

FAST 电磁波宁静区人类活动时空分布特征

张文辉^{1,2}, 周忠发^{1,2}, 张 淑^{1,2}, 黄登红^{1,2}

(1. 贵州师范大学 喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵阳 550001;

2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001)

摘 要:为探究 FAST 电磁波宁静区内人类活动的时空分布特征,以 2008 年、2011 年、2013 年、2017 年 4 期 Landat8 影像为数据源,结合空间自相关分析、地形位指数、地形分布指数等方法,从土地利用和人类活动强度(HAILS)的变化角度分析了 FAST 电磁波宁静区内人类活动的时空演变特征及其影响因素。结果表明:(1) 草地和林地为主要地类,建设用和草地呈现增加态势,耕地、林地及水域面积均呈现减少态势;(2) 以 2011 年为界,人类活动强度呈现出先减后增的变化趋势,且整体上具有显著的空间聚集性,主要集中在边远区和中间区;(3) 人类活动受地形因子的影响较大,其强度随地形梯度的上升而下降,建设用地主要分布在低地形位梯度区域(I—II 级),林地主要分布在高地形位梯度区域(V—VI 级),草地、耕地和水域则多集中在中低地形位梯度区域(I—IV 级)。总体上,研究区内人类活动的分布和变化主要集中在中间区和边远区,且主要是受到 FAST 工程建设、移民活动、经济发展、政府政策以及地形因子等综合因素的驱动和影响。

关键词:人类活动强度; 时空变化; 地形梯度; 土地利用; FAST 电磁波宁静区

中图分类号:F301.24; C912.8

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)04-0275-09

Spatiotemporal Distribution Characteristics of Human Activities in FAST Electromagnetic Wave Quiet Zone

ZHANG Wenhui^{1,2}, ZHOU Zhongfa^{1,2}, ZHANG Shu^{1,2}, HUANG Denghong^{1,2}

(1. School of Geography and Environmental Science/Institute of Karst Science, Guizhou Normal University,

Guiyang 550001, China; 2. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang 550001, China)

Abstract: In order to explore the temporal and spatial distribution characteristics of human activities in the FAST electromagnetic wave quiet zone, the 2008, 2011, 2013 and 2017 four phases of Landat8 images were used as the data source, combining with spatial autocorrelation analysis, topographic position index, topographic distribution index and other methods, from land use and the change angle of human activity intensity (HAILS), we analyzed the temporal and spatial evolution characteristics and influencing factors of human activities in the quiet zone of FAST electromagnetic waves. The results show that: (1) grassland and woodland were the main land types, construction land and grassland showed an increasing trend, and cultivated land, woodland and water areas all showed a decreasing trend; (2) the year of 2011 was taken as the boundary, the intensity of human activities showed a first decrease and then an increase as a whole, there was significant spatial agglomeration, mainly concentrated in remote areas and intermediate areas; (3) human activities were greatly affected by topographic factors, and their intensity decreased with the rise of topographic gradients, and construction land mainly distributed in low-topographic gradient regions (grades I to II), woodland mainly distributed in high topographically graded regions (grades V to VI), while grassland, cultivated land, and waters mostly concentrated in low-to-medium topographic gradient regions (grades I to IV). In general, the distribution and changes of human activities in the study area mainly concentrated in the middle and remote areas, and were mainly driven and influenced by comprehensive factors such as FAST project construction, immigration activities, economic development, government policies and topographic factors.

收稿日期: 2020-07-20

修回日期: 2020-08-25

资助项目: 国家自然科学基金地区项目(41661088); 贵州省高层次创新型人才培养计划—“百”层次人才(黔科合平台人才[2016]5674)

第一作者: 张文辉(1997—), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail: 2515706852@qq.com

通信作者: 周忠发(1969—), 男, 贵州遵义人, 教授, 博导, 主要从事喀斯特生态环境、GIS 与遥感研究。E-mail: fa6897@163.com

Keywords: human activity intensity; spatiotemporal evolution; topographic gradient; land use; FAST electromagnetic wave quiet zone

500 m 口径球面射电望远镜(Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope, FAST)是我国自主研发设计和建造的世界口径最大的射电望远镜,其具有极高的灵敏度和强大的信号捕捉能力可以接收来自宇宙深处微弱的电磁波信号,对于推动我国开展宇宙探索研究工作具有重大的意义^[1-2]。然而,由于 FAST 具有极高的灵敏度和强大的信号接收能力,导致了其在接收宇宙信号的同时也极易受到周围人类活动所发出电磁波的影响和干扰^[3],从而影响探测结果。因此,探析 FAST 周围人类活动的时空分布特征及其影响强度,可为 FAST 电磁波宁静区内的保护工作提供决策依据。

随着社会经济的深入发展,人类活动对生态环境的影响程度也在不断加深,人类活动目前已经成为推动全球环境变化的主要驱动力之一^[4],因此对人类活动时空变化特征及其对环境的影响程度的相关研究一直是地理学研究中的重要研究方向^[5-6]。但是由于人类活动的复杂性和主动性,使得难以对其进行量化,对此国内外的研究者们开展了大量的研究探索工作,从不同角度出发提出了不同的人类活动定量方法。目前对于人类活动的量化研究总体上可以分为两个方面:一方面是从人类活动本身入手,其侧重于对人类活动本身的描述。其中最具代表性的方法是基于权重的多指标叠加分析法,其思路是根据人类社会经济发展中的各种统计数据构建人类活动的评价指标模型,并利用数理统计的方式实现对人类活动的量化^[7-9]。但是该方法数据收集较为困难,数据量较大,计算方式复杂且在表征人类活动的空间分布特征方面存在不足;另一方面是从人类活动引起的状态变化入手,即以人类活动产生的各种生态效益变化来实现对人类活动的量化评价,具体方法如基于土地利用变化^[10]、基于生态服务变化^[11]、基于多因子变化等^[12]方法,其中基于土地利用变化来实现对人类活动的量化研究是目前最为常用的方法,如刘慧明^[13]、崔文连^[14]等分别采用该方法定量评价了桂西黔南生物多样性保护优先区和崂山自然保护区内的人类活动,并对其空间分布和动态变化进行了分析;刘采^[15]、赵亮^[16]等分别以海南省和黄土高原为研究区域,根据遥感影像解译的土地利用数据,进而实现了对研究区内人类活动的量化和空间化。研究和实践表明,该方法基于土地利用变化数据,可以较为准确地反映人类活动对自然环境的影响程度,且

