

Research on water
science in frigid zone
and international rivers 3

Survey and Forecast of River Ice



寒区水科学及国际河流研究系列丛书3

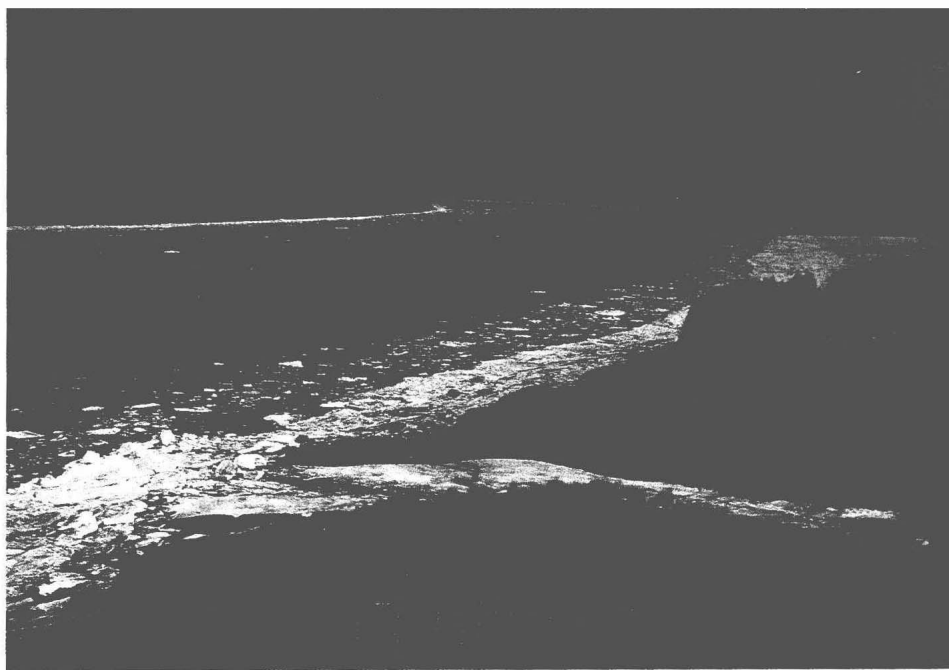
冰情监测与预报

戴长雷 于成刚 廖厚初 张宝森 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

3



寒区水科学及国际河流研究系列丛书3

冰情监测与预报

戴长雷 于成刚 廖厚初 张宝森 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书深入浅出地阐述了寒区冰情,介绍了寒区冰塞冰坝类型,分析了冰塞冰坝的成因。结合黑龙江和黄河流域的冰情监测技术,介绍和展望了冰情监测技术的发展,总结了黑龙江冰情特点,详细介绍了历次典型冰坝。结合实际,着重阐述了冰凌输沙过程,冰情预报理论及其在黑龙江的实际应用。首次提出了冰凌气候的概念,并对此作了大量的论述和分析。

本书内容丰富,冰情预报方法来自于基层工作实践,经过在冰凌灾害预报上的检验,具有较高的实用价值。对从事江河冰凌防治、水电工程建设、寒区水资源研究等工作的水利、水文工作者都有重要的参考价值。

本书适合广大水利工程、水资源及其广大水利读者参阅,亦可作为高等学校寒区冰情研究相关专业的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

冰情监测与预报 / 戴长雷等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 12

(寒区水科学及国际河流研究系列丛书; 3)

ISBN 978-7-5084-8282-8

I. ①冰… II. ①戴… III. ①河流—冰情—水文观测—中国②河流—冰情—水文预报—中国 IV. ①P332.8②P338

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第264191号

书 名	寒区水科学及国际河流研究系列丛书 3 冰情监测与预报
作 者	戴长雷 于成刚 廖厚初 张宝森 著
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	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 10.75印张 255千字
版 次	2010年12月第1版 2010年12月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	38.00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

