

AR/VR 与 GIS 在沿海城市灾害管理中的集成研究及应用

刘 强,冯 倩

(中国海洋大学工程学院,青岛 266100)

摘 要:GIS 技术已经广泛应用于城市防灾减灾领域,但与真实场景交互性方面还有待完善,因此,提出了在 GIS 应用中引入虚拟现实技术(VR)以及增强现实技术(AR),建立了 AR/VR 与 GIS 技术相结合用于沿海城市灾害管理系统的总体结构,研究了集成模式中关键问题的实现方法,并以海啸灾害管理为例,探讨了系统的实际应用,阐明 3 种信息技术的有机结合可为沿海城市灾害管理工作提供更有效的技术决策支持,同时也拓宽了这些新技术自身的应用领域。

关键词:虚拟现实;GIS;增强现实;沿海城市灾害;可视化

中图分类号:P208

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.02009

沿海城市有交通发达、资源丰富等方面的优势,因此成为国家经济和社会发展的重点区域。但同时,沿海地区也是自然灾害频发的地区,具有较高的脆弱性。据统计,仅 2014 年 1 月,我国沿海发生风暴潮过程 9 次,赤潮 56 次,海岸侵蚀、海水入侵与土壤盐渍化等灾害也有不同程度的发生。各类海洋灾害造成直接经济损失 136.14 亿元,死亡 24 人。越来越多的学者开始重视沿海城市灾害的研究:李炳南等^[1]在分析了各种自然灾害应急决策支持系统,集成了遥感、浮标和走航等多源信息,针对赤潮灾害进行了应急决策支持系统的概念设计;彭利等^[2]通过分析海啸灾害的危险性和建筑物的易损性,提出了海啸灾害损失的概率模型和简易快速的估计地震海啸损失的方法,为风险区灾害预测、减灾管理和多灾害风险评估提供了依据;张广平等^[3]设计开发了基于事件

驱动的风暴潮灾害辅助决策系统,实现了对风暴潮地区的实时监控以及合理调度物资等。这些研究为沿海城市灾害管理提供了有效的指导,但是仍然存在可视化不高、时效性差等问题。如何高效、直观的进行沿海城市应急灾害管理,是进行防灾减灾的重要任务。

针对这一问题,本文提出利用虚拟现实技术、增强现实技术与 GIS 相结合建立可视化模型,从而直观地显示人员位置、逃生避难路线、救助路线、应急避难所等实时虚拟图像信息,提高灾害管理的效率,为救援工作争取宝贵的时间。

1 AR、VR 与 GIS 的概述与现状

增强现实技术(Augmented Reality, AR)是在虚拟现实(Virtual Reality, VR)基础上发展起来的新技术,它是把计算机产生的虚拟信息和场景无缝地叠加到现实世界的场景中,以一种最直观的方式实现用户与环境之间的交互,从而提高了用户对虚拟模型的感知能力^[4]。与 VR 在计算机上生成的虚拟环境不同,AR 并未切断与真实

收稿日期:2015-10-12

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAK05B04);国家自然科学基金(41072176, 41371496)

作者简介:刘 强(1961—),男,教授,主要从事海洋灾害风险管理方面的研究工作。E-mail:liuqiang@ouc.edu.cn

世界的联系,可以使用户以一种更加自然地方式与真实和虚拟世界交互。Milgram 等^[5]基于世界的连续性提出用轴线图来形象的表示 VR 与 AR 的关系。他将整个世界划分为一条连续的线段,线段两端分别为不包含任何虚拟信息的完全真实的环境和计算机模拟的完全虚拟的环境,如图 1 所示。

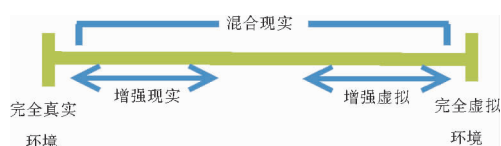


图 1 虚拟现实连续体

Fig. 1 Reality-Virtuality Continuum

地理信息系统(GIS)在灾害管理中可以实现对空间和属性数据的查询、修改、模拟分析和评价,它与一些灾害分析预测模型相结合,还可以为灾害的管理提供有效的决策支持,因此 GIS 技术为灾害管理目标的实现提供了理想的支撑平台^[6]。GIS 技术已经在灾情预警预报、动态监测、规律分析、调查、评估、灾后重建规划等过程中有了广泛应用^[7]。然而,GIS 的表达具有一定的局限性,它所描述的仅限于数字的世界,与现实世界是分离的,这使应急管理缺乏直观可视性的支持。因此,可以将 AR/VR 和 GIS 集成用于灾害管理系统中,提高灾害管理的效率。

