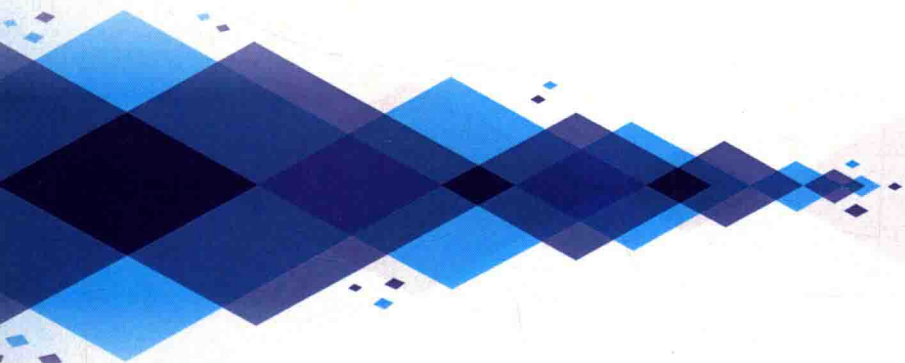




基于 3S 技术的 东北漫岗黑土区沟道侵蚀研究

胡刚 ● 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

基于 3S 技术的东北漫岗 黑土区沟道侵蚀研究

胡 刚 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 3S 技术的东北漫岗黑土区沟道侵蚀研究 / 胡刚著. —北京: 科学技术文献出版社, 2016. 2

ISBN 978-7-5189-0970-4

I. ①基… II. ①胡… III. ①水土流失—防治—研究—东北地区
IV. ①S157.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 017286 号

基于 3S 技术的东北漫岗黑土区沟道侵蚀研究

策划编辑: 崔灵菲 责任编辑: 王瑞瑞 安子莹 责任校对: 赵 璠 责任出版: 张志平

出 版 者	科学技术文献出版社
地 址	北京市复兴路 15 号 邮编 100038
编 务 部	(010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部	(010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部	(010) 58882873
官 方 网 址	www.stdp.com.cn
发 行 者	科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者	虎彩印艺股份有限公司
版 次	2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷
开 本	850 × 1168 1/32
字 数	215 千
印 张	8.375 彩插 4 面
书 号	ISBN 978-7-5189-0970-4
定 价	35.00 元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

土地是人类赖以生存的宝贵资源，全球性的土地退化是人类社会可持续发展面临的主要障碍之一，土壤侵蚀严重制约着全球社会经济持续发展。它带来的许多负面影响严重制约了土地生产力的发挥，并导致了生态环境的恶化，而土壤侵蚀是导致土地资源退化乃至彻底破坏的主要原因，其中沟蚀是土壤侵蚀的重要组成部分。在我国很多地区，如东北黑土区和黄土高原沟蚀相当严重，侵蚀沟侵蚀产沙量可占到流域产沙量的50%~80%，甚至更多。有鉴于此，沟道侵蚀防治成为《全国水土保持规划(2015—2030)》专项综合治理的主要内容之一。

东北黑土区是我国重要的商品粮生产基地之一，但经过多年开垦，土地退化严重，主要表现为表层黑土的急剧流失和沟壑的迅猛扩张，使我国东北黑土地面临由“北大仓”向“北大荒”转变的危险。东北黑土区现有大型侵蚀沟25万多条，其中绝大部分分布于坡耕地上，侵蚀沟侵蚀耕地达48.3万 hm^2 ，黑土区每年因侵蚀沟发育而损失的粮食就高达36.23亿 kg ，约占到其向国家提供商品粮的10%。由此可见，东北黑土区侵蚀沟的发生发展严重威胁着国家粮食安全并制约了区内社会经济的可持续发展。

