

MODERN
HYDROLOGICAL
MONITORING
TECHNOLOGY

现代水文
监测技术

王俊 王建群 余达征 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代水文 监测技术



王俊 王建群 余达征 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书按照现代水文监测体系的框架和“驻巡结合、巡测优先、测报自动、应急补充”的水文监测模式,介绍了最新的现代水文监测技术及其应用实践。主要内容包括现代水文监测体系、降水与蒸发观测、水位观测、流量测验、泥沙测验、地下水和墒情监测、水质现场快速监测和在线自动监测、水生态监测、水下地形测量、应急监测、水文巡测组织与实施、水文自动测报系统、水文数据处理与管理等方面的新方法、新技术及其应用实践介绍与评述,本书对水文监测发展的趋势、智慧水文监测体系和最新技术进行了展望。

本书可供水文水资源及水生态环境保护等领域的科研工作者和水利工程技术人员参考,也可作为高等院校相关专业的本科和研究生教材以及水文系统干部职工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代水文监测技术 / 王俊, 王建群, 余达征著. —
北京: 中国水利水电出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5170-4989-0

I. ①现… II. ①王… ②王… ③余… III. ①水文观测—研究 IV. ①P332

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第312826号

书 名	现代水文监测技术
作 者	XIANDAI SHUIWEN JIANCE JISHU
出版发行	王俊 王建群 余达征 著 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、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京砚祥志远激光照排技术有限公司
印 刷	北京新华印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 40.5印张 898千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	218.00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

序

水文是预先掌握、深度破译水信息的科学，是亘古及今、传统而现代的工作，是关乎防汛抗旱、水资源利用和保护乃至水利事业及经济社会发展的基础。监测是直接获取各项水文数据的重要手段，是水文工作的数据源，是开展水文服务的必要前提。随着经济社会发展和科技进步，我国水文监测工作取得了显著成效，同时也面临着新的挑战。

一方面，在“大水文”发展战略引领下，水文工作已从过去主要为防汛抗旱和水利工程建设服务，发展到为民生水利、水资源管理、水生态文明建设等水利中心工作提供全面服务；从主要为水利工作服务，拓展到为经济社会各项涉水事务和社会公众需求提供多方位服务。不断拓展的服务需求对水文监测的范畴和精度提出了新的更高的要求。

另一方面，随着最严格水资源管理制度的实施、山洪灾害防治、中小河流治理以及公众对水信息关注度的提高，国家水文监测站网逐步完善。时至今日，已建成覆盖全国大江大河、重点湖泊水库、重点区域地下水以及中小河流水文监测站网系统。全国水文系统各类水文测站近10万处，是“十一五”末期的2.4倍，其中国家基本水文站3151处。目前，正在推进国家地下水监测工程建设。站网数量和站网密度已与发达国家相当。水文站点数量的增加和功能的扩展使水文监测任务量急剧增加，倒逼着水文监测方式方法的创新改革。

多年前，我因工作原因出访北欧，见到北极冰川附近一些人迹罕至的河流均采取巡测方式测报水文数据，大量水文测站已实现自动测报，甚至在19世纪初建成的水电站也是无人值守运行的，很好地解决了因气候寒冷不宜驻测和驻站管护的困难。与传统水文监测相比，自动测报并辅以巡测，不仅能够节约人力资源，提高工作效率，还能够将人工测量误差限定在可控范围内，同时综合运用自动监测和巡测方法，能够开展多项数据采集和分析，具有高精度、强适应性的特点。

自20世纪80年代初，我国水文部门也开展了水文自动测报和巡测试点工作，各地根据实际情况开展了研究和探索，积累了丰富的理论研究和实务操作经验。近些年，随着电子信息和传感技术的发展，水文监测技术全面进步，推动着水文监测方式方法不断演进更新。水位流量单值对应关系研究、流量泥沙异步测量、水雨情自动测报与传输、流量泥沙水质快速

测量及实时监测技术等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。信息遥测、在线快速测量等一大批先进的采集、传输、处理、存储、服务一体化的水文测报系统和设备投入使用，促进了水文监测从人工驻点监测到无人自动测报，从延时报送到实时监测，从单要素监测到多要素综合监测的转变。当今，可以说水文监测正处于自动化、信息化、网络化、智能化的变革之中。

为了进一步推进水文监测改革，水利部于2016年7月出台了《深化水文监测改革指导意见》。为了促进水文科技创新和新技术的应用，水利部水文局组织相关专业人员编撰了《现代水文监测技术》一书。该书阐述了我国水文监测体系的变迁历史，系统介绍了各种水文要素监测的新技术、新方法，提出了“驻巡结合、巡测优先、测报自动、应急补充”的水文监测模式，展望了水文监测技术的发展方向，是对现阶段我国水文监测技术的系统梳理。

