

精河到伊宁公路沿线积雪及其影响

张华伟¹ 童海刚² 鲁安新³ 王丽红¹ 吴雪娇¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室 ,甘肃 兰州 730000;

2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司 ,陕西 西安 710075; 3. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心 ,北京 100094)

摘 要: 利用 MODIS 和 Landsat TM/ETM + 遥感数据 ,得出研究区的积雪面积 ,同时结合精伊公路规划图及地形图 ,分析了公路沿线可能存在风吹雪和雪崩的危险区 ,并提出相应的防治措施。结果表明: 研究区近 5 年来 11 月到次年 3 月是积雪最丰富时期 ,9 月、10 月、4 月和 5 月积雪较少。近 5 年来积雪呈增加趋势 ,最大积雪时间集中在 2009—2010 年积雪季。MODIS 积雪数据精度在积雪面积越大时 ,精度越高; 积雪面积越小时 ,精度越低。精伊公路东线走廊 K60 以上路段和西线走廊 K100 以上路段风吹雪对公路影响较大; 精伊公路北段的雪崩的可能性很小; 东线走廊 K60 ~ K77 段和西线走廊 K90 ~ K110 段有一定的雪崩灾害; 西线走廊 K58 ~ K90 段有较大的雪崩危害。并提出防治措施。

关键词: 精伊公路 ,风吹雪 ,雪崩 ,MODIS ,Landsat TM/ETM +

中图分类号: P426. 63 ,X4

文献标识码: A

西部天山为一向西开口的“Y”型地貌单元 ,地势西低东高 ,中间低两边高^[1]。伊犁河谷位于其中 ,由于天山阻隔 ,南北交通都不便利。与天山北部精河有 312 国道和精伊霍铁路相连。312 国道果子沟路段冬季经常中断 ,因此修建一条新的精河到伊宁的公路是非常必要的。目前 ,精河到伊宁的公路正在由中交第一公路勘察设计研究院规划设计之中。

徐俊荣等对天山地区 30 年来的冬季降雪波动研究 ,指出天山西部伊犁河谷冬季降雪最丰富^[2]。王中隆等对中国风吹雪区划分 ,伊犁河谷属于重度风吹雪区^[3]。仇家琪对天山雪崩研究指出伊犁河流域雪崩普遍频繁^[4]。目前 ,在这一地区研究风吹雪的影响已有很多 ,如王中隆等对艾肯达坂风雪流形成机制及其治理研究^[5]、王存牛对天山公路拉尔墩达坂的气候条件和风吹雪危害的研究^[6]等; 雪崩研究也是如此 ,张志忠对天山巩乃斯河公路雪崩防治研究和巩乃斯河谷湿雪雪崩成因分析^[7-8] ,Gao

等对精河 - 伊宁铁路的雪害分析^[9]。

除了上述风吹雪和雪崩的相关研究外 ,北疆积雪的相关研究也非常多。王秋香等利用积雪站点的数据分析了 46 年来北疆积雪的变化趋势^[10]; 裴欢等利用 MODIS 数据来提取积雪盖度和反演雪深^[11]; 冯琦胜等利用 MODIS 和 AMSR - E 来研究北疆牧区积雪的动态监测^[12]; 梁天刚和张学通等对 MODIS 积雪产品在北疆牧区的分类精度进行了评估^[13-14]。

本文采用 MODIS 积雪数据和 SSM/I 雪深数据对精河到伊宁公路 K55 ~ K95 段积雪进行分析 ,并用 Landsat TM/ETM + 数据来验证 MODIS 积雪产品的精度 ,得出相关危害 ,并提出相关防治措施。

1 研究区概况

精河到伊宁规划公路位于新疆西北部 ,介于 43°50′ ~ 44°20′ N ,81°20′ ~ 82°30′ E。公路北段穿

收稿日期(Received date) : 2011 - 10 - 10; 改回日期(Accepted) : 2012 - 01 - 05。

基金项目(Foundation item) : 全球变化研究重大科学研究计划 (2010CB951403) 和国家自然科学基金重点项目(40930526) 。 [Supported by Science Research Program of Global Change Research (2010CB951403) and National Science Fundamental Key Project(40930526) .]

作者简介(Biography) : 张华伟(1981 -) ,男 ,河南项城人 ,博士研究生 ,主要从事冰冻圈遥感研究。 [Zhang Huawei(1981 -) , male , was born in Xiangcheng , Henan , Ph. D student , mainly engaged in Remote Sensing of Cryosphere.] E - mail: hwzhang0323@163. com

过科古尔琴山和婆罗科努山之间的阿沙勒阿乌孜河谷,南段分为东线走廊和西线走廊,其中东线走廊沿博尔博松河谷而建,西线走廊分别沿吉尔格朗河和皮里青河谷(图1)。以科古尔琴山山脊和婆罗科努山脊为界,分为岭北、岭南两个不同气候区。其中,岭北地势南高北低,并逐步向北倾斜,山区主要分布于南部。海拔在320~2700 m。岭南地形复杂,高差悬殊,分为伊犁河谷平原区、河谷山麓地带—中山区。伊犁河谷,东高西低,西宽东窄,地势平缓,向西开口,海拔500~1200 m;河谷山麓地带—中山区海拔800~3000 m。其中1300~1400 m为山麓地带与中山地带的分界线^[15]。

资料显示该区冬春降雪丰富,伊犁河流域年最大积雪深度普遍超过60 cm,中国科学院天山积雪与雪崩研究站和伊犁最大积雪深度分别高达152 cm和89 cm^[9]。因此,天山西部山区风吹雪和雪崩灾害较多,严重影响当地交通安全。新疆精河到伊宁公路经过的缓坡丘陵区是风吹雪灾害多发区,崇山峻岭区是雪崩灾害多发区。

2 数据和方法

2.1 数据来源

Terra/MODIS 积雪合成产品 MOD10A1 是逐日数据,时间分辨率高,空间分辨率为500 m,是研究山区积雪状况的合适数据源。利用美国国家航空和航天管理局(NASA)提供的2006-09到2011-05共5个积雪季(当年9月到次年5月为一个积雪季)的逐日积雪数据 MOD10A1,共计1366 d的图像。覆盖研究区 Terra/MODIS 图像编码为 h23v04 和 h24v04,下载积雪产品的时间区间在2006-09—2007-05、2007-09—2008-05、2008-09—2009-05、2009-09—2010-05、2010-09—2011-05。研究区总计使用2732幅 MOD10A1 图像。

