

# 1976-2016年青藏高原地区通达性空间格局演变

高兴川<sup>1</sup>, 曹小曙<sup>2,3</sup>, 李涛<sup>2,3</sup>, 吕敏娟<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710119; 2. 陕西师范大学西北国土资源研究中心, 西安 710119;  
3. 陕西师范大学西北城镇化与国土环境空间模拟重点实验室, 西安 710119)

**摘要:** 青藏高原地区是地球上最独特的地理—生态—人口—交通单元, 区域内交通网络的发展特征及规律是人地关系协同发展的一个重要切入点, 对青藏高原地区交通网络开展研究具有重要意义。据此, 分析 1976-2016 年青藏高原地区交通网络演化特征, 并以省会、地级市、县级市和县城为节点, 采用网络分析的时间距离计算模型探讨其通达性演变过程。研究表明: ① 青藏高原地区交通网络复杂性、区域连通性增强, 初步形成格状交通网络; ② 青藏高原地区中心城市、县城之间的平均最短通达时间已极大缩短至 11.89 h、18.84 h, 呈自东向西逐渐增大的空间格局, 时空收敛效应显著, 通达性变化程度与其初始值有关; ③ 中心城市为该地区的发展极, 其与周围城市通达状况有极大提高, 可达时间平均值下降到 16.49 h; ④ 中心城市和县城交通圈演变过程一致, 青藏高原地区各地到最近城市、县城的通达时间不断缩小, 沿重要交通干线已形成中心城市 4 h、县城 2 h 短时交通圈连片分布格局, 湟水河谷地、一江两河地区逐渐形成交通廊道, 乡镇对外交通联系得到改善。

**关键词:** 交通网络; 通达性; 空间格局; 青藏高原地区

DOI: 10.11821/dlxb201906009

## 1 引言

交通基础设施作为区域社会经济的发展前提与重要支撑, 通过改变区位条件, 进而重塑区域空间结构<sup>[1-2]</sup>。通达性是交通基础设施作用于区域经济社会发展的基础要素, 对区域交通网络发展及通达性的研究, 一直是交通地理、城乡规划等学科关注的热点。国内外学者利用通达性指标在评估交通基础设施空间效应方面开展大量研究。在宏观尺度上, Ibáñez 等<sup>[3]</sup>、金凤君等<sup>[4-5]</sup>、王成金等<sup>[6]</sup>、曹小曙等<sup>[7-8]</sup>分别对欧洲城市群和中国铁路网络、高速公路网、干线公路网络与丝绸之路经济带的通达性格局展开研究。在中观尺度上, 周恺等<sup>[9]</sup>、刘辉等<sup>[10]</sup>、陈洁等<sup>[11]</sup>关注京津冀地区交通网络演变与通达性格局, 张莉等<sup>[12]</sup>、吴威等<sup>[13]</sup>、赵丹等<sup>[14]</sup>、孟德友等<sup>[15]</sup>探讨长江三角洲交通网络演化与通达性演变, 吴旗韬等<sup>[16]</sup>、李涛等<sup>[17-18]</sup>、李沛权等<sup>[19]</sup>对珠江三角洲交通网络与通达性格局演变进行研究, 王武林等<sup>[20-21]</sup>深入研究特困地区交通网络及其通达性。同时, Allen 等<sup>[22]</sup>、Gutiérrez 等<sup>[23]</sup>、曹小曙等<sup>[24]</sup>、陈卓等<sup>[25]</sup>在微观尺度上分别探讨美国都市区、马德里、东莞、北京的交通网络及其通达性空间格局。综上所述, 国内外研究大多关注于不同尺度下交通网络改善

收稿日期: 2018-08-22; 修订日期: 2019-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41831284, 41671160, 41501120) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41831284, No.41671160, No.41501120]

作者简介: 高兴川(1987-), 男, 重庆梁平人, 博士生, 中国地理学会会员(S110012166M), 主要从事交通地理与土地利用研究。E-mail: gaioxch@foxmail.com

通讯作者: 曹小曙(1970-), 男, 甘肃灵台人, 博士, 教授, 博导, 中国地理学会会员(S11005157M), 研究方向为地理与规划。E-mail: caoxsh@snnu.edu.cn

带来的通达性演变、时空塌陷与空间收敛效应, 相关研究单元集中于县级、地市级层面, 时间尺度以20~30年为主, 尽管对国家、区域、城市尺度交通网络发展具有借鉴意义, 但对生态环境脆弱地区交通网络与通达性长时间尺度的关注较少。

青藏高原地区是世界屋脊、亚洲水塔、地球第三极, 也是中国重要的生态安全屏障和战略资源储备基地<sup>[26]</sup>, 无论从地理位置、自然条件, 还是经济资源优势上看, 青藏高原在中国生态环境、经济发展与对外开放格局中都将占有重要的战略地位。交通网络的建设与完善能够给区域带来时空收敛效应, 进而对区域的经济发展、产业布局与空间结构等产生深远影响。青藏高原地区为中国特殊的交通分区——青藏高寒区<sup>[27-28]</sup>, 受自然条件等因素的限制, 该地区交通发展曾长期处于落后状态, 成为制约社会经济发展的重要因素之一, 随着西部大开发等国家政策推进与基础设施建设, 青藏高原地区交通设施得到极大改善, 促进了该地区经济社会的发展与人民生活水平的改善。

本文选取青藏高原地区作为研究范围。青藏高原地区是地球上最独特的地理—生态—人口—交通单元, 区域内交通网络的发展特征及规律是人地关系协同发展的一个重要切入点, 对青藏高原地区交通网络开展研究具有重要意义。目前, 从交通角度对青藏高原地区的研究, 聚焦于该地区交通运输及其网络构建<sup>[29-32]</sup>、交通干线对生态景观的影响<sup>[33-36]</sup>等方面。鉴于此, 本文以10年为间隔, 从1976年梳理青藏高原地区陆路交通网络的发展历程, 结合时代背景, 评价交通网络发展程度, 并采用网络分析模型探讨其通达性演变过程, 分析区域平均旅行时间演变历程及中心城镇交通圈的发展差异, 总结出该地区时空收敛效应的演变特征。

## 2 数据来源与模型方法

### 2.1 数据来源

为对比分析青藏高原地区交通网络演变的历程及特征, 本文以2016年青藏高原地区的行政区划为准, 空间范围涉及青海、西藏、新疆、甘肃、四川和云南6个省区, 中心城市节点包括西宁、拉萨2个省会城市, 海东、昌都、林芝、山南、日喀则5个地级市, 以及德令哈、格尔木、玉树、合作、马尔康、康定、香格里拉7个县级市(图1)。为保持分析连续性, 在数据处理与分析过程中不考虑行政区划变动。青藏高原地区位于 $25^{\circ}59'37''N\sim39^{\circ}49'33''N$ 、 $73^{\circ}29'56''E\sim104^{\circ}40'20''E$ , 面积约254.24万 $km^2$ 。

本文中青藏高原地区空间范围数据源于国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据共享服务平台(<http://www.geodata.cn>)<sup>[37]</sup>, 行政区划数据来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。交通道路网络数据是以全国1:25万数据库为基础数据, 通过对不同时期地图册的矢量化, 包括中国地图出版社出版的《实用中国地图册(2017)》《中国交通地图册(2006)》《新编中国交通图册(1996)》《中国交通图



图1 青藏高原地区区位图

Fig. 1 Location of the Qinghai-Tibet Plateau

册(1987)》《中国地图册(1976)》,得到不同年份的路网数据。为避免“孤岛”效应,本文也包含青藏高原地区所处省区的全部道路网络。

2.2 交通网络发育度量指标

交通网络发育是指交通网络的连接水平以及由此决定的节点之间联系的便捷程度。基于交通网,将所有的道路线转化为线( $e$ )、城市转化为点( $v$ )以构建拓扑图<sup>[38]</sup>。交通网络发育的度量指标主要有网络连接程度指标和网络扩展潜力指标<sup>[5, 39]</sup>。

