

Research on water
science in frigid zone
and international rivers 2

**Research on
hydrologic cycle
and ice engineering
in frigid zone**



寒区水科学及国际河流研究系列丛书2

寒区水循环 及冰工程研究

戴长雷 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

2



寒区水科学及国际河流研究系列丛书2

寒区水循环 及冰工程研究

戴长雷 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为第2届寒区水资源及其可持续利用学术研讨会现场交流论文集集中的部分论文。本书主要由6个方向,即冰工程研究、寒区水文模拟研究、冻土水文研究、寒区地下水资源开发与环境保护、东北地区农业水支撑研究以及由中国水利报、地理学报、中国科学技术协会网等对第2届寒区水会议的报道与评论等25篇科研论文组成。本书探讨了寒区问题及其相关领域的基础理论、应用研究以及新技术应用等科学问题,提出了相应的科学思路、方法和措施,为寒区水资源等提供了学术讨论的平台。本书适合广大水利工程、水资源及其广大水利读者参阅。

图书在版编目(CIP)数据

寒区水循环及冰工程研究. 2 / 戴长雷主编. — 北
京: 中国水利水电出版社, 2009. 12
(寒区水科学及国际河流研究系列丛书)
ISBN 978-7-5084-7095-5

I. ①寒… II. ①戴… III. ①冻土区—水资源—文集
IV. ①P33-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第234998号

书 名	寒区水科学及国际河流研究系列丛书 2 寒区水循环及冰工程研究
作 者	戴长雷 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷
印 数	001—600册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第2届“寒区水资源及其可持续利用”学术研讨会论文集

《寒区水循环及冰工程研究》编委会

学术顾问：夏 军 赵惠新 迟宝明 梁 川 张光辉

周振民 付 强 王乃昂 张宝森 曹剑锋

主 编：戴长雷

副主编：杜绍敏 李治军

编 委：李志军 吴 敏 束龙仓 章光新 杜新强

祁福利 肖迪芳 姜纪沂 高淑琴 孙颖娜

张一丁 张烽龙 张松波 王红星

前言

寒区是指温度低、固体降水在总降水中所占比重较大的地区。当然,目前还没有一个得到广泛认可的关于寒区的定义,主要争论的焦点是温度和固体降水所占比重的量化值的大小问题。广义来说,占中国一半国土面积的东北(高纬度区)、西北及青藏高原(高海拔区)、华北(冬春冻融区)等地区都属于寒区。

由于低温和固体降水,使得寒区水科学的基础问题——水循环显示出与非寒区明显不同的特征,进而使得以分析河川水文特征常用的产汇流模型,如新安江模型、陕北模型等,在寒区“水土不服”。冰问题是寒区特有的水问题,冰凌的监测、预报以及冰害的分析与防治都是冰工程研究的重要内容。因此,寒区水循环与冰工程研究就构成了本文集的主要内容。

本文集取材于第2届“寒区水资源及其可持续利用”学术研讨会现场交流论文集集中的部分论文。主体部分由5个方向(冰工程研究、寒区水文模拟研究、冻土水文研究、寒区地下水资源开发与环境保护、东北地区农业水支撑研究)的25篇科研论文组成,并收入了《中国水利报》、《地理学报》、中国科学技术网等对第2届“寒区水资源及其可持续利用”学术研讨会的报道与评论。

“寒区水资源及其可持续利用”学术会议由黑龙江大学水利电力学院和黑龙江大学寒区地下水研究所发起,为国内唯一大规模从事寒区水科学研讨的系列会议。首届会议论文集——《寒区水资源研究》由黑龙江大学出版社于2009年7月正式出版。为更好地总结、展示和交流研讨成果,从本文集开始,将以“寒区水科学及国际河流研究系列丛书”的形式,持续地出版寒水系列会议的相关材料。

本书的出版得到黑龙江大学寒区地下水研究所启动基金的资助,中国水利水电出版社的宋晓编辑为本书的出版花费了很大的心力,黑龙江大学水利电力学院的王斌书记以及研究生孙思淼、李欣欣为本书的策划和编辑付出了辛苦的劳动,在此一并致谢。

