

长白山



RESEARCH ON GEOSYSTEMS OF
THE CHANGBAI MOUNTAINS

(VOL. 1)

(1956 ~ 1981)

主编 张子楨

研究
(第一辑)

地理系统



东北师范大学出版社
NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

长白山地理系统研究

RESEARCH ON GEOSYSTEMS OF
THE CHANGBAI MOUNTAINS
(VOL. 1)



(1956 ~ 1981)

主编 张子桢

 东北师范大学出版社
NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

长 春

图书在版编目 (CIP) 数据

长白山地理系统研究:第1辑/张子祯主编.—2版.
—长春:东北师范大学出版社,2015.3
ISBN 978-7-5681-0624-5

I. ①长… II. ①张… III. ①长白山—区域地理—
自然地理—研究 IV. ①P942.307.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 012287 号

审图号:GS (2009) 1729 号

☐责任编辑:王宏志 ☐封面设计:李冰彬

☐责任校对:曲颖 ☐责任印制:刘兆辉

东北师范大学出版社出版发行

长春净月经济开发区金宝街118号(邮政编码:130117)

网址: <http://www.nenup.com>

东北师范大学出版社激光照排中心制版

河北省廊坊市永清县晔盛亚胶印有限公司

河北省廊坊市永清县燃气工业园榕花路3号(065600)

2015年3月第2版,2015年3月第1次印刷

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:18 字数:407千

定价:63.00元

原《长白山地理系统论文集》第一集

(1956~1981)

编 委 会

主 编 张子楨

副 主 编 张力果 王文卿

编 辑 (按姓氏笔画排序):

李振泉 李 楨 李太叶 李惠明 陈 鹏 肖荣寰

张文奎 杨秉赓 杨美华 柴 岫 钱家驹 景贵和

责任编辑 李煜之

封面设计 肖荣寰

本系列专著的出版得到了东北师范大学“十一五”科技创新平台建设计划培育项目“长白山国际地缘生态安全与数据集成 (106111065202)”、中华人民共和国教育部与香港李嘉诚基金会“长江学者奖励计划”、中华人民共和国科技部国家重点基础研究发展规划 (973) 项目“长白山地区土地利用/覆被变化与生态安全监测控制研究 (2009CB426305)”的资助。

This book series was supported by the Northeast Normal University's Science and Technology Innovation Platforms under the project "Ecological Security and Data Assemblage of the Changbai Mountains international Georegion (Project No. 106111065202)"; The Changjiang (Yangtze River) Scholar Award Program sponsored by the Ministry of Education of the People's Republic of China and the Li Ka Sheng Foundation of Hong Kong; and the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under project " (No. 2009CB426305)" .

长 白 山 简 介

广义上的长白山是中国辽宁、吉林、黑龙江三省东部山地的总称。长白山脉东北——西南走向，北起位于黑龙江省的三江平原的南侧，向南延伸至辽东半岛与千山相接，主要山地包括长白山、老爷岭、张广才岭、吉林哈达岭等平行的断块山地。山地海拔多在800~1 500米，以中段位于吉林省境内的长白山为最高。狭义的长白山是指中国吉林省东部与朝鲜接壤的以长白山为主峰的山地，为东北山地的最高部分。长白山是闻名中外的复式火山，其地形可分为熔岩高原和火山锥体两大单元。火山锥体矗立于熔岩高原的中心，系多次火山喷发而成。火山锥体由粗面岩组成，夏季白岩裸露，冬季白雪皑皑，长白山故此得名。火山锥体顶部成巨大椭圆形火口湖，称为长白山天池。长白山天池湖水水面海拔高度为2 188米，面积为9.8平方千米，湖水平均深度为204米，最深处达313米，被火山锥体上16座海拔2 500米以上的山峰所环绕。其中白云峰海拔高度为2 691米。白头峰海拔高度为2 749米，为长白山第一高峰。

长白山森林茂密，是中国的主要林区。由于地形、气候、水文、土壤等因素的共同影响和制约，长白山锥体区的植被和土壤呈明显的垂直带状分布。海拔600~1 600米之间为山地针阔混交林带，占有最大垂直宽度。海拔1 600~1 800米之间为山地暗针叶林带。海拔1 800~2 100米之间为岳桦林带。海拔2 100~2 400米为高山苔原带。海拔2 400米以上为高山荒漠带。

