引文格式：牛永力,贾宝,景峰,等. 基于车载LiDAR数据的道路部件实景三维模型构建[J]. 地理空间信息, 2025, 23(9): 106-110. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.09.023

# 基于车载LiDAR数据的道路部件实景三维模型构建

牛永力[1,2,3]，贾　宝[1,2,3*]，景　峰[4]，毛明楷[2,5]，苏春耀[1,2,3]，禹　旭[1,2,3]

（1. 河南省测绘院，河南 郑州 450003；2. 河南理工大学 自然资源部矿山时空信息与生态修复重点实验室，河南 焦作 454003；
3. 河南省自然资源科技创新中心（北斗高精度定位与应用关键技术研究），河南 郑州 450003；
4. 国家地震局地球物理勘察研究院（物探大队），河南 郑州 450003；5. 北京四维远见信息技术有限公司，北京 100070）

**摘　要：**针对传统道路建模效率低、要素种类少的问题，以国产移动激光测量系统获取的点云数据为基础，研究了城市道路部件实景三维建模方法，制定了道路部件数据处理、信息提取、矢量化与精细三维建模技术方案，改进了基于激光反射强度与扫描距离的地面标示线提取、基于边缘特征的分离式杆状地物特征提取以及聚类分析的部件提取、矢量化和实体分类等技术，实现了道路部件信息的实景三维模型构建，并通过实例验证了方法的有效性。该技术在城市精细化管理和智能驾驶等领域具有较好应用前景，对相关数据的生产具有一定的参考价值。

**关键词：**车载LiDAR；道路部件；点云；矢量化；实景三维模型

**中图分类号：**P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）09-0106-05

## 3D Real Scene Model Construction of Road Components Based on Vehicle LiDAR Data

NIU Yongli[1,2,3], JIA Bao[1,2,3], JING Feng[4], MAO Mingkai[2,5], SU Chunyao[1,2,3], YU Xu[1,2,3]

(1. Henan Institute of Surveying and Mapping, Zhengzhou 450003, China;
2. Key Laboratory of Mines Spatiotemporal Information and Ecological Restoration (MNR), Henan Poly-technic University, Jiaozuo 454003, China;
3. Henan Science and Technology Innovation Center of Natural Resources (Research on Key Technologies of Beidou High Precision Positioning and Application), Zhengzhou 450003, China;
4. National Earthquake Administration Earth Physics Survey Research Institute (Physical Exploration Brigade), Zhengzhou 450003, China;
5. Beijing Siwei Foresight Information Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** In response to the problems of low efficiency and limited types of elements in traditional road modeling, based on point cloud data obtained from domestic mobile laser measurement systems, we investigated the 3D real scene modeling technology method for urban road components, developed a technical scheme for road component data processing, information extraction, vectorization and fine 3D modeling at first. Then, we improved the techniques such as ground marking line extraction based on laser reflection intensity and scanning distance, separated rod-shaped terrain object feature extraction based on edge features, and cluster analysis for component extraction, vectorization, and entity classification, and achieved the 3D real scene modeling of road component information. Finally, we verified the effectiveness of method through examples. This method has good application prospects in the fields of urban fine management and intelligent driving, and has certain reference significance for the production of related data.

**Key words:** vehicle LiDAR, road component, point cloud, vectorization, 3D real scene model

道路部件实景模型通过高清化、高精度结构化与实体化建模，将数据粒度精准至城市道路设施的单个探头、单块交通标志，乃至单体建筑的每一扇窗，为城市精细化、智能化管理和服务提供了有效手段[1]。城市道路部件模型不仅包含道路本身的属性和信息，还包含红绿灯、摄像头、交通标志线、路灯、行树、垃圾箱等对象，种类繁杂、数量庞大。对城市道路部件实施精细化管理，需在精细度、单体化程度和空间准确性等维度达到更高标准[2]。传统城市道路建模方法以地形图和地形测量数据为底板，结合外业调绘细节和纹理进行建模，只能表达离散的点、线特征，不能完整而精确地反映道路实景[3]。车载 LiDAR 测量系

项目来源：国家重点研发计划资助项目（2016YFC08033103）；国家自然科学基金资助项目（41001226、41202245）；中国博士后科学基金资助项目（2015M582831）。