戴长雷/daichanglei@126.com

2009年9月13日

目 录

前言

一 冰 工 程 研 究

- 21 世纪潜在的冰科学研究问题 李志军, 王国志 (3)
- 宁蒙河段冰凌监测技术试验研究 张宝森, 郜国明 (9)
- 关于护坡极值冰压力分析的几个基本问题 李锋, 高泰, 陈凯 (20)
- 海冰航拍图像分析技术 张蕊, 卢鹏, 李志军 (26)
- 天然和人造淡水冰内部结构特征的对比研究
..... 黄文峰, 张丽敏, 李志军, 刘普, 李广伟 (33)

二 寒 区 水 文 模 拟 研 究

- 贡嘎山冰川森林区径流过程模拟 梁川, 陈梁, 陈建 (41)
- 寒区流域水文模型及其应用研究 周振民, 孙晓敏 (52)
- 流域水文模型中河道断面概化的原理和方法
..... 胡鹏, 崔小红, 周祖昊, 周娜, 徐文新, 王喜峰 (59)
- 北方沿海地区河谷型地下水库最优库容研究 李治军, 迟宝明 (65)

三 冻 土 水 文 研 究

- 祁连山冰雪融水补给山前平原地下水特征
..... 张光辉, 费宇红, 聂振龙, 申建梅, 王金哲 (75)
- 冻土水文学方法问题讨论 肖迪芳, 廖厚初, 郭峰 (80)
- 冻层条件下渗渠集水物理模拟模型设计与应用 戴长雷, 李欣欣, 周彦章 (90)
- 寒区冬季大田土壤入渗特性试验研究 李天霄, 付强, 刘东 (97)
- 试论阿尔山地热资源勘探开发与环境保护措施 郭洪彬, 张孟才, 孙晓东 (102)

四 寒 区 地 下 水 资 源 开 发 与 环 境 保 护

- 渗渠取水试验研究进展 李欣欣, 戴长雷, 孙思森 (109)
- 东明煤矿露天开采过程的地下水控制 柏钰春, 王磊 (117)
- 浅析大兴安岭地区主要地质环境问题 郭洪彬, 杨国民, 王鹏 (123)

科尔沁草原荒漠化土地分布规律 姜吉生, 张玉敏, 卢正学, 安鹏飞 (128)

浅谈荒漠化引发的环境地质问题 卢正学, 姜吉生, 张玉敏, 张金华 (133)

大庆及周边地区湿地萎缩及地下水现状分析
..... 王立勇, 董学良, 李楠, 王超, 杨振雷 (137)

五 东北地区农业水支撑研究

佳木斯市水利图件可视化管理研究 孙思森, 戴长雷, 李欣欣 (145)

三江平原水稻生育期蒸发量影响因子的主成分分析 孟凡香, 徐淑琴, 刘东 (151)

基于集对分析的井灌水稻需水量预测 李陶, 付强, 刘东 (156)

“3S” 技术在水利工程建设中的应用 龚文峰, 孔达, 岳常青 (161)

浅析汤原—萝北地堑地热资源勘察可行性 郭洪彬, 马翠, 姜志超, 吴铮 (166)

六 会议报道与评论

寒区水资源研究亟待“破冰” 刘艳飞/中国水利报 (171)

非一日之“寒” 刘艳飞/中国水利报 (174)

第 2 届全国寒区水资源及其可持续利用学术研讨会在黑河召开
..... 刘艳飞/中国水利网 (176)

第 2 届“寒区水资源及其可持续利用”学术研讨会在黑河召开
..... 姚鲁烽/地理学报 (177)

水利专家黑龙江探讨寒区水循环及国际河流开发 中国科学技术协会网 (179)

专家聚黑龙江省探讨寒区水资源及其可持续利用 中国科学技术协会网 (180)

第 2 届“全国寒区水资源及其可持续利用”学术研讨会在黑河隆重召开
..... 黑河政府网 (181)

其他相关报道 (182)

附 1 第 2 届寒区水资源及其可持续利用学术研讨会现场交流论文集前言
..... 戴长雷 (183)

附 2 第 2 届寒区水资源及其可持续利用学术研讨会现场交流论文集目录
..... (184)

冰 工 程 研 究

21 世纪潜在的冰科学研究问题

李志军¹, 王国志²

(1. 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁大连 116024;

2. 黑龙江省引嫩工程管理处, 黑龙江安达 151400)