长白山是亚欧大陆北半部最具代表性的典型自然综合体。中国于1960年在长白山建立了以长白山天池为中心，境内总面积为196 465公顷的自然保护区。该保护区是中国建立最早、最重要的自然保护区之一。联合国教科文组织1980年批准将长白山自然保护区纳入国际生物圈保护区网，并将其列为世界自然保留地。长白山保护区贵为东北亚物种基因库，长白山地被视为中国东北的生态屏障。长白山是松花江、鸭绿江和图们江的源头。国际河流的水资源和水环境是该地区的热点问题之一。长白山的生态安全在多重自然和人为因素的干扰之下面临重大考验。

长白山国际地缘人文历史悠久，多民族文化并存。长白山曾经受到历代帝王的关注，被推崇为神山圣地。清代统治阶级把长白山视为祖先发祥地，进而封禁，限制进入。因此，近代对长白山开发较晚，使长白山保护区内基本保持着原始状态。其国际地缘的地理位置及其与周边国家的政治经济关系，更为长白山地理系统和人地关系的研究增添了独特的社会因素。

About the Changbai Mountains

Changbai Mountains is a mountain range that extends along the border between Northeast China and D P R Korea. The range consists of the paralleled broken mountains of Changbai Mountain, Laoye Ling, Wanda Shan, Zhang-Guang-Cai Ling, and Hada Ling. It extends towards southwest connecting the Qian-Shan Mountains in the Liaodong Peninsula of China and towards northeast connecting the Sikhote-Alin Mountains in the Russian Far East. Geologically the region is on the border of the Pacific competent zone. Volcanic geomorphology of the region composed of volcanic cones, inclined plateau and lava table lands.

The Changbai Mountain Natural Reserve (CMNR) is centered by a volcanic summit at 2,749 meters above the sea level and has the largest protected temperate forests and the biodiversity in the Northeast Asia. The summit cups a crater lake with spectacular views and magnificent surrounding landscape. The CMNR was established in 1960 and admitted into the UNESCO's Man and Biosphere Program in 1980. The climate and terrain conditions support four distinctive vertically distributed vegetation zones. The needle- and broad-leaf mixed forest zone is distributed between 700 and 1,100 meters. The dominant tree species include Korean pine (*Pinus koraiensis*) and temperate hardwoods such as aspen (*Populus davidiana*), birch (*Betula platyphylla*), basswood (*Tilia amurensis*), oak (*Quercus mongolica*), maple (*Acer mono*) and elm (*Ulmus propinqua*), among others. The evergreen coniferous forest zone is distributed between 1,100 and 1,800 meters with dominant species of spruce (*Picea jezoensis*, *Picea koreana*) and fir (*Abies nephrolepis*) that form the "dark" coniferous forests, and larch (*Larix olgensis*) and Changbai pine (*Pinus sylvestris* var *sylvestriiformis*) that forms the "bright" coniferous forests. Between 1,800 and 2,100 meters distributes the zone of subalpine birch (*Betula ermanii*) forests with other species such as *Larix olgensis*. The Alpine tundra zone is distributed between 2,100 and 2,600 meters with representative species such as short Rhododendron shrubs (*Rhododendron chrysanthum* Pall) and *Vaccinium uliginosum* L. This unique and distinctive vertical zonal pattern of vegetation and the ecosystems showcase a condensed configuration and composition of temperate and boreal forests found across the Northeast Asia.

Socioeconomic development, aggressive logging, intensified urban and agricultural

land use, demographic change and pollutions through air and water systems accelerate the degradation of natural resources of this region. Human-induced land use and resource change and the uncertainties from potential volcanic eruption and climate change threaten ecosystems of this very unique geographic entity. The CMNR and adjacent lands have been a focus of scientific research in terms of ecosystem structure, function, service, biodiversity and ecological security, among others.

