

区域物质流通虚拟网络研究 ——以金沙江流域中段为例

夏既胜¹, 何文通¹, 李虹霖²

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091; 2. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200241)

摘要: 受各种地理环境要素的制约, 地形复杂区域产品、能源、生产工具等物质的流通阻力较大, 建立基于阻力最小的物质流通网, 对于区域发展具有重要意义。以 GIS 软件为分析平台, 选择地形复杂的金沙江流域中段为研究对象, 选取地形、地貌、植被覆盖、土地利用类型等为物质流通阻力评价指标, 采用专家打分及灰色关联等评价方法, 建立区域内阻力最小的物质流通虚拟网络。在该网络的基础上, 分析区域内各城市的物质流通性, 探讨出建立地形复杂地区最佳物质流通虚拟网络的方法。物质流通虚拟网络可为区域内道路、管道、电网的最佳线路选址提供科学依据; 城市间物质流通性分析结果可为区域规划提供参考。

关键词: 物质流通性; GIS; 灰色关联法; 最短路径

中图分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)07-0816-06

人们常用的能源、食物、工具等物资, 在不能完全自给的情况下, 常常需要与其它地区进行交流与补充。山高坡陡、地形起伏度大的地形复杂区域, 物质流通易受阻碍, 从而影响当地经济发展。对于地形复杂、多峡谷分布的流域来说, 物质流通性对于各城市的发展更显重要。因此, 建立阻力最小的物质流通工程, 如交通、管道、电网等, 对区域的综合发展具有重要意义。构建流域内物质流通虚拟网络在于探索复杂地形条件下物质流通阻力最小的路径分析方法, 并在该网络的基础上, 分析出区域内各城市的物质流通性, 为区域发展提供依据。GIS 的最短分析功能为复杂地区物质流通虚拟网络的构建提供了良好的技术支撑。

在以往的研究中, 人们集中于物质流通可达性的研究较多, 这些研究大都以区域内现有的交通条件为评价依据, 评价得出各区域的物质流通可达性等级^[1-4]。本研究排除现有交通条件, 综合考虑地形、地貌、植被覆盖、土地类型等自然基础条件, 分析流通阻力, 生成物质流通虚拟网络, 并对区域内各城市的物质流通性进行评价, 目的在于为区域内修建(或改造)物质流通工程提供线路参考, 以及掌握各城市与外界修建(或改造)物质

流通工程的难度。本研究借助 GIS 软件平台由计算机生成和显示物质流通虚拟网络, 表述多种地理环境因素影响下的区域间物质流通阻力最小的路径网。其中用到的最短路径分析技术虽然已应用到城市交通^[5]、救援^[6]、旅游^[7]、灾害^[8]等各个领域, 但在分析地形复杂地区的物质流通过程方面, 还未见有报道。且研究中的物质流通虚拟网络是在栅格阻力图的基础上使用最短路径分析法生成的, 该栅格阻力图是综合各种自然要素并通过专家打分及灰色关联度评价得出, 使得研究方法更具科学性, 研究成果更符合区域的实际情况。

1 研究区域概况

选取地形复杂、城市分布相对密集的金沙江流域中段(云南部分, 图1)为研究范例。流域范围为 101°55'~103°40'E, 24°23'~26°22'N, 海拔 746~4 248 m。流域地处高原区, 总体地形北高南低, 由北向南呈阶梯状逐渐降低, 中部隆起, 东西两侧较低, 以湖盆岩溶高原地貌形态为主, 山原地貌次之^[9]。流域段内大部分城市陷于峡谷或盆地中, 包括呈贡、安宁、马龙、寻甸、武定、富民、嵩明、昆明、禄劝等 9 个县(市)级城市。

收稿日期: 2011-10-12; **修订日期:** 2012-03-23

基金项目: 国家自然科学基金(40901294)、国家大学生创新性实验项目(101067313)资助。

作者简介: 夏既胜(1974-), 男, 湖南武冈人, 博士, 副教授, 主要从事 GIS 应用研究。E-mail: xiajsh@ynu.edu.cn

研究区整体属于滇中经济区,是中国面向西南开放桥头堡“核心区”和云南经济社会发展重要“增长极”^[10]。区内具有丰富的自然资源和人文资源,农业特色突出,如“斗南花卉”、“呈贡蔬菜”成为国内外知名品牌,卷烟、机电、生物资源、旅游等是该区域的几大支柱产业。尽管资源丰富,各县域的生产物质基础、劳动产品商品率、产品科技含量、经济效益、人民生活水平及能源储量等差异大,区域内相互之间的物质流通异常迫切。而区域内现有物质流通方式少,且大部分绕山、沿村而建,如盘山公路,及沿公路铺设的绕山电网、管道等。因此建立适合该区域地理特征的最佳物质流通虚拟网络,可为区域内现有交通、电网、管道的优化,及新建工程线路的选址提供科学依据。

