

中国科学院大学研究生教材系列

寒区水文导论

主编 丁永建

副主编 张世强 陈仁升



科学出版社

中国科学院大学研究生教材系列

寒区水文导论

主 编 丁永建

副主编 张世强 陈仁升



科学出版社

北 京

内 容 简 介

寒区水文主要研究寒区内的各种水文现象、过程和规律,其中冰川、冻土、积雪等特殊的水文过程及其在流域及区域乃至全球尺度上的作用和影响是关注的重点。本书是在总结过去已有研究积累的基础上,通过理论概括、现象提升、规律总结形成的针对大学本科及以上学历读者的教材式的论著。本书主要从冰川、积雪、冻土水文到流域多要素水文过程进行了较为系统化的论述。在此基础上,本书还对冰冻圈与海平面及大洋环流等大尺度水文循环的关系进行了介绍。

本书可作为高校本科生和研究生的教材或教学参考用书,也可作为水文、水利、农业、林业、地理、生态、环境、地质、大气、工程等方面科技人员及相关管理和决策人员了解相关知识的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

寒区水文导论/丁永建主编. —北京:科学出版社,2017.7
(中国科学院大学研究生教材系列)

ISBN 978-7-03-052069-2

I. ①寒… II. ①丁… III. ①寒冷地区-水文学-研究 IV. ①P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 047646 号

责任编辑:杨帅英 赵 晶 / 责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:图阅社

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

*

2017 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 7 月第一次印刷 印张:30 1/4

字数:717 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

我国西部的可持续发展与水资源密切相关。西北干旱区,特别是内陆河流域的主要水资源形成于高寒山区,耗散于中下游的绿洲地区,寒区冰冻圈的变化决定了高寒山区水资源量的变化及其季节分配,对其水文过程的深入理解对西北地区水资源的高效管理和调控具有至关重要的作用。另外,目前国际冰冻圈研究正在向科学体系化方向发展,冰冻圈科学的建立正处于起步阶段。寒区与冰冻圈密切关联,冰冻圈固、液相变及相应的水文过程是寒区水文研究的重点。寒区水文不仅关注冰冻圈与水圈相互作用关系,同时更加关注冰冻圈要素在寒区流域的水文作用和影响,寒区水文是冰冻圈科学与水文学的交叉科学。发展寒区水文,不仅为发展冰冻圈科学做出中国科学家主导性的贡献,也是历史赋予我国科学家为国际全球变化研究做出重要贡献的绝佳机遇,而且也为我国适应冰冻圈变化提供科学支撑,更是中国适应全球变化影响、服务于西部持续发展的重要切入点。

我国寒区水文方面的研究经过了几十年的发展,起起落落,历经 20 世纪 50 年代的起步期,在开展了短暂的观测研究后,即受政治运动干扰进入停滞期。在 80 年代曾经历了一个短暂发展的阶段,取得了一些野外观测和试验数据,并以此为基础,完成了《冰川水文》《中国冰川水资源》和《寒区水文》等专著,形成了我国寒区水文研究的基础。虽然限于当时观测条件、研究手段和认识基础,这些研究成果的科学认识基础还很薄弱,但对推动我国寒区水文的整体发展起到了重要的基础性作用。进入 21 世纪以来,以丁永建研究员为代表的中国寒区水文研究团队从冰冻圈科学的视角,开展了系统的寒区水文研究,在唐古拉山、祁连山、天山等不同寒区流域构建了针对冰川、积雪、冻土、降水等水文要素及冰面、冻土、寒漠、草地、灌木等不同下垫面的寒区水文综合观测系统,同时针对寒区水文特点,开展了冰川、积雪和冻土水文的模拟研究,如今已经形成了集野外观测试验、实验室样品分析、模型综合模拟于一体的体系化研究平台、方法和队伍。经过近十几年的研究积累,我国寒区水文已经得到了全面、快速发展,与国际研究并驾齐驱,不仅深化了对寒区水文的理论和认识水平,而且也对流域水资源持续利用、生态保护工程建设、防洪减灾等起到重要作用。

随着全球气候的持续变暖,对于十分敏感的寒区水文过程也已经并将持续发生显著变化,其带来的影响也将不断显现。因此,关注寒区水文研究,不仅具有科学认识上的重要价值,而且更重要的是对区域可持续发展具有重要的科学支撑作用。在此背景下,《寒区水文导论》的完成无疑为广大感兴趣的读者带来了快捷了解相关知识的通道,也十分及时地弥补了相关领域尚无体系化教材的空白。该书系统地总结了国内外寒区水文发展的现状和趋势,详细介绍了寒区水文研究中的具体方法和手段,系统地将冰川水文、冻土水

