第 22卷第 1期　　极地研究　　Vol 22, No. 1
2010年 3月　　CHINESE JOURNAL OF POLAR RESEARCH　　March 2010

研究论文

北极 Svalbard地区 Austre Lovénbreen 和 Pedersenbreen冰川表面物质平衡和运动特征分析

徐明星[1,2]　闫　明[1]　任贾文[3]　艾松涛[4]　康建成[2]　鄂栋臣[4]

([1]国家海洋局极地科学重点实验室, 中国极地研究中心, 上海 200136;
[2]上海师范大学城市生态与环境研究中心, 上海 200234;
[3]中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;
[4]武汉大学测绘学院, 中国南极测绘研究中心, 武汉 430079)

提要　对位于北极 Svalbard群岛新奥尔松(Ny-Ålesund)的 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川首个物质平衡年(2005/06年度)的冰川表面物质平衡及其运动特征进行研究,并阐述了 Austre Lovénbreen冰川末端位置的变化状况。结果表明: (1) Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川净物质平衡分别为 -0.44和 -0.20 m w.e.,年消融量分别为 0.99和 0.94 m w.e.,对应冰川零平衡线高度分别为 478.10和 494.87 m。(2)两条冰川符合 Svalbard地区跃动冰川运动的特征模式。运动速度矢量的水平分量表现为:向主流线辐合或平行于主流线。下游运动速度较慢,而在中上游运动相对较快。Austre Lovénbreen冰川表面各观测点的运动速度平均值为 2.28 m·a^{-1},运动速度最大值和最小值分别为 3.91和 0.81 m·a^{-1}; Pedersenbreen冰川表面观测点运动速度平均值为 6.74 m·a^{-1},运动速度最大值和最小值分别为 8.13和 5.49 m·a^{-1}。运动速度矢量的垂直分量表现为:消融区冰川消融量随海拔升高而减弱, Austre Lovénbreen冰川至 E断面表现出微弱的积累,海拔高度略有升高。实际垂直运动量总体符合冰川运动的一般形式,即积累区向下运动,消融区向上运动。(3) Austre Lovénbreen冰川末端 2005/06年度处于退缩状态,平均退缩量达 21.83 m·a^{-1},各观测点中最大、最小退缩量分别为 77.30和 2.76 m·a^{-1},差异显著。

关键词　Svalbard地区　冰川　物质平衡　冰川运动

doi: 10.3724/SP.J.1084.2010.00010

[**收稿日期**] 2009年 8月收到来稿, 2010年 2月收到修改稿。
[**基金项目**] 国家自然科学基金(40876098)和国家海洋局极地考察办公室北极考察项目资助。
[**作者简介**] 徐明星,男, 1983年出生。研究生,主要从事极地冰川与全球变化研究。
[**联系作者**] 闫明, E-mail: mingyan@pric.gov.cn。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0　引言

北极地区中心区域为北冰洋,环绕北冰洋分布着许多岛屿,其中面积最大的是格陵兰岛。Svalbard地区(74°—81°N, 10°—35°E)与格陵兰岛相邻,总面积 6.2×10^4 km^2,其中约 60%被冰川(帽)所覆盖。由于地处北大西洋暖流分支——挪威暖流海热传输通道的最北端,Svalbard地区冰川对北大西洋暖流的波动和相应的气候变化十分敏感,是国际上冰川监测研究的重点区域之一。又由于该地区冰川以亚极地型(sub-polar)或多热型(polythermal)的小冰川为主[1],响应气候变化的时间短,故在以 10 a和 100 a计的气候与海平面变化中起着重要作用[2]。因此,对北极 Svalbard地区的冰川进行动态监测,将能捕捉到全球气候变化的初始信号。本文即依据 2005/06年度北极 Svalbard地区 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川(图 1)物质平衡与运动速度的观测资料,对该区冰川的最新变化特征进行分析。

