中国科学院知识创新工程“西部生态环境演变规律与水土资源可持续利用研究”(KZCX1－10)项目、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所“所长基金”资助出版

中国风雪流及其防治研究

王中隆 著

兰州大学出版社
2001

内 容 简 介

本书是我国风雪流及其防治研究的专著，它全面总结了中国近40年来在风雪流形成机理、运动规律、时空分布及其灾害防治等方面的研究成果，系统反映了我国在解决山区风雪流形成与防治难题上所取得的新进展。本书对从事上述学科的科研和工交农牧业人员及有关高等院校师生具有重要参考价值。

图书在版编目（CIP）数据

中国风雪流及其防治研究/王中隆著. —兰州：兰州大学出版社，2001.9
ISBN 7-311-01907-9

Ⅰ.中… Ⅱ.王… Ⅲ.①山区-暴风雪-灾害性天气-研究-中国②山区-暴风雪-灾害-防治-中国
Ⅳ.P425.5

中国版本图书馆CIP数据核字（2001）第071377号

中国风雪流及其防治研究
王中隆 著
兰州大学出版社出版发行
兰州市天水路308号 电话：8617156 邮编：730000
E-mail:press@onbook.com.cn
http://www.onbook.com.cn

天水新华印刷厂印刷
开本：787×1092 1/16 印张：15

2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷
字数：354千字 印数：1~1000册

ISBN 7-311-01907-9/P·21 定价：32.00元

前　言

世界上风雪流（又称“风吹雪”）分布较广，对自然环境和社会经济影响较大。风雪流不仅是形成极地冰盖、高山冰川、雪崩等的物质来源之一，而且诱发并加重冰雪洪水、雪崩、泥石流及滑坡等自然灾害，直接给经济建设与人民的生命财产造成严重损失。我国有风雪流区域的面积占国土面积的55.2%，主要分布在青藏高原及其四周山区、北疆和天山、内蒙古与东北地区，其南界比北半球其他地区风雪流南界纬度偏低。随着20世纪60年代中期开始的全球增温，青藏高原及其四周山区等地降雪和积雪量明显增加，导致风雪流对工交农牧业生产的危害更趋严重。因此，进行风雪流及防治研究具有重要的理论意义和实用价值。

中国早在公元前70年就有关于风雪灾害的记载。但作为专门学科去研究，还是在1950年以后。特别是因国防建设的需要，1967年中国科学院兰州冰川冻土研究所和兰州沙漠研究所、新疆交通厅公路管理局、中国科学院新疆地理研究所等建立了天山风雪流半定位站，采用先进观测仪器、风洞模拟实验和中间防治试验工程等相结合的方法，系统开展了风雪流及其防治研究。此后，在国家自然科学基金和西藏、新疆、黑龙江等省（区）交通厅以及甘肃省科委的资助下，兰州冰川冻土研究所等单位先后又进行了西北、西南和东北风雪流研究。同时，在山区交通风雪流及其防治研究中取得了长足进展，得到了国际专题学术会议的较高评价并受到了前来参观的中外数十位科学家的一致赞扬。

我国风雪流主要分布在西部，风雪流及其灾害的防治研究有利于西部大开发，促进西部经济的快速发展。在解决各种风雪流问题中，全面总结我国风雪流及其防治的系统研究成果尤为重要。中国科学院适时地提出了“西部行动计划”并在知识创新工程中确立了“西部生态环境演变规律与水土资源可持续利用研究”重点项目。尤其是该项目首席科学家秦大河研究员和项目执行负责人丁永建研究员对本成果的具体内容和出版要求等给予了热情指导及支持，使得本项研究成果的全面总结和及时出版成为了现实。在施雅风、高由禧、李吉均、程国栋等院士的指导下，作者向广大读者奉献出这本《中国风雪流及其防治研究》，该书展示了我国风雪流研究的丰硕成果和在解决世界公认的难题即山区风雪流形成及其防治研究中所取得的新进展，希望它能为21世纪风雪流学科的继续创新与腾飞，起到抛砖引玉的作用。由于写得匆忙，不妥之处敬请读者指正。

本书由8章31节组成。前四章偏重基础理论，较全面揭示了积雪和风雪流对自然环境与社会经济的影响，风雪流区划理论、划分指标和方法，风雪流形成的物理过程与铅直分布特征，风洞模拟实验相似条件和参数，风雪流吹蚀、堆积转化机制，不同地形、路基风雪流场结构及积雪规律等；第五、六章偏重应用，即系统介绍在公路、铁路未修建前，如何通过道路的选线与不易积雪路基的设计来预防雪害，以及对已修成的公路、铁路，怎样因地制宜采用“导”、“阻”、“改”、“除”等技术措施治理雪害，保证道

路畅通；第七章理论和应用并重，全面论述被中外科学家誉为“世界山区交通防雪样板”的艾肯达坂雪害治理的理论依据和设计方法，防雪创新工程的实施及其经济、社会效益等。基于风雪灾害是制约我国草地牧业可持续发展的主要因素之一，故增加了包括中国草地牧业现状、现代化养畜和防灾保草工程及促进生态环境修复在内的第八章。