摘 要: 根据近年东北水库冰科学研究收集的文献和 2009 年加拿大研究专项奖的调查访问的文献资料和经验, 结合中国国情, 粗浅地阐明 21 世纪寒区工程中潜在的冰科学问题。对于每一问题, 没有深化内部各研究方向之间的关系和详细阐明它们的逻辑关系。但从长距离输水工程的冰—水力学、全球气候变化对水资源的影响以及人类活动对水资源的污染 3 方面概括了各自的研究方向和内容。这些粗浅的总结供学者讨论, 可望起到抛砖引玉的目的。

关键词: 冰; 全球变暖; 工程; 环境; 资源

21 世纪的中国水资源短缺仍然是被世人关注的热点问题, 它直接影响中国的农业、工业和人民生活水平。合理开发和可持续利用水资源是一项可持续发展的基本路线。冰作为水的固体形态, 成为水资源的一种表现形式。然而全球变暖已经是一个正在发生的不争事实, 无论全球未来能否变冷, 什么时间变冷, 对于温度敏感的冰而言, 在目前气候变暖的事实下, 应该关心它的生存和它的脆弱性。全球气候变化下的冰雪水资源问题属于水科学、地球科学、工程科学、社会科学、人文科学的交叉科学, 牵涉到涉水问题的方方面面。目前中国在这方面的研究投入的人力和物力不断增加, 特别是随着国民对环境问题认识的提高, 国内科研经费投入的比例也不断增加。从这方面讲, 目前一些热点和一些潜在的冰问题都将能成为未来冰科学研究的主角。作者根据正执行的国家自然科学基金委冰观测项目收集的文献资料, 结合与国内外同仁的交流, 特别是 2009 年 6 月执行加拿大研究专项奖期间, 收集和阅读了加拿大关于全球气候变化下的自然科学和社会科学中的水资源研究文献, 本文粗浅总结我国 21 世纪有研究潜力的 3 大方面 10 个研究方向的冰问题。

1 长距离输水的冰—水力学问题

尽管长距离输水的争议不断, 但无论采取何种建设方案, 寒区冬季长距离输水的冰—水力学问题或多或少地存在于这些人工工程中。如果说人工输水工程结构物中的冰问题远比天然河道中出现的冰问题简单的话, 就目前国内在冰—水力学方面的研究成果和研究队伍, 不能轻而易举地下结论。我国目前的冰工程科学, 从应用基础理论研究和生产实践措施, 到稳定的科研队伍都不够健全。20 世纪 80 年代, 冰工程研究不属于“冷门”, 国内

基金项目: 国家自然科学基金 (50879008), 加拿大研究专项奖 (2009)。

作者简介: 李志军 (1960—), 男, 河北省崇礼县人, 教授, 博导, 研究方向为冰物理和力学、冰工程、冰区环境保护。

诸多先辈在东北、华北和西北做出了卓越的贡献，特别是围绕黄河和黑龙江的冰凌灾害做出了有意义的成果。进入 20 世纪 90 年代，许多与生产有关科研院所出现“强化生产实践，消弱基础科研”的局面。这种局面随着先辈们的退休而变得越来越明显，直至今天我们没有一支年龄结构合理和知识结构合理的研究队伍。随着国家经济条件的改善和国民对基础科学问题认识的提高，寒区冰凌问题正逐步重新提到日程。

1.1 冰物理和力学行为

冰工程的关键冰参数是冰的力学性质，然而冰是一种温度敏感性材料，冰的力学性质同冰的物理性质和冰温度密切相关。我国海冰物理和力学性质研究得较为系统，但淡水冰的物理和力学性质研究仍然有很大缺口。以往的淡水冰性质的研究成果显得零星和分散，2006 年以来国家自然科学基金委陆续资助了数项淡水冰的现场和实验室研究，可望这些资助项目能够成为科学研究和队伍建设的良好开端，以此带动其他冰性质原型调查、试验研究的深入。为工程设计参数确定（冰厚度、冰温度、冰期、冰强度等）提供扎实的基础，为物理模拟和数值模拟提供高质量的可靠基础数据。虽然来自现场调查研究和实验室测试的冰科学研究投入大，产出低，但随着国民经济建设中重大工程规划、设计、施工和管理的需求，对实验室和现场资料获取的经费投入一定会比计算机数值模拟的经费投入有所提高。