第一作者简介：牛永力（1974—），本科，高级工程师，研究方向为测绘地理信息技术与应用，E-mail：hnchnyl@163.com。
通信作者：贾宝（1987—），硕士，工程师，研究方向为3S集成与应用、车载激光点云数据处理，E-mail：602976089@qq.com。

统能快速获取道路面及其两侧树木、交通标志牌、建筑物等地物的点云和影像信息，具有主动、效率高、精度高、信息丰富等优点[4-6]。部分学者[7-10]基于地形图等多种数据进行建模，但存在建模工序复杂、效率低等问题。为满足城市精细化管理对道路部件模型的迫切需求，本文以上海市浦东新区局部区域为例，开展道路部件建模实验，基于国产移动激光测量系统研究道路部件数据采集、信息提取和实景三维建模的技术方案，构建点云特征提取和矢量化处理方法，实现道路部件三维可视化，为城市三维信息化管理、智能驾驶等领域提供参考。

## 1　道路部件实景三维建模技术路线

车载LiDAR技术作为高效获取三维空间信息的创新手段，其生成的点云数据为道路部件实景模型的自动化构建筑牢了数据根基。道路部件实景三维建模体系分为道路面模型、部件模型与场景模型3大核心模块，其中道路面模型涵盖机动车道、非机动车道、人行道、盲道、交通标线、绿化花坛和桥梁等关键地面线状要素，基于预处理的点云数据提取道路标志线和路边线，构建路面TIN，并通过纹理映射和贴图修饰建立路面模型；部件模型包括杆类、箱类、牌类等点状要素，如道路两侧的行树、探头、路灯、垃圾箱、交通标志、消火栓、桥隧、公交站牌、警示桩、公共取水点、交通禁令标志、加油站、电力箱和电信箱等重要城市附属设施和公共设备，基于车载点云数据和全要素地形数据建立部件白模，再结合全景影像进行纹理映射和贴图修饰，建立不同类型部件模板库，按照地理位置一一映射，完成道路部件模型制作；场景模型则基于道路模型外边缘线和部件轮廓线完成场景模型的几何构建，纹理采用正射影像进行映射。

## 2　道路部件实景建模关键技术

根据部件地形地物的现实特性，道路地物类别主要分为点状和线状两大类。道路部件实景三维模型包括道路和部件要素模型[11]。

### 2.1　路面自动化构建

本文利用邻域高程滤波方法提取路面点，并利用回波强度阈值法从路面点云中分离出行车标志线，进而开展矢量化和三维建模[12-15]。

1）地面点滤波。基于原始激光点云，利用地面点近似于水平面且是一定范围内的最低点以及相邻地面点的激光扫描坐标 $Z$ 值相近的特点，通过 $Z$ 值滤波算法粗探测地面点[16-17]。算法步骤为：①选取所有点云中 $Z$ 值小于30 cm（路牙高度为30 cm）的点构成点集 $P$；②将 $P$ 中任一激光点设为初始点，取与初始点在同一扫描行上的左右相邻两点、初始点前一扫描行和后一扫描行上距该点最近的点及其左右相邻两点，构成3右相点阵；③计算该点阵的 $Z$ 值卷积 $\sum Z=\frac{|Z_1-Z_0|+\ldots+|Z_8-Z_0|}{8}$；④对 $\Sigma$ 设定阈值，若小于该阈值，则对该点阵中的所有点进行标记；⑤遍历 $P$ 中所有激光点，已标记的点不再处理，未标记的点重复上述操作。经上述处理，可得到精化提取的地面点。

2）地面标志线提取。地面标志物体的材质、颜色、物体到扫描仪的距离、入射角等都将影响激光点的反射强度。为提高处理效率，本文将样本区路面激光点按强度值渲染，统计分道线点云的强度和激光点到扫描仪的距离，并建立二者的关系，按距离聚类对全体分道线点云进行提取和矢量化[18]。本文解算点云强度的分化范围为0~2 047。路面点云按反射强度渲染的结果见图1，可以看出，分道线点云与周围路面点云的反射强度存在明显差异；强度随着激光点到扫描仪距离的变化而变化。利用最小二乘原理，拟合得到激光点强度 $i$ 以及激光点与扫描仪的距离 $D$ 之间的关系为：

$$i=\begin{cases}15.87D^2+299.3D+2\,738 & D<0\\ 8.464D^2-189.3D+2\,445 & D>0\end{cases} \quad (1)$$

