

许睿,李建,文建辉. 基于GIS的区域集水指数分析:以潮田河流域为例[J]. 中国岩溶, 2021, 40(2): 319-324.
DOI: 10. 11932/karst202102y19

基于GIS的区域集水指数分析 ——以潮田河流域为例

许睿¹, 李建¹, 文建辉²

(1. 桂林电子科技大学生命与环境科学学院, 广西 桂林 541004; 2. 桂林市环境监测中心站, 广西 桂林 541002)

摘要:为研究岩溶发育区域的流域集水情况,采取遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术对潮田河流域进行分析,以区域环境指标地形指数、地表指数和植被指数为主要参数,构建基于栅格的综合集水指数评估模型。结果表明:潮田河流域集水综合指数平均值为2.91,区域的汇水权重为地形(0.423 52) > 植被(0.296 91) > 地表(0.219 55),地形状态指数对流域集水影响最大,地表状态指数和植被状态指数影响较小,岩溶发育强烈和水系密度偏差区域分布在集水综合等级低于III级的区域。

关键词:GIS; 岩溶发育区; 综合指数评价

中图分类号:P208;P339 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2021)02-0319-06 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

我国西南地区广泛分布可溶性碳酸盐岩,在岩溶作用下这一地区易形成岩溶管道和/或溶洞与地下联通^[1],阻碍雨水汇集到地表水系^[2],流域的水循环情况可以反映岩溶发育程度^[3]。水系提取是研究水循环的重要过程,把水系提取偏差作为一种环境特征进行岩溶区识别,找出岩溶发育强烈区域的集水特点和环境特征,对区域岩溶发育程度研究或评价具有重要意义。

近年来许多学者在水系提取和环境指数方面做了研究,主要包括:不同分辨率DEM^[4-5]、洼地填充方式^[6]和流向确定方法^[7-8]对水系提取的影响,水系提取影响因素除了与提取方法有关外,地质构造、地形和地表等环境特征也是重要的影响因素^[9-11]。综合

指数法将多要素纳入评价体系,可以较系统地反映区域综合情况,已被广泛应用于水力学研究和水环境评价等方向^[12-13]。本文选用综合指数法评价流域环境地形、地表和土地利用等因素对流域集水的贡献,并尝试对岩溶区集水因数进行量化,以期对岩溶区集水研究提供帮助。

1 研究区和研究方法

1.1 研究区域概况

潮田河流域位于桂林市灵川县,地理位置为北纬24°38'10"~25°47'15"、东经110°6'50"~111°47'30"之间,为桂林地区典型的泥盆系灰岩为主属于强岩溶发育区,岩溶区面积占总流域面积的40%(图1)。

基金项目:国家自然科学基金(41501342);广西重点研发计划(桂科AB16380303);桂林市科技开发计划(20160216-5);桂林电子科技大学研究生教育创新计划资助项目(2016YJCX42)

