

引用格式:喻忠磊,庄立,孙丕苓,等.基于可持续性视角的建设用地适宜性评价及其应用[J].地球信息科学学报,2016,18(10):1360-1373. [Yu Z L, Zhuang L, Sun P L, *et al.* 2016. An approach of suitability evaluation for construction land and spatial conflict analysis based on sustainability perspective. Journal of Geo-information Science, 18(10):1360-1373.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.01360

基于可持续性视角的建设用地适宜性评价及其应用

喻忠磊¹, 庄立^{2,3}, 孙丕苓⁴, 梁进社^{1*}, 张文新¹

1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875;
3. 中国社会科学院城市发展与环境研究所, 北京 100028; 4. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193

An Approach of Suitability Evaluation for Construction Land and Spatial Conflict Analysis based on Sustainability Perspective

YU Zhonglei¹, ZHUANG Li^{2,3}, SUN Piling⁴, LIANG Jinshe^{*} and ZHANG Wenxin¹

1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Institute for Urban and Environmental Studies, CASS, Beijing 100028, China; 4. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: Land suitability for construction is fundamentally useful to land use planning and management. In this study, we defined a connotation of land suitability for construction based on land use sustainability, and constructed a standardized indicator system of suitability from four dimensions of disaster risk, terrain, ecological environment and location. Against the deficiency of the exiting evaluation method, we constructed an evaluation framework of multifactor-distributed algorithm and scenario matrices integrating extreme value methods, conditional function methods and linear weighted comprehensive methods. This study discerned the conflict space based on suitability and used the proportion of conflict area of total built-up area as space conflict intensity to measure the reasonability and sustainability of spatial distribution. This study took Manasi County, Xinjiang Province as a case and the results indicated that: (1) the potential suitable construction land is very sufficient, the total area suitable for construction is more than 230 km² (around 26% of the total area of the county). The land with suitability grade 4 and 5 mainly distribute in Manasi town, Letuyi town, Farm 147, Xinhua Farm and the farms in northern area. The land with rank 3 distributes in outlying regions of land of rank over 3 and the piedmont plain in central south. (2) the space with conflicts is up to 4.21 km², 22.74% of the built-up area. The spatial conflicts are mainly distributed along the Manasi River and Taxi River, in the environmental fragile zone and in the central industrialized urban area of the county as well. This case study suggested that the framework and evaluation methodology of construction land suitability proposed in this paper is viable and close to the reality. It can offset the disadvantages of existing evaluation methods for construction land suitability. In addition, the suitability assessment of land for construction can play an important role in spatial conflict analysis.

Key words: construction land; suitability; spatial conflict; multi-factor distributed algorithms; mutual exclusion matrix based scenario analysis; Manasi County

***Corresponding author:** LIANG Jinshe, E-mail: liangjs@bnu.edu.cn

摘要 建设用地适宜性是土地资源利用与管理决策的依据。本文基于土地利用可持续性界定建设用地适宜性内涵,从灾害风险、地形地貌、生态环境和区位条件4个维度,构建了较规范的适宜性指标体系;针对已有评价方法的不足,构建了整合极值法、条件函数法、线性加权综合的“多要素分布式算法——情景矩阵”评估框架;进而基于适宜性识别冲突空间,以空间冲突面

收稿日期 2015-09-25;修回日期:2016-05-13.

基金项目 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAJ22B05)。

作者简介 喻忠磊(1987-),男,博士生,研究方向为经济地理、土地利用与区域可持续发展。E-mail: yzlei87@163.com

*通讯作者 梁进社(1957-),男,教授,主要从事经济地理学等方面的研究。E-mail: liangjs@bnu.edu.cn

积占总建设用地面积的比重作为空间冲突强度来刻画区域建设空间布局的合理性与可持续性。本文以新疆玛纳斯县为例开展研究,结果表明玛纳斯县适宜建设空间(达230 km²以上)约占全县总面积的26%;最适宜和比较适宜性建设用地主要分布于中部及中北部乡镇及农(团)场驻地附近,基本适宜建设区主要分布在比较适宜建设空间的外围及中南部山前平原地带;该县冲突空间达4.21 km²,占建成区面积的22.74%;冲突空间主要分布在河流沿岸和中部城镇化发展区;南部、北部的生态脆弱区及中部工业化发展区的乡镇空间冲突强度也较高。研究表明,本文提出的建设用地适宜性评估框架与方法逼近客观现实,简单易行,能弥补以往评价方法的不足;适宜性在空间冲突分析与可持续性土地利用管理中具有较好的应用价值。

关键词 建设用地;适宜性;空间冲突;多要素分布式算法;情景矩阵;玛纳斯县

1 引言

土地适宜性是土地评价研究的重要内容,历来受学界重视^[1-2]。建设用地适宜性是土地适宜性的重要组成部分,随着近几十年来建设用地快速扩张所带来的生态环境等问题日益严重,其逐渐成为土地科学、地理学和城市规划等学科关注的热点问题,学者们围绕建设用地适宜性展开了大量有益的研究和实践工作^[1]。从研究尺度来看,已有建设用地适宜性研究涉及宏观区域、市、县(区)、乡镇、村域及园区等各个层面^[3-9]。研究地域包括城市^[5,8]、城乡结合部^[10-11]、乡村^[9]等,涵盖平原^[3,8]、丘陵山区^[12]、低丘缓坡^[13]及滨水区域^[14-16]等多种地域类型。虽然研究视角有从单一视角对土地资源某个维度的建设适宜性进行测评的细化研究^[17],但更多的是自然-人文视角下的综合测评^[3-13]。评价对象不仅包含一般意义上的建设用地^[4,12-14],也涉及了农村居民点^[11]、城市发展用地^[5,18]、工业用地^[19]等具体建设用地类型。

这些研究极大丰富了建设用地适宜性的理论和方法,对推进土地评价研究和土地资源合理利用具有重要意义,但仍有不少问题值得继续深入探讨。①对建设用地适宜性内涵的探讨仍显不足,缺乏一个较公认和规范化的评价指标体系。现有研究在评价内容上往往各有侧重,即便是针对同类研究区的评价,也可能出现大相径庭的指标体系,使得评价结果的科学性和可比性受限;同时也有部分研究过于追求指标体系的复杂性和全面性,而忽略了适宜性的本质要义^[20]。②适宜性评价方法仍有待进一步完善。目前常见指标拟合算法主要有简单叠置分析、线性加权综合^[8-10,21-22]、互斥矩阵^[3]以及物元模型^[5]、突变级数法^[23]等人工智能方法^[24]。然而传统的简单叠置分析法忽视了不同因素之间的差异;线性加权综合法则忽视了指标性质的差异,将强制性指标和非强制性指标拟合后会缩小强制性指标对适宜性的限制作用^[18,25];互斥矩阵法则往往

以线性综合方法为基础^[3],也存在同样的不足;遗传算法等人工智能方法虽然可以避免适宜性评价较强的主观性,并提高其效率^[26],但其结果过于依赖指标值的数学分布规律,在评价中难以充分利用既有适宜性知识,并且计算程序相对复杂,在土地资源管理实践中可应用性并不强^[20]。③现有研究多关注适宜性评价本身,大多数研究旨在改进评价方法和丰富评价案例^[12-15],适宜性评价的应用价值未得到充分探索。仅有少数研究探讨了适宜性在环境影响评估^[27]、城镇空间增长边界划定^[28]中的应用。因此,建设用地适宜性评价指标体系与方法的继续完善,以及其应用领域的进一步扩展,仍然是值得关注的问题。

近年来,空间冲突分析正逐渐成为可持续性资源利用与环境管理领域中重要的分析工具^[29-30],适宜性评价可以在空间冲突识别这一关键环节中发挥重要作用。空间冲突是指因空间资源稀缺性而导致的空间资源竞争与分配过程中所形成的对立现象,是城市化进程中各种矛盾形成与激化的直接原因^[31]。一般来说,土地空间管制旨在保证生态空间不受干扰、生态产品持续供给以及人类经济社会的安全有序^[32],因此不适宜建设区域的理想土地利用方式为生态用地。所以,不适宜建设区可视为承载生态产品与服务的社会公共利益空间,现有建成区可视为个体利益空间,可将空间冲突(个体与社会公共利益的空间冲突)理解为在不适宜建设的国土空间中进行开发建设空间错配现象。显然,识别出研究区建设用地的适宜性的空间分布情况,对国土资源空间调控与整治中的空间冲突分析、促进土地资源可持续性利用具有重要价值。

