

青藏高原国家公园群交通设施 支撑能力评价与优化

苗毅¹ 戴特奇¹ 宋金平¹ 王成新² 耿江南¹¹

(1. 北京师范大学 地理科学学部, 中国 北京 100875;

2. 山东师范大学 地理与环境学院, 中国山东 济南 250300)

【摘要】: 基于交通设施建设评价、外部可达性和内部联系紧密性分析, 探讨青藏高原国家公园群交通设施支撑能力并提出优化。结果发现: ①研究区交通设施建设得分整体较低, 具有东高、西南低的空间分异性, 各县铁路、机场建设情况差异明显, 部分县到机场的交通衔接极为不便; ②主要客源地经地面交通到研究区的可达性较差, 经航空运输的时间成本的县域差异明显但可达性改善效果突出, 经不同交通方式的时间成本均呈自东向西递增的空间特征; ③国家公园群内部联系不够紧密, 但航空运输对远端国家公园的融入具有重要意义, 色林错普若岗日、黄河源、海西盐湖等具有相对较好的节点潜力, 基于公路、铁路、航空运输分别能够形成邻近、串联、飞地型的优先、潜在国家公园分组。总的来看, 青藏高原国家公园群的既有交通设施支撑能力或难满足其发展需求, 应在注重区域主体功能和生态安全的根本前提下, 基于区位与需求, 加快地面交通干支线建设、优化不同交通方式衔接、积极发展通用航空、增设多种通用机场及优化航线网络, 发挥交通设施对其建设发展的支撑作用。

【关键词】: 交通设施 支撑能力 可达性 国家公园 航线网络

【中图分类号】: K901 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2020) 12-0022-10

国家公园是保护大尺度生态过程及区内生态系统特征完整性, 同时科学开发并提供与其环境文化相容的科教、休闲游憩机会的有效空间组织方式^[1-2], 其构想与实践源于美国, 并以其显著的积极效应而被广泛地应用建设^[3]。中国学者也长期大量参考国外经验探寻本土化的国家公园模式, 推动中国国家公园的探索与建设^[4-5]。2015 年, 国家发改委等 13 部门启动国家公园体制试点工作^[3], 此后 2017 年中共中央、国务院办公厅印发《建立国家公园体制总体方案》, 初步完成中国国家公园体制建设的顶层设计, 明确坚持生态保护第一、国家代表性、全民公益性理念^[2,6];2019 年国家林草局提出 2020 年正式设立一批国家公园, 并明确建成中国特色的以国家公园为主体的自然保护地体系的总体目标。从我国国家公园定位来看, 其首要功能是保护重要自然生态系统的原真性、完整性, 在此前提下, 兼具科研、教育、游憩等综合功能, 为公众提供参与机会, 强调全民公益性, 促进人与自然和谐共生, 推进美丽中国建设。学界也基本认同国家公园虽具有保护区属性, 但在生态系统保护的基础上, 应适当开展生态、自然旅游和游憩活动等全民、公益性的事业活动, 同时可在不增加环境负担的情况下, 配套必需的产业活动, 发挥旅游生态补偿, 带动区域绿色发展^[1,7-9]。

作者简介: 苗毅 (1992-), 男, 山东威海人, 博士研究生。主要研究方向为区域发展与交通地理。

E-mail:201831051026@mail.bnu.edu.cn。

宋金平 (1968-), 男, 山东临沂人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为经济地理与城市规划。E-mail:jinpingsong@163.com。

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究 (2019QZKK0406)