Landsat TM/ETM 影像有空间分辨率高,分别为30/15 m,用以验证 MODIS 积雪精度。选取时间范围与 MODIS 数据一致的 Landsat TM/ETM+ 影像,选择无云或少云条件的共计12景(美国地质调查

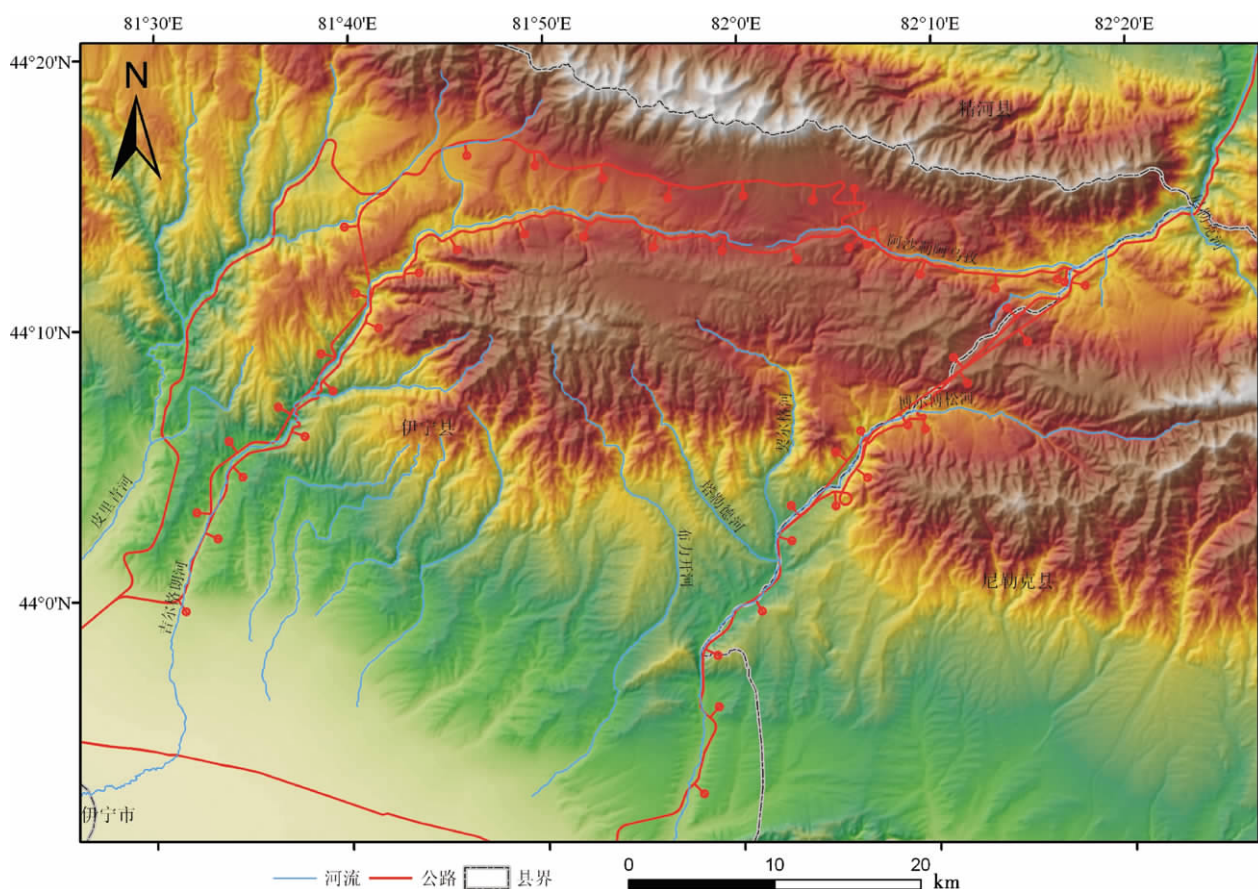


图1 研究区概况图

Fig.1 Sketch Map of Study area

局(USGS))。其中 TM 影像 3 景、ETM+ 影像 9 景。

除上述遥感影像外,还有研究区 1:5 万地形图,公路沿线 1:1 万地形图及 90 m 分辨率 DEM。

2.2 研究方法

研究方法主要包括以下三个步骤。

第一步:MODIS 积雪产品处理。由于下载的 MODIS 逐日积雪数据产品是 HDF 格式,正弦曲线(SIN)投影,又是分幅图像。所以利用 MODIS 数据处理工具软件(MRT)进行拼接和坐标变化处理。在 MRT 软件进行接边,同时将投影转为地理坐标,以 WGS84 椭球为参照,图像文件转换为 Geotiff 格式。为使面积变形最小,在 ERDAS 里进行重投影成 Albers 等面积投影系统,像元大小 500 m。而后在 ArcMap 软件里根据研究区范围进行 MODIS 数据裁剪,得到精河到伊宁公路积雪的逐日数据,再通过最大合成法处理,得到研究区积雪的月数据(图 2 和图 3)。

第二步:Landsat TM/ETM+ 数据处理。由于

Landsat ETM+ 数据在 2003 年之后具有条带,采用邻近象元值进行填补处理,去除条带。根据研究区范围,对原始影像进行裁剪,然后在 ArcMap 下利用 Hall 等^[16]提出的 SNOMAP 积雪自动提取算法,提取积雪信息。该算法根据积雪在不同波段的吸收和反射特性,使用 $NDSI$ 方法。 $NDSI = (b2 - b5) / (b2 + b5)$,其中 $b2$ 和 $b5$ 分别是 Landsat TM/ETM+ 第 2 波段和第 5 波段的反射率。当像元 $NDSI \geq 0.4$ 时,像元被认定为雪。该方法确定的雪像元中含有水体。为剔除水体影响,加入 $b4 \geq 0.11$ 条件,其中 $b4$ 是 Landsat TM/ETM+ 第 4 波段反射率。因此,在 Landsat TM/ETM+ 影像中,当一个像元 $NDSI \geq 0.4$ 而且 $b4 \geq 0.11$ 时,该像元即被识别为雪像元。最后对 MODIS 当天数据进行验证,得出 MODIS 积雪数据在该研究区的精度情况。

