

• 交通运输 •

文章编号: 1002-3100 (2014) 05-0135-05

基于道路网络分析的省际粮食运输成本研究

Research of Inter-provincial Grain Transport Costs Based on GIS Network Analyst

高守杰, 郭光毅, 代希波

GAO Shou-jie, GUO Guang-yi, DAI Xi-bo
(湖北大学 资源环境学院, 湖北 武汉 430062)

(School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

摘 要: 借助 GIS 软件平台, 结合铁路、水运航线、运费、转运费等数据, 建立了道路网络数据模型, 利用网络分析工具, 分别获取了基于最低成本和最短运距下的两种运输路径及成本数据。对比分析发现: 水路和铁路运输凭借其成本较低的优势在我国省际粮食运输中占据主要地位。在最低成本条件下, 运输优路径经沿海和长江中下游航线频次最高, 公路运输因其成本较高主要集中于省内或短途运输; 省际粮食运输最高运费段为哈尔滨—拉萨段, 总里程 5 133km, 经铁路一次性运输, 运费为 770 元/吨; 最低运费段为上海—南京段, 总航程 350km, 经水路一次性运输, 运费仅 6 元/吨。

关键词: 粮食运输; 最优路径; 地理信息系统; 网络分析

中图分类号: F50 文献标识码: A

DOI:10.13714/j.cnki.1002-3100.2014.05.046

Abstract: Inter-provincial grain transport plays an important role in our grain logistics system. The function of GIS network analyst had been the one of main methods of this kind of actual problem to solve the transport costs and paths. The study built the model of street network combined with railway,

water transport routes, freight cost, transfer cost and others under the software platform of GIS. Obtained two kinds of transport route and cost data based on the lowest cost and the shortest distance by the network analysis. The study found that, shipping and rail transport occupied the main position in the inter-provincial grain transport of China because of the advantage of low cost. The optimal path through coastal and Yangtze River routes most frequently under the conditions of the lowest cost. Because of the high cost of road transport is mainly concentrated in the province or short-distance transport. The highest inter-provincial grain transport freight segment is Harbin-Lhasa section, the total mileage 5 133km, disposable transport by rail, and the freight is 770 yuan/ton, while the minimum freight segment is Shanghai-Nanjing section, total distance 350km, one-time transportation by sea, and the freight is 6 yuan/ton.

Key words: grain transportation; optimal path; GIS; network analyst

0 引 言

省际粮食运输是指粮食实体在生产、收购和销售过程中在国内省级行政区域之间的转运和流通, 是研究我国粮食物流体系的重要环节, 也是我国粮食流通市场化的重要保证。近年来, 随着我国跨省区粮食流通运量的增加, 国内粮食流通和进口粮食分流的道路运输已成为影响我国粮食物流体系的主要因素^[1]。目前, 我国粮食运输主要存在运输散乱、方式落后、损耗较高等主要问题^[2]。据调查, 我国粮食从生产区到销售区的物流费用占整个粮食销售价格的 30%~35%, 而美国粮食物流成本大约只相当于我国的 40%, 由于运输工具落后等问题导致我国粮食运输年均损失 800 万吨, 这些都导致我国粮食物流成本居高不下^[3]。粮食物流问题也引起学术界的高度重视, 目前, 有关粮食运输研究主要集中在物流量估算、运输方式转变和主要运输通道建设等方面, 但从省际粮食综合运输费用出发, 利用 GIS (地理信息系统) 的网络分析功能求算省际粮食运输费用和最优路径的研究方法还比较少见。梁书民、刘小和等, 曾于 2007 年在《我国粮食综合运输费用与最优物流路径研究》中, 以国内 11 个城市为准建立了一套实验数据。获取省际粮食运输路径和成本数据, 建立粮食运输最优路径将对我国目前粮食物流体系建设提供重要参考。同时, 运用 GIS 网络分析技术解决粮食运输道路选择和成本计算问题, 也将是今后粮食物流体系建设的主要研究方向之一^[4]。

