
少资料区河流流量监测与定量反演技术国际动态调研

水力学所 李甲振, 郭新蕾

我国是世界上河流数量最多的国家之一。受气候、交通、经济、政治等因素制约,大江大河源头和上游的水文站点密度低,水文数据少,其流量监测已成为相关领域的研究热点。项目以少资料区河流流量监测与定量反演方法为研究对象,从反演理论与模型、信号捕捉技术与辨识方法、数据分析降噪与误差控制以及江河渠溪流量反演应用四个方面展开调研。总结了该领域已有研究成果,剖析了不足和尚未解决的问题,梳理出这一多学科融合和交叉技术的发展增长点,调研得到的结论如下:

(1) 现阶段将遥感技术应用于河流流量监测在国内尚处于起步阶段,与国外先进水平差距主要体现在:① 仅长江、黄河等河流中下游的一些典型测站建设了表面流速或水位遥测设备,普及率较低。这种应用属于就地遥感技术,类似于常规水文测站,适合经济发达、气候条件稳定的地区;对于位置偏远、气候条件恶劣的无人地区,很难大范围应用。② 远程卫星遥感监测手段已在欧美地区很多河流的流量监测得到应用,但国内尚未有相关案例见诸报道。③ 缺少水力学与遥感耦合的江河径流反演理论模型与方法,难以开展进一步的理论研究及应用探索。④ 遥感式水位计、流速仪等核心设备依赖于其他国家进口,自主生产的设备在测量精度、监测尺度、频率等方面与国外设备有一定的差距。

(2) 少资料区河流流量监测与定量反演技术的发展趋势为:① 遥感与水力学或水文模型耦合反演河流流量是该领域的主流发展方向。遥感技术具有实时、快速、观测范围广、数据量大等特点,可高效、经济地获得水面宽、水位、流速、水力坡度、降雨等特征参数。对于气候恶劣、交通不便或地形复杂的众多大江、大河源头和上游区域的西部地区,遥感技术与水力学模型或水文模型耦合反演河流流量是大尺度、高频率径流监测最为经济合理的一种手段,也是世界范围内水文学、水力学、遥感等领域的研究前沿。② 基于遥测水面宽反演河流流量是研究热点。反演模型涉及的参数有:水位、水面宽、断面平均水深、平均流速和水力坡降。断面平均流速需根据遥测的表面流速进行转换,其率定方法尚未成熟,且表面流速的观测受地面风向、风速等因素影响。在轨运行的卫星平台可提供大

量关于河流水面宽的数据源，而水位和表面流速的可用数据源相对较少，且遥感技术对平面尺度的信息捕捉和分辨率优于垂直方向。因此，基于水位信息的单变量模型和多变量模型应用相对较少，基于遥测水面宽反演河流流量的方法将会是该领域的研究热点。

(3) 这一多学科融合和交叉技术的发展增长点包括：① 基于不同水力参变量流量反演的理论发展与模型构建。现阶段构建的反演理论与模型，多数是基于历史记录或现场实测的河道断面形态与流量数据。如何发展一种仅利用雷达、卫星遥测的影像图评估流量的方法，将是水力学及河流动力学领域的主要任务。从水动力学理论模型入手，结合微元分析、数理统计等，可构建和发展出新模型。② 河流水力因子的高分高精遥测捕捉、信号辨识与技术改进。就地遥感系统，相较于传统水文径流监测方法，无需人工测量，节约了人力成本和工作量，部分实现了自动化。但其本质依然未脱胎于“就地”二字，需现场安装，适合经济发达、气候条件稳定的地区。星载遥感系统在海洋、大江大河以及水域面积较大的水库、湖泊中应用较好，当尺度缩至中小河流时，其平面精度在 0.5m 以上甚至数十米。因此，提升就地遥感系统的便捷性和卫星遥感系统在小尺度水域的精度，是相关领域的发展方向。③ 数据多变性和不确定性分析、数据降噪和误差控制。观测数据（水位、流速、水面宽等）的多变性（例如，自然的突发性、异质性和差异性）和不确定性（例如，数值离散或对模型参数缺乏认知）可能源于自然因素、模型因素或人类因素，也可能是测量或记录误差引起的。因此，对模型参数、观测方法和结果进行研究，辨识、分类和评析随机和系统误差，开发可信的数值模型，从而提高流量反演的精度。