在此过程中,交通设施是增进要素联系、重塑空间相互作用结构、支撑区域发展尤其是旅游资源开发中不可或缺的条件^[10-12]。近年来,中国交通设施快速建设、综合交通网络不断优化,有效串点成带、释放关联效应并为落后地区带来机遇,不同时空尺度的不同交通方式均备受学者关注^[13-14]。从设施建设层面看,路网密度与连接度^[15-16]、交通设施供需关系^[17]、以网络密度和干线影响/设施邻近度构成的交通优势度^[18-19]、以交通建设为重点的基础设施支撑能力^[20]等广泛应用于探索交通设施建设与区域发展的关系,并依据不同区域实际、不同交通方式提出适应性和差异化的设施优化配置建议^[21];从可达性演变层面看,加权平均旅行时间^[22]、栅格成本距离^[23]、两步移动搜寻^[24]、最短距离模型及空间句法^[25]等被广泛应用及完善,模拟不同区域通达程度并为区域空间结构优化及相关规划提供科学依据,据此交通设施建设尤其是骨干交通为区域发展的各项活动提供硬件基础及主要媒介^[26],交通可达性的改善增进了要素流通、区域联系,压缩时空距离及延展客源腹地^[27],直接为旅游业发展带来机遇,交通与旅游业逐渐呈现耦合互动关系及协调发展状态^[28]。总的来看,交通设施对区域发展尤其是旅游开发具有支撑作用,其建设情况与可达性的结合能有效反映区域交通供需状况与时空压缩效果,对国家公园等的建设发展具有参考意义,而青藏高原上具有独特、原真、完整的生态系统与自然风光旅游资源但社会经济分散、发展基础极为薄弱的国家公园群的建设发展而言,则更有赖于交通设施的不断完善。

伴随 2019 年西藏等提出着力构建地球第三极国家公园群以及相关研究的深入开展^[29],相关国家公园将逐步、更好地实现青藏高原地区保护与发展相和谐、人与自然共生。但既有交通设施配套是否足以支撑相关建设及满足其需求,相关研究尚不系统。据此,本文基于综合交通运输方式,围绕建设、可达、衔接等方面,系统梳理青藏高原国家公园群的交通设施支撑能力并提出优化建议,以高效发挥交通对优化国土开发格局、推动青藏高原地区发展、合理推进落实国家公园建设的支撑作用。

1 青藏高原国家公园群及区域交通概况

参照樊杰等^[29]划定的第三极国家公园群(17 个国家公园)为研究区(表 1,图 1)。由于上述国家公园范围差别明显、边界模糊,且作为禁止开发区实行最严格的保护,交通设施等建设受限、可达性讨论难落地,故对交通设施建设、外部客源可达性等的分析,立足于各国家公园所在的相关县。从交通设施建设看,尽管面临青藏高原高寒缺氧、冻土广布、生态脆弱等困难,研究区内及邻近地区交通设施仍不断取得突破,实现了一定规模、覆盖较广的综合交通运输体系,1954 年川藏及青藏公路、1956 年拉萨当雄机场建成以及 2006 年青藏铁路全线通车,包括 2013 年墨脱公路通车都是具有国家层面意义的交通设施进展,当前也已初步围绕青藏公路、铁路及航空运输体系形成青藏高原现代综合交通运输体系,交通联系与可达性显著提高,基本满足当地社会经济发展需求,但其规模水平依然滞后且区域差异明显^[30-31],对支撑多处国家公园建设及服务需求而言,仍可能有配套相对不足、客源进入时间成本过高及游览不便捷等问题。

2 方法与数据

2.1 研究方法

(1)青藏高原国家公园群的交通设施支撑能力内涵与思路。青藏高原国家公园群的交通设施支撑能力指具有符合需求的配套交通设施、满足外部客源可达、群间便捷游览的能力,结合现有研究构建适用本研究区的交通设施建设评价体系、外部客源可达性及群内联系紧密性分析,作为支撑能力中两两相关但侧重不同的三方面(图 2)。其中,交通设施建设是满足国家公园群建设发展的基本硬件支撑,具备主要交通站场的县,即便当前可达性较差,其优化也更易实现;为满足国家公园功能发挥及带动相关县域发展,外部客源可达提供主体需求支撑,但受区位等影响,可达性与交通设施建设并非完全对应;此外,作为国家公园群,其发展还有赖于交通设施实现群内国家公园的搭配组合,旅途时间成本的压缩及游览感知的优化,有助于提高吸引力、扩大客源市场,形成国家公园群的集聚效益支撑。

