

基于 WebGL 的三维数字水利展示系统研究

周 阳^{1,2}, 余江峰^{1,2}, 唐一鸣^{1,2}

(1. 南京大学 地理信息科学系 江苏 南京 210023; 2. 江苏省地理信息技术重点实验室 江苏 南京 210023)

摘 要:利用 WebGL 跨平台且无需安装插件的优势,研究了基于 WebGL 的三维数字水利展示系统建设方法。以江苏省扬州市潼河典型河段为实验区,结合水利应用的具体需求,针对影像、高程、几何模型数据的处理与组织,以及虚拟三维地理场景的构建展开论述,建立了无插件的 Web 三维数字水利原型展示系统。实验证明,基于 WebGL 的三维数字水利展示系统可为用户在浏览器中提供良好的交互式三维可视化体验,并可以进一步满足建立信息系统的需要。

关键词:三维 GIS; WebGL; OpenWebGlobe; 数字水利; 计算机图形学

中图分类号:P208; TP391.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-5867(2014)03-0044-05

WebGL – Based Research on Three – Dimensional Display System of Digital Water Conservancy

ZHOU Yang^{1,2}, SHE Jiang – feng^{1,2}, TANG Yi – ming^{1,2}

(1. Department of Geographic Information Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing 210023, China)

Abstract: Taking advantages of WebGL, such as cross – platform and no plug – ins, a method of creating a WebGL – based three – dimensional display system was developed. In this research, a reach of Tong River in Yangzhou City was set as experimental area. Combining with the specific needs of water resources, the process and organization of images, elevation data and geometry models, and the construction of a virtual three – dimensional geographic scene was discussed, then a non – plug – in web based three – dimensional display system of digital water conservancy was developed. The experiment showed that WebGL – based three – dimensional display system can provide users with a good experience in the aspect of interactive visualization, and the prototype system can move forward a single step to meet the needs of creating an information system.

Key words: 3D GIS; WebGL; OpenWebGlobe; digital water conservancy; computer graphics

0 引 言

近年来,随着计算机图形学、虚拟现实、网络通讯、地理信息系统(GIS)、摄影测量与遥感等技术的迅速发展,三维虚拟现实的应用需求越来越大,GIS 应用也逐渐由二维向三维过渡^[1]。作为三维 GIS 典型表现形式的虚拟地球(Virtual Globe)能够将 TB 级的遥感影像、高程数据和其他地理空间数据融合在一起,是交互式可视化以及进行基于地理空间参考的相关研究的重要工具^[2]。

三维 GIS 所具备的三维可视化、对空间信息的综合分析及管理等功能与数字水利的要求紧密相关^[3-5]。将三维 GIS 技术引入到数字水利建设中,能够使水利设施、水资源、遥感数据和高程数据等多方面信息在三维 GIS 平台

上进行有机集成,可为水利部门提供更加直观、形象、准确的决策参考。

由于数据量大,网络发布与传输能力有限,同时早期浏览器在三维数据调度及渲染方面功能不足,许多三维 GIS 系统采用单机或局域网 C/S 模式。随着互联网相关技术与标准的发展,基于 Web 的三维 GIS 技术逐渐兴起并迅速成为研究热点^[6-7]。早期的 Web 三维解决方案之一是使用 VRML^[8],它是一种面向对象的三维造型语言,功能上主要局限于三维可视化,对 GIS 支持较弱。GeoVRML^[9]的出现虽然增强了在 GIS 方面的支持,但是仍然需要在特定 VRML 浏览器中运行或者在普通浏览器中添加插件^[10]。另一类解决方案是使用 JavaApplet,例如 NASA(美国国家航空航天局)的 World Wind,它可以满足