1 研究方法

1.1 运输成本涉及因素

收稿日期: 2014-02-13

作者简介: 高守杰(1987-), 男, 湖北襄阳人, 湖北大学资源环境学院硕士研究生, 研究方向: GIS 开发与应用。

现代粮食物流体系包括铁路、水路和公路三种主要交通方式,散粮运输和包粮运输是目前两种主要粮食运输方式。据 2005 年全国货运量数据显示,铁路、公路和水路三种主要交通方式中,公路运输所占比重在 50%左右,铁路和水路运输分别占 30%和 10%左右,其中公路运输则主要以短途运输为主,中长途的省际粮食流通则主要依靠铁路和水路两种方式^[5]。省际粮食运输费用来源主要有包装费、装卸费、转运费和吨公里运费等几大类,其中包装费、装卸费、转运费是基于粮食运量的运输成本,吨公里运费可以看作是基于一运距的运输成本。

1.2 最优网络路径计算方法

作为空间分析的一个重要方面,GIS 网络分析功能的主要目的是对地理网络(如交通网络)、城市基础设施进行模型化和地理分析。其主要内容是在网络数据集基础上,依据网络拓扑关系(线状地物之间、线状地物与点状地物之间、点状地物与点状地物之间的连结、连通关系),并借助空间、属性数据对网络的性能特征进行多方面的分析和计算。在各种 GIS 网络分析应用中,最基本最关键的问题还是最优路径问题。从网络模型的角度看,最优路径求解就是在网络中的两结点间寻找一条阻碍强度最小的路径,须按照结点的选择顺序访问网络中的所有结点^[6]。网络在数学和计算机领域中被抽象为图,所以网络的基础就是图的存储表示,在 GIS 中的道路网络在具有图理论基本特征的同时也具有有一些实际特点。关于最短路径问题,目前为大家所公认的求解方法是由 Dijkstra 提出的标号法,即 Dijkstra 算法,算法的关键部分就是不断地从目标点集中找出距离源点最短距离最小的点并加入到已知点集中,同时更新目标点集到源点的新的最短距离。这一过程是最短路径算法的关键,并且与网络的复杂程度有着重要的相关性^[7]。

最短路径不仅仅指一般以地理意义上的距离最短,还可以有时间最短、费用最低、路况最佳等测度。粮食道路运输最优路径是具有多因素的复杂性问题,本文为了方便分析对比,是以最低成本和最短运距下的最优路径为目标的,简化了实际物流中粮食道路运输费用问题。

2 数据处理与分析

2.1 数据来源与处理

本文是以全国铁路、公路(国道、高速)和主要港口水运航线数据为道路网络数据集,在成本计算和路径分析过程中为了简化模型,将包装费、装卸费、转运费综合为转运费单一费用,即三种交通方式转换时每吨粮食转运成本为 50 元。基于运距的吨公里运费数据为:铁路 0.15 元,公路 20 元,水路 0.016 元。

为使原始道路数据能实现最优路径网络分析功能,须对路网数据进行必要的处理和运算,主要步骤如下:(1)制作全国(除台湾、香港外)32 个省级行政区域省会城市和大连、青岛、深圳、天津港四个港口城市的点状矢量数据;(2)合并路网矢量数据,对铁路、公路、水路航线矢量数据建立拓扑关系,确保三种交通方式在各站点或港口之间的连通性,并在两种不同运输方式的转运站点添加带有转运费属性的小线段作为转运连接方式;(3)计算出路线长度,添加运费等属性字段,并通过路线长度和吨公里运费相乘运算得出路线运费属性字段;(4)在地理信息系统软件 Arcgis Catalog 下,用路径矢量数据制作具有拓扑关系的路径网络数据集 Network Dataset^[8-9];(5)调用 GIS 软件 Arcgis Network Analyst 模块下的 New OD Cost_Matrix 工具,添加路网数据集,并以城市点状数据为起始站点和终止站点,以运费为阻抗,生成两两城市间运费最低的成本 OD 矩阵图;(6)将最低成本 OD 矩阵图导出为矢量数据,用工具箱中的 Feature Vertices To Points 工具,通过选择 Point Type 将其分别生成 Origin 点和 Destination 点;(7)调用 Network Analyst 下 New Route 工具,分别添加上一步生成的 Origin 和 Destination 点,仍以运费为首要阻抗,生成最低成本下两两城市间的最优路径图;(8)导出最低成本 OD 矩阵的属性数据,获取最低成本矩阵表;(9)将首要阻抗参数设置为运距,重复步骤 5 到步骤 8,则可以生成最短运距下两两城市间的最优路径图和最短路径矩阵表。

