

冰川渗浸带雪层的放热模型

蔡保林

Citation: 科学通报 33, 374 (1988); doi: 10.1360/csb1988-33-5-374

View online: <http://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1988-33-5-374>

View Table of Contents: <http://engine.scichina.com/publisher/scp/journal/CSB/33/5>

Published by the 《中国科学》杂志社

Articles you may be interested in

[冰川渗浸带吸热模型及动坐标求解](#)

Chinese Science Bulletin 34, 851 (1989);

[山地冰川表面分布式能量-物质平衡模型及其应用](#)

Chinese Science Bulletin 55, 1757 (2010);

[天山冰川作用流域能量、水量和物质平衡及径流模型](#)

Science in China Series B-Chemistry, Life Sciences & Earth Sciences (in Chinese) 24, 983 (1994);

[天山冰川作用流域能-水-质平衡和人文流量模型研究](#)

Chinese Science Bulletin 38, 925 (1993);

[天山1号冰川成冰带和积雪特征对气候变化的响应](#)

Chinese Science Bulletin 56, 1583 (2011);

冰川渗浸带雪层的放热模型

蔡保林

匡佩琼

(中国科学院兰州冰川冻土研究所) (中国科学院兰州渗流力学研究室)

在冰川渗浸带, 由于消融期雪层表面融化产生的融水由表面向内部渗透以及融水在雪层

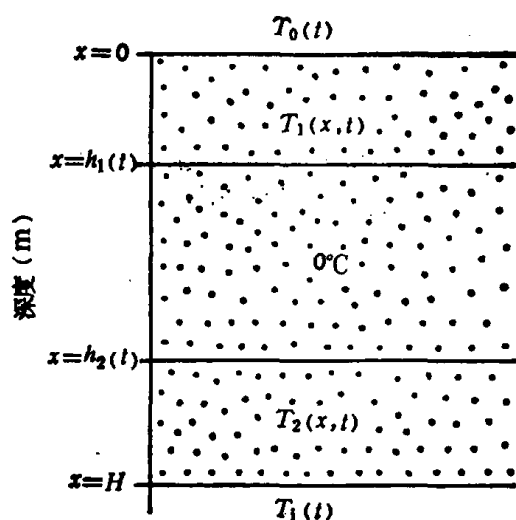


图1 冰川渗浸带雪层温度剖面

内部冷却、冻结释放出相变潜热, 使被融水渗浸的数米厚的雪层温度达到 0°C ^[1], 然而在消融末期, 融化停止, 冰川表面温度开始下降以致被融水渗浸的雪层开始向大气放热, 导致雪层内部的融水冻结, 雪层温度由 0°C 向负温变化。同时在融水渗透的前沿, 也发生着类似于表层的过程, 这是由于在消融停止后, 表面融水消失, 融水的渗透前沿停止向下移动, 反而由于向下伏的负温雪层放热, 使渗透前沿的雪层温度也由 0°C 向负温变化。这种由表层及渗浸前沿向大气和下伏负温雪层的放热, 使渗浸带内部的热量重新进行分配, 构成了冰川渗浸带特殊的放热形式与雪温变化过程, 同时伴随着雪层的放热, 雪层内部进行着水汽迁移、融水相变、雪层密实以及渗浸成冰等一系列物理的、化学的运动^[2]。这些运动尤

其对雪到冰的转化起了极为重要的作用。因此, 对这一时期的雪层放热所引起的雪层温度变化的了解是十分重要的, 更有必要建立数学模型来模拟这一过程, 加强其本质的认识。

现在考虑渗浸带雪层的放热模型, 如图1所示, 坐标原点取在冰川表面, 向下为正; H 为融水的渗浸深度, $T_0(t)$, $T_i(t)$ 分别是 $x=0$ 和 $x=H$ 处的温度, T 为雪层在 x 处时刻 t 的温度。

模型可表示为:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_s \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad 0 < x < h_1(t), \quad (1)$$

$$T_1(0, t) = T_0(t), \quad (2)$$

$$T_1(h_1, t) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_s \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad h_2(t) < x < H, \quad (4)$$

$$T_2(H, t) = T_i(t), \quad (5)$$

$$T_2(h_2, t) = 0, \quad (6)$$

式中 a_s 为雪的热扩散系数。

本文1987年4月4日收到。

令 $y = \frac{x}{2\sqrt{a_s t}}$ 代入 (1) 式中得

$$\frac{d^2 T_1}{dy^2} + 2y \frac{dT_1}{dy} = 0. \quad (7)$$

对 (7) 式积分两次得

$$T_1(y, t) = c_1 \operatorname{erf}(y) + c_2, \quad (8)$$

所以满足条件 (2)–(3) 的解是

$$T_1(x, t) = \left[1 - \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_s t}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{h_1(t)}{2\sqrt{a_s t}}\right)} \right] \cdot T_0(t). \quad (9)$$

用同样方法可求得 (4)–(6) 式的解为

$$T_2(x, t) = \left[\frac{\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_s t}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{h_2(t)}{2\sqrt{a_s t}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{H}{2\sqrt{a_s t}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{h_2(t)}{2\sqrt{a_s t}}\right)} \right] \cdot T_i(t). \quad (10)$$

这样, 冰川渗浸带的表面雪层 ($x = 0$) 及渗浸前沿 ($x = H$) 处的雪层在 t 时刻分别放出热量为 $Q_1 = -K_1 \frac{\partial T_1}{\partial x}$ 和 $Q_2 = -K_2 \frac{\partial T_2}{\partial x}$.

