基于 DEM 的喀斯特流域地貌发育影响因素分析

贺中华[1]，梁 虹[1]，黄法苏[2]，赵 芳[3]，周 智[4]
([1] 贵州师范大学地理与生物科学学院，贵阳 550001；[2] 贵州省水文水资源局，贵阳 550001；
[3] 白云区第三中学，贵阳 550003；[4] 贵州省环境工程评估中心，贵阳 550002)

=摘 要> 影响喀斯特流域地貌发育的因素复杂多样，除岩性、气候等条件外，流域水系特征及高程、流域坡度和流域切割程度和流域地表形态特征等也是影响喀斯特流域地貌发育的重要因素。本文根据贵州省 ASTER影像，利用 RS和 GIS技术，提取 DEM数据；以 DEM数据、TM影像和 CBERS影像为基础，选取 32个喀斯特流域，探讨分析影响地貌发育的五大因素，并提取 25个指标；借助 MATLAB和 Spss软件进行数据处理和主成分分析，得出影响地貌发育的九个主成分，得出影响喀斯特地貌发育从大到小的因素是流域水系特征及高程、流域坡度和流域切割程度和流域地表形态特征。

=关键词> 喀斯特流域地貌；ASTER影像；DEM；RS和 GIS技术；主成分分析
=中图分类号> P9311 5 =文献标识码> A =文章编号> 100922307(2008)0420070204
DOI: 101 3771/j issn1 100922307120081041023

1 引言

地貌的发育普遍认为受控于岩性、地质构造、发育阶段、气温和降水等自然条件。区域地貌学的研究也偏重于地貌发展、构造对地表形态的影响，但实际上的喀斯特地貌特征却不能由此得到满意的、完整的解释。关于地貌的成因，彭克强调抽象的内力的作用，戴维斯强调外力的作用[1]，但喀斯特地貌的发育，除内外力外，还与喀斯特流域特征有密切相关。喀斯特流域是指特殊的含水介质(可溶性双重含水介质)，有特殊的流域边界(地表地下双重分水岭)，独特的地貌-水系结构及水文动态过程的地域综合体[2]。因此，喀斯特流域与正常流域特别是湿润地区常态流域相比，其流域的空间结构、水系发育规律、地貌景观的形成、水文动态的变化等都有明显的差别，这种差异正是由于喀斯特流域独特的结构及其功能效应所致，并对喀斯特地貌类型、特征发育起到非常重要的作用。目前国外对喀斯特地貌发育的影响因素研究，未见有相关的研究内容，而国内，主要从岩性、地质构造和水化学性质等因素对喀斯特地貌进行研究[3-13]，而从喀斯特流域特征对喀斯特流域地貌发育影响的研究，无论是国内还是国外，尚属空白。本文将以贵州省为例，以 ASTER影像为基础，利用 ERDAS、ENVI自动提取 DEM数据，从中选取具有代表性、典型性的喀斯特流域 32个，并利用 ArcGIS、ArcViewGIS提取地表形态、地表切割深度、流域坡度、流域高程和流域水系特征等五个因素 25个指标。利用 Spss、MATLAP进行数据处理、进行主成分分析，提出影响喀斯特流域地貌发育的主要成分。

2 喀斯特流域 DEM 数据提取

喀斯特流域 DEM的提取步骤是[14-19]：使用数字影像匹配技术，收集为生成 DEM所需大量的同名像点；利用摄影测量原理，确定大量同名像点所对应的地面上地物点的空间坐标；构建 DEM。立体影像处理流程图如图 1，生成喀斯特流域 DEM。如图 2。

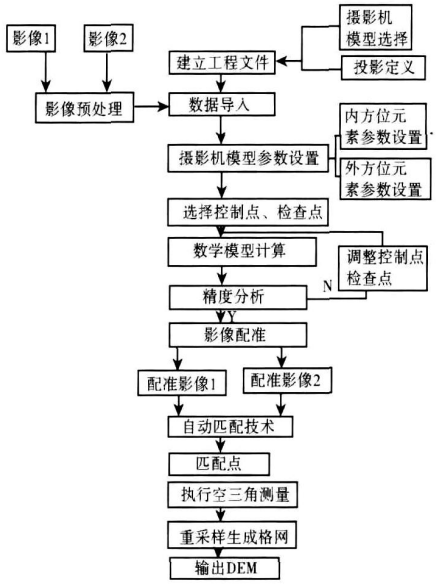

图 1 喀斯特流域 DEM 自动提取流程图

3 喀斯特流域数据提取

311 喀斯特流域水系提取

基于 ArcViewGIS提取流域特征包括以下 5个流程：DEM的预处理、水流流向的确定、汇流栅格图的生成、自动生成河网、子流域边界的划分，具体如流程图 3、水系如图 4。

