李维炼，朱军，黄鹏诚，等．不同可视化方法对泥石流灾害信息认知影响对比分析[J]．灾害学，2020，35(2)：230-234.
[LI Weilian，ZHU Jun，HUANG Pengcheng，et al. Comparative Analysis on the Cognition Impacts of Debris flow Disaster Information for Different Visualization Methods [J]. Journal of Catastrophology，2020，35 (2)：230-234. doi：10.3969/j. issn. 1000-811X. 2020. 02. 041.]

不同可视化方法对泥石流灾害信息认知影响对比分析*

李维炼[1]，朱　军[1]，黄鹏诚[1]，王有祥[2]，周乐韬[1]

（1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院，四川 成都 610031；2. 中化地质矿山总局陕西地质勘查院，陕西 西安 710065）

摘　要：科学有效合理的可视化能够提高泥石流灾害信息表达的有效性与可读性。以七盘沟泥石流为例，设计并开展了不同可视化方法对泥石流灾害信息认知影响的对比实验，构建了基于灰色色带、自解释性符号和应急颜色、真实纹理模型两类泥石流灾害场景，探索了上述可视化方法在泥石流灾害信息传递能力方面的差异性。实验收集得到两组参与者数据，从准确度和认知时间 2 个方面来评价参与者认知实验结果。实验结果表明：①灰色色带和应急颜色进行泥深值可视化时，灾害信息的传递能力无显著差别；②自解释性符号与真实感纹理模型相比具备更强更稳定的信息传递能力，用户能够快速认知泥石流灾害信息。

关键词：泥石流；灾害信息；地理空间认知；可视化

中图分类号：X43；P208；P333. 2；X915. 5　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000－811X(2020)02－0230－05

doi：10. 3969/j. issn. 1000－811X. 2020. 02. 041

中国由于独特的地形、地质和气候条件，成为了世界上受泥石流危害影响最为严重的国家之一[1-2]。根据中国国家统计局发布的官方统计数据，2008-2017 年期间全国共发生泥石流灾害约 10 197次，其中比较重大的泥石流灾害有 2010 年 8 月 7 日甘肃舟曲泥石流，2011 年 8 月 15 日云南云龙泥石流，2016 年 7 月 25 日九寨沟泥石流，上述泥石流灾害均给人们的生命财产造成了巨大危害，破坏了山区人与自然和谐共存的格局，严重制约着经济的可持续发展。因此，加强对泥石流灾害科学问题的研究对于泥石流灾害防灾减灾具有十分重要的意义[3-5]。

以虚拟地理环境为基础地理框架整合泥石流灾害数据，并进行合理有效的可视化能够提升泥石流灾害信息传递和认知能力，进而辅助灾害分析和应急决策[6-8]。可视化具有连续性的特征，按照对现实世界的抽象程度可分为真实感表达和非真实感表达，在二者之间具有多种表达模式，目前被广泛应用于城市规划、飞行模拟、旅游选址以及灾害管理等诸多领域[9-12]。时效性是灾害应急响应的生命，快速准确获取泥石流灾害信息是灾害应急救援和科学研判的前提和基础[13-14]。对于用户而言，其对泥石流灾害信息接收效率和准确性都与可视化方法的选择息息相关。因此，分析不同可视化方法对泥石流灾害信息认知效率影响，选择合适的方法能够促进用户快速感知认知灾害信息，进而辅助应急决策和提升风险意识。

地理空间认知是地理信息科学的核心问题之一，在制图学领域，众多学者使用认知地图对空间认知开展了研究[15-17]。基于此，本文以七盘沟泥石流为例，拟采用灰色色带、自解释性符号和应急颜色、真实纹理模型等可视化方法构建两类不同的泥石流灾害场景，从地理空间认知的角度开展实验分析，通过分析准确度和认知时间等实验结果，得出不同可视化方法对于泥石流灾害信息认知影响，为应急灾害场景构建提供有价值的理论参考。

* 收稿日期：2019－08－21　　修回日期：2019－10－31
基金项目：国家重点研发计划资助(2016YFC0803105)；国家自然科学基金(41801297；41871289；41874008)；西南交通大学博士研究生创新基金项目
第一作者简介：李维炼(1993－)，男，四川达州人，博士研究生，主要从事虚拟地理环境和灾害场景建模研究. E-mail：vgewilliam@163. com
通讯作者：周乐韬(1977－)，男，四川德阳人，副教授，博士，主要从事高精度卫星导航与定位研究. E-mail：ltzhou@swjtu. edu. cn

