

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

水文监测体系创新及 关键技术研究

王俊 熊明 等著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

水文监测体系创新及 关键技术研究

王俊 熊明 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书提出了对水文监测体系创新的探讨,阐述了通过发展先进的水文测验方法和技术手段,构建适应新的水文测验管理体系的水文测验服务体系和技术支撑体系,包括水文测验服务体系需求、水文测验管理体系、流量测验方法创新、泥沙测验方法研究、水文应急监测实用技术、水文测验精度控制技术、水文资料整编新技术以及水文测验技术标准适应性研究等内容。书中提出的创新体系和关键技术对我国水文测验自动化、信息化发展具有较强的指导意义和推广应用前景,为践行“大水文”发展理念提供了理论和技术支撑。

本书可供水文测验人员及相关工程技术人员参考,也可供大专院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

水文监测体系创新及关键技术研究 / 王俊, 熊明等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-5170-3104-8

I. ①水… II. ①王… ②熊… III. ①水文观测—研究 IV. ①P332

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第081558号

书 名	水文监测体系创新及关键技术研究
作 者	王俊 熊明 等著
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 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 26印张 616千字
版 次	2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	110.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

水文监测体系由水文测验管理体系、服务体系、技术支撑体系及质量控制体系等组成。自 1955 年颁布的《水文测站暂行规范》确定我国水文测站采用驻守方式起，至 20 世纪 80 年代前后完成了一系列水文测验技术标准的制定或修订，标志着我国基于水文测站驻守管理方式的水文监测体系基本建成。该水文监测体系对确保我国防洪水文测报的准确性和及时性，水利水电工程建设所需水文资料的连续性等发挥了重要作用。

近 30 年来，随着我国经济的快速发展，社会对水文监测信息的需求发生了重大变化。特别是近年来最严格水资源管理制度的实施，中小河流治理以及河流两岸民众对水文关注度的提高，现有的水文测站监测信息已远远不能满足要求。为满足社会需求，就必须大量增加水文测站，而现有的人员和技术手段满足不了大规模新增驻守水文站的实际需要，且与我国目前的水文监测体系不相适应，必须另辟蹊径。

长江水利委员会水文局（以下简称长江委水文局）在水利部水文局的领导和支持下，自 20 世纪 70 年代开始进行水文巡测技术研究，提出的水位流量关系落差指数法，经过几十年的发展和完善，从仅适应顺直河段到如今适应顺逆不定、湖泊、感潮等各类河段水位流量关系单值化，为水文巡测奠定了技术基础。利用水位流量关系单值化技术的突破，长江委水文局于 20 世纪 80 年代初成立了我国首个水文巡测队伍——洞庭湖水文水资源勘测队，为水文测验管理体系试点创造了条件。

进入 21 世纪，新技术、新仪器的不断涌现，使流量泥沙快速监测、实时在线测量等成为可能。长江委水文局于 2005 年 7 月 1 日在全国率先实现了所属 118 个中央报讯站水位、雨量及相应流量自动报讯，但水文测验管理体系及

流量、泥沙测验的方式方法尚不能支撑巡测及应急快速监测的要求。

从2008年开始,长江委水文局开展了水文测验方式方法创新活动。至2010年底,全局共完成81个测站6个方面共计263项技术创新成果,其中有巡测方案52个,单值化分析41站,流量测验优化方案73站、悬移质泥沙测验优化方案55站、声学多普勒流速仪投产34站、激光类现场测沙仪或浊度仪投产8站等。受水利部水文局的委托,完成了13部水文测验规范的编制或修订。同时,还组织完成了《水文测验服务需求研究》《水文测验精度研究》《水文测验技术标准适应性研究》及《水文测验技术管理研究》等4个专项研究。至此,新水文监测体系中的测验管理体系、服务体系、技术支撑体系及质量控制体系等基本完善。

本书是对长江委水文局数十年来水文测验技术的全面总结,是长江委水文局几代科技人员研究成果的结晶。本书共分10章。第1章主要介绍实现水文监测体系创新的背景、现状及需要解决的关键技术;第2章主要介绍水文测验服务体系需求,研究了各类不同需求的精度指标及测次、长度要求;第3章通过与国外发达国家的对比,介绍了创新后水文测验管理体系的特点及对关键技术的要求;第4章介绍了各种不同流量测验方式的技术创新,涉及水文测验载具的自动化、流量快速测量、实时在线测验等技术;第5章介绍了泥沙测验技术的创新,包括悬移质、各种类型的推移质、河床质等测验方法和仪器的进步;第6章主要介绍水文应急监测技术;第7章介绍了水文测验的精度控制技术,提出了各类不同仪器和方法的测量误差及精度控制指标;第8章介绍了水文资料整编新技术;第9章介绍了现有水文测验技术标准与新体系的适应性及修改建议;第10章对研究成果进行了总结和展望。