收稿日期:2013-09-13

基金项目:国家自然科学基金项目(41371365);江苏省测绘科研项目(JSCHKY201009)资助

作者简介:周 阳(1987-),男,山东淄博人,地图学与地理信息系统专业硕士研究生,主要研究方向为三维 GIS 及其应用。

三维 GIS 的功能需求,但需要将 JavaApplet 嵌入浏览器端。

新兴的互联网技术,如 HTML5 和 WebGL 为三维 WebGIS 的实现提供了新的可能性。WebGL 由 Khronos Group 公开发布,是一个免授权费且跨平台的 3D 绘图标准。它基于 OpenGL ES 2.0 的文档对象模型接口,通过 HTML5 的 Canvas 元素暴露一个低级别的 3D 图形应用程序编程接口(API),为 HTML5 Canvas 提供硬件 3D 加速渲染,使得 Web 开发人员可以借助系统显卡在浏览器中更加流畅地展示 3D 场景和模型^[11]。WebGL 的出现使虚拟地球可以在普通浏览器中进行渲染,而无需浏览器扩展或添加基于插件的虚拟地球仪,使得系统具有更强的健壮性以及更好的可维护性。

本文研究基于 WebGL 的三维数字水利展示系统的构建方法,并以江苏省扬州市潼河典型河段为实验区,进行虚拟三维地理场景建模,实现了 Web 版无插件三维数字水利原型系统的构建。

1 关键问题与技术路线

1.1 关键问题

三维数字水利展示系统涉及的关键技术包括:数字正射影像(DOM)及数字高程模型(DEM)的融合渲染、几何模型的快速渲染,这些技术均需要建立严密有序的数据处理及组织方式。此外,根据水利应用的特殊需求,为达成较具真实感的水利三维场景,还需要关注以下三个方面。

1) 河道模型的增强

考虑到河道及其两侧地形的精细展示需要(包括河道两岸的河堤以及河道底部的地形),同时修正 DEM 数据生产过程中易出现的高程异常值,需要对河道模型在 DEM 基础上以人机交互的方式进行精细重构,以达到增强河道模型的效果。

2) 水利设施模型的建立

针对实验区内水电站、桥梁等大型水利设施,构建精细三维模型,并对模型建立符合 Web 发布需要的数据组织方式,以满足浏览器端动态调度以及快速渲染的需要。

3) 水面的半透明渲染

为了更好地观察水下地形起伏状况,同时使水面的展示效果更加真实,采用添加几何对象图层并使用半透明纹理贴图的方式来对重点水域进行表达。

1.2 技术路线

系统基于 WebGL 实现无插件的浏览器端三维场景渲染。WebGL 是一个低级别的 API,可以操作显卡完成纹理创建(texture),还可以使用着色器(shader)、顶点缓冲(vertex buffers)等功能。为降低三维网络应用开发的复杂度,在 WebGL 基础上开发了一些高级别的三维引擎^[2,12,13]。其中,OpenWebGlobe(以下简称 OWG),Cesium 等是针对 GIS 应用开发的开源 WebGL 图形引擎,它们提供了三维 WebGIS 构建所需要的基础框架,简化了 Web 版三维 GIS 的系统开发流程。

本文选择在 OWG 基础上进行基于 WebGL 的三维数字水利展示系统构建,探索了从数据收集与整理开始,至虚拟三维地理场景构建的完整技术路线(如图 1 所示)。

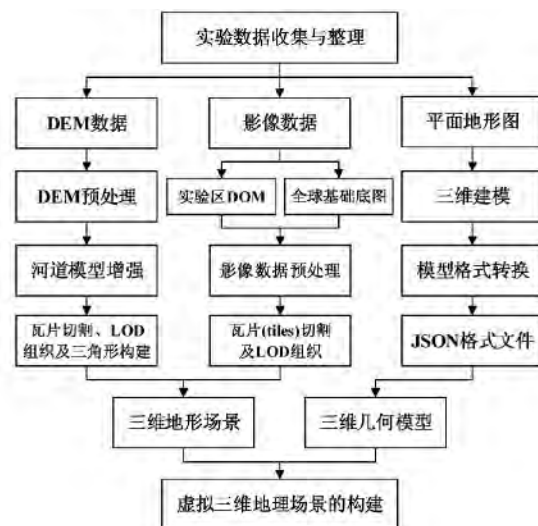


图1 技术路线

Fig. 1 Technical route

2 数据处理与组织

2.1 数据说明及预处理

2.1.1 数据说明

实验区为江苏省扬州市宝应县潼河典型河段,长度约 47 km,覆盖面积约 90 km²。实验数据主要包括 DOM、DEM、河道竣工地形图及河道断面图四类,详细说明见表 1。

