

博斯腾湖面积定量遥感*

刘瑞霞¹⁾ 刘玉洁¹⁾ 郑照军¹⁾ 黄彦彬²⁾

¹⁾(国家卫星气象中心,北京 100081) ²⁾(海南省气象与生态研究所,海口 570203)

摘 要

采用 NOAA/AVHRR 资料,利用水体与地物光谱特性的差异,结合通道 2 方案和通道 2/通道 1 方案,对 4 月博斯腾湖水体进行判识,而利用通道 2/通道 1 并结合通道 4 的方案判识了 10 月博斯腾湖水体,在此基础上利用线性混合模式对混合像元做了处理,定量估算了 1990—1998 年 4 月和 10 月博斯腾湖的面积,调研了 9 年来博斯腾湖面积变化情况,表明 9 年间博斯腾湖面积呈增加趋势。进一步采用主成分分析方法对博斯腾湖面积增大原因做了初步的气候分析,表明 1988 年以来博斯腾湖地区气温升高、蒸发量减少、降水有所增加,而人类活动用水和出流稳定并有减少是博斯腾湖面积增加的主要原因。而博斯腾湖及上游地区季节性积雪的特征,使冬季积雪水资源注入博斯腾湖,导致春季博斯腾湖面积较秋季大。

关键词:博斯腾湖;面积增加;线性混合模式

引 言

博斯腾湖是新疆最大的湖泊,也是我国最大的内陆淡水吞吐湖,是开都河的归宿地,又是孔雀湖的源头,它是世界著名的绿色走廊的水源补给区,国家一级自然保护区在其流域之内,博斯腾湖的湖区是著名的新疆重要农业基地焉耆盆地,因此它丰富的水资源是当地经济的生命线,同时它水质的咸化、污染及萎缩,也对绿色走廊的存亡有着决定性作用,因此,保护博斯腾湖也是防止当地生态环境破坏,阻止当地沙化趋势的发展。而 20 世纪 80 年代之前,博斯腾湖由淡水湖急剧演变成微咸湖,同时湖泊萎缩,水质面临严重危机,政府采取了一些措施,同时近年气候变化也在影响着博斯腾湖,王润等^[1]利用实测的水位资料分析了博斯腾湖水位变化过程,说明 1988 年起,博斯腾湖水位在持续上升。郭铤等^[2]利用有限的 NOAA/AVHRR 资料和 EOS/MODIS 资料,也证明 1987 年博斯腾湖面积为 980 km²,2002 年 8 月达 1430 km²。而目前还没有利用卫星资料对各年博斯腾湖面积的调研,本文采用 1990—1998 年 NOAA/AVHRR 卫星资料,调研博斯腾湖 9 年间面积变化趋势,并对其变化原因进行探讨。

用单通道不可能精确确定水体面积,我们考虑用多通道。理想的水体识别的算法是消除云的影响,因此我们选取晴空图像,而由于获取连续的晴空图像的限制,我们只调研了 4 月和 10 月的水体面积。

1 博斯腾湖面积定量监测方法

定量监测博湖面积的步骤如下:① 水体识别;② 水体面积计算,主要是混合像元中水体面积的估算。

由于要调研 1990 年以来博斯腾湖水体面积,因此我们选用了有较长时间序列的 NOAA/AVHRR 资料。

NOAA15 之前,AVHRR 共有 5 个探测通道,光谱范围分别为通道 1:0.58~0.68 μm,通道 2:0.725~1.0 μm,通道 3:3.55~3.93 μm,通道 4:10.3~11.3 μm,通道 5:11.5~12.5 μm,到 NOAA15,16,17 又增加了通道 6,光谱范围 1.58~1.64 μm。分析几种常见地物的光谱特征(图 1)发现,AVHRR 通道 2 是水汽的强吸收带,水体的反射率较其他地物要低。因此,首先采取 AVHRR 通道 2^[3]来识别水体,判据如下:

* 国家自然科学基金项目(90102010)和国家重点研究项目“风云三号 MODIS”共同资助。
2005-01-27 收到,2005-11-11 收到再改稿。

水体	当 $r_2 \leq T_1$	(1)
混合	当 $T_1 < r_2 \leq T_2$	
陆地	当 $r_2 > T_2$	

其中 r_2 指通道 2 的反射率, T_1, T_2 是阈值。阈值的确定主要通过通道 2 反射率的直方图, 经分析发现通道 2 反射率的直方图呈明显的双峰型分布, 于是根据直方图, 采用人机交互可以确定水体、混合像元、陆地的阈值 T_1, T_2 。然后由计算机对该区域所有像元点逐个扫描, 高于 T_2 的认为是陆地, 低于 T_1 的认为是水体, 处于二者之间的为混合像元。由于大气状况的不同, T_1, T_2 随不同的图像取不同的值, 因此需要采用人机交互确定阈值。

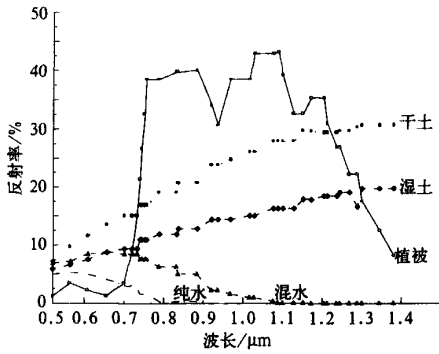


图 1 几种常见地物的光谱曲线

而根据目标物的光谱特征, Sheng 等^[4]也设计了通道 2/通道 1 方案。这种方法拉大了水陆差距, 并可以在一定程度上减少云和植被的影响:

水体	当 $r_2/r_1 \leq T_0$	(2)
陆地	当 $r_2/r_1 > T_0$	

其中 T_0 为阈值, 通道 2/通道 1 直方图也为双峰型, 根据其直方图确定 T_0 , 高于此阈值的为陆地, 低于此阈值的为水体和混合像元。 T_0 为变化的值, 但总体上保持在 1.0 左右。

对卫星遥感博斯腾湖图像的光谱特征进行分析发现, 对 4 月博斯腾湖水体的判识采用通道 2 方案结合通道 2/通道 1 方案可以较精确地判识出博斯腾湖水体。而 10 月份博斯腾湖西南角的湖体被芦苇所覆盖, 仅仅用通道 2 和通道 2/通道 1 相结合的方式无法识别, 而 AVHRR 通道 4 在植被覆盖水体部分却表现出较周围陆地较低的亮度温度, 因此, 我们将博斯腾湖分为两部分, 东部大湖体用通道 2 结合通道 2/通道 1 方案判识, 对博斯腾湖西南角的湖体, 采用通道 4 判识。判据如下:

水体	当 $T_{b4} \leq T_3$	(3)
混合	当 $T_3 < T_{b4} \leq T_4$	
陆地	当 $T_{b4} > T_4$	

其中 T_{b4} 指通道 4 的亮度温度, T_3, T_4 是阈值。阈值的确定同样是根据通道 4 亮度温度的直方图, 随不同的图像取值不同。然后将两部分水体再拼接在一起。

水体的面积是所有判识为水体的像元与混合像元中水体部分面积的和。混合像元中水体面积的计算我们借鉴了 Sheng 等^[5]的方法, 并作了一定改进。下面详述其原理。

假设一个混合像元面积为 S , 水体所占比例为 a , 则陆地为 $(1 - a)$ 。

对通道 1 和通道 2 反射率分别表示为式(4)和(5):

$$r_{1混合} = ar_{1水体} + (1 - a)r_{1陆地} \quad (4)$$

$$r_{2混合} = ar_{2水体} + (1 - a)r_{2陆地} \quad (5)$$

其中, $r_{i陆地}$ 和 $r_{i水体}$ 分别是纯陆地和纯水在通道 i 的反射率; $r_{i混合}$ 是混合像元在通道 i 的反射率, $i = 1, 2$ 。

用式(5)/式(4), 则:

$$\frac{r_{2混合}}{r_{1混合}} = \frac{ar_{2水体} + (1 - a)r_{2陆地}}{ar_{1水体} + (1 - a)r_{1陆地}} \quad (6)$$

