

线状自然灾害风险地图的自动综合 ——以铁路承灾体为例

潘东华^{1,2} 王静爱^{2,3} 贾慧聪⁴

(1 民政部国家减灾中心,北京市广百东路 6 号,100124)
(2 北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京市新街口外大街 19 号,100875)
(3 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室,北京市新街口外大街 19 号,100875)
(4 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室,北京市大屯路甲 20 号北,100101)

摘要:在地理学与地图学的基础上,从灾害系统的角度,探讨了图层约束(LC)和道格拉斯-普克(DP)相结合的线状地图自动综合问题。以铁路线为例,构建了基于地震长期烈度区划、滑坡危险性、泥石流灾害活动程度、多年平均最大积雪深度、水灾频次、沙尘暴年最大日数和湖泊分布等图层信息的约束源数据库,结合铁路密度与综合致灾强度风险矩阵,实现了分区、分段铁路承灾体的自动综合,揭示了多尺度下铁路密度分布的区域规律。

关键词:制图综合;图层约束;自然灾害风险地图;线状
中图法分类号:P283.1; P283.7

我国地域辽阔,灾害类型多、区域差异大,因此,绘制不同区域尺度高质量的自然灾害风险图对灾害易发区的损失评估、防灾减灾决策支持等具有重要作用。制图综合是地图在变换比例尺的过程中,为了保持地图内容详细性与表达清晰性的对立统一、几何精确性与地理适应性的对立统一,把空间信息中主要的、本质的数据提取后联系在一起形成的新的概念^[1]。目前,针对线状要素的综合算法主要有 nth 点算法、道格拉斯-普克算法、垂距离算法、角度算法等,近年来,人工智能、地图曲线步行法、分形理论分析法^[2]等方法也有较多应用。很多学者对这些线的简化算法进行比较,并提出了新的改进方法,或说明某一算法的适用范围^[3]。但是,综合考虑孕灾环境和特定承灾体而进行的线状地图制图综合研究还较少^[4-5]。本文从灾害系统的角度出发,根据图层约束理论探讨了我国铁路承灾体灾害风险制图中的自动综合问题。

1 理论与方法

以往的自然灾害风险地图研究,主要集中在致灾

因子危险性方面,或者是直接对风险结果作地图图形方面的自动综合。因此,当前自然灾害风险地图的自动综合,既缺乏较完备的理论支撑,又缺少反映灾害发生过程的自动综合方法。本文从“地理学-地图学-灾害学”三维角度构建了自然灾害风险制图自动综合的图层约束(LC)理论,提出在自动综合过程中从灾害系统的角度出发,找出自然灾害发生、发展过程中的关键图层作为尺度约束。约束图层的选择,一方面要切实反映铁路沿线灾害的形成机理;另一方面要依据图层属性在灾害系统中的作用,厘定各图层在灾害发生中的约束阈值,通过调节不同阶段、不同层次的图层约束域来实现自动综合。在地学理论的基础上,构建充分体现灾害系统的语义约束、孕灾环境的结构约束、致灾因子的阈值约束、承灾体的空间约束、灾情表征的视觉约束的理论构架。

道格拉斯算法被公认为线状要素化简的经典算法^[6],同时,与 LC 相结合的模型使其从单一的图形综合算法转变为有地学基础理论支撑的系统化的自动综合模型与算法。线状自然灾害风险地图自动综合是以地学理论为基础,通过控制,依托 DP 算法实现的一种自动综合方法体系。

2 以铁路承灾体为应用实例

铁路承灾体自动综合的基本原则是“因线制宜”,即在分析其与周边孕灾环境、致灾因子关系特征的基础上对铁路线进行分类与分段综合,以便选用不同的方法和参数。LC-DP 自动综合模型主要由 3 个步骤构成。

2.1 构建综合致灾强度指数

本文主要选取了地震长期烈度区划(H_1)、滑

坡危险性(H_2)、泥石流灾害活动程度(H_3)、多年平均最大积雪深度(H_4)、水灾频次(H_5)、沙尘暴年最大日数(H_6)作为我国铁路沿线的主要灾害类型。其中,由于地震灾害对铁路的影响相对较大,本文将 H_1 作为强致灾因子(E),并且重点研究铁路沿线的高风险区,所以选择了 6 个约束图层的最高两级(5、6 级)参与铁路综合致灾强度指数的构建,着重阐述重点区域铁路灾害风险的大小(见表 1)。

