

# 2002 - 2009 年中国干旱区积雪时空分布特征<sup>①</sup>

王增艳<sup>1, 2</sup>, 车涛<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 以中国干旱区为研究对象, 利用 MODIS 和 AMSR-E 融合后的 2002 - 2009 年 8 个水文年份(8 月 1 日至 7 月 31 日)的无云积雪产品, 计算并验证了用遥感方法提取研究区积雪日数、初雪日期和终雪日期的精度, 结合积雪日数制图和积雪面积统计, 分析了研究区 8 a 来积雪时空分布特征。结果显示: ① 与气象台站观测资料获取的积雪参数的对比验证表明, 遥感方法提取积雪参数的精度较高, 误差日数大多在 20 d 以内, 主要表现为遥感方法积雪日数的低估, 初雪日期的延后和终雪日期的提前。② 除山地冰川和永久积雪外, 天山和阿尔泰山山系间的北疆地区是研究区内季节性积雪最为丰富的地区, 积雪日数一般在 60 d 以上, 不过积雪的分布不均匀, 大体上从边缘山区向内部盆地中心积雪日数递减, 初雪日期延后, 终雪日期提前。③ 干旱区在 2005 年、2007 年和 2002 年积雪面积较大, 而 2008 年和 2006 年积雪面积较小。各年稳定积雪存在的地区和范围相对稳定, 面积变化不大, 其年际变化主要体现在积雪日数的增减上; 不稳定积雪的面积一般高于稳定积雪, 且年际变化较大, 积雪日数大多在 20 d 以内。

**关键词:** 积雪面积; 时空分布; 积雪日数; 积雪产品; MODIS; AMSR-E; 干旱区; 中国

积雪是冰冻圈的重要组成部分, 北半球积雪分布广泛, 且具有较大的年内和年际变化, 其积累与消融对全球气候和水文均有重要影响<sup>(1)</sup>。中国干旱区地处中纬度欧亚大陆中心, 幅员辽阔, 在广大的中国干旱区, 积雪意义尤为重要, 一方面高山雪冰融水是干旱区最重要的水资源补给方式之一, 另一方面, 干旱区冬季积雪范围大、持续时间长, 可能造成干旱区农牧业各种灾害<sup>(2)</sup>。因此, 准确并及时地估算干旱区的积雪参数, 如积雪面积、积雪日数、初雪日和终雪日等具有重要意义。

传统上, 积雪的监测是通过遍布各地的气象台站和水文观测站实现的, 相对于冬季大范围的积雪分布而言, 这些气象台站不仅数目稀少, 在空间上的分布不均匀, 而且在一些条件恶劣的地区, 如高海拔山区等, 没有气象台站的分布。在我国, 胡汝骥<sup>(3)</sup>、李培基等<sup>(4)</sup>在 20 世纪 80 年代通过对全国气象站积雪观测资料的统计和描绘, 揭示了我国积雪分布的基本规律, 并完成了我国多年平均的积雪日数及积雪类型制图, 之后, 胡汝骥等<sup>(5)</sup>、李培基<sup>(6)</sup>结合气象站的降雪量和积雪深度等观测资料, 初步评价了我国季节性积雪的分布特征, 并完成了中国的雪灾区域制图工作。但是, 这种传统的由气象台站观测获

得的积雪参数制图, 对积雪空间分布的异质性表达不准确, 不能全面并及时地反映积雪在整个区域的实际分布状况。

近些年, 遥感技术的发展和新型传感器的出现, 弥补了传统积雪观测的不足, 为大面积积雪监测提供了有效手段。光学积雪遥感制图已有 40 多年的发展历史, 积雪产品包括 AVHRR, MODIS 和 FY-2C 等, 其中应用范围最广的 MODIS 积雪产品空间分辨率较高, 且具有相对成熟的积雪提取算法<sup>(7)</sup>。Liang 等<sup>(8)</sup>以提高牧区雪灾监测能力为目的, 评价并分析了 MODIS 积雪产品在北疆牧区的应用效果; 龚燕等<sup>(9)</sup>以天山山区为研究对象, 利用 MODIS 合成积雪产品, 分析了研究区积雪分布、雪线高度等的年际变化趋势, 以及积雪分布随海拔变化趋势等; 林金堂等<sup>(10)</sup>采用类似的方法, 分析了新疆玛纳斯河山区积雪的时空分布状况。

MODIS 积雪产品受云覆盖影响十分严重, 特别是它的每日产品直接应用于区域积雪的观测和制图时会带来较大的误差<sup>(11-12)</sup>。为此, 研究者提出了多种降低积雪产品中云覆盖的方法<sup>(13-16)</sup>, 其中最便捷且应用效果好的是多传感器及多时相数据融合的方法。Xie 等<sup>(17)</sup>在 MODIS 双星每日积雪产品融合的

① 收稿日期: 2011-11-30; 修订日期: 2012-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971188)