本书第1章由陈守荣、熊明撰写,第2章由熊莹撰写,第3章由赵昕撰写,第4章由张孝军、熊明撰写,第5章由黄双喜、毛红梅撰写,第6章由段文超撰写,第7章由魏进春撰写,第8章由香天元撰写,第9章由魏进春撰写,第10章由熊明撰写。全书由王俊主持,熊明具体组稿、统稿,王俊、程海云、陈松生审定。毛红梅参与全书的图表、文字编辑及校审工作。

本书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。

由于本书涉及面广,未免挂一漏万,不足之处,敬请批评指正。

著 者

2014年9月于武汉

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 国内外水文监测体系差别	1
1.1.2 水文监测体系创新难点	2
1.1.3 水文监测体系创新进程	4
1.2 水文测验体系现状分析	5
1.2.1 我国水文测验发展历程	5
1.2.2 我国水文监测体系存在问题	7
1.3 水文监测体系创新需解决的关键技术	9
1.3.1 水文巡测、间测与应急监测技术	9
1.3.2 水文要素的自动监测技术	10
1.3.3 水文规范与新技术的适应性	10
第2章 水文测验服务体系需求	12
2.1 经济社会发展与水文	12
2.1.1 我国经济社会发展现状与特点	12
2.1.2 社会经济发展对水文的要求	12
2.2 防洪减灾对水文测验的需求分析	14
2.2.1 防洪形势对水文测验的要求	15
2.2.2 防洪水文测验流量测次控制要求	16
2.2.3 水位流量同化报讯及误差传播	23
2.3 工程建设对水文测验的需求分析	28
2.3.1 工程建设对水文测验的要求	28
2.3.2 水文特征值误差分析	29

2.3.3	创新系列的模拟	33
2.3.4	创新水文系列代表性分析	36
2.4	最严格水资源管理对水文测验的需求分析	47
2.4.1	最严格水资源管理制度对水文测验的要求	47
2.4.2	最严格水资源管理制度的水文测验技术路线	49
2.4.3	低水流量测验测次优化及水位流量关系同化技术	50
2.5	社会对水文测验的需求分析	52
第3章	水文测验管理体系	54
3.1	水文测验体系的构成	54
3.1.1	水文测验管理体系的要素	54
3.1.2	水文测验管理体系的技术结构	55
3.1.3	水文测验管理体系的影响因素	57
3.2	美国的水文测验体系简介	57
3.2.1	水文测验管理体系	58
3.2.2	水文测验方式和支撑技术	62
3.2.3	水文监测仪器设备	65
3.3	我国水文测验体系的现状	67
3.3.1	水文测验管理方式	67
3.3.2	水文监测手段	68
3.3.3	水文巡测现状	69
3.4	水文测验管理体系创新	70
3.4.1	创新原则	70
3.4.2	管理体系的框架构建	70
3.5	关键巡测技术的研究与实践	72
3.5.1	水位流量关系巡测单值化	72
3.5.2	长江水文测验体系创新实践	78
第4章	流量测验方法创新	83
4.1	现有流量测验技术综述	83
4.1.1	流量测验方式	83
4.1.2	流量测验仪器	85
4.2	缆道测验智能控制技术	87
4.2.1	水文缆道的控制技术现状	88
4.2.2	水文缆道的智能控制设计	89
4.2.3	水文缆道的智能控制实例	94
4.2.4	水文缆道偏角遥测技术	95
4.3	水文测船测验自动化技术	98
4.3.1	水文测船测验现状	98