1　案例区域与可视化方法说明

1.1　案例区域及实验数据

受汶川大地震影响，四川省汶川县是全国泥石流的高发地区[18]。本文选择案例为七盘沟泥石流，实验区域位于四川省汶川县威州镇七盘沟村(30°45′～31°43N′，102°51′～103°44′E)(图 1)。2013 年 7 月 11 日晚因强降雨引发重大泥石流，造成 15 人遇难，2 000 余人受灾，破坏房屋 900 多间，造成经济损失高达 1 800 万元。

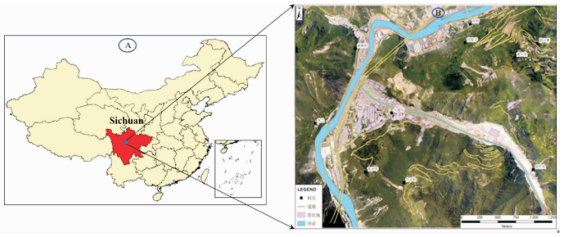


图 1　实验区域介绍

实验数据包括原始分辨率为 1 m 的影像和分辨率为 10 m 的 DEM 等基础地理数据，泥石流位置、范围、泥深等灾害模拟数据，风险建筑物以及基础设施位置等专题分析数据。其中基础地理数据由自然资源部四川基础地理信息中心提供，泥石流模拟数据和专题分析数据由 YIN 等提供[19]。

1.2　泥石流灾害信息可视化方法

为了保证泥石流具有一定真实感的同时揭露出更多的灾害语义信息，本文采用真实感地形场景、泥石流时空过程并结合示意性符号的方法对泥石流灾害信息进行可视化，详细阐述如下。

(1)泥深。本文按照泥深值大小分为 3 个等级，泥深值大于 2 m 的为高威胁区，在 1～2 m 区间内为中威胁区，小于 1 m 的为低威胁区。针对上述 3 个等级分别采用灰色连续色带和红黄绿应急分级色带对泥深值进行可视化，其中灰色连续色带符合大众对于泥石流灾害的认知，红黄绿为预警色系的延伸(表 1)。

表 1　泥深可视化分级方案

危险度分级	泥深	连续色带	应急色彩分级
高威胁区	>2 m		
中威胁区	1～2 m		
低威胁区	<1 m		

(2)风险建筑物。建筑物是泥石流灾害发生后用户重点关注的对象，将建筑物风险等级分为高、中、低，分别采用真实感纹理建筑和文字注记、简单模型搭配应急色(可解释为灾害符号)进行可视化(表 2)。其中简单模型搭配应急色既实现了灾害信息的有效传递又保证了一定的真实性，辅助进行灾情分析。

表 2　建筑物风险等级可视化

建筑物风险等级	真实纹理＋文字注记	简单模型＋应急颜色
高、中、低		

(3)基础设施。基础设施通常包括灾区范围内的学校、医院、避难所、加油站以及火电厂等重要设施和危险设施，往往分布范围较广。分别采用真实感纹理建筑和文字注记、自解释性灾害符号对其空间分布进行可视化(表 3)。

表 3　重要设施和危险设施分布

基础设施分布	真实纹理＋文字注记	自解释性灾害符号
学校、避难所、医院等	学校　避难所　火电厂	

2　泥石流灾害场景认知对比实验

2.1　实验方案设计

2.1.1　总体方案设计

在认知问题上已经有不少学者开展过研究[20-22]，尤其是在制图学领域，试图通过改变符号的颜色、尺寸、形状提升人们的认识和理解地图的能力。为了测试不同可视化方法对于灾害场景认知效率的影响，本文采用虚拟地理试验的方法对其进行求解，其主要思路阐述如图 2 所示。