文、积雪水文,以及冰冻圈在流域中的水文作用等集成到同一框架下,在理论、方法、学科体系等方面进行了系统总结和梳理,并力图以教科书的形式展示给读者,不仅为相关科技人员提供全面的寒区水文科学知识,也为广大高校学生和研究生提供系统化学习寒区水文理论和方法的工具。

《寒区水文导论》的出版,是冰冻圈科学体系建设的重要组成部分,是学科走向成熟的标志。我为此感到高兴,值得庆贺。令人欣慰的是,在丁永建研究员的带领下,一批年轻科学家正在成长起来并独当一面,这也是这一学科持续发展的希望所在。预祝他们取得更大进步!

秦大河

中国科学院院士

2016年12月15日

前 言

寒区泛指寒冷地区,是世界上分布广泛的一个特殊地理-气候地带。冰川、冰盖、冻土、积雪、河冰、湖冰、海冰等冰冻圈要素是寒区特殊的水文组成部分。这些特殊的水文要素既是寒区流域重要的径流形成来源,又影响径流过程的特殊因素和下垫面,由此导致了寒区水文有别于非寒区水文的一些特殊水文现象、过程和机理。因此,在非寒区形成的一些成熟的水文理论、方法和手段在寒区往往难以适用或直接应用,需要在传统水文学的基础上,重新构建一套适用寒区水文的研究理论、方法和手段。然而,长期以来,由于寒区一般分布在高纬度和高海拔地区,环境严酷,水文观测困难,研究基础薄弱,研究积累不足,寒区水文研究进展缓慢,导致了对这一地区水文研究深度和广度远远不能满足科学认识和水资源持续管理的实际需要。随着全球气候变暖对寒区水文影响的日益显著,近十几年来,寒区水文研究得到了广泛关注和重视,从野外观测到机理过程的认识,从遥感手段的应用到模型模拟精度的提升,寒区水文研究取得了突飞猛进的发展,也取得了大量研究成果。

我国寒区约占陆地面积的 43%,主要分布在北方和青藏高原地区,特别是以青藏高原为主体的高原及周边高寒山地是世界上众多大江、大河的发源地,高寒水源与周边十几亿人口息息相关。中国西北干旱区,特别是内陆河流域的水资源形成于高寒山区,耗散于中下游的绿洲地区,冰冻圈的变化决定了高寒山区水资源量的变化及其季节分配,对寒区水文过程的深入理解对西北地区水资源的高效管理和调控具有至关重要的作用。我国寒区水文研究经过几十年的发展,在 20 世纪 80 年代曾有过一次短暂的发展期,其为认识寒区水文的基本特点奠定了基础。2000 年以后,随着国家经济能力的增强,观测条件和技术手段得到了极大改善和快速提升,野外观测数据的积累、实验和模拟水平都得到了很大提高。近年来,由中国科学家主导的冰冻圈科学体系化研究促进了对包括寒区水文在内的各冰冻圈科学分支学科的快速发展,特别是 2016 年中国冰冻圈科学学会作为一级学会的成立,标志着中国冰冻圈科学研究全面进入黄金时期。与此相适应,寒区水文在经历十几年快速发展之后,已经迈上了学科化、理论化的新高度。为此,在系统总结已有研究成果的基础上,提炼理论认识、深化机理过程、梳理学科体系脉络、探寻未来发展方向成为寒区水文研究的当务之急,这也是促成我们完成本书的主要动因。

本书由中国科学院西北生态环境资源研究院丁永建研究员、陈仁升研究员和西北大学张世强教授策划并组织实施,在酝酿、实施的近两年时间内,先后召开了 5 次由全体作者参加的讨论会,通过多次分析、讨论甚至争论,对各章框架、写作风格及内容不断进行调整和修改,尽量按照教科书的方式进行组织和撰写,以便使本书不仅能够非专业研究寒区水文的相关专业人员易于读懂,也更希望能够让广大学生、研究生能够很快理解,较容易地掌握寒区水文的基本科学知识,惠及高校学生。