序

长白山地处欧亚大陆东岸,主体在中国东北境内,北连俄罗斯远东的锡霍特山地,向东南进入朝鲜半岛并成为其地理单元的骨架。太平洋季风气候的影响,山体的屏障作用,地形因素的制约等对长白山自然景观的形成起到了主导作用。由于地形、气候、水文等因素的共同影响,长白山火山锥体区的植被和土壤呈明显的垂直带状分布,拥有中国温带乃至东北亚地区谱系最多的山地垂直带系统。长白山是松花江、鸭绿江和图们江等国际河流的源头。长白山景观空间广大,生态廊道跨国连接。朝鲜半岛居民在近代跨国迁移,与同时期在中国东北地区开拓的中原居民形成了地域性的人地关系。

长白山被视为东北亚地区最重要的生态屏障,其主要的生态安全问题包括森林资源变化、全球气候变化和人类活动的生态响应、生态安全的指示性生物物种的变化、国际地缘主要动植物物种的生态安全、火山地震活动以及其他潜在灾害风险。国际河流的水资源与水环境是影响国际关系的焦点问题。

中国现代对长白山的科学研究始于1950年代。东北师范大学对长白山地理系统的研究已经有60余年的历史和雄厚的科学积累,研究内容涉及区域开发、环境生态和地理系统的各个领域,具有坚实的研究基础和系列化的研究成果。例如在20世纪50年代便与当时的苏联专家首次共同开展了对黑龙江—松花江流域的地理科学考察。黄锡畴、刘德生、李桢先生于1959年在《地理学报》发表了关于长白山北坡自然景观带的论文。从1970年代开始研究图们江的水环境问题,并设立了国内最早研究长白山地区环境问题的科研机构。1980年代初期在国内首次编印了《长白山地理系统论文集》第一集(1956~1981),既本书的内部发行版。1990年代,东北师范大学首先提出了对图们江地区国际合作开发的研究。1997~1999年完成了国际合作课题《图们江地区经济地图集》,是国际社会首次对图们江和长白山地区自然环境和社会经济信息的综合整理。同期与联合国开发项目(UNDP)合作完成的“图们江地区国际物流预测”对地区开发有关的数据进行了系统的搜集与整理。2001~2002年与全球环境基金(GEF)合作完成了图们江地区国际交通走廊、城市化地区与生态环境关系、图们江地区跨国界保护区可行性的研究,完成了国际地区生物多样性的研究。近年完成了“东北地区100年土地利用/土地覆盖变化及其生态环境效应研究”等一些涉及东北问题的重大课题,为深入研究长白山的资源与环境演变,人地关系耦合的变化响应提供了前提条件。

科学在进步,手段在更新,环境在变化。为了强化和深化对长白山地理系统的研究和人才队伍建设,东北师范大学于2007年底启动了题为“长白山国际地缘生态安全与数据集成”的科技创新平台。该平台采用了多学科和交叉学科综合的创新科技手段,地面调查研究与遥感观测、GPS定位、地理信息系统数据集成的方法,结合对宏观地理系统及其微观组成的研究,探索长白山地理系统的历史成因、景观现状、动态演变过程、人类活动

干扰，及其在全球和区域尺度的相互作用关系和规律，以完善关于长白山地理系统研究的理论和方法，为国际地缘生态安全提供理论研究和实践管理的科学基础和依据。

为了坚持对长白山地理系统科学研究的长期性和系统性，总结东北师范大学对长白山地理系统研究的历史，利用科技创新平台的工作机会，我们组织出版关于长白山地理系统研究的系列论文集专著。原内部发行的《长白山地理系统论文集》第一集（本书）总结了东北师范大学 1956~1981 年间关于长白山地理系统科学研究和考察的历史记录。本着温故而知新的原则，我们整理出版该论文集，并以此作为本系列专著的第一辑。

此论文集唤起了我们对科学前辈们的景仰和敬意。本文集原编委会和文集集中的许多论文作者，都是我们的老师，已经永远的离开了我们。在论文集的整理过程中，我们看到的是东北师范大学关于长白山地理系统研究的历史和传统，我们感受到的是老师和前辈们的精神、鼓励 and 希望，我们面临的是对长白山地理科学研究的机遇和挑战。

限于当时的社会背景和科研条件，本论文集集中的论文尚存在不尽人意之处。但是为了尊重历史，如实反映我们对自然界认识不断前进的过程，经征求原编委会先生们的意见，我们采取按照原文排印出版的原则，除各别明显文字错误外，并未对原论文进行修订。个别论文中的插图因年代太久，原图模糊不清，不得已而重新绘制或略去。愿本专著文集的出版铺就我们关于长白山地理系统研究的基础，使我们科学研究工作的历史得到记载、科学研究的方向得到继续、科学研究的思想得到传承和发扬。