参加本项工作的主要科技人员有：王中隆、潘遐华、陈元、白重瑗、刘光远、张顺英、费金深、王初一、苏珍、刘时银（中国科学院兰州冰川冻土研究所）；凌裕泉、刘贤万、李长治、贺大良（中国科学院兰州沙漠研究所）；肖福五、徐茂祥、赵德刚（新疆自治区交通厅公路管理局）；徐羹慧（中国科学院新疆地理研究所）。在编写和出版过程中，得到秦大河、丁永建、谢自楚、汤懋苍、高焕宝等研究员的指导和帮助。何兴编审负责编辑出版，沈永平副研究员翻译英文目录，何宝山清绘部分插图。本书出版得到中国科学院知识创新工程“西部生态环境演变规律与水土资源可持续利用研究”（KZCX1－10）项目和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所程国栋院士的所长基金给予资助。作者谨此一并表示衷心感谢！

王 中 隆

2001 年 7 月

目　录

前言 …… (1)

第一章　积雪对自然环境、社会经济的影响和中国积雪的分布 …… (1)

第一节　积雪对自然环境和社会经济的影响 …… (1)
第二节　中国积雪的区域类型、分布及其变化趋势 …… (7)

第二章　中国风雪流的分布及其区划 …… (15)

第一节　风雪流分布及其形成条件 …… (15)
第二节　风雪流的分类及其发展趋势 …… (32)
第三节　中国风雪流区划 …… (35)

第三章　风雪流形成机理、影响因素及铅直分布 …… (44)

第一节　风雪流形成过程和影响因素 …… (44)
第二节　风雪流发育长度和雪粒运动轨迹 …… (49)
第三节　风雪流的时间变化与铅直分布特征 …… (51)

第四章　风洞模拟实验和不同地形、路基风雪流场与积雪规律 …… (59)

第一节　风雪流的风洞模拟实验研究 …… (59)
第二节　山区风雪流场和吹蚀、堆积的转化机制 …… (63)
第三节　道路雪阻路基的流场结构与积雪规律 …… (69)
第四节　不易积雪路基的断面型式和流场特征 …… (78)

第五章　风雪地区道路的选设和移雪量的观测计算及其应用 …… (83)

第一节　风雪地区的道路选线与路基设计 …… (83)
第二节　移雪量的观测与计算 …… (87)
第三节　南疆铁路奎先达坂地区的应用及其效果 …… (97)

第六章　道路风雪流防治技术的作用机制及其设计应用 …… (99)

第一节　防治技术概述及设计原则 …… (99)
第二节　密闭式下导风 …… (100)
第三节　侧向导风板 …… (114)
第四节　防雪林和防雪墙 …… (122)

第五节　防雪栅栏……（125）
第六节　“改”的土石型工程……（130）
第七节　“除”雪措施……（142）
第八节　各种防雪工程因地制宜综合应用举例……（144）
第九节　冬春季节道路的养护……（147）

第七章　天山艾肯达坂道路严重雪阻及其治理工程效益和评价……（149）

第一节　天山概况……（149）
第二节　艾肯达坂风雪流形成要素与道路严重雪阻……（160）
第三节　下导风等防雪工程的创新及其优越性……（173）
第四节　艾肯达坂防雪创新工程及其经济效益和评价……（178）

第八章　中国草地牧业现状和防雪灾保草系统工程……（183）

第一节　制约草地牧业可持续发展的主要因素……（183）
第二节　牧区雪灾的形成与天气气候的关系……（191）
第三节　现代化养畜和防灾保草系统工程……（195）

参考文献……（202）
照片图版（Ⅰ～Ⅳ）……（206）
附　　录　成果鉴定、专家评语、查新报告和效益测算资料……（211）

Research on Snow Drift and its Hazard Control Engineering in China

By Wang Zhonglong

Contents

Preface ..... (I)

Chapter 1 Distribution of snow cover in China and its impact on environment and society ..... (1)

1.1 The impact of snow cover to nature environment and soci-economy ..... (1)

1.2 The regional type, spatial distribution and temporal variations of snow cover in China ..... (7)

Chapter 2 Distribution and regionalization of snow drift in China ..... (15)

2.1 Distribution of snow drift and its physic-geographical conditions of formation ... (15)

2.2 Classification of snow drift and its trends of variation ..... (32)

2.3 Regionalization of snow drift in China ..... (35)

Chapter 3 The formation mechanism, Factors of influence and vertical distribution of snow drift ..... (44)

3.1 Formation of snow drift and the factors of influence ..... (44)

3.2 The trajectory and the moving range of snow drift ..... (49)

3.3 Temporal variation and the vertical distribution of snow drift ..... (51)

Chapter 4 Modeling of snow drift in wind tunnel, the wind field and snow accumulation under different topographies and roadbeds ..... (59)

4.1 Modeling of snow drift in wind tunnel ..... (59)

4.2 Wind profile of snow drift in mountainous areas and the mechanism of drift/accumulation transition ..... (63)

4.3 Structure of wind field over snow-blocked road and the processes of snow accumulation ..... (69)

4.4 Section diagram of the snow-free road and the wind field over it ..... (78)

Chapter 5 Design of road in snow-drifted areas, and the calculation of snow accumulation on them ..... (83)

5.1 Route selection and roadbed design at snow drifted regions ..... (83)

5.2 Measurement and calculation of snow accumulation ..... (87)

5.3 Application of the methods to the Kuixian-Daban section of South Xinjiang Railway ····· (97)

Chapter 6 Principle, methods and applications of the prevention technique for snow-drifted road ····· (99)

6.1 Introduction and design principle of the prevention technique ····· (99)
6.2 Blowet fences ····· (100)
6.3 Lateral fences ····· (114)
6.4 Snow-prevention forest and snow-prevention wall ····· (122)
6.5 Snow-prevention fences ····· (125)
6.6 Earth-rock engineering ····· (130)
6.7 Methods of snow removing ····· (142)
6.8 Examples of the combined methods in snow prevention ····· (144)
6.9 Preserve roads in winter and spring ····· (147)

