寒区和干旱区水文研究的回顾和展望①

康 尔 泗
(中国科学院兰州冰川冻土研究所，兰州 730000)

摘 要 寒区和干旱区水文研究在冰川、积雪、冻土、高寒山区和山前地带已初步形成了较完整的观测实验和研究体系. 80 年代以来，在冰川融水径流、出山径流形成的观测实验、寒区水文过程、冰川作用流域水文过程和大气过程相互关系、乌鲁木齐地区的水资源问题、气候对水资源的影响、高亚洲冰冻圈水文、冰川洪水和融雪径流以及干旱区水文等方面已取得了多项研究成果. 近年来，寒区和干旱区水文水资源的研究在内陆河流域水资源合理开发利用与社会和生态环境协调发展、冰雪水资源和出山径流变化及趋势预测以及水资源形成与变化的基础研究方面获得了新的发展. 可以预见，在未来十余年内，我国寒区和干旱区水文学的研究将发展到以水圈为中心的包括大气圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈各圈层在时间空间上相互作用的综合研究阶段，而水环境与水资源的研究也将有新的突破，从而为地区经济持续发展提供及时的决策依据.

关键词 寒区　干旱区　水文　水资源　回顾和展望
中图法分类号 P343

作者简介 康尔泗，男，55 岁，研究员，1965 年毕业于兰州大学地质地理系气候专业，1992 年获瑞士联邦理工学院自然科学博士学位. 现从事寒区和干旱区水文、气候和水资源研究.

1 引言

在我国开展冰川冻土研究 40 周年之际，我国的寒区和干旱区水文研究工作也走过了 40 年历程. 我国西部在地形方面由辽阔的高原和庞大的山系以及山前平原盆地组成，地跨我国水系分区的外流区和内流区两部分. 青藏高原东南部的高寒区是我国流入太平洋和印度洋的大江大河的发源地. 在我国西北干旱区，水资源分布于若干相对独立的内陆河流域，其中高寒山区为径流形成区，而山前平原盆地为径流散失区，这样的地形组成和径流形成与空间分布特征，形成了我国西部独具特色的水文水资源系统，其中在我国西北干旱区、高寒区和干旱区水文过程在每一个内陆河流域均相互联系、相互制约和相互作用. 我国冰川冻土研究事业一开始就抱着“开发高山冰雪，改变西北干旱”的目的(施雅风，1988)，因此，我国的寒区与干旱区水文的研究事业也是基本上伴随着冰川冻土研究事业的发展而发展. 在 1958～1965 年期间，在冰川辐射和热量平衡、积累与消融、冰川水文、山区河川水文及地表水与地下水的转化关系等方面均取得了在当时具开创意义的成绩. 这期间在祁连山西段大雪山老虎沟冰川建立了水文气象观测站，在天山乌鲁木齐河源区建立了天山冰川观测试验站，出版了《天山乌鲁木齐河冰川与水文研究》专著，并开展了河西石羊河流域水资源研究，成立了干旱水文研究室(施雅风，1988). 这段时期，在诸多冰川考察中，水文学均是一项重要的内容(杨针娘，1988). 之后，寒区和干旱区水文的研究工作由于“文革”而中断. 1978 年以后，又相继恢复和开展了冰川水文、寒区水文和干旱区水文的研究(康尔泗，1988；曲耀光等，1990). 现就 80 年代以来，特别是近 10 年以来寒区和干旱区水文研究所取得的成就作一回顾和展望.

2 80 年代以来的研究进展

2.1 冰川融水径流研究

随着我国冰川编目工作的进展和完成(王宗太，1988)，截至 1987 年，已统计得出我国冰川总面积为 58 650 km^2，所储存的水资源量为 51 440 ×

① 本文于 1998 - 04 - 06 收到.

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

$10^8 m^3$. 在系统总结已有研究成果的基础上，杨针娘（1991）分析了中国西部山区冰川发育的降水条件、冰川消融、冰川融水径流和冰川水资源，并出版了《中国冰川水资源》一书．该书定义了冰川融水径流的基本参数为冰川融水径流模数、冰川融水径流深和冰川区径流系数．利用对比观测实验法、流量和气温关系法以及冰川融水径流模数等方法，对中国的冰川融水径流进行了详细的分区和分山系计算，得出我国冰川融水径流总量为 564 $\times 10^8 m^3$，其中，西藏占 58 %，新疆占 33 %.

