

天山冰川观测试验站 10 年来的回顾与展望^①

李忠勤 叶佰生

(中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站, 兰州 730000)

摘要 文章详尽地回顾了中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站 10 年来在科研工作、人才培养和基地建设方面所取得的成果, 并对其现状和前景进行了分析与展望。

关键词 冰川观测试验站 科研工作 回顾

中图法分类号 P343.6

第一作者简介 李忠勤, 男, 36 岁, 研究员, 1984 年毕业于西北师范大学物理系, 1994 年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获博士学位, 现任天山冰川观测试验站站长。主要从事冰川化学与环境研究。

1 引言

天山冰川观测试验站(以下称“天山冰川站”)是我国唯一以冰川和冰川作用区为主要观测研究对象的野外开放站, 肩负着冰川学观测、试验研究与人才培养“三大基地”和对外交流“窗口”的重要任务。天山冰川站建立以来, 对我国的冰川学研究起到了十分重要的支撑和促进作用。纵观其建设、发展的历程, 无不体现着我国冰川学创立和发展的脉动。今天, 它又以累累硕果, 迎来了我国冰川学开创 40 周年的盛会。展望明天, 它将面临更多的机遇和更多的挑战。

天山冰川站建于 1959 年, 是在施雅风院士的倡导和组织下完成的。天山冰川站的科研工作大体经历了建站初期(1959~1966 年), 恢复重建之后(1979~1987 年)和成为中国科学院开放以来(1988 年至今)的三个阶段。经过这几十年的努力和建设, 已基本形成一个在国际上有一定知名度的观测、试验和研究野外基地。康尔泗(1988)对 1987 年以前天山冰川站的历史和研究工作进行了系统的回顾。现将 1988 年至 1997 年 10 年来天山冰川站的观测研究进展作一回顾和展望。

2 研究工作概况与人才培养

1987 年 9 月, 通过中国科学院资源环境局组织的开放论证, 天山冰川站成为中国科学院首批对外开放的野外观测试验站之一。对外开放, 使天山

冰川站科研工作步入了一个新的阶段。在站学术委员会的指导监督下, 开放基金有效地支持了其主攻方向上全面系统的研究, 吸引了国内外有关专家、学者的共同参与。系统开展了冰川作用区能量、水量和物质等 3 个平衡和冰川、气候、水文、冰缘、地貌、第四纪冰川演变和环境生态等 7 个过程的研究, 形成了以站为基地、冰川为重点、流域为对象的高山综合观测研究体系。1987~1997 年间, 天山冰川站承担由站学术委员会批准的基金项目 62 项, 承担或参加国际合作课题 16 项, 国家自然科学基金包括重点基金 13 项, “七五”、“九五”院重大项目 5 项, 国家攀登计划和攻关项目 2 项, 争取横向合作课题 8 项。广泛开展国际合作研究, 先后与美国、加拿大、日本、俄罗斯、哈萨克斯坦、瑞士等国数十个单位进行合作研究, 取得了大量高水平的科研成果。由天山冰川站主持和参加的项目获得中国科学技术进步二等奖 2 项, 自然科学二等奖 2 项, 国家教委科技成果三等奖 1 项。共发表论文 300 余篇, 其中, 国际会议和国外期刊 70 余篇; 共出版中、外文专著 7 部, 其中, 英文 2 部, 俄文 1 部。另外, 有 2 部正在出版之中。1991 年 8 月, 天山冰川站通过了开放后的第一次检查评议。在 1997 年中国科学院野外站评审中, 由于本站在科研成果、人才培养方面的突出表现, 天山站被评为 A 类站, 同时获得野外工作先进集体称号。

人才培养是天山冰川站三大基本任务之一。4 年来先后有硕士研究生、博士研究生 30 余名来站

^① 本文于 1998-02-25 收到。

工作, 藉此完成毕业论文并通过答辩的有硕士 13 名, 博士 9 名. 除本所外, 先后有高校和其它研究单位的大学生、研究生约 30 人来站进行野外实习.

3 科研工作新进展

3.1 冰川运动机理与冰川物理学研究

本站以乌鲁木齐河源 1 号冰川 (以下简称“1 号冰川”) 进行的有关冰川运动机理的研究对深入认识大陆型高山冰川作出了一定的贡献. 在我国大陆性山地冰川普遍存在的宽厚渗侵成冰带观测研究了水热传输过程及对这一带上部冰川温度的影响, 建立了相应区的冰川温度分布变化模型 (蔡保林, 1989a, b), 更新了冰川物理学中的若干传统概念. 尤其是通过 1 号冰川末端人工冰洞观测研究结合室内试验, 对冰川的运动机理进行了研究, 提出了 1 号冰川存在有冰川冰变形、冰床变形、剪断现象和底部滑动 4 种运动机理 (Huang Maohuan, 1992; 黄茂桓等, 1991; 黄茂桓, 1994a, b; Jing Xiaoping *et al.*, 1992). 结合 1 号冰川的温度分布 (蔡保林, 1988) 和我国大陆性冰川温度分布状况 (Huang Maohuan, 1990), 系统地总结并提出了我国大陆性冰川运动的 3 种模式 (黄茂桓, 1994a, b; 黄茂桓等, 1994a, b).

