

黑土地冻融作用与 土壤风蚀研究

刘铁军 刘艳萍 赵显波 等 著



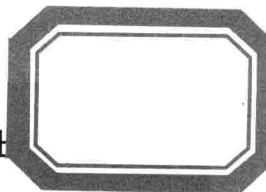
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

經手地理條件利用與 土壤風蝕研究

謝國輝 謝國輝 謝國輝 謝國輝

經手地理條件利用與
土壤風蝕研究

本著作由水利部牧区水利科学研究所出版基金资助出



黑土地冻融作用与 土壤风蚀研究

刘铁军 刘艳萍 赵显波 珊 丹 著
郭建英 李锦荣 刘全生 李瑞平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书针对我国东北黑土区黑土耕地退化、沙化特点,重点从黑土土壤经受冻融与风力侵蚀作用的影响过程展开研究,分析了我国东北黑土区水土流失成因及危害,结合黑土区区域气候变化、东北沙地荒漠化扩展以及黑土区土壤沉积结构等因素对东北黑土区风力侵蚀发展趋势进行了预测分析;从冻土力学冷生构造角度出发,对黑土地土壤冻融作用下未冻水含量变化、冻结过程温度变化、冻融作用下土壤水热运移、土壤微观结构变化进行了试验研究与数值模拟;就黑土地土壤风蚀进行了野外试验观测及室内风洞风蚀模拟试验,得出了黑土地风蚀物运移规律,对风蚀粒子运移轨迹进行了数值模拟;最后重点对黑土冻融风蚀进行了研究,在野外试验与室内模拟试验数据分析的基础上,得出冻融作用过程对黑土风蚀强度的影响规律,运用最大熵方法及统计学基础理论,建立了黑土地冻融风蚀多元统计模型,并对模型进行了验证。

本书可供水土保持与荒漠化防治、风沙物理、冻土物理及其相关专业研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黑土地冻融作用与土壤风蚀研究 / 刘铁军等著. —
北京:中国水利水电出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-5170-1445-4

I. ①黑… II. ①刘… III. ①黑土—冻融作用—研究
②黑土—风蚀作用—研究 IV. ①S155.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第282389号

审图号:GS(2013)2485号

书 名	黑土地冻融作用与土壤风蚀研究
作 者	刘铁军 刘艳萍 赵显波 等著
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 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 13.75印张 264千字 4插页
版 次	2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷
印 数	0001—1300册
定 价	58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

土壤风蚀是风力作用下表层土壤的吹蚀、搬运与沉积过程，是塑造地球景观的重要地貌过程之一和土地沙漠化的首要环节。冻融侵蚀是土壤及其母质孔隙中的水分在冻结时体积膨胀，裂隙加大、增多所导致的土体或岩石发生碎裂，并顺坡向下产生位移的过程，往往与风蚀、重力侵蚀同时或交错发生。在中国东北和青藏高原地区，土壤经受冻融和风蚀作用，形成冻融风蚀。

本书针对中国东北黑土区耕地退化、沙化特点，重点研究黑土冻融与风蚀作用影响过程。基于气象数据，土壤温度、水分、微结构和冻融循环过程，风蚀物成分与运移特性，土壤冻结相关指标等基础数据，分析水土流失成因及危害，预测风蚀发展趋势。从冻土力学冷生构造角度，对冻融作用下未冻水含量变化、冻结过程温度变化、冻融作用下土壤水热运移、土壤微结构变化进行了试验研究与数值模拟。针对土壤风蚀，进行了野外试验观测及风洞风蚀模拟试验，阐明了黑土地风沙运移规律。重点对黑土冻融风蚀进行了研究，揭示冻融作用对黑土风蚀的影响规律，建立了冻融风蚀多元统计模型。

