

抽水蓄能电站的地理信息系统优化与应用研究

戴明松 韩昀

湖北省电力规划设计研究院有限公司

摘要：抽水蓄能电站作为可再生能源系统的重要组成部分，地理信息系统（GIS）的优化与应用对于提高电站效能和管理水平具有重要意义。通过对抽水蓄能电站地理信息的采集和整理，建立了全面而准确的GIS数据库，采用先进的空间分析技术，对地形、水文、气象等多维数据进行集成分析，实现对电站周边环境的精准模拟和预测。在此基础上，通过GIS技术实现电站运行过程中的实时监测和远程控制，提高了电站的响应速度和整体运行效率。通过GIS的优化与应用，有效提升了抽水蓄能电站的运行效率和环境友好性，为可再生能源领域的发展提供了有益经验和参考。

关键词：抽水蓄能电站；地理信息；信息系统；系统优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.062

引言

在当今不断演变的能源景观中，可再生能源的重要性愈发凸显，人们开始不断寻找创新的能源储存和利用方式。抽水蓄能电站作为一项卓越的储能技术，具备高效、可调度 and 可再生等特点，逐渐成为应对可再生能源波动性的重要解决方案之一。然而，为了充分发挥抽水蓄能电站的优势，需要综合运用先进的技术手段，尤其是地理信息系统（GIS）的优化与应用^[1]。

地理信息系统作为空间信息管理和分析的强大工具，为抽水蓄能电站的选址、设计和运营提供了全新的视角。通过对地形、水文、气象等多方面数据的整合和分析，GIS可以为抽水蓄能电站的地理信息优化提供科学依据。本文旨在深入探讨抽水蓄能电站的地理信息系统优化与应用，以提高其效率、可持续性和适应性，为清洁能源的大规模应用做出更为有力的贡献。通过对GIS在抽水蓄能电站中的应用进行深入研究，分析地理信息系统在优化电站选址、设计和运营中的潜在价值。

一、抽水蓄能电站地理信息数据库

（一）抽水蓄能电站的地理分布研究

抽水蓄能电站是一种利用水位差异进行电能储存和发电的设施，数据库是抽水蓄能电站的重要组成部分，首先进行数据收集，收集全球范围内抽水蓄能电站的地理信息数据，分析各电站的坐标、海拔高度、装机容量、水库容量、发电能力等关键参数。使用GIS工具对收集到的数据进行分析，以可视化抽水蓄能电站的地理分布，从而更好地识别电站的集中区域、分散区域，以

及与地理特征的关联。结合地理信息数据，进行抽水蓄能电站的环境影响评估，考虑电站对周围生态系统、水资源、地质环境等的影响，并通过GIS技术绘制相应的影响图。分析抽水蓄能电站的可持续性，考虑其对当地社区和生态系统的长期影响，进行水资源管理、生态平衡、社会效益等方面的评估。利用历史数据，分析抽水蓄能电站的时空变化趋势，了解电站建设和发展的历史轨迹，以及未来可能的扩展方向，将收集到的数据与其他国家或地区的抽水蓄能电站数据进行比较，了解全球范围内该技术的发展趋势和差异。基于收集到的数据建立抽水蓄能电站地理信息数据库，使其成为一个有关抽水蓄能电站地理分布的可查询、可分析的资源^[2]。

（二）数据库包括的空间信息

在抽水蓄能电站地理信息数据库中，地形、水文和气象等空间信息对电站的设计、运行和环境影响有着重要的作用。

（1）地形

地形信息包括地理坐标、高程数据和地形图层，记录每个抽水蓄能电站的准确地理位置，例如经度和纬度。高程数据包括电站和周围地区的海拔高度，对于电站的水头计算和地形分析非常重要。地形图层使用地形图层数据，可以更详细地了解电站周围地形的特征，如山脉、河流、峡谷等。

