

利用 DEM 模型求算磨西台地堆积物体积

李 豪^{1, 2}, 文安邦¹, 张信宝^{1, 3}

(1 中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2 中国科学院研究生院, 北京 100083;
3 中国科学院 水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 基于 GIS 的 DEM 模型, 求算磨西台地堆积物的体积, 为 $1.172 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。计算结果表明, 采用可视化方法的计算结果与估算结果基本一致, 该结果具有一定的参考价值, 并对该方法的精度及注意问题进行了讨论。通过计算磨西台地的体积, 可以定量分析当时冰川堆积和泥石流发生的强度, 为进一步研究当时环境演变与台地的形成过程, 提供有力的数据支持。

关键词: 磨西台地; 体积; DEM; 可视化计算

中图分类号: TP79; P642.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007)04-0077-05

Volume Computation of the Moxi Platform Base on DEM

LI Hao^{1, 2}, WEN An-bang¹, ZHANG Xin-bao^{1, 3}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 2. Graduate School, CAS, Beijing 10039, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The volume of Moxi Platform is $1.172 \times 10^9 \text{ m}^3$ based on the visualized method DEM. A satisfied result is obtained as applying the visual method of calculation. At the same time, the accuracy and problems of the method were discussed. The volume of Moxi platform was used to analyze strength of mudslides glacial accumulation and debris flow, and it is useful to provide the strong support for studying the cause and process of the Moxi Platform.

Key words: Moxi Platform; volume; DEM; visualized computation

1 概述

磨西河位于贡嘎山东坡, 为大渡河西岸的一条支流。主河由北向南, 流经新兴、磨西, 于摩岗岭附

近汇入大渡河, 流域面积 923 km^2 。南门关沟、燕子沟、磨子沟、海螺沟等磨西河的主要支沟, 位于主河西侧, 源头均为贡嘎山冰川(图 1)。磨西河的主要特征值见表 1^[1]。

表 1 磨西河的主要特征值

流域面积 /km ²	河长 /km	落差 /m	多年平均 径流量 /(m ³ ·s ⁻¹)	平均比降 / %	流域长度 /km	流域平均 宽度 /km	弯曲 系数	不对称 系数	流域形状 系数
923	41.0	2760	41.0	67	37.0	25.0	1.14	- 0.72	0.67

磨西台地简称磨西面, 位于贡嘎山东坡磨西河谷之中, 其位置大致位于新兴乡与磨西镇之间, 地理坐标为北纬 $29^{\circ}37'12'' \sim 29^{\circ}45'35''$, 东经 $102^{\circ}3'18'' \sim 102^{\circ}4'48''$, 地面高差达 700 m(海拔 1 300~ 2 000

* 收稿日期: 2007-04-16
基金项目: 国家 973 计划(2003CB415202)
作者简介: 李豪(1980-), 男, 汉族, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。

m), 长约 10 km, 宽 2~ 3 km, 平均厚度达 120 m 左右, 坡度 2~ 11° 之间(图 2, 图 3)。磨西河谷为典型的古冰蚀谷盆, 谷盆内堆积了巨厚的冰川和冰川泥石流松散堆积物。全新世中后期以来燕子沟与磨西河, 将巨厚的堆积物与东、西两侧的基岩山地分割, 形成了一个狭长的舌状台地, 即磨西台。