(1) 网络连接程度指标,主要评价指标有连接率( $\beta$ )和环路指数( $\mu$ )。

$$\beta = e/v \tag{1}$$

$$\mu = e - v + p \tag{2}$$

式中: $\beta$ 是交通网络中线路数( $e$ )与网络中节点数( $v$ )之间的比值,反映每个节点平均连接的线路数,如果 $\beta < 1$ ,表明交通网络呈树状网络,若 $\beta > 1$ ,则为回路网络; $\mu$ 等于线路数( $e$ )减去节点数( $v$ )再加上网络子图个数( $p$ ),表示网络的环路数量, $\mu$ 值越大,则环路越多、网络越发达。

(2) 网络扩展潜力指标,主要有实际成环率( $\alpha$ )和实际结合度( $\gamma$ )。

$$\alpha = (e - v + p)/(2v - 5p), 0 \leq \alpha \leq 1 \tag{3}$$

$$\gamma = e/[3 \times (v - 2)], 0 \leq \gamma \leq 1 \tag{4}$$

式中: $\alpha$ 表示环路指数与最大可能环路数的比值,反映实际成环的水平, $1 - \alpha$ 则表示其成环的潜力; $\gamma$ 反映线路的实际结合水平,其值越小,结合潜力越大。

2.3 通达性评价模型

通达性(accessibility),也称可达性、易达性,源于古典区位理论,是区位交通优势或潜能的定量测度,更是区域经济发展的必要条件。Harris在1954年运用市场潜能模型,结合陆路运输与水运首次度量通达性,认为市场通达性是美国本土制造业的重要影响因素<sup>[40]</sup>。Hansen在1959年提出通达性的定义<sup>[41]</sup>,将其定义为交通网络中各节点相互作用的机会的大小。普遍观点认为通达性是到达某个特定地点的难易程度。针对不同的研究目标,通达性模型主要有距离通达性、机会通达性、经济通达性和基于空间相互作用的引力模型等。本文采用时间距离通达性模型,计算区域整体平均旅行时间及不同等级城镇的交通圈,得到该地区的通达性格局。利用ArcGIS网络分析方法,求得各节点之间最短时间距离。节点*i*的最短时间通达距离定义为*T<sub>i</sub>*,计算模型为:

$$T_i = \sum_{j=1}^n \frac{t_{ij}}{n}, i \in (1, 2, 3, \cdots, n), j \in (1, 2, 3, \cdots, n) \tag{5}$$

式中: $t_{ij}$ 为两节点之间的最短通达时间距离; $n$ 是区域内的节点数量。

根据《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB01-2003)》规定的公路设计速度,参考已有研究<sup>[2]</sup>,结合青藏高原地区特征,将该地区不同年份的等级道路和其他道路赋予相应速度值(表1),以测度时间距离。本文不考虑航空运输与水运。

表1 道路速度赋值(km/h)  
Tab. 1 Speed assignments on roads and railways (km/h)

年份	铁路	高速公路	国道	省道	县道	其他道路
1976年	45	—	30	30	—	10
1986年	50	—	40	40	—	10
1996年	50	—	60	40	20	15
2006年	70	100	80	60	30	20
2016年	120	100	80	60	30	20

3 青藏高原地区交通网络的拓展与演变

3.1 交通网络结构

交通网络反映了区域的交通联系，其发展和完善是长期过程。对交通网络的分析，首先要评价交通节点的连接性，对长期规律及变化的研究尤为重要。到1976年，青藏高原地区已形成以拉萨、西宁为枢纽，青藏、川藏、新藏、拉亚、山南、茶芒、敦格、敦茫等骨干公路，辐射该地区重要城镇，铁路逐渐向格尔木延伸的交通网络格局（图2）。

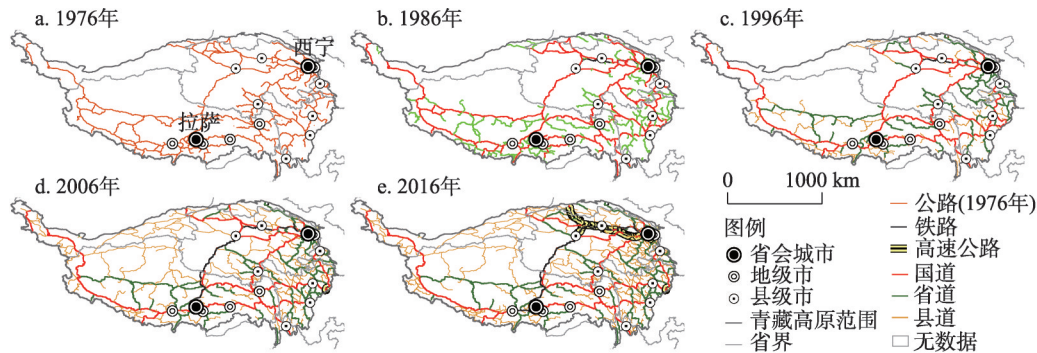


图2 1976-2016年青藏高原地区交通网络的空间演化

Fig. 2 Spatial pattern evolutions of land transport network in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

自然条件与人文环境共同影响交通网络的发展布局。从青藏高原地区交通网络拓展的空间分布来看，该地区交通网络发展特征是提升原有道路等级、扩大通行能力与提高行车速度，而不是广泛新修道路。具体来看：高等级公路多是在原有公路基础上提高道路质量与通行能力；新建的主干公路主要分布于柴达木盆地，主要原因是该地区资源勘探开采的需要；城镇密集地区的公路网络也相对密集；阿里地区、羌塘高原、可可西里等区域人口、城镇稀少，自然条件更成为影响交通运输发展布局的重要因素，促使青藏铁路几乎平行于青藏公路进行布局。

青藏高原地区40年的交通网络拓展过程可以划分为2个阶段：1976-1996年缓慢拓展期、1996-2016年快速拓展期。连通县城的节点（ $v$ ）数量变化较小（表2），1976-2016年间仅增加4个节点，其主要原因是青藏高原地区在十年动乱时期修建了许多战备公路<sup>[42]</sup>，已经形成该地区交通网络的发展基础。相邻节点之间的线路数（ $e$ ）不断增长，由1976年的247对增加到1986年268对、1996年276对，并在2000年之后增长加快，到2006年和2016年分别为302对和328对。

表2 1976-2016年青藏高原地区交通网络连通性评价

Tab. 2 The accessibility of land transport network in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

年份	1976年	1986年	1996年	2006年	2016年
节点( $v$ )	157	161	161	161	161
线路数( $e$ )	247	268	276	302	328
连接率( $\beta$ )	1.57	1.66	1.71	1.88	2.04
环路指数( $\mu$ )	91	108	116	142	168
实际成环率( $\alpha$ )	0.29	0.34	0.37	0.45	0.53
实际结合度( $\gamma$ )	0.53	0.56	0.58	0.63	0.69



### 3.2 交通网络连通性

青藏高原地区交通网络的连接率( $\beta$ )从1976年以来一直大于1且不断上升,从1976年的1.57上升至1996年的1.71、2016年的2.04,回路水平不断增强。这反映了交通网络持续拓展且连通性提高,青藏高原地区路网复杂性不断增强。环路指数( $\mu$ )变化显著,由1976年的91增长至1996年的116、2006年的142,到2016年已为168,表明经过40年的建设,青藏高原地区的交通网络正在不断发展为格状网络,为该地区的经济联系与社会发展提供了重要保障。

