

陈智虎,杨广斌,杨春艳,等.典型喀斯特地貌类型区小流域划分[J].中国岩溶,2016,35(3):262-268.
DOI:10.11932/karst20160303

典型喀斯特地貌类型区小流域划分 ——以贵州省金沙县为例

陈智虎^{1,2},杨广斌^{1,2},杨春艳^{1,2},赵连友¹

(1.贵州师范大学地理与环境科学学院,贵州 贵阳 550001; 2.贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室,贵州 贵阳 550001)

摘 要:我国水土保持和石漠化防治是以小流域为单元来开展工作的,而在喀斯特地区进行小流域划分的研究还比较少。以 1:5 万地形图作为工作底图,进行数字化采集并结合空间插值的方法生成贵州省金沙县 DEM 数据,并以 GIS 的水文分析模块为基础,经过自动提取微流域,微流域归并,流域边界验证等过程,最终提取金沙县小流域 338 个。从提取的结果来看,小流域的面积集中分布在 3~10 km² 范围内,占小流域总数的 79.29%;在完整型、区间型和坡面型三种小流域类型中,研究区小流域类型以完整型小流域为主;绝大部分流域的分界线能够达到要求,在峰林、峰丛、洼地分布的地方会出现分界线偏离山顶点或者鞍部,这些地方水系网络复杂,自动提取的小流域与实际不相符合,需要进行手动修改。

关键词:喀斯特;小流域;盲谷;峰林;峰丛洼地

中图分类号:P931.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-4810(2016)03-0262-07

0 引 言

在我国西南地区,特别是喀斯特地区,生态环境恶化,人与自然矛盾以及严峻的石漠化问题已经成为可持续发展的主要障碍,石漠化治理已经变成西南地区改善生态环境的重要举措。有研究表明:在石漠化地区开展小流域生态系统退耕还林还草及石漠化治理,使许多地方的石漠化程度有所缓解,在向好的方向发展^[1-2]。生态环境保护、水土流失控制等很多工作是基于小流域进行的。目前,贵州省实施的石漠化综合治理工程是基于小流域来进行的,以小流域作为治理单元也取得了显著成效^[3-7]。卢红梅等^[8]以小流域为研究对象探索出喀斯特石漠化过程中的土壤退化本质;陈加兵等^[9]利用 1:10 万地形图作为工作地图,运用 ArcGIS 软件插值生成福建省 DEM,并进

行福建省小流域的划分;朱战强等^[10]基于典型小流域探讨了退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响;刘晗等^[11]对太行山区牛叫河小流域进行了土地可持续利用模式的探讨。目前,国内外对小流域划分的研究还很少,特别是在喀斯特地区,绝大多数只是选取某一个小流域进行研究,并未系统地进行小流域划分。金沙县作为贵州省典型的喀斯特地区,地貌类型多样,通过对其小流域的划分,分析不同类型小流域对生态环境的影响程度,将会为本区小流域治理奠定科学基础。

1 研究区概况

贵州省喀斯特地貌发育典型,素以“喀斯特博物馆”著称^[12-14]。本研究区金沙县位于贵州省西北部,

资助项目:国家自然科学基金(41361091);贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金项目(黔科合人字[2013]39号);贵州省重大专项项目(黔科合重大专项字[2012]6007号)

第一作者简介:陈智虎(1989-),男,硕士研究生,研究方向:地图学与地理信息系统。E-mail:452144487@qq.com。

通讯作者:杨广斌, E-mail:ygbyln@163.com。

收稿日期:2016-02-22

毕节市东部,全县地处黔中山原向西北高原山地过渡地带,地势西南高东北低(图 1),全县山地面积占 61.3%,丘陵面积占 31.9%,山间平坝面积占 6.8%;地形、地貌复杂,以山地中丘为主,海拔高程一般在 800~1 500 m 之间;喀斯特地貌发育,许多地方出现

有漏斗、峰丛、洼地、落水洞、伏流和天生桥等喀斯特地貌特征。喀斯特地区地表破碎,地表蓄水能力不足,水资源开发利用效率不高,石漠化严重,生态环境脆弱,容易造成水土流失、崩塌、滑坡、泥石流等自然灾害^[15]。

