引文格式：刘师旖,李益敏,李盈盈,等. 中越边境防控设防区部署研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(9): 107-110. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.09.026

中越边境防控设防区部署研究

——以红河州为例

刘师旖[1,2]，李益敏[1,3*]，李盈盈[1,4]，吴博闻[1]，邓选伦[1]

（1. 云南大学 地球科学学院，云南 昆明 650500；2. 海南省核工业地质大队，海南 海口 571100；
3. 云南省高校国产高分卫星遥感地质工程研究中心，云南 昆明 650500；4. 济宁市任城区自然资源局，山东 济宁 272000）

摘　要：运用GIS技术，以云南省红河州段中越边境地区为研究区，从地理学视角出发考虑国内外环境，分别构建了红河州中越边境设防区部署评价指标体系和境外偷渡风险评价体系，并综合分析了边境设防区的部署情况。结果表明，红河州边境线上的设防区主要分布在红河和李仙江附近，设防区内可设立65个观察点；综合国内外地理环境和重点部署边境线区域分布，部署重要程度按县域由高到低为金平县、绿春县、河口县。

关键词：边境地区；AHP；熵值法；GIS；红河州

中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）09-0107-04

Research on the Deployment of Defense Zones for Prevention and Control on the Sino-Vietnamese Border : A Case Study of Honghe Prefecture

LIU Shiyi[1,2], LI Yimin[1,3], LI Yingying[1,4], WU Bowen[1], DENG Xuanlun[1]

(1. School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, China;
2. Nuclear Industry Geological Brigade of Hainan Province, Haikou 571100, China;
3. Research Center of Domestic High-resolutellite Satellite Remote Sensing Geological Engineering, Kunming 650500, China;
4. Jining Rencheng District Natural Resources Bureau, Jining 272000, China)

Abstract: In this paper, using GIS technology, starting from the perspective of geography, taking the Sino-Vietnamese border area in the Honghe Prefecture section of Yunnan Province as the study area, considering the domestic and foreign environment, we constructed an evaluation index system of the deployment of prevention and control defense zones on the Sino-Vietnamese border and a risk evaluation system of smuggling abroad respectively, and comprehensively analyzed the deployment of epidemic prevention and control defense zones in the border. The results show that the defense zones on the border of Honghe Prefecture are mainly located near the Honghe and Lixian River. 65 observation points can be established in the defense zones. Considering domestic and foreign geographical environment and regional distribution of key deployment border lines, the deployment importance from high to low by county is Jinping County, Lyuchun County and Hekou County.

Key words: border area, AHP, entropy method, GIS, Honghe Prefecture

云南省毗邻越南、老挝和缅甸，包括25个边境县，边境线长达4 060 km，是我国边境线最长的省份。云南省边境地区地势复杂多样，陆界水界交错，陆界山高林密、沟壑纵横，边民跨境而居、同宗同源，来往频繁；水界仅一河之隔，非常便于偷渡。边境地区作为传染病跨境传播的中间地域，是阻断传染病跨境传播的重要前沿阵地[1]。自20世纪50年代以来，云南省边境地区曾发生多次境外传输导致本地爆发传染病的事件[2-3]。新型冠状肺炎（新冠肺炎）爆发后迅速在全球蔓延，对全球经济和人民生命安全造成严重影响，我国短期内有效控制了国内疫情，但新冠肺炎传染性极高，境外疫情输入是2020—2022年威胁国内安全的重要因素。“外防输入、内防反弹”成为中国打赢疫情防控阻击战的关键因素，因此云南省边境地区的防控形势十分严峻。云南省关闭边境地区口岸、通道，有效阻止了境外人员通过口岸入境输入病毒；但由于地形复杂，疫情防控难度大，瑞丽市2020年9月和2021年3月、7月3次因缅甸籍人员偷渡入境造成疫情本地化，因此防止人员非法偷渡入境成为疫情管控的重点、难点，反偷渡全力部署边境一线疫情防控网