2.2 省际粮食运输路径分析

最低成本条件下各省会城市间运输方式包含单一水路运输、单一铁路运输、水路——铁路一次转运混合运输、铁路——水路——铁路两次转运混合运输等多种方式。最短运距下各省会城市间运输方式主要为铁路运输(为了方便数据对比,在计算最短运距运输路径时排除公路数据),仅在个别沿海港口城市间航线距离较短时才会选择水运航线,如上海—海口段、海口—福州段等。最低成本和最短路径两种运输路径下的运费和运距在与港口城市或水运相关的运输路段具有比较明显的差异,而在以铁路为主要运输方式的内陆城市运输路段则比较一致。自 2006 年青藏铁路建成通车,我国铁路已实现全国省会城市全覆盖,在省际运输下的最低成本路径已经主要涵盖水运和铁路运输两种方式,公路运输则主要集中于省内或短距运输,用于补充和完善铁路、水运不能覆盖的地区。

根据最低成本条件下全国省际粮食运输路径数据,将所有省会城市两两之间运输路径进行叠加,可以得到省际粮食运输路线频次图(图 1)和运输路线频次比重(表 1)。从表 1 中可以看出最低成本下省际粮食运输路线频次在 1~15 之间所占比重最大,达到 46.02%,路线频次最高段为青岛—上海区间段,运输频次高达 185。从图 1 中可以看出,我国省际粮食运输呈现出以东北地区经大连港口外运通道,黄淮海地区经青岛、天津港口外运通道,西北内陆经西安、兰州转运通道,华南地区经福州、深圳、澳门等港口流入通道和长江中下游地区沿江转运通道等为主的五大区域运输格局。依据以上运输格局合理建设和分配运输资源对解决我国粮食物流运力不足等问题具有重要意义。