1.2 冰对结构物的作用力

冰对结构物的作用力，除与上述冰自身力学性质外，还与结构物性质有关。冰—结构物表面之间的设计指标有：冰—建筑物表面材料摩擦系数、冰—建筑物表面材料冻结附着。结构方面的关键设计指标是：结构的刚度、结构的表面形状，特别是结构水线附近的形状、结构物的投影宽度。

冰对结构物的作用力主要有静膨胀力、挤压力、撞击力、摩擦力和冻结附着力。这些力均可以通过低温实验室和现场开展研究，以及数值计算来获取。

冰对桥墩撞击力目前已经有一些研究成果，重点是东北冰凌问题，如国家地震局工程力学研究所^[1]、东北林业大学^[2]、天津大学^[3]的成果。冰与柔性结构物（桥墩，石油平台导管架等）的作用过程很复杂，但不意味着刚性结构物上的冰力问题很简单，而不需要研究。随着寒区工程的建设增加和长距离输水工程的开展，冰作用力仍然有着广阔的研究空间，如闸门、取水口、堆石坝等面临的冰凌问题。

1.3 最佳输水模式

长距离输水特别是南水北调工程的争议是存在的，但中国城市缺水局面迫使采取长距离输水解决问题。北方冬季输水期的安全运行仍然是首要问题，特别是全球气候变暖给人们带来一个假象，即冰情在逐年减轻。但工程灾害来自自然突发现象和应对突发现象的应急能力，它是自然和人类短时间内“交锋”的结果。在重大自然突发事件面前，多数构成自然灾害。全球变暖并不意味着在工程结构物使用寿命年限内没有突发事件发生，如果长距离输水发生突发事故，给工农业生产和居民生活带来的影响是深远的。所以，科学的冰期输水还是有诸多科学问题需要探索：如冰下输水的冰生长厚度的控制和预测、冰板承受自重的评估、冰力学性质的判断等；分流结构的效果涉及分凌的最佳地形和冰—水力学；明渠进入暗渠的冰块涌入涉及取水口优化和模拟，冰块在拦冰栅前的堆积等。

1.4 冰凌过程观测

冰凌过程在电视报道很多,也被百姓所接受。但从科学角度看,冰凌过程的科学数据并不是很多,或者说冰凌过程定量参数远少于定性描述。所以冰凌过程的原型观测很有必要。国际上也在探索利用现代监测技术实现目标,如 CCD 监视^[4]。监视的结果结合成熟的图像分析技术,来获得冰凌发生时的关键参数,如冰块大小分布、流凌的冰密集度、流凌运动速度、冰块厚度。特别是借用倾斜拍摄图像处理技术和技巧^[5],是未来实现 CCD 监视的技术保障。

另外,我国学者在冰塞形成过程的物理模拟、数值模拟有一定成果^[6-7]。由于物理模拟和数值模拟的检验来自原型过程的认识和物理过程的认识,所以随着原型观测的进行和深入,势必带动新一轮的冰凌过程的物理和数值模拟的深化,从而提高冰凌的预报和预警水平。

1.5 炸凌科学性探索

冰凌爆破是我国应对冰凌灾害防范措施之一。但冰凌爆破本身具有很多科学问题需要深入。首先关于冰面打孔预埋爆破采用的炸药量和孔的分布有成果报道^[8],但这些成果没有同冰材料性质结合起来。采用空投爆破的问题,比冰面打孔预埋存在的问题更多。从弹道运动上讲,炸弹的形状、运动速度和质量影响它的冲击力,它能否进入冰层还与冰力学性质有关^[9]。这个性质同样受到气温等环境条件影响。单纯冰的力学性质,利用过去的实验冰本构关系可能不适用如此快速的冲击过程。所以,未来工作需要冰冲击过程和冰爆破试验研究,来认识高应变速率下的冰脆性破坏行为,非连续介质的冲击破碎行为,以及空气、水下、冰内冲击波的传递和破冰效果等基础科学问题。