序 一

拿到戴长雷、于成刚、廖厚初、张宝森的《冰情监测与预报》初稿，异常兴奋。作为一位海冰物理和力学性质以及海冰工程的科技工作者，同样关注湖泊、河流淡水冰的研究进展。20 世纪 80 年代，我成为寒区工程领域的一位硕士研究生。从那时起，中国的冻土和冰工程均成为学习的核心内容。对于河冰，来自黄河水利委员会、松花江辽河水利委员会、黑龙江省水利科学研究院等单位的资料都是我必读的文献。毕业后从事海冰研究工作，但同湖河冰领域的前辈保持密切联系，他们的名字铭刻心中并且主动寻求同他们当面请教的机会。在 20 世纪 90 年代，湖河冰研究的步伐减缓，新生力量出现断档。进入 21 世纪，国家对基础研究投入不断增加，湖河冰研究再次进入黄金时期并且不断涌现中文代表性著作。继可素娟、王敏、饶素秋等编著《黄河冰凌研究》（2002 年），王军编著《河冰形成和演变分析》（2004 年），马喜祥、白世录、袁学安、冯德光编著《中国河流冰情》（2009 年），陈赞廷著《黄河洪水及冰凌预报研究与实践》（2010 年），（美）沈洪道编著（霍世青、李世明、饶素秋、温丽叶、陈冬伶等译）《河冰研究》（2010 年）之后，戴长雷、于成刚、廖厚初、张宝森又创新绩。他们在前辈的科学思想和科学基础资料上编写了这部新著，收集了历史和现代科学技术、数据和成果，成为冰工程界不可缺少的一部参考资料。另外，这部新著的部分作者有在高校工作经验，新著的出版为培养研究生将提供很好的教材，同时也会成为中国冰凌研究科技工作者和工程界工程师、管理者的良师益友。

大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室 李志军

2010 年 12 月 27 日

序 二

冰坝凌汛，是寒冷地区一种突发性自然灾害现象，对其进行研究，并提出准确及时的预测和预警，将有助于各级政府提高抗凌救灾的效能，从而避免人民的生命财产损失。但是冰坝凌汛的形成和发展机制极其为复杂，对其研究受到科学技术、经济和交通诸多条件的限制，至目前为止，国内（尤其是黑龙江流域）相关研究仍较薄弱，尚无成型的实用方法可以借鉴，因此难以以为防凌防汛提供高效服务。

黑龙江水系（包括松花江、嫩江和乌苏里江）冰坝河段，属高寒山区河流，冰坝的形成与山区河流（如南北流向，落差大，倒开江）特点及融雪径流有直接联系。只要气候异常，就会形成冰坝凌汛，因此冰坝冰塞频繁而剧烈，这些河段在有资料记载以来都出现过数十次灾害性冰坝凌汛。1942年、1960年、1972年都出现过区域性大范围冰坝。黑龙江冰坝在世界河流中非常典型，不仅频率高，而且有时会在同一年中出现十余处或二十余处冰坝，同时存在的多处冰坝有如梯级水库，冰坝水头最高可达14m以上、溃决后洪水波及千余公里，大冰坝出现时，会给沿江人民带来毁灭性灾害。加强薄弱的冰坝凌汛监测、预测研究工作是十分必要的。

然而，有关黑龙江流域的冰情研究一直处于被动应对的局面，监测技术和预测方法一直没有很好地总结、分析和提高，在国内冰问题研究方面较黄河流域的相关研究还有很大差距。这次，在黑龙江大学戴长雷博士、黑龙江省水文系统于成刚高工、廖厚初工程师、黄河水利科学研究院的张宝森高工的积极工作下，不仅汇集了黑龙江流域的部分冰情研究成果，而且吸收了黄河流域在冰情监测方面的部分最新成果，形成这部以黑龙江流域冰情研究为主体内容的著作。作为一名在黑龙江水文、冰情战线上工作一辈子的老同志，我衷心地为本书的出版感到高兴。本书的出版发行，定可为寒区水文一线的工作者、大专院校水文专业的老师和学生提供一份难得的参考材料。相信在戴博士等寒区年轻水利工作者们的勤奋努力下，包括黑龙江流域在内的寒区水文科研将会越来越多

