

GIS 技术在水利工程空间规划与资源调配中的应用研究

王亮¹ 杨双秀²

1 四川省都江堰水利发展中心, 四川省成都市, 610000;

2 四川省眉山中学百坡分校, 四川省眉山市, 620000;

摘要: 随着信息技术的飞速发展, 地理信息系统 (GIS) 技术在水利工程领域的应用日益广泛。本文深入探讨 GIS 技术在水利工程空间规划与资源调配中的实践应用, 系统阐述其基本原理与核心功能, 重点分析在地形分析、工程选址布局等空间规划环节, 以及水资源监测调配、物资统筹等资源管理领域的具体应用路径。通过典型案例验证 GIS 技术的应用效能, 并结合行业发展趋势进行展望。研究表明, GIS 技术能为水利工程提供科学高效的决策支持, 在提升规划精准度与资源利用效率方面成效显著, 具有广阔的推广前景。

关键词: GIS 技术; 水利工程; 空间规划; 资源调配

DOI: 10.69979/3060-8767.25.08.052

引言

水利工程是国家基础设施的核心, 在防洪、灌溉、供水、发电等领域作用关键。传统决策方法受限于数据整合和空间分析, 难满足精细管理需求。GIS 凭借空间数据处理能力, 为水利工程管理提供新范式。近年来, 融合高分遥感等技术, GIS 应用从静态地图升级为动态监测、预测和决策支持, 提升规划科学性和资源调配合理性。本文梳理 GIS 在空间规划与资源调配中的应用场景, 结合案例分析效能, 为实践提供参考。

1 GIS 技术概述

1.1 基本原理

GIS 技术以地理空间数据库为基础支撑, 通过计算机软硬件系统实现对地理要素的数字化表达与量化分析。其核心原理在于构建“空间位置-属性特征-时序变化”的三维数据框架, 将分散的地形、水文、土地利用等数据纳入统一空间参照体系, 通过空间拓扑关系建立要素间的关联规则, 为多维度分析决策提供数据基础。

该技术体系包含三大关键环节: 一是空间数据标准化处理, 通过坐标转换、格式统一实现多源数据融合; 二是空间分析模型构建, 基于地理学原理开发缓冲区分析、网络分析等专业算法; 三是可视化表达系统, 将分析结果转化为直观的地图符号与空间分布格局。

1.2 主要功能

1.2.1 数据采集与编辑

具备多源数据集成能力, 可通过以下途径获取空间信息:

矢量数据: 包括数字化地形图、GPS 实测坐标、工

程设计蓝图等;

栅格数据: 涵盖遥感影像、航空照片、数字高程模型等;

属性数据: 包含水文监测记录、工程技术参数、社会经济统计等。

通过拓扑检查、误差校正等编辑功能, 可确保数据精度达到工程要求, 其中平面位置误差可控制在 0.5 个像素以内, 属性数据完整性达 99% 以上。

1.2.2 数据存储与管理

采用“空间索引+关系数据库”的混合存储架构, 对矢量数据采用点、线、面拓扑结构存储, 栅格数据采用金字塔结构分层管理。通过空间索引技术 (如四叉树索引、R 树索引), 可实现亿级数据量的毫秒级查询响应, 支持并发访问人数达 500 人以上, 满足大型水利工程的协同管理需求。

1.2.3 空间分析

作为 GIS 的核心功能模块, 包含:

地形分析: 计算坡度、坡向、起伏度等地形因子, 精度可达 1 米分辨率;

叠加分析: 实现多图层要素的空间关系运算, 支持 20 个以上图层的同时叠加;

网络分析: 构建输水管道、交通路网等网络模型, 进行最短路径、流量分配等计算;

缓冲区分析: 按距离或属性条件生成要素影响范围, 支持动态调整缓冲半径。

这些功能为水利工程的选址优化、影响评估提供了量化工具, 分析效率较传统方法提升 80% 以上。

1.2.4 可视化表达

支持多元化的成果展示形式:

二维表达：生成标准分幅地形图、专题要素分布图，精度达 1:5000 比例尺；

三维建模：构建工程区地形地貌与建筑物的三维模型，纹理分辨率达 0.1 米；

动态模拟：通过时间轴控制实现洪水演进、水位变化等过程的动态演示，时间步长可精确至分钟级；

统计可视化：生成直方图、热力图等统计图表，直观呈现数据分布特征。

2 GIS 技术在水利工程空间规划中的应用

2.1 地形分析

坡度分级 (°)	面积占比 (%)	主要分布区域	工程适应性评价
0-5	32	河谷平原	★★★★☆ (适宜修建渠系建筑物)
5-15	45	丘陵缓坡	★★★☆☆ (需局部开挖处理)
15-25	18	低山区域	★★☆☆☆ (需特殊支护设计)
>25	5	高山陡坡	★☆☆☆☆ (建议避让)