本书共由 19 章组成。第 1 章绪论,由丁永建完成,主要从寒区水文的特点、国内外研

究趋势及研究的理论框架和学科组成方面对寒区水文研究进行了简介;第2章为冰川分布与淡水资源,由韩添丁完成,分别从全球和我国冰川分布及冰川水资源的现状进行了总结;第3章为冰川水文研究内容及基本特点,由陈仁升和阳勇完成,从冰川水文学的基本概念、冰川水文产汇流特点及融水的侵蚀和堆积作用方面介绍了冰川水文学;第4章为冰川水文的研究方法,由韩海东和赵求东完成,详细描述了冰川物质平衡和冰川水文的观测和模拟方法;第5章为冰川水资源变化及预估,由张世强完成,总结了国内外流域冰川融水资源的变化的分析方法、变化特征及预估;第6章为积雪的基本概念及分布,由刘俊峰和赵求东完成,介绍了积雪的形成的物理过程和分布;第7章为积雪水文研究方法,由车涛和赵求东完成,从积雪的地面观测、遥感观测、数值模拟3个方面详细介绍了积雪及融雪径流的研究方法;第8章为积雪消融与产汇流过程,由张伟完成,分析了积雪的水量平衡及迁移过程,以及融雪径流的特征;第9章为融雪径流的变化及预估,由赵求东完成,总结了融雪径流的变化特征,融雪洪水的预报,以及融雪径流的预测与预估方法;第10章为冰雪洪水与灾害,由王欣和上官冬辉完成,详细分析了冰雪消融型洪水、冰湖溃决型洪水和冰川泥石流等灾害的研究方法;第11章为冻土分布与类型,由谢昌卫完成,详细描述了全球和中国的冻土分类及分布;第12章为冻土水文的基本特点,由阳勇、陈浩完成,全面分析了冻土区的水热过程特点及流域水文特点;第13章为冻土水文研究方法,由何晓波完成,从观测、室内试验和冻土调查角度,详细给出了冻土水文的研究方法;第14章为河冰、湖冰、海冰水文,由王生霞完成,介绍了河湖冰水文和海冰水文的研究方法和进展;第15章为寒区水化学,由李向应完成,分别从积雪水化学、冰川水化学、冻土水化学的角度介绍了水化学的研究方法及研究进展;第16章为寒区水文综合研究,由吴锦奎、陈仁升、陈浩、赵求东、秦甲和许民完成,分别从寒区流域尺度水文观测、冰冻圈要素在流域水文中的作用、流域水文模型中寒区水文要素的耦合、GRACE重力卫星在寒区水文学中的应用,以及同位素在寒区水文研究中的应用总结了寒区水文过程综合研究的进展;第17章为冰冻圈变化对湖泊的影响,由王欣、王雁和杨国靖完成,分析了冰雪融水对湖泊水量、湖泊理化性质、湖泊生物的影响,以及冻土变化与湖泊的关系。第18章为冰冻圈对海平面变化的影响,由赵传成完成,分别介绍了山地冰川和极地冰盖对海平面的影响,以及海平面上升中各方面的贡献;第19章为大洋水循环中的冰冻圈作用,由丁永建完成,从全球水循环的角度分析了冰冻圈的作用。全书由丁永建、张世强、陈仁升统稿。张世强统筹,王生霞、丁光照负责会务组织及管理工作。

本书得到了国家重大科学研究计划重大科学目标导向项目“冰冻圈变化及其影响研究”(2013CBA01800)、中国科学院大学教材出版中心和国家自然科学基金重点项目“干旱区典型山区流域水量平衡观测试验”(41130638),面上项目“多年冻土活动层土壤水分相变过程观测及模拟研究”,(41271079),以及冰冻圈国家重点实验室开放基金(SKLC-OP-2016-04)的资助。中国科学院西北生态环境资源研究院给予了大力支持,西北大学也在本书写作过程中给予了多方面支持,在此谨表谢忱!