王野乔 吴正方

前 言

“作出新发现时感到的快乐，肯定是人类心灵所能感受的最鲜明而真实的感情”，“搞科学工作既要广泛吸取前人的经验，那就必须占有充分的资料”。科学家的名言，启示我们去发现，去占有充分资料。

长白山是我们伟大祖国的骄傲，人们常以“白山黑水”赞美东北的壮丽山河，长白山占其首位，它有 2 691 m 的东北第一高峰，它以白色浮石和九个月的积雪而著称，世世代代的汉族、满族和朝鲜族以及其他少数民族，勤劳勇敢地经营了这片土地和森林，养育了中华民族的优秀儿女。

长白山的雄伟地势，是地理环境长期发展演化的结果，在喜马拉雅造山运动以前，还是一块准平原，到了距今约 1 200 万年以前的更新世至上新世，因断裂隆起并喷溢出大量玄武岩，形成了高位玄武岩台地，这个台地又经过火山运动，形成了长白山天池为主要火山通道的火山锥。距历史记载最近的三次喷发为 1597 年 8 月、1668 年 4 月和 1702 年 4 月。最后一次喷发距今 279 年，目前还是个休眠的活火山。

1960 年国家在长白山建立了自然保护区，以保护丰富的动植物资源及比较完整的自然环境和生态系统，并开展了综合性的研究工作。长白山树木参天，树种繁多，素有“长白林海”之称，蕴藏着许多珍贵稀有的鸟兽和名贵药材，“东北三宝”就盛产于此。它独特的地质地貌，气候、土壤、动植物的分布，构成了典型的温带季风山地自然综合体，是一座天然的博物馆，也是风景绮丽的游览胜地。1979 年，《人与生物圈计划》国际协调理事会决定，长白山为国际生物圈保留地网组成部分，并在此建立了森林生态系统研究定位站。长白山自然保护区，这个举世稀有的自然宝库，它将为全人类的子孙后代造福。

长白山蕴育着丰富的自然资源，人们长期以来不断地去发现，去认识，去利用，去改造，但就目前来看，人们对长白山的认识，还处在一个必然王国的阶段，急待人们去探索研究长白山地理环境的形成、演化的规律，进而提出合理利用自然资源、改善与控制自然地理过程使其为人类造福，这就是我们研究长白山的目的。

东北师范大学地理系对长白山的研究断断续续已有二十几年的历史。“四人帮”割断了这段历史，党的三中全会和六中全会精神鼓励我们继续前进，为祖国的社会主义四个现代化作出新贡献。现在组织起来，重整旗鼓，运用现代科学技术，向长白山进军。

《长白山地理系统论文集》第一集是我系既往研究成果的汇编，虽然对长白山的研究还很不完整，很不系统，只是些零星的基础性材料，但它是向长白山进军的新起点，随着研究工作的深入，将继续编辑出版，供科研与教学参考。希望得到地理学界同志们的支持。

编 者

目 录

1. 长白山高度冰缘地带的地貌组合	肖荣寰	胡俭彬	1
2. 长白山火山地貌的卫片解译与分析	李继强	肖荣寰	5
3. 长白山地貌图的内容与表现方法	肖荣寰	胡俭彬	12
4. 长白山的气候特征及北坡垂直气候带	杨美华		17
5. 长白山温泉谷地小气候	李栖筠		27
6. 长白山人参气候的综合评价			
——模糊贴近度与模糊评判在人参气候鉴定中的应用	杨美华	刘蕴薰	39
7. 长白山区人参栽培气候条件的初步分析	刘蕴薰	杨美华	45
8. 第二松花江源头区水文特征	杨秉庚		50
9. 长白山北麓水化学本底值分布模式	杨秉庚	李惠明	59
10. 吉林省东部沼泽的类型及其农业利用	柴 岫	郎惠卿	
	金树仁	祖文辰	
	张则有	马学慧	70
11. 长白山山地苔原土的形成及其剖面性状	陈淑云		80
12. 长白山无林带的冰缘环境与土壤发育	张 一		84
13. 长白山北坡各垂直带的典型植被调查报告	钱家驹		89
14. 长白山产的新植物	钱家驹		116
15. 长白山蕨类植物垂直分布名录(增订)	钱家驹		126
16. 中国东北兔儿伞属 <i>Cacalia</i> L 植物的分类地理学初步研究	钱家驹		133
17. 长白山上岳桦林的调查研究	钱家驹		143
18. 对长白松的初步研究	钱家驹		158
19. 如何划分长白山的垂直植被带	钱家驹		168
20. 对开蕨属首次在我国发现	钱家驹		173
21. 长白山高山冻原植物的调查研究简报(1)	钱家驹	张文仲	175
22. 长白山西侧中部森林植物调查报告	钱家驹		184
23. 长白山的植物地理	郎惠卿	李 祯	202