本书作者均长期从事水文监测技术研究和推广工作，亲历了水文监测的发展变革，具有丰富的理论基础和实际经验。本书对今后水文监测技术的发展具有重要的参考和借鉴价值，对推动水文监测变革将起到积极作用。希望广大水文工作者继续发挥聪明才智、锐意创新、勇于开拓，共同为我国水利水文事业改革发展做出新的贡献。

故专为之序。



2016年9月

前 言

随着我国经济社会的快速发展，水资源短缺日趋严重，水环境恶化更加突出，水文工作的任务和要求也随之不断变化和增加。解决中国水问题，要求水文工作为防汛抗旱提供必要的信息支持，为水资源统一管理提供科学依据，为生态环境和经济建设提供全面服务。近年来，随着最严格水资源管理制度的实施，山洪灾害及中小河流治理，公众对水文关注度的提高，增加了大量水文测站，而现有的人员、传统的技术手段和水文监测体系难以较好地完成如此重要而繁重的任务，当前的水文监测体系面临着新的挑战，这就要求创新现代水文监测体系。

本书按现代水文监测体系的框架和“驻巡结合、巡测优先、测报自动、应急补充”的水文监测模式，介绍了最新的现代水文监测技术及其应用实践。

本书共分15章。第1章主要介绍现代社会对水文监测的需求；第2章主要介绍现代水文监测体系；第3章至第6章主要介绍降水与蒸发观测、水位观测、流量和泥沙测验，简要介绍常用的方法和途径，重点介绍新方法、新技术；第7章主要介绍地下水和墒情监测的方法和技术；第8章主要介绍水质现场快速监测和在线自动监测，包括方法、仪器原理、性能、适用条件等，不涉及常规水质采样及实验室化验分析；第9章主要介绍水生态监测的基本原理、方法、技术和水生态评价方法及水生态监测的新技术；第10章主要介绍水下地形测量的新方法、新技术；第11章介绍应急监测的组织、实施、技术和案例；第12章主要介绍水文巡测的核心技术，即水位-流量关系单值化方法及水文巡测方案的制定、组织与实施；第13章主要介绍与水文自动测报系统和水文测站工作相关的遥测站、分中心站和通信信道等设计方法与技术；第14章主要介绍水文数据处理与管理方面的内容、方法、设备和软件，强调全国通用整编软件的使用、巡测资料、中小河流和山洪灾害资料的管理，并简要介绍水文数据库和信息共享平台；第15章主要对水文监测发展的动力和趋势、智慧水文监测体系、面雨量和水面蒸发自动监测、水位流量自动监测、泥沙测验、水质监测、水下地形测量、水生态监测等方面的最新技术进行展望。

本书由王俊、王建群、余达征著。参加研究和写作的人员有：水利部水文局熊珊珊、胡健伟、王志毅、崔玉兰，长江水利委员会水文局熊明、陈松生、赵蜀汉、卞俊杰、赵起超、何坦、周波、杜耀东、熊莹、刘开平、

赵昕、梅军亚、汪金诚、张明波、陈春华，黄河水利委员会水文局张留柱，南京水文自动化研究所姚永熙，河海大学艾萍、舒大兴，太湖流域管理局水文局张健，江西省水文局刘建新。

本书参阅和借鉴了大量的学术文献和著作，得到了中国水利水电出版社的关心和支持，在此表示衷心的感谢！

著 者
2016年9月

目 录

序
前言

第1章 绪论	1
1.1 水文监测面临的挑战	1
1.1.1 社会发展提出了新目标	1
1.1.2 防洪抗旱提出了新要求	2
1.1.3 水资源管理提出了新需求	2
1.1.4 生态环境保护提出了新任务	2
1.1.5 水工程建设与运行提出了新要求	3
1.1.6 信息化社会提供了技术支撑与保障	3
1.2 水文监测需求	3
1.2.1 防洪安全对水文监测的需求	4
1.2.2 各类工程建设对水文监测的需求	6
1.2.3 最严格水资源管理对水文监测的需求	6
1.2.4 社会对水文监测的其他需求	8
1.3 本书的主要内容	9
第2章 现代水文监测体系	10
2.1 我国水文监测体系发展	10
2.1.1 1949 年以前	10
2.1.2 1949—1957 年	11
2.1.3 1958—1978 年年底	11
2.1.4 1978 年年底—2007 年	12
2.1.5 2007 年以后	13
2.2 国外水文监测体系概况	14
2.2.1 美国水文监测	14
2.2.2 其他国家水文监测简介	18
2.3 现代水文监测体系	19
2.3.1 水文监测体系的组成	19
2.3.2 国内外水文监测体系差异	20
2.3.3 我国水文监测体系存在的问题	21