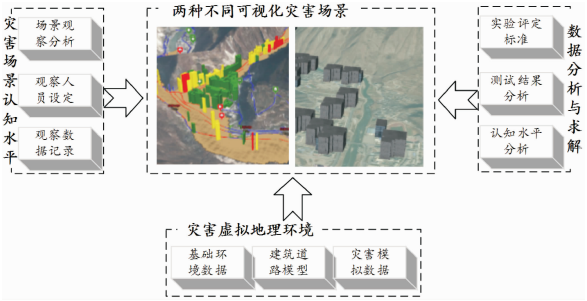


图 2　灾害场景认知效率求解

(1)灾害虚拟地理环境构建：灾害虚拟地理环境是整个试验的基础，通过虚拟三维地形场景、建筑物和道路模型、灾害模拟数据以及专题数据的建模，并以空间语义约束为条件，实现多源灾害信息下虚拟地理环境快速构建。

(2)灾害场景认知水平试验：首先对两种不同可视化灾害场景对象进行分类，然后选择两组背景知识相当和数量相同的测试人员，分别观察两种不同可视化方法构建的灾害场景，并回答预设问题。最后统计并分析测试人员观察两幅不同场景时灾害对象记录的准确率和完成时间。

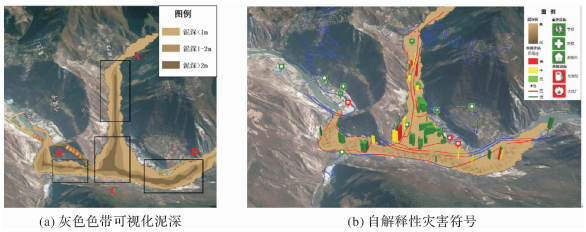
表 4 认知实验场景对象

测试分组	可视化类型	泥石流灾害	重要设施	危险设施	建筑风险等级
A	灰色色带 + 灾害示意性符号	泥深值	学校、医院	加油站、火电厂	高、中、低
B	应急颜色 + 真实纹理 + 文字注记		避难所		

(3)试验数据分析与求解：通过对试验结果的深度分析，求解出两种不同可视化方法对灾害场景认知效率的影响。

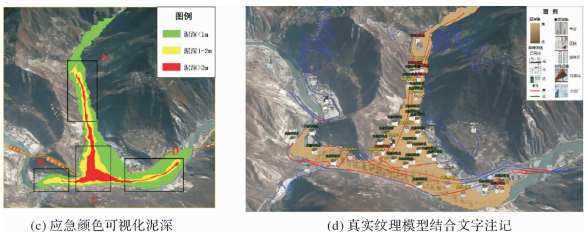
2.1.2 实验场景设计

本文共设计了两类实验场景，第一类包括连续灰色色带和自解释性灾害符号对泥深、风险建筑和基础设施进行可视化形成的场景 a 和场景 b，第二类包括应急分级色带和真实感纹理建筑搭配文字注记，对泥深、风险建筑和基础设施进行可视化形成的场景 c 和场景 d，分别如图 3 和图 4 所示。



(a) 灰色色带可视化泥深 (b) 自解释性灾害符号

图 3 第一类场景



(c) 应急颜色可视化泥深 (d) 真实纹理模型结合文字注记

图 4 第二类场景

2.1.3 实验实施过程

实验共邀请 30 名参与者，年龄分布在 22 ~ 30 岁，专业背景均为地理信息系统相关专业学生，尽量避免由于专业背景、知识结构带来的认知差异。参与者被随机分为 A 和 B 两组，其中 A 组用于观察第一类场景，B 组用于观察第二类场景。

参与者按照表 4 顺序依次识别最大泥深区域、重要设施、危险设施和风险建筑物，在观察过程中依次回答如下问题：

(1)灾区内泥深危险度最高(泥深值最大)的区域？

(2)重要设施数量总和？学校、医院、避难所数量各为多少？

(3)危险设施数量总和？加油站和火电厂数量各为多少？

(4)建筑物风险等级一共有几级？其中哪种风险级别的建筑物数量最多？

上述过程由参与者开始观察时准时计时，观察完泥深可视化场景和回答完第(1)个问题，计时 1 次；观察完风险建筑和基础设施可视化场景并回答完第(2)(3)(4)个问题视为认知实验结束，停止计时。试验开始前用 3 min 时间为参与者讲解整个测试流程和要求。