目前关于东北黑土地土壤侵蚀研究，水力侵蚀研究成果较多，建有若干径流小区，研究了黑土地的沟蚀、土壤抗冲性等。克山试验站学者对黑土地冻融侵蚀的研究也取得了初步成果，如冻融侵蚀类型及程度等。黑土地风蚀研究成果较少，关于土壤冻融作用对风力侵蚀的影响、冻融作用下风蚀起沙机理的相关研究则更为匮乏。黑土地土壤冻融作用与风蚀的研究，是一项具有挑战与创新型的基础研究工作。刘铁军等人克服了很多困难，通过多次野外考察与试验，取得了大量第一手资料，开创性地开展了多项研究工作。

作者不但进行了黑土地土壤冻融作用与土壤风蚀研究，而且将二者有机结合，阐述了冻融作用后土壤的微结构及风蚀变化，初步

揭示了冻融风蚀的发生发展过程。这些研究有助于提高对冻融风蚀环境、现状及演变规律的认识，推进黑土区冻融风蚀过程研究。但冻融风蚀相互作用是一个复杂的自然现象，受气候变化、地表及人为等众多因素影响，还需要进一步开展大尺度以及积融雪参与下的冻融风蚀发生发展过程研究，进而为区域土壤侵蚀的防治及可持续发展提供科学依据与参考。

中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室副主任



2013年8月

前 言

我国是世界上水土流失最严重的国家之一，也是世界上多年冻土分布面积的第三大国，而水土流失与土壤的冻融作用往往相伴共同作用在土壤表面，进而对土壤的微观结构造成改变与重组，导致土地退化，进一步发展为荒漠化。

在我国几乎每个省都有不同程度的水土流失，其分布之广、强度之大、危害之重，在全球屈指可数。我国的农业耕垦历史悠久，大部分地区自然生态平衡遭到严重破坏，森林覆盖率为 12%，有些地区不足 2%，水蚀、风蚀都很强，据 20 世纪 50 年代初期统计，水蚀面积 150 万 km^2 ，风蚀面积 130 万 km^2 ，合计占国土面积的 29.1%，年均土壤流失总量 50 余亿 t，其中约 17 亿 t 流入海洋。到 1990 年，全国水土流失总面积达 367 万 km^2 ，占国土总面积的 38.2%，其中水蚀面积 179 万 km^2 ，风蚀面积 188 万 km^2 。2005 年水利部、中国科学院、中国工程院联合进行的中国水土流失与生态安全综合科学考察显示，我国现有土壤侵蚀面积 356.92 万 km^2 ，其中水力侵蚀 161.22 万 km^2 ，风力侵蚀 195.70 万 km^2 。在全球气候变化的大背景下，不同环境下水土流失的研究与治理工作仍需进一步开展。

东北黑土区地理坐标介于东经 $135^{\circ}06'$ ~ $119^{\circ}01'$ 、北纬 $30^{\circ}48'$ ~ $53^{\circ}33'$ 之间，区域范围包括松花江、辽河两大流域中上游（黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古）地区，即位于松嫩平原和辽河平原，北起大小兴安岭南麓，南至辽宁省大连市，西到内蒙古的东部地区大兴安岭山地边缘，东达乌苏里江和图们江，幅员面积 103.02 万 km^2 。东北黑土地有机质含量丰富、土壤肥沃、土质疏松、土地生产力较高，因此我国东北黑土区一直都是主要的粮食生产基地。东北黑土区土壤侵蚀类型包括水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀，且各种类型侵蚀的常交织在一起发生，进而导致黑土区年均流失表层黑

土 0.3~1.0cm, 黑土厚度已由 20 世纪 50 年代的平均 60~70cm, 下降到目前的平均 20~30cm, 有些区域已露出成土母质, 丧失了农业生产能力, 严重威胁我国粮食安全战略, 制约区域经济可持续发展。

黑土地地处中纬度地带, 具有明显的大陆性季风气候特征, 年平均气温在 $-2\sim 5^{\circ}\text{C}$, 最高气温 38°C , 最低气温 -45°C , 冻融作用十分明显。黑土地冬春地表植被覆盖低值期与降水低值期同步, 加之初冬和初春黑土地地表土层的冻融作用, 使表土疏松、土壤颗粒分散、土壤黏聚力降低等, 在外力(风力、温度等因素)的作用下极易引起风蚀。目前东北黑土区风力侵蚀面积已经达到 3.36 万 km^2 , 冻融侵蚀面积已经达到 6.23 万 km^2 , 分别占黑土区总侵蚀面积的 12.2% 和 22.6%。可见冻融与风蚀对黑土地造成了严重危害。据此, 我们开展了黑土地冻融风蚀的研究工作, 试图揭示黑土地冻融作用机制、土壤冻融作用对风力侵蚀的影响及冻融作用下风蚀起沙机理。