近年来,AR/VR 与 GIS 的集成技术更加得到关注。Ghadirian 等^[8]成功地通过建立 GIS 数据库与 AR 技术结合成功地模拟了澳大利亚维多利亚省卡集洼山谷野草动态蔓延的过程;Javier S F 等^[9]将 AR 技术与定位技术相结合用于农业生产中,实现农业机械的操作可视化。陈驰等^[10]提出了将 VR 技术应用于城市火灾模拟,在交互式虚拟环境中实现了基于火灾数值模拟的场景模拟。这些研究工作在三维地图的空间数据可视化方面进行了尝试,说明 AR 和 VR 技术在 GIS 集成应用中有着重要的潜力。

2 系统的结构设计

基于 AR/VR 与 GIS 结合的系统可以分为 4

大子系统,分别为场景子系统、AR/VR 子系统、GIS 子系统、监控子系统。总体设计如图 2 所示。

2.1 场景子系统

该子系统包括真实环境和虚拟信息 2 部分,其中真实环境就是海洋灾害发生地地貌的实况信息,如台风登陆位置、风力大小等信息;虚拟信息是指通过 AR 显示设备叠加到真实场景上的信息,如导航信息、建筑信息、避难路径信息等。

2.2 AR/VR 子系统

在 AR/VR 子系统中,由 CCD 摄像机、GPS 定位仪、陀螺仪等信息采集设备对风暴潮的真实场景、相关的环境信息(如环境光、实体色彩等)、空间几何数据与实体纹理数据等信息进行获取,获取的信息经过处理后传递到 AR 模块。

AR 模块负责整个系统的信息输出,它将经过虚拟处理后的应急方案模型叠加到救援人员所在的真实环境中,救援人员通过 AR 显示器可以接收到虚拟数据与现实场景完全融合的信息从而进行灾害救援。受灾人员也可以通过手机客户端等设备获取最优逃生路径的指示。

VR 展示平台将海水淹没路径、风暴潮潮位等灾害信息以及避难路线、应急车辆行驶路线等救灾方案信息进行虚拟现实的展示,同时将形成的指挥方案输送到 AR 模块。

2.3 GIS 子系统

GIS 子系统包括数据库和 GIS 基础支撑平台 2 部分。该子系统主要是利用 GIS 平台进行三维模型的建立、计算机算法的数据处理以及数据库管理等。数据库模块包括多种数据库是整个 GIS 系统的基础,可以将海量基础数据进行空间化集成,归纳到同一个框架下^[11]。GIS 基础支撑平台是整个系统的核心,它提供了系统所需的各种模型算法和空间数据分析方法^[12],包括:台风路径预报模型、风暴潮洪水淹没计算模型、应急需求预测分析、最短路径算法、应急避难选址分析^[13]以及 GIS 空间数据分析等。GIS 基础支撑平台根据应急管理指挥中心的指令,从数据库中提取与灾害相关的技术资料并进行处理。

