

# 基于路网可达性的青海交通运输覆盖度分析

李灵杰, 吴群琪

(长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 为探究新“丝绸之路经济带”的“经济凹陷带”的交通通达性, 进而有针对性地完善交通路网, 以青海省交通路网为研究对象, 在诠释定义交通可达性概念的基础上, 将矢量数据与栅格数据转换并结合, 运用成本距离等空间计量分析工具, 对青海省交通路网可达性和覆盖度进行分析. 结果表明: 青海省作为“丝绸之路经济带”的重要节点, 目前尚未形成快速便捷的路网; 干线公路对州、县、重要资源产业基地等节点的衔接覆盖不足; 市(州)及县级行政区道路技术状态差、高等级覆盖率低, 农村公路等级差、整体覆盖率低; 东部城市群城乡公交一体化建设程度低, 主要城市站点和路线设置不合理; 交通网络可达性存在显著差异, 东西向以柳格高速为分界线, 柳格高速以西, 通达性的时间长度从 1.2 h 增加至 4.85 h, 部分省内区域通达时间超过 10 h, 南北向以 G109 为分界线, 呈现出“东部大于西部, 北部大于南部”和“局部分布不均匀”的态势.

**关键词:** 交通运输工程; 路网; 可达性; 成本距离; 运输通道

中图分类号: U121

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)02-0233-09

## Analysis on the traffic coverage of Qinghai Province based on the road network accessibility

LI Lingjie, WU Qunqi

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** To investigate the traffic accessibility of the “economic depression belt” on the new Silk Road Economic Belt, we can perfect the traffic network and take the traffic network of Qinghai Province as the object of study, in analyzing and judging the accessibility and coverage of traffic network in Qinghai Province, by converting vector data to grid data and combine them with each other based on defining the concept of traffic accessibility with spatial econometric analysis tools such as cost distance method. The results show that: Qinghai Province, as an important node in “Silk Road Economic Belt”, has not built up a convenient traffic road network. The trunk roads lack enough coverage for the counties, important resources and industrial bases. Her city road state and county administrative region is poor, with low coverage of high grade highway. Furthermore the province's the integration of urban and rural public transport in the eastern urban agglomeration is low, and the main city sites and routes are unreasonably laid out and lack of coverage. There is a significant difference in traffic network accessibility, with the Liuge Speed High way as the dividing line of east and west, the time length of accessibility increases from 1.2 hours to 4.85 hours in the west of the Liuge Speed High way, the access time is more than 10 hours in some place. G109 Highway separates south and north as a dividing line, showing “the East larger than the west, and the north larger than the South” and the “local uneven distribution” of the situation.

**Key words:** transportation engineering; road network; accessibility; cost distance; transportation corridor

新“丝绸之路经济带”所带动的总人口约 30 亿, 被认为是“世界上最长、最具有发展潜力的经济大走廊”. 然而, 该大走廊虽在中国西部和中亚地区之间有丰富的自然、矿产、能源、土地及旅游等资源, 但该区域交通不够便利, 自然环境较差, 经济发展水平与两端的经济圈存在巨大落差, 致使整个经济带存在“两边高, 中间低”的现象, 而

青海正是这种现象的典型代表. 因此, 需要以理论科学作为指导工具, 对青海省交通通达性进行定性分析与定量评价.

国际上, 1959 年 Hansen<sup>[1]</sup>最早提出了交通网络的可达性概念, 即“交通网络中各节点相互作用的机会大小”. 60 年代之后, Ullman<sup>[2]</sup>深化了可达性概念, 并进一步提出了切实可行的操作和度量

方法。在可达性的评价方法方面,评价某个区域的可达性方法较多,Baradaran and Ramjerdi 将可达性评价方法分为五类<sup>[3]</sup>,而 Handy and Niemeier<sup>[4]</sup>将其中的基于地点的可达性评价、基于个人的可达性评价和基于效用的可达性评价用于土地和交通规划中。至此,可达性的概念与理论将土地和交通两个学科定量地联系在一起。到 21 世纪, Bertolini 等<sup>[5]</sup>将可达性定义为物或人在给定时间或费用条件下到达目的地的数量和多样性。国内刘海隆<sup>[6]</sup>、黄晓燕<sup>[7]</sup>等基于不同的区域系统开放性视角,剖析了区域可达性所引起的区域经济效应。董向锋<sup>[8]</sup>重点对城市范围的交通可达性影响因素进行了定性分析。程钰、刘雷等<sup>[9]</sup>以县域尺度为视角,构建了济南都市圈交通可达性测度指数和县域经济综合发展水平指数,并基于构建的测度指数对济南都市圈 34 个县市进行案例分析,得出济南都市圈交通可达性区域差异较大,以低可达性和较高可达性为主的结论。张兵等<sup>[10]</sup>利用可达性评价模型,计算了湖南省 1984 年~2004 年公路网络的演变及其可达性的变化,并基于预测模型对 2025 年湖南省高速公路网络可达性进行模拟。田春红<sup>[11]</sup>分析了石家庄市的城市特点和市内公交系统的现状,将数学方法与 GIS 相结合,把 GIS 技术应用到城市公交线网的可达性评价中。高贺等<sup>[12]</sup>从可达性的不同指标对城市道路网进行定性的描述,并定量地评价了哈尔滨市道路网布局。孙耿杰<sup>[13]</sup>基于对可达性的内涵与定义的理解,基于不同的研究主体,具体提出了表达城市交通可达性指标,即通达性指标、易达性指标与可动性指标,同时提出了基于出行目的的城市交通可达性模型。曹小曙等<sup>[14]</sup>在中国国家干线公路网络的分析基础上,重点剖析了不同的速度指标对国家干线公路网络联结的城市可达性的影响;之后,又以广州市城市公交线路网数据为基础,以 GIS 软件平台为工具,定量地测度了广州社区的公共交通可达性<sup>[15]</sup>,同时又基于问卷调查数据,研判了城市公共交通供给与社区居民出行需求的匹配度。