第三步:根据公路沿线 1:1 万地形图高程数据和遥感影像积雪数据,分析各个路段风吹雪和雪崩的危险级别,并提出相应对策。

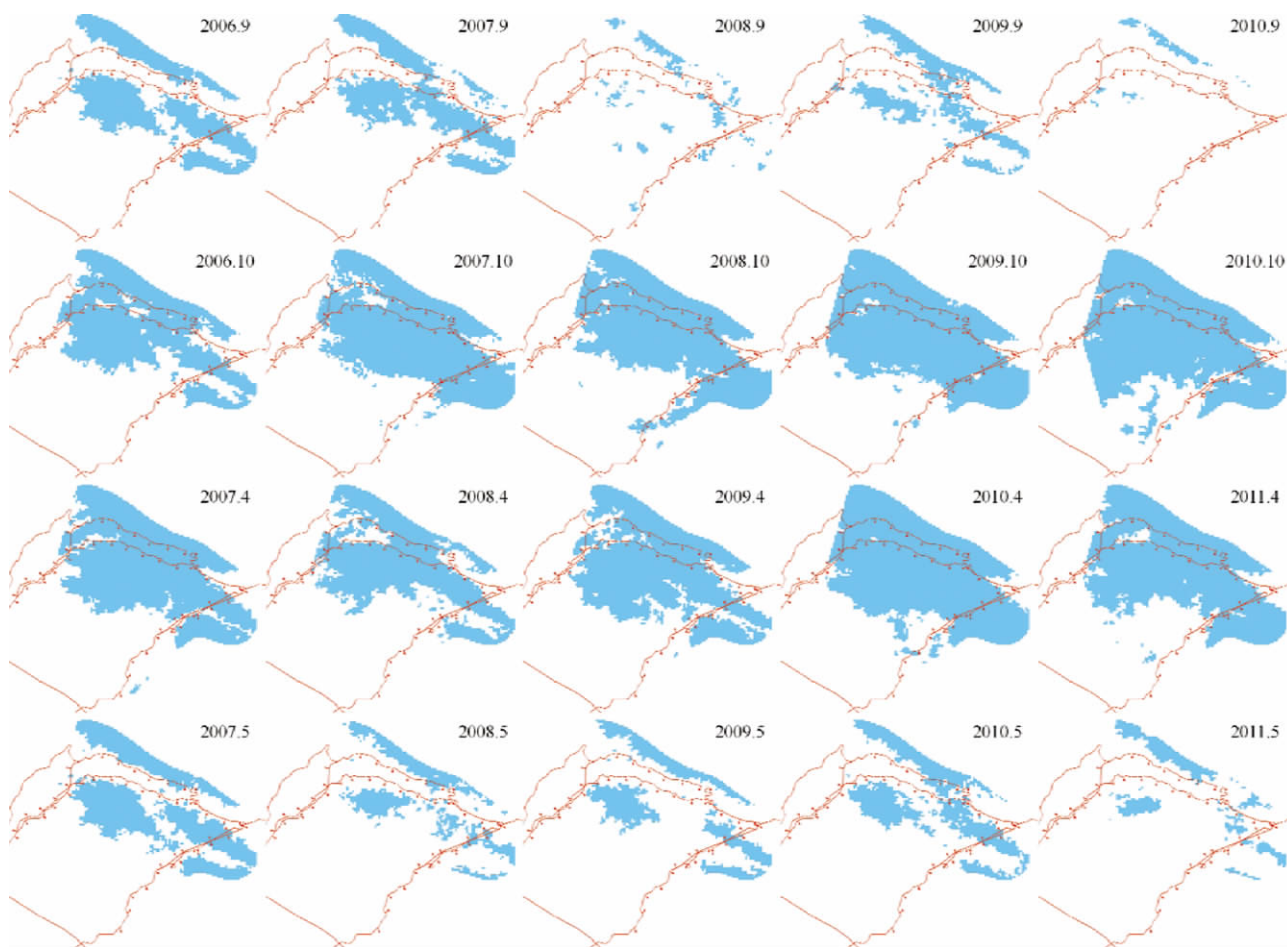


图 2 9 月、10 月、4 月和 5 月的 MODIS 积雪分布图

Fig. 2 Distribution map of MODIS snow cover in Sept., Oct., Apr. and May

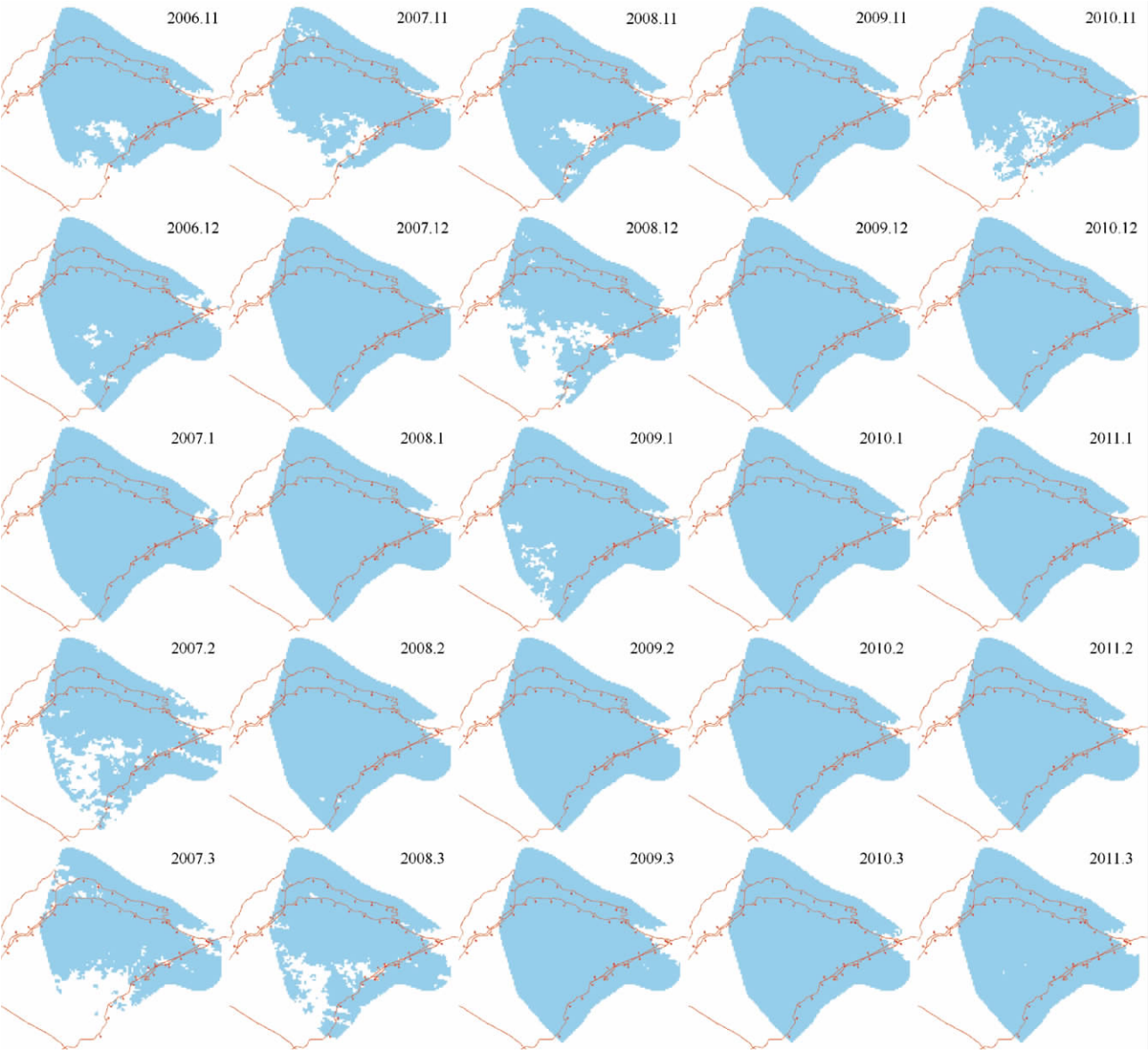


图 3 11 月至次年 3 月 MODIS 积雪分布图
Fig. 3 Dtribution map of MODIS snow cover in 11—3

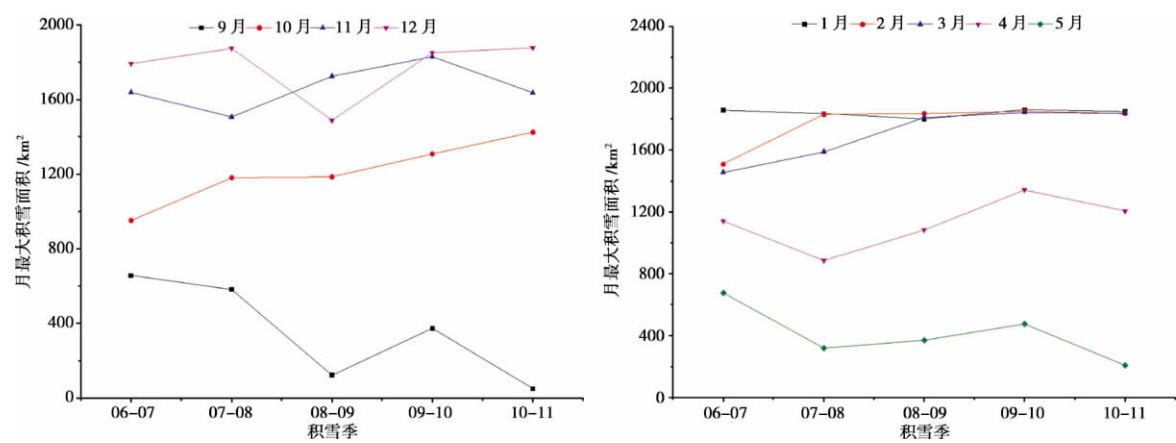


图 4 各月最大积雪面积变化曲线(左图为 9—12 月, 右图是 1—5 月)
Fig. 4 Maximum snow cover area change curve in each month , 9—12(left) , 1—5(right)

3 结果与讨论

3.1 MODIS 月数据变化

图 2 和图 3 是研究区 MODIS 积雪分布图。从图 2 可以看出: 9 月、5 月积雪面积都较小, 公路沿线无积雪; 10 月、4 月积雪面积相对较大, 东线走廊积雪很少, 西线走廊积雪较多, 尤其在 10 月。