基于 GIS 技术的农村水利工程选址与布局优化研究

吴彦静

吴忠市红寺堡区太阳山镇人民政府　宁夏　吴忠　751999

摘　要：农村水利工程是保障农业稳产增产与乡村生态安全的基础设施，其选址与布局的科学性直接影响工程效益的发挥。传统选址方法以经验判断和单要素比选为主，难以统筹地形、水文、土壤、交通及生态等多维空间信息，易造成布局分散、覆盖重叠或效益盲区等问题。地理信息系统（GIS）技术具备强大的空间数据整合、多要素叠加分析与可视化表达能力，为农村水利工程选址与布局优化提供了有效工具。本文在分析农村水利工程选址影响因素的基础上，探讨 GIS 技术应用于选址与布局优化的技术逻辑，构建以空间数据采集、多因子综合评价、选址适宜性分区、布局优化与方案比选为核心的研究框架，并提出数据质量保障、评价指标体系完善及与乡村振兴规划衔接等对策，以期为农村水利工程科学选址与合理布局提供理论参考与方法支撑。

关键词：GIS 技术；农村水利工程；选址；布局优化；空间分析

引言

农村水利工程涵盖小型水库、塘坝、泵站、灌溉渠道、饮水安全工程及排水设施等多种类型，是农业生产和农村生活的重要支撑。长期以来，农村水利工程选址多依赖工程技术人员实地踏勘与经验判断，虽在局部地段具有可行性，但面对较大区域内的多点布局需求时，往往难以兼顾地形地貌、水文条件、土地利用、人口分布、交通可达性及生态保护等多重要素，容易导致工程重复建设、覆盖不均或运行成本偏高等问题。随着乡村振兴战略的深入推进，农村水利建设正从“有没有”向“好不好”转变，对选址与布局的科学性提出了更高要求。与此同时，农村水利工程还具有规模小、数量多、分布散、单点投资低但总体投入大的特点，这使得逐个工程的选址决策看似简单，但汇聚成区域整体布局后，其空间合理性便成为影响投资效益的关键变量。若缺乏统一的空间规划视角，极易出现相邻村庄各自建设、功能重叠、水源争夺等现象，造成公共资源的隐性浪费。GIS 技术以地理空间数据为对象，具有数据管理、空间分析、叠加运算与可视化输出等功能，能够将多源空间信息统一到同一地理参考框架下进行综合处理。将 GIS 技术引入农村水利工程选址与布局研究，有助于实现从经验决策向数据驱动决策的转变，提高工程布局的合理性与整体效益。

1 农村水利工程选址的影响因素与 GIS 应用价值

1.1 选址的主要影响因素

农村水利工程选址受自然条件、社会经济条件与生态环境条件三方面因素共同制约。自然条件方面，地形坡度决定工程建设的难易程度与水流条件，高程与汇水面积影响水源保证率，水文地质条件关系到底坝与渠系的稳定性。以灌溉渠道为例，渠道选线需沿等高线布设以控制比降，一般要求纵坡控制在 1/1000 至 1/5000 之间，坡度过大会导致冲刷，过小则易淤积；而小型水库与塘坝则需选择口小肚大的地形形态，以较小的坝体工程量获得较大的库容[1]。土壤类型同样不可忽视，砂性土壤渗透性强，渠道输水损失大，黏性土壤虽保水性好但易产生不均匀沉降，选址时需结合土壤质地与工程防渗措施综合判断。社会经济条件方面，人口密度与耕地分布决定用水需求的空间差异，交通可达性影响施工与后期维护成本，经济发展水平制约工程投资能力。山区村庄往往人口分散、耕地零碎，工程布点需更加密集但单体规模更小；平原地区村庄集中、耕地连片，则适合建设规模较大的集中供水或灌溉工程。生态环境条件方面，工程选址应避开生态敏感区、水源保护区及地质灾害易发区，减少对植被、湿地与水生生态系统的扰动。上述因素均具有显著的空间分布特征，这为 GIS 空间分析提供了应用基础。

1.2 GIS 技术的应用价值

GIS 技术在农村水利工程选址中的价值主要体现在三个层面。其一，多源数据整合能力。GIS 可将数字高程模型、遥感影像、土地利用图、土壤类型图、水系图、路网图及行政区划图等统一管理，形成选址基础数据库。不同来源数据在坐标系、分辨率与属性结构上存在差异，GIS 通过投影变换与格式转换实现标准化整合，使