表 1 青藏高原国家公园群相关县

公园名称	所在相关县	公园名称	所在相关县
帕米尔	塔什库尔干县	扎日神山	隆子县
珠穆朗玛峰	定日、定结、吉隆、聂拉木县	澜沧江源	杂多、囊谦县
神山圣湖	普兰县	独龙江	贡山县
长江源	杂多县、治多县	普达措	香格里拉市
黄河源	曲麻莱、玛多县	水上雅丹	大柴旦行委
雅鲁藏布大峡谷	巴宜区、墨脱、米林、波密县	海西盐湖	格尔木市
大熊猫	九寨沟、平武、松潘、北川、茂县	昆仑山可可西里	曲麻莱县、格尔木市
色林错普若岗日	色尼区、中扎、尼玛、安多、班戈、双湖县	祁连山	玉门市、凉州区、肃南、民乐、祁连、天祝、祁连、门源、天峻县
札达士林	普兰、札达县		

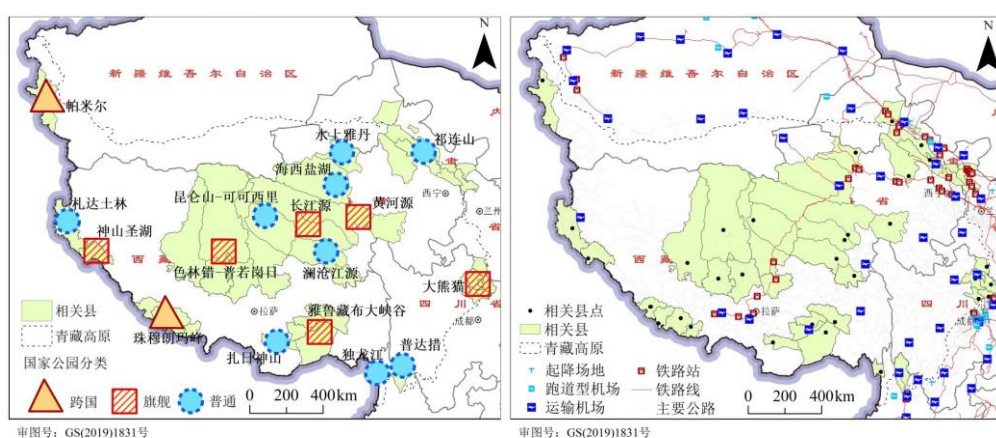


图1 青藏高原国家公园群及研究区交通设施分布^[29]

(2) 青藏高原国家公园群交通设施建设评价。由于青藏高原的特殊性，县县有铁路、机场是极难实现的，故据此实际及相关交通设施的建设分布特征，参考高速交通建设评价、交通优势度测算及缓冲区赋权打分方法^[32-33]，以及《建设民航强国的战略构想》《关于促进通用机场有序发展的意见》中“100km”的设施布局阈值，对无火车站或机场但县城 50、100、200km 缓冲区内有相关设施、无需重复建设的县也给予一定赋值，且对不同类型列车、机场按专家打分法赋以权重，构建可行、适应本研究区的交通设施建设评价体系（表 2）。其中，各指标结果均经标准化映射于[0, 1]区间；而公路运输效率 E 是基于通行速度（通行距离 d_{real} 比时间 t ）和道路直达（直线距离 d_{straight} 比通行距离 d_{real} ）得到县到相关地点的相对位移速度，表征其在路网通行中的效率。

