

中国西部积雪微波遥感监测*

曹梅盛 李培基

(中国科学院兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

提 要 用 1978—1987 年多通道微波扫描辐射计(SMMR)所获取的地表微波亮温及亮温-雪深区域订正反演算式,计算了 100°E 以西中国境内年与季的平均雪量和雪盖率,以及它们的年际变化,阐明了积雪时空的变化。所取得的高原及高山低山积雪监测结果,为当地积雪资源的开发利用提供了可靠依据。

关键词 中国西部 积雪微波遥感 雪盖率 雪深 雪量

我国的 100°E 以西地区即为中国西部,主要包括新青陇藏四个省区,还有内蒙古、川滇省区一部分。区内台站密度低,记录历史短。据此计算所得的积雪时空分布,可靠程度极低。而积雪是我国西部境内的重要水资源,又是重要的环境因子之一,故有必要摸清我国西部的积雪资源状况。

卫星遥感的发展为积雪监测提供了一项有效的高技术。1966 年美国用可见光影像开始了编制北半球雪冰分布图。但可见光影像常受云况及地表照度的制约,又无法监测雪深。由此近年来微波遥感研究取得了长足进展^[1]。美国国家宇航局(NASA)用云雨-7 号所载的多通道微波扫描辐射计(SMMR)获取的地表微波亮温及亮温-雪深反演算式,算得了全球的雪量分布^[2]。据区域订正后的反演算式,现所提供的中国西部积雪资源的实况,显示了积雪微波遥感监测的可靠性。

1 微波遥感监测的原理与方法

美国国家宇航局张铁钧博士设定雪密度 0.3g/cm^3 ,雪粒径 0.03mm 及雪厚 $<1\text{m}$ 后,把干雪微波亮温随雪深的变化用线性关系作了拟合,获得了相应的亮温-雪深反演算式^[3]。但将该式用于本区(尤其青藏高原)所获得的微波遥感监测结果与实况相趋甚远,故对其作了区域性订正。

用数字地形模型的海拔数据,在地理信息系统支持下,将中国西部分成五个地貌单元(表 1)。

* 中国科学院《冰冻圈动态变化基础研究》项目的部分成果。

蒙美国新泽西州立大学地理系 T. E. Spies 小姐的帮助,谨表谢意。

本文收稿日期:1994-05-12。

表 1 中国西部的地貌单元¹⁾
Table 1 Landform units of western China

| 地貌单元 | 海拔(m) | 相对高度级值 | 与全区面积之比(%) |
|------|-----------|--------|------------|
| 盆地 | 1—3500 | 1—65 | 19.8 |
| 高原 | >3500 | 1—65 | 31.9 |
| 丘陵 | 1—1000 | 66—127 | 7.0 |
| 低山 | 1001—3500 | 66—127 | 20.8 |
| 高山 | >3500 | 66—127 | 20.5 |

1)对参考文献[4]中的表 2 做了点修改.

区域亮温-雪深反演算式订正方法见另文^[4]. 各地貌单元订正式如下:

高原 $H=1.59(T_{18H}-T_{37H})-8,$

高山 $H=1.59(T_{18H}-T_{37H})-6,$

低山 $H=1.59(T_{18H}-T_{37H}),$

丘陵 $H=1.59(T_{18H}-T_{37H})-4,$

盆地 $H=1.59(T_{18H}-T_{37H}).$

式中 H 为地表雪深,单位:cm; T_{18H} 及 T_{37H} 分别为 18GHz 及 37GHz 的水平偏振微波亮温.

用区域订正算式及美国国家宇航局提供的 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 经纬网格内 T_{18H} 及 T_{37H} 六天平均微波亮温分布图,算得 1978—1987 年区内每六天平均雪盖率及雪量(表 2). 鉴于我国水文气象台站所记录到的积雪期雪密度多为 $0.15\text{--}0.20\text{g}/\text{cm}^3$,故取雪密度 $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ 来折算雪量的水当量体积.

表 2 1978—1987 年年及各季的平均雪盖率与雪量
Table 2 Annual and seasonal mean for snow cover extent and volume from 1978 to 1987