将所有地面点的 $D$ 值代入式（1）得到理论强度值 $i_{理论}$，若 $|i_{理论}-i_{实际}|$ 小于阈值，则保留该点，否则舍弃。

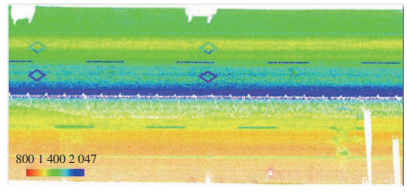



图1　按反射强度渲染的路面点云

3）分道线矢量化与建模。对回波强度设定阈值提取分道线点云，全体分道线点云按距离聚类，若点块长度较短，则认为是虚分道线，若长度超过阈值，则认为是实分道线，虚分道线取中间首尾两点的连线作为其矢量，实分道线矢量是保留首尾两点。以虚分道线和实分道线矢量为基础，在垂直于马路的方向向两侧各偏移适当距离，每条矢量线形成一个封闭几何区域，再交互选择白色或者黄色纹理贴在该几何图形

上，得到最终的分道线模型[16]。

4）路面矢量化与建模。路边线矢量由一系列离散点的三维坐标点构成。本文将两条路边线上的矢量点均匀化并一一对应，得到矢量化的路边线[19]，再将两条路边线上的矢量点按顺序连接成一系列三角形，构建路面几何模型，叠加分道线模型，形成最终的路面模型。

### 2.2 部件自动化构建

道路部件模型自动化构建包括行树、交通标识牌、垃圾箱、红绿灯、摄像头、消防栓和路灯等杆状地物的提取、修饰、纹理映射与建模等步骤[20-23]。

1）杆状地物特征提取。利用杆状地物两侧边缘点在扫描线中与相邻点的前向、后向距离差异特征可有效分离边缘点与场景中占多数的地面点、建筑物点，得到点集 $P_1$，再利用点生长和点聚类方法从 $P_1$ 中分离出单个杆状地物的边缘点，分割为 $S_1$、$S_2$、…、$S_n$，每个点集对应一个杆状地物实体，实现杆状地物的实体化。具体方法步骤为：①利用激光点的前向距离和后向距离探测边缘点，计算当前激光点与其同一扫描线上前一和后一激光点之间的三维欧氏距离（L_F、L_B）；②根据 $(L_{L_F}>\text{prm1}\cap L_{L_B}<\text{prm2})\cap(R_{L_B}>\text{prm1}\cap R_{L_F}<\text{prm2})$ 进一步探测边缘点，其中 $L_{L_F}$、$L_{L_B}$ 为左侧边缘点的L_F、L_B，$R_{L_F}$、$R_{L_B}$ 为右侧边缘点的L_F、L_B，prm1、prm2为阈值参数；③同一扫描线上左右两侧边缘点成对出现，且两点间的空间距离小于 $\sqrt{2}$ prm3，其中prm3为杆状地物最大直径阈值参数，按扫描顺序遍历所有激光点，据此探测得到大部分杆状地物边缘点；④利用二维点密度的地面投影滤波方法将得到的点集向水平面投影，以杆状地物最大直径为搜索半径统计邻域点数，保留竖直地物高密度点后，通过竖直方向聚类分割剔除杂点提取杆状地物。

2）杆状实体分类与建模。以杆状地物为基础进行激光点的空间生长，得到与每个杆状实体相连的点云块，并判断其几何形态。根据已有的先验知识，如树冠是空间中散乱分布的点集合，树冠点块的x_Length、y_Length和z_Length均较大；路灯属于高度较高且基本一致的杆状地物，通常高于地面10 m，其顶端伸出的灯头具有显著特征，y_Length较小，而x_Length约为2 m；电杆顶端一般连接有线状延伸的电线，x_Length或y_Length通常超过5 m；交通标志牌杆长度较固定（高于路面约5 m），且标志牌激光点反射强度极高，利用经验值建立分类规则（表1），实现了树干、路灯、电杆和交通标志杆4种杆状地物的分类。