2 全球气候变化对水资源的影响

2.1 湖河冰的指示和响应

全球气候正发生变化,无论是变暖,还是变冷,除直接的天气指标体现外,冰雪也是一个方面。就湖河海冰来讲,海冰的正负反馈作用是地球科学关注的焦点。由于湖泊的面积,甚至渤海的面积较小,在天气尺度中,它们只有对天气的响应,而没有对天气的反馈。所以,在中国地球科学者的大尺度天—地系统研究中,不包括湖河冰的全球气候响应研究;而中国的水科学学者,目前的主要精力集中在冰工程问题,也没有精力去关注这个问题,所以关于全球气候变化对湖河冰的影响就成为一个空缺。而国际上对该问题有研究成果报道,这些成果有来自地球科学^[10-11],也有来自长期从事水科学的学者^[12]。回顾中国学者的工作,东北和西北地区的气象工作者,已经有工作基础^[13-14]。如果结合 20 世纪水科学工作者积累的冰厚度、冰期,特别是长期积累的连续资料,可能产生一个学科增长点,来带动中国的全球气候变化中湖河冰响应研究,然后同生态结合起来,促进中国生态的预测和评估。这项工作,即可以由地球科学学者启动,也可以由水利工程学者启动。

2.2 冰川水资源的脆弱性

冰川冰是我国西北和西南部分地区的水资源之一。西北地区长期处于干旱缺水状态。对冰川水资源的不断研究,也受到国家和地方的高度重视。冰川水资源的研究在国内有一支稳定的队伍,拥有较多的人员和成果^[15-16]。同时在国际上也有一只活跃的队伍,研究

也集中在冰川水资源的脆弱性方面。我国的冰川水资源研究主要针对山地冰川。在这些区域开展研究,一些正确的研究思想和方向会受到山地冰川面积较小、海拔高带来的许多现代测试技术改进的机遇和挑战。这方面也给水利测量科技带来机遇^[16]。

从水文水资源和生态角度出发,全球变暖,冰川冰融化加快,河流径流量增加,干枯的河流变得湿润,周边的生物开始繁殖,直至形成小气候,改善干旱状态。科学地讲,这需要多长时间能够完成这个循环。如果冰川冰的总量在这个循环形成前耗尽,气温还在不断升高,依靠冰川资源的地区是什么样的状态?这个问题可由冰川水文学者和气候模式学者以及数学学者回答^[16]。无论结论如何需要理论研究。

2.3 成冰过程中水净化机制同生态变化之间是否存在联系

我国西北和东北有许多水体,它们是湿地、苦水或者营养化水体。在中国的南方也同样具有类似水体。这些水体具有自净化能力,但南北方水体净化机制是否存在差异,特别是冬季结冰期间是否存在差异?没有科学证据。从晶体生长原则上讲,生长过程存在排异性。由于冰是一种晶体,在生长过程中可能将水内不同成分的物质排斥出去。它究竟排除哪些成分,对于海水冻结有一个相图,它给出海水中盐分的排泄顺序和对应发生的温度。淡水水体内的化学成分,比海水低很多,它们能否也发生排斥,或者哪些形式存在的成分被排斥,哪些存在形式的成分不排斥,均不是很清楚。研究这些问题可以理解南北方水体自净化能力和方式,也可以探索从水工结构物措施,来利用大自然自身能源解决一些水体的污染问题,实现净化目的。

另外,这些研究也可以同全球气候变化与生态之间的关系结合起来。特别是气候变暖,冰冻结时间和厚度减少,是否能够导致冰净化能力的下降,从而影响到生态的变化。生态变化趋向有益,还是趋向有害,都需要定量评估。

3 人类活动对冰资源的污染

3.1 结冰环境下的化学和油污染

结冰环境下的化学和油污染问题将会受到高度重视。随着中国内陆河流和湖泊的有机污染的增加,保护水环境的意识被提高。由于开阔水环境保护比冰环境保护要容易,所以在中国水环境问题全面解决前,冰环境保护只能停留或者相对滞后于水环境保护。然而2005年松花江结冰前的化学污染,给中国学者敲响警钟。

围绕冰环境保护,中国学者已经有一点积累^[17-18]。但这些研究离解决实际问题有很远的距离,所以在未来,这仍然会成为突破点,也符合国家的需求。由于现在结冰海域的石油开发和运输是工业活动的一部分,关于海冰一溢油研究有相当的成果,不光是实验室化学学者的尺度,也有海洋学者动力学实验室尺度^[19],以及现场原型试验研究^[20]。河冰区域环境保护方面的成果很少^[21],国内相对系统的成果来自针对冰内化学物污染行为的初步实验室研究^[22],获得主要的结论是:水体内的污染物影响冰的生长速率;冰内的污染物保持在冰内;冰内污染物含量同水体污染物和冰冻结速率可以评估。