地受到关注，得到提升。

本书作者邀我写个序，一方面甚觉其实难副，另一方面又为戴博士等人执着于几乎冻结了的黑龙江流域寒区水文科学研究而欣然，故写了以上文字。

黑龙江省水文局 肖迪芳

2010年12月27日

前 言

冰问题是寒区寒冷季节最具特色的水问题之一。如同水对非寒区人们生活的影响一样，冰也体现在居住于寒区寒冷季节人们的生活、生产的各个方面。从流冰、封河到开江、凌汛，从冰上娱乐、冰上交通到水源地破冰取水、建筑物防冻设计，从冻豆腐、冻柿子到路冰、檐冰，冰成为寒区特色生活的一部分。

冰问题具有鲜明的地域特征，冰的研究也明显地受寒区的地域限制。中国的冰冻现象主要发生在“三北”（东北、西北、华北）和青藏地区，相关的研究也一直在上述地区以各种形式开展和进行着。西北的中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、华北的黄河水利委员会（以下简称黄委会）和华北水利水电学院、东北的大连理工大学和黑龙江省水文局等单位都立足地缘特点，从不同的角度，对冰冻问题进行了不同程度的理论和实践研究。非寒区的科研机构也偶有对冰问题的研究，但相关研究者大多都有在寒区学习、工作的经历。

冰有许多类型，河冰是其中一种。按发育位置的差异，冰可以分为海冰和陆冰，陆冰又可以分为河冰、湖（库）冰、地下冰等。其中，河冰是人们最为熟悉、接触最多的一种。由于流量、流向等因素的影响，中国寒区的河冰问题主要集现在黑龙江流域和黄河流域，其他河流（如辽河、海河等）河冰现象（尤其是河冰灾害）相对较轻。黑龙江的河冰灾害主要出现在洛古河至黑河河段，黄河的河冰灾害主要出现在宁蒙河段。

冰情监测与冰情预报是河冰研究的重要的基础性问题。由于地域限制、条件艰苦、经费不足等原因，冰情监测与预报无论是与常规的水文监测、预报相比较，还是与冰问题研究中的冰工程研究相比较，在研究程度上迄今还是相对薄弱的。因此，结合黑龙江和黄河冰情监测与预报的工作实践，由黑龙江大学戴长雷副教授、佳木斯水文局于成刚高工、黑龙江省水文局廖厚初工程师和水利部黄委会黄河水利科学研究院张宝森高工合作完成了本书稿。

本书主要内容可分为两大部分。第一部分是冰情监测，包括前4章。其中，第1章（寒区冰情）和第2章（冰坝与冰塞）阐明了冰情的一些基本现

象和基本概念；第3章（冰情监测）在介绍常用冰情监测内容和监测方法的基础上，对黑龙江流域和黄河流域实用和试用的现代冰情监测技术进行了分析；第4章（黄河冰情自动监测系统研发）以黄委会黄河水利科学研究院科技发展基金项目（ZX-2009-81-171）成果为基础，对冰情监测技术进行了试验和探讨。第二部分是冰情预报，包括后5章。其中，第5章（河冰预报）对封冻预报和开江预报的内容和方法进行了集成分析；第6章（冰凌输沙）对常规冰情预报中较少涉及的冰凌输沙的机理和估算方法进行了探讨；第7章（黑龙江省各江河历史冰坝凌汛）对黑龙江、嫩江、松花江典型冰坝凌汛特征及其成因进行了介绍和分析；第8章（黑龙江冰情特征）和第9章（黑龙江冰情预报），以冰问题显著且典型的黑龙江干流中上游段为对象，结合区间各测站（包括部分俄罗斯测站）的冰情监测信息，采用多种方法，对开江时间、冰坝水位等多个冰情指标进行了预报分析，特别指出了冰凌气候的概念，并对气候、冰情耦合技术进行了尝试应用。总之，本书以水文监测与预报理论为依托，以黑龙江流域和黄河流域的冰情工作为背景，以冰情监测、预报理论与实践为主线组稿完成。

本书是由黑龙江大学寒区地下水研究所和中国水利水电出版社策划出版的“寒区水科学及国际河流研究系列丛书”中的第三本（前两本为论文集，一本为黑龙江大学出版社2009年7月出版的《寒区水资源研究》，另一本为中国水利水电出版社2009年12月出版的《寒区水循环及冰工程研究》），感谢为该丛书策划和出版付出辛苦劳动的宋晓编辑，感谢黑龙江大学寒区地下水研究所启动基金对本书的资助。