在冰川径流模拟计算研究方面，随着观测实验资料的积累，较多应用了各种统计模型和随机模型，如时间系列分析（宋强等，1990；宋强，1991），随机过程模拟（胡小刚等，1989）和复回归模型（康尔泗等，1992a）等．通过复回归分析，发现除气温外，水气压也是表征高山带水热条件的一个重要指标，在流量计算中起着重要作用（康尔泗等，1992a）．另外，通过统计分析，还建立了冰川消融函数（叶佰生等，1996a）．在冰川消融的物理过程研究方面，建立了通过冰川能量平衡计算冰川径流的方法（康尔泗等，1992b），进而建立了冰川消融参数化能量平衡模型（康尔泗等，1994a）．另外，还观测研究了冰川融水径流的冰内冰下排水系统（康尔泗，1991）以及冰川水化学（皇翠兰等，1995；盛文坤等，1996）．

2.2　出山径流形成的实验研究

在中国科学院与新疆维吾尔自治区联合组织的乌鲁木齐地区水资源若干问题研究中，为了解作为水资源形成区的山区径流形成规律，依托天山冰川观测实验站和新疆维吾尔自治区水文水资源局径流实验站，于 1985～1987 年在乌鲁木齐河山区流域开展了较深入的径流形成观测实验研究（施雅风等，1992a）．该项研究包括降水观测和特征、冰川水文、蒸发观测和计算、径流分析、径流模拟计算和流量测验方法等部分组成．通过这段时期的观测实验研究，在降水观测方法和系统误差修正以及山区降水分布（杨大庆等，1992a）、冰川能量平衡、径流形成过程及其对河流的补给作用（康尔泗等，1992b；杨新元等，1992）、河冰及其在春季径流形成中的作用（张志忠，1992）、河源区蒸发量的测定（张寅生等，1992）和流域蒸发量的估算（张国威等，1992a）等方面取得了新的进展，获得了新的认识（施雅风等，1992a），并提出了水资源的估算和径流的模拟计算方法（康尔泗等，1992a，c；张国威等，1992 b）．特别是降水观测误差修正的实验研究，在我国尚属首列，受到国际上的重视，并作为我国在这方面工作的代表，被世界气象组织（WMO，1996）主持的降水观测比较实验研究的出版物中多次收录和引用．此外，这段时期还进行了乌鲁木齐河气候、冰川、径流变化及未来趋势的研究（姚檀栋等，1988）．

2.3　寒区水文过程研究

除冰川覆盖区外，广大高寒区地面及多年冻土活动层的水文现象对气候变化也十分敏感．为探讨高寒区的水文过程、径流形成机理及产流特征，杨针娘等（1992a）在祁连山黑河上游冰沟流域和天山乌鲁木齐河源的空冰斗流域进行了寒区水文的观测实验研究，其中部分研究项目与加拿大迈克·马斯特大学的胡鸣高教授合作进行．通过观测实验，对寒区径流形成及产流模式（杨针娘等，1992a）、径流分析与估算（杨志怀等，1992）、冻土水文过程（杨针娘等，1993）、径流与气象要素的关系（曹真堂等，1992）、降水时空分布（杨针娘等，1992b）、水量平衡与水资源（张学成等，1991；杨针娘，1992）以及寒区水化学特征（盛文坤等，1992）等方面的问题进行了论述并获得了新的认识．在上述工作的基础上，对产流机制的研究表明，高寒山区的产流用定量数学模式表示是可行的，而高寒山区的产流是地表水与冻结层上地下水通过下渗及转化过程的结果（杨针娘等，1996a）．另外，在天山乌鲁木河源区空冰斗流域融雪径流化学研究中，在我国发现了融雪径流的“离子脉冲”现象（刘风景等，1997）．