Chapter 7 Heavy snow blockage at Aiken-Daban, Tianshan Mountains, its prevention engineering and the assessment of the international counterparts ····· (149)

7.1 Introduction of Tianshan ····· (149)
7.2 The formation of the heavy snow blockage at Aiken-Daban ····· (160)
7.3 The profits of blower fence and the related engineering ····· (173)
7.4 Snow-prevention engineering at Aiken-Daban, its economic savings and the assessment by international counter parts ····· (178)

Chapter 8 The status quo of Chinese grassland and stock raising, engineering of grassland protection ····· (183)

8.1 Factors of the sustainable development of grassland and stock raising in China ····· (183)
8.2 The formation of snow hazard in grazing land and its relationship with the environmental change ····· (191)
8.3 Model stock raising and grassland-protection system ····· (195)

References ····· (202)
Plates (Ⅰ ~ Ⅳ) ····· (206)
Appendix ····· (211)
Evaluations and authenticates from domestics and abroad scientists ····· (213)
Science and technology information searches report for theory and prevention of drift snow in mountainous road ····· (227)
Assessment of economic benefits for snow – prevention engineering at Aiken – Daban, Xinjiang, China ····· (229)

第一章　积雪对自然环境、社会经济的影响和中国积雪的分布

第一节　积雪对自然环境和社会经济的影响

一、积雪是冰冻圈的基本组成之一

大家知道，冰冻圈对自然环境有重要影响。积雪在地球上分布广泛，是冰冻圈的基本组成部分之一。冰冻圈的概念，首先是由 A·B·多布罗沃耳斯基于 1923 年提出（Barry，1978），它是指地球上由冰的存在所组成的一个特殊地壳圈。1985 年 R·G·巴里指出（Barry，1985），出现在地球表面各种类型的雪冰地貌统称为冰冻圈，其主要组成是积雪、河冰、湖冰、海冰、冰山、冰盖以及地下冰或永久冻土。

所谓“三极”冰冻圈，是指南极、北极和青藏高原及其周围的高山、高原地区（习惯上称高原地区）。“三极”冰冻圈的组成存在着巨大差异：高亚洲冰冻圈主要由积雪、永久冻土、冰川、河湖冰所组成；南极冰冻圈主要由大陆冰盖和冰盖上的积雪、海冰、冰山等组成；北极冰冻圈主要由海冰和海冰上的积雪、冰山、格陵兰冰盖、北极群岛的冰川组成。基于在全球变化监测中，冰冻圈的积雪（包括季节性积雪）、山地冰川和永久冻土的变化，已成为全球 CO_2 致暖的指针与信号，并极大影响全球水循环和气候环境（Williams，1975）。因此，1974 年在斯德哥尔摩召开的国际气候学会议上，与会学者一致公认，冰冻圈和大气圈、水圈、岩石圈、生物圈，乃是气候系统的五个基本成分，它们始终处于相互作用的过程中。例如积雪和雪盖的季节与年际变化受着大气环流的制约，而当积雪形成和雪盖面积增大后，高反照率使太阳辐射显著减小，又影响着大气圈、水圈、岩石圈和生物圈之间的热交换。基于这种情况，在全球变化的监测中，对极大地影响全球的水循环和气候环境的“三极”冰冻圈，进行深入研究具有深刻的理论意义和重大的经济实用价值。

二、积雪的分类及其两重性

积雪可分为自然积雪、风雪流和雪崩三大类，前者为静止的雪，后两者是运动中的雪。自然积雪（一般称为积雪）系指由降雪形成的覆盖在地表面上的雪层，它是地面气温低于冰点的寒冷地区或寒冷季节的自然景观和天气现象。当观测台站视野范围内地表二分之一以上面积被雪覆盖时，才被认为出现了积雪（该天记为一个积雪日）；风雪流（又称风吹雪，简称吹雪）为空气挟带着雪粒运行的非典型的两相流，也就是常说的雪

粒被风卷着随风运行的一种天气现象。风雪流包括低吹雪、高吹雪和暴风雪三种（王中隆等，1978），它对自然积雪有重新分配的作用。风雪流形成的积雪深度一般为自然积雪深度的3～8倍。山坡上的积雪在一定的条件下，受重力作用向下滑动，并在山坡积雪中发生连锁反应，引起大量雪体崩塌的现象称为雪崩（王彦龙等，1979）。其具有突然发生、运动速度快和崩塌量大的特点。

积雪对人类活动和社会经济的影响具有两重性。一方面，积雪是重要的淡水资源和建筑材料，并成为人们旅游的胜地。另一方面，大范围和局地较厚的积雪（包括风吹雪和雪崩）却造成多种灾害（米德生，1990）。

我国素有“瑞雪兆丰年”的谚语，这是因为冬季积雪对北方冬小麦越冬和春耕时节土壤墒情有着决定性的影响。同时，冬春季节草原上适量积雪，减轻或避免了广大牧区“黑灾”，并促进了次年牧草的生长。尤其是积雪以季节积雪和永久积雪的形式贮存在高、中纬度地区和高山地区，最后以春季融雪径流和夏季冰川融水方式转化为径流资源，补给广大河流。为了估算我国积雪资源数量，李培基（1988）分析统计了全国共计2300多个地面气象台站从1951年（或建站观测）到1980年逐日积雪深度、候积雪密度以及逐日降雪量的观测资料，按降雪补给量和积雪储量的分类系统组成季节积雪资源同步系列。考虑到积雪和降雪局地变化大的特点，对观测资料未做订正、插补、延长等处理。逐日积雪深度和候积雪密度资料摘自中国气象局日报表，并逐日逐年进行了整编。各省、自治区积雪资源数量是根据单站资料用算术平均方法计算的。全国积雪资源数量则用下述两种方法做了估算：①根据各省、自治区面积，用面积加权平均；②以所绘制的全国雪资源分布图（1:1000万）（图1－1，1－2）上量算的。