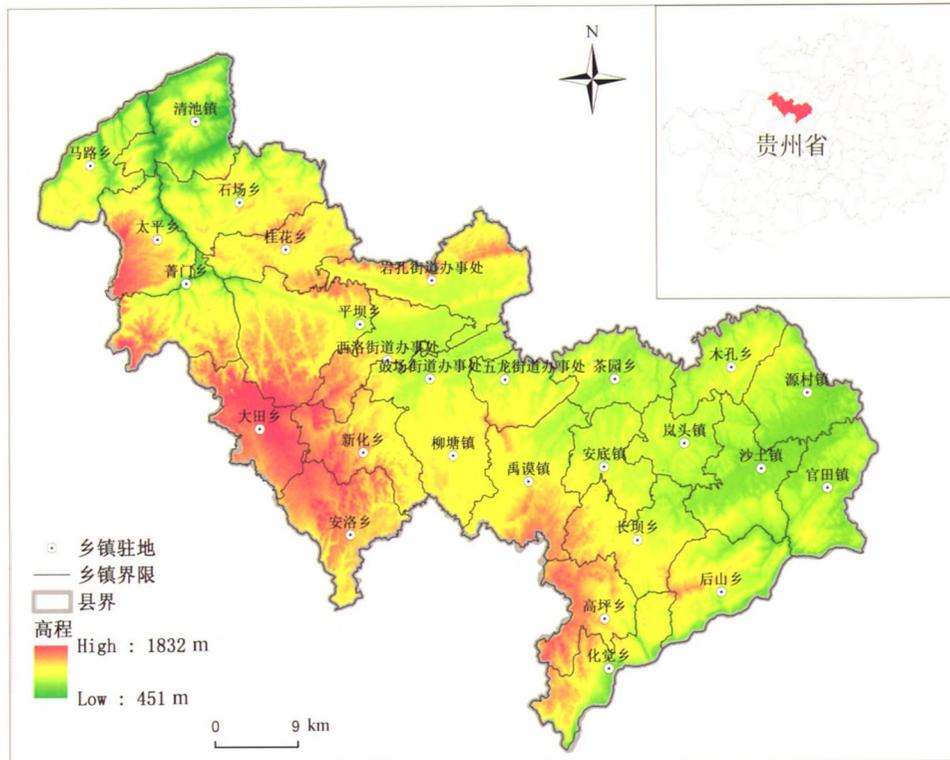


图 1 金沙县地理位置及地势分布示意图

Fig. 1 The sketch map of location and terrain distribution in the Jinsha county

2 研究区小流域划分

2.1 数据来源

根据小流域划分的要求,本研究用到的数据源主要有 1:5 万 DEM 数据,以及遥感影像等辅助数据。DEM 数据主要以 1:5 万地形图作为数据源,对其进行数字化并运用空间插值的方法得到^[16-17]。遥感影像主要采用 2014 年的高分一号卫星数据作为小流域划分的辅助数据。

2.2 存在的问题

由于受到喀斯特地区特殊地貌类型的影响,例如峰丛、峰林和孤峰,洼地,落水洞,在划分小流域的时候会出现划分结果与实际地形不符的情况,主要有以下两方面的问题:

(1) 洼地、盲谷

典型喀斯特地貌类型区经常出现盲谷,又称为断尾河^[18-19]。这些地区主要出现在河流流至一段遇到

落水洞,水流经过落水洞形成地下径流,地表呈现的是没有谷口的情形;此外,满足条件的洼地需要单独划为一个流域,自动提取时这些较大的洼地没有得到恰当的归并(图 2)。

(2) 峰林、峰丛和孤峰

典型喀斯特地貌类型区地表有峰林、峰丛、孤峰等地貌,山峰之间会出现溶沟和竖井等现象,峰林分散或成群的出现在平地上,流域界限不是非常的明显,自动提取会将部分流域外的部分也划分到流域内部,出现错误(图 3)。

