

水文水资源遥感监测技术及其应用前景

何迎港 马煜东

黄河水利委员会宁蒙水文水资源局 内蒙古 包头 014000

摘要：水文水资源遥感监测技术通过电磁波信号探测水体特征，实现地表水、土壤水分、降水蒸散发及地下水的动态监测。该技术利用多平台遥感数据，结合信息提取与模型反演，为水资源管理、灾害预警和生态保护提供科学依据。随着数据处理技术进步，遥感监测在水循环研究、环境评估和气候变化响应分析中展现出广阔应用前景，推动水文监测向大范围、高精度方向发展。

关键词：遥感监测；水文水资源；关键技术；应用前景

引言：遥感技术为水文水资源监测提供了全新手段。通过捕捉水体对电磁波的响应特征，能够远距离获取地表水分布、土壤湿度、降水格局等关键水文参数。卫星、航空和地面遥感平台各具优势，形成多尺度监测网络。数据处理方法不断优化，提升了信息提取精度。该技术在水资源评估、灾害预警和环境监测中发挥重要作用，为应对全球气候变化下的水文挑战提供技术支持。

1 遥感监测技术的基础构成

1.1 技术原理

遥感技术通过传感器接收电磁波信号实现对水文水资源要素的远距离探测。自然界中不同的水文要素对电磁波的反射吸收和辐射特性存在差异，水体与陆地可见光波段的反射率不同，植被覆盖区域和裸露土壤的红外辐射特征有别^[1]。传感器捕捉这些差异信号，将其转化为电信号或数字信息，经过处理后形成能够反映水文状况的图像或数据。借助这些信息可以识别水体的分布范围，判断水体的浑浊程度，监测土壤中水分的含量变化，甚至能间接推测地下水的储存状态。这种非接触式的探测方式突破了传统监测需要近距离采样的限制，能够快速覆盖大范围区域，捕捉水文要素的空间分布特征和时间动态变化。

1.2 技术类型

卫星遥感平台运行在地球轨道上，覆盖范围广，能够对全球或大区域的水文状况进行周期性监测。其运行不受地表地形条件限制，即使在偏远的山区荒漠或广阔的海洋，也能持续获取数据，适合用于宏观层面的水资源分布调查和长期变化趋势分析。航空遥感平台包括飞机飞艇等，飞行高度较低，灵活性强，可以根据具体需求调整飞行路线和时间，获取高分辨率的遥感数据。在流域尺度的水文监测中，能够更细致地捕捉河流湖泊的形态变化和沿岸植被的生长状况，适用于针对性较强的

专项调查。地面遥感平台设置在地表固定位置或移动载体上，如安装在高塔车辆上的传感器，可近距离获取高精度数据。其探测范围较小，但能实时监测局部区域的水文要素变化，如农田土壤湿度的细微波动或小型水体的水位变化，为微观尺度的研究提供支持。

1.3 数据处理方法

遥感数据从获取到解析需要经过多个关键处理环节。原始数据在传输过程中会受到大气干扰传感器误差和地形影响，产生几何变形和辐射失真，需要通过影像校正消除这些偏差，使图像能够准确对应实际地理位置并真实反映地物的辐射特性。校正后的图像包含大量信息，需要通过信息提取分离出与水文水资源相关的内容，利用计算机算法识别水体的边界，区分不同类型的植被覆盖区域，提取出可能指示土壤水分状况的特征参数。信息提取完成后，还需结合水文模型和地面验证数据进行进一步分析，将遥感数据转化为具有实际水文意义的参数，如将水体的光谱特征转化为水深数据，将土壤的辐射信息转化为含水量数值，最终形成能够直接应用于水文水资源研究和管理的成果。

2 水文水资源遥感监测关键技术

2.1 地表水监测技术

水体提取与变化检测通过识别水体在特定波段的光谱特征实现。水体对红外波段的吸收较强，与周边陆地形成明显反差，据此可精准勾勒出水体边界。追踪不同时期的水体边界变化，能反映出河流湖泊的扩张或萎缩，以及季节性积水区域的消长规律^[2]。这种技术可捕捉到短期内的突发水位变化，也能记录长期的水体形态演变，为分析地表水动态提供基础。水质参数反演依据不同参数对电磁波的响应差异开展。浊度升高会使水体对可见光的散射增强，叶绿素浓度变化影响特定波段的反射强度，溶解氧含量与水体的氧化还原状态相关，这些