编者

2016年12月25日

目 录

序言	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 寒区水文概述	1
1.1.1 寒区与冰冻圈	1
1.1.2 寒区水文	2
1.2 寒区水文的特点	5
1.2.1 寒区水文的复杂性	5
1.2.2 寒区水文过程观测的不确定性	6
1.2.3 寒区水文要素的同一性与差异性	8
1.3 国际寒区水文研究进展与趋势	8
1.3.1 冰冻圈科学发展的国际背景	8
1.3.2 寒区水文发展趋势	10
1.4 我国寒区水文的进展与机遇	18
1.4.1 中国寒区水文研究的意义	18
1.4.2 中国寒区水文研究回顾	21
1.4.3 中国寒区水文研究的机遇与挑战	24
1.5 寒区水文理论框架	25
1.5.1 寒区水文研究的基础理论	25
1.5.2 寒区水文研究的学科基础	27
1.5.3 寒区水文学科框架	28
第 2 章 冰川分布与淡水资源	30
2.1 冰川的形成、发育条件及类型	30
2.1.1 冰川的形成	30
2.1.2 冰川的发育条件	30
2.1.3 冰川类型	31
2.2 世界冰川的分布及水资源	34
2.2.1 世界水资源	35
2.2.2 全球冰川及水资源分布	35
2.2.3 水资源区域分布	36
2.3 中国冰川分布及融水径流	38
2.3.1 中国冰川分布与变化	38
2.3.2 中国冰川融水径流	40

2.3.3 中国冰川水资源区域分布	40
第3章 冰川水文研究内容及基本特点	44
3.1 冰川水文学的基本概念	44
3.2 物质平衡	48
3.2.1 相关概念及定量参数	49
3.2.2 积累	53
3.2.3 消融	54
3.3 产汇流过程及影响因素	55
3.3.1 消融特点	55
3.3.2 汇流过程	60
3.4 融水径流及变化特点	67
3.4.1 融水径流特点	67
3.4.2 变化特点及主要影响因素	70
3.5 融水的侵蚀及搬运作用	73
3.5.1 动力侵蚀	73
3.5.2 化学侵蚀	74
3.5.3 沉积物运移	74
第4章 冰川水文的研究方法	77
4.1 冰川物质平衡观测	77
4.1.1 直接观测法	77
4.1.2 间接估算法	81
4.2 冰川水文观测	84
4.2.1 冰面消融观测	85
4.2.2 冰川水文断面径流观测	89
4.2.3 冰川汇流观测	93
4.2.4 冰湖观测	96
4.2.5 沉积物观测	98
4.3 冰川径流模拟	101
4.3.1 冰面消融估算方法	101
4.3.2 冰川区气象数据的空间分布	105
4.3.3 冰川产流模拟	107
4.3.4 冰川汇流模拟	109
第5章 冰川水资源变化及预估	114
5.1 冰川水资源评价方法	114
5.1.1 冰川储量及变化评价方法	114
5.1.2 冰川融水评价方法	115
5.1.3 中国冰川融水量评估实例	116
5.2 冰川融水量变化特征	119

5.2.1	单条冰川的融水量变化特征	119
5.2.2	典型流域冰川融水变化特征	119
5.2.3	冰川融水量变化特征	122
5.3	冰川水资源未来变化预估	125
5.3.1	冰川水资源预估方法	125
5.3.2	全球典型流域冰川径流未来变化预估	129
5.3.3	预估的不确定性	134
第6章	积雪的基本概念及分布	138
6.1	积雪的基本概念	138
6.2	积雪的形成与分类	140
6.2.1	降雪的发生及条件	140
6.2.2	积雪形成条件	141
6.2.3	积雪分类	141
6.3	积雪层变化的物理过程及特征	142
6.3.1	变质作用	142
6.3.2	积雪密度和密实化	144
6.3.3	积雪的热传导	144
6.3.4	积雪温度和冷储	146
6.3.5	雪中液态水	147
6.4	积雪的分布	147
第7章	积雪水文研究方法	153
7.1	地面观测	153
7.1.1	观测要素	153
7.1.2	流域积雪观测	158
7.1.3	融雪径流观测	161
7.2	遥感观测	162
7.2.1	积雪参数遥感反演原理	162
7.2.2	遥感数据及积雪产品	169
7.3	数值模拟方法	173
7.3.1	风吹雪与密实化过程模拟	173
7.3.2	积雪消融模拟	176
7.3.3	积雪消融影响因素参数化	179
7.3.4	融雪径流模型	184
第8章	积雪消融与产汇流过程	187
8.1	积雪水量平衡	187
8.1.1	积雪水量平衡基本原理	187
8.1.2	影响积雪水量平衡的主要因子	188
8.2	积雪融水的运移过程	190