3.2 寒区水文水资源研究

高寒山区水文水资源研究是天山冰川站的主要研究方向之一. 近 10 年来, 通过对降水、蒸发、径流形成过程进行了长期系统的观测和研究.

对 1985~1987 年间在乌鲁木齐河上游进行的有关降水误差、蒸发、高山区热量平衡观测研究表明, 乌鲁木齐河源区现行的降水观测系统误差为 30%, 平原和山前区为 20.5% (杨大庆等, 1988); 河源区高山草甸区年蒸发量为 270 mm, 1 号冰川表面为 127 mm (张寅生等, 1991; 杨大庆等, 1992a), 建立了包括冰川和积雪在内的高山区能水平衡模型 (Kang Ersi, 1994); 康尔泗等, 1994a, b, c), 这一模型能够较好地计算冰雪径流的形成与变化过程, 并对山区径流形成过程进行了系统总结 (施雅风等, 1992). 在我国祁连山冰沟与天山冰川站空冰斗典型实验流域分别进行了 6 年和 5 年的观测实验研究, 积累了大量较系统的水量平衡要素和冻土活动层内水热状况等基本实验数据. 通过实验资料, 以水量平衡原理为基础, 探讨了高山多年冻土区径流形成、流域储水量变化、地表水与地下水转化以及气候变化对寒区径流的响应

(杨针娘等, 1996; Woo *et al.*, 1994). 研究表明, 寒区径流系数远高于非冻土区, 前者可达 0.7~0.8; 径流系数随气候变化而变化, 干旱年份急降为 0.45.

全球变化研究是近 10 年来的热点研究领域, 由于山区冰雪及其径流对气候变化极其敏感, 在天山站大量观测资料的基础上, 分别用流域水量平衡模型 (赖祖铭等, 1990, 1991; 叶佰生等, 1996b)、能水平衡模型 (康尔泗, 1996)、冰川度日因子模型 (刘时银等, 1996) 等方法估算了不同气候变化条件下冰川径流的变化量. 研究表明, 未来气温升高 1℃, 冰川径流的增加量不小于目前冰川径流量的 50%; 同时用冰川动力学方法对冰川及其径流对气候变化的响应过程进行了估算 (叶佰生等, 1996a). 用水量平衡方法研究乌鲁木齐河和伊犁河上游气候变化对径流影响结果表明, 气温升高将会使径流的年内分配发生变化, 春季径流增加, 其余季节减少, 增加和减少幅度取决于目前流域融雪径流补给量和升温幅度, 气温升高的另一个结果是河川径流年际变化加大. 此外, 还进行了有关积雪和形成过程及其对河流补给作用的观测研究 (杨大庆等, 1992b, c; 张志忠等, 1997), 对乌鲁木齐河上游 (英雄桥断面) 河流冰堆的观测研究表明, 正常年份冰堆蓄水约 $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, 集中于 4 月下旬至 5 月中旬消融, 约占 4~5 月经流量的 6.4%, 它对缓解春季农业用水的供需矛盾起到一定的作用.

另外, 还进行了有关水融雪径流化学的研究工作, 研究表明 (Mark *et al.*, 1992, 1995; Liu Fengjing *et al.*, 1995), 河源区冬季积雪化学成分主要来源于局地矿物风化物. 虽然径流中 SO_4^{2-} 的浓度高达 $550 \mu\text{eq L}^{-1}$, 但水岩相互作用产生的高 HCO_3^- 浓度, 反而使径流略呈碱性. 本研究首次发现了我国高山地区融雪径流中的“离子脉冲”现象 (刘风景等, 1997), 即春季积雪开始消融的几日内, 融雪径流离子浓度出现瞬时高峰, 犹如电波脉冲一样. 发生该现象的原因, 初步研究认为是积雪消融前自由水的淋溶作用以及由此产生的离子搬运再富集作用所致.

3.3 冰川变化及其与气候变化的关系研究

3.3.1 冰川监测

冰川物质平衡和冰川变化监测是天山冰川站的主要观测内容. 由于多年的观测积累, 使 1 号冰川成为国际上重点观测冰川之一, 观测资料亦被广泛

引用. 1 号冰川观测资料被定期刊登在由国际水文协会冰雪委员会、联合国环境规划署以及教科文组织 (IAHS (ICSI) — UNEP — UNESCO) 共同主编的《Fluctuation of Glacier》上 (每 5 年 1 期), 同时还 4 次被世界冰川监测服务处 (WGMS) 选定为全球 10 条代表性冰川之一, 详细观测资料公布在每两年 1 期的《Glacier Mass Balance Bulletin》[IAHS (ICSI) — UNQP — UNESCO] 上. 整编资料被作为亚洲地区代表定期刊登在联合国环境规划署 (UNEP) 主办的《Environmental Data Report》上.