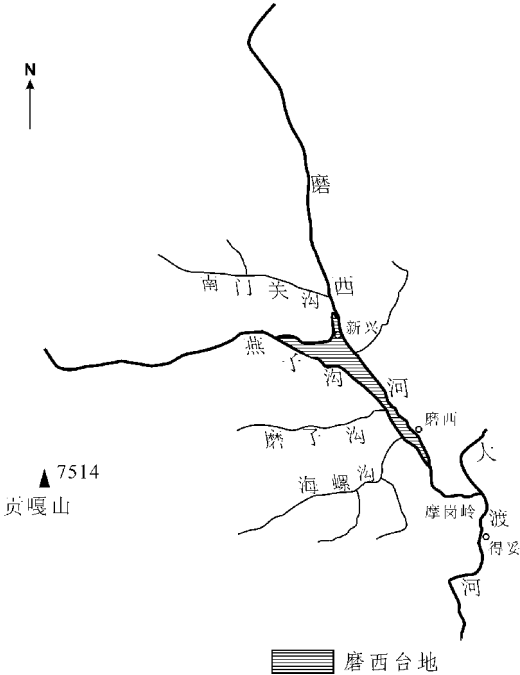


图 1 磨西河流域略图及磨西台地位置

关于磨西台地的成因和形成年代, 目前还说法不一。李承三先生认为, 磨西面之形成殊难解释, 可能有 3 种原因: ①磨西面为诸冰川汇集, 形成宽深槽形大谷; ②气候转暖雪线上升时的洪积充填物; ③山地上升, 侵蚀加强生成的冲积层。生成时间, 相当于雅安层^[2]; 崔之久先生认为磨西台地上部为冰水堆积物, 下部层为冰川底碛^[3]; 1979~ 1980 年中国科学院成都地理研究所对贡嘎山地区进行了地理考察研究, 根据磨西台地沉积物剖面结构特征和¹⁴C 同位素年代资料, 认为磨西台地为全新世早期夹有泥石流堆积层的河流冲积阶地^[4,5]; 吕儒仁、高生淮认为磨西台地是由距今 8 000~ 1 500 a 中以燕子沟为主的冰川消融性洪水和冰雪融水及雨水泥石流相间堆叠形成的^[6]; 郑本兴、苏珍等根据野外考察和文献资料, 推断磨西台地的主体为中更新世晚期倒数第二次冰期的冰川堆积物, 其中也包括有冰水砂砾层透镜体和冰湖相等沉积, 而末次间冰期时的冰川融水和冰川泥石流对磨西冰川堆积进行了重大改造^[7,8]; 张文敬等认为磨西台地是全新世早期在冰后期高温和高强度降水环境的综合作用下, 形成的

冰水堆积平原^[9]; 程根伟等根据台地沉积结构、物质组成和¹⁴C 年代测定结果等推断, 磨西台地是在距今 7 400 a 到 4 000 a 的全新世高温时期形成, 由冰雪融水和暴雨诱发的特大型泥石流堆积的侵蚀残余部分^[10]。

磨西台地是历史时期气候变化的产物。通过计算台地的体积, 可以定量分析当时冰水堆积和泥石流发生的规模, 为进一步研究当时环境演变与磨西台地的形成机制、过程等, 提供有力的数据支持。本文基于 GIS 的 DEM 模型, 以地理信息系统软件 ArcView 3.3 为分析平台, 提出一种磨西台地体积的可视化计算方法。