8.2.1	积雪融水在雪层中的储存和滞后	190
8.2.2	积雪融水产汇流路径	192
8.2.3	冻土对融雪径流的影响	195
8.3	融雪径流及特征	197
8.3.1	融雪径流水量平衡	197
8.3.2	融雪径流特征	198
第9章	融雪径流的变化及预估	205
9.1	融雪径流变化	205
9.1.1	降雪变化	205
9.1.2	积雪变化	206
9.1.3	流域融雪径流变化	207
9.2	融雪径流预报/洪水预警	209
9.2.1	融雪水文模型预报方法	209
9.2.2	大气水文模式耦合的融雪径流预报方法	210
9.3	融雪径流的预测	213
9.4	融雪径流预估	214
9.4.1	积雪预估	214
9.4.2	融雪径流预估	215
第10章	冰雪洪水与灾害	220
10.1	冰雪消融型洪水	220
10.1.1	积雪消融洪水	221
10.1.2	冰川消融洪水	222
10.1.3	降雨+积雪消融混合洪水	223
10.1.4	降雨+冰川消融混合型洪水	224
10.2	冰湖溃决型洪水	225
10.2.1	冰碛湖溃决洪水	225
10.2.2	冰川湖溃决洪水	231
10.3	冰川泥石流	238
10.3.1	冰川泥石流形成	239
10.3.2	冰川泥石流灾害评估	240
第11章	冻土分布与类型	243
11.1	冻土的概念及其分布	243
11.1.1	冻土的概念	243
11.1.2	多年冻土的分类	245
11.1.3	全球多年冻土的分布	246
11.1.4	中国冻土的分布	247
11.2	多年冻土的形成条件	250
11.2.1	气候条件	250

11.2.2 地质地形条件	251
11.2.3 地表覆盖层和植被	253
第 12 章 冻土水文的基本特点	254
12.1 冻土中的水热过程	254
12.1.1 冻土的水热特征	254
12.1.2 冻土中的水分迁移	257
12.1.3 冻土的冻融过程	258
12.2 多年冻土地下冰含量	262
12.2.1 地下冰的类型	263
12.2.2 青藏高原的地下冰含量	264
12.2.3 北半球的地下冰含量	266
12.3 多年冻土区地下水分布特征	267
12.3.1 冻土区地下水的类型	267
12.3.2 冻土区地下水的补给和分布特征	267
12.4 冻土区的水文特点	269
12.4.1 地表水入渗特征	269
12.4.2 冻土与水文过程	270
12.4.3 多年冻土退化对水文过程的影响	273
12.4.4 冻土退化对流域径流的影响	275
第 13 章 冻土水文研究方法	279
13.1 冻土水文观测方法	279
13.1.1 土壤基本理化性质	280
13.1.2 土壤水力特性参数	284
13.1.3 土壤热特性参数	289
13.1.4 室内实验	292
13.1.5 野外观测系统	294
13.1.6 冻土调查	298
13.2 冻土水文过程模拟	302
13.2.1 冻土水热过程模拟	302
13.2.2 流域尺度冻土水文过程模拟	307
第 14 章 河冰、湖冰、海冰水文	311
14.1 河湖冰水文	311
14.1.1 河湖冰概况	311
14.1.2 冻融过程	318
14.1.3 研究方法	323
14.1.4 凌汛	328
14.1.5 冰情预报	332
14.2 海冰水文	335

14.2.1	海冰的生成与发展	335
14.2.2	海冰水文监测	343
14.2.3	海冰在大洋水循环中的作用	345
第 15 章	寒区水化学	346
15.1	积雪水化学	346
15.1.1	积雪的化学特征	346
15.1.2	积雪融水的化学特征	348
15.1.3	积雪融水对河水化学的影响	350
15.2	冰川水化学	352
15.2.1	冰川融水的化学特征	352
15.2.2	溶质的来源	363
15.2.3	化学风化与气候变化	364
15.3	冻土水化学	367
15.3.1	冻土退化对有机物的影响	367
15.3.2	冻土退化对无机营养物的影响	370
15.3.3	冻土退化对主要离子的影响	371
第 16 章	寒区水文综合研究	373
16.1	寒区流域尺度水文监测	373
16.2	冰冻圈要素在流域水文中的作用	375
16.2.1	冰川	375
16.2.2	积雪	376
16.2.3	冻土	378
16.2.4	流域其他下垫面的水文作用	378
16.3	流域水文模型中寒区水文要素的耦合	379
16.3.1	耦合方法	379
16.3.2	示例及问题	381
16.4	全球与区域模式中寒区水文过程的模拟	384
16.4.1	全球模式与陆面模式中积雪水文过程	384
16.4.2	全球模式与陆面模式中冰川水文过程	386
16.4.3	全球模式与陆面模式中冻土水文过程	388
16.4.4	全球模式与陆面模式中海冰水文过程	389
16.5	GRACE 重力卫星在寒区水文学中的应用	390
16.5.1	GRACE 重力卫星反演陆地水储量变化的原理	390
16.5.2	GRACE 重力卫星在寒区研究中的应用	391
16.6	同位素方法在流域寒区水文研究中的应用	393
16.6.1	冰冻圈天然水体中的稳定同位素	393
16.6.2	同位素在寒区水文研究中的应用	396