本书稿筹划和形成过程中一直得到黑龙江省水文局肖迪芳高工和大连理工大学李志军教授的指导和支持，特致谢意。成稿过程中得到各位作者所在单位领导的关心和帮助，一并致谢。还要感谢本书稿所参考相关资料的作者和提供者，没有他们的帮助，完成本书稿是不可能的。

由于能力、精力和时间的限制，本书稿一定还会存在着这样或那样的不足甚至错误，真诚地希望得到广大读者的指正和帮助，热切地期待同行专家、学者关注、关心和支持寒区冰情研究。

著 者

2010年11月28日

目 录

序一

序二

前言

1 寒区冰情	1
1.1 冰的类型	1
1.2 河冰的生成	2
1.3 河冰的消融	2
1.4 河冰的物理性质	3
1.4.1 抗压性	3
1.4.2 可塑性	4
1.4.3 吸附性	4
1.4.4 膨胀性	4
1.4.5 密度低	5
1.4.6 导热性	5
1.5 本章小结	5
2 冰坝与冰塞	6
2.1 概念与类型	6
2.1.1 概念	6
2.1.2 冰坝的类型	6
2.2 成因分析	7
2.2.1 冰坝的成因	7
2.2.2 冰塞的成因	10
2.3 凌汛洪水的特点	10
2.3.1 冰坝凌汛洪水的特点	10
2.3.2 冰塞凌汛洪水的特点	12
2.4 冰坝与冰塞的研究方法	13
2.5 本章小结	13
3 冰情监测	14
3.1 监测目的与监测内容	14
3.1.1 监测目的	14

3.1.2 监测内容	14
3.2 监测站网及监测方法	15
3.2.1 监测站网	15
3.2.2 监测方法	16
3.3 实用冰情监测技术现状分析	21
3.3.1 黑龙江流域	21
3.3.2 黄河流域	22
3.4 现代冰情监测技术应用	23
3.4.1 冰下流速自动监测	24
3.4.2 探地雷达探测冰厚	24
3.4.3 无人机航摄应急监测	26
3.5 本章小结	28
4 黄河冰情自动监测系统研发	29
4.1 研究背景	29
4.2 黄河冰情、冰凌自动监测系统与设备的研发情况	30
4.2.1 GSM 河道冰、水情数据远程连续自动监测子系统	31
4.2.2 GPRS/CDMA 河道冰情图像远程连续自动监测子系统	34
4.2.3 冰情监测系统的现场安装方法	35
4.3 河道完全封冻情况下冰层生消过程的现场试验	36
4.4 黄河冰凌图像远程实时遥测试验	44
4.4.1 第一次试验	44
4.4.2 第二次试验	45
4.4.3 第三次试验	46
4.4.4 现场试验结果分析	48
4.5 本章小结	49
5 河冰预报	50
5.1 预报目标及内容	50
5.2 封冻预报	50
5.2.1 流凌日期预报	50
5.2.2 封冻日期预报	51
5.3 开江预报	52
5.3.1 开江形势预报	52
5.3.2 开江日期预报	53
5.4 本章小结	64
6 冰凌输沙	65
6.1 水流输沙	65
6.2 冰凌输沙	66

6.2.1	寒区河流封冻过程和冰凌特性	66
6.2.2	冰凌输沙类型及成因	68
6.3	冰凌输沙能力估算	69
6.3.1	结冰断面湿周估算	69
6.3.2	冻结含沙量估算	69
6.3.3	冰凌输沙量估算	70
6.3.4	冰凌输沙距离的估算	70
6.4	本章小结	70
7	黑龙江省各江河历史冰坝凌汛	71
7.1	冰坝概况	71
7.2	典型年冰坝凌汛特征	72
7.2.1	黑龙江上游	72
7.2.2	松花江干流	78
7.2.3	嫩江上游	81
7.3	冰坝凌汛灾害	84
7.3.1	黑龙江	84
7.3.2	松花江干流	84
7.3.3	嫩江上游	84
7.4	冰坝的成因分析	85
7.4.1	气温变化	85
7.4.2	封冻前期河槽蓄水量大	85
7.4.3	冬春降水与冰坝最高水位的关系	85
7.5	本章小结	86
8	黑龙江冰情特征	87
8.1	流域冰情特征	87
8.1.1	自然地理条件	87
8.1.2	水文气象条件	88
8.2	冰情特征	89
8.2.1	黑龙江冰情沿河分布特征	89
8.2.2	黑龙江冰情沿断面横向分布	90
8.2.3	黑龙江冰厚的区域变化	91
8.3	凌汛	91
8.3.1	近年凌汛变化特点	93
8.3.2	典型年冰凌洪水分析	95
8.4	本章小结	104
9	黑龙江冰情预报	105
9.1	预报目标及预报内容	105

