

水文自动测报技术研究探析

谈晓珊, 高 军, 周亚平

(水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012)

摘要: 通过国内外水文自动测报技术发展历程的综述, 针对不同的采集需求, 对比分析了国内外主要水文监测仪器、设备的使用情况, 在取得发展和进步的同时, 我国在新技术应用, 尤其是利用新技术、新原理研发的先进装备方面, 与国外相比还存在着差距, 并对新技术研究和发展前景进行了展望。

关键词: 水文; 自动测报; 技术

中图分类号: [TV124] **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 11-0026-05

Reviews on Hydrological Telemetry Technology

TAN Xiaoshan, GAO Jun, ZHOU Yaping

(Nanjing Automation Institute of Water Conservancy & Hydrology, Ministry of Water Resources,
Nanjing 210012, Jiangsu)

Abstract: Through the review of hydrological telemetry technology development at home and abroad, the hydrological monitoring instruments and equipment at home and abroad were compared and analyzed. Development and progress were achieved as well as a gap compared with abroad was existed in developing advanced equipment especially using the new technology and new principle. Finally, the new technology research and development foreground is prospected.

Key words: hydrology; telemetry; technology

0 引言

水文自动测报系统是为自动采集、传输和处理实时水文信息而设置的各种传感器、通信设备和接收处理装置的总体。一般由水文遥测站、信息传递遥测通信网和接收处理中心站组成, 并通过中心站计算机网络与其他系统进行信息交换。水文遥测站是“一种能自动进行观测和发送或记录水文观测数据的仪器。如果需要, 可直接或在中心站编发水文报告, 也可按业务需求编制各类水文报表。”水文遥测站适用于江河、湖泊、水库、

近海、水电站、灌区及输水工程等各类水文监测系统, 也可用于水资源监测系统。进入本世纪后, 水文遥测站已成为我国水文自动化观测的主要装备之一, 在我国综合水文观测系统中发挥日益强大的作用^[1]。

1 国外研究现状

随着工业化进程的加快, 20 世纪 60 年代, 日本和美国就已经开始水文自动测报技术的研究和开发, 其产品于 70 年代后期逐渐成熟并进入国际

收稿日期: 2016-07-26

作者简介: 谈晓珊 (1986-), 女, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水利 GIS 研究。

市场^[2]。1976 年美国 SM 公司在美国陆军工程师团的资助下, 与美国天气局合作研制出一套水雨情自动监测设备。此外, 美国将水文站数据应用 GOES 卫星进行数据传输, 到现在已有 4000 多个水文站使用卫星进行数据传输。除了卫星, 从 80 年代开始, 美国国家天气局与其他部门共同建设了 NEXRAD 新型雷达, 该雷达经过雨量计参数修正后, 形成类似于一个大雨量计的网, 从而大大提高了水文预报和洪水预报的精度和时间^[3]。英国等一些西欧国家由于国土面积较小, 水文监测站覆盖范围基本遍及全国, 其主要采用两种方式进行传输: 一是采用可靠的电话网络进行传输, 二是采用同步卫星进行远程数据的传输。法国主要对其境内的两条河流加隆河和洛依尔河进行全方位的监测以提高本国的防洪准确性。

20 世纪 80 年代以来, 由于自动测报设备的不断完善, 数据传输方式的多元化及其可靠性的增加, 以及微机技术、预报调度理论和软件的进一步发展, 水文自动测报和防洪调度自动化技术在世界范围内得到广泛应用。

2 国内研究现状

我国水文自动测报技术的开发始于 20 世纪 70 年代中期, 在过去 40 多年的发展历程中, 我国水文自动测报系统的建设和技术有了巨大的进步。在不同的历史时期, 所建系统实时采集的数据, 为防汛调度决策和水资源管理提供了依据和参考, 发挥了很好的作用。回顾我国水文自动测报系统的发展历程, 大体上可分为五个阶段, 即起步初创阶段、实践总结研发阶段、推广应用及实用化阶段、数字信息网络化阶段和智慧水务应用阶段^[4]。

2.1 起步初创阶段

第一阶段水文自动测报系统为探索阶段, 开创性地实现了我国水文观测自动化。国产以自制设备为主, 采用分立元件和小规模集成电路, 部分采用了微处理器; 工作制式采用“查询—应答”模式, 传输速率较低, 鉴于当时水文遥测站点有电话线质量不佳, 可靠性差, 雷雨季节损坏多, 加之架空线易引雷, 应用困难, 因而无线通信受到重视, 并获得应用。但由于当时超短波电台的质量

不高(频率稳定性欠佳、接受灵敏度偏低及平均无故障时间[MTBF]短等), 调制解调技术落后, 对超短波通信电路设计不规范, 通信畅通率和误码率均不太理想。因而, 尽管功能上基本实现水文传输的要求, 但系统运行中维护工作量大。