本书针对我国东北黑土区黑土耕地退化、沙化特点, 重点从黑土土壤经受冻融与风力侵蚀作用的影响过程展开研究, 通过对研究域气象数据、土壤温度、土壤水分、土壤微观结构、土壤冻融循环过程、土壤风蚀物成分与运移特性、黑土土壤冻结相关指标等基础数据地观测, 分析了我国东北黑土区水土流失成因及危害, 结合黑土区区域气候变化、东北沙地荒漠化扩展以及黑土区土壤沉积结构等因素对东北黑土区风力侵蚀发展趋势进行了预测分析; 从冻土力学冷生构造角度出发, 对黑土地土壤冻融作用下未冻水含量变化、冻结过程温度变化、冻融作用下土壤水热运移、土壤微观结构变化进行了试验研究与数值模拟; 就黑土地土壤风蚀进行了野外试验观测及室内风洞风蚀模拟试验, 得出了黑土地风蚀物运移规律, 对风蚀粒子运移轨迹进行了数值模拟; 最后重点对黑土冻融风蚀进行了研究, 将野外试验与室内模拟试验数据有机结合, 得出冻融作用过程对黑土风蚀强度的影响规律, 运用最大熵方法及统计学基础理论, 建立了黑土地冻融风蚀多元统计模型, 并对模型进行了验证。

本书的研究内容是在国家自然科学基金(40901136、41201264、41301302)、中国水利水电科学研究院科研专项(mks1-10-13)的

资助下完成的，在此表示感谢。在本书的研究过程中有幸得到了中国科学院寒区旱区环境与工程研究所董治宝研究员、赵爱国研究员、薛娴研究员的指导，在此一并表示衷心的感谢！本书的研究内容还得到水利部牧区水利科学研究所包小庆所长、魏永富副所长、何京丽副总工程师、张瑞强副主任的悉心指导以及水利部牧区水利科学研究所出版基金的资助，在此表示衷心的感谢！

本书由刘铁军主笔，珊丹、赵显波、刘艳萍、郭建英、李锦荣、李瑞平、刘全生参加了第1章至第3章和第5章、第6章部分内容的编写。参加本书编写和相关研究内容的主要人员除署名作者外还有水利部牧区水利科学研究所梁占岐高级工程师、荣浩高级工程师、李振刚高级工程师、邢恩德高级工程师、岳征文博士，参加了本书的第1章至第3章和第6章部分内容的编写及部分野外研究工作。

本书的研究内容属于交叉学科，同时野外试验测试工作难度较大，东北黑土区的地貌形态、气候变化较为复杂，诸多问题仍在研究与探索阶段，加之著者水平有限，书中难免存在错漏和不足之处，敬请诸位读者和专家批评指正。

为印刷方便，本书中部分彩色图片（图名带*号者）在正文中用单色印刷，四色印刷见正文后彩插。

刘铁军

2013年7月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 土壤冻融作用研究意义	2
1.2 土壤冻融研究	2
1.2.1 冻融作用对土壤性质影响的研究	3
1.2.2 冻融侵蚀预报研究	3
1.2.3 冻融侵蚀防治研究	4
1.3 土壤风蚀的研究意义	5
1.4 土壤风蚀研究	6
1.4.1 国外土壤风蚀研究概况	6
1.4.2 国内土壤风蚀研究概况	7
1.4.3 土壤风蚀中风蚀物相关研究	9
1.4.4 风蚀影响因子相关研究	10
1.4.5 土壤风蚀防治相关研究	11
1.4.6 土壤复合侵蚀相关研究	12
1.5 黑土地多年发展利用情况	14
1.5.1 黑土地分布情况	14
1.5.2 黑土地开发利用现状及问题	14
1.6 黑土地土壤冻融风蚀研究意义	16
参考文献	16
第 2 章 东北黑土区自然概况	25
2.1 我国东北黑土区界限	25
2.1.1 广义黑土区	27
2.1.2 典型黑土区	27
2.2 地质地貌及地理环境	29
2.2.1 气候与水文条件	29
2.2.2 地质地貌与土壤	30

