

长江水文测报 自动化技术研究

◎ 王俊 熊明 等 编著



ChangJiang
ShuiWenCeBao
ZiDongHua
JiShuYanJiu



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

长江水文测报自动化技术研究

王俊 熊明 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是对长江水利委员会水文局数十年来水文测报自动化技术研究及实践经验的全面总结,共分12章,全面介绍了水文测报的设计原则与总体要求,详尽阐述了雨量、水位、流量采集技术,水情信息传输技术,测站测报控集成技术,水文测报计算机网络技术,水情信息集成技术,实时水情数据库,相应流量自动报讯技术,并对水文测验方式的创新进行了展望。

本书可供水利、交通、建筑等领域从事水文测报的技术和管理人员使用,也可供相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江水文测报自动化技术研究/王俊等编著. —北京:
中国水利水电出版社, 2009
ISBN 978-7-5084-6413-8
I. 长… II. 王… III. 长江流域-水文测验-自动化技
术-研究 IV. TV882.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 049425 号

书 名	长江水文测报自动化技术研究
作 者	王俊 熊明 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 19.5印张 462千字
版 次	2009年10月第1版 2009年10月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	59.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

长江水利委员会水文测报自动化研究工作始于 20 世纪 70 年代中期。从 1977 年首台水位遥测仪的诞生，到 1983 年葛洲坝水位遥测系统投产运行；从 1984 年、1988 年相继引进美国 SM 公司水文遥测设备并在陆水流域、大宁河流域成功安装运行，到 YAC9100 系列水文遥测设备的自主研发并在荆江河段和鸭河口、漳河、富水等大型水库推广运用，历经了自主研发、引进、消化、吸收，到再创新的漫长过程。进入 21 世纪，中日合作“汉江中下游洪水预警系统”，中澳合作“长江防洪与管理系统”，国家防汛指挥系统水情分中心示范区相继启动建设，水文测报自动化进入加速发展阶段。

从已建测报系统的实际运行情况看，尽管在防洪报讯中充分体现了其信息量大、实效快等优势，并发挥了重要作用，但自动测报系统与人工报讯体系并存、“防洪报讯”与“水文基本资料收集”脱节的问题普遍存在。究其原因，主要表现在以下方面：首先是观念问题，主要反映在对“人工观测”与“机器观测”谁更接近“真值”的疑惑与争论；其次是技术细节问题，主要体现在系统的稳定性、可靠性，以及与现行技术规范的部分冲突和遥测信息的整编等问题；另外，系统运行维护及管理的保障措施不到位，也是原因之一。为此，长江水利委员会（以下简称长江委）水文局在对各阶段分期建设的测报系统进行全面整合的基础上，重点对相关技术细节和管理问题进行了系统研究，并于 2003 年、2004 年开展了大规模的同步比测试验，2005 年 7 月 1 日，长江委水文局 118 个中央报讯站在国内率先实现自动报讯，并较好地解决了遥测资料整编问题；流量实时在线监测技术研究也取得重要成果。“长江防洪报讯自动化技术研究与实践——长江委水文局 118 个中央报讯站自动报讯技术及创新”获 2007 年

度湖北省科技进步一等奖；“声学多普勒流量测验关键技术开发研究”获 2007 年度大禹水利科学技术二等奖，其主要成果被水利行业标准《声学多普勒流量测验规范》(SL 337—2006) 和国际标准 ISO TC 113 采纳。

本书是对长江委水文局数十年来水文测报自动化技术研究及实践经验的全面总结，是长江委水文局几代科技人员研究成果的结晶。全书共分十二章。第一章为绪论，主要介绍实现水文测报自动化的目的、意义及其方法。第二章介绍了水文测报系统的设计原则与总体要求。第三、第四、第五章分别介绍了雨量、水位、流量采集技术，着重介绍各类先进仪器设备在长江上的比测试验及改进研究。第六章系统分析了由水文遥测站至水情分中心各种通信手段应用的优缺点，并结合长江实际研究了水情测报自动化系统中各种通信组网方式联合运用方法。第七章介绍了测站测报控一体化集成技术，并叙述了针对中国特点研制的 YAC2000 自动监控及数据采集终端 (SCADA) 和 YAC9900 多路径遥测终端。第八章通过网络技术的发展过程分析，结合长江流域的特点，设计了各水情分中心至流域水情中心的网络传输方案，并提出了网络水文站的概念、设计原则及应用实例。第九章介绍了各类水情信息处理和集成的原则，给出了信息集成的几个关键技术的研究成果。第十章介绍了各种水情数据库的特点及应用实例。第十一章根据长江流域水文特性，总结了各类水文站相应流量自动转换处理技术，并将其成功地运用于流量的自动报讯。第十二章对长江委水文局实施水文测报系统后，针对水文测报管理模式，测验方式方法的创新进行了总结和展望。

