

文章编号: 1007-4619 (2000) 04-0271-08

从航空数字影像提取北极海冰形态参数的方法研究

赵进平¹, 任敬萍²

(1. 国家海洋局 第二海洋研究所海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012;

2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘 要: 在 1999 年 7 月至 9 月的中国首次北极科学考察中, 对北极密集冰区进行了航空数字相机遥感观测, 获得一批高分辨率的不同类型海冰数字影像。探讨了利用数字影像分析海冰形态参数的方法。利用这些方法不仅可以分析海冰边缘、密集度、冰水比例等常规参数, 而且可以获得卫星遥感尚无法探测的一些海冰形态的新参数, 这些参数将增加对不同类别海冰的认识, 对于研究北极融冰过程和冰区的海气相互作用提供有价值的分析和研究方法。给出的方法可以应用到中国渤海海冰和其它海域海冰的研究。

关键词: 航空遥感; 数字影像; 海冰; 北极

中图分类号: TP79/P727 **文献标识码:** A

1 引 言

海冰是北极最重要的自然现象之一, 它强烈地制约着海气热量交换, 从而对北极气候乃至北半球气候起到调控作用^[1,2]。冬季北冰洋的绝大部分为海冰覆盖, 海冰密集度接近 1, 海洋和大气的热量交换主要通过穿过海冰的热量实现, 从物理特性看, 海冰是热的不良导体, 因而冬季的海气热交换较弱。夏季开始后, 随着太阳辐射能的增大, 海冰逐渐破碎和融化, 冰密集度减小, 冰范围缩小, 冰形态也变得多种多样。本次考察在冰区的时间从 7 月中旬到 8 月底, 北极海冰正处于大规模融解的过程中, 海冰每天都有显著变化。在楚克奇海, 海冰外缘线在一个月后退缩了 300 多公里。到 8 月中旬, 包括北极点在内的密集冰区都在破碎, 很难找到尺度在 1km 以上的大块浮冰。密集冰的破碎大大增加了海水的面积, 形成海气间的直接交换, 大量热量和水汽进入大气层, 形成这一时期的浓雾、潮湿空气和充沛雨雪。更重要的是, 海气热交换的增加大大削弱了北冰洋大气的波弗特高压, 使夏季的北极大风天气减少, 对

北半球的影响减弱。

对海冰的研究主要在两个方向发展, 即物理海冰和动力海冰。研究海冰对航行和工程的影响, 或研究海冰的形态, 往往需要研究冰构造、冰形态、冰应力、冰阻力等物理参数。研究海冰对海洋大气的影响, 主要考虑海冰的动力与热力作用, 所需的参数主要有冰型、冰范围、冰密集度、冰厚度等动力海冰参数^[3]。本文的工作主要从动力角度研究海冰。

海气热交换与海冰的形态关系非常密切, 即使密集度相同, 海冰会有若干类型, 也有不同的海气交换特征。因此, 研究海洋大气的运动仅仅了解海冰的几个动力学参数是不够的, 需要知道海冰的一些细节, 需要获取不同类型海冰的形态参数, 对海气热交换进行更精细的研究。分辨率最高的卫星传感器当属合成孔径雷达, 可以达到 30m 的分辨率, 可以获得许多海冰信息^[4]。但微波遥感只适合分析由回波特性确定的形态特征, 不能分析由辐射特性确定的形态特征, 前者是研究动力学作用的主要参数, 而后者是研究海气热力学相互作用的主要参数。可见光和红外遥感可以给出海冰的辐射特征, 对海气相互作用研究十分重要。NOAA 卫星的可见光和红外

收稿日期: 1999-10-28; 修订日期: 2000-01-14

基金项目: 国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室科技成果第 2000B001 号。中国科学院重大项目(编号 KZ951-A1-245)和国家自然科学基金委员会基金项目(编号 49876008)支持。

作者简介: 赵进平(1954-), 吉林榆树人, 研究员, 1990 年于青岛海洋大学获博士学位, 现任国家海洋局第二海洋研究所博士生导师。近年来一直从事北极海洋动力学及其与全球变化关系的研究, 发表论文 20 余篇。

