

水 科 学 前 沿 丛 书

寒区水文野外观测方法

陈仁升 等 编著



科学出版社

水科学前沿丛书

寒区水文野外观测方法

陈仁升 等 编著

国家自然科学基金重大研究计划项目 (91025011)

国家重大科学研究计划重大科学目标导向课题 (2013CBA01806)

资助出版

科学出版社

北 京

内 容 简 介

受全球变暖影响,寒区成为了当今水文、生态和大气等学科研究的前沿阵地。中国寒区水文研究亟须全面、同步和长期的观测数据,本书主要介绍了寒区水文野外观测经验与方法。按照寒区水文分支学科,从寒区水文学角度,描述了寒区气象、冰川水文、积雪水文、冻土水文、寒漠带水文、高寒灌丛水文、森林水文、河川径流和地下水等的野外试验及观测方法,最后介绍了寒区野外安全工作注意事项。

本书可供从事水文学、气象学和冰冻圈科学等专业的科研和管理人员,以及相关专业的高等院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

寒区水文野外观测方法/陈仁升等编著. —北京:科学出版社, 2015.3
(水科学前沿丛书)

ISBN 978-7-03-043032-8

I. ①寒… II. ①陈… III. ①寒冷地区-水文观测 IV. ①P332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 009523 号

责任编辑:朱海燕 李秋艳/责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张:20

字数:480 000

定价:189.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《水科学前沿丛书》编委会

(按姓氏汉语拼音排序)

顾 问	曹文宣	陈志恺	程国栋	傅伯杰
	韩其为	康绍忠	雷志栋	林学钰
	茆 智	孟 伟	王 超	王 浩
	王光谦	薛禹群	张建云	张勇传
主 编	刘昌明			
常务副主编	徐宗学			
编 委	蔡崇法	常剑波	陈求稳	陈晓宏
	陈永灿	程春田	方红卫	胡春宏
	黄国和	黄介生	纪昌明	康跃虎
	雷廷武	李怀恩	李义天	林 鹏
	刘宝元	梅亚东	倪晋仁	牛翠娟
	彭世彰	任立良	沈 冰	王忠静
	吴吉春	吴建华	徐宗学	许唯临
	杨金忠	郑春苗	周建中	

《水科学前沿丛书》出版说明

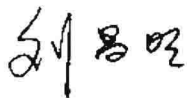
随着全球人口持续增加和自然环境不断恶化,实现人与自然和谐相处的压力与日俱增,水资源需求与供给之间的矛盾不断加剧。受气候变化和人类活动的双重影响,与水有关的突发性事件也日趋严重。这些问题的出现引起了国际社会对水科学研究的高度重视。

在我国,水科学研究一直是基础研究计划关注的重点。经过科学家们的不懈努力,我国在水科学研究方面取得了重大进展,并在国际上占据了相当地位。为展示相关研究成果、促进学科发展,迫切需要对过去几十年国内外水科学不同分支领域取得的研究成果进行系统性的梳理。有鉴于此,科学出版社与北京师范大学共同发起,联合国内重点高等院校与中国科学院知名中青年水科学专家组成学术团队,策划出版《水科学前沿丛书》。

丛书将紧扣水科学前沿问题,对相关研究成果加以凝练与集成,力求汇集相关领域最新的研究成果和发展动态。丛书拟包含基础理论方面的新观点、新学说,工程应用方面的新实践、新进展和研究技术方法的新突破等。丛书将涵盖水力学、水文学、水资源、泥沙科学、地下水、水环境、水生态、土壤侵蚀、农田水利及水力发电等多个学科领域的优秀国家级科研项目或国际合作重大项目的成果,对水科学研究的基础性、战略性和前瞻性等方面的问题皆有涉及。

为保证本丛书能够体现我国水科学研究水平,经得起同行和时间检验,组织了国内多位知名专家组成丛书编委会,他们皆为国内水科学相关领域研究的领军人物,对各自的分支学科当前的发展动态和未来的发展趋势有诸多独到见解和前瞻思考。