3.3.2 冰川物质平衡研究

冰川物质平衡研究是冰川学的主要研究内容. 本站以 1 号冰川实测的物质平衡资料为基础. 对冰川物质平衡形成过程进行了详细研究 (刘潮海等, 1997), 结合其它冰川资料, 用气温、降水和物质平衡对比法 (姚檀栋等, 1988)、能量平衡模型 (康尔泗, 1994a, b; 张寅生等, 1994)、度日因子法 (刘时银等, 1996, 1998)、降水和夏季气温方法 (P—T 法) (叶佰生等, 1996c) 等多种方法探讨了物质平衡的估算、恢复及其变化. 同时对高亚洲现有 17 条冰川物质平衡观测序列进行数值滤波、周期分析、主成分分析以及非参数等级统计分析发现, 物质平衡变化在一定的空间距离内有相似性, 而随着空间距离的增大, 区域差异逐步明显. 同时各物质平衡序列存在与本区气候相类似的准 2 年周期波动, 且在 70 年代中期均有一次突变现象出现^①.

3.3.3 冰川变化研究

近年来用不同方法从不同时间尺度和空间尺度的对比研究了冰川的变化. 根据多年的观测, 乌鲁木齐河源 1 号冰川从 1959 ~ 1977 年共退缩了 146 m, 累积物质平衡达 6 014 mm, 并详细研究了引起变化的原因和这种变化所指示的气候变化趋势和幅度 (王宁练, 1996; 王宁练等, 1997; 杨新元等, 1994; 王晓军等, 1988); 用重复航空测量方法研究了 1964 年至 1992 年乌鲁木齐河上游的冰川变化 (陈建明等, 1996; 刘潮海等, 1996), 为研究大范围的冰川变化探索出一条新的方法. 通过实地考察结合地形图, 研究了天山和祁连山小冰期以来的冰川变化 (王宗太, 1993). 用空间对比法和冰川动力学方法研究了天山地区冰川的形成条件及其对气候变化的响应 (叶佰生等, 1992, 1996a, 1997a). 不同方法研究结果均表明, 冰川规模越

大, 冰川绝对变化越大, 相对变化越小. 随着冰川区气候由大陆性向海洋性的变化, 冰川对气候变化的敏感性变大. 用各种方法对未来气候变暖条件下冰川变化进行了估计. 结果表明, 若未来气温升高 1℃, 西北不同地区的冰川面积将减少 15% ~ 45% (王宗太, 1993; 叶佰生等, 1992, 1996a, 1997a).

3.3.4 天山冰川研究

1989 年以来, 天山冰川站负责与俄罗斯科学院地理研究所等单位合作, 首次把中亚天山作为一个完整的地区对其冰川进行系统研究 (ДЮПРИБ, 1994). 研究表明, 天山冰川共有 15 953 条, 面积 15 416.41 km², 估计冰川储量 1 048.14 km³. 冰川在各大山区和各大水系中, 分别以中央天山和塔里木盆地水系为最多. 纬向对冰川发育和雪线高度的影响大于径向的影响. 天山大多数河流按其径流形成过程属于“天山型”, 其特征是暖季分别由积雪和冰川冰的消融而形成的两个洪水期, 各河流年平均冰川融水量约为 $1.32 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 占天山区出山口河流总径流量的 20%, 其补给比例随着冰川作用规模的增大和干燥程度的增加而增大, 其中塔里木盆地水系最大, 达 47% (刘潮海, 1995; 谢自楚等, 1998).

3.4 冰芯记录的现代过程

与我所冰芯与寒区环境开放研究实验室联合, 在天山冰川站开展了以冰芯记录恢复、冰冻圈与大气圈化学物质交换过程为主要内容的研究. 由两个国家自然科学基金和两个冰冻圈专项基金及 1 个站基金支持, 新建成的大气化学观测网为这一研究提供了条件. 作为该项目研究的一部分, 在 1 号冰川海拔 4 035 m 处设立一个雪样定位采集观测场, 进行了一整年度的观测取样, 并于 1996 年 5 月钻取 1 支 80.04 m 的透底冰芯和 1 支 6.62 m 的浅冰芯. 本项目研究是当今国际全球变化和冰冻圈研究的热点和前沿, 并与美国、挪威等国家的冰芯研究机构合作, 目前已取得阶段性科研成果.