相对于第一种方法数据获取更为方便,具有较强的普适性,适用于不同区域的研究。

鉴于上述研究背景和相关研究进展,研究以 FAST 电磁波宁静区为研究区域,基于土地利用数据对人类活动的响应,进而对 FAST 电磁波宁静区内人类活动的时空分布特征及其对环境的影响程度进行定量分析,并结合 DEM 数据揭示地形因子对该地区人类活动的影响作用,以期 FAST 电磁波宁静区内的保护工作提供科学依据。

1 研究区概况

FAST 坐落于贵州省黔南布依族苗族自治州平塘县克度镇大窝凼的喀斯特洼地中,是我国的重大科技基础设施。FAST 电磁波宁静区是贵州省人民政府为减少人为电磁波对 FAST 运行的影响而划定的保护区域,其是指以 FAST 台址为中心,方圆 30 km 以内的区域,并在宁静区内根据与 FAST 台址的距离细化为核心区(0~5 km)、中间区(5~10 km)以及边远区(10~30 km),在不同的区域内采取不同力度的保护措施。FAST 电磁波宁静区总面积为 2 826 km²,其大部分位于贵州省内(图 1),研究区内为亚热带湿润性季风气候,年平均气温在 17℃左右,气候温和,降水较多;区域内以喀斯特山地丘陵为主,地势起伏较大且坡度较陡,地势总体上为北高南低,位于贵州高原向广西丘陵过渡的斜坡地带。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

研究使用的数据主要有土地利用数据和 DEM 数据。土地利用数据来源于对遥感影像的解译,FAST 于 2011 年开始建设,2016 年建设完成,因此研究选取 2008 年、2011 年、2013 年以及 2017 年 4 期空间分辨率为 30 m 的 Landsat TM/OLI 影像进行解译,影像来自地理空间数据云平台。首先采用 ENVI 5.3 软件对影像进行几何校正、辐射校正、融合、裁剪等预处理,其次参考《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017)标准,结合研究目的,通过监督分类将研究区的土地利用类型划分为耕地、建设用地、水域、林地和草地,并通过与分辨率更高的同时期 Google Earth 影像进行对比以检查分类精度,结果显示分类精度均达到 90%,分类结果见图 2。

DEM 数据来源于 1 : 50 000 的地形图,通过

ArcGIS 软件从中提取出高程和坡度两种地形因子,根据公式(4)计算得到研究区的地形位指数,并采用自然断点法将地形位指数按值的大小进行分级^[17],划分为Ⅰ级(0.416~0.497),Ⅱ级(0.497~0.538),Ⅲ级(0.538~0.578),Ⅳ级(0.578~0.613),Ⅴ级(0.613~

0.644)和Ⅵ级(0.644~0.715)6 个地形位梯度(图 1),通过计算得到 6 个梯度的面积占比分别为 5.8%,9.68%,9.15%,22.67%,33%,19.7%,由此可知 FSAT 电磁波宁静区内Ⅳ级、Ⅴ级和Ⅵ级的分布较多,表明研究区内海拔较高且坡度较大。