我们相信,通过丛书编委会、编著者和科学出版社的通力合作,会有大批代表当前我国水科学相关领域最优秀科学研究成果和工程管理水平的著作面世,为广大水科学研究者洞悉学科发展规律、了解前沿领域和重点方向发挥积极作用,为推动我国水科学研究和水管理做出应有的贡献。



2012年9月

• i •

序

中国高寒山区对陆地表层过程进行观测的野外台站建设日新月异,在基本观测资料积累、观测试验和研究、人才培养和各种先进的野外观测仪器的研制、应用和布设等方面均取得了长足的进展。对与人类活动直接相关的高寒山区陆地表层过程进行观测和研究,是为了探索大气、水、冰、雪、植被、土壤、岩石的相互作用规律,从而不断为资源的合理开发利用和生态与环境保护提供科学的决策依据,同时不断丰富和完善高寒山区地球表层学科体系。如果说传统的地理学对地球表层过程的研究以定性为主,那么野外台站的建设和发展,使得地球表层科学研究进入了以大自然为实验室的定量实验科学阶段。其特色是野外观测试验和数学模型的模拟研究紧密结合。寒区属于高纬度和高海拔地带,准确获取野外观测数据和信息是各项研究工作与决策的基础,其野外台站和观测试验需要适应特殊环境和学科特色的野外观测规范和方法。在陆地表层各种过程的相互作用系统中,联系的纽带是能量和水分循环及其相互之间的平衡关系。其中,水文过程起着十分重要的作用。因此,水文学和陆地表层系统中的其他学科形成交叉学科,包括冰川水文、积雪水文、冻土水文、寒漠水文、草甸水文,草地水文、灌丛水文、森林水文、生态水文等。和常规水文和气象台站不同,高寒山区野外观测面临恶劣的气候环境、复杂的地形和空间异质性很大的下垫面条件。高寒山区的水文过程观测,不仅要遵守和因地制宜地应用常规水文观测规范和气象观测规范,而且还要有一套独特的水文过程观测方法。这些野外观测方法不仅要在本站取得高质量的观测试验数据来进行各种水文过程的数学模拟研究,还要通过整编为各种研究和应用的目的提供规范的数据集。随着野外台站和观测试验与研究的发展,在基本观测资料的获取和整编与应用方面,需要对野外观测方法进行规范,总结和交流已有的野外工作经验,不断促进野外观测试验工作适应学科发展的要求。近期,刘时银等编写的《冰川观测研究方法》一书出版,对规范冰川学的野外工作方法做了很好的总结。

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所黑河上游生态-水文试验研究站的年轻学术带头人和科研人员,十多年来,在从事高寒山区水文过程的观测试验和研究工作中,立足于保证观测资料的精度和质量,遵循常规水文和气象台站的观测规范,借鉴国内外寒区水文观测方法,依据在实际观测试验工作中的经验,摸索出了一套在高寒山区流域进行水文过程观测试验的方法,将其总结于这本《寒区水文野外观测方法》一书中。该书是对中国高寒山区水文观测方法的一次系统总结,较好地体现了高寒区的特征,在学科交叉和综合、通过观测试验来认识和检验高寒山区的水文规律、观测和模拟相结合等方面,表现出了从事寒区水文观测和研究的特色。

该书各章节均体现出水文学和其他高寒山区各学科分支相交叉的特点;在整体上,又体现出高寒山区学科综合的特色。在气象部分,实际上是水文微气象学和水文微气候学的观测,融合了对各水文气象要素的观测规范,以及气象观测塔、自动气象观测系

统、卫星遥感和仪器遥测系统的观测方法。对各种观测仪器在高寒山区的安装、使用、数据采集、维修、保养和故障处理等方面的知识和经验进行了总结。这部分较好地体现了水文和气象相结合的野外观测。在降水观测方面，包括各种降水观测仪器对点降水量的误差分析和校正、固液态降水量的分离，遥感和雷达降水观测等新技术和方法的应用，以及如何从点降水量来估算高寒山区流域降水量。对蒸散发的观测和估算方面，土壤蒸发、植物蒸腾和蒸散发则是水文学、气象学、气候学和生态学共同的野外观测项目。在水文循环和生态水文过程的观测中也体现了地面观测和遥感监测相结合的特点。