4.3.2	水文测船测验自动化设计原则	99
4.3.3	水文测船测验自动化实现	101
4.3.4	水文测船专用绞车	105
4.3.5	水文测船液压支臂装置	107
4.4	流量快速测量技术	108
4.4.1	快速流量监测的基本原理	108
4.4.2	动船法流量测量技术	109
4.4.3	走航式声学多普勒测流技术	112
4.4.4	非接触流量测验技术	134
4.5	流量实时监测技术	138
4.5.1	河流流量实时监测原理	138
4.5.2	水位流量关系法	138
4.5.3	流速面积代表线法	146
第5章	泥沙测验方法研究	163
5.1	悬移质泥沙测验技术	163
5.1.1	国内外悬移质泥沙测验现状	163
5.1.2	调压积时式采样器的技术改进	167
5.1.3	现场快速泥沙测量技术	186
5.1.4	实时在线泥沙测量技术	204
5.1.5	流量泥沙异步测量方法	237
5.2	推移质泥沙测验技术	240
5.2.1	推移质泥沙测验现状与需求	240
5.2.2	砾卵石推移质采样器开发	243
5.2.3	沙质推移质采样器研制	254
5.3	河床质勘测技术	259
5.3.1	河床质勘测现状	259
5.3.2	河床组成勘测	261
5.3.3	千容重观测	265
5.4	泥沙颗粒级配分析技术	271
5.4.1	泥沙颗粒级配分析现状	271
5.4.2	悬移质泥沙级配快速分析技术	272
5.4.3	悬移质级配分析方法成果转换	281
第6章	水文应急监测实用技术	288
6.1	水文应急监测体系现状	288
6.1.1	水文应急监测的任务与特点	288
6.1.2	水文应急监测与常规水文测验的区别	291
6.1.3	我国水文应急监测现状	291

6.2	水文应急监测管理体系建设	292
6.2.1	水文应急监测管理体系建设原则	292
6.2.2	水文应急监测队伍建设	293
6.2.3	水文应急监测保障机制	298
6.2.4	水文应急监测方案	301
6.2.5	应急监测报告的编制	303
6.3	水文应急监测工作内容与方法	304
6.3.1	分洪、溃口洪水监测	305
6.3.2	堰塞湖监测	307
6.4	应急监测成果的质量控制	310
第7章	水文测验精度控制技术	311
7.1	水文测验精度控制体系	311
7.1.1	单次测验精度控制	311
7.1.2	时段量精度控制	313
7.1.3	水文测验误差评估方法	319
7.2	流量测验新技术精度研究	324
7.2.1	声学多普勒流速仪流量测验精度	324
7.2.2	流量间测精度分析	327
7.2.3	水位流量关系单值化精度分析	329
7.2.4	流量测次精简分析	331
7.3	泥沙测验新技术精度研究	332
7.3.1	现场激光粒度分析仪精度	332
7.3.2	单沙垂线精简与断沙间测精度分析	333
7.3.3	全断面混合取样精度分析	343
7.3.4	流量泥沙异步测验精度分析	345
7.3.5	泥沙测次精简分析	351
第8章	水文资料整编新技术	355
8.1	现有水文整编技术综述	355
8.2	水位数据整理新技术	356
8.2.1	水位数据处理技术的现状	356
8.2.2	水位数据处理新技术基本原理	357
8.2.3	关键参数的确定与节点数据的处理	357
8.2.4	水位数据处理新技术在长江上游地区的应用	360
8.3	流量整编新技术	361
8.3.1	在线监测资料整编技术	361
8.3.2	走航式声学多普勒流速剖面仪数据后处理技术	365
8.3.3	潮流量整编技术研究	371

8.4	泥沙整编新技术	376
8.4.1	激光粒度仪颗分资料整编	376
8.4.2	推移质输沙率整编	376
8.5	应急监测水文资料整理	382
8.5.1	应急资料整理要求	382
8.5.2	水文应急监测数据的整理与检查	383
8.5.3	水文应急监测数据分层	384
8.5.4	水文应急监测等高线处理	384
第9章	水文测验技术标准适应性研究	386
9.1	现有标准概况	386
9.2	现有标准适应性研究	387
9.2.1	现有技术标准的积极作用	387
9.2.2	现有主要测验技术标准适应性评价	387
9.2.3	现有技术标准存在的主要问题	389
9.3	水文测验技术标准创新实践	391
9.3.1	水文测验标准体系创新	391
9.3.2	已颁标准的修订和完善	392
9.3.3	水文测验标准创新总结	395
第10章	总结及展望	396
10.1	创新总结	396
10.2	水文监测发展展望	400
	参考文献	404

第 1 章 绪 论

水文信息是防洪减灾的耳目，是最严格水资源管理的基础，是水利水电工程设计的依据。水文信息通过水文监测过程获得，整个水文监测过程由水文监测体系完成。

水文监测体系由水文测验管理体系、服务体系、技术支撑体系及质量控制体系等组成。其中水文测验管理体系是确保水文监测活动正常运行的关键。

1.1 研究背景

我国 1955 年颁布的《水文测站暂行规范》确定全国水文测站采用驻测方式并一直沿用。驻测方式管理的测验断面较少，效率低下，且导致大量水文观测人员困守水文测站。随着社会的进步，原有水文测站正远远不能满足社会对水文信息的需求，增加水文测站受人力物力限制又有其极限。如何用有限的人力资源获取最多的水文信息，同时满足我国对水文测验时效和精度的要求？通过发展先进的水文测验方法和技术手段，创新原有的水文测验管理体系，并构建适应新的水文测验管理体系的水文测验服务体系、技术支撑体系，以及质量控制体系是水文监测发展的必然之路。

