

中国冰川定位观测研究50年

——中国科学院天山冰川观测试验站建站50周年文集



李忠勤 主编



气象出版社
China Meteorological Press

内容提要

本书为庆祝中国科学院天山冰川观测试验站建站 50 年而编著,内容包括天山冰川站新老科学家新近创作的和经典的学术论文,老同志回忆录,大事记和各个时期照片等。其突出特点是总结过去,面向未来。特邀论文不仅概述了 50 年来天山冰川站在不同研究方向的观测研究成果,而且对未来的发展进行了展望。其他学术论文则是对中国冰川学做出重要贡献,并仍拥有很高引用率的经典之作。书中的回忆录、大事记及图片资料,不仅还原了天山冰川站早期历程,而且突出了对后人具有指导意义的研究工作经验。

本书内容丰富,资料翔实,系统论述了天山冰川站 50 年来的观测和研究成果,真实记录了天山冰川站的历史沿革,对于从事冰冻圈科学研究的学者和管理人员有着一定的收藏和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中国冰川定位观测研究 50 年:中国科学院天山冰川观测试验站建站 50 周年文集/
李忠勤主编. —北京:气象出版社,2011. 7

ISBN 978-7-5029-5250-1

I. ①中… II. ①李… III. ①冰川-水文观测-中国 IV. ①P343. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 133872 号

Zhongguo Bingchuan Dingwei Guance Yanjiu 50 Nian

中国冰川定位观测研究 50 年

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:832 千字

版 次:2011 年 7 月第 1 版

定 价:98.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:31

彩色插页:12

印 次:2011 年 7 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

序 一

整整半个世纪,飞逝而过。今天,中国科学院天山冰川观测试验站(简称天山冰川站)迎来了她 52 岁的生日。半个世纪前,新中国在顺利完成第一个五年计划之后,国家各项事业大发展,大规模建设轰轰烈烈,各行各业都在解放思想、破除迷信,实行“大跃进”。中国科学院也不例外:为解决甘肃河西走廊农业灌溉水源,在祁连山开展了融冰化雪工作,同时对祁连山和新疆天山的现代冰川进行考察,中国现代冰川科学应运而生。随着现代冰川野外调查工作的开展,建站并进行定位实验观测研究也被提到了议事日程,新疆天山乌鲁木齐河源 1 号冰川被确定为观测冰川,并于 1959 年开始建设观测试验站。被誉为“中国冰川之父”的著名地理学家施雅风院士是中国冰川科学事业的“开山鼻祖”:从“大跃进”的融冰化雪,到天山冰川观测试验站的建立,他都是缔造者和领导者。以施雅风院士为代表的几代冰川人,从建站、发展到今天,为天山冰川站和中国冰川学、冰冻圈科学的发展倾注了大量心血,甚至献出了毕生精力。天山冰川站五十多年的历程,也是中国冰川学、冰冻圈科学创建、成长和壮大的缩影。

长期开展冰川定位试验观测是天山冰川站在科学上的重要贡献之一。半个世纪以来,天山冰川站在冰川物理学、冰川对气候变化的响应、机理与模拟、雪冰过程与气候环境记录、冰川水文与气象、第四纪冰川与冰缘地貌、冰缘植被与寒区生态等领域取得了优秀的成绩。天山冰川站的科研人员勤勤恳恳、默默无闻,坚持长期观测,获得了连续、准确、丰富的观测数据。他们以此为基础,再瞄准国际前沿和国家需求展开研究。这个经验值得总结、提倡和推广,特别是在科技界和学术界浮躁情绪蔓延的现在,更有着重要的现实意义。近年来,天山冰川站拓展观测研究范围,在发展冰川动力学模式,建立冰川变化模型,应用新技术、新方法开展冰川与气候变化研究,以及“大气—粒雪—冰川冰”演化过程的理化观测研究等方面,都有创新和发展。

天山冰川站的试验观测和研究在国际冰川学界占有重要席位。我们长期监测的天山乌鲁木齐河源 1 号冰川是世界冰川监测服务处(WGMS)冰川监测网络

在中亚内陆干旱区的“参照冰川”，也是世界上重点监测的十大现代冰川之一。IPCC 第四次评估报告引用了这些成果，这不仅是国际冰冻圈科学界高度认可的证明，也是气候变化科学对天山冰川站成果的认可。