在冰川水文、积雪水文、冻土水文部分，则体现出冰川学、冻土学和积雪科学与水文科学交叉的野外观测方法。冰川水文包括现代冰川作用区水文学和冰川融水补给河流水文学两方面，该书对冰川表面和冰内冰下融水的产流与汇流过程的观测方法进行了介绍和总结。在冻土水文方面，则从冻土学、土壤学、植物学和水文学的交叉部分总结了冻土区的能水交换和转化以及产流与汇流过程的野外观测方法。高寒灌丛水文和森林水文部分，包括高寒草甸水文和草地水文，是水文学与植物学、植物地理学和植被生态学交叉的野外观测方法。寒漠带水文则是作者具有原创性的野外观测方法的总结。高寒山区流域地下水文过程的观测和研究非常薄弱，这部分是该站科研人员对中国高寒山区水文地质学观测方法的一次总结，包括多年冻土的冻结层上水、层中水和层下水的观测方法。在河道径流的观测方面，体现出了在上述水文过程观测的基础上，在流域尺度上各种相互作用过程对产流和汇流径流形成综合作用过程的观测与控制，包括河冰和泥沙的观测。

该书对寒区水文野外观测方法的论述还附了大量在野外实地操作的照片，这对于在高寒山区特殊的自然环境和人类活动相对较少条件下的野外观测工作的介绍与说明更明晰和便于操作。对各种观测方法的理论依据和工作原理、野外遇到问题的处理、资料采集、整编计算的论述和翔实介绍、规范寒区水文野外观测方法很有应用价值。

该书还根据作者在高寒山区的野外工作经验，总结了在不同高山环境下如何保障安全、工作步骤及有关注意事项，这对于在高寒山区从事野外观测非常重要。

该书的作者均是“七零”后和“八零”后的学术带头人和科研骨干，他们常年在高寒山区从事观测试验，同时进行寒区水文的数值模拟研究工作，成果丰硕。这个年轻人的科研团队朝气蓬勃，勤奋工作，努力钻研，勇于探索，求是创新，立足于寒区水文的学科前沿，编写了这本寒区水文野外观测方法的书。该书的出版将在规范寒区水文野外观测方法、资料整编和质量控制等方面促进中国高寒山区的观测和研究工作的交流与发展。随着科学技术的发展，寒区水文的野外观测方法也将与时俱进，本书也打下了促进野外观测方法的交流和不断发展完善的一个基础。

康尔泗

2014 年 8 月

前 言

寒区水文是地球陆地高纬和高海拔寒冷气候区的水文学,包括冰川、积雪、冻土等在内的冰冻圈水文过程,主要研究冰川、积雪消融过程及其融水和降水经由各种寒区下垫面参与土壤冻融过程中所发生的产流、入渗、蒸散及汇流等水的运动、转化和循环规律。独有的寒区下垫面类型、冰冻圈存在及贯穿于其中的能水循环过程是寒区水文研究的特色。寒区占全球陆地面积的 $1/4$ 以上,约 75% 的淡水资源储存于寒区陆地冰冻圈中,超过 $1/6$ 的世界人口直接生活在冰雪作用流域,仅发源于亚洲高海拔寒区的 10 条大江、大河就孕育着全球约 40% 的人口。寒区冰冻圈和生态对全球变化极为敏感,冰冻圈萎缩对水资源跳跃式的而非趋势式的影响已经在若干地区得以显现,全球变化与水资源问题的焦点因而转移到了寒区。但寒区观测数据/精度和研究成果的相对匮乏,已经成为制约当前全球变化、水循环/水资源和气候模式等研究领域的主要瓶颈。了解寒区物理过程,提高对寒区大气和水文过程的模拟能力是关键。