表 1 约束图层的阈值区间
Tab. 1 Range of Threshold of Constraint Layers

灾害	级别					
	1	2	3	4	5	6
H_1	$\leq V$	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	$\geq X$
H_2		低	较低	中等	较高	高
H_3		无活动	弱活动	中等活动	强烈活动	极强活动
H_4	≤ 20	20~30	30~50	50~100	100~200	≥ 300
H_5	≤ 0.01	0.01~0.03	0.03~0.07	0.07~0.15	0.15~0.25	0.25
H_6	≤ 1	1~5	5~15	15~30	30~40	40~50

在构建综合致灾指数时,假定 H_1 的高风险级别用“E”来表示,其他致灾因子($H_2 \sim H_6$)对应的风险级别用“+”来表示,并且假设 $H_2 \sim H_6$ 同等重要。通过 GIS 空间数据分析,可以计算出每个区域斑块内的致灾因子组合类型,并且可以用相应组合代码来表示。例如,灾害组合类型为 $H_1 H_2 H_5$,则其组合代码为“E++”;组合类型为 $H_6 H_2 H_5$,则其代码为“+++”。由此得到全国每个网格内的灾害组合类型(见图 1),以此来代表铁路沿线的综合致灾指数,并将有无地震灾害(E)作为两个尺度来评价。

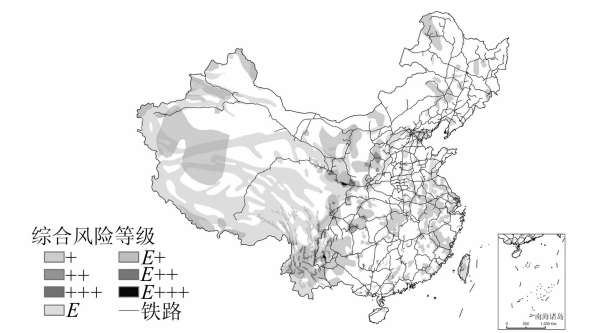


图 1 中国铁路承灾体综合致灾指数分布
Fig. 1 Integrated Hazard Index Distribution of China Railway

2.2 建立分区、分段综合模式

“分区”主要是指高低风险区的划分,可以通过综合致灾指数来反映。随着比例尺的缩小,图形简化,地图信息负载相对减少。在这种情况下,

需要优先关注高风险区。依据我国铁路综合致灾指数的空间分布,将全国分为两个尺度:低风险区(+, ++, +++)和高风险区(E , $E+$, $E++$, $E+++$)。“分段”原则,即有风险区的铁路不宜被综合,应保留细节表达;无风险区的铁路可以被综合,压缩信息,做到“按需综合”。结合铁路致灾指数的空间分布,可以将全国的铁路分为:有风险段→保留细节,无风险段→自动综合。另外,为了保持综合结果在空间拓扑上的正确性,采用湖泊作为特殊约束层进行空间拓扑约束,即综合后的铁路与周边的湖泊仍要保持拓扑关系的相对一致性。比如,当铁路网中某些连接点被删除时,可能会导致出现综合后的铁路穿越湖泊的现象,因此,以湖泊作为拓扑约束图层,让湖区一定范围内的铁路不参与综合,自动分离,从而保持铁路与湖泊相对位置的正确性。

2.3 求算多尺度铁路网密度

灾害风险是针对承灾体而言的,只有当承灾体暴露于一定强度的致灾因子下时,灾害才会发生,同时,承灾体自身的脆弱性也决定了风险的大小。本文通过构建不同搜索半径(R)来求取每一个网格的密度。采用 Kernel 计算结果分布较平滑,本文运用 Kernel 方法分别计算了搜索半径 $R=100$ 、200、300、400 km 时的全国区域铁路网密度,结果如图 2~5 所示。通过不同尺度的密度制图,可以看出我国铁路网密度区域差异较大;高密度区主要集中在经济较发达的东中部地区,以北