| 地貌单元 | | 秋季 (9—11月) | 冬季 (12—2月) | 春季 (3—5月) | 夏季 (6—8月) | 全年 |
|------|------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|-------|
| 高原 | 雪盖率(%) | 30.4 | 55.6 | 39.6 | 10.5 | 34.6 |
| | 雪量[(km) ³] | 3.79 | 10.95 | 5.97 | 1.34 | 5.63 |
| 高山 | 雪盖率(%) | 32.1 | 64.1 | 40.0 | 6.2 | 35.3 |
| | 雪量[(km) ³] | 3.62 | 11.02 | 5.25 | 0.63 | 5.23 |
| 低山 | 雪盖率(%) | 23.6 | 63.2 | 36.9 | 2.5 | 32.2 |
| | 雪量[(km) ³] | 2.12 | 12.34 | 6.80 | 0.28 | 5.53 |
| 丘陵 | 雪盖率(%) | 8.0 | 43.5 | 17.9 | 0.1 | 17.9 |
| | 雪量[(km) ³] | 0.10 | 2.26 | 1.05 | 0 | 0.87 |
| 盆地 | 雪盖率(%) | 8.2 | 25.8 | 12.5 | 1.2 | 12.2 |
| | 雪量[(km) ³] | 0.65 | 4.52 | 2.41 | 0.08 | 1.96 |
| 全区 | 雪盖率(%) | 23.4 | 52.2 | 32.2 | 5.4 | 28.9 |
| | 雪量[(km) ³] | 10.28 | 41.09 | 21.48 | 2.33 | 18.98 |

2 微波遥感监测的结果与讨论

显然表 2 中所列的雪量高于水文气象台站所记录到的雪量. 由表 2 可见,九年中本

区冬季平均雪量 $>41.09(\text{km})^3$,而四省区内的水文气象台站所记录到的是 $28.8(\text{km})^3$,前者比后者加大了42%^[5]。这是因为该些台站主要设在谷地内与盆地中,所记录到的雪量缺乏代表性之故。例如,源于喀喇昆仑山区的新疆叶尔羌河流域内,低地干旱缺水,而高山上冰川星罗棋布,形成了独特景观。流域内海拔 $<3\,000\text{m}$ 的六个水文气象台站冬半年的固态降水量仅5—17mm,但微波遥感监测却揭示该处高山区积雪丰富。冰川作用区雪层剖面的实测与计算,以及少量短期降水观测的结果表明,叶尔羌河流域海拔 $>5\,200\text{m}$ 的雪线附近降雪量可达360—640mm^[6]。这在中国西部有一定的代表性。高山在平均雪深等值线图上是高值中心。这就是说,山区积雪资源丰富。由此表2中所列的雪量更符合实际些。

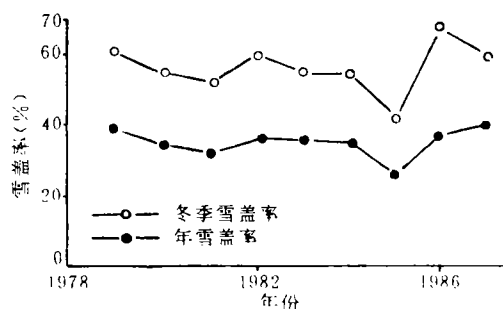


图1 高原的年与冬季雪盖率时间序列图示

Fig. 1 Graph of the time series of plateau annual and winter snow extent

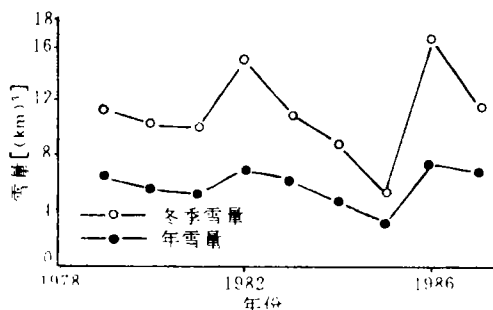


图2 高原的年与冬季雪量时间序列图示

Fig. 1 Graph of the time series of plateau annual and winter snow volume

据微波遥感监测的时间序列(图1, 2)和表2可见,中国西部的积雪有下列特点。

1. 中国西部冬季降雪量比春秋两季降雪量要少,但在足够冷储条件下,部分春秋两季的降雪得以保存,并形成积雪。所以区内冬季的雪盖率和雪量仍为最大。

2. 低山、高山及高原的面积分别占中国西部面积的20.8, 20.5及31.9(%)。冬季最大雪量在低山,达 $12.34(\text{km})^3$;其次在高山,达 $11.02(\text{km})^3$ 。这可能与以高山、低山为主体的阿尔泰山、天山及横断山等山区在冬季水汽来源丰富有关。而高原尽管低温期较长,但四周高山环抱,水汽来源受阻,大多降雪量不大,从而使高原的雪量低于高山低山的雪量,仅为 $10.95(\text{km})^3$ 。在冬季高原平均雪盖率55.6%,即使是丰雪的1985—1986年也仅达79.1%。所以在冬季青藏高原雪盖主要呈补片状,并不形成连续的大雪盖。冬季高原上雪薄,平均雪深仅10.5cm。

3. 高山、高原与海拔 $<3\,500\text{m}$ 其他地区的丰贫雪年出现时间不同步。前两者最丰贫雪年分别为1985—1986年及1984—1985年;而后者最丰贫雪年分别为1979—1980年及1980—1981年。三者的雪盖率极值出现时间基本类似。各季的雪量与雪盖率的极值出现年度更趋向多样化。