收稿日期：2022-01-25；修回日期：2022-04-15。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41161070）；中国地质调查局地质调查资助项目（DD20190545）；云南省科技厅—云南大学联合基金重点资助项目（2019FY003017）。
第一作者简介：刘师旖（1997—），硕士研究生，主要从事3S技术在山地资源环境中的应用研究工作，E-mail：liusy@mail.ynu.edu.cn。
通信作者：李益敏（1965—），研究员，主要从事3S技术在山地资源环境中的应用研究工作，E-mail：648119611@qq.com。

是保障安全的关键。云南省中越边境线长1 353 km，防控难度大。对于边境防控，学者们以定性研究为主，定量研究较少[4-6]。本文运用GIS技术，以云南省红河州段中越边境地区为研究区，从地理学视角综合考虑边境地区自然、人为因素，开展边境地区疫情防控部署研究，分别构建了红河州边境设防区部署评价指标体系和境外偷渡风险评价体系；并运用AHP—熵值法组合赋权法选取指标权重，再利用优化矩阵耦合两个体系结果，分析得到主要防控带，以期为边境巡防部署提供科学依据，对维护边境安全、提高管控效果具有重要意义。

1 研究区概况

研究区位于云南省红河哈尼族彝族自治州（简称红河州）南部地区（图1），中越交接处；面积为9 513.02 km²，国内面积为6 240 km²，国外面积为3 273.02 km²，包含红河州全部边境线范围；地势西高东低，为哀牢山余脉；区内水系属于红河流域，包括红河、金水河和李仙江；红河是金平县和河口县的县界，也是中越边境的界河。红河州与越南有2省1市6县接壤，边境线长848 km（水界500.80 km、陆界347.20 km）。该区域为综合交通枢纽，共设有河口（中）–老街（越）口岸和金水河（中）–马鹿塘（越）口岸两个国家级一类口岸，交通位置十分重要。



图1 研究区区位图（审图号：GS(2023)1979）

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文采用的数据为：数字高程模型来源于地理空间数据云（http://www.gscloud.cn）ASTER GDEM V2，空间分辨率为30 m；植被覆盖度数据来源于MODIS的MOD13Q1数据产品（https://lpdaac.usgs.gov）；警察局POI和交通数据来源于Open Street Map Data（https://www.openstreetmap.org/）；夜光数据来源于珞珈一号遥感影像（http://59.175.109.173:8888//index.html），空间分辨率为130 m；⑤国界数据来源于国家地球系统科学数据中心（http://www.geodata.cn）。本文将所有数据的空间分辨率统一为30 m×30 m，坐标系统一为WGS1984 UTM 47N。

2.2 研究方法

1）评价指标标准化处理。由于评价指标量纲不统一、不具可比性，因此综合评价前需对各指标进行标准化处理[7]。正向、负向指标的表达式分别为：

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min\{x_{ij},\cdots,x_{nj}\}}{\max\{x_{1j},\cdots,x_{nj}\}-\min\{x_{ij},\cdots,x_{nj}\}}$$

$$x'_{ij}=\frac{\max\{x_{1j},\cdots,x_{nj}\}-x_{ij}}{\max\{x_{1j},\cdots,x_{nj}\}-\min\{x_{ij},\cdots,x_{nj}\}}$$

式中，x_{ij}为第i个样本点第j项指标的数值，$i=1,2,\cdots,n$，$j=1,2,\cdots,m$。

2）评价指标权重计算。AHP方法属于主观赋权法，适用于存在不确定性和主观信息的情况，衡量指标的相对重要性[8-9]；熵值法属于客观赋权法，仅依赖数据本身的离散性，根据数据自身特点进行赋值，较客观地进行评价[10-11]，二者可优势互补。本文将主客观方法相结合，选取偏好系数u=0.5，得到指标的综合权重。评价模型的计算公式为：

$$S_i=\sum_{i=1}^{n}W_i\times p_i$$

式中，S_i为目标层的指标值；W_i为各指标层的权重；p_i为指标层的评价因子；n为因子个数。

2.3 评价指标选取与分析

红河州边境地区设防区部署应考虑当地的地理环境、人类活动范围、边境基础设施以及境外人员进入我国的方式。参考前人相关研究[12-13]，本文选取海拔、坡度、NDVI、公路密度、人口密度、距口岸距离、距警察局距离和距水系距离8个指标构建红河州边境设防区部署指标体系。由于人类活动不是偷渡的绝对影响因素，因此境外偷渡风险评价体系主要考虑境外自然因素，选取海拔、坡度、NDVI和距水系距离4个指标。两个评价体系均采用AHP—熵值法组合赋值法确定各指标权重，再通过ArcGIS叠加分析实现对红河州边境设防区的部署和境外偷渡风险的评价。