遥感数据分辨率为 1km, 在海冰研究中得到广泛的应用^[5]; 然而, 当海冰大规模融化的季节, NOAA 卫星数据不足以给出描述海冰小尺度特征参数。航空遥感比卫星遥感更优越, 因为遥感飞机飞行高度低, 数据分辨率高。数字相机的问世使航空遥感的图像处理更容易、更精确。因此, 航空遥感可望成为北极海冰研究的有效手段。

本文所用的影像摄于 1999 年 8 月 5 日, 遥感飞机为直 9 型直升机, 飞机的飞行高度为 500m。拍摄采用 KODAK-DC260 型数字相机, CCD 物理焦距固定为 8mm, 像元分辨率为 4.85 μ m, 地面分辨率达到 30.3cm。垂直拍摄时每幅影像的地面范围为 466m \times 310m。拍摄沿西经 164°57' 进行, 飞越从 73°25' N—75°25' N, 拍摄到各种类型的海冰、冰间湖和冰间水道的分布影像。

2 海冰主要特征和影像参数

以下 4 种主要海冰类型可以代表本次拍摄的冰区海冰特征:

(1) 低密集度大块碎冰区(图 1)。这种海冰比较常见, 考察船主要航行在这种冰区。这种海冰尺度在几十米到上百米, 在影像上可以清晰地看到海冰的形状及由冰面起伏形成的辐照度的差异。环绕在冰块之间的是海水, 在影像不同位置海水的形态差别也非常大。



图 1 零散海冰区

Fig. 1 The region with low concentration and the ice pieces with different size

(2) 冰间湖区(图 2)。融冰期的冰面存在许多冰间湖, 冰间湖的形态差异很大, 时间变化也很明显。冰间湖是海冰消融最迅速的海域之一, 孤立的冰块进入冰间湖将迅速融化。冰间湖与海水的分界处往往存在一些碎冰, 冰间湖的海水正是这样蚕食

着周边的海冰。

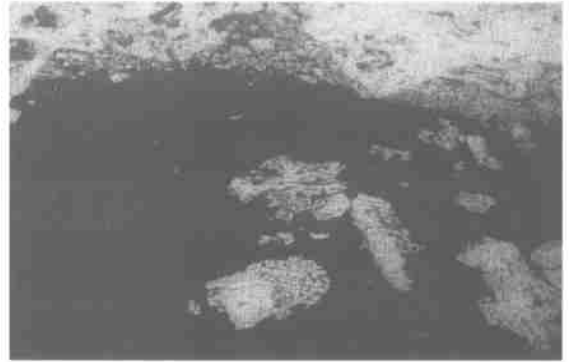


图 2 冰间湖边缘冰区

Fig. 2 Edge of polynya with low concentration ice and pack ice

(3) 低密集度小块碎冰区(图 3)。在一些海区, 海冰普遍碎成几米至十几米的小块, 密集地漂浮于海上, 形成这种冰况的原因还不清楚。由于在 1 幅影像中会有几千块海冰, 难以用近似的方法估计海冰密集度。



图 3 密集小块冰区

Fig. 3 The region consists of many small ice pieces with higher concentration

(4) 有冰上水池的大块冰区(图 4)。冬季形成的海冰表面高低不平, 融化后的雪和冰将流向低处, 形成许多大大小小的水坑或水池。水坑中水的温度高于冰雪, 导致水坑下面的雪全部融化, 海冰也不断受到侵蚀。水坑与海水虽然都是水, 但在光谱上有明显差别; 如果是当年冰上的水坑, 水下面由于冰中盐分较多而显示淡蓝色; 如果是多年冰, 水坑的颜色呈白色。而裂开的冰隙中的海水呈黑灰色。

形成辐亮度差异的海面物质主要有 3 类: 海冰、海水和冰上水池。海水与海冰很容易区分, 冰面或雪面对太阳辐射有强烈的反射能力, 因而辐亮度很高。海水因吸收大量辐射能而辐亮度较低。水池的辐亮度介于海冰与海水之间, 因水池深浅不同而变