各类信息能够在同一平台上参与分析。其二，空间分析能力。通过坡度分析、汇流分析、缓冲区分析、可达性分析与叠加分析，可定量刻画各因素对选址的影响。例如，利用数字高程模型提取河网与汇水边界，可识别天然汇水节点；通过缓冲区分析可划定水源保护范围与工程避让区域；利用成本距离分析可评估从候选点到施工道路的实际通达成本，而非简单直线距离。其三，可视化与方案比选能力。GIS 能够将不同选址方案以专题图形式呈现，直观展示各方案的空间分布与覆盖关系，为决策者提供比较依据。相较传统方法，GIS 支持下的选址过程更具系统性、可重复性与透明度，也便于不同部门之间的沟通协调。

2 基于 GIS 的选址与布局优化方法框架

2.1 空间数据采集与数据库建设

数据是 GIS 分析的基础。农村水利工程选址所需数据可分为基础地理数据、专题数据与约束数据三类。基础地理数据包括地形图、数字高程模型、遥感影像与行政区划边界；专题数据包括水系分布、土地利用、土壤类型、耕地分布、人口分布与道路网络；约束数据包括生态保护红线、水源保护区、地质灾害隐患点及基本农田保护区等。数据采集应注重来源权威性、时效性与空间分辨率匹配，并通过统一坐标系、数据格式转换与拓扑检查完成入库。数据库建设应兼顾属性数据与空间数据的关联，为后续分析提供规范支撑[2]。在实际操作中，数字高程模型的分辨率选择尤为关键：分辨率过高会显著增加计算量，过低则可能遗漏微地形特征，一般建议采用不低于 30 米分辨率的栅格数据，地形复杂区域宜采用 10 米或更高精度数据。此外，遥感影像的时相选择也需注意，应优先选用植被覆盖度较低或枯水期的影像，以便更清晰地识别水系与地表特征。属性数据方面，村庄人口、耕地面积、现有水利设施等信息应尽量落实到村级单元，确保分析结果具有管理可操作性。

2.2 评价指标体系构建

评价指标体系应遵循科学性、系统性与可操作性原则。目标层为选址适宜性，准则层可包括地形条件、水源条件、需求条件、建设条件与生态约束五个维度。指标层则对应具体可量化因子，如坡度、高程、距水系距离、汇水面积、耕地密度、人口密度、距道路距离、距保护区距离等。各指标需进行标准化处理，消除量纲差异。对于正向指标（如水源保证率）与负向指标（如坡度、距保护区距离），应分别采用不同的标准化公式。权重确定可采用层次分析法、熵权法或组合赋权法，以反映不同因素对选址影响的相对重要性。层次分析法依赖专家经验，适合缺乏历史数据的区域；熵权法依据数据离散程度客观赋权，适合样本充足的区域；组合赋权法则可兼顾二者优势。对于生态敏感区、地质灾害区等刚性约束，宜采用一票否决式处理，即在适宜性评价前先行剔除。指标选取还应避免信息冗余，例如坡度与高程在一定条件下高度相关，若同时纳入且权重过高，可能放大地形因素的作用，需通过相关性分析加以筛选。

2.3 选址适宜性评价与分区

在数据与指标基础上，借助 GIS 栅格叠加分析功能，将各因子图层按权重进行加权叠加，得到选址适宜性综合分值图。依据分值高低，可将研究区划分为高度适宜、中度适宜、低度适宜与不适宜四个等级。高度适宜区通常具备地形平缓、水源便利、需求集中且远离生态敏感区等特征，应作为工程布局的优先区域；中度适宜区可作为备选区域；低度适宜区需结合工程类型审慎考虑；不适宜区则应严格避让。适宜性分区图不仅明确了选址的空间优先级，也为后续布局优化提供了空间约束[3]。在分区边界处理上，可采用自然断点法或分位数法确定分级阈值，使各等级区域在空间上具有相对清晰的界线，便于后续规划管理。值得注意的是，适宜性评价结果并非绝对刚性，对于高度适宜区面积较小而需求迫切的区域，可适当放宽部分非刚性指标，但须在方案论证中充分说明理由。

2.4 布局优化与方案比选

选址适宜性评价解决的是“在哪里建更合适”的问题，而布局优化则需进一步回答“建多少、如何分布”的问题。布局优化应综合考虑工程服务半径、覆盖需求点数量、投资约束与运行维护成本等因素。可借助 GIS 网络分析功能，计算候选工程点至需求点（如村庄、耕地块）的最短路径与服务范围，识别覆盖盲区与重叠区域。在此基础上，通过设置不同情景方案，比较各方案在覆盖率、平均服务距离、投资规模与生态影响等方面的差异，择优确定布局方案。例如，可设置“优先覆盖高需求区”“优先覆盖偏远区”“均衡覆盖”三种情景，分别测算各情景下的服务覆盖率与单位投资效益，供决策者权衡。方案比选过程应注重定量指标与定性判断相结合，确保结果既符合技术理性，也契合地方实际。此外，布局优化还应考虑工程之间的联动关系，例如灌溉渠系与水源工程的匹配、排水系统与灌溉系统的协调，避免出现“有渠无水”或“有水无渠”的脱节现象。