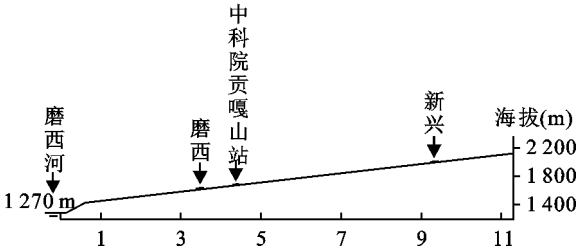


图 2 磨西台地地表纵向剖面图

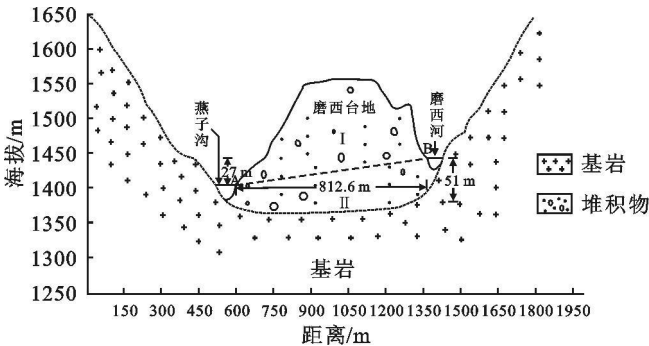


图 3 磨西台地横向剖面图

2 台地体积可视化计算

2.1 计算方法

数字高程模型(Digital Elevation Models, DEM)是地理信息系统地理数据库中最为重要的空间信息资料 and 进行空间分析的核心数据系统, 它是一定范围内规则格网点的平面坐标(x, y)及高程(z)的数据集, 该数据集从数学上描述了该地区地貌形态的空间分布。利用 DEM 可以快速提取坡度图、坡向图、剖面曲率、平面曲率、水系、地形晕渲图; 可以进行地形三维模拟、可视化分析; 可以进行体积、表面积、剖面面积的计算等。其在空间领域有着很广阔的应用前景。通过磨西台地 1: 50 000 比例尺的地形图生成 DEM 模型, 使用地理信息系统软件 ArcView 3.3, 对磨西台地体积进行了可视化计算^[11]。

2.2 计算过程

磨西台地体积可视化计算主要可归纳为数据预处理、体积计算和结果输出 3 个主要步骤(图 4)。

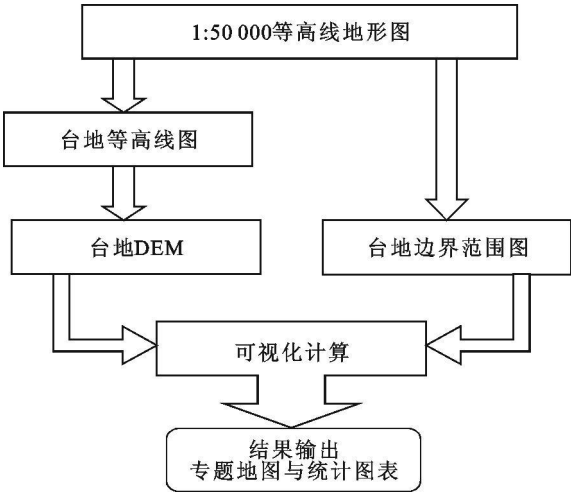


图 4 台地体积可视化计算流程图

2.2.1 数据预处理

以 1: 5 万比例尺磨西台地地形图为基础数据, 利用其制作 1: 50 000 比例尺的磨西台地 DEM。DEM 主要利用 PhotoShop、ArcGIS、ArcView 等软件制作而成, 主要包括如下几个过程:

(1) 数字化栅格底图的生成。该过程包括如下几个步骤: ①对地形图通过扫描仪进行扫描, 以获得数字化栅格底图; ②对栅格底图进行纠正, 以消除纸张变形所带来的误差。

(2) 矢量化底图, 构建高程信息的数据库。高程信息的获取, 就是在栅格底图上进行数字化, 以获取生成 DEM 所必须的高程信息, 它包括如下几个步骤: ①对等高线进行屏幕跟踪矢量化; ②对等高线标赋高程值; ③对离散高程点进行屏幕矢量化; ④对高程点标赋高程; 最后, 对这些矢量化产品进行编辑、检查、拼接以生成拓扑关系完整的矢量图(图 5)。

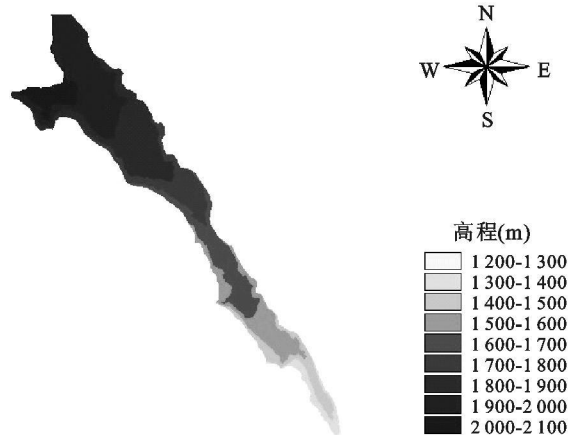


图 5 磨西台地 DEM 图

要注意的一点是, 数字化后的地形图要进行空间投影配准后才能用于制作 DEM。

(3) DEM 生成。将生成的高程矢量图在 ArcView 3.3 软件中利用其 Spatial Analyst(空间分析)模块进行内插, 以使整个研究区域都含有高程值, 并生成 DEM。