24. 长白山鸟类及其垂直分布	陈 鹏	209
25. 人类开发活动对鸟类的影响		
——长白山二道白河附近鸟类组成和数量的变化	陈 鹏	226
26. 长白山北坡森林生态系统土壤动物初步调查		
.....	张荣祖 杨明宪 陈 鹏 张庭伟	232
27. 长白山北坡针叶林带土壤动物调查	陈 鹏 张 一	250
28. 长白山北侧的自然景观带	黄锡畴 刘德生 李 楨	255
29. 关于专题卫星影像地图和地图集的编制实验	张力果	266

长白山高度冰缘地带的地貌组合

肖荣寰 胡俭彬^①

—

长白山的主峰位于北纬 42°, 东经 128°附近, 海拔 2 700 m 左右。它雄伟地矗立在中朝两国的边界, 是我国东北最高的山峰。

长白山是一座在人类历史上有过多次活动的高大的火山, 其地形轮廓可分为熔岩高原和火山锥体两大单元。

熔岩高原由火山锥体的坡麓向四周缓缓倾斜, 其高程在北坡由 1 200 m 逐渐降到 600 m 左右, 全长约 50 km, 在南坡由 1 600 m 逐渐降到 1 000 m 左右, 全长约 60 km。熔岩高原的周围, 群山峥嵘, 海拔多在 1 000 m 以上, 明显高出熔岩高原的边缘。因此, 由高原向四周遥望, 常不觉身在高原, 倒恰似群山环抱的一个熔岩盆地。高原熔岩以第三纪晚期的喷溢为主, 即所谓军舰山玄武岩。熔岩地面的坡度一般在 1°~3°左右。在平缓的高原面上, 发育着幼年期河谷, 并偶尔见有岛状孤山平地突起。这种岛状孤山或为较小的火山锥体, 或为由较老岩系组成的不曾被高原熔岩淹没的突兀的山峰。

火山锥体矗立于熔岩高原的中心。大致由 1 200 m 左右以上地势明显隆起。在 1 200~1 800 m 之间可谓坡麓地段, 这里的坡度一般在 5°~10°左右。1 800 m 以上逐渐过渡为陡坡地段, 坡度一般都在 15°以上。火山锥顶有一巨大火口, 蓄水成湖, 名曰长白山天池(中朝界湖)。长白山天池东西长 3.5 km, 南北长 4.5 km, 水面海拔 2 188 m, 最大水深达 300 余米。天池周围, 环绕耸立着十几座山峰, 峭拔陡峻, 巉岩裸露, 其高都在 2 500 m 以上。1 800 m 以上的火山锥体主要由中更新统的碱性粗面岩即长白山组构成。山顶披覆着灰白色浮岩或灰黑色凝灰角砾岩, 即全新统冰场组火山堆积。在冰场组堆积期间, 还曾有大量的火山灰向四周飘散, 由于风向的影响, 火山灰在山体的东北侧堆积较厚。

长白山由于地势高峻, 气候和生物土壤都具有明显的垂直带性。1 200 m 左右以下的熔岩高原属针阔混交林带, 这里年平均温度在 0℃以上; 1 200 m 以上的火山锥坡麓地带, 属针叶林带, 年平均温度在 0℃左右; 1 800~2 000 m 的狭窄地带为岳桦林带; 2 000 m 左右以上明显地过渡为无林的高山苔原带。根据长白山天池气象站(2 670 m)的观察资料, 这里年降水达 1 400 mm, 一月份平均气温 -24℃, 七月份平均气温 8.5℃, 年平均气温 -7.3℃。如取气温的高度递减率为 0.6℃/100 m, 那么年平均 0℃线在 1 500 m 左