2.4　冰川作用流域水文过程和大气过程相互关系的研究

天山冰川观测试验站于 1985～1989 年期间，在乌鲁木齐河源冰川作用流域进行了能量平衡、物质平衡和水量平衡及径流形成过程的综合观测实验研究，其中冰川能量平衡与冰川气候的野外观测研究部分和瑞士联邦理工学院合作进行（Kang Ersi，1994）．在上述工作的基础上，康尔泗等（1993；1994b）将能量平衡和流域的水量平衡相结合，建立了一个联系大气过程和流域水文过程的流量模拟模型．该模型不仅可用于其它冰川作用流域的流量过程模拟，还可用以模拟 10 年以上及世纪时间尺度流量变化的模拟计算（Kang Ersi，1994）．以常规气象站的观测要素作为模型的初始输入，用该模型模拟计算了乌鲁木齐河源区冰雪面能量平衡、流域积

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

雪量、产流量和水文流量过程（康尔泗，1995）．

2.5 乌鲁木齐地区水资源若干问题研究

“乌鲁木齐地区水资源若干问题研究”课题是中国科学院为适应干旱地区经济发展和未来国家建设重点西移而提出的．在新疆维吾尔自治区政府和领导的关怀与支持下，与自治区有关单位密切合作，由施雅风和曲耀光组织领导，围绕解决乌鲁木齐地区，特别是乌鲁木齐市供水不足，城市发展规模、工农业用水合理分配等问题，开展了水资源形成与变化、数量与质量、开源与节流、水资源开发利用程度与承载力的多学科综合研究（施雅风等，1992b）．该项研究成果主要由《柴窝堡 - 达板城地区水资源与环境》（施雅风等，1989），《新疆柴窝铺盆地第四纪气候环境变迁和水文地质条件》（施雅风等，1990），《乌鲁木齐河山区水资源形成和估算》（施雅风等，1992a）和《乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用》（施雅风等，1992b）等研究专著组成．该项研究第一次在我国西北干旱区内陆河流域开展较系统的山区和山前平原盆地相结合的多学科综合研究，在该地区径流形成与转化、水环境地球化学特征、水资源开发利用程度和水利化方向、工农业结构现状、未来预测合用水分配、流域水污染与水环境保护、水资源承载力等方面，均获得了一系列新的认识和研究进展．

2.6 气候变化对水资源影响的研究

在施雅风主持的“气候变化对西北华北水资源的影响”研究中，中国科学院兰州冰川冻土研究所承担了“气候变化对西北水资源影响及趋势估计”部分的研究任务．该项研究从冰芯中的古气候信息、冰川变化及其趋势、季节积雪变化及其趋势、河川径流变化及其趋势和西北干旱区湖泊变化及其趋势等方面对西北地区的水资源变化进行了研究（施雅风等，1995）．其中，在河川径流变化的研究中，对影响西北干旱区径流变化的主要气候因子进行了分析，阐述了径流变化的区域分布，模拟计算了气候变化对高山区径流的影响．研究表明，70 年代是西北地区气候变化的转折期，从这个转折期起，夏温逐渐升高．从 60 年代后期至 80 年代前期，本区大多数地方降水量显著减少，但 80 年代后期出现了全区降水正距平．径流的变化在 80 年代后期已有转正的迹象（赖祖铭等，1995）．另外，还利用水量平衡模型对天山乌鲁木齐河流域（赖祖铭等，1991）和伊犁河流域（叶佰生等，1996b）的径流在不同气候情景下的可能变化趋势及其对水资源的影响进行了模拟计算研究，进而讨论了温室效应对我国西部河川径流的影响（赖祖铭，1997）．在上述研究的基础上，对气候变化对西北干旱区地表水资源的影响作了未来趋势的预测（施雅风等，1995）．