在此基础上, 完成磨西台地边界范围图, 并据此设置体积的计算范围。磨西台地边界范围的确定, 东西两侧以燕子沟与磨西河主河为界, 两者大致平行沿东南方向延伸并交于台地的最南端; 北面则参考文献[13], 大致以新兴乡行政界限与 2 000 m 等高线为界^[12]。

2.2.2 体积计算

利用以上数据, 基于地理信息系统软件 ArcView 3.3 进行台地体积求算, 主要运用其空间分析和三维分析模块。首先把 1: 50 000 比例尺的台地 DEM 与台地面积范围图输入到 ArcView 3.3 的一个新项目中; 然后以边界范围图设置边界, 通过 DEM 数据生成三维表面模型 TIN。三维 TIN 数据结构, 其数据结构包括了一组具有(X, Y, Z)的离散点, 由相邻点之间构成不规则并互不相交的三角网, 形成一定的空间拓扑关系; 生成 TIN 模型后采用 3D Analyst(三维分析)模块的 Volume 命令计算台地的体积, 它通过计算每块三角网与给定高程面之间三角形锥体的体积, 然后叠加在给高程面下所有三角形锥体的体积, 即为该高程下的台地体积。分别计算台地上表面与下垫面在某一高程下的体积(本文计算的是高程最低点 1 280 m 下的体积), 两者之差即为台地的体积。使用 Volume 命令在确定体积的同时, 可以得到台地的平面面积和表面积。为提高精度, 减少人为输入误差, 在使用相同的边界范围的基础上, 共数字化地形图 3 次并分别计算台地的体积, 取 3 次计算结果的平均值作为最终结果, 体积为 $5.851 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

通过上述计算, 可以得到图 3 所示部分 I 的体积, 而台地的总体积还包括了线 AB 以下至基岩间的堆积物的体积, 即部分 II 的体积。由于无法得知线 AB 至基岩的深度, 因此无法对此部分的体积进行精确计算, 仅对其进行估算。在燕子沟的海螺沟汇口处, 汇集水流较大, 侵蚀下切能力强, 燕子沟沟床内基岩出露, 因此大致可认为此处的深度为部分 II 可测得的最大深度。由台地 DEM 可知, 海螺沟汇入燕子沟处台地在燕子沟一侧要比磨西河一侧低约 41 m, 即此处 B 点与 A 点的高差为 41 m。由文献[1]可知, 磨西河的森林带(海拔 1 400~ 3 500 m)

的河流平均径流深在 10 m 左右; 又由文献[12] 可知, 台地基座平均宽 812. 6 m, 燕子沟一侧的台地高差平均比磨西河一侧大 27 m。台地在 AB 线以下至基岩间的横剖面可简化为图 7 所示。又知磨西台

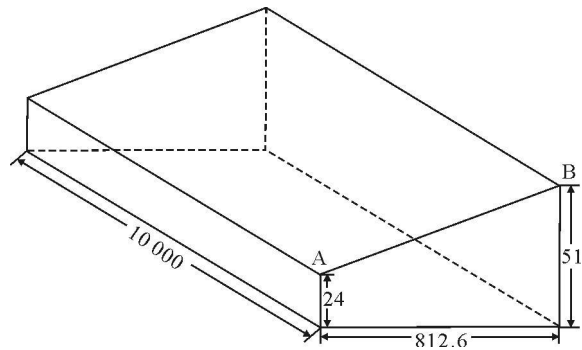


图 6 磨西台地部分Ⅱ简化图

地长约 10 km, 因此计算得到图 7 部分的体积为 $3.047 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于计算的深度要小于部分Ⅱ的实际深度, 因此部分Ⅱ的体积应略大于此值, 加上Ⅰ部分的体积, 磨西台地的总体积为 $8.898 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