变化都能在遥感数据中形成可识别的信号。通过解析这些信号特征,能推断出水质参数的相对变化,把握水体的污染程度和营养状态演变趋势。

2.2 土壤水分监测技术

微波遥感反演土壤湿度利用微波对水分的敏感性进行。微波信号能穿透地表一定深度,土壤中水分含量不同,对微波的反射和散射特性也会改变。干燥土壤与湿润土壤的微波回波存在明显差异,通过分析这种差异可反演出土壤表层的湿度状况。该技术受天气影响较小,即使在云层覆盖或夜间,仍能稳定获取数据,适合连续监测土壤水分的动态变化。热惯量法估算土壤含水量基于土壤温度变化与水分含量的关联实现。土壤热惯量反映其存储和传导热量的能力,水分含量高的土壤热惯量大,温度变化缓慢;水分含量低的土壤热惯量小,温度升降迅速。通过遥感捕捉地表温度的日变化幅度,结合土壤的热传导特性,可推算出土壤中的含水量,尤其适用于监测较大范围的土壤水分分布。

2.3 降水与蒸散发监测

卫星降水产品通过整合多源遥感数据生成。不同卫星搭载的传感器能捕捉云层的形态、厚度和粒子特性,结合降水形成的物理过程,转化为反映降水强度和范围的信息。这些产品可覆盖广阔区域,弥补地面观测站点的不足,展现降水的空间分布差异,捕捉区域内的降水中心和移动路径,为分析降水格局提供支持。蒸散发遥感估算方法基于能量平衡原理构建。地表接收的太阳辐射能量一部分用于加热土壤和空气,一部分通过水分蒸发和植物蒸腾返回大气。通过遥感获取地表温度、植被覆盖度和辐射通量等信息,可计算出用于蒸散发的能量比例,进而估算出蒸散发量。这种方法能区分不同地表覆盖类型的蒸散发差异,如农田与林地的蒸散发强度不同,城市区域与自然区域的水分消耗存在差别。

2.4 地下水监测

重力遥感监测地下水储量变化借助重力场的细微变化实现。地下水储量增减会引起地表质量分布改变,进而导致局部重力场出现可探测的波动。通过持续追踪这种重力场变化,能反演出大范围地下水储量的增减趋势,反映出区域地下水的补给与消耗平衡状况,尤其适用于监测深层地下水的长期变化。地表形变反演地下水动态通过捕捉地表形态的微小变化开展。过量抽取地下水会导致地下岩层受力失衡,引发地表沉降或隆起;地下水补给充足时,地表可能出现轻微抬升。利用遥感技术监测这些地表形变信号,结合地质结构特征,可间接推断地下水的水位变化和流动状态,为局部区域的地下

水管理提供参考。

3 水文水资源遥感监测的核心应用领域

3.1 水资源量监测

遥感技术能够精准捕捉水体的空间分布特征,通过识别不同波段下水体的独特光谱信号,清晰界定河流湖泊水库等水体的边界,进而确定其面积大小。随着时间推移,持续追踪这些水体边界的变化,可直观反映出水体面积的扩张或萎缩^[3]。结合水体的形态特征和相关地理信息,还能间接推断出水量的增减情况,了解水体储量的动态波动。这种监测方式突破了传统观测点的局限,能够覆盖更广阔的区域,包括人迹罕至的偏远地带,为全面掌握水资源总量及其分布状况提供支持,帮助把握不同区域水资源的供需关系。对于季节性积水区域,也能准确捕捉其出现和消退的时间,为评估区域水资源的季节性变化提供补充信息。在干旱时期,可快速识别出水源地的干涸程度,为应急供水方案的制定提供参考。

3.2 水文过程监测

遥感技术对降水的监测可覆盖大范围区域,捕捉降水云系的移动轨迹和强度变化,展现降水在空间上的分布差异,反映出区域内降水的起始、持续和结束过程。对蒸发过程的监测则通过分析地表能量交换和水分收支状况,了解不同地表类型的蒸发强度,把握蒸发量随季节和气候条件的变化规律。在径流监测方面,虽不能直接测量水流速度,但可通过追踪河道形态变化和周边土壤湿度状况,间接推断径流的大致规模 and 变化趋势。这些对降水蒸发径流等水文过程的监测,有助于理解水分在自然界中的循环路径和转化机制,明晰水文过程的内在规律,为分析区域水循环的平衡状态提供基础。通过长期监测,还能捕捉到水文过程随地形和植被覆盖变化的细微差异。

3.3 水环境监测

遥感技术在水体污染监测中可发挥重要作用,不同污染物进入水体后,会改变水体的光学特性,对特定波段的电磁波产生独特的反射或吸收效果。通过捕捉这些异常的光谱信号,能够识别出水体是否受到污染以及污染的大致范围,追踪污染扩散的方向和速度。对于水体富营养化问题,遥感技术可通过监测水体中叶绿素等藻类生长相关指标的变化,反映出富营养化的程度和分布状况,捕捉藻类水华的发生和发展过程。这种监测方式能够快速响应水环境的变化,及时发现潜在的环境问题,为采取针对性的治理措施提供依据,维护水体生态系统的稳定,保障水资源的可持续利用。对城市周边水体的监测,可及时发现工业废水排放造成的局部污染,