第 17 章 冰冻圈变化对湖泊的影响	400
17.1 寒区湖泊概述	400
17.2 冰雪变化对湖泊水量的影响	401
17.2.1 冰雪变化与湖泊水量平衡	401
17.2.2 青藏高原的冰川退缩与湖泊扩张	402
17.3 冰雪融水对湖泊理化性质的影响	409
17.3.1 冰雪融水对湖泊物理性质的影响	409
17.3.2 冰雪融水对湖泊化学性质的影响	410
17.4 冰雪融水对湖泊生物的影响	412
17.4.1 可溶性溶质对湖泊生物影响	412
17.4.2 悬移质对湖泊生物影响	413
17.5 冻土变化与湖泊的关系	414
17.5.1 冻土退化对湖泊水文影响	414
17.5.2 青藏高原热融湖塘	416
17.5.3 北极地区热融湖塘	417
第 18 章 冰冻圈对海平面变化的影响	419
18.1 海平面变化概述	419
18.1.1 海平面特征	419
18.1.2 海平面变化的研究方法	421
18.1.3 历史时期的海平面	422
18.1.4 气候变暖与海平面上升	423
18.2 山地冰川与海平面变化	424
18.3 极地冰盖与海平面变化	425
18.4 海平面上升贡献解析	428
第 19 章 大洋水循环中的冰冻圈作用	430
19.1 两极区域水循环与淡水平衡	430
19.1.1 淡水的组成	430
19.1.2 海冰变化与淡水输出	432
19.2 热盐环流与经向翻转环流	434
19.2.1 热盐环流与全球传输带	434
19.2.2 经向翻转环流的气候作用	437
19.3 冰冻圈与海洋环流	439
19.3.1 冰冻圈对海洋盐度和温度的影响	439
19.3.2 海冰对热盐环流和经向翻转环流的影响	442
19.3.3 冰间湖的作用	444
参考文献	447

第 1 章 绪 论

寒区与冰冻圈密切关联,冰冻圈固、液相变及相应的水文过程是寒区水文研究的重点。寒区水文包括了冰冻圈这些要素所有的水文现象和过程,同时也涉及寒区流域不同下垫面的水文过程。因此,寒区水文不仅关注冰冻圈与水圈的相互作用关系,同时关注冰冻圈要素在寒区流域的水文作用和影响。寒区水文是冰冻圈科学与水文学的交叉科学。

1.1 寒区水文概述

1.1.1 寒区与冰冻圈

寒区泛指寒冷地区,其准确定义并无公认的说法。若将不稳定积雪区(积雪时间小于 2 个月)和短时冻土区(冻结时间小于 15 天)也包括在寒区范围,以我国为例,则长江以南部分地区也成了寒区,这显然是不合适的。一般而言,将稳定积雪区所覆盖的范围作为寒区是可以接受的,这一范围基本包括了冰冻圈要素中冰川、冰盖、稳定积雪、多年冻土、海冰及河冰、湖冰所在的区域,但不稳定积雪区和部分季节冻土区不在其中。若按稳定积雪区范围划分,全球寒区范围约为 $0.6 \times 10^8 \text{ km}^2$,占陆地面积的 40%。

有学者根据温度指标对我国寒区进行了划分,划分依据采用最冷月平均气温 $< -3.0^\circ\text{C}$ 、月平均气温 $> 10^\circ\text{C}$ 的月份不超过 5 个月和年平均气温 $\leq 5^\circ\text{C}$ 等 3 项指标,由此获得的中国寒区面积为 $417.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,占我国陆地面积的 43.5%。中国寒区包括所有的多年冻土区、冰川区和绝大多数稳定积雪区,主要分布在西北的甘肃、青海、新疆三省(区);西南的西藏全区,四川西部的阿坝、甘孜,云南的滇北、玉龙雪山和高黎贡山的北部;东北的黑龙江东北部和西北部,以及内蒙古东北部地区(图 1.1)。寒区包括低纬高海拔和高纬低海拔山区,但上述地区之间的准噶尔盆地、塔里木盆地、河西走廊北部的沙漠区除外。从分布的山脉来看,中国寒区主要分布于西部高山区,包括阿尔泰山、天山和青藏高原及其边缘的帕米尔、喀喇昆仑山、昆仑山、唐古拉山、念青唐古拉山、祁连山、冈底斯山、喜马拉雅山和横断山区等,以及东北的大、小兴安岭山区。