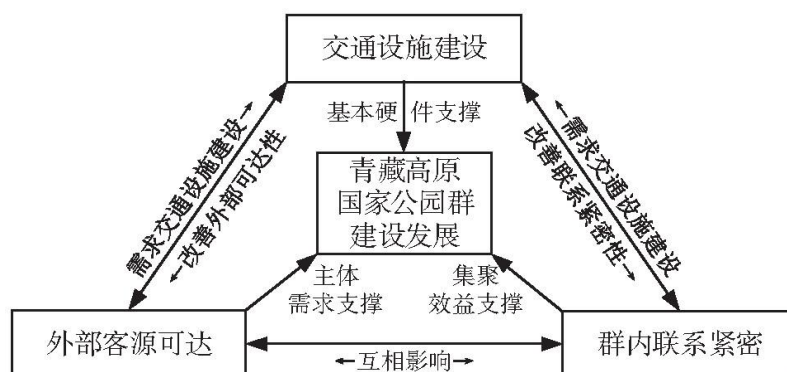


图 2 交通设施对青藏高原国家公园群建设发展的支撑作用

表 2 青藏高原国家公园群交通设施建设评价体系

系统	指标层	测度方法	计算说明或结果单位
公路运输 A	建设里程	公路网总里程	km
	建设密度	公路网总里程/面积	Km/km ²
	运输效率	E _i , 如式 (1)	i 县到省会、最近机场与火车站的公路情况
	站点密度	铁路站数/县域面积	座/km ²
铁路运输 B	站点功能	适应车型, 无车站以县城 50、100、200km 缓冲 区计, 权重递乘 0.3	{普通, K, T/Z, D, G/C} → {0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1}
	运输能力	日通行车次, 无车站以县城 50、100、200km 缓 冲区计, 权重递乘 0.3	辆/日
	站点密度	通勤机场数量/县域面积	座/km ²
	站点功能	飞行区等级, 无机场以县城 50、100、200km 缓 冲区计, 权重递乘 0.3	{其他起降场地, 其他跑道型机场, 3C, 4C, 4D, 4E} → {0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1}
民航运输 C	运输能力	起落架次, 无数据以县城 50、100、200km 缓 冲区计, 权重递乘 0.3	架/周

$$E = \sqrt{\frac{d_{real}}{t} \times \frac{d_{straight}}{d_{real}}} = \sqrt{\frac{d_{straight}}{t}}, \quad (1)$$

$$E_i = (E_{i\text{省会}} + E_{i\text{机场}} + E_{i\text{火车站}}) / 3$$

(3) 外部客源可达性。基于最短距离的思路^[26], 补充站—县距离, 考虑不同交通方式衔接等实际情况, 计算主要客源地 (包括直辖市、省会及副省级市, 共 39 座) 经公路、铁路、民航等交通方式到各县的时间成本 TA、TB、TC。其中公路方面 TA 直接以县 i、客源地 j 间通行时间 Ta_{ij} 计; 铁路 TB、航空运输 TC 在列车 Tb、飞机 Tc 时间基础上分别加上 i、j 到火车站 r、机场 a 的公路通行时间 Ta_{ib}、Ta_{bj}、Ta_{ic}、Ta_{cj}, 以及中转换乘延误, 在此设铁路、民航运输每换乘一次需再分别增加 1/2、3/2h, n 为乘列车或航段次数, 具体如下:

$$TB = Ta_{ib} + Ta_{bj} + \left[\sum_{k=1}^n Tb_k + \frac{(n-1)}{2} \right],$$

$$TC = Ta_{ic} + Ta_{cj} + \left[\sum_{k=1}^n Tc_k + \frac{3(n-1)}{2} \right], n \geq 0 \quad (2)$$

(4) 内部联系紧密性。参考网络分析与中心性的思路^[34], 识别不同交通方式下国家公园群内部联系紧密性, 并据此探讨国家公园分组。内部联系紧密性 C 如式 (3)、(4), 其中, x 代表某类交通方式, CA、CB、CC 分别为公路、铁路、航空运输下的结果, w 为权重, m、n 为不同国家公园, T_m 为 m 到 n 的时间成本, 到 n 最大值与 T_m 之比可反映 m、n 间的邻近性, 总分较高者表明内部联系紧密、具有节点潜力。其中, 公路方面 w=1, 铁路与民航运输 w 以标准化后的车次、航班次得到, 换乘一次 w 乘 0.3, 两次以上则为 0, 即铁路、航空运输对联系相关国家公园的能力不强。国家公园位置以相关县的空间平均中心表示。