而 11 月到次年 3 月研究区积雪面积很大(图 3), 一般都在公路 K55 附近无积雪, 12 月到次年 2 月积雪面积最大, 公路东西线走廊沿线均有积雪; 11 月、3 月积雪相对较少, 其中 2007 - 11、2010 - 11、2007 - 03 公路东线走廊部分路段无积雪。

5 个积雪季各个月的月最大积雪面积变化差异显著(图 4)。9 月积雪面积显著减小, 10 月积雪面积呈逐渐增大趋势, 11—12 月呈现波动现象, 1—3 月近 3 年来积雪面积趋于稳定; 4、5 月出现波动, 4 月呈增大趋势, 5 月呈减小趋势。从整体情况来看, 11 月到次年 3 月是研究区积雪最丰富时期, 而且近年来 1—3 月积雪状况稳定; 10 月、4 月积雪面积次之, 9 月、5 月积雪面积较小。

各积雪季月最大积雪面积均值如图 5 所示, 5 年来均呈上升趋势, 2009—2010 年积雪季积雪面积显著上升。其中 11—3 月均值、9—5 月均值趋势基本一致, 可见 9、10、4、5 月积雪对整个积雪季积雪贡献很小。而在 2007—2008 年、2008—2009 年积雪季均值曲线稍微有差异, 可见这两个积雪季 9、10、4、5 月积雪贡献稍大。

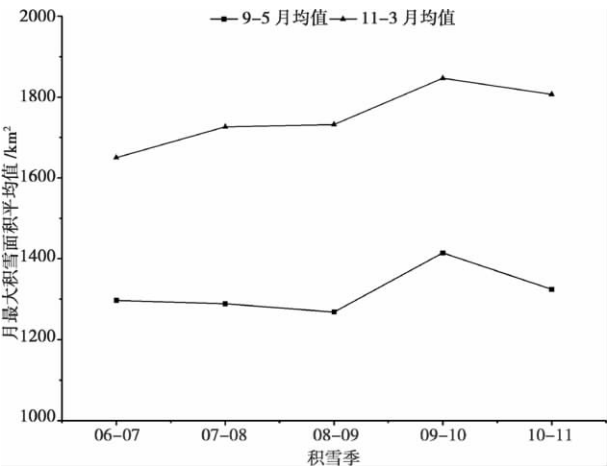


图 5 各积雪季的月最大积雪面积平均值
Fig. 5 Mean maximum snow cover area of each snow cover season