由上可见,国外学者多侧重于可达性概念的规范与测度,注重多领域学科的融合;国内学者丰富了可达性的评价方法和手段,主要涵盖了传统的基于数学统计方法的拓扑、重力模型、等值线法等<sup>[16-17]</sup>,也有数学方法与 GIS 相结合的综合集成方法<sup>[11,15,18]</sup>,但是,研究对象多集中于沿海或中东部的发达城市,或侧重于某一城市的公共交通领域,西北等亟待发展交通的省份或区域的

针对性研究与政策分析极少。因此,本文以新“丝绸之路经济带”沿线的青海省交通路网为研究对象,以涉及到的分等级路网数据和省内各市、州范围数据为基础,运用 ArcGIS 软件平台、成本距离法等工具方法,将矢量数据与栅格数据相互转化、结合,对青海省内交通路网可达性和覆盖度进行测度,由此得出以时间为指标来衡量路网覆盖性能,以可达时间的跨度来定量表达青海省内的路网覆盖性,为进一步改进省内交通建设、发挥交通对“一带一路”沿线省份的促进作用提供科学依据。

## 1 可达性模型原理与数据处理

### 1.1 交通可达性概念

上世纪七八十年代, Dalvi<sup>[19]</sup>、Burns<sup>[20]</sup>、Morris 等<sup>[21]</sup>对交通可达性作出不同的定义与界定。本文基于前人相关概念的表述与理解,将青海省交通路网可达性定义为:在一定的城市土地利用与城市交通系统中,城市居民从省内既有的交通系统出发,到参与省内各项日常活动(就业、上学、购物、娱乐)目的地的便利程度,并采取加权平均距离指标衡量这种便利程度。其中,加权平均距离指的是在较小的距离或范围,计算求得所有线要素、面要素的平均值,如果均值越稳定,那么赋予其的权重越高,即该地点地势越平缓,其道路的通达性能越好。

交通路网可达性的分析目标是确定各像元位置到某个源的最小成本路径,本文的案例中,该“源”指的是青海省域内的交通路网系统的任何一条矢量线路的最小分解单元。该过程必须确定每个像元的通向源的最短加权距离,以及最小成本路径本身。

### 1.2 可达性模型原理

在实际的空间统计分析和代数运算过程中,需要将矢量数据转化为栅格数据,利用 ArcGIS 建立模型,由此可以极大地提高 GIS 的时空数据分析能力。在计算、输入过程中,“成本距离”的输入需要“源”的矢量数据以及由“源”做为数据集而生成的成本栅格数据,因为在栅格中,能够运用图论理论中的连接线/结节点像元制图表达原理,将每个像元正确地分配到其最近的像元的累计成本。表达、分配时,结点是各像元的中心,并由多条线将各结点连接到距离其最近的相邻结点,但是,每一条的连接线都存在带有关联属性的阻抗。阻抗的大小,取决于像元的移动方向,以及与连接线

的各端点的像元相连的成本. 在像元中, 移动的每个单位距离所需要的成本用分配给各像元的成本来表示, 而每个像元的最终值为成本与像元大小的乘积.

行程成本包括对角结点成本和相邻结点成本. 相邻结点成本的大小受该两个结点的空间方向、以及像元的连接方式的影响. 当某像元移动到与其直接连接的近邻像元时, 跨越连接线移动到相邻结点的成本为像元 1 与像元 2 的平均值:

$$A1 = \frac{1}{2}(cost1 + cost2)$$

式中:  $cost1$  为像元 1 的成本;  $cost2$  为像元 2 的成本;  $A1$  为从像元 1 到像元 2 连接线的总成本.

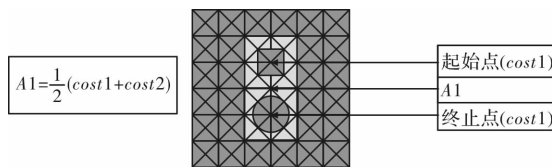


图1 水平与垂直结点计算图示

Fig. 1 Horizontal and vertical node calculation diagrams

相邻结点的累积成本公式为

$$Accum-cost = A1 + \frac{1}{2}(cost2 + cost3)$$

式中:  $cost2$  为像元 2 的成本;  $cost3$  为像元 3 的成本;  $A2$  为从像元 2 移动到像元 3 的成本;  $Accum-cost$  为从像元 1 移动到像元 3 的累积成本.