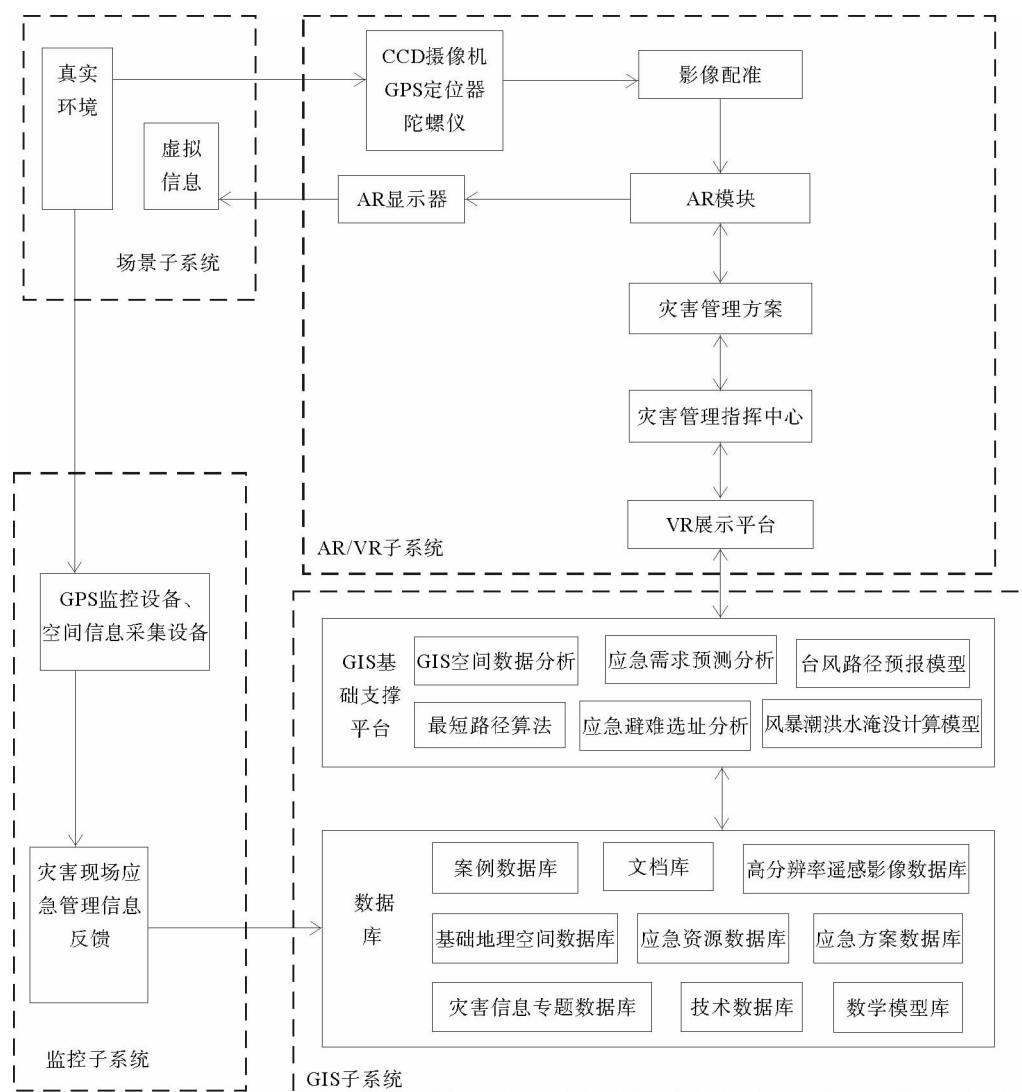


Fig. 2 Disaster management system based on AR/VR and GIS

2.4 监控子系统

该子系统是通过 GPS、摄像机、惯性导向设备等信息采集设备对应急管理方案的实施进行实时监控,并将信息反馈到 GIS 子系统中,便于及时调整方案,可以实现信息的对称性。

3 系统关键技术

3.1 三维图像的建模与渲染

AR 模块是将逃生路径导航信息和灾害现场建筑物的信息等数字化信息渲染成直观可见的三

维图像信息,并叠加到真实环境中来指导灾害救援工作,因此,需要对 GIS 输出方案进行处理,并进行渲染以匹配真实场景。本文采用 OpenGL 来实现这一过程。OpenGL 是一套 3D 图形软件接口标准,它通过点、线、三角形建立物体模型并对模型进行数学描述,再将模型放在 OpenGL 三维坐标系下的合适位置,设置视点观察系统绘制成三维图形,并对生成的三维图形的空间信息、颜色、透明度等参数进行渲染。OpenGL 通过应用软件接口(API)来对使用者随身携带的摄像头进行定位提取,最终将图形投射到 2D 屏幕上,处理过程如图 3 所示。