3.2 MODIS 日最大积雪

对 5 个积雪季的月积雪日最大值研究发现(表 1), 其中 10 月到次年 4 月的日最大值在 2009—2010 年积雪季, 可见 2009—2010 年积雪季是近 5 年来积雪最丰富的。从图 5 上还可看出 2009—2010 年积雪季的月均值积雪面积最大。其中 11—3 月的最大积雪面积都大于 1 750 km², 占到研究区面积的 90% 以上。1 月、2 月积雪面积最大。而 9 月、5 月的最大积雪面积相对较小, 仅有 654 km², 且在 2006 和 2007 年。

表 1 各月最大积雪面积及时间		
Table 1 Maximum snow cover and time of each month		
月份	积雪面积 /km ²	日期
9	654.00	2006 - 09 - 29
10	1 266.25	2009 - 10 - 30
11	1 780.00	2009 - 11 - 28
12	1 761.75	2009 - 12 - 30
1	1 828.50	2010 - 01 - 27
2	1 828.00	2010 - 02 - 13
3	1 805.50	2010 - 03 - 03
4	1 238.75	2010 - 04 - 01
5	654.00	2007 - 05 - 10

表 2 是 5 个积雪季中积雪覆盖面积最大的时间及面积情况, 可见积雪面积最大的时间在 12—2 月。最大积雪面积相差不大, 其中 2010 - 01 - 27 的最大, 达到 1 828.5 km²。

表 2 5 个积雪季最大积雪面积及时间		
Table 2 Maximum snow cover and time of five snow season		
积雪季	积雪面积 /km ²	时间
2006—2007	1 773.50	2007 - 01 - 22
2007—2008	1 682.75	2007 - 12 - 31
2008—2009	1 793.25	2009 - 02 - 23
2009—2010	1 828.50	2010 - 01 - 27
2010—2011	1 753.25	2011 - 02 - 17

3.3 MODIS 积雪产品精度分析

根据 SNOMAP 积雪算法提取 Landsat TM/ETM + 积雪情况与 MODIS 积雪的对比图(图 6, 灰色部分为 Landsat TM/ETM +, 黑色为 MODIS), 可看出积雪情况基本吻合。而使用 SNOMAP 积雪算法得到