2.1.3 实验评定标准

本文认知试验从准确度和认知时间来评价参与者认知实验结果(表 5)。其中准确度反应了灾害信息传递的有效性，认知时间反映了参与者对于灾害信息的认知效率。

表 5 实验评价标准

	指标	描述
评价标准	准确度	灾害对象识别和问答准确度
	时间	完成灾害对象认知实验所耗费平均时间

2.2 实验结果分析

根据上述标准，得到 A 组和 B 组每个参与者的准确率和完成时间，分别计算出两组的平均准确率、平均完成时间和方差(表 6)。

从上述实验结果可知，就泥深值的两种可视化方法(灰色色带和应急颜色)而言，A 组和 B 组参与者均能答对问题(1)，且时间相差不大，可见无论采用灰色连续带还是应急分级颜色可视化泥深值，均能正确快速地传递泥深灾害信息，但由于灰色比较符合大众对于泥石流颜色的认知，故建议采用灰色连续色带。针对风险建筑和基础设施的两种可视化方法(自解释性灾害符号和真实感建筑搭配文字注记)而言，A 组和 B 组在问题回答准确率、完成时间以及方差上均差异较大。其中，A 组参与者平均准确率高于 90%，平均完成时间为 1 min 左右；B 组参与者平均准确率为 80% 左右，平均完成时间为 3 min 左右。由此可见，采用自解释性灾害符号构建的场景与真实感建筑和文字

表 6 实验结果及评价指标

评价指标	A 组		B 组	
	灰色色带	自解释灾害符号	应急颜色	真实感建筑
平均准确率(%)/方差	100/0	91.93/94.49	100/0	80.20/159.03
平均完成时间(s)/方差	5.45/1.03	62.20/332.45	3.3/13.0	168.93/3361.78

注记构建的场景相比灾害信息量较少，并且符号模型比真实感模型传递信息能力更强。A 组平均准确率和平均完成时间方差均低于 B 组，说明 A 组测试结果稳定性更高，说明自解释性灾害符号对于参与者场景认知能力差异性要求较低，更加适合具有不同知识背景的人员，可以用于灾害应急过程中所涉及的多样化用户类型。

此外，通过试验结束后参与者直观评价第一类场景和第二类场景，大多数参与人员认为第一类场景信息量较少，表达信息清楚，第二类场景信息量较多，且容易被右上角真实感图例吸引，使得读图时间过长。

3　结论与展望

科学合理的泥石流灾害信息可视化能够有效辅助灾情决策分析和提升公众灾害风险意识，探究不同可视化方法对泥石流灾害信息认知效率的影响，有利于提升泥石流灾害信息的传递能力。

本文以七盘沟泥石流为例，从地理空间认知的角度研究了不同可视化方法对于泥石流灾害信息认知影响的异同，设计了灰色色带、自解释性符号和应急颜色、真实纹理模型分别可视化泥深和建筑物两类灾害场景，采用分组认知对比实验并分析了回答问题准确度和完成时间实验结果，得出了以下结论：

(1)采用灰色连续色带和应急分级颜色可视化泥深值，均能够正确传递泥深灾害信息，认知差异性不大。但灰色连续色带符合大众对于泥石流灾害颜色的认知，故针对普通公众的泥石流灾害场景可采用灰色，而针对决策人员建议使用应急分级色。

(2)自解释性符号较真实感纹理建筑而言具备更强的灾害信息传递能力且稳定性较高，在灾害应急过程中，用户没有足够的时间认识泥石流灾害场景，采用自解释性灾害符号搭配文字信息是更好的选择，并能够适应不同知识背景的用户类型。

由于缺乏更多的真实感数据，所以在进行对比场景构建时只考虑了泥深、风险建筑和基础设施三类场景对象，未来将对比分析更多的泥石流灾害场景对象，并计划将眼动测试纳入认知对比实验中。

参考文献：

[1] 李发斌，崔鹏，周爱霞. RS 和 GIS 在滑坡泥石流防灾减灾中的应用[J]. 灾害学，2004，15(4)：20-26.

[2] 崔鹏. 中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题[J]. 地理科学进展，2014，33(2)：145-152.

[3] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学，1988(3)：10-15.

[4] Santi P M，Hewitt K，VanDine D F，et al. Debris-flow impact，vulnerability，and response [J]. Natural hazards，2011，56(1)：371-402.