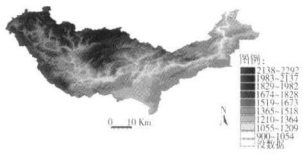

图 2 普定流域 DEM 图

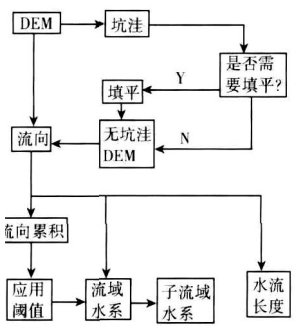

图 3 喀斯特流域地表水系提取流程图



作者简介：贺中华(19762)，男，讲师，主要从事喀斯特水文水资源研究与 GIS教学和科研工作。
E2mail hezhonghua7621@ 1261 com

收稿日期：20072112230
基金项目：贵州省青年基金(黔教科 2006307)；贵州省科技基金(黔科合丁字(2005)2085号)

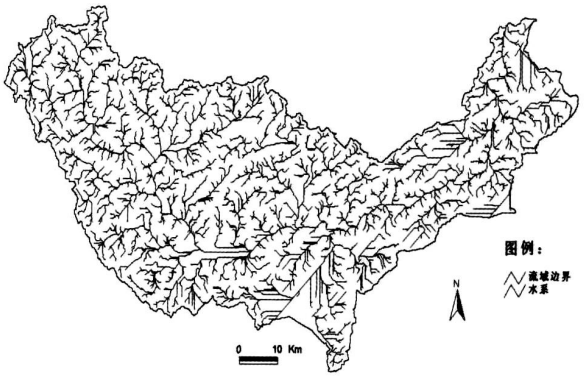

图 4　普定流域水系图

3.1.2　喀斯特流域特征数据提取

流域特征数据包括地表形态、地表切割程度、流域坡度、流域高程和流域水系特征等五项数据提取。地表形态、地表切割程度、流域坡度等级等三项数据均以 1B50万贵州省地貌图和 TM、CBERS遥感影像为基础，利用 ENVI进行监督分析，将生成的栅格专题图转换成矢量格式，利用 ArcGIS进行统计，计算每种类型面积所占的百分比；流域高程数据提取是将自动提取的 DEM数据进行子流域提取，利用 ArcGIS进行流域平均高程和高程标准差统计；流域水系特征提取是利用 ArcGIS对提取的* 1shp水系转换成 cov2erage，提取河网密度、河网分叉数、主道长度和流域形状系数等 7个指标。为了消除不同单位对结论的影响，对原始数据进行标准化处理，得喀斯特流域特征数据 (表略)。

4　地貌发育影响因素分析

4.1.1　计算结果及分析

利用喀斯特流域特征数据，借助 Spss和 MATLAB统计软件，根据主成分分析原理，分别计算因子相关系数 (表略)、因子分析总变量 (表略)、旋转后的因子载荷矩阵 (表略)、因子得分矩阵 (表 2)。

表 1　因子总方差解释

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%
1	41.433	171.733	171.733	41.433	171.733	171.733	31.223	121.893	121.893
2	31.788	151.151	321.883	31.788	151.151	321.883	31.178	121.713	251.607
3	31.086	121.345	451.228	31.086	121.345	451.228	21.646	101.586	361.192
4	21.875	111.501	561.729	21.875	111.501	561.729	21.529	101.115	461.307
5	11.823	71.292	641.021	11.823	71.292	641.021	21.171	81.683	541.990
6	11.435	51.740	691.762	11.435	51.740	691.762	11.980	71.921	621.910
7	11.264	51.056	741.818	11.264	51.056	741.818	11.882	71.529	701.439
8	11.184	41.736	791.554	11.184	41.736	791.554	11.746	61.983	771.422
9	11.079	41.315	831.869	11.079	41.315	831.869	11.612	61.447	831.869