2.7 高亚洲冰冻圈水文研究

在“高亚洲冰冻圈对气候变化的响应及其对环境的影响”研究中，进行了“高亚洲冰川及河川径流对气候变化的响应”研究．根据已有观测事实，对高亚洲冰冻圈能量和物质平衡的变化过程进行了探讨（康尔泗，1996a）．引入冰川系统的理论和方法，用能水平衡径流模型模拟计算了天山天格尔山北坡内陆河流域冰川系统及其径流在气候变化条件下的可能变化（康尔泗，1996b）．研究了祁连山北坡寒区水文对气候变化的响应，在分析周期变化的基础上，对径流量和寒区环境的变化进行了初步预测（杨针娘等，1996b）．气候变化对青藏高原大江大河径流的影响研究表明，由于气候变暖、变干，河川径流量自本世纪 60 年代中期以来呈现出下降趋势，但 70 年代初是一个转折点，以后各流域降水量有不同程度的增加，而河川径流仍波动于多年平均值以下（赖祖铭，1996）．另外，还经过野外考察和观测，研究了我国大陆型冰川的消融特征（张寅生等，1996），山区冬季积雪蒸发（杨大庆等，1992b），贡嘎山地区的冰川水文（曹真堂，1995）和青藏高原唐古拉山冬克玛底河流域水文过程（张寅生等，1997），以及近 30 年来青海湖流域气候变化对水量平衡的影响及其趋势预测研究（丁永建等，1995）等．

2.8 冰川洪水和融雪径流研究

1985～1987 年，由中国科学院兰州冰川冻土研究所与新疆维吾尔自治区水利厅联合组织了新疆叶尔羌河冰川洪水科学考察（张祥松等，1990，1991）．研究表明，叶尔羌河的突发洪水系冰川阻塞湖的突然排水所致．排水方式主要为冰下泄水道的迅速扩大．克勒青河上游克亚吉尔冰川与特拉木砍力冰川是这种洪水的主要策源地．到本世纪末，随着全球性的气候变暖，两冰川将后退减薄．冰川阻塞湖洪水规模将日益减小（张祥松等，1990）．该项研究成果，丰富了我国水文学的研究内容，对叶尔羌河的规划治理以及新疆南部地区的经济建设提供了科学依据（张祥松等，1987）．另外，还有西藏喜马拉雅山区危险冰湖及其溃决的研究（徐道明等，1989），以及对我国冰湖溃决洪水灾害的综

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

合研究（Ding Yongjian *et al*．，1992）等．

在融雪径流研究方面，进行了黄河上游（蓝永超，1989；蓝永超等，1997a）和河西地区（蓝永超等，1997b）春季径流分析和预报，应用岭回归分析（蓝永超等，1992）和灰色系统理论的关联分析（蓝永超，1993）进行了融雪径流预报，均获得了较为满意的预报结果．此外，还研究了山区小流域洪水过程及泥沙搬运方式（丁永建，1989）．

2.9　干旱区水文研究

山前干旱地带的水文研究方面，在水资源转化与水质变化、水资源开发利用阶段和潜力、水与绿洲以及水资源转化及预报模拟研究中均取得了新的进展．在乌鲁木齐河流域的研究表明，内陆河流域可划分为若干相互独立又相互联系的水文地质单元，地下水的运动及循环过程与地表水的关系极为密切，可恢复和更新部分地下水资源绝大部分是河流地表水资源的转化（曲耀光等，1994）．水质随海拔具明显的变化规律，下游地区是各种污染物的积累区（曲耀光等，1994）．根据中国西北干旱区水资源开发利用的历史、现状和未来趋势，可将其划分为地表水开发利用阶段、地表水与地下水联合开发利用阶段和可用水资源经济利用阶段，三个阶段反映了水资源开发利用层次及其充分性和合理性（曲耀光等，1995a）．在河西走廊地区的水与绿洲研究中，论述了绿洲的形成演变及其与水资源的关系，并以此推断了绿洲发展的规模与方向（曲耀光等，1995b）．在乌鲁木齐河水资源转化模拟研究中，以水量平衡为基本原则，力求解决流域现状水资源开发利用中的问题，通过对河水、地下水、泉水相互转化机制的模拟，建立了模拟与计算相结合并具有预报功能的模型（刘风景等，1992）．