我国积雪在时间上不连续，积雪密度也仅当积雪深度等于或大于5cm时在部分基本台站每候观测一次。冬季雪贮量无法根据每个台站雪层水当量来确定，只能用平均积雪深度和平均积雪密度来估算。我国季节积雪密度，主要受积雪持续时间和含水量制约，在稳定积雪区平均为150～160kg/m^3，西北干旱半干旱地区为110kg/m^3，南方积雪密度最大，在200kg/m^{3}左右，全国平均为160kg/m^3。

表1－1中给出了全国和各省、自治区积雪资源计算结果。全国季节积雪年平均补给量为3451.8×10^8m^3。换言之，年平均降雪量为36.0mm，占全国年降水量的5.7%，略大于Hoinkes（1967）所估算的全球陆地上降雪量占整个降水量的5%的结论。全国冬季平均积雪贮量为535.6×10^8m^3，平均积雪深度3.5cm，其数量虽然不够丰富，但依然是相当可观的。年平均降雪补给量为我国冰川融水年总量的6倍以上，相当于全国地下水年动态贮量的43%，淡水湖泊蓄水总量的1.6倍。在全国积雪贮量中，以新疆维吾尔自治区季节积雪贮量最丰富，高达181.8×10^8m，占全国的33.9%，平均积雪深度达7.1cm，黑龙江省次之。在全国年降雪量中，西藏自治区降雪量最多，达75.2mm/a，这是因西藏降雪期最长，吉林省次之，宁夏、甘肃、山东较少。

总之，积雪是我国北方和西部重要的淡水资源，春季积雪融水补给着这些地区的河流，黄河、长江源头水文情势也受到融雪径流的影响。特别是我国“三北”地区和青藏高原春季土壤墒情与农业灌溉以及牧区用水都高度依赖着冬季积雪贮量。当然自然积雪也具有两重性，如异常大雪可造成临时性交通中断，一些牧区较厚的积雪会形成“白灾”，引起大量牧畜的死亡，但它与以灾害为主的风吹雪和雪崩有着明显不同。