我自 1978 年加入冰川学研究队伍以来，多次到天山冰川站学习和工作。普通冰川学的挖雪坑、打冰钻、测冰温、观察附加冰、观测物质平衡、计算平衡线高度等基本技能，几乎都是在这里练就的。我在天山冰川站完成了硕士论文，题目是“天山乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来冰川变化和发育环境的研究”。我早期带的研究生的博士论文也是在天山冰川站完成的。我和天山冰川站有缘分！据我所知，50 年来在这里工作、学习、研究的国内外科技工作者达数百人，以天山冰川为研究对象完成的硕士、博士论文也有 90 多篇。现在，来自世界各地和天山冰川站有缘分科学家、工程师、教授们欢聚一堂，人才济济，一派兴旺景象，这难道不正是天山站的又一个重要科学贡献吗？

当然，贡献还可以列举出不少，比如在为国家重大决策服务，在为西北地区水资源管理与高效利用、区域经济社会可持续发展、新疆水资源调查等工作提供科技支撑，天山冰川站都有成绩显示！

几天前，天山冰川观测试验站站长李忠勤研究员来函，盛情邀我为《中国冰川定位观测研究 50 年——中国科学院天山冰川观测试验站建站 50 周年文集》作序，只给十天时间。然时值我正在河西走廊和祁连山老虎沟 12 号冰川游弋，随后即前往法国开会，匆匆之际，草成此短文，书不尽天山冰川站五十多年的种种贡献以及大家对天山冰川站的情感，然大庆近在咫尺，李站长不断催稿，文集等待付印，只能就此停笔，不妥之处请读者指教，是为序。

秦大河^{*}

2011 年 7 月 19 日于法国 Brest 市

* 秦大河，中国科学院院士，中国科学院地学部主任，中国科协副主席。

序 二

始建于1959年的中国科学院天山冰川站,是我国从事冰川学观测研究历史最长的国家级野外台站,是中国冰川学研究从野外考察走向定位观测试验的里程碑,是施雅风院士等老一辈冰川学家对中国冰川学倾注毕生心血的见证。其50多年历程,是中国冰川学创建和发展的缩影。

提起中国科学院天山冰川站,我就会在脑海中呈现日渐明晰的各种镜头:在这里,我第一次和施雅风院士天天同吃、同住、同考察,他和一些老科学家如曲耀光、文启忠等谈科学、谈国事、谈家事,那是一些亲切、感人、受启迪的镜头,在这些镜头中,我能看出自己研究现代冰川最初的洗礼;在这里,我第一次和朗尼、汤姆森博士相遇、长谈、畅想,那是一些拼搏、奋斗、干事业的镜头,在这些镜头中,我能看出中国山地冰芯研究最早的烙印。

提起中国科学院天山冰川站,我就会有发自内心的感言。在这里,我的研究视野从冰川本身拓展到冰川变化与水资源的关系、现代冰川变化与过去冰川变化的关系等方面,我感慨的是天山站作为一个熔炉给了我锻造自己科研生涯的新环境;在这里,我认识了一批从国内外大师级人物到各类支撑服务人员的同行们,我感慨的是,我以后的每一个进步都和他们的直接或间接的支持密切相关。

提起中国科学院天山冰川站,我就会折服于这里的科学家们对于科学研究的执着,从建站那天开始,一批又一批学者带着新的激情和新的理念,开展新的观测和研究,创造出新的成果;我更折服这里对于人才培养的专注,一批又一批年轻学者通过在这里实习或研究喜欢上了冰川、喜欢上了大山、喜欢上了西部、最后扎根西部。

提起中国科学院天山冰川站,我总期盼着更美好的科学明天。前不久,Nature杂志刊登一篇博士培养的专辑,在报道中国博士培养时专门以天山冰川站1号冰川为背景,有不知情者可能以为是我提供了这张照片。但实际情况是,当我看到这张照片时也感到惊讶,他们怎么会想到天山冰川站1号冰川呢?他们从哪儿得到的照片呢?我将这些问题用电子邮件发过去。他们门的回答同样让我惊讶!

更让我自豪！他们说作为一个世界著名的冰川观测研究站，Nature 杂志又要刊登一个与中国冰川博士培养有关的报道，当然要有这条冰川。而这张照片是他们自己从卫星遥感图片上下载的。这就是天山站的国际影响力！而这正是中国几代冰川科学家努力奋斗的结果！事实确实是这样，历经半个世纪几代科学家的艰苦努力，天山冰川站已建设发展成为国内外知名的冰川科学研究、学术交流、人才培养的基地！在庆祝天山冰川站建站 50 周年的时刻，我祝愿天山冰川站的明天更加硕果累累、更加人才济济、更加辉煌灿烂。

姚檀栋*

2011 年 7 月

* 姚檀栋，中国科学院院士，中国科学院青藏高原研究所所长。

本书编委会

主任:秦大河

副主任:程国栋 姚檀栋 王 涛

委员(按姓氏笔画排列):