作者简介: 王增艳(1987-)女, 河南济源人, 在读硕士研究生, 主要从事冰冻圈积雪遥感研究。E-mail: w457365@126.com

通讯作者: 车涛。E-mail: chetao@lzb.ac.cn

基础上,通过设定一定的云覆盖阈值(为 10%)进行灵活多日的 MODIS 数据融合。结果表明这一方法可将融合产品绝大部分的云覆盖降至 10% 以下。另外,与可见光相比,微波遥感不受云覆盖影响,对地表下垫面有一定的穿透深度,因此在积雪范围、雪深和雪水当量等的监测方面有较好的应用。Che 等<sup>[18]</sup>利用被动微波 SMMR、SSM/I 和 AMSR-E 亮温数据,采用修正后的 Chang“亮温梯度”算法,反演得到了我国雪深长时间序列数据集(1978 - 2010),其不足之处在于被动微波资料空间分辨率低,约 25 km。将可见光 MODIS 积雪观测与微波遥感融合,可以同时保持较高的空间分辨率,且完全去除云覆盖影响是目前积雪遥感监测的研究热点之一<sup>[19]</sup>。

本文以中国干旱区为研究对象,采用 MODIS 双星每日积雪产品和 AMSR-E 被动微波雪深产品,经多时相、多传感器数据融合后获得的中国干旱区 2002 - 2009 年的每日无云覆盖积雪产品,计算并评价利用该融合遥感产品提取积雪日数、初雪日期和终雪日期的精度,进行积雪日数和积雪类型制图,并在此基础上进行中国干旱区积雪时空分布特征的分析,最终为干旱区积雪水资源管理、雪灾监测和气候变化等研究提供基础信息。

## 1 研究区及数据介绍

### 1.1 研究区介绍

中国干旱区位于我国西北部,地处中纬度欧亚大陆中心,境内四周有一系列巨大山脉环绕,海洋湿润水汽很难到达,气候十分干旱。中国干旱区地貌格局以宏伟山系和大型盆地为主,大的地貌单元十分清晰。境内大型山系主要有阿尔泰山、天山、昆仑山(包括帕米尔高原和阿尔金山)和祁连山山系,大型盆地主要是昆仑山与天山山系间的塔里木盆地、天山与阿尔泰山山系间的准噶尔盆地、天山山系间的吐鲁番 - 哈密盆地,以及祁连山山系与北山、阿拉善高原间的河西走廊。此外,还包括内蒙古西部的阿拉善高原<sup>[2]</sup>。

### 1.2 数据产品介绍

积雪数据为中国干旱区 2002 - 2009 年 8 个水文年份(8 月 1 日至 7 月 31 日)的每日无云覆盖积雪产品<sup>[20]</sup>,这一产品基于 MODIS 双星每日积雪产品 MOD10A1/MYD10A1,以及 AMSR-E 同时期的被动微波雪深数据,经 MODIS 多时相数据融合和 MO-

DIS 与 AMSR-E 多传感器数据融合,采用替代法进行云覆盖像元的去除。其中,MODIS 多时相数据融合包括 MODIS 双星每日数据融合和以 10% 云覆盖度为阈值的最长 4 d 多日数据融合,其融合算法均服从类别优先级原则,产品中各类别优先级为:积雪 > 水体 > 陆地 > 云 > 不确定,融合时将 2 幅不同时相影像同一像元点处类别优先级高的作为融合产品该像元点的输出类别,由此降低融合产品中的云覆盖。MODIS 与 AMSR-E 的融合,即将 MODIS 产品中云覆盖区域的像元值,用 AMSR-E 雪深数据提取的像元类别替换,获取无云产品,由于 AMSR-E 产品的空间分辨率低,融合后产品的实际空间分辨率有所下降。之前,对此积雪产品的验证还表明,它在全天候条件下具有高的分类精度,包括 96% 的整体精度、80% 的雪精度和 99% 的陆地精度,高于研究区原 MODIS Terra-Aqua 每日融合积雪产品,全天候条件下 64%、32% 和 70% 的整体、雪、陆分类精度;并且由其提取的积雪日数,不仅能在最大程度上保持原 MODIS 产品高的空间分辨率,而且对研究区积雪的空间分布状况有很好反映,直观上精度较高,适合于研究区积雪的制图和时空分布特征研究。

## 2 积雪日数等参数提取及验证

### 2.1 积雪日数等参数的遥感提取方法

为研究中国干旱区积雪多年的时空分布特征,采用了积雪日数(SCD)、初雪日期(SCOD)、终雪日期(SCED)和积雪面积(SCA)等参数。其中,影像上各像元点的积雪日数定义为一个水文年份中该像元点积雪类别出现的日数之和。初雪日期定义为一年中该像元点从某日起积雪类别持续出现日数首次超过 14 d 时该日的儒略日,终雪日期则相反<sup>[21]</sup>,三者共同描述了积雪在整个水文年份的时空分布状况,对区域水资源管理、农业管理和雪灾应急管理均有重要的研究意义。图 1 是采用该方法提取的干旱区 2002 - 2009 年 8 a 平均积雪日数等参数的分布图,并且只进行了稳定积雪区<sup>[22]</sup>(即年积雪日数在 60 d 以上地区)初雪日期和终雪日期的制图。