4. 高山、高原的雪量年际变化甚大。1984—1985年贫雪年间高山雪量仅 $2.73(\text{km})^3$,而1985—1986年丰雪年间高山雪量 $9.40(\text{km})^3$,前者为后者的29.0%。相应的雪盖率分别为27.0及47.3(%)。前者为后者的57.0%。低山等其他地区雪量与雪盖率年际变化

相对要小;雪量与雪盖率的极值贫雪年分别为丰雪年的 45—65 及 65—75(%). 变差系数计算值亦然:高山、高原的雪量变差系数 0.24—0.34,而低山等的雪量变差系数仅 0.11—0.23.

5. 由图 1,2 可见,20 世纪 80 年代中后期,高原的年与冬季雪盖率、雪量的年际变化幅度呈增大趋势. 其他地区亦类似.

3 结 语

微波遥感监测积雪不但全面保持空间遥感的大范围重复面积测量的特色,又具全天候监测雪深等参数的优势. 这能充分了解当地的积雪状况,尤其真实地揭示了海拔 $>3\,500\text{m}$ 的高原积雪状况,为估计融雪径流变化趋势、研究高原积雪与东亚环流相互作用,提供了可靠的依据.

多通道微波扫描辐射计分辨率为数十公里,适用于大范围监测. 目前正在继续改进雪深反演算式,以提高可靠性. 但数十公里分辨率不适用于 $>$ 该级分辨率的较小流域内的积雪监测,而数十米分辨率的主动微波遥感监测恰能克服此局限性,成为今后的一个发展方向. 1987 年后美国续发了载有多通道专用微波影像传感器(SSM/I)的卫星系列^[7],能保证持续供应微波亮温记录. 主动微波遥感监测与被动微波遥感监测的两者结合,必将能获得各种尺度的积雪状况.

参 考 文 献

- [1] Foster J L, Hall D K, Chang A T C. An overview of passive microwave snow cover research and results. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 1984, 22(2), 195—208.
- [2] Chang A T C, Foster J L, Hall D K. Satellite estimates of northern hemisphere snow volume. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11(3), 167—171.
- [3] Chang A T C, Foster J L, Hall D K. Nimbus-7 SMMR derived global snow cover parameters. *Annals of glaciology*, 1987, (9), 39—44.
- [4] 曹梅盛,李培基,Robinson D A 等. 中国西部积雪 SMMR 微波遥感的评价与初步应用. *环境遥感*, 1993, 8(4), 260—269.
- [5] 李培基. 中国季节积雪资源的初步评价. *地理学报*, 1988, 23(2), 108—118.
- [6] 丁良福,俞昕治. 叶尔羌河流域冰川水资源及冰川物质平衡. 见:张祥松,周肇超编. *喀喇昆仑山叶尔羌河冰川与环境*. 北京:科学出版社,1991. 19—25.
- [7] Weaver R, Morris C, Barry R G. Passive microwave data for snow and ice research; planned products from the DMSP SSM/I system. *EOS*, 1987, 68(39), 776—777.

MICROWAVE REMOTE SENSING MONITORING OF SNOW COVER IN WESTERN CHINA

Cao Meisheng Li Peiji

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences

Lanzhou 730000)

Abstract

Snow cover is an important water resource in western China from 100°E and one of important environmental factors. Based on the SMMR microwave brightness temperature records and the regional adjusted brightness temperature-snow depth retrieval algorithms for 5 landform units in western China, the annual and seasonal average snow cover extent and volume have been calculated. The results show that the average winter snow volume is 41.09(km)³ and is 42% more than the average calculated by the meteorological station records.

According to the time series of the monitoring results, there are some features of snow cover in western China:

1. Though the solid rainfall is scarce in winter, snow cover extent and volume are still the largest in winter.

2. The areas of low and high mountains and plateau are 20.8, 20.5 and 31.9(%) of whole western China respectively. The largest average winter snow volume 12.34(km)³ is on low mountain. On plateau the winter snow volume is only 10.95(km)³, owing to the fact that the water vapour resources always cannot go into it fluently.

3. The average winter snow cover extent on plateau is 55.6%, thus the snowpatch is the main cover pattern over plateau.

4. The occurring time of abundant and short snow years over high mountain and plateau are not synchronous with other units.

5. The differences of snow cover extent and volume between abundant and short years are larger over plateau and high mountain than that over other units. Moreover, there is slightly more variability for them in the mid-to-late 1980s compared to the late 1970s and early 1980s.

Key words western China, microwave remote sensing of snow cover, snow cover extent, snow depth, snow volume