$$C_m = \sum Cx_m = CA_m + CB_m + CC_m \quad (3)$$

$$Cx_m = w \cdot \sum_{n=1}^{17} \frac{\max\{T_{1n}, T_{2n}, T_{mn}, \dots, T_{17n}\}}{T_{mn}}, \quad (4)$$

$$m \in [1, 17]$$

(5)LSCP 模型 (Location Set Covering Problem)。LSCP 模型是确定使所有需求点都在设施服务范围内的最少设施数的方法^[35-36]，本文以此探讨所需机场数量，如式 (5)、(6)，其中 Z 是目标函数， i 为县，决策变量 $y_j=1$ 则机场在点 j 上， d_{ij} 、 S 分别是距离及其阈值， N_i 是符合规则的集合。本文参照《建设民航强国的战略构想》《关于促进通用机场有序发展的意见》中“100km 范围内全国 95% 的县得到航空服务”和“距最近运输机场直线距离 > 100km 的偏远地区布局通用机场”等目标及相关研究^[36]，考虑青藏高原整体交通不便及国家公园特殊性，即以 100km 为阈值，判断研究区至少应新增的机场数量并结合其类型进行讨论。

$$\min Z = \sum_j y_j \quad (5)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j \in N_i} y_j > 1, \quad \forall i \\ N_i = [j | d_{ij} \leq S] \\ y_j \in (0, 1), \quad \forall j \end{cases} \quad (6)$$

2.2 数据来源与说明

各机场位置结合中国民用航空局 (<http://www.caac.gov.cn/>)、通用机场信息平台 (https://ga.aopa.org.cn/web__airport/index.html) 经地理坐标转换得到，运量、航线及航班信息等来自相关年份《从统计看民航》及携程网 (<https://flights.ctrip.com/>，查询时间为 2019 年 9 月)；公路通行时间基于百度地图进行批量化查询，获得客源地、相关县、机场、火车站之间的实际通行里程和时间，路网矢量数据来源于 <https://www.openstreetmap.org/>；铁路运输时间、火车站相关信息来源于全国列车时刻表在线查询 <http://qq.ip138.com/train/>。

3 结果分析

3.1 交通设施建设概况及评价结果

各县地面交通设施建设相对滞后，2018 年研究区总体铁路、公路密度分别为 3.5m/km² 和 64.0m/km²，不但落后于全国与西部地区平均水平，公路密度尚低于青藏高原平均水平 (表 3)。其中，仅凉州区公路密度高于全国平均水平，民乐等 3 县介于全国和西部地区平均水平之间，29 县 (55.8%) 介于西部地区和青藏高原地区平均水平之间，尤为值得注意的是，安多、墨脱、双湖等 7 县公路密度不足青藏高原地区平均水平的一半。此外，凉州区、大柴旦行委高速公路密度高于全国平均水平，凉州区、玉门市铁路密度高于全国平均水平，而大部分县暂未建有高速公路、铁路。航空运输方面，研究区内 5 座运输机场 (格尔木、林芝米林、祁连、九寨黄龙、迪庆香格里拉) 均为 4D、4C 级飞行区，但其他通用机场建设不足。

表 3 研究区路网密度对比 (m/km²)

道路类型	全国	西部地区平均	青藏高原地区平均	相关县平均
公路	306.63	160.41	71.02	63.96

高速公路	22.72	10.04	1.05	1.36
铁路	28.38	11.83	2.18	3.45

各县交通设施建设评分整体较低，得分构成与其空间格局均具有非均衡特征（图3）。其中，最低值（墨脱县 0.28）与最高值（格尔木市 1.75）间差异悬殊，24 个县（58.5%）得分低于 0.68。从不同交通方式来看，墨脱县作为全国最后通公路的县，与贡山等县的公路建设得分较低，表明相关建设较为稀缺，且总分也较低，一定程度上表明公路对区域交通建设有基础性作用；铁路、航空运输方面建设相对稀缺的县，主要为尚无铁路站、机场且不邻近相关设施的县，如双湖、尼玛、聂拉木、吉隆、普兰等县。据相关分类^[37]，研究区内各县的交通建设以单类孤立、协调互补模式为主，也有相当部分县尚属于低速交通维持，而快速、多元化交通发育整体不足。