3.5 高山区生态环境变化研究

乌鲁木齐河流域生态环境的垂直分布变化显著, 对于研究高山区不同气候带植被类型及物种多样性交替变化具有代表性. 另外, 由于高山冰冻圈生态结构非常脆弱, 对气候和环境的变化反应特别敏感, 因此, 在这一区域进行生态环境的研究可为区域环境和资源的变化及其保护提供理论依据.

^① 刘时银, 1996. 高亚洲冰川物质平衡与冰川变化研究. 博士论文.

1995 年以来, 与中国科学院高原生物研究所合作进行的站基金开放项目, 通过实地考察, 搞清了乌鲁木齐河流域上游的植被种类, 建立了种子植物名录, 绘制出植物种类分布草图, 为进一步的研究奠定了基础。

与新疆农业大学、新疆师范大学合作开展, 并被列为新疆科委的重点项目, 研究揭示了雪莲许多奇特的生物学性状, 如抗寒性、有效利用热量资源的能力、有较强的抗紫外辐射的能力、耐高山缺氧的能力等, 获得了野生雪莲的组织培养和人工化育苗技术, 并可为人工栽培提供大量种苗(卓娅等, 1993)。本项目在天山冰川站建立了雪莲人工栽培试验地和人工育苗试验室, 其研究成果有很大的应用开发价值。此外, 目前正在进行有关雪莲和红景天等高山植物药用成分的分析研究, 为进一步开发利用积累资料。

3.6 高山区冻土及其温度变化研究

高山冻土研究是与俄罗斯科学院合作进行的研究项目。详细研究了高山多年冻土的形成条件及其影响因素和分布状况(邱国庆, 1993; 金会军等, 1993; Jin Huijun *et al.*, 1993; Zhao Lin *et al.*, 1993), 研究表明, 中国境内的天山, 发育着 $6.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的多年冻土。天山冬季较少、夏季较多的降雪有利于多年冻土的形成和保存。另外, 构造抬升强烈的冰川剥蚀作用形成的冰川槽谷及谷盆中沉积物的不断加厚, 为天山各河谷谷地中共生多年冻土的形成提供了良好的物质条件。天山乌鲁木齐河源在阴坡的海拔 2 900 m 和阳坡的海拔 3 250 m 以上, 大致与 -2°C 气温等值线一致。多年冻土厚度也随海拔的上升而增大。年平均地温由海拔 3 348 m 的 -0.7°C 降到海拔 3 900 m 的 -4.9°C , 年温度变化层深度在 10 ~ 18 m 之间。此外, 还用孢粉学和矿物学方法探讨了末次冰盛期以来多年冻土的变化过程(赵林等, 1993)。本项研究的部分成果在 1993 年举行的第六届国际冻土会议上进行了报道, 得到与会专家的好评。主要成果发表在中国科学院兰州冰川冻土研究所和俄罗斯科学院西伯利亚分院冻土研究所合著的《Studies of Alpine Permafrost in Central Asia》(1)(Yakutsk) 专著中。

中亚高山多年冻土温度是研究中亚山区气候变化的一个重要方面, 在中俄合作研究的基础上联合“中日”北纬 43°C 冻土温度监测计划, 在乌鲁木齐河源进行了连续 6 年的地温定位观测。结果表明, 河源区海拔 3 300 m 附近, 1990 ~ 1996 年间在 0.5

~2.0 m 处的冻土地温呈明显升高趋势, 而在 10 m 和 18 m 处则为缓慢降温(金会军等, 1996, 1998)。目前乌鲁木齐河源冻土温度监测已作为天山站的基本观测内容进行长期观测, 为高山多年冻土区环境变化研究提供可靠的依据。

3.7 冰川地貌与第四纪冰川研究

对天山冰川站周围地区及巩乃斯河源垭口地区冰川地貌及其沉积过程进行了十余年连续的定点观测。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。比较全面地研究了冰川地貌的形成特征和发育规律(崔之久等, 1989, 1993; 崔之久, 1998; Zhu Cheng, 1993; 朱诚等, 1990, 1992a, b, c; 朱诚, 1993a, b; 刘耕年等, 1992; 熊黑纲等, 1993)。此项研究成果以实际行动开创了把冰缘地貌研究从定性走向定量, 从形态描述走向内部形成机制, 从静态研究走向动态研究, 并为今后的动态模拟打下了基础, 具有重要的理论和实践意义。为冰缘地貌过程的研究和高寒山区公路选线提供了第一手的基础资料。已获得的主要成果除已发表的论文外, 基本上已总结在《中国天山冰冻圈地貌过程与沉积特征》(崔之久, 1998) 和《现代冰缘地貌研究》(朱诚, 1994)。