9.1.1 预报目标	105
9.1.2 预报内容	106
9.1.3 气候对高纬地区冰情的影响和主要表现	106
9.1.4 冰凌气候概念的提出和证据	107
9.2 开江形势预报	116
9.2.1 河流解冻条件和主要影响因素	116
9.2.2 短期开江形势预报的物理统计	116
9.3 开江日期预报	117
9.3.1 开江通用模型	117
9.3.2 短期预报	117
9.3.3 中期预报	120
9.3.4 长期预报	126
9.4 冰坝预报	127
9.4.1 冰坝成因分析	127
9.4.2 冰坝发生的可能性预报	132
9.4.3 冰坝最高水位预报	137
9.5 冰厚预报	145
9.6 本章小结	146
附 1 表格索引	147
附 2 图件索引	149
参考文献	153
后记	158

1 寒 区 冰 情

1.1 冰的类型

冰是自然界中存在的一种自然现象，在自然界中，水具有气态、液态和固态三种状态，气态的水称作水蒸气，液态的水称作水，固态的水称作冰。

按照冰形成的地理条件不同，冰可分为海冰、河冰和冰川冰等。

海冰即由海水直接结成的冰。由于海水含盐度很高，因此海水的冰点要比淡水的冰点低，大约在 -2°C 。由于表面海水的密度和下层海水的密度不一，造成海水对流强烈，即使达到 -2°C ，也大大妨碍海冰的形成。此外，海洋受洋流、波浪、风暴和潮汐的影响很大，在温度不太低的情况下，冰晶很难形成。

海冰可分为常年海冰和季节性海冰。常年海冰主要分布在南极和北极，季节性海冰主要分布在北冰洋、纬度高于 40° 的海洋，如西北太平洋的日本海、中国渤海和黄海北部等。2010年1月，中国渤海发生了30年最严重的海冰冰情。

河冰是由河水直接结成的冰。我们常说水的冰点是 0°C ，指的是纯净水，不流动的水。一方面在自然界中，河水不是纯净水，里面溶解了很多物质，水的凝固点降低，水需在 0°C 以下才能冻结；另一方面，当温度刚好由零度以上降到 0°C 时，水是不会结冻的，因为结冰时放出的潜热很大，如果正好是冰点，刚生成的冰晶又会很快融化掉。所以，一般温度在零度以下河水才出现冻结现象。由于河流水是流动的，结冰过程与静水有很大的区别，流水处于流动状态和受河道特征的影响，结冰要比静水困难。

湖（库）冰是在湖泊（水库）水直接结成的冰由于湖（库）冰的水流比较稳定，在同等的水温下，结冰时间要比河冰短。冰川冰是一种具有塑性的、透明的浅蓝色多晶冰体。它是粒雪经成冰作用而成，成冰作用分为冷型和暖型两种。冷型成冰作用是在低温干燥环境下，粒雪在粒雪层静压力下进行重结晶作用而逐渐变成冰。这种重结晶冰密度较小，晶粒较细，气泡多而压力大，成冰过程很慢。暖型成冰作用是在温湿环境下，冰雪融水沿粒雪层内的孔隙渗浸，降温时以粒雪为核心再结晶或冻结成冰。视融水数量多寡可分别形成渗浸—重结晶冰、渗浸冰或渗浸—冻结冰，统称冻结冰，其密度较大、晶粒较粗、气泡少，成冰过程较快。冰川冰的密度一般为 $0.83\sim 0.92\text{g/cm}^3$ ，富含气泡，它常由许多冰带组成，具有层理结构和可塑性，受力后常产生褶皱和断裂。冰川冰形成后，在定向应力作用下运动就形成了冰川。

