

冻结砂金矿自然解冻和开采方法的研究^①

高 敏 童伯良 林经芳 张齐兵

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 730000)

提 要 本文介绍了在砂金矿开采中应用冻土热学的研究情况。以斯蒂芬公式为融化深度的解析形式, 用野外观测资料确定系数 K 。在计算和观测结果的基础上预报融化深度并作出诺模图; 提出超前剥离与轮流开采相结合的生产方法, 探讨逐层剥离融化法最佳剥离时间选择的理论依据并作了实验验证。该生产方法取得了较好的经济效益。

关键词 融化深度 超前剥离 轮流开采

黄金矿的开采是关系国家经济发展的重要生产任务, 我国有些主要金矿处在寒冷的永冻土地区, 冻土影响到黄金矿的开采。在高品位矿区可采用大马力推土机采矿, 但对含金品位低的地区节约能耗降低成本成为关键性问题。在自然解冻期间合理布置场地、灵活机动开采, 借日光能源之利不需大量的劳动力和昂贵的设备, 即可延长开采期, 增加产量, 是一种经济简单的有效方法。前苏联在冻土地区采取各种措施延长黄金矿的开采时间, 而日照解冻为主要方法, 约占 78.9%(Balobaev, 1961)。我所受国家黄金局委托, 以某金矿为试验场地, 进行冻土地区自然解冻法采金的研究, 从 1989 年起展开工作, 经过理论分析、野外观测、现场试验取得了很好的成果。

1 融化的解析计算

目前, 关于融化深度的计算公式已超过 100 多个, 大致可分为四大类(刘铁良, 1983)。我们选用斯蒂芬近似解析公式, 因该公式把温度、融化时间、土质及含水量等主要参数都已包括在内, 能反映融深与温度及时间的关系, 而这些参数在现场易测量。以该公式为理论依据分析解冻过程, 解决金矿开采中的问题。斯蒂芬公式:

$$h = K \sqrt{\frac{2\lambda T\tau}{L(W - W_u)\gamma_d}} \quad (1)$$

上述公式中还有系数 K 待定。对任一特定冻土地区使用斯蒂芬公式计算融化深度之前, 应先确定 K 值。用反推法, 把各项实测值代入式(1)中算出 K (取多次平均值)。对某金矿地区, 经过测量和计算, K 取 0.7(表 1)。由表 1 可以看出, 当 K 取 0.7 时, 计算值与实测值比较吻合, 误差在 $\pm 15\%$ 之内。

^①本文于1993年6月21日收到, 9月28日改回。

表 1 某地区融深实测值与理论计算值的比较

Table 1 A comparison between the measured data and the calculated values of thawed depth

土质种类及 容重 (g/cm^3)		草 炭		砂 砾 石			
		0.2	0.18	1.58	1.58	1.32	
融 深 值 (cm)	融化 时间 1d	实测 (cm)	6	5.5	15	15	12.3
		计算 (cm)	6.5	5.3	14.6	14.6	11.9
		误差 (%)	8.3	-3.6	-2.7	-2.7	-3.3
	融化 时间 2d	实测 (cm)	8	7	24	17.5	
		计算 (cm)	9.2	7.6	20.7	20.7	
		误差 (%)	15	8.6	-13.7	15.4	

2 野外实验观测结果

通过现场冻土调查得到采矿区天然融深仅 0.5—2.2 m, 年平均气温 -4.4°C , 全年仅 5—9 月的气温在 0°C 以上。融化指数为 $1829.3^\circ\cdot\text{d}$, 而冻结指数为 $-3394^\circ\cdot\text{d}$ 。5—9 月总辐射量为 $59.7\text{—}69\text{ k cal}/\text{cm}^2$ 。从地表至基岩平均厚度为 5.5 m, 上覆土层约 2.5 m, 砂金层约 3 m。其中表土层 0.0—0.7 m, 砂质粘土 0.7—1.5 m, 砂砾石层 1.5—4.3 m, 风化基岩 4.3—5.5 m, 砂金含在砂砾石层和风化基岩中。