在我国西北高山区均有保存完好的末次冰盛期的冰川遗迹, 乌鲁木齐河流域是末次冰盛期冰川研究的重点区, 通过实地考察结合地形图估算了乌鲁木齐河源区末次冰盛期冰川规模和当时的气候条件(叶佰生等, 1997b)。同时, 将第四纪冰川研究范围扩大到天格尔峰、博格达山、巴里坤山和哈尔里克山等天山东段山地, 此项研究已完成上述地区末次冰盛期冰川分布大比例尺图的填图量测工作。

3.8 树木年轮与古气候序列重建

在乌鲁木齐河上游近 800 km^2 的流域内(海拔 1 800 ~ 2 600 m), 选取了 9 个采样点, 采集 190 棵树, 280 个序列, 建立了 9 个年表, 其中最长的 452 年, 最短的 195 年。用年轮气候学方法, 重建了流域过去 250 年年平均气温和径流序列(李江风等, 1997)。为研究天山地区小冰期以来环境变化打下了坚实的基础。

3.9 信息系统

作为观测、研究基地, 先进的信息、数据管理系统至关重要。1995 年以来, 在站基金的支持下, 开始建立天山冰川站的信息系统, 旨在利用计算机对试验站的各类研究项目、观测数据进行量化管理, 并为信息数据的交流提供先进的手段。

4 现实与展望

自身的优势和特色是天山冰川站未来发展的基础。经过一批又一批冰川学工作者坚持不懈的努力,天山冰川站已逐步形成自己鲜明的特色,即国际全球变化冰冻圈动态监测网点中亚内陆区域的典型代表,冰冻圈基础研究的试验基地,寒区和干旱区水资源观测研究试验区。科研工作形成了以冰川为主对冰冻圈各组分进行综合观测研究的格局,从而更富于整体性并与国际冰冻圈研究相接轨。冰冻圈动态监测与基础研究将是天山冰川站未来研究的主攻方向。

近年来,中国科学院将野外工作尤其是定位野外站的工作提到了更重要的位置。路甬祥院长在1996年9月对天山冰川站视察访问期间,热情赞扬了天山冰川站基础研究所取得的丰硕成果。他谈到,这样一个规模不大的站在如此艰苦条件下取得如此多的高水平科研成果十分可贵,给他留下了极为深刻的印象。1997年12月在北京召开的中国科学院第二次野外工作会议期间,姜春云副总理在与野外工作者代表座谈会上表明了他对冰川变化引起水资源变化问题的高度重视。路甬祥院长在大会报告中高度赞扬中国科学院野外工作十几年来所取得的巨大成绩,指出野外工作是科研工作中“不可替代的部分”。与此同时,将中国科学院优秀野外观测试验站纳入国家重点实验室管理体系的议案也正在商榷落实当中。面临着新的机遇和挑战,天山冰川站正处在一个较为有利的关口,抓住机遇,奋力拼搏,一定会有新的更快的发展。在看到充满希望的明天的同时,我们也更应该清楚天山冰川站目前的实际。天山冰川站与兰州冰川冻土研究所几乎一样长的历史,从建站伊始,一批又一批的冰川学工作者在这里奋斗,奉献青春。它始终寄予了新老冰川学工作者们的厚望。更由于它在冰川学研究中的重要作用,使每一届领导班子都在寻找新的生长点,以促其新的发展。

近年来,随着我国科技体制改革的不断深入,科研机构同样在竞争中求生存、求发展。野外站要想生存和发展,必须具备良好的发展方向、高水平的科研成果、强大的竞争能力和凝聚力。尽管目前天山冰川站有其自身特色和一定优势,但优势和机遇会稍纵即逝,在竞争强烈的开放站评估当中很容易落伍。因此,天山冰川站的科研工作始终面临巨大压力和挑战。野外站的工作千头万绪,既要

抓科研,又要抓管理和建设,还要顾及地方关系、安全问题等等,不仅要求站领导有高度的责任心和奉献精神,还需要有一个团结战斗的集体。1996年7月在巨大洪水灾害面前,天山冰川站正是依靠集体的智慧和力量,团结奋斗,在很短的时间内,用不多的经费便重建了总控水文断面,修复了通往冰川的自建公路和本站的供电线路,使天山冰川站观测研究工作尽快恢复了正常,损失减少到了最低限度。目前天山冰川站90%以上的建筑得到翻新和维修。

科技的竞争归根到底是人才的竞争。天山冰川站近年来在自身人才建设方面虽然有较大的发展,但是与其它14个开放站相比还有相当的差距。在目前市场经济冲击下,保持和稳定一批高水平青年学术人才在冰川站,目前条件下是极为困难的。我们深深感到,只有加速建立自己的研究生队伍,培养更多面向天山冰川站未来的研究生,才能从根本上解决高水平科技和科技管理人才匮乏的问题,而这一目标的实现更多的需要研究所的协助和支持。