丁永建 马 巍 王宁练 任贾文

吕世华 张小军 沈永平 肖洪浪

主 编:李忠勤

主要作者(按姓氏笔画排列):

丁永建 王飞腾 王文彬 王文颖 王宁练 王纯足 王 林

王晓军 井哲帆 冯兆东 冯虎元 叶柏生 任贾文 刘时银

刘海生 刘耕年 刘潮海 孙俊英 安黎哲 朱 诚 吴利华

宋长青 张 兵 张志忠 张金华 张晓宇 李川川 李开明

李吉均 李忠勤 李念杰 李 新 李慧林 杨大庆 杨惠安

沈永平 苏 珍 陈吉阳 陈建明 郑本兴 金明燮 姚檀栋

施雅风 赵井东 秦大河 高前兆 崔之久 康尔泗 黄茂桓

焦克勤 程国栋 董志文 谢自楚 韩添丁 熊黑钢 蔡保林

谭敦炎 潘充基

目 录

序一

序二

研究论文

天山冰川站研究工作进展·····	李忠勤 秦大河(3)
乌鲁木齐河流域冰川地貌与河流阶地研究的回顾与展望·····	施雅风(21)
天山站地区冰缘地貌研究回顾与展望·····	崔之久 朱 诚 熊黑钢等(33)
促进我国冰川水文学和微气象学发展的野外观测试验基地 ——庆祝中国科学院天山冰川观测试验站 50 周年·····	康尔泗(73)
天山冰川观测试验站近十多年来冰川物理研究进展·····	黄茂桓 吴利华(91)
中国天山冰川近期变化的观测与研究·····	刘潮海 李开明(114)
乌鲁木齐河源冰冻圈地貌过程与沉积环境·····	刘耕年 李川川(128)
天山冰川观测定位站冰缘植物生理生态学研究进展·····	安黎哲(147)
新疆天山乌鲁木齐河源 1 号冰川地区冰缘植物繁殖生态学研究进展·····	谭敦炎(159)
冰川消融对气候变化的响应——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 ·····	李忠勤 沈永平 王飞腾等(166)
乌鲁木齐河源高山多年冻土区径流过程研究·····	韩添丁 叶柏生 李忠勤(179)
我国冰川运动速度研究进展·····	井哲帆(190)
The Urumqi River Source Glacier No. 1, Tianshan, China: Changes over the Past 45 Years ·····	YE Baisheng, YANG Daqing, JIAO Keqin et al. (197)
Recent Accelerated Shrinkage of Urumqi Glacier No. 1, Tianshan, China ·····	WANG Ninglian, JIAO Keqin, LI Zhongqin et al. (205)
乌鲁木齐河源区气候变化和 1 号冰川 40 a 观测事实·····	李忠勤 韩添丁 井哲帆等(210)
Relationships between $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Surface Air Temperature in the Urumqi River Basin, East Tianshan Mountains, China ·····	YAO Tandong, Valerie Masson, Jean Jouzel et al. (220)
Soluble Species in Aerosol and Snow and Their Relationship at Glacier 1, Tianshan, China ·····	SUN Junying, QIN Dahe, Paul A. Mayewski et al. (228)
基于地理信息系统的太阳直接辐射与冰川物质平衡的关系 ·····	丁永建 李新 程国栋等(245)

天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡对气候变化的敏感性研究	刘时银 丁永建 王宁练 等(253)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究	刘潮海 谢自楚 王纯足 (260)
重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐河流域冰川变化监测中的应用	陈建明 刘潮海 金明燮(268)
天山冰川作用流域能量、水量和物质平衡及径流模型	康尔泗 A. Ohmura(274)
The Movement Mechanisms of Urumqi Glacier No. 1, Tianshan Mountains, China	HUANG Maohuan(285)
Preliminary Researches on Lichenometric Chronology of Holocene Glacial Fluctuations and on Other Topics in the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains	CHEN Jiyang(296)
天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及其改正	杨大庆 姜 彤 张寅生 等(310)
天山乌鲁木齐河源区石冰川的温度结构类型与运动机制	崔之久 朱诚(325)
Mathematical Models of the Temperature and Water-Heat Transfer in the Percolation Zone of a Glacier	CAI Baolin, XIE Zichu, HUANG Maohuan(330)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川温度研究	任贾文 张金华 黄茂桓(344)
天山乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来冰川变化和发育环境的研究	秦大河 冯兆东 李吉均(354)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川雪—粒雪层的演变及成冰作用	谢自楚 黄茂桓 米·艾里(363)