本书的第一、第二章由熊明、陈守荣撰写，第三至第七章由韩友平、叶秋萍撰写，第八章由史芳斌、方茂武撰写，第九、第十章由欧阳春、邹冰玉撰写，第十一章由周新春、邹冰玉撰写，第十二章由熊明撰写。全书的编撰工作由王俊主持，熊明负责组稿、统稿，王俊、程海云、陈金荣承担审定。全书的图表、文字工作由吴九红完成。

本书在编撰中参阅了大量相关文献以及长江委水文局在各阶段的相关研究成果，在此谨致谢意。在成果的研究及本书初稿形成过程中，英年早逝的周凤珍付出了艰辛的劳动，此著也是对逝者的最好纪念。由于本书涉及专业面广，未免挂一漏万，不足之处，敬请专家和读者批评指正。

著 者

2009 年 1 月

于武汉

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 水文自动测报的目的和意义.....	1
第二节 水文测报的内容和方法.....	4
第三节 长江水文测报的发展历程.....	5
第四节 长江水文特点及典型大洪水报讯.....	9
第五节 长江水文测报自动化的难点与创新	12
第二章 水文测报系统的设计原则与总体要求	18
第一节 系统的功能和规模	18
第二节 信息采集技术	20
第三节 信息传输技术	22
第四节 信息集成技术	25
第五节 中心软硬件平台技术	26
第三章 降雨量采集技术	29
第一节 雨量观测方法及仪器	29
第二节 雨量自动采集技术研究	40
第三节 实现长江雨量自动采集的技术措施	42
第四章 水位采集技术	44
第一节 水位观测方法及设备	44
第二节 水位自动采集技术研究	70
第三节 水位自动采集精度比测试验	76
第五章 流量采集技术	84

第一节	流量测验方式	84
第二节	流量测验仪器	93
第三节	流量自动采集技术研究	108
第四节	流量自动监测应用实例	125
第五节	泥沙和水质自动化监测技术简述	135
第六章	水情信息传输技术	137
第一节	常用通信信道	137
第二节	工作体制	157
第三节	长江水情信息传输技术研究	158
第七章	测站测报控集成技术	165
第一节	现有水文自动测报站存在的问题	165
第二节	水文自动测报站数据采集终端的研制	166
第三节	测站集成	172
第四节	测站集成技术应用实例	183
第八章	水文测报计算机网络技术	191
第一节	计算机网络技术	191
第二节	长江水文测报计算机网络的发展及现状	201
第三节	长江水文测报计算机网络的技术方案	204
第四节	长江水文测报计算机网络的集成	211
第九章	水情信息集成技术	220
第一节	水情信息现状分析	220
第二节	信息集成目标和原则	222
第三节	信息集成系统设计及实施要点	224
第四节	信息集成关键技术研究	227
第五节	水文自动测报信息集成实践	233
第十章	实时水情数据库	248
第一节	数据库的几个概念	248
第二节	水情数据库发展历程	249
第三节	实时水情数据库建设目的和原则	251
第四节	水情数据库设计	253
第五节	长江流域水情数据库应用实践	258
第十一章	相应流量自动报讯技术	268
第一节	概述	268
第二节	水位流量转换模型研究	271
第三节	水位流量转换软件开发	285
第四节	应用实践	294

第十二章 水文测验方式创新与展望..... 299

 第一节 水文测验管理模式的转变..... 299

 第二节 水文测验方式方法创新展望..... 300

参考文献 302

第一章 绪 论

第一节 水文自动测报的目的和意义

水文是水利的基础，是防汛抗旱的耳目和参谋，水文测报则是水文最基础的工作。水文要发展，要与时俱进，适应经济社会特别是防汛抗旱及减灾的要求，就必须借助于各项先进的科学技术，实现水文测报自动化，以服务于国家现代化特别是水利现代化事业。

水文测报自动化是水文现代化的标志之一。水文测报自动化将极大地减少水文信息采集、资料整理与报讯等工作中的人力与物力，并能保证水文测报信息的准确性与时效性。实施水文测报自动化优点主要体现在：一是可以提高水情信息采集与传输的及时性、可靠性，使水文职工从繁重的水文测报工作中解脱出来；二是能提高水情信息的时效性，增长洪水预报的预见期，为防汛调度决策赢得时间。

洪水灾害是人类面临的主要自然灾害之一。洪水泛滥将会导致重大人员伤亡、财产损失，对经济社会的发展与人类生存构成了威胁。在历史上，由于水文信息掌握得不及时，洪水灾害给国家、人民生命财产安全带来了不可估量的损失，所造成伤害已成为挥之不去、抹之不平的记忆。