表 2　因子得分矩阵

	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
盆地	-.01.169	-.01.191	.01.218	.01.097	.01.106	.01.278	-.01.015	-.01.067	.01.100
台地	.01.014	.01.025	.01.013	.01.032	-.01.120	-.01.099	.01.477	-.01.017	.01.019
丘陵	.01.043	.01.338	-.01.034	-.01.020	-.01.086	-.01.109	-.01.038	.01.003	.01.055
山地	-.01.007	-.01.300	-.01.016	-.01.005	.01.076	.01.058	-.01.011	.01.013	-.01.079
切割深度 1	.01.050	.01.248	-.01.011	.01.095	-.01.039	.01.085	-.01.098	.01.153	-.01.111
切割深度 2	-.01.033	-.01.065	-.01.029	-.01.257	-.01.022	-.01.019	.01.028	.01.004	-.01.317
切割深度 3	.01.007	-.01.016	.01.050	-.01.093	-.01.051	-.01.073	.01.060	-.01.012	.01.595
切割深度 4	.01.036	.01.034	-.01.024	.01.380	.01.038	.01.018	-.01.065	-.01.015	-.01.153
切割深度 5	-.01.044	.01.030	.01.063	.01.071	.01.175	.01.210	-.01.020	-.01.055	.01.125
坡度 1	-.01.007	.01.004	-.01.156	-.01.005	.01.115	.01.226	.01.068	-.01.315	-.01.185
坡度 2	-.01.041	.01.022	.01.003	.01.107	.01.166	-.01.537	.01.090	-.01.065	.01.059
坡度 3	.01.184	.01.032	.01.187	-.01.043	-.01.198	.01.120	.01.187	.01.121	-.01.163
坡度 4	.01.063	.01.048	-.01.006	-.01.027	-.01.507	.01.129	-.01.058	.01.153	.01.062
坡度 5	-.01.059	-.01.073	-.01.041	.01.024	.01.388	-.01.013	-.01.147	.01.189	.01.089
坡度 6	-.01.196	-.01.029	.01.039	-.01.101	-.01.124	.01.143	-.01.207	-.01.120	.01.222
流域出口高程	-.01.083	.01.046	.01.361	-.01.089	.01.021	-.01.037	-.01.025	-.01.083	.01.077
流域平均高程	-.01.002	-.01.013	.01.370	.01.019	.01.037	.01.024	-.01.140	-.01.054	.01.076
流域高程标准差	.01.143	.01.016	.01.083	-.01.044	.01.011	-.01.199	.01.125	-.01.126	.01.034
河网密度	.01.105	.01.281	.01.084	-.01.003	.01.083	.01.000	.01.002	-.01.381	-.01.217
河网结构	-.01.004	-.01.098	-.01.114	-.01.106	.01.072	-.01.107	.01.505	.01.041	.01.033
主河道纵比降	-.01.084	-.01.002	-.01.079	.01.322	.01.015	-.01.179	.01.020	-.01.047	-.01.014
流域形状系数	-.01.042	.01.018	-.01.044	-.01.048	.01.030	.01.031	.01.051	.01.437	-.01.077
流域崎岖数	.01.273	.01.059	.01.015	.01.188	-.01.027	-.01.120	.01.033	-.01.213	.01.027
流域分叉数	.01.271	.01.033	-.01.048	-.01.063	-.01.063	.01.093	-.01.049	.01.079	-.01.003
主河道长度	.01.290	.01.025	.01.007	-.01.061	-.01.066	.01.061	-.01.057	-.01.029	.01.020

由以上可知:

1) 因子相关系数矩阵 (表略): 相关系数最大值达 - 01959, 即是山地与丘陵; 其次是流域分叉数与主河道长度, 相关系数达 01918, 最小是 - 01001, 即是浅切割(Ñ)与主河道纵比降。说明这 25个变量之间是存在一定相关的, 并有些存在高度相关。

2) 表 1: 在描述初始因子解的情况(InitialEigenvalues)中, 第一个因子的特征根为 41433, 解释 25个原始变量总方差的 171733%, 累计方差贡献率为 171733%; 第二个因子的特征根为 31788, 解释 25个原始变量总方差的 151151%, 累计方差贡献率为 321883%, 依此下去, 第九个因子的特征根为 11079, 解释 25个原始变量总方差的 41315%, 累计方差贡献率达 831869%; 描述提取后的因子对总方差解的情况(Extraction Sums of Squared Loadings), 从表中看出, 经过主成分方法提取因子后, 有 9个因子被提取, 9个因子共解释原始变量总方差的 831869%, 16%多一点的信息丢失。