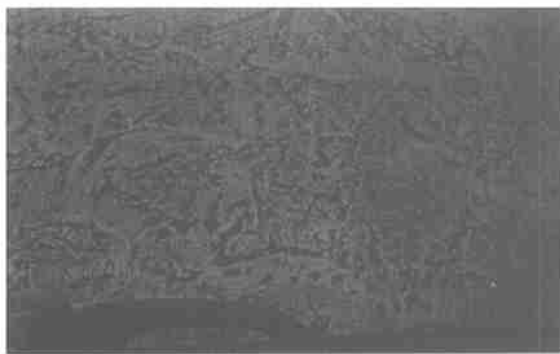


图4 大块浮冰(下部为直升机体)

Fig. 4 A big flooded ice piece with some leads and melting water

化很大,有时接近海冰的辐亮度,有时接近海水的辐亮度。由于水池大量存在,区分水池是非常重要的。水池中的水具有一切水的特点,它们强烈吸收太阳辐射能,因而水坑中的水在夏天很少冻结;在研究热平衡时要考虑水池作为水体的热特征,因为它比冰面反射弱得多。然而在计算海冰密集度时要将水池计算到海冰面积,因为水池下面是海冰,而且海冰比没有水池的地方还厚。

海冰的影像是彩色的,可以分解成红、绿、蓝³个谱段进行分析。在这里我们只将影像转换为辐亮度的灰度值,因为影像的灰阶给出了冰情的必要信息。北极冰的影像有一个最大的优点,即北极太阳高度角很小,没有镜面反射直接进入相机,因此影像辐亮度相对值比较稳定。在大部分时间里,北冰洋笼罩一层薄雾,减小了冰与海水的辐射差异,影像会有些模糊,辐亮度值也会整体增高。由于本项研究只是为了获取海冰的形态特征,我们没有为数据进行辐射定标,给出的只是辐亮度的相对值。由于飞机没有底窗,只能由舷窗拍摄,有一定的倾角,形成影像不同位置像元的反射强度的变化。由以下研究可见,这些问题基本不会影响对海冰特征的分析。

3 海冰密集度计算

在航空数字影像上,海冰和海水是容易区分的;只要区分开冰与水,海冰的密集度就很容易计算了。用计算机分析海冰的关键是确定冰水的阈值。从像元随辐亮度的分布图可以清楚地看到冰和水的峰值,但选择冰与水的阈值(分界点)就不容易准确确定。这种情况往往选用直方图的极小点为阈值^[6]。但是,有时冰与水的面积相差较大,往往只有1个峰

值,没有极小值点,这种情况下不能从直方图上确定阈值。由于影像没有做辐射定标,而且每幅影像的位置、角度、能见度都不一样,辐照度差别很大,必须逐幅影像寻找阈值,使得影像看起来很容易区分冰与水,但用计算机程序实现却并不容易。经过反复试验,我们采用以下方法确定阈值:

对应于影像辐亮度0—255的每个值统计拥有像元的数量,记为 $\epsilon(k)$, k 为 $[0, 255]$ 。然后计算每个像元与相邻像元的差值,如果差值大于临界值 p ,则统计这样像元的数量,记为 $\delta(k)$, k 为 $[0, 255]$ 。最后计算比值

$$\chi(k) = \delta(k) / \epsilon(k) \quad k \in [0, 255] \quad (1)$$

我们称 χ 为强度比。有时,一个像元可以在不止一个方向上的差值大于临界值,这时的强度比可以大于1,因为有些像元可以在几个方向上差值大于临界值。临界值 p 的选择可以比较任意,选不同的值时,曲线峰值的大小会有变化,但峰值对应的辐亮度位置几乎不变。应用强度比确定阈值的物理意义是,在冰与水的界面附近,反射特性的差别最大;如果差别最大的辐亮度集中在某值附近,表明该值最接近阈值。事实表明这种阈值选取方法是非常可靠的。准确选取阈值为准确计算密集度创造了条件。图5是强度比的曲线。在曲线两端,强度比达到极值,因为那里的像元总数很少,即特别亮或特别暗的像元往往是由反射平面的光学特征造成的,不具代表性。除了端点之外,曲线应该有至少1个峰值,将峰值取为阈值。