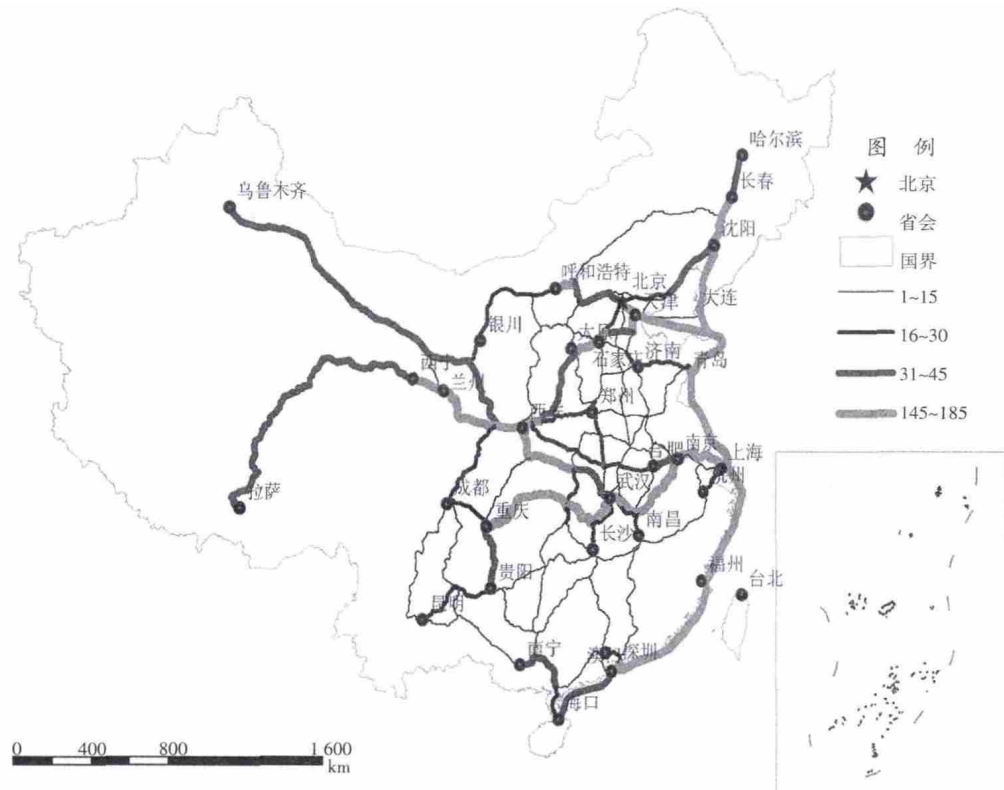


图 1 最低成本下省际粮食运输路径所经路线频次分布图

表 1 最低成本下省际粮食运输所经路线频次比重表

所经路线频次	路线长度 /km	所占比重 /%	所经路线频次	路线长度 /km	所占比重 /%
1~15	24 998	46.02	31~45	10 171	18.72
16~30	8 512	15.67	46~185	10 642	19.59

2.3 省际粮食运输成本分析

从全国部分城市粮食运输最低成本和最短路径下的运费/运距数据(表 2、表 3)中可以看出:最低成本和最短路径下最高运费均为哈尔滨—拉萨段,运费为 770 元/吨,总里程 5 133km,经铁路一次性运输。最低成本和最短路径下最小运距均为北京—天津段,运距 132km,运费 20 元/吨。最低成本下最大运距为海口—拉萨段的 6 680km,运费 647 元/吨,运输路径从海口由水运至武汉,在武汉经铁路转运至拉萨,其中水运航距 3 025km,铁路运距 3 655km;而在最短路径下此运段运距为 5 077km,运费 762 元/吨,由铁路经贵阳、成都、兰州沿线一次性运输,同最低成本路径相比运距缩短了 1 603km,运费增加了 115 元/吨。最低成本下最低运费为上海—南京段,运费 6 元/吨,经水运一次性运输,航程 350km;而在最短运距下,此段运距为 302km,经铁路一次性运输,运费 45 元/吨,同最低成本路径相比运距缩短了 48km,运费增加 39 元/吨。

在最低成本和最短路径下运费差距最大的为哈尔滨—海口段。最短运距下运输路径为铁路运输,经沈阳、天津、石家庄、武汉、长沙一线,全程 3 946km,运费 592 元/吨;最低成本下运输路径由铁路运输至大连,经大连港口转水运至海口,全程运距 4 038km,运费 242 元/吨。从运费和运距比较来看,哈尔滨—海口段粮食运输选择最低成本下运输路线更为适宜,同最短运距运输路径相比运距增加约 92km,但运费减少了 350 元/吨,减少幅度较大,对控制道路运输费用成本具有明显的效果。最低成本和最短路径下运距相差最大的为太原—重庆段。最低成本下运输路径由铁路运至天津,经天津港口转水运至重庆,全程运距 4 282km,运费 204 元/吨;最短运距下运输路径为铁路一次性运输,经西安运至重庆,全程 1 410km,运费 212 元/吨。从运费和运距比较来看,太原—重庆段粮食运输选择最短运距下运输路线更为适宜,同最低成本运输路径相比运费增加约 8 元/吨,但运距缩短了 2 872km,且不需要转运等过程,极大地减少了时间成本和运输资源占用。

综合以上分析可以看出:最低成本运输路径主要利用铁路和水运两种交通方式,国道、高速公路等公路运输方式因成本较高而未被利用;近海和沿江港口城市均涉及水运,如重庆、武汉、南京、上海、福州、海口、天津等,这些港口城市之间多为单一水运;内陆城市间主要依靠铁路运输,如乌鲁木齐—北京段、成都—拉萨段等;港口城市同内陆城市间则大多会经过两种运输方式转换运输,如海口—哈尔滨段需经大连港口转运一次,北京—上海段需经天津港口转运一次;部分非港口城市间还涉及两次转运,如哈尔滨—广州段,需先经大连港由铁路转水运后,再经深圳港由水运转铁路两次转运运输。由于三种运输方式间运输成本差异较大,铁路成本相当于水运成本的 9 倍,而公路成本则相当于铁路成本的 130 倍,所以在最低成本下的最优路

