

# 融冻作用与砂金形成及探采关系<sup>①</sup>

Correlation of Freeze-thaw Action to the Formation and  
Exploration of Quaternary Gold Placers

王春鹤 张爱新 李凤华 王瑞山 张宝林

(中国科学院长春地理研究所自然资源室)

**提 要** 本文以大小兴安岭为例。这里在地质历史时期冷暖交替, 季节变换的反复冻融过程中, 由于冰冻雪蚀、寒冻风化, 使含金地质体破碎、金离解, 为砂金提供大量碎屑物源; 在砂金形成过程中, 冻举、冰雪融水洪流、冻融分选、融冻泥流、雪积扇、石河等冷生作用, 对砂金碎屑物的搬运、分选起重要作用, 雪蚀、融冻与流水、重力等应力叠加作用, 在时间上相互交替, 在空间上相互接力传递, 有助砂金形成; 多年冻土保护砂金矿床免遭破坏, 对砂金探采有利亦有弊。

**关键词** 融冻作用 砂金形成 相互交替 接力传递

大小兴安岭位于中国东北边陲, 区内各地貌类型齐全, 但以丘陵低山为主, 兴安期、布西期夷平面、巨厚风化壳广泛发育。该区属黑龙江水系, 其主要支流有嫩江、呼玛河、额木尔河。土壤主要为棕色针叶林土、冰冻沼泽土等。主要植被为兴安落叶松、樟子松、白桦。本区属寒温带大陆性季风气候区, 极端最低气温 $-52.3^{\circ}\text{C}$ , 冻结期长达7—8个月, 年均温 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ , 气温年较差 $41.8\sim 53.5^{\circ}\text{C}$ 。积雪深厚, 一般雪深30—40 cm, 吹雪雪堆, 雪岭厚达0.8—1.5 m, 多年冻土广泛分布, 年降水400—500 mm。属现代冰缘环境, 现代冰缘景观和古冰缘现象普遍而广泛。

## 1 冰冻雪蚀和寒冻风化促进含金地质体碎解

不同的矿物、岩石其导温、热容量、热胀冷缩率等热应力指标大不相同, 在长期温度变换, 反复多次冰冻作用下, 土石形成的热应力大于其本身张应力强度时, 便形成寒冻风化裂隙, 劈裂着坚固的顽石, 特别是沿节理层理、裂隙而渗入的水结冰时, 冰比同体积的水增大9%, 便产生很大的冻胀压力。水冻结期间限制冰晶体完全不允许膨胀时, 其体积膨胀压力(冻结时温度为 $-22^{\circ}\text{C}$ ), 可达 $2115\text{ kg/cm}^2$ (Цытович, 1973)。在温带地区, 冰冻和水对岩石孔隙壁上所施加的压力可达 $960\text{ kg/cm}^2$ , 先后测得土冻结时的法向冻胀力达到 $50\sim 60\text{ kg/cm}^2$ (童长江, 1983)。这种强大的冰冻压力和冻胀力,

<sup>①</sup>参加工作的还有淳于树菊、刘福涛、赵焕晨、王德斌、鲍强、周朝华、韩哲。

可以破坏任何坚硬的岩石。特别是昼融夜冻季节, 冰雪融水、降水, 白昼渗入到各种微细节理裂隙中, 夜间冻胀, 产生强大的冰劈力, 劈裂着岩石, 使得含金地质体碎裂成碎块, 经地质历史时期的反复冻融下的物理、化学风化含金碎屑物源。区内由于这种作用形成的冰缘冷生地质生成物有: 寒冻山原阶地、冰缘岩屑堆、石海、石条、石流等, 大大促进含金地质体的破碎、离解, 为砂金的形成, 提供大量碎屑物源。

区内积雪时间长达5—6个月, 积雪深厚, 个别积雪洼地、吹雪雪堆、雪岭, 厚达0.8—1.5 m以上。雪从降落到积存, 随着时间延长, 渐渐密实, 密度逐渐增大, 现场实测由初雪密度的 $0.2 \text{ g/cm}^3$ , 渐增到 $0.3—0.5—0.6 \text{ g/cm}^3$ , 春融期渐渐融化, 重结晶, 加上融雪水渗浸, 积雪密度剧增至 $0.7—0.8 \text{ g/cm}^3$ , 渐变成粒雪冰(表1)。粒雪冰

表1 现代冰缘环境下, 多种外营力作用在时间上相互交替关系

项 目	深秋	初冬	严冬	早春	春	初夏	夏、秋
	9月下旬— 10月初	10月中— 11月	12月—翌 年2月初	2月中— 3月中	3月中— 4月初	4月中— 下旬	5月— 9月
积雪状况	不稳定	薄层积雪	雪盖加厚 吹雪雪堆	雪面初融	积雪融解	融水浸 渗消融	降 雨
积雪状态		絮 状	粒 状	密实、 粒雪	粒雪冰	雪 冰	流 水
积雪容重 ( $\text{g/cm}^3$ )		0.18—0.22	0.2—0.33	0.3—0.4	0.4—0.53	0.5—0.81	1.0
地表冻 融方式	偶尔冻结	夜冻、昼融	稳定冻结	偶尔融解	昼融、夜冻	稳定融化	融深加大
水分运 移方式	地表蒸 发、下渗	微蒸发向冻 结面迁移	向冻结面迁 移、聚冰	初融雪 水下渗	融雪水下 渗、蒸发	下渗、表 流、蒸发	表流、下 渗、蒸发
作用结果	蒸 干	冻胀、 冻裂	冰劈、雪 蚀、冻胀	轻微融蚀	融 蚀	冰雪融水 片流潜蚀	流水冲蚀