### 2.2 方法精度验证

选择干旱区 76 个气象台站 2002 - 2005 年 4 个水文年份的积雪日观测数据,对遥感提取的积雪日数等进行验证,其积雪日的定义是天气现象的定义,

即当观测场上观测员视野范围内一半以上被积雪覆盖时,将该日记录为积雪日<sup>(23)</sup>。气象台站观测资料的积雪日数和初、终雪日期的提取,采用与遥感提取

方法相同的计算方法。

图2是干旱区76个气象台站遥感积雪参数提取误差与台站高程间的关系分布图,图中的误差日

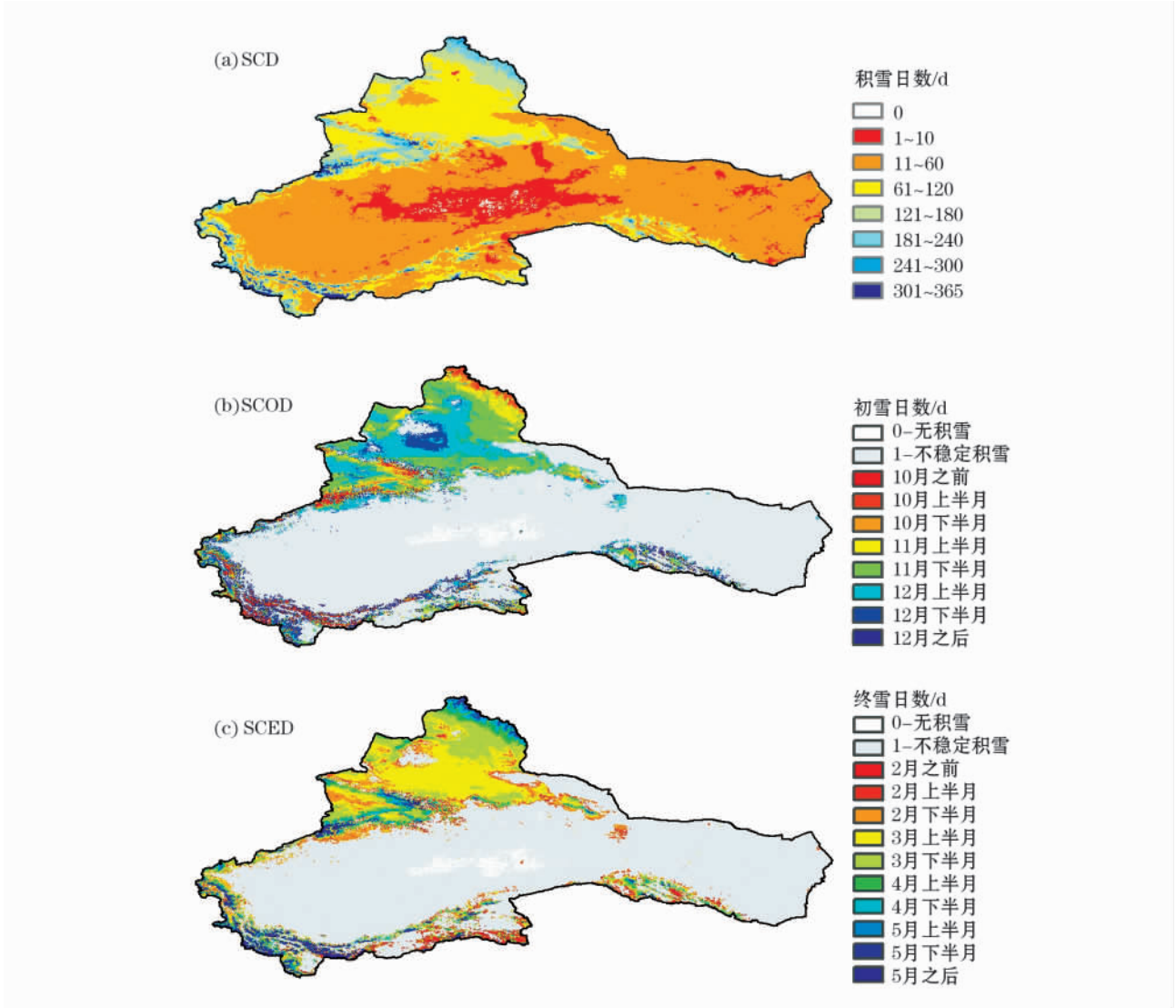


图1 中国干旱区8 a 平均积雪日数 (a) 及稳定积雪区初雪日期 (b) 和终雪日期 (c) 分布

Fig. 1 Distribution of average SCD, SCOD and SCED of stable snow cover in the study area