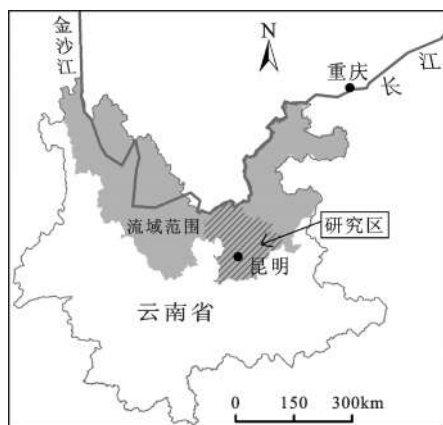


图1 研究区范围

Fig.1 The location of study area

2 研究方法

2.1 研究方法概述

最佳物质流通虚拟网络是由物质流通阻力最小的路径组成,这种路径可借助GIS的最短路径分析功能生成。最短路径分析功能可分析出空间上某一点到其它任意一点的连通阻力最小的路径,也即空间距离与阻力乘积最小的路径。

物质流通的空间阻力受各种要素影响。在只考虑地理环境阻力的前提下,本研究采用专家打分法、灰色关联法对影响物质流通的单因素进行评价和组合,以ArcGIS软件为平台,依次以各城市为源(起点),剩余城市为目标(终点),计算成本距离、成本方向和各源城市到目标城市的最佳路径,并将所有最佳路径进行组合,构建流域段内9

个城市间的最佳物质流通性虚拟网络。然后,对各路径花费的成本值进行统计,建立城市间物质流通阻力矩阵,计算各城市通往其它城市的平均(距离加权)阻力,评价各城市物质流通性的优劣性。

其中,物质流通的成本计算是构建物质流通虚拟网络的关键,它是到达目的地的耗费,其价值越高,物质通过该单元的阻力越大。本研究考虑区域内多种自然要素,挑选物质流通阻力指标,评价得出物质流通成本栅格图。参考使用的遥感数据分辨率,选择评价的栅格单元大小为30 m×30 m。

2.2 数据来源与预处理

本次研究收集了区域内的遥感影像、土地利用类型、地貌类型、水系、行政界区划,及1:10万的DEM等各种数据。

其中, TM遥感影像数据为2009年5月的TM数据,空间分辨率为30 m,共有7个波段,分别为B1(0.45~0.52 μm)、B2(0.52~0.60 μm)、B3(0.63~0.69 μm)、B4(0.76~0.90 μm)、B5(1.55~1.75 μm)、B6(10.40~12.50 μm)和B7(2.08~2.35 μm)。将各波段的二进制数据转换为栅格文件,然后进行辐射校正、波段组合、几何校正、拼接,及研究区域范围的剪裁等处理。

在DEM图的基础上进行了坡度、起伏度的分析。对相关纸质图进行人工屏幕跟踪方式的矢量化工作,并在ArcGIS环境下进一步处理,形成各要素的专题图层。全部空间数据转换到Xian_1980坐标系下。

2.3 物质流通阻力评价

2.3.1 物质流通阻力评价指标

物质流通阻力评价是生成物质流通成本图的基础,为最终建立区域内物质流通最佳路径服务,所有最佳路径组合而成的网络为流域内物质流通工程线路的选址提供参考。在排除公路、铁路、水运、管道、航空等人为交通运输工程的前提下,从流域内的自然条件方面选择评价指标。

研究区地形复杂,使得地形要素成为区内物质流通的重要影响因素。地形对物质流通的阻力主要体现为坡度和起伏度两方面,前者反映了地面在该点的倾斜程度,后者指地面一定范围内最大高程差,它们的大小直接影响地表物质流的能量分配,二者的值越大,物质流通阻力越大。地貌方面,研究区内地貌类型多样,有高原湖盆、高原峡谷、丘状高原、中山丘陵等各种地貌类型。作为