图5(d)的曲线有2个峰值,一个对应于冰面与冰上水的阈值,另一个对应于冰上水与海水的阈值。这样确定的阈值使我们不仅可以计算海冰的密集度,还可以计算海冰、冰上水和海水分别所占的比例。图5(c)的曲线峰值不尖锐,而是光滑的分布,似乎很难准确确定阈值。实际上,这条曲线说明,该冰区有一些冰上水,但因水池面积较小,深度较浅,无法明显区分阈值。这样,我们仍然用峰值作为阈值,而不区分冰上水。阈值确定后,冰区的每个像元被分别标明是海冰、冰上水或海水。

在有倾角拍摄时采用图6确定的比例关系,令相机焦距为 f ,像元距中心像元的距离为 x ,像元距焦点的距离为 $f' = \sqrt{x^2 + f^2}$ 。设飞机飞行高度为 h ,相机斜角为 α ,像元距中心像元的角度为 β ,则投射到该像元的地面位置与相机焦点位置的距离为 $F = h / \cos(\alpha - \beta)$ 。像元尺度 d 与对应的海面尺度 D 应满足

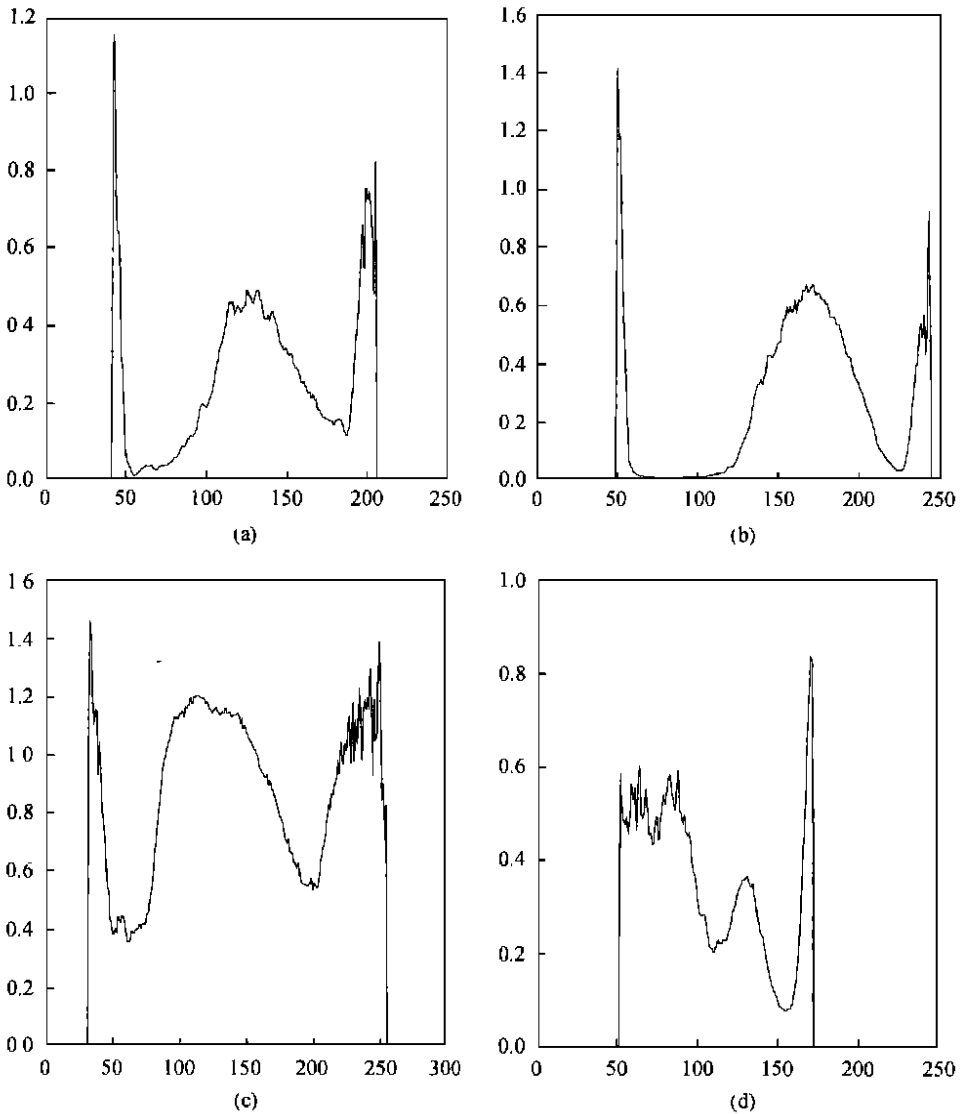


图 5 确定冰水界面阈值的强度比曲线

(a-d)分别为图 1—图 4 的强度比曲线(纵坐标的强度比为无量纲值,数值的确见公式(1)及其相关描述)

Fig. 5 Ratio of Radiance in determining the threshold value of ice and water interface

$$\frac{d}{f'} = \frac{D}{F}$$