第一作者简介:许睿(1977-),男,博士,副教授,从事水文信息学研究。E-mail:webrat@yeah.net。

通信作者:李建,(1991-),男,硕士,从事水文信息学研究。E-mail:webrat@yeah.net。

收稿日期:2020-01-20

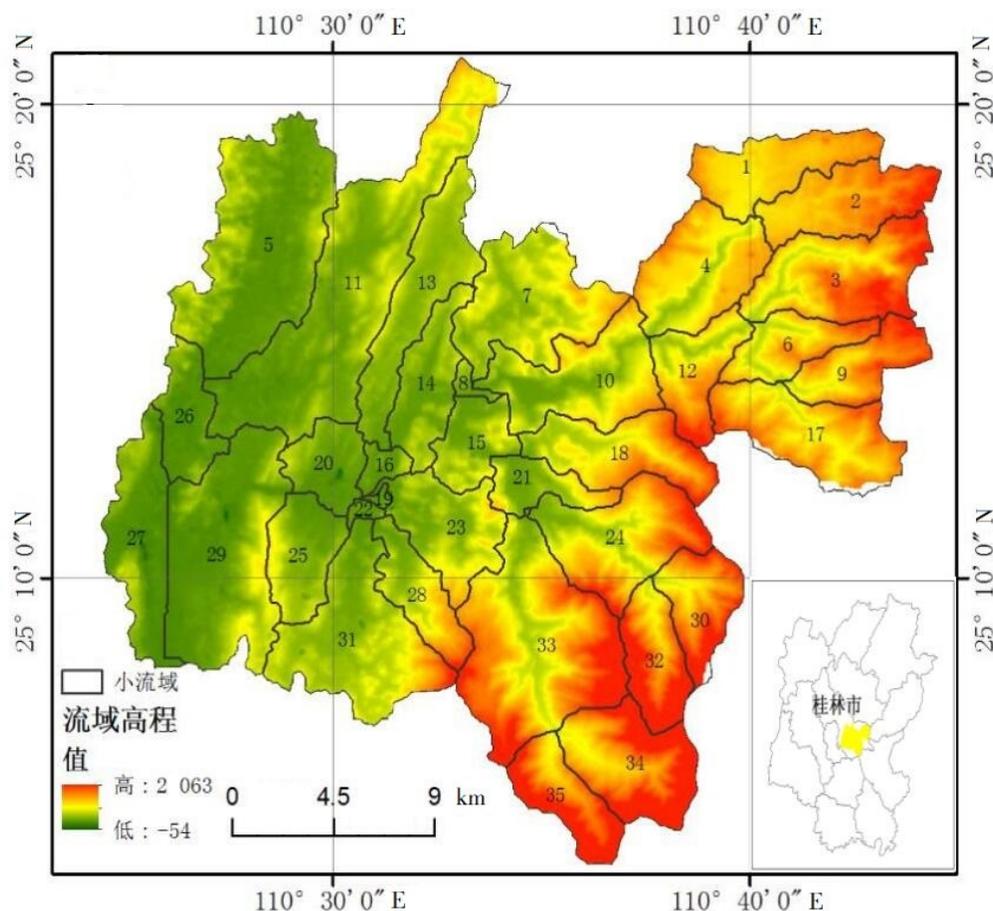


图1 研究区位置及分区

Fig. 1 Location and division of study area

1.2 基本数据

桂林市多年平均降雨量大于1 600 mm,降雨集中在3-8月。地形、地质构造和地貌等因素在年降雨大于800 mm以上区域对集水有决定性作用^[11],基础数据来源如表1。

表1 数据来源

Table 1 Data sources

数据类型	数据来源
气候数据	国家气象科学数据共享服务平台 ^[12]
DEM数据	地理空间数据云平台30M分辨率数字高程数据 ^[13]
桂林市水系分布	国家水文数据共享中心 ^[14]
LandSet8影像数据	地理空间数据云平台多光谱全波段卫星影像数据 ^[15]
地质数据	全国1:20万区域地质调查资料分布图

1.3 研究方法

研究从潮田河流域的水系提取出发,建立水系

提取模型,对比提取水系与实际水系,找出区域水系提取偏差区。收集潮田河地形、植被、地表要素构建综合指数评价模型,分析岩溶区、非岩溶区和半岩溶区的地形、地表和地质对水系汇集的影响,计算区域集水指数。将实际集水指数与水系提取偏差进行空间分布对比,验证水系提取模型。

1.3.1 小流域划分

流域划分是水文研究中流域单元化的重要步骤,潮田河复杂的流域环境更需要划分为多个子流域进行分析。基于高精度的地形数据、准确的水系分布数据,通过地形分析、流域集水面确定和人工勾绘是流域划分的有效方法。

本文根据分水岭对潮田河流域进行小流域划分,其中分水岭模糊区域,采用人工修正的方式减小流域划分误差,将小流域划分为35个集水区域。

1.3.2 集水指数评价方法

综合指数法是指在确定一套合理的水环境指标

体系的基础上,对各项环境指标个体指数加权平均,计算水文质量综合值,用以综合评价水文环境的一种方法^[16]。选取决定区域地表集水因素的三个指

标:地形状态指数、植被状态指数和地质状态指数^[17],作为集水综合指数模型的输入参数,其取值范围、对集水的作用、来源和获取方法如表 2 所示。

表 2 指标的选取依据
Table 2 Selection basis of indexes

参数名	意义	作用	来源及获取方法
地形状态指数	代表采样点覆盖栅格范围内坡度变化趋势	决定地表径流的形成时间和流向	计算流域地形起伏度,以间距为 100 的采样点进行栅格中心点提取
地表状态指数	地表表层的覆盖情况	地表表层覆盖情况影响降雨后雨伞的渗透情况	通过监督分类对 Landsat 影像中进行土地利用分类,转为栅格后进行采样点采样
植被状态指数	区域植被覆盖度	植被覆盖度会促进降雨到水系的转化	采用 NDVI 计算区域植被覆盖度,转为栅格后进行采样点采样