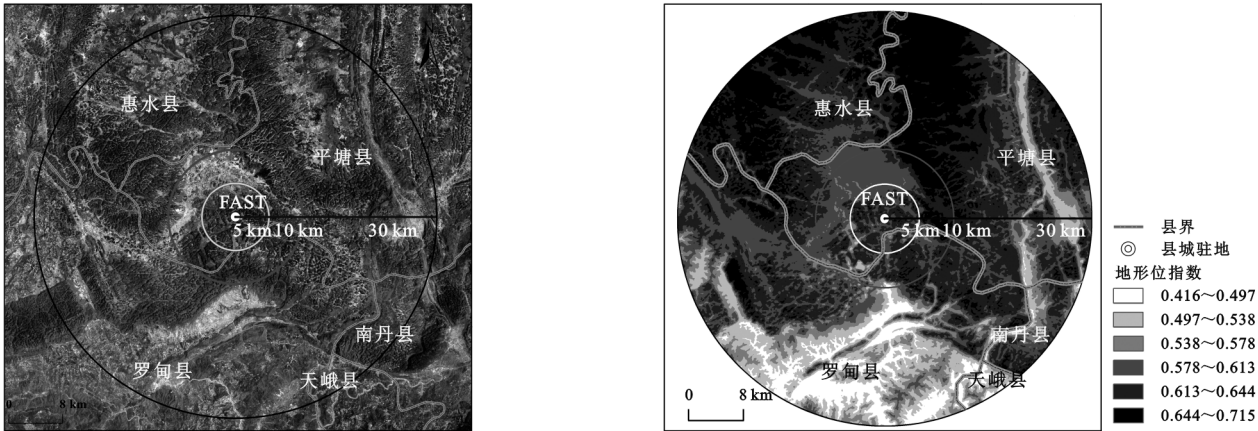


图 1 FAST 电磁波宁静区遥感影像和地形位梯度

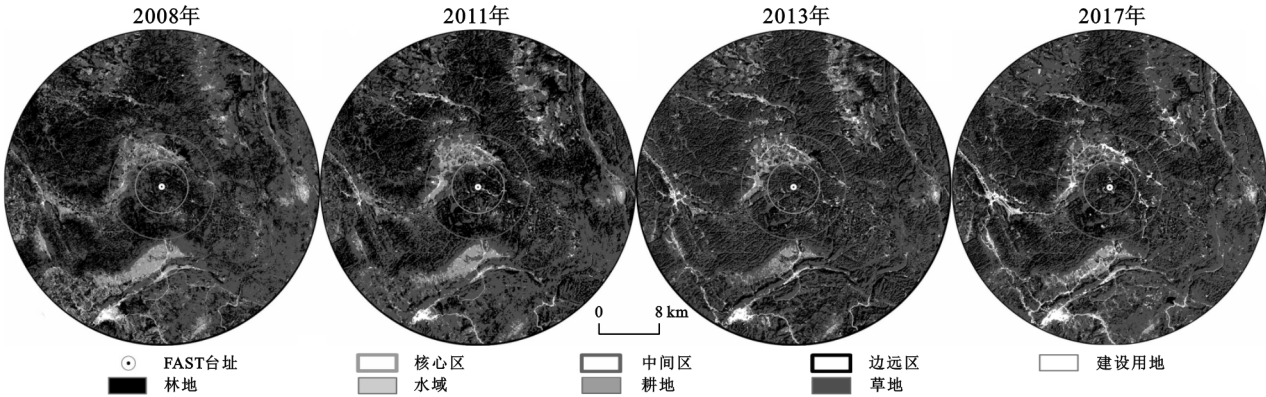


图 2 FAST 电磁波宁静区 2008—2017 年土地利用分布

2.2 研究方法

2.2.1 人类活动强度定量方法 为定量评价人类活动对自然环境的影响程度,研究采用徐勇等^[10]提出的人类活动强度模型对 FAST 电磁波宁静区不同时期的人类活动对环境的影响程度进行计算,该模型利用与人类活动密切相关的土地利用类型来计算人类活动强度,具体计算公式如下:

$$HAILS=\frac{S_{CLE}}{S}\times 100\%$$
 (1)

$$S_{CLE}=\sum_{i=1}^n(SL_i\times CI_i)$$
 (2)

式中:HAILS 为人类活动强度; S_{CLE} 为建设用地当量面积; SL_i 为研究区中第 i 种土地利用类型的面积; CI_i 为研究区中第 i 种土地利用类型的建设用地面积折算系数; n 为研究区中土地利用类型的数量。建设用地当量是一种用来衡量人类活动对陆地表层作用强度的基本单位,其是通过不同土地利用类型的转换系数得到的,因此建设用地当量转换系数是计算人类

活动强度的关键,具体转换系数见表 1^[10]。

表 1 土地利用类型建设当量折算系数

土地利用类型	折算系数	说明
建设用地	1	表层有人工隔层,自然循环被阻
草地	0.067	存在放牧等利用行为
林地	0	表层未改变且未被利用
水域	0	表层未改变且未被利用
耕地	0.4	农作物多为一年生

2.2.2 空间自相关 空间自相关分析是研究空间要素属性值与其相邻要素属性值是否存在相关性的一种分析方法^[18],其包括全局空间自相关和局部空间自相关两种检测方法,全局空间自相关分析可以描述空间要素的整体分布情况,局部空间自相关分析可以描述空间要素的聚集程度。全局空间自相关分析和局部空间自相关分析的方法很多,研究选取采用 Moran's I 指数来对研究区内的人类活动强度进行全局空间自相关分析,选取 Getis-Ord G_i^* 指数进行局部空间自相关分析,具体公式如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中： x_i, x_j 为 i, j 人类活动强度的数值； w_{ij} 为空间加权矩阵； n 为地理单元数量； \bar{x} 为研究区内人类活动强度的平均值。Moran's I 值一般在 $-1 \sim 1$ ，当值为 0 代表全局空间不相关，小于 0 时代表全局空间负相关，大于 0 时代表全局空间正相关。

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2} \sqrt{[\sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2 / (n-1)]}}$$

(4)

式中： w_{ij} 为空间要素 i, j 之间的空间权重。 G_i^* 指数的值越大说明人类活动强度在研究区域周围的聚集程度越高，即形成热点区域，反之，形成冷点区域。

2.2.3 地形位指数 地形位指数是一种复合型指数，是将高程和坡度地形因子进行复合计算获得的。本文选取该指数综合反映研究区内人类活动与地形梯度的关系^[19]，其具体计算公式如下：

$$T = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (5)$$

式中： T 为地形位指数； E 为研究区内任意一点的高程； \bar{E} 为研究区域内的平均高程； S 为研究区内任意一点的坡度； \bar{S} 为研究区域的平均坡度。地形位指数与高程和坡度呈正比，即高程越高，坡度越大，则地形位指数越大，反之则越小。

2.2.4 地形分布指数 为了研究土地利用类型在不同地形因子条件下的空间分布变化情况，并消除各土地利用类型的面积差异量纲的影响，研究引入了地形分布指数^[20]，其具体计算公式如下：

$$P = (S_{ie} / S_i) \times (S / S_e) \quad (6)$$

式中： P 为地形分布指数； S_{ie} 为 e 地形上 i 地类的面积； S_i 为研究区内 i 地类的总面积； S 为研究区的总面积； S_e 为研究区内 e 地形的总面积。 P 值越大，说明该地类在该地形上的分布越多，反之，分布越少，当 P 值大于 1 时，表明该地类是该地形梯度上的优势地类，当 P 值小于 1 时，则表明该地类在该地形梯度上为劣势地类。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

研究利用 ArcGIS 软件对 FAST 电磁波宁静区内各土地利用类型的面积进行分区统计，得到了 2008—2017 年各地类在 FAST 电磁波宁静区不同区域的面积统

计表(表 2)。研究表明：总体上，研究区内人类活动较少，自然化程度较高，2017 年，FAST 电磁波宁静区的土地利用类型以草地和林地为主，其次为耕地，建设用地和水域，草地的面积占研究区总面积的 60.77%，林地面积占比为 30.73%，耕地为 5.19%，建设用地为 2.88%；从空间分布上来看(图 2)，草地的分布较为广泛，面积占比达到了 61.66%，林地主要分布在研究区中部和西北部，核心区、中间区、边远区的林地占比逐步下降；耕地和建设用地主要分布在中间区和边远区，且二者的分布区域相同，主要分布在中间区的西北部以及边远区的西部和西南部。