点和边的关系指标不仅反映交通网络发育水平,而且反映未来发展完善的潜力。虽然青藏高原地区的交通网络已有长足的发展,从1976年的0.29增长至2016年的0.53,但实际成环率( $\alpha$ )长期低于0.5,揭示出该地区路网扩展完善而增强连接的潜力很大。该地区的实际结合度( $\gamma$ )从1976年的0.53增加到2016年的0.69,表明交通网络节点之间的拓扑属性关系较强,反映出青藏高原地区的交通运输依赖于陆路交通,与实际情况相符。

## 4 青藏高原地区通达性的演变特征

### 4.1 区域内最短可达时间

**4.1.1 中心城市最短可达时间** 总体来看,青藏高原地区14个中心城市可达时间逐渐缩小,特别是在西部大开发之后,相互可达的时间急剧下降,城市之间通行的平均最短可达时间缩小了3.51倍,从1976年的41.72 h,缩短至1986年的29.13 h、1996年的21.42 h,到2006年的14.17 h、2016年的11.89 h。青藏高原地区中心城市相对集中分布在一江两河、湟水河谷地等地区,这些区域内部中心城市之间的通达状况较好,但湟水河谷地与柴达木盆地之间交通基础设施水平相对较好,而拉萨、日喀则等城市远离其他城市,且与康定、合作、西宁等其他中心城市的交通成本较高,导致该地区平均最短可达时间总体上呈现出自东向西逐渐增大的分布格局,这与中心城市的空间分布密切相关。

从40年来中心城市之间最短可达时间的发展阶段来看(图3),1976年仅有3组城市之间的可达时间低于10 h(西宁—海东、拉萨—山南、海东—合作),10组城市之间可达时间在20 h以内;1986年格尔木—德令哈、西宁—合作、拉萨—日喀则的可达时间也缩短至10 h之内,20 h可达的中心城市增加到13组;33组中心城市相互可达时间在1996年减小到不足20 h,而其中12组城市在10 h以内可以到达;西部大开发之后,通达时间小于在10 h、20 h的中心城市分别为18组、30组(2006年)和21组、48组(2016年)。通达时间最长(>70 h)的德令哈—香格里拉、格尔木—香格里拉、山南—合作、日喀则—合作、日喀则—马尔康等,从1976年的可达时间缩短超过50 h,变化值最大。至2016年,一江两河地区(拉萨、日喀则、山南、林芝)、柴达木盆地—湟水河谷地(格尔木、德令哈、西宁、海东)、马尔康—康定、昌都—玉树的通行时间缩短至不到8 h;西宁—海东是青藏高原地区内部可达时间最短的城市,所处的湟水河谷地是进入高原地区的门户,集中分布着青藏公路、青藏铁路、京藏高速、省道等重要交通干线。以上分析也揭示出通达性变化的程度与其初始值有关,交通发展对通达状况差的地区带来的改善幅度是最大的,与已有研究结论一致<sup>[13, 24, 43]</sup>。公路等级提升与铁路网络拓展,压缩了青藏高原地区中心城市之间的运输成本,有利于人员、资源、产业等在该地区内部的流动与重构,促进资源合理配置和社会经济发展。

**4.1.2 县城之间最短可达时间** 青藏高原地区161个县城之间的平均最短可达时间缩小3.52倍,从1976年的66.31 h,缩短至1986年的43.81 h、1996年的30.45 h,到2006年的

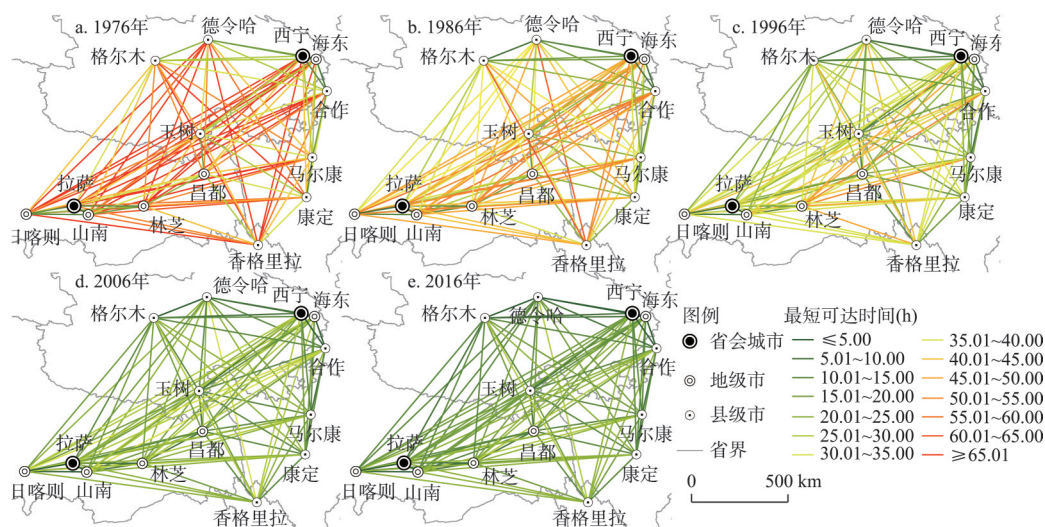


图3 1976-2016年青藏高原地区中心城市最短可达时间

Fig. 3 Minimum accessible time among anchor cities in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

20.98 h、2016年的18.84 h。如图4所示,其在空间上表现为青藏高原东部地区县城的平均可达时间最短,1976-1986年主要是分布于青海东部和川藏部分地区的县城,如金川、湟源、雅江等县;到1996年,集中于青海大部分地区、西藏东部和四川的县城,如丁青、玛多、八宿、海晏、乐都、石渠等县;2006年以后,除革吉、嘎尔、日土、札达等县,其余地区县城的平均最短通达时间均小于30 h。青藏高原地区东部是该地区人口、城镇、交通网络等相对密集区域,使得这些地县城与外界联系的交通成本相对较低;西部为羌塘高原、可可西里等人口、城镇稀少区域,受城镇空间分布、自然条件和前期交通水平等的制约,其通达水平比较差,而基础设施建设导致高原西部县城对外联系的交通时间成本急剧下降,如塔什库尔干塔吉克自治县、日土县平均最短可达时间分别从1976年114.95 h、104.63 h缩短至2016年的35.54 h、31.40 h。上述结果表明,随着交通网络的发展,青藏高原地区县城之间平均最短通达时间大幅降低,县城相互交流的时间成本大幅度降低,具有显著的时空压缩效应。

#### 4.2 与周边城市的通达性

中心城市是青藏高原地区人口、经济、交通等的重要节点,具有极强的区域凝聚

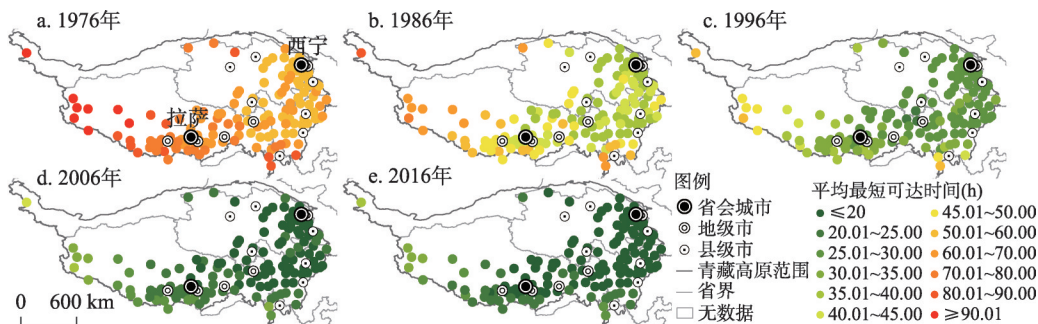


图4 1976-2016年青藏高原地区县城平均最短可达时间

Fig. 4 Average minimum accessible time among counties in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

力，为各地的经济发展极，2016年中心城市市辖区的经济总量与人口数量分别为该地区的49.27%和30.21%<sup>[44]</sup>，因此，中心城市与周边城市的通达性演变及特征，对地广人稀的高原地区具有重要的社会经济影响。