与细沟侵蚀和坡面侵蚀研究相比，目前我国对发育在更大时空尺度上的侵蚀沟研究相对薄弱，当前无论是经验型土壤侵蚀模型或机制性土壤侵蚀模型，都没有专门针对沟蚀的。由此

可见,东北黑土区侵蚀沟的研究,对于确保我国商品粮基地粮食生产安全和区域可持续发展及科学认识侵蚀沟侵蚀发育规律都具有重要意义。

本书以位于小兴安岭向松嫩平原过渡的漫川漫岗地带为例,基于 3S 技术平台,结合土地详查资料和野外流域沟蚀调查,分析研究了东北黑土区的垄沟、浅沟和切沟的侵蚀速率、发育影响因素及其发育模式、流域沟蚀状况及其预测等。全书共分为 9 章。第 1 章绪论,介绍了本研究的背景及国内外相关研究进展,并对本研究的研究目的和研究内容进行了说明;第 2 章为研究区域和研究方法,特别是针对本研究中所采用的野外差分 GPS 测量手段和步骤进行了说明;第 3 章对大比例高精度沟道 DEM 的构建及构建过程中约束算法的影响进行了分析和讨论;第 4 章对黑土区由于采用垄作耕作方式而产生的垄沟侵蚀进行了测量分析;第 5 章对定点监测的切沟侵蚀速率进行了讨论,分析了影响切沟发育的因素和黑土区特有的切沟侵蚀发育模式;第 6 章结合航卫片和土地利用调查资料,对中长期切沟发育变化进行了讨论,并对切沟产生的原因进行了分析;第 7 章以两个典型小流域为例,对分布其中的细沟、浅沟和切沟形态和分布特征进行了分析讨论;第 8 章在介绍预测沟蚀分布的地貌临界模型由来的基础上,分析确定了研究区域的地貌临界模型参数,并对其进行了应用讨论;第 9 章总结了本研究取得的主要成果。

因水平有限,本书中疏漏之处在所难免,恳请使用本书的教师、科研人员、学生等提出宝贵意见。

著者

2016 年 1 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 沟道侵蚀及沟道分类	5
1.3 国内外沟道侵蚀研究进展	9
1.3.1 国外沟蚀研究进展	9
1.3.2 国内沟蚀研究进展	16
1.4 研究目的及内容	18
1.4.1 研究目的	18
1.4.2 研究内容	18
参考文献	20
第2章 研究区域和研究方法	39
2.1 研究区域	39
2.1.1 概况	39
2.1.2 地形特征	39
2.1.3 土壤植被及土地利用	41
2.1.4 气象气候	44
2.2 研究方法	46
参考文献	52

第 3 章 沟道 DEM 构建及约束算法的影响	53
3.1 沟道 TIN 模型	55
3.1.1 TIN 及 Delauney 准则	55
3.1.2 TIN 中的隔断线及其影响	56
3.1.3 与传统方法对比	60
3.2 沟道 GRID 模型	62
3.2.1 规则格网 DEM 及网格化	62
3.2.2 GRID 隔断线及其约束影响	64
3.2.3 约束条件下的规则格网 DEM	65
3.2.4 网格分辨率的影响	69
3.3 结语	70
参考文献	72
第 4 章 垄沟侵蚀现状	75
4.1 垄沟研究方法	76
4.2 垄沟侵蚀深度的确定	80
4.3 垄沟侵蚀变化特征	85
4.4 结语	90
参考文献	92
第 5 章 短期沟道监测研究	94
5.1 引言	94
5.2 监测沟道分布	95
5.3 侵蚀速率及讨论	95
5.4 短期沟道发育模式初探	119
5.5 结语	125

参考文献	128
第6章 沟道中长期变化研究	133
6.1 引言	133
6.2 研究流域	135
6.3 长期沟道变化	139
6.4 沟道产生原因	143
6.5 结语	150
参考文献	152
第7章 流域沟蚀现状	153
7.1 引言	153
7.2 研究流域及方法	154
7.2.1 小流域的选择和研究内容	154
7.2.2 研究方法	156
7.3 分布特征	158
7.3.1 细沟的形态及分布特征	158
7.3.2 浅沟的形态及分布特征	159
7.3.3 沟道的形态及分布特征	167
7.4 流域侵蚀现状	174
7.5 结语	178
参考文献	181
第8章 沟蚀发生的地貌临界	183
8.1 沟蚀发生地貌临界的由来	183
8.2 参数确定及讨论	188
8.3 地貌临界应用及与其他地貌指标的对比	193

8.3.1 地貌临界应用	193
8.3.2 与其他地貌指标的对比	194
8.4 结语	198
参考文献	201
第 9 章 结 语	208
附录 1 土壤侵蚀分类分级标准 (SL 190—2007)	214
附录 2 水土保持术语 (GB/T 20465—2006)	234