表1 实验数据说明

Tab. 1 Introduction of test data

数据类型	文件格式	数量(幅)	空间分辨率	坐标系
DEM	*.bil	79	10 m	地方坐标系
DOM	*.tif	79	0.5 m	地方坐标系
河道地形图	*.dwg	50	—	地方坐标系
河道断面图	*.dwg	47	—	—

实验数据采用地方坐标系,除河道断面图外其他三类数据坐标系统统一,其中 DEM 与 DOM 单幅数据覆盖范围一一对应。

2.1.2 数据预处理

1) 影像数据

影像数据主要包括两部分,实验区 DOM 数据以及作为基础底图的全球数据。其中,全球数据采用 NASA 提供的全球基础底图。处理过程主要包括去除白边、拼接与匀色、数据分幅以及数据配准(以 Google Earth 为配准参考)。

2) DEM 数据

DEM 数据处理过程主要包括去除异常值、数据拼接以及数据配准。其中,数据配准过程使用影像数据配准所导出的参考点文件,以保证影像数据与 DEM 数据配准

后同名点坐标一致。

3) 三维几何模型

以河道竣工地形图为底图进行三维建模。建模过程中,由于硬件兼容性的要求,为了能正常渲染纹理贴图,贴图尺寸需符合 $2^m \times 2^n$ (m, n 均为正整数) 的标准^[14-15]。建模完成后,模型数据需转换为 WebGL 可直接渲染的基于 JavaScript 的数据交换格式 JSON, 文件格式如下所示:

```
{
  "Center": [], // 模型中心位置
  "Vertices": [], // 顶点空间坐标
  "IndexSemantic": "", // 基本类型
  "VertexSemantic": "", // 顶点组织方式
  "Indices": [] // 构成三角形的顶点顺序
}
```

2.2 河道 DEM 重构

为满足水利应用中对于河道及其两侧地形精细展示的具体需求,同时结合实验区真实地形状况,经过预处理的 DEM 数据需要进行二次加工。

DEM 二次加工过程核心是利用河道施工断面图将河道底部、河堤及河道两侧 DEM 进行重构。首先,通过人机交互的方式,确定相邻断面的特征点对(相邻断面中相对应的两地形特征点,如图 2 中的点 1 与点 1');然后,连接特征点对,构造四边形,进而生成三角网,完成相邻断面地形的重构过程(如图 2 所示)。

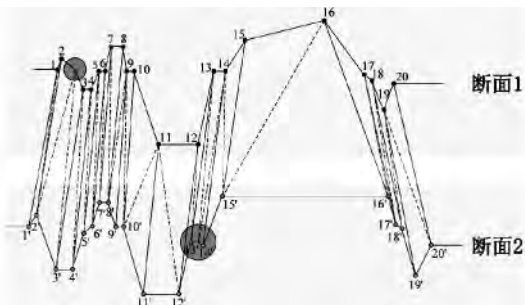


图 2 基于相邻断面特征点对构造三角网

Fig. 2 Construction of triangulation based on the feature points pair of adjacent sections

在通过特征点对构造三角网过程中,同一断面两相邻特征点对间可能存在其他特征点(如图 2 中圆形区域所示,断面 1 的点 2,3 之间,断面 2 的点 13',14'之间),这些特征点虽未能构成特征点对,但也将参与三角网的构建。

如图 3 所示,相邻特征点对间三角网构建方法简要说明如下。

1) 以前一特征点对(点 1 与点 1')为起点,分别沿两断面搜索下一特征点,在构成的四边形中,以较短对角线作为三角形连接线;

2) 以新连接线两端点为起点,继续分别搜索下一特征点,以同样方式确认下一条三角形连接线;