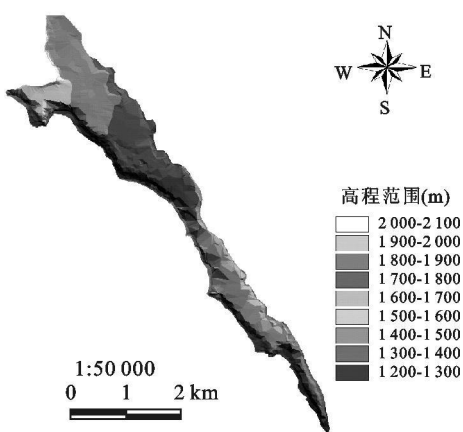


图 7 磨西台地 TIN 模型

2.2.3 结果输出

计算结果输出包括 2 部分: 一部分是以三维形式显示的台地表面模型(图 4); 另一部分是统计图表(表 2)。

表 2 磨西台地面积及体积

次数	平面面积/ 10 ⁶ m ²	表面面积/ 10 ⁶ m ²	部分Ⅰ体 积/10 ⁸ m ³	部分Ⅱ体 积/10 ⁸ m ³	总体积 10 ⁸ m ³
1	6.632	7.693	5.727		8.774
2	6.859	7.831	6.02	3.047	9.067
3	6.427	7.176	5.805		8.852
平均	6.639	7.567	5.851	3.047	8.898

2.3 结果分析

目前仅有少数关于磨西台地体积的研究报道。据文献[6] 报道, 磨西面台地长 8 km, 总面积 7. 11 km², 总体积达 $11.03 \times 10^8 \text{ m}^3$, 但并未提及其计算方法。此次计算, 我们选定磨西台地的范围与文献[7] 报道的大致相同, 但并未包含蔡阳坪, 计算结果为面积为 6. 639 km², 体积为 $8.898 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从计算结果可以看出, 计算结果应略为偏小, 可能和数字化、计算等过程中引入各种人为误差有关。因此, 我们认为该结果具有一定的参考价值, 磨西台地体积大致为 $9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

磨西台地形成期间及台地形成后至今, 磨西台地一直受两侧燕子沟和磨西河干流的侵蚀切割, 每年都有一定量的固体物质被输送到大渡河, 因此古磨西台地的体积要比现在大。大部分学者认为磨西

台地形成的时间大致在 3 500~ 6 500 a 间^[6, 10, 12], 若以磨西台地在 3 500 a 中形成计, 那么从燕子沟等冰川谷沟搬运堆积的固体物质的平均速率为 $2.571 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$; 若以在 6 500 a 中形成计, 则固体物质的平均输移速率为 $1.385 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ 。前者可能偏大, 后者则偏小, 实际值应该介于两者之间(平均值为 $1.978 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$)。磨西台地的堆积物主要来自燕子沟, 若以堆积物的容重 1. 8 t/ m³, 燕子沟的流域面积 229. 7 km² 计算^[6], 侵蚀模数大致为 1 550 t/ (km² · a)。

2.4 方法评价

和其他方法相比, 利用 GIS 技术进行地貌类型表面积和体积的计算有很大便利性, 它能根据提供的地形数据快速计算出区域内给定范围的表面积和体积, 给测绘、水土保持、地质水文和工程建设等提供可靠的数据支持。但是, 在数字化与计算等过程中会不可避免的引入各种人为误差, 因此, 计算结果的精度严格受以下几个因素的影响:

(1) 地形图扫描过程中所产生的误差。扫描误差主要来源于地形图不够平整而造成纸张变形。由于这种误差是一种不依比例的不规则变形, 因此, 在得到栅格地图后, 要对栅格图进行纠正, 以消除这种变形误差。

(2) 地形图数字化输入过程中所产生的误差。该误差的产生有几个原因: 第一, 地形图的复杂程度, 如高山地区稠密的等高线就较容易造成输入错误; 第二, 地形图的清晰程度, 主要和扫描仪的分辨率有关; 第三, 数字化人员的操作熟练程度和判读能力, 如图幅的拼接和等高线高程的判读等。由于采

用手工跟踪进行等高线数字化输入,得到的数字化地形图都会不同程度的存在人为误差。

(3)内插以及计算过程中所产生的误差。从矢量图转换到 TIN 和计算过程中,由于内插和计算算法的误差以及数据有效数字的取舍,系统误差不可避免,这种误差将会影响最后结果的精度。

3 结 语

本文利用地理信息系统软件 ArcView,提出了一种基于 DEM 模型的磨西台地体积的可视化计算方法。计算结果表明:

(1)磨西台地(不含蔡阳坪)平面面积为 $6.639 \times 10^6 \text{ m}^2$, 表面面积为 $7.567 \times 10^6 \text{ m}^2$, 体积为 $9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。磨西台地形成的时间大致在 3 500~ 6 500 a 间,形成期间从燕子沟等冰川沟谷搬运堆积的固体物质的平均速率大致为 $1.978 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$, 侵蚀模数大致为 $1\,550\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

(2)和其他方法相比,利用 GIS 技术计算地貌类型表面积和体积具有快速、精确与直观等优点,能给测绘、水土保持、地质水文和工程建设等提供可靠的数据支持。

(3)由于 DEM 精度的影响,计算结果与实际值存在一定的误差,其精度主要受扫描、数字化和计算等过程中产生的误差影响。

参考文献:

[1] 何毓成. 贡嘎山地区河川水文[A]. 中国科学院成都地理研究所. 贡嘎山地理考察[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 47– 20.

[2] 李承三. 西康泸定磨西面之水利问题[J]. 地质论评, 1939, 4(5): 367– 372.

[3] 崔之久. 贡嘎山现代冰川的初步观察[J]. 地理学报, 1958, 24(3): 318– 338.

[4] 李钟武, 陈继良, 胡发德, 等. 贡嘎山地区地质构造[A]. 中国科学院成都地理研究所. 贡嘎山地理考察[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 4– 20.

[5] 刘淑珍, 刘新民, 赵永涛, 等. 贡嘎地区地貌特征及地貌发育史[A]. 中国科学院成都地理研究所. 贡嘎山地理考察[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 21– 34.

[6] 吕儒仁, 高生淮. 贡嘎山东坡燕子沟的冰雪融水和雨水泥石流[A]. 贡嘎山高山生态环境研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 110– 126.

[7] 郑本兴. 贡嘎山东麓第四纪冰川作用与磨西台地成因探讨[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 283– 291.

[8] 苏珍, 施雅风, 郑本兴. 贡嘎山第四纪冰川遗迹及冰期划分[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 639– 647.

[9] 张文敬, 李同阳, 李伟. 贡嘎山隆升与冰川演化关系探讨[A]. 青藏高原东缘环境与生态. 成都: 四川大学出版社, 2002. 78– 87.

[10] 程根伟, 吕儒仁, 张文敬. 横断山区全新世特大泥石流与环境变化探讨[A]. 青藏高原东缘环境与生态[M]. 成都: 四川大学出版社, 2002. 193– 198.

[11] 何春阳, 丁永建, 李新. 冰川可视化计算方法研究[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 169– 174.

[12] 余鹏, 刘丽芬. 利用地形图生产 DEM 数据的研究[J]. 测绘通报, 1998, 10: 16– 18.

[13] 吕儒仁, 赵惠林. 贡嘎山东坡全新世泥石流活动与环境演变[A]. 贡嘎山高山生态环境研究: 中国生态系统研究网络丛书[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 90– 101.

[14] 郑本兴, 马秋华. 贡嘎山区全新世冰川变化与泥石流发育的关系[J]. 山地研究, 1994, 12(1): 1– 8.

(上接第 76 页)

[11] 陈贤章, 李新. 积雪定量化遥感研究进展[J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(4): 47– 51.

[12] 曹云刚, 刘闯. 从 AVHRR 到 MODIS 的雪盖制图研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(5): 15– 19.

[13] Njoku, E G. Passive microwave remote sensing of the earth from space a review [J]. Proceedings of the IEEE, 1982, 70(7): 728– 750.

[14] Kunzi M F, Subash P, Helmut R. Snow-cover pa-

rameters retrieved from Nimbus – 7 scanning multi-channel microwave radiometer (SMMR) data [J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 1982, GE– 20 (4): 452– 467.

[16] Ramsayb H. The interactive multisensor snow and ice mapping system [J]. Hydrological Processes, 1998, 12: 1537– 1546.

[17] Changa T C, Foster J L, Hall D K. Nimbus-7 SMMR derived global snow cover parameters[J]. Annals of Glaciology, 1987, 9: 39– 44.