

基于 GIS 技术的公路地质选线方法^{*}

余再富¹, 李元松¹, 陈峰², 戴哲¹, 王玉¹, 李新坤¹

(1. 武汉工程大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430073; 2. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430052)

摘要: 鉴于传统依靠人工进行地质选线的作业量大、效率低、主观性大的缺点, 以桂柳(桂林—柳州)高速公路改建项目选线为例, 构建线路评价指标体系, 并根据各影响因素对选线的影响程度, 利用 GIS(地理信息系统)技术建立影响因素栅格数据模型, 根据基于栅格数据模型的最优路径算法自动选出最优路径。结果表明, 利用 GIS 技术进行公路地质选线可达到自主智能选线的目的, 极大提高选线效率, 降低主观因素的干扰, 实现快速选线、定线。

关键词: 公路; 地质选线; 地理信息系统(GIS); 数据模型; 最优路径

中图分类号: U412.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)04-0051-05

地质选线是山区高速公路设计的重要部分, 直接影响高速公路设计成本和质量。近年来, 由于地质选线不当而引发滑坡、崩塌等不良地质灾害的现象经常发生, 不仅导致较大经济财产损失, 还破坏自然环境。如果在公路线路设计前期能注意和加强地质选线, 增加工程地质工作强度和深度, 就能有效避免这些地质灾害的发生。然而地质选线是一个复杂的过程, 影响因素较多, 采用传统的人工选线方式, 不仅工作量大、效率低, 而且主观因素影响大。应用现代技术进行公路智能选线已成为主流趋势, 随着 GIS 技术的快速发展, GPS(全球定位系统)数据、DEM(数字高程模型)数据及无人机遥感、卫星遥感数据等都能利用 GIS 技术进行快速分析与处理。基于此, 杨柏林提出了一种基于改进模型与算法的三维空间智能选线方法; 杨柳等提出了基于 3S(遥感技术 RS、GIS、GPS)技术建立线路评估体系进行线路优选的方法; 安海堂、郭海东等利用 ArcGIS 构

建不良地质区域铁路走向辅助决策的层次分析模型, 结合层次分析法, 实现线路方案优选。但上述选线方法都是基于现有几条线路方案选出最优路径。该文使用 GIS 技术构建复杂地质条件下选线分析模型, 利用基于栅格数据的最低成本路径算法自动生成最优线路, 实现自主智能选线。

1 最优路径分析原理

如图 1 所示, 基于 GIS 的最优路径是运用 Dijkstra 算法, 在根据单因素费用模型加权叠加生成的综合费用模型(综合成本栅格图)中, 以栅格单元作为最小计算单位, 以路线起点作为距离源, 按照从右到左、从上到下的原则搜索计算其相邻 8 个栅格单元的累计成本值, 然后按成本值从小到大的顺序记录这 8 个栅格单元的方向及成本值, 并在累计成本距离栅格图的对应位置记录其成本值, 在方向栅格图中记录其方向值, 由该栅格单元指向它前一个栅

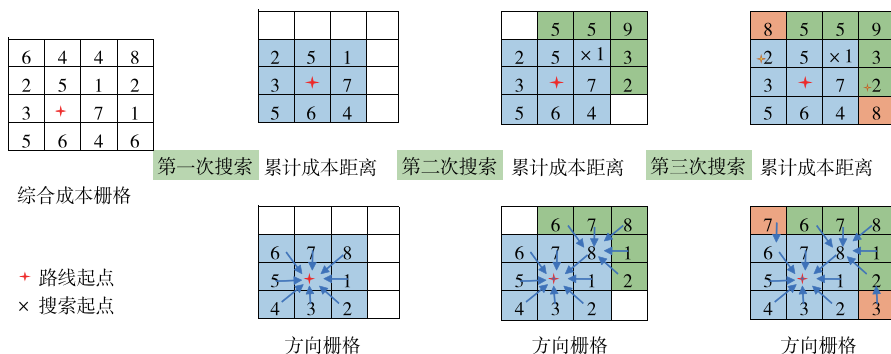


图 1 最优路线搜索示意图

^{*} 基金项目: 武汉工程大学研究生教育创新基金项目(CX2019042)