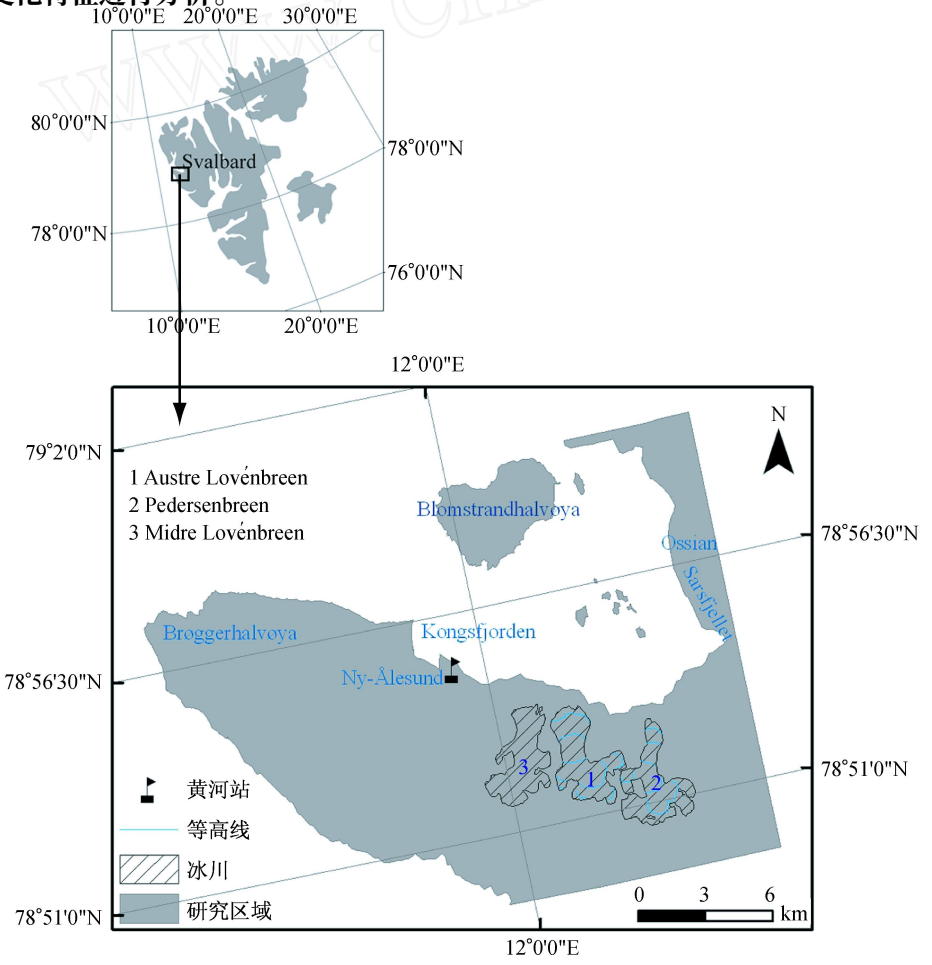

图 1　Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川位置示意图

Fig 1. A map showing the location of Austre Lovénbreen and Pedersenbreen

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

国外,特别是挪威对 Svalbard地区的冰川已经做了大量的工作,其中对 Austre Brøggerbreen和 Midre Lovénbreen冰川的监测研究已有 40 a之久,期间冰川物质平衡变化特征如下:净平衡一般为负值;冬季积累年际波动较小,基本保持稳定状态;夏季消融年际波动较大,但并无融化增加的迹象[3—7]。Svalbard地区广泛发育跃动型冰川[1],对该区冰川运动已有一些观测研究,其中对 Kongsvegen和 Kronebreen两条跃动型冰川运动的研究最为全面,内容涉及冰川运动速度的时空分布[8—9]、冰川跃动的驱动机制及冰川崩解的速率和过程[10—11]。

在 2004年北极黄河站建立之前,我国对 Svalbard地区的冰川仅有零星的研究,且集中在冰川化学领域。1996年康世昌等[12]曾对 Longyearbyen (78.23°N, 15.83°E)附近的冰川进行过考察,并采集雪坑样品分析主要阴、阳离子浓度特征。北极黄河站的建立,为我国在 Svalbard地区开展系统的冰川学研究提供了稳定的支撑平台。2004年,中国北极黄河站首次科学考察队在 Svalbard地区的新奥尔松开展了多学科联合考察,冰川学工作者选取了靠近 Kongsfjorden峡湾湾底的 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen两条冰川作为开展冰川监测研究的对象[13—15]。为避免重复工作,我国冰川学工作者不仅对上述两条冰川的物质平衡和冰川运动进行监测,还计划开展内容相对比较全面的观测,如冰川末端位置、温度、厚度、气象和水文等[13—15]。

1 研究区概况

Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川位于北极 Svalbard地区的新奥尔松 (图 1),与北极黄河站的直线距离分别为 6.2和 10 km[15],两条冰川彼此相邻,均为多热型山谷冰川[1],周围山峰的最高海拔分别为 880 m和 1017 m[16]。表 1列出了两条冰川的各项特征参数值,其中冰川面积分别为 6.2和 5.6 km^2。两条冰川的最高海拔较接近,分别为 600 m和 650 m,冰川表面均较为平整,有少量碎屑物质,且均发育少量冰川裂隙。与 Austre Lovénbreen冰川相比,Pedersenbreen冰川形态更显狭长。

表 1 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川参数一览表 (数据源于参考文献 1)

Table 1. The parameters of Austre Lovénbreen and Pedersenbreen (Data from reference 1)

冰川	长度 (km)	最高海拔 (m)	最低海拔 (m)	方向		体积 (km^3)	面积 (km^2)	地理位置	
				积累区	消融区			经度 (E)	纬度 (N)
Austre Lovénbreen	4.8	600	40	西北	北	0.53	6.2	12.09°	78.527°
Pedersenbreen	5.4	650	90	北	北	0.46	5.6	12.175°	78.515°

2 观测资料

2.1 观测点布设和观测方法

2005年 7月 25日始,在 Austre Lovénbreen冰川由 A至 E的观测断面上均匀布设了用于冰川表面物质平衡与运动速度观测的标杆 20根,在 Pedersenbreen冰川上沿主流线布设了 5根 (图 2),并对观测标杆地理坐标、标杆顶点距冰川表面垂直距离以及 Austre Lovénbreen冰川末端 14个位置控制点的地理坐标进行了首期观测[15];2006年 7月 24日

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

始,第三次北极黄河站科学考察期间,又进行了上述项目的复测。

冰川物质平衡采取直接测量的方法,即在冰川表面设置固定标杆,定期观测冰川表面相对于标杆顶点的位置[17]。发生倾斜的标杆首先测量标杆与水平面的夹角,然后计算标杆顶点距离冰川表面的垂直距离。通过此方法获得了各观测单点年净物质平衡值,整个冰川的净物质平衡通过对冰川不同高度区间的面积加权获得。

冰川运动和末端位置观测是以北极黄河站 GPS卫星跟踪站作为差分主站,对两条冰川的全部标杆以及 Austre Lovénbreen冰川末端位置控制点进行高精度 GPS测量,通过后处理差分计算,得到各观测点相对于黄河站的精确坐标值。两条冰川上每个观测点的测量时间在 1小时以上,部分点位进行了两次甚至三次测量,测量精度达到了水平方向优于 1 cm、高程方向优于 2 cm的水平[14—15];冰川末端位置控制点的测量时间约为 20分钟,测量精度达到厘米级,完全满足冰川研究工作的需要。