1.2 河冰的生成

冰的生成是一个非常复杂的物理过程，涉及到水动力、机械力和热力等的相互作用，同时还受到气象、水文条件和河道地形地貌特征等的影响。

我国北方河流，由于冬季气温在零度以下，会出现冰情现象，到春季，随着气温的升高，冰情现象消失。冰情现象的出现给人们带来了很大的方便，比如冰上交通、娱乐等，同时也给沿岸人民带来巨大的灾害。如黄河流域是中华民族的摇篮，孕育了华夏 5000 年的文明。但是黄河带给我们中华民族的不全是好处，黄河洪水和冰害经常掠去两岸人民的生命和财产；还有黑龙江上游 1960 年和 1985 年的冰坝凌汛大洪水，夺去了无数人的生命和家园，被迫迁移。

远在公元前 400 多年，对于黄河的冰情，已有详细的记载：“孟冬之月，水始冰，地始冻。仲冬之月，冰益坚，地始坼。季冬之月，冻方盛，水泽腹坚，命取冰，冰以入。孟春之月，东风解冻，蛰虫始振，鱼上冰。”这是世界上最早的有关结冰、封冻和解冻的冰情文字记载。

随着气温的变化，河流出现不同的冰情现象。

微冰——气温下降到零度以后，在岸边结成的、零碎的薄而透明的冰体。

冰淞——漂浮在水中细针状或薄片状透明的冰晶，多在水面或水中形成。

棉冰——落在水面的雪聚集而成，好像浸湿了的棉花，一点点或一片片漂浮着。

泥冰——在浅层水中生成，是一种带有黏稠状，像泥沙一样的不透明冰体。

岸冰——河流两岸冻结成的固定冰带，分为初生岸冰、固定岸冰和冲积岸冰三种。

水内冰——水中生成的冰，可以在水面、水中和水底同时生成，是一种海绵状或饭团状多孔而不透明的冰体，有些近似于浸透了水的雪。

冰花——漂浮在水面的水内冰，形状像花瓣的冰片。

流冰花——冰花流动的现象，多发生在秋季。

流冰——发生在封冻前流动的冰块，可分为秋季流冰和春季流冰。

清沟——冻结的河道中的一段没有冻结的河段。清沟是由于温暖的地下水或污水排入，或急流处不易封冻而形成的。小的清沟好像裸露的洞穴，所以也称为冰穴。清沟下能生成大量的水内冰。

冰礁——冻结在河底的小冰岛，由水内冰堆积，或者与棉冰、冰淞和冰花等结合而形成，能迅速地从河底增长到水面。水内的冰礁不结实，长到水面后就冻结得很紧密。

冰桥——冻结在水面上，上下游均是敞露水面的冰盖，冰盖下可以过水，在水流速度和水位上涨较快时，冰桥自然垮掉。

封冻——在河段内出现整片而固定的盖面冰层时，或上下游已有部分河段形成横跨断面的盖面冰层，而且中间的敞露水面面积已小于河段总面积的 20% 时，即为封冻。

连底冻——河流断面全部冻结，无水流。

1.3 河冰的消融

春季随着气温的升高，冰盖开始消融，随着气温、降雨和河道特性的影响，融冰期常

出现不同的冰情现象，具体冰情如下。

冰上有水——冰上覆雪及冰层表面融化的水或岸上流下的雪水，积于冰面。

冰上流水——冰上覆雪及冰层表面融化的水或岸上流下的雪水，在冰面上流动。

冰上结冰——冰上的融雪水或融冰水在遇到低温时，又冻结成一层透明或不透明的冰面。

岸边融冰——一般出现在解冻以前，封冻冰层自岸边开始融化，并出现敞露水面的现象。

冰层浮起——在解冻前，由于岸边融化，整个冰盖脱岸，随着水位的上涨，整片的冰层浮于水面。

冰层滑动——脱岸的封冻冰层整片的或分裂成大冰排，顺流向下滑动，随后又停滞不动。

解冻——在冰情河段内，已没有固定的盖面冰层时或河心融冰面积已大于河段总面积的 80% 时，成为解冻即为开河。一般有“文开江”和“武开江”的区别，前者主要是靠热力作用，水势比较平稳，不会形成冰坝；后者主要是靠水力因素，水势变化迅猛而不稳定，易形成流冰堆积和冰坝，常见于从南向北的河流。