得到海面尺度 D 的表达式为

$$D = \frac{dh}{\sqrt{x^2 + f^2} \cos(\alpha - \beta)} \quad (2)$$

由上式可以分别计算每个像元的面积,最后确定总面积和海冰、冰上水或海水各自所占的面积,从而计算海冰的密集度。图 1—图 4 影像的阈值、冰水比例和海冰密集度如表 1。可见,用航空数字影像确定的海冰密集度很精确,而且可以确定冰上水的密集度。如果能够进行拼图式拍摄,将可以给出高分辨率的冰图,成为较大面积海冰研究的重要手段。

有了阈值,海冰的边缘线很容易确定。可以容易地画出海冰的边缘线和分布图。图 7 是图 2 和图 3 中最大冰块分布图。

4 海冰其它参数计算

由于航空数字影像无法分析冰厚,在一般情况下,确定了海冰的密集度和边界线就基本完成了对海冰的刻画^[7]。然而,人们往往不满足于仅了解密集度。海冰除了密集度之外还有其它的信息。例如,密集度相同的冰区,海冰的大小可以很不相同,不同大小的冰块对船舶航行的阻力差别很大,对海气相互作用的影响也很不相同。下面,利用数字影

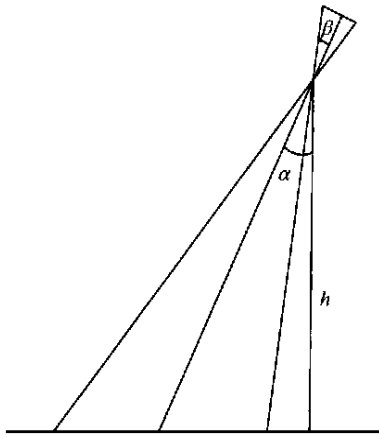


图 6 有倾角拍摄时的面积计算示意图

Fig. 6 Sketch of calculating ground area for each element when photographed with inclination