2.3 小流域划分标准

①小流域提取的面积在 3~50 km² 之间;②小流域的边界须经过山顶点、鞍部且与等高线处处垂直;③根据 2013 年,中华人民共和国水利部发布的《小流域划分及编码规范》将小流域划分为完整型、坡面型和区间型三种。

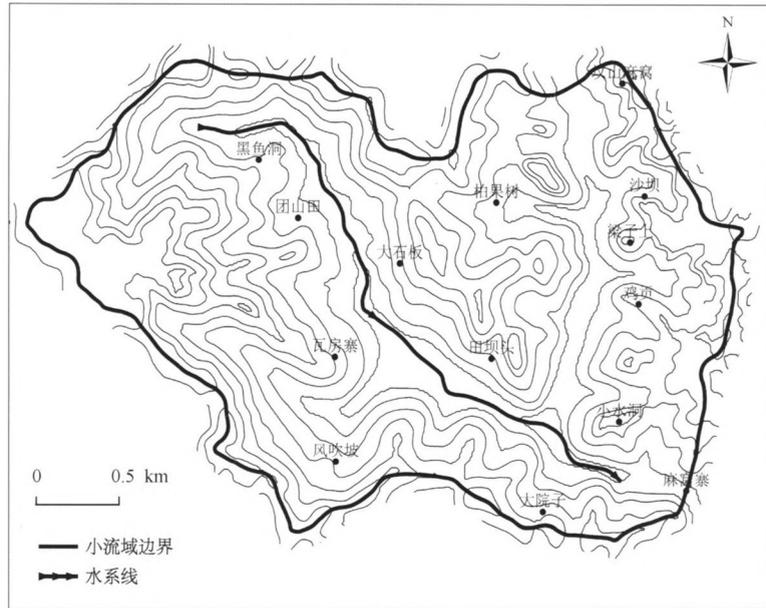


图2 喀斯特地区的盲谷

Fig. 2 Blind valley in karst area

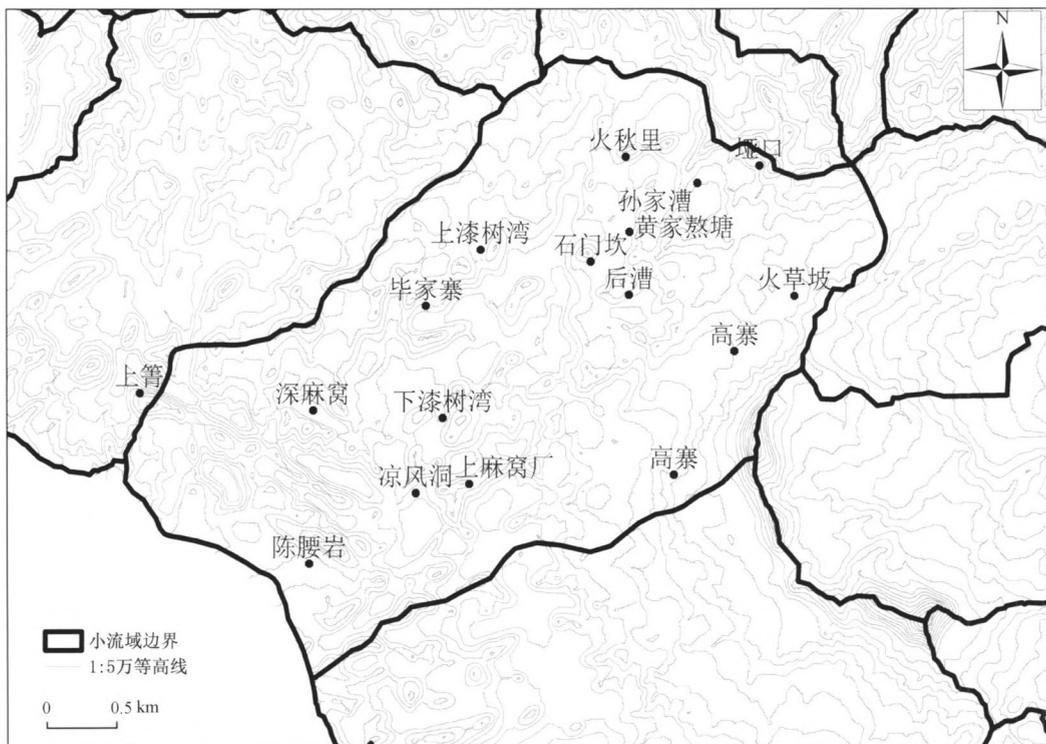


图3 峰丛、峰林

Fig. 3 Peak cluster and peak forest landscape

2.4 小流域提取

喀斯特地区存在很多峰丛洼地、峰林、孤峰和漏斗等地貌形态,地表凹凸不平,地下又会存在溶洞,局部地区还会出现中间平坦而四周封闭的情况。针对

以上问题,先提取金沙县的微流域,然后按照自然汇水关系对微流域进行归并,并结合遥感影像和地形图进行结果检验和修改。

2.4.1 微流域提取

基于空间数据库的 DEM,根据《小流域划分及编码规范》设定 1 km^2 作为微流域提取的面积,一次性提取金沙县的微流域,参照地形图、遥感影像、道路、河流等信息,对提取的微流域分水线进行检查,对出水口位置进行确认,最后按照小流域划分标准进行微流域归并。微流域提取步骤如下:

①洼地填充;②水流方向确定。本文采用 O'callaghan 和 Mark 的最大坡降算法 $D8^{[20]}$ 计算水流方向;③汇流累积量分析。通过设置 5 000 格网、10 000 格网、20 000 格网等不同阈值来进行河流网络提取,并将提取的河流网络与地形图进行比对和校验。结果发现,阈值设置为 20 000 时,所提取的河网与实际河网最为匹配,而且提取出来的小流域面积也

更符合要求;④确定流域出水口位置。采用河流交叉点、洼地中心点以及落水洞位置作为流域出水口位置;⑤微流域提取;⑥微流域边界确认。

2.4.2 洼地、盲谷地区小流域边界确定

对存在有洼地和盲谷的地区进行小流域边界确认。在微流域提取过程中,将洼地的中心点和落水洞的位置作为微流域提取的出水口位置,将存在洼地和盲谷地区的小流域单独划分出来,根据小流域划分面积标准和具体情况,对微流域进行归并,如果归并后流域面积大于 3 km^2 ,则将这部分单独划分为一个完整的小流域;如果面积小于 3 km^2 ,则按照自然汇水关系归并到上一级流域当中。归并前、后的小流域对比如图 4 所示。