格单元的方向,其中方向值1表示右,2表示右下,3表示下,4表示左下,5表示左,6表示左上,7表示上,8表示右上。最后找到其相邻栅格单元成本值最低的一个栅格单元,记为 a ,作为下一个搜索起点,对其周围没有被搜索的栅格单元一一进行加和计算(像元 a 累计值+周围像元值)。重复前述操作直到所有栅格单元全部被搜索完成,得到累计成本距离栅格图和方向栅格图。累计成本栅格图和方向栅格生成后,任意点到路线起点的最优路径也唯一确定。如图2所示, A 点到路线起点的最优路径为粗箭头路径,最低累计成本为5; B 点到路线起点的最优路径为细箭头路径,最低累计成本为8。

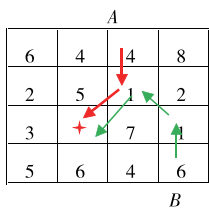


图2 最优路线示意图

2 选线流程

基于GIS进行最优路径分析,其关键是科学合理地建立综合费用分析模型,在此基础上利用GIS空间分析功能,根据Dijkstra算法生成最低成本路径即最优路径。步骤如下:1) 筛选影响公路地质选线的主要因素。2) 利用层次分析(AHP)法计算各影响因素的权重。3) 各影响因素影响程度的量化。影响因素对公路选线的影响程度分为2类,一类可用确切的数值来表示,如到地质灾害的距离;另一类只能用定性描述来说明,如地形地貌条件。将各影响因素根据影响程度转换为统一的费用形式,以便进行选线计算分析。4) 建立单因素费用模型。在GIS系统中根据各影响因素分级及量化结果建立单因素栅格数据图层,即单因素费用模型。5) 建立综合费用模型。利用GIS空间分析功能将

各单因素费用模型进行加权叠加,生成综合费用模型。6) 最优路径生成。在综合费用栅格数据模型中指定路线起点和终点,根据基于栅格的最低成本路径算法Dijkstra自动生成最优路径(见图3)。

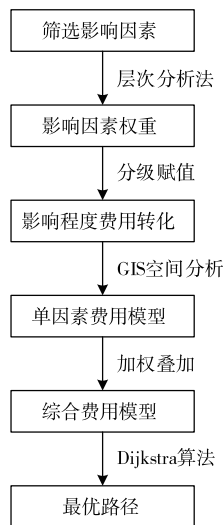


图3 选线流程

3 综合费用模型

综合费用模型是进行最优路径计算的关键,实质是利用GIS技术将公路选线各影响因素按照影响程度转化为数字信息存储在栅格数据集中,建立单因素成本栅格数据集即单因素费用模型,再将各单因素成本栅格数据集通过加权叠加生成综合因素成本栅格数据集,建立过程主要包括因素选取、权重计算、因素分级及赋值。

3.1 因素分析

为使评价指标体系能综合反映选线工程地质条件评价的多个方面,按照“全面考虑,突出重点”的原则,考虑山区公路地质环境特点,选择坡度、地貌类型、岩石硬度、岩石风化程度、到断层的距离、节理发育程度、地下水强度、滑坡、崩塌、泥石流、岩溶塌陷11个影响因素,建立决策层次结构模型(见图4)。

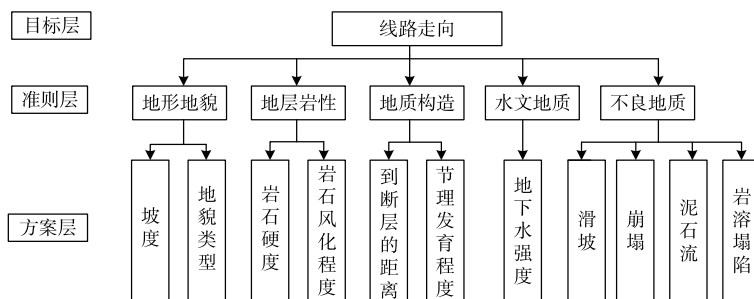


图4 决策层次结构模型

3.2 权重确定

采用 AHP 法进行影响因素权重计算。

(1) 构造比较判断矩阵。对于评判准则 C ,对 n 个元素之间相对重要性进行比较得到两两比较判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,元素 a_{ij} 根据 1~9 标度对重要性程度赋值形成。判断矩阵标度及含义见表 1。

表 1 判断矩阵标度及含义

标度	含义
1	两个元素相比,具有同样重要性
3	两个元素相比,前者比后者稍重要
5	两个元素相比,前者比后者明显重要
7	两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 i 与元素 j 的重要性之比为 a_{ij} ,则元素 j 与元素 i 的重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