经费紧张是天山冰川站长期面临的大问题。全成本核算、临时工工资和野外补助是冰川站最大的开支项目。近年来,随着市场物价及交通、运输、电费的猛涨,站上一直在赤字运行。而天山冰川站的发展,很大程度上依赖于基金、运行费以外所争取到的经费支持。1992~1997年间,基金、运行费总计约170万元,而同期争取到的其它支持经费(不包括课题经费)在200万元以上。因此,在今后相当长的时间内,广泛争取各个渠道的经费支持,是冰川站持续发展的基本保证。被评委A类站以后,站运行费有所增加,一定程度上缓解了所内全成本核算、临时工工资和站运行费用增加的巨大压力。同时车辆的更新,解决了困扰天山冰川站多年的老大难问题。但是,锅炉和地下管道的更新、自动气象站的建立仍然是迫在眉睫需要解决的问题。对于站在新的起跑线上,参与开放站和生态网络站竞争的天山冰川站来说,目标和现实尚有很大距离。

几年来的工作实践使我们深深认识到,作为兰州冰川冻土研究所科研工作一个重要组成部分,天山冰川站的工作离不开所、院和老一辈冰川学工作者们的支持,是他们对野外站工作的高度重视和支持,才使冰川站有了发展的机遇,他们永远是天山冰川站坚强的后盾;天山冰川站同样离不开所内外在站从事科研工作的专家、学者和研究生们卓有成

效的工作, 他们的科研成果是冰川站的立足之本; 另外, 年复一年观测人员和辅助工人远离亲人和家庭的辛勤耕耘, 他们为获取基础数据和维持冰川站正常运行作出了贡献. 让我们携起手来共同努力, 为在不远的将来把天山冰川站建设成为国际一流的冰川观测试验站而努力奋斗!