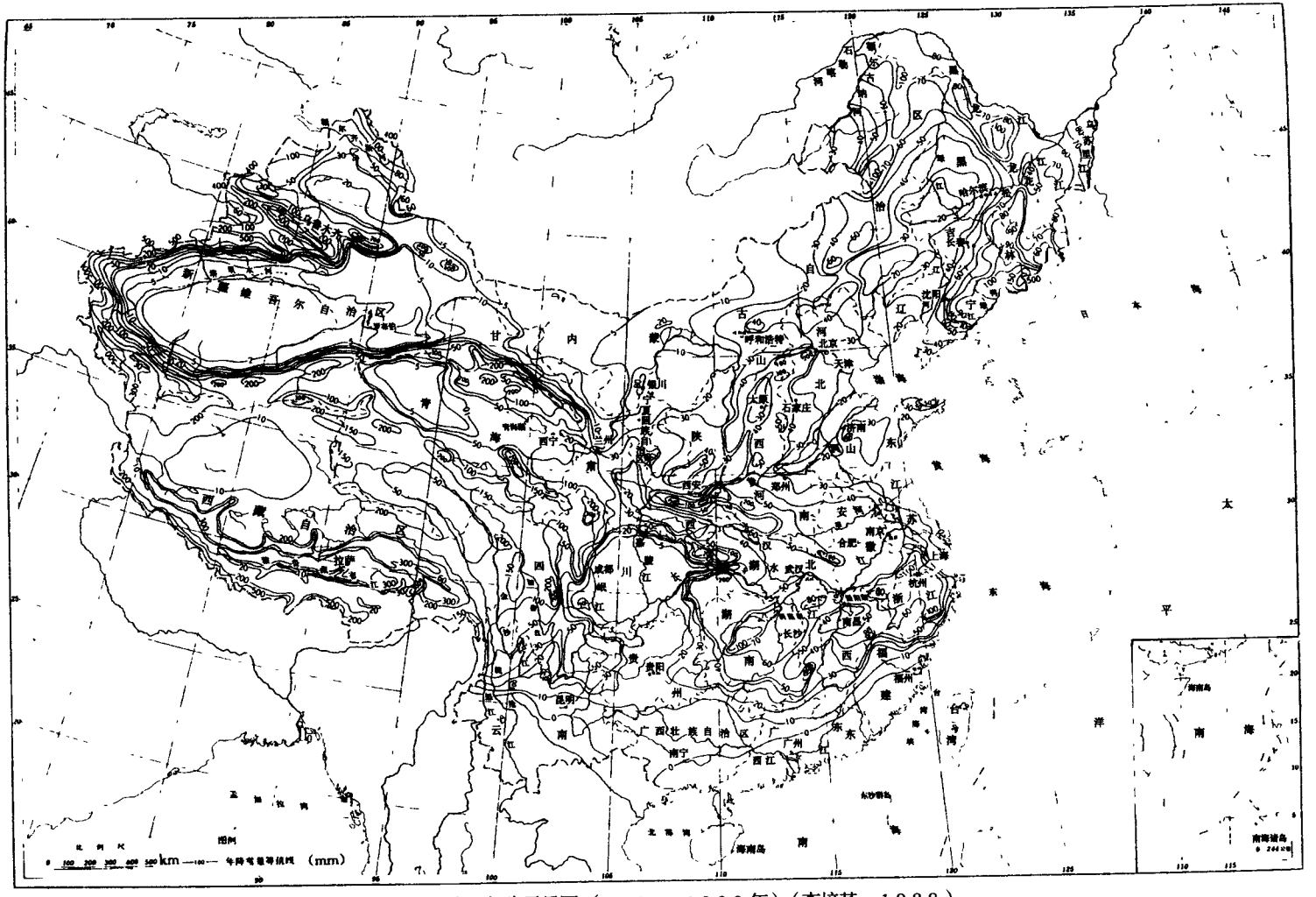


图1－1　中国年降雪量图（1951～1980年）（李培基，1988）

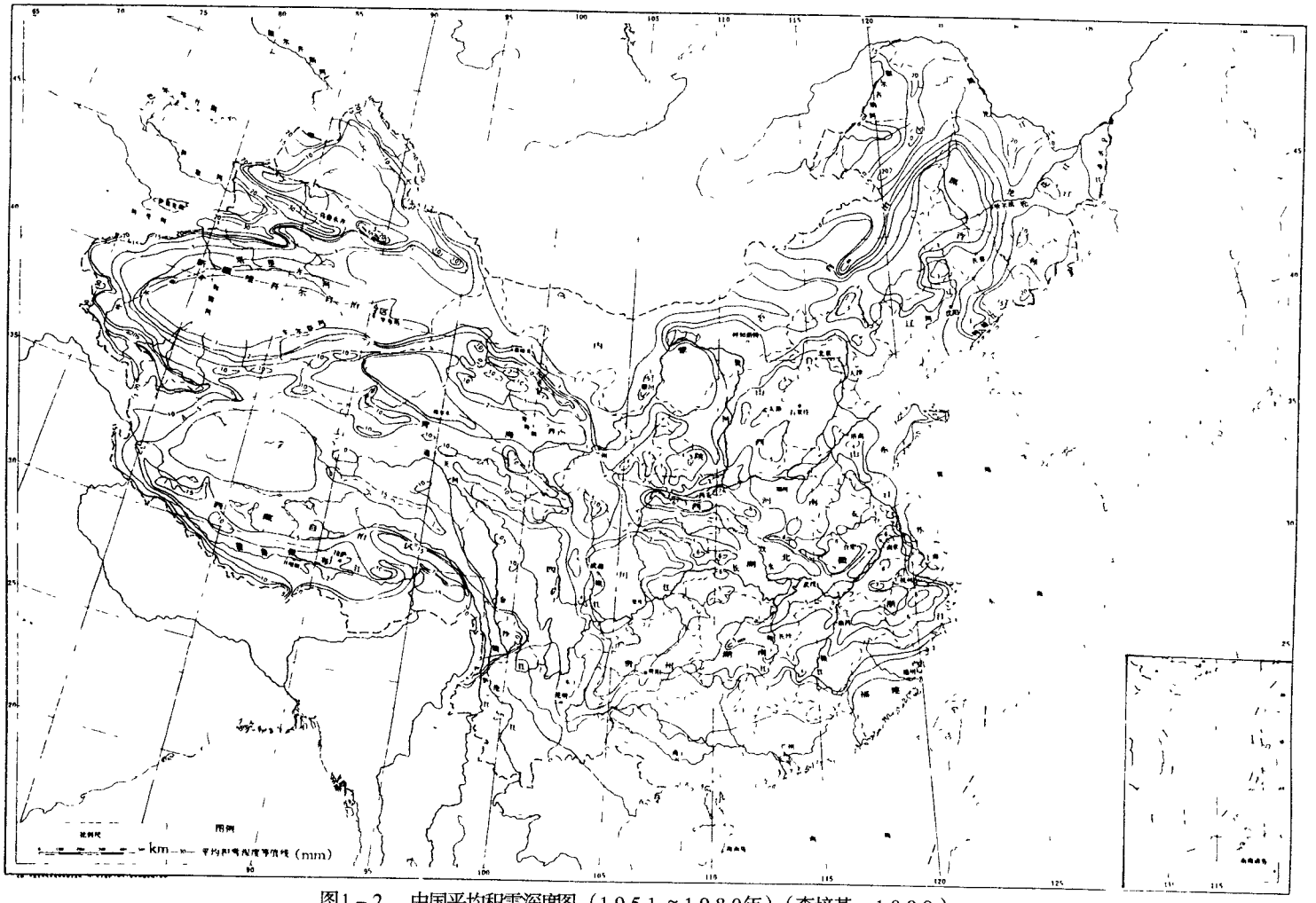


图1－2　中国平均积雪深度图（1951～1980年）（李培基，1988）

表 1－1　中国各省、区积雪资源贮量（李培基，1988）

省　份	年降雪量 (mm)	年补给量 (10^3m^3)	平均积雪深 (cm)	冬季积雪贮量 (10^3m^3)
黑龙江	50.4	231 8	6.4	47 1
吉　林	68 5	123 3	5 3	15.3
辽　宁	41.3	62.0	3 6	8 6
内蒙古	30.2	332 2	3.1	51 2
新　疆	35.1	56 8	7 1	181.8
西　藏	75.2	902.4	3 3	71.3
青　海	39 1	281.5	1 8	22 0
甘　肃	25 4	99.1	2 3	13 4
宁　夏	20 2	13.3	2.3	1.7
陕　西	36 9	70 1	2.7	7.7
山　东	25.1	37 7	3 2	7 2
山　西	37.6	56 4	3 6	8.6
河　北*	27 4	59.7	3 5	11 5
河　南	29 1	46.6	3 7	10 0
安　徽	30 7	39 9	4.7	10 4
江　苏*	32 3	34 2	3.7	6.3
浙　江	51.7	51 7	5.1	8.7
江　西	38.1	61 0	3.7	11 8
湖　北	45 7	82 3	3.5	12.6
湖　南	42.2	88.6	3 1	12.4
四　川	28 5	159.6	0 9	7 6
云　南*	25.9	46 6	1.3	3.8
贵　州	15.5	11.0	1.7	4.6
广　西	微	微	0	0
广　东	微	微	0	0
福　建	微	微	0	0
台　湾	0	0	0	0
海　南	0	0	0	0
全　国	36.0	3451.8	3.5	535.6

注：*河北包括天津市、北京市；江苏包括上海市；云南不包括无积雪地区。

三、青藏高原积雪对东亚大气环流和我国天气气候的影响

冬季青藏高原异常大雪，将使翌年夏季西南季风减弱，导致我国西南地区夏季降水量偏低。早在 1984 年 Blanford 就提出喜马拉雅山春季积雪影响西南季风的假设，Walker（1910）也分析了喜马拉雅山与 5 月底积雪深度和印度夏季降雨量的反相关关系。Dey 和 Kruss（1983）用 1971～1980 年喜马拉雅山冬季 NOAA 月积雪面积与印度夏季降雨量进行了相关分析。陈烈庭和阎志新（1981）指出，青藏高原积雪是控制我国长期天气变化的一个重要因素。青藏高原异常大雪使高原地面气温和中上层等压面高度偏低，使高原南侧纬向温差和径向高度梯度增大，副热带西风急流加强，初夏高原低空热低压和高空