(2) 求特征向量及对应特征根。按以下步骤求判断矩阵最大特征根对应的归一化特征向量作为权向量 w 。1) 将 A 的每一列向量归一化,得式(1);2) 对 \tilde{w}_{ij} 按行求和,得式(2);3) 归一化 $\tilde{w}=(\tilde{w}_1,\tilde{w}_2,\cdots,\tilde{w}_n)^T$,得式(3);4) 计算 $A\tilde{w}$;5) 按式(4)计算最大特征值 λ ,其中 w 即为对应特征值的权向量。根据上述步骤计算得到的地质选线各影响因素的权重见表 2。

$$\tilde{w}_{ij}=a_{ij}/\sum_{i=1}^na_{ij}$$

(1)

$$\tilde{w}_i=\sum_{j=1}^n\tilde{w}_{ij}$$

(2)

$$w=(w_1,w_2,\cdots,w_n)^T,w_i=\tilde{w}_i/\sum_{i=1}^n\tilde{w}_i$$

(3)

$$\lambda=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n\frac{(A\tilde{w})_i}{\tilde{w}_i}$$

(4)

3.3 因素分级及赋值

分别将坡度、地貌类型、岩石硬度、岩石风化程度、到断层的距离、节理发育程度、地下水强度、到滑坡的距离、到崩塌的距离、到泥石流的距离、到岩溶塌陷的距离等影响因素根据影响程度划分为 5 个等级,并进行赋值(见表 3),赋值越大,费用成本越高,表明影响因子对选线的影响程度越大。

表 2 地质选线影响因素的权重分配

准则层指标	权重	方案层相		
		方案层指标	权重	对于目标层的权重
地形地貌	0.11	坡度	0.33	0.04
		地貌类型	0.67	0.07
地层岩性	0.22	岩石硬度	0.67	0.15
		岩石风化程度	0.33	0.07
地质构造	0.26	到断层的距离	0.67	0.17
		节理发育程度	0.33	0.09
水文地质	0.20	地下水强度		0.20
		到滑坡的距离	0.27	0.06
不良地质	0.21	到崩塌的距离	0.10	0.02
		到泥石流的距离	0.46	0.10
		到岩溶塌陷的距离	0.17	0.04

表 3 地质选线影响因素的分级和赋值

因子		各等级的赋值				
		1	3	5	7	9
地形地貌	坡度/(°)	0~20	20~40	40~60	60~80	>80
	地貌类型	低山丘陵	丘陵盆地	中山地貌	峰林地貌	峰林盆地
地层岩性	岩石硬度	坚硬岩	较坚硬岩	软软层	软岩	极软岩
	岩石风化程度	未风化	微风化	中风化	强风化	全风化
地质构造	到断层的距离/m	0~500	500~1 000	1 000~1 500	1 500~2 000	>2 000
	节理发育程度	不发育	微发育	中等发育	较发育	强发育
水文地质	地下水强度	常年无水	季节性有水	地下水较丰富	地下水丰富	地下水很丰富
	到滑坡的距离/m	0~200	200~300	300~500	500~1 000	>1 000
不良地质	到崩塌的距离/m	0~100	100~300	300~500	500~800	>800
	到泥石流的距离/m	0~00	500~1 000	1 000~1 500	1 500~2 000	>2 000
	到塌陷的距离/m	0~500	500~800	800~1 200	1 200~1 500	>1 500

4 实例应用

4.1 工程概况

桂柳(桂林—柳州)高速公路是《国家公路网规

划(2013—2030 年)》高速公路网主干线泉州—南宁(G72)高速公路的主骨架,是广西北部湾经济区与内陆联系的最主要陆上通道。经过 10 多年的使用,道路交通量急剧增长,部分路段已趋饱和,综合考虑

社会、经济等因素,提出两侧拼宽、分离新建的改扩建方案。路线起点为庙岭枢纽互通,终点为鹿寨北枢纽互通,全长 100.168 km。由四车道扩建为八车道,设计速度 100 km/h。选取 K1203—K1216 路段作为试验段,采用上述方法进行地质选线。