如同冰川冰样的刨蚀, 挖掘下伏岩石, 加之冰雪融水片流侵蚀、溶蚀作用, 形成许多半圆形、椅子圈形、簸箕形的雪蚀槽谷, 雪蚀洼地, 或嵌入山脊之间, 或悬于半山腰上, 其下方相应的常伴有扇形, 冰雪堆积扇等, 成为砂金输送的有利通道, 并提供大量含金碎屑物源。这种独特的冰缘地貌景观, 该区很普遍。

总之, 在漫长的地质历史时期中, 由于上述冰冻雪蚀、寒冻风化及重力等综合作用, 加速含金地质体的破碎, 金的离解作用, 形成冰缘冷生含金碎屑物, 为砂金补给大量物源, 促进砂金的形成。

## 2 融冻及冰雪融水洪流促进砂金碎屑物的输送

表层土石因其物质成分、粒度、含水性的差异, 致使其热学性明显差别, 在反复冻融过程中, 所形成的冻胀和融沉量大不相同, 便产生不均匀的位移, 并重新排列组合。这种冻融分选作用结果, 便在地表形成石河、石环、多边形斑土、石条等冰缘冷生微地

貌景观。尤其是在坡面冰雪融水参与下,石河运移速度较快,曾观测到在1987年大兴安岭森林特大火灾后仅4年,因坡面冰雪融水洪流与冻融推举共同作用下,许多石河块石,冲到被火烧毁的树墩上,不均匀冻举,使块石裸出地表,将火烧后枯杆攻倒。这种冻融分选,不均匀冻举,对砂金碎屑物的分选,坡面运移和输送起着很大作用,如大林河中型砂金矿床内203<sup>#</sup>勘探线A端,宽30—40m的石河,将含金碎屑物输送河床内,直接为河流输送砂金物源。

坡面上某一土、石颗粒,当冻结时伴随着地面冻胀,受冻胀力的作用,垂直坡面向上冻胀起某一微小高度,而当融化时,该颗粒受重力作用,而铅直下落,在这一冻融过程中,该颗粒便顺坡向下蠕动了某一微小的距离,在地质历史时期内的反复融冻作用下,土体结构变得松散,则缓坡上的土体,沿着湿润的融化面或多年冻土上限(王春鹤,1982),顺坡向下蠕动、揉皱,形成融冻泥流或融冻泥流阶地。融冻泥流在剖面上呈砾石、碎石与砂、土、粘泥、淤泥质古土壤等混杂堆积,砂石泥砾相互镶嵌,穿插。融冻泥流,如同揉面样,黑、黄、褐杂色土、石、泥砾相互揉皱,掺合在一起。曾测定融冻泥流绝对年龄 $15\ 830 \pm 243$ — $36\ 400 \pm 4\ 900$  a B. P.恰与该区内砂金形成时代对应相当。说明古冰缘环境下,融冻泥流补给砂金物源。大林河砂金矿区78线B端附近的融冻泥流,已顺坡蠕动着越过河谷一级阶地,爬伸到高河漫滩上,有的部位已蠕动着到河床岸边,为河流输送砂金碎屑物源,供给河流冲刷、搬运、淘洗,这比单纯坡积物的坡面运移速度要迅猛得多(表2)。

表2 融冻冷生地质作用在砂金形成过程中的作用

砂金形成过程、阶段	以往一般性意见	融冻冷生地质作用(补充)
物源准备阶段	主要外营力:水分、风、生物、海浪、冰川	(1) 冰冻、雪蚀、融冻作用所产生的强大冰冻压力,冻胀力,冰雪刨蚀、挖掘,及其相应的冷生物
含金碎屑物坡面迁移输送阶段	主要搬运动力、介质:重力、水流、冰川、冰川-冰水、风	(2) 冻融分选:石河、石流等为载体; (3) 融冻作用:融冻泥流,融冻滑塌等为载体; (4) 冰雪融水片流、雪积扇等为载体
砂金搬运、分选、淘洗、富集成矿阶段	主要动力:河流流水	(5) 冰雪融水洪流形成桃花水春汛
砂金矿体掩埋保存阶段	沉积物堆积掩埋	(6) 多年冻结,保存矿体免遭破坏

由于人为和自然等因素,一旦破坏了多年冻土原有的自然热均衡状态,使富冰冻土特别是地下冰发育的坡角失去均衡,则在坡坎处,融化了的冻土,呈大块突然坍塌、堆塌,这种热融滑塌,其发展速度,比融冻泥流还快多少倍,直接为砂金输送碎屑物源。如大林河砂金矿区94—102线间,由于路边取土,破坏了边坡稳定性和热均衡,仅3年多时间,形成的热融滑塌宽4—5m,断续延长数百米。