1）红河州边境地区设防区部署指标量化。海拔较低、坡度平缓的区域便于境外人员进入我国境内；而坡度较大、地形陡峭，境外人员所耗费的时间和体力会相应增加，因此不会作为路线首选。NDVI高值区有利于躲藏，该区域应作为边境巡逻重点。公路稀疏区域的车辆流动少、人流少，不易被发现。口岸和警察局对境外人员非法入境具有威慑作用，距离越远越利于偷渡。红河水系四通八达，流经地带多为河谷，河谷流速相对平缓，境外人员可通过水路进入我国，省时省力且便于隐藏。综上所述，在设防区部署评价指标体系中，海拔、坡度、公路密度、人口密度、距水系距离为负向指标，NDVI、距口岸距离和距

警察局距离为正向指标。

2）境外偷渡风险评价指标量化。边境人员非法入境不仅要考虑国内边境线周围的情况，还应考虑境外情况。境外偷渡风险评价的研究区是以红河州地区边境线为基础，向境外延伸 20 km 的范围。海拔越低、坡度越平缓越有利于境外人员偷渡。NDVI越高越有利于境外人员躲藏。红河边境线水界比陆界长，水系发达，支流众多，境外人员易从小河非法入境，即距水系距离越近偷渡风险越大。综上所述，在境外偷渡风险评价体系中，海拔、坡度和距水系距离为负向指标，NDVI为正向指标。

2.4　评价指标因子权重

结合研究区地理环境条件，综合考虑境外人员非法入境的方式，本文分别建立红河州边境地区设防区部署指标体系和境外偷渡风险评价体系（表1、2）。

表1　红河州边境设防区部署评价指标体系

评价指标	指标性质	熵值法权重	AHP权重	综合权重
海拔	–	0.172 6	0.049 0	0.110 8
坡度	–	0.050 6	0.047 4	0.049 0
NDVI	+	0.020 2	0.082 7	0.051 45
公路密度	–	0.030 9	0.027 6	0.029 25
人口密度	–	0.000 0	0.028 8	0.014 4
距口岸距离	+	0.266 8	0.309 4	0.288 1
距警察局距离	+	0.425 1	0.312 5	0.368 8
距水系距离	–	0.033 7	0.142 6	0.088 15

表2　境外偷渡风险评价体系

评价指标	指标性质	熵值法权重	AHP权重	综合权重
海拔	–	0.526 7	0.075 3	0.301 0
坡度	–	0.131 0	0.120 4	0.125 7
NDVI	+	0.210 8	0.491 1	0.350 95
距水系距离	–	0.131 5	0.313 2	0.222 35

2.5　优化矩阵

为综合考虑国内外边境情况，本文通过优化矩阵（表3）耦合边境线境内外的评价结果，以实现边境地区设防区部署综合评价，等级越高表明越适合部署设防区、偷渡风险越高。

表3　优化矩阵

		边境地区设防区部署评价			
		四级	三级	二级	一级
境外偷渡风险评价	四级	4	4	3	2
	三级	4	3	2	2
	二级	4	3	2	1
	一级	3	2	1	1

3　研究结果与分析

3.1　设防带部署分析

按照上述部署要求，基于GIS的栅格计算器对各指标的栅格图层进行加权叠加，得到边境设防区部署和偷渡风险结果；再根据自然断点分级法得到设防区部署和偷渡风险等级分布图，分别分为一级~四级设防和一级~四级风险（图2）。在设防区部署评价中，一级设防是最适合部署的区域。设防区部署的评价结果主要受边境基础设施（口岸、警察局）的影响，一、二级设防均远离边境基础设施，大多分布于金平县和绿春县。在偷渡风险评价中，一级风险是境外人员入境风险最大的区域；一、二级风险集中分布于河口县对应的境外区域。