长江洪灾从汉代起就有简略的记载，隋代以前，长江中下游沿江平原人烟稀少，两岸滞蓄洪水的湖泽多，水大灾情小，虽洪水泛滥而人水相安。盛唐以后，随着人口的迅速增加，洲滩围垦筑堤活动日趋增多，发展成富庶的鱼米之乡，人争水地、水致人灾的局面日益突出，洪灾逐渐严重。据历史记载，自公元前 185 年～1911 年的 2096 年间，仅长江中下游就发生了较大洪灾 214 次，平均 10 年一次。其中唐代平均 18 年一次，宋、元时期平均 5 年一次，明、清时期平均 4 年一次。19 世纪中叶，连续发生了 1860 年和 1870 年两次特大洪水。20 世纪以来，长江又发生了 1931 年、1935 年、1954 年、1998 年的特大洪水，历次大洪水都造成了重大的损失。1931 年，沙市至上海沿江城市多被水淹，武汉市受淹百日，淹没农田 300 多万 hm^2 ，受灾人口 2800 多万人，死亡 14.5 万人。1935 年，汉江大水，受灾面积 150 多万 hm^2 ，1000 多万人受灾，死亡 14.2 万人。1954 年，长江大水，汉口最高水位达 29.73m，超出 1931 决堤水位 2.80m，虽经全力抢护，保住重点堤防和武汉市的安全，但受灾农田仍达 300 多万 hm^2 ，受灾人口 1800 万人，死亡 3.3 万人。

进入 20 世纪 90 年代，长江干流又先后于 1991 年、1995 年、1996 年、1998 年、1999 年发生较大以上的洪水及主要支流汉江 2003 年、2005 年大水，无一不给长江防洪带来巨大的压力。

如何从容面对洪水，使人类与洪水和谐相处，有赖于人类对洪水在未来一定时期发展趋势的准确把握和正确决策。在自然界，洪水现象及其要素（如水位、流量、降水量等）遵循其内在的运动规律，每时每刻都在变化和演进，当人类掌握了这些规律，即由采集到

的水雨情信息, 河流洪水流量的变化过程, 就可以预测河流洪水的发展趋势、演进过程与河流沿程水文要素特征值变化, 为洪水调度、减少洪灾损失的决策提供重要依据。而水位、雨量、流量等水文信息的及时采集、传输又是准确进行水文预报的关键。

1998年8月16日, 长江宜昌出现第六次洪峰, 根据预报, 沙市站水位将超过45.00m, 按照长江防洪预案, 荆江分洪区有可能启用。在决策荆江是否分洪的关键时刻, 长江水利委员会水文局(以下简称长江委水文局)在1h之内, 经对上下游洪水水情进行认真分析, 并对未来洪水发展趋势等6方面的问题进行研究, 在规定的时间内向国家防总进行了全面的、客观的回答, 为国家防汛抗旱总指挥部决策提供技术支撑, 避免了启用荆江分洪区带来的巨大财产损失。要在1h内全面、客观地回答这些问题, 没有及时准确的水位、雨量、流量等水文信息作支撑, 是无法想象的。1998年的水文信息采集、传输是采用人海战术来完成的, 各级水文部门为此投入了大量的人力, 采取轮换工作制, 不间断地进行水位、雨量观测和流量测验, 其间曾每30min观测一次水位、雨量, 每30min采用电话方式将水情信息直接向国家防总和地方各级防总报送。

1998年长江的洪水与1931年、1954年的一样, 都是全流域性的大洪水, 但1998年的洪水所造成的损失即洪水淹没范围和因灾死亡人数比1931年和1954年要少得多, 1998年长江干堤仅九江大堤一处决口, 长江中下游干流和洞庭湖、鄱阳湖淹没总面积仅482万亩, 波及人口229万人, 受灾严重的中下游五省仅死亡1562人, 且大部分死于山区的山洪和泥石流。

纵观历史与现实, 水文测报对防洪减灾发挥了极其重要的作用。如新中国成立后发生的1954年、1964年、1975年、1981年、1983年、1991年、1995年、1996年、1998年、1999年等大洪水年, 尽管当时条件下的水文信息采集、传输等自动化程度不高, 但经过众多水文工作者的顽强拼搏, 借助于当时社会提供的技术资源, 将水情信息报送至有关防汛指挥部门, 基本保证了当时水文预报对水文信息的基本需求, 为防洪抢险调度提供了大量的水情信息。1954年汉口最高水位7天预见期预报与实际发生值基本不差; 在1981年7月长江上游特大洪水, 预见期60h的寸滩洪峰流量预报, 误差仅为1.8%, 预见期5天的沙市洪峰水位预报, 误差仅0.07m; 1996年洪水螺山站水位出现超历史纪录, 4天预见期预报误差仅0.02m; 1998年大洪水, 沙市的超历史纪录的洪峰水位预报误差为0.08m; 2003年9月, 汉江流域发生近20年来来的大洪水, 通过准确地预报汉江上游、汉江中下游的洪水, 并据此对丹江口水库进行科学合理的调度, 避免了启用杜家台分洪区带来的损失, 实现了丹江口水库防洪和蓄水发电的效益最大化。