像的优势, 分析以下几个参数, 以增加对海冰的

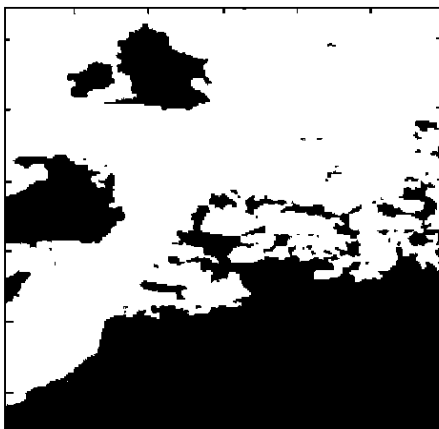
认识。

(1)冰块面积——描述在相同密集度情况下海冰大小的差别

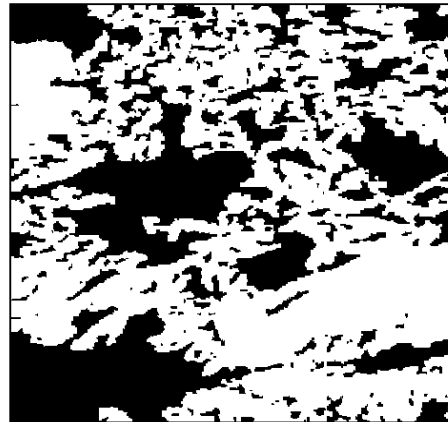
在明确确定像元是海冰、冰上水或海水之后, 可以计算每一块冰的面积。由于阈值选取后, 冰面辐亮度接近阈值的像元会跨越阈值, 形成孤立的“冰”, 在这种情况下, 这些孤立的像元一般不是冰, 在完成冰块及其面积确认之后, 对已有冰块再整理, 将只有 1 个或 2 个像元的冰块排除掉。这样可以确定 1 幅影像中冰块的总数与各冰块的面积。表 1 第 8, 9 栏给出了每幅影像冰块数量和最大冰块的面积。

(2)冰块比例——描述各种大小冰块在海域所占的比例

实际冰块的大小差别非常大, 从零点几平方米到几十万平方米, 尽管我们可以给出各冰块的大小, 但人们往往更关心海冰冰块的统计特征。因此我们将海冰按冰块大小定义为以下 5 类:



(a)



(b)

图 7 不同冰块破碎度的差别(取自影像左上角的 300×300 像元, 白色为海冰)

(a)图 2 的最大冰块(像元数 52280, 破碎度为 9.3); (b)图 3 的最大冰块(像元数 50406, 破碎度为 70.4)

Fig. 7 The differences of the breaking degree for different ice pieces (only 300×300 elements in up-left corner is taken, and the white is ice piece)

表 1 由各影像图提取的主要海冰参数

Table 1 Sea ice parameters extracted from images

海冰参数	图 1	图 2	图 3	图 4
1 拍摄倾角/ $^{\circ}$	30	30	30	30
2 冰水阈值	125	171	113	131
3 水水阈值				88
4 海冰面积/%	38.7	31.5	50.1	66.4
5 冰水面积/%				31.7
6 海水面积/%	61.3	68.5	49.9	1.9
7 海冰密集度/%	38.7	31.5	50.1	98.1
8 冰块数量/块	653	330	1638	25
9 最大冰块面积/ m^2	55512	35299	84170	174460
10 海冰最大 λ 值	21.4	9.3	70.4	4.8
11 最大水面面积/ m^2	99454	125737	18026	327
12 海水最大 λ 值	18.5	10.1	38.8	6.2

- ①碎冰 $<10\text{m}^2$;
 ②小型冰 $10-100\text{m}^2$;
 ③中型冰 $100-1000\text{m}^2$;
 ④大型冰 $1000-10000\text{m}^2$;
 ⑤巨型冰 $>10000\text{m}^2$ 。

对各影像图进行统计,得到的结果如表 2。图 3 和图 1 冰块数量很多,各种面积的海冰都有。图 4

冰块最少,除了一块巨型冰之外,只有面积小于 10m^2 的碎冰。图 2 是一个冰间湖的边缘,既有密集巨型冰,还有各种尺度的冰块。

从表 2 给出的结果可见,图 4 几乎是一块大冰,占海冰总面积的 98%,对船只航行有很大影响。在实际应用时,表 2 可以对船只导航起到重要作用。

表 2 各冰区冰块比例的差别

Table 2 Difference in the proportion of ice pieces in various ice zone

		碎冰	小型冰	中型冰	大型冰	巨型冰	海冰	海水
图 1	冰块数量/块	520	95	31	6	1	653	
	面积/%	0.5	1.4	4.6	4.8	27.4	38.7	61.3
图 2	冰块数量/块	277	37	11	3	2	330	
	面积/%	0.3	0.6	1.2	3.5	25.9	31.5	68.5
图 3	冰块数量/块	1372	231	33	1	1	1638	
	面积/%	1.4	3.0	3.1	1.0	41.6	50.1	49.9
图 4	冰块数量/块	24	0	0	0	1	25	
	面积/%	0.0	0.0	0.0	0.0	98.1	98.1	1.9