3 选址与布局优化的关键策略

3.1 强化数据质量与动态更新

GIS 分析结果的可靠性高度依赖数据质量。农村地区空间数据往往存在精度不足、现势性差等问题，影响评价结论的准确性。应优先采用高分辨率遥感影像与无人机航测数据，结合实地核查修正关键信息。同时，建立数据动态更新机制，将土地利用变更、村庄搬迁、道路新建等信息及时纳入数据库，避免因数据滞后导致选址失误。在数据共享方面，可推动水利、自然资源、农业农村等部门之间的数据互通，减少重复采集，提高数据利用效率[4]。对于缺乏实测数据的区域，可借助开放地理数据与参与式制图方法进行补充，但需对其精度保持审慎态度。

3.2 完善评价指标体系与权重方法

不同区域、不同类型水利工程对选址因素的敏感程度存在差异。灌溉渠道侧重地形坡度与耕地分布，饮水工程侧重水源质量与人口聚集，排水工程则更关注汇水条件与低洼区域。因此，评价指标体系应体现工程类型差异，避免“一刀切”。权重确定应综合主观经验与客观数据，减少单一方法带来的偏差。对于不确定性较强的因素，可引入模糊综合评价或敏感性分析，提高评价结论的稳健性。敏感性分析可识别对结果影响最大的关键因子，为后续数据采集与实地核查提供重点方向。同时，指标体系应保持一定的开放性，允许根据区域特点增补地方性指标，如少数民族地区的传统用水习惯、山区的水源季节性变化等。

3.3 注重与相关规划的衔接

农村水利工程选址不能脱离国土空间规划、村庄规划与乡村振兴规划独立进行。GIS 分析应将生态保护红线、永久基本农田、村庄建设边界等规划管控要素纳入约束条件，确保选址方案符合空间管制要求。同时，布局优化应与农村道路、电网、供水管网等基础设施规划相协调，促进设施共建共享，降低重复投资。在规划衔接过程中，应注重近期建设与远期发展的关系，为未来工程扩建与网络延伸预留空间通道。此外，还应关注上位水资源规划对区域用水总量与用水效率的约束，避免工程布局突破水资源承载能力。

3.4 推动多目标协同优化

农村水利工程布局不仅追求经济效益，还需兼顾社会公平与生态安全。GIS 支持下的多目标优化可将工程覆盖公平性、投资效率与生态扰动程度同时纳入考量，通过情景模拟与权衡分析，寻求多目标之间的平衡点。对于生态敏感区域，应优先采用分散式、小规模工程布局，减少集中建设带来的生态压力。在公平性考量上，应重点关注偏远村庄与弱势群体的用水需求，避免工程布局过度向条件优越区域集中，导致区域发展差距扩大。多目标优化并不追求单一最优解，而是提供一组可供选择的帕累托方案，由决策者根据政策导向与地方实际作出最终判断。

结束语

农村水利工程选址与布局是一项涉及自然、社会、经济与生态多重因素的系统性工作。GIS 技术以其空间数据整合与空间分析优势，为选址评价与布局优化提供了科学手段。本文从影响因素、技术框架与优化策略三个层面，探讨了 GIS 技术在农村水利工程选址与布局中的应用逻辑，强调数据质量、指标体系、规划衔接与多目标协同的重要性。需要指出的是，GIS 分析结果仍需与实地勘察、工程论证与公众参与相结合，才能形成真正可行的选址方案。未来，随着遥感、大数据与人工智能技术的发展，GIS 在农村水利工程选址中的智能化水平将进一步提升，为乡村水利基础设施的科学布局提供更有力支撑。

参考文献

[1] 刘彦随, 周扬. 中国乡村地域系统与乡村振兴战略 [J]. 地理学报,2022,77(2):267-282.

[2] 王浩, 赵勇, 刘家宏. 国家水网建设与水资源优化配置研究进展 [J]. 水利学报,2023,54(1):1-12.

[3] 张京祥, 胡毅, 罗震东. 国土空间规划体系下的乡村规划方法探讨 [J]. 城市规划学刊,2021(3):1-8.

[4] 李强, 陈雯, 孙伟. 基于 GIS 的农村居民点布局优化研究进展与展望 [J]. 地理科学进展,2022,41(6):1083-1095.