表 2 2008—2017 年 FAST 电磁波宁静区各地类的面积占比 %

区域	年份	建设用地	耕地	水域	林地	草地
核心区	2008	0.17	2.31	0.09	50.98	46.45
	2011	1.08	3.92	0.38	52.39	42.24
	2013	1.33	4.34	0.49	42.77	51.08
	2017	1.63	1.63	0.05	45.58	51.10
	2017—2008	1.46	−0.68	−0.04	−5.4	4.65
	2008	1.27	11.55	0.58	38.09	48.51
	2011	1.96	13.88	0.78	39.57	43.80
中间区	2013	3.31	10.62	0.77	33.98	51.31
	2017	6.19	7.86	0.27	31.12	54.55
	2017—2008	4.92	−3.69	−0.31	−6.97	6.04
	2008	1.19	8.03	0.59	36.38	53.82
	2011	1.01	5.55	0.60	38.13	54.71
边远区	2013	1.74	5.54	0.79	35.18	56.75
	2017	2.61	5.05	0.46	30.23	61.66
	2017—2008	1.42	−2.98	−0.13	−6.15	7.84

由表 2 可以知，在 2008—2017 年，研究区内的土地利用类型均有一定程度的变化，其中面积变化幅度最大的是草地，10 a 间，研究区的草地面积占比总体上增加了 7.6%，其中核心区增加了 4.65%，中间区增加了 6.04%，边远区的增加幅度最大，增加了 7.84%；其次变化幅度较大的是林地，林地面积总体上呈现出先增后减的态势，2008—2011 年林地的面积占比由 36.92% 增长为 38.65%，增幅为 1.73%，2011—2017 年林地面积则下降为 30.73%，降幅为 7.92%；研究区内耕地和水域的面积占比均有所下降，降幅分别为 2.98%，0.14%，其中核心区和中间区的耕地面积先增后减，有较大的波动，边远区的耕地面积则持续下降，降幅为 2.98%，水域面积在核心区、中间区以及边远区均有所下降，下降幅度分别为 0.04%，0.31%，0.13%；建设用地面积占比由 2008 年的 1.17% 增加为 2017 年的 2.88%，增幅为 1.77%，核心区、中间区的建设用地面积持续增加，增幅分别为 1.46%，4.92%，中间区的增幅最大，主要增长地区在中间区的东北部，

边远区的建设用地面积呈现出先减后增的态势,但是总体上建设用地面积增加了 1.42%。

3.2 土地利用转移分析

土地利用转移矩阵可以更加详细具体地反映出研究区内土地利用类型转化的结构特点和转化方向^[21]。由表 3 可知,2008—2017 年,核心区、中间区、边远区分别有 1.392%,4.613%,4.099%的耕地转化为草地,这说明多年来研究区内的退耕政策以及 FAST 电磁波宁静区的保护政策取得了一定的成效,但是在 10 a 间,各单元分别有 1.559%,5.456%,2.052%的各类土地

利用类型转化为建设用地,其中核心区的主要转入源是草地和林地,结合图 2 可知,该地区的建设用地面积的增加主要原因是 FAST 工程的建设,中间区建设用地面积的主要转入源是耕地和草地,且转入面积较大,面积占比分别为 2.547%,2.259%,这也是表 2 内中间区建设用地面积增幅较大的主要原因;核心区、中间区、边远区的林地和草地之间均存在相互转化关系,且二者的相互转化量较大,主要是林地转化为草地,因此致使林地面积占比降低,草地面积占比上升;水域在研究区内的变化幅度较小。

表 3 2008—2017 年 FAST 电磁波宁静区土地利用转移矩阵 %

年份	区域	土地利用 类型	2017 年					转出总计
			建设用地	耕地	水域	林地	草地	
2008 年	核心区	建设用地	0.054	0.025	0.002	0.005	0.051	0.083
		耕地	0.153	0.523	0	0.118	1.392	1.663
		水域	0.004	0.004	0.003	0.039	0.033	0.08
		林地	0.569	0.133	0.023	35.108	15.196	15.921
		草地	0.833	0.897	0.013	10.231	34.577	11.974
		转入总计	1.559	1.059	0.038	10.393	16.672	
	中间区	建设用地	0.739	0.17	0.019	0.008	0.257	0.454
		耕地	2.547	4.186	0.023	0.07	4.613	7.253
		水域	0.05	0.07	0.146	0.027	0.262	0.407
		林地	0.6	0.405	0.014	23.813	13.188	14.207
		草地	2.259	2.975	0.052	7.001	36.512	12.287
		转入总计	5.456	3.62	0.108	7.106	18.32	
	边远区	建设用地	0.529	0.204	0.032	0.011	0.35	0.597
		耕地	0.95	2.705	0.034	0.052	4.099	5.135
		水域	0.054	0.04	0.202	0.075	0.185	0.354
		林地	0.167	0.291	0.044	22.269	13.494	13.996
		草地	0.881	1.713	0.144	7.563	43.915	10.301
		转入总计	2.052	2.248	0.254	7.701	18.128	

3.3 人类活动强度变化分析

研究利用 ArcGIS 软件的字段计算器功能,根据公式(1)—(2)并结合表 1,计算得到了 FAST 电磁波宁静区 2008—2017 年的建设用地当量面积和人类活动强度(图 2),以及核心区、中间区、边远区建设用地当量面积和人类活动强度的变化情况(表 4)。由图 3 可知,FAST 电磁波宁静区内的建设用地当量面积和人类活动强度变化以 2011 年为界,2008—2011 年,由于退耕还林,退耕还草政策的实施,致使耕地面积减少,因此在研究区内的建设用地当量面积由 2008 年的 225.97 km²下降为 2011 年 202.24 km²,人类活动强度由 7.99%下降为 7.15%;在 2011—2013 年,研究区内的建设用地当量面积和人类活动强度则出现了明显的上升,2013 年的建设用地当量面积为 225.96 km²,人类活动强度为 7.99%,2017 年的建设用地当量面积为 255.19 km²,人类活动强度为 9.03%,建设用地当量面积增长了 23.72 km²,人类活动强度增幅