青藏高原地区周边城市主要分布在河西走廊和四川盆地，这两个地区本身就是中国重要交通线路集中分布区域，如G312国道、兰新铁路、G108国道、宝成铁路，结合青藏高原地区中心城市主要分布在该地区东部，因而西宁、海东、合作、康定等中心城市与周边城市最短可达时间相对较短，而羌塘高原、可可西里等地作为自然保护区和自然条件更恶劣地区，道路建设受到极大制约，多种因素导致拉萨、日喀则、香格里拉等城市与兰州、酒泉、乌鲁木齐的通达性较差。

从历年青藏高原地区14个中心城市与周边18个重要城市的最短可达时间来看（图5），1976年到达周边城市最短可达时间的平均值为51.08 h，仅西宁、海东与兰州、定西、白银、武威，合作—兰州和康定—雅安、香格里拉—丽江之间的最短可达时间低于10 h；1986年10 h以内可达的城市联系增加西宁—张掖、合作—定西、合作—陇南、马尔康—成都，及康定与雅安、成都、德阳，整体的平均值下降至38.72 h；至1996年整体平均值已降到30.41 h，西宁、海东、合作与河西走廊城市的联系时间均不超过10 h，马尔康、康定与成都周边城市的时间距离进一步压缩；2000年以后，整体平均值更是缩短为2006年的19.12 h、2016年的16.49 h，城市之间联系的时间距离不断收敛，铁路提速与高速公路网络延伸，使得格尔木、德令哈与外界通达水平得到极大改善，远离周边城市的拉萨、日喀则、林芝等对外联系程度也有显著提高。

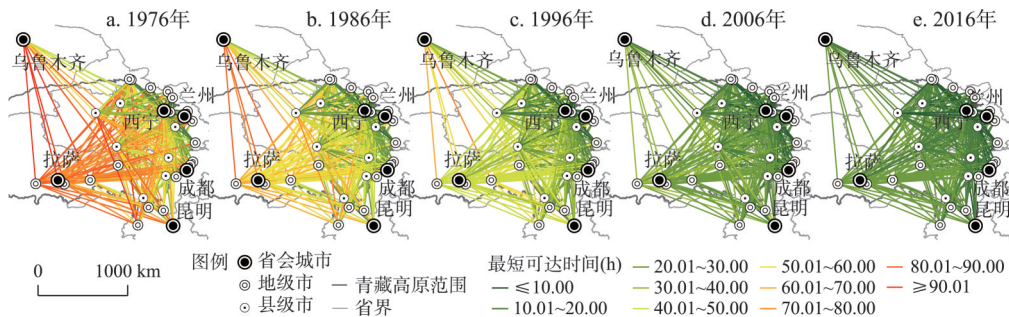


图5 1976-2016年中心城市与周边主要城市最短可达时间

Fig. 5 Minimum accessible time among anchor cities in the Qinghai-Tibet Plateau to the nearby cities in 1976-2016

4.3 不同等级城市交通圈空间格局演变及其差异

分别计算从区域内任意地点出发到达中心城市、县城的最短可达时间，得到不同等级城市的交通圈，叠加得到青藏高原地区各等级城市交通圈的空间格局。总体来看，经过多年发展，青藏高原地区不同等级城市通达性均显著提高，由城市周边局部逐渐沿重要交通干线延伸拓展，并发展为短时交通圈连片，湟水河谷地、一江两河等地区初步形成交通廊道。不同等级城市短时交通圈连片与交通廊道并存的格局对于地域宽广的高原地区社会经济发展具有重要的现实意义。

**4.3.1 中心城市交通圈** 1976-2016年，青藏高原地区各地到中心城市的通达性水平已有显著改善，到中心城市的最短通达时间不断降低。到最近中心城市的时间从1976年112.27 h降至1986年86.50 h，降低22.95%；到1996年已减小到55.91 h，与中心城市的联系得以改善；21世纪以后，随着高速公路建设与铁路提速，进一步加强了区域内部联



系, 各地到中心城市的最长通达时间持续下降, 2006年、2016年分别为36.78 h、32.91 h, 分别约为1976年的32.76%和29.31%。

结合中心城市交通圈空间格局(图6)和面积比例变化(表3)来看, 中心城市交通圈发展过程具有显著的阶段特征。1976年, 青藏高原地区14个中心城市形成了5个12 h交通圈, 分别是以拉萨为核心的日喀则—拉萨—山南—林芝交通圈(“一江两河”地区)、以西宁为核心的格尔木—德令哈—西宁—海东—合作交通圈, 和昌都—玉树、康定—马尔康、香格里拉3个交通圈, 覆盖22.22%的区域; 区域一半以上地区仍处在中心城市24 h交通圈范围以外, 12.17%的区域能够在8 h以内到达距离最近的中心城市, 仅3.54%的区域处在中心城市4 h交通圈范围之内, 2 h交通圈覆盖范围不到1%。到1986年, 青藏高原地区交通能力得到一定程度提升, 58.28%的区域位于中心城市24 h交通圈范围; 12 h交通圈覆盖范围扩大到区域的31.69%, 并演变为8 h交通圈, 其空间范围(研究区域面积的19.06%)与1976年12 h交通圈大致相同; 4 h交通圈开始沿交通线拓展, 占区域面积的5.76%, 形成西宁—海东、拉萨—山南2个4 h交通圈连片区; 中心城市周边2 h交通圈范围扩大到1.51%。青藏高原地区陆路交通到1996年得到较大发展, 73.84%的区域能一日之内、51.26%的区域能在12 h以内到达最近的中心城市; 首次形成8 h交通圈连片区域, 覆盖了34.38%的区域; 4 h交通圈覆盖率增长至11.37%, 出现西宁—海东—合作、格尔木—德令哈、日喀则—拉萨—山南—林芝4 h交通圈连片区域, 玉树—昌都也逐步形成4 h交通圈; 2 h交通圈范围扩大一倍, 覆盖青藏高原地区3.02%的区域。

西部大开发之后, 青藏高原地区交通得到快速发展, 随着铁路公路等建设, 区域通达性进一步改善, 形成短时交通圈连片发展的格局。除青藏高原地区西端, 2006年和2016年中心城市24 h交通圈分别覆盖94.94%、96.40%的区域, 12 h、8 h交通圈覆盖率

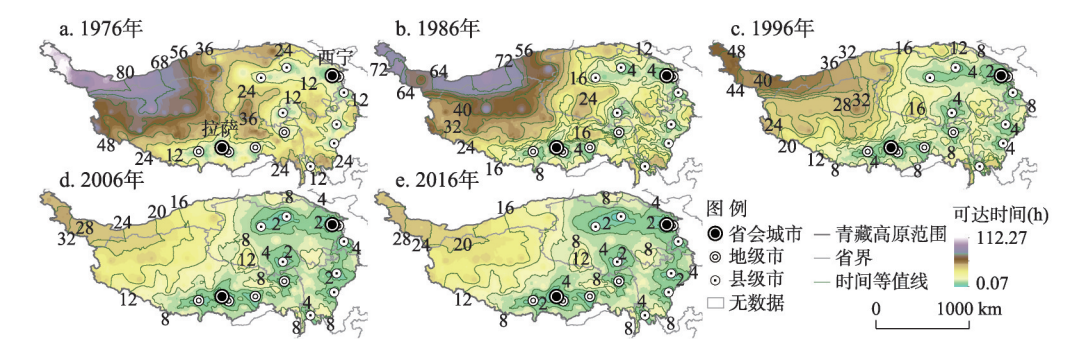


图6 1976-2016年青藏高原地区中心城市交通圈空间格局演变

Fig. 6 Traffic circle structure evolution of anchor cities within land transportation network in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