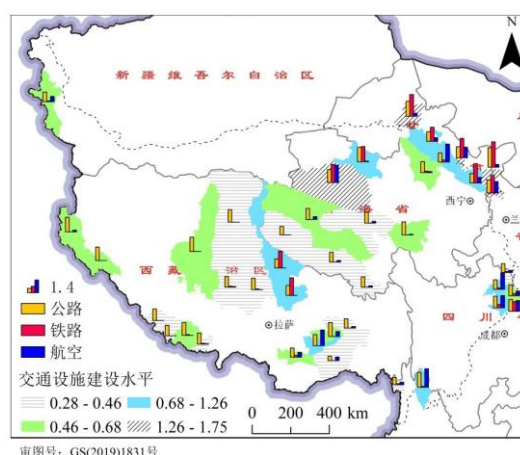


图3 各县交通设施建设水平

从空间上看，得益于区位及青藏铁路、各邻近机场，祁连山、大熊猫、普达措、海西盐湖、水上雅丹等青藏高原东部的国家公园，以及色林错普若岗日、雅鲁藏布大峡谷的部分县交通设施建设较好；交通设施建设稀缺区主要在帕米尔、扎日神山以及三江源地区，还包括珠峰、雅鲁藏布大峡谷、色林错普若岗日国家公园的部分县。不同交通方式中，公路方面的县域得分变异系数最低（23.0%），而铁路与航空运输方面差异悬殊，变异系数分别为 151.9%和 126.4%，其中以铁路方面差异较大，这与其他研究区的结果不同^[32]，表明青藏铁路支线建设有待加快，车次少、高速化不足等问题也待解决。此外，需关注各县到机场等的交通衔接，24 个县（58.5%）到邻近机场的直线距离超过 100km，而有 31 县（75.6%）到邻近机场的通行距离超过 100km，此外 20 县（48.8%）到邻近机场的距离比（实际距离比直线距离）>1.5，其中墨脱县到林芝米林机场直线距离 96km 但实际距离约 370km，表明各县经地面交通到机场等主要交通站点的衔接亟待优化。

3.2 外部客源可达性

主要客源地经地面交通到达各国家公园的通行时间成本呈相对平缓的自东向西递增的空间过渡态势，受区位及交通设施建设影响，可达性整体较差，而空间自相关、地域分异性明显（图4）。其中，公路用时介于 19.5~66.2h，铁路为 20.4~58.5h，青藏高原西南部的神山圣湖与扎达土林国家公园的札达县（66.2h、58.5h）、普兰县（62.6h、56.4h），珠峰国家公园吉隆县（55.6h、50.2h）、聂拉木县（54.8h、49.7h），帕米国家公园中塔什库尔干县（52.9h、53h）等可达性较差，时间成本约为大熊猫国家公园北川县（19.5h、21.7h）、祁连山国家公园天祝县（21.1h、20.4h）等的 2.5~3 倍。从具体客源地看，仅重庆、成都在 5h 内可达大熊猫国家公园的北川、茂县，其客源潜力不受距离衰减影响^[38]，10h 内可达普达措国家公园的仅成都、昆明，20h 内仅西