这一阶段国外技术的引入对我国测报技术发展有相当大的影响。美国 SM 公司的自报式设备简单省电, 收集数据实时性强, 使用效果好。1981 ~ 1983 年在黄河三花间建设的陆浑小区水文测报系统是最早引入我国的美国 SM 公司生产的水文自动测报系统。浦阳江、拉林河、西枝江遥测系统是我国最早成功应用的水文自动测报系统。随后, 1984 年研制成功了采用微处理器的天津市于桥水库水文自动测报系统。

2.2 实践研发阶段

第二阶段水文自动测报系统为研制定型阶段, 系统工作制式有自报式、应答式、自报兼容式; 系统结构体积小, 用单片机、大规模集成电路组成遥测站数传仪、中继仪和中心控制仪, 以单片机为值班机, 微型计算机为主计算机。

1985 年, 我国开展淮河正阳关以上流域防汛预警自动化系统试点建设与试验, 建成了大连碧流河水库及海委官厅水库水文自动测报系统, 1988 年建成黄龙滩水电站水文自动测报系统, 系统采用自报或自报应答兼容工作模式。云南鲁布革水电厂、山西天桥、丰满白山等水文自动测报系统都先后通过验收鉴定投产, 并在生产中发挥了作用; 丹江口、淮委等系统引进了意大利西亚普公司产品, 丰满白山、长江陆水等系统引进了美国 SM 公司产品; 大宁河、渔子溪等系统进行了卫星系统试验, 丹江口系统进行了流星余迹通信系统试验。1985 年水电部制定了《水文自动测报系统技术规范》(SD159-85) 系统建设的标准。

2.3 推广应用阶段

第三阶段是水利、水电部门进入全面推广应用水文自动测报系统阶段, 水情测报系统已经成为水库、水电厂、江河不可缺少的防洪报讯手段。

1991 年后陆续兴建了近千套水文自动测报系统, 在建设新系统的同时, 也对 80 年代的部分系统进行了改造更新, 建成了超短波、短波、通信卫

星、海事卫星、有线电话或混合通信的国产化系统,并利用通信卫星实现了省级和流域梯级水情系统联网。广东省北江、福建省闽江、江苏省苏北大运河、太湖流域、隔河岩水电厂、上海市防汛、三峡水电站等都引进了国外水文自动测报系统。国产系统已经接近达到国际 20 世纪 90 年代先进水平,国产的雨量传感器已可小批量出口国外。1994 年水利部修订了《水文自动测报系统技术规范》(SL61-94)。

2.4 信息网络阶段

第四阶段是水文自动测报系统信息共享联网调度阶段,水情遥测所覆盖的站点现已基本覆盖了我国大部份流域和省、市、自治区的广大地区,取得了防洪及兴利调度的巨大效益。

1999 年以后,我国水利部门先后开展了水库除险加固工程综合自动化系统和国家防汛抗旱指挥系统水情分中心“示范区”项目建设;国家防办开展了全国水库防洪调度决策支持系统工程建设,初步建成了覆盖全国的防汛水文信息自动化网络,可使全国水文信息直通国家防办,实现资源全国共享。国电总公司开展了已建和在建水电站水电系统实施厂、地、省局、网局、国调 5 级水调自动化系统及水文自动测报系统实用化验收项目建设。

2003 年,随着水文自动测报系统技术及需求的进一步拓展,水利部重新修订了《水文自动测报系统技术规范》(SL61-2003)。2000 年电力部国调中心为规范各级电力水调自动化系统制定了《电力系统水调自动化功能规定》及《水电厂水文自动测报系统管理办法》,并于 2008 年出台了《水文自动测报系统技术条件》(DT/1085-2008)。

2.5 物联网及智慧水务应用阶段

第五阶段融入了人工智能和云计算平台,水文自动测报实现物联网化及智慧水务化。进入本世纪后,开始研制多种新型的自动水文遥测站,这些水文遥测的共同点是在嵌入式计算机的平台上融入了专家知识和云计算平台,对水文观测数据具有分析、比较、推理、判断等人工智能的功能,用于观测数据实时质量控制和水文条件分析等,可称智慧型水文遥测站。

2012 年,随着水文自动测报系统技术及产品

技术性能统一的实际生产需求,水利部制订了《水文监测数据通信规约》(SL651-2014),并重新修订了《水文自动测报系统技术规范》(SL61-2015)。

第一代水文自动测报系统为探索阶段,开创性地实现了我国水文观测自动化;第二代水文自动测报系统设计了水文数据采集记录器,形成基本完整的体系结构,并投入业务试运行;第三代水文自动测报系统嵌入了计算机业务系统,我国水文观测自动化便进入快速发展的轨道;第四代水文自动测报系统采用计算机数字网络技术,实现了全国、流域或梯级和省、市、自治区系统的联网和整合;第五代水文自动测报系统融入了人工智能和云计算平台,向全面替代人工观测迈进,水文测报趋向物联网化及智慧水务化。