3) 旋转后的因子载荷矩阵 (表略) 表示旋转后的因子载荷矩阵, 第一主成分和主河道长度具有很高的相关系数(01900), 则主河道长度是第一个因子的合适代表, 类似地, 第二主成分和丘陵相关程度是 01921, 由此看出主河道长度、丘陵、流域形状系数、极深切割(Ô)、缓陡坡 15b225b、平缓坡 5b28b、台地、流域形状系数和平坡 < 5b分别是第一主成分、第二主成分、第三主成分、第四主成分、第五主成分、第六主成分、第七主成分、第八主成分和第九主成分的合适代表。

4) 表 2是因子得分矩阵, 利用回归法估计的因子得分数, 如果分别利用 x_1, x_2, , x_{25}示 25个变量, z_1, z_2, , z_9分别代表 9主成分, 则根据表可以写出以下得分函数:

$$z_1 = -\ 01169x_1 + 01014x_2 + , \ + 01129x_{25}$$

$$z_2 = -\ 01191x_1 + 01025x_2 + , \ + 01025x_{25}$$

从得分 s s s s

$$z_9 = 011x_1 + 01019x_3 + , \ + 0102x_{25}$$

函数可知, 主河道长度、丘陵、流域平均高程、极深切割(Ô)、陡坡 25b235b、平缓坡 5b28b、河网结构、流域形状系数和深切割(Ó)分别是第一主成分、第二主成分、第三主成分、第四主成分、第五主成分、第六主成分、第七主成分、第八主成分和第九主成分权重较高的变量, 这与旋转后的主成分得分矩阵中得到的结果基本一致。

综上所述, 在喀斯特流域中, 影响地貌发育的因素是错综复杂的, 但其中喀斯特流域水系特征起主导作用。因为主河道长度越长, 所控制的流域面积就越大; 流域出口高程越低, 流域切割越深, 流域高程标准差越大, 地貌类型复杂多样。其次是地表切割深度、流域坡度和流域地表形态。喀斯特流域地表切割深度, 其坡度陡缓不同, 将会影响降雨的坡面流速, 土地利用类型和植被生长类型, 也将直接影响地表形态类型的发育。

5 结束语

1) 在相关分析中, 流域水系特征及高程的相关系数最大(即 013894)、其次是流域坡度(即 012233)、流域地表切割程度 (即 012111) 和地表形态 (即 011761)。说明喀斯特水系特征、流域高程及变化对地貌发育起到决定性的作用, 其流域坡度的陡缓、切割深度的大小和地表的起伏对地貌发育也起到很大的作用。

2) 利用主成分分析, 从影响地貌发育的 25个因素中提取 9个因素, 并 9个因素包含 25个因素信息量的 83%以上, 信息损失量不到 17%, 效果非常好。

3) 通过对主成分载荷矩阵表和主成分得分矩阵表分析得出: 流域地表形态特征、流域切割程度、流域坡度和流域水系特征与第一、二、, 、九主成分之间的相关性和权重从大到小的顺序为: 流域水系特征$_{(R,P)}$ > 流域坡度$_{(R,P)}$ > 流域切割程度$_{(R,P)}$ > 地表形态特征$_{(R,P)}$。

4) 综合考虑, 影响喀斯特地貌发育从大到小的因素是流域水系特征及高程、流域坡度和流域切割程度和流域地表形态特征。在各因素中, 其主河道长度、流域形状系数、流域结构、流域平均高程, 陡坡 25b235b、平缓坡 5b28b、深切割(Ô)、极深切割(Ô)等均是喀斯特地貌发育的决定性因子。