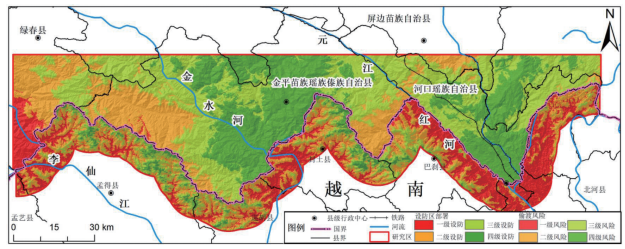


图2　设防部署和偷渡风险等级分布图（审图号：GS(2023)1979）

边境地区设防区部署和境外偷渡风险评价通过优化矩阵进行耦合，得到边境地区设防区部署综合评价结果和重点部署边境线位置（图3）。由于边境军民人数有限，本文将综合评价结果一、二级所处的边境线区域作为重点部署区域（境外人员非法入境风险最高的地区），进行严格全段管控，派边境军民 24 h 驻守；其他边境地区可作为边境巡逻的必经路线，安排少数人员进行不定时巡逻。中越边境在红河段是以河为界，水路贸易发达，在陆路进行防控的同时也应注意通过水路运输非法偷渡的情况。如图3所示，重点部署区域主要分布在红河和李仙江附近。按县域分析，河口县和绿春县重点部署区域均为连续区域，河口县重点部署区域主要集中在红河段，陆界少有涉及；绿春县重点部署区域有李仙江流经，当地未设置口岸，仅有边境通道；金平县重点部署区域分布零散，均远离金河镇和金水河镇，且金水河段无重点部署区域分布。相较于金平县防控难度，河口县和绿春县所需人力物力较少。根据重点部署边境线区域空间分布和长度，部署重要程度依次为金平县>绿春县>河口县。

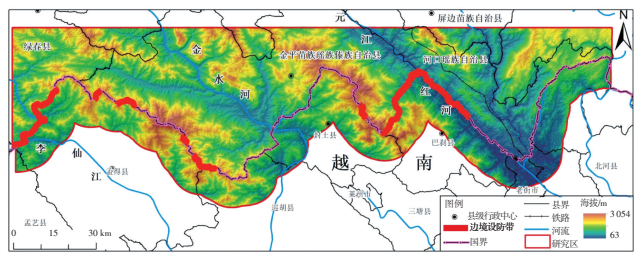


图3　重点部署边境线分布图（审图号：GS(2023)1979）

3.2 设防区内观察点选取

通过综合评价得到的重点部署边境线可在每块区域附近设立观察点，方便守边人员观察周围情况。运用ArcGIS软件的缓冲区功能，基于重点部署区域向我国境内划分出一个直径为2 km的设防区，对边境地区进行管控。因地形不同，各设防带观察点的设立也不尽相同。为尽可能观测到边境线全部范围，结合DEM对设防区进行观察点选取并进行可视域分析（图4）。结果显示，在设防区内共获得65个观察点，观察点的可视域范围可覆盖设防区内的边境线。研究区平均海拔由东向西增高，低海拔设防区选取的观察点基本能覆盖所在区域；但高海拔设防区选取的观察点受地形起伏影响，其可视域范围相对较小，在实际建设可中通过增加观察点数目或实际高度来实现可视范围的最大化。

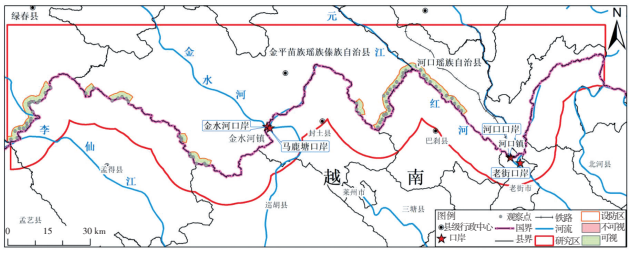


图4 观察点可视域分析（审图号：GS(2023)1979）

本文选取其中一个观察点作为案例点进行详细介绍（图5），案例观察点位于绿春县境内，海拔为4 284 m，邻近李仙江，河道呈Y字形、三面环山，地形起伏较大，观察点至河道平面距离为798.03 m，直线距离为1 183.55 m。图5中红线上部位于越南，下部为我国境内，对比观察点左右侧发现，观察点左侧河道上河漫滩突显，李仙江该段河道流速较慢，边境线两侧树林密集，附近无村落分布，人烟稀少，非法人员易在此处进行偷渡活动，观察点设立于境内地势较高点位，建立简易哨塔，可将境外人员活动和山势情况探查清楚。