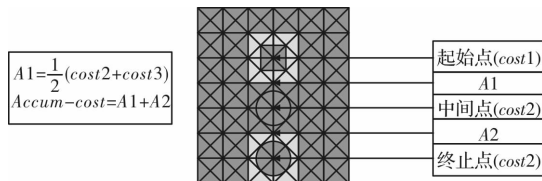


图2 累积成本结点计算

Fig. 2 Calculation of cumulative cost nodes

对角结点间的行程成本是指沿对角线移动, 那么连接线上的行程成本为

$$A1 = \frac{\sqrt{2}}{2}(cost1 + cost2)$$

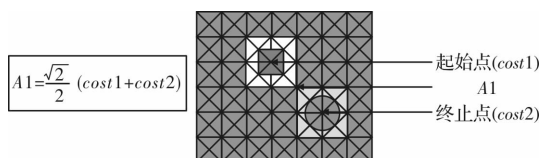


图3 对角结点计算图示

Fig. 3 Diagonal node calculation diagram

对角线移动的累积成本公式为

$$Accum-cost = A1 + \frac{\sqrt{2}}{2}(cost2 + cost3)$$

在计算累计成本之后, 需要将形成累计成本

像元列表, 通过迭代, 直至输出成本距离. 使用图论创建累积成本距离栅格可被视作尝试识别最低成本像元, 并将其添加到输出列表; 而每个像元的目标则是快速分配到输出成本距离栅格中.

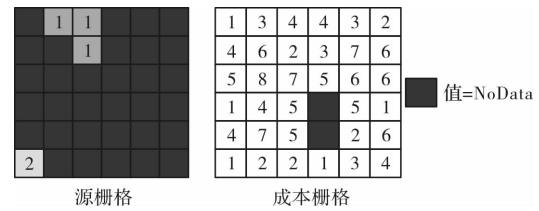


图4 输入栅格

Fig. 4 Input grid

在初次迭代中, 它们返回自身不消耗累积成本, 但是需要识别出源像元并分配 0 值, 再次迭代时, 启用全部源像元的近邻, 使用累积成本公式将成本分配到源像元结点与邻近像元结点之间的连接线. 各邻域像元都可以达到某个源, 因此, 可以选择将它们分配给输出累积成本栅格, 累积成本值按由最低累积成本到最高累积成本的顺序排列于列表中.

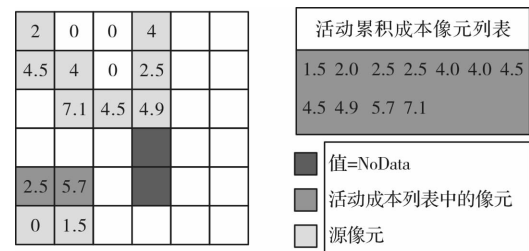


图5 初次迭代与输出

Fig. 5 First iteration and output

从活动累积成本像元列表中选择最低成本像元, 然后将该像元位置的值分配给输出成本距离栅格. 此时, 这些像元已具有到达某个源的方式, 活动像元的列表会变大, 而列表中只有可能到达某个源的像元是活动的. 由此, 继续使用累积成本公式计算移动到这些像元的成本.

此分配过程继续执行, 通过将新像元位置添加到输出栅格创建新的成本较低的路径, 更新活动列表上的像元. 当活动累积成本列表上具有最低值的像元被分配到输出栅格时, 计算所有累积成本, 同时计算新分配的输出像元的相邻像元的成本, 即使相邻像元位于其他像元的活动列表上; 如果活动列表上的位置的新累积成本大于这些像元当前的累积成本, 则忽略该值; 如果活动列表上的位置新累积成本小于这些像元当前的累积成本, 则使用新值替换掉活动列表上该位置的原有累积成本. 此时已具有到达某个源的更理想路径的像元在活动选择列表中上移.

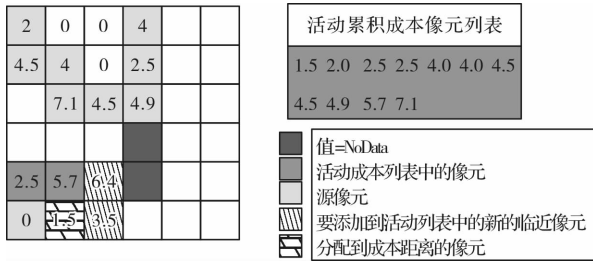


图6 二次迭代与输入栅格

Fig. 6 Quadratic iteration and input grid

2	0	0	4	6.7	9.2
4.5	4	0	2.5	7.5	13.5
8	7.1	4.5	4.9	8.9	14.5
5	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	3.5	5	7	10.5

图7 成本距离输出值

Fig. 7 Cost distance output value

NoData 像元的后侧像元的最低累积成本由绕过这些位置所需的成本确定, 不允许穿越包含 No-Data 值的像元。

### 1.3 数据来源与处理

青海与甘肃、四川、西藏、新疆接壤, 辖西宁市、海东市两个地级市和玉树藏族自治州、海西州、海北州、海南州、黄南州、果洛州等6个民族自治州。本文以2015年行政区划为基准(考虑多种数据的统一性), 且论文成文时, 国家数据(<http://Data.stats.gov.cn>)官方网站所公布的最新数据为2015年数据), 计算分析中涉及分等级路网数据和各市、州范围数据, 以中国地图出版社2015年《中国交通地图册》为版本, 基于数据的统一性, 选定投影坐标系(Projected Coordinate Systems)体系中的GCS Krasovsky 1940坐标, 以英国格林尼治黄金子午线为基准, 运用ArcGIS 10.2确定矢量的青海省的交通网络图。