鉴此,本文在探讨建设用地适宜性内涵的基础上,首先构建建设用地适宜性评价指标体系;然后,根据适宜性指标性质、以及指标间的数量与空间交叉关系,构建一个整合“取极值、条件函数、线性加权与矩阵分析”的“多要素分布式算法——情

景矩阵”评估方法;最后,根据文章对空间冲突的理解,构建用于评估建设空间布局合理性的空间冲突指数,以扩展适宜性评价的应用范围。本文以新疆玛纳斯县为例,进行应用示范性研究,旨在为建设用地适宜性评价提供一套规范化、逼近客观现实的评价框架和技术方法,扩展建设用地适宜性的应用方向,并提供一个应用性研究实例。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

玛纳斯县位于新疆维吾尔自治区中北部、昌吉回族自治州最西部(图1),地处天山北麓中段、准噶尔盆地南缘,县城总面积为 $1.1\times 10^4\text{ km}^2$ 。地势自东南向西北缓缓倾斜,南部为天山山区和丘陵地,是优良的夏牧场和水源涵养区;中部为冲积平原区,是该县主要粮产区;北部为沙漠区。玛纳斯县下辖14个乡镇场站、5个驻县团场,总人口28万。在空间区位上,其与石河子、乌鲁木齐市的距离分别为15 km和130 km,西与石河子国家级经济技术开发区隔河相望,兰新铁路、G30国家高速和第二亚欧大陆桥横贯全境,优越的区位及交通条件使玛纳斯县成为天山北坡经济区的率先发展地区,是乌鲁木齐一小时经济圈的重要组成部分,也是天山北坡重要的交

通中转站和北疆地区物资集散地。随着近年来西部大开发进程的推进,玛纳斯县经济发展势头良好,GDP增速连续多年保持在10%以上,城镇化与工业化步伐加快。2013年实现地区生产总值157亿元,增长率达17%;全社会固定资产投资135亿元、社会消费品零售总额23.5亿元,分别增长37%、17%;三次产业结构为30.1:48.7:21.2,县城城镇化水平达47%。随着城镇化、工业化水平的提升,城乡建设、工业发展和矿产开发等各项建设用地需求急增,局部地区建设用地紧张的矛盾日益突出。玛纳斯县正处于建设用地需求的旺盛期,但建设用地布局又受自身自然地理条件限制。因地制宜合理布局建设空间,保护生态空间和农业空间,成为践行国家主体功能定位的必然要求。因此,有必要对玛纳斯县建设用地适宜性进行科学评价,并对其空间冲突进行辨识,为土地资源管理与调控提供借鉴。此外,玛纳斯县地貌类型丰富,承担着多样化的地域功能,是建设用地适宜性评价的理想案例地。

2.2 数据来源

(1)地方政府部门提供的地形图(1:100 000)、2008年土地利用现状图(1:1 000 000)、基本农田(1:1 000 000)和优质葡萄园分布图(1:100 000)、湿地和森林公园边界、地质灾害和洪水风险分布图(1:100 000)、玛纳斯河流域地貌图(1:500 000)等。在具体分析中,参考2010年遥感影像数据对土地利用现状图进行修正,获得2010年建设用地空间分布图。

(2)从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载的DEM数据(分辨率为30 m),并在ArcGIS平台中生成坡度数据。

(3)源于国家基础地理信息系统数据库的地质、地貌和路网等数据。

所有数据经过预处理后,统一转换为30 m分辨率的栅格数据。

3 建设用地适宜性与空间冲突分析的框架与方法

3.1 建设用地适宜性评价框架

(1)内涵与概念框架。建设用地适宜性是指特定范围的土地资源在一定技术条件下作为建设用进行开发利用的适宜程度,受土地资源的自然、社会经济、区位等属性影响^[15]。建设用地适宜性评

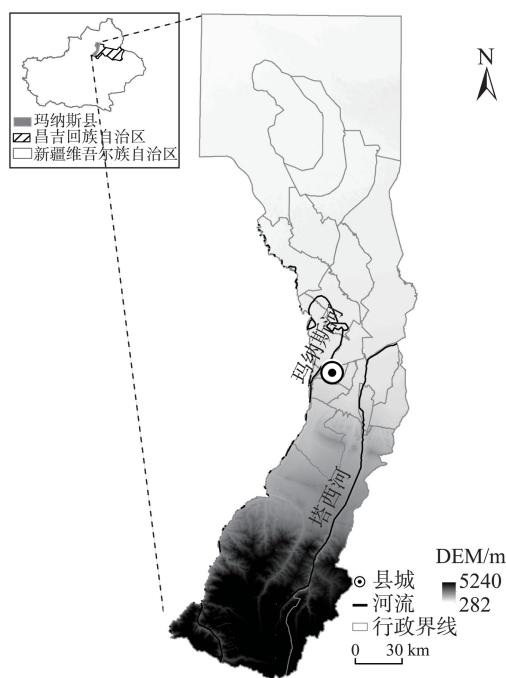


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of study area

价的目的在于促进土地资源空间配置的优化,保障土地资源可持续利用。从二者关系来看,可持续性是在时间上的延续^[1]。因此,在当前可持续性土地利用已被推向全球可持续发展这一战略高度的背景下^[33],应当从可持续性土地利用出发探究建设用地适宜性的内涵,进而构建建设用地适宜性指标体系。不同学者对土地可持续利用概念的表述各有差异,但都一致强调土地利用要以保持和提高人类生活环境质量为目标,满足“生态适宜、经济可行、社会可接受”的要求^[34],要符合当前“人口资源环境相均衡,社会经济生态效益相统一^[35]”的国土开发原则。因此,作为构建可持续性功效空间根本途径的土地开发建设活动,在社会层面上,必须能保障人类社会的安全、健康与有序;在经济层面,应能保障开发建设活动符合经济规律,且满足经济活动的效率要求;在生态层面,应当符合自然系统运行规律,不会造成生态系统的灾变,并有利于维护地表生态系统服务功能。

总之,特定地域的土地资源是否适宜建设,取决于其是否满足上述土地可持续利用的多重要求,即保障人类社会安全、生态环境安全和经济活动高效。人类安全与健康主要受灾害风险因素直接影响,地形地貌因素也常与其他气象要素一起产生间接作用;生态环境安全取决于人类建设活动是否侵占了受保护的生态系统空间以及开放空间转化为建成区的生态成本,而地形地貌因素也往往间接作用于生态安全;经济活动效率一方面要受区位条件影响,另一方面土地资源本身特征(地形条件、地质条件等)往往决定着建设行为的经济成本和工程技术难度^[2,16]。据此,本文形成图2所示的建设用地适宜性概念框架和指标体系构建思路。

(2)指标体系。本文从灾害风险、地形地貌、生态环境和空间区位4方面构建了玛纳斯县的建设用

地适宜性评价指标体系(表1)。①玛纳斯县的主要自然灾害包括洪水和地质灾害(滑坡、泥石流、崩塌),同时县内还分布着大量地质断裂带,对建设空间构成影响。据此,灾害风险因素选择了地质灾害、洪水灾害风险等级,并根据公认标准^[36]划定30 m宽的断层避让带。②根据研究区宏观地理背景选取了高程、坡度和地貌作为地形地貌因素。③由于玛纳斯县是重要农业主产区和天山北坡重要的水源涵养区,也是特色葡萄种植基地。因此将基本农田、优质葡萄园以及河流、湖泊、湿地等作为生态限制因子纳入指标体系,对森林公园等风景名胜也将其作为生态限制因素。考虑到在地块尺度上,除上述几种特殊生态系统外,各种地类空间都存在转换为建设空间的可能性,这种转换的生态成本并非强制性限制因素,所以本文并没有将地表覆被、生物丰度等纳入评价系统。④在区位条件方面,鉴于县城和乡镇是主要的公共服务供给中心和经济中心,而国道、省道、县道是主要出行通道,本文以与县城、所属乡镇镇区及前述各等级道路的距离表征区位条件。另外,虽然铁路和高速公路也是常用的区位指标^[3-4],但考虑到其是封闭通道,对区位有实质性影响的是火车站和高速公路出入口,而火车站和高速公路出入口在研究区主要分布于县城和各乡镇镇区,所以不纳入指标体系。各项指标均根据公认标准或已有研究划分为5级,由1-5分别表示最不宜、较不宜、基本适宜、比较适宜和最为适宜,具体分级标准见表1。根据指标对建设空间布局的影响作用类型,将指标分为限制性和空间引导性2类。