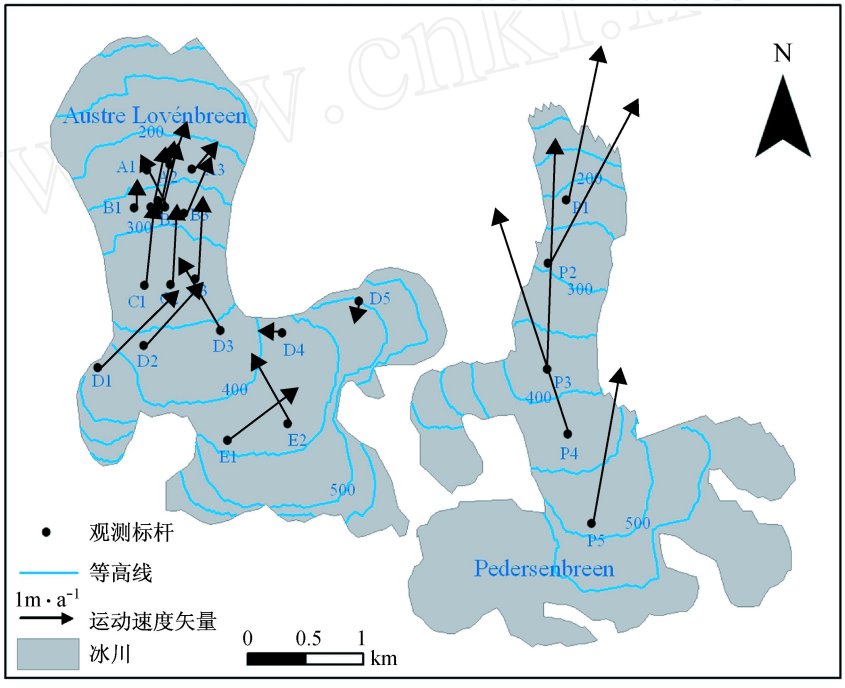

图 2　Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川表面观测标杆及其运动示意图

Fig 2. The location and surface flow velocity of stakes on Austre Lovénbreen and Pedersenbreen

2 2　资料说明

因缺少冰川冬季积累和夏季消融的观测,故 2005/06年度仅获得了上述两条冰川的净物质平衡观测值。在将冰川物质平衡转换为水当量 (water equivalent)时,根据 Svalbard地区已有的观测研究[18—19],取冰川冰的密度为 0. 9 g·cm^{-3}进行计算。

由于 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川与黄河站 GPS卫星跟踪站的距离均在 10km以内,视为短距离差分计算[15],又因为是小区域观测,所以选用独立坐标系,以黄河站正东方向为横坐标 X轴,垂直于 X轴的正北方向为 Y轴, Z轴垂直于 XY平面。以黄河

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

站 GPS卫星跟踪站为原点,比较不同年份标杆距黄河站绝对距离的变化,以计算各观测点位置的相对变化。其中 Austre Lovénbreen冰川 A观测断面上的标杆全部倒伏,且已不能找到 A1标杆的钻孔点, Pedersenbreen冰川 P1标杆倒伏但仍可以找到钻孔点,因此缺少 A排各观测点、P1点的物质平衡及 A1点运动速度的数据。表 2为 2005/06年度两条冰川的表面运动速度, Vx、Vy分别为 X、Y轴的运动速度分量, Vxy、Vz和 Vz分别为冰川表面运动速度的水平分量、垂直分量和冰川实际垂直运动量。

3 物质平衡特征分析

3.1 净物质平衡状况

两条冰川物质平衡均采用标杆观测单点物质平衡,整个冰川的物质平衡通过不同高度区间(按照 50 m等高线的高度间隔划分)的面积加权计算:

$$B_n = \Sigma B_j S_j$$

式中, B_j、S_j分别为不同高度区间净物质平衡值和等高线间的投影面积占总面积的百分比。

图 3为 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川各观测点海拔高度及对应的净物质平衡值。由图 3可见,各观测点净物质平衡值与海拔高度之间具有良好的相关性, Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川 2005/06年度均呈负物质平衡状态,与 Svalbard地区已有较长时间序列物质平衡观测的冰川保持一致[3, 20—21]。两条冰川净物质平衡分别为 -0.44和 -0.20 m w.e.,与邻近的 Austre Broeggerbreen和 Midtre Lovenbreen冰川 -0.73和 -0.48 m w.e.的净物质平衡值属同一数量级[22],反映了冰川物质平衡对气候变化响应存在区域内的一致性。对应的零平衡线高度(ELA)分别为 478.10和 494.87 m。

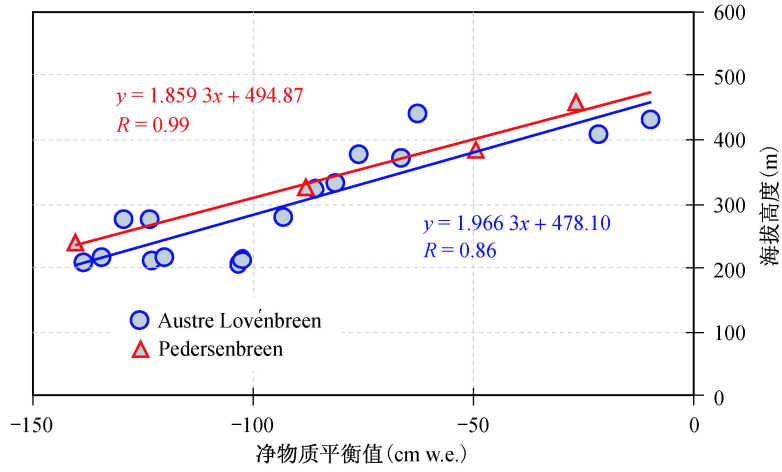

图 3 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川各观测点净物质平衡值

Fig. 3. The net mass balance of observation points on Austre Lovénbreen and Pedersenbreen