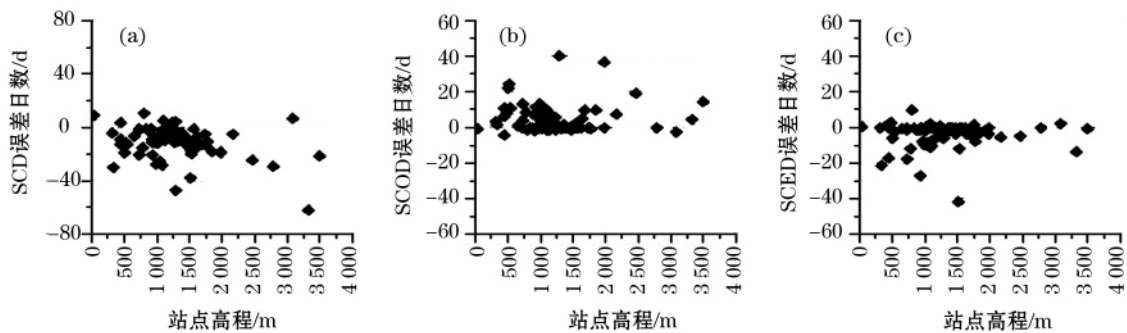


图2 中国干旱区气象台站积雪参数提取误差与高程间的关系

Fig. 2 Relationship between error days of snow cover parameters and altitudes at different weather stations in the study area

数指影像上各站点遥感计算参数值与气象站实测数据计算参数值之差。

从图 2 可以看出,积雪参数提取时的误差大小与站点高程间无明显关系;与气象台站观测资料获取的积雪参数相比,遥感提取的积雪日数要少,初雪日期延后,终雪日期提前,除个别站点外,绝大多数站点积雪日数的误差在 20 d 以内,初雪日和终雪日的误差也在 20 d 以内。表 1 统计了遥感方法提取积雪参数的精度。其精度定义为误差日数在给定范围内的站点数占全部站点数的比率,而遥感提取的初雪日期和终雪日期的误差在 10 d 以内的站点已达 87%,其提取精度高于积雪日数。

表 1 中国干旱区积雪参数遥感提取精度统计  
Tab. 1 Statistical results of RS-extracting accuracy of snow cover parameters in the study area

	1 d 以内	10 d 以内	20 d 以内	30 d 以内
SCD	0.01	0.53	0.84	0.95
SCOD	0.45	0.84	0.95	0.97
SCED	0.33	0.87	0.96	0.99

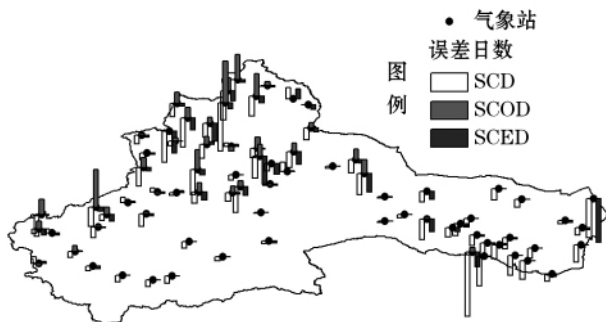


图 3 中国干旱区气象台站积雪参数遥感提取误差分布  
Fig. 3 Distribution of the error days of snow cover parameters at different weather stations in the study area

图 3 是各气象台站遥感提取参数与观测统计参数间误差日数在空间上的分布,可以看出积雪参数提取误差较大的站点主要分布在新疆北部准噶尔盆地的西部山区、天山山系内部的盆地平原地区、塔里木盆地西部山区以及祁连山区。这些站点积雪日数等误差较大的原因主要是由气象台单点观测和遥感面状观测间的差异造成的,因为这些气象站大多分布在城市建成区,一般观测场面积不大,不受人活动影响,其观测反映的是自然状态下的积雪状况,而 MODIS 传感器空间分辨率在 500 m 左右,观测到的是整个视野内积雪的实际分布状况,而在气象站所处的城市建成区,积雪的实际存在状况受人活动

影响十分严重,一般而言,其积雪存在的时间和范围远远低于自然存在的积雪,这就造成了验证时遥感影像提取积雪的伪“低估”现象。

### 3 积雪时空分布特征

#### 3.1 积雪年内时空分布特征

从图 1 可以看出:

(1) 中国干旱区境内高大山体众多,高山区积雪冰川十分发育,主要分布在天山、昆仑山、喀喇昆仑山、帕米尔高原、祁连山和阿尔泰山。这些地区年平均积雪日数均在 180 d 以上,积雪日数在 300 d 以上的地区集中在天山、昆仑山和祁连山,是研究区内冰川和永久积雪的集中区域,而新疆北部阿尔泰山地区积雪日数相对较少,一般在 180 ~ 240 d,局部更高海拔地区的积雪日数可达 240 d 以上,也发育有小部分冰川和永久积雪。

(2) 受地形及环流影响,天山和阿尔泰山山系间的北疆地区是研究区内季节性积雪最为丰富的地区,积雪日数一般在 60 d 以上,是我国三大稳定积雪中心之一。此外,在天山、昆仑山和祁连山的边缘山地,也发育有一定面积的稳定积雪,不过其分布与海拔间关系密切且范围较小。北疆地区各地积雪状况不尽相同。天山边缘山地和阿尔泰山山区是北疆积雪出现最早、消融最晚的地区,一般积雪从当年 10 月下半月开始积累,至次年 5 月上半月消融完毕,年平均积雪日数在 200 d 左右;之后是距离山体较远的丘陵地区和准噶尔盆地西部山区,积雪从 11 月上半月开始积累,至次年 4 月下半月消融完毕,积雪日数在 160 d 左右;最后是北疆中部的准噶尔盆地平原地区,除盆地中心地区降雪较少,年平均积雪日数在 60 d 以内,为不稳定积雪外,其他地区积雪日数均在 60 ~ 120 d,并且从边缘山区向盆地中心,积雪日数渐减,初雪日期自 11 月下半月至 12 月逐渐延迟,终雪日期自 3 月上半月至 2 月上半月不断提前。