宁、兰州可经铁路到达研究区空间重心（位于安多县）。

航空运输时间成本同样呈自东向西递增的空间自相关性，但更具差异化特征（图 4）。主要客源地到各县经邻近机场的平均时间成本为 4.9~26.1h，其中<10h 的县 17 个（41.5%），主要是自身具有机场或邻近主要机场的县，10~20h 的县 14 个（34.1%），主要在青藏高原东半部；其余尼玛、双湖、吉隆等 10 县（24.4%）超过 20h，即民航运输也不够便捷。以民航运输对地面交通运输时间成本的压缩效果来看，其可达性贡献十分突出，平均用时压缩 20.9h，平均压缩比例超过 61.2%，札达、米林、塔什库尔干、普兰、定日与巴宜区航空运输压缩时间超过 30h，可见航空运输对青藏高原西南、地面交通建设较差的区域尤为重要；香格里拉等 24 个县（占比 58.5%）压缩比例超过 60%，其中香格里拉超过 80%，故航空运输对研究区建设发展的意义突出，应可作为交通体系优化重点，但其可达性的变异系数（45.8%）明显高于两类地面交通（35.5%、32.8%），表明机场布局与航线网络有待优化。

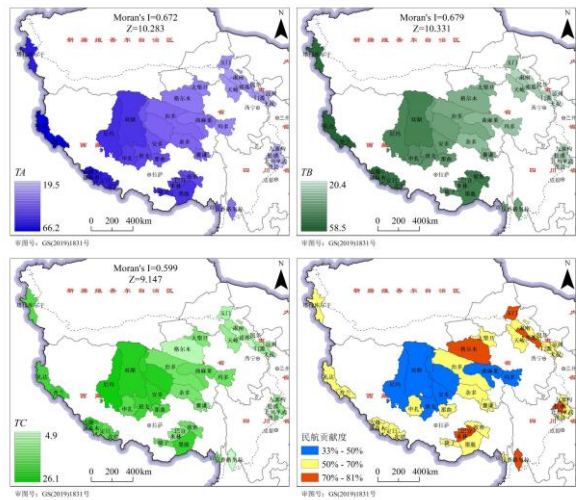


图 4 主要客源地可达时间成本及民航贡献度

交通设施建设得分与可达时间成本的拟合系数为负但 R^2 较低，其中公路建设与其时间成本拟合系数为-2.1 ($R^2=0.02$)，铁路方面为-6.4 ($R^2=0.23$) 而民航运输为-5.7 ($R^2=0.30$)，表明各类交通设施建设均有助于缩短时间成本，但解释力较弱。其原因包括区位等因素的影响下，九寨沟、玛多县等公路、铁路建设相对不足但可达性较好，而札达县、色尼区等交通设施建设尚可但可达性较差。因此，交通设施建设不足与可达性较差的区域，应基于区域实际适当配置交通设施建设，具体的交通方式选择上亦应有所区别，如帕米尔国家公园塔什库尔干县的铁路建设薄弱，但其可达性提升更有赖于航空运输的发展及其衔接路网。

3.3 国家公园群内部联系与交通分组

青藏高原国家公园群内部联系紧密性不强。得益于区位及交通建设，色林错普若岗日、黄河源、长江源、大熊猫、扎日神山、昆仑山可可西里、海西盐湖、祁连山等同其他国家公园的交通联系较好，具有节点潜力（表 4）。结合自然间断点分类探讨国家公园两两间的联系，对公路通行时间按 3h、10h、24h 做 4 级划分，对标准化处理后的铁路、航空得分以 0.13、0.63、1 和 0.02、0.24、0.76 划分，其中 1 级联系联系最为紧密，如图 5。总的来看，17 个国家公园间公路通行时间成本整体较高，平均用时 26.9h，达到 1、2 级联系水平的仅 5 对（3.7%）和 15 对（11.0%），而 4 级联系多达 57 对（41.9%），空间上以青藏高原东北部的国家公园间联系较紧密；围绕青藏铁路，青藏高原中部地区国家公园间具有较好的铁路联系，但尚有 80.1% 的国家公园两两之间无铁路连接，基于铁路的内部联系有较大改善空间；由于研究区内及邻近机场多为支线中小机场，航线主要指向上级枢纽机场，故国家公园间缺乏直通航班，有 70% 的邻近机场之间需至少经 1 次中转才能到达，故邻近兰州中川、成都双流、拉萨贡