4.2 最优路径分析

4.2.1 费用模型建立

根据研究区域 DEM 数据、地质资料及上述评价体系各影响因子分级、赋值标准,利用 ArcGIS 软件分别建立各影响因子费用模型(见图 5),其中

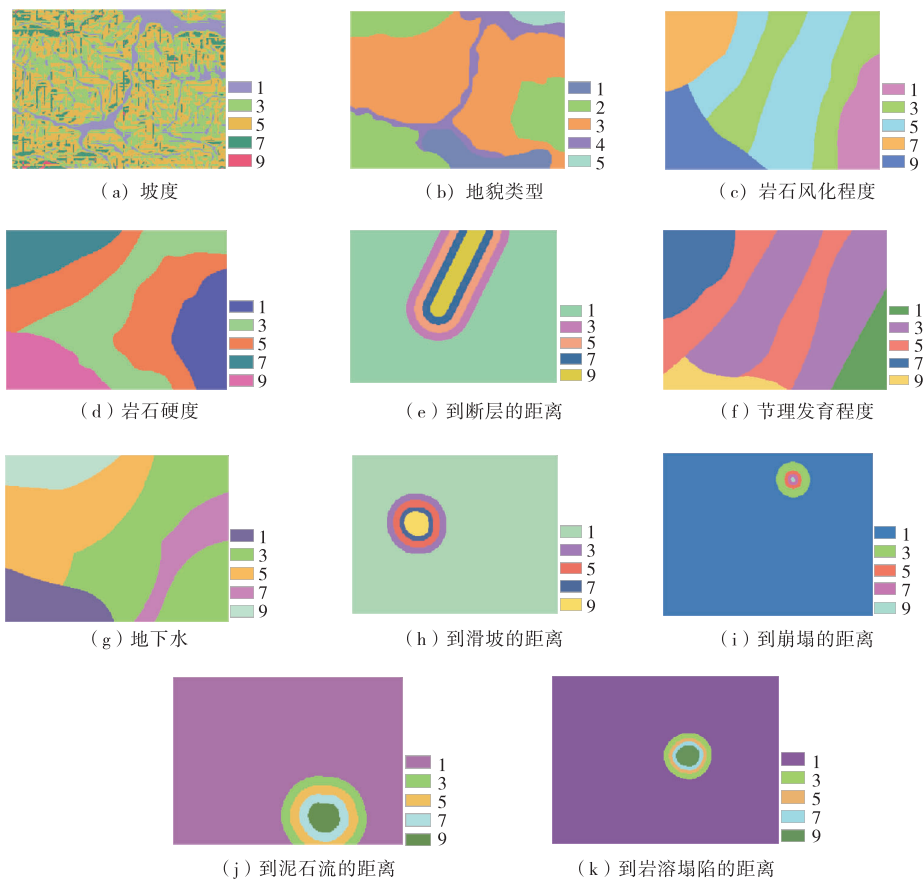


图 5 影响因素费用数据模型

不同颜色对应不同赋值,赋值越大,费用成本越高,表明影响因子对选线的影响程度越大。

4.2.2 最优路径生成

在 Arcgis 软件中通过栅格计算器将上述各影响因素的费用数据模型进行加权叠加,生成综合费用模型(见图 6),再利用成本距离工具对综合费用数据模型进行成本距离计算,生成累计成本距离栅格数据和方向栅格数据,最后利用 Dijkstra 算法根据累计成本距离栅格数据和方向栅格数据生成最低

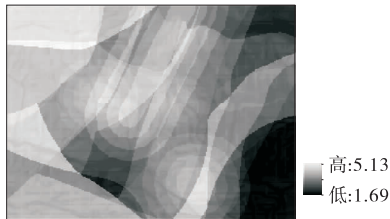


图 6 综合费用数据模型

成本路径,即最优路线(见图 7 中路线 1)。由于最优路径是由栅格单元依次相连而成,局部呈锯齿状,与实际线路设计不符,经过编辑修饰最终得到图 7 中的路线 2。

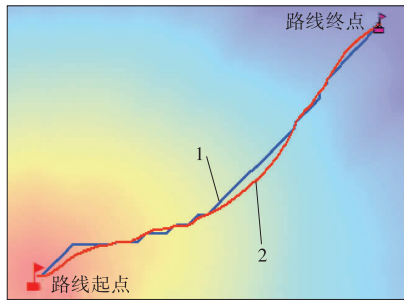


图 7 最优路径

5 结语

针对传统公路地质选线野外工作量大、作业风

险高、周期长等问题,利用GIS强大的空间数据与属性数据分析功能,基于Dijkstra算法原理,对地质选线计算机程序化进行研究。工程实例应用证明,基于Dijkstra算法原理,利用GIS软件平台辅助公路地质选线的方法可行。综合费用数据模型中虽然考虑了背景工程的典型因素,但实际应用时可根据实际工程需要进行调整、扩充,可为其他领域拓展提供借鉴。