回 忆 录

难忘天山冰川站	崔之久(378)
我与天山站	谢自楚(381)
与时俱进 再创佳绩——祝贺中国科学院天山冰川观测试验站 50 周年	康尔泗(390)
天山站——冰川观测与研究的起点	刘潮海(392)
天山冰川观测试验站 50 周年的回忆	张志忠(394)
天山深处的记忆	王晓军(401)
天山站的春天——对天山站恢复重建阶段几件事情的回顾	刘海生 李念杰(408)
半个世纪的亲历及留言——庆祝天山冰川观测试验站成立 50 周年	王文颖(413)
忆早年在天山站	黄茂桓(425)
天山冰川考察的回顾	郑本兴(430)
1962 年乌鲁木齐河源冰川考察记忆	苏 珍(437)
山高水长月儿圆——走马天山科考冰川忆当年	潘充基(443)
我与天山冰川站的情缘——纪念天山冰川站成立 50 周年	高前兆(459)
冰川测绘——我的人生起点	陈建明(472)
附录 1: 天山冰川观测试验站 50 年纪事	(474)
附录 2: 照片选	(487)

研 究 论 文

天山冰川站研究工作进展

李忠勤 秦大河

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

1 引言

中国科学院天山冰川观测试验站(简称天山冰川站),是我国冰川观测研究历史最长的野外站,是首批进入中国科学院开放站和国家野外站序列的高海拔野外台站。天山冰川站是中国冰川学研究从野外考察走向定位观测试验的里程碑。其50年历程,也是中国冰川学创建和发展壮大的缩影。天山冰川站始建于1959年,已故著名冰川学家施雅风院士是天山冰川站的创始人。以施先生为代表的几代冰川人,从建站、发展到今天,为天山冰川站和中国冰川学、冰冻圈科学的发展倾注了大量心血,甚至献出了毕生精力。在中国冰川学界,无论是老一辈的冰川学家,还是目前活跃在一线的中青年学者,大都有在天山冰川站工作生活的经历,与之结下不解之缘。许多国外冰川学专家学者,也是从天山冰川站和乌鲁木齐河源1号冰川(简称1号冰川)开始了解中国冰川学工作的。50年来,无论老一辈冰川学家还是研究所历届领导,都十分重视天山冰川站的建设,给予了具体指导和支持。中国科学院的稳定经费支持对于天山冰川站的生存与发展至关重要。科技部、国家自然科学基金委员会,以及在新疆和兰州的兄弟单位、大专院校的长期支持与合作,对天山冰川站学科发展起到重要作用。

天山冰川站对我国冰川学的建立和发展起到了关键作用,并一直是国内外冰川定位观测、研究和试验的中心。半个世纪以来,围绕1号冰川及其作用区,在冰川物理学、冰川对气候变化的响应、机理与模拟、雪冰过程与气候环境记录、冰川水文与气象、第四纪冰川与冰缘地貌、冰缘植被与寒区生态等领域取得了丰硕成果,尤其对大陆型冰川底部运动机理、冰川温度分布及机理、冰川对气候变化的响应机理、小冰期冰川作用时间序列建立等我国冰川学理论的形成起到关键作用,同时也为冰川温度感测计、测冰雷达、冰芯钻及蒸汽钻等冰川学关键设备的研发提供了试验场所和后勤保障。近年来,天山冰川站在发展冰川动力学模式,建立冰川变化模型,应用新技术、新方法开展冰川与气候变化研究,以及大气—粒雪—冰川冰演化过程的理化观测研究等方面,都有创新和发展。其相关成果为我国西北地区水资源管理与高效利用,区域经济社会可持续发展政策规划的制定提供了重要的科学依据。

1号冰川自20世纪80年代进入世界冰川监测服务处(WGMS)冰川监测网络后,它就成为该网络中亚内陆干旱区的参照冰川(Reference Glacier)和全球10条重点监测参照冰川之一,其观测研究资料被定期刊登在由国际水文科学协会(IAHS)、联合国环境规划署(UNEP)、世界气象组织(WMO)等出版的各种刊物和数据集上,并广泛推介于冰雪与全球变化研究中,在国际上占有重要的一席之地。

如今,天山冰川站监测的参照冰川不仅包含 1 号冰川,而且还增加了奎屯河哈希勒根 51 号冰川、哈密庙尔沟冰帽和托木尔青冰滩 72 号冰川,由天山最东端至最西端,跨越 1700 km,组成了中国境内天山完整的冰川监测网络,也使得天山冰川站成为真正意义上的“天山”冰川站。此外,天山冰川站还将与喀纳斯和天池景区联合建立分站,以扩大研究范围,强化社会和经济效应。