2.1.2 流域特征提取

基于 DEM 数据的水文分析模块，可自动完成：

流域边界划分：通过水流方向计算确定集水范围，精度达 95% 以上；

水系网络提取：识别河道等级与连接关系，与实际水系吻合度达 90%；

汇流分析：计算各子流域汇流面积与河长，为洪水演算提供基础参数。

2.1.1 数字高程模型 (DEM) 构建

基于航空摄影测量或激光雷达数据，可构建高精度数字高程模型，格网尺寸可根据需求设置为 1 米-50 米。通过 DEM 数据可衍生出：

坡度图：反映地表倾斜程度，计算精度达 0.1°；

坡向图：标识地形朝向，按 8 个方位角分区统计；

等高线图：自动生成不同间隔的等高线，满足工程设计需求。

在某灌溉渠道设计中，利用 5 米分辨率 DEM 计算出最优纵坡为 1:2000，较经验值设计方案减少水头损失 12%，提升输水效率显著。

在某流域防洪规划中，利用 GIS 提取的 12 条一级支流信息，为防洪堤布置提供了精准的空间参照，使设计方案更贴合自然水系特征。

2.2 工程选址与布局

2.2.1 多因素综合分析

采用层次分析法构建选址评价体系，将地形、地质、水文等因素量化为评价指标，通过加权叠加分析得出综合适宜性分区。某水库选址过程中，选取 7 项核心指标：

评价指标	权重	数据来源	分级标准
地形坡度	0.25	DEM 数据	分 5 级，<10°为优
岩性稳定性	0.20	地质勘察数据	分 4 级，坚硬岩为优
淹没损失	0.18	土地利用图	分 3 级，耕地占比低为优
水源条件	0.15	水文监测数据	分 3 级，来水量大为优
交通可达性	0.10	交通路网图	分 4 级，距公路<1km 为优
生态敏感性	0.08	生态保护规划	分 3 级，非保护区为优

施工条件	0.04	现场勘查	分2级，场地开阔为优
------	------	------	------------

通过加权计算，方案D以81.25分位列第一，较次优方案高出3.75分，最终被确定为实施方案。

2.2.2 可视化辅助决策

利用三维GIS平台构建虚拟规划环境，可实现：

多方案对比：在同一视图中并列展示不同选址方案的空间布局；

景观影响评估：模拟工程建成后的视觉效果，分析对周边景观的影响程度；

公众参与：通过可视化成果向公众展示规划意图，提高决策透明度。

某水利枢纽工程通过三维可视化展示，收集到12条有效公众意见，其中3条关于移民安置点布局的建议

被采纳，优化了规划方案的社会适应性。

2.3 水利设施规划

2.3.1 灌溉系统规划

基于土壤类型、作物分布与需水规律，利用GIS网络分析功能优化灌溉渠系布局：

确定干、支、斗渠的最优走向，使输水距离缩短15%-20%；

计算各级渠道设计流量，匹配不同区域灌溉需求；布置节制闸、分水闸等控制设施，实现精准配水。

某灌区应用GIS规划后，灌溉水利用系数从0.60提升至0.85，年节约用水1200万m³，新增灌溉面积1.5万亩。

指标	传统规划	GIS优化规划	提升幅度
灌溉效率 (%)	60	85	25%
水资源浪费率 (%)	30	8	22个百分点
亩均用水量 (m ³)	500	380	24%
渠道总长 (km)	45	38	15.6%

2.3.2 排水系统规划

整合降雨数据、地形坡度与土地利用信息，构建排水管网优化模型：

计算不同重现期暴雨的汇水量，确定管道设计管径；优化管网坡度与走向，确保排水流速达标；布置雨水泵站，解决低洼区域排水难题。

表1 GIS技术在水利设施规划中的应用对比

规划类型	关键影响因素	GIS技术应用点	应用成效
灌溉系统规划	土壤含水率、作物系数、地形坡度	网络分析优化输水路径、需水量时空匹配	灌溉效率提升15%-30%，水资源浪费减少20%以上
排水系统规划	50年一遇暴雨强度、地面集水时间、土壤渗透系数	排水管网水力计算、雨水泵站选址优化	暴雨内涝风险降低40%-60%，排水管网投资节省10%-15%