3.2 冰川消融

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

选择广泛应用于北欧、阿尔卑斯山、格陵兰冰盖以及青藏高原地区的度日模型对 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川 2005/06年度的消融量进行模拟[23—28]。度日模型基于冰雪消融与气温 (尤其是正积温)之间的线性关系建立[23,29],对冰川消融的计算如下式所示:

$$M = \mathrm{DDF} \cdot \mathrm{PDD} \tag{1}$$

$$\mathrm{PDD} = \sum_{d1}^{d2} aT \begin{cases} a = 1, & T > 0 \\ a = 0, & T \leq 0 \end{cases} \tag{2}$$

式中 M 为观测时段内冰川消融水当量 (m w. e.);DDF是冰川冰的度日因子 (m · d^{-1} · ℃$^{-1}$);PDD是观测时段内的正积温;T为观测期内某天的日平均气温 (℃)。

计算 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川 2005/06年度物质消融量时,所需相应时间段内的正积温从 Svalbard地区新奥尔松气象站 (海拔高度 8 m,数据来源于挪威气象局)获得。因为冰川物质平衡线高度处的气象参数值能够最好地代表该冰川的气候特征[30],所以新奥尔松气象站所观测的日平均气温值被推算至各冰川的平衡线高度处 (取 0.635 ℃ · 100 m^{-1}的气温梯度值[31]),每条冰川的正积温为平衡线高度处的正积温。而两条冰川的度日因子则取 Midre Lovénbreen冰川平衡线高度处的多年平均年度日因子,这是因为 Midre Lovénbreen冰川与上述两条邻近 (图 1),其冰川平衡线高度处的正积温与冰川消融量具有高度的相关性 (图 4)。计算 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川 2005/06年度冰川物质消融量分别为 0.99和 0.94 m w. e.。

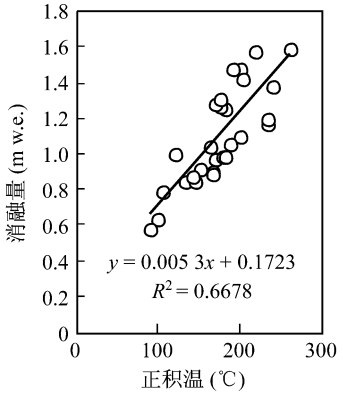

图 4　Midre Lovénbreen冰川历年物质消融量与正积温关系. 数据来源于参考文献 32, 33和挪威气象局
Fig 4. Regression analysis between total ablation and positive degree days for Midre Lovénbreen. Data from reference 32, 33 and Norwegian Meterological Institute

3.3　冰川面积/高度分布对物质平衡影响

随海拔高度上升,冰面气温逐渐降低,冰面积雪不断增厚,消融速率大为减小。从冰川末端至冰川粒雪盆,冰川负物质平衡状态不断减缓,因而冰川面积/海拔高度分布对其物质平衡具有重要影响[3,34]。图 5为两条冰川面积/海拔高度分布及各高度区间对应的物质平衡值。Austre Lovénbreen冰川主体分布海拔较低,海拔高于 500m的范围仅占整个冰川面积的 16.4%,而 Pedersenbreen冰川海拔高于 500m的范围则占整个冰川面积的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

57%。面积 海拔高度分布的差异体现在冰川形态上表现为: Pedersenbreen冰川较 Austre Lovénbreen冰川具有更为宽广的粒雪盆和相对狭窄的冰舌。若将 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川表面积等分,则对应的面积等分线高度 (MED)分别为 320和 450m[1]。因此,两条冰川虽然彼此相邻,具有相同的气候环境背景,但 2005/06年度净物质平衡值仍表现出较大的差异。

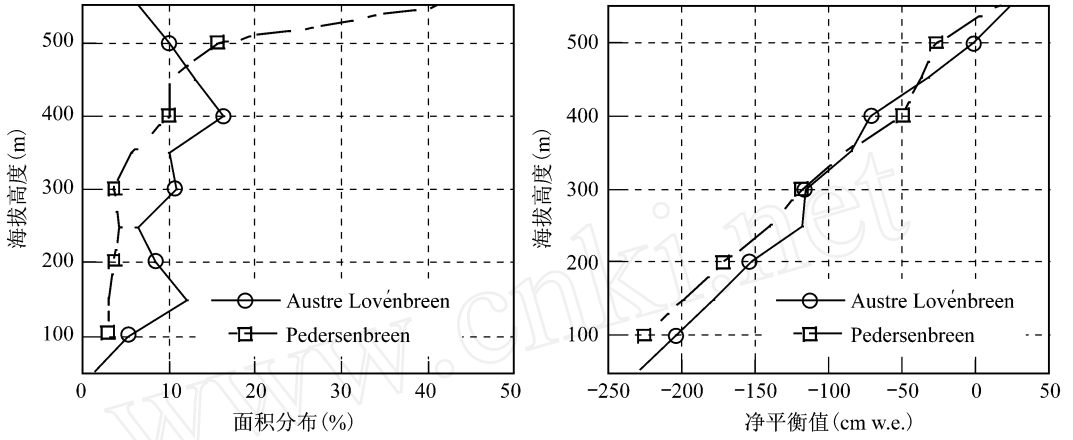

图 5 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川面积 高度分布及各高度区间净平衡值

Fig 5. Net mass balance and area distribution versus altitude on Austre Lovénbreen and Pedersenbreen