3 水文监测技术和设备发展分析

在水文监测技术和装备的应用上,近些年通过不同的方式、途径取得了较大的发展和技术成果,保障了水利信息化的持续快速发展。但是,在高新技术的应用以及利用新技术、新原理研发的监控装备上还存在着明显的差距。

目前,国内外主要水文监测仪器、设备发展情况的对比分析见表 1。

(1) 监测仪器、设备的种类得到拓展。近些年引进了一批新型监测仪器、设备,如激光水位计,声学多普勒测流仪,超声波时差法在线流量监测仪,多光谱水质测量仪等,这些新型监测仪器、设备在水位、流量、水质等水文要素监测的准确性、快速性、实时性方面都有很大提高。同时,新型的监测仪器、设备不仅丰富了我国水文自动监控装备的种类,也拓展了监测仪器、设备的型谱并提升了监控装备的使用环境,但新型的国产化监测仪器、设备较少,主要依赖进口。

(2) 自动化程度不断提高。随着信息技术的广泛应用以及引进的先进仪器、设备,自动化水平明显提高,水文自动监测工作不断完善,自动测报系统覆盖率逐步提高,传感器、视频监控技术已深入应用,提高了水利工程的监控水平。各种通信方式也已经成功应用于水文数据的传输,包括各种有线、无线通信方式和卫星通信。

表 1 国内外主要水文监测仪器、设备发展情况对比表

分类	国内	国外	国内外差距
流速、流量、流向仪器	转转子式流速仪和电磁式流速仪技术成熟、应用较广，但采用声、光、电等技术研制的流速仪还处在起步阶段。流向仪器有部分定型产品，但可靠性和测量精度不能满足使用要求。	转转子式流速仪在国外普遍使用，采用声学、电波等技术研制的流速仪已大量推广应用，近年来，大量的国外新型测流仪器进入国内。	除转子式流速仪、电磁式流速仪外，其他流速流量仪器基本依靠进口，在技术上存在较大差距，关键技术掌握在国外少数厂家手中。
泥沙测验仪器	泥沙采样器研究较多，并有部分定型产品。泥沙仪器中悬移质泥沙自动采样系统能实现自动采样；在线测沙仪器有同位素测沙仪、振动管测沙仪、超声波测沙仪等产品。这些产品处在不同的发展阶段，尚不十分完善。	有多种泥沙测验仪器，但整体适应性不强，无法进行推广应用。采用积时式采样器等先进仪器设备，如振动测沙仪、激光测沙仪等测量精度较高，振动测沙仪可连续测取泥沙数据。	国内相应研究单位较少，整体技术上与国外差距较大，主要表现在研发投入上。
水质监测仪器	在线监测仪表稳定性和可靠性较差，无法满足地表水在线监测要求。	在线监测仪表稳定性和可靠性较好，基本能够满足地表水在线监测要求。	在技术上与国外还存在明显差距，主要表现在仪器的精度、稳定性和可靠性上。
水位测量仪器	电子水尺、水位测针、浮子式水位计、压力式水位计、超声波水位计和雷达水位计等常用水位测量仪器发展较成熟，其技术已接近国外水平，价格比国外仪器低很多。	国外水位测量仪器品种齐全，性能优异，尤其是压力式水位计和雷达水位计已在国内外大量使用。	国内在新型水位仪器的设计和制造工艺上与国外还存在着较大的差距，导致精度和可靠性不如进口产品，核心器件依赖进口。
降水观测仪器	雨量器、翻斗式雨量计、虹吸式雨量计等较成熟，已达到国外同类水平；称重式雨量计、光学雨量计、雨雪量计等有定型产品，但产品不够完善；区域面雨量监测也做了一定的研究。	称重式雨量计、雨雪量计等已大量推广应用；区域面雨量监测研究较多，应用较广。	传统雨量仪器与国外没有差异，但在称重式雨量计、雨雪量计等产品研制上还存在较大差距。
蒸发观测仪器	人工观测仪器成熟，全自动蒸发观测仪器有定型产品，但其稳定性和精度还有待提高和完善。	人工观测仪器成熟，全自动蒸发观测仪器有成熟产品，使用较广。	全自动蒸发仪器在稳定性和可靠性等方面还存在一定差距。
土壤水分监测仪器	频域法、时域法、中子法、张力计法等土壤水分仪器均有定型产品，但稳定性差、土质适应性不强，尚难推广应用。	产品种类较齐全，性能相对稳定，同样土质适应性不强。有利用卫星遥感技术进行土壤水分大尺度监测的应用。	与国外产品的差距主要在测量稳定性和可靠性上。
防灾减灾监测与预警	防灾减灾监测技术及设备较完善，且稳定可靠，在装备智能化水平和应急监测技术等方面有待提高。物联网、云计算等技术实现多平台、多信息系统的整合和应用刚刚开始。洪水预报处于国际先进水平，但防灾减灾决策支持系统有待提高和完善。	有专业的科研团队、大量的监测数据、高效的管理机制等，保障防灾减灾监测与预警的权威发布，有完备的防灾减灾决策支持系统。	在监测技术、监测方法上存在差距。
水文关键要素测试技术	测试技术和测试手段还不完善，计量体系不健全，相应的检测仪器和设备还不完备。已颁布的计量检定规程只有浮子式水位计、超声波测深仪、转转子式流速仪、明渠堰槽流量计。	有较完善的测试方法和测试手段，可对监测仪器进行计量检定。	在检测方法、测试标准及测试技术上还存在较大差距。