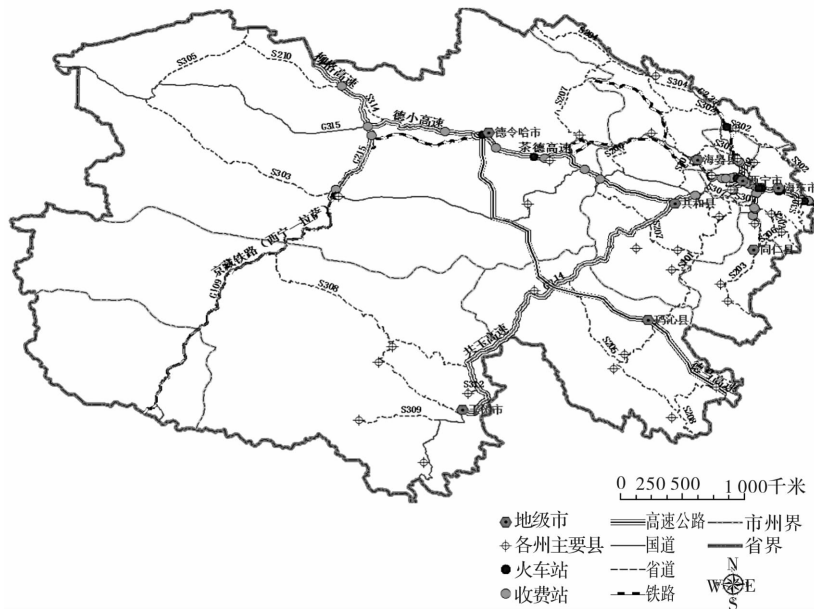


图8 青海省主要交通线路图

Fig. 8 Main traffic routes in Qinghai Province

道路分为高速公路、国道、省道等不同等级道路, 各等级道路的设计时速均不相同。不同道路经过一个栅格的时间设为成本值, 在ArcMap中, 在既有的矢量交通网络的基础上对高速公路、国道、省道、陆地等矢量图层的属性表增加一个新的字段cost, 用来存储成本数值, 其值表示完成100 km所需要的时间; 如国道的速度为80 km/h, 则其所需要的时间为 $100/80 \times 60 = 75$  min, 并且根据上述设定给字段赋值; 在没有路网的, 假设其为均质的、可以步行为主的出行方式, 且

步行速度设置约为6 km/h。其次, 对不同的矢量图层进行栅格化, 通过Spatial Analyst工具栏中的矢量转栅格(Convert→Feature to Raster)命令进行栅格转换, 栅格数据的取值即使用刚才建立的新字段的值。再次, 对生成的栅格数据进行重分类(Reclassify), 并将研究区域内NoData的值改为“1 000”(100 km/(6 km·h<sup>-1</sup>)×60 min), 生成研究区域内的成本栅格图, 栅格大小为50 m×50 m。利用Spatial Analyst工具栏中的成本距离加权(Distance→Cost Weighted), 计算成本栅格数据的

成本值,并根据结果调整时间等级分类,由于青海省道路通达度有限,时间跨度较大,约为 0~11 h,基于此,将时间等级以 1.2 h 为划分区间划分 9 个等级,将得到的栅格图输出,并叠加路网矢量图,最终得到成果图。

2 覆盖度评价

2.1 定性问题分析

青海省是“丝绸之路经济带”的重要节点,然而其省内铁路、公路中重要枢纽的综合功能欠佳,地方铁路发展相对滞后,未能形成快速便捷的铁路网,国省干线公路升级改造力度不够,尤其是沿黄公路、旅游公路以及全部县城公路的等级较低,只是初步形成了省内通往甘肃敦煌、新疆、西藏的对外快速运输通道,即 G6 京藏高速青海段除在建茶卡至格尔木段已基本贯通,国家高速公路 G3011 青海段全线贯通, G0612 西宁至和田高速, 西宁至西海、德令哈至小柴旦湖建成通车, G214、G227、G213、G109 等普通国道的对外衔接路段尚通达,然而其余方向的路网通达性依旧不高。

其次,干线公路对州、县、重要资源产业基地等节点的衔接覆盖不足;个别县城对外出行路径较单一、迂回绕行严重;已建农村公路、砂石路缺少必要的防排水设施和安保工程;农村公路畅通水平低,青海省仍有 5 个乡镇和 609 个建制村不通沥青(水泥)路,建制村通畅率比全国低 10 个

百分点;果洛州、玉树州等东南部及柴达木盆地西北部地区与新疆、甘肃西部地区的铁路通道不畅。

再次,青海省东部城市群已实现城市群增长极,形成以西宁为中心的东部城市群各市县间高等级公路连接,高速公路覆盖比例达到 90%以上,所有乡镇和建制村实现通硬化路,县二级客运站覆盖率基本达到 100%。相比而言,西南的藏区交通基础设施建设较为滞后,农村公路养护资金偏低,自筹资金配套较少,通畅水平仍然较低,抗灾能力弱;藏区和农牧区公路通达深度及通畅程度低于全国平均水平,高速公路覆盖率比例仅为 45.5%;藏区县城二级客运站覆盖率不足 40%,乡镇等级客运站覆盖率达到 71.3%,藏区交通已成为制约青海省全面建成小康社会的短板。