避免污染范围进一步扩大。

4 水文水资源遥感监测技术的应用前景

4.1 水资源管理与优化配置

流域水资源动态监测借助遥感技术可实现全流域覆盖,持续追踪各子流域的水体面积变化和水量波动,掌握不同区域水资源的实时分布状况^[4]。通过整合这些动态信息,能清晰识别出水资源盈余与短缺的区域,为流域内的水资源调配提供依据,确保有限的水资源得到更合理的分配。针对农业灌溉高峰期,可精准监测各灌区的用水强度,避免过度取水导致下游河道水量锐减。跨区域调水工程监测中,遥感技术可全程追踪输水线路沿线的水体渗漏情况和周边土壤湿度变化,及时发现输水过程中的损耗点,评估工程运行效率。监测受水区的水体接纳状况和周边生态环境响应,为调水方案的动态调整提供支持,保障调水工程的稳定运行和效益发挥。在输水渠系周边,能识别因水位变化引发的岸坡稳定性问题,提前采取加固措施。

4.2 洪涝与干旱灾害预警

洪水淹没范围快速监测依靠遥感技术对水体的敏锐识别能力,在洪水发生后短时间内即可勾勒出淹没区域的边界和范围,明确受淹的农田、城镇和基础设施分布。这些信息能为救援力量的部署和被困人员的转移提供精准指引,减少灾害造成的人员伤亡和财产损失。对于城市内涝,可识别地下车库、低洼路段等易积水区域的淹没深度,辅助制定优先排涝计划。干旱指数遥感评估通过分析植被生长状况、土壤湿度和地表温度等指标,构建反映干旱程度的指数,量化干旱的影响范围和严重程度。在干旱初期即可捕捉到干旱发生的迹象,提前发出预警,为抗旱物资储备和灌溉计划调整争取时间,减轻干旱对农业生产和生态环境的影响。针对经济作物种植区,能细化不同作物的受旱等级,指导农户采取差异化抗旱措施。

4.3 生态环境监测与保护

湿地生态水文监测中,遥感技术可追踪湿地水域面积的消长、植被覆盖类型的变化和土壤湿度的波动,把握湿地内部的水分循环过程和生态系统健康状况。通过长期监测,了解湿地生态系统对水资源变化的响应,为湿地保护措施的制定提供依据,维持湿地的生态功能和

生物多样性。对候鸟栖息地的水域变化进行专项监测,可保障候鸟迁徙期的水源供给。冰川与积雪变化分析借助遥感技术捕捉冰川的进退、积雪的消融速度和范围变化,反映冰川和积雪储量的动态。这些信息有助于评估冰川积雪融水对河流径流的补给作用,预测未来水资源的变化趋势,为依赖冰川积雪融水的区域提供生态保护和水资源管理的参考。结合高海拔区域的气温变化,能更精准判断冰川消融的加速节点。

4.4 气候变化背景下的水文响应研究

全球水循环变化监测通过遥感技术覆盖全球范围的水文要素,追踪海洋蒸发、大气降水和陆地径流等水循环环节的变化,分析气候变化对全球水循环速率和分布格局的影响。这些监测数据能为理解全球尺度的水平衡提供基础,揭示气候变化与水循环之间的内在联系。对比不同气候带的水循环差异,可提炼出区域独特的响应模式。极端水文事件的遥感分析可捕捉暴雨发生时的云系特征、降水强度和范围,以及干旱期间的地表干旱信号演变,研究极端事件的发生机制和发展规律。通过分析极端水文事件的频率和强度变化,了解气候变化背景下极端事件的响应特征,为应对极端水文灾害的策略制定提供科学支持。结合历史数据序列,能识别极端事件发生的周期变化,提升预警模型的准确性。

结束语

水文水资源遥感监测技术已发展成为现代水文学的重要研究手段。从地表水动态到地下水变化,从局部监测到全球分析,遥感技术不断拓展应用深度与广度。随着传感器精度提升和算法改进,未来将在水资源可持续管理、生态保护与灾害防控中发挥更大作用,为应对复杂的水文环境问题提供更有效的解决方案。

参考文献

- [1]张志涛,徐永芳,金炳琪.遥感技术在水文与水资源监测中的创新应用研究[J].水上安全,2025(1):73-75.
- [2]张志林,王少千.遥感技术在水文水资源勘测中的创新应用研究[J].水上安全,2025(2):196-198.
- [3]宣旭鹏.遥感技术在水文水资源勘测中的创新应用研究[J].科技资讯,2024,22(8):190-192.
- [4]周明华,胡波,黄俊.遥感技术在水文水资源领域的应用探析[J].国际援助,2023(5):139-141.