[5] 杨小凤，曹云刚，冯薪朗，等. 基于无人机高分影像的七盘沟泥石流风险性评价[J]. 灾害学 ，2016，31(2)：206-212.

[6] Bodum L. Modelling virtual environments for geovisualization：A focus on representation. Exploring geovisualization，London：Elsevier，2005：389-402.

[7] Burningham K，Fielding J‘It’ll and Thrush D. ‘It’ll never happen to me’：understanding public awareness of local flood risk [J]. Disasters，2008，32(2)：216-238.

[8] LIN H，CHEN M，LU G N，et al. Virtual geographic environments (VGEs)：a new generation of geographic analysis tool [J]. Earth-Science Reviews，2013(126)：74-84.

[9] Dollner J，Kyprianidis J E. Approaches to image abstraction for photorealistic depictions of virtual 3D models [J]. Lecture Notes in Geoinformation & Cartography，2009：263-277.

[10] Peters S，Jahnke M，Murphy C E，et al. Cartographic enrichment of 3D city Models-state of the art and research perspectives [M]. Advances in 3D Geoinformation. Springer International Publishing，2017：207-230.

[11] Glander T，Dollner J. Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models [J]. Computers，Environment and Urban Systems，2009，33(5)：375-387.

[12] PENG G，YUE S，LI Y，et al. A procedural construction method for interactive map symbols used for disasters and emergency response[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information，2017，6(4)：95.

[13] 眭海刚. 论灾害应急响应遥感数据实时处理面临的挑战[J]. 中国减灾，2013(24)：28-29.

[14] 李维炼，朱军，胡亚，等. 面向多用户类型的泥石流应急灾害信息特征可视化方法[J]. 灾害学，2018，33(2)：231-234.

[15] 万刚，高俊，刘颖真. 基于阅读实验方法的认知地图形成研究[J]. 遥感学报，2008(2)：339-346.

[16] 刘芳，王光霞，钱海忠，等. 虚拟地理环境对空间认知方式的影响[J]. 测绘科学，2009，34(4)：67-69.

[17] DONG W，ZHENG L，LIU B，et al. Using eye tracking to explore differences in map-based spatial ability between geographers and non-geographers [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information，2018，7(9)：337.

[18] 余斌，谢洪，王士革，等. 汶川县泥石流沟在汶川“5.12“地震后的活动趋势[J]. 自然灾害学报，2011，20(6)：68-73.

[19] YIN L Z，ZHU J，LI Y，et al. A virtual geographic environment for debris flow risk analysis in residential areas [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information，2017，6(11)：377.

[20] DONG W，WANG S，CHEN Y，et al. Using eye tracking to evaluate the usability of flow maps [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information，2018，7(7)：281.

[21] 申申，龚建华，李文航，等. 基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2018，43(11)：1732-1738.

[22] 贾奋励，田江鹏，智梅霞，等. 虚拟地理试验的地标视觉显著度模型[J]. 测绘学报，2018，47(8)：1114-1122.

Comparative Analysis on the Cognition Ipacts of Debris Flow Disaster Information for Different Visualization Methods

LI Weilian[1], ZHU Jun[1], HUANG Pengcheng[1], WANG Youxiang[2] and ZHOU Letao[1]
(1. *Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu* 610031, *China*; 2. *Shaanxi Geological Exploration Institute of Geology and Mine Bureau, Xi'an* 710065, *China*)

Abstract: Scientific and appropriate visualizations ensure the effectiveness and readability of debris flow disaster information. Taking debris flow disaster in Qipan gully as an example, he design and implementation of a comparative experiment on the spatial cognition impact on debris flow disaster information for different visualization methods are presented, two debris flow disaster scenes constructed based on the a continuous gray ribbon, self-explanatory symbols, emergency warning colors and photorealistic texture models, and the differences in information transmission ability of debris flow disasters based on the above visualization methods is explored. Finally, we collected the experimental data from two groups of participants, and evaluated the experimental results from the answer accuracy and finish time. The experimental results are drawn: ① When the continuous gray ribbon and the emergency warning colors are used to visualize the mud depth value, there is no significant difference in the transmission ability of the disaster information; ② Self-explanatory symbols have stronger and more stable information transmission abilities than photorealistic texture models, and users can quickly recognize debris flow disaster information.

Key words: debris flow; disaster information; geo-spatial cognition; visualization