为 0.84%;2013—2017 年,由于建设用地面积和草地面积的增加致使建设用地当量面积增长了 29.23 km²,人类活动强度增加了 1.04%。

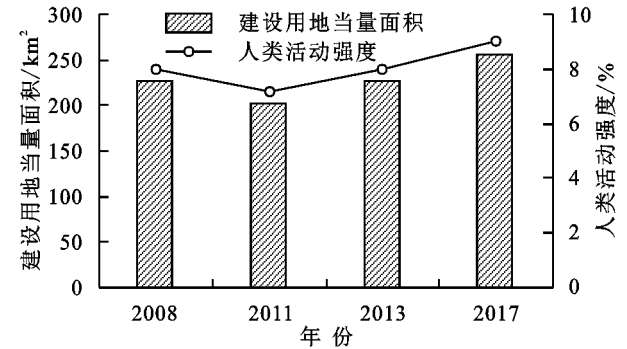


图 3 FAST 电磁波宁静区 2008—2017 年建设用地当量面积和人类活动强度变化

由表 4 可知,建设用地当量面积主要集中在边远区,其次为中间区,核心区内最少,人类活动强度最大的区域是中间区,其次为边远区,核心区为最小。

2008—2017 年中间区的人类活动强度和建设用地当量面积持续增长,2008 年中间区的建设用地当量面积和人类活动强度为 21.53 km² 和 9.17%,2011 年为 24.61 km² 和 10.45%,2013 年为 25.92 km² 和 11%,2017 年为 30.61 km² 和 12.99%,结合表 1 可知,主要原因是建设用地和草地面积的持续增加且增幅较大;边远区的建设用地当量面积和人类活动强度以 2011 年为界,前期下降,后期增加,2008—2011 年,由于耕地面积的减少致使边远区的人类活动强度由 8.0%减少为 6.9%,2011—2017 年,由于建设用地面积的迅

速增加,致使边远区内人类活动强度表现为增长趋势,增幅为 1.86%;核心区的建设用地当量面积和人类活动强度在 2008—2017 年一直处于较低的水平,仅有略微的波动,其在 2008—2013 年呈现为增长态势,人类活动强度由 2008 年的 4.2%增加为 2013 年的 6.49%,主要原因是建设用地和草地面积的增加,然而在 2013—2017 年,随着 2013 年 10 月 1 日 FAST 电磁波宁静区保护办法的实施以及 2016 年 FAST 工程建设的完成,致使核心区内的人类活动强度出现了明显的下降,降幅为 0.78%。

表 4 FAST 电磁波宁静区 2008—2017 年各区域建设用地当量面积和人类活动强度变化

区域	2008 年		2011 年		2013 年		2017 年	
	建设用地当量/km ²	人类活动强度/%	建设用地当量/km ²	人类活动强度/%	建设用地当量/km ²	人类活动强度/%	建设用地当量/km ²	人类活动强度/%
核心区	3.3	4.2	4.3	5.47	5.1	6.49	4.49	5.71
中间区	21.53	9.17	24.61	10.45	25.92	11.00	30.61	12.99
边远区	201.14	8.0	173.31	6.9	194.93	7.76	220.08	8.76

3.4 人类活动强度空间自相关分析

由表 5 可知,2008—2017 年 FAST 电磁波宁静区全局空间自相关 Moran's I 值均大于 0,且 *p* 均小于 0.05,说明研究区内的人类活动强度具有较为显著的空间聚集性。同时,2008—2011 年、2011—2013 年、2013—2017

年、2008—2017 年人类活动强度变化的 Moran's I 值在 0.18 浮动,表明了研究区内人类活动强度的变化也具有空间聚集性。为了进一步了解 2008—2017 年研究区内人类活动强度的空间格局差异,研究对人类活动强度及其变化进行了冷热点分析(图 4)。

表 5 FAST 电磁波宁静区全局空间自相关指标结果

指标	2008 年	2011 年	2013 年	2017 年	2008—2011 年	2011—2013 年	2013—2017 年	2008—2017 年
Moran's I	0.314	0.2	0.2	0.264	0.18	0.15	0.18	0.18
<i>p</i>	0	0.03	0.03	0	0	0	0	0