中国寒区陆地面积为 $417.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,是中国主要大江、大河的发源地及半干旱区的主要地表水源,更是干旱区的水塔。高海拔(西部高寒区面积 $298.6 \times 10^4 \text{ km}^2$)是中国寒区的特色,高寒山区水文过程研究是中国西部水资源预估及水源地保护的基础,是了解内陆河流域水循环过程的关键。中国高寒区与北半球高纬寒区具有较大的差异,国外高纬寒区水文过程的研究结果难以反映中国高寒区水文循环的特征。目前中国高寒区流域水文的研究重点主要针对冰冻圈,特别是冻土水文过程、高海拔山区降水时空分布以及高寒区典型植被在流域水文循环中的作用及其和环境要素的相互关系,其主要限制因素是缺乏全面、同步的观测数据。针对中国高寒山区特有水循环规律认识不足以及高精度驱动数据和多变量验证数据缺乏的研究现状,结合高纬寒区相关研究结果及传统的物理水文学规律,通过观测试验和模型模拟,获取中国高寒区水文过程的基本规律、经验公式和关键参数是当前中国高寒区水文学领域的关键课题,这也正是建立高寒区观测试验的主要科学目的之一。

为此,自 2004 年起,在祁连山黑河源区野牛沟布设了寒区气象和冻土水文观测试验场。考虑到该观测场条件较为简陋、观测内容相对单一,难以系统描述寒区水文过程,自 2008 年起,笔者在祁连山黑河源区葫芦沟寒区水文试验小流域内布设了寒区气象、水文、植被和冰冻圈系统监测网络,开展了寒区气象时空分布、冰川水文、冻土水文、积雪水文、寒漠水文、森林水文、灌丛水文和草甸水文等寒区水文分支学科的研究,初步评估了中国西部高寒区典型下垫面的水文功能,总结了高寒区水循环的若干规律,以及研究过程中发现的部分问题、遗漏点及难点,并对寒区水文中的几个关键参数进行了率定,在一定程度上提高了中国高寒区水文过程认识和模拟能力。

鉴于寒区水文野外工作主要在极端寒冷艰苦环境下开展,野外观测及仪器运行和维护存在许多难以估料的问题,尽管有许多前人经验作为借鉴,在实际工作中仍然面临许

多困难。此外，寒区水文属相对特殊的水文学分支，国内外从业人员及可资借鉴的经验相对较少，特别是当今野外观测已经进入数字化、信息化的“实验科学”阶段，需要不断摸索与总结。经过10年（2004~2014年）寒区水文野外观测工作积累，并在广泛借鉴国内外前人经验的基础上，汇总寒区水文野外观测方法并编纂成书，使相关科研工作者得以借鉴。

全书由陈仁升组织编纂、通稿和定稿。按照寒区水文学科分支，设计为10章。第1章介绍寒区气象观测方法及经验，在遵循相关气象观测规范的基础上，着重介绍寒区气象观测的特殊性及相关经验；第2章~第3章主要介绍冰冻圈水文过程的主体，即冰川水文、积雪水文和冻土水文的野外观测与试验方法，这部分与冰冻圈观测有交叉，但主要从水文学的角度来阐述，其中第4章冻土水文部分，与积雪水文、植被截留和水分消耗等密不可分，本章主要阐述了冻土水文的观测方法，并包含了高寒草甸、草原的水文过程；第5章将高山寒漠带水文过程单独列出，其实际上仍然是一种特殊的冻土水文过程，但特色明显；第6章和第7章主要描述寒区灌丛和森林水文过程的观测方法。中国寒区灌丛水文过程观测和研究相对较少，森林水文观测方法则较为成熟。但寒区灌丛与森林水文、积雪水文和冻土水文过程关系密切，其水文过程也有特殊的意义和观测方法；第8章汇总了寒区河道径流的观测经验和规范，着重强调寒区河道径流的观测困难、缺陷以及提高观测精度的可能方法；第9章介绍了寒区地下水监测方法，受冻土覆盖影响，寒区地下水的形成过程及赋存条件与其他地区明显不同；第10章汇总了野外工作注意事项，主要参考了相关规范，并结合笔者的野外经验做了进一步阐述。各章主要撰稿人如下：