3 GIS技术在水利工程资源调配中的应用

3.1 水资源监测与调配

3.1.1 水资源信息管理

构建覆盖“水源-输水-用水-排水”全链条的水资源信息系统，整合以下数据：

水文监测：水位、流量、水质等实时数据，采集频率5-15分钟/次；

工程运行：闸门开度、泵站流量等运行参数；

用水计量：工业、农业、生活用水量的实时监测；

水质监测：pH值、溶解氧、污染物浓度等指标。

系统通过标准化接口实现与水利工程SCADA系统的无缝对接，数据传输延迟控制在30秒以内，为调度决策提供实时数据支撑。

3.1.2 水资源动态监测与评估

结合遥感技术与地面监测网络，实现水资源状况的动态评估：

水体面积监测：通过月度遥感影像解译，掌握湖泊、水库的水域变化，精度达90%以上；

水质评价：基于监测数据生成水质等级分布图，识

别污染扩散路径；

用水效率评估：计算万元 GDP 用水量、灌溉水有效利用系数等指标，进行区域对比分析。

某流域通过 GIS 动态监测，及时发现一处跨界污染事件，追溯污染源头并采取治理措施，避免了下游饮用水源受污染。

3.1.3 水资源调配模型构建与应用

开发基于 GIS 的水资源优化调配模型，实现：

供需平衡分析：预测不同来水情景下的水资源供需缺口；

多目标优化：在保障生活用水、工业用水与生态用水的前提下，最大化经济效益；

调度方案生成：自动生成逐月、逐旬的水量分配计划。

某区域季度水资源调配数据显示，应用 GIS 模型后，缺水率显著下降，其中一季度缺水率从 15.8% 降至 5.3%，

保障了春耕生产用水需求。

3.2 物资调配

3.2.1 物资储备管理

构建水利物资空间数据库，记录各类物资的：

库存信息：数量、规格、生产日期、保质期；

空间分布：存储仓库的地理位置与库存容量；

调用记录：历史领用情况与当前可用状态。

通过 GIS 可视化，可实时掌握 1000 余种水利物资的空间分布，库存预警响应时间缩短至 2 小时以内。

3.2.2 应急物资调配

在突发事件处置中，GIS 网络分析可：

计算从储备点到事发地的最优运输路径，考虑道路通行状况与运输能力；

确定物资调配优先级，保障重点区域需求；

动态调整运输方案，应对路况变化等突发情况。

表 2 GIS 技术在水利工程资源调配中的应用场景

调配类型	核心管理内容	GIS 技术支撑	典型应用场景
水资源调配	来水预测、用水定额、工程输水能力	动态监测系统、多目标优化模型、可视化决策平台	跨流域调水调度、干旱期应急供水、生态流量保障
物资调配	库存水平、运输成本、需求紧急程度	空间数据库、最短路径算法、应急响应系统	防汛抢险物资调度、工程维修材料补给、灾后重建物资配送

4 案例分析

4.1 长江流域某水利枢纽工程空间规划

4.1.1 工程概况

该水利枢纽位于长江中游河段，是一座具有防洪、发电、航运、灌溉等综合效益的大型水利工程。主要建筑物包括：

混凝土重力坝：最大坝高 120m，坝顶长度 850m；

电站厂房：安装 4 台单机容量 500MW 的水轮发电机组；

船闸：三级通航，设计通航能力 5000 吨级；

灌溉取水口：设计灌溉面积 30 万亩。

工程总库容 25 亿 m³，总投资 350 亿元，建设工期 6 年，涉及移民安置 1.2 万人。

4.1.2 GIS 技术应用过程

地形测绘阶段：采用无人机航测与地面实测相结合的方式，获取 1:1000 比例尺地形数据，构建 5m×5m 精度的 DEM 模型，通过坡度分析识别出适宜建设区域占比 53%，为选址提供基础数据。

方案比选阶段：将地质勘察、淹没分析、交通条件

等 12 类数据图层进行叠加分析，建立综合评价模型。其中坝址 D 因地质条件优越（完整性系数 0.92）、淹没损失较小（涉及 3 个行政村）、交通便利（距高速公路出口 8km）等优势脱颖而出。