2.3.4 水文监测体系创新	22
2.4 现有技术标准的发展	25
2.4.1 我国现有标准概况	25
2.4.2 现有主要标准适应性评价	26
第3章 降水与蒸发观测	29
3.1 降水量观测	29
3.1.1 降水量观测要求和方法	29
3.1.2 人工观测降雨量	30
3.1.3 人工观测固态降水量	31
3.1.4 虹吸式雨量计简介	32
3.1.5 翻斗式雨量计	33
3.1.6 称重式雨量计	40
3.1.7 测量水位型雨量计简介	42
3.1.8 光学雨量计	45
3.1.9 雨雪量计	46
3.1.10 雪量计	50
3.1.11 降水量观测数据的输出和记录	51
3.1.12 降水量仪器的安装	51
3.1.13 降水量观测误差简述	52
3.1.14 雷达测雨简介	57
3.2 水面蒸发观测	58
3.2.1 水面蒸发观测要求	58
3.2.2 20cm 蒸发器 (皿)	59
3.2.3 E601B 型水面蒸发器	60
3.2.4 国外应用的水面蒸发器	61
3.2.5 自动蒸发器	62
3.2.6 大型水面蒸发池	65
3.2.7 蒸发量观测误差简述	65
第4章 水位观测	67
4.1 水位观测方法和要求	67
4.1.1 水位观测方法	67
4.1.2 水位观测要求	67
4.2 水位观测设备	69
4.2.1 水尺	69
4.2.2 水位测针	69

4.2.3	悬锤式水位计	71
4.2.4	浮子式水位计	71
4.2.5	压力式水位计	78
4.2.6	超声波水位计	90
4.2.7	雷达水位计	93
4.2.8	电子水尺	95
4.2.9	磁致伸缩水位计	97
4.2.10	激光水位计	98
4.2.11	触点式报警水位计	99
4.2.12	洪峰水尺	100
4.3	水位观测平台	100
4.3.1	水位观测平台的类型	101
4.3.2	水位观测平台的技术要求	104

第5章	流量测验	106
5.1	流量测验方法和仪器	106
5.1.1	流量测验方法	106
5.1.2	流量测验仪器	106
5.2	流量测验载体的自动化	113
5.2.1	渡河设施设备简介	113
5.2.2	水文缆道	115
5.2.3	水文测船	120
5.2.4	水文测桥	126
5.2.5	测量飞机	130
5.3	常规流量测验	131
5.3.1	流速仪法测流	132
5.3.2	浮标法测流	132
5.4	快速流量测验	132
5.4.1	声学多普勒流速仪法	132
5.4.2	航空摄影法	172
5.5	流量实时在线监测	173
5.5.1	电波流速仪法	173
5.5.2	定点式声学多普勒流速仪法	174
5.5.3	积宽法	180
5.5.4	积深法	182
5.5.5	声学时差法	184
5.5.6	电磁法	190

第6章 泥沙测验	196
6.1 悬移质泥沙常规测验	196
6.1.1 悬移质泥沙测验方法	196
6.1.2 悬移质泥沙测验仪器	196
6.2 现场快速悬移质监测技术	198
6.2.1 现场快速泥沙测量技术	198
6.2.2 光学后向散射测沙	207
6.2.3 激光衍射测沙	213
6.3 推移质泥沙测验	232
6.3.1 概述	232
6.3.2 推移质输沙率测验	236
6.3.3 实测推移质输沙率的计算	240
6.4 河床质泥沙测验	242
6.4.1 河床质取样方法	242
6.4.2 河床质采样仪器	243
6.4.3 河床质泥沙测验	250
6.4.4 床沙颗粒级配分析及沙样处理	250
6.4.5 床沙资料计算	251
6.5 泥沙颗粒级配分析	251
6.5.1 传统泥沙颗粒级配分析技术	251
6.5.2 现代泥沙颗粒级配分析技术	252
6.5.3 泥沙颗分资料的整理	258
 第7章 地下水和墒情监测	262
7.1 地下水监测	262
7.1.1 地下水水位监测	262
7.1.2 地下水水质监测	275
7.1.3 地下水水温监测	284
7.1.4 地下水出水量的监测	287
7.2 墒情监测	288
7.2.1 墒情和土壤含水量	288
7.2.2 土壤含水量表示方法和测量要求	289
7.2.3 土壤含水量测量方法和仪器	290
7.2.4 土壤水分监测仪器的检测	308
 第8章 水质现场快速监测和在线自动监测	310
8.1 水质监测方法和仪器	310