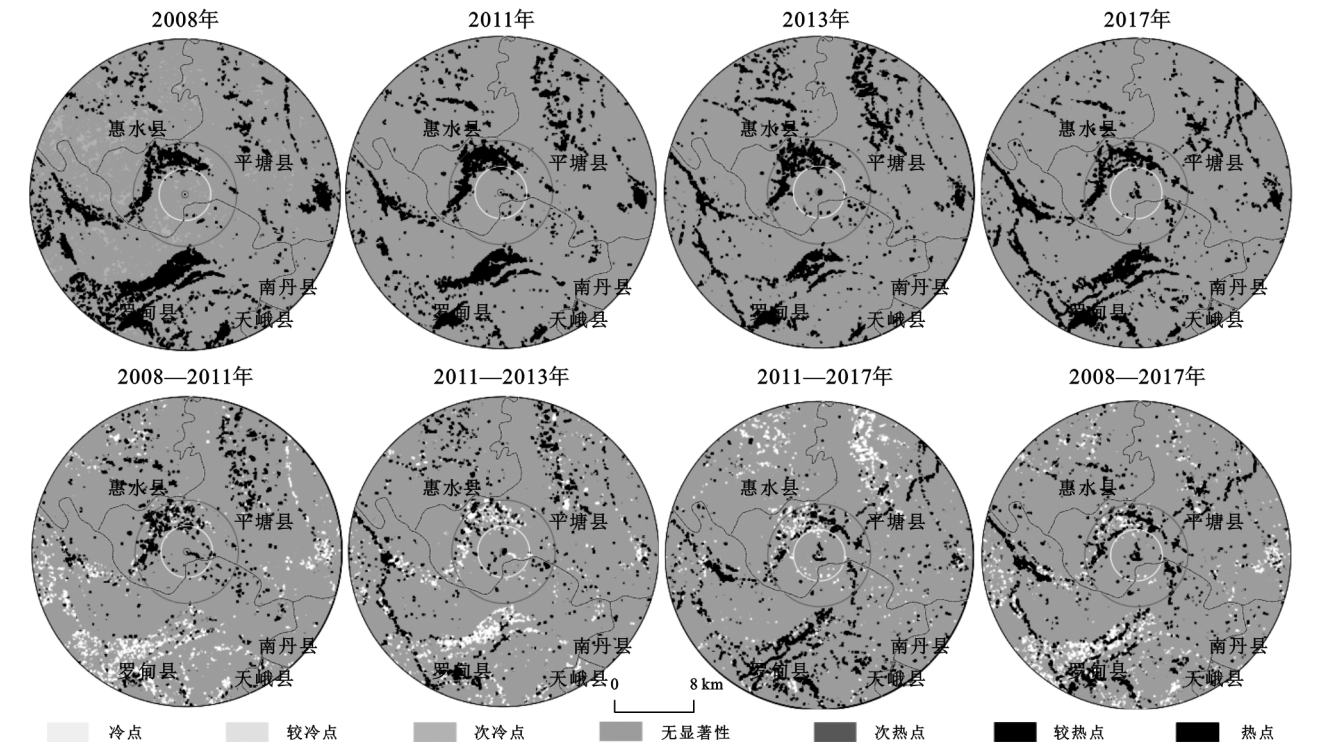


图 4 2008—2017 年 FAST 电磁波宁静区人类活动强度变化热点

由图4可知,2008—2017年,FAST电磁波宁静区内人类活动强度热点区域和冷点区域的面积占比均随着时间的推移而有所变化,次热点(90%置信度)、较热点(95%置信度)以及热点(99%置信度)区域的范围逐渐减少,次冷点(90%置信度)区域在2011年以后在研究区内消失,增加的区域只有无显著区域。总体上,热点区域的面积占比由2008年的13.02%下降为2017年的10.77%,冷点区域在2008年的面积占比为3.73%,至2011年则完全消失,这表明研究区内人类活动强度的聚集程度在逐步下降,但是人类活动强度在整体提高;从空间分布格局来看,热点地区主要分布在平塘县西部、东南部以及罗甸县南部、中部和西部,且以罗甸县分布最多,主要是因为罗甸县的县城驻地在研究区的南部,且该地区的地势相对较低,易于人类的聚集性活动;从空间分布变化来看,2008—2017年研究区内人类活动强度的变化热点主要分布在中间区(罗甸县)和边远区(平塘县),

具体是分布在罗甸县的南部、西部以及平塘县的西南部、东部,该区域主要是城镇和耕地聚集的低海拔区域,核心区仅有小部分的热点变化区域,其主要集中在FAST工程的建设区。

3.5 FAST电磁波宁静区不同地形梯度上人类活动分布特征

3.5.1 不同地形梯度上各土地利用类型的分布特征

地形因子会影响和限制人类的活动,尤其是在喀斯特多山的复杂区域。FAST电磁波宁静区内属于典型的喀斯特地形地貌区,地势起伏较大,地形复杂多变,因此该地区的人类活动会受到地形因子的影响。研究利用ArcGIS软件将研究区的地形位指数与2008年、2011年、2013年、2017年的土地利用数据相叠加,并根据公式分别计算出不同地形梯度上人类活动强度和各地类的分布指数,得到了地形位梯度上FAST电磁波宁静区人类活动强度和土地利用的分布指数(图5)。