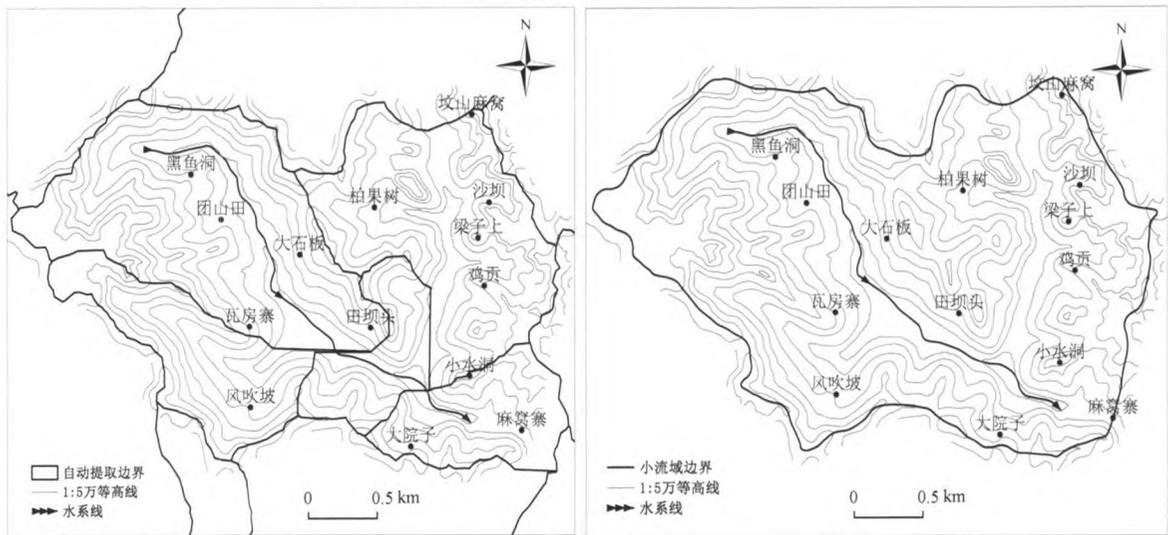


图 4 盲谷地区微流域归并前、后对比

Fig. 4 Comparison before and after the merge micro-catchment of the blind valley

2.4.3 峰林、峰丛和孤峰地区小流域边界确定

在峰林、峰丛和孤峰分布的地区,进行微流域提取时,提取结果比其他地方混乱。在进行微流域归并时,借助遥感影像和地形图作为参考,峰林、峰丛以及孤峰在遥感影像上呈花生壳状,没有明显的分水线,低洼处有河流、耕地等土地类型,峰林、峰丛是连片存在的,是一个整体,在微流域归并时不宜将它们划分开,需将这些地方划分在一起,作为一个完整的小流域。将提取的微流域叠加在遥感影像和地形图上,对微流域进行归并,面积控制在 $3 \sim 50 \text{ km}^2$,沿着分水线进行修改和勾绘,峰林、峰丛归并在一个完整的小流域里面,孤峰归并到相邻的小流域里面,无法确定小流域边界的地区,进行野外调查核准。峰林、峰丛地区归并前后小流域对比如图 5 所示。

2.5 结果验证

验证自动提取的金沙县小流域结果是否符合要求,方法如下:

(1)小流域界限验证。将生成的小流域边界与地形图进行叠加,查看小流域边界是否与等高线处处垂直,并且小流域的分水线必须经过山顶点以及鞍部。从验证结果来看,绝大部分流域的分界线能够达到要求,局部地区会出现分界线偏离山顶点或者鞍部,这种情况主要发生在峰林、峰丛、洼地分布的地方,这些地方往往分布着一个又一个的山峰,山峰之间分布着大大小小的洼地,导致水系网络复杂,自动提取的小流域与实际不相符合,这些地方需要进行手动修改。

(2)小流域存在性验证。验证生成的小流域是否应该独立存在,或者应该划分到其他流域内部。从提取的结果来看,绝大部分小流域划分的结果还是符合

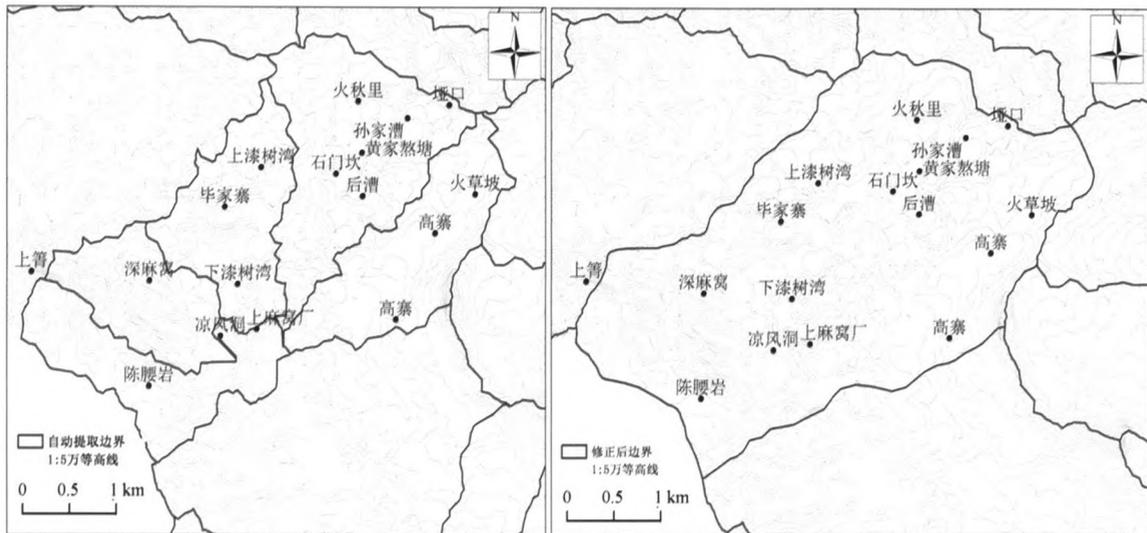


图5 峰林、峰丛地区微流域归并前、后对比

Fig. 5 Comparison before and after the merge micro-catchment of the peak forest and peak cluster