3) 继续遍历,直至搜索到下一特征点对(点 2 与点 2'),确保所有特征点均参与了三角网的构建(如图 3(d)所示)。

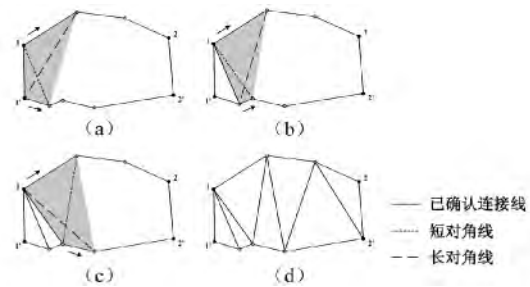


图 3 相邻特征点对间三角网构建方法

Fig. 3 Method of triangulation with adjacent feature points pair

2.3 数据组织及切片方式

三维 WebGIS 系统普遍采用对影像和 DEM 数据进行切片的方式来降低网络通讯的负荷^[16-18]。

2.3.1 基于四叉树的数据组织

影像和 DEM 数据的层次组织采用四叉树数据结构,即每加深一层,边长为前一层的 2 倍。基于四叉树的数据组织方式,与栅格数据的格网结构相统一,且由于相邻层次间 2 倍的边长对应关系,便于瓦片的快速定位与检索^[19]。

2.3.2 空间参考的确定

为了降低几何坐标转换的误差,提高定位精度,OWG 中默认空间参考系统基于 WGS-84 基准面。由于数据预处理过程中以 Google Earth 作为坐标配准参考,则配准后数据投影为通用横轴墨卡托(UTM)投影,结合实验区所处投影分带——50N,实验数据完整的空间参考可表示为 WGS-84 / UTM zone 50N。

根据公开发布的 EPSG 数据^[20]可知,实验数据空间参考代码为 32650,最终确定实验数据空间参考参数见表 2。

表 2 空间参考参数说明

Tab. 2 Introduction of spatial reference parameters

基准面	地图投影	投影分带	空间参考系统 ID
WGS-84 基准面	UTM 投影	50N	EPSG: 32650

2.3.3 栅格数据的切片

在确定了数据组织方式,同时明确了空间参考系统之后,针对栅格数据(影像和 DEM)进行瓦片切割。

数据切片流程如图 4 所示,影像数据与 DEM 数据均须进行计算数据集覆盖范围、设定切片 LOD 层数、创建图层文件、生成最底层 LOD 瓦片数据以及重采样生成其他各层瓦片等步骤;不同之处在于,DEM 数据在重采样生成各层瓦片之前需要构建瓦片三角形模型,以保证对地形起伏的实时渲染。

其中,生成最底层 LOD 瓦片数据时,以最大细节层次划分格网为依据,以 256×256 为瓦片尺寸,将数据切割为瓦片(*.png 格式)并存入对应格网文件目录中;构建瓦片三角形模型过程,则是利用 Delaunay 三角网生成算法,创建几何模型文件(*.json 格式),渲染高程起伏效果;重采样过程,是以最底层 LOD 瓦片为基础,相邻两层边长

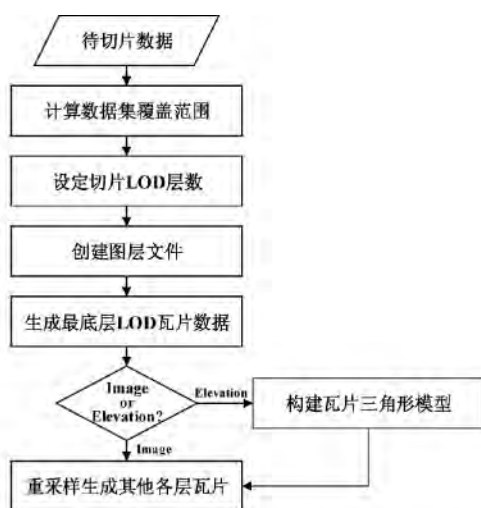


图4 数据切片流程

Fig. 4 Procedure of creating tiles

1/2 的递推关系,生成其他各层瓦片数据。

3 原型系统

本文利用 C# + ArcGIS Engine 编程方式实现了 DEM 二次加工工具,用于河道及其周边高程模型的重建;通过可视化及批处理编程方式,重新封装 OWG 提供的切片模块和 JSON 文件的转换脚本;利用 JavaScript 在 OWG 基础上进行二次开发,实现三维地理场景在浏览器端的实时渲染以及所需人机交互操作。