京为中心,成放射状分布;同时,我国铁路网在空间上存在点-轴分布的趋势,即主要中心城市和主

要干线相互连接,共同构成了我国的基本铁路网骨架。

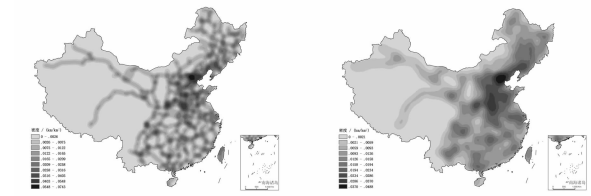


图 2 中国铁路密度分布($R=100\text{ km}$)
Fig. 2 Density of Railway in China($R=100\text{ km}$)

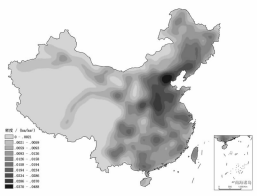


图 3 中国铁路密度分布($R=200\text{ km}$)
Fig. 3 Density of Railway in China($R=200\text{ km}$)

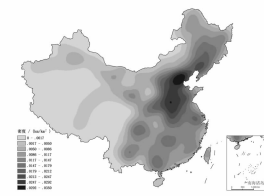


图 4 中国铁路密度分布($R=300\text{ km}$)
Fig. 4 Density of Railway in China($R=300\text{ km}$)

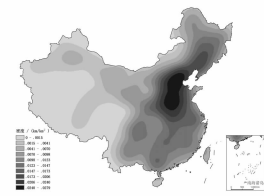


图 5 中国铁路密度分布($R=400\text{ km}$)
Fig. 5 Density of Railway in China($R=400\text{ km}$)

3 结果分析

通过 LC-DP 自动综合模型对铁路承灾体进行了分区、分段的综合,从综合结果(图 6~9)可以看出,我国铁路承灾体的灾害风险与我国自然灾害时空格局有着密切的联系,区域差异明

显。结合铁路网密度($R=200、300\text{ km}$)与综合致灾指数的风险矩阵可以看出,我国铁路沿线自然灾害主要存在 4 个相对高风险区,即华北地区、西南地区、西北-青藏地区和长江中下游地区;从铁路网的整体性角度考虑,华北地区的风险较高,其次是西南和长江中下游地区,西北地区风险相对较低。

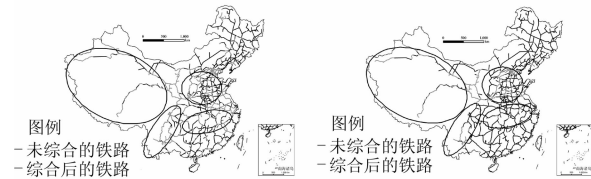


图 6 铁路承灾体自动综合结果 1
Fig. 6 Results of Generalization of Railway-1

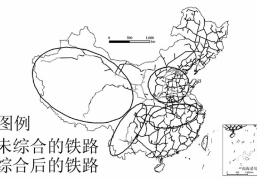


图 7 铁路承灾体自动综合结果 2
Fig. 7 Results of Generalization of Railway-2

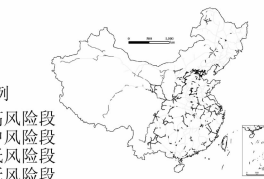


图 8 铁路承灾体综合风险等级($R=300\text{ km}$)
Fig. 8 Integrated Risk Level of Railway($R=300\text{ km}$)

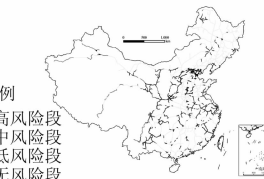


图 9 铁路承灾体综合风险等级($R=200\text{ km}$)
Fig. 9 Integrated Risk Level of Railway($R=200\text{ km}$)