将 T_1 和 T_2 分别代入 Q_1 和 Q_2 中求得

$$Q_1 = \frac{K_1}{\sqrt{\pi a_s t}} \cdot \frac{T_0(t)}{\operatorname{erf}\left(\frac{h_1(t)}{2\sqrt{a_s t}}\right)}, \quad (11)$$

$$Q_2 = -\frac{K_2}{\sqrt{\pi a_s t}} \frac{\exp(-H^2/(4a_s t))}{\operatorname{erf}\left(\frac{H}{2\sqrt{a_s t}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{h_2(t)}{2\sqrt{a_s t}}\right)} \cdot T_i(t), \quad (12)$$

式中 K_1 和 K_2 分别为 $x = 0$ 及 $x = H$ 处的雪层导热系数。

将模型应用于乌鲁木齐河源 1 号冰川渗浸带 H_3 (海拔 4075 m) 处, 1983 年该处的雪层表面融化在 8 月底停止, 融水的渗浸深度为 8 m 左右, 1–9 m 的雪层平均密度是 0.62 Mg m^{-3} , 所以雪层的热扩散系数 $a_s = 0.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 从表面融化停止到雪层内部的融水全部冻结, 表面及渗透前沿处的雪温分别是 $T_0(t) = -8.7 \times 10^{-2} - 0.187 \times 10^{-2} \cdot t^2$,

$$T_i(t) = -0.215 - 3.06 \times 10^{-8} \cdot t.$$

这里 t 的单位为天, 因为雪层温度的日变化很小, 故这里不予考虑。 $h_1(t)$, $h_2(t)$ 为 $u \cdot t$, $v \cdot t$, 其中

$$u = 1.15 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}, v = -1.09 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1[3]}.$$

图 2 与图 3 绘制了计算和实测的雪层温度曲线。

由图可看出, 在 10 月中旬仍有 2 m 厚的雪层处于 0°C 状态, 同时计算表明, 在 11 月中旬, 夏季渗入的融水才全部冻结, 雪层转化为负温状态。

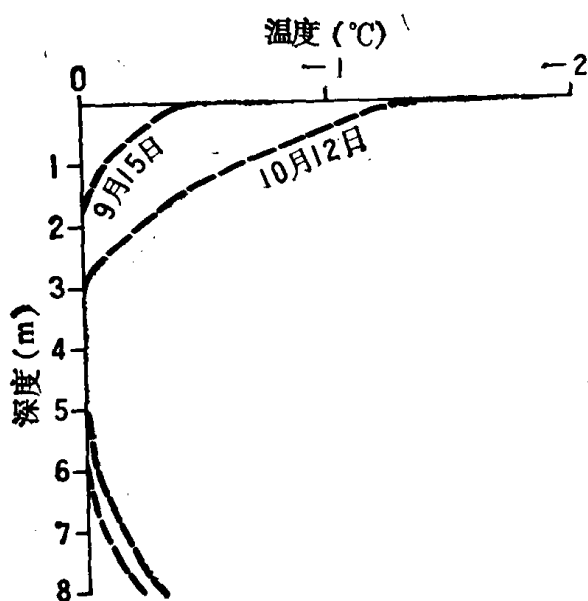


图2 渗浸带 H 处的计算温度剖面 (1983)

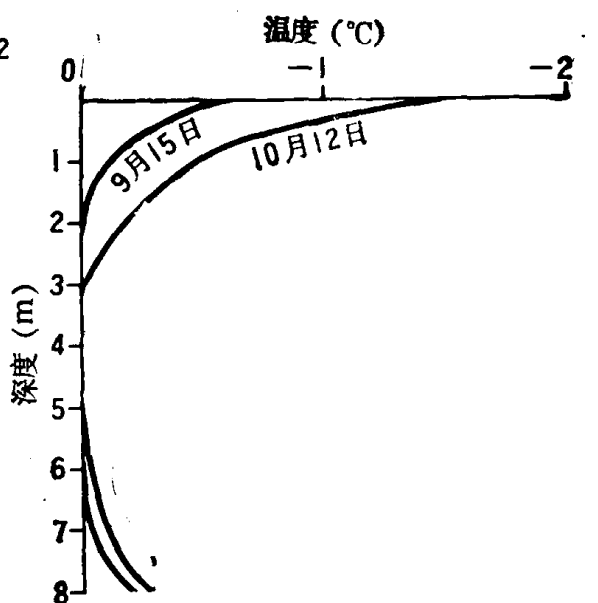


图3 渗浸带 H 处的实测温度剖面 (1983)

模型表明, 渗浸带雪层的放热程度, 取决于冰川表面的温度状况 $T_0(t)$, 融水的渗浸深度 H ; 同时也取决于雪层的本身结构特征, 即取决于雪层的密度, 雪层的传热系数和热扩散系数 a_s .

参 考 文 献

- [1] Cai Baolin, Xie Zhichu and Huang Maohuan, *Cold Regions Science & Technology*, 12(1986), 39—49.
- [2] 蔡保林, 乌鲁木齐河源 1 号冰川渗浸带雪层孔隙度与含水量的观测, 天山冰川站年报, 2(1984), 4—7.
- [3] 王良玮, 遥测资料报表的说明, 天山冰川站年报, 2(1984), 50—120.