设 $\frac{r_{2混合}}{r_{1混合}} = R_{混合}$
则

$$R_{混合} = \frac{ar_{2水体} + (1 - a)r_{2陆地}}{ar_{1水体} + (1 - a)r_{1陆地}} \quad (7)$$

求解方程中的 a , 则:

$$a = \frac{r_{2陆地} - R_{混合}r_{1陆地}}{R_{混合}r_{1水体} - R_{混合}r_{1陆地} - r_{2水体} + r_{2陆地}} \quad (8)$$

a 的取值范围为 $[0, 1]$ 。

于是, 水体面积 =

$$\frac{S(r_{2陆地} - R_{混合}r_{1陆地})}{R_{混合}r_{1水体} - R_{混合}r_{1陆地} - r_{2水体} + r_{2陆地}} \quad (9)$$

2 利用 NOAA 资料监测博斯腾湖 1990—1998 年水体面积及变化

2.1 10 月博斯腾湖面积调研及面积变化

10 月份, 我们获取了表 1 所列时间的博斯腾湖的晴空图像, 按照前面讲述的方法判识出博斯腾湖湖体并计算其面积, 图 2 是判识得到的相应时间的

表 1 1990—1998 年 10 月 博斯腾湖面积

日期	1990-10-03	1991-10-02	1992-10-20	1995-10-08	1996-10-11	1997-10-11	1998-10-08
面积/ km ²	1180.76	1194.72	1197.67	1243.84	1254.85	1259.00	1265.57