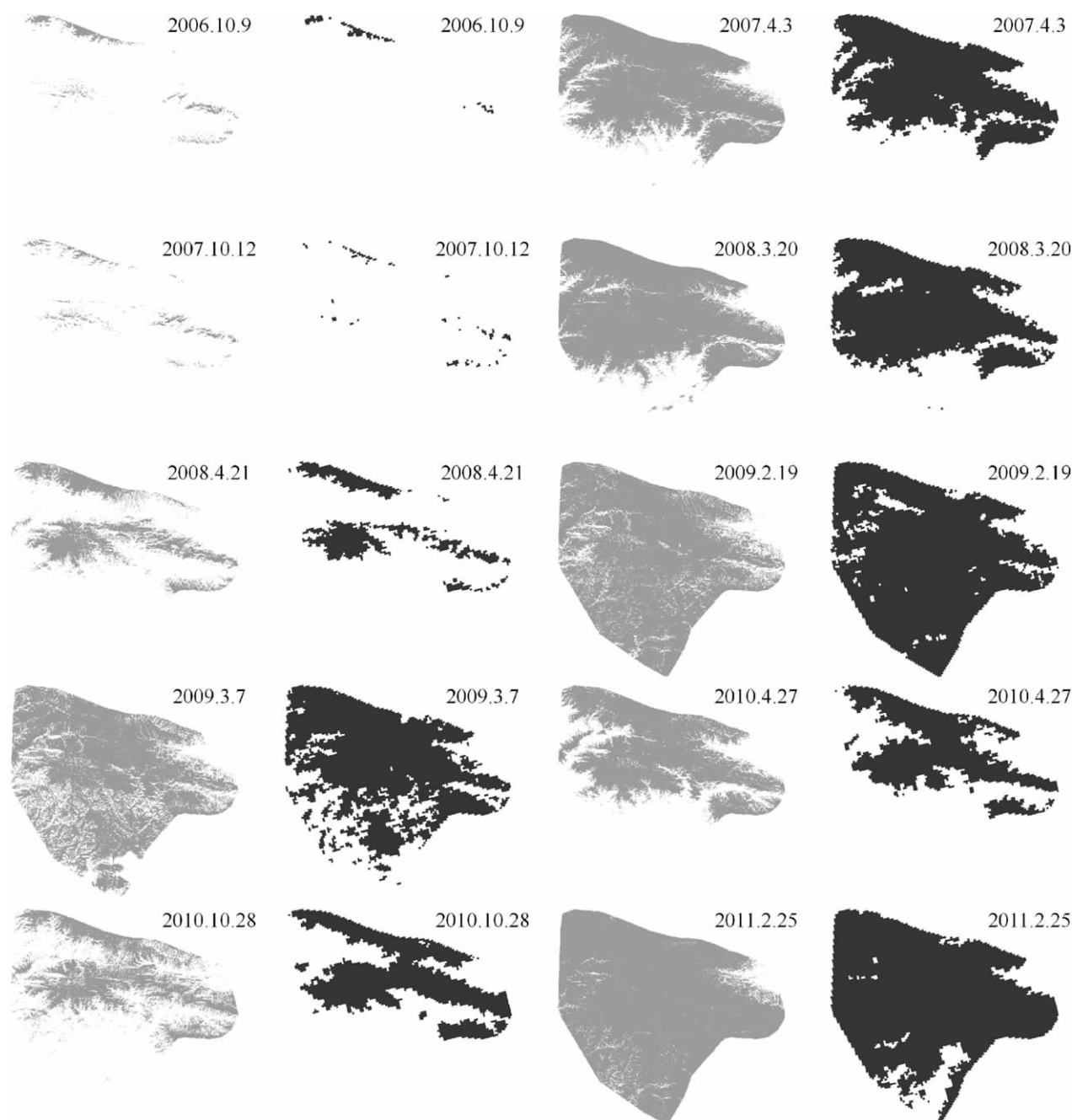


图 6 Landsat TM/ETM+ 和 MODIS 积雪数据的对比图

Fig.6 Comparision of Landsat TM/ETM+ and MODIS snow cover data

的积雪面积总体精度是非常高的,先后有郝晓华^[17]在祁连山区和陈晓娜^[18]在天山山区的研究,精度都达到 95% 以上。因此,由 Landsat TM/ETM 获取的积雪面积作为研究区积雪面积的真值,与同日 MODIS 积雪面积作比较,得出 MODIS 积雪面积精度(表 3)。精度最差的 MODIS 积雪时间集中在 5 月、10 月,其中在两期 5 月的数据中,MODIS 积雪面积都为 0,而相应 Landsat TM/ETM+ 影像有较大的积雪面积。10 月 MODIS 积雪数据误差在 50% 以上。

精度相对较差的在 4 月下旬,误差在 20% 以上。2 月、3 月和 4 月上旬的 MODIS 积雪数据精度相对较高,误差在 10% 以内。根据积雪面积大小来看,积雪面积越大时,MODIS 积雪数据的精度较高;积雪面积较小时,MODIS 积雪数据的精度较差。这与郝晓华^[17]在祁连山区的研究一致。由此可见,研究区 11 月至次年 3 月期间的 MODIS 积雪月数据的可信性是很强的,因此,加强这个时间段公路的防雪灾是非常必要的。

表3 Landsat TM/ETM+ 和 MODIS 积雪面积对比及精度
Table 3 Comparison of Landsat TM/ETM+ and MODIS snow cover area and precision

日期	Landsat TM/ETM+ 积雪面积/km ²	MODIS 积雪面积 /km ²	精度
2006-10-09	48.60	23.50	0.484
2007-04-03	1 138.32	1 047.50	0.920
2007-05-29	12.23	0	0
2007-10-12	47.49	23.50	0.495
2008-03-20	1 226.75	1 149.00	0.937
2008-04-21	357.20	272.75	0.764
2009-02-19	1 569.82	1 683.25	1.072
2009-03-07	1 312.77	1 241.25	0.946
2010-04-27	855.34	649.00	0.759
2010-05-05	414.92	0	0
2010-10-28	475.91	660.75	1.388
2011-02-25	1 763.61	1 644.00	0.932

3.4 雪灾评估及对策

精河到伊宁公路沿线雪灾与降水量关系密切。近期研究表明: 精河降水量 1980 年代以后呈增加趋势, 冬季降水占全年降水的 8% 左右, 春汛发生情况较少^[21]; 伊宁年降水量呈明显上升趋势, 年降水量线型倾向率为 12.3 mm/10 a^[22]。

3.4.1 风吹雪灾害与防治

早在 1980 年代, 王中隆等^[23]对天山地区的风吹雪进行研究, 提出运动特征及预防措施。从公路沿线的地形图可知: 精河到伊宁公路 K30 ~ K44 段位于精河阿沙勒阿乌孜河谷, 海拔 1 100—1 600 m, 与附近山脉高差 400 m。该区在婆罗科努山北坡, 是背风区, 降雪量较少^[1]。根据精河气象站资料, 精河全年盛行南风, 风速受地形影响极大, 地面风速分布极为复杂且极不均匀, 4 月、5 月风速最大, 12 月、1 月最小, 多年平均风速 1.5 m/s, 年最大风速 18.0 m/s^[15 24]。综合考虑, 该段公路的风吹雪危害较小。精伊公路东线走廊 K60 ~ K95 位于博尔博松河谷, 海拔在 950 ~ 1 670 m 之间, 其中在 K60 附近有 2 700 m 山峰。精伊公路西线走廊 K47 ~ K58 位于阿沙勒阿乌孜河谷上游, 海拔 1 700 ~ 2 000 m。从 K58 西线走廊分为南支和北支。南支沿阿沙勒阿乌孜河谷向上, 到达 K67 处阿沙勒阿乌孜与吉尔格朗河分水岭, 海拔从 2 000 m 上升到 2 200 m; K67 ~ K129 段沿吉尔格朗河谷向下, 海拔从 2 200 m 下

降到 800 m。北支 K58 ~ K68 段, 海拔从 2 000 m 上升到 2 300 m, K68 ~ K78 段海拔都处在 2300 m, 属于高海拔路段; K81 ~ K149 段海拔从 2 300 m 下降到 800 m, 其中 K109 ~ K134 位于皮里青河谷。整体来说, 东线走廊在婆罗科努山以南, 迎风坡, 降雪量大; 西线走廊东段位于科古尔琴山和婆罗科努山之间的峡谷中, 西段分别位于皮里青河谷和吉尔格朗河谷, 科古尔琴山以上, 属于迎风坡。相关研究表明: 伊犁地区风向较复杂, 以地形造成的山谷风占优势^[24]。由于精伊公路东西线走廊位于伊犁地区的迎风坡, 降雪量大, 加上山谷风影响, 这些路段风吹雪对公路影响大。根据地形因素分析, 东线走廊 K60 以上路段和西线走廊 K100 以上路段风吹雪对公路影响较大。

天山地区风吹雪堆积类型分为背风或迎风半路堑、转弯绕流路段、路堑、过高与过低路堤^[23]。根据精伊公路设计及经过的地形情况, 几种类型都可能存在, 防治风吹雪灾害非常重要。目前比较常用的防治技术措施: 导雪措施、阻雪措施、疏导措施和除雪措施^[24]。导雪措施有各种规格的下导风和测导板, 阻雪措施有防雪林、防雪墙和防雪栅栏, 疏导措施有提高路基高度、开挖储雪场、修缮山内侧边坡和加大弯道半径, 除雪措施有机械除雪和物理化学除雪^[23-24]。对精伊公路而言, 实用的风吹雪防治措施有提高路基高度、修缮山内侧边坡、加大弯道半径、防雪栅栏及测导板等。