规避洪水风险, 有两种途径: 一是防洪工程措施; 二是防洪非工程措施。水文测报、水情预报等则是防洪非工程措施的重要组成部分。随着经济社会的发展, 传统水文测报运行模式明显表现出不适应, 主要体现在:

首先, 人工测报的时效性、效率已不能满足经济社会发展的需要。长江流域防洪形势历来十分严峻, 特别是长江中下游平原是洪水威胁最为严重的地区。仅以汉江为例, 1983年、2003年、2005年汉江大水, 无一不给汉江中下游带来巨大的防洪压力, 而过去普遍采用的人工报讯方式, 其时效性、效率已不能满足经济社会发展需要。

其次, 实施洪水风险管理的科学理念, 对水文测报提出了更高的要求。实施洪水风险

管理,要有对洪水发展趋势的正确判断,需要根据洪水发生频率,洪水水力特征(水深、淹没历时、流速、洪水到达时间等)和洪水期望损失等,进行洪水风险程度评价,从而确定洪水风险管理的策略,充分地变水害为水利,使洪水资源化。

第三,不同时期建设的水文测报系统建设标准不一致,运行经费无保障,影响了整体效益的充分发挥。长江1998年大水后,国家加大了防洪非工程措施的建设力度,在长江流域相继启动了如国家防汛指挥系统水情分中心建设项目、中澳合作长江防洪与管理项目、中日汉江中下游区间洪水预警系统建设项目等,由于项目投资规模、合作伙伴、建设时间等不同,导致各项目采用的技术手段、标准体系、仪器设备、数据采集与存贮格式等各有差异,不同项目间的兼容性较差。每一独立项目,其规模和覆盖范围又不能满足整个长江防洪报汛的需要,成果不能有效转化为生产力,影响了整体效益的发挥。

针对上述问题,长江委水文局为了提高水文测报能力,充分利用各项目建设的仪器设备,通过整合现有资源,提出了在全国率先实现全流域水文测报自动化的目标。

第一,全面提升水文测报的自动化能力,为防洪减灾决策提供水情信息支撑。虽然1998年以后通过水利工程建设和堤防加固,抵御洪水的能力大为提高,但防洪减灾依然是江河治理的中心工作。实现水文测报自动化后,水位、雨量等信息实现自动采集、自动存贮、自动传输,可使水情信息在更短的时间内传输给国家、流域及有关省(市)的防汛指挥部门,并根据水情的变化实施合理的洪水调度措施,减少洪水所造成的损失。

第二,增加水文信息的使用价值,提高洪水风险管理水平。水文信息是洪水风险管理的基本要素,尤其是在洪水演进过程中,及时准确地掌握河流洪水传播的时间及水位、流量的变化趋势,是实施洪水风险管理的重要依据。水文测报自动化在增强水雨情信息时效的同时,可实现分中心、流域中心对测站水文信息的召测,在一定程度上增加水文实时数据的了解,提高了对洪水几率的判断,能有效地将防洪与兴利相结合。

第三,提高为水利建设、经济发展的服务质量。以网络平台技术为支撑的水文测报自动化具有3个突出特点:

(1)时效性快。水文测报自动化告别了手工操作的通信方式,实现了自动报汛,信息传输和处理速度大幅度提高。

(2)差错率低。实施水文测报自动化后,报汛的各个环节均不需人工干预,减少了出错的机会。

(3)效率高。水情信息直接从自动采集进入自动传输流程,节省了人工观测、报文拟定、报文校核等大量中间环节。由于提高了水情信息的及时性和准确率,为水利工程、社会经济的发展将有较大的提高。

第四,促进水文监测体制的变革。长期以来,我国水文站网管理模式大多为几人或数十人管理一个水文站,与西方一人或少数几人管理数十个水文测站形成极大反差。长江水文同样存在效率不高的问题,主要原因就是水文测报自动化程度不高。水文测报自动化将在很大程度上解决这一问题,它所建立的水情分中心管理水文测站水情的模式,能为实现水文巡测——变哨兵为侦察兵创造条件,并能促进传统水文的测报方式、服务方式、管理方式的转变。