8.1.1	水质监测方法	310
8.1.2	水质监测仪器	310
8.2	水质现场快速监测	311
8.2.1	快速检测箱法	311
8.2.2	便携式仪器法	312
8.2.3	综合毒性检测法	315
8.2.4	常用仪器的使用和维护	315
8.3	水质在线自动监测	320
8.3.1	水质在线自动监测系统的组成	320
8.3.2	电极法监测仪	323
8.3.3	湿化学法监测仪	326
8.3.4	光谱法监测仪	331
8.3.5	生物类监测仪	332
第9章	水生态监测	334
9.1	水生态监测基本定义及方法	334
9.1.1	水生态监测概况	334
9.1.2	水生态监测的特点	334
9.1.3	水生态监测主要指标	335
9.1.4	水生态监测主要方法	335
9.2	水生态监测设备	336
9.2.1	采样工具	336
9.2.2	主要分析工具及监测仪器设备	340
9.3	水生态状况调查	346
9.3.1	主要调查内容	346
9.3.2	水生态调查方法	347
9.4	水生态监测断面布设	347
9.4.1	断面布设原则	347
9.4.2	布设方法与要求	348
9.4.3	采样时间与监测频次	348
9.5	采样及检测分析	349
9.5.1	浮游植物监测	349
9.5.2	浮游动物监测	353
9.5.3	着生生物监测	355
9.5.4	底栖生物监测	357
9.5.5	鱼类监测	359
9.5.6	大型水生维管束植物监测	362

9.5.7	叶绿素监测	364
9.5.8	生物样品保存方法	366
9.5.9	质量保证与控制	367
9.6	水生态评价方法	368
9.6.1	指示生物法	368
9.6.2	生物指数法	368
9.6.3	种类多样性指数法	368
9.6.4	生物完整性指数	369
9.7	现代技术在水生态监测中的应用	369
9.7.1	水生态在线自动监测	369
9.7.2	遥感监测	372
9.7.3	分子生物学技术	373
9.7.4	鱼类声学追踪系统	374

第10章 水下地形测量 376

10.1	水下地形测量的内容与要求	376
10.1.1	控制测量	376
10.1.2	水深测量	378
10.1.3	水位控制测量	380
10.1.4	水体边界地形测量	380
10.1.5	水边线测量	381
10.1.6	水文大断面测量	382
10.1.7	数字化测图	383
10.2	水下地形测量技术	384
10.2.1	平面定位	384
10.2.2	水下测深	394
10.2.3	水位观测	402
10.2.4	水下淤泥观测	404
10.3	水下地形测量关键步骤	406
10.3.1	有验潮水下地形测量	406
10.3.2	无验潮水下地形测量	418
10.4	水下地形测量中典型问题的处理	419
10.4.1	问题的提出	419
10.4.2	问题的处理与解决	420
10.5	水下地形数据整理与成图	425
10.5.1	水下地形数据整理	425
10.5.2	水下地形成图	427

第 11 章 应急监测	431
11.1 应急监测的特点及主要工作内容	431
11.1.1 突发性水事件的特性	431
11.1.2 水文应急监测的特点	432
11.1.3 应急监测的主要任务及监测对象	434
11.1.4 水文应急监测的主要仪器设备	435
11.2 应急监测的组织管理与实施	438
11.2.1 应急监测的组织管理	438
11.2.2 水文应急监测实施	440
11.2.3 水文应急监测报告编制	441
11.3 分洪与溃口洪水监测	441
11.3.1 溃口水位监测及口门宽度测量	442
11.3.2 分洪溃口流量测验	444
11.3.3 溃口最大流量及沿程最大流量计算	450
11.4 堰塞湖监测	452
11.4.1 堰塞湖监测的主要工作内容	453
11.4.2 应急控制网的建立及实施	454
11.4.3 堰塞湖坝体测量	454
11.4.4 堰塞湖水水位监测	456
11.4.5 堰塞湖区降水量观测	457
11.4.6 堰塞湖流量监测	457
11.4.7 堰塞湖水体测量	458
11.4.8 下游河道地形测量	459
11.4.9 应用举例：唐家山堰塞湖水文应急监测	460
11.5 冰塞冰坝监测	464
11.5.1 冰塞冰坝监测的主要工作内容	464
11.5.2 冰塞冰坝监测	464
11.5.3 冰坝特征估算	465
11.6 突发性水污染事件监测	466
11.6.1 突发性水污染事件的分类及特点	466
11.6.2 应急监测的作用及基本要求	467
11.6.3 应急监测的组织管理和工作形式	468
11.6.4 应急监测的主要方法	471
11.6.5 现场应急监测的主要仪器	472
11.6.6 移动应急监测实验室	472
11.6.7 应急监测的质量保证	474
11.6.8 应急监测的成果处理及报告编制	475