水文测验的内容涉及降水量、蒸发量以及河流、湖泊内的水位、流量、泥沙、水体化学成分的变化过程。随着自动化、信息化技术的迅猛发展，我国水位、降水量的信息采集、储存与传输实现了自动化。而流量、泥沙测验因受现有技术水平的限制，仍使用传统的测验方式，效率低下。若不对流量、泥沙项目的测验方法实施创新，将导致大量水文观测人员困守水文测站，众多需要水文信息的地方无力开展水文监测工作。同时，我国现有的基于水文测站驻守的管理体制，使得水文勘测工仅满足于常规测量、取沙等简单的重复劳动，制约了水文测验的技术进步。

本研究总结了长江委水文局承担的国家“六五”“七五”“八五”“九五”“十五”科技攻关，“十一五”科技支撑计划，国家基础研究计划，水利部公益项目专项，“948”引进技术等科研成果，是长江委水文局科技成果的集成。

1.1.1 国内外水文监测体系差别

我国水文监测管理体系和流量、泥沙项目的测验方法与发达国家相比，主要存在着以下方面的差异。

1. 水文测验管理体系

发达国家因社会保险体系较为完备，当洪水灾害来临时，可通过大量气象、水文信息来判断可能灾害的大小量级即可，因而对单个水文测站的时效性、准确性要求不是太高。

发达国家的水文站网密度大，水文测员少，其流量、泥沙测验项目均为巡测方式，即 1 人或数人开展某一区域较多水文测站的巡测工作，以区域各类测站信息弥补单站信息的不足。我国由于雨热同季，洪灾严重，绝大多数水文测站最初的设站目的主要为防洪，外加我国沿江沿河人口密集，对水文测验的时效性及相应的预报精度要求较高，故绝大多数的水文测站的流量、泥沙测验则实行的是驻测方式，约平均 10 个职工（含各级水文管理人员）承担 1 个水文站的测验工作，与发达国家的水文测验管理体系差异明显。

2. 流量、泥沙测验技术

流量测验技术方面，发达国家众多水文测站通过水平式声学多普勒流速仪、超声时差法实现了流量实时在线测量，对于大江大河也均使用了流量快速测验技术，如采用走航式声学多普勒流速仪进行流量巡测等。我国受国力和技术所限，除极个别水文测站实现实时在线测流或采用流量快速测量技术外，绝大多数水文站仍使用常规流速仪按测线测点布设方式进行流量测验，测验工作量大且费时较多，这也是导致我国水文测站采用驻测方式且人员较多的原因。泥沙测验技术上，发达国家水文测站泥沙测次要求较少，通常使用激光（或超声波）类等新技术制造的现场测沙仪进行测量，测验完毕即可提交泥沙成果。我国绝大多数水文站的泥沙测验仪器则比较陈旧，在缆道站主要使用调压式积时式采样器，在水文测船上则仍使用古老的横式采样器，采样经沉淀、过滤、浓缩、烘干、称重、计算等工作流程完成后才能整理出泥沙成果，两者技术上存在较大的差异。

3. 单站水文测次数量方面

流量测次方面，发达国家极少有固定值守的水文测站，大多采用巡测断面模式。以美国为例，每个巡测断面每年的流量测次一般在 8~12 次，大洪水年份也不超过 30 次。在我国的大多数水文站，天然河道上的常年站其流量测次一般在 100 次左右，大洪水年份流量测次会更多，达 200 次以上；在受水利工程建设影响的水文测站，其流量测次则在 300 次左右，有的甚至更多。在泥沙测次方面，因发达国家水土保持较好，河水清澈，含沙量较小，泥沙测次极少，大多数水文测验断面不进行泥沙测验，极少数水文站的泥沙测验主要集中在汛期，测次与流量基本相当。我国主要江河上均开展泥沙测验工作，特别是黄河、长江，其泥沙测验任务则更大，一般水文站的单样含沙量（以下简称“单沙”）测次数量一般在 200 次左右，有的多达 300 次以上；断面平均含沙量（以下简称“断沙”）的测次数量，使用单一断沙关系进行整编的站，断沙测次数量一般在 30 次左右；使用断沙过程线整编的站，其测次数量在 100 次左右。由此可见，我国水文站的流量、泥沙测次与美国相比较明显偏多。