第1章：韩春坛，陈仁升，刘俊峰，王岗

第2章：卿文武，陈仁升

第3章：刘俊峰，陈仁升

第4章：阳勇，陈仁升，朱平

第5章：韩春坛，陈仁升

第6章：刘章文，宋耀选，朱平

第7章：刘章文，宋耀选

第8章：刘俊峰，韩春坛，陈仁升

第9章：韩春坛

第10章：韩春坛，陈仁升

尽管近年来作者在寒区水文野外试验方面积累了一定的经验，但毕竟年轻识浅，而寒区水文涉及许多分支学科，研究和观测的系统性、综合性较强，野外观测经验还在不断摸索和积累之中，本书的错误和疏漏之处在所难免，敬请读者不吝指正。

编著者

2014年6月

目 录

《水科学前沿丛书》出版说明

序

前言

第 1 章 寒区流域气象观测	1
1.1 流域气象站布设原则及监测要素	1
1.1.1 布设原则	1
1.1.2 观测要素	2
1.1.3 地面气象观测场	2
1.1.4 自动气象站	4
1.2 降水	9
1.2.1 单点观测仪器及方法	9
1.2.2 雨量筒观测误差及校正	20
1.2.3 雷达降水观测	25
1.2.4 降水空间分布及插值方法	27
1.2.5 固液态降水分离	29
1.3 气温和相对湿度	32
1.3.1 气温	32
1.3.2 相对湿度、水汽压及饱和水汽压	33
1.3.3 露点温度	34
1.4 蒸发、蒸腾及蒸散发	36
1.4.1 概念	36
1.4.2 蒸发力	37
1.4.3 土壤蒸发量	42
1.4.4 蒸腾量	44
1.4.5 蒸散发量	45
1.5 风速及风向	53
1.5.1 常用观测仪器	53
1.5.2 目测风向、风速的方法	55
1.5.3 寒区流域风速、风向插值方法	55
1.6 气压	58
1.7 云量及日照时数	59
1.7.1 云量	59
1.7.2 总云量遥感数据产品推荐	59

1.7.3	日照时数	60
1.8	太阳辐射	61
1.8.1	气象站常规观测	61
1.8.2	辐射自动传感器	62
1.8.3	高寒区总辐射估算方法	63
1.9	寒区大气降尘	64
1.10	高寒区可用遥感气象资料及评估	65
1.10.1	降水	65
1.10.2	寒区水循环变量卫星遥感	71
1.10.3	寒区生态卫星遥感	73
1.10.4	水循环航空遥感	73
1.10.5	流域地面观测新自动技术	76
1.11	寒区自动气象站安装及维护经验	77
1.11.1	供电系统	77
1.11.2	CR 系列数采仪不能连接的解决方法	81
1.11.3	称重传感器的误差校准	92
1.11.4	其他	93
	参考文献	93
第 2 章	冰川水文	103
2.1	冰川物质平衡观测	104
2.1.1	冰川流域降水观测特殊说明	105
2.1.2	冰面气象站特殊监测要素及塔架安装	105
2.1.3	冰雪蒸发/升华观测	107
2.1.4	消融观测及估算方法	108
2.2	冰川运动	115
2.2.1	冰川运动对物质平衡监测的影响	115
2.2.2	冰川表面运动测量方法	116
2.2.3	冰川表面运动速度测量	117
2.3	冰川面积	119
2.4	冰川厚度及体积	119
2.4.1	冰川厚度	120
2.4.2	冰川体积	120
2.5	冰川融水径流及汇流途径	121
2.5.1	冰面融水径流	121
2.5.2	冰川汇流	122
2.5.3	冰川末端径流	124
	参考文献	125
第 3 章	雪水文	129
3.1	降雪	130