表3 1976-2016年青藏高原地区中心城市交通圈面积比例变化

Tab. 3 Area proportion variations of traffic circles of all anchor cities in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016						
面积比例(%)	1976年	1986年	1996年	2006年	2016年	
1 h交通圈	0.18	0.31	0.70	1.84	1.96	
2 h交通圈	0.88	1.51	3.02	7.30	8.01	
4 h交通圈	3.54	5.76	11.37	21.91	23.64	
8 h交通圈	12.17	19.06	34.38	51.98	55.08	



分别超过区域的67%、51%；4 h交通圈取代2006年之前的8 h交通圈，覆盖率超过20%，分别形成以省会城市西宁、拉萨为核心的柴达木盆地—湟水河谷地、“一江两河”地区2个重要短时交通圈连片区；2006年2 h交通圈覆盖7.30%的区域，2016年增长至8.01%，在湟水河谷地、“一江两河”等局部地区产生2 h交通圈连片区呈廊道拓展结构，并逐渐发育为交通廊道<sup>[45]</sup>，其他中心城市周边短时交通圈的范围也在逐渐扩大。

从青藏高原地区中心城市交通圈1976-2016年空间格局的演变过程来看，区域整体上呈现从东到西，通达性水平逐渐变差的趋势，主要原因是高原西部地区的海拔更高、自然条件更恶劣、生态环境更敏感，道路建设工程量极为浩大，也缺少中心城市。同时，从图6可以看出，受自然条件和社会发展等限制，果洛州、玉树州西部、甘孜州中部、凉山州西部的通达性处于相对较差的水平，而青海北部、西藏中南部等地区到中心城市的通达性水平较好。

从40年的发展过程来看，青藏高原地区14个中心城市短时交通圈服务范围增长趋势基本一致（图7），拓展速度形成了以1986年、2006年为时间分界，1976-1986年缓慢增长、1986-2006年迅速扩张、2006-2016年稳步增长的发展特征，但不同城市交通圈拓展过程有所差异，表现为青藏铁路沿线中心城市交通圈服务范围一直呈快速增长的趋势。具体来看：地市级城市中，昌都、林芝、山南、日喀则短时交通圈在2006年之后增长速度低于西宁、拉萨、海东；而在县级市中，除格尔木、德令哈的短时交通圈服务范围在2006-2016年保持较快增长，其余5个县级市在这一时期的增长幅度较小。导致这一现象的主要原因是西宁、海东、格尔木、德令哈为青藏公路、青藏铁路和京藏高速的重要节点，拉萨是西藏交通的核心城市，湟水河谷地与一江两河地区为青藏高原交通基础设施分布最密集的地区，重要交通基础设施首要连接这些交通廊道，再以这些廊道为核心向四周辐射，因此其与沿线地区产生时空收敛效应要强于该地区的其他中心城市。

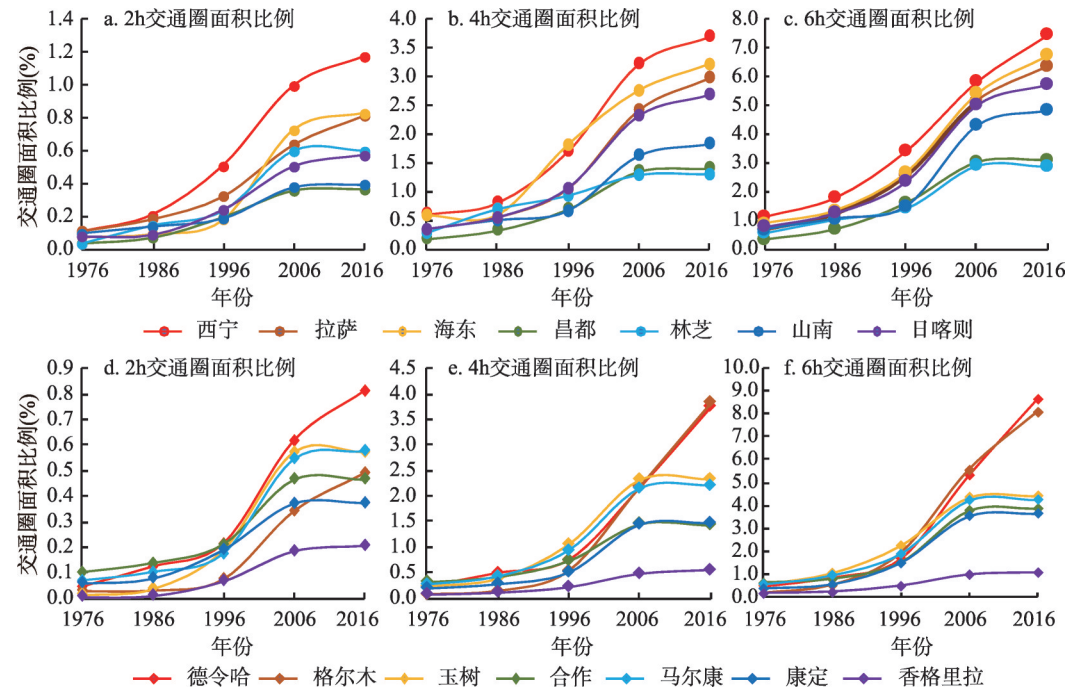


图7 1976-2016年青藏高原地区中心城市交通圈覆盖范围比例

Fig. 7 Area proportion of traffic circles of each anchor city in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

**4.3.2 县城交通圈** 对于中心城市相对较少的青藏高原地区,县城是乡镇经济社会联系的主要对象,也是该地区居民获取相对优质的教育、医疗、文化、娱乐等服务的重要场所。因而县城短时交通圈服务范围的变化,对于提高该地区居民的生活水平和促进乡镇经济社会发展,有着极其重要的影响。从县城交通圈空间格局的演变过程来看,青藏高原地区县城交通圈拓展速度呈现出1976-1986年缓慢增长、1986-2006年快速增长、2006-2016年相对稳定的趋势,与该地区中心城市交通圈的演变轨迹一致。如图8所示,1976年青藏高原地区县城短时交通圈连片区以6 h交通圈为主,主要分布在仲巴—申扎—安多—曲麻莱—冷湖—线以东的区域;部分县城之间已经形成2 h交通圈,集中分布于西藏“一江两河”地区的日喀则—拉萨—山南一带和青海东部的德令哈—西宁—海东—合作一带,如定日—拉孜—萨迦、南木林—江孜—当雄—琼结—朗县、同德—海晏—门源—碌曲—迭部。到1986年,除了羌塘高原、可可西里、三江源、柴达木盆地等地区,县城6 h交通圈已拓展到日土、革吉、普兰等地,形成青藏高原地区县城6 h交通圈连片区,2 h交通圈沿主要公路延伸逐渐形成连片区。经过十年的发展,1996年县城4 h交通圈的空间格局已几乎取代了1976年县城6 h交通圈,各地到达最近县城的最短时间进一步降低。至2006年,青藏高原地区各地到最近县城的2 h交通圈逐步形成,其空间格局在2016年已基本取代1976年6 h交通圈。以上结果表明40年以来,特别是西部大开发战略实施以后,青藏高原地区各地到县城的交通时间成本得到大幅度降低,县城短时交通服务范围得以拓展,交通发展带来的时空收敛效应显著。