第五,体现“以人为本”的人文关怀。水文测报是一项艰苦的工作,大多数水文测站

地处偏僻的山区，水文测站职工的工作环境、生活环境差。实施水文测报自动化，可以减轻水文职工的工作强度，使水文职工从繁重的测报工作中解脱出来，更重要的是可以减少水文测站的水文职工，使大多数水文职工能到勘测队或水情分中心工作，改善了水文测站职工的工作、生活环境，提高了职工的生活质量。

第二节 水文测报的内容和方法

水文测报是水文测站的基本工作。水文测站除完成水文基本资料的测验、资料整理分析、资料整编外，还应承担水情信息的测报任务。一般来说，水文测报主要是指测站采集水位、降水量及流量等基本信息，并向流域水情中心、国家防汛抗旱总指挥部、有关省（自治区、直辖市）防总报汛；流域水情中心则根据流域内各水文测站的报汛资料，完成水情预报，对外发布有关信息，为各级防汛决策部门、流域内工农业生产、国民经济各行业建设提供水情信息服务，为防洪决策、洪水风险管理、生产调度、水库的运行管理、分蓄区的运用等提供科学指导和决策的依据。

一、水文测报的内容

水文测报包含水文测站的水情信息观测与通信传输、水情中心作出预报两个方面。对水文测站而言，水文测报的主要内容有：水情信息的采集、整理、处理与分析，水情信息报文的编制与通信传输；对水情中心来说，则根据所属各水文测站所报的水情信息进行分析研究后，对水情发展趋势进行评估与预报，并向社会公众发布水情预报信息。

（一）水情信息的采集与整理

水情信息的采集分两大类：一是有关河流水情信息的采集；二是有关气象信息的采集。河流水情信息的采集包括降水、水位、流量以及河流特征等信息；气象信息采集包括常规天气观测资料（包括地面、高空多个层次）等信息。

（二）水情信息的处理与分析

水文测站完成水情信息的采集，并进行必要的整理与分析后，向有关水情分中心或水情中心报出；水情分中心收到水文测站的各类报汛信息后，对所有水情信息进行处理与分析，确认水情信息的可靠性后立即向流域水情中心报出。

（三）水情趋势的预测与评估

水情趋势的预测与评估按项目划分包括降雨预报和水文预报，降雨预报为水文预报服务。水情预报按时间跨度分，包括长期、中期、短期预报3种。

（四）水情信息的发布与咨询

对水情信息未来变化趋势作出预测与评估后，就要及时向社会发布水情预测评估成果，即向有关防洪指挥决策部门、社会公众、有关生产部门，提供水情变化趋势预测成果，并随着洪水的不断演进和各种水文要素的变化，随时修订不同类型的水情报预报成果。

二、水文测报方法

水文测报方法包括水文信息采集方法、信息传输方法、信息处理及预报作业方法等

内容。

(一) 信息采集方法

20 世纪 50 年代后期开始研制生产水位、雨量自记设备,经长期摸索与改进,至 20 世纪 80 年代才逐步开始较大规模的推广应用,而且也仅限于自动采集,模拟记录。20 世纪 90 年代,随着信息技术的发展,水雨情信息的数字化采集技术快速成长。目前,水位、降水量信息的采集已基本实现了自动采集、固态存贮;使用流速仪进行流量测验的水文站,基本实现了计算机智能控制,即自动采集流速仪信号、自动计时、自动计算流量成果;长江干流主要水文站采用走航式声学多普勒流速仪进行流量测验,个别水文站采用水平式或垂直式声学多普勒流速仪实现了流量实时在线监测。

(二) 信息传输方法

水情信息传输工作,经历过从水文测站职工到邮电局(所)拍发水情电报到配置无线电台、超短波电台报讯,从电机报送水情信息到语音电话、X.25 报讯等过程。目前,水情信息传输仍然由人工观测或从自记设备上读取水雨情信息,查读相应流量或整理实测流量,观测人员按水情情报预报拍报办法编制水情报文,报文经校核人员校对,然后通过上述各类传输通道,将水雨情信息传送至水情预报部门与相关防汛指挥、决策部门。

(三) 信息处理与预报作业方法

20 世纪 50 年代信息处理与预报作业方法全部依靠手工操作,预报方法主要依靠相关图表查算,需要大量的人力,且预报发布时间周期长。20 世纪 60~70 年代,水文预报技术从产流、汇流机制分析计算和理论研究入手,将国外的某些传统技术方法如单位线、洪水演算模型等引进、吸收消化,并结合实际予以改进投入作业实践。20 世纪 80 年代后,随着计算机技术的应用和国外预报技术的进一步引进,洪水联机实时预报系统、专家交互式洪水预报系统等相继使用。至 21 世纪初,随着国际合作等的进一步加强,预报会商和水情信息服务系统以及基于 WEB/GIS 的水文和水力学相结合的洪水预报系统逐步投入使用。