3.2 建设用地适宜性评价方法

鉴于已有适宜性计算方法存在的不足,党丽娟等设计了简便易行且物理意义明确的多要素分布

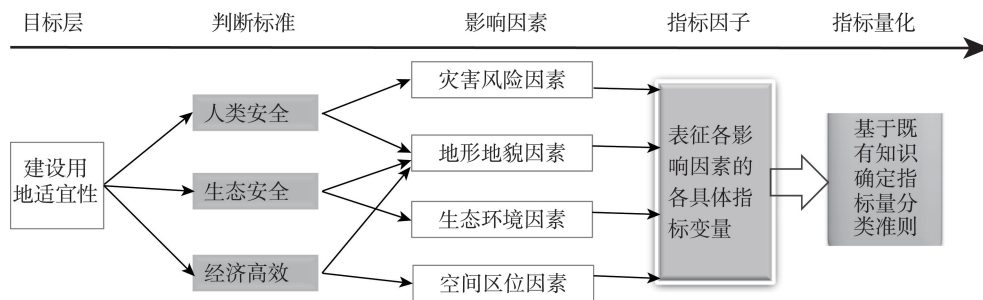


图2 建设用地适宜性指标体系构建思路框图

Fig. 2 The approach to indicator system of land suitability for construction

表 1 建设用地适宜性评价指标体系

Tab.1 Indicators of land suitability for construction

影响因素	指 标	指标说明	指标性质
灾害风险因素 (Hazard)	地质灾害风险 (<i>Geologic hazard</i>)	根据地质灾害风险等级划分适宜性等级,高风险=1,较高风险=2,中等风险=3,较低风险=4,低风险=5	限制性
	断裂带避让 (<i>Fault zone</i>)	断裂带两侧 15 m 范围内禁止进行建设活动 ^[36] ,将避让范围区域赋值为 0(不可建设),否则赋为 1(可以建设)	限制性
	洪水风险 (<i>Flood</i>)	根据洪水风险等级划分适宜性等级,高风险=1,较高风险=2,中等风险=3,较低风险=4,低风险=5	限制性
地形地貌条件 (Terrain)	高程(<i>DEM</i>)	据玛纳斯县建设用地的海拔分布情况,设置 500 m 以下为 5,500~800 m 为 4,800~1400 m 为 3,1400~2500 m 为 2,大于 2500 m 为 1;	限制性
	坡度(<i>Slope</i>)	5°以下 为 5,5°~8° 为 4,8°~15° 为 3,15°~25° 为 2,25°以上 为 1 ^[14,36]	限制性
	地貌类型(<i>Landforms</i>)	低海拔冲积平原=5,低海拔冲积台地、中海拔冲积、洪积平原=4,中海拔中起伏山地=3,低海拔风积地貌、中海拔黄土梁峁、中高海拔大起伏山地=2,高海拔极大起伏山地、现代冰川、沙漠=1 ^[14,36]	限制性
生态环境因素 (Eco)	河流(<i>River</i>)	考虑到区内河流等级较低,以 100 m 作为带宽向外缓冲 5 级,分别赋值为 1、2、3、4、5 ^[18]	限制性
	湖泊和水库(<i>Lake</i>)	距离水面小于 500 m 为 1,500~1000 m 为 2,1000~1500 m 为 3,1500~2000 m 为 4,2000 m 以外区域为 5 ^[21]	限制性
	葡萄园(<i>Vineyard</i>)	葡萄园禁止占用,赋值为 0,非葡萄园区赋值为 1	限制性
	基本农田(<i>Farmland</i>)	基本农田应严格保护,基本农田覆盖区赋为 0,否则为 1	限制性
	湿地公园(<i>Wet land</i>)	据相关研究 ^[14] ,对于湿地公园以 400 m 作为带宽向外缓冲 5 级,分别赋值为 1(含湿地公园)、2、3、4、5	限制性
	森林公园(<i>Forest park</i>)	参考相关研究 ^[14] 以 400m 作为带宽向外缓冲 5 级,分别赋值为 1(含森林公园)、2、3、4、5	限制性
	到县城中心的距离 (<i>Dis_county</i>)	参考县城到县域边界的最近距离进行划分,本研究以 15 m 为半径向外扩展;15 km 以内为 5,15-30 km 为 4,依次类推;	引导性
空间区位条件 (Location)	距主要道路的距离(<i>Dis_road</i>)	以线性加权综合法对距国、省、县道的距离得分进行综合,再用自然断裂点法进行分级。对于国道、省道,1.5 km 缓冲范围内最为适宜,赋为 5,1.5~3 km 赋为 4,3~4.5 km 赋为 3,4.5~6 km 赋为 2,6 km 以外赋为 1;对于县道,0.5 km 范围内赋为 5,0.5~1 km 为 4,1~1.5 km 为 3,1.5~2 km 赋为 2,2 km 以外赋为 1	引导性
	到乡镇镇区的距离(<i>Dis_town</i>)	以 3 km 为带宽,向外进行 5 级缓冲分析,由近到远分别赋为 5、4、3、2、1	引导性

式算法,极大地简化了适宜性评价的计算难度^[14],同时也提高了科学性。但该方法目前仅用于识别适宜建设区域,本文尝试将其扩展以用于多等级的适宜性评价,具体的评价流程与计算方法如下:

(1)依据相应标准对各个单项指标进行适宜性等级划分(划分标准见表 1)。

(2)根据各指标的空间与数量关系,以取极值法、条件函数法对限制性因素(灾害风险、地形地貌、生态环境)下的各指标进行拟合,用线性加权综合法对区位条件下的各指标进行拟合,分别判定各维度的适宜性等级。相应算法可分别写为(式(1))。

$$Hazard\ suit = con(Fault\ zone = 1, min(Geologic\ hazard, Flood), 1) \quad (1)$$

式中:*Hazard suit*为研究单元灾害风险因素的适宜性得分。式(1)表示如果*Fault zone*为 1(即研究单元不在断裂带两侧 15 m 范围内),则*Hazard suit*等于*Geologic hazard*(地质灾害风险等级得分)和*Flood*(洪水风险等级得分)的最小值(值越小表示

风险程度越高,越不适宜建设,下同);反之,如果*Fault zone*为 0,则*Hazard suit*直接取最小值 1。

$$Terrain\ suit = min(Dem, Slope, Landforms) \quad (2)$$

式中:*Terrain suit*表示地形地貌适宜性得分。式(2)表示*Terrain suit*取 DEM(高程等级得分)、*Slope*(坡度等级得分)和*Landforms*(地貌类型得分)的最小值。

$$Ecosuit = con(Vineyard\ or\ Farmland = 0, 1, min(Forest\ park, River, Lake, Wetland)) \quad (3)$$

式中:*Ecosuit*为研究单元生态环境因素的综合得分。*con*为条件函数符号,式(3)表示如果*Vineyard*或*Farmland*为 0(即研究单元属于优质葡萄园或基本农田),则*Ecosuit*取最小值 1;反之,如果*Vineyard*和*Farmland*均不为 0,则*Ecosuit*等于*River*(距河流距离等级得分)、*Lake*(距湖泊和水库距离等级得分)、*Wetland*(距湿地公园距离等级得分)和*Forest-park*(距森林公园距离等级得分)的最小值。

$$Location\ suit = Natural\ Breaks5(0.4 \times Dis_county + 0.3 \times Dis_town + 0.3 \times Dis_road) \quad (4)$$

式中: *Location suit* 为研究单元空间区位条件的综合得分。式(4)表示用 ArcGIS 平台中的自然断裂点 (*Natural Breaks*) 分类法将 *Dis_county* (距县城中心距离等级得分)、*Dis_town* (距主要道路距离等级得分) 和 *Dis_road* (距乡镇镇区距离等级得分) 的线性加权综合得分分为 5 级, 相应的级别即为 *Location suit* 的取值。上述 3 个要素的权重根据其对于建设用地适宜性的影响程度通过主观赋权获取, 分别赋为 0.4、0.3 和 0.3。