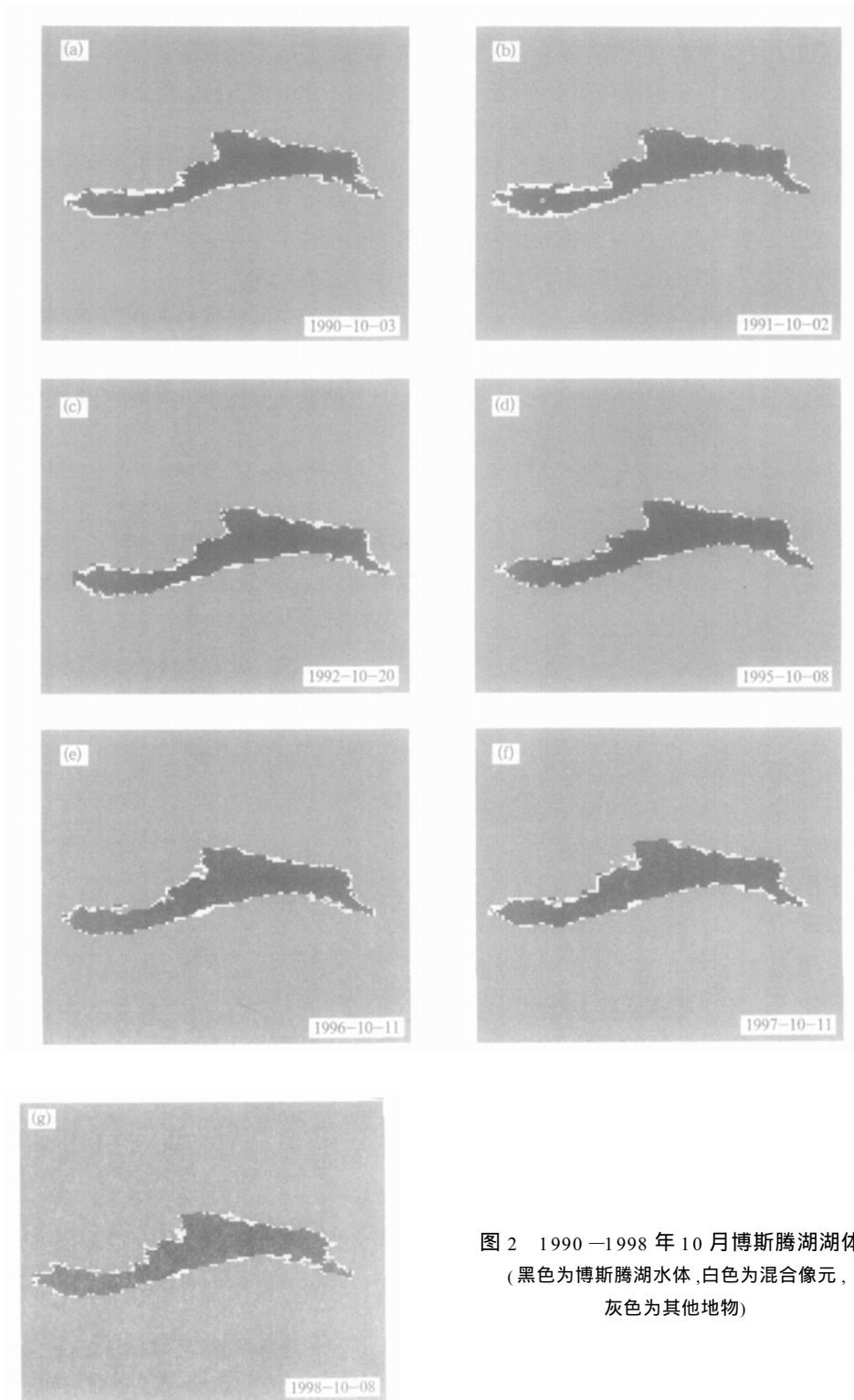


图 2 1990—1998 年 10 月 博斯腾湖湖体
 (黑色为博斯腾湖水体,白色为混合像元,
 灰色为其他地物)

波斯腾湖水体。图 3 给出 1990—1998 年 10 月波斯腾湖面积变化柱状图。由图 3 可以看出, 1990 年到 1998 年的 10 月波斯腾湖湖体面积在不断扩大, 由 1990 年的 1180.76 km² 增加到 1998 年的 1265.57 km²。

2.2 4 月波斯腾湖面积调研及面积变化

表 2 是 1990—1998 年 4 月波斯腾湖面积。图 4 为 1990—1998 年 4 月波斯腾湖面积变化柱状图。很明显, 1990 年到 1998 年的 4 月波斯腾湖湖体

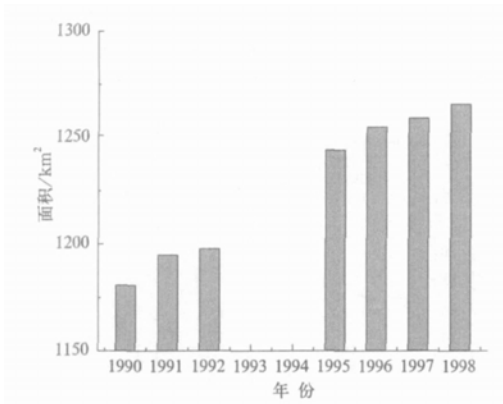


图 3 1990—1998 年 10 月波斯腾湖面积变化

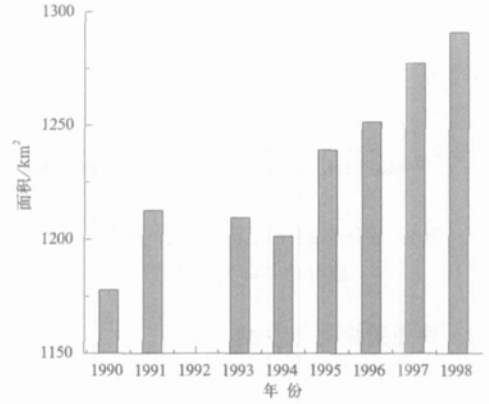


图 4 1990—1998 年 4 月波斯腾湖面积变化

表 2 1990—1998 年 4 月波斯腾湖面积

日期	1990-04-23	1991-04-26	1993-04-05	1994-04-06	1995-04-22	1996-04-29	1997-04-21	1998-04-30
面积/ km ²	1177.95	1212.80	1209.44	1201.25	1239.18	1251.48	1277.13	1290.72