地理信息的重要组成要素,地貌以其结构差异及地表粗糙程度影响着地面物质流通。结构越规则、地面粗糙度越小的地区,物质流通阻力越小。植被方面,区域内北部、东部区域植被覆盖度相对较高,西部、南部覆盖度相对较低,植被覆盖度差异明显。植被覆盖度对物质流通的影响表现为,植被覆盖度越大,物质流通阻力越大。另外,研究区域内土地利用类型较多,且分布零散。在不同的土地利用类型处修建道路,实现物质流通,花费的成本不一。研究区域内的土地利用类型种类多,物质流通花费成本差异大。

结合研究区的特点,本次研究选择地形坡度、起伏度、地貌类型、植被覆盖度及土地利用类型等因子组成该流域段的物质流通阻力评价指标。

2.3.2 物质流通阻力评价方法

单因子评价方面,对于不能定量的单因子(如地貌、土地利用类型)采用专家打分法。对可以定量描述的单因子(如坡度、起伏度、植被覆盖度)则采用灰色关联分析法。灰色关联法的常用计算公式为^[11]:

$$\xi(k) = \frac{\min_i \min_k |C^*(k) - C'_i(k)| + R \times \max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|}{|C^*(k) - C'_i(k)| + R \times \max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|} \quad (1)$$

其中, $\xi(k) \in [0, 1]$, 表示第 i 个栅格第 k 个评价因子与第 k 个评价因子最优值的关联度; $C^*(k)$ 表示第 k 个评价因子的最优值; $C'_i(k)$ 表示第 i 栅格第 k 个评价因子的属性值; $\min_i \min_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为两级极小差, $\max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为两级极大差, R 是分辨系数(本研究统一取值为 0.5)。

因子的组合方面,采用专家打分法得到各单因子对综合阻力影响的权重,然后按以下公式将各单因子的评价组合为对总体阻力的评价:

$$C_j = \sum_{i=1}^n U_{ji} * W_i \quad (2)$$

其中, j 表示栅格单元的编号, i 表示单因子编号, C_j 为第 j 个栅格单元的综合阻力评价值, n 表示评价指标中单因子的数量, U_{ji} 为第 j 个单元的第 i 单因子的评价值, W_i 为第 i 个单因子的影响权重。

2.3.3 单因子评价

1) 坡度

在 DEM 数据基础上,通过 ArcGIS 的空间分析功能建立坡度图,得出区域内最大坡度为 74.40°, 最小坡度为 0°。按照灰色关联法进行坡度的物质流

通阻力评价,其中, $C^*(k)$ 则为坡度的最优值 0°, 最差值为 90°, 两级极小差 $\min_i \min_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为 0°, 则两级极大差 $\max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为 74.40°, 在 ArcGIS 的栅格计算器中计算关联系数(以下同此),建立坡度因子的物质流通性评价图。

2) 起伏度

同样,在 DEM 数据基础上,通过 ArcGIS 生成起伏度图,区域内最大起伏度为 76.00°, 最小值为 0°。按照灰色关联法进行起伏度的物质流通阻力评价,其中, $C^*(k)$ 则为坡度的最优值 0°, 最差值为 90°, 两级极小差 $\min_i \min_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为 0°, 则两级极大差 $\max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为 76.00°, 建立起伏度因子的物质流通性评价图。

3) 地貌类型

研究范围内的地貌类型有 4 种不同地貌类型。通过分析 4 种地貌类型对物质流通性影响的强弱,根据成本高的量值小,成本低的量值大的原则,由专家打分法给各类地貌类型打分,结果为:高原湖盆区 0.20,高原峡谷区 0.40,丘状高原区 0.60,中山丘陵峡谷区 0.80。从打分结果来看,区域内物质流通阻力最小的地貌为高原湖盆区,这一区域主要分布于昆明市辖区内;阻力最大的为中山丘陵峡谷区,主要分布于寻甸、武定等区域。将打分后的矢量地貌图转换成栅格图。

4) 植被覆盖度

植被指数是植被覆盖度的重要指示因子^[12, 13]。植被指数的计算方法有多种,本次研究选择最常用的归一化指数 $NDVI$ ^[12, 13]。在 ERDAS 软件中进行分析。