1.1.2 水文监测体系创新难点

针对我国水文监测体系及流量、泥沙测验技术与发达国家存在的差距，除要充分发挥现有水文职工的工作积极性外，还应以创新流量、泥沙测验方法为手段，借鉴发达国家水文监测体系的经验，促进我国水文监测体系创新，逐步形成“与国际接轨，有中国特色”的水文监测管理体系，即满足我国经济社会对水文测报各类需求的“巡测优先、驻巡结合、应急补充”的综合水文监测体系。

然而，我国现有的水文测验技术水平与创新的水文监测体系不相适应，主要是水文测验自动化、信息化水平严重落后发达国家。为使水文更多更好地为社会提供服务，逐步实

现具有“巡测优先、驻巡结合、应急补充”的中国特色水文监测体系，需开展以下工作。

1. 水文测站驻测、巡测、间测的需求技术

水文监测体系的创新，一方面要打破由驻守水文站进行流量、泥沙测验的管理体系，对现有的水文测验方式与管理体系进行创新；另一方面，还要对实现水文巡测、间测的技术与方案进行研究探索，并根据水文测站在防汛减灾与最严格的水资源管理等方面的重要作用，合理安排重要防洪或水资源管理控制测站的驻测时机。

如何确定哪类水文测站实行巡测，哪类水文测站开展间测，重要防洪控制水文测站驻测时间的选择等，我国水文测验技术规范尚无明文规定或成熟的技术。结合我国各类经济社会发展需求，开展现有及新建水文测站的观测项目的精度、频次等需求分析研究，确定水文测站实行巡测、间测、驻测条件与技术要求，扩大新设水文测验站网的规模，是我国水文监测体系创新的关键。

2. 水文全要素测验方案优化技术

我国现有的水文站已收集近 50 年完整的系列资料，水位、降水量已实现了自动记录、自动储存与自动传输，如何在保证流量、泥沙测验与整编精度的前提下，充分利用水位—流量、单沙—断沙的稳定关系，或将水位—流量关系通过单值化合理地安排流量、泥沙的测次分布，确定水文测站的流量、泥沙测验的优化方案，是我国水文监测体系创新的基础。

3. 水文测验的实时在线技术

我国许多水文站的流量、泥沙测验都面临两个方面的问题：一方面是受工程影响，水位与流量关系、流量与含沙量的关系、水沙运动规律都发生了变化，测站水文各要素间的相互关系变得越来越复杂，传统的水文测验与资料整编方法遇到困难。另一个方面是防洪减灾与最严格的水资源管理对水文服务提出了更严的要求，如在警戒水位以上，水文测次分布要以满足以防洪减灾预报的需求；在枯水时期，水文测次分布则应满足实施最严格的水资源管理的需求，以保证江河、湖泊的生态基流所需的流量。要解决上述问题与满足社会经济发展对水文测验的要求，水文测站则必须大力推进实时在线新仪器、新技术的应用，在保证水文测验精度的要求下，提高水文测验的时效性。

随着科学技术的发展，实时在线水文测验的新仪器、新技术的不断涌现，但因我国的技术规范未能将其列入其中，从而限制了其在水文基本资料测验中的应用。如何使研制或引进的新仪器、新技术满足我国水文测验技术规范的要求，使之保证水文资料系列的连续性与一贯性，开展流量、泥沙测验的新仪器、新技术的应用性研究是基础，也是水文监测体系创新的前提。

4. 提高现有水文站快速测验技术

我国绝大多数水文测站采用缆道或测船进行水文要素的测量，流量测量仪器主要采用流速仪，悬移质泥沙仪器主要采用横式采样器或积时式采样器。流速仪测量采用逐线逐点进行，每点测时不得少于 60~100s，极为费时费力，且缆道或测船控制困难；悬移质泥沙则需与流量测验同时进行，进一步增加了测验的时间与难度，同时，悬移质泥沙样品还需经沉淀、过滤、浓缩、烘干、称重、计算等程序，时效性极差。

在我国尚无能力全面配置实时在线测验设备的情况下，如何充分挖掘现有水文监测设

备潜力?开展现有水文站快速测验的技术研究,使现有设施设备自动化,测验结果的现场化,流量与泥沙测验的异步化,对水文监测体系创新异常重要。

1.1.3 水文监测体系创新进程

水文监测体系创新涉及的范围极广,既有水文测验管理体系的创新,又有水文测验理论体系的创新,还有测验仪器设备的研制、引进、消化,技术的创新等。长江委水文局自成立以来一直致力于上述内容的创新,主要体现在以下几点。