我们于 1989 年 6—9 月在第二采场的边坡建立一个观测场地, 进行剥离模拟实验, 观测地温变化, 同时还测定不同土质的含水量及容重。另外还对正在采矿的场地进行融深的观测(表 2)。

表 2 1989 年 6—9 月剥离后 1—2 天的融深观测值

Table 2 The observed data of thawed depth in 1—2 days from stripping, observed from June to September, 1989

土质种类		腐殖亚粘土		砂 砾 石	
融化时间 (d)		1	2	1	2
融 化 深 度 (cm)	5 月*	1—5	5	4	
	6 月	1—6	5—10	6—10	6—12
	7 月	7—14	9—17.5	10—18	13—24
	8 月	7—14.5	8.5—15	11—15	12—20
	9 月	2—4	3—6	7—8	12—13

注: * 为计算值。

利用实测数据及式(1)用计算机进行计算后,得到5—9月的融化深度并作出相应的诺模图。这些图可作为生产部门预报不同月份的融化深度之用,为剥离、采矿提供理论依据(图1)。图1中(a)为1天融化深度图;(b)为2天融化深度图;5,6,7,9为月份。

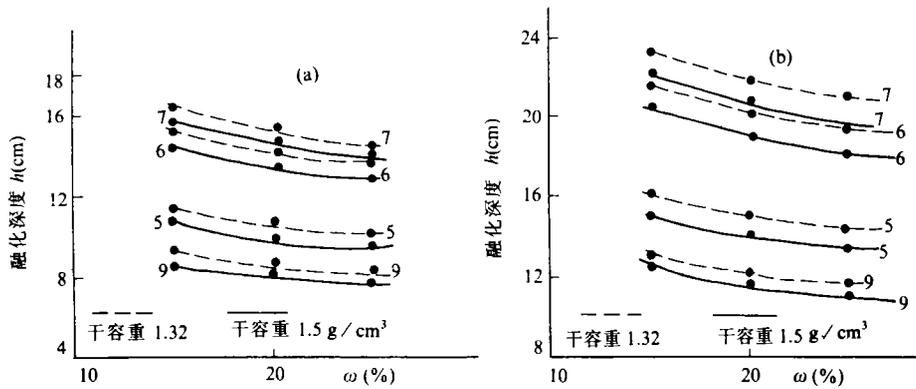


图1 不同剥离周期砂砾石层融深值与含水量的诺模图

Fig. 1 Thawed depth vs water content of sandy gravel in different time from stripping

3 开采方法的改进

针对目前我国冻土地区砂金矿产量低、开采方法简单的情况,我们将上述的研究结果直接用来分析冻结黄金矿的开采过程,提出了增加产量的两项措施。

3.1 超前剥离

将地表面土层一层层地用推土机推到指定地点称为剥离。剥离分两种:一种将含金砂矿推到翻铲工作地点,称生产剥离;另一种将腐殖亚粘土层或不含金的砂砾层推到生产场地以外,称非生产剥离。

一台1t翻铲和流槽每小时洗选矿砂 50 m^3 ,每班8小时共计可洗选 400 m^3 矿砂。矿上每天两班生产,日洗选矿砂 800 m^3 。计划一年的工作日为120天,每台洗选机组年洗选量 $9.6 \times 10^4\text{ m}^3$ 矿砂。实际生产中采场面积为 $80 \times 100\text{ m}^2$,则一个采场的矿砂储量为 $2.4 \times 10^4\text{ m}^3$ 。因此每台洗选机组一年所需采场为