暖高压强度偏弱，500hPa 孟加拉湾低槽西撤到印度西北部的时间，以及伊朗高原和我国东部副热带高压北段的时间均偏迟。我国主要的雨带北移推迟，6 月份至 7 月中旬仍徘徊在华南至两湖地区。我国长江中下游夏季降雨量偏少。这样，青藏高原积雪变化与我国旱涝灾害就有了一定的联系。随着气候的变暖，青藏高原降雪量和积雪量的增加，雪量绝对值年际变化的增大，高原积雪对东亚大气环流和我国天气气候的影响将会加强（Yasunari et al.，1991），旱涝灾害将会加剧。

四、青藏高原和西部高山地区大雪灾害频繁出现

在过去 30 年中，全国年降雪量和积雪量随着全球增温均呈现增大的趋势。大约全球平均气温每升高 0.1℃，我国年降雪量增加 5.2%，积雪量增加 3.7%。在 20 世纪 80 年代后期和 90 年代初期，全球增温最为显著，北半球积雪面积明显地减少，但青藏高原积雪量仍在增加。我国降雪量与积雪量的增加主要表现在青藏高原、高山地区和长江中下游地区（程国栋等，1997）。看来极寒冷地区随着全球的增温，降雪量增加已成为普遍现象。例如，南极和格陵兰冰盖以及山地冰川雪累积率的增加和北半球高纬度地区冬季降雪量的增加已很明显。这是因为，一方面气温升高，空气中的水汽含量增加；另一方面，暖冬的出现往往和赤道太平洋海水表面温度异常偏高相联系，使得赤道与极地温度梯度增大，南北气流交换活动加强，同时也使我国东南沿海气候活动加强（Hanson and lang，1985）。观测结果表明，随着全球变暖，赤道西太平洋“热池”在扩大和加强（Xiao Haiyan et al.，1992），ENSO 事件的出现频率也在增高。后者导致了我国青藏高原、高山地区和长江中下游大雪灾害出现频繁。

例如，根据 SMMR 观测，1982/1983 年冬季，西天山和阿尔泰山地区雪深达 60～70cm，而正常年份仅 30～50cm。1985/1986 年为北半球 20 世纪 80 年代最丰雪年，也是青藏高原积雪最丰富的一个冬季。这一异常大雪出现在唐古拉山以北地区、巴彦喀拉山和阿尼玛卿山区，积雪深度达 100cm，而正常年份仅 10～20cm，造成 200 多万头牛羊的死亡，成为青藏高原 40 年来最大的一次雪灾。1989 年 1～2 月喜马拉雅山出现大雪。1993 年 1～3 月新疆阿克苏地区出现自 1949 年以来罕见的大雪灾。青海省南部连续降雪，4 400km 公路被雪封阻，牲畜死亡 81 万头，春羔死亡率在 50%以上。

20 世纪 80 年代长江中下游大雪、低温，使冻害次数增加。1987 年 3 月长江中下游降雪量达 20～35mm，最大积雪深度达 18cm，使小麦减产 3 成，暴风雪阻断交通，电讯及供电中断。

到了 2030 年，如果全球平均气温再升高 0.5℃，则青藏高原、高山地区和长江中下游地区降雪量将增加 26.0%，积雪量将增加 18.5%，这样的结果，大风雪灾害出现必然更加频繁和严重。

“小冰期”以前，我国东部地区年平均气温比现在高 1.0～1.5℃，亚洲夏季风比现在强盛（竺可桢，1972）。那时中国的西部，包括青藏高原，气候要比现在湿润得多。根据记载，杭州、昆明等地冬季大雪出现频繁，昆明积雪深度可达 100cm 以上，它们也为风雪灾害的预测提供了佐证（张祥松，1996）。