1. 水位—流量关系单值化理论与水文巡测的实施

20世纪80年代以前,我国所有水文测站全部为驻守测站,1972年,长江委水文局将原用连时序法进行测验与整编定线的监利站试用落差指数法处理,获得了水位—流量关系单值化的初步成果。其后,为推进测验体制创新,实行站队结合、巡测、间测的需要,对受变动回水和洪水涨落混合因素影响的水位—流量关系单值化处理方法进行研究,首次提出了综合落差指数的概念,并在处理技术上取得了成功,并成为我国首个水文巡测队——洞庭湖水文水资源勘测队成立的技术支撑,开创了我国水位—流量关系单值化研究与应用的先河,为实施测站流量测验的巡测、间测奠定坚实的基础。

长江委水文局在2005年7月1日在全国率先实现了全流域自动报讯,在实施水位、降水量测报自动化方面取得成功,并在流量、泥沙测验自动传输方面进行了有益尝试。为解决流量、泥沙测验时效性等问题,长江委水文局于2008年开始将各类仪器、设备、方法创新进行总结、归纳及推广应用,完成了水文测验方式方法创新,并按新体系、新方式、新方法进行运行。

目前,长江委水文局在交通条件较好的水文勘测队(或勘测分局)测区,结合所属巡测范围,分别实施驻测、巡测、间测、校测或几种方法相结合的管理模式。对已积累较长系列资料且具有较好水位—流量关系为单一线的测站已按“无人值守,有人看管”模式进行水文测验与管理,并使用先进的测验仪器(如声学多普勒流速仪)提高测验能力,按《水文巡测规范》(SL 195—97)要求实行水文巡测,水文监测体系创新成果初步显现。

2. 水文测验载体的创新

我国水文测验过河设备主要为水文缆道和测船。1956年,长江委水文局在北碚水文站首创了我国第一座水文测验专用的机动缆道,缆道建成后,国内各地以及当时苏联纷纷索取资料,并进行研究与推广应用。20世纪70年代后期又对测深、测速、测沙控制和信号传输、防雷等组织攻关,从而使我国水文缆道技术在国际上处于领先水平,直至今在发达国家来华访问水文缆道亦为参观首选。近年来,主要针对水文缆道的自动控制、智能控制方面进行创新,长江委水文局成功研制了“EKZ-1型水文缆道测验智能控制仪”,并在所有利用缆道测验载体的水文站进行推广应用,使水文缆道的流量、泥沙测验实现了自动化或半自动化,为巡测、无人值守创造条件。

水文测船如用常规流速仪测流、常规采样器取沙,则实施控制测船与、测速、测沙的仪器是难点。1973年,长江委水文局综合各类水文绞车的优点,将锚位、测速、测沙控制技术融为一体,设计定型了GD-150型水文绞车,其基本格局一直沿用至今。近年来,根据水文绞车受力特点及技术进步,主要在自动控制等方面进行了创新,长江委水文局在2005年研制成功了“EKZ-2型水文测船测验智能控制仪”,实现了水文测船流量、泥沙

测验的自动化。

3. 快速测流技术的突破

1979 年, 长江委水文局受水利部水文局的委托, 开展动船测流仪器设备的研制、试验, 于 1981 年研制成功了 DCY 型动船测流仪。DCY 型动船测流仪首创了以陀螺为测角指示方向, 解决了将机械角转换成电讯号的技术关键, 能自动测角和瞬时测速, 开创了大江大河流量快速测量的新时期。1985 年又研制成功了 IHZ-2A 型动船测流仪, 进一步提高了自动化程度。20 世纪 90 年代, 长江委水文局率先引进了声学多普勒流速仪全方位地开展了声学多普勒流速仪比测试验与研究工作。为解决铁质测船对声学多普勒流速仪工作磁场的干扰, 以及河床泥沙输移运动对测船航速相对位移的影响, 通过使用外接设备 GPS 罗经, 解决了铁质测船对声学多普勒流速仪磁场的干扰问题; 外接高精度 GPS, 解决了河床底部沙质推移质运动给水文测船航速的影响问题, 实现了流量快速测验技术的突破。