以上三部分共同组成了三维数字水利原型系统,其中前两部分用于三维地理场景数据的准备,第三部分是对三维地理场景的展示,同时提供所需人机交互的操作。各部分主要功能简要说明如下:

3.1 数据准备工具

3.1.1 DEM 二次加工工具

实现了包括抬升河堤、挖深河道等河道模型增强功能,以及平整道路、去除因植被覆盖引起的高程凸起异常等功能。河道模型增强前后某断面高程对比如图 5 所示。

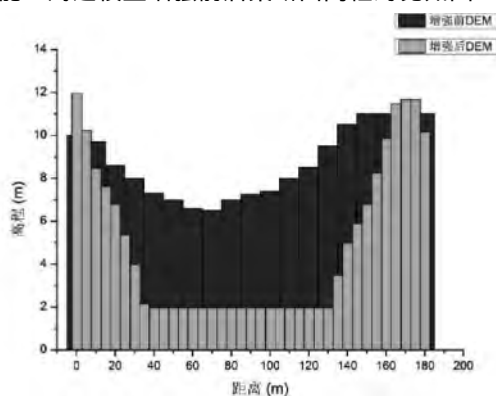


图5 河道模型的增强

Fig. 5 The enhancement of channel model

3.1.2 数据切片及模型转换工具

为操作人员提供简洁、直观的数据切片和数据格式转换人机交互方式。通过可视化人机交互形式完成 DOM

及 DEM 的瓦片切割与组织,以及三维模型文件向 JSON 文件的批量转换功能。

3.2 系统效果

实现三维地理场景在浏览器端的实时渲染以及所需人机交互操作。主要功能包括:DOM、DEM 及几何模型的实时融合渲染、三维场景漫游与缩放、全屏显示、鼠标所在经纬度的实时显示、飞行线路的设定、POI 设置及拾取响应、河道施工断面图的查看、几何模型的拾取响应等功能;其中,几何模型拾取响应的实现,可以满足进一步构建信息系统时与数据库的挂接。此外,系统使用半透明水面纹理贴图代替河流表面 DOM 纹理,在保证真实感显示效果的同时,可以观察河道底面几何起伏状况(如图 6 所示)。



图6 原型系统效果图

Fig. 6 Effect picture of prototype system

4 结束语

基于 WebGL,研究以河道及水利设施为主要展示内容的三维 WebGIS 的构建方法,针对水利场景及设施的特点,提出了对 DEM 和三维模型数据作专门处理,至虚拟三维水利场景模型构建的技术路线,实现三维水利场景在 Web 浏览器端的无插件高速渲染。对数据预处理、河道 DEM 重构、数据组织与切片、三维地理场景构建过程中的关键技术,结合水利应用的具体需求,从实现机制及处理流程等方面进行了阐述。编程实现了 DEM 二次加工工具、数据切片及模型转换工具,以及三维 Web 水利场景展示系统。

实验证明,基于 WebGL 的三维数字水利展示系统可为用户在浏览器中提供流畅的交互式三维可视化体验。本文实现的原型系统为三维数字水利场景的 Web 展示建立了基础框架并实现了基本功能。在后续研究中,将进一步考虑与数据库系统的集成,建立完整的无插件 Web 版三维水利地理信息系统,形成完善的三维数字水利解决方案。

参考文献:

- [1] L Feng, C Wang, C Li, Z Li. A Research for 3D Web-GIS Based on WebGL [C]//Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011 International Conference on: 348-351.
- [2] BLoesch, M Christen, S Nebiker. OpenWebGlobe - An open source SDK for creating large-scale virtual globes on a WebGL basis [C]//International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information