表1 基于知识的杆状实体分类规则/m

| 项目 | 电杆 | | 路灯 | | 树干 | | 交通标志杆 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 杆 | 电线 | 杆 | 灯头 | 杆 | 树冠 | 杆 | 交通标志牌 |
| x_Length的最小阈值 | – | 3 | – | 1 | – | 1.5 | – | 1 |
| x_Length的最大阈值 | – | – | – | 2 | – | – | – | 3 |
| y_Length的最小阈值 | – | 3 | – | – | – | 1.5 | – | – |
| y_Length的最大阈值 | – | – | – | 0.5 | – | – | – | 0.5 |
| z_Length的最小阈值 | 5 | – | 10 | 0.5 | – | 1 | 5 | 1 |
| z_Length的最大阈值 | – | – | – | 3 | 5 | – | 10 | 3 |

## 3 实验与结果分析

### 3.1 数据获取

以上海浦东新区某道路为例，采用车载LiDAR系统采集全息测绘数据，融合激光、IMU、GNSS和里程计数据获取行车轨迹，据此重新定位点云坐标并生成多信息真实点云数据（图2）。

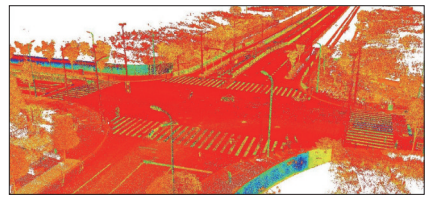
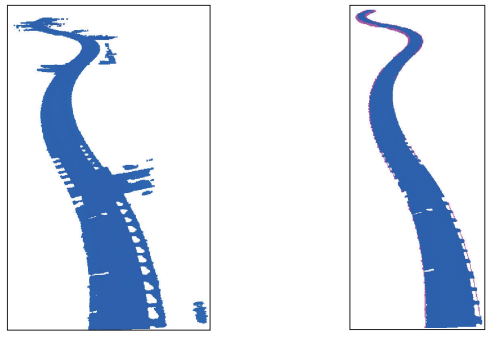


图2 点云数据

### 3.2 数据处理

1）路面点提取。路面点与非路面点以路边线为界，利用邻域高程滤波与路边线相结合的方法提取路面点。首先利用邻域高程滤波提取地面点，再结合路边线从地面点中剥离路面点，最终得到的路面点见图3。



a 邻域高程滤波 b 邻域高程滤波+路边线限制

图3 基于路边线的路面点提取结果

2）交通标志线点云提取与矢量化。利用激光点的反射强度信息提取路面交通标志线，再对交通标志线点云按距离聚类连线，实现道路分道线提取与矢量化（图4）。

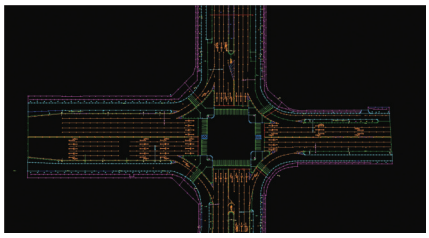


图4　基于反射强度的分道线点云提取与矢量

3）杆状物提取。本文采用基于边缘特征的分离式杆状地物特征提取方法，结合杆状实体几何形态判定规则，实现了交通标志、路灯、树干、电杆的精细化分类（图5）。

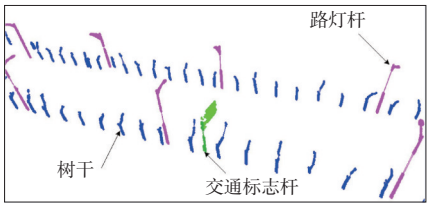



图5　杆状地物提取结果

为验证本文方法提取的有效性，采用完整率与准确率来评估杆状地物的提取精度，以单个杆状地物为基本单元，结果见表2，$T$ 为正确分类的某地物数量，$N$ 为漏提的该地物数量，$F$ 为误提为该地物的其他地物数量，可以看出，本文方法对杆状地物提取的准确率和完整率较高，作为自动批量提取功能可有效提升作业效率。

表2　实验区提取结果统计表

| 地物类型 | $T$ | $N$ | $F$ | 完整率/% | 准确率/% |
|---|---|---|---|---|---|
| 树干 | 335 | 26 | 30 | 92.8 | 91.8 |
| 路灯 | 82 | 12 | 9 | 87.2 | 90.1 |
| 电杆 | 15 | 3 | 3 | 83.3 | 83.3 |
| 交通标志杆 | 9 | 4 | 3 | 69.2 | 75.0 |