(3) 新技术、新原理、新手段应用取得了进展。随着科技的发展, 新技术、新原理、新手段应用于水文自动测报领域, 通讯卫星、3S 技术(RS、GPS、GIS)、无人机、雷达等技术和手段, 在洪涝灾害、抗洪抢险、旱灾、水质监测等领域得到一定的应用, 取得了可喜的进展。我国在此方面的研究虽然也有较大的发展, 但取得的科技成果还较少, 应用效果还无法满足现实的需要。

(4) 新技术、新原理自主研发的新型监控装备还存在着明显的差距。在取得发展和进步的同时, 在新技术应用, 尤其是利用新技术、新原理研发的先进装备方面, 与国外相比存在着较大的差距。特别是在水量、水质、防灾减灾监测和土壤水分仪器等方面差距明显。流量、水质等高端自动观测仪器、设备主要依赖进口, 成本高, 不利推广应用和普及, 同时也增加了建设成本。

4 新技术研究与应用展望

随着信息化的发展, 利用激光、超声波、雷达、3S 等高新技术和原理, 在降水、测流、土壤墒情、水质等要素的监测方面进行了大量的应用基础研究和开发应用。

(1) 智能化水文综合监测装置的研发与应用

需要针对水情遥测、水资源监测、灌区水量监测、地下水监测、应急水文监测等个性化应用环境特性, 开发具有完全自主知识产权, 并具有国际先进水平的智能化水文综合监测装置, 逐步取代老产品(水文遥测终端)。通过数据采集接口、通信信道接口的通用性设计与可配置设计, 完成适用于不同专业(水情遥测、水资源监测、地下水监测、应急水文监测)需求、不同信道(VHF/UHF、公网短信、GPRS/CDMA、卫星等)通信、不同应用(高原、沙漠、高寒、沿海、高温等)环境使用的高集成综合监测装置的研发。在统一性、通用性、实用性、可靠性等方面都有大幅度的提高, 从而推动我国水利信息化监测信息获取的技术产

品进入一个新的台阶, 提高我国水利信息监测信息获取的技术产品的国际市场竞争力, 提高我国的水利信息监测的技术水平。

(2) 基于 4G 的水利工程智能监控调度技术研究与应用

基于物联网和 4G 通讯的水利工程智能监控调度创新应用研究是将无线传感技术与物联网技术相结合, 实现泵闸等水利工程监控的智能识别、判断与决策; 利用 4G 通讯技术实现监控图像的高速、高质量传输, 并将优化调度决策、水利工程安全计算、水量调配等模型嵌入监控调度系统, 形成新型监控调度系统, 实现水利工程监控与调度的智能化, 进一步提高我国水利工程监控调度智能化水平, 提高我国水资源的高效利用、保护和管理水平。

(3) 建立一个信息化与专业化深度融合的水利智慧化体系

利用物联网、云计算、移动互联、水循环定制模拟、决策分析优化等信息技术, 集“多源数据采集与信息存储、大数据融合与知识发现、智能辅助决策与综合调度”为一体, 建立“高效感知、互联互通、资源共享、业务协同、数字仿真、智能应用”的智能管理体系, 促进信息化与水利深度融合, 实现控制智能化、决策科学化、管理协同化和服务人性化。

参考文献:

- [1] 孙增义, 吴跃, 等. 水情自动测报技术基础及其应用[M]. 中国水利水电出版社, 1999.
- [2] 骆兰. 水情自动测报系统研究进展[J]. 河南水利与南水北调, 2011(14): 4-5.
- [3] 王乐. 水利工程自动化控制应用趋势[J]. 科技创新导报, 2011(10): 96.
- [4] 舒大兴. 水文信息系统现代化研究[D]. 河海大学, 2005: 24-25.

(责任编辑: 徐丽娜)