历经半个世纪的风雪兼程,几代科学家的艰苦努力,铸就了天山冰川站国际水平的科研成果和科技创新的辉煌。为回顾历史、再创辉煌、共商冰川学未来发展,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所决定举办天山冰川站 50 周年庆典暨“冰川定位观测研究”国际学术研讨会。这一活动本应在 2009 年举行,鉴于当时新疆 7·5 事件的影响,经研究决定,推迟至 2011 年 8 月 8—12 日在新疆举行。

为庆祝天山冰川站成立 50 周年,我站汇编了这部《中国冰川定位观测研究 50 年——中国科学院天山冰川观测试验站建站 50 周年文集》。书中内容包括特邀文章、经典学术论文、老同志回忆录、大事记和各时期照片等。其中特邀文章概述了天山冰川站在不同研究方向取得的成果和对未来的展望。经典学术论文的选择主要依照文章的引用率和老同志的推荐,相对于天山冰川站已发表的 700 余篇学术论文,这无可避免地带有主观性。回忆录最大限度地收集了老同志在天山冰川站工作的经历。大事记则是根据《天山冰川站年报》和近几年的工作记录整理而成,受资料所限,对过去事件的记录偏简单,对近年工作的记录则较为详尽。

事实上,天山冰川站 50 a 的科研工作和成果广博而厚重,这部文集并非是对其全面系统的介绍,仅仅是选择性研究成果和资料的汇编,旨在真实呈现天山冰川站的某些代表性成果和对珍贵历史资料的保存。由于时间仓促,问题和错误在所难免,请广大读者批评指正。

此文系为本文集所撰写的文章。在天山冰川站 50 a 历程中,大体经历了建站初期(1959—1966 年)、恢复重建之后(1979—1987 年)、成为中国科学院开放站之后(1988—1998 年)和成为国家野外站之后(1999—至今)的四个阶段。康尔泗(1998)曾对天山冰川站 1987 年以前的历史和研究工作进行过系统回顾^[1]。李忠勤和叶柏生(1998)对 1988—1997 年的工作也进行过系统总结^[2]。因此,本文对 1997 年以前的工作做一简要回顾,对 1998 年以来的主要工作进展作较为详细的介绍。

2 研究工作回顾

1958 年,为开发大西北,中国科学院成立了由施雅风先生领导的“中国科学院冰雪利用研究队”,开创了我国的冰川学研究事业。根据 1958 年野外考察经验,施雅风先生认为有必要建立定位的冰川观测试验站,便于野外观测试验,对野外考察中的许多现象进行深入研究。1959 年,中国科学院冰雪利用研究队在天山乌鲁木齐河源海拔 3545 m 处建立了天山冰川站(高山站),当时的苏联专家道尔古辛(L. D. Dolgushin)对站址和观测项目的选择进行过指导,新疆水利厅在建站方面给予了大力协助。建站伊始,即开展了冰川学、水文与气象方面的观测研究。20 世纪 60 年代初,天山冰川站的观测研究工作进入了第一个繁荣期。在成冰作用理论、物质平衡、能量平衡、冰川物理、冰川水文等方面取得了大量研究成果,缩短了与国际冰川学研

究的差距。正当天山冰川站孕育着更大发展的时候,“十年动乱”开始了,所有工作在 1967—1978 年这 12 年间全部停止,天山冰川站也由新疆水利厅代管。

1979 年,随着“科学春天”的到来,兰州冰川冻土研究所对天山冰川站进行恢复重建,修建了由高山站至 1 号冰川的简易公路,在乌鲁木齐河上游 2130 m 处的峡谷平地建立了天山冰川站基本站,并架设了由后峡电厂到基本站专用供电线路。此时的天山冰川站进入了一个快速发展时期,观测工作步入了正轨,整编资料以《天山冰川站年报》形式定期出版,观测设备的研发空前活跃,QZ 型蒸汽钻、B-1 型雷达测厚仪、冰川热水钻、石英晶体温度计及冰川区气象遥测系统都是这一时期在 1 号冰川上试验成功的。1 号冰川透底温度观测和人工冰洞的开凿研究,标志着冰川物理学研究进入国际水平。这一时期的天山冰川站还是冰川学观测试验和教学实习基地,大学生、研究生来所以后都要到站进行野外实习和工作,一批又一批国外冰川学者来站参观访问、交流学习和合作研究。

1988 年,天山冰川站成为中国科学院首批对外开放台站。开放基金的设立,增强了与国内其它科研单位的合作,包括新疆水利厅、新疆气象局、新疆生地所及许多大专院校,如北京大学、兰州大学、新疆大学和新疆农业大学等,同时也扩展了研究领域。1994 年,天山冰川站基本站的专家公寓建成并投入使用,缓解了接待方面的压力。但在 1996 年 7 月,天山冰川站经历了百年一遇特大洪水灾害,遭受了前所未有的破坏,但在中国科学院学、研究所的大力支持和全站人员共同努力下,很快得到恢复。1997 年在科学院组织的野外站评审中,天山冰川站被评为 A 类站和野外先进集体。这一时期的天山冰川站汇聚了一批 30 多岁的青年人,充满活力,各项工作有声有色开展。