冰冻圈是指地球表层以固态水形式存在的圈层,包括冰川(山地冰川和冰盖)、冻土(季节冻土和多年冻土)、积雪、固态降水、海冰、河冰、湖冰等。春季北半球季节冻土范围及不稳定积雪区范围最大时可达 30°N 以南的广大地域,尽管这些地区冰冻圈多少会影响到水文过程,但影响程度与其他水文影响相比较可忽略不计。然而,在寒区,冰冻圈要素对水文过程的影响则比较显著,不可忽视。因此,寒区水文也可以说是冰冻圈要素对水文过程起到显著作用范围内的水文现象。

全球寒区主要分布在高纬度地区和中低纬度的高海拔地区。高纬度寒区以两极地区为代表,具有很强的纬度分带性;高海拔寒区以青藏高原及中纬度山地为代表,具有明显

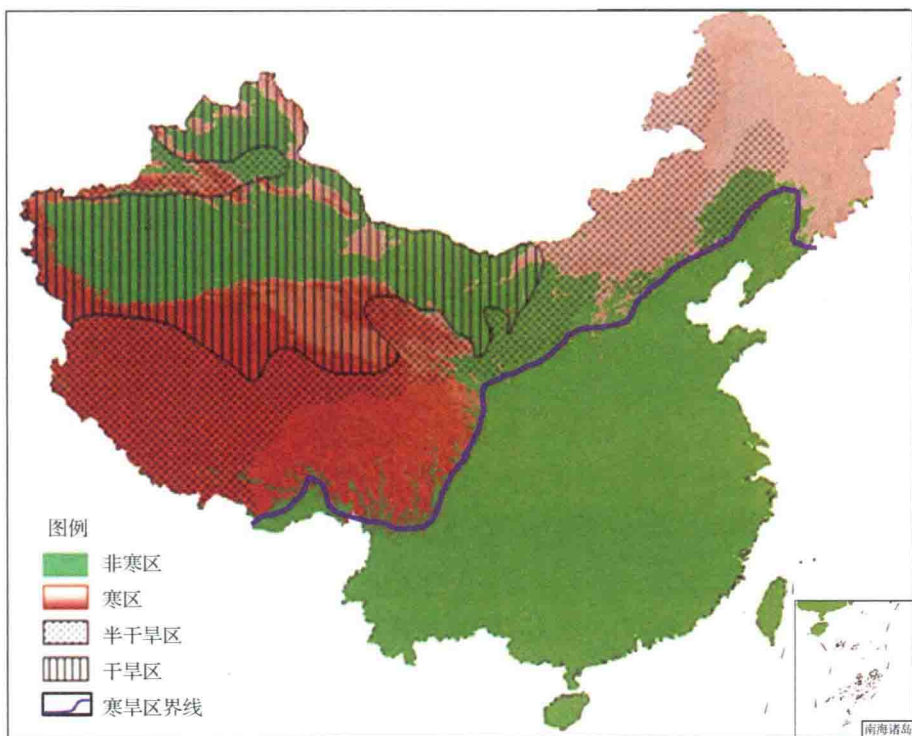


图 1.1 我国寒区分布示意图(陈仁升等,2005)

的垂直地带性。在中国,东北寒区属于高纬度寒区,而其他寒区则为高海拔寒区。寒区气候系统和植被覆盖具有相对独立性,其对水文特性和径流过程均有显著影响。冰冻圈涵盖的大部分区域是寒区,如上所述,寒区范围小于冰冻圈范围,部分积雪和季节冻土区不属于寒区。

从水文的定性角度来看,寒区具有以下特点:①有以固态形式存在的水体,如冰川、冰盖、多年冻土、积雪、海冰、河湖冰、固态降水等冰冻圈要素中的一种或多种;②河流、湖泊的封冻期在 30 天以上;③20%以上的降水量为固态降水,并在流域内形成一定的积雪覆盖区;④水文过程对温度的高度敏感性是寒区的突出特点。