2.2 定量覆盖度测算

(1)青海省公路面积密度低,全省覆盖率不足

依据国家数据(<http://Data.stats.gov.cn>)进行计算整理,截至 2015 年底,青海省公路通车里程达到 7.56 km,公路网密度达到 1.049 km/10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>,以人口计算的公路网密度为 127.4 km/人,其中高、次级公路 2 662 km,占比 3.52%,平均万人拥有 35.45 km;等级公路 61 977 km,占公路网的 81.99%,等外公路 10 952 km,占比 14.49%。从下表中可以看出,青海省公路网密度(覆盖度)较低,在西北地区中,青海省公路密度最低,仅西部平均水平的 39%,只有全国的 21.7%。

表 1 部分省份路网建设对比

Tab. 1 Comparison of traffic routes construction in of China's some northwest provinces

省份	公路里程数/km	公路面积密度/km · 10 <sup>-3</sup> km <sup>-2</sup>	公路人口密度/km · 人 <sup>-1</sup>
甘肃省	140 100	3.088	53.741
宁夏省	33 240	5.000	49.192
陕西省	170 145	8.265	44.615
新疆维吾尔自治区	178 300	1.074	77.573
青海省	75 593	1.049	127.389
全国	4 577 300	4.751	33.299

(2)不同等级道路不同行政区域覆盖率差异较大

青海省公路覆盖率在层次上呈现“覆盖率不足”的状况:市(州)及县级行政区道路技术状态差,高等级覆盖率低,农村公路普遍存在着等级差,覆盖率低的现象。截至到 2015 年底,高速公路网里程已达到 2 662 km,但依旧会有 41.3%的县级行政村不能覆盖。目前,二级公路建设使得全省相邻市州之间基本实现贯通,而部分市州与所

辖县、邻县之间未能实现高等级公路覆盖,通畅性不足。截至 2015 年底,全省农村公路里程数达到 6×10<sup>4</sup> km,在“十二五”期间通过提升农村公路等级,使得乡镇通畅率达 98.6%,建制村通畅率达 85.4%,农村公路覆盖范围显著提升。但大多数农村的道路普遍为等外公路、砂石路面,其通畅水平低。客运站点方面,所有乡镇和建制村实现通硬化路,县二级客运站州府覆盖率达 100%,与其相比,藏区二级客运站覆盖率不足 40%;县城二

级及以上客运站覆盖率不足45%，乡镇等级客运站覆盖率仅为88.58%，适宜农牧区需求的汽车客运站及停靠站点建设不足。此外，受客流不足的影响，部分地区乡镇等级客运站难以维持正常运转。

(3) 运输网络服务基本覆盖全省，公路监测等覆盖度不足

截至2015年底，全省累计开通客运班线893条，其中省际班线89条、市际班线150条、县际班线92条、县内班线562条，基本覆盖全省地区；

全省83.55%的建制村通车，乡镇实现100%通车。但是，仍有17.4%建制村没有客运班线，东部城市群城乡公交一体化建设程度低，主要城市站点和路线设置不合理，覆盖性不足。另外，全省的旅客运营车辆已达699辆，景区客运交通与铁路网已经实现无缝衔接，形成了旅游交通网络。在管理层面上，交通运输行业的运输装备监管设备覆盖度水平低，使得青海省交通监管和紧急救援方面存在着一定程度的困难。