3.2 冰资源的景观作用及其污染

冰雪景观,特别是雕刻属于中国东北冬季的风景线。这样的景观需要大量的冰雪。简单地说,冰雪融化,同降雨一样进入城市下水系统,进行处理。但这样做法是否会有一些

生活中的其他污染进入。降雪无疑会清洁空气,空气内的一些污染物被带入雪中,这很自然。冰雪雕刻供人参观,有较长时间同人类接触,生活中的废弃物不可避免会部分进入冰雪。当冰雪融化,部分融水是否达到排放标准?是否需要处理后排放?这是应用基础科学问题,作为冰雪污染行为的一部分科学问题是:哪些生活垃圾或者细菌、病菌量级的物质在低温下同冰雪具有亲和力。也就是在管理中明确什么样的垃圾需要回避带入景观场地。

4 讨论

冰科学研究是一项区域性强、生产应用强的应用基础科学问题。随着全球气候变化引发的水文气象灾害频率的提升,人类对冰科学问题的认识不再停留在冰工程问题上。冰科学属于地球科学、水利科学、人文科学和社会科学的集合点,它虽然具有地域性,但中国寒区分布范围之广,必将给水利科学界的学者提供机会。这种机会相对其他学科来讲,相对渺小。渺小并不等于不存在,关键在于水利科学界的学者是否认同去研究它。只要去做,就会有机遇,就会有市场。本文的内容并不全面,因时间仓促,略加讨论。期望有一个讨论的机会,来完善冰科学问题的方方面面,指导青年工作者进一步深入。

参考文献

- [1] 陆钦年,汤爱平,钟南萍.河冰对桥墩作用的冰荷载计算方法(I)——河冰的力学性能试验[J].自然灾害学报,2002,11(2):75-79.
- [2] 于天来,王金峰,杜峰,等.呼玛河冰灾害试验研究[J].自然灾害学报,2007,16(4):43-48.
- [3] 宋安,范晓雷,史庆增,等.闸墩冰荷载及过冰能力的模型试验研究[J].水利学报,2005,36(9):1120-1132.
- [4] Bourgault D. Shore-based Photogrammetry of River Ice [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008, 35: 80-86.
- [5] 卢鹏,李志军,哈斯·克里斯蒂安.从船侧倾斜拍摄图像中提取海冰密集度的方法[J].大连海事大学,2009,35(2):15-18.
- [6] 王军,高月霞,尹运基,等.弯槽段冰塞形成及其厚度分布的试验研究[J].冰川冻土,2007,29(5):764-769.
- [7] 茅泽育,许昕,王爱民,等.开河期冰坝预测方法研究进展[J].水利水电科技进展,2007,27(3):76-80.
- [8] 段元胜,汪向红,刘书宝,等.冰凌爆破技术探讨[J].冰川冻土,2003,(S2):220-226.
- [9] 李志军,王永学,李广伟.关于北方河流渠道冰凌灾害研究的几点设想[C]//王化云纪念文集.郑州:黄河水利出版社,2002:420-429.
- [10] Kouraev A V, Semovski S V, Shimaraev M N, et al. Observations of Lake Baikal Ice from Satellite Altimetry and Radiometry [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108: 240-253.
- [11] Howk F. Changes in Lake Superior Ice Cover at Bayfield, Wisconsin [J]. Journal of Great Lakes Research, 2009, 35: 159-162.
- [12] Yoo J, D' Odorico P. Trends and Fluctuations in the Dates of Ice Break-up of Lakes and Rivers in Northern Europe: the Effect of the North Atlantic Oscillation [J]. Journal of Hydrology, 2002, 268: 100-112.
- [13] 纪瑞鹏,张玉书,冯锐,等.辽宁省负积温地理分布特征与模拟[J].气象科技,2005,33(4):

360-362.