4 运动特征分析

4.1 水平分量特征

由于冰温低, Svalbard地区冰川运动速度通常较慢。2005/06年度, Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川各观测点运动速度矢量的水平分量 Vxy表现为:向冰川主流线幅合或平行于冰川主流线运动。Austre Lovénbreen冰川 D、E断面各观测点均向冰川主流线幅合; Austre Lovénbreen冰川的 A-C断面各观测点和 Pedersenbreen冰川的各观测点平行于冰川主流线运动, B2E点偏离主流线,向西北方向运动 (图 2)。

2005/06年度 Austre Lovénbreen冰川表面各观测点运动速度水平分量 Vxy平均值为 2.28 m·a^{-1},最小值为 0.81 m·a^{-1},最大值为 3.91 m·a^{-1},低于 7.0 m·a^{-1}的已有观测值[35]。Pedersenbreen冰川平均值为 6.74 m·a^{-1},运动速度最小值和最大值分别为 5.49和 8.13 m·a^{-1} (表 2)。比较而言, Austre Lovénbreen冰川运动速度较 Pedersenbreen冰川小,而各观测点运动速度的变化幅度却更大。各种测量、形态观测以及统计分析研究表明: Pedersenbreen冰川曾经可能发生跃动[35—36],具备较快的运动速度,现有的观测结果与此相一致。

图 6中 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川的 Vxy最大值分别出现在 C和 P4断面,冰川主流线为一曲线,用 L表示,原点设于黄河站 GPS跟踪站。从 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川末端分别至 C和 P4断面, Vxy沿 L渐增,即 $\partial Vxy/\partial L>0$;断面以上, Vxy沿 L渐减,即 $\partial Vxy/\partial L<0$;断面附近 $\partial Vxy/\partial L\approx 0$。由此可见,以 $\partial Vxy/\partial L=0$为界,形成两种具有不同运动状态的冰川区: $\partial Vxy/\partial L>0$的拉伸运动区和 $\partial Vxy/\partial L<0$压缩运动区。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Austre Lovénbreen冰川表面运动呈现拉伸 ——压缩 ——拉伸的三段式分布,对应的 $\partial V_{xy}/\partial L$ 分别为 0.15, 0.12和 0.06 m/a·(100 m)$^{-1}$; Pedersenbreen冰川则呈拉伸 ——压缩的分布特征, $\partial V_{xy}/\partial L$ 分别为 0.13和 0.33 m/a·(100 m)$^{-1}$。

表 2　Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川各观测点运动速度(m·a^{-1})

Table 2　Surface ice flow velocity (m·a^{-1}) of observation points on Austre Lovénbreen and Pedersenbreen

点名	Vx	Vy	Vxy	Vz	Vz′	点名	Vx	Vy	Vxy	Vz	Vz′
Austre Lovénbreen冰川						D1	2.775	2.749	3.906	-0.747	0.018
A2	0.576	1.554	1.657	-1.156		D2	2.078	2.249	3.042	-0.549	0.315
A3	0.908	1.075	1.414	-1.475		D3	-1.513	2.628	3.032	-0.393	0.426
B1	0.019	0.989	0.989	-0.745	0.641	D4	1.013	0.018	1.013	-0.771	-0.105
B2	0.535	2.362	2.421	-1.06	0.173	D5	-0.765	-0.278	0.814	-0.448	0.182
B2S	0.404	1.346	2.551	-0.759	0.447	E1	2.426	1.829	3.038	0.025	0.124
B2N	0.467	1.095	1.405	-0.752	0.283	E2	-1.334	2.425	2.768	0.043	0.259
B2W	0.631	2.472	2.134	-1.09	-0.064	Pedersenbreen冰川					
B2E	-0.098	1.946	1.992	-0.576	0.45	P1	1.076	5.46	5.565	-1.921	
B3	0.902	2.042	2.232	-1.107	0.243	P2	3.098	5.761	6.502	-1.5	-0.096
C1	0.316	2.939	2.956	-0.656	0.28	P3	0.335	7.987	7.994	-0.843	0.039
C2	0.176	3.417	2.944	-0.95	0.292	P4	1.563	7.976	8.128	-0.599	-0.104
C3	0.171	3.014	3.019	-0.702	0.594	P5	1.02	5.394	5.49	-0.421	-0.151

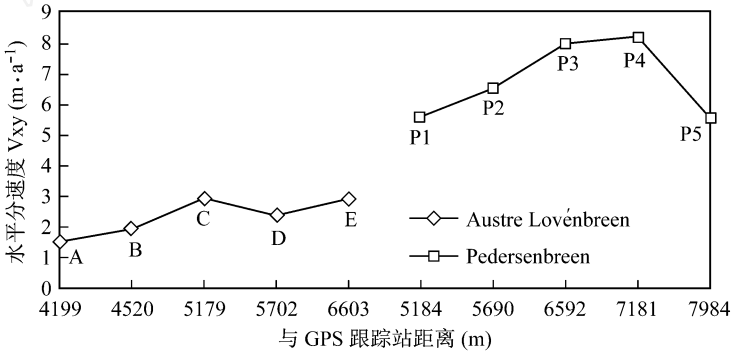

图 6　Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川表面运动速度纵剖面图

Fig 6. Longitudinal profile of surface ice flow velocity on Austre Lovénbreen and Pedersenbreen