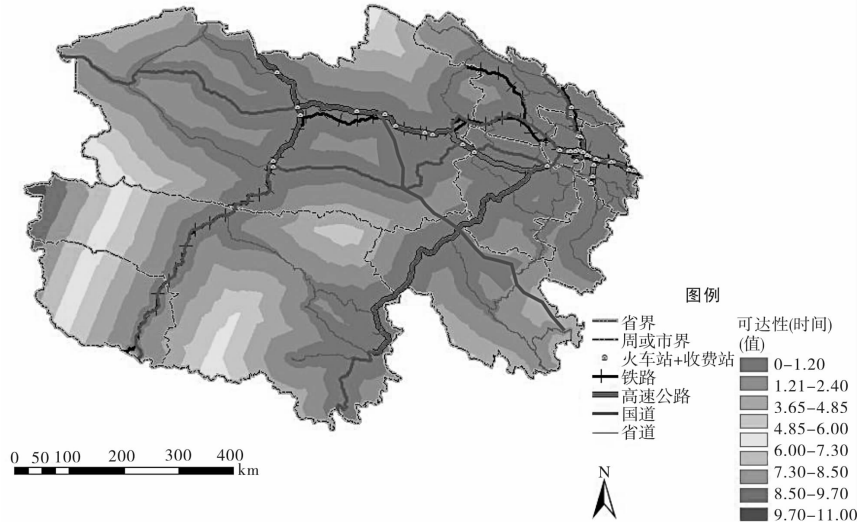


图9 青海交通网络图

Fig. 9 Traffic network in Qinghai Province

(4) 区域覆盖率差异大，基本呈现“东高西低，北高南低”的状态

全省交通网络覆盖率区域间明显存在着差异，呈现出“东部大于西部，北部大于南部”和“局部分布不均匀”的态势。在行政区域上，全省公路密度从低到高依次为：玉树、海西、果洛、黄南、海北、海南、西宁和海北，其中，玉树和海西州的公路里程面积密度最低，小于 $5 \text{ km}/10^2 \text{ km}^2$ ，最高为西宁和海东，高于 $50 \text{ km}/10^2 \text{ km}^2$ 。东西格局上，公路网络主要覆盖于海北、西宁、海东、海南和黄南北部等东北部区域，并呈现以西宁海东为中心的覆盖率辐射性减低的趋势，在这一区域中，大部分区域都能在1.2 h之内到达，随着逐渐向西，青海省交通网覆盖性逐渐降低，以柳格高速为分界线，柳格高速以西，覆盖率较低，只有G315和S305两条等级高的道路，通达性的时间长度也逐渐从1.2 h增加至4.85 h，甚至部分地区通达性达到11 h；南北格局上，全省主要以G109为分界线，G109以北，铁路、公路网覆盖率较深，基本上全部区域能够在3.65 h之内到达，可达性较大；国道109

以南，西部依托于铁路、G214、G109、S101和S308、形成了少量的交通网络，其他大面积的地区主要以县道、乡道为主，高水平道路覆盖较低，因此，交通通达性沿着G214、G109、S101和S308辐射性向周边地区递减，交通网络覆盖度较差，等级较低。从地区上来说，东部城市群主要通过高等级公路连接周边市(州)县，平均时速也高于西部地区，高速公路县覆盖率达92.3%，乡镇和建制村100%硬化路覆盖，藏区公路覆盖度严重不足。藏区高速公路县覆盖率仅为45.5%，17.4%不通班线的建制村全部位于藏区，二级客运站点县城覆盖率小于40%，乡镇客运站点覆盖率仅为71.3%。

### 3 交通路网完善建议

#### 3.1 两条通道，多点联通

为了促进青海省更快融入到丝绸之路经济带中，需打通对外运输通道与省际出口，加强跨区域通道建设，促进区域间各种运输方式间的有效对接和深度融合，为承接产业转移、资源开发和

经济社会的发展提供交通运输保障。按照“两条通道、多点联通”的思路, 加强青海省的对外运输通道建设, 将青海与周边省区连接起来, 把西宁、格尔木打造为丝绸之路经济带上的重要节点城市。

一是北部通道。自兰州新区、经互助、大通、西海、德令哈、小柴旦、黄瓜梁、茫崖至新疆若

羌, 通过吐尔尕特、伊尔克斯坦口岸连通吉尔吉斯斯坦, 进而抵达中亚、欧洲地区。二是南部通道。自兰州、西宁、共和、都兰、格尔木、至拉萨, 进而连通加德满都; 其次是经由德令哈市、都兰至果洛州的玛沁县。

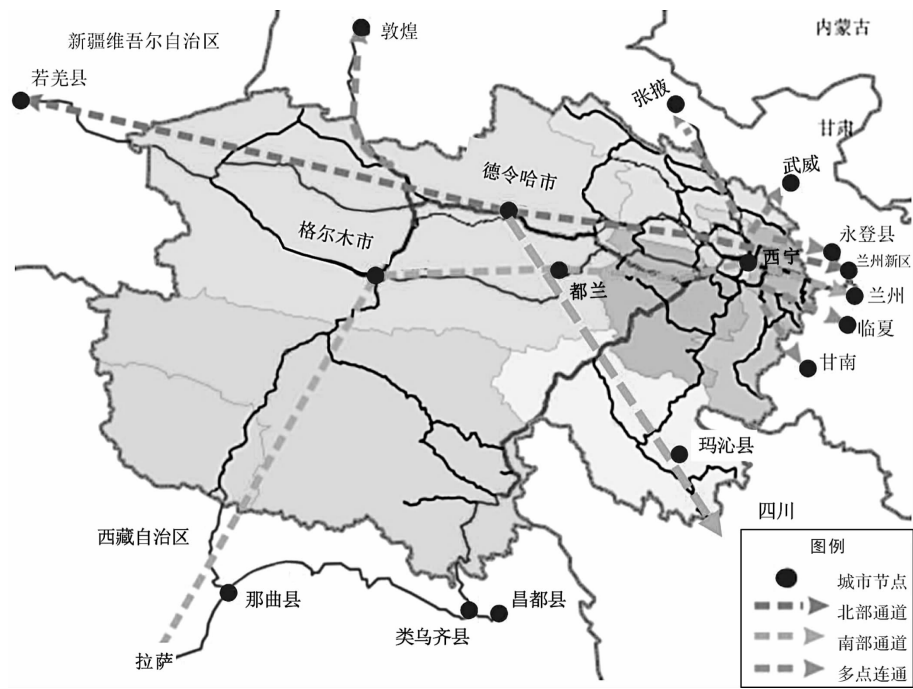


图 10 青海省对外运输通道布局示意

Fig. 10 Layout of Qinghai province's external transportation passage

除此之外, 需要沿青海省周边省界, 打通与甘南、临夏、永登、兰州新区、武威、张掖、敦煌、新疆方向的高速公路通道, 构成与丝路主通道连霍高速的互联互通。

3.2 梯度辐射, 完善路网

在京藏高速、青新高速、德马高速等主通道的辐射范围内加快连接果洛、玉树州及省内主要城镇

和重点资源开发区、旅游区公路通道建设, 提高交通一体化水平。与此同时, 加强对具有集散功能、提供公共服务的普通国道及辅道建设、农村公路网建设, 以及重点工业园区、农业园区连接线建设。提高路网中二级公路以上公路比重, 提高路网通行能力和服务水平, 提升公路运输效率。各条对外运输通道在青海省省内的基础设施构成如表 2 所示。