(3) 鉴于灾害风险、地形地貌和生态环境三者之间具有补偿效应, 且不可替代, 以取极小值算法对三者进行综合, 得到限制性因素的适宜性等级。算法表达式为:

$$Limits\ suit = \min(Hazard\ suit, Terrain\ suit, E\ cos\ suit) \quad (5)$$

式中: *Limits suit* 为研究单元限制性因素的综合得分。

(4) 考虑到区位条件是空间引导性因素, 而限制性因素起着空间约束作用, 在坚守人类安全与生态安全底线情况下, 对二者的权衡受决策者偏好或政策导向影响。一个地区在更广阔的国土空间中所承担的主要地域功能不同, 其发展政策导向 (保护和开发) 也不相同, 各地区保护和开发强度因地方的背景环境等而有所差异, 因此在进行适宜性判断时也需要考虑地方国土资源开发的政策导向^[37], 以使设计的评价方法能够适用于不同类型的地域空间, 同时也为比较同一地区不同开发政策导向下的建设用地潜力提供了可能。在既有的相关研究中, 学者们设计的情景有生态保护优先、耕地保护优先、经济发展和生态经济综合效益等^[3,38-39]。鉴于

耕地的粮食生产功能是最主要的生态系统服务功能之一, 而主体功能区划中以保护为导向的限制开发区本身也包括生态涵养区和粮食主产区, 本文将耕地保护视为广义的生态保护, 统筹考虑耕地保护和生态保护, 设计了生态保护 (即最小开发情景)、经济发展 (即最大开发情景) 和生态经济综合效益 (即适度开发情景) 3 种情景进行建设用地适宜性等级的评判, 不同情景下的判断矩阵参考已有相关研究^[9]和知识确定 (表 2)。在最小开发情景下, 玛纳斯县执行最严格的生态保护政策, 限制工业化发展, 以最大程度维护和保障区域生态系统服务供给, 此情景下优先采纳限制性因素的适宜性等级; 在适度开发情景下, 重视生态保护, 同时适当有选择地发展工业, 此情景下兼顾限制性因素和区位因素的适宜性等级; 最大开发情景是指不突破人类安全与生态底线, 最大化地支持工业化和城镇化发展, 此情景下限制性因素适宜性大于 2 时, 优先取区位因素的适宜性等级。

3.3 空间冲突分析方法

根据本文界定的空间冲突内涵, 可通过建设用地分布现状图与适宜性等级分布图的叠置分析, 识别冲突空间, 进而构建空间冲突指数用于评估区域建设空间布局合理性。本文将分布于最不适宜建设区域的建设用地界定为重度冲突空间, 分布于较不适宜建设区域的建设用地界定为轻度冲突空间, 分别以一定区域中各类冲突空间的面积占总建设用地面积的比重来测度该区域空间冲突的强度。相应地, 一定区域总的空间冲突强度以轻度冲突和重度冲突空间面积之和占建设用地面积的比重 *C* 来表征, *C* 的计算方法如式 (6) 所示。

$$C = \sum b_i / B \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

表 2 建设用地适宜性判断矩阵

Tab.2 The judgment matrix of suitability for construction land

区位因素	限制因素														
	最为适宜 5			比较适宜 4			基本适宜 3			较不适宜 2			最不适宜 1		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
最不适宜 1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
较不适宜 2	3	3	3	2	3	3	2	2	3	1	2	2	1	1	1
基本适宜 3	4	4	4	3	4	4	3	3	4	2	2	2	1	1	1
比较适宜 4	5	5	5	4	4	5	3	4	4	2	2	2	1	1	1
最为适宜 5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	2	2	3	1	1	1

注: I 为最小开发情景; II 为适度开发情景; III 表示最大开发情景

式中: b_1 、 b_2 分别为分布在最不适宜和较不适宜建设区域中的建设用地的面积; B 为区域建设用地总面积。

3.4 评价单元的设定

本研究中适宜性评价和空间冲突分析的基本单元为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的栅格。其原因主要有:

(1)适宜性评价的精细化是适宜性研究向纵深发展的必然要求,尤其在中微观尺度适宜性评价中,以网格或地块图斑作为评价单元已经成为了一种趋势^[40]。

(2)从实践需求角度来看,县级行政单元及以下尺度的国土资源管理要求对土地资源做到精确的定量、定序、定位和定性等^[41],这必然要求评价单元的精细化。

(3)在现有计算机技术和设备条件下,高精度大规模的图形计算具有可实现性。因此,本文将所有数据都统一到能获取到的DEM数据的最大精度($30\text{ m}\times 30\text{ m}$)。

4 结果与分析

4.1 建设用地适宜性评价

4.1.1 单因素适宜性评价

按3.2节设计的评价方法,首先对玛纳斯县建设用地的灾害风险适宜性、地形地貌适宜性、生态因子适宜性和区位条件适宜性进行评价。具体评价结果如下:

(1)如图3(a)所示,玛纳斯县土地资源作为建设用地进行开发利用的灾害风险适宜性水平整体较优。除南部山区的清水河乡和塔西河乡土地灾害风险较高、中部河流沿岸地带受洪水风险影响而不适合作为建设用地外,其他区域均适合开发建设。

(2)就地形地貌条件而言(图3(b)),玛纳斯县北部沙漠和南部山区(清水河乡、塔西河乡的南端)适宜性水平较低;中部的玛纳斯镇、包家店镇、广东地乡、兰州湾镇和新湖农场等适宜性水平最高,中北部的148、149、150团场适宜性也属于最高水平;中南部的草原林场、凉州户镇和乐土驿镇属于比较适宜建设区,清水河乡和塔西河乡北部区域大部属于基本适宜建设区。

(3)从生态环境视角来看(图3(c)),中部的凉州户镇、玛纳斯镇、包家店镇、乐土驿镇、广东地乡、

兰州湾镇、六户地镇和北五岔镇因处于中部平原区,分布有大量基本农田、优质葡萄园及湖泊湿地,不宜作为建设用地进行利用;南部山区湿地、湖泊和河流周边也不适宜进行开发建设。

(4)就区位条件而言(图3(d)),中部和中北部的土地因为城镇分布集中、路网密度高且距县城较近,适宜性水平比较高;位于北部和南部的乡镇距离县城较远,难以接受位于县城的公共服务,开发建设适宜性较差。

4.1.2 多因素综合适宜性评价

按照上述方法综合灾害风险、地形地貌和生态因素,得到玛纳斯县土地资源限制性因素的适宜性水平;再利用“限制性-引导性”矩阵(即表2建设用地适宜性判断矩阵)判定玛纳斯县土地资源的综合适宜性水平。

(1)限制性因素适宜性。限制性因素的综合评价结果如图3(e)所示,适宜性水平最高的土地资源主要分布在147、148、149、150团场,新湖农场、北五岔镇及六地户镇南部也有零散分布。适宜性水平最低的区域主要分布在北部的县直属区、清水河乡、塔西河乡南部以及玛纳斯县西部边界一带;此外,中部玛纳斯镇、六地户镇北部、广东地乡、兰州湾镇也有块状分布。清水河乡北部、塔西河乡北部和早卡子滩乡南部大部分土地属于基本适宜建设区,但不宜进行高密度开发。比较适宜建设的土地资源在县域层面上看呈簇状集中分布于中部地区,但从更微观层面上来看则是零散式的块状散布,在玛纳斯镇、凉州户镇、包家店镇和新湖农场等片区,与基本适宜建设空间、不适宜建设空间相间分布。

(2)综合适宜性等级。限制性因素适宜性评价只考虑了灾害、地形与生态要素对适宜性的影响,未考虑土地资源的区位差异。而区位条件对人类社会经济活动的便捷性和经济效率具有重要影响,在不同发展政策导向或价值标准下,生态保护与经济发展之间的相对关系亦有所不同。为考察不同发展政策导向下,玛纳斯县适宜开发建设的土地资源的分布情况,基于情景矩阵拟合限制性因素与区位条件适宜性等级,最终得到3种情境下玛纳斯县土地资源开发建设的综合适宜性水平(图3(f)、(g)、(h))。从空间分布情况来看,不同情景下适宜建设(包括基本适宜、比较适宜和最为适宜)的土地资源分布态势差异不大,最适宜建设空间