- [14] 桑建人, 刘玉兰, 韩世涛, 等. 宁夏冬季负积温变化特征 [J]. 气象科学, 2007, 27 (2): 202-207.
- [15] 刘时银, 丁永建, 李晶, 等. 中国西部冰川对近期气候变暖的响应 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (5): 762-771.
- [16] 李治国, 姚檀栋, 田立德. 国内外冰川变化对水资源影响研究进展 [J]. 自然资源学报, 2008, 23 (1): 1-8.
- [17] 李永峰, 刘广民, 徐菁利. 冰冻条件下水中硝基苯的变化 [J]. 上海工程技术大学学报, 2006, 20 (3): 206-209.
- [18] 刘广民, 任南琪, 沈吉敏, 等. 自然冰冻对松花江冰与水中硝基苯分配的影响 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40 (6): 980-982.
- [19] 李志军, 布鲁斯·霍利本, 莫夫·菲格斯, 等. 波浪作用下油脂冰内溢油行为物理模拟实验技术 [J]. 大连海事大学学报, 2007, 33 (4): 91-95.
- [20] Greene G D, Leinonen P J, Mackay D. An Exploratory Study of the Behaviour of Crude Oil Spills Under Ice [J]. Canadian Journal of Chemical Engineering, 1977, 55: 696-700.
- [21] Caroline M B, Jaraula C M B, Kenig F, et al. SPME-GCMS Study of the Natural Attenuation of Aviation Diesel Spilled on the Perennial Ice Cover of Lake Fryxell, Antarctica [J]. Science of the Total Environment, 2008, 407: 250-262.
- [22] 李志军, 王昕, 李青山, 等. 不同条件下硝基苯在水-冰体系中的分配研究 [J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2008, 38 (7): 1131-1138.

Potential Ice Science Research Problems in the 21st Century

LI Zhijun¹, WANG Guozhi²

- (1) State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024;
- 2 Heilongjiang North Nenjiang River Conveyance Project Management Agency, Anda, Heilongjiang 151400)

Abstract Based on the literature studies and work experiences from the field research of reservoir ice in North-east of China, and from the supports of Special Award for Canadian Studies as well as the ice conditions in China, the potential ice science problems in cold regions engineering in the 21st century are introduced simply. Although the internal relationships between each research directions are not shown clearly, the research directions and contents of ice-water mechanics in long distance water transfer engineering, the effects of global warming on the water resources, and the effects of human activities on water pollutions are summarized. These summaries are supply to discuss and expect to give a guide to young ice scientists.

Key words ice; global warming; engineering; environments; resources

宁蒙河段冰凌监测技术试验研究

张宝森¹, 郜国明²

(1. 黄河水利科学研究院, 河南郑州 450003;

2. 水利部堤防安全与病害防治工程技术研究中心, 河南郑州 450003)

摘 要: 通过现场试验初步提出了黄河河道冰、水情数据与图像远程连续自动监测系统, 该系统可以对河道冰层厚度、冰下水位、气温、冰温、水温等参数同时进行连续自动监测, 并可获取冰凌图像, 流冰速度、流凌密度等; 另外, 还进行了无人机航拍应急监测和雷达探测冰厚试验。根据冰层厚度传感器及其监测系统的技术特点, 其可以对黄河河道的结冰及冰层消融全过程进行定点连续监测。通过选择合适的监测点, 对河道冰情水情进行连续不断的监测、同时配合图像远程监测, 雷达探测、无人机航拍等先进技术, 可以实现对黄河冰凌形成过程的自动测报和应急监测。

关键词: 冰凌; 雷达; 无人机; GSM; GPRS/CDMA; 太阳能供电; 监测试验; 宁蒙河段

1 河道测冰现状分析

1.1 冰情量测技术现状

河流冰情量测包括冰厚测量、强度测量、冰冻融状态、冰坝等测量。根据现场获取信息的方式可分为点测量、线测量和面测量方式。现场获取冰厚度的方法有两类: 一是直接测量, 大多采用穿冰打孔, 然后用量冰尺测得冰厚等数据; 当冰厚度较大时, 这种方法比较困难。现行穿冰打孔方法简单可靠, 但测量区域受限, 无法实现定点定时观测。二是依靠声波、电磁波、电阻率等物理方法测量, 物理方法能在短时间内获取大量数据并且不破坏冰层^[1-8]。根据超声波和电磁波到达冰、水界面时反射回来的时间, 计算距界面的距离, 实测精度受到局部表面起伏的影响, 厚度的变化需要在冰层的表面和底面相对测试才能实现; 或利用发射的电磁波、声波等穿透冰层, 用其接收信号时间或接收信号强度换算出冰的厚度, 该测量方式波速是关键指标, 由于与冰性质有关的物理参数在一定范围是变化值, 这样就造成测量误差和误差因素的不确定性。