表2 最低成本条件下各省会城市间运费/运距表

		运费 (元/吨) / 运距 (千米)																													
运距 运费	北京	成都	福州	广州	贵阳	哈尔滨	海口	杭州	合肥	呼和浩特	济南	昆明	拉萨	兰州	南昌	南京	南宁	上海	沈阳	石家庄	太原	天津	乌鲁木齐	武汉	西安	西宁	银川	长春	长沙	郑州	重庆
北京		4170	2242	3210	4283	1238	3517	1760	1072	609	463	4906	3898	1747	1460	1932	4116	1582	692	284	509	132	3278	2603	1096	1958	1280	988	2961	698	3830
成都	237		3318	4286	765	4691	4593	2767	2395	1923	3615	1057	3274	1123	1929	2238	1462	2588	4140	1629	1464	4040	2972	1568	812	1335	1265	4441	1926	1307	340
福州	110	149		968	3430	2762	1275	907	1235	2818	1686	4054	5404	3253	628	1079	1875	729	2212	2468	2694	2111	5072	1750	2602	3464	3488	2512	2108	2288	2977
广州	198	236	88		1421	3731	626	1876	2204	3786	2655	1622	4675	2524	939	2048	807	1698	3180	3436	3662	3080	4343	2718	1873	2735	4457	3480	708	1600	3946
贵阳	254	115	166	213		4804	1213	2879	2507	4859	3728	633	3995	1844	1254	2351	853	2701	4253	4509	1835	4153	3682	1680	1212	2055	1975	4553	934	1628	453
哈尔滨	186	348	222	309	365		4038	2281	2609	1704	1558	5427	5133	2982	3484	2453	4637	2103	551	1519	1745	1207	4372	3123	2331	3193	2374	250	3482	1933	4351
海口	131	169	20	83	182	242		2183	2511	4093	2962	1414	6680	4529	3386	2355	599	2005	3487	3744	3969	3387	6347	3025	3877	4740	4764	3788	3384	3563	4253
杭州	177	214	88	176	231	288	109		550	2336	1059	3503	4318	2167	621	393	2782	178	1730	1341	1566	1630	3986	1199	1516	2378	2279	2031	989	1080	2427
合肥	161	205	91	178	222	290	111	83		1648	623	3131	3772	1621	457	157	3110	459	2058	905	1130	966	3440	467	970	1833	1733	2359	825	573	2055
呼和浩特	91	288	197	284	340	256	217	263	247		1039	5483	3440	1361	2036	2508	4692	2158	1293	806	616	708	2669	3179	1118	1500	671	1453	3537	1182	4407
济南	69	253	127	214	270	234	147	159	93	156		4351	3784	1633	1072	666	3561	1027	1011	296	522	357	3451	2047	981	1844	1581	1308	1258	495	3275
昆明	347	159	259	243	95	458	212	324	315	434	363		4324	2172	1870	2974	815	3324	4876	5133	2459	4776	4021	2304	1836	2384	2314	5177	1550	2244	1076
拉萨	585	491	626	701	599	770	647	648	566	516	568	649		2151	4015	3925	4725	4675	4587	3619	3454	3972	3954	3655	2802	1940	2769	4883	3972	3297	3570
兰州	262	169	304	379	277	447	324	325	243	204	245	326	323		1864	1774	2574	2524	2436	1468	1303	1821	1875	1504	651	211	690	2732	1820	1146	1419
南昌	219	225	94	141	188	331	153	93	68	305	161	281	602	280		609	1271	791	2934	1293	1460	2833	3683	361	1213	2076	1976	3234	420	895	1589
南京	105	131	17	105	148	217	38	59	23	192	100	242	589	266	91		2954	350	1902	2159	2384	1802	3592	671	1123	1985	1886	2203	1029	687	1898
南宁	271	219	160	121	128	382	90	249	251	357	287	122	709	386	191	178		2604	4086	4343	5683	3986	4393	3625	1923	2785	2686	4387	967	1860	1297
上海	100	137	12	99	154	211	32	27	69	186	116	247	614	292	119	6	172		1552	1809	2034	1452	4342	1021	1873	2735	2829	1853	1379	1558	2248
沈阳	104	265	139	227	282	83	159	205	207	194	152	376	688	365	249	134	299	128		973	1198	660	3961	2573	1785	2647	1963	300	2931	1387	3800
石家庄	43	244	144	232	288	228	165	201	136	121	44	381	543	220	194	139	305	134	146		230	358	3287	951	817	1679	1289	1269	1309	414	4057
太原	76	220	178	266	275	262	199	235	170	92	78	369	518	195	219	173	338	168	180	35		584	3098	1103	652	1514	1100	1494	1462	566	4282
天津	20	217	91	178	234	181	111	157	145	106	54	328	596	273	201	86	251	80	99	54	88		3377	2473	1170	2033	1379	956	2831	768	3700
乌鲁木齐	492	446	576	651	552	656	597	598	516	400	518	603	593	281	552	539	659	565	594	493	465	507		3322	2470	2014	1998	4122	3639	2965	3257
武汉	116	121	28	116	138	227	48	93	70	203	132	231	548	226	54	11	188	16	145	143	166	97	498		852	1715	1615	2873	358	538	1227
西安	164	122	206	281	182	350	226	227	145	168	147	275	420	98	182	168	288	194	268	122	98	176	370	128		863	763	2081	1169	495	787
西宁	294	200	335	410	308	479	356	357	275	225	277	358	291	32	311	298	418	324	397	252	227	305	302	257	129		829	2943	2032	1357	1630
银川	192	190	297	385	296	356	318	342	260	101	237	347	415	104	296	283	403	287	294	193	165	207	300	242	114	124		2124	1932	1258	1550
长春	148	310	184	272	327	38	204	250	252	218	196	421	732	410	294	179	344	173	45	190	224	143	618	190	312	441	319		3232	1683	4101
长沙	220	224	132	106	140	331	152	148	124	306	189	233	596	273	63	115	145	120	248	196	219	200	546	54	175	305	290	294		897	1586
郑州	105	196	159	240	244	290	179	162	86	177	74	337	495	172	134	103	279	147	208	62	85	115	445	81	74	204	189	252	134		1766
重庆	221	51	48	135	68	247	68	113	104	222	152	161	535	213	124	30	195	36	164	170	204	116	489	20	118	244	233	209	123	150	