（2）水文

地形信息包括水库容量和水量数据、河流流量和水质数据以及降水数据，记录水库的容量和水量变化，这对于电站的水能储存和发电调度至关重要。考虑电站周围河流的水文条件，包括流量、水质等，评估电站对流域生态系统的影响。记录电站周围地区的降水量，对水库的水位和电站的发电能力有直接影响。

（3）气象

地形信息由温度和湿度数据、风速和风向数据、太阳辐射数据组成。记录电站周围地区的气温和湿度，这些数据能够影响电站的发电效率和设备的运行状态。对于风力发电站，风速和风向是重要的气象参数，需要考虑在电站设计和运营中。对于光伏发电站，太阳辐射是关键因素，记录日照时间和辐射强度对发电量预测和设备性能评估非常有用。

空间信息的整合和分析可以帮助优化抽水蓄能电站的运行，提高发电效率，并确保电站的建设和运营符合环境和可持续性标准。

二、地理信息系统 (GIS) 在电站设计中的优化

(一) 三维地形模拟

地理信息系统 (GIS) 在抽水蓄能电站设计中的优化中, 三维地形模拟是一项关键技术。通过三维地形模拟, 设计者可以更全面地了解电站所在地区的地形特征, 这对于电站的设计和规划至关重要。

三维地形模拟可用于准确计算水头, 即水库水位与发电机之间的垂直距离, 通过获取精确的地形数据, 更准确地确定水头, 从而影响电站的发电能力和效率。通过GIS确定创建电站的三维可视化模型, 使设计人员能够直观地了解电站与周围地形的关系, 识别潜在的设计挑战、优化设备摆放位置, 并考虑环境因素对电站的影响。利用GIS进行三维地形模拟, 更好地评估地质和地形条件对电站的潜在风险, 如地滑、泥石流等, 这有助于采取必要的工程措施以确保电站的稳定性和安全性。利用三维地形模拟提供更精确的水库容量计算, 通过模拟不同水位下的水库形态, 更好地理解水库的容量变化, 有助于电站的调度和水资源管理。通过将地形模拟与生态数据结合, 更全面地评估电站对周围生态系统的影响, 从而制定环保措施和可持续性规划非常有帮助^[3]。三维地形模拟提供了一种直观而清晰的方式, 使设计团队、决策者和利益相关者更容易理解电站设计方案, 从而更有效地进行沟通和协调。

(二) 水文数据分析

通过水文数据分析确定抽水蓄能电站运行状况, 水文数据涉及水资源的各种方面, 分析降水、河流流量、水位等数据, 实现电站的水能储存和发电调度。对降水数据进行时空变化分析, 了解不同季节、月份和年份的降水模式, 制定合理的发电调度计划, 以最大限度地利用降水资源。进行频率分析, 确定不同降水强度和持续时间的概率分布。分析河流的时序流量数据, 了解河流的季节性和年际变化, 实现电站的发电调度和水库调控。利用频率分析确定不同流量水平的概率分布, 有助于确定最大和最小流量情景, 从而进行水资源管理和电站设计。分析水库或河流的水位时序数据, 了解水位的季节性和年际变化。研究水位和流量之间的关系, 评估电站的水能调度和对水库的影响。

利用水文模型验证实际观测数据, 以确保模型的准确性和可靠性, 引入水文模型进行情景分析, 模拟不同气象和水文条件下电站的响应, 制定灵活的运营策略。基于水文数据, 通过模拟和分析优化水库的调度方案, 平衡发电需求和水资源管理。评估电站对周围水域生态系统的影响, 确保电站运营符合环境可持续性标准, 水文数据分析的结果将为电站设计和运营提供关键信息, 帮助确保电站充分利用水资源、最大限度地提高发电效率, 并合理管理水库水位以满足各种需求。