第三节 长江水文测报的发展历程

长江流域水文测验工作,最早见于秦代岷江都江堰立石人以记水位。正式有连续记录的水位站自 1865 年(清同治四年)起,在长江干流及少数支流的重庆、万县、宜昌、沙市、城陵矶、汉口、九江、芜湖、南京、镇江、上海等地陆续设立海关水尺,逐日定时观测水位,并将记录整理成水位公报。

早在 2000 多年前,中国人民就在防治水害、兴修水利和农业生产中开始关注并学会掌握水雨观测规律。汉、唐、宋、明、清各代都明令全国各地随时报告雨、洪、旱、虫情况。如清光绪年间,成都水利府规定:都江堰每三日、五日或每旬采用飞马方式从灌县到成都报告宝瓶口水划高度。

一、1949 年前水文测报

(一) 水文测验

上海海关曾于 1860 年在吴淞张华浜设尺测潮位,但未见连续系统资料。长江流域正

式有连续记录的近代水位站是 1865 年起,在长江干流及少数支流上陆续设立的海关水尺,汉口(1865 年)、宜昌(1877 年)、上海(1890 年)、重庆(1892 年)、芜湖(1900 年)、苏州(1900 年)、沙市(1903 年)、城陵矶(1904 年)、岳阳(1904 年)、九江(1904 年)、镇江(1904 年)、长沙(1910 年)、南京(1912 年)、万县(1917 年),逐日定时观测水位,并将记录整理成水位公报。汉口站正式连续观测水位并记录,是长江流域最早,也是全国最早设立的近代水位站。

清末至民国时期水文测站的设置,多由各地区、各部门根据本身需要而定,自 1865~1949 年,长江流域先后设立水文站约 280 个,水位站 286 个,水位、雨量观测为人工观测。至 1949 年,全流域仅有流量站 104 个,水位站 219 个,雨量站 19 个,且分布不均匀,测验项目少,成果精度较差。

(二) 报讯

应用电话、电报传报水情、雨情,长江流域最早开始于 1930 年。1930 年春,国民政府中央研究院令流域内部分水情信息站点,每日将雨量等观测结果分上下午两次电报中央研究院,开近代报讯之先河。1933 年,扬子江水道整理委员会利用沿江各地电报局及无线电台,免费传递水情信息,并由中央广播电台每日播报水情信息。

1934 年,国民政府正式通知各报讯站点所在地区邮电局,免费拍发水情电报,使电报报讯制度化。1936 年全国经济委员会制订各河流报讯办法计 16 条,规定每日 8 时及 16 时各发报一次,报告水位流量;每日 9 时电报一次雨量;同时对电码形式也作出了规定,使水情报讯工作逐步规范。

抗日战争期间,由于全国大部分地区沦陷,报讯工作受到很大削弱甚至中断。1946 年 1 月,行政院水利委员会重新颁发全国报讯办法 18 条,规定了水位、雨量、流量等拍报要求和电码形式,通知全国报讯站 1946 年起执行。

1949 年新中国成立前夕,长江流域报讯站仅 20 余个。

二、1949 年后的水文测报

(一) 水文站网

1951~1952 年,长江委会同有关省(自治区、直辖市),为适应长江中下游防洪排渍工程的需要,在长江中游干流、汉江中下游干流及平原湖区,恢复、新建了部分控制性水文测站;1953~1955 年,为配合汉江流域规划、荆北放淤规划、洞庭湖整治、长江上游水利枢纽选点和三峡区间暴雨洪水分析的需要,长江委又在长江上游、汉江、洞庭湖区等增设了部分测站。1956 年在水利部统一部署下,长江委会同流域内各省编制了第一个“长江流域基本水文站网规划”。

1957~1959 年,根据第一次长江流域水文站网规划,为了较全面地收集水文基本资料,以适应治理开发长江及国民经济的需要,除在长江源头地区首次勘查设立新站外,在测站种类和观测项目方面有较大的扩展。后又经历了 1964 年的站网规划分析验证,1978 年充实调整,1986~2000 年站网发展规划等,长江干流和主要支流的水文基本站网建设一直稳定发展。同时,为水利水电项目的规划、设计、施工和运行的需要,还设立了一批专用站网。

新中国成立初期,长江流域水文站网发展较快。至 1955 年底,全流域水文测站达

1599 个(长江委 358 个),其中水位站 480 个(长江委 201 个),雨量站 674 个(长江委 42 个),水文站 460 个(长江委 109 个),但主要还处于恢复、调整阶段,增设站网也是重点考虑防洪的迫切需要。此时期,水文测站分布不平衡,干流多、支流少,中下游密、上游稀,平原地区多,山区少。例如干流站点多集中在重庆至汉口之间,以防洪为重点的荆江河段最密,平均 20km 就有一站。石鼓以上则无测站,上游地区有些集水面积大于 5000km² 的支流也无控制站。