2.2.3 粮食种植情况	31
2.3 人为活动对黑土区土壤侵蚀的影响	33
2.3.1 黑土区土壤侵蚀概况	33
2.3.2 人为活动影响因素分析	34
2.4 东北黑土区水土流失危害	36
参考文献	38
第3章 东北黑土区土壤风蚀发展趋势分析	39
3.1 黑土地土壤风蚀影响因素	39
3.1.1 自然因素	39
3.1.2 人为因素	47
3.2 黑土区风力侵蚀发展趋势分析	49
3.2.1 区域气候变化对风蚀发展趋势影响分析	49
3.2.2 东北沙地对黑土区风蚀发展趋势影响分析	50
3.2.3 黑土区风蚀发展趋势综合分析	52
参考文献	52
第4章 黑土地冻融作用与水热模拟研究	54
4.1 黑土地自然状态冻融作用研究	56
4.1.1 研究区概况	56
4.1.2 试验设计	57
4.1.3 黑土地自然冻融作用规律研究	58
4.2 黑土冻融作用土体冻胀试验模拟研究	71
4.2.1 冻胀基本理论	71
4.2.2 试验设计	71
4.2.3 结果分析	74
4.2.4 黑土冻融微观结构试验研究	77
4.2.5 黑土未冻水含量研究	80
4.3 黑土地冻土水热耦合模拟研究	86
4.3.1 黑土冻结过程温度变化数值计算模拟	86
4.3.2 基于 SHAW 模型的黑土地冻结土壤水热耦合模拟研究	88
参考文献	111
第5章 黑土地土壤风蚀起沙研究	115
5.1 黑土区土壤风蚀区域	115
5.2 试验区风蚀环境	117
5.2.1 试验区风速	117

5.2.2 试验区气温	124
5.2.3 试验区空气相对湿度	128
5.2.4 试验区土壤性质	131
5.3 黑土地土壤风蚀起沙试验研究	132
5.3.1 风蚀发生过程概述	132
5.3.2 黑土地土壤风蚀野外试验研究	134
5.3.3 黑土地土壤风蚀风洞模拟试验研究	150
参考文献	155
第 6 章 黑土地冻融风蚀模拟试验研究	156
6.1 试验设计	156
6.1.1 研究区选择	156
6.1.2 土样制作	157
6.1.3 冻融风洞风蚀试验设计	157
6.1.4 风洞	158
6.2 结果分析	160
6.2.1 冻融作用对土壤微观结构的影响	160
6.2.2 冻融作用对黑土风蚀风沙流结构影响	160
6.2.3 冻融作用对黑土风蚀强度的影响	163
参考文献	164
第 7 章 黑土地冻融风蚀预报模拟研究	166
7.1 黑土地土壤风蚀沙粒随机运动模拟研究	166
7.1.1 沙粒随机轨迹模型	166
7.1.2 沙粒运动轨迹计算	168
7.1.3 数值模拟结果	169
7.2 黑土地土壤冻融风蚀 BP 神经网络模型预测研究	178
7.2.1 NN 的预测模型	178
7.2.2 Matlab 中 NN 的训练过程	179
7.2.3 基于 Matlab 的 BP-NN 预测模型应用	179
7.3 黑土地冻融风蚀模型研究	184
7.3.1 建模总体思路	184
7.3.2 信息熵原理及最大熵理论	185
7.3.3 基于最大熵的黑土地风蚀主要影响因子分布规律	188
7.3.4 风蚀量测度方式	189
7.3.5 冻融风蚀模型变量分析	190