流冰——春季开江后，大量冰块开始流动，易形成冰塞和冰坝。

流冰堆积——由于大量流冰相互挤压，再遇到阻力时，向上堆积到冰盖表面或向两岸堆积，堆积严重时，水位迅速上涨。

冰塞——在封江和开江期间，封冻冰层下面的河道，被冰花和碎冰临时阻塞。冰塞缩小了河流过水断面，使上游水位被迫提高，甚至高于洪水位，也会造成严重事故，持续时间短。

冰坝——流冰在河道狭窄或浅滩处卡塞，大量大冰块下潜堆积起来，阻塞住整个河流断面，过流能力几乎为零，像一座用冰块堆成的堤坝。冰坝往往使河流发生严重阻水，迅速抬高水位，严重的发生冰坝凌汛特大洪水，如 1960 年、1985 年黑龙江上游特大冰坝凌汛洪水，给人民生命和财产、河堤造成了很大的威胁。

在融冰期间，随着气候的变化和降雨的影响，上述冰情都有可能出现，直到最后冰全部融解。

1.4 河冰的物理性质

冰是水的固态，是一种具有分子间氢键结合的分子晶体，略显白色，具有抗压性、长期受压容易转变成可塑状态、具有较强的吸附性、六方晶格的晶体，低温膨胀、密度低、导热性差。

1.4.1 抗压性

水结成冰后，具有一定的抗压性。河冰的抗压强度主要取决于温度、冰龄。河冰的抗压强度随着温度的降低而越来越大。纯冰在不同的温度下的抗压强度见表 1-1。

河冰的抗压强度还跟冰龄有关，从开始结冰到冰完全融解，冰的抗压强度是完全不同的。随着封冻时间的增长，冰盖越来越厚，冰的抗压强度也就越来越大，人在 5cm 厚的河冰上面就可以安全行走，当冰层达到最大厚度时，冰盖抗压强度也达到最大值。因此，冰龄越长，冰的抗压强度也就越大。

表 1-1

不同温度下冰的抗压强度表

温度 (°C)	抗压强度 (MPa)	温度 (°C)	抗压强度 (MPa)
0	0.1~0.2	-40	0.4
-15	0.2~0.3	-50	0.6

1.4.2 可塑性

纵观世界各类冰雕艺术展品, 奇形怪状、栩栩如生, 都是艺术家对冰进行了精心的雕塑。由于河冰有一定的硬度, 很适合用来做各类艺术雕刻。如全国有名的哈尔滨冰灯博览会, 都是采用松花江的冰块进行雕刻, 由于哈尔滨的地理位置, 冬天非常冷, 冰块能在空气中保持原来的硬度, 可以雕刻出各式各样的造型。冰雕在灯光的照射下更显得流光溢彩、美不胜收。(图 1-1)。