(3) 在新疆南部的塔里木盆地和吐鲁番 - 哈密盆地,气候干燥、降雪较少,大部分地区年平均积雪日数在 11 ~ 60 d,为年周期性不稳定积雪,此外,塔里木盆地的中心平原地区和内蒙古西侧阿拉善高原的部分地区,为研究区内降雪最少的地方,年积雪日数一般在 10 d 以内,为非年周期性不稳定积雪和无积雪区。

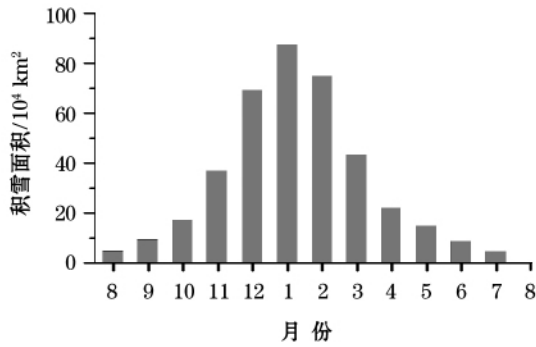


图4 中国干旱区逐月积雪面积变化

Fig. 4 Statistical results of snow cover area in the study area

图4是研究区8 a 平均的逐月积雪面积变化图,可以看出研究区7~8月的积雪面积最小,约为 $5.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是研究区内冰川和永久积雪的面积之和。积雪从10月开始积累,11~12月迅速增加,至1月达到最高,最大积雪面积约 $8.8 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,占干旱区全部面积的近40%。2~3月积雪面积开始下降,4~5月研究区内的可融化积雪面积已经很少,到6月研究区内的季节性积雪几乎完全消融。

3.2 积雪年际变化特征

中国干旱区积雪面积年际变化显著。由图5可以看出,2005年、2007年和2002年积雪面积最大,

而2008年和2006年积雪面积较小;2002-2009年稳定积雪面积变化不大,总面积在 $7.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 左右,不稳定积雪的范围一般高于稳定积雪,且具有较大的年际变化,不稳定积雪的面积以2005年和2007年最大,在 $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,2006年最小,约为 $8.6 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。

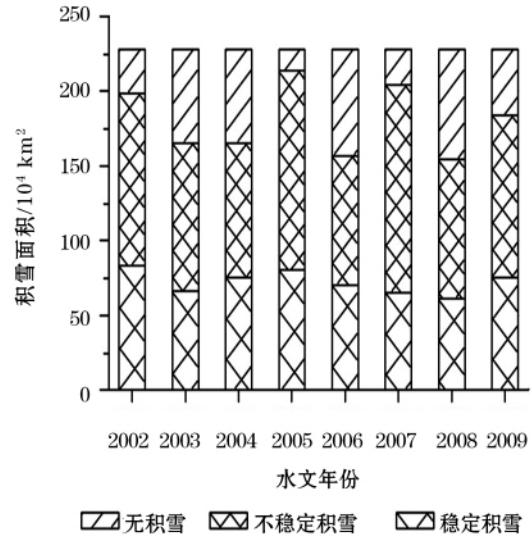


图5 中国干旱区各类型积雪逐年面积变化

Fig. 5 Statistical results of snow cover areas of different snow cover types in the study area

表2 中国干旱区不稳定积雪逐年分类面积统计

Tab. 2 Statistical results of the areas of unstable snow cover in the study area

积雪日数/d	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	平均
1~10	25.52	38.81	35.64	26.66	37.88	18.27	39.84	36.81	32.43
11~20	29.62	19.10	17.08	31.44	17.37	19.30	22.93	22.92	22.47
21~30	24.05	16.49	12.35	32.80	10.05	44.20	11.36	17.81	21.14
31~40	14.77	11.55	11.25	21.16	7.71	32.84	7.49	13.04	14.97
41~50	11.12	7.15	7.73	11.93	6.68	14.55	6.11	9.52	9.35
51~60	10.05	5.50	6.14	9.13	6.61	9.92	5.07	7.79	7.52
总和	115.12	98.58	90.19	133.12	86.31	139.08	92.79	107.88	107.88

表3 中国干旱区稳定积雪逐年分类面积统计

Tab. 3 Statistical results of the areas of stable seasonal snow cover in the study area

积雪日数/d	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	平均
60~120	50.13	27.94	44.28	45.97	49.76	43.09	30.73	27.46	39.92
120~180	19.14	26.03	17.27	20.96	10.93	10.22	17.48	32.96	19.37
180~240	7.82	6.67	7.52	7.85	5.57	7.26	6.64	8.48	7.23
240~300	2.66	2.93	3.16	2.72	1.97	2.38	3.33	3.60	2.84
300~365	3.22	2.91	3.24	2.90	2.50	2.58	3.25	3.29	2.98
总和	82.96	66.47	75.47	80.41	70.72	65.54	61.43	75.78	72.35