面积不断扩大, 增加很快, 由 1990 年的 1177.95 km² 增加到 1998 年的 1290.72 km²。

3 波斯腾湖湖体面积增加的原因分析

我们选用了波斯腾湖周边巴仑台、库米什、焉耆、库尔勒 4 个气象站的资料, 分别对 4 站 1988—2000 年的春、夏、秋、冬、全年平均降水、气温以及蒸发量做主成分分析, 来说明波斯腾湖面积增加的原因。

3.1 主成分分析简介

主成分分析^[6], 又称为主要分量分析。气象分析中往往需要很多变量指标, 主成分分析可以抓住这些变量的主要特点, 用较少的指标代替原来较多的指标, 又能综合反映原来较多指标的信息, 同时, 如果很多变量带有一定相关性时, 主成分分析可以将这些因子转化为互相独立的组合因子, 而且能将原因子场的信息集中到少数几个组合因子中。如原始变量为 X_1, X_2, \dots, X_n , 我们可以用一组新变量 Z_1, Z_2, \dots, Z_n 来表示原始变量反映的全部信息,

Z_1 为第一主成分, Z_2 为第二主成分, 依此类推, 如果 Z_1 的方差贡献较大, 则 Z_1 就可以反映原始变量的绝大部分信息, 因此可以用 Z_1 综合表示 X_1, X_2, \dots, X_n 的信息, Z_1 的方差越大, 它综合原始变量的能力越强。

3.2 气温、蒸发量、降水变化对波斯腾湖面积的影响

3.2.1 波斯腾湖的气温

气温第一主成分方差贡献春季为 95.83%, 夏季为 78.07%, 秋季为 75.55%, 冬季为 78.09%, 全年平均为 73.48%。四季以及全年平均气温主成分分析的第一主成分的方差贡献都达到了 73% 以上, 因此仅考虑第一主成分便可以完全说明波斯腾湖地区气温的变化情况。分别绘制四季(图略)以及全年气温变化趋势(图 5), 具体变化情况如下: 春夏两季气温呈明显上升趋势, 春季升幅尤其明显, 增幅达 0.544, 夏季增幅为 0.357, 而秋季气温升高趋势不是很明显, 对于冬季, 1995 年之前气温表现为下降趋势, 1995 年之后呈上升趋势, 全年平均气温表现为上升趋势, 增幅达 0.424。

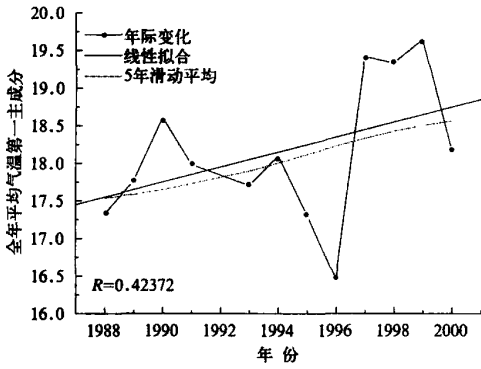


图5 博斯腾湖地区全年平均气温第一主成分的年际变化曲线

3.2.2 博斯腾湖的蒸发量

博斯腾湖地区春季蒸发量第一主成分的方差贡献为 54.48%，夏季为 64.78%，秋季为 57.46%，冬季为 70.78%，全年平均蒸发量第一主成分的方差贡献为 62.74%。

四季以及全年平均蒸发量的第一主成分均占总方差的 54% 以上,因此我们仅考虑第一主成分。由四季(图略)以及全年蒸发量的变化趋势(图6)可见:博斯腾湖地区夏、秋、冬三季的蒸发量均表现为下降,夏秋季尤其明显,其中夏季降幅达到 -0.72,秋季为 -0.69,冬季降幅较小。春季蒸发量稍有增加,但增加幅度很不明显,丝毫不能影响全年平均蒸发量的下降趋势,全年平均蒸发量的降幅达到 -0.82。根据以前对西北地区云量的研究发现博斯腾湖地区的总云量近年有所增加^[7],而相应蒸发量下降。