1959—1998 年,天山冰川站发表学术论文 300 余篇,专著近 10 部。主要成果体现在下述方面。

冰川物理和现代冰川学。谢自楚等通过两年完整观测,结合国际冰川学理论,分析了 1 号冰川成冰作用和过程,划分了冰川带谱^[3]。黄茂桓等通过冰川末端人工冰洞的观测研究,提出了 1 号冰川存在冰川冰变形、冰床变形、剪断和底部滑动四种运动机理^[4-6]。蔡保林等将理论与观测试验相结合^[7-9],研究了浸渗带水热传输过程及其对冰川温度的影响,建立了冰川温度分布变化模型,更新了冰川物理学中若干传统概念。这些研究,丰富了冰川学理论,引起了国际上的关注。

在冰川物质平衡研究方面,姚檀栋等用气温、降水与实测物质平衡关系法^[10]、康尔泗等用能量平衡模型法^[11-12]、刘时银等用度日因子法^[13-14]、叶柏生等用降水和夏季气温与物质平衡关系法^[15],以及丁永建等引入太阳辐射法^[16],建立了冰川物质平衡与气象要素之间的关系。刘潮海等通过加密的观测,对物质平衡过程进行了分析研究^[17]。

在冰川分布特征及冰川变化研究方面,刘潮海^[18],张志忠^[19]和胡汝骥^[20]等,首次把中亚天山冰川作为一个完整的体系进行研究,查明天山冰川共有 15953 条,面积 15416.41 km²。陈建明等^[35]在 1996 年首次利用重复航空测量方法研究了 1964—1992 年乌鲁木齐河上游的冰川变化,结果表明冰川规模越大,冰川的绝对变化越大,相对变化越小。山地边缘的冰川对气候变化的响应较山地腹地冰川敏感。

冰川区水文气象与水资源。施雅风等以乌鲁木齐河山区流域冰雪径流为中心的观测试验研究,揭示了山区径流的形成过程^[21]。康尔泗等建立了包括冰川和积雪在内的高山区能水平

衡模型,模拟了冰雪径流的形成与变化过程^[11-12,22-23]。杨针娘以水量平衡原理为基础,分析了高山多年冻土区径流形成、流域水量变化、地表水与地下水转化以及气候变化对寒区径流的响应^[24]。上述研究对西北干旱区内陆河流域水资源研究与开发起到了指导作用。

张寅生^[25]和杨大庆^[26]利用蒸发渗漏器称重法、通量一梯度法和热量平衡法求得乌鲁木齐河源区不同下垫面蒸发量。杨大庆等的研究揭示出乌鲁木齐河源区固态降水观测系统误差为 30.9%,平原及山前地区为 20.5%,这项研究开启了国内外降水观测误差研究的先河^[27]。

冰缘地貌和第四纪冰川。围绕乌鲁木齐河流域开展的第四纪冰川和冰缘地貌学研究堪称我国在这一研究领域的经典。对此,施雅风和崔之久先生在本文集中有专门叙述。施雅风等首先从理论上推断了小冰期冰碛形成于公元 16—19 世纪^[28],陈吉阳^[29]和王宗太^[30]等根据地衣法测定小冰期的三道终碛分别形成于公元(1538±20)年、(1777±20)年和(1871±20)年。地貌特征显示第二道终碛挤压超覆第一道终碛,表示第二次前进动力最强,这一结果对于我国西部小冰期形成年代及其特征的认识具有重要意义,得到广泛应用。秦大河等^[31]和冯兆东等^[32]通过实地考察结合地形图估算了乌鲁木齐河源区末次冰期以前到小冰期的冰川规模,推测了当时的气候条件。崔之久等^[33-34],朱诚等^[35],刘耕年等^[36]和熊黑纲等^[37]对河源区冰川地貌及其沉积过程进行了长期定点观测,内容包括石冰川、多边形、石河、倒石锥、冻胀丘、泥流舌和石流坡等,较为全面地分析了冰川地貌的形成特征和发育规律。

3 近期研究工作进展

1999 年,天山冰川站成为首批国家野外站(试点站),2006 年经现场评估和在北京的答辩正式成为国家站,在国家站中的名称为“新疆天山冰川国家野外科学观测研究站”,2007 年又被选为中国科学院特殊环境网络重点站。在成为国家站至今的 10 余年中,天山冰川站共发表学术论文近 400 篇,不仅取得一批具有国际先进水平的科研成果,而且抓住国家科技工作整体提升和中国科学院实施知识创新工程机遇,积极应对挑战,在观测体系和平台建设方面也取得了长足发展,以下做一较为详细的介绍。