4. 泥沙测验仪器的研制

悬移质泥沙测验是水文测验的难点之一, 其最大的问题在于水样采取工作量大, 泥沙处理时间长, 效率极为低下。为提高泥沙采样效率, 长江委水文局进行了大量的研究工作, 于 1970 年研制并完善了二通道平堵式 JL-1 型调压积时式采样器; 1985 年又研制了四通道滑阀 JL-3 型缆道采样器和 JX 型采样器, 通过鉴定后先后投入使用; 2005 年, 又研制了 YAX2-1 型调压积时式采样器, 成功用于缆道、测船测站的悬移质泥沙测验。进入 21 世纪后, 为提高泥沙测验的时效性, 长江委水文局引进了悬移质泥沙测验仪器——现场测沙仪器 (如 LISST 系列仪器, OBS、浊度计等) 和泥沙颗粒分析仪——激光粒度分布仪, 并根据长江干流不同河段的泥沙特性, 使用不同类型的现场测沙仪进行比测试验。如在长江口河段使用 OBS 类仪器、在中下游河段使用 LISST 类仪器、在上游河段使用浊度计与传统的测沙仪器进行泥沙比测试验工作, 为悬移质沙的快速监测和实时在线监测创造了条件, 为开展泥沙巡测奠定了基础。

长江委水文局于 20 世纪 70 年代初期, 研制完成了长江 73 型沙质推移质采样器, 1978 年研制成 Y78-1 型沙质推移质采样器。经水槽试验、野外比测与天然河道坑测法比较, 证明 Y78-1 仪器性能稳定、成果可靠。1985 年 7 月, 作为中美双方交换的推移质仪器在美国圣海仑水文试验站与美国史密斯采样器比测, 获美国水文界的认同, 并被列入国际水文技术交流 HOMS 咨询手册。

1964 年长江委水文局研制成功了 64 型砾卵石推移质采样器, 1980 年在 64 型的基础上研制成功了长江 80 型、长江 80-1 型砾卵石推移质采样器, 经过试验, 该型号的采样器的采样效果与 64 型砾卵石推移质采样器一样好。20 世纪 80 年代在 80 型砾卵石采样器的基础上, 又研制成功了 80-2 型砾卵石推移质采样器。

1.2 水文测验体系现状分析

1.2.1 我国水文测验发展历程

1. 新中国成立前的水文测验回顾

据史料记载, 距今 4000 多年前的大禹治水, 通过水文调查, 因势利导, 采取疏导措

施,取得治水成功。公元前251年,秦国李冰在四川岷江都江堰工程上设立“石人”观测水位,开创了水文观测的先河;战国时期的慎到(约公元前395年—约前315年)曾在黄河龙口用“流浮竹”测量河水流速;到隋朝,水位改用木桩、石碑或在岸边石崖刻划成“水则”观测江河水位,并一直沿用到现代;汉朝张戎在元始四年(公元4年)提出“河水重浊,号为一石水而斗泥”,说明当时曾对黄河含沙量做过测量;宋熙宁八年(1075年),在重要的河流上已有记录每天水位的“水历”,宋朝“吴江水则碑”把水位与附近农田受淹情况相联系;1078年,开始出现以河流断面面积和水流速度来估算河流流量的概念;明、清时期,水位观测已较普遍,并乘快马驰报水情。另外,江河沿岸还有许多重要的枯水石刻和石刻水则以及古水尺,例如四川涪陵河道中的白鹤梁石鱼,记录了自764年以来1200年间川江72个枯水年的特枯水位;1110年,引泾丰利渠渠首渠壁的石刻水则,用来观测水位(水深),以便推算引水水量(流量);1837年,在长江荆江河段郝穴设立古水尺,用以观测水位。

1840年鸦片战争后,帝国主义势力入侵,中国沦为半封建、半殖民地国家。从1860年起,帝国主义者控制的海关,陆续在上海、汉口、天津、广州和福州等港口(码头)设立水尺观测水位,为其侵华舰船航行服务。

1911年后,国民政府陆续成立国家及流域的水文管理部门,如负责全国的水文测验管理工作,开始掌握近代水文测验工作。到1937年抗日战争前夕,全国有水文站409处、水位站636处。抗日战争爆发后,经过8年战争,全国水文工作大多停顿。至新中国成立时,仅接收水文站148处,连同其他测站,总计为353处。

在此期间,引进了一些西方水文技术,先后根据一些潮位资料,确定了吴淞、大沽等水基准面,开始用近代水文仪器作水准和地形测量,水位、雨量观测开始用自记仪器,流量测验采用流速仪法和浮标法,泥沙测验采用取样过滤法。从1928年起,一些流域机构制订水文测验规范文件。1941年,中央水工试验所成功研制了旋杯式流速仪并建立了水工仪器制造实验工厂,开始生产现代水文仪器。