实际要求的。针对喀斯特地区出现盲谷或断尾河的现象,通过选取落水洞的位置作为出水口的位置,能够很好地将盲谷划分为一个独立的小流域,而且面积符合要求;峰林、峰丛和孤峰以及洼地在划分流域时,虽然大部分都划分在了一个小流域里面,洼地也能够依据提取的面积划分在相邻流域里面或者单独划分为一个完整的流域,但是在部分地形比较复杂的地区,分界线还是很模糊,划分结果不太理想,需要参照地形图或者遥感影像进行手动修改,部分地区还需要进行野外验证。

3 结果与分析

在典型喀斯特地貌类型区进行小流域划分,主要会遇到以下两方面问题:(1)喀斯特地区会出现盲谷,以及存在一种中间比较平坦,范围比较广,四周近似圆形且封闭的洼地;(2)在喀斯特地表有峰林、峰丛、孤峰存在,山峰之间又会出现溶沟和竖井等自然景观,小流域划分比较混乱。

(1)小流域类型统计

按照小流域类型统计(表1),其中完整型小流域有222个,占提取小流域总个数的65.68%;区间型小流域有97个,占提取小流域总个数的28.70%;坡面型小流域有19个,占提取小流域总个数的5.62%。总体来看,按照小流域类型统计完整型小流域的提取精度较高,达到96%,坡面型和区间型提取精度分别为94%和93%。

表1 小流域类型统计表

Table 1 The statistics of small catchment types

类型	完整型	区间型	坡面型	合计
个数	222	97	19	338
百分比/%	65.68	28.70	5.62	100
精度/%	96	93	94	

(2)小流域面积统计

按照小流域面积统计(表2),小流域面积小于3 km²的有5个,占小流域提取总个数的1.48%;面积在3~10 km²的有268个,占小流域提取总个数的79.29%;面积在10~30 km²的有61个,占小流域提取总个数的18.05%;面积在30~50 km²的有4个,占小流域提取总个数的1.18%。总的来说,小流域的面积主要分布在3~10 km²这个范围,面积在30~50 km²的要少一点(图6),这主要是受喀斯特地区特殊地形的影响,面积在3~10 km²区间提取的精度较高,达到96%。

表2 小流域面积统计表

Table 2 The statistics of small catchment areas

面积/km ²	<3	3~10	10~30	30~50	合计
个数	5	268	61	4	338
百分比/%	1.48	79.29	18.05	1.18	100
精度/%	93	96	94	92	