2.10　其它方面的工作

除上述工作外，其它有关单位也做了大量的我国寒区和干旱区水文和水资源的考察、调查、观测实验和研究工作．例如，中国科学院兰州沙漠研究所进行了黑河流域水资源合理开发利用的研究（高前兆等，1990），中国科学院新疆地理研究所开展了亚洲中部水资源的研究，新疆水文水资源局开展了干旱区水文水资源研究，中国科学院塔克拉玛干沙漠综合科学考察队进行了塔克拉玛干沙漠地区水资源评价与利用研究，中国科学院自然资源综合科学考察队进行了青藏高原和新疆水资源的考察研究以及中国科学院地理研究所进行的青藏高原和西北水资源研究等等．这些研究已出版了大量专著和论文，为我国的寒区和干旱区水文水资源的研究作出了贡献．

上述工作及研究成果表明，我所的寒区和干旱区水文的研究在冰川、积雪、冻土、高寒山区和山前干旱地带已初步形成了较完整的观测实验和研究体系，已取得了多项研究成果．“九五”期间，我所更加重视寒区和干旱区水文水资源的研究，并将其列为研究所的重点发展方向之一．除加强和国际研究计划的联系（Cheng Guodong，1995）外，程国栋所长正主持和组织全所有关研究人员承担和开展国家“九五”科技攻关重点项目“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”的“黑河流域水资源合理开发利用与社会和生态环境协调发展研究”专题和“冰雪水资源和出山径流量变化及其趋势预测研究”专题的研究工作．另外，正承担并开始进行国家自然科学基金重点项目“西北干旱区内陆河流域水资源形成与变化的基础研究”的研究工作．

3　发展趋势和展望

水是人类生活的命脉，也是国民经济发展的最大制约因素．地球淡水资源有限，而随着人类对水需求的增长，水的供需矛盾会愈来愈尖锐．在21世纪来临之际，水危机将成为新世纪人类最为普遍关注的问题．我国是世界上最缺水的国家之一，而西北干旱区又是我国最缺水的地区．我国西北干旱区和高亚洲相伴共存，因此寒区和干旱区水文形成了我国西北独具特色的水文系统．当今水文科学的研究重视全球变化引起环境变迁对水文学和水资源的影响，以期对水资源的长期变化进行预测．为此，正在加紧研究气候变化与水资源变化的关系问题，其中包括作为水文学研究前沿的水文过程界面问题和尺度转换问题．水文学的研究已进入了以水圈为中心来研究大气圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈相互作用的阶段，从而进行水循环的动力模拟．另外，如何使有限的水资源能最优化地加以利用，以及水资源的开发利用对环境的影响，是水资源持续利用中面临的课题．基于此，现就我所寒区和干旱区水文与水环境及水资源的研究对未来到2010年的发展作以下展望．

3.1　高亚洲冰冻圈水文和水资源

建立冰川、冻土、积雪和植被覆盖与大气间的能量和水量交换及径流产生机理的物理模型，进而阐述水资源时空分布和变化规律．水资源变化和气候变化的关系及其对高原生态环境的影响过程将可

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

以进行数值模拟和分析，进而预测未来水资源的变化及环境效应.

3.2 西北干旱区内陆河流域水文和水资源系统

建立冰雪-气、地-气、土-气、土-植-气界面能量和水量输送模型，并提出尺度转换的方案，进而建立内陆河流域分布参数水文模型并和区域性气候模型与 GCMs 模型耦合，进行出山径流预报和长期变化趋势预测. 建立人类活动开发利用水资源对水资源量和质及生态环境影响的基本理论，进而建立内陆河流域水资源高效利用和科学管理的决策支持系统以及水资源持续利用的理论基础.

3.3 西北干旱区水循环

对观测降水量进行系统误差修正，改进陆面蒸发量计算方法，提高水平衡的计算精度. 对高山区的冰川水储存和山前地带地下水储存的水量收支和更新速率进行计算，进而对水循环中的长短周期进行分离. 对内陆河流域大气水、冰雪水、地表水、土壤水和地下水之间的转化规律和路径进行数值模拟. 在内陆河流域开展以水为中心的大气、冰雪、冻土、陆面和植被相互作用的研究，在此基础上，初步建立西北干旱区水循环的动力模型.