1.1.2 寒区水文

寒区水文是研究冰冻圈诸要素时空分布与运动规律,及其在流域水文过程中作用的科学;是研究寒区诸水文要素变化机理、理论基础和研究方法的科学;是提升集成冰冻圈科学与水文学等相关学科共性内容,解析综合各学科差异性内容而成的学科。由于冰冻圈主要形成于寒冷地区,寒区水文过程往往与寒区下垫面和环境有密切关系,因此通常将与冰冻圈有关的水文问题也称为寒区水文。寒区水文与冰冻圈水文实际上是同一问题的不同叫法。在过去,一般狭义地将寒区水文理解为与冻土水文相关的水文现象,而冰川水文和积雪水文则往往相对独立,海冰、河冰、湖冰等水文研究则关注不多。随着冰冻圈科学的不断发展,冰冻圈学科体系建设促使冰冻圈诸要素的水文过程、水循环机理及水文效

应纳入统一学科体系内考虑,以满足学科发展的需要。因此,系统地总结寒区水文已有的研究成果,明确冰冻圈诸要素在寒区的水文作用和科学内涵,是当前冰冻圈科学和水文学发展所面临的迫切而重要的科学需要。

寒区水文的主要特点是水以固态形式储存,以液态形式释放。冰-水相互转化过程及其对资源和环境的影响是人们关注的焦点。其研究对象主要包括冰川、冻土、积雪、海冰、河冰和湖冰等的水文现象,以及与之紧密关联的山区河流、高山湖泊、湿地等在内的寒区水体的水文过程。因此,寒区水文学研究包含两方面的研究内容:一是研究寒区内诸水文要素,重点是冰冻圈诸要素自身的水文机理和变化过程;二是研究冰冻圈变化在寒区乃至寒区以外更广泛的水域中所产生的影响,如冰川变化对河流径流的影响可涉及整个流域水资源问题,而冰冻圈变化对海平面的影响就涉及全球水循环问题。

根据研究对象,寒区水文主要有以下分支学科:冰川水文、积雪水文、冻土水文、海冰水文和河湖冰水文等。

1. 冰川水文

冰川水文研究相对成熟,有较长的研究历史。其主要研究冰川融水产汇流过程、变化规律及其水文作用。其研究内容主要涉及由冰川消融到冰川径流的各种水文现象、过程及其基本规律,重点研究以下内容:①冰川消融与径流的关系(图 1.2),冰面产流、汇流过程,冰内与冰下水流过程、水道汇流与出流过程;②冰川融水径流的水文分析和计算理论与方法,包括冰川融水的形成机理,对河流的补给作用及其计算方法,各水文特征值的分析计算和分布规律,产流模型研究及其水文物理和水文化学特征;③冰川和积雪融水的侵蚀作用,沉积物搬运和堆积作用;④冰川水资源评价方法与理论基础;⑤与冰川融水有关

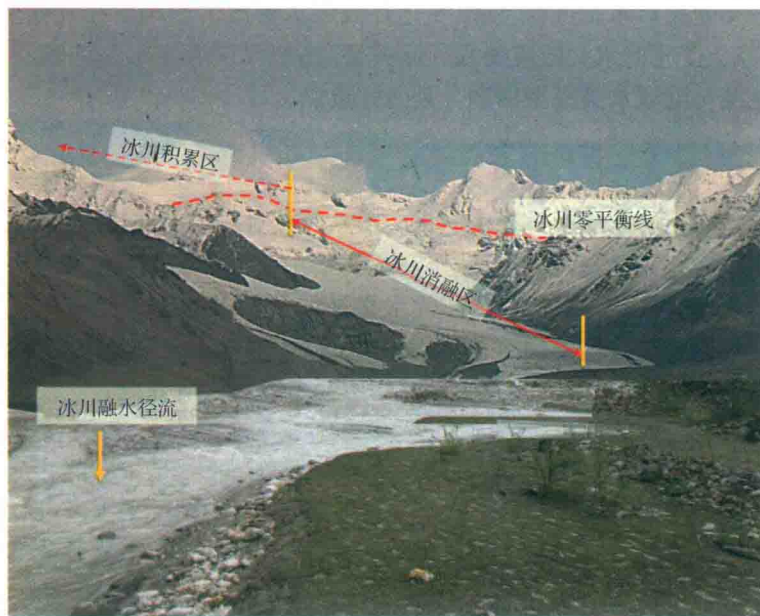


图 1.2 冰川与融水补给河流