3.4.2 雪崩灾害与防治

根据天山山系雪崩危险区分布^[25], 精伊公路沿线属于中山森林-草原雪崩危险区和中山草地雪崩危险区, 雪崩危险性较大, 而低山草原或半荒漠雪崩危险区, 雪崩危险性较小。刘明哲等^[1]研究表明: 该区科古尔琴山南坡中山带以降雪形式存在的年降水量 150 mm, 约占年总降水量的 30%。年平均降雪厚度达 80 cm, 最高可达 120 mm。北坡为背风坡, 降雪量相对较少, 中山带降雪厚度只有 10 ~ 20 cm, 几乎不发生雪崩。精伊公路沿线 1 500 m 以上定义为中山带, 根据降雪资料可以推断出, 精伊公路北段雪崩的可能性很小; 东线走廊 K60 ~ K77 段、西线走廊 K90 ~ K110 段有一定的雪崩灾害; 而西线走廊 K58 ~ K90 段有较大的雪崩危害。

根据相关研究, 研究区雪崩类型发育齐全, 沟槽雪崩、坡面-沟槽雪崩、坡面雪崩均有发育^[1]。公路雪崩防治采取防重于治、防治结合原则, 重点路段

以采用过程措施为主,一般路段使用机械清雪,逐步指数造林方式^[26]。根据精伊公路实地情况,雪崩防治方法为修建水平台阶和稳雪栅栏,用来稳定山坡积雪;修防雪堤和防雪走廊用来导雪;设置土石墙、铁丝网和排桩用来阻截雪崩积雪。

4 结论

利用 MODIS、Landsat TM/ETM + 遥感数据,并结合精伊公路规划图及地形图,得出以下结论:

1. 研究区5年来的积雪情况,11月到次年3月是积雪最丰富时期,9月、10月、4月和5月较少,并分析了5年来的变化规律。

2. 5年来最大积雪时间集中在2009—2010年积雪季,且5年来该积雪季降雪最多。

3. 利用 Landsat TM/ETM + 对 MODIS 积雪数据验证的结果表明,积雪面积越大时,MODIS 积雪数据精度越高;积雪面积越小时,MODIS 积雪数据精度越小。

4. 分析得出精伊公路沿线风吹雪和雪崩的危险区,并指出相应防治措施。

致谢:感谢 NASA 和 USGS 提供的 MODIS 和 Landsat TM/ETM + 遥感数据,感谢审稿人提出的宝贵修改意见。

参考文献(References)

- [1] Liu Mingzhe, Wei Wenshou, Zhang Lixu, et al. The primary analysis on the features of the avalanches along the Jinghe - Yining Railway [J]. Arid Land Geography, 1999, 22(4): 29 - 34 [刘明哲, 魏文寿, 张丽旭, 等. 精河 - 伊宁铁路沿线雪崩特征初步分析 [J]. 干旱区地理, 1999, 22(4): 29 - 34]
- [2] Xu Junrong, Qiu Jiaqi. A study on snowfall variation in the Tianshan Mountains during the recent 30 winters [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(suppl.): 123 - 128 [徐俊荣, 仇家琪. 天山地区30年来冬季降雪波动研究 [J]. 冰川冻土, 1996, 18(增刊): 123 - 128]
- [3] Wang Zhonglong, Zhang Zhizhong. Regionalizations of snow drift in China [J]. Journal of Mountain Science, 1999, 17(4): 312 - 318 [王中隆, 张志忠. 中国风吹雪区划 [J]. 山地学报, 1999, 17(4): 312 - 318]
- [4] Qiu Jiaqi. Preliminary study on avalanches of Tianshan Mountains, China [J]. Arid Land Geography, 1992, 15(2): 42 - 48 [仇家琪. 中国天山雪崩初步研究 [J]. 干旱区地理, 1992, 15(2): 42 - 48]
- [5] Wang Zhonglong, Li Changzhi. The formation mechanism of snow drift in Aiken Daban and its control [J]. Journal of Desert Research, 1995, 15(2): 105 - 108 [王中隆, 李治中. 艾肯达坂风雪流形成机制及其治理 [J]. 中国沙漠, 1995, 15(2): 105 - 108]
- [6] Wang Cunniu. Weather conditions and snow drift hazards in Laerdun Daban of Tianshan Road [J]. Arid Land Geography, 1983, 6(4): 57 - 63 [王存牛. 天山公路拉尔墩达坂的气候条件和风吹雪危害 [J]. 干旱区地理, 1983, 6(4): 57 - 63]
- [7] Zhang Zhizhong. Preliminary results of avalanches control study in the Kunas valley road, Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, 3(4): 65 - 71 [张志忠. 天山巩乃斯河谷公路雪崩防治研究的初步结果 [J]. 冰川冻土, 1981, 3(4): 65 - 71]
- [8] Zhang Zhizhong. Preliminary analyses of the release causes for wet-snow avalanches in the Kunas valley, Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, 3(4): 403 - 407 [张志忠. 天山巩乃斯河谷湿雪雪崩成因初步分析 [J]. 冰川冻土, 1986, 8(4): 403 - 407]
- [9] Gao Weidong, Liu Mingzhe, Wei Wenshou, et al. The occurrence and mitigation of drifting snow and avalanche hazard in the mountains along the Jinghe-Yining Railway, Tianshan, China [J]. Journal of Mountain Science, 2005, 24(1): 43 - 52 [高卫东, 刘明哲, 魏文寿, 等. 新疆精(河) - 伊(宁)铁路沿线雪害形成机制及其防治工程措施 [J]. 山地学报, 2005, 24(1): 43 - 52]
- [10] Wang Qiuxiang, Zhang Chunliang, Liu Jing, et al. The changing tendency on the depth and days of snow cover in northern Xinjiang [J]. Advances in Climate Change Research, 2009, 5(1): 39 - 43 [王秋香, 张春良, 刘静, 等. 北疆积雪深度和积雪日数的变化趋势 [J]. 气候变化研究进展 [J]. 2009, 5(1): 39 - 43]
- [11] Pei Huan, Fang Shifeng, Qin Zhihao, et al. Remote sensing - based monitoring of coverage and depth of snow in northern Xinjiang [J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(5): 52 - 57 [裴欢, 房世峰, 覃志豪, 等. 基于遥感的新疆北疆积雪盖度及雪深监测 [J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(5): 52 - 57]
- [12] Feng Qisheng, Zhang Xuotong, Liang Tiangang. Dynamic monitoring of snow cover based on MOD10A1 and AMSR - E in the north of Xinjiang Province, China [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(1): 125 - 133 [冯琦胜, 张学通, 梁天刚. 基于 MOD10A1 和 AMSR - E 的背景牧区积雪动态监测研究 [J]. 草业学报, 2009, 18(1): 125 - 133]
- [13] Liang Tiangang, Gao Xinhua, Huang Xiaodong, et al. Study on the Accuracy of MODIS Snow Cover Mapping Algorithm in Northern Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2007, 24(4): 446 - 452 [梁天刚, 高新华, 黄晓东, 等. 新疆北部 MODIS 积雪制图算法的分类精度 [J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 446 - 452]
- [14] Zhang Xuotong, Huang Xiaodong, Liang Tiangang, et al. Accuracy analysis for MODIS snow data of MOD10A1 in a pastoral area in Northern Xinjiang [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(2): 110 - 117 [张学通, 黄晓东, 梁天刚, 等. 新疆北部地区 MODIS 积雪遥感数据 MOD10A1 的精度分析 [J]. 草业学报, 2008, 17(2): 110 - 117]
- [15] Ma Shuhong, Ge Feng, Guo Qingyu, et al. Study on design factors of meteorology along the railway in construction from Jinghe to Yining [J]. Xinjiang Meteorology, 2000, 23(6): 17 - 20 [马淑红,