三维建模阶段：整合 BIM 模型与 GIS 地形数据，构建全要素三维场景，模拟了 3 种水位工况下的淹没范围：

死水位（EL120m）：淹没面积 85km²；

正常蓄水位（EL145m）：淹没面积 120km²；

校核洪水位（EL152m）：淹没面积 145km²。

模拟结果较传统方法精度提升 8%，为移民安置规划提供了精确依据。

4.1.3 应用效果

时间效益：选址周期从 150 天缩短至 105 天，节约 30% 工期；

经济收益：通过优化坝线位置，减少淹没耕地 1.2 万亩，节省移民投资 18 亿元；

技术优化：三维碰撞检测发现 3 处结构冲突，避免后期返工损失 5000 万元；

社会成效：可视化成果提高公众参与度，收到有效

反馈意见 48 条，提升了决策科学性。

4.2 华北某省跨流域调水工程

4.2.1 工程概况

该工程是缓解华北地区水资源短缺的重大基础设施，由水源工程、输水干线、分水口门三部分组成：

水源地：南部大型水库，多年平均可调水量 12 亿 m³；

输水干线：全长 280km，采用明渠与管道结合的输水方式，设计流量 35m³/s；

供水范围：沿线 5 个地级市，覆盖人口 800 万，灌溉面积 200 万亩。

工程总投资 150 亿元，年调水量 10 亿 m³，可满足受水区 60% 的新增用水需求。

4.2.2 GIS 技术应用过程

监测系统建设：构建“天地一体”监测网络，包括：

120 个自动水文站：监测水位、流量、水质等参数；

35 个视频监控点：实时监控工程运行状态；

80 个用水量计量终端：记录重点用户用水量；

卫星遥感监测：月度监测水源地水体面积变化。

所有数据通过 GIS 平台整合，形成动态监测 dashboard，数据更新周期 15 分钟。

调度模型开发：基于系统动力学构建水资源调配模型，设置 3 种调度情景：

平水年：按 7:3 比例分配工业/生活与农业用水；

枯水年：启动应急方案，优先保障生活用水（占比 55%）；

特枯年：实施限量供水，工业用水削减 20%。

通过网络分析优化检修物资配送路线，将平均响应时间从 4 小时压缩至 1.8 小时。

4.2.3 应用效果

水资源利用效率：受水区水资源利用率从 65% 提升至 82%，达到国内先进水平；

供水保障能力：工业用水保证率从 70% 提高到 95%，支撑了 3 个工业园区的扩建；

农业生产效益：新增灌溉面积 80 万亩，粮食年产量增加 15 万吨，农民年增收 2.3 亿元；

应急响应能力：2022 年抗旱期间，通过动态调度多供水 1.2 亿 m³，减少工业损失 20 亿元。

表 3 GIS 技术在水利工程案例中的应用成效

案例类型	技术应用重点	关键指标改善	综合效益
大型水利枢纽规划	DEM 建模、多因素叠加分析、三维可视化	规划周期缩短 30%-40%，投资节约 5%-8%	工程安全性提升，社会满意度达 92%
区域水资源调配	实时监测系统、优化模型、应急调度平台	供水保障率提升 25 个百分点，水资源利用率提高 17 个百分点	年经济效益超 30 亿元，生态环境改善显著

5 结语

GIS 技术在水利工程领域的应用正朝着“智能化、集成化、精细化”方向发展：

多技术融合：与物联网（IoT）结合实现实时数据采集，与大数据技术融合挖掘隐藏规律，与人工智能（AI）结合构建智能决策模型，形成“感知-分析-决策”的闭环系统；

三维与虚拟技术：三维 GIS 实现工程全生命周期的立体管理，数字孪生技术构建物理实体与虚拟模型的实时映射，支持工程运行状态的精准模拟与预测；

应用深化：从宏观规划向微观管理延伸，在水土保持、水质监测等领域实现厘米级精度管控；从静态分析向动态预警拓展，构建洪涝干旱等灾害的早期预警系统。

实践表明，GIS 技术通过空间信息的深度挖掘与可视化表达，显著提升了水利工程的科学决策水平。在长

江流域水利枢纽、华北调水工程等案例中，其应用不仅带来了显著的经济效益（投资节约率 5%-8%），更在保障工程安全、优化资源配置、改善生态环境等方面发挥了不可替代的作用。随着技术持续迭代，GIS 将成为智慧水利建设的核心支撑技术，为水资源可持续利用与水安全保障提供更强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 李睿璞, 卢新海, 谷晓坤. GIS 在农地整理土方计算及调配中的应用[J]. 中国土地科学, 2010(6): 6. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8158.2010.06.012.
- [2] 赵娟. GIS 技术在水文水资源领域的应用现状与展望[J]. 吉林水利, 2014(10): 4. DOI: 10.3969/j.issn.1009-2846.2014.10.015.
- [3] 李坤恒, 董方. GIS 技术在供水信息化管理中的应用[J]. 市场周刊·理论版, 2020(19): 0197-0197.