^① 【作者单位】东北师范大学地理系。

右, 约当暗针叶林的下界。2 600 m 以上的山峰, 一般寸草不生, 岩石尽裸, 呈高山寒漠景观。这里每年日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的初终期间在三百天以上。

如果亚洲东部现代纬度冰缘带的南界大致划在北纬 48° 左右, 那么长白山, 特别是在林线以上, 从其气候环境来说, 显然具有现代高度冰缘带的性质。火山作用奠定了长白山山体的基本轮廓, 冰缘环境下的外力作用则使这座火山明显地打上了气候地貌的烙印, 冰缘营力目前只是塑造了这座火山锥体的无数个细节, 但是由于这是一种遍布山体的塑造, 因此它自然地又具有了典型的中纬度高寒冰缘山地的面貌。

二

一般认为, 融冻作用是冰缘地区的主导地貌营力。然而, 由于气候地貌条件、原始地面形态和地表物质的差异, 不同冰缘环境下往往有不同的冰缘营力组合和不同的地貌组合, 融冻作用也有各种各样的表现。

在长白山的现代冰缘营力中, 起主导作用者应首推寒冻风化, 因为地面碎屑的移运和地面形态的演化, 都明显地制约着这种风化物质的特性。

关于寒冻风化, 特里喀尔 (J. Tricart) 曾划分为巨型寒冻风化 (粗粒岩屑化) 与微型寒冻风化 (细粒岩屑化) 两大类型。前者形成致密岩石的巨石碎块, 后者则形成细微的粉质颗粒。巨型风化的斜坡, 以重力作用为主, 斜坡比较陡峻, 微型风化的斜坡, 泥流作用发育, 斜坡大多平缓。

长白山由于火山岩极为发育的节理, 大大地促进了这里的巨型寒冻风化 (粗粒盐屑化) 与微型寒冻风化 (细粒盐屑化) 两大类型。前者形成致密岩石的巨大碎块, 后者则形成细微的粉质颗粒。巨型风化的斜坡, 以重力作用为主, 斜坡比较陡峻; 微型风化的斜坡, 泥流作用发育, 斜坡大多平缓。

长白山由于火山岩极为发育的节理, 大大地促进了这里的巨型寒冻风化。据访, 在火山口内壁有时会听到岩石劈裂的响声, 这种现象不妨称做“鸣石”, 这在许多高寒冰缘山区并不罕见。由风化碎石组成的倒石堆, 在陡峭的岩壁之下, 几乎比比皆是, 并常连成倒石堆积, 其表面坡度多在 40° 左右, 较陡处可达 50° 。规模较大的倒石堆, 高度可近百米, 其上更有悬崖峭壁, 岩柱耸峙, 甚为壮观。

强烈的巨型风化与河谷地貌发育有着密切的关系。如二道白河, 源自长白山天池, 在距天池约 1 km 处, 突然形成一个落差达 68 m 的瀑布。瀑布下为一谷坡峭立的箱形河谷, 其平面轮廓亦呈 U 形, 宽、高均在 300 m 左右。有人认为这种箱形河谷是冰川槽谷, 其实, 除了其横剖面的槽形特征之外, 并无其他冰川作用的痕迹。实际上, 二道白河的源头原系一沿多组断裂构造开析出来的峡谷, 由于原始地面落差甚大, 水流以极大的能量向下掏蚀, 待由构造控制的具有箱形特征的峭壁一经形成, 便开始了强烈的巨型风化和岩屑崩落, 由于倒石不断地被河流携去, 峭壁也不断地后退, 遂使河谷源头出现箱形扩张的局面, 这种箱形扩张的宽度视地面高差和河流搬运的能力而定。目前, 由于地面构造上升, 河床已进一步切入基岩, 因此大部分倒石堆已得到了一个暂时稳定的坡脚。

应该特别指出的是, 这里河谷的谷底, 常有巨大的块石, 或孤立或堆叠, 其长径可达数米, 而表面形态又每每十分浑圆, 这种巨石是常态流水难以搬运的, 因为直径 2 m 的砾石, 其推移临界流速要在 9 m/s 左右, 这已是自然界中十分罕见的流速了。它也并非什