1958 年底,全流域包括各省(自治区、直辖市)共有水文测站 3047 个,其中水文站 703 个,水位站 485 个,雨量站 1832 个,实验站 27 个。

1962 年后,根据“巩固调整站网,加强测站管理,提高测报质量”的水文工作方针,全国对水文测站进行了持续的充实调整。至 1990 年底,全流域共有水文测站 6872 个,其中水文站 936 个,水位站 568 个,雨量站 5368 个。属长江委水文局管理的水文站 84 个,水位站 165 个,雨量站 22 个。

至 2006 年底,长江流域有水文测站 5422 个,其中水文站 853 个,水位站 533 个,雨量站 4036 个。属长江委水文局管理水文测站 404 个,其中水文站 116 个,水位站 264 个,雨量站 24 个。

在上述水文站网中,长江流域中央报讯站 1045 个,地方报讯站 4000 余个,属长江委水文局管理的中央报讯站 118 个。

(二) 水文观测

1. 水位观测

新中国成立初期至 20 世纪 60 年代,水位采用人工观测,通过设水尺观测水位。少数站采用自记水位计,均为国外产品,且多为日记式。20 世纪 50 年代后期,我国开始研制生产自记水位计,经过不断改进,到 20 世纪 80 年代,长江流域水文部门研制的自记水位观测仪器种类很多,形式多样。按传感方式分为浮子式、压力式、超声波式、接触式等类型;按记录方式分为模拟(图像)式和数字式两种;按记录周期分,除少数为日记外,有周、月、季和半年的长期自记。其中浮子式仪器的应用较为普遍,它的结构简单,操作、维修、养护方便,但因测井易被河流泥沙淤塞,且有许多测站由于地形条件无法建测井,故近年来压力式水位计、超声波式也受到重视和应用。20 世纪 90 年代利用电子技术实现了水位信息的固态存贮与远距离传输,其自记周期可达半年以上。浮子式、压力式、超声波水位计是目前常用的水位观测仪器。

2. 降水量观测

1949 年初期,降水量观测大多采用直径为 20cm 的雨量表(高出地面 0.7m)。20 世纪 50 年代推广前苏联经验,有一部分站在标准雨量器外加防风圈,器口高出地面 2m;少数站采用国产仿苏 M—1 自记雨量计(日记式)。1953 年引进和创造了多种形式的降雨警铃,能在夜间降雨时自动响铃,便于人工观测。

20 世纪 70 年代起自记雨量计逐年增加,仪器种类由虹吸式(仪器高出地面 1.2m)、翻斗式(高出地面 1.2m),翻斗式雨量计又分单翻斗与双翻斗两种类型。

20 世纪 90 年代借助翻斗式雨量计,将雨量记录信息利用电子技术实现固态存贮,其自记周期可达半年以上,是目前常用的降雨观测仪器,目前,长江流域内的基本雨量站的

自记化程度已达 90% 左右。

3. 流量测验

长江流域自 1922 年开始近代测流，直到新中国成立初期，一直多用浮标法，流速仪法施测很少，且多在低水时才用。

1955 年起，长江流域开展了流速仪法进行高速测验的试验。借助于水文缆道，利用水作导体与悬吊流速仪的钢丝绳作回路传输流速仪的旋转信号，实现了“无线测流法”，解决了高流速测验中皮线易被冲断无法测速的技术难题。经过 1956~1957 年的努力，流速仪测流的主要技术难关基本上有了解决办法，此后在全流域普遍采用，而浮标测流则多作为辅助性方法。

到 20 世纪 50 年代末期后，全国水文系统大都采用流速仪进行流量测验。流速仪也是不断改进与完善，转子式流速仪主要有旋杯、旋桨式两大类型。从流速仪外观由钢质改进到塑料，不断提高流速仪的流速测量范围，还提高测量精度。

20 世纪 90 年代末期通过引进技术，部分测站陆续使用声学多普勒流速仪进行流量测验，彻底改变了流速仪法定位、定点测验的方法，只需安装声学多普勒流速仪的测船沿断面往返两个测回，就能将断面流量测出。

(三) 报讯

新中国成立初期，主要依靠邮电系统电报业务传递水情信息。在重要报讯站少量配置无线电台，距离较近的测站，由对讲机传送至中心站，中心站通过电话、电台转报至水情接收部门。这一时间，水情报讯传递的信息量有限、时效性、可靠性等受到制约。