- Sciences, 2012: 195 – 200.
- [3] 姜仁贵, 解建仓, 李建勋. 面向防汛的三维预警监视平台研究与应用[J]. 水利学报, 2012, 43(6): 749 – 755.
 - [4] 孙海, 王乘, 吴栋, 等. 空间信息技术在水利信息管理中的应用[J]. 人民长江, 2007, 38(10): 122 – 125.
 - [5] 钟登华, 宋洋. 大型水利工程三维可视化仿真方法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(1): 121 – 127.
 - [6] 万剑华, 郝红霞, 丁仁伟. 基于 Web 三维虚拟场景的建立[J]. 测绘科学, 2005, 30(4): 78 – 80.
 - [7] 陶刚, 池天河, 郑桂香. 基于 Skyline 的网络三维 GIS 建设及应用[J]. 测绘科学, 2011, 36(6): 219 – 221.
 - [8] GBell, A Parisi, M Pesce. The Virtual Reality Modeling Language [EB/OL]. 1995. <http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/VRML1.0/index.html>.
 - [9] MReddy, L Iverson, YG Leclerc. Under the hood of GeoVRML 1.0 [C]//Proceedings of the fifth symposium on Virtual reality modeling language (Web3D – VRML). ACM, 2000: 23 – 28.
 - [10] 伏玉琛, 周洞汝. 虚拟现实 GIS 核心技术的研究[J]. 计算机应用, 2003, 23(7): 75 – 76.
 - [11] Khronos Group. WebGL Specification Version 1.0.2 [EB/OL]. 2013 – 03 – 01. <https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/1.0.2/>.
 - [12] 曾珣. 基于 WebGL 的机载激光雷达点云数据可视化[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2012, 27(4): 60 – 64.
 - [13] A Devaux, M Brédif, N Paparoditis. A web – based 3D mapping application using WebGL allowing interaction with images, point clouds and models [C]//Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems, 2012: 586 – 588.
 - [14] Khronos Group. OpenGL SDK [EB/OL]. <http://www.opengl.org/sdk/docs/man/xhtml/glTexImage2D.xml>. 2013.
 - [15] Khronos Group. OpenGL ES SDK [EB/OL]. <http://www.khronos.org/opengles/sdk/docs/man/xhtml/glTexImage2D.xml>. 2013.
 - [16] P Sloup. WebGL Earth [J]. Information Sciences and Technologies Bulletin of the ACMSlovakia, 2011: 1237 – 1338.
 - [17] MChristen, S Nebiker. OpenWebGlobe SDK, an Open Source High Performance Virtual Globe SDK for Open Maps[M]. Proceedings of the 1st European State of the Map, Vienna, 2011.
 - [18] M Christen. The Future of Virtual Globes The Interactive Ray – Traced Digital Earth [C]//ISPRS Congress Beijing, 2008.
 - [19] 霍亮, 杨耀东, 刘小勇, 等. 瓦片金字塔模型技术的研究与实践[J]. 测绘科学, 2012, 37(6): 144 – 146.
 - [20] Geodesy Subcommittee of OGP. EPSG Geodetic Parameter Dataset [DB/OL]. <http://www.epsg-registry.org/>. 2013.

[编辑: 栾丽杰]

(上接第 37 页)



图 4 三维柱状模式统计专题图

Fig. 4 Three – dimensional columnar pattern statistics thematic maps

4 结束语

由于统计数据与区域存在着密切关联性,统计功能的目的是实现用户在浏览器端就可以通过人机交互式操作对统计数据实现统计数据的统计专题图生成制作,以及相关的统计信息的生成。基于地理空间的可视化分析,可在区域上直接表达出区域的经济等数据。基于 RIA 的 Flex 技术结合组件式 WebGIS 系统 (MapGIS IGServer)

进行了研究,并设计和实现了系统原型,网站在线传输效率、用户体验等方面都得到了较大的提高,基于组件式 WebGIS 的统计专题图的设计大大提高了网页开发的效率,可为相关统计机构在改进网站功能和统计数据的发布方式上提供新的解决思路。

参考文献:

- [1] 苏德国, 崔希民, 董到春, 等. 轻量 WebGIS 环境下基于动态数据交换的专题制图自动化研究[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 80 – 81.
- [2] 章莉萍, 郭庆胜. 网络上分级统计地图制图软件的设计与开发[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(3): 47 – 49.
- [3] 黄丙湖, 阎国年, 陈踊, 等. 网络环境下动态专题图制作研究[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2005, 5(2): 87 – 89.
- [4] 胡洁. Flex 完全自学手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [5] 吴信才. MapGIS IGServer 原理与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [6] 刘兴权, 杨海燕, 丁美青. GIS 在统计行业中的应用[J]. 四川测绘, 2006(9): 125 – 127.

[编辑: 栾丽杰]