(三) 最佳水库容量和泄洪通道布局的确定

确定最佳水库容量和泄洪通道布局, 提高电站的发电、水能储存、洪水调度等方面的能力。使用历史水文数据进行分析, 了解不同年份、季节和月份的降水、河流流量以及水位变化, 确定水库的最大和最小水位。根据电站的发电需求, 确定水库容量应能够满足日常发电以及在高峰期和干旱期的需要, 考虑到降水变化, 确保水库容量足够应对各种情况。与生态专家和环保机构合作, 考虑电站对周围生态系统的影响, 确保水库容量不会对水域生态和水质产生不良影响。分析水库在洪水期间的泄洪需求, 确保水库容量足够处理极端降水事件, 避免洪水对下游地区的严重影响。根据水库对当地社区、农业和水资源的影响, 确保电站的设计符合社会经济可持续性标准^[4]。

利用水力学模型模拟不同泄洪通道布局下的水流情况, 确定最有效的泄洪通道布局, 以最大限度地减缓洪水流速。考虑各个通道的流量分配, 平衡不同泄洪通道的负荷, 确保水流均匀而稳定地通过各通道。确保泄洪通道的结构安全, 能够承受最大的泄洪流量和洪水压力。进行结构强度和稳定性的工程评估。制定应急管理计划, 如洪水期间的泄洪策略、通道操作程序和与当地政府和社区的沟通协调计划。在泄洪通道布局中考虑生态保护, 以最小化对下游生态系统的影响。设计可以包括渐变式泄洪通道和生态恢复计划。

综合考虑水文条件、发电需求、社会经济、生态环境等多方面因素, 通过科学的水文学、水力学和工程学方法, 可以确定最佳的水库容量和泄洪通道布局, 以确保电站的安全、高效和环保运行。

三、地理信息系统 (GIS) 在电站运营中的优化

(一) 实时监测与数据更新

在抽水蓄能电站中, 通过地理信息系统 (GIS) 运营完成实时监测与数据更新。通过GIS技术, 电站运营团队能够获取准确的地理信息数据, 进行实时监测, 并及时更新数据, 以优化电站运营。使用GIS追踪电站内各种设备的地理位置, 实时监测设备的运行状态, 以便进行实时维护和管理, 结合GIS数据和设备运行数据, 实施预测性维护, 提前发现潜在问题, 减少突发故障对电站运行的影响。

利用GIS获取实时水文数据, 包括河流流量、水位等, 及时调整电站的水能储存和发电计划。结合GIS和气象数据, 实时监测降水、温度、风速等气象条件, 以优化电站的发电调度和水库管理。利用GIS监测水库水位的实时变化, 以确保水位在安全范围内, 并在必要时进行及时调度, 定期更新水库容量数据, 结合实时水文数据, 以保证电站在各种水文条件下的正常运行。利用GIS进行生态环境监测, 实时监测电站对周围生态系统

的影响,确保电站运营符合环保标准。监测潜在的污染源,确保电站的运营不会对水域和土壤产生不良影响。建立应急响应系统,实时监测并响应突发事件,确保电站运营的安全性和稳定性。利用GIS系统中的位置信息,提高通信效率,加强不同团队之间的协调与合作。定期更新GIS中的地理数据,包括地形、道路、河流等,以确保地理信息的准确性。利用GIS技术管理电站地图,实时更新地图信息,提供最新的空间数据支持决策。

通过实时监测与数据更新, GIS为电站运营提供了更全面、实时的地理信息支持,有助于提高运营效率、降低风险,同时为智能决策提供了有力工具。

(二) 调度策略的制定

通过GIS技术,可以获取实时的地理信息数据,进行空间分析,从而制定更为精准和有效的电站调度策略。利用GIS获取实时的水文、气象、地形等地理信息数据,分析实时数据,了解电站周围环境的当前状态。