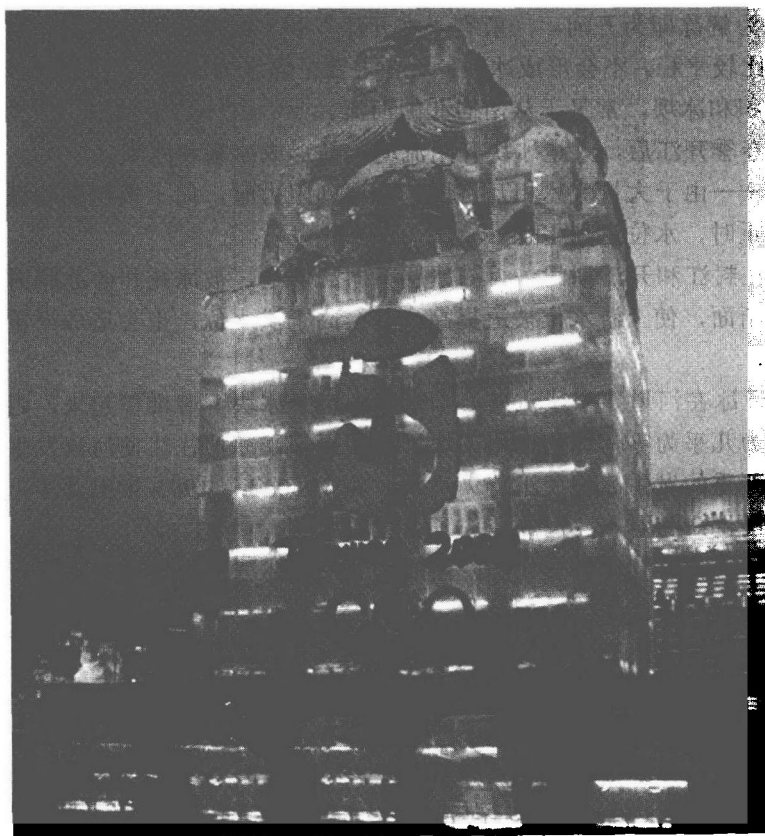


图 1-1 冰灯雕刻图

1.4.3 吸附性

冰在冻结的过程中, 常把水中的各种杂质和河底的小砾石吸附到冰中, 因此从河中挖出的冰都带有大量的杂质和石头。同时冰还可以大量吸附空气中的尘埃, 比如城市附近的河流冰上经常有一层黑色物质, 那就是冰吸附空气中的尘埃, 使冰变色融解发黑。

1.4.4 膨胀性

水的密度在水温达到 4°C 时最大, 为 $1\text{g}/\text{cm}^3$, 随温度降低反而减小, 体积则增大。当

温度达到 0°C 时, 水的密度为 $0.9999\text{g}/\text{cm}^3$, 冰的密度为 $0.9168\text{g}/\text{cm}^3$ 。水结成冰后体积膨胀了, 密度变小了。这一特性给工程、航道、人民生活等带来很大的影响。

如果在岩石和堤防的裂缝里积了水, 冬天一结冰, 体积一膨胀, 就会把裂缝撑大; 第二年, 裂缝里积的水更多了, 结了冰, 裂缝就撑得更大了。这样年复一年, 大块的岩石就可能从山上崩下来。如果堤防被冻裂, 会影响堤防的防洪安全, 进而给人民生命财产带来巨大安全隐患。

到了冬天, 露天放置的瓦缸都应该倒扣过来, 以免积水后冻裂。露天的自来水管必须用稻草包扎起来, 因为水管结了冰就放不出水来, 温度过低时, 水管还会被冻裂, 损失就大了。不能耐寒的花树果树和幼小的苗木, 也得用稻草包扎。树木的细胞里含的水若是结了冰, 会把细胞膜胀破, 如果植物的组织遭到破坏, 树苗就会死掉。

由于冰的膨胀, 所以冰的密度比水小, 可以浮在水面上。设想一下, 如果冰的密度比水大的话, 冰就会沉入水底, 随着气温的下降, 水底的冰越积越多, 最后所有的江河湖海, 都非连底冻结不可, 而且永远不会融化。那种条件下, 由于太阳的热是达不到海洋的底层的, 海洋里的植物动物就会无法生存。我们都知道, 陆地上的植物动物最初都是从海里爬上岸来的, 如果海洋连底冻结成冰, 陆地上会不会有生物也成了问题, 人类也将遭受灭顶之灾。

1.4.5 密度低

冰可以浮于水面, 主要是冰的密度低于水的密度, 在 0°C 时, 冰的密度为 $0.9168\text{g}/\text{cm}^3$ 。

1.4.6 导热性

当水面上结成了冰, 随着气温的下降, 冰盖越来越厚, 冰导热率也就越来越小, 冰盖厚度增长得很慢, 保护了下层的水和鱼类。

1.5 本章小结

冰的生消机理是冰情监测、分析与预报的理论基础。不同类型冰体的物理性质有所不同, 生消过程有所区别。本章在阐述冰的分类的基础上, 以河冰为研究对象, 分析了河冰的密度与膨胀性、导热性、抗压强度等物理性质, 并对河冰的生成、消融过程中发生的冰情现象进行描述。