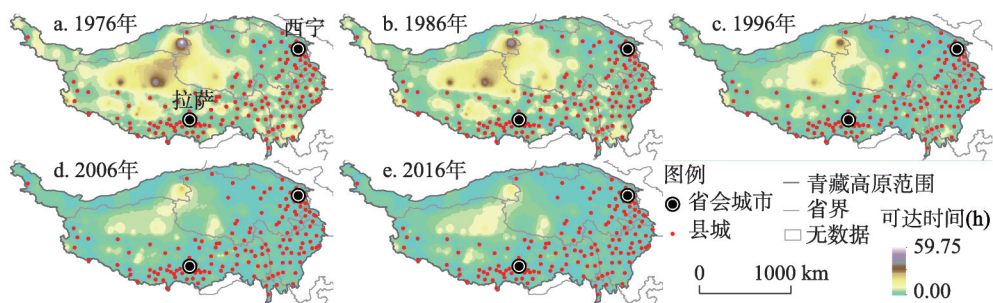


图8 1976-2016年青藏高原地区县城交通圈空间格局演变

Fig. 8 Traffic circle structure evolution of county within land transportation network in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

从青藏高原地区1976年以来县城交通圈面积比例变化可以看出(图9a),县城短时交通圈服务范围拓展速度呈1976-1986年增长缓慢、1986-2006年增长较快、2006-2016年相对稳定的趋势。随着该地区交通网络不断发展,各地到最近县城的通达时间在不断缩短,从1976年的6 h交通圈(面积比例49.18%)逐渐演化为1996年的4 h交通圈(59.26%)、2016年的2 h交通圈(48.74%)。所覆盖乡镇数量随着短时交通圈服务范围的拓展而变化(图9b),特别是1 h、2 h交通圈所覆盖的乡镇数量,从1976年的668个、1157个增加到2016年的1498个、2086个;1976年8 h交通圈覆盖87.69%的乡镇,到1996年4 h交通圈覆盖84.48%的乡镇,演变为2016年2 h交通圈覆盖79.74%的乡镇。40年来的交通网络建设与发展,不仅缩短乡镇与县城联系的交通成本,提高运输效率,优化区域产业结构与城镇建设,也有利于该地区生态环境建设,对提高青藏高原地区人们生活水平和促进经济—生态协调发展,具有积极作用。

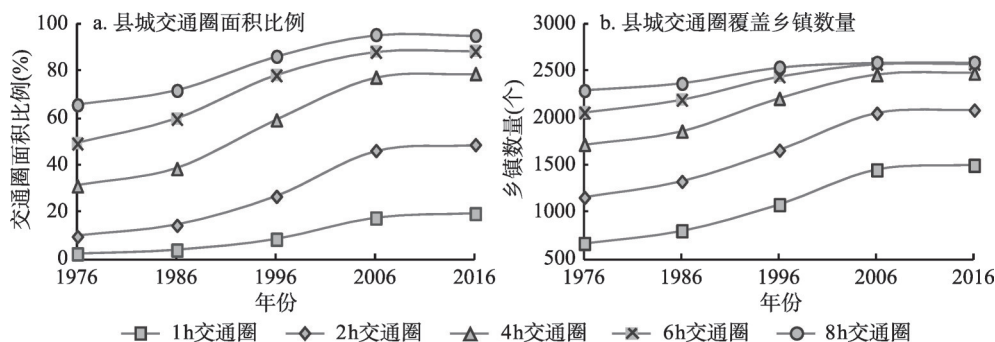


图9 1976-2016年青藏高原地区县城交通圈面积比例与覆盖乡镇数量

Fig. 9 Area proportion and the covered towns of traffic circles of all counties in the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

青藏高原地区是地球上最独特的地理—生态—人口—交通单元，也是中国重要战略资源储备基地和未来发展的后续力量，区域内交通网络的发展特征及规律是人地关系协同发展的一个重要切入点，其交通网络研究具有重要的现实意义和理论价值。本文通过交通网络发育度量指标和网络分析方法，从1976年开始梳理青藏高原地区的交通网络发展及通达性演变规律，以时间距离通达性模型进行了该地区交通网络与区域时空收敛效应的演变分析。主要结论如下：

(1) 随着交通网络的发展，青藏高原地区交通网络线路得到拓展，特别是在西部大开发战略实施以后，路网复杂性增强，连接率 ( $\beta$ )、实际成环率 ( $\alpha$ ) 和实际结合度 ( $\gamma$ ) 分别达到2.04、0.53和0.69，该地区正在形成格状交通网络，区域连通性不断增强。青藏铁路，青藏、川藏等高等级公路以及不断延伸的高速公路成为青藏高原交通网络的主干通道，为该地区的内外经济联系提供重要支撑。

(2) 从区域平均通达时间演变来看，青藏高原地区平均最短通达时间总体上呈自东向西逐渐增大的格局。交通网络发展，使得该地区中心城市、县城之间的平均最短通达时间已从1976年的41.72 h、66.31 h缩短至11.89 h、18.84 h，节省70%以上的交通时间成本，极大压缩了区域内部人员、物资、信息等的流动成本，时空收敛效应显著。同时，通达性变化的程度与其初始值有关，交通发展对通达状况差的地区带来的改善幅度是最大的，与已有研究结论一致。

(3) 中心城市为该地区重要的发展极，与周边城市联系时间平均值从1976年的51.08 h逐渐下降到2016年的16.49 h，城市之间联系的时间距离不断收敛，10 h可达城市由西宁、海东、合作扩展到香格里拉、马尔康、康定、格尔木、德令哈等城市，一江两河地区的拉萨、林芝等城市与外界联系程度得到显著改善。

(4) 从交通圈拓展过程来看，中心城市和县城交通圈演变阶段具有一致性：1976-1986年拓展缓慢、1986-2006年快速拓展、2006-2016年稳步增长。青藏高原地区各地到最近中心城市、县城的通达时间不断缩小，沿重要交通干线已形成中心城市4 h、县城2 h短时交通圈连片格局，并在局部形成交通廊道。西宁、格尔木、拉萨、海东等青藏铁路沿线中心城市交通圈拓展速度在2006年以后仍保持较快发展，湟水河谷地、一江两河等地区初步形成交通廊道。青藏高原地区交通发展，特别是西部大开发以后，区域内各地到城



市、县城的时间成本大幅下降, 2 h短时交通圈已覆盖约80%的乡镇, 极大地促进了该地区社会经济发展和居民生活水平改善, 对于地域宽广的高原地区社会经济发展具有重要的现实意义。

## 5.2 讨论

青藏高原地区是世界上最独特的交通分区, 海拔高、气温低、冻土广布、新构造活跃、地貌类型多样等自然地理特征, 对道路建设与发展具有特殊影响, 如冻土是青藏高原地区公路的主要病害<sup>[46]</sup>, 在青藏铁路设计与修建过程中采用增加热阻、冷却地基等方案解决冻胀、融沉等的影响<sup>[47]</sup>, 并通过设置野生动物通道等降低对动物活动的负面影响<sup>[48]</sup>。本文分析了青藏高原地区40年来交通网络发展与通达性空间格局演变, 得到两者演化规律及特征。但在通达性评价模型中并未考虑自然地形条件等的影响, 也未对特殊交通分区的研究区域提出更为适宜其独特性的理论与研究方法, 这有待进一步的研究。

青藏高原地区位于中国西南边陲, 特别是西藏毗邻巴基斯坦、印度、尼泊尔等国, 是“一带一路”重要的国家安全屏障和生态安全屏障, 未来中尼、川藏、库格等铁路和京藏、川藏、等高速公路的修建与通车, 对该地区的交通网络、通达性格局、社会经济以及生态环境的影响, 值得持续关注。同时, 交通基础设施通过空间效应作用于更广大的区域, 交通网络的建设与发展所产生的网络效应与溢出效应, 以及对不同层级单元交通公平性的影响及分配效应, 将是未来探讨的关注点。