五、严重的风雪流灾害

世界上风雪流分布广，出现频繁。它不仅是极地冰盖、高山冰川和雪崩（Wang Yanlong et al.，1980）的物质来源，诱发并加重冰雪洪水、雪崩（Arthur，1967）、泥石流及滑坡等自然灾害，而且直接给工交农牧业和人民的生命财产造成严重的损失。先举美国几例，如1976年度美国国民经济总产值减少200多亿美元，其中一个很重要的原因是暴风雪阻塞交通，中断输电网，停工停产等；1978年2月上旬，美国东北部的新英格兰地区一场暴风雪造成的经济损失就达80亿美元；2001年3月5日，一场强烈的暴风雪袭击了新英格兰地区，公路和铁路全部停运，3500次航班被迫取消，所有的学校被迫关闭，暴风雪沿途所经的各州进入紧急状态。但是，由于美国投入较多人力和物力，积极开展风雪灾害形成机制研究，抓紧对风吹雪的预测、减灾和防治工作，并取得了显著成果，致使此次暴风雪造成的直接经济损失远小于以前。

我国风雪流分布广，危害也比较严重。风雪灾害主要集中在新疆、青海、西藏、四川西部高原、甘肃、内蒙以及东北的山区和平原（王中隆，1983）。我国现有草场面积400多万平方公里，居世界第二位，但牧业落后，其中一个重要因素是牧区雪灾严重。如1977年冬，内蒙古暴风雪，仅锡林郭勒盟牲畜死亡就达337万头，其后用了十年时间才得以恢复。据初步统计，我国六大牧区平均每年因风雪灾害死亡牲畜总计约500万头，年均损失达15亿元。1983年4月中旬，黑龙江省西部暴风雪阻塞交通，中断电网，大庆停工，经济损失达1.6亿元。至于我国西部一些地区，风雪流影响国民经济建设也很严重。如新疆伊若国道天山垭口，有些路段吹雪堆积高达5～8m，汽车需绕道807km，此段经实施风雪灾害防治工程后（王中隆和李长治，1995），20年经济效益达10.0360亿元，这也说明风雪流危害虽然严重，但却可以防治。

第二节　中国积雪的区域类型、分布及其变化趋势

一、中国积雪区域类型的划分

早在建国初期，我国老一辈气候学家为适应大规模社会主义建设的需要，面临积雪资料缺乏的困难，利用平均最大积雪深度探讨了我国东部积雪分布和区划（朱岗昆等，1954；徐淑英，1958）。后来中央气象局气候资料研究室（1959）根据全国350个地面台站最大积雪深度的观测资料，分析了我国最大积雪深度的分布特点。毫无疑问，它们为经济建设做出了贡献。但是，最大积雪深度并非是不稳定积雪的特征气候指标。李培基（1983）根据联合国教科文组织提倡的统一标准，用全国1600个地面气象台站1951～1980年的年积雪日数表现了中国积雪分布特征（图1－3），并进行了中国积雪区域类型的划分（图1－4）。

由图1－3可见，我国有积雪现象出现的面积达$900\times10^4 km^2$，虽然并非多雪国家，但积雪分布可谓相当广泛。南界位于24°～25°N一带，大致在保山、昆明、柳州、连