表 2 青海省运输通道基础设施构成情况

Tab. 2 Composition of traffic corridor infrastructure of Qinghai Province

通道名称		省内基础设施构成
北部通道	铁路	兰新线
	公路	京藏高速、G315、G109、G214、S2013、S20
	机场	德令哈机场
南部通道	铁路	兰青线
	公路	德马高速、G214、G6、G109
	机场	西宁曹家堡机场、格尔木机场
多点连通	铁路	兰青线、兰新线
	公路	兰西高速、G227、G109、G215、G315、G345、G341、G569、S201、S224、S308、S218
	机场	西宁曹家堡机场

## 4 结论

(1)以青海省交通路网可达性和覆盖度为研究对象,定性分析省内的主要线路、区域和节点,借助 ArcGIS 软件平台,将矢量数据与栅格数据相互转化、结合,并运用成本距离方法,基于分等级的路网数据和各市、州范围数据,定量地测度青海省交通路网的覆盖度。

(2)从定性的角度来看,青海省的便捷路网尚未形成,省内的铁路、公路重要枢纽的综合功能欠佳;干线公路对州、县、重要资源产业基地等节点的衔接覆盖不足;东部以西宁为中心的城市群已实现增长极,但城乡公交一体化建设程度低;藏区交通运输发展严重滞后,西南藏区已成为制约青海省全面建成小康社会的短板。

(3)从定量的角度来看,青海省公路面积密度低,全省覆盖率不足;不同等级道路不同行政区域覆盖率差异大,高速公路网仅能覆盖六成的县级行政村,建制村通畅率达 85.4%;运输网络服务基本覆盖全省,但监管、服务水平欠佳;区域覆盖率差异大,东西格局上以柳格高速为分界线,通达性差异约 3.65 h,偏远地区通达性时间高达 11 h,南北格局上以 G109 为分界线,基本呈现“东高西低,北高南”低的状态。

(4)区域综合交通可达性评价系统具有开放性、协同性,后续研究需要注重由区域系统内可达性评价转向区域系统内、外的可达性系统评价,以宏观的视角来定性、定量地评价某一区域的交通路网通达程度。

## 参考文献 References

- [1] HANSEN W G. How accessibility shapes land-use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2):73-76.
- [2] ULLMAN E L. American commodity flow[M]. Seattle: University of Washington Press, 1957:60-73.
- [3] BARADARAN S, RAMJERDI F. Performance of accessibility measures in Europe[J]. Journal of Transportation Statistic, 2001, 4(3):31-48.
- [4] HANDY S L, NIEMEIER D A. Measuring accessibility: An exploration of issues and alternatives[J]. Environment and Planning A, 1997, 29(7):1175-1194.
- [5] BERTOLINI L, CLERCQ F L, KAPOEN L. Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward[J]. Transport Policy, 2005(12):207-220.
- [6] 刘海隆, 包安明, 陈曦, 等. 新疆交通可达性对区域经济的影响分析[J]. 地理学报, 2008, 63(4):428-437.
- [7] LIU Hailong, BAO Anming, CHEN Xi, et al. The effect of transport accessibility on regional economic performance[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4):428-437.
- [8] 黄晓燕, 曹小曙, 李涛. 海南省区域交通优势度与经济发展关系[J]. 地理研究, 2011, 30(6):985-999.
- [9] HUANG Xiaoyan, CAO Xiaoshu, LI Tao. The relationship between regional transport superiority and regional economic performance in Hainan[J]. Geographical Research, 2011, 30(6):985-999.
- [10] 董向锋. 城市交通可达性的一些思考[J]. 江苏城市规划, 2007(8):19-22.
- [11] DONG Xiangfeng. Some thoughts on the accessibility of urban traffic[J]. Jiangsu Urban Planning, 2007(8):19-22.
- [12] 程钰, 刘雷, 任建兰, 等. 济南都市圈交通可达性与经济发展水平测度及空间格局研究[J]. 经济地理, 2013, 33(3):59-64.
- [13] CHENG Yu, LIU Lei, REN Jianlan, et al. The study about measuring of the relationship between transportation accessibility and the level of economic growth and spatial structure at county level[J]. Economic Geography, 2013, 33(3):59-64.
- [14] 张兵, 金凤君, 于良. 湖南公路网络演变的可达性评价[J]. 经济地理, 2006, 26(5):776-780.
- [15] ZHANG Bing, JIN Fengjun, YU Liang. The appraise of accessibility on the evolution of highway network in Hunan province[J]. Economic Geography, 2006, 26(5):776-780.
- [16] 田春红. 基于 GIS 的石家庄市公交线网可达性评价初探[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2010.
- [17] TIAN Chunhong. The accessibility evaluation of the Shijiazhuang urban public traffic lines based on GIS [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2010.
- [18] 高贺, 冯树民, 关大鹏. 哈尔滨市道路网可达性分析[J]. 森林工程, 2007, 23(3):70-72.
- [19] GAO He, FENG Shumin, GUAN Dapeng. Smoothness analysis for Harbin urban road network[J]. Forest Engineering, 2007, 23(3):70-72.
- [20] 孙耿杰. 基于出行目的的城市交通可达性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [21] SUN Gengjie. Study on urban transportation accessibility based on trip purpose[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [22] 曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网连接的城市通达性[J]. 地理学报, 2005, 60(6):903-910.
- [23] CAO Xiaoshu, XUE Desheng, YAN Xiaopei. A study on the urban accessibility of national trunk highway system in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(6):903-910.
- [24] 曹小曙, 黄晓燕, 董哲. 基于 GIS 的公共交通可达性与居民出行特征[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2013, 45(05):98-105.
- [25] CAO Xiaoshu, HUANG Xiaoyan, DONG Zhe. Transit