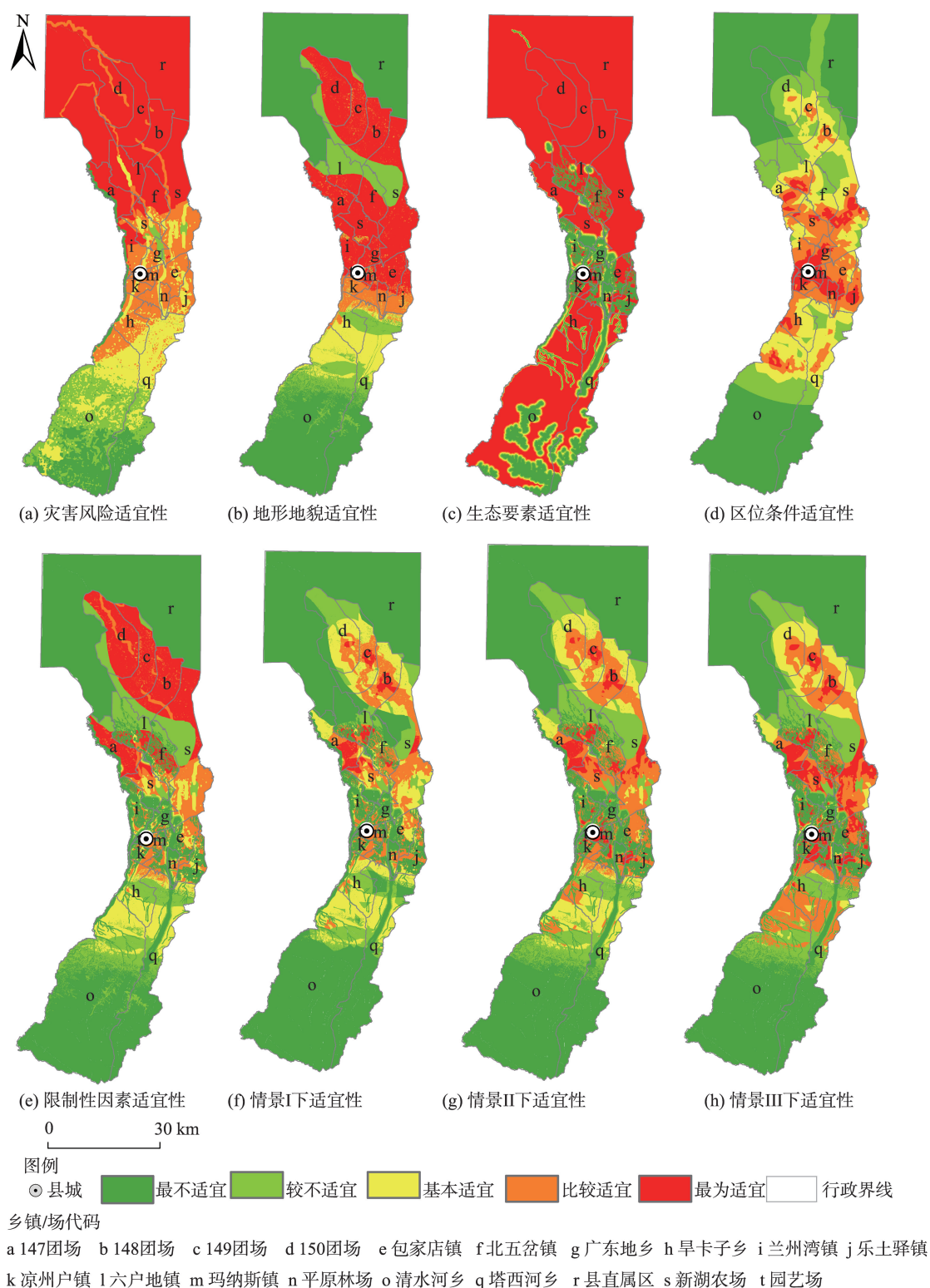


图3 玛纳斯县建设用地适宜性评价结果

Fig.3 Results of evaluation of land suitability for construction in Manasi

主要分布于玛纳斯镇、平原农场、凉州户镇、乐土驿镇、147团场及新潮农场,比较适宜和基本适宜建设的空间围绕着最适宜建设区向外依次延伸分布。在

规模结构方面(表3),3种情景下不适宜建设空间(包括较不适宜和最不适宜)的比重相近。不适宜建设空间中不同等级的规模比重差异较大,最小开

表3 玛纳斯县土地资源开发建设适宜性等级的规模结构

Tab.3 Amount of land with different suitability in Manasi county

情 景	最不适宜	较不适宜	基本适宜	比较适宜	最为适宜
最小开发	面积/km ² 592.17	86.87	118.71	92.03	20.27
比重/(%)	65.07	9.55	13.04	10.11	2.23
适度开发	面积/km ² 537.56	141.48	83.52	113.94	33.55
比重/(%)	59.07	15.55	9.18	12.52	3.69
最大开发	面积/km ² 537.52	129.60	57.45	124.86	60.62
比重/(%)	59.06	14.24	6.31	13.72	6.66

发情景下最不适宜建设土地资源为 592.17 km²(占县域面积的 65.07%),较不适宜建设区域为 86.87 km²(占 13.04%);适度开发和最大开发情景下最不适宜建设空间大体相当,约占县域面积的 59%;较不适宜建设区域略有差异,分别占 15.55%和 14.24%。最适宜建设空间的规模在 3 种情景下差异显著,最小开发情景(20.27 km²)远小于适度开发情景(33.55 km²)和最大开发情景(60.62 km²);比较适宜建设空间在 3 种情景下占县域面积的比重分别

为 10.11%、12.52%、13.72%,差异小于最适宜建设空间。此外,3 种情景下适宜建设的土地资源总面积均大于当前建设用地总量(185 km²),表明玛纳斯县后备建设用地潜力较大。

4.2 空间冲突分析

空间冲突取决于现有建设用地和土地资源开发建设适宜性水平的空间分布。就建设用地的空间分布而言(图 4(a)),玛纳斯县的现状建设用地主要集中在县域中部和中北部,中南部仅有小规模零星分布,总体上呈现“总体零散,小规模集中”的格局。分布相对集中的区域是县城(玛纳斯镇)及距离县城较近的县直属区、兰州湾镇、包家店镇和乐土驿镇,各团场驻地分布较集中。北部各乡镇的建设用地分布则较为零散。此外,玛纳斯县建设用地分布还呈现出一定的带状特征,在县域西部表现出沿玛纳斯河沿岸分布,在东部则沿塔西河一线带状分布。