正向指标的值越大,环境综合得分越高。采用公式 1 进行标准化, V_i 为指标在区域内第 i 点的得分, V_{min} 为区域内指标所有值的最小值, V_{max} 为区域内指标所有值的最大值:

$$\text{第 } i \text{ 个指标的标准值} = \frac{V_i - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

负向指标的值越大,环境综合得分越低。采用公式 2 进行标准化:

$$\text{第 } i \text{ 个指标的标准值} = \frac{V_{max} - V_i}{V_{max} - V_{min}} \quad (2)$$

将 3 项环境指标转化为同度量的个体指数后,以变异系数法计算各指标的权数,体现各项指标对集水过程的影响。根据式(3),通过几何字段计算,用区域栅格数据集的指标标准差,除以指标的平均值,得出标准差系数;根据式(4),对各项指标评价指数进行加权算术平均,得出权重。

$$y_i = \frac{\sigma_i}{\zeta_i} \quad (3)$$

$$v_i = y_i / \sum_{i=1}^x y_i \quad (4)$$

式中: y_i 为第 i 项指标个体指数, σ_i 为第 i 项指标的标准差, ζ_i 为第 i 项指标的平均值, v_i 为第 i 项指标在综合评价中的权数。

根据公式(3)和公式(4),确定区域地形指数、植被指数和地表指数的权重值,把权重值代入公式(5),建立集水综合指数公式。

$$w_{i,j} = v_1 * T_{i,j} + v_2 * Z_{i,j} + v_3 * S_{i,j} \quad (5)$$

$w_{i,j}$ 为栅格的集水综合指数; $T_{i,j}$ 为栅格的地形指数值; $Z_{i,j}$ 为栅格的植被指数值; $S_{i,j}$ 为栅格的地表指数值; v_i 为第 i 项指标在综合评价中的权数。

2 结果与讨论

2.1 流域集水指数模型

使用表面提取工具,提取每个采样点的降雨、温度、植被覆盖度、地形起伏度和土地利用情况,并将采样点属性表导出。通过 SPSS 进行因子分析,对从栅格点提取的,以坐标值为序列进行排列的温度、地形指数、植被覆盖、降雨和土地利用分类进行统计学分析,得到数据间相关性规律^[18-20](表 3)。借助相关系数矩阵和 KMO 检验方法分析要素相关系数,发现要素间相关系数都较高,有较好的线性关系,而且 KMO 检验值为 0.702,表明采集到的几组数据适合做因子分析。

表 3 因子相关性矩阵
Table 3 Correlation matrix of factors

	气温	降雨分布	地形起伏幅度	植被覆盖度	土地利用
气温	1.000	0.803	0.406	0.586	0.759
降雨分布	0.803	1.000	0.302	0.487	0.460
地形起伏幅度	0.406	0.302	1.000	0.518	0.602
植被覆盖度	0.586	0.487	0.518	1.000	0.512
土地利用	0.659	0.460	0.602	0.512	1.000

基于相关矩阵系数和最大特征值进行降维,以主成分分析法对采样数据进行信息熵提取,选择有代表性因子重构集水影响数据集。通过主成分分析后,因子 1 和因子 2 占据协方差贡献的 84%,可以解释大部分信息。通过旋转空间中成分聚集情况和旋转

成分矩阵解释,土地利用、地形起伏度和植被覆盖在第一因子有较高载荷,定义为地表因子;降雨和气温在第二因子有较高载荷,定义为气候因子。潮田河流域内气候空间变化较小,即温度与降雨指标在各县区均匀分布,不存在较大差异。因此只采用地表因子对集水情况进行解释,也可以比较完整地描述集水情况。

把各指标的标准差和平均值代入公式(2)得到指标的变异系数,把各指标的变异系数代入公式(3)得各指标的权重值(表4)。

表4 指数赋值表
Table 4 Assignment table of index

名称	标准差(σ_i)	变异系数(y_i)	权重(v_i)
植被状态指数	1.330 49	0.350 14	0.296 91
土地利用指数	1.002 38	0.317 87	0.219 55
地形状态指数	1.125 99	0.511 24	0.423 52