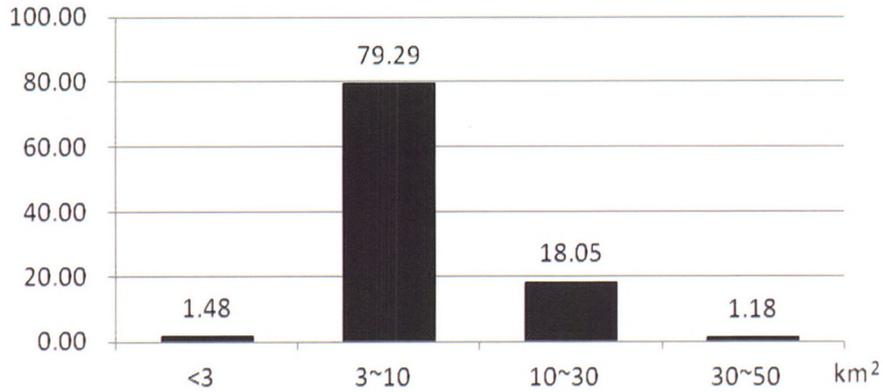


图 6 小流域面积统计百分比
Fig. 6 Percentage of small catchment areas

通过微流域自动提取,微流域归并生成小流域,最后提取出金沙县小流域共 338 个(图 7)。峰林、峰丛、孤峰、洼地等特殊地区小流域边界确定,

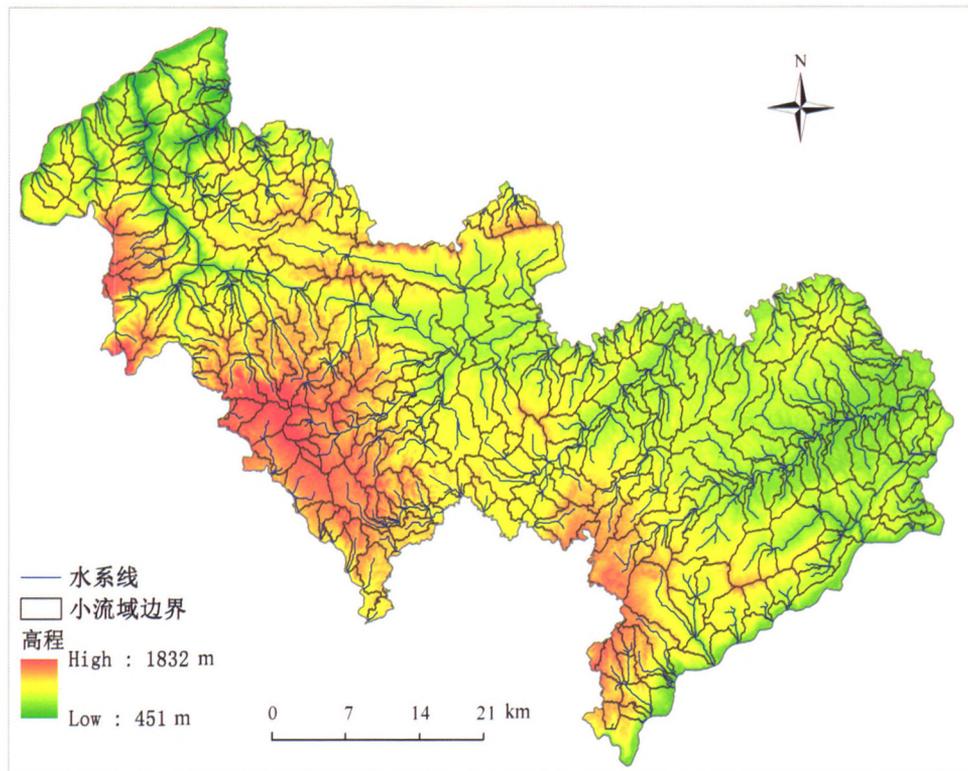


图 7 金沙县小流域划分结果
Fig. 7 The results of small catchment division in th Jinsha county

4 结 论

通过 DEM 提取贵州省金沙县的小流域,经过验证分析和处理得到最终小流域划分结果,划分效果比较满意,主要结论如下:

(1)处在山区的小流域,流域界限比较容易划分,而且划分的结果与分水岭基本吻合,提取的绝大部分小流域能够满足以后的工作要求。

(2)在峰丛、峰林分布的地方,划分结果不是太满意,需要进行野外验证及手动进行修改。

(3)金沙县小流域按照类型统计,其中完整型小流域有 222 个,区间型小流域有 97 个,坡面型小流域有 19 个;完整型小流域提取精度要高于其他两种。

(4)金沙县小流域按照面积统计,小流域面积小于 3 km²的有 5 个,面积在 3~10 km²的有 268 个,面积在 10~30 km²的有 61 个,面积在 30~50 km²的有