$$N = \frac{96\,000\text{ m}^3}{24\,000\text{ m}^3} = 4 \text{ (块)}$$

在自然解冻条件下进行生产,需对4块场地作必要的准备并合理安排剥离才能收到好的效益。从表2看出,在5,6,9月腐殖质亚粘土层融化深度每天约1—6cm,因此每月最大融深不超过180cm。如果5月生产季节开始时才去剥离表层土,一个月也达不到含金层,势必耽误采金。因此当年生产场地上的腐殖质亚粘土层必须提前全部剥离,即超前剥离。即使剥去腐殖质亚粘土层,仍有近1.8m的砂质粘土层还须剥离。如果砂质粘土层不超前剥离,待5月开始生产时来剥离这部分土层,也将影响生产。因为,如果按 $\gamma_d = 1.32\text{ g/cm}^3$,含水量为50%,由计算可知每天平均融深4.5cm,一个月才能

融化 1.3 m。6 月每天的融化深度在 1—6 cm, 同理生产场地也必须超前剥离到含金层。而 7, 8 月的生产场地应在前一年先剥去 0.7—1 m, 剩余土层可在 5, 6 月份进行非生产剥离, 然后待其自然融化开采。

通过冻土融化深度的研究计算表明, 在冻土地区开采砂金超前剥离是提高产量的重要措施之一。

3.2 轮流开采

(1) 融化深度及剥离时间的关系 将式(1)对时间微分得出融化速率:

$$h' = 0.7 \sqrt{\frac{\lambda T}{2L(W - W_u)\gamma_d}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau}} \quad (2)$$

由此公式看出融化深度变化率与时间的平方根成反比, 随着时间的延长融化速率逐渐减少。若从加快剥离考虑, 应当是随时融化随时剥离, 但这样作推土机耗油太多, 增加成本, 况且融化深度太浅, 推土机无法工作。因此应从融化深度及推土机的使用效率两方面来考虑, 选择最佳剥离时间, 为此先讨论相对融化速率。

$$\frac{h'_\tau}{h'_1} = \frac{1}{\sqrt{\tau}}$$

式中: h'_τ 为第 τ 天的融化速率; h'_1 为第 1 天的融化速率; 当 $\tau=1$ 时, $h'_\tau/h'_1=1$; $\tau=2$ 时, $h'_2/h'_1=1/\sqrt{2}=0.707$; $\tau=4$ 时, $h'_4/h'_1=1/\sqrt{4}=0.5$ 。由此可看出, 第 2 天的融化速率是第 1 天的 70%。当融化至第 4 天时, 其融化速率只是第 1 天的 50%。说明随着融化深度的增加, 时间的延长, 下面冻土融化速度变慢。上面融化层相当于一个隔热层, 阻挡太阳辐射热量下传影响下部冻土融化, 这样就不能充分利用太阳辐射热能。从提高剥离速度来考虑, 剥离时间周期不宜超过 4 天。虽然融化第 1 天速率为最高, 但 5, 6, 9 月 1 天的融化深度小, 推土机不能满负荷工作。而两天的融化量基本大于 10 cm, 并且第 2 天的融化率仍可达 70%, 因此 5, 6, 9 月两天为最佳剥离时间。7, 8 月由于每天融深大于 10 cm, 融化率最高而且推土机也能满负荷工作, 因此 1 天为最佳剥离时间。表 3, 4 列出 1989 年观测的 1—4 天的融化量及计算的相对融化率, 实验也证实了这一点。

(2) 轮流开采 5, 6 月融化速度最大为 5—6 cm/d, 一块 $80 \times 100 \text{ m}^2$ 的场地每天融化矿砂 400—480 m^3 。而洗选机组每天两班生产时能力为 800 m^3 , 尚有一半生产能力未发挥出来。因此对每一台洗选机组必须为其 5—6 月的生产准备两块剥离到含金层的采场, 两场地轮流采挖, 各间隔 1 天待其自然融化。这样才能保证供给洗选机组每天所需的洗选量。若不进行轮流开采, 5—6 月仅能洗选一块采场, 7, 8 月各采一块, 这样 5—8 月共洗选 3 块场地, 比轮流开采要少采 1 块场地, 少洗选 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 矿砂。因此冻土地区砂金矿在生产季节实行轮流开采也是重要措施之一。