根据各评价因子对集水因数的贡献程度,确定综合指数法权重系数,考虑单因素研究规律和实地特点,利用层次分析法确定植被状态指数、土地利用指数、地形状态指数权重值分别为0.296 91、0.219 55、0.423 52,故建立集水综合指数评价模型,如公式(6):

$$W(i,j) = 0.423\ 52 * T(i,j) + 0.219\ 55 * Z(i,j) + 0.296\ 91 * S(i,j) \quad (6)$$

式中: $W(i,j)$ 为各栅格的集水综合指数, $T(i,j)$ 为各栅格的地形指数值, $Z(i,j)$ 为各栅格的土地利用指数值, $S(i,j)$ 为各栅格的植被指数值。

2.2 区域集水综合指数

把地表指数、地形指数和植被指数的无量纲值作为输入参数代入综合集水评价模型中,把公式(6)代入GIS中字段计算工具,计算各采样点的综合集水指数。潮田河流域的综合集水指数密度分布如图2所示,综合集水指数取值范围为1.157 7~4.728 4,主要分布在2.7~4.0之间。

基于线性无偏估计算法的克里金插值法,可以使估计值和真实值保持线性关系,并且方差最小。根据采样点的空间上分布和矢量特征,对采样点附近范围内的值进行估计,估算出未知点的综合评价。因此,对100×100的采样点采用克里金插值法进行空间插值,获取流域综合集水指数分布栅格图。

根据综合集水指数评价模型和集水情况,将计算得出的综合集水指数值与集水评价等级关系作出概念关联,流域内集水状态与集水评价等级对应为恶劣(I级)、较差(II级)、一般(III级)、良好(IV级)、理想(V级)。

2.3 区域集水综合指数特征分析

潮田河流域的集水分布如图2所示。参考流域内地质发育分布情况和地表河分布,发现综合集水评价指标等级为I级的区域,分布面积占研究区域2.44%,分布于潮田河河道和裸露型岩溶发育区域,地形指数均值为1.75,植被覆盖均值为0.51,裸露型岩溶地表发育岩溶通道、裂隙和天窗,流域的集水能力最差。综合集水评价指标等级为II级的区域,分布面积占研究区域的12.11%,分布于地形起伏度小于10、植被覆盖低于20%和裸露型岩溶发育区域,区域岩溶发育强烈、地表主要为耕地、地形起伏不大,流域的集水能力较差。综合集水评价指标等级为III级的区域,分布面积占研究区域的18.93%,分布在地形起伏20~50、覆盖型岩溶发育区域和植被覆盖度20%~30%区域,岩溶发育和地形起伏一般,集水情况一般。综合集水评价指标等级为IV级的区域,分布面积占研究区域的28.71%,分布于地形起伏度50~100、岩溶发育程度低和植被覆盖度20%~30%区域,集水情况良好,降雨可以较快转化为河流。综合集水评价指标等级为V级的区域,分布面积占研究区域的37.79%,分布于地形起伏大于100、植被覆盖度大于60%和非岩溶区,各环境指标对雨水汇集作用最强,降雨可以迅速转化为河流。

通过区域综合集水指数研究可以得出,除湖泊、河流范围外,集水综合指数I级、II级的区域受地形和岩溶地质的影响,洼地和平坦地形雨水汇集耗时长,岩溶发育区域雨水通过岩溶通道、裂隙流入地下,集水情况最差,数字水系和实际水系容易出现密度偏差。综合指数IV级、V级的区域,岩溶不发育、坡地和高植被覆盖度对集水促进效果好,数字水系和实际水系没有出现密度偏差。根据中国地质调查局对潮田河流域的地质调查结果,对比流域水系与综合集水指数分布,发现岩溶发育强烈区域分布于集水等级低于III级的区域,并且存在地下河。集水等级高于III级的区域,岩溶基本不发育,数字水系和实际水系没有出现密度偏差,说明模型定量评价流域集水分布与实际情况相符。