3.4 西北干旱区水环境

通过 SPAC 系统的研究，揭示水文系统中物质迁移的影响因素，物质迁移过程的主要特征，水化学动态过程，水质变化与环境变化的关系. 在研究物质迁移过程机理的基础上，建立西北干旱区水文物质迁移模型.

上述研究均需加强野外观测实验，特别是选择典型实验流域，进行系统的、长期的观测研究. 在野外观测中，不断改进测试技术和数据采集方法，加强进行国际合作研究，不断引进国外先进的学术思想和研究方法. 要将地面观测系统和 3S 系统相结合，特别是加强微波遥感的应用. 另外，还要利用冰芯方法和树木年轮方法延长气候和水文时间系列. 可以预见，在未来十余年内，我国寒区和干旱区水文学的研究将发展到以水圈为中心的包括大气圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈各圈层在时间空间上相互作用的综合研究阶段，而水资源与水环境的研究也将有新的突破，从而为地区经济持续发展提供及时的决策依据.

参 考 文 献

丁永建，刘风景，1995. 近三十年来青海湖流域气候变化对水量平衡的影响及其趋势预测. 地理科学，**15**（2）：119～135

丁永建，1989. 山区小流域洪水过程中泥沙搬运方式的初步研究. 地理科学，**44**（4）：487～495

王宗太，1988. 中国的区域冰川编目. 冰川冻土，**10**（3）：262～268

叶佰生，陈克恭，施雅风，1996a. 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，赖祖铭，施雅风，1996b. 气候变化对天山伊犁河上游河川径流的影响. 冰川冻土，**18**（1）：29～36

刘风景，曲耀光，1992. 水资源转化模拟及预报模型的建立和结果分析. 见：乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用. 北京：科学出版社，21～29

刘风景，M. Williams，杨大庆，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

曲耀光，康尔泗，1990. 中国冰川水资源研究综述. 见：第四届全国冰川冻土学术会议论文选集. 北京：科学出版社，15～24

曲耀光，骆鸿珍，1994. 乌鲁木齐河流域地表水与地下水转化及水质演变. 冰川冻土，**16**（2）：139～146

曲耀光，马世敏，刘景时，1995a. 西北干旱区水资源开发利用阶段及潜力. 自然资源学报，**10**（1）：27～34

曲耀光，马世敏，1995b. 甘肃河西走廊地区的水与绿洲. 干旱区资源与环境，**9**（3）：93～99

宋强，陈靖，1990. 用时间系列模拟和预报天山乌鲁木齐河源 1 号冰川年径流总量. 冰川冻土，**12**（2）：161～166

宋强，1991. Kalman 滤波在黄河上游融雪期径流预报中的应用初探. 冰川冻土，**13**（1）：27～34

杨大庆，施雅风，康尔泗等，1992a. 天山乌鲁木齐和流域降水观测系统误差分析和修正. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，14～40

杨大庆，张寅生，1992b. 乌鲁木齐河流域山区冬季积雪蒸发观测的主要结果. 冰川冻土，**14**（2）：122～128

杨志怀，杨针娘，王强，1992. 祁连山冰沟流域径流分析与估算. 冰川冻土，**14**（3）：251～257

杨针娘，1988. 我国冰川水文三十年来的研究. 冰川冻土，**10**（3）：256～261

杨针娘，1991. 中国冰川水资源. 兰州：甘肃科学技术出版社

杨针娘，1992. 祁连山黑河流域水量平衡与水资源. 见：中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊，第 7 号. 北京：科学出版社，133～147

杨针娘，杨志怀，张学成，1992a. 祁连山冰沟寒区径流及产流模式. 见：中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊，第 7 号. 北京：科学出版社，91～100

杨针娘，曹真堂，王强，1992b. 祁连山黑河流域降水时空分布特征. 见：中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊，第 7 号. 北京：科学出版社，121～132

杨针娘，杨志怀，梁凤仙等，1993. 祁连山冰沟流域冻土水文过程. 冰川冻土，**15**（2）：235～241

杨针娘，胡鸣高，刘新仁等，1996a. 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

杨针娘，王强，朱守森，1996b. 祁连山北坡寒区水文对气候变化的响应. 冰川冻土，**18**（增刊）：305～313

杨新元，康尔泗，1992. 乌鲁木齐河源径流过程和时空分布. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，67～78