参考文献

[1] 严钦尚, 曾昭璇1地貌学 [M] 1北京: 高等教育出版社, 19851

[2] 杨明德, 等1喀斯特流域水文地貌系统 [M] 1北京: 地质出版社, 19981

[3] 梁虹, 杨明德1喀斯特流域水文地貌系统汇流分析)))以喀斯特峰丛洼地谷地流域为例 [J] 1中国岩溶, 1995, 14(2) 1

[4] 梁虹, 杨明德1喀斯特流域水文地貌系统及其识别方法初探 [J] 1中国岩溶, 1994, 13(1) 1

[5] 梁虹1喀斯特流域水文地貌造峰效应分析 [J] 1中国岩溶, 1995, 14(3) 1

[6] 宋林华1喀斯特地貌研究进展与趋势 [J] 1地理科学进展, 2000, 19(3) 1

[7] 焦树林, 梁虹1喀斯特地区流域地貌与岩性的统计关系探讨)))以贵州省为例 [J] 1中国岩溶, 2002, 21(2) 1

[8] 彭建, 杨明德, 等1基于GIS的路南巴江喀斯特流域地貌演化定量研究 [J] 1中国岩溶, 2002, 21(2) 1

[9] 王在高, 梁虹, 等1喀斯特流域地貌类型对枯水径流的影响)))以贵州省河流为例 [J] 1地理研究, 2002, 21(4) 1

[10] 彭建, 梁虹, 等1贵州普定后寨河流域喀斯特水文地貌空间耦合分析 [J] 1贵州师范大学学报1自然科学版, 2000, 18(2) 1

[11] 梁虹1喀斯特流域地貌产流域机制与产流域特征 [J]. 贵州师范大学学报1自然科学版, 1995, 14(2) 1

[12] 俞遵典1论喀斯特地貌的成因与演化 [J] 1云南地质, 2003, 22(1) 1

[13] 张邦琨, 张萍, 等1喀斯特地貌不同演替阶段植被小气候特征研究 [J] 1贵州气象, 2000, 24(3) 1

[14] Toutin T1DEM Generation with a Photogrammetric Ap2proach: Examples with VIR and SAR Images [J]. EARSeL J1Advances in Remote Sensing1995, 4(2): 1102117

[15] Futamura N, Takaku J, Suzuki H1High Resolution DEM Generation from ALOS PRISM Data Algorithm Development and Evaluation [J] 1IEEE, 2002, 1(3): 4052407

[16] Rufino G, Moccia A, Esposito S1DEM Generation by Means of ERST and Dem Data [J] 1IEEET ransactionson Geoscienc and Remote Sensing 1998, 36(6): 1905219121

[17] Marra M, Maurice K E, Ghiglia D C, etal1Automated DEM Extraction Using RADARSAT ScanSAR Stereo Data [J] 1IEEE, 1998, 5(1): 2351235351

[18] Ostrowski J A, Cheng P1DEM Extraction from Stereo SAR Satellite Imagery [J] 1IEEE, 2000, 5(3): 2176221781

[19] Hensley S, Shaffer S1Automatic DEM Generation Using Magellan StereoData [J] 1IEEE, 1994, 3(3): 1470214721

[20] 张超, 杨秉赓1计量地理学基础 [M] 1北京: 高等教育出版社, 19851

(下转第 31页)

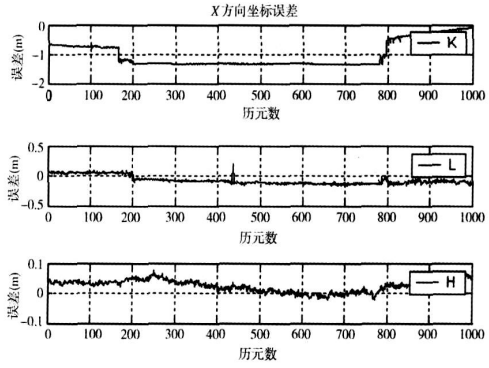

图5　动态实验三种算法 *X* 坐标分量的变化

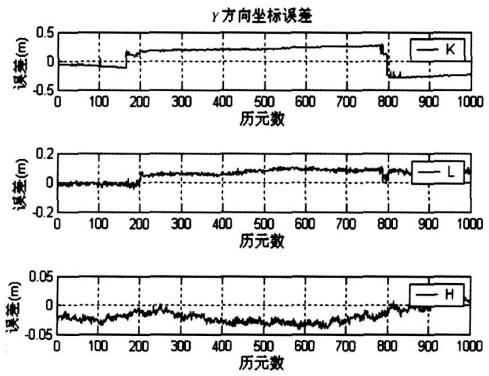

图6　动态实验三种算法 *Y* 坐标分量的变化

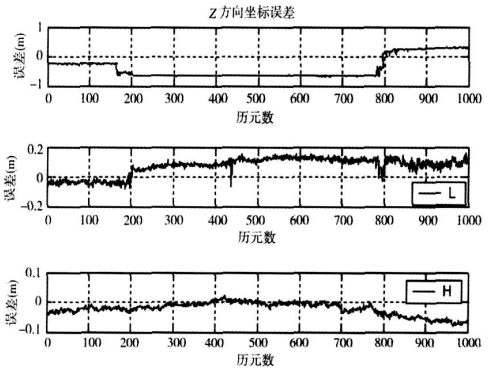

图7　动态实验三种算法 *Z* 坐标分量的变化

从图 527可以看出，对于含有机动加速度的动态实验，标准的 Kalman滤波精度很差，这说明其对机动加速度不敏感，从而在解算过程中含有较大的模型误差，甚至引起发散，难以满足高精度动态定位要求；而加权最小二乘与 H_1 滤波解算成果比较稳健。