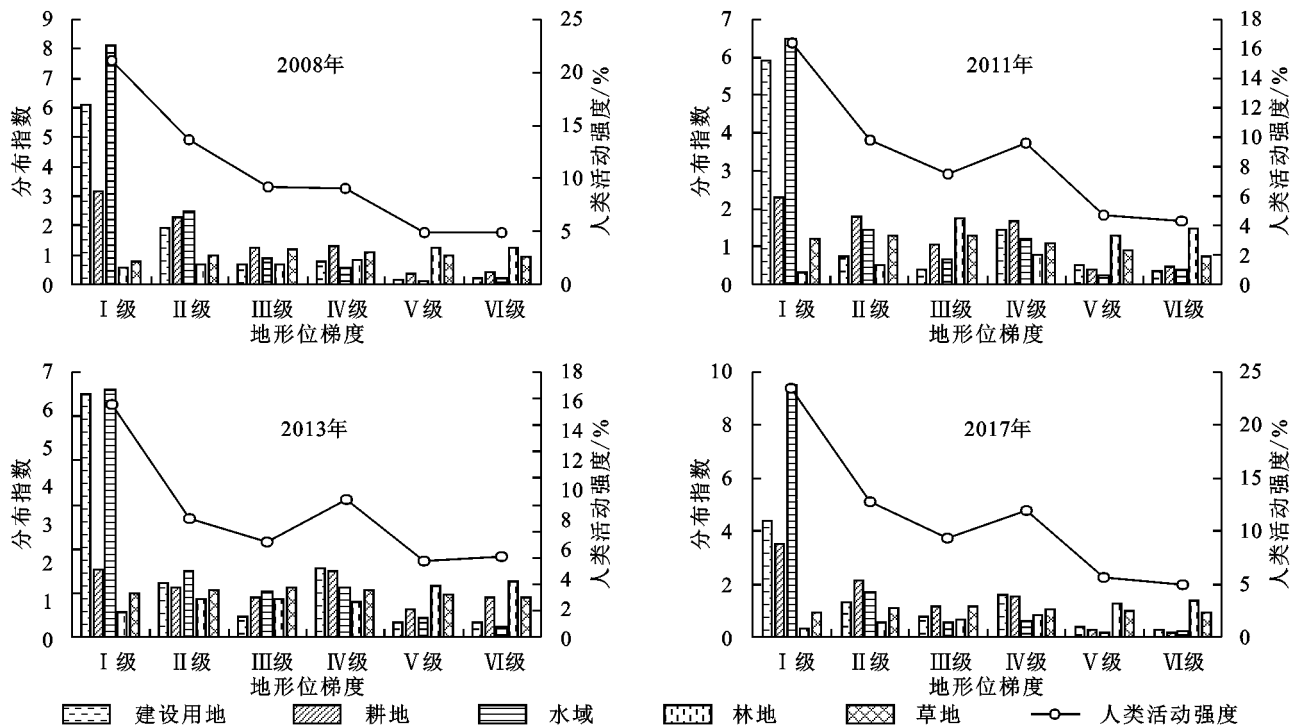


图5 FAST电磁波宁静区地形位梯度上人类活动分布

由图5可知,2008年建设用水域在I级、II级地形梯度上的分布指数大于1,说明二者在I级、II级地形梯度上属于优势分布;耕地的优势分布区为I—IV级地形梯度;林地在V级和VI级上的分布指数大于1,因此V级和VI级是林地的优势分布区,草地的优势分布区为II—IV级地形位梯度;与2008年相比,2011年研究区内各地类的分布指数除耕地以外均有所变化,由于FAST工程的建设导致建设用地的增加,致使建设用地的分布指数在IV级上有所

增加,因此I级和IV级成为其优势分布区;耕地的优势分布区域虽然没有改变,但是其分布指数均有所下降,草地和林地分别增加了I级和III级地形位梯度区域,说明区域内的退耕政策取得了一定的成果;水域在IV级地形位梯度上的分布指数有所增加。

与2011年相比,2013年建设用水域的优势分布区有所增加,建设用地在II级地形位梯度上有所增加,说明了地势较低的城镇区域有所扩张,水域则在III级地形位梯度上有所增加;草地的优势分区基本

没有变化,耕地和林地的优势分布区有所减少,2013年耕地的优势分布区为Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅳ级地形梯度区,林地的优势分布区为Ⅴ级和Ⅵ级。

2013—2017年,建设用地和林地的优势分布区均没有明显的变化,表明二者在研究区域逐渐趋于稳定;耕地的优势分布区增加了Ⅲ级地形梯度区,但其在高地形梯度区域的分布指数有所下降;水域的优势分布区减少了Ⅲ级和Ⅳ级地形梯度区;草地的优势区减少了Ⅰ级地形梯度区,但是其在高地形梯度区的分布指数有所上升。通过4期数据的对比可知,FAST电磁波宁静区内的各地类在地形梯度的分布上逐渐趋于稳定。

3.5.2 不同地形梯度上人类活动强度的分布特征

从图5中的折线图可知,总体上,FAST电磁波宁静区内的人类活动强度随着地形梯度的升高而逐步下降,仅有轻微的波动。2008—2017年Ⅰ级和Ⅱ级地形梯度上的人类活动强度分别为23.12%,13.58%,16.42%,9.78%,17.57%,8.9%,23.54%,12.74%,结合分布指数可以表明以建设用地和耕地为主的人类活动主要分布在较为平坦的低海拔地区;随着地形梯度的升高,人类活动强度也随之下降,但是在2011—2017年,人类活动强度在Ⅲ—Ⅳ级时却表现为增加态势,增幅分别为2.03%,3.26%,2.65%,结合分布指数和图1可知,主要原因是该时期处于FAST工程的建设期,且其大部分处于Ⅳ级地形梯度上,因此导致了该梯度上建设用地面积出现了明显的增加,并且由图中可以看出,2013—2017年,该梯度上人类活动强度的增幅有所下降,说明了随着FAST电磁波宁静区保护办法的实施以及FAST工程的完工,该地区的人类活动强度也将趋于稳定。Ⅴ级和Ⅵ级地形梯度上的人类活动强度一直处于较低的水平,主要原因是该梯度上的建设用地和耕地分布较少,但是由于该梯度上草地分布较多,因此草地是该地形梯度上人类活动强度的主要贡献地类。

4 讨论与结论

4.1 讨论

FAST电磁波宁静区内人类活动的变化是自然因素和社会经济因素共同作用的结果。自然因素对人类活动通常起到宏观的影响作用,而社会经济因素主要影响人类活动的变化趋势和变化速度,因此研究将从自然和社会经济两个方面来探讨研究区内人类活动变化的影响因素。

(1) FAST工程的建设是研究区内人类活动变化的基本原因。FAST工程于2011年开始修建,

2016年建设完成,在修建期间,核心区的建设用地面积占比在2008—2017年增加了1.46%,其中大部分是由林地、草地以及耕地转化而来,因此致使核心区内的类活动出现了较为明显的上升。

(2) 移民活动和经济发展等社会经济因素是推动研究区内人类活动变化的重要因素。移民活动将核心区内的居民迁出至中间区和边远区内的城镇进行安置,因此中间区和边远区在2008—2017年建设用地面积占比分别增加了4.92%,1.43%,其中大部分由耕地和草地转化而来;研究区内的经济发展主要以第三产业为主,以平塘县为例,在2011—2017年,其第三产业占比均在40%以上,尤其在FAST工程建设完成以后,依靠天文旅游的发展优势,使得第三产业得到了迅猛发展,其旅游收入在2016—2017年,增加了近一倍,因此致使中间区和边远区内的人类活动在此期间依旧保持上升的态势。

(3) 政府政策对研究区内人类活动的变化具有重要影响作用。核心区、中间区和边远区在2008—2017年耕地面积均呈现出不同程度的下降态势,下降幅度分别为0.68%,3.69%,2.98%,草地面积则大幅度增长,这是由于政府引导实施的退耕还林还草工程、水土保持工程以及石漠化治理工程发挥的作用,尤其是在FAST工程建立之后,政府为保障其正常运行而制定的FAST电磁波宁静区保护办法在更大程度上限制了研究区内的人类活动,使得核心区内的类活动在2017年出现了较为明显的下降,说明政府的保护政策可以有效地减少研究区内的人类活动。