当前河流冰情测量方式主要为点测量, 测量技术落后, 并且获取信息和测量精度有限, 所以亟待开发先进的测量仪器设备及技术。较之于点测量、线测量和面测量的难度更大, 一些测量方法只有在河流封冻且工作人员在冰上能够自由活动的环境下才能实施。因此, 研究开发冰情自动实时监测、断面无损测量、无人机航摄应急监测等新技术是今后冰

基金项目: 2008 年黄河水利科学研究院科技发展基金项目 (黄科发 200805)。

作者简介: 张宝森 (1965—), 男, 河南洛阳人, 高级工程师, 主要研究方向为防汛抢险技术及水利工程管理。

注: 本文已发表于《黑龙江水专学报》2009 年第 4 期“寒区水资源会议专题”栏, P90—95。

情监测研究的重点。

1.2 内蒙凌情测报存在问题

一是三湖河口至头道拐距离长, 缺水文控制站; 二是防凌重点河段水位站太少, 不能有效控制卡冰壅水情况; 三是宁蒙河段没有开展正常的河道断面测量, 难以准确掌握河道冲淤及凌汛期河槽蓄水增量分布; 四是尚未建立冰情模拟系统、冰情预报手段及精度不能满足防凌决策需要; 五是巡测设备、冰坝应急观测技术和设备不完善。

2 冰厚和冰凌自动监测试验

2.1 试验方案

(1) 通过现场和实验室模拟, 研制适用于黄河河道的高精度冰厚度量测仪。开发黄河冰厚度动态监测系统, 论证系统稳定性和可靠性。

以天然河水为试验液体, 在实验室内对限定空间范围内的天然河水在结冰、冰水混合与水的三种不同状态下进行电导率分布梯度特性、磁位移曲线、超声波传播特性的量测实验, 依据河道现场使用的特殊环境条件, 设计、研制空气/冰/水电导式界面测定专用传感器, 专用数据采集仪, 编制数据处理与整编软件, 并将其与野外太阳能供电、GSM (移动通信) 短信息无线数据传输装置集成^[9-13]。利用人工冰生消模拟过程对电导率、磁位移和超声波三种技术方法进行整体性能综合试验并对各种设备进行技术性能的标定与老化。

(2) 选择典型河段, 设计并实施实用性较强的冰层厚度动态监测现场试验, 为建立典型河道分布式冰凌动态监测示范系统提供技术支撑。

在实验室仿真试验的基础上, 选择典型河道进行现场试验方案设计, 包括: ①黄河万家寨水库及附近黄河河道, 水库内冰面为热力学形成的冰面, 冰层下无水流及冰花干扰。通过现场传感器测量和人工测量数据对比, 结合理论分析。②黄河内蒙古河段, 该河段有动力学形成的冰层, 对3种技术的应用可能性作全面考核, 探讨利用河道附近热力冰的连续观测资料来预测河道动力冰的厚度变化, 从而避免开河期间冰面上人工监测的风险性。

2.2 试验结果

通过试验研制成“黄河河道冰、水情数据与图像远程连续自动监测系统”, 该由系统“GSM河道冰、水情数据远程连续自动监测子系统”和“GPRS/CDMA河道冰情图像远程连续自动监测子系统”及冰、水情监测中心PC微机组态管理软件组成。其整体系统结构如图1所示。

根据监测系统将在无供电条件的野外环境下连续工作的特点, 系统采用两套独立的太阳能供电系统分别给“GSM河道冰、水情数据远程连续自动监测子系统”、“GPRS/CDMA河道冰情图像远程连续自动监测子系统”供电; “GSM河道冰、水情数据远程连续自动监测子系统”通过现场数据采集仪对冰层厚度传感器以及温度传感器采集回的数据进行处理, 现场数据通过GSM调制解调器定时或随机发送到监测中心, 实现了监测现场冰层厚度、水位值以及冰层温度数据的远程连续自动监测; “GPRS/CDMA河道冰情图像远程