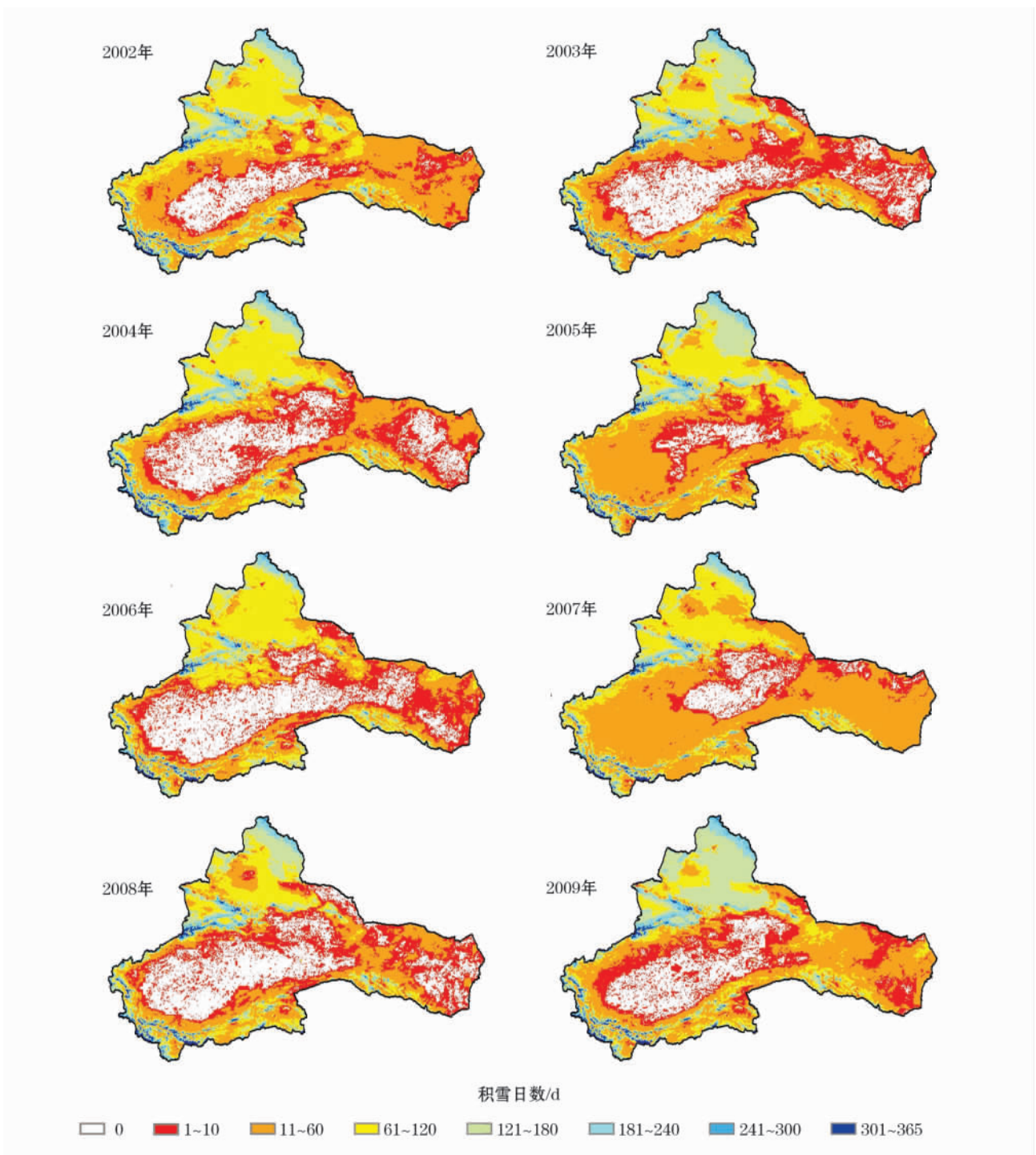


图 6 中国干旱区逐年积雪日数分布

Fig. 6 Distribution of snow cover duration days in the study area

从图 6 可以看出,不稳定积雪主要出现在塔里木盆地边缘、河西走廊和阿拉善高原,只是在不同年份出现范围大小不同,如出现范围较大的 2005 年和 2007 年,它几乎存在于除干旱区中部盆地外的所有地区,而在范围较少的 2004 年、2006 年和 2008 年,在塔里木盆地和阿拉善高原没有不稳定积雪存在;

研究区内稳定积雪存在的地区和范围相对稳定,主要分布在北疆地区,只是在天山南侧和东侧的部分地区在不同年份有一定程度的范围扩张和缩减,其他地区稳定积雪的年际变化主要体现在积雪日数的增减上。

表 2 和表 3 分别对研究区稳定积雪和不稳定积

雪的面积进行了更详细的分类和统计。由表 2 可以得出,除积雪较多的 2007 年、2005 年和 2002 年外,干旱区不稳定积雪日数主要集中在 20 d 以内,2007 年不稳定积雪面积最大,且积雪日数大多集中在 20~40 d,2005 年和 2002 年不稳定积雪的面积也很大,其积雪日数在 1~40 d 积雪的分布均比较多。由表 3 可以看出,除 2009 年外,积雪日数在 60~120 d 的稳定积雪面积最大,2009 年则是积雪日数在 120~180 d 的积雪面积最大,此外,2003 年和 2005 年积雪日数在 120~180 d 的稳定积雪的分布范围比较广。