上述运动特征的具体表现为: Austre Lovénbreen冰川 A-C断面运动速度不断增加,这与 A-C断面冰面坡度不断增大相一致; D断面为冰川的局部压缩区,流速减慢; E断面位于冰川表面较大的坡度转折处,因而具有较大的运动速度。Pedersenbreen冰川的 P1-P4断面运动速度分布特征与 Austre Lovénbreen冰川的 A-C断面相似; P5断面运动速度特征则与 Austre Lovénbreen冰川 D断面相对应。两条冰川均在下游运动速度较慢,而在中上游运动速度相对较快,符合 Svalbard地区跃动冰川的特征模式[1]。在该特征模式下,冰川积累区的雪冰物质在特定时间内不能全部运移至消融区,导致冰川上游坡度逐渐增大,从而增加冰川跃动的可能性。

4.2　垂直分量特征

已有研究[36—37]表明, Svalbard地区跃动冰川在其长期的稳定阶段,上游海拔高度相

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对升高,下游海拔高度则相对下降。由表 2可得,2005/06年度 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川运动速度的垂直分量 Vz即表现出上述特征,消融区冰川物质的损耗随海拔升高而减弱,Austre Lovénbreen冰川至 E断面表现出微弱的积累,海拔高度略有升高。冰川运动速度的垂直分量 Vz,实际上是冰川物质平衡量 (Bn)和实际垂直运动量 (Vz′)综合作用的结果,即 Vz=Bn+Vz′。如表 2所示,在 Austre Lovénbreen冰川上各观测点均位于消融区,Vz总体呈现向上运动;在 Pedersenbreen冰川上,位于冰川上游的 P4、P5点 Vz′是向下的,在冰川下游的 P3点则向上,P2点呈微弱的向下运动。总体而言,两条冰川的实际垂直运动量 Vz符合冰川运动的一般形式,即在积累区呈向下运动,在消融区呈向上运动[38]。

4.3 Austre Lovénbreen冰川末端变化

图 7反映了 2005/06年度 Austre Lovénbreen冰川末端变化情况。冰川末端退缩量的获取,是通过 14个观测点分别绘制 2005和 2006年冰川末端位置曲线,在观测点经度不变的前提下,自 2005年末端位置曲线上的 14个观测点向 2006年冰川末端位置曲线进行测量。为使 14个观测点能在冰川末端均匀分布,2006年重复测量时撤消了对 S04、S06点的观测,在 S08—S01之间增加了两个新的观测点。测量冰川末端退缩量时不考虑 S06点,需略微延长 2006年冰川末端位置曲线以获取 2005年冰川末端位置曲线上的 S05和 S14点退缩量。

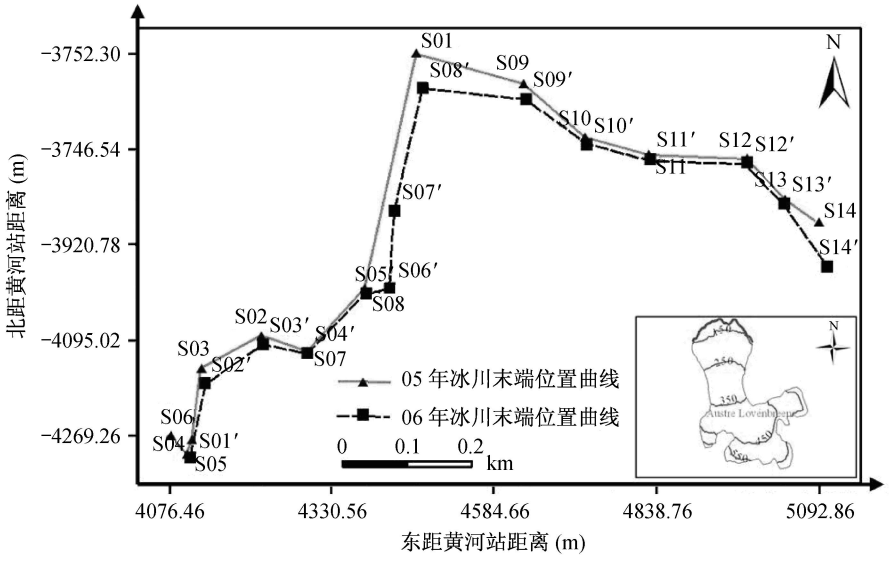

图 7 Austre Lovénbreen冰川末端位置变化示意图

Fig 7 A map showing the front edge of Austre Lovénbreen

2005/06年度 Austre Lovénbreen冰川末端平均退缩量达 21.83 m·a^{-1},最大达 77.30 m·a^{-1}(S14观测点),最小为 2.76 m·a^{-1}(S07观测点)。各观测点之间的退缩量存在较大的差异,可能原因包括:(1) 冰川末端接受太阳辐射的差异。Austre Lovénbreen冰川消融区面向北,冰川末端西侧接受太阳辐射 (主要是在夏半年[39])较东侧为多,使得冰川

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

末端西侧的退缩量较东侧大。(2)冰川内部融水通道的影响。顺沿冰川表面梯度,Austre Lovénbreen冰川东侧内部融水通道十分发育,大量融水通过内部通道自冰川末端排出,导致 S14观测点强烈退缩。2005/06年度 Austre Lovénbreen冰川末端的强烈退缩状态与 Svalbard地区许多跃动冰川静止时期末端位置呈退缩状态相一致[1,40—41]。

5　结论

本文初步研究了北极 Svalbard地区 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川表面物质平衡和运动特征,结果显示:

(1) Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川 2005/06年度均呈负物质平衡状态,净物质平衡分别为 - 0.44和 - 0.20m w.e.,年消融量分别为 0.99和 0.94 m w.e.,冰川物质平衡线高度分别为 478.10和 494.87 m。