第 12 章 水文巡测组织与实施	477
12.1 巡测优先的技术路线	477
12.2 流量巡测的技术基础	477
12.2.1 水位—流量关系单值化模型	478
12.2.2 水位—流量关系多项式模型	483
12.2.3 水位—流量关系绳套线模型	486
12.2.4 其他经典水位—流量关系模型	486
12.2.5 美国水位—流量关系模型	487
12.3 泥沙巡测的技术基础	488
12.3.1 悬移法泥沙与流量异步测验	488
12.3.2 现场快速泥沙测验技术——声学多普勒测沙技术	489
12.4 测验方式的选择	492
12.4.1 测验方式分类	492
12.4.2 确立测验方式的基本原则	492
12.4.3 测验方式与测验精度	493
12.4.4 测验方式方法分析	494
12.5 巡测方案的制定	494
12.5.1 测区划分	494
12.5.2 巡测方式	495
12.5.3 巡测时机	495
12.5.4 巡测路线	496
12.5.5 巡测要求	496
12.5.6 巡测资源配置	496
12.6 暴雨洪水调查	497
12.6.1 调查的目的	497
12.6.2 调查的方法与内容	497
12.6.3 洪水调查	498
12.6.4 暴雨调查	501
第 13 章 水文自动测报系统	504
13.1 水文自动测报系统的基本概念	504
13.2 数据采集传输的方法和设备	506
13.2.1 数据采集传输的方法	506
13.2.2 数据采集设备	508
13.3 信息传输技术	517
13.3.1 概述	517
13.3.2 信道及其特点	517

13.3.3	通信设备及路由	520
13.3.4	组网	523
13.3.5	中心站数据传输	523
13.4	供电	524
13.4.1	中心站的供电	524
13.4.2	测站的供电	524
13.4.3	超短波中继站的供电系统	529
13.5	避雷	529
13.5.1	雷电的分类	529
13.5.2	水文自动测报系统的防雷设计要求	530
13.5.3	水文自动测报系统中常用的防雷措施	531
13.6	水文数据存储	535
13.6.1	在站数据存储	535
13.6.2	数据下载	536

第14章 水文数据处理与管理

14.1	概述	538
14.1.1	水文数据的类型	538
14.1.2	水文数据的处理、传输与存储	538
14.1.3	水文数据的特点与管理	539
14.1.4	水文数据处理与存储流程	540
14.2	水文资料整编	541
14.2.1	概述	541
14.2.2	水位资料整编	542
14.2.3	流量资料整编	545
14.2.4	泥沙资料整编	568
14.2.5	水文资料整编技术	577
14.2.6	水文资料审查的主要方法	586
14.2.7	中小河流水文资料整编	586
14.3	水文年鉴及汇编	587
14.3.1	水文年鉴	587
14.3.2	水文年鉴汇编	588
14.3.3	汇编质量控制	589
14.4	水文数据库	589
14.4.1	水文数据库总体架构	589
14.4.2	水文数据库物理模型	591
14.4.3	水文数据库逻辑模型	592

14.4.4	水文数据库存储内容	593
14.4.5	水文数据库管理	593
14.4.6	水文数据库应用与服务	596
14.5	信息共享平台	599
14.5.1	平台总体架构	599
14.5.2	平台功能结构	600
14.5.3	信息共享服务体系	601
14.5.4	共享服务内容	602
第 15 章 展望		603
15.1	水文监测的发展动力	603
15.2	水文监测的发展趋势	604
15.3	智慧水文监测体系	605
15.3.1	体系结构	605
15.3.2	天基监测	606
15.3.3	空基监测	608
15.3.4	陆基监测	609
15.4	面雨量和水面蒸发自动监测	613
15.4.1	高分辨区域面雨量自动监测系统	613
15.4.2	TRMM 与 GPM	614
15.4.3	水面蒸发自动监测	616
15.5	水位-流量自动监测	617
15.5.1	非接触水体测流法	617
15.5.2	粒子成像测速法	618
15.6	泥沙测验	619
15.7	水质监测	620
15.8	水下地形测量	621
15.8.1	水下机器人	621
15.8.2	机载激光测深	621
15.8.3	高分辨率测深侧扫声呐和多波束测深组合系统	622
15.8.4	三维激光扫描仪	623
15.9	水生态监测	624
参考文献		625