- 戈峰,郭肇宇,等. 精河-伊宁铁路工程沿线气象参数设计值研究[J]. 新疆气象, 2000, 23(6): 17-20]
- [16] Hall Dorothy K, George A Riggs, Vincent V Salomonson. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data [J]. Remote Sensing Environment, 1995 54: 127-140
- [17] Hao Xiaohua, Wang Jian, Li Hongyi. Evaluation of the NDSI Threshold Value in mapping snow cover of MODIS—a case study of snow in the middle Qilian Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(1): 132-138 [郝晓华, 王建, 李弘毅. MODIS 雪盖制图中 NDSI 阈值的检验——以祁连山中部山区为例[J]. 冰川冻土, 2008, 30(1): 132-138]
- [18] Chen Xiaona, Bao Anming, Liu Ping. Quality assessment of MOD10A1 in the Tianshan Mountains based on multiple statistical sample scales [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010, 85(3): 80-85 [陈晓娜, 包安明, 刘萍. 基于多尺度统计样本的天山山区 MOD10A1 分类精度评价[J]. 国土资源遥感, 2010, 85(3): 80-85]
- [19] Cao Meisheng, Li Peiji. Microwave Remote sensing Monitoring of snow cover in western China [J]. Mountain Research, 1994, 12(4): 230-234 [曹梅盛, 李培基. 中国西部积雪微波遥感监测[J]. 山地研究, 1994, 12(4): 230-234]
- [20] Che Tao. Study on passive microwave remote sensing of snow and snow data assimilation method [D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, 2006 [车涛. 积雪被动微波遥感反演与积雪数据同化方法研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2006]
- [21] Li Jiaqiang, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Variation features of precipitation and runoff of the middle-small rivers of northern piedmont of Tianshan Mountains: a case of Jinghe [J]. Arid Land Geography, 2010, 33(4): 615-622 [李加强, 陈亚宁, 李卫红, 等. 天山北坡中小河川降水与径流变化特征——以精河为例[J]. 干旱区地理, 2010, 33(4): 615-622]
- [22] Xaymurat Aydaraili. Analysis on climatic change in Yining City in recent 55 Years [J]. Arid Zone Research, 2010, 27(6): 878-884 [夏依木拉提·艾依达尔艾力. 近 55 年来新疆伊宁市气候变化过程分析[J]. 干旱区研究, 2010, 27(6): 878-884]
- [23] Wang Zhonglong, Bai Zhongyuan, Chen Yuan. A study on the movement of snow drift in Tian Shan and its control [J]. Acta Geographica Sinica, 1982, 37(1): 51-64 [王中隆, 白重瑗, 陈元. 天山地区风雪流运动特征及其预防研究[J]. 地理学报, 1982, 37(1): 51-64]
- [24] Hu Yanyu. Study on characteristics and protection measures of snow disaster along the Jing yihuo Railway [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008 [胡延宇. 精伊霍铁路雪害特征及防治措施研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008]
- [25] Blagovescenkiy V P, Hu Ruji, Ma Hong. Zoning of hazardous avalanche area in the Tianshan Mountains [J]. Arid Land Geography, 1995, 18(4): 33-40 [Blagovescenkiy V P, 胡汝驥, 马虹. 天山山系的雪崩危险区分布 [J]. 干旱区地理, 1995, 18(4): 33-40]
- [26] Wang Zhonglong. Research on prevention of snow damages in China [J]. Mountain Research, 1983, 1(3): 22-31 [王中隆. 我国雪害及其防治研究[J]. 山地研究(现山地学报), 1983, 1(3): 22-31]

Snow Cover along the Jinghe to Yining Highway and Its Impact

ZHANG Huawei¹, TONG Haigang², LU Anxin³, WANG Lihong¹, WU Xuejiao¹

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. First Highway Consultants Company LTD China Communications Construction Company Limited, Xi'an 710075, China; 3. Center for Earth Observation and Digital Earth Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Using MODIS and Landsat TM/ETM+ data, we analysis snow cover area of study area. And combining planning map of Jinghe to Yining highway and topographical maps, we indicate dangerous zones of snow drift and avalanche along the highway, and put forward relevant control measures. There are four results. Study area snow cover is the most abundant from November to next March in recent five years, and snow cover is less during September, October, April and May. Recently snow cover is increasing trend, and Maximum snow cover time is 2009-2010 snow cover season in recent five years. The bigger is snow cover area, the higher is precision of MODIS snow data; the smaller is snow cover area, the lower is precision. Snow drift is great impact on the highway in over K60 of east highway and over K100 of west highway. The probability of avalanche is small in north highway. There are some small avalanches in K60-K77 of the east highway and K90-K110 of the west highway. K58-K90 of the west highway have some great avalanches. And some control measures is proposed.

Key words: Jinghe to Yining highway; snow drift; avalanche; MODIS; Landsat TM/ETM+