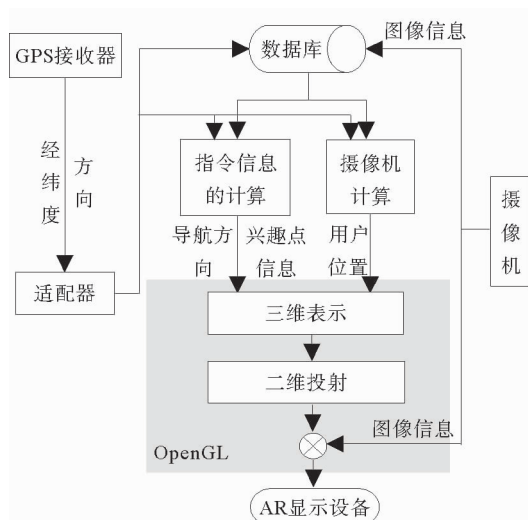


图 3 图像处理过程示意图

Fig. 3 Image processing schematic diagram

3.2 跟踪注册技术

AR 模块的核心技术就是三维跟踪注册技术,也就是实时、精确地确定用户的位置和视线方向,从而将虚拟信息准确地增强到真实环境中^[14]。目前比较常用的是采用基于视觉注册的方法,即将 CCD 摄像机固定在头盔显示器上,来获取真实场景数据。要实现动态数据与真实场景的叠加涉及到多个坐标系,如图 4 所示^[15]:XYZ 表示世界坐标系; $\varepsilon\eta\delta$ 表示虚拟信息坐标系; $x y z$ 表示摄像机坐标系; $o z$ 轴与观察者视线方向重合; $u v$ 是投影坐标系。

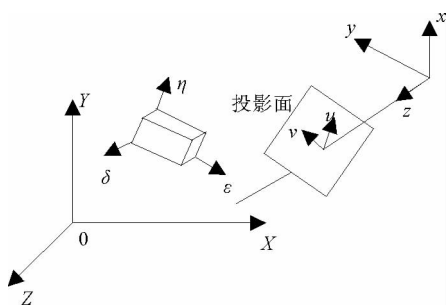


图 4 图像注册中的坐标转换

Fig. 4 Coordinate conversion in image registration

获取了真实场景在世界坐标系中的几何描述后,通过旋转、平移等操作可得到虚拟信息在世界坐标系的几何描述。本文采用世界坐标系原点和

摄像机坐标系原点重合的一般定义,所以平移矩阵为 0,只需进行旋转变换便可以将世界坐标系的几何描述转化为摄像机坐标系的几何描述。用 C 表示透视投影矩阵(与摄像机的可视角、投影面的纵横比参数有关的,已知量),因此从摄像机坐标系到投影面坐标系之间的转化过程即为透视投

影的过程,可用该式表示:
$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$
。再将投影

坐标系转换为屏幕坐标系,并通过渲染工具对虚拟信息进行渲染,增加虚拟信息的真实性。至此,便完成了虚拟数据信息与真实场景的叠加,随着使用者携带的摄像机位置和角度发生变化,虚拟信息显示的位置也是实时更新的。

4 系统实现

系统在沿海城市灾害管理过程各个阶段中的功能实现如图 5 所示。本文以对沿海城市的损害较大的海啸灾害为背景,从避难场所的选址分析、减灾方案的仿真模拟、灾害现场 AR 导航模拟实验 3 个方面简要说明本系统的初步实现。

4.1 GIS 支撑

本系统采用 ArcGIS10.0 软件,对海啸避难高台的服务范围进行缓冲区分析,按照避难场所服务半径为 1 000 m 来分析,即步行 10~20 min 即可到达。先在 ArcCatalog 里创建 geodatabase,在里面创建所需的点要素和线要素,将缓冲分析所需要的居民区和避难高台等数据抽象成点要素,主要道路抽象成线要素,并建立几何网络,选择空间分析中的多层缓冲区的分析。

4.2 VR 模拟

本文在虚拟现实平台采用日本 Forumb 公司的 UC-win/Road 软件进行模拟,利用卫星地图和 GIS 数据库中创建的地形补丁导入 VR 软件中,进行初始三维环境的创建,再根据 GIS 的空间分析结果,将避难高台建设地点、人口数量及逃生路径等数据导入虚拟场景中,进行避难方案的仿真展示;图 6 为在住宅区周围建设的钢筋混凝土胸

墙,具有良好的抗震性能,海啸发生时能迅速关闭,减小海啸灾害的影响。指挥人员可以通过 VR 平台直观的看到海水的流向流量等海啸信息,以便正确判断灾害影响范围。图 7 海啸发生时避难高台处场景的仿真展示,通过进行区域人