分析得出,研究区域内 $NDVI$ 最大值为 0.78, 最小值为 -1.0。按照灰色关联法进行植被覆盖度的物质流通阻力评价,其中, $C^*(k)$ 则为 $NDVI$ 的理论最大值 1.0, 最小值 -1.0, 两级极小差 $\min_i \min_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为 0.22, 两级极大差 $\max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|$ 为 2.00, 建立植被覆盖度因子的物质流通性评价图。

5) 土地利用类型

土地利用类型采用专家打分法,得到流域内各土地利用类型的物质流通阻力评分值,分别为:水体 0.90,林地 0.80,裸岩石砾地 0.20,灌草丛 0.30,居民建筑地 0.80,水田 0.10,旱地栽培种植 0.10,冰川、永久积雪 0.90,园地 0.20,高山、亚高山草甸 0.40。

2.3.4 物质流通阻力总体评价

对各单因子按照公式(2)进行组合,在总分为1的前提下,各因子的权重按专家打分法得出:坡度0.30,起伏度0.20,地貌类型0.20,植被覆盖度0.10,土地利用类型0.20。在ArcGIS中进行图层叠加,得到区域内物质流通阻力综合评价图,即物质流通成本图(图2)。从该图看出,区域内阻力最大值为0.58,主要分布于区域北边的武定、禄劝等高山区;最小值为0.02,主要分布于昆明及其周边地势平坦区。

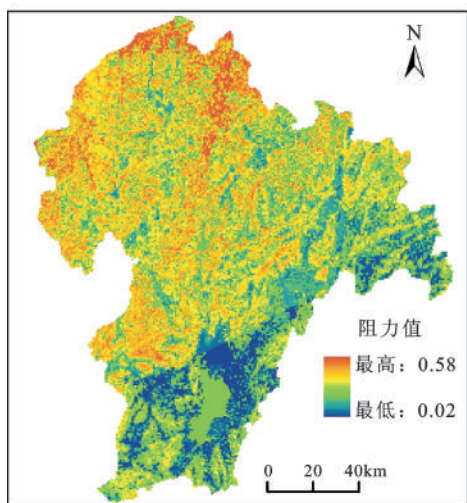


图2 流域内物质流通成本栅格
Fig.2 The raster diagram of material circulation cost in the watershed

2.4 构建物质流通最短路径

在上述物质流通成本图(图2)的基础上,借助GIS的空间分析功能,可以构建城市间物质流通最短路径,即阻力最小、带权路径长度最短的流通线路。在GIS中生成最短路径前,需构建源到目标的成本距离和成本方向栅格图。

1) 确定源和目标

在最短路径分析中,源和目标是相对的,确定某个点为源后,其它的点都为目标,运用GIS可以分析目标点到达所有其它点的最短路径。在本次研究中,以人口集中的城市为点,共涉及呈贡、安宁、马龙、寻甸、武定、富民、嵩明、昆明、禄劝9个城市。由于需要分析所有9个城市相互之间的最短路径,则需要将半数以上城市依次作为目标,由计算机重复生成最短路径。

2) 构建成本距离和成本方向栅格图

在生成源点到所遇目标点的最短路径前,需要在物质流通成本图(图2)基础上,生成源点到达所有目标点的成本距离图和成本方向图。成本距离图表述源点到所有目标点的最小空间距离加权累计成本。成本方向图表示从源点出发,沿着最低累计成本距离图到达最近源的路线方向。

3) 生成物质流通最短路径

最短路径分析是找到两点之间流通阻力最小的最佳路线,即带权路径长度最短的路径。在ArcGIS环境中,基于前述的成本方向图和成本距离图,可分析出源点到达其它所有目标点的最短路径。

在研究的9个城市中,选取任意一个城市为源,剩余城市为目标,计算源到所有目标的成本距离、成本方向和最短路径,得到该城市到达所有其它城市的最佳物质流通线路图。然后,再在所有目标城市里,任意选择一个城市作为源,剩下城市再作为目标,重复操作,直到所有城市之间的最佳物质流通线路全部生成,最后将所有的线路图层进行叠加,得到区域内所有城市相互之间的最佳物质流通性虚拟网络。