图表目录

图 2-1	鹤山农场位置示意	40
图 2-2	鹤山农场气象站多年 (1972—2003 年) 平均 月降水量分布	45
图 2-3	RTK-Trimble 4700 的组成	48
图 2-4	RTK-Trimble 4700 沟道数据采集示意	49
图 2-5	Trimble Geomatics Office 导入数据界面示意	51
图 3-1	加沟缘线和沟底线前后 Delaunay 三角剖分 结果示意	58
图 3-2	加硬隔断线后生成 TIN 与野外真实形态对比	59
图 3-3	现代方法与传统方法测量体积各段对比	61
图 3-4	表面型和离散型 DEM	63
图 3-5	有隔断线的网格算法示意	65
图 3-6	隔断线添加前后的网格化规则格网及等高线	66
图 3-7	隔断线添加前后沿沟底线的纵断面线	68
图 4-1	坡面垄沟测量点位卫片和地形	77
图 4-2	326 测量点位处发育的沟道 DEM	78
图 4-3	沟蚀测量仪	79
图 4-4	247 测量点位和 326 测量点位垄沟形态参数 顺垄向变化	81
图 4-5	其他各测量点位垄沟侵蚀参数顺垄向变化	84
图 4-6	各测量点位垄沟平均侵蚀深度	86

图 4-7	各测量点位垄沟平均侵蚀宽度	87
图 4-8	各测量点位垄沟侵蚀量和侵蚀模数	88
图 5-1	监测沟道分布示意	95
图 5-2	沟道沟头类型	96
图 5-3	Sidui gully1、Sidui gully2 地理位置示意	97
图 5-4	Sidui gully1 沟头在各监测时段的变化情况	98
图 5-5	沟道 Sidui gully1 中发育的“沟中沟”	101
图 5-6	Sidui gully2 在各次监测测量时沟头变化情况 ...	103
图 5-7	Sidui gully2 的各侵蚀参数及降水在各年与 季的比值	108
图 5-8	鹤山农场气象站 2002 年、2003 年及 2004 年 日降水分布	110
图 5-9	Sidui gully3 各侵蚀参数及降水数据在 2003 年 和 2004 年的比值	112
图 5-10	Sidui gully3 沟底状况	113
图 5-11	Sidui gully3 在 2003 年和 2004 年的 DEM 叠加	115
图 5-12	Sandui gully1 沟头分别在 2004 年 6 月和 2004 年 10 月的侵蚀状况	117
图 5-13	Sandui gully1 在 2004 年冬季和雨季的 DEM 叠加结果	119
图 5-14	Sidui gully2、Sidui gully3 在 2004 年冬春季和 2004 年雨季的沟内蚀积变化	121
图 5-15	冻胀示意	122
图 5-16	Sidui gully2 不同时相 DEM 叠加结果	124
图 6-1	六队各地块分布	136
图 6-2	2 号、8 号小流域 1959 年航片及各自流域	

界线示意	137
图 6-3 2 号、8 号小流域 2003 年卫片及各自流域 界线示意	138
图 6-4 1987、1993 和 2004 年 2 号、8 号小流域沟道 侵蚀状况	142
图 6-5 “九三”气象站各年降水集中期（6—9 月）和 冬春季（11 月、12 月、1—5 月）降水分布 ...	144
图 6-6 8 号小流域路边沟道的发展示意	149
图 7-1 研究黑土区 DEM 和 2 号、8 号小流域土地利用及 沟蚀（浅沟和沟道）示意	154
图 7-2 Sidui Gully2 根据不同方法算得体积累积 变化	157
图 7-3 坡面细沟形态及沟头处的车辙	160
图 7-4 拖拉机耕作时对自然水道的破坏示意	161
图 7-5 浅沟形态特征	162
图 7-6 春季浅沟坡度和汇水面积的关系	165
图 7-7 秋季浅沟侵蚀体积和长度的关系	166
图 7-8 沟道体积与其各参数间的关系	170
图 7-9 耕地中被犁过的沟道	171
图 7-10 沟道与路的关系示意	173
图 7-11 两个小流域不同沟道类型侵蚀状况	175
图 8-1 根据不同沟道起始机制对地形的划分	187
图 8-2 东北黑土区浅沟和沟道地貌临界 ($S = aA^{-b}$) 关系	190
图 8-3 不同环境中沟蚀地貌临界 $S-A$ 关系对比	192
图 8-4 沟蚀地貌临界预测沟蚀可能发生区域及野外 实际观测沟蚀发生区	194