表 3 各采金场第 1—4 天每天融化量(cm)的观测值

Table 3 The observed data of everyday thawed depth (cm) in the first day to the fourth day from stripping at some digging sites

时 间 \ 组	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
第 1 天	7.8	8.0	9.5	15.5	20.0	11.0	8.3	4.3	3.0	
第 2 天	7.2	5.5	6.1	8.5	10.5	5.0		3	2.5	
相对融化率 (%)	92	68.7	64.2	54.8	52.5	45.5		66.7	83.3	65.96
第 3 天	4.5	3.5	5.9	10.5	9.0	6.0	4.1	3.2		
相对融化率 (%)	57.6	43.75	62.1	67.7	45.0	54.5	49.4	71.1		56.4
第 4 天					4.5	7	3.3			
相对融化率 (%)					22.5	63.6	39.8			41.97

表 4 模拟剥离采场第 1—3 天每天融化量(cm)的观测值

Table 4 The observed data of everyday thawed depth (cm) in the first day to the third day from stripping at the imitated digging site

时 间 \ 组	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
第 1 天	6.0	5.5	5.5	15.0	9.0	9.5	8.0	5.0	4.0	
第 2 天	2.0	4.0		4.5	5.0	5.0	6.0	4.0	3.7	
相对融化率 (%)	33.3	72.7		30.0	55.5	52.6	75.0	80.0	92.5	61.45
第 3 天	2.0	2.0	3.0	10.5	3.0	4.5	5.0	3.0		
相对融化率 (%)	33.3	36.3	54.5	70.0	33.3	47.4	62.5	60.0		49.3

4 实用效果

超前剥离与轮流开采相结合的生产方法要点是: 1)对腐殖亚粘土层实行超前剥离, 必须于前一年全剥离完毕。前一年把下一年 5, 6 月的生产采场全部剥离到含金层。7, 8, 9 月的生产场地至少先剥去 1 m, 其它冻土层留待下一年 5, 6 月继续剥离到含金层; 2)在 5, 6, 9 月采矿时必须实行两块采场轮流开采, 利用自然解冻增加融化矿砂量来提高产量。

在矿区的大力支持下, 采用我们提出的新开采方法, 使当年 6—9 月试生产阶段盈利 60 余万元。改进后的开采方法可提高机械使用效率 20%, 采矿期从 120 天延长到 150 天。由于 1989 年实行超前剥离, 1990 年 5 月一开始就能投入生产, 使全年产金量增加 39%。

从试验结果看冻土研究对冻土地区砂金矿的开采具有显著的指导意义。冻土研究只有服务于生产, 促进经济增长才能得到长足的发展。

参 考 文 献

刘铁良, 1983. 国外计算冻结或融化深度公式概述. 冰川冻土, 5(2): 85—94

Balobaev V T, 1961. The heat consumption process of frozen fine-grained soil surface exposed by layer-by-layer thawing. In: Heat and mass exchange of frozen soil and rock. Published by the Academy of Sciences of USSR, Moscow, 25—43 (in Russian)

A Study of Naturally Thawing and Digging Method of Gold Mining in Seasonal Frozen Ground

Gao Min, Tong Boliang, Lin Jinfang and Zhang Qibing

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica)

Abstract

The state of the art of application of thermodynamics for frozen ground in digging frozen gold mine is reviewed. The coefficient K of Stephen formula for calculation of thawed depth is determined with data observed in the field. Based on the results of calculation and observation, the thawing depths are forecasted and the curves of thawed depth vs water content at different months are made. The mode of production is presented as a combination of stripping in advance and digging in turn. The theoretical basis to select the optimum stripping time interval in layer-by-layer stripping method is discussed and tested actually. Much economic benefit has been made with this mode of production.

Key words: thawed depth, stripping in advance, digging in turn