3 结果与分析

3.1 物质流通虚拟网络

通过上述方法,生成区域内9个城市相互之间的最佳物质流通性虚拟网络(图3)。对该网络所

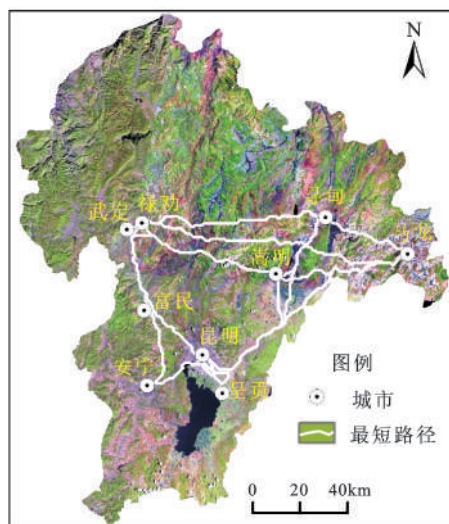


图3 金沙江流域中段最佳物质流通性虚拟网络
Fig.3 The diagram of optimum material circulation virtual network in Jinsha River basin

通过的地域特征进行分析得知,网络通过的区域具有以下特点:大部分线路通过的区域坡度为0°~5°,坡度大于25°的区域没有线路经过;线路经过的区域起伏度主要为0°~10°;通过的区域植被覆盖度范围主要为-0.9~0.3;通过的土地利用类型按照由多到少排序为:旱地栽培种植、灌草丛、林地、裸岩石砾地、水体,而高山亚高山草甸及冰川、永久

积雪地没有线路经过。研究说明,地形仍是阻碍区域内物质流通的主要因素。

3.2 物质流通性分析

使用 ArcGIS 的空间统计功能,对物质流通虚拟网络通过成本栅格图的平均值(空间距离加权)进行统计,生成城市间物质流通阻力矩阵(对称矩阵)(表1)。

表1 城市间最佳物质流通性虚拟路径的阻力矩阵
Table 1 The resistance matrix of virtual path of inter-city optimum material circulation

城市	嵩明	安宁	呈贡	马龙	寻甸	武定	富民	禄劝	昆明
嵩明	—	0.103	0.080	0.163	0.172	0.342	0.104	0.274	0.040
安宁		—	0.056	0.119	0.090	0.213	0.161	0.262	0.058
呈贡			—	0.122	0.040	0.140	0.039	0.248	0.036
马龙				—	0.186	0.294	0.147	0.270	0.129
寻甸					—	0.247	0.186	0.245	0.897
武定						—	0.262	0.248	0.083
富民							—	0.205	0.231
禄劝								—	0.177
昆明									—

在物质流通阻力矩阵(表1)的基础上,以某城市到达其它所有城市的物质流通阻力的平均值,作为该城市的物质流通性指标,得出区域内各城市的物质流通阻力从小到大的顺序为:呈贡(0.085)<安宁(0.118)<富民、嵩明(0.142)<马龙(0.159)<昆明(0.183)<武定(0.203)<禄劝(0.214)<寻甸(0.229)。其中,呈贡处于高原湖盆地貌中,地势平坦,周围无高大山脉阻挡,无大面积森林覆盖,且土地利用类型以旱地栽培植被为主,因此成为物质流通阻力最小的城市;而寻甸处于中山峡谷地貌,地势起伏大,森林覆盖面积大,土地利用类型以林地为主,因此成为物质流通阻力最大的城市。研究成果符合实际情况,据调查,目前修建通往寻甸的工程线路难度大、造价高。

4 结论与讨论

本研究以地形复杂的金沙江流域中段为例,结合区域特点,选用地形坡度、起伏度、地貌类型、植被覆盖度及土地利用类型等指标作为物质流通阻力的评价指标,充分运用了GIS的空间叠置、最短路径分析等功能,构建了区域内物质流通虚拟网络,并在该网络的基础上,对各城市的物质流通性进行了分析,研究得出的结果符合区域的实际情

况。因此运用GIS的空间分析功能,能便捷、直观、科学地模拟区域内的最佳物质流通网络。该物质流通虚拟网络可为区域内道路、管道、电网的最佳路线选址提供参考,物质流通性的评价结果为各城市乃至整个区域的发展规划提供科学依据。

当然,在实际的工程线路选址中,除地形、地貌、植被覆盖、土地利用类型外,还受社会经济、人口等因素的综合影响,因此研究成果只虚拟了自然要素影响下的区域物质流通线路分布,及城市间的物质流通性;研究成果更侧重于探讨构建区域内物质流通最佳线路的方法,以便为类似研究提供参考。

参考文献:

[1] Jin Fengjun,Wang Chengjin,Li Xiuwei, et al. China's regional transport dominance:Density,proximity,and accessibility [J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(2):295-309.