(3)冰块破碎度——描述同样面积冰块的复杂程度

看起来,准确确定各冰块面积就应该满足各种需要了。但是,表 2 的结果存在可疑之处,因为从图 1 和图 3 用肉眼可以看出,在这两幅影像上并没有巨型冰,而是由许多小的冰块构成的冰区,而表 2 的分析结果却认为存在巨型冰。实际上,如果一些小冰块挤在一起,没有缝隙,用肉眼和计算机都是无法识别的,只能认为是一块大冰。但挤在一起的小冰块在融解期间,中间一般要形成缝隙,形成像图 1 和图 3 一样的密集冰区。这种情况下,用肉眼可以看出冰区是由小冰块挤在一起的,但用计算机分析因为密接的冰块构成了连通域,还会认为是一整块冰。所以图 1 和图 3 的情形,计算机认为存在一块大冰。然而究竟是一块大冰还是挤在一起的小冰,对破冰船来讲阻力不一样,海冰对海气交换的影响也不一样。为此,有必要区分这两种情形。

我们选择一个新参数 λ ,称为冰块破碎度,定义为海冰周长与同样面积的正方形海冰周长的比值。这个参数代表了海冰形状的复杂程度,海冰形状越复杂,破碎度就会越大。表 1 给出各冰区最大冰块的 λ 值。可见,图 4 冰块很大,但 λ 小于 5,是一块大冰,间隙很小。一般来讲,单块海冰的 λ 值不大于 4;即使有一些裂缝或冰间水, λ 值也不大于 6。

因此,对于 λ 值大于 6 的冰块可以认为是由小块冰挤在一起形成的。可是图 3 的巨型冰 λ 值达到 70,显然远远比图 4 的冰块复杂。这个参数虽然并不能确切表明小冰块的大小,但一般来讲, λ 值越大,冰块面积越小,可以对人们最关心大块冰的结构给出定性的判断。图 7(a)和 7(b)给出了图 2 和图 3 左上角的最大冰块的分布图,这两块冰的面积分别为 52280 和 50406 个像元,面积大小只相差 3.5%,但破碎度相差非常大。由于图 2 在边缘区有许多碎冰,使得破碎度达到 9.3,但仍有一块大面积的海冰;而图 3 的破碎度达到 70.4,该冰块实际上是由许许多多小冰块拼接而成的。可见,破碎度小的冰块面积要比破碎度大的冰块面积大得多。

由上述分析结果可见,如果获得了冰密集度、冰块数量、冰块面积及其统计分布、冰块破碎度等几个参数,就可以通过数字对海冰分布状态进行刻画,使人们可以对大面积海冰状况有比较全面、可靠的了解。

5 冰间水参数

实际上,我们对冰结构参数的关心,对水也同样存在。暴露的海水有冰隙、冰间湖、冰间水道等分布形式。对船只航行而言,比较关心冰间湖和较宽的

冰间水道;对海气交换过程而言,海水的面积分布是相当重要的。也就是说,除了关心海水的密集度之外,我们也关心水的面积、不同面积海水的比例和海水的破碎度。

对海水面积的计算与对海冰的计算一样,这里就不再赘述。海水的面积分布也可类似地按面积大小划分,然后统计不同面积海水的分布规律。找出大面积的海水区可以为海上航行导航。

我们也可以计算水的 λ 值,它代表了海水形状的复杂程度。如果 λ 值较小,说明海水形成一个冰间湖,而如果 λ 值很大,说明海水大多是冰缝隙的水。

这些参数的计算与海冰的一样,表1给出每幅影像最大面积的海水及其 λ 值。从表中可见,图4的海水面积最小,破碎度也较低,只是一些简单的冰隙。图2海水面积很大,破碎度为10,形状不是太复杂,是一个冰间湖。图3最大水面积不小,但破碎度很大,说明这些海水大都是冰间水,没有构成大片的水域。图1的水面积很大,破碎度也较高,说明海水既构成大面积的开阔水域,又有相当面积的碎冰区冰隙水。

6 结果与讨论

本文给出了用航空数字影像分析北极海冰的一些算法。结果表明,利用这些算法可以成功地从航空数字影像提取海冰的信息。

文中采用的海冰辐亮度强度比的方法可以有效地确定海冰与海水之间的阈值,以及海冰与冰上水的阈值,较好地地区分影像中的海冰、冰上水和海水。由此,可以准确地计算海冰、冰上水和海水的密集度与边缘线。