数、海啸参数以及水流方向等设置后,便可运行程序,灾害指挥人员可以从桌面显示平台观察到高台容纳人数是否合适,以便调整逃生路线、应急物资以及救援人员等的安排。

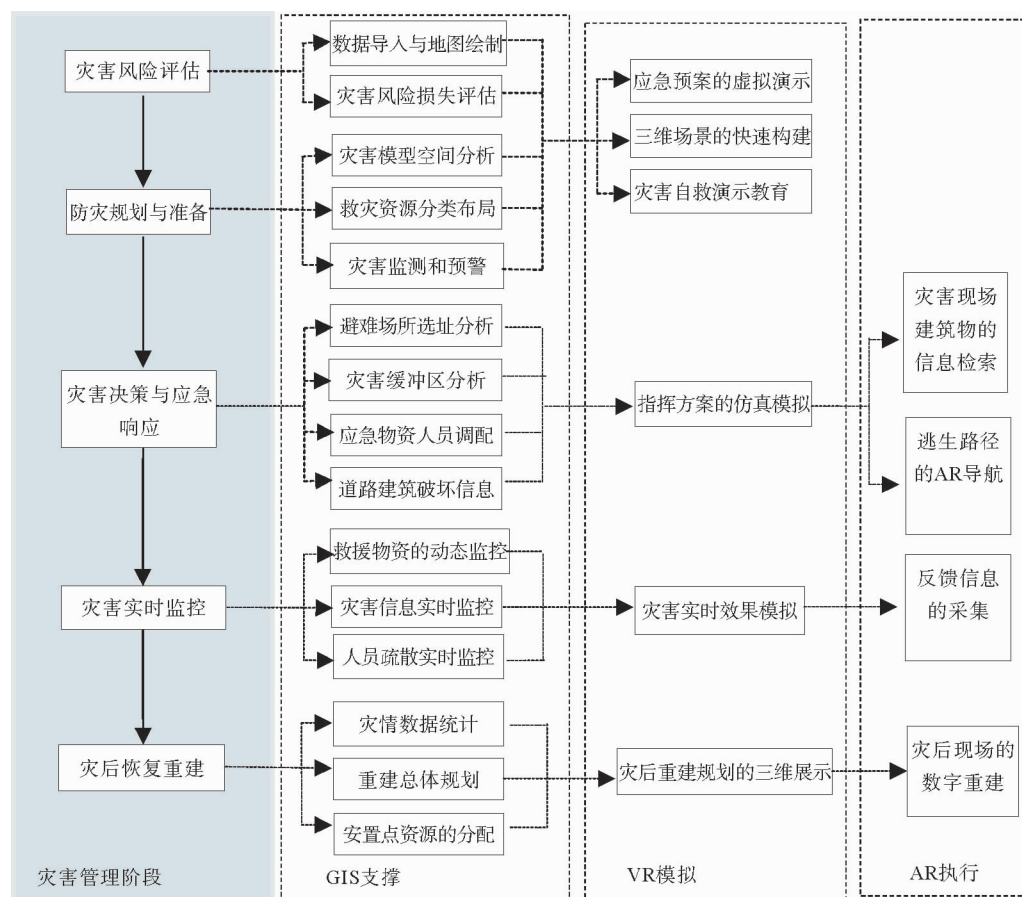


图 5 灾害管理各阶段系统功能

Fig. 5 The functional diagram of various stages of the disaster management system

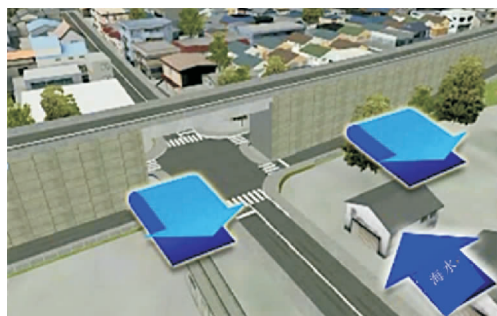


图 6 混凝土胸墙——用于改变海水的侵入方向,减小对居民区影响

Fig. 6 Concrete parapet—used to change the intrusion of sea water and reduce the impact on the residential area

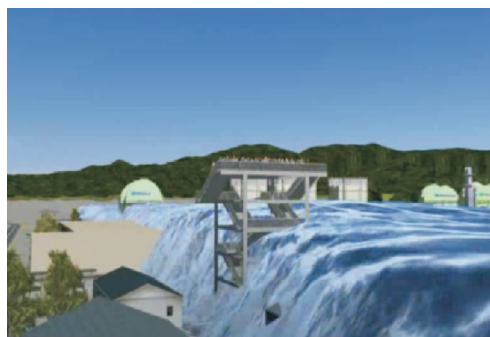


图 7 海啸 VR 展示——通过对海水参数设置动态展示海啸影响

Fig. 7 Tsunami VR display—Dynamic display of tsunami by setting the sea water's parameters