## 4 结论

(1) 通过与气象台站观测资料获取的积雪参数对比发现,采用遥感方法提取积雪参数的精度较高,误差日数大多在 20 d 以内,主要表现为影像方法积雪日数的低估,初雪日期的延后和终雪日期的提前,并且误差日数主要是由气象台单点观测和遥感面状观测间的差异造成的。

(2) 对研究区积雪日数和积雪类型的制图及积雪面积的统计结果表明,中国干旱区积雪分布的年内时空分布特征明显:时间上,研究区 10~12 月积雪面积迅速增加,为积雪的积累期,1 月积雪面积最大,占干旱区全部面积的 40% 左右,2~4 月积雪面积逐渐下降,5~6 月区内季节性积雪几乎完全消融;空间上,除研究区内海拔较高的山地冰川与永久积雪外,天山和阿尔泰山山系间的北疆地区是研究区内季节性积雪最为丰富的地区,积雪日数一般在 60 d 以上,是我国三大稳定积雪中心之一,不过其积雪分布并不均匀,从边缘山区向中部盆地中心大体上表现为积雪日数递减,初雪日期延后,终雪日期提前。

(3) 研究区积雪面积年际变化较大,总体上,2002~2009 年干旱区以 2005 年、2007 年和 2002 年积雪面积最大,而 2008 年和 2006 年积雪面积最小。其中,稳定积雪主要分布在北疆地区,其面积的年际变化较小,主要表现为积雪日数的增减;不稳定积雪主要出现在南疆塔里木盆地边缘、河西走廊和干旱区东侧的阿拉善高原,其分布和积雪日数等的年际变化均比较大。

致谢:感谢美国国家数据中心(NSIDC)提供 MODIS 每日积雪数据,感谢中国西部环境与生态科

学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)提供中国雪深长时间序列数据集。

## 参考文献(References):

- (1) 曹梅盛,李新,陈贤章,等.冰冻圈遥感(M).北京:科学出版社,2006:57. (Cao Meisheng, Li Xin, Chen Xianzhang, et al. Remote Sensing of Cryosphere (M). Beijing: Science Press, 2006: 57.)
- (2) 陈曦.中国干旱区自然地理(M).北京:科学出版社,2010:23-47. (Chen Xi. Physical Geography of Arid Land in China (M). Beijing: Science Press, 2010: 23-47.)
- (3) 胡汝骥.试论中国积雪的分布规律(C)//中国地理学会.冰川冻土学术会议论文集:冰川学.北京:科学出版社,1982:119. (Hu Ruji. Discussion on snow distribution regularity of China (C)// The Geographical Society of China. Paper Selections of Glaciology and Geocryology: Glaciology. Beijing: Science Press, 1982: 119.)
- (4) 李培基,米德生.中国积雪的分布(J).冰川冻土,1983;5(4):9-18. (Li Peiji, Mi Desheng. Distribution of snow cover in China (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 1983; 5(4): 9-18.)
- (5) 胡汝骥,魏文寿.试论中国的雪害区划(J).冰川冻土,1987,9(增刊):1-12. (Hu Ruji, Wei Wenshou. On the zoning of snow damage China (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 1987, 9(Suppl.): 1-12.)
- (6) 李培基.中国季节积雪资源的初步评价(J).地理学报,1988,43(2):108-119. (Li Peiji. Preliminary evaluation of seasonal snow resources in China (J). Acta Geographica Sinica, 1988, 43(2): 108-119.)
- (7) Dozier J, Painter T H. Multispectral and hyperspectral remote sensing of alpine snow properties (J). Annual Reviews Earth and Planetary Sciences, 2004, 32: 465-494.
- (8) Liang T, Huang X, Wu C, et al. An application of MODIS data to snow cover monitoring in a pastoral area: A case study in Northern Xinjiang, China (J). Remote Sensing of Environment, 2008, 112(4): 1514-1526.
- (9) 窦燕,陈曦,包安明,等.2002-2006年中国天山山区积雪时空分布特征研究(J).冰川冻土,2010,32(1):28-34. (Dou Yan, Chen Xi, Bao Anming, et al. Study of the temporal and spatial distribute of snow cover in the Tianshan Mountains, China (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(1): 28-34.)
- (10) 林金堂,冯学智,肖鹏峰,等.基于MODIS数据的玛纳斯河山区雪盖时空分布分析(J).遥感技术与应用,2011,24(6):469-475. (Lin Jintang, Feng Xuezhì, Xiao Pengfeng, et al. Spatial and temporal distribution of snow cover in mountainous area of Manasi River basin based on MODIS (J). Remote Sensing Technology and Application, 2011, 24(6): 469-475.)
- (11) Hall D K, Riggs G A. Accuracy assessment of the MODIS snow-cover products (J). Hydrological Processes, 2007, 21: 1534-1547.
- (12) Wang X, Xie H, Liang T. Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in northern Xinjiang, China (J). Remote Sensing of Environment, 2008, 112(4): 1497-1513.
- (13) Riggs G, Hall D. Reduction of cloud obscuration in the MODIS