4个;面积在3~10 km²的提取精度要高于其他面积区间。

参考文献

- [1] 刘唐松,戴全厚.贵州省石漠化地区生态系统健康状况评价综述[J].水土保持学报,2008,15(4):165-167.
- [2] 苏孝良.贵州喀斯特石漠化与生态环境治理[J].地球与环境,2005,33(4):20-28.
- [3] 刘震.我国水土保持小流域综合治理的回顾与展望[J].水土保持,2005,(22):17-20.
- [4] 戴明宏,张军以,王腊春,等.西南岩溶小流域农业可持续发展优化模式研究[J].中国岩溶,2015,34(3):254-259.
- [5] 魏兴琥,徐喜珍,雷俐,等.石漠化对峰丛洼地土壤有机碳储量的影响:以广东英德市岩背镇为例[J].中国岩溶,2013,32(4):371-376.
- [6] 廖婧临,苏跃,李航,等.喀斯特山区不同复种指数条件下的土壤质量变化:以普定县猫洞小流域为例[J].中国岩溶,2009,28(3):308-312.
- [7] 方健梅.石漠化区小流域综合治理可持续发展评价:以贵州省金沙县乌箐河小流域为例[D].中国林业科学研究院.
- [8] 卢红梅,王世杰.花江小流域石漠化过程中的土壤有机碳氮的变化[J].地球与环境,2006,34(4):41-46.
- [9] 陈加兵,励惠国,郑达贤,等.基于DEM的福建省小流域划分研究[J].地球信息科学,2007,9(2):74-77.
- [10] 朱战强,刘黎明,张军连.退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响:以中庄村典型小流域为例[J].生态学报,2010,30(1):146-154.
- [11] 刘晗,吕斌.太行山区牛叫河小流域土地可持续利用模式探讨[J].地理研究,2012,31(6):1050-1056.
- [12] 李宗发.贵州喀斯特地貌分区[J].贵州地质,2011,28(3):177-181.
- [13] 陈述彭.西南地区的喀斯特地貌[J].地理知识,1954,(3):74-76.
- [14] 曾昭璇.中国南部石灰岩地貌类型若干问题[J].地质学报,1964,44(1):119-128.
- [15] 刘昌明,陈志恺.中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M].北京:水利水电出版社,2001.
- [16] 汤国安,李发源,刘学军.数字高程模型教程[M].北京:科学出版社,2010.
- [17] 王家耀,崔铁军,苗国强.数字高程模型及其数据结构[J].海洋测绘,2004,24(3):1-4.
- [18] 周宁.鄂西南岩溶槽(盲)谷开发利用方案探讨:以宣恩县洗草坝岩溶盲谷为例[J].地球与环境,2005,(s1):229-236.
- [19] 马祖陆.云南南洞地下河流域地貌特征及地下河发育演化的初步研究[J].中国岩溶,1993,12(3):273-283.
- [20] O'callaghan J F, Mark D M. The extraction of drainage network from digital elevation data[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1984, (28):323-344.

Small catchment division in the typical karst landform areas: A case study of Jinsha county, Guizhou

CHEN Zhi-hu^{1,2}, YANG Guang-bin^{1,2}, YANG Chun-yan^{1,2}, ZHAO Lian-you¹

(1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. Key Laboratory of Remote Sensing Application in Resources and Environment, Guizhou, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract Prevention and control of soil and water loss and desertification in China are normally implemented on a small catchment as a unit basis. However, scientific study on the division of a small catchment in karst area has seldom been done. Jinsha county is located in a typical karst area in Guizhou, with various types of landform. This research was commenced on the work of digitization and DEM generation with the topographic map of Jinsha sheets on a scale of 1 : 50,000. After that, the hydrological analysis module of GIS was used to automatically extract the small catchments, to merge the micro-catchments and in the meantime validate the basin boundaries from which 338 small catchments were finally extracted by the system. Result shows that the sizes of the small catchments fall in a range of between 3 km² and 10 km², accounting for 79.29% of the total small catchments. Within the range of integrity, and slope, and other three small catchment types, small catchment types in the study area is dominated by complete type of catchment. Most of the catchment boundaries can meet the requirements. In the areas with peak forest, peak cluster and karst depression, the boundaries do not exactly cross the top of the mountain or hill saddle. Due to the complexity of local drainage network, automatically extracted small catchments are not in accordance with the reality, which have to be manually modified.

Key words karst, small catchment, blind valley, peak forest, peak cluster depression

(编辑 黄晨晖)