(4) 地形地貌因素是影响研究区内人类活动空间分布及其变化的重要自然因素。FAST电磁波宁静区内主要以喀斯特山地丘陵为主,地势起伏较大,平地较少,难以开展人类活动,因此研究区内的人类活动总体上一直处较低水平。且由于研究区内不同区域间存在地形分布的差异,因此不同区域内的人类活动在空间分布上也存在差异。核心区、中间区和边远区内Ⅳ—Ⅵ级地形梯度的面积占比分别为68.37%,48.63%,52.08%,因此核心区内的类活动一直处于最低水平,其次为边远区,人类活动最高的区域为中间区。

4.2 结论

(1) 2008—2017年,研究区域内的土地利用类型以林地和草地为主,二者面积占比之和均在80%以上,耕地、建设用地和水域的面积占比之和不足10%,在研究时段内,建设用地和草地面积出现明显的增加,而耕地、林地以及水域面积则呈现出明显的下降态势;研究时段内各地类均有一定程度上的互相

转化,其中建设用地和草地主要为转入地类,耕地和林地为主要的转出地类。

(2) 2008—2017 年,研究区内人类活动强度的变化总体上以 2011 年为界,前期人类活动强度表现为缓慢的下降趋势,后期则表现为上升趋势,但是研究区内的人类活动强度总体上处于较低的水平,研究时段内,人类活动强度均在 10% 以下。

(3) 空间自相关分析表明,研究区内的人类活动强度具有较为明显的空间聚集性,主要分布在中间区和边远区内,人类活动强度热点地区主要分布在平塘县西部、东南部以及罗甸县南部、中部和西部,且以罗甸县分布最多;在研究时段内,人类活动强度的变化热点也主要分布罗甸县和平塘县内,具体集中在罗甸县的南部、西部以及平塘县的西南部、东部。

(4) 地形因子分析表明,研究期间,研究区的建设用地主要分布在海拔较低,地势较为平坦的 I—II 级地形梯度区域,;耕地和水域的优势分布区主要集中在中低地形位梯度内(I—IV 级);草地集中分布在中地形位梯度区域,其优势分布区为 II—IV 级地形位梯度;林地的优势分布区虽有一定的变化,但也多集中在高地位梯度区域(V 级—VI 级);总体上研究区内的人类活动强度与地形位梯度呈现为反比的关系,但是 2011—2017 年,由于 FAST 工程的建设,致使人类活动强度在 IV 级地形位梯度上有所增加。

(5) 研究发现,研究区内人类活动的变化是由自然因素和社会经济因素共同驱动的,其中后者为主要驱动力。地形地貌因素、FAST 工程的建设与保护、移民活动、旅游开发以及政府政策等因素均在一定程度上对研究区内人类活动的变化过程中起到重要作用。

4.3 建议与展望

研究针对不同区域内人类活动的时空分布特征,提出了相应的保护建议。核心区是 FAST 的重点保护区,因此应该加强对核心区域的监测力度,不仅要开展常规的电磁波干扰监测,还要结合遥感技术的优势,充分应用卫星遥感监测技术,构建“天空地一体化”全天候的综合监测管理系统,以便可以准确地掌握核心区内的电磁波和人类活动的变化情况,为 FAST 的正常运行保驾护航;中间区和边远区是研究区内人类活动的主要集中地,因此在该地区政府要加强引导,加强对电磁波宁静区电磁环境以及监测设施的保护宣传,提高当地群众的保护意识及其对 FAST 功能和保护工作的了解,使群众自发遵守保护条例,形成自我约束,共同维护 FAST 的正常运转。

研究利用遥感和地理信息技术,从土地利用的角

度分析了 FAST 电磁波宁静区内人类活动及其变化的时空分布特征,并对相关影响因素进行了探讨研究,但是当前的研究中也存在不足之处。在人类活动强度计算方法方面,研究以土地利用数据来构建人类活动强度模型,该方法虽然可以快速对区域内的人类活动进行定量化评价,但是其只能对研究区内人类活动的现状进行识别,并不能对其进行预测,因此在今后的研究中,将着重探寻人类活动的预测方法,为 FAST 电磁波宁静区的保护工作提供支持。

参考文献:

- [1] 闫振,沈志强. FAST:脉冲星观测研究的利器[J].科技导报,2017,35(24):16-19.
- [2] 许清琳,邱扬,田锦,等.通信基站对射电望远镜电磁干扰的预测方法[J].中国科学:物理学力学天文学,2019,49(9):112-120.
- [3] 刘晔,刘奇.大口径射电望远镜台址电磁干扰预测方法[J].中国科学:物理学力学天文学,2019,49(9):121-129.
- [4] 宣勇,范一大,王兴玲,等.西部荒漠典型区 LUCC 及景观格局时空变化驱动机制研究:以尉犁县为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):188-195,200.
- [5] 徐凉慧,李加林,李伟芳,等.人类活动对海岸带资源环境的影响研究综述[J].南京师大学报:自然科学版,2014,37(3):124-131.
- [6] 潘桂行,申涛,马雄德,等.人类活动和自然因素对海流免河流域生态环境影响分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(4):67-72.
- [7] 李延峰,宋秀贤,吴在兴,等.人类活动对海洋生态系统影响的空间量化评价:以莱州湾海域为例[J].海洋与湖沼,2015,46(1):133-139.
- [8] 汪桂生,颀耀文,王学强.黑河中游历史时期人类活动强度定量评价:以明、清及民国时期为例[J].中国沙漠,2013,33(4):1225-1234.
- [9] Magalhães J L L, Lopes M A, de Queiroz H L. Development of a Flooded Forest Anthropization Index (FFAI) applied to Amazonian areas under pressure from different human activities [J]. Ecological Indicators, 2015,48:440-447.
- [10] 徐勇,孙晓一,汤青.陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J].地理学报,2015,70(7):1068-1079.
- [11] Dodds W K, Perkin J S, Gerken J E. Human impact on freshwater ecosystem services: a global perspective [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 47(16):9061-9068.
- [12] Mildrexler D J, Zhao M, Running S W. Testing a MODIS Global Disturbance Index across North America [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10):2103-2117.