由于玛纳斯县位于《全国主体功能区规划》中“两横三纵”城市化战略格局中陆桥通道轴的西端,

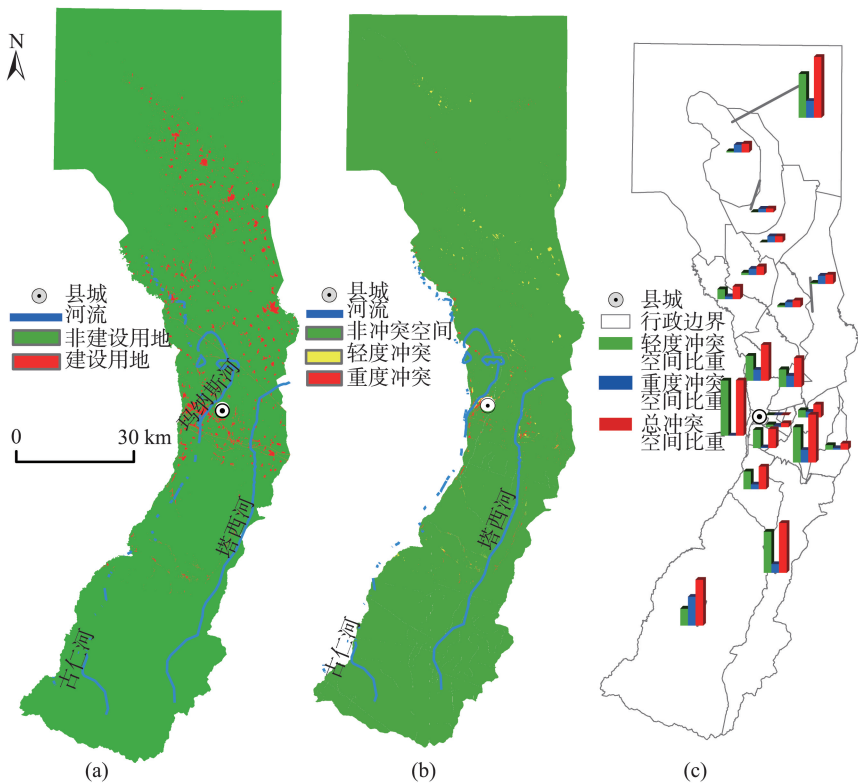


图4 玛纳斯县建设用地与冲突空间

Fig. 4 Distributions of built up area and space with conflict in Manasi county

同时也是天山北部水源涵养区的组成部分,承担着重点发展和生态防护的双重功能。因此,本文参照适度开发情景下的适宜性评价结果,对玛纳斯县空间冲突情况进行分析。结果表明(表4),玛纳斯县分布于不适宜建设空间中的建设用地面积达4.21 km²,占全县建设用地总面积的22.74‰;其中重度冲突空间和轻度冲突空间面积分别为1.98 km²和2.22 km²,所占比重分别达10.72‰和12.01‰。冲突空间的分布情况如图4(b)所示,严重冲突空间沿塔西河和玛纳斯河分布的态势明显(清水河乡达0.21 km²),在中部的平原林场、新湖农场、兰州湾镇、乐土驿镇、旱卡子乡和广东地乡也有零星分布。轻度冲突空间主要位于中部的兰州湾镇(0.46 km²)、县直属区(0.24 km²)、包家店镇(0.15 km²)、广东地乡和平原农场,150团场北部、148团场南部、新湖农场北部和清水河乡北部亦有小规模轻度冲突空间散布。结合玛纳斯城镇化和生态环境的地域差异来看,玛纳斯县冲突空间主要分布于中部工业化、城镇化发展区及北部、南部的生态环境脆弱区。

从冲突空间面积占总建设用地面积比重来看;

重度冲突空间中比重最大的是清水河乡(46.2‰),其次依次为县直属区(27.17‰)、平原林场(19.91‰)、广东地乡(18.06‰)和兰州湾镇(17.48‰),比重最小的是试验站、园艺场、玛纳斯镇、凉州户镇和乐土驿镇(均小于3‰);轻度冲突空间比重较大的分别是园艺场、县直属区、塔西河乡、兰州湾镇、广东地乡和旱卡子乡(都远高于20‰)。从冲突空间面积的总比重来看,园艺场、县直属区、塔西河乡和平原林场居于前列,总面积比重依次达到97.4‰、88.48‰、79.97‰、76.49‰;其次是清水河乡、兰州湾镇、广东地乡和旱卡子乡,空间冲突面积的总比重都达36‰以上;试验站、149团场、玛纳斯镇、148团场、北五岔镇、乐土驿镇、150团场、六地户镇、新湖农场等空间冲突强度较小,均在15‰以内。总体来看,玛纳斯县各乡镇空间冲突强度从南到北呈现“高-低-高-低-高”的变化趋势(图4(c)),南部山区乡镇和沙漠边缘区乡镇空间强度较高,而中南部农牧乡镇和中北部农业主导型乡镇空间冲突强度较低,位于中部高速公路、国道沿线的玛纳斯镇、县直属区和乐土驿镇等因近些年非农人口和

表4 各乡镇冲突空间面积及空间冲突强度
Tab. 4 Area of spatial conflict and spatial conflict intensity

乡镇/团场	建设用地总面积/km ²	重度冲突		轻度冲突		合计	
		面积/km ²	比重/(‰)	面积/km ²	比重/(‰)	面积/km ²	比重/(‰)
园艺场	0.87	0.00	0.21	0.08	88.27	0.08	88.48
县直属	3.37	0.09	27.17	0.24	70.24	0.33	97.40
塔西河乡	1.99	0.03	13.95	0.13	66.02	0.16	79.97
平原林场	2.43	0.05	19.91	0.14	56.58	0.19	76.49
清水河乡	4.54	0.21	46.20	0.12	27.08	0.33	73.28
兰州湾镇	11.42	0.20	17.48	0.46	39.88	0.66	57.36
广东地乡	4.72	0.09	18.06	0.13	28.40	0.22	46.46
旱卡子乡	4.99	0.04	7.83	0.14	28.64	0.18	36.47
凉州户镇	6.57	0.01	1.17	0.19	29.17	0.20	30.33
147团场	11.23	0.05	4.19	0.18	15.67	0.22	19.87
包家店镇	12.79	0.12	9.18	0.15	11.65	0.27	20.84
新湖农场	40.38	0.52	12.94	0.08	1.87	0.60	14.80
六户地镇	7.68	0.08	10.08	0.03	3.69	0.11	13.77
150团场	13.54	0.17	12.25	0.02	1.76	0.19	14.01
乐土驿镇	9.11	0.02	2.55	0.07	7.52	0.09	10.07
北五岔镇	6.13	0.05	8.28	0.02	2.89	0.07	11.17
148团场	17.81	0.17	9.68	0.00	0.00	0.17	9.68
玛纳斯镇	11.50	0.02	2.13	0.05	4.21	0.07	6.34
149团场	13.09	0.07	5.63	0.01	0.43	0.08	6.07
试验站	0.85	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.21
玛纳斯县	185.00	1.98	10.72	2.22	12.01	4.21	22.74

产业增加,建设空间扩张迅速,与中部地区农业生态保育区的空间背景相悖,空间冲突强度也较高。

5 讨论

(1)指标体系与指标等级划分。已有研究中,不同学者构建的指标体系大相径庭,原因之一在于学界对建设用地适宜性内涵的探讨相对不足,指标系统构建缺少理论依据^[20]。本文认为建设用地适宜性评价应当依据土地可持续性利用原则,以人类社会安全、生态环境安全、经济活动高效为判定标准,并综合考虑土地资源属性与人类空间开发利用行为的相互作用关系,从灾害风险、地形地貌、生态因子和空间区位4个方面构建了建设用地适宜性评价指标体系。土地资源的开发建设适宜性由待评单元的灾害风险、地形地貌条件和生态环境因子限制性决定,空间区位条件对限制性因素的适宜性水平具有修正作用。此外,指标分级是适宜性评价中要解决的另一关键问题,并非所有指标都像坡度、基本农田等因子一样,有明确、公认的分类标准。例如,对河流、湖泊、道路和城镇作缓冲分析时,距离参照物多远或多近才适合开发建设,目前尚缺公认的标准和依据。学界在处理这一问题时多是参照已有研究划定,但由于地域差异性的存在,不同地区的经验值能否相互借鉴仍需斟酌。例如,不同等级、不同地区的湖泊、河流生态廊道宽度是不同的,东部和西部地区的城镇、道路的有效服务半径也存在差异。对此,本文考虑到玛纳斯县生态环境脆弱和灾害风险较高,参照东部地区案例研究增加了缓冲半径;对于道路与城镇的服务半径,则参考建设用地与距离城镇、道路的最远距离来划定。尽管如此,依然不可避免地存在一定的主观性。解决这一问题,需要学界加强对不同因素适宜性形成机理的进一步深入研究。

(2)适宜性评价方法的实用性与科学性。适宜性评价方法的科学性直接决定了评价结果的可信度。以往研究中多是利用线性加权综合或非线性加权的方法进行指标拟合,往往忽略了指标间的相互关系,从而导致限制性因素的约束作用被低估^[18];同时也因其过于依赖指标数值的数学分布规律来确定适宜性等级,而难以充分利用已公认的适宜性评判标准。本文在多要素分布式算法的基础上,考虑限制性因素的不可替代性,以极小值算法和条件

函数法拟合限制性指标;进而利用互斥矩阵对限制性因素的适宜性等级和区位条件适宜性等级进行拟合。这在一定程度上弥补了已有方法的不足,同时又因其对逐个因子、逐个维度进行评估而能够为土地利用管理决策提供更丰富的参考信息;情景分析方法的引入则能够使土地资源适宜性评价和地方发展政策导向相结合,提高了适宜性评价的灵活性和实用性。

(3)建设用地适宜性类型划分及其空间管制意义。在以往研究中,适宜性类型划分不一,有三分法、四分法和五分法等^[7-12,21],划分为几种类型主要取决于获取到的数据类型和研究目的。①由于适宜性评价需要用到诸如洪水灾害风险等级之类的二手数据,这些数据的级别划分往往决定了适宜性评价的类型划分;②部分学者试图推动适宜性评价与空间管制政策对接,采纳类似“禁止建设区、限制建设区、有条件建设区、允许建设区”的分类体系。这种多样化的类型划分体系在一定程度上限制了适宜性评价结果的实际应用。原因如下:若简单地按常见的定序程度将适宜性划分为三级或四级,往往难以满足土地管理实践需求。若按土地利用规划中管制分区类型来划分,则忽略了空间管制分区的土地资源规模内涵。因为,空间管制分区中的类型划分不仅考虑了土地资源的属性特征差异,也考虑了一定时段内区域土地利用需求规模而主观划定管制边界,但适宜性评价仅是针对土地资源属性的客观评价。因此,本文从适宜性分类的客观性和人类心理认知规律出发,将适宜性划分为最不适宜、较不适宜、基本适宜、比较适宜和最为适宜5类。空间管制中的禁止建设空间包含最不适宜和部分较不适宜建设区域,限制建设区域则可能是较不适宜和基本适宜建设区,有条件建设区和允许建设区则应优先从最为适宜和比较适宜建设区域中选择。