参 考 文 献

- 王宁练. 1996. 冰川平衡线变化的主导气候因子灰色关联分析. 冰川冻土, 17 (1): 8~15
- 王宁练, 刘时银. 1997. 从天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化估计近百年以来该地区夏季升温. 冰川冻土, 19 (3): 207~213
- 王宗太. 1993. 中国西北部小冰期以来冰川变化及其影响和未来动态. 地理科学, 13 (2): 97~104
- 王晓军等. 1988. 从天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 28 年来的变化看天山地区近期气候变化趋势. 科学通报, 33 (9)
- 叶佰生, 赖祖铭. 1992. 未来气候变暖条件下区域冰川的平衡态响应. 科学通报, 37 (19): 1 494~1 497
- 叶佰生, 施雅风. 1996a. 天山区不同规模山谷冰川及其径流对气候变化的响应过程. 见: 第五届全国冰川冻土学大会论文集 (上). 兰州: 甘肃文化出版社, 495~503
- 叶佰生, 赖祖铭, 施雅风. 1996b. 气候变化对天山伊犁河上游冰川径流的影响. 冰川冻土, 18 (1): 29~36
- 叶佰生, 陈克恭, 施雅风. 1996c. 乌鲁木齐河源冰川的消融强度函数. 冰川冻土, 18 (2): 139~146
- 叶佰生, 陈克恭, 施雅风. 1997a. 冰川及其径流对气候变化响应过程的模拟模型. 地理科学, 17 (1): 32~40
- 叶佰生, 李世杰, 施雅风. 1997b. 从未次冰盛期冰川规模探讨当时的气候环境. 冰川冻土, 19 (1): 1~9
- 朱诚, 宋长青等. 1990. 天山乌鲁木齐河源区季节冻胀丘的特征. 冰川冻土, 12 (1): 55~62
- 朱诚, 崔之久. 1992a. 中天山石冰川特征研究. 地理学报, 47 (3): 233~241
- 朱诚, 崔之久. 1992b. 天山乌鲁木齐河源区冰缘地貌的分布和演变过程. 地理学报, 47 (6): 526~535
- 朱诚, 崔之久. 1992c. 中天山泥流舌和泥流阶地运动特征及其蠕动机理探讨. 地理科学, 12 (4): 349~356
- 朱诚. 1993a. 我国天山山区公路山地灾害及其防治. 山地研究, 11 (2): 88~96
- 朱诚. 1993b. 论坡地冰缘地貌的发育模式. 冰川冻土, 15 (2): 207~213
- 朱诚. 1994. 现代冰缘地貌研究. 南京: 江苏科学技术出版社
- 刘风景, Williams M 等. 1997. 天山乌鲁木齐河融雪径流的“离子脉冲”现象初探. 科学通报, 42 (4): 417~419
- 刘时银, 丁永建等. 1996. 度日因子用于乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡计算的研究. 见: 第五届全国冰川冻土学大会论文集 (上). 兰州: 甘肃文化出版社, 197~205
- 刘时银, 丁永建等. 1998. 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. 冰川冻土, 20 (1): 9~13
- 刘潮海. 1995. 中亚天山冰川资源及其分布特征. 冰川冻土, 17 (3): 193~203
- 刘潮海, 陈建明等. 1996. 天山乌鲁木齐河流域冰川变化及其气候和径流响应. 见: 第五届全国冰川冻土学大会论文集 (上). 兰州: 甘肃文化出版社, 123~132
- 刘潮海, 谢自楚, 王纯足. 1997. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究. 冰川冻土, 19 (1): 17~24
- 刘耕年, 熊黑钢. 1992. 中国天山高山冰缘环境中的寒冻风化剥蚀作用及其影响因素. 冰川冻土, 14 (4): 332~341
- 李江风, 袁玉江, 由希尧. 1997. 乌鲁木齐河山区流域 360 年径流量的重建. 第四纪研究, 2: 131~138
- 杨大庆等. 1988. 天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及改正. 冰川冻土, 10 (4): 374~399
- 杨大庆, 张寅生. 1992a. 乌鲁木齐河流域山区冬积雪蒸发观测的主要结果. 冰川冻土, 14 (2): 122~128
- 杨大庆, 张志忠, 张寅生. 1992b. 天山乌鲁木齐河源雪密度观测研究. 地理学报, 47 (3): 260~266
- 杨大庆, 王纯足, 张寅生等. 1992c. 乌鲁木齐河源高山区季节积雪的分布及其密度变化. 地理研究, 11 (4): 86~89
- 杨针娘, 胡鸣高, 刘新仁等. 1996. 高山冻土区水量平衡及地表径流特征. 中国科学 (D 辑), 26 (6): 567~573
- 杨新元, 韩添丁. 1994. 乌鲁木齐河源气候特征与冰川融水径流. 冰川冻土, 16 (2): 147~155
- 张寅生等. 1991. 天山乌鲁木齐河源区蒸发研究. 见: 第四届全国冰川冻土会议论文集 (冰川学). 北京: 科学出版社, 87~94
- 张寅生, 康尔泗, 刘潮海. 1994. 天山乌鲁木齐河源流域的气候特征分析. 冰川冻土, 16 (4): 333~341
- 张志忠, 刘宗香. 1997. 乌鲁木齐河流域冰椎形成特点及分布. 水利学报, (1): 73~77
- 卓娅, 刘杰龙, 古巴诺娃等. 1993. 天山雪莲生态适应特性及人工繁殖的研究. 新疆师范大学学报 (自然科学版), 13 (2): 81~84
- 邱国庆. 1993. 中国天山高山多年冻土的形成条件. 冰川冻土, 15 (1): 96~102
- 金会军, 邱国庆, 赵林等. 1993. 东天山中段乌鲁木齐河上游冻土热状况研究. 冰川冻土, 15 (1): 110~114
- 金会军, 刘宗香等. 1996. 天山站夏季营地附近多年冻土温度变化. 见: 第五届全国冰川冻土学大会论文集 (下). 兰州: 甘肃文化出版社, 1 104~1 114
- 金会军, 刘宗香等. 1998. 天山乌鲁木齐河源冰达坂多年冻土温度监测. 冰川冻土, 20 (1): 25~29
- 赵林, 邱国庆. 1993. 天山乌鲁木齐河源末次冰期以来气候变化与多年冻土的形成. 冰川冻土, 15 (1): 103~109
- 陈建明, 刘潮海等. 1996. 航空像片对比成图方法在乌鲁木齐河源流域冰川变化监测中的应用. 冰川冻土, 18 (4): 331~336
- 施雅风等. 1992. 乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京: 科学出版社, 189
- 黄茂桓, 蔡保林等. 1991. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的底部状况. 见: 第四届全国冰川冻土学术会议论文集 (冰川学). 北京: 科学出版社, 59~64
- 黄茂桓. 1994a. 我国亚极地型冰川的运动机理. 中国科学 (B 辑), 24 (3): 310~316
- 黄茂桓. 1994b. 我国极地型冰川发育的气候条件. 冰川冻土, 16 (3): 218~223
- 黄茂桓, 李刚. 1994a. 含杂质冰近融点恒应力蠕变实验. 自然科学进展, 4 (2): 205~208
- 黄茂桓, 周韬, 井小平等. 1994b. 乌鲁木齐河源 1 号冰川 2 号冰洞的冰川学研究. 冰川冻土, 16 (4): 289~300
- 姚檀栋, 施雅风. 1988. 乌鲁木齐河气候、冰川、径流变化及未来趋势. 中国科学 (B 辑), (6)
- 康尔泗. 1988. 天山冰川观测试验站回顾和展望. 冰川冻土, 10 (3): 290~295
- 康尔泗, Atsumu Ohmura. 1994a. 天山冰川消融参数化能量平衡模