4　结束语

通过前面的试验与分析，可以得出如下结论：在 GPS动态数据处理模型中，

1) 在白噪声条件下，三种数据处理模型其精度相差不大；但在 GPS动态定位中，由于多路径效应及双差电离层、对流层残余误差的影响，Kalman滤波精度较差；加权最小二乘与 H_1 滤波精度相当。

2) 在有机动加速度时，三种模型处理相差较大，其中 Kalman滤波精度最差，加权最小二乘次之，H_1 滤波精度最好。

参考文献

[1] 刘立龙1动态对动态 GPS高精度定位理论及其应用研究 [D]1武汉：武汉大学，20051

[2] 徐天河，杨元喜1改进的 Sage自适应滤波方法 [J]. 测绘科学，2000，(3)：222241

[3] 杨元喜，何海波，徐天河1论动态自适应滤波 [J]. 测绘学报，2001，(4)：29322981

[4] 付梦印，邓志红，张继伟1Kalman滤波理论及其在导航系统中的应用 [M]1北京：科学出版社，20031

[5] Sueo Sugimoto，Yukihiro Kubo，Tsuyeshi Kindo et al1 Static Carrier Phase Differential Positioning by Applying the H_1 Filter [C] //The 12th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation1999：124121250

[6] Shinya Maruo，Yukihito Kubo，Chie Uratani et al1 Kinematic Carrier Phase Differential GPS Positioning by Applying the H_1 Filter [C] //The 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation，2002：184221849

[7] 杨元喜1动态 kalman滤波模型误差的影响 [J]1测绘科学，2006，31 (1)1

The research of GPS kinematical positioning model

Abstract：The characteristics of the three kinds of GPS kinematical data processing model (Least Square/LS，Kalman filtering and H_1 filtering) are discussed1 The superiority of each model is compared and analyzed1 The applying precondition，range and effects of the three models are performed experimentally by real observational data and pertinent data processing software1 Experimental results show that the three models are equivalent on accuracy when mobile platform is in uniform motion，when the mobile platform is in stochastic acceleration，the accuracy of H_1 filtering is the best，LS is the second，and Kalman filtering is the worst1

Key words：least square；Kalman filter；H_1 filter

XIE Shao2feng，LIU Li2long，LIU Bin (Department of Civil Engineering，Guilin University of Technology，Guilin 541004，China)

(上接第 72页)

The influencing factor analysis of geomorphologic development of karst drainage based on DEM

Abstract：Karst drainage is a regional synthetic system that is made up of spatial drainage boundary，unique landform，river system structure and hydrologic dynamic processes and has its own special drainage structure1 Thus，there are complicated and diversified factors that influence the Karst drainge geomorphologic development1 Except for rock character and climate，there are very important factors for Karst basin：water2streams and Elevation，basin slope，basin Cutted degree and earth's surface morphology1 Characteristics of Karst drainage1 On the basis of DEM，TM and CBERS of 32 Karst drainages，the five important factors of affecting geomorphologic development are analyzed，and 25 indices are retrieved1 Data processing and principal component analyzing have been done based on Spss and Matlab softwares，and nine principal components are gotten1 It concludes that the factors to affect Karst geomorphologic development from big to small are the characteristic of Karst basin streams and elevation，basin slope，basin cutted degree and earth's surface morphology characteristics of Karst drainage1

Key words：karst drainage；geomorphology；ASTER；DEM；RS and GIS；Principal component analysis

HE Zhong2hua[1]，LIANG Hong[1]，HUANG Fa2su[2]，ZHAO Fang[3]，ZHOU Zhi[4] ([1] School of Geography and Biology，Guizhou Normal University，Guiyang 550001，China；[2] Department of Hydrology and Water2recource，Guiyang 550001，China；[3] The No113 Middle school of Bai Yun District，Guiyang 550003，China；[4] Guizhou Appraisal Center For Environment & Engineering，Guiyang 550002，China)