(4)对空间冲突的讨论。本文尝试扩展适宜性评价结果的应用领域,将适宜性评价用于空间冲突分析中,对研究区建设空间布局现状进行评价。结果表明,研究区空间冲突强度高值区与生态环境脆弱区、工业化城镇化主导发展区具有空间一致性。本文认为玛纳斯县南部和北部空间冲突强度高的原因在于,南部和北部乡镇的建设用地以农村居民点为主,在当前农村住房为自主建房、西北地区干旱缺水的背景下,农户往往为了生活与生产用水方

便而选择在河流附近建设住宅,在一定程度上增大了居民洪水灾害的脆弱性,同时也对生态系统的稳定与安全构成威胁,从而导致空间冲突的产生。另一方面,中部地区集中了玛纳斯县76%以上的人口,是工业化和城镇化发展的重点地区。近年来,大规模的工业园区建设,往往侵占了需保护的生态空间,造成生态安全问题,从而形成空间冲突。这一结果符合目前中国国土空间开发利用的现实规律,即城镇化扩展区和生态环境脆弱区往往是国土资源利用矛盾最易发生的区域。反之,在一定程度上验证了本文适宜性评价方法的有效性。尽管空间冲突分析对于区域土地资源管理与调控具有重要指导意义,但受数据可获性所限,本文未能做进一步的细化研究,如何分别根据建设用地具体类型、适宜性的主要限制因素对空间冲突进行类型划分,从而有针对性提出调控方案,这应当是后续研究继续深化的方向之一。

6 结论

本文基于土地利用可持续性语境探讨了建设用地适宜性的内涵,并据此从“灾害风险、地形地貌、生态环境、区位条件”4个维度构建了建设用地适宜性评价的指标体系;针对已有方法的不足,依据各指标间的数量及空间位置的交叉关系,尝试了一种整合极值法、条件函数、线性加权综合的“多要素分布式—情景矩阵分析”评价方法;进而界定空间冲突并构建空间冲突强度的测度方法,探索适宜性评价在空间冲突分析中的应该价值。以新疆玛纳斯县为研究区,对前述评估框架与方法进行了实例研究。结果表明:

(1)在生态保护、发展—保护均衡及生态底限情景下,玛纳斯县适宜建设空间均占全县总面积的26%左右,建设用地后备潜力较大。在空间上,最适宜和比较适宜建设的土地主要分布于玛纳斯镇、乐土驿镇、147团场、新潮农场及北部几个团场驻地附近,基本适宜建设区域主要分布在比较适宜建设区域外围缓冲空间及中南部的山前平原地带。

(2)玛纳斯县冲突空间总面积达4.21 km²,占全县建设用地总面积的22.74‰;其中重度冲突、轻度冲突空间面积分别为1.98 km²、2.22 km²,占建成区的比重达10.72‰和12.01‰。冲突空间主要分布在河流沿岸和中部工业化城镇的扩展区;南部、北部

的生态脆弱区及中部工业化发展区的乡镇空间冲突强度较高。

与已有研究相比,本文建设用地适宜性评价指标体系和方法的学术思路清晰,更逼近适宜性的本质要义和实践需求;指标体系内涵指向明确,结构清楚,全面却不复杂,能够为后续适宜性评价研究和应用实践提供依据;评价方法简便易行,物理意义明确,且具有较高的灵活性和实用性。总体而言,本文在一定程度上弥补以往建设用地适宜性评价研究的不足,探索了一套更有效更便捷的评估框架与方法,提高了适宜性评价的规范化与科学性。此外,将适宜性评价用于空间冲突分析这一资源环境管理工具中,也扩展了适宜性评价的应用范围,提升了其实践价值。然而,本文仅利用中国西部一个地貌类型较为丰富、城镇化加速发展的县域国土空间对所设计的评价指标体系与方法进行了实例分析,其在其他尺度和地域的有效性还有待进一步验证。

参考文献(References):

- [1] 史同广,郑国强,王智勇.中国土地适宜性评价研究进展[J].地理科学进展,2007,26(2):106-115. [Shi T G, Zheng G Q, Wang Z Y. Progress in research on land suitability evaluation in China[J]. Progress in Geography, 2007,26(2):106-115.]
- [2] 蒙古军.土地评价与管理(第二版)[M].北京:科学出版社,2011. [Meng J J. Land evaluation and management (2nd ed) [M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [3] 尹海伟,孔繁花,罗震东,等.基于潜力—约束模型的冀中南区域建设用地适宜性评价[J].应用生态学报,2013,24(8):2274-2280. [Yin H W, Kong F H, Luo Z D, et al. Suitability assessment of construction land in the central and southern parts of Hebei Province, China based on potential-limitation model [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013,24(8):2274-2280.]
- [4] 黄大全,张文新,梁进社,等.三明市建设用地开发适宜性评价[J].农业工程学报,2008,24(S1):202-208. [Huang D Q, Zhang W X, Liang J S, et al. Suitability evaluation of construction land development in Sanming City of Fujian Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(Sup.1):202-207.]
- [5] Gong J Z, Liu Y S, Chen W L. Land suitability evaluation for development using a matter-element model: A case study in Zengcheng, Guangzhou, China[J]. Land Use Policy, 2012,29(2):464-472.
- [6] 王琳,朱天明,杨桂山,等.基于GIS空间分析的县域建设功能空间分区研究——以江苏省昆山市为例[J].长江流域资源与环境,2010,19(7):725-731. [Wang L, Zhu T