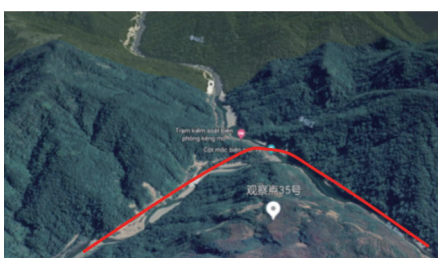


图5 案例观察点

4 结 语

本文以中越边境红河州段地区为研究区，构建了红河州边境设防区部署指标体系和境外偷渡风险评价指标体系，运用AHP—熵值法组合赋值法确定各指标权重，再利用优化矩阵耦合两个评价结果，对边境设防区部署进行综合评价。结果表明，红河州边境线上的设防区主要分布在红河和李仙江附近，设防区内可设立65个观察点。综合国内外地理环境和重点部署区域分布和长度，部署重要程度按县域依次为金平县>绿春县>河口县。本文从地理学视角出发对边境地区设防区部署进行了研究，可为打击偷渡、走私等非法活动提供参考。虽然本文在评价方法上采用主客观相结合的权重赋值法，但在评价指标选取上存在主观意识，将降低结果的可靠程度。后续研究中将对评价指标体系进行完善，提出更适合红河州边境地区设防区部署的评价指标体系和更准确的边境安全维护措施。

参考文献

[1] 赵烨,孙晋渊,杨玲,等. 我国西北及东北边境地区新型冠状病毒肺炎疫情流行特征分析[J]. 疾病监测,2020,35(9):798-802

[2] 卢冉,尹洁,林燕,等. 2013-2017年云南省边境地区输入性传染病流行病学特征分析[J]. 现代预防医学,2018,45(14):2 505-2 509

[3] Zhang Q, Sun J, Zhang Z, et al. Risk Assessment of Malaria in Land Border Regions of China in the Context of Malaria Elimination[J]. Malaria Journal,2016,15(1):1-9

[4] 李子元,唐超. 出入境安全风险整体防控机制研究[J]. 中国公共安全(学术版),2018(4):30-34

[5] 丁忠毅. 中国陆地边境公共卫生安全治理研究[J]. 社会科学战线,2020(12):182-194

[6] 朱晓,张保平. 西南边境地区涉恐偷渡活动原因及对策研究[J]. 广西警察学院学报,2017,30(1):94-97

[7] 叶辉,王金亮,赵娟娟. 基于DPSIR-EES模型的北回归线(云南段)生态安全评价[J]. 水土保持研究,2021,28(3):291-298

[8] 何静,李展,刘强,等. 基于AHP的贵州省自然生态评价系统设计与开发[J]. 地理空间信息,2021,19(5):108-110

[9] 黄诚,葛星,平其俊,等. 基于AHP方法的抚河流域水资源空间量化与评价[J]. 地理空间信息,2020,18(11):56-59

[10] 刘云菲,李红梅,马宏阳. 中国农垦农业现代化水平评价研究:基于熵值法与TOPSIS方法[J]. 农业经济问题,2021(2):107-116

[11] 朱军,李益敏,余艳红. 基于GIS的高原湖泊流域生态安全格局构建及优化研究:以星云湖流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(8):1 237-1 250

[12] 李益敏,袁静,赵志芳. 基于GIS的中缅边境地区突发事件防控研究[J]. 云南地理环境研究,2020,32(3):1-7

[13] Kabak M, Zceylan E, Erba M, et al. A Multi-criteria Spatial Analysis Using GIS to Evaluate Potential Sites for a New Border Gate on Turkey's Syria Frontier[J]. European Journal of Industrial Engineering,2020,14(3):265