[2] Mei-Po L Wan, Alan T Murray, Morton E O' Kelly, et al. Recent advances in accessibility research: representation, methodology and applications [J]. Journal of Geographical Systems, 2003,(5): 129-138.

[3] 朱 兵,张小雷,桂东伟,等.新疆城镇发展与交通可达性相互影响[J].地理科学进展, 2010, 29(10):1239~1248.

[4] 张志学,李同升.基于GIS的县级尺度交通可达性研究—以陕西省为例[J].人文地理,2010,25(1):100~104.

- [5] 张三群. 最短路径算法在公交网络中的应用[J]. 软件导刊, 2009, **8**(9): 57~58.
- [6] 郝 伟, 刘万青. 基于 GIS 的救护车最短路径算法[J]. 计算机应用, 2008, (28): 103~105.
- [7] 刘云峰. WebGIS 技术中最短路径算法在旅游决策支持系统中的应用研究[J]. 电脑开发与应用, 2010, **23**(12): 15~17.
- [8] 董晓燕, 杨舒程. 最短路径在城市震害预测中的应用[J]. 东北地震研究, 2009, **25**(2): 13~16.
- [9] 夏既胜, 杨树华, 王玉朝, 等. 金沙江流域(云南部分)景观格局特征及变化研究[J]. 水土保持研究, 2008, **15**(4): 152~156.
- [10] 季 征, 余 霞. 实施西部大开发和桥头堡战略中加快推进滇中经济区建设[N/OL]. http://yn.yunnan.cn/html/2011-05/26/content_1633264.htm, 云南网, 2011.
- [11] 周建飞, 曾光明, 黄国和, 等. 基于不确定性的城市扩展用地生态适宜性评价[J]. 生态学报, 2007, **27**(2): 774~783.
- [12] 袁金国. 遥感图像数字处理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 80~94.
- [13] 夏既胜, 杨树华, 王玉朝, 等. 基于 ArcGIS 的金沙江流域中段植被指数分布规律研究[J]. 科技通报, 2010, **26**(3): 325~330.
- [14] 薛 亮, 任志远. 基于格网 GIS 的关中地区生态安全研究[J]. 地理科学, 2011, **31**(1): 123~128.
- [15] 范科红, 李阳兵, 冯永丽. 基于 GIS 的重庆市道路密度的空间分异[J]. 地理科学, 2011, **31**(3): 365~371.
- [16] 刘 锐, 胡伟平, 王红亮, 等. 基于核密度估计的广佛都市区路网演变分析[J]. 地理科学, 2011, **31**(1): 81~86.

Virtual Network for Regional Material Circulation: A Case Study on Jinsha River Basin (Middle Section)

XIA Ji-sheng¹, HE Wen-tong¹, LI Hong-lin²

(1. School of Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China; 2. School of Resource and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: This article focuses on the establishment of virtual network for regional material circulation. Constrained by a variety of geographical environment factors, circulation of materials in the region with complex terrain is not so easy, which include goods, energy, and production tools. Thus, it is of great importance for regional development to establish a material circulation network with the smallest resistance. Virtual network for regional material circulation utilizes the shortest path analysis function of Geographic Information System (GIS) to generate, display and simulate the path network for regional material circulation with the smallest resistance under the influences of various geographic environment factors. In this study, GIS software is utilized as the analysis platform, Jinsha River basin (middle section) with complex terrain is taken as the case study object, factors such as geomorphology, topography, vegetation coverage, and land use types are selected as the indexes to evaluate the resistance of material circulation. And expert evaluation and grey correlation analysis are employed as the evaluation methods to establish the virtual network for regional material circulation with smallest resistance in the region. In addition, the material circulation among the various cities in the region is further analyzed based on this network. Studies and discussions are conducted to find out the method for establishing the optimum virtual network for material circulation in the region with complex terrain. As a result, the virtual network for material circulation can be provided as a scientific basis for the optimum route selection of roads, pipelines, and power grids in the region, and the analysis result of material circulation among cities can be provided as a reference for regional planning.

Key words: material circulation; GIS; grey correlation analysis; shortest path