4.3 AR 执行

AR 模块可将 GIS 分析出的最佳避难路径存储到 AR 导航软件的后台数据,并发布到用户客户端中,并将三维虚拟路径叠加到真实环境里,实现虚实结合,实时交互。由于海洋灾害发生时常常伴有暴雨、洪涝、大风不能清晰辨别方位的情况的发生,而增强现实的导航系统可以不受地理空间和自然环境的限制,为受灾人员逃生和救援人员救援赢得了宝贵的时间。本文服务器端使用基于 Google 地图自我采集的空间数据,客户端是 Android 系统的智能手机,采用 JSON 格式序列化的字符串来进行数据的交换,采用 OpenGL ES 结合 GPS 与传感器数据来渲染图形和数据^[16]。本文在中国海洋大学崂山校区进行 AR 导航试验,可以在此基础上不断开发灾害管理的增强现实系统。

5 结语

AR 与 VR 作为一种信息可视化手段,弥补了传统空间地理数据显示的直观性不强、缺乏与真实世界互动的缺点;而作为空间地理数据存储、管理、分析等专业化工具的 GIS,也为虚拟仿真提供了丰富的数据处理支撑。两者结合用于沿海城市灾害管理中,有助于指挥者更加快速直观的做出灾害应对方案,也有助于受灾者及时的接受到逃生信息,但是基于 GIS 和 AR/VR 的灾害管理系统离防灾减灾的实际应用还有一些距离,未来的研究应该注重以下方面:①统一的数据标准,目前 AR、VR 与 GIS 之间没有统一的数据标准,限制了数据传输的效率和精度,也增加了 AR、VR 应用开发和维护的成本;②稳定网络通讯,系统中信息等的传递都假设在网络信号满足的情况下进行操作,但是灾害发生时,通常通讯网络都会受到破坏。因此,如何在网络信号不好的情况下依然保证数据远程服务器之间的传输不受影响成为亟待解决的问题。

参考文献:

- [1] 李炳南,赵冬至,蒋雪中,等. 赤潮灾害应急决策支持系统的概念设计[J]. 海洋环境科学,2014(3):418-424.
- [2] 彭利,欧进萍. 沿海建筑物地震与海啸损失估计[J]. 土木工程学报,2013,S1:308-313.
- [3] 张广平,谢忠,罗显刚,等. 基于事件驱动的风暴潮灾害中辅助决策系统研究[J]. 安全与环境工程,2015(1):51-55.
- [4] 秦松华,刘强. 基于 BIM 和 AR 的石化项目全寿命周期风险管理[J]. 项目管理技术,2015,13(9):106-111.
- [5] Milgram P, Kishino F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 1994, E77-D(12):1321-1329.
- [6] 陈慧敏,胡飞虎,耿泽飞,等. 基于 GIS 的灾害应急管理系统业务数据和空间数据的集成[J]. 自然灾害学报,2011,21(1):163-167.
- [7] 张瑜,黄曦涛. RS 和 GIS 技术在地震灾害中的应用[J]. 安徽农业科学,2009,30(7):14760-14763,14853.
- [8] Ghadirian P, Bishop I D. Integration of augmented reality and GIS: a new approach to realistic landscape visualization[J]. Landscape and Urban Planning,2008(86):226-232.
- [9] Javier S-F, Jaime G-G, Laura d-P-S-C. Design and implementation of a GPS guidance system for agricultural tractors using augmented reality technology sensors, 2010,10(11):10435.
- [10] 陈驰,任爱珠,张新. 基于虚拟现实的建筑火灾模拟系统[J]. 自然灾害学报,2007(1):55-60.
- [11] 刘欢,徐中春,吴绍洪,等. 基于 GIS 的中国地震灾害人口风险性分析[J]. 地理科学进展,2012(3):368-374.
- [12] 罗东,秦志光,赵洋,等. 基于 GIS 的应急物资调运信息系统研究[J]. 计算机应用研究,2011(6):2144-2146,2150.
- [13] Liu Q, Ruan X J, Shi P L. Selection of emergency shelter sites for seismic disasters in mountainous regions: lessons from the 2008 Wenchuan Ms 8.0 Earthquake, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 40(4): 926-934.
- [14] 王俊. 户外增强现实 GIS 的应用研究[D]. 重庆:西南大学,2014.
- [15] 常勇,何宗宜. 户外增强现实技术及其在地下管网 3 维可视化中的应用[J]. 测绘通报,2005,11:57-60.
- [16] 杜清运,刘涛. 户外增强现实地理信息系统原型设计与实现[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2007,11:1046-1049.
- [17] 江亚炬. 基于移动增强现实的导航系统的设计与实现[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.

Key words: buried hill; granite; reservoir characteristics; development laws; controlling factors