## 参考文献(References)

- [1] Jin F, Wang C, Li X, et al. China's regional transport dominance: Density, proximity, and accessibility. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(2): 295-309.
- [2] Chen Yu, Jin Fengjun, Lu Yuqi, et al. Development history and accessibility evolution of land transportation network in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(12): 2252-2264. [陈娱, 金凤君, 陆玉麒, 等. 京津冀地区陆路交通网络发展过程及可达性演变特征. *地理学报*, 2017, 72(12): 2252-2264.]
- [3] Ibáñez J N, Rotoli F. Measuring the impact of the trans-European road transport network on the accessibility of European urban agglomerations. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2017, 2605: 72-82.
- [4] Jin Fengjun, Wang Jiao'e. Railway network expansion and spatial accessibility analysis in China: 1906-2000. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 293-302. [金凤君, 王姣娥. 20世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. *地理学报*, 2004, 59(2): 293-302.]
- [5] Wang Jiao'e, Jin Fengjun. Railway network organization and spatial service system optimization in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 371-380. [王姣娥, 金凤君. 中国铁路客运网络组织与空间服务系统优化. *地理学报*, 2005, 60(3): 371-380.]
- [6] Wang Chengjin, Cheng Jiajia. Spatial pattern of expressway network accessibility and evolution in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(6): 803-812. [王成金, 程佳佳. 中国高速公路网的可达性格局及演化. *地理科学*, 2016, 36(6): 803-812.]
- [7] Cao Xiaoshu, Xue Desheng, Yan Xiaopei. A study on the urban accessibility of national trunk highway system in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 903-910. [曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性. *地理学报*, 2005, 60(6): 903-910.]
- [8] Cao Xiaoshu, Li Tao, Yang Wenyue, et al. Accessibility and urban spatial connections of cities in the Silk Road Economic Belt based on land transportation. *Progress in Geography*, 2015, 34(6): 657-664. [曹小曙, 李涛, 杨文越, 等. 基于陆路交通的丝绸之路经济带可达性与城市空间联系. *地理科学进展*, 2015, 34(6): 657-664.]
- [9] Zhou Kai, Liu Chong. A new method to visualise the time-space compression effect in road network: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 62-69. [周恺, 刘冲. 可视化交通可达性时空压缩格局的新方法: 以京津冀城市群为例. *经济地理*, 2016, 36(7): 62-69.]
- [10] Liu Hui, Shen Yuming, Meng Dan, et al. The city network centrality and spatial structure in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region. *Economic Geography*, 2013, 33(8): 37-45. [刘辉, 申玉铭, 孟丹, 等. 基于交通可达性的京津冀城

- 市网络集中性及空间结构研究. 经济地理, 2013, 33(8): 37-45.]
- [11] Chen Jie, Lu Feng. Location advantage and accessibility evaluation on Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Area. *Geography and Geo-Information Science*, 2008, 24(2): 53-56. [陈洁, 陆锋. 京津冀都市圈城市区位与交通可达性评价. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2): 53-56.]
- [12] Zhang Li, Lu Yuqi. Assessment on regional accessibility based on land transportation network: A case study of the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1235-1246. [张莉, 陆玉麒. 基于陆路交通网的区域可达性评价: 以长江三角洲为例. 地理学报, 2006, 61(12): 1235-1246.]
- [13] Wu Wei, Cao Youhui, Liang Shuangbo. Temporal and spatial evolution of integrated transport accessibility in the Yangtze River Delta: 1986-2005. *Progress in Geography*, 2010, 29(5): 619-626. [吴威, 曹有挥, 梁双波. 20世纪80年代以来长三角地区综合交通可达性的时空演化. 地理科学进展, 2010, 29(5): 619-626.]
- [14] Zhao Dan, Zhang Jingxiang. Research into spatial pattern changes of Yangtze River Delta's accessibility under the impact of high-speed railway. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(4): 391-398. [赵丹, 张京祥. 高速铁路影响下的长三角城市群可达性空间格局演变. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 391-398.]
- [15] Meng Deyou, Lu Yuqi, Li Xiaojian, et al. Impact of expressway network construction on the regional accessibility in the Yangtze River Delta. *Tropical Geography*, 2014, 34(5): 643-654. [孟德友, 陆玉麒, 李小建, 等. 长江三角洲高速公路网络构建对区域可达性的影响. 热带地理, 2014, 34(5): 643-654.]
- [16] Wu Qitao, Zhang Hong'ou, Ye Yuyao, et al. The impact of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge on the traffic pattern of Pearl River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 723-732. [吴旗韬, 张虹鸥, 叶玉瑶, 等. 基于交通可达性的港澳大桥时空压缩效应. 地理学报, 2012, 67(6): 723-732.]
- [17] Li Tao, Cao Xiaoshu, Huang Xiaoyan. The relationship between spatial structure of accessibility and population change in Pearl River Delta. *Geographical Research*, 2012, 31(9): 1661-1672. [李涛, 曹小曙, 黄晓燕. 珠江三角洲交通通达性空间格局与人口变化关系. 地理研究, 2012, 31(9): 1661-1672.]
- [18] Li Tao, Ma Wei, Gao Xingchuan, et al. Evaluating the impacts of the "Xiamen-Shenzhen high-speed" railways on accessibility and its differentiation: A Super-DEA approach. *Economic Geography*, 2017, 37(8): 67-76. [李涛, 马卫, 高兴川, 等. 基于Super-DEA模型的厦深高铁可达性效应综合评估与空间分异. 经济地理, 2017, 37(8): 67-76.]
- [19] Li Peiquan, Cao Xiaoshu. The road network accessibility and spatial pattern of Guangzhou-Foshan Metropolitan Area. *Economic Geography*, 2011, 31(3): 371-378. [李沛权, 曹小曙. 广佛都市圈公路网络通达性及其空间格局. 经济地理, 2011, 31(3): 371-378.]
- [20] Wang Wulin, Wang Miaomiao, Cao Xiaoshu. Evolution of road accessibility and its effects on economy development in Wuling Mountain Areas from 1978 to 2012. *Geographical Research*, 2015, 34(9): 1755-1769. [王武林, 王妙妙, 曹小曙. 1978-2012年武陵山区公路通达性演化及其对经济发展的影响. 地理研究, 2015, 34(9): 1755-1769.]
- [21] Wang Wulin, Yang Wenye, Cao Xiaoshu. Road transport superiority degree and impact on economic growth in the concentrated contiguous severe poverty areas in China. *Progress in Geography*, 2015, 34(6): 665-675. [王武林, 杨文越, 曹小曙. 中国集中连片特困地区公路交通优势度及其对经济增长的影响. 地理科学进展, 2015, 34(6): 665-675.]
- [22] Allen W B, Liu D, Singer S. Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. *Transportation Research Part B Methodological*, 1993, 27(6): 439-449.
- [23] Gutiérrez J, Gómez G. The impact of orbital motorways on intra-metropolitan accessibility: The case of Madrid's M-40. *Journal of Transport Geography*, 1999, 7(1): 1-15.
- [24] Cao Xiaoshu, Yan Xiaopei. The impact of the evolution of land network on spatial structure of accessibility in the developed areas: The case of Dongguan city in Guangdong province. *Geographical Research*, 2003, 22(3): 305-312. [曹小曙, 阎小培. 经济发达地区交通网络演化对通达性空间格局的影响: 以广东省东莞市为例. 地理研究, 2003, 22(3): 305-312.]
- [25] Chen Zhuo, Jin Fengjun. Scope, shape, and structural characteristics of traffic circles of equal travel time in Beijing. *Progress in Geography*, 2016, 35(3): 389-398. [陈卓, 金凤君. 北京市等时间交通圈的范围、形态与结构特征. 地理科学进展, 2016, 35(3): 389-398.]
- [26] Yao Tandong, Chen Fahu, Cui Peng, et al. From Tibetan Plateau to Third Pole and Pan-Third Pole. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(9): 924-931. [姚檀栋, 陈发虎, 崔鹏, 等. 从青藏高原到第三极和泛第三极. 中国科学院院刊, 2017, 32(9): 924-931.]
- [27] Geng Dading, Chen Chuankang, Yang Wuyang, et al. Discussion on the highway natural regionalization of China. *Acta Geographica Sinica*, 1978, 33(1): 49-61. [耿大定, 陈传康, 杨吾扬, 等. 论中国公路自然区划. 地理学报, 1978, 33(1): 49-61.]