么冰川的“漂砾”，因为周围并无其他冰川遗迹为佐证。这实际上是一种残留下来的孤立的倒石。由于谷坡的后退，倒石被遗留在远离基坡的谷底，其中较小的碎石被流水侵蚀殆尽，只有较大的块石残居下来。

在长白山顶，由于原始地面崎岖陡峭，虽然巨型风化甚为发育，却不见大片石海。在那些稍为平缓的坡段，由于营力组合的变化反倒出现了细粒风化。这里有苔原植物被覆，水分条件较好，块体移动明显减慢，化学风化得到了不同程度的发展。在这种以细粒风化为主且原始地面比较平缓的条件下，相应地出现了不同的地貌过程和地貌形态。

首先，由于地面颗粒较细，片状流水发挥了明显的作用。冰缘区的片蚀往往不被人们注目，倒是泥石流作用常常被人们过分地夸大了。实际上，地面冻结并不减弱而是加强了这里的片蚀一坡移作用。长白山降雨集中，年暴雨日可在三天以上，暴雨下的片蚀就更突出了。

在地表细粒风化的基础上，表土含水量显著增加，这就大大增强了融冻蠕流作用（包括泥流与草皮蠕动）。目前，在欧洲高度冰缘带的研究中，有人认为泥流形态分布的下界即为冰缘现象发育的下界（H. Peter, 1977）。在长白山北麓，泥流主要见于气象站公路上的无林苔原地带，地面坡度在 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 左右，分布并不连续。较大的蠕流阶坎高 30 cm，长宽 1 m 左右，但高几厘米、长宽几十厘米的微型阶坎更为普遍，其相互交错就像坡地上的一身鳞片，由于草皮蠕动，连续的苔原植被被扒裂开来，裸露的部分在雨季再遭冲刷，于是便使这种“鳞片”更加突出醒目。泥流规模较小，无疑与疏松风化物质较薄有关。

细粒风化与雪蚀作用亦有密切的关系。在雪盖环境下的风化往往也产生了大量的粗粒碎屑，但这种粗粒碎屑很难大规模地被搬离原地，只有那些细粒物质才可能经常地被融雪水携去。在崎岖不平的坡地上，一些裸露岩体的基部，由于积雪较多，寒冻风化和化学风化均较强烈，随着融雪水不断地将风化碎屑带走，这里便形成了一个龕状凹穴。这种雪蚀龕横向深度可达 1 m 以上，犹如流水侧方掏蚀而成的凹穴。由于凹穴加深，上部岩体会因失去支撑而崩坠垮落，造成倒石。接着，在新暴露的裸岩的坡脚，还会形成新的岩龕。这种现象在山体北坡主要见于 1 500~1 600 m 左右的山麓或崎岖不平的剥蚀阶地的表面。

在气象站以下 1 800~2 400 m 左右的北坡上见有一系列高夷平阶地，阶地的前缘大多亦有这种雪蚀岩龕。这说明雪蚀对于高夷平阶地的形成起到了不可忽视的作用。这里的高夷平阶地相对高度为数米至数十米，一般很少连续成片，而是一阶一阶自下而上呈叠瓦状分布。有人曾将其解释为不同时期的熔岩先后叠置而成，其实也不无道理，只是阶地的前缘并非就是熔岩流的前缘。应该说，融冻风化、雪蚀作用以及融冻蠕流等，只是适应了这里多层熔岩的层面的弱线，但它们远远地改造了原始熔岩构造的面貌，这种改造使它完全具备了高夷平阶地的特征。因此可以说，它是在特殊的岩性、构造与自身形态的基础上，由多种冰缘营力塑造而成的。

长白山上部冬季积雪甚厚，一年内积雪深 ≥ 30 cm 的初终期日数达 285 天。由于地形复杂，风力较大，积雪并不均匀，因此雪蚀作用各处亦有明显差异。除形成上述雪蚀岩龕和高夷平阶地之外，在 2 400~2 500 m 左右背阴的北坡，夏季可见多处规模不大的雪斑，雪斑的下面发育有典型的围椅状雪蚀洼地，其长宽一般仅数十米，围椅背后斜坡较缓，更无尖耸的角峰，洼地出口则为融雪水的通道，而无明显岩槛。有些雪斑可能越年，这种越年雪斑处于普通积雪与冰川的中间形态，十分明显，它们集中于海拔 2 400~2 500 m 的高