3.2 积雪基本要素 130

3.2.1 雪深 131

3.2.2 密度 134

3.2.3 含水量 135

3.2.4 雪水当量 136

3.2.5 雪温 137

3.2.6 积雪日定义及探讨 137

3.2.7 积雪面积 138

3.2.8 反照率 141

3.2.9 积雪导热系数 142

3.3 风吹雪 143

3.3.1 观测方法 144

3.3.2 估算方法 145

3.4 积雪变质过程 146

3.5 积雪升华 147

3.6 积雪消融过程 148

3.7 融雪径流 149

3.8 积雪消融及径流模型 150

3.8.1 度日因子法 150

3.8.2 物质平衡法 150

3.8.3 能量平衡法及积雪特色 150

3.9 雪水文观测计划及共享资料简介 153

参考文献..... 154

第4章 冻土水文..... 158

4.1 冻土—植被—大气能水平衡 158

4.2 未冻结土壤基本物理性质 159

4.2.1 环刀原状土参数测量 159

4.2.2 土壤饱和导水率 161

4.2.3 土壤颗粒组分 163

4.3 冻土热特性参数 164

4.3.1 地温 164

4.3.2 冻结深度 168

4.3.3 地热通量 170

4.3.4 冻土导热系数 170

4.4 冻土水分特性参数 174

4.4.1 冻土含水量 174

4.4.2 土壤水势及水分特征曲线 177

4.4.3 冻土导水率 181

4.5 冻土地区产汇流过程 182

4.5.1	径流场	182
4.5.2	小流域	183
4.6	蒸散发	185
4.7	地下冰	186
4.8	冻结层下水	187
	参考文献.....	187
第5章	寒漠水文.....	190
5.1	寒漠带的形成条件及空间分布	190
5.1.1	形成条件	190
5.1.2	空间分布	191
5.2	寒漠带下垫面特性	193
5.2.1	土壤	193
5.2.2	植被	196
5.2.3	微生物	198
5.3	降水	198
5.4	蒸发	200
5.5	凝结	202
5.6	入渗	204
5.7	产汇流过程	204
5.7.1	观测方法	204
5.7.2	暴雨主产流区地位	205
5.7.3	径流年内变化	206
5.7.4	特殊的冻土水文过程	207
5.8	地下水	207
5.9	观测困难与缺陷	208
	参考文献.....	209
第6章	寒区灌丛水文.....	213
6.1	降水截留	214
6.1.1	林外降雨量	214
6.1.2	穿透雨	214
6.1.3	树干茎流量	216
6.1.4	灌丛茎干集流率	217
6.1.5	枯落物截留实验观测	218
6.1.6	灌丛冠层最大截留容量	220
6.1.7	降水截留模型	222
6.2	样地和植被参数	226
6.2.1	样地布设及观测方法	226
6.2.2	叶面积指数	227
6.3	灌丛蒸散发	230

6.3.1	蒸腾	230
6.3.2	蒸散发	231
6.4	灌丛土壤参数获取	233
6.4.1	土壤水分参数	233
6.4.2	土壤饱和入渗速率	233
6.5	灌丛根际区水分再分配	234
6.5.1	大孔隙流观测方法介绍	234
6.5.2	染色示踪法	234
6.6	灌丛产汇流观测	235
6.6.1	天然坡面径流场	235
6.6.2	人工径流小区	235
	参考文献	236
第7章 寒区森林水文		241
7.1	观测场布设及观测指标	242
7.1.1	观测场布设	242
7.1.2	观测指标	243
7.2	降水截留	247
7.2.1	降水量	247
7.2.2	穿透雨量	247
7.2.3	树干茎流	247
7.2.4	冠层最大持水能力	249
7.2.5	截留模型	252
7.2.6	林下植被截留观测	253
7.2.7	枯枝落叶层及苔藓层	253
7.3	森林土壤参数获取	253
7.3.1	森林土壤物理化学性质	253
7.3.2	森林凋落物分解速率	253
7.3.3	森林土壤有机碳观测	254
7.4	森林蒸散发观测	255
7.4.1	单木树干液流量	255
7.4.2	林分蒸散发观测	257
7.4.3	多林分蒸散发观测	258
7.4.4	同位素示踪法	258
7.5	森林径流观测	262
7.5.1	人工径流场	262
7.5.2	壤中流	262
7.5.3	地下水	263
7.5.4	小流域与集水区地表径流观测	263
7.6	生态参数获取	263