径选择上第一优先权为水运,在水运运距较大,或者水运不能直接到达,需转运且包含转运费后总运费超过直达铁路运费时,最低成本路径才会选择铁路运输;同样,只有在铁路运距较大,或者铁路不能直接到达,需转运且包含转运费后总运费超过公路直达运费的情况下,最低运费路径才选择公路运输。故此,在所得结果中会出现两地实际铁路距离较近,但最优路径却选择运距较远的水运或水路铁路转运的运输方式,例如太原—重庆段、广州—重庆段等。

3 结论与讨论

(1) 我国省际粮食运输呈现出以东北地区经大连港口外运通道, 黄淮海地区经青岛、天津港口外运通道, 西北内陆经西安转运通道, 华南地区经福州、深圳、澳门等港口流入通道和长江中下游地区沿江转运通道等为主的五大运输区域格局, 根据此格局可以为合理建设和分配粮食运输资源提供参考。

(2) 水路和铁路运输凭其成本较低的优势在省际粮食运输中占据主要地位, 公路运输在总体道路运输体系中所占比重较大, 但主要集中于省内或短途运输。省际粮食运输应根据在运费成本和时间成本上的不同要求, 选择合理的运输方式。提高低成本的水路运输在省际粮食运输中的比重将成为降低运输成本的重要方向, 内河航运和深水港口建设将是今后粮食物流体系建设关键环节之一。

(3) 我国省际粮食运输转运、装卸和包装费用一直较高,在一定程度上制约了多方式联运的应用和发展,建设现代化的

表 3 最短运距条件下各省会城市间运费/运距表

运费 (元/吨) / 运距 (千米)

参考文献：

- Logistics Sci-Tech 2014.5 139