积累整个冬季的降雪厚30—40cm,有的吹雪雪堆、雪岭高0.8—1.5m以上,在春季骤然转暖的几天里彻底消融,当时林下植被尚未萌发,地表裸露无阻,便形成较强的坡面洪流,强烈的桃花水春汛,对坡面冲蚀力比盛夏的大暴雨还要强烈。在现场观测:

一场春融雪水,在较为集水的裸露坡面上,冲蚀沟深20—30 cm,在其坡角下方形成长十余米的小型冰雪融水洪积扇。这种冰雪融水洪流,将含金碎屑物顺坡向下冲蚀迁移,有的直接输送至河床,为河流补给大量含金碎屑物源。

综上所述,冰冻、冻胀、冰劈、雪蚀、冰雪刨蚀挖掘、冻融分选、融冻及冰雪融水洪流潜蚀等应力叠加作用及其相应的各种冰缘冷生物,在砂金形成过程中的各个阶段,无论是在砂金物源粉碎,金的离解;还是使含金碎屑物源补给,沿坡面迁移输送,乃至搬运、富集成矿及多年冻结保存砂金矿床免遭破坏等方面,都具有重要的作用(表2)。

### 3 在砂金成矿中多种应力在时间上相互交替

(1) 地质历史时期的冷暖相互交替:在砂金形成的漫长地质历史时期内,仅第四纪以来,古气候就曾多次冷暖交替变换,在相对寒冷时期内,冰冻、冰劈、寒冻风化、雪蚀等作用占主导地位,有利于含金地质体的粉碎、金的离解,所形成的石海、寒冻岩屑堆、雪积扇等,为砂金形成储备了充足的碎屑物源。所形成的石河、融冻泥流,石环、融冻滑塌等冰缘冷生物,成为含金碎屑物坡面运移的重要介质和输送载体。而到了相对温暖期,气温升高,冰雪融化,强大的冰雪融水洪流,形成坡面片蚀、侵蚀、搬运作用等占主导地位,把寒冷期储存的含金碎屑物,运送到河床。

(2) 一年内季节性冷暖变换:除了古气候的冷暖交替之外,本区1年内尚有明显的季节性冷暖变化,严寒的冬季,负温达-40—-50℃,冰冻、冰劈、雪蚀、冻胀作用相当强烈,严冬过后,大地回春,积雪消融,冰雪融水片流、洪流潜蚀和融冻泥流等作用增强,继之夏日来临,降雨代替了降雪,接替的是流水占主导作用(表1)。

(3) 日较差致使昼融夜冻相互交替:该地区年平均日较差达48.4℃,1年内有近3个月气温在0℃上下波动,强大的日较差,使得昼夜正负温强烈变化,昼融夜冻相互交替,迫使地表土、石反复多次冻融,尤其是土石中自由水体白天融化,渗透到细微的节理、裂隙中,夜间冻结成冰体,产生强大的冰劈力和冰冻压力,劈裂着岩石,粉碎含金地质体。

### 4 在砂金成矿中多种外营力在空间上接力传递

经多年砂金资源勘查和研究,我们认为,河谷砂金矿形成过程中,从山脊、坡地到河谷,可分为砂金粉碎、离解的物源补给区,含金碎屑物坡面迁移输送区和砂金搬运、淘洗、分选沉积区。与砂金形成有关的各种应力的叠加作用,从上至下是相互接力与传递的(图1)。

砂金物源补给区内,在冰冻、雪蚀、重力作用下,冻胀、冻裂、冰冻劈裂、冰雪刨蚀挖掘,使含金物源体破碎,促进金的离解,形成的寒冻岩屑堆、石海、雪积扇等相关冷生地质生成物,成为砂金重要的补给源,并将其向下传递到迁移输送区。在物源迁移输送区内,在冻融分选、冰雪融水洪流、融冻作用下,融冻泥流、雪积扇、融冻滑塌等

好。经多次剥离预融试验, 平均融深 1.8—2.5 cm/d, 比自然融深增加一倍多。

(5) 该区一般谷地内, 往往是沼泽与多年冻土伴生, 每当夏秋季节融化层加大, 融解了的沼泽湿地难以通行, 探金者们只好在初春将钻具、装备、给养和勘查人员一并运进去, 在深山幽谷里工作大半年, 待等冬季结冻后, 人员机具方能撤离。

(6) 至于该区内的道路翻浆、冻害、雪阻、涎流冰、桥梁冻毁, 采金场工业民用建筑物冻害等不良冷生地质现象, 不胜枚举。

### 参 考 文 献

- 王春鹤, 1982. 大兴安岭北部多年冻土上限和地下冰. 见: 中国地理学会冰川冻土学术会议论文选集. 北京: 科学出版社, 31—37
- 童长江, 1983. 风火山多年冻土地区季节融化层冻结时法向冻胀力. 见: 青藏冻土研究论文集, 北京: 科学出版社, 87—92
- Цытович Н А, 1973. Механика мерзлых грунтов. М., Выстая школа, 7—92