3.1 观测工作和平台建设

增加了定位观测的参照冰川。1998 年 8 月选择奎屯河哈希勒根 51 号冰川作为第二个定位监测的参照冰川,开展每年 1~2 次的观测。2004 年 8 月下旬和 2008 年 8 月,分别选取哈密庙尔沟冰帽和托木尔峰青冰滩 72 号冰川作为第三和第四条参照冰川,由此形成了一个以 1 号冰川为中心较为完善的天山冰川监测网络。

奎屯河哈希勒根 51 号冰川位于天山依连哈比尔尕山北坡,奎屯河上游哈希勒根河源区,在中国境内属于天山山脉的中部地区,是研究天山北麓及艾比湖周围山区冰川的良好参照冰川。该冰川的观测始于 1998 年,包括冰川物质平衡、末端变化、运动速度、冰川温度、冰川厚度、冰川区气象、冰川区气溶胶和雪冰物理化学过程等,并钻取了大量浅冰芯。该冰川在物质平衡、冰川运动、末端退缩、冰川温度等方面与 1 号冰川有较大可比性,但所含的各种化学成分的程度相对较低。

哈密庙尔沟冰帽位于哈密北部,天山山脉最东段的极干旱区,是研究冰川对水资源影响和沙尘暴记录的良好参照冰川。该冰川的观测始于2004年,包括冰川物质平衡、冰川厚度、温度、面积和运动速度等。2005年在冰川顶部钻取2支60 m透底冰芯。该冰帽面积和末端退缩小于1号冰川变化幅度,且冰川温度较低。冰帽中的各种离子浓度高于1号冰川,尤其是盐湖蒸发盐类衍生的化学成分含量较高。

托木尔峰青冰滩72号冰川位于中国境内天山山脉的最西端。该区为亚洲内陆最大的冰川作用区,冰川融水占河川径流的比率很高,平均在40%以上,是塔里木河主要的水源地。2007年开始对该冰川进行考察观测,到目前开展观测包括物质平衡、冰川面积和末端变化、冰川运动速度、冰川能量平衡、冰川温度、冰川高程变化、冰川厚度、冰川表碛与消融、冰川水文气象、雪冰及气溶胶化学等。该冰川为具有表碛覆盖的托木尔型冰川,与1号冰川相比,退缩和消融速度快,但整个冰川运动补给强烈,动力学作用不可忽视。冰川山谷部分主流线厚度相对较薄,冰川温度高,抵御未来升温能力较弱。

强化了野外冰川学考察,扩展了定位观测站。为获取更多及更大范围的冰川观测资料,对天山博格达峰的扇形冰川、四工河4号冰川,奎屯河哈希勒根48号冰川、阿尔泰山喀纳斯冰川,以及祁连山“十一”和“七一”冰川实施了综合冰川学考察观测。新疆喀纳斯地区具有我国纬度最高、末端海拔最低的冰川作用区,终年受西风气流影响,冬季积雪充沛,冰川积雪径流是额尔齐斯河的主要水资源。博格达峰是天山东段最高峰,该区冰川是下游乌鲁木齐市和吐鲁番盆地主要水资源。在喀纳斯和博格达峰地区建立冰川积雪和生态观测研究站,是天山冰川站又一重大战略举措和发展目标。经过不懈努力,2010年与两个景区达成建站共识,并联合进行了博格达峰地区和友谊峰地区的冰川学基础考察。2011年率先与喀纳斯景区达成协议建立“新疆喀纳斯冰川积雪生态观测研究站”。

规范了观测方法和数据质量。天山冰川站自建站以来设置各种特殊观测300多项。常规观测项目涉及6个学科方向,100多个条目。实行规范化观测和数据整编十分重要。2008年完成的《冰川及其相关观测方法与规范》^[38]和2009年完成《冰川动力学模式基本原理和参数观测指南》^[39],即为基于天山冰川站,推广到其它冰川的观测工作指南。

实现与国际冰川监测全面接轨。WGMS评估报告显示,1号冰川过去50年的物质平衡变化曲线,与全球山岳冰川物质平衡的平均变化曲线一致。1号冰川的监测工作,在界冰川监测网络中不可或缺,在国际冰川与全球变化研究中发挥着十分重要的作用。这也体现在1号冰川观测资料被定期刊登在IAHS, UNEP, UNSCO及WMO联合出版的Glacier Mass Balance Bulletin和Fluctuation of Glacier等数据集上,并为UNEP的ENVIRONMENTAL DATA REPORT数据集和GEO DATA PORTAL数据库收录,为IPCC报告等全球变化研究广泛引用。2007年, WGMS选取了30条典型冰川的观测结果,绘制出全球冰川的物质平衡标准曲线,在国际引起很大反响,1号冰川被列其中。2010年WGMS召集多个国际相关组织和各国的国家冰川监测通讯员在瑞士制定未来10年国际冰川监测的规划和重点任务。天山冰川站积极参与这一活动,提出针对中亚干旱区的冰川监测计划被采纳。