总之,我国水文测报开始较早,并逐步发展到一定规模。但大多数水文观测时断时续,观测记录和工程水文资料档案均未能系统保存下来,技术经验也未能很好地总结流传。明、清以来,由于西方诸国科技迅速发展,中国水文从早期的先进转变为相对落后的状况。鸦片战争后开始进行水文观测、水情传递、水文资料整编和水文分析计算,但发展非常有限,并且极不稳定;随着帝国主义者以侵略为目的在中国进行水位、雨量观测之后,“中华民国”政府引进了一些西方水文技术,开始进行了一些近代水文工作,但因西方国家工业革命,科学技术突飞猛进,而我国外受列强欺凌,内为旧的社会制度束缚,国力日衰、战争频仍,经济建设发展非常缓慢,水文工作大多停顿,并处于薄弱、动荡的状态之中。

2. 新中国成立后水文测验发展

1949年10月1日,新中国宣告成立。次月,成立水利部,水利部内起初设测验司,1950年成立水文局;并设置黄河、长江、淮河、华北等流域水利机构。1954年,各省(自治区、直辖市)水利机构设立水文总站,地区一级设立水文分站或中心站,至1951年底,水文部门拥有水文站796处,连同其他水文测站共有2644处,超过了以往历史

(1937年)最高水平(409处)。从1955年起,进行第一次全国水文基本站网规划,至1957年水文站达2023处,连同其他水文测站共有7259处。

1955年,水利部颁发了《水文测站暂行规范》,在全国贯彻实施,在测验管理方面,全国水文逐步走向驻测。为解决流量、泥沙定点测验的问题,水文职工创造发明了水文测船机械“三绞”(即绞锚、绞测流与绞测沙设备)的固定测船方法,陆续建设了一批水文缆道并开始流量测验。

1958—1978年期间,中国经历了“大跃进”、经济困难时期(1960—1962年)和“文化大革命”。与整个国家社会形势相联系,中国水文有进展,又呈现曲折前进的状况。1958年水文站发展迅速,到1960年全国水文测站达3611,但许多水文站建设质量不高,能刊入1960年《水文年鉴》的水文站只有3365处。经济困难时期(1960—1962年)又有大批水文站被裁撤,1963年底水文站减少为2664处。1963—1965年,水利电力部水文局组织对中小河流的站网进行了一次验证分析,水文站又裁撤了一部分,到1968年底有水文站2559处。1972年后有所恢复,至1978年底有水文站2922处。在此期间开展技术革新运动,过高要求的高指标和浮夸风等,导致出现一些不必要的浪费及水文测报质量下降。20世纪70年代中期,水文缆道的应用和水位与雨量自记有明显进展。

1978年底以来中国水文也步入了新的发展阶段,尤其是2007年《中华人民共和国水文条例》的颁布实施,开创了中国水文的里程碑。

首先水文站网得到新发展,截至2010年初,全国水文系统共有各类水文测站9799处,基本满足了防汛抗旱、水资源管理、生态环境保护、饮水安全保障、水土流失治理和突发性应急事件处理以及社会公众服务等对水文信息的需求。

其次是水文监测体系改革开始起步,以长江流域洞庭湖水文勘测队成立为标志,不断推进站队结合和水文巡测工作,加强水文巡测基地建设,完善水文巡测基地功能,提高了水文巡测工作能力。至2010年,全国共有水文勘测队221个,实现站队结合的水文站1032个,占水文总数的32.3%。

第三是随着水文建设投入的增加,水文测报先进仪器设备逐步得到了推广和应用,水文测验新技术、新理论、仪器研制、设备更新改造等方面,取得了一些突破性的进展。成功研制并引进了水位、降水量观测长期自记计,使水位、降水量观测基本实现了自动观测、自动存储、自动报讯。流量测验使用水文缆道或水文测船测验智能控制系统,实行了流量的自动测验或半自动测验;调压积时式采样器的性能也得到提高等。声学多普勒流速仪、全球卫星定位系统、全站仪、电波测流仪、激光粒度仪等一批水文测报先进仪器设备得到了推广和应用,改变了水文测报靠拼人力的落后状态,显著增强了水文应急机动测报能力,提高了水文信息采集的准确性、时效性和水文测报的自动化水平。

1.2.2 我国水文监测体系存在问题

经过50多年的发展,全国的水文测验、水情报送能力都有较大幅度的提升,但水文监测体系方面无大的改进,问题主要表现在以下几个方面。

1. 水文巡测能力不足

我国在20世纪80年代以来成立的水文勘测队,因受水文测验装备条件及技术水平的限制,尚采用常规仪器与传统的测验手段开展水文巡测,仅仅发挥了按站队结合的要求进