4 大相对高风险区的主要特点为:① 华北地区是我国铁路网络最密集的区域,分布有京广、京九、京沈、京沪等南北大动脉,同时,该地区又是我国人口密度最高,经济、文化发达的区域。加之又处在地震、地面沉降、洪水等灾害易发多发地带,因而是我国铁路灾害高风险区。② 西南地区地貌类型以山地为主,主要自然灾害为滑坡、泥石流,另外还有地震和暴雨。据统计,半数以上的铁路灾害由山体坍塌引起,其次是泥石流、路基和路堑坍塌。绝大多数灾害是由于下雨诱发铁路两旁的地质灾害而产生的。③ 西北-青藏地区经济基础薄弱,是中国铁路唯一未成网的地区,主要干线有兰新、陇海、京包、包兰等。该区域铁路主要受地震、风沙等灾害的影响,另外,青藏线还受冻胀等灾害的侵袭。④ 长江中下游地区以台风洪涝和暴雨为主导,总的来看此区域有灾月份较其他区域多,但灾害受灾程度相对较轻。

4 结 语

本文从地学基础理论、模型方法支撑到区域实证应用,对线状自然灾害风险地图自动综合进行了系统研究,结果表明 LC-DP 模型在线状自然灾害现象自动综合方面具有可行性。其综合结果的有效性证明了该模型对铁路灾害现象的规律表达反映了空间区域分异,对铁路承灾体高风险区的表达符合其在孕灾环境、致灾因子、灾情等方面的综合体现,该方法可以为多尺度区域灾害风险管理及决策提供理论与方法支持。LC-DP 模型除具有动态图层的交互功能外,还具有以下优点:拓扑关系的一致性表达,依据风险等级的高低优先表达高风险区;信息再处理能力,做到“按需综合”,即分段对需要综合的线进行综合,节省数据存储空间,提高数据处理效率。同时,铁路线的网络结构在交通运输及区际联系中具有联动性、整

体性的特征,为不同区域尺度下的“区”与“段”联合防灾、减灾提供了一种新的模式。

参 考 文 献

[1] 齐清文,刘岳. GIS 环境下面向地理特征的制图概括的理论与方法[J]. 地理学报,1998,53(4):303-313

[2] 何宗宜,阮依香. 基于分形理论的水系要素制图综合研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2002,27(4):427-431

[3] 郭庆胜. 地图学自动综合理论与方法[M]. 北京:测绘出版社,2002

[4] 潘东华,王静爱,王瑛,等. 基于图层约束的自然灾害风险制图综合初探:以西北干旱区为例[J]. 干旱区研究,2010,27(1):13-19

[5] 潘东华,王静爱,贾慧聪,等. 自然灾害风险地图中的制图综合研究:以点状承灾体为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2011,36(1):51-55

[6] 武芳,钱海忠,邓红艳. 面向地图自动综合的空间信息智能处理[M]. 北京:科学出版社,2008

第一作者简介:潘东华,博士,助理研究员,主要研究 GIS&RS 在自然灾害风险分析与制图中的应用。
E-mail:pandonghua@ndrcc.gov.cn

Automatic Generalization for Line Features in Risk Mapping of Natural Hazard: Taking Railway Hazard-Affected Bodies as an Example

PAN Donghua^{1,2} WANG Jingai^{2,3} JIA Huicong⁴

- (1 National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs, 6 East Guangbai Road, Beijing 100124, China)
- (2 School of Geography, Beijing Normal University, 19 Xijiekouwai Street, Beijing 100875, China)
- (3 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, 19 Xijiekouwai Street, Beijing 100875, China)
- (4 State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences, North A20 Datun Road, Beijing 100101, China)

Abstract: Disaster-formative environment can magnify or shrink the vulnerability of hazard-affected body and the losses of disaster. Based on geography and cartography science, from the perspective of disaster system, the problem of linear hazard-affected body's cartographic generalization was discussed based on layer constraints and Douglas-Peucker. Taking railways as an example, the constrained layers database was constructed, the six layers were seismic long-term intensity zoning, the risk of landslides disasters, and activity level of debris flow, mean annual maximum snow depth, flooding frequency, maximum annual day numbers of dust storms and the distribution of lakes. Combined with railway density and risk matrix of integrated hazard intensity, the automatic generalization of railway hazard-affected bodies was done in different regions and sections. The results reveal a regional rule for railway density distribution under multi-scales.

Key words: cartographic generalization; layer constraint; risk map to natural hazard; line features

About the first author: PAN Donghua, Ph.D, research assistant, majors in GIS,RS and their applications to natural disaster risk mapping.
E-mail: pandonghua@ndrcc.gov.cn