张学成，杨针娘，1991. 祁连山冰沟流域水量平衡初探. 冰川冻土，**13**（1）：35～42

张志忠，1992. 乌鲁木齐河流域河冰基本特征及其对春季径流的补给作用. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，116～130

张国威，买热艳木，1992a. 乌鲁木齐河山区流域蒸发估算及特性分析. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，90～98

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

张国威，商思臣，王新齐，1992b. 用水箱模型模拟乌鲁木齐河流域日径流过程. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，131～147

张祥松，李念杰，由希尧等，1987. 新疆叶尔羌河冰川湖突发洪水研究. 中国科学（B 辑），**17**（11）：1 197～1 204

张祥松，周聿超等，1990. 喀喇昆仑山叶尔羌河冰川湖突发洪水研究. 北京：科学出版社

张祥松，周聿超等，1991. 喀喇昆仑山叶尔羌河冰川与环境. 北京：科学出版社

张寅生，康尔泗，杨大庆，1992. 乌鲁木齐河流域高寒区蒸发量观测实验研究. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，79～89

张寅生，姚檀栋，蒲健辰，1996. 我国大陆型冰川消融特征分析. 冰川冻土，**18**（2）：147～154

张寅生，姚檀栋，蒲健辰等，1997. 青藏高原唐古拉山冬克玛底河流域水文过程特征分析. 冰川冻土，**19**（3）：214～222

胡小刚，李念杰，1989. 博格达山南坡黑沟 8 号冰川融水径流随机过程的模拟. 冰川冻土，**11**（3）：279～229

施雅风，1988. 三十年的回顾与教训. 冰川冻土，**10**（3）：201～214

施雅风，曲耀光等，1989. 柴窝堡-达板城地区水资源与环境. 北京：科学出版社

施雅风，文启忠，曲耀光等，1990. 新疆柴窝铺盆地第四纪气候环境变迁和水文地质条件. 北京：海洋出版社

施雅风，康尔泗，张国威等，1992a. 乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社

施雅风，曲耀光等，1992b. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用. 北京：科学出版社

施雅风主编，1995. 中国气候与海面变化及其趋势和影响（4）——气候变化对西北、华北地区水资源的影响. 济南：山东科学技术出版社

施雅风，张祥松，1995. 气候变化对西北干旱区地表水资源的影响和未来趋势. 中国科学（B 辑），**25**（9）：968～977

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，**18**（6）：657～666

皇翠兰，蒲健辰，1995. 西大滩煤矿冰川区冰川冰、雪和河水的阳粒子特征. 冰川冻土，**17**（3）：283～288

徐道明，冯清华，1989. 西藏喜马拉雅山区危险冰湖及其溃决特征. 地理学报，**44**（3）：343～352

高前兆，李福兴，1990. 黑河流域水资源合理开发利用. 兰州：甘肃科学技术出版社

盛文坤，曾凯文，1992. 祁连山黑河冰沟流域的水化学特征. 见：中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊，第 7 号. 北京：科学出版社，111～120

盛文坤，王宁练，蒲健辰，1996. 唐古拉山冬克玛底冰川作用区的水化学特征. 冰川冻土，**18**（3）：235～243

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，1991. 乌鲁木齐河源 1 号冰川消融区排水系统初探. 冰川冻土，**13**（3）：219～228

康尔泗，杨新元，1992a. 乌鲁木齐河源区径流和气象要素变化关系及其模拟计算. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，148～165

康尔泗，张寅生，杨大庆，1992b. 乌鲁木齐河源冰川热量平衡组成分析及融水径流计算. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，57～66

康尔泗，杨新元，张建岗等，1992c. 乌鲁木齐河夏季日流量估算的一个途径. 见：乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京：科学出版社，175～181