- M, Yang G S, *et al.* Constructive function spatial regionalization based on GIS spatial analysis: a case study of Kunshan in Jiangsu province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010,19(7):725-731.]
- [7] 俞艳,何建华.基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价[J].*农业工程学报*,2008,24(1):124-128. [Yu Y, He J H. Land eco-economical suitability evaluation based on niche fitness[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008,24(1): 124-128.]
- [8] 曲衍波,张凤荣,杜素芹,等.平谷区城镇建设用地生态经济适宜性评价方法[J].*中国土地科学*,2010,24(12):21-27. [Qu Y B, Zhang F R, Du S Q, *et al.* Assessment method for ecological and economic suitability of urban construction land in Pinggu district, Beijing[J]. *China Land Science*, 2010,24(12):21-27.]
- [9] 薛继斌,徐保根,李湛,等.村级土地利用规划中的建设用地适宜性评价研究[J].*中国土地科学*,2011,25(9):16-21. [Xue J B, Xu B G, Li Z, *et al.* Suitability assessment of construction land in land use planning at village level[J]. *China Land Science*, 2011,25(9):16-21.]
- [10] 刘贵利.城乡结合部建设用地适宜性评价初探[J].*地理研究*,2000,19(1):80-84. [Liu G L. The first research on constructive land suitability evaluation in connective location between town and country[J]. *Geographical Research*, 2000,19(1):80-84.]
- [11] 曲衍波,张凤荣,姜广辉,等.基于生态位的农村居民点用地适宜性评价与分区调控[J].*农业工程学报*,2010,26(11):290-296. [Qu Y B, Zhang F R, Jiang G H, *et al.* Suitability evaluation and subarea control and regulation of rural residential land based on niche[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010,26(11):290-296.]
- [12] 王成金,张岸.基于交通优势度的建设用地适宜性评价与实证:以玉树地震灾区为例[J].*资源科学*,2012,34(9):1688-1697. [Wang C J, Zhang A. Evaluation of transport dominance and delimitation of land suitability for construction in the Yushu earthquake region[J]. *Resource Sciences*, 2012,34(9):1688-1697.]
- [13] 刘焱序,彭建,韩忆楠,等.基于OWA的低丘缓坡建设开发适宜性评价:以云南大理白族自治州为例[J].*生态学报*, 2014,34(12):3188-3197. [Liu Y X, Peng J, Han Y N, *et al.* Suitability assessment for building land consolidation on gentle hillside based on OWA operator: a case in Dali Bai Nationality Borough in Yunnan, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014,34(12):3188-3197.]
- [14] 党丽娟,徐勇,汤青,等.广西西江沿岸后备适宜建设用地的潜力及空间分布[J].*自然资源学报*,2014,29(3):387-397. [Dang L J, Xu Y, Tang Q, *et al.* Potential and spatial distribution of suitable construction land along the Xijiang riverside in Guangxi[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014,29(3):387-397.]
- [15] Steiner F, McSherry L, Cohen J. Land suitability analysis for the Upper Gila River Watershed [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2000,50(4):199-214.
- [16] Pourebrahim S, Hadipour M, Mokhtar M B. Integration of spatial suitability analysis for land use planning in coastal areas; case of Kuala Langat District, Selangor, Malaysia[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011,101(1): 84-97.
- [17] 黄晓.北京延庆规划新城工程地质环境与建设适宜性研究[D].北京:中国地质大学,2013. [Huang X. Research on engineering geological environment and Construction suitability of Beijing Yanqing planning new town[D].Beijing: China University of Geosciences, 2013.]
- [18] Zhang X R, Fang C L, Wang Z B, *et al.* Urban construction land suitability evaluation based on improved multi-criteria evaluation based on GIS (MCE- GIS): Case of New Hefei City, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2013,99(23):1-14.
- [19] 彭搏,石黄磊.武汉市工业用地生态适宜性评价[J].*中国土地科学*,2012,26(2):74-78. [Peng B, Shi H L. Ecological suitability assessment on urban industrial land in Wuhan[J]. *China land Sciences*, 2012,26(2):74-78.]
- [20] 喻忠磊,张文新,梁进社,等.国土空间开发建设适宜性评价研究进展[J].*地理科学进展*,2015,34(9):1107-1122. [Yu Z L, Zhang W X, Liang J S, *et al.* Progress in evaluating suitability of spatial development and construction land[J]. *Progress in Geography*, 2015,34(9):1107-1122.]
- [21] 孔雪松,刘耀林,邓宣凯,等.村镇农村居民点用地适宜性评价与整治分区规划[J].*农业工程学报*,2012,28(18): 215-223. [Kong X S, Liu Y L, Deng X K, *et al.* Suitability evaluation and consolidation division of rural residential areas in villages and towns[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012,28(18):215-223.]
- [22] 尹海伟,张琳琳,孔繁花,等.基于层次分析和移动窗口方法的济南市建设用地适宜性评价[J].*资源科学*,2013,35(3):530-535. [Yi H W, Kong F H, Luo Z D, *et al.* Suitability evaluation of of construction land in Jinan city based on AHP and moving window methods[J]. *Resources Science*, 2013,35(3):2530-535.]
- [23] 陈云峰,孙殿义,陆根法.突变级数法在生态适宜度评价中的应用:以镇江新区为例[J].*生态学报*,2006,26(8): 2587-2593. [Chen Y F, Sun D Y, Lu G F. Application of catastrophe progression method in ecological suitability assessment: A case study on Zhenjiang new area [J]. *Acta Ecologica Sinica*,2006,26(8):2587-2593.]
- [24] 於家.基于人工智能的土地利用适宜性评价模型研究与实现[D].上海:华东师范大学,2010. [Yu J. Use suitability assessment model based on artificial intelligence and its implementation [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.]

- [25] Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview[J]. *Progress in Planning*, 2004,62(1):3-65.
- [26] 何英彬,陈佑启,杨鹏,等.国外基于GIS土地适宜性评价研究进展及展望[J].*地理科学进展*,2009,28(6):898-904. [He Y B, Chen Y Q, Yang P, *et al.* An overview and perspective of alien land suitability evaluation study based on GIS technology[J]. *Progress in Geography*, 2009,28(6): 898-904.]
- [27] 董家华,包存宽,黄鹤,等.土地生态适宜性分析在城市规划环境影响评价中的应用[J].*长江流域资源与环境*, 2006,15(6):698-702. [Dong J H, Bao C K, Hang H, *et al.* Application of ecological suitability analysis of land in the environmental impact assessment during urban planning[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006,15(6):698-702.]
- [28] 王玉国,尹小玲,李贵才.基于土地生态适宜性评价的城市空间增长边界划定:以深汕特别合作区为例[J].*城市发展研究*,2012,19(1):76-82. [Wang Y G, Yin X L, Li G C. Delimitation of urban growth boundary based on land ecological suitability evaluation: a case of Shenshan Special Corporation Zone[J]. *Urban Studies*, 2012,19(1):76-82.]
- [29] Bojórquez-Tapia L A, Ongay-Delhumeau E, Ezcurra E. Multivariate Approach for Suitability Assessment and Environmental Conflict Resolution[J]. *Journal of Environmental Management*, 1994,41(3):187-198.
- [30] H. Carr M, Zwick P. Using GIS suitability analysis to identify potential future land use conflicts in North Central Florida[J]. *Journal of Conservation Planning*, 2005,1 (1):58-93.
- [31] 彭佳捷,周国华,唐承丽,等.基于生态安全的快速城市化地区空间冲突测度:以长株潭城市群为例[J].*自然资源学报*, 2012,27(9):1507-1519. [Peng J J, Zhou G H, Tang C L, *et al.* The analysis of spatial conflict measurement in fast urbanization region based on ecological security: a case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012,27(9): 1507-1519.]
- [32] 何春阳,贾克敬,徐小黎,等.基于GIS空间分析技术的城乡建设用地扩展边界规划方法研究[J].*中国土地科学*, 2010,24(3):12-18. [He C Y, Jia K J, Xu X L, *et al.* Planning method for defining the boundary of the urban and rural construction land expansion based on spatial analysis technology of GIS[J]. *China Land Science*, 2010,24 (3):12-18.]
- [33] 蔡运龙,李军.土地利用可持续性的度量:一种显示过程的综合方法[J].*地理学报*,2003,58(2):305-313. [Cai Y L, Li J. Measurement of land use sustainability: a comprehensive method representing processes[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003,58(2):305-313.]
- [34] 戴尔阜,吴绍洪.土地持续利用研究进展[J].*地理科学进展*,2004,23(1):79-88. [Dai E F, Wu S H. Sustainable land use: literature review and research progress[J]. *Progress in Geography*, 2004,23(1):79-88.]
- [35] 樊杰.主体功能区战略与优化国土空间开发格局[J].*中国科学院院刊*, 2013,28(2):193-206. [Fan J. The strategy of major function oriented zoning and the optimization of territorial development patterns[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2013,28(2):193-206.]
- [36] 樊杰.国家汶川地震灾后重建规划:资源环境承载能力评价[M].北京:科学出版社,2009. [Fan J. Planning for post Wenchuan earthquake reconstruction: Evaluation of the resources and environment carrying capacity [M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [37] 冯淑怡,王博,姜海,等.基于主体功能区规划的区域土地利用情景分析框架:以贵州省毕节市为例[J].*南京农业大学学报(社会科学版)*,2015,15(3):84-92. [Feng S Y, Wang B, Jiang H, *et al.* Framework of regional land use scenario analysis based on main function zones planning: taking Bijie City of Guizhou province as a case[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2015,15(3):84-92.]
- [38] 孙丕苓,杨海娟.商洛市土地利用结构优化的情景分析[J].*水土保持通报*,2012,32(2):200-205. [Sun P L, Yang H J. Land use structure optimization in Shangluo city of Shaanxi province: scenario analysis[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012,32(2):200-205.]
- [39] 邓祥征,刘纪远,战金艳,等.区域土地利用变化的多情景分析:以内蒙古自治区太仆寺旗为例[J].*地球信息科学*, 2004,6(1):81-88. [Deng X Z, Liu J Y, Zhan J Y, *et al.* Scenarios analyses on the spatio-temporal patterns of land use change: a case study in Tapis county of Inner Mongolia[J]. *Geo-information Science*, 2004,6(1):81-88.]
- [40] 樊杰.西江经济带(广西段)可持续发展研究:功能、过程与格局(上册)[M].北京:科学出版社,2011. [Fan J. Research on the sustainable development of the West River Economic Zone (Guangxi section) - function, process and pattern (up) [M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [41] 王万茂.定性、定量、定位、定序:关于乡镇土地利用规划思路的新思考[J].*中国土地*,2002(6):21-23. [Wang W M. New method of land use planning in towns: qualitative, quantitative, location, sequencing[J]. *China Land Science*, 2002,6:21-23.]