- accessibility and characteristics of residents' transportation based on GIS[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2013, 45 (5): 98-105.
- [16] 陈洁, 陆锋, 程昌秀. 可达性度量方法及应用研究进展评述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 101-110.  
CHEN Jie, LU Feng, CHENG Changxiu. Advance in accessibility evaluation approaches and applications [J]. Progress in Geography, 2007, 26(5): 101-110.
- [17] 孙威, 张有坤. 山西省交通优势度评价[J]. 地理科学进展, 2010, 29(12): 1562-1569.  
SUN Wei, ZHANG Youkun. Assessment of transportation superiority degree in Shanxi province[J]. Progress in Geography, 2010, 29(12): 1562-1569.
- [18] 叶明武, 王军, 刘耀龙, 等. 基于 GIS 的上海中心城区公园避难可达性研究[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(3): 96-99.  
YE Mingwu, WANG Jun, LIU Yaolong, et al. Study on refuge accessibility of park in inner-city of Shanghai based on GIS technique[J]. Geography and Geo-Information Science, 2008, 24(3): 96-99.
- [19] DALVI M Q, MARTIN K M. The measurement of accessibility: Some preliminary results[J]. Transportation, 1976, 5(1): 17-42.
- [20] BURNS L D. Transportation, temporal, and spatial components of accessibility[M]. Lexington MA: Lexington Books, 1979: 1-10.
- [21] MORRIS J M, DUMBLE P L, WIGAN M R. Accessibility indicators for transport planning[J]. Transportation Research Part A, 1979, 13(2): 91-109.
- (编辑 沈 波)

(上接第 213 页)

- [6] GEORGIN J F, REYNOUARD J M. Modeling of structures subjected to impact: concrete behaviour under high strain rate[J]. Cement and Concrete Composites, 2003, 25(1): 131-143.
- [7] 翟毅, 许金余, 王鹏辉. 纤维混凝土动态压缩力学性能的 SHPB 试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2009, 41(1): 141-148.  
ZHAI Yi, XU Jinyu, WANG Penghui. Dynamic compressive testing and mechanical behavior of fiber reinforced concrete using a split Hopkinson Pressure Bar [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2009, 41(1): 141-148.
- [8] KIM D J, SIRIJAROONCHAI K, EL-TAWIL S, et al. Numerical simulation of the split Hopkinson pressure bar test technique for concrete under compression [J]. International Journal of Impact Engineering, 2010, 37(2): 141-149.
- [9] LI Q M, LU Y B, MENG H. Further investigation on the dynamic compressive strength enhancement of concrete-like materials based on split Hopkinson pressure bar tests. Part II: numerical simulations[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(12): 1335-1345.
- [10] KLEPACZKO J, MALINOWSKI Z. High velocity deformation of solids[C]. Berlin, Heidelberg: Springer, 1978: 403-416.
- [11] BERTHOLF L D, KARNES C H. Two-dimensional analysis of the split Hopkinson pressure bar system [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1975, 23(1): 1-19.
- [12] MU Z C, DANCYGIER A N, ZHANG W, et al. Re-visiting the dynamic compressive behavior of concrete-like materials[J]. International Journal of Impact Engineering, 2012, 49: 91-102.
- [13] MALVAR L J, CRAWFORD J E, WESEVICH J W, et al. A plasticity concrete material model for DYNA3D[J]. International Journal of Impact Engineering, 1997, 19(9): 847-873.
- [14] Committee Euro-International du Beton. CEB — FIP Model Code[S]. Wiltshire, UK: Trowbridge, 1998.
- [15] TU Z, LU Y. Evaluation of typical concrete material models used in hydrocodes for high dynamic response simulations[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(1): 132-146.
- [16] 李晓琴, 陈保淇, 杜茜, 等. 高应变率下混凝土材料的力学行为[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2016, 38(5): 773-783.
- [17] LI Xiaoqin, CHEN Baoqi, DU Xi, et al. The mechanic behaviour of concrete under high strain rates[J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2016, 38(5): 773-783.
- [18] 巫绪涛, 孙善飞, 李和平. 用 HJC 本构模型模拟混凝土 SHPB 实验[J]. 爆炸与冲击, 2009, 29(2): 137-142.  
WU Xutao, SUN Shanfei, LI Heping. Numerical simulation of SHPB tests for concrete by using HJC model [J]. Explosion and Shock Waves, 2009, 29(2): 137-142.
- (编辑 沈 波)