(2) 两条冰川符合 Svalbard地区跃动冰川运动的特征模式,运动速度矢量的水平分量表现为:向主流线辐合或平行于主流线,下游运动速度较慢,而在中上游运动相对较快。Austre Lovénbreen冰川表面各观测点的运动速度平均值为 2.28 m·a^{-1},运动速度最大值和最小值分别为 3.91和 0.81 m·a^{-1},Pedersenbreen冰川表面观测点运动速度平均值为 6.74 m·a^{-1},运动速度最大值和最小值分别为 8.13和 5.49 m·a^{-1}。运动速度矢量的垂直分量表现为:冰川消融区消融量随海拔升高而减弱,Austre Lovénbreen冰川至 E断面表现出微弱的积累,海拔高度略有升高。冰川的实际垂直运动量符合冰川运动的一般形式,即累积区垂直运动量向下,而在消融区则向上。

(3) Austre Lovénbreen冰川末端 2005/06年度处于退缩状态,平均退缩量达 21.83 m·a^{-1},各观测点中最大、最小退缩量分别为 77.30和 2.76 m·a^{-1},差异显著。

目前已布设的 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川物质平衡(兼运动速度)观测标杆均位于零平衡线之下,且本文所使用的观测数据时间跨度也仅为一年。未来可考虑在 Austre Lovénbreen冰川积累区布设物质平衡观测标杆,并在更长时间尺度上深入研究北极 Svalbard地区 Austre Lovénbreen和 Pedersenbreen冰川表面物质平衡和运动特征及其与气候变化的关系。

致谢　作者对 2005、2006年度中国北极黄河站科学考察队队员的大力协助以及挪威气象局为本研究提供气象数据表示衷心感谢。

参考文献

1　Hagen J O, Liestøl O, Roalnd E, et al. Glacier atlas of Svalbard and Jan Mayen. Oslo: Meddelelser NR. 129, 1993: 1—46.

2　Oerlemans J, Fortuin J P F. Sensitivity of glaciers and small ice caps to greenhouse warming. Science, 1992, 258: 115—117.

3　Hagen J O, Liestøl O. Long term glacier mass-balance investigations in Svalbard, 1950—1988. Annals of Glaciology, 1990, 14: 102—106.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 徐明星, 闫明, 康建成, 等. 北极 Svalbard地区冰川物质平衡研究进展. 冰川冻土, 2007, 29(5): 730—737.

5 Hagen J O, Melvold K, Pinglot F, et al. On the net mass balance of the glacier and ice caps in Svalbard Norwegian Arctic. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 2003, 35(2): 264—270.

6 Hagen J O, Kohler J, Melvold K, et al. Glaciers in Svalbard: mass balance, run off and fresh water flux. Ploar Research, 2003, 22(2): 145—159.

7 Lefauconnier B, Hagen J O, Ørbak J B, et al. Glacier mass balance trends in the Kongsfjorden area, Western Spitsbergen, Svalbard, in relation to the climate. Polar Research, 1999, 18(2): 307—313.

8 Kääb A, Lefauconnier B, Melvold K. Flow field of kronebreen, Svalbard, using repeated Landsat7 and aster data. Annals of Glaciology, 2005, 42: 1—7.

9 Norland R, Rolstad C. Ground-based interferometric radar for velocity and calving-rate measurements of the tiderwater glacier at Kronebreen, Svalbard. Annals of Glaciology, 2009, 50: 47—54.

10 Lefauconnier B, Massonnet D, Anker G. Determination of ice flow velocity in Svalbard from ERS-1 interferometric observations. Polar Research, 2001, 54: 279—290.

11 Woodward J, Murray T, Clark R A, et al. Glacier surge mechanisms from ground-penetrating radar: Kongsvegen, Svalbard. Journal of Glaciology, 2003, 49(167): 473—480.

12 康世昌, 秦大河, 任贾文, 等. 北极 Svalbard群岛 Longyearbyen地区雪坑主要阴、阳离子特征研究. 极地研究, 1998, 10(3): 172—180.

13 任贾文, 闫明. 中国北极黄河站首次科学考察队冰川考察. 冰川冻土, 2005, 27(1): 124—127.

14 艾松涛, 鄂栋臣, 闫明, 等. 2005年北极冰川首期 GPS监测. 极地研究, 2006, 18(1): 1—8.

15 闫明, 任贾文, 张占海, 等. 斯瓦尔巴群岛冰川学研究进展与我国北极冰川监测系统建设. 极地研究, 2006, 18(2): 137—147.

16 武汉大学中国南极测绘研究中心. 1: 50, 000新奥尔松地形图. 2004.

17 施雅风. 中国冰川与环境 ——现在、过去和未来. 北京: 科学出版社, 2000: 30—34.

18 James T D. Changes in glacier geometry and extend in Svalbard: implication for sea-level rise during the twentieth and twenty-first centuries (SLICES). Geophysical Research Abstracts, 2005, 7, 08018.

19 Sobota I. Selected methods in mass balance estimation of Waldemar glacier, Spitsbergen. Polish Polar Research, 2007, 28(4): 249—268.

20 Lefauconnier B, Hagen J O. Glaciers and Climate in Svalbard: Statistical analysis and reconstruction of the Brøggerbreen mass balance for the last 77 years. Annals of glaciology, 1990, 14: 148—152.

21 Dowdeswell J A, Hagen J O, Bjornsson H, et al. The mass balance of Circum-Arctic glaciers and recent climate change. Quaternary Research, 1997, 48: 1—14.