### 3.3　道路部件实景三维模型构建与精度分析

1）道路面模型制作。基于提取的道路边线、交通标志标线等三维矢量要素构建道路面与花坛等实体；再将道路标线、边线等人行横道线状要素导入3DMax，完成模型构建（图6）。

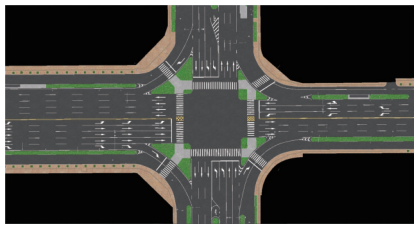


图6　局部路面模型

2）道路部件模型制作。在详细分析各类部件形体特征的基础上构建模板库，利用3DMax融合影像信息确定地物形态；再根据点云数据获取真实尺寸，构建白模；最后结合纹理通过UA的方式进行模型贴图，完成道路部件模型制作（图7）。



a 路灯　　b 公交站牌

图7　部分城市道路部件模型

3）道路部件模型摆放。基于道路场景与部件模型，利用三维矢量数据中部件的类型、位置与朝向信息，通过自动或半自动方式将模板库模型放入道路三维场景，并完成矢量编辑、纹理处理和属性关联，实现城市道路面模型与部件三维模型的无缝融合（图8）。



图8　局部道路实景三维模型

4）道路部件实景三维模型质量检查内容包括命名、几何数据、属性数据、纹理数据、精度和效果。根据自然资源部《基础地理实体数据几何精度要求》的规定，城市级市级层面实体数据平面位置中误差为0.3~1.6 m，高程中误差为0.25~2.00 m。数据质量和属性精度采用内外业相结合的方式按照技术设计进行检查，其中命名检查包括模型文件名称、纹理名称和模型名称，纹理数据检查包括纹理完整性、正确性、分辨率、透明度和纯净度检查，属性数据检查包括属性字段、字段类型、属性完整性和表关系，效果检查包括模型亮度和烘焙。提取50个道路部件模型采集点与全站仪实测坐标进行对比，计算各检测点的中误差，以评估道路部件实景三维模型的几何精度，结果表明，$X$、$Y$、$Z$ 方向的中误差分别为0.039 、0.043、0.032 m，完全符合城市实景三维建模精度要求。

## 4　结　语

车载LiDAR技术在快速获取沿道路地物的三维空间信息方面具有无可比拟的优势。本文以国产车载LiDAR获取的点云数据为背景，详细介绍了道路杆状地物和道路边线的提取过程以及路面建模的关键技术，并通过实例构建了城市道路部分部件的实景三维模型，经精度检查，模型成果质量达标。该技术降低

了劳动成本，提高了模型的精度和实用性，在城市精细化管理、应急指挥、智慧交通、智能驾驶等方面具有广阔的应用前景。面对现实中各种复杂的路面环境，本文方法虽能有效提取目标地物，但不能做到完全适用，如点云数据缺失或干扰物严重的杆状部件提取难度较大，地面标志线污损严重也将影响提取精度和效率，后期需要进一步关注和研究：

1）交通标志线提取时，仅利用激光的反射强度而未利用彩色点云的色彩信息。强度信息与物体的材质、颜色、物体到扫描仪的距离、入射角等有关，影响提取精度，同时与点云密度和道路标线的磨损程度有关，下一步结合这些影响因素分类讨论，形成一套优势互补的通用方法，提高交通标志线的提取精度。

2）地面点提取时，由于本文方法首先基于扫描车的激光扫描坐标 $Z$ 值进行高度限制，因此对于路面坡度较大的情况，较低一侧地面上将探测出大量非地面杂点，下一步考虑在 $Z$ 值限制的基础上加上坡度改正。

3）目标杆状地物附近有干扰物时，提取成功率下降，如目标杆状地物在靠近扫描车方向上紧挨着栅栏或被其他物体遮挡，杆状地物底部点因被干扰未被探测出来，进而导致整个地物未被提取。考虑在下一步的工作中先剔除道路上的栅栏，排除对目标地物的干扰。