7.3.6 建模建立	191
7.4 小结	195
参考文献	196
第 8 章 黑土地冻融风蚀研究结论与展望	198
8.1 结论	198
8.1.1 分项结论	198
8.1.2 综合结论	200
8.2 展望	200
附录 试验与考察照片	203

第1章 绪 论

什么是水土流失？《中国百科大辞典》中关于水土流失的定义是：“由水、重力和风等外界力引起的水土资源破坏和损失。”《中国水利百科全书》第 1829 页中关于水土流失的定义是：“在水力、重力、风力等外营力作用下，水土资源和土地生产力的破坏和损失，包括土地表层侵蚀及水的损失，亦称水土损失。土地表层侵蚀指在水力、风力、冻融、重力以及其他外营力作用下，土壤、土壤母质及岩屑、松软岩层被破坏、剥蚀、转运和沉积的全部过程。”

水土流失在国外被称为土壤侵蚀，美国土壤保持学会关于土壤侵蚀的解释是：“水、风、冰或重力等营力对陆地表面的磨损或者造成土壤、岩屑的分散与移动。”英国学者对土壤侵蚀的定义是：“就其本质而言，土壤侵蚀是一种夷平过程，使土壤和岩石颗粒在重力的作用下发生转运、滚动或流失。风和水是使颗粒变松和破坏的主要营力。”

我国是世界上水土流失最严重的国家之一。据 20 世纪 50 年代初期统计，水蚀面积 150 万 km^2 ，风蚀面积 130 万 km^2 ，合计占国土面积的 29.1%，年均土壤流失总量 50 余亿 t，其中约 17 亿 t 流入海洋。到 1990 年，全国水土流失总面积达 367 万 km^2 ，占国土总面积的 38.2%，其中水蚀面积 179 万 km^2 ，风蚀面积 188 万 km^2 。2005 年水利部、中国科学院、中国工程院联合进行的中国水土流失与生态安全综合科学考察报告指出，现有土壤侵蚀面积 356.92 万 km^2 ，其中水力侵蚀 161.22 万 km^2 ，风力侵蚀 195.70 万 km^2 。

全球陆地面积的 70% 存在冻土，其中 14% 为永久冻土，56% 为季节性冻土；在中国，多年冻土区的分布面积为 208.6 万 km^2 ，季节性冻土区的分布面积为 513.7 万 km^2 ，两者合计占全国面积的 75%。永冻区（多年冻土区）与季节性冻土区土壤经受冻融侵蚀作用。大部分学者趋向于将由于温度的频繁变化造成的冻融交替所引起的土壤、岩石性质发生变化进而造成的侵蚀作用，定义为冻融侵蚀，并且认为雪蚀作用是冻融侵蚀的一种作用形式。

冻融侵蚀往往与风力侵蚀、重力侵蚀同时或交错发生，尤其在我国东北、青藏高原地区，冬季土壤经受冻融作用，同时受风力作用产生风力侵蚀，即发

生冻融风蚀。我们研究黑土地冻融作用与土壤风蚀的目的在于弄清冻融风蚀的发生发展过程，从而为冻融风蚀的防治提供理论依据。

1.1 土壤冻融作用研究意义

土壤冻融侵蚀是由于土壤及其母质孔隙中或岩石裂缝中的水分在冻结时体积膨胀，使裂隙随之加大、增多所导致整块土体或岩石发生碎裂，并顺坡向下产生位移的现象。根据第二次全国土壤侵蚀遥感调查资料，我国水土流失总面积为 356 万 km^2 ，其中冻融侵蚀面积有 126.89 万 km^2 ，占水土流失总面积的 35.6%，约占全国国土总面积的 13.22%，绝大部分的冻融侵蚀主要分布在东北地区、西北高山区、青藏高原地区。虽然冻融侵蚀在我国以轻度、中度侵蚀为主，强度侵蚀相对较少，但目前冻融侵蚀对人类的生存与发展的影响已经表现得越来越明显，冻融作用不仅可以改变土壤性质，影响土壤的可蚀性，还具有时间和空间的不一致性，从而影响坡面土体稳定。在部分冻融侵蚀区，春季融雪径流侵蚀量占了全年水土流失量的绝大部分。例如东北黑土侵蚀区土壤冻融侵蚀的速度已接近暴雨造成的水土流失。