图 8-5	Moore 沟蚀预测指标 $A_s S = 18$ (Moore 等, 1988) 图像与东北浅沟数据指标对比	195
图 8-6	对于 $A_s^b S$ 在参数 b 不同时对浅沟发生的拟合 程度	197
表 1-1	不同侵蚀作用类型的特征	8
表 2-1	1996 年鹤山农场土地利用结构	43
表 2-2	鹤山农场农业气象要素统计	46
表 3-1	不同网格大小下的插值结果与差分 GPS 测量值 间的 RMSE	69
表 5-1	Sidui gully1 各沟头在监测时段内的变化	99
表 5-2	Sidui gully2 年及季节变化数据	104
表 5-3	Sidui gully3 年及季节变化数据	111
表 5-4	Sandui gully1 和 Sandui gully2 蚀积变化	117
表 6-1	1959 年 2 号、8 号小流域的土地利用情况	140
表 6-2	黑龙江嫩江黑土颗粒组成	146
表 7-1	两个小流域的特征	154
表 7-2	细沟分布坡面坡度状况	159
表 7-3	浅沟分布坡面特征	163
表 7-4	2 号、8 号小流域沟道和浅沟侵蚀状况	174
表 7-5	两个小流域土地利用状况	176
表 7-6	土壤沟蚀强度分级标准	178
表 8-1	回归临界 $S = aA^{-b}$ 参数	189
表 8-2	通过沟蚀下限点求得的 a 、 b 值	193

第1章 绪 论

1.1 研究背景

土地是人类赖以生存的宝贵资源，全球性的土地退化是人类社会可持续发展面临的主要障碍之一（于伟，2002），土壤侵蚀严重制约着全球社会经济持续发展（郑粉莉等，2004）。它带来的许多负面影响严重制约了土地生产力的发挥，并导致了生态环境的恶化，而土壤侵蚀是导致土地资源退化乃至彻底破坏的主要原因（史培军等，1999；刘宝元等，1999），人们已经认识到加速的土壤侵蚀是人类面临的一个全球性的严重问题（Renschler 等，1999）。土壤侵蚀过程包括溅蚀、片蚀和沟蚀（朱显谟，1956），沟蚀表现为地表径流集中冲刷土壤及其母质，并下切形成沟道，在土壤侵蚀过程中是最严重的一个阶段，它破坏坡面、蚕食耕地，对土地资源危害极大（陈永宗等，1988）。沟蚀所形成的现行排水排沙渠道为侵蚀沟道（景可，1986）。

野外证据表明，径流小区上所测得的面蚀和细沟侵蚀并不是一个指示土壤侵蚀总量的理想指标，更大空间尺度上发育的沟道代表了沉积物的一个重要物源。国外的研究表明，沟道侵

蚀可占土壤侵蚀总量的 30% ~ 40%，甚至达到 90% 以上 (Poesen, 1998; Rydgren, 1990)，国内景可等 (1986) 的研究也表明沟谷侵蚀产沙可占流域产沙总量的一半以上。正如 Dirk J. 等 (2000) 指出的，沟道侵蚀是土地退化的主要过程之一。

黑土地的耕作层以其有机质含量高、土壤肥沃、土质疏松、适宜耕作而为世人所知。黑土区主要指黑土、黑钙土、暗棕壤、草甸土、棕壤、棕色针叶林土等几种土壤所覆盖的区域。目前，地球上共分布着三大块宝贵的黑土区：一块在欧洲，主要分布在东欧的乌克兰大平原，面积大约 190 万 km^2 ；一块在北美洲，主要分布在美國的密西西比河流域，面积大约 120 万 km^2 ；第三块在亚洲，主要分布在我国东北地区的松辽流域，称为东北黑土区，面积 103 万 km^2 (沈波等, 2005)。我国东北黑土区主要分布在黑龙江、吉林和内蒙古三省 (自治区) 内，位于大兴安岭以东，小兴安岭以南，长白山地以西的松嫩平原、三江平原和山前丘陵区，其中面积主要集中在黑吉两省内。我国人口众多，资源相对缺乏，而且全国每年还新增人口 1000 万左右，相应耕地却减少 1300 万亩 (1 亩 = 666.67 m^2) 左右，人多地少的矛盾决定了粮食问题始终是关系我国经济社会健康发展和社会稳定的重大战略问题。东北黑土区是我国重要的商品粮基地，每年向国家提供商品粮约 350 亿 kg，其中大豆产量占全国总产量的 37%，玉米产量占全国总产量的 53%，在我国具有不可替代的重要地位 (http://www.cnscm.org/zts/2003nqgstbcgzh/200303/t20030324_63762.aspx)。据 20 世纪 80 年代土壤普查结果 (全国土壤普查办公室)，黑吉两省的黑土耕地面积为 1.69 亿亩，占全国耕地面积的 10.6%。1998 年统计结果表明两省粮食总产量占到