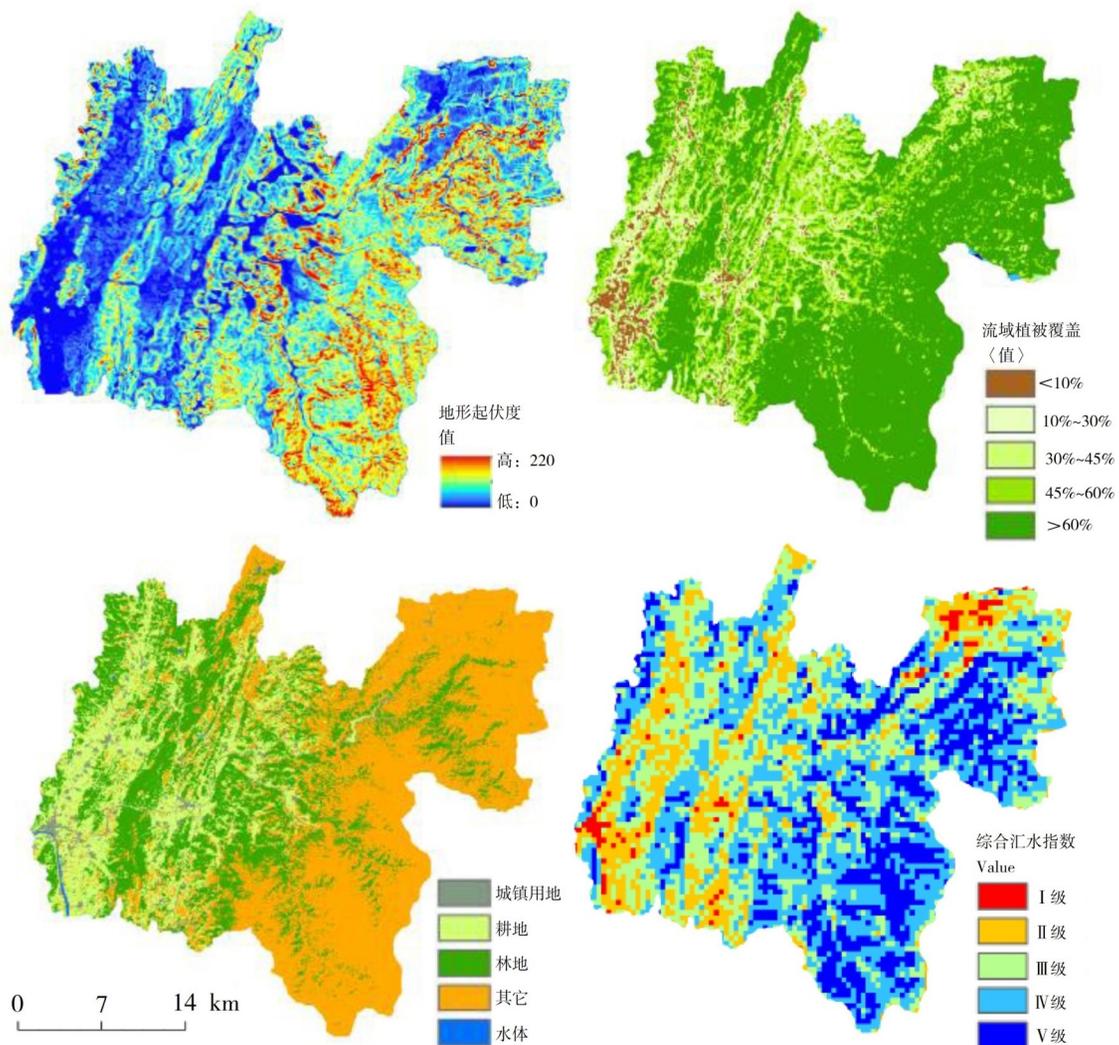


图2 集水综合指数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of comprehensive index of water collection

表5 集水评价标准及结果

Table 5 Criteria and results of catchment assessment

集水综合指数	集水评价等级	面积分布/%
1.246 75 — 2.166 98	I级	2.44
2.166 99 — 2.646 01	II级	12.11
2.646 01 — 3.062 01	III级	18.93
3.062 01 — 3.478 01	IV级	28.71
3.478 01 — 4.461 27	V级	37.79

3 结 论

运用相关性分析法建立综合集水评价指标体系,以地形、地表和植被三个环境指标综合反映区域集水情况,潮田河流域综合集水指数平均值为2.91,地形状态指数对流域集水影响最大,地表状态指数

和植被状态指数影响较小,岩溶发育强烈区域和水系密度偏差区域分布于集水综合等级低于III级的区域。

参考文献

[1] 高翔,马青,曹康,等.地下暗河溶洞系统特征描述及地质建模:以塔里木盆地哈拉哈塘地区为例[J].断块油气田.2016,23(6):782-787.