冰块面积和冰块比例是本文引进的两个参数。冰块面积的算法可以确定海冰冰块的数量以及每块海冰的面积。冰块比例是对冰块面积的统计结果,

将海冰按面积分为碎冰、小型冰、中型冰、大型冰和巨型冰5级,可以确定每级冰块的数量和总面积,实现对海冰大小的统计分析。

为了区分整块大冰和由小冰块挤在一起的大冰,必须有一个参数用来表征冰块的复杂程度,冰块破碎度 λ 就是这样一个参数。简单的整块冰破碎度一般都不大, λ 大于10的冰块往往由很多小冰块组成,大量小冰块组成的大冰 λ 可以达到70以上。这个参数使我们可以定性地了解大冰块的成分和形态。

这样几个新参数不仅可以实现对海冰细节的认识,而且对冰间水域也可以刻画。类似引入水域面积、水域比例和水域破碎度几个参数可以表征水域的大小和开阔程度,对冰区航行和今后的海气相互作用研究有很大帮助。

本文主要侧重于对提取海冰参数的算法研究,为今后海冰的航空遥感研究打下基础。对海冰参数所表现的物理过程有待进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] Morison J. et al. The oceanography of winter leads [J]. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**: 11199-11218.
- [2] Alam A., J. Curry. Lead-induced atmospheric circulation [J]. *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**: 4643-4651.
- [3] Guo Zhichang, Jinping Zhao. Review on the numerical modeling of Arctic sea ice [J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 1998, **29** (2): 219-228. [郭智昌,赵进平. 北极海冰数值模拟研究述评. 海洋与湖沼,1998, **29**(2):219-228.]
- [4] Stern H L., D. A. Rothrock. Open water production in Arctic sea ice: Satellite measurements and model parameterizations [J]. *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**: 20601-20612.
- [5] Yu Y. et al. Thin ice thickness from satellite thermal imagery [J]. *J. Geophys. Res.*, 1996, **101**: 25753-25766.
- [6] Castleman, K. R. Digital Image Processing [M]. 北京,清华大学出版社, (Original edition published by Prentice-Hall International Inc.)1997.]
- [7] Zhang Fangjian. Sea Ice in China. Beijing: Ocean Press, 1986. [张方俭. 我国的海冰. 北京:海洋出版社,1986.]

Study on the Method to Analyze Parameters of Arctic Sea ice from Airborne Digital Imagery

ZHAO Jin-ping¹, REN Jing-ping²

(1. *Second Institute of Oceanography, Key Lab of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China;*

2. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)*

Abstract: In the Chinese Arctic scientific expedition during July to September, 1999, a set of digital images by helicopter remote sensing are obtained. With high ground resolution of 30 cm, these images can be used to analyze detailed sea ice parameters. In this paper, a method for determining the threshold value is adopted to separate ice and water. A ratio of radiance is defined as the ratio of the ice element number that with large difference compared with the neighbor element over the total element number with the same radiance value. By the result, not only ice edge and ice concentration are accurately calculated, but some new parameters are also chosen to present the status of sea ice. Ice area is a parameter to give the area of each ice to show the size of ice. Sea ice is divided into five types by its area size to show the ice distribution ratio in different types. As many big ice packs consist of small ice pieces crowded each other, a new parameter called breaking degree is proposed to express the complexion degree of ice shape. These parameters can be used to distinguish ice size in a big ice, which can greatly affect vessel navigation and air-ice-ocean heat exchange. By combining these parameters, people can get more information of sea ice for its concentration, area of big ice and broken degree of ice pack. It seems that these parameters are useful in the studies in ice melting process and interaction between atmosphere and ocean water. These parameters are hardly determined by satellite imagery. The method can be used to calculate water's area, and complexion degree of water regions to express lead, lane, polynya, etc. The methods can be used in sea ice analysis for either polar ice or the ice in Bohai Sea.

Key words: airborne remote sensing; digital image; sea ice; arctic