观测数据平台升级。2010年完成了河源区3个水文气象观测断面的观测自动化升级改造,通过无线数据传输,实现了数据的异地实时浏览和下载,大大提高了观测数据的时效性和精度,结束了天山冰川站近30年人工气象、水文观测的历史。2010年11月,在1号冰川末端

建成了我国首个冰川监测塔,实现了对冰川的动态实时监测。

基础设施更新改造。2004 年完成了高山站活动房修建和旧房改造、基本站锅炉管道系统的更新换代。2007 年在站区植树和环境整治。2008 年开始基本站实施综合楼建设项目,对危旧房进行拆除,站区重新规划。2010 年在前期综合楼建设基础上,完成了专家公寓及研究生宿舍、车库、低温实验室、锅炉房、围墙等外装工程;低温实验室和车库彩钢屋顶工程;围墙外建筑垃圾及炉渣清理;标准灯光篮球场、乒乓球室建设等。2011 年对专家公寓和职工宿舍内部进行全面改造装修。上述项目的完成,大幅提升了天山冰川站支撑平台功能,使站区面貌焕然一新。

3.2 冰川对气候变化响应研究

20 世纪 80 年代,全球冰川出现明显退缩,最近 20 年,退缩呈现加速趋势。冰川退缩是冰川对气候变化的响应,搞清这一响应的过程和机理,对冰川及其融水径流的未来变化进行模拟预测,是国内外共同的研究目标。对冰川变化的模拟预测包含两个方面,一是冰川物质平衡模拟,需要在搞清引起冰川积消融机理基础上,选择合适的物质平衡模型进行模拟。二是冰川形态变化模拟预测,需要引入冰川动力学模式。冰川动力学模式是目前国际研究的前沿领域,天山冰川站近年的研究取得了突破性进展。

为获取模式所需参数,天山冰川站增加或恢复了多项冰川物理学和冰面气象观测,包括 2006 年在 1 号冰川钻取了 8 个温度测孔,恢复了中断 20 年的冰川温度观测,并将测温工作扩展到天山其它三条参照冰川。冰川运动速度的观测也由原来的每年一次增加到每月一次。2007 年引进的先进 PulseEKKO PRO 增强型雷达和 RTK-GPS 测绘系统,实现了冰川厚度和运动速度的现代化观测。

遥感技术是大范围冰川变化研究的重要手段。近年来,天山冰川站陆续购置了参照冰川区域和其他几个重要区域的高分辨率卫星遥感影像,通过遥感影像和早期地形图的比较,并结合地面验证,获取了新疆和祁连山地区大范围冰川变化信息,在此基础上分析了冰川变化及其对水文、水资源的影响。

上述方向的研究成果为我国西北地区水资源管理与高效利用,区域经济社会可持续发展战略决策的制定,提供了重要的科学依据,也为国内外广泛引用和报道。

1 号冰川加速变化观测事实。冰川物质平衡、冰川形态及冰川雪—冰演化过程的改变均是冰川对气候变化响应的表现形式。观测表明,乌鲁木齐河源区从 20 世纪 60 年代至 80 年代中期,气温和降水基本处在正常波动的范围^[40-42]。1985 年,气温和降水均处于低值,之后呈升高趋势。1996 年以来,气温和降水同步迅速增加,河源区进入历史上最为明显的暖湿阶段。

气温升高,首先造成 1 号冰川表面粒雪特征和成冰作用的变化,表现为冰川上的积雪厚度减薄,结构变简单,各种粒雪的边界变模糊。雪坑中粗粒雪含量从 20 世纪 60 年代的 40% 增加到 65%,细粒雪的含量从最初的 25% 减少到 7%。冰川消融区持续扩大,各成冰带界限上移,东支顶部局部出现冰面消融小湖,并具备了消融区特征^[43]。

冰川物质平衡变化是冰川对气候变化的最直接的反映。由于 1 号冰川的物质平衡曲线与基于全球 30 条冰川资料绘制的世界冰川物质平衡标准曲线相比,无论在变化幅度上还是在变化规律上都极为相似,因而可以通过 1 号冰川的研究,揭示全球山岳冰川的平均物质平衡变化