- snow data product (C) //Stowe. Proceeding of the 59th Eastern Snow Conference. USA: Vermont 2002: 205 – 212.
- (14) Ault T W ,Czajkowski K P ,Benko T ,et al. Validation of the MODIS snow product and cloud mask using student and NWS cooperative station observations in the Lower Great Lakes Region (J). *Remote Sensing of Environment* 2006 ,105: 341 – 353.
- (15) Parajka J ,Bloschl G. Spatio-temporal combination of MODIS images potential for snow cover mapping (J). *Water Resources Research* 2008 ,44 ,W03406 ,doi: 10. 1029/2007WR006204.
- (16) Wang X ,Xie H ,Liang T ,et al. Comparison and validation of MODIS standard and new combination of Terra and Aqua snow cover products in Northern Xinjiang ,China (J). *Hydrological Processes* , 2009 ,23( 3) : 419 – 429.
- (17) Xie H ,Wang X ,Liang T. Development and assessment of combined Terra and Aqua snow cover products in Colorado Plateau ,USA and northern Xinjiang ,China (J). *Journal of Applied Remote Sensing* , 2009 ,3 ,033559 ,doi: 10. 1117/1. 3265996.
- (18) Che T ,Li X ,Jin R ,et al. Snow depth derived from passive microwave remote-sensing data in China (J). *Annals of Glaciology* , 2008 ,49( 1) : 145 – 154.
- (19) Gao Y ,Xie H ,Lu N ,et al. Toward advanced new daily products of cloud-free snow cover and snow water equivalent from Terra-Aqua MODIS and Aqua AMSR-E measurements (J). *Journal of Hydrology* 2010 ,385( 1/4) : 23 – 35.
- (20) 王增艳 车涛. 中国干旱区积雪面积产品去云处理方法验证与评估 (J). *干旱区研究* 2012 ,29( 2) : 312 – 319. (Wang Zengyan ,Che Tao. Validation and assessment of cloud obscuration reduction of snow cover products in arid areas in China (J). *Arid Zone Research* 2012 ,29( 2) : 312 – 319. )
- (21) Gao Y ,Xie H ,Yao T. Developing snow cover parameters maps from MODIS ,AMSR-E and blended snow products (J). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2011 ,77( 4) : 351 – 361.
- (22) 何丽烨 李栋梁. 中国西部积雪日数类型划分及与卫星遥感结果的比较 (J). *冰川冻土* 2011 ,33( 2) : 237 – 245. (He Liye ,Li Dongliang. Classification of snow cover days and comparing with satellite remote sensing data in West China (J). *Journal of Glaciology and Geocryology* 2011 ,33( 2) : 237 – 245. )
- (23) 安迪 李栋梁 袁云 等. 基于不同积雪日定义的积雪资料比较分析 (J). *冰川冻土* ,2009 ,31( 6) : 1 019 – 1 027. (An Di ,Li Dongliang ,Yuan Yun ,et al. Contrast between snow cover data of different definitions (J). *Journal of Glaciology and Geocryology* , 2009 ,31( 6) : 1 019 – 1 027. )

## Spatiotemporal Distribution of Snow Cover in Arid Regions in China

WANG Zeng-yan<sup>1,2</sup> , CHE Tao<sup>1</sup>

( 1 *Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute , Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000 , China;*  
2 *Graduate University , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China*)

**Abstract:** Based on MODIS and AMSR-E combined cloud-free snow cover product , in this paper the snow cover duration days( SCD) , snow cover onset date ( SCOD) and snow cover ending date( SCED) in arid regions of China were calculated and evaluated for 8 hydrological years from 2002 to 2009. Spatiotemporal distribution of snow cover in the study area was analyzed through mapping of SCD and statistical results of snow cover area ( SCA) . The results are as follows: ( 1) The compared results reveal that the accuracy of snow cover parameters extracted from remote sensing images is high and close to the data observed at the weather stations , the duration errors are mostly within 20 days; ( 2) Except for the regions covered with glaciers and firn in the alpine zone , north Xinjiang between the Tianshan Mountains and Altay Mountains is the region with the thickest seasonal snow cover , SCD was mostly longer than 60 days , but the distribution of seasonal snow cover is uneven. Holistically , the SCD becomes shorter , the SCOD becomes later and SCED becomes earlier from the marginal zone of the mountains to the central area of the basins; ( 3) The total areas of snow cover in arid regions were comparatively large in 2005 , 2007 and 2002 but small in 2008 and 2006 , respectively; The area and distribution of stable snow cover were comparatively stable , with the inter-annual changes being mainly the fluctuation of the number of SCD; the area of unstable snow cover were generally larger than stable snow cover , with obvious inter-annual fluctuations and the number of SCD mostly lower than 20.

**Key words:** snow cover area; spatiotemporal distribution; snow cover duration; snow cover product; MODIS; AMSR-E; arid area; China