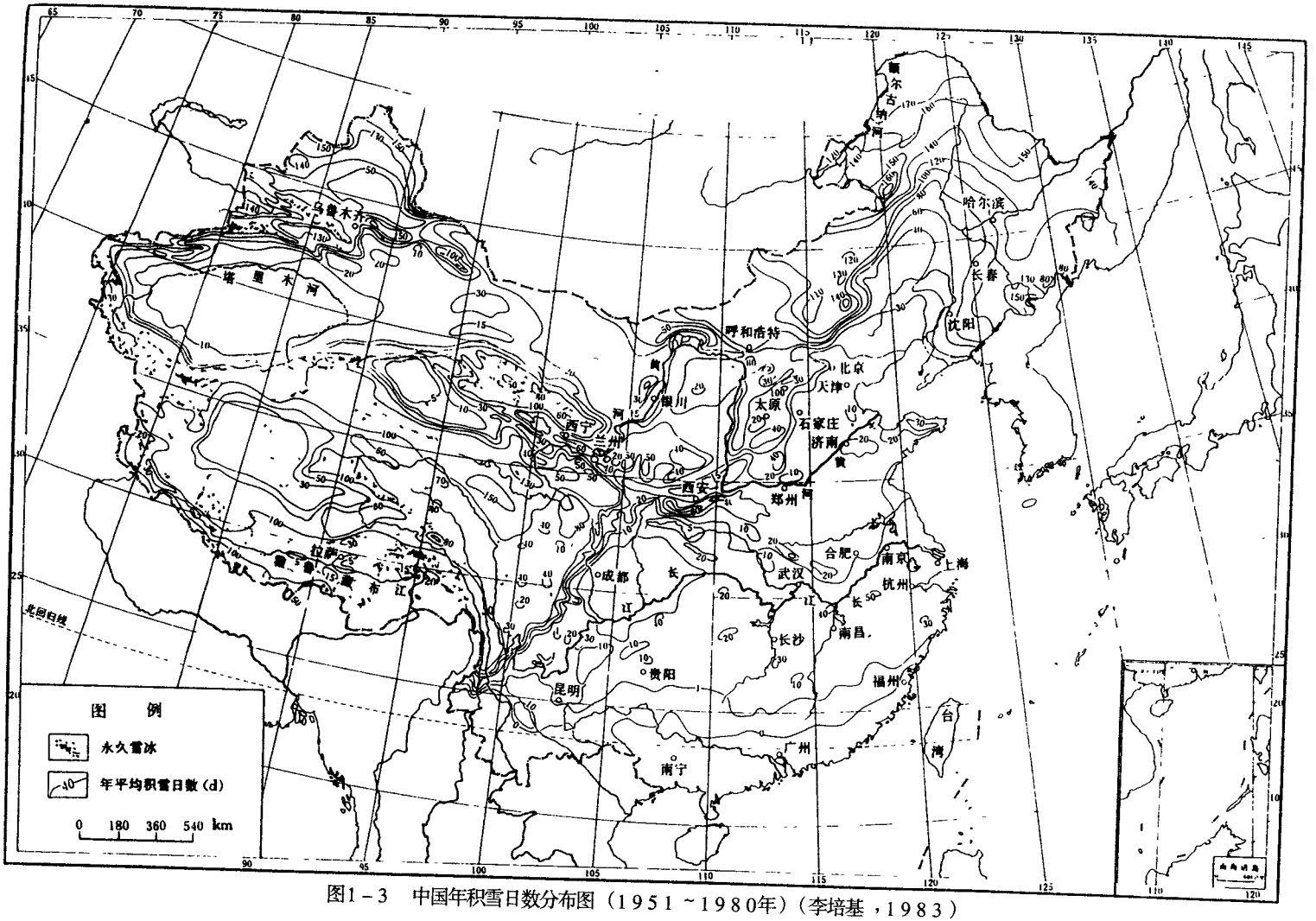


图1－3　中国年积雪日数分布图（1951～1980年）（李培基，1983）

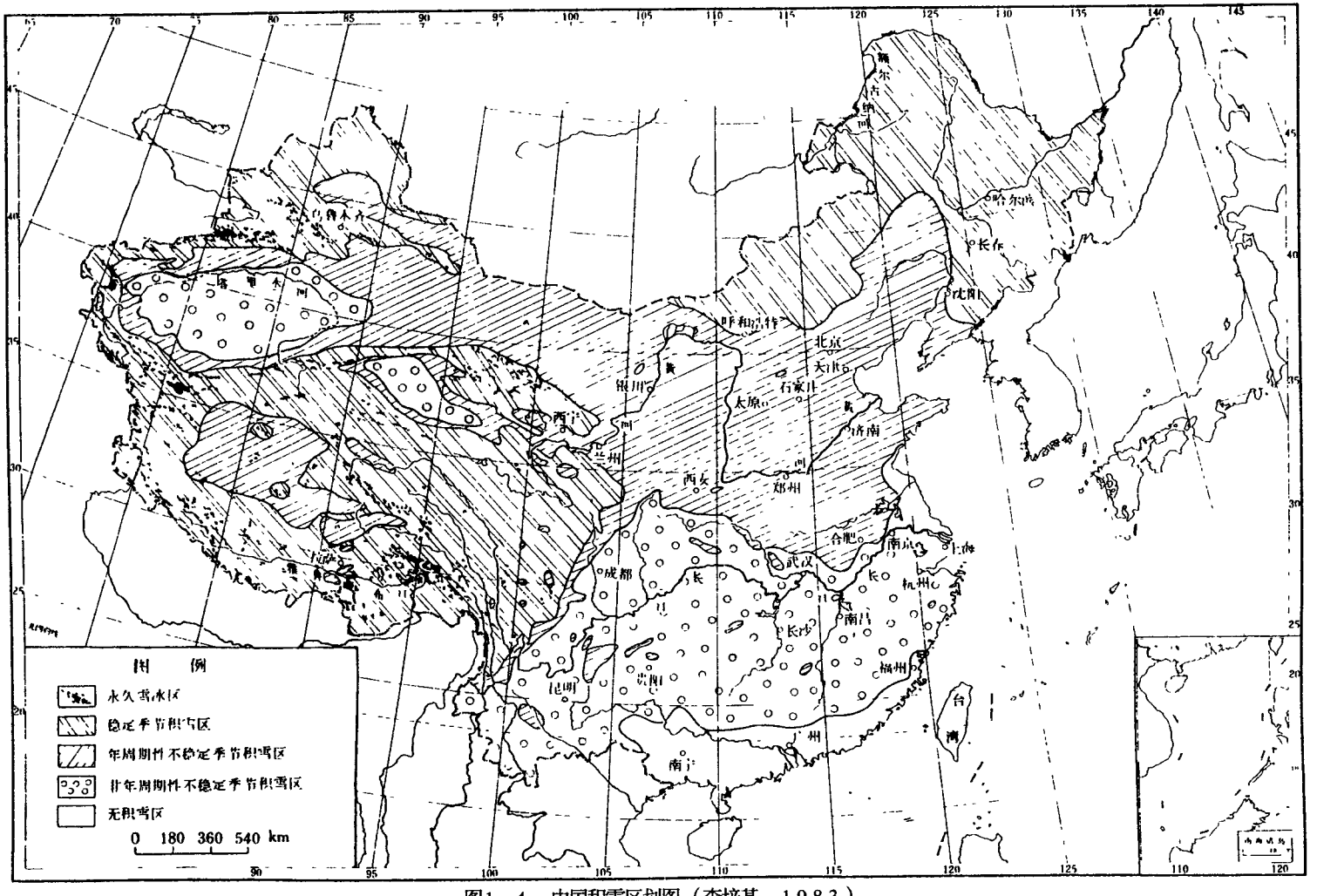


图1－4　中国积雪区划图（李培基，1983）