## 参考文献


[1] 王文峰，金雯. 道路全要素实景模型的自动化构建与应用[J]. 测绘通报，2021(增刊1):46-49

[2] 李婷，赵祥. 基于车载点云数据制作道路全要素三维实景模型[J]. 测绘标准化，2022，38(1):59-63

[3] 徐辛超，丁雪. 基于车载点云的道路三维实景建模方法研究[J]. 测绘与空间地理信息，2024，47(2):17-20

[4] 朱绪鹤，罗宁馨，王君毅. 基于倾斜影像和机载LiDAR点云的城市级实景三维模型生产技术[J]. 测绘通报，2024(2):144-147

[5] 王文峰. 车载LiDAR在智能化全息测绘中的应用[J]. 地理空间信息，2021，19(2):54-55

[6] 朱清海. 一种基于八叉树车载激光点云的杆式地物批量提取方法[J]. 测绘通报，2019(增刊2):110-111

[7] 杨常红. 联合空地多源数据的全要素实景建模方法[J]. 测绘地理信息，2021，46(6):72-77

[8] 李清泉，杨必胜，史文中，等. 三维空间数据的实时获取、建模与可视化[M]. 武汉:武汉大学出版社，2003

[9] 李俊超，李楼. AutoCAD Civil 3D和3ds Max Design在道路建模中的应用[J]. 测绘通报，2013(2):91-94

[10] 秦涛，龚晓晖，于洪武. 城市道路三维参数化建模平台设计与研究[J]. 中外公路，2016，36(5):336-338

[11] 邓学锋，徐娜，贾宝. SSW系统在地下大型停车场三维建模中的应用研究[J]. 地理信息世界，2019，26(5):53-57

[12] 刘凤珠，赵亚丽，马新建，等. 可量测全景视频流在胡同实景三维建设中的应用[J]. 北京测绘，2025，39(1):40-47

[13] 吴江. 车载三维激光扫描系统在农村集体建设用地确权中的应用[D]. 西安:长安大学，2015

[14] 朱磊，王健，许开辉，等. 采用聚类分析的车载点云地物分类[J]. 测绘科学，2016，41(4):77-82

[15] 吴学群，宁津生，杨芳. 车载激光扫描数据分类支持下的路面数据提取[J]. 测绘通报，2018(2):107-110

[16] 张合兵，张克，刘培，等. 基于RS和GIS的矿区生态指标提取与安全评价:以焦作矿区为例[J]. 煤炭科学技术，2020，48(4):80-88

[17] 马浩，裴智惠，李婷婷. 移动激光扫描数据的道路标线自动提取[J]. 测绘科学，2019，44(6):217-221

[18] 马浩，王留召. 基于车载激光点云的道路边线自动分类与提取[J]. 测绘科学，2014，39(6):126-128

[19] 张腾飞，刘念. 基于三维激光点云数据的道路全息化建模[J]. 测绘技术装备，2020，22(2):65-68

[20] 倪欢，张继贤，段敏燕，等. 面向对象的车载激光扫描点云建筑物立面提取[J]. 测绘科学，2014，39(4):92-96

[21] 张富杰. 车载激光测量系统在地下构建筑物快速建模中的研究[D]. 焦作:河南理工大学，2016

[22] 吕东东，江峻毅，李东. 基于边缘点地面投影滤波的杆状地物提取新方法的测试与验证[C]//第十九届华东六省一市测绘学会学术交流会论文集，2017:234-242

[23] 曾政祥，何晶晶，张婧. 融合激光点云的城市级高精度建模技术[J]. 测绘通报，2023(3):133-138


（上接第32页）


Fractals，2015，72:4-19

[39] 陈卫东. 在不确定性中艰难前行:国际金融2016年回顾与2017年展望[C]//《IMI研究动态》2017年上半年合辑. 中国银行国际金融研究所，2017:131-140

[40] FAO. Crop Prospects and Food Situation: Quarterly Global Report No.4，December 2014[R]. Rome: FAO，2014

[41] Zhang C，Fu J，Pu Z. A Study of the Petroleum Trade Network of Countries Along “The Belt and Road Initiative”[J]. Journal of Cleaner Production，2019，222:593-605

[42] Zhang H，Wang Y，Yang C，et al. The Impact of Country Risk on Energy Trade Patterns Based on Complex Network and Panel Regression Analyses[J]. Energy，2021，222:119 979

[43] Serrano M A，Boguna M. Topology of the World Trade Web[J]. Physical Review E，2003，68(1):015101