基于实时水文数据,评估河流流量、水位等条件,利用GIS进行水文模拟,预测未来水文情景。分析实时气象数据,包括降水、温度、风速等,利用GIS技术进行气象空间分析,了解不同区域的气象差异。通过GIS监测水库水位和容量的实时变化,结合水文模型,预测不同水位下的水库容量变化。分析电网负荷情况,了解当前和未来的发电需求,利用GIS进行空间分析,识别潜在的电力需求高峰区域。考虑电站运营对周围环境和生态系统的影响,利用GIS进行环境空间分析,确定环保区域和敏感生态区域。使用GIS进行地质和地形分析,评估地震、滑坡等自然灾害风险,结合实时监测数据,制定应对灾害的调度和应急响应策略。

整合来自不同传感器、监测站点的多源数据,利用GIS进行数据融合和整合,提供全面的空间视图。通过GIS平台建立协同工作环境,使不同部门的团队能够共享和协同工作,提供可视化的地理信息,支持团队共同理解和决策。

通过以上优化, GIS技术使电站运营团队能够更全面地理解电站周围的空间条件,制定更灵活、高效和可持续发展的调度策略,提高电站的发电效率,同时保障水资源、环境和生态的可持续性。

(三) 响应电力系统需求变化的能力

利用GIS技术对电力系统的负荷分布进行空间分析,了解不同地区的用电情况,结合历史数据和实时监测,预测未来负荷变化。通过GIS进行空间分析,确定电站发电的最佳时机和地点,以满足不同地区的需求。结合电力市场信息,优化发电能力调度,以实现最大的经济效益。通过GIS对电力系统的地理布局进行分析,

识别潜在的薄弱环节和故障风险区域。

根据GIS进行输电线路的优化设计,以确保电力从发电站到用电区域的高效输送。在电力系统中实施智能输电线路,通过GIS实时监测线路状态,减少输电损耗。利用GIS技术监测电站内部储能设施的状态,包括抽水蓄能、储能电池等。通过空间分析确定最佳的能源储存和调度策略,以适应电力系统负荷的波动。使用GIS对分布式能源的地理分布进行分析,了解各个可再生能源的发电状况。通过实时监测和协调优化电力系统的整体运行。利用GIS进行电力系统的应急响应规划,包括灾害恢复、故障隔离等。根据实时地理信息数据,迅速定位和解决电力系统中的问题,最小化对用电用户的影响。引入GIS技术提供电力系统的可视化地理信息,支持运营人员和决策者做出实时、基于地理位置的决策。通过地图界面展示电力系统的状态,有助于快速理解和响应系统需求的变化。

四、结束语

在抽水蓄能电站的地理信息系统(GIS)优化与应用研究中,本文深入探讨了GIS技术在电站选址、水文数据分析、气象条件优化、发电调度策略、环境保护、应急响应等多个方面的关键应用,为抽水蓄能电站的设计、建设和运营提供了科学的地理信息支持。

通过GIS在电站设计中的优化,能够更全面、精准地理解电站周围的地理环境,最大限度地提高电站的效益。从地形、水文到气象等多方面的数据分析,使电站运营者能够更加智能地调整发电策略、优化水能存储、实现电力系统的可靠运行。抽水蓄能电站的地理信息系统优化与应用研究为电力行业注入了新的活力,通过科学的地理信息支持,电站能够更加智能、高效地运行,实现了效益和可持续发展的双赢。未来,随着技术的不断进步, GIS在电站领域的应用将会不断拓展,为清洁能源的发展和生态环境的保护做出更为重要的贡献。

参考文献

- [1]徐跃增,张仁贡,程夏蕾,等.抽水蓄能电站模糊动力特性修正方法的研究与应用[J].水力发电学报,2014,33(6):232-240.
- [2]邵美阳,张子墨,王露缙,等.抽蓄-风-光-火联合系统日前优化调度研究[J].电网与清洁能源,2023,39(6):98-107.
- [3]张学清,海晓涛,高轩,等.基于协同博弈法的抽水蓄能电站建设成本优化研究[J].水力发电,2023,49(7):78-81.
- [4]郑凯,王子琪,胥千鑫,等.基于云编排的抽水蓄能电站作业标准化现场应用研究[J].电工技术,2023(9):191-194.