综合效益、最小化建设与运行成本、最小化生态环境影响等。求解流程一般包括初始化种群、适应度评价、约束处理、迭代更新和终止判断等步骤。GIS提供的空间数据用于实时判断个体解是否满足空间约束条件,对不满足约束的解进行惩罚或修正。通过多次迭代,优化算法逐步逼近满足多目标要求的较优工程布局方案,从而提高设计效率和方案质量。

3.4 GIS支持下的空间分析与结果表达

优化结果输出后,需要在GIS平台上进行空间分析与可视化表达。一方面,可将优化得到的工程布局方案叠加到地形、水系和土地利用图层中,直观展示工程与自然环境之间的空间关系;另一方面,可利用GIS的分析功能,对不同方案的防洪效果、影响范围及生态敏感性进行对比分析。

通过结果的空间化表达,不仅有助于设计人员理解优化模

型输出的实际意义,也便于相关管理部门和决策者进行方案评估与选择。

4 实证研究与应用分析

4.1 研究区概况与数据来源

为验证基于智能优化与GIS的一体化设计方法的可行性与有效性,本文选取某中小流域作为研究区。该流域地形以丘陵和平原为主,河网较为发育,区域内农业灌溉、防洪减灾及城乡供水需求并存,具有典型的水利工程布局特征。近年来,随着用水需求增加和极端气候事件频发,现有水利工程在空间布局和调度能力方面暴露出一定不足,亟需进行系统优化。

研究所用数据主要包括数字高程模型(DEM)、河流水系、土地利用现状、水文与气象资料以及社会经济统计数据。其中,DEM和土地利用数据来源于遥感解译成果,空间分辨率较高;水文资料主要包括多年平均径流量和设计洪水参数;社会经济数据用于反映用水需求与工程建设约束。所有数据均在GIS平台上进行统一坐标转换、格式处理与空间配准,为后续分析提供可靠基础。

4.2 模型参数设置与计算过程

在一体化设计模型中,根据研究区水利工程规划目标,选取工程综合效益最大化与建设成本最小化作为主要优化目标。设计变量包括新建或改建工程的空间位置、工程规模参数以及部分工程组合方式。约束条件涵盖防洪标准、供水保证率、地形坡度限制及生态保护区避让要求等。

智能优化算法选用遗传算法进行求解,采用实数编码方式表示设计变量。种群规模、交叉概率和变异概率等参数根据多次试算结果进行合理设定,以兼顾计算效率与结果稳定性。在迭代过程中,GIS平台实时参与空间约束判断,对不满足约束条件的个体施加惩罚函数,从而引导搜索过程向可行解空间收敛。

4.3 设计结果分析与方案对比

将优化结果导入GIS平台进行空间可视化分析,可以直观比较不同方案下工程布局的空间差异。结果表明,基于一体化设计方法得到的方案在工程选址上更加贴合地形条件,避开了高坡度区域和生态敏感区,同时在河网关键节点合理布设调蓄与引水工程,有效提升了水资源配置效率。

与传统经验法设计方案相比,优化方案在保证防洪和供水安全的前提下,工程总投资有所降低,工程布局更加紧凑合理。

4.4 结果验证与可行性分析

为验证优化结果的合理性,本文从工程技术可行性和实际应用角度进行了分析。一方面,优化方案均满足现行水利设计规范和防洪标准要求,工程参数具有现实可实施性;另一方面,通过GIS空间分析验证,方案未占用重要生态保护区,对土地利用格局影响较小。

综合来看,实证研究表明,基于智能优化与GIS的一体化设计方法能够有效提升水利工程布局设计的科学性与效率,具有较好的工程应用潜力,可为类似区域水利工程规划提供参考。

5 结论

本文围绕水利工程布局设计中存在的多目标、多约束及空间复杂性问题,构建了基于智能优化与GIS融合的一体化设计方法,并通过实例进行了验证研究。研究表明,将智能优化算法引入水利工程布局设计,能够有效突破传统经验法和单一目标优化的局限,实现工程布局方案的自动搜索与整体优化;GIS技术在空间数据管理、约束条件量化及结果可视化方面发挥了关键支撑作用。二者的深度融合显著提升了水利工程布局设计的科学性、合理性与决策效率,验证了该方法在实际工程规划中的可行性和应用价值。

本文的主要创新在于构建了智能优化算法与GIS相结合的水利工程布局一体化设计框架,实现了优化计算与空间分析的协同应用;同时,通过实例分析展示了多目标优化结果的空间表达方式,为工程方案比选提供了直观依据。但研究仍存在一定不足,如优化模型中部分参数取值依赖经验,未充分考虑工程运行阶段的不确定性因素;实例研究范围相对有限,尚需在更大尺度和不同类型流域中进一步验证方法的适用性。

[参考文献]

- [1]李欢欢,潘磊,崔文露.基于GIS的黄冈市巴水—浠水流域综合治理生态风险诊断[J].湖北林业科技,2026,55(1):1-6+12.
- [2]刘洋洋.GIS在水利工程施工区域地形及引水路线规划的应用[J].技术与市场,2026,33(02):88-91.
- [3]冯斤.基于BIM+GIS的水利工程数字孪生智能体系构建研究[J].现代工程科技,2025,4(23):177-180.

作者简介:

陆梓尧(1997--),男,汉族,江苏扬州人,本科,职称:助理工程师,从事水利工程造价工作。