- 型. 地理学报, **49** (5): 467~476
- 康尔泗, Atsumu Ohmura, 1994b. 天山冰川作用流域能量、水量和物质平衡及径流模型. 中国科学 (B辑), **24** (9): 983~991
- 康尔泗, 刘潮海, 1994c. 乌鲁木齐河源冰川物质平衡季节变化和总消融海拔分布. 冰川冻土, **16** (2): 119~127
- 康尔泗, 1996. 高亚洲冰冻圈能量平衡特征和物质平衡变化计算研究. 冰川冻土, **18** (增刊): 12~22
- 赖祖铭, 叶佰生, 1990. 用冰川径流模型估计气候变化对天山乌鲁木齐河源 1 号冰川水资源的影响. 水科学进展, **1** (1): 59~64
- 赖祖铭, 叶佰生, 1991. 高寒山区流域的水量平衡模型及气候变暖趋势下径流的可能变化. 中国科学 (B辑), **6**: 652~658
- 蔡保林, 1988. 乌鲁木齐河源 1 号冰川深孔温度的初步研究. 科学通报, **33** (24)
- 蔡保林, 1989a. 冰川渗侵带吸热模型及动坐标求解. 科学通报, **34** (11)
- 蔡保林, 1989b. 冰川渗侵带放热模型. 科学通报, **32** (2)
- 谢自楚, 刘潮海等, 1998. 中亚冰川作用及其利用. (待出版)
- 熊黑纲, 刘耕年, 崔之久, 1993. 天山乌鲁木齐河源空冰斗中分迁环的观测与研究. 地理研究, **12** (4): 46~52
- 崔之久, 熊黑纲, 刘耕年, 1983. 天山乌鲁木齐河源区及拉尔敦达坂冰缘块体运动观测研究. 冰川冻土, **15** (2): 199~206
- 崔之久, 朱诚, 1989. 天山乌鲁木齐河源区石冰川的温度结构类型与运动机制. 科学通报, **34** (11)
- 崔之久, 1998. 中国天山冰冻圈地貌过程与沉积特征. (待出版)
- Huang Maohuan, 1990. On the temperature distribution of glaciers in China. J. of Glaciology, **36** (123): 210~216
- Huang Maohuan, 1992. The movement mechanisms of Urumqi Glacier No. 1, Tianshan Mountains, China. Annals of Glaciology, **16**: 39~44
- Mark W. Williams, Kathy A Tonnessen *et al.*, 1992. Sources and spatial variation of the chemical composition of snow in the Tianshan, China. Annals of Glaciology, **16**: 25~32
- Mark W Williams, Yang Daqing, Liu Fengjing *et al.*, 1995. Controls on the major ion chemistry of the Urumqi River, Tianshan, People's Republic of China. Journal of Hydrology, **172**: 209~229
- Jin Huijun, Qiu Guoqing, Zhao Lin *et al.*, 1993. Thermal regime of alpine permafrost in the upper reach of Urumqi River, Xinjiang, China. In: Proceedings of the Sixth International Conference of Permafrost, Beijing, July 5~9. 1: 397~3116
- Jing Xiaoping, Huang Maohuan, Chen Jianming *et al.*, 1992. Basal deformation of urumqi Glacier No. 1, Tian Shan Mountains, China, Annals of Glaciology, **16**: 123~126
- Kang Ersi, 1994. Energy—Water—Mass Balance and Hydrological Discharge. Geographisches Institut ETH, **178**
- Liu Fengjing, Williams M W, Yang D, 1995. Snow and water chemistry of a headwater alpine basin, Urumqi River, Tianshan, China. Biogeochemistry of Seasonally Snow—Covered Catchments, IAHS Publ. **228**: 207~220
- Woo M K, Yany Z, Xia Z *et al.*, 1994. Streamflow processes in an alpine permafrost catchment, Tianshan, China. Permafrost and Periglacial Processes, **5**: 71~85
- Zhao Lin, Qiu Guoqing, Jin Huijun, 1993. Climate fluctuation and the process of permafrost formation since the Last Glaciation in the source area of Urumqi River, Tianshan, China. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost, Beijing, July 5~9, **1**: 803~808
- Zhu Cheng, 1993. On the development model of slope periglacial. VI International Conference on Permafrost, Preceding, Vol 1, South China University of Technology Press, 826~831
- Дюр ов, Лю Цаохэ, 1994. Оледенение Тянь Маня, Л. Кндромедиздат

Ten Years of Progress in the Tianshan Glaciological Station

LI Zhong—Qin YE Bai—Sheng

(The Tianshan Glaciological Station, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, Lanzhou 730000)

Abstract This paper presents rivew of the scientific works in the Tianshan Glaciological Station over the past 10 years. The progress of scientific re-

search, student training and construction of the station is summarized. In addition a prospect is also given.

Key words Tianshan Glaciological Station, scientific research, review