较大规模的水文自动测报系统研究与应用始于 20 世纪 70 年代，此阶段由于国民经济和水利水电建设的迅速发展，水文信息的常规收集与传递方法已难以适应形势发展的需要。至 20 世纪 80 年代中期，通过自主研发、引进吸收等方式，全国先后有少量水文自动测报系统投入运行，如长江委水文局陆水流域水文自动测报系统等。该类系统一般规模不大，一个系统十余站至几十站不等，覆盖范围小，局限于小河流或中小型水库。因为规模较小，通信方式单一，设备设施的维护较为困难，存在备品备件欠缺、维护成本大等困难，推广应用受到制约。但同期，国内电力部门因运行经费有保障，水电站自动测报系统发展较迅速。

至 20 世纪 90 年代末期，随着国家防汛指挥系统的建设，水情报讯才得到质的飞跃，在短短的几年时间里，水情传递完成了从电话、电传机、语音电话、X.25，再到计算机网络技术和卫星通信技术应用等跨越式的发展。

(四) 水情预报

长江水文气象预报是从新中国成立后不久才逐步发展起来的，长江委水文局负责长江干流渡口——大通全部控制站及主要支流（岷江、沱江、嘉陵江，乌江等）控制站、两湖出口站、汉江干流石泉——舵落口全部重点站和大型水库的洪水预报发布。目前，长江委的干支流预报河段长 3400 多 km，发布 80 多个站点的短期（1~5d）水情预报、短期（1~2d）、中期（3~7d）分区降雨预报和长期水文气象预报，范围约 145 万 km²，基本覆盖了全流域的暴雨区。

第四节 长江水文特点及典型大洪水报讯

一、流域水文气候特点

(一) 气候特征

长江流域辽阔的地域和复杂的地形,使其气候具有显著的季风气候和多样的地区气候特征。长江中下游地区,冬冷夏热、四季分明、雨热同季,季风气候十分明显,上游地区,北有秦岭、大巴山,冬季风入侵的强度比中下游地区弱,南有云贵高原,东南季风不易到达,季风气候不如中下游明显。

根据中国气候区划,我国有10个气候带,长江流域划分为4个,即北温带、北亚热带、中亚热带和高原气候区,长江中下游以北,处于北亚热带中,而以南和四川盆地为中亚热带气候。长江流域幅员辽阔,地形复杂,东南地势高差数千米,地区气候异常显著。江源气温低、降水少、风力大、日照多,全年皆冬;金沙江地区干湿季分明,立体气候明显;四川盆地气候温和,湿润多雨;长江中下游四季分明。此外还有多种局地气候,雅安“天漏”,重庆“雾都”,长江上、中、下游的重庆、武汉、南京3个城市号称长江上的三大“火炉”等。

(二) 暴雨特征

长江流域暴雨以日降水量不小于50mm为标准。其中,日降水量在100~200mm的为大雨,日降水量超过200mm的为特大暴雨。按此标准,根据长江流域多年平均暴雨日数等值线图,金沙江巴塘以上、雅砻江雅江以上及大渡河上游地区,地势高、水汽条件差,基本无暴雨,其他广大地区均有暴雨,山区多于河谷和平原,迎风坡多于背风坡。

长江流域暴雨时间分布表现为:长江中下游南岸一般2月、3月份出现暴雨,汉江、嘉陵江、岷沱江、乌江等4月左右出现暴雨,雅砻江、大渡河局部地区7月、8月才会发生暴雨。暴雨结束时间与开始时间基本相反,自流域西北向东南逐步推迟。长江上游和中游北岸大多于9月、10月结束,长江中下游南岸一般于10月、11月结束,有些年份秋季暴雨突出,容易造成秋季大洪水。如1983年、2005年汉江均发生较大秋汛。

长江流域平均年降水量约为1100mm左右,流域内降雨量分布很不均匀,由东向西递减。除江源地区地势高、水汽少,年降水量小于400mm外,大部分地区年降水量在800~1600mm之间。年降水量大于1600mm的地区主要分布在四川盆地西部边缘、江南和湖南部分地区,大于2000mm的主要在山区,范围较小。长江流域实测最大24小时降水量达900mm,最大3日暴雨量达1076mm。

长江流域暴雨成因上游以切变线、西南低涡和西风槽为主,中游除切变线、低涡和西风槽外,台风也是成因之一,长江下游则以台风为主。

(三) 洪水特性

长江是一条雨洪河流,洪水主要由暴雨形成,洪水发生时间及地区分布与暴雨一致。总体而言,长江流域汛期为4~10月,主汛期集中在6~8月。洞庭湖、鄱阳湖水系汛期较早,多为4~8月;长江上游南岸乌江为5~10月;北岸各支流为6~9月;金沙江及中