- [28] Miao Yinghao, Wang Binggang. China climatic regionalization for highway. *Journal of Beijing University of Technology*, 2009, 35(1): 89-95. [苗英豪, 王秉纲. 中国公路气候区划方案. 北京工业大学学报, 2009, 35(1): 89-95.]
- [29] Jin Fengjun, Liu Yi. Threshold study on transportation and industrial development in Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(4): 363-368. [金凤君, 刘毅. 青藏高原产业发展的交通运输门槛研究. 自然资源学报, 2000, 15(4): 363-368.]
- [30] Zhao Jian'an. Development of communication and transportation in the southern valley of the Qinghai-Tibet Plateau. *Resources Science*, 2000, 22(4): 67-71. [赵建安. 青藏高原藏南谷地的交通运输发展. 资源科学, 2000, 22(4): 67-71.]
- [31] Li Lingqin, Ma Haizhou. Study on western development and composite traffic system construction in Qinghai. *Journal of Salt Lake Research*, 2001, 9(1): 71-72. [李玲琴, 马海州. 西部开发与青海综合交通体系构建研究. 盐湖研究, 2001, 9(1): 71-72.]
- [32] Xie Jia'an. The territorid development in transportation net of Qinghai Province. *Journal of Qinghai Normal University (Natural Science)*, 2005(4): 102-104. [解家安. 青海省交通运输网地域性建设与发展. 青海师范大学学报(自然科学版), 2005(4): 102-104.]
- [33] Zhu Yan, Hou Guangliang, Lan Cuo Zhuoma, et al. GIS-based analysis of traffic routes and regional division of the Qinghai-Tibetan Plateau in prehistoric period. *Progress in Geography*, 2018, 37(3): 438-449. [朱燕, 侯光良, 兰措卓玛, 等. 基于GIS的青藏高原史前交通路线与分区分析. 地理科学进展, 2018, 37(3): 438-449.]
- [34] Yan Jianzhong, Zhang Yili, Liu Linshan, et al. Effects of Qinghai-Xizang Highway on land use and landscape pattern change: From Golmud to Tanggula Shan Pass. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 253-266. [张镱锂, 阎建忠, 刘林山, 等. 青藏公路对区域土地利用和景观格局的影响: 以格尔木至唐古拉山段为例. 地理学报, 2002, 57(3): 253-266.]
- [35] Yan Jianzhong, Zhang Yili, Liu Linshan, et al. Main effect of plateau traffic on land use and landscape pattern change: From Lanzhou to Golmud. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 34-44. [阎建忠, 张镱锂, 刘林山, 等. 高原交通干线对土地利用和景观格局的影响: 以兰州至格尔木段为例. 地理学报, 2003, 58(1): 34-44.]
- [36] Zhao Fang, Lu Tao. Ecological effects of roads on land use and landscape pattern in eastern Tibetan Plateau, China. *Ecological Science*, 2017, 36(4): 146-151. [赵芳, 卢涛. 道路扩展对青藏高原东缘土地利用及景观格局的影响. 生态科学, 2017, 36(4): 146-151.]
- [37] Zhang Yili, Li Bingyuan, Zheng Du. A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China. *Geographical Research*, 2002, 21(1): 1-8. [张镱锂, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积. 地理研究, 2002, 21(1): 1-8.]
- [38] Kansky K J. Structure of transportation networks: Relationships between network geometry and regional characteristics [D]. Chicago: University of Chicago, 1963.
- [39] Wang Chengjin, Wang Wei, Zhang Mengtian, et al. Evolution, accessibility of road networks in China and dynamics: From a long perspective. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1496-1509. [王成金, 王伟, 张梦天, 等. 中国道路网络的通达性评价与演化机理. 地理学报, 2014, 69(10): 1496-1509.]
- [40] Harris C D. The market as a factor in the localization of industry in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 1954, 44(4): 315-348.
- [41] Hansen W G. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, 25(2): 73-76.
- [42] Yang Wu. Development and Environment of Qinghai-Tibet Plateau. Beijing: China Tibetology Publishing House, 1999: 96-98. [杨武. 青藏高原的交通与发展. 北京: 中国藏学出版社, 1999: 96-98.]
- [43] Wu Wei, Cao Youhui, Cao Weidong, et al. Spatial structure and evolution of highway accessibility in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1065-1074. [吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化. 地理学报, 2006, 61(10): 1065-1074.]
- [44] National Bureau of Statistics. China County Statistical Yearbook (2017). Beijing: China Statistics Press, 2018. [国家统计局. 中国县域统计年鉴(2017). 北京: 中国统计出版社, 2018.]
- [45] Gao Xingchuan. Study on economy spatial structure in Huangshui River Traffic Corridor [D]. Xining: Qinghai Normal University, 2014. [高兴川. 湟水河交通走廊经济空间结构研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2014.]
- [46] Dou Mingjian, Hu Changshun, He Ziwen, et al. Distributing regularities of subgrade diseases in permafrost section of the Qinghai-Tibetan Highway. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(6): 780-784. [窦明健, 胡长顺, 何子文, 等. 青藏公路多年冻土段路基病害分布规律. 冰川冻土, 2002, 24(6): 780-784.]
- [47] Cheng Guodong. Interaction between Qinghai-Tibet Railway engineering and permafrost and environmental effects. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2002, 17(1): 21-25. [程国栋. 青藏铁路工程与多年冻土相互作用及环境效



应. 中国科学院院刊, 2002, 17(1): 21-25.]

- [48] Yin Baofa, Huai Huyin, Zhang Yili, et al. Influence of Qinghai-Tibetan railway and highway on wild animal's activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3917-3923. [殷宝法, 淮虎银, 张懿锂, 等. 青藏铁路、公路对野生动物活动的影响. *生态学报*, 2006, 26(12): 3917-3923.]

## Evolution of accessibility spatial pattern of the Qinghai-Tibet Plateau in 1976-2016

GAO Xingchuan<sup>1</sup>, CAO Xiaoshu<sup>2,3</sup>, LI Tao<sup>2,3</sup>, LV Minjuan<sup>1</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2. Northwest Land and Resource Research Centre, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 3. Key Laboratory for Urbanization and Land Environment Geo-simulation in Northwest China, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** The Qinghai-Tibet Plateau is a unique geography-ecology-population-traffic region on the earth. The characteristics and regularities of the transport network development are an important breakthrough for the coordinated development of man-land relationship, which is of great significance to the research in the Qinghai-Tibet Plateau. Accordingly, this paper analyzes the evolution of transport network in this region between 1976 and 2016, and explores its accessibility using a temporal distance calculation model based on network analysis by taking provincial capitals, prefecture-level cities and counties as transport nodes. Results suggest that, first, transport network is more complex and the regional connectivity is gradually enhanced in the plateau, preliminarily forming a grid-like transport network; second, the average minimum accessibility time between anchor cities and between counties has been vastly reduced to 11.89 hours and 18.84 hours, manifesting a gradually growing spatial pattern from east to west and remarkable effects of time-space convergence; third, anchor cities are the poles of regional development, with average accessibility time to around cities reduced to 16.49 hours, indicating that anchor cities tied with others have been improved; fourth, the traffic circles of anchor cities and counties are evolving consistently, accessibility time from various places in the study area to their nearest cities or counties are decreasing, presenting a contiguous pattern of short-time traffic circle with 4-hour access to central cities and 2-hour access to counties along important arterial roads, thus improving external transport connection of towns. And traffic corridors are gradually formed in the Huangshui River Valley, and the Middle Region of "One River and Two Streams" in Tibet.

**Keywords:** transport network; accessibility; spatial pattern; Qinghai-Tibet Plateau