从冻融侵蚀研究的主要历程来看，人们对冻融侵蚀定义与研究范畴的界定已经越来越清晰。一般认为，冻融侵蚀是由于温度变化导致土体或岩石中的水分发生相变，体积发生变化，以及由于土壤或岩石不同矿物的差异胀缩，造成土体或岩石的机械破坏并在重力等作用下被搬运、迁移、堆积的整个过程。冻融侵蚀大都发生于土体融化后，因为在冻结状态下，土体中的水分主要以冰的形式存在，土粒间的联结力以冰凝聚力的形式存在，结构比较稳定；当冻结状态的土体融化时，土体间的连接力迅速减小，加上季节冻土层下永冻层（多年冻土层）起着隔水层作用，季节融化层土体含水量增大，季节层土体更易发生侵蚀作用。土壤冻融具有时间和空间的不一致性，当土体表层解冻底层未解冻时形成一个不透水层，水分沿交界面流动，两层间摩擦阻力减小，此时即便不具有侵蚀性的降雨，也有可能導致土壤侵蚀的发生。

1.2 土壤冻融研究

国内外学者很早就开始了对冻融侵蚀的关注，虽是对其实量的研究开展得不多，但也取得了一定的成果，下面分别从冻融作用对土壤性质影响的研究、冻融侵蚀预报研究、冻融侵蚀防治研究等方面的国内外学者的研究进展进行阐述。

1.2.1 冻融作用对土壤性质影响的研究

已有研究结果表明,冻融作用可以改变土壤性质,进而影响土壤可蚀性,包括土壤结构、土壤渗透性、导水性、土壤容重、团聚体水稳性以及土壤强度等。研究表明,土壤冻结前的初始含水量,冻融循环次数等可以影响春天解冻时土壤团聚体含量及其稳定性。冻融作用反复进行的结果会使土壤容重减少。冻融作用通过影响土壤容重、渗透性、含水量和稳定性等使土壤更易遭受侵蚀。关于冻融作用对团聚体水稳性的影响问题不同的学者得出了不同的结论。S. Mostaghimi 等对美国明尼苏达州 3 种不同土壤类型进行研究,发现土壤冻结速率对团聚体稳定性没有明显的影响,而冻结作用对团聚体稳定性影响显著,土壤类型、含水量、冻结速率及黏粒含量等不同,冻融作用对其影响程度也存在差异。因此,关于冻融作用对土壤团聚体稳定性的影响问题,还需要根据具体土壤情况进行具体分析。

冻融作用也会影响到土壤抗剪强度,而土壤抗剪强度又是衡量土壤抗蚀性的重要指标之一。G. E. Formanek 等对美国帕卢斯粉砂壤土的模拟试验表明,土壤的强度与冻融作用、冻融循环次数及土壤水压力有关。第 1 次冻融作用可以使土壤强度平均降低 50% 左右,第 2 次、第 3 次的冻融循环作用土壤强度没有明显减低。B. S. Sharratt 和 M. J. Lindstrim 认为,冻结层限制了水的入渗,导致地表径流和土壤含水量增加,从而增大了侵蚀量,因此,冻结层的融解深度或土壤冻结深度都会影响到渗透、径流及土壤侵蚀。土壤孔隙结冰而形成的不透水层会限制排水,从而使该层以上土壤含水量增大,饱和条件下的土壤抗剪强度也降低。H. Kok 等的 Palouse 粉砂壤土的实验表明,土壤的抗剪强度与距地表 10mm 剖面内的土壤含水量成反比;融化过程中,土壤抗剪强度较低,但如果在太阳辐射和风的作用下蒸发较快,土壤可以在几小时内又恢复其相对较大的抗剪强度。