全国粮食总产量的 10.8% (国家统计局)。可见黑土地对我们这个人均占有耕地不到世界平均水平 43% 的人口大国尤为重要, 是我国的重要战略资源, 对确保我国未来粮食安全具有重要意义。

东北黑土区开垦历史相对较短, 多为 100 年左右, 有些地区仅有 50 多年, 但开垦以后土壤侵蚀十分严重, 退化速度加快。经过数十年的开垦, 目前东北黑土区水土流失严重且发展迅速, 其潜在危险性被列为全国首位 (孟令钦等, 2009)。水利部松辽水利委员会的一项最新调查显示, 我国肥沃的东北黑土地正面临着由“北大仓”向“北大荒”转变的危险。相关资料表明, 1956—1959 年中苏联合考察时, 东北黑土厚度中值为 55 cm, 1973—1978 年中科院南京土壤所调查黑土厚度中值为 45 cm, 1979—1983 年第二次全国土壤普查黑土厚度中值为 40 cm, 调查结果表明黑土厚度明显变薄。目前该区水土流失日趋严重, 每年流失土层厚度为 0.3 ~ 1 cm, 按照目前土壤的侵蚀速率发展, 40 ~ 70 年内, 黑土将流失殆尽 (阎百兴等, 2007)。

现有水土流失表现形式主要为侵蚀沟的恶性扩张和黑土表层的急剧流失。目前东北黑土区的切沟侵蚀十分严重, 据初步统计, 黑土区内现有侵蚀沟 295 000 余条 (李智广等, 2013), 侵蚀耕地达 600 多万亩, 每年因侵蚀沟造成的粮食损失近 40 亿 kg (武龙甫, 2003; 刘兴土等, 2009), 约占其向国家提供商品粮的 10%。从 1965 年到 2005 年, 平均每 2 km² 范围内就有一条新的侵蚀沟出现 (闫业超等, 2010)。东北黑土区侵蚀沟的发生发展严重威胁着国家粮食安全并制约了区内社会经济的可持续发展, 是造成黑土地区水土流失的主要原因之一, 严重威胁着黑土区农业生产资源, 恶化农业生态环境, 危及我国

的粮食安全。

沟道蚀是土壤侵蚀加速的一种形式,沟道的发生通常标志着土地退化已经发展到了一种足以引起特别关注的极端形式 (Shibru Daba 等, 2003; Dirk 等, 2000)。大规模农垦活动加速坡地地表植被的破坏,同时坡耕地的土壤物理化学性质随着垦殖年限的增长而逐渐发生改变,这些又成为沟道侵蚀发生的潜在原因,而沟道一旦发生又会进一步破坏本地 (on-site) 和异地 (off-site) 生态系统的稳定性,引起湖泊、水库、河道淤积 (Poesen 等, 1996; Wallbrink 等, 1998), 加大洪水危害 (Shibru Daba 等, 2003), 水流中沉积物含量升高所导致的水流混浊度和营养载荷的增加又成为下游河流生态恶化的原因; 沟头的前进会破坏道路和建筑, 也会导致农用地、居民用地和休闲用地的丧失 (Ireland 等, 1939; Seginer, 1966; Burkard 和 Kostaschuk, 1997), 使地表变得支离破碎, 农业生产机械化效率降低。对于我国东北黑土地地区, 反映黑土侵蚀程度变化的现代发展过程包括: 黑土→黑黄土→破皮黄黑土→黄土 (陆继龙, 2001) 或沙, 绝大多数沟道侵蚀会跨越发展直接造成黑土母质的暴露。黑土层一旦流失, 很难恢复, 其治理难度比黄土高原还要大得多。同时, 黑土母质河湖相为主的砂质松散沉积物为荒漠化的发展提供了丰富的沙源, 使我国东北黑土区成为潜在荒漠化威胁最大的地区 (孙继敏等, 2001), 而沟道侵蚀正是一种沙漠化的指示 (UNEP, 1994)。总之, 沟道侵蚀一般被认为是最具灾害性和最明显的降雨侵蚀形式 (El-Swaify, 1983), 严重危害了当地群众的生产生活条件和生命财产安全, 恶化了当地区域生态环境, 威胁区域经济社会的可持续发展。

尽管沟道侵蚀的治理可以收到一定效果, 但代价很高。根