[2] 覃小群,蒋忠诚,李庆松,等.广西岩溶区地下河分布特征与开发利用[J].水文地质工程地质.2007,(6):10-13,18.

[3] 范辰辰,许模,王梅,等.川南叙大铁路沿线岩溶区伏流、暗河对比分析[J].水土保持研究.2014,21(2):264-268.

[4] 孙崇亮,王卷乐.基于DEM的水系自动提取与分级研究进展[J].地理科学进展.2008,27(1):118-118.

[5] 郭力宇,吴锦忠.基于SRTM DEM的汾河流域特征提取研究[J].中国农业资源与区划.2016,37(6):1-7.

- [6] 何文,卢远,余玲.基于ArcSWAT的漓江流域河网水系自动提取对比研究[J].地理空间信息.2015,13(6):148-149.
- [7] 张维,杨昕,汤国安,等.基于DEM的平缓地区水系提取和流域分割的流向算法分析[J].测绘科学.2012,37(2):94-96.
- [8] L Wang ,H Liu . An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modeling[J].International Journal of Geographical Information Science.2006,20(2):193-213.
- [9] 张朝琼,郜红娟,张帮云.基于GIS的仁怀市生态敏感性评价[J].水土保持研究.2013,20(4):179-182.
- [10] 王在高,梁虹.基于GIS分析喀斯特流域下垫面因素对枯季径流的影响:以贵州省河流为例[J].中国岩溶.2002,21(1):57-62.
- [11] 孙爱立,余钟波,杨传国,等.我国水系提取阈值影响因素分析[J].水利学报.2013,44(8):901-908.
- [12] 张远,高欣,林佳宁,等.流域水生态安全评估方法[J].环境科学研究.2016,29(10):1393-1399.
- [13] 朱翔,朱云,翟云波,等.长株潭地区水环境生态安全评价[J].湖南大学学报(自然科学版).2011,(1):72-77.
- [14] 铁道部第二勘测设计院.岩溶工程地质[M].北京:中国铁道出版社,1984.
- [15] 彭韬,周长生,宁茂岐,等.基于探地雷达解译的喀斯特坡地表层岩溶带空间分布特征研究[J].第四纪研究.2017,37(6):1262-1270.
- [16] 陈仁杰,钱海雷,阚海东,等.水质评价综合指数法的研究进展[J].环境与职业医学.2009,26(6):581-584.
- [17] 李雪冬,杨广斌,周越,等.基于3S技术的岩溶地区城市景观生态安全评价:以贵阳市为例[J].中国岩溶.2016,35(3):340-348.
- [18] 汤国安,宋佳.基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J].水土保持学报.2006,20(2):157-160.
- [19] 易连兴,夏日元,王喆,等.岩溶峰丛洼地区降水入渗系数:以寨底岩溶地下河流域为例[J].中国岩溶.2017,36(4):512-517.
- [20] 梁轶,刘康,王雷,等.基于河流网络结构和NDVI集成的流域植被变化研究:以旬河流域为例[J].水土保持通报.2007,27(5):101-104.

Analysis of regional catchment index based on GIS: An example of the Chaotian river basin

XU Rui¹, LI Jian¹, WEN Jianhui²

(1. Guilin University of Electronic Science and Technology College of Life and Environmental Sciences, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Guilin Environmental Monitoring Center Station, Guilin, Guangxi 541002, China)

Abstract In order to evaluate the catchment situation more effectively, a comprehensive catchment index evaluation model based on grid was constructed by remote sensing(RS) and geographic information system(GIS) for the Chaotian River basis. It took topographic index, surface index and vegetation index as main parameters. The results show that the average value of regional catchment comprehensive index is 2.91, and the magnitude order of catchment weights is topography(0.42352) > vegetation(0.29691) > surface(0.21955). The topographic state index has the greatest influence on catchment, while the surface state index and vegetation state index have relatively little influence. The areas with intense karst development and deviation of water system density are distributed in the areas with catchment comprehensive grade lower than III.

Key words GIS, karst development area, comprehensive index evaluation

(编辑 张玲)