22 http: //www. geo. unizh. ch/wgms/mbb/mbb10/sum07. html

23 Braithwaite R J. Positive degree-day factor for ablation on the Greenland ice sheet studied by energy-balance modelling. Journal of Glaciology, 1995, 41(137): 153—160.

24 张勇, 刘时银, 丁永建. 中国西部冰川度日因子的空间变化特征. 地理学报, 2006, 16(1): 89—98.

25 张勇, 刘时银, 丁永建, 等. 天山南坡科契卡尔巴西冰川物质平衡初步研究. 冰川冻土, 2006, 28(4): 477—484.

26 De Woul M, Hock R. Static mass-balance sensitivity of Arctic glaciers and ice caps using a degree day approach. Annals of Glaciology, 2005, 42: 217—224.

27 Braithwaite R J, Raper S C B. Glaciological conditions in seven contrasting regions estimated with the degree-day model. Annals of Glaciology, 2007, 46: 297—302.

28 Braithwaite R J. Mass-balance characteristics of Arctic glaciers. Annals of Glaciology, 2005, 42: 225—229.

29 张勇, 刘时银. 度日模型在冰川与积雪研究中的应用进展. 冰川冻土, 2006, 28(1): 101—107.

30 Ohmura A, Kasser P, Funk M. Climate at the equilibrium line of glacier. Journal of Glaciology, 1992, 38(130): 397—411.

31 Hodson A, Kohler J, Brinkhaus M. Multi-year water and surface energy budget of a high latitude polythermal glacier: evi-

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

dence for over-winter water storage in a dynamic subglacial reservoir. Annals of Glaciology, 2005, 42(1): 42—46.

32 Dyurgerov M B. Glacier mass balance and regime: data of measurements and analysis//Meier M F, Armstrong R. Occasional Paper, Vol 55. Boulder, CO: Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, 2002: 1—268.

33 IAHS (ICSI) /UNEP/UNESCO/WMO. Glacier Mass Balance Bulletin No. 7. Zurich: World Glacier Monitoring Service, 2003.

34 丁永建,刘时银,周文娟,等. 北半球冰川物质平衡变化的若干特征及其气候意义. 地球科学进展, 1996, 11(6): 590—596.

35 Svendsen H, Beszczynska-Møller A, Hagen J O, et al. The physical environment of kongsfjorden——Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard. Polar Research, 2002, 21(1): 133—166.

36 Hamilton G S, Dowdeswell J A. Controls on glacier surging in Svalbard. Journal of Glaciology, 1996, 42(140): 157—168.

37 Hagen J O, Eiken T, Kohler J, et al. Geometry changes on Svalbard glaciers: mass-balance or dynamic response? Annals of glaciology, 2006, 42: 1—7.

38 Paterson W S B. The physics of Glaciers (1st Edition). Pergmon, 1987: 37—51.

39 邓海滨,陆龙骅,卞林根. 北极苔原新奥尔松地区的地表辐射特征. 极地研究, 2006, 18(4): 254—264.

40 Yoshioka M, Ito H Yamaguchi F. Change of glaciers in Spitsbergen Island since 1933 observed with surface photographs. Mem. Natl. Polar Res. Spec. Issue, 2006, 59: 134—143.

41 Kohler J, Nordli Ø, Brandt O et al. Svalbard temperature and precipitation, later 19th century to the present. Final report to ACIC (Arctic Climate Impacts Assessment). 2004, 21.

THE STUDIES OF SURFACE MASS BALANCE AND ICE FLOW ON GLACIERS AUSTRELOVÉNBREEN AND PEDERSENBREEN, SVALBARD, ARCTIC

Xu Mingxing[1,2], Yan Ming[1], Ren Jiawen[3], Ai Songtao[4], Kang Jiancheng[2] and E Dongchen[4]

([1] SOA Key Laboratory for Polar Science, Polar Research Institute of China, Shanghai 200136, China;
[2] Urban-ecology and Environmental Restore Central of Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;
[3] Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
[4] Chinese Antarctic Center of Surveying and Mapping, SGG, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract

The glaciers Austre Lovénbreen and Pedersenbreen are located at Ny-Ålesund, Svalbard. Based on the observation of first year (2005/2006), surface mass balance and ice flow velocity of both glaciers have been analysed, while the front edge of Austre Lovénbreen has also been surveyed. The results are as following: (1) The net mass balance of Austre Lovénbreen and Pedersenbreen is -0.44 and -0.20 m w.e., respectively. Their annual ablation is -0.99 and -0.94 m w.e., respectively, and corresponding ELA is 478.10 and 494.87m, respectively. (2) Austre Lovénbreen and Pedersenbreen are characterized as ice flow model of surge-

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

type glaciers in Svalbard. The level vectors of ice flow velocity are parallel or converge to the central lines of both glaciers, with slower velocities at the lower ablation area and relatively faster ones at the middle and upper part of glaciers. The mean, maximum and minimum of ice flow velocities on Austre Lovénbreen are 2.28, 3.91 and 0.81 m · a^{-1}, and Pedersenbreen's are 6.74, 8.13 and 5.49 m · a^{-1}. The vertical vectors of ice flow velocity show that there is a mass loss in the ablation area, which weakness with the increase of altitude, while there exists a mass gain near ELA on Austre Lovénbreen. The actual vertical displacement is in accord with the general pattern that motion is downward in the accumulation area, and is, by contrast, upward in the ablation area. (3) The front edge of Austre Lovénbreen has receded at an average rate of 21.83 m. a^{-1}, with maximum 77.30 m. a^{-1} and minimum 2.76 m. a^{-1}.

Key words Svalbard, glacier, mass balance, ice flow.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net