参考文献:

- [1] 李红艳,赵风云.浅谈工程地质选线对山区高等级公路工程造价的影响措施[J].山东工业技术,2013(13):45—45.
- [2] 张喆.宝兰高铁天水北山滑坡群地质选线研究与工程实例[J].铁道标准设计,2020(7):17—21.
- [3] 徐海峰.GPS—RTK技术在公路勘测设计与路线施工放样中的应用[J].技术与市场,2020,27(6):124—125.
- [4] 唐克斯,王芳,BAT-ERDENE Tsedev,等.基于DEM数据对典型草原地貌特征提取与分析[J].内蒙古科技与经济,2020(9):50—51+54.
- [5] 武小年,奚玉昂,张润莲.DEM中基于遗传与蚁群的混合路径规划算法[J].计算机应用研究,2020,37(9):2694—2697.
- [6] 杨柏林.基于ArcGIS和RPSO的铁(公)路三维空间智能选线系统的研发[D].长沙:中南大学,2012.
- [7] 杨柳,张帆,周盛,等.基于3S技术的公路绿色选线方法与实践[J].公路,2020(4):74—78.
- [8] 安海堂,刘平,滕伟福.MapGis与AHP法在新疆某油气管线工程地质选线中的应用研究[J].地质灾害与环境保护,2009,20(4):106—109.
- [9] 郭海东,韩峰.基于GIS的不良地质区域线路方案优选

方法研究[J].铁路计算机应用,2017,26(11):1—4.

- [10] 刘朵,覃发超.基于栅格数据最优路径的汶川县公路选线分析[J].产业创新研究,2018(4):41—44.
- [11] 张美玉,简琤峰,侯向辉,等.Dijkstra算法在多约束农产品配送最优路径中的研究应用[J].浙江工业大学学报,2012,40(3):321—325.
- [12] 王小会,薛延刚,李晓青.基于Dijkstra算法过必经点的最短路径设计[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2020,36(3):68—73.
- [13] 谢帅帅.基于GIS最优路径技术的铁路选线研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [14] 李志博.基于GIS的铁路走向辅助决策系统研究[D].兰州:兰州交通大学,2016.
- [15] 严锋.山区高速公路工程地质选线研究[D].西安:长安大学,2014.
- [16] 孙启亮.不良地质区域高速公路路线方案优选方法研究[D].西安:长安大学,2011.
- [17] 周燕宁,郭凤香.基于层次分析法—熵权法的常规公交系统可持续发展评价[J].科学技术与工程,2019,19(19):288—294.
- [18] 黄光耀,罗慧.山区高速公路选线要点及实例分析[J].公路与汽运,2018(5):34—36.
- [19] 王道强.基于经济决策的高速公路路线方案评价模型[J].公路与汽运,2019(2):144—148.
- [20] 孙卫星,胡圣武.基于GIS技术的公路综合选线方法的研究[J].测绘科学,2009(增刊1):94—96.
- [21] 黄雄.基于GIS空间分析的道路选线技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2006.

收稿日期:2020—10—09

(上接第47页)

- 效模型研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2015,38(2):161—165.
- [10] 韩帅,卢茜,丁屹峰.晴雨天气城市道路照明效果研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(3):50—53.
- [11] 杨翠,王少飞.CIE《道路隧道和地下通道照明指南》介绍[J].公路,2017(2):123—128.
- [12] 王旭东,许晶,徐慧,等.城市道路夜间照明与行道树相互影响探析[J].中国园林,2019,35(9):120—123.
- [13] 段玉良,孙巧燕.公路隧道低位引道照明应用探讨[J].公路,2019(8):333—337.
- [14] 中国建筑科学研究院,安徽鲁班建设投资集团有限公

司.城市道路照明设计标准:CJJ 45—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

- [15] 杨盼盼,王念秦,郭有金,等.城镇化与地质环境耦合协调时空演化分析:以临潼区为例[J].科学技术与工程,2020,20(9):3790—3797.
- [16] 王金祥,赵树恩,杨其芝,等.基于博弈论组合赋权TOPSIS法的汽车碰撞危险态势评估[J].科学技术与工程,2020,20(8):3315—3322.
- [17] 刘唐志,白婧荣,聂舒磊,等.基于熵权物元的互通立交出口匝道安全评价研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(10):95—101.

收稿日期:2021—01—27