7.6.1	叶面积指数	263
7.6.2	物候	265
	参考文献	265
第8章	河道径流观测	270
8.1	寒区径流观测困难与缺陷	270
8.2	观测方法	272
8.2.1	浮标法	272
8.2.2	溶液法	272
8.2.3	容积法	274
8.2.4	量水堰	274
8.2.5	断面法	274
8.2.6	常见流速仪简介	279
8.2.7	冻结期测流方法	282
8.3	河冰	284
8.3.1	观测断面布设	284
8.3.2	观测项目	284
8.3.3	监测方法	286
8.4	基流	286
8.5	泥沙	287
8.5.1	河流泥沙量的概念	288
8.5.2	悬移质泥沙测量	288
8.5.3	断面输沙率测量	288
8.5.4	推移质测量	288
8.6	水文断面维护	289
8.7	流量整编方法简介	290
	参考文献	290
第9章	地下水	292
9.1	多年冻土区的地下水	292
9.1.1	冻土层上水	292
9.1.2	冻土层中水	293
9.1.3	冻土层下水	293
9.2	地下水动态监测	293
9.2.1	监测网布设	294
9.2.2	地下水水位和水温监测	294
9.2.3	地下水水质监测	294
	参考文献	296
第10章	寒区野外工作安全事项	297
10.1	野外工作前的准备	297
10.2	野外工作常规注意事项	298

10.3 野外营地..... 299

 10.3.1 借住民房..... 299

 10.3.2 搭建营地..... 299

10.4 山区..... 300

10.5 林区..... 300

10.6 高原地区..... 300

10.7 沼泽地区..... 301

10.8 徒步涉水渡河..... 301

参考文献..... 301

第1章 寒区流域气象观测

气象要素是寒区水文过程的驱动因子,直接影响冰冻圈变化及消融、植被生长以及寒区水循环过程。中国高寒区气象监测相对稀少,特别是在高山区,现有气象观测难以满足寒区水文研究和水资源评估等的需求(Chen et al., 2014a)。寒区流域地形复杂,气象因子的变化并不完全取决于自由大气,具有高度的时空异质性,特别是降水、风速及风向、蒸散发、地表温度以及辐射和能量平衡项等。高寒区海拔高且山区流域海拔跨度大,人工徒步监测难度大,观测项目和范围有限且难以长期坚守,获取高时空分辨率的气象数据比较困难。使用高稳定性、自动化观测仪器,可以获取连续的、多要素的、高时间分辨率的气象数据。但这些仪器在高寒环境下仍然不可避免出现一些问题,如数据断续、各种干扰影响数据精度等问题,需要积累维护经验。尽管人工观测有其观测频率、要素和范围的限制,但其数据精度较有保障,对于修正自动仪器数据有一定的帮助,而且某些要素以人工观测方法为好,如最高和最低气温、积雪和冰川升华量、冬季土壤蒸发量等气象要素,以及水文观测中天然河道径流的流速和水位等。

本章在参照相关地面气象观测规范的基础上,主要从寒区流域水文学的角度,阐述寒区气象要素的相关观测方法,着重强调寒区气象观测的一些特殊性及困难,是对现有地面气象观测规范的一些具体阐述和补充。

1.1 流域气象站布设原则及监测要素

1.1.1 布设原则

流域是水文过程的基本单元。寒区流域,特别是山区流域,气象因子受地形、地貌、下垫面类型以及冰冻圈等的影响而复杂多变。寒区流域气象监测网络布设,需根据流域大小、地形、地貌、下垫面类型以及布设目的设计监测网络。一般来讲,可遵循以下基本原则。

1) 视研究目的及流域已有气象站情况布设。首先需要根据研究目的,了解拟研究流域现有气象站的数量、位置、海拔、所处下垫面类型、观测要素、观测频率和观测历史等,确定是否需要补充新的观测站点和观测内容。研究目的和研究内容(单一水文过程研究、流域水循环研究和流域径流变化等)、时间尺度(小时/月/年/年际/历史)、详细程度(精细、粗略)以及空间尺度不同(微观、宏观),对气象资料的需求具有较大的差异。

2) 考虑研究流域面积、地形、地貌、下垫面类型等综合布设,尽可能做到一个气象站多种使用功能。气象站既要能获取流域尺度的气象要素变化,又能兼顾气象要素时空差异性分析,还要满足特殊下垫面类型一维尺度、坡面尺度等水文过程的研究需求。