康尔泗，Atsumu Ohmura，1993. 天山冰川作用流域能-水-质平衡和水文流量模拟研究. 科学通报，**38**（10）：925～929

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，1995. 冰川作用流域能水平衡的径流模拟计算. 地理学报，**50**（6）：552～561

康尔泗，1996a. 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

康尔泗，1996b. 天山天格尔山北坡冰川系统及其径流变化研究. 冰川冻土，**18**（增刊）：60～74

曹真堂，王强，1992. 祁连山冰沟实验流域径流与气象要素的关系. 见：中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊，第 7 号. 北京：科学出版社，101～110

曹真堂，1995. 贡嘎山地区的冰川水文特征. 冰川冻土，**17**（1）：73～83

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——以天山乌鲁木齐河为列. 中国科学（B 辑），**21**（6）：652～658

赖祖铭，叶佰生，朱守森，1995. 西北区河川径流变化及其趋势. 见：气候变化对西北、华北水资源的影响. 济南：山东科学技术出版社，95～119

赖祖铭，1996. 气候变化对青藏高原大江大河径流的影响. 冰川冻土，**18**（增刊）：314～320

赖祖铭，1997. 试论温室效应对我国西部河川径流的影响. 冰川冻土，**19**（1）：10～16

蓝永超，1989. 黄河上游春季径流的特征. 冰川冻土，**11**（4）：383～391

蓝永超，王新民，1992. 岭回归分析在融雪径流预报中的作用. 冰川冻土，**14**（1）：19～24

蓝永超，1993. 灰色系统理论的关联分析在融雪径流预报中的应用探讨. 冰川冻土，**15**（3）：481～486

蓝永超，康尔泗，杨文华，1997a. 黄河上游径流预报的灰色拓补方法. 冰川冻土，**19**（4）：308～311

蓝永超，曾群柱，1997b. 河西地区融雪径流的灰色预测方法. 冰川冻土，**19**（2）：154～160

Cheng Guodong，1995. Researches on water resources in arid areas of northwest China under global change and their relation to IGBP. In：China Contribution to Global Change Studies. Beijing：Science Press，93～96

Ding Yongjian，Liu Jingshi，1989. Glacier lake outburst flood disasters in China. Annuals of Glaciology，16：180～184

Kang Ersi，1994. Energy-Water-Mass Balance and Hydrological Discharge. Zurich：ETH

WMO，1996. Finalreport of international organizing committee for the WMO solid precipitation measurement intercomparison. Toronto，Canada，1～51

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

Review and Prospect of Studies on Hydrology of Cold and Dry Regions in China

KANG Er - Si
(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, Lanzhou 730000)

Abstract For studying the hydrology of cold and dry regions, a relatively comprehensive system of measurements, experiments and a investigation has been basically formed in the areas of glaciers, snow cover, permafrost, high moutainous watersheds and the low land area in front of the mountains in the arid area of northwest China. Since the 1980's, achievements of scientific researches have been obtained on glacial meltwater runoff, measurements and experiments of runoff generation from mountainous watersheds of inland river basins, hydrological processes in cold regions, interrelationship between hydrological processes and atmospherical processes in glacierized basins, water resources in the Urumqi Prefecture of Xinjiang Autonomous Region, impacts of climate changes on water resources, hydrology of the High - Asia cryosphere, glalcier lake outburst floods, snowmelt runoff, and hydrology in arid regions. For recent years, in the studies of hydrology and water resources in cold and dry regions, new projects have been initiated on the rational exploitation and utilization of water resources, on the coordinate development of society and ecotope, on the prediction of changing trends of snow and ice water resources and runoff from the mountainous watershes under global warming, and on the basic researches on the generation and variation of water resources in inland river basins. It can be foreseen that, in the next ten years or more, the studies of hydrology in cold and dry regions will develop to a new stage of comprehensive researches, which are centralized by hydrosphere, on the spatial and temperal interactions among the hydrosphere, atmosphere, cryosphere, lithosphere and biosphere. It is expected that a breakthrough progress will be achieved in the studies on water resources and hydro - environment. All the achievements will serve the foundations of the decision making for the sustainable economic development of the arid northwest China.

Key words cold regions, dry regions, hydrology, water resources, review and prospect

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.