1.2.2 冻融侵蚀预报研究

冻融侵蚀预报模型的研究,是冻融侵蚀研究的前沿领域和冻融侵蚀过程定量研究的有效手段,对冻融侵蚀区土地的合理利用和水土保持规划,具有科学的指导作用。国际上冻融侵蚀预报模型研究以美国、加拿大为代表,而我国在该领域的研究尚处于起步阶段。融雪侵蚀在国外已有一些研究,如美国的通用土壤流失方程 (USLE) 和修订通用土壤流失方程 (RUSLE),曾先后对融雪侵蚀过程进行修订。USLE 通过在降雨侵蚀力因子中,增加 1 个冬季降水量次因子进行修订,考虑了融雪侵蚀的作用。RUSLE 则通过分析融雪侵蚀导致的细沟侵蚀与细沟间侵蚀比例的差异,以及反复冻融过程对土壤可蚀性因子的影响,将融雪侵蚀过程分别在降雨侵蚀力和土壤可蚀性因子的计算中加以考虑。

在水蚀预报模型 (WEPP) 模型中, 根据能量平衡的原理, 增加 1 个冬季子程序, 进行侵蚀预测。

由于区域自然条件的差异, 在很多情况下, 通用的物理方程无法取得满意的效果。因此, 区域性侵蚀预报经验方程的建立是十分必要的。B. S. Sharratt 等在美国北部粮食产区进行了为期 4 年的冻融侵蚀观测研究, 对可能影响径流和侵蚀量的各种因子和过程进行了定量研究, 最后建立起该区的径流与流失量预测方程, 用于该区的土地利用与管理。1975 年, 瑞士科学家 J. Martinec 在法国一个 2.65km^2 的小流域建立了第一个半物理机制的融雪径流模型 (SRM), 使融雪径流模拟和预测成为现实。近 20 年来, SRM 模型通过与地理信息系统、遥感等技术结合, 其应用范围由最初的 2.65km^2 的小流域扩大到面积可达 12 万 km^2 的大尺度流域。SRM 模型从最开始的实验性运行, 经历了 20 余次修改, 已经发展到目前的 4.XX 系列。如今, 基于 PC 机的 SRM 模型已经开始应用。

在我国, 周伟建等在天山山区应用改进了的土壤蓄水计算及演进模型 (SMAR), 通过增加气候输入及积雪、融雪模块, 对天山山区流域径流进行模拟。冯学智等在玛纳斯河流域运用遥感技术和改进后的 SRM 模型, 进行了逐日流量数值的模拟。还有其他一些地区进行的融雪径流及雪盖变化预报研究, 都取得了较大的进展。

1.2.3 冻融侵蚀防治研究

目前, 以水土保持为目的的冻融侵蚀防治研究, 主要集中在农用地水土流失的防治上。已有的研究表明, 耕作的方式不同、作物残余物的存在与否及对作物残余物的管理不同, 可以极大地影响土壤的性质、结构、地表水的入渗及冻融侵蚀的发生与发展。已有研究表明, 将耕作残余物放置于垄沟等处进行条带覆盖, 可以减少地表径流量和侵蚀的发生, 有利于减少土壤冻结的深度、增加土壤的渗透性; 同时, 对耕作残余物的适当处理, 在一定程度上可以增加作物的产量。

G. R. Benoit 等在美国北部对耕作指数不同的翻耕后没有种植作物的耕地、种植作物并进行了土壤深松的耕地和免耕的土地分别设置试验小区, 进行对比试验, 试验数据表明在耕作指数较小, 且保留了作物残余物的试验小区内, 雪累积量较大, 土壤的冻结深度较浅, 解冻较早, 春季土壤温度升高得较早; 耕作指数较大的试验小区, 情况则截然相反。试验还表明, 对耕作残余物的适当处理, 在一定程度上可以增加作物的产量。由于不同地区的耕作方式、管理方式差别较大, 所以, 在选择具体的耕作方式及作物残余物管理方式时, 应根据具体情况进行选择。同时, 恶劣的天气条件、不良的播种条件、作物疾病等, 都会影响到残余物的数量, 进而影响其对水土流失的控制。