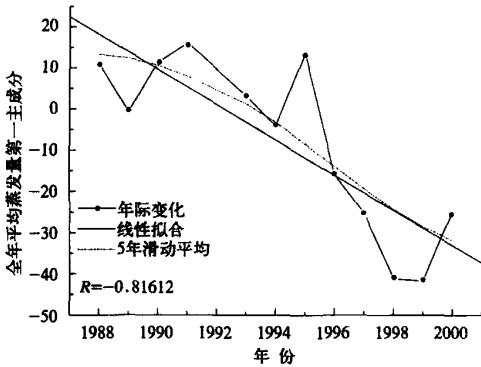


图6 博斯腾湖地区全年平均蒸发量第一主成分的年际变化曲线

3.2.3 博斯腾湖的降水

博斯腾湖地区降水的第一主成分的方差贡献春

季为 76.19%,夏季为 85.85%,秋季为 76.94%,冬季为 73.38%,全年平均为 75.26%。由四季(图略)以及全年平均降水量变化趋势如图7可见:博斯腾湖地区降水夏、冬两季有明显增加,其中夏季增幅很大,达 0.645,冬季也达 0.24,而春秋两季总体趋势略有下降。由于我国西部地区降水主要以夏季、冬季为主,因此全年降水的变化趋势表现为增加,增幅达到 0.506。

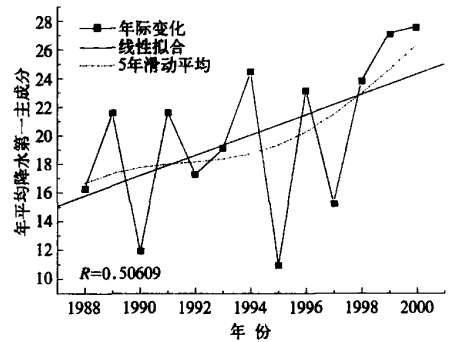


图7 博斯腾湖地区全年平均降水第一主成分的年际变化曲线

综合以上对博斯腾湖地区降水、气温和蒸发量的分析可见:9年来,博斯腾湖地区气温升高、蒸发量减少,而降水有所增加,三者共同作用对博斯腾湖面积增加起到不可忽视的作用。

3.3 其他影响因素

其他影响博斯腾湖面积的因素还有人类活动用水(主要为农业灌溉)、生态用水以及博斯腾湖出流等。根据研究^[1],近年来农业灌溉、生态用水以及博斯腾湖出流等稳定并有减少,这也是导致博斯腾湖面积扩大的原因。

另外,对比4月和10月博斯腾湖面积,我们发现,4月博斯腾湖面积较10月相差不多,甚至比10月要大,这主要与博斯腾湖及上游地区积雪融化有关,图8是1997年冬至1998年春博斯腾湖及上游

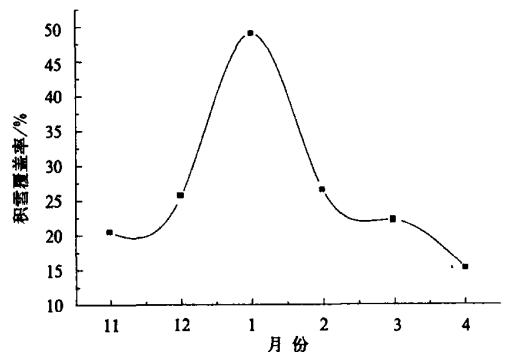


图8 1997年冬至1998年春博斯腾湖及上游地区积雪覆盖率变化趋势

地区的积雪覆盖率曲线,其他年份变化趋势基本相同,可以看出从每年的11月开始,博斯腾湖及上游地区进入积雪增长期,雪盖面积稳步增长,到次年1月达最大值,之后,进入雪盖消融期,4月份基本结束。正是由于博斯腾湖及上游地区季节性积雪的特征,使冬季积雪水资源注入博斯腾湖,导致了春季博斯腾湖面积较秋季大。

4 结论及展望

由以上研究,可以得出以下结论:

1) 利用 NOAA 卫星通道 2、通道 1、通道 4 可以较为准确地监测博斯腾湖的面积。

2) 1990 年以来,博斯腾湖面积呈增加趋势。

3) 1988 年以来博斯腾湖地区气温升高、蒸发量减少、降水有所增加,而人类活动用水、生态用水和出流稳定并有减少是博斯腾湖面积增加的主要原因。

4) 博斯腾湖及上游地区季节性积雪的特征,使冬季积雪水资源注入博斯腾湖,导致了春季博斯腾湖面积较秋季大。

内陆湖是干旱区气候的指示物,利用遥感手段可以更便捷地获得内陆湖的信息,从而更深刻的理解气候变化。然而,目前对于云覆盖下的水体的定

量测量等问题还没有更好的解决办法,这大大影响了湖泊面积、湖泊水位等长时间序列气候资料的建立。而卫星气候资料的建立已经成为目前迫切需要解决的问题,尤其是对偏远地区,只有建立了可靠的气候序列资料,我们才能有的放矢地提出合理的可持续发展的管理体系和对策,适应和减缓气候变化的负面影响,实现社会、经济、环境的协调发展。

参考文献

- [1] 王润, Ernst Giese, 高前兆. 近期博斯腾湖水位变化及其原因分析. 冰川冻土, 2003, 25(1): 60-64.
- [2] 郭锐, 张杰, 梁芸. 西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题. 冰川冻土, 2003, 25(2): 211-214.
- [3] Sheng Yongwei, Su Yafang, Xiao Qianguang. Challenging the cloud-contamination problem in flood monitoring with NOAA/AVHRR imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1998, 64: 191-198.
- [4] 盛永伟, 肖乾广, 陈维英. 应用 FY-1B 气象卫星监测 1991 年江淮洪水的研究. 环境遥感, 1994, 9(3): 228-233.
- [5] Sheng Yongwei, Gong Peng, Xiao Qianguang. Quantitative dynamic flood monitoring with NOAA AVHRR. *Int J Remote Sens*, 2001, 22(9): 1709-1724.
- [6] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 1995.
- [7] 刘瑞霞, 刘玉洁, 杜秉玉. 中国云气候特征的分析. 应用气象学报, 2004, 15(4): 468-476.

Quantitative Detection of Bosten Lake Area Using NOAA/ AVHRR Data

Liu Ruixia¹⁾ Liu Yujie¹⁾ Zheng Zhaojun¹⁾ Huang Yanbin²⁾

¹⁾ (National Satellite Meteorological Center , Beijing 100081)

²⁾ (Hainan Meteorological and Ecological Academy , Haikou 570203)

Abstract

To estimate the area of Bosten Lake and the area change since 1990 , the threshold values of the channel reflectance and bright temperature of NOAA/ AVHRR data are used to distinguish water body from other objects . For channel 2 , water body indicates lower reflectance than vegetation and other land covers . The ratio of Channel 2 to Channel 1 can enhance the difference between water body and land , and decrease the effects of cloud and vegetation to a certain extent . For the image in April , the water body is identified by the reflectance of Channel 2 and the ratio of channel 2 to channel 1 . The pixels are identified as water body if the reflectance in channel 2 is lower than the threshold T_1 , as the land if it is higher than T_2 (threshold) , and as mixed pixels if it is between T_1 and T_2 . Based on the histograms of channel 2 and the ratio of channel 2 to channel 1 , the threshold values of the T_1 and T_2 are found , and they are fixed on the different satellite images . In October , the water body in the south-east of the Lake is identified with bright temperature of channel 4 because the region is covered by vegetation . But , in the east of the Lake , the water body is still identified by the reflectance of channel 2 and the ratio of channel 2 to channel 1 . The threshold value of channel 4 is also determined according to the histogram . The linear mixed model is used to calculate the area of mixed pixels at the edge of lake . The area of Bosten Lake in April and October from 1990 to 1998 are calculated , and the area changes of Bosten Lake during the nine years are detected . The result shows that the area of Bosten Lake has been increasing from 1990 to 1998 due to the increasing of the temperature/ precipitation and the decreasing of evaporation , and the water utilization by mankind and the water exiting has been stable , even has decreased since 1988 . Furthermore , the area of Bosten Lake is bigger in spring than that in autumn due to the supplying of the melt water of snow after the winter .

Key words : Bosten lake ; area change ; linear mixed model