嘎机场的国家公园更易同其他公园形成航空运输联系。

据此，结合 1、2 级联系进行优先、潜在两个等级的国家公园分组（表 5）。其中，公路方面能基于空间邻近性，形成昆仑山可可西里—黄河源—长江源—澜沧江源、海西盐湖—水上雅丹两处优先国家公园组，结合祁连山、色林错普若岗日、珠穆朗玛峰形成潜在的邻近国家公园组，另有扎达土林—神山圣湖、独龙江—普达措等空间邻近的国家公园间同样具有组合潜力；铁路方面基于青藏铁路线的串联作用，优先形成海西盐湖—黄河源—长江源的国家公园组，围绕优先组，澜沧江源、扎日神山、雅鲁藏布大峡谷、色林错普若岗日也具有一定潜在的串联成组的基础；航空运输方面，围绕祁连山、大熊猫、普达措与独龙江国家公园形成飞地型的优先国家公园组，进一步丰富并紧密了国家公园群的内部联系，结合研究区多处邻近机场具有丰富的潜在组合潜力，且航空运输在帕米尔国家公园融入青藏高原国家公园群体体系中的作用突出，但对神山圣湖、扎达土林国家公园而言，应加强航空运输设施建设，以增强本组国家公园与其他国家公园的航空联系。总的来看，国家公园间通行时间成本仍较高，铁路、民航连通性差，大部分国家公园间呈较松散的 3、4 级联系水平，能够支撑国家公园间合作发展的交通设施体系仍有待建设。

表 4 各国家公园的群内联系紧密性

公园	紧密性	公园	紧密性	公园	紧密性
帕米尔	0.10	雅鲁藏布大峡谷	1.51	普达措	0.56
珠穆朗玛峰	0.52	大熊猫	1.43	水上雅丹	0.78
神山圣湖	0.23	扎达土林	0.17	海西盐湖	1.82
色林错普若岗日	2.14	扎日神山	1.63	昆仑山可可西里	1.16
长江源	1.79	澜沧江源	1.60	祁连山	1.73
黄河源	2.13	独龙江	0.60		

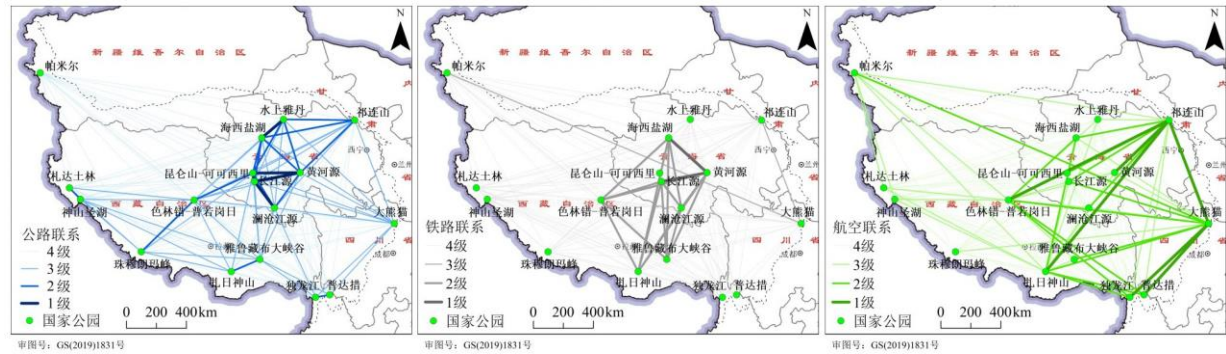


图 5 基于不同交通的国家公园群内联系网络

表 5 基于交通的国家公园分组

类型	等级	国家公园组
公路邻近组合	优先	①海西盐湖—水上雅丹;②昆仑山可可西里—黄河源—长江源—澜沧江源
	潜在	①水上雅丹—祁连山—海西盐湖—长江源—黄河源—昆仑山可可西里—澜沧江源—色普—珠穆朗玛峰;②雅鲁藏布大峡谷—扎日神山;③扎达土林—神山圣湖;④独龙江—普达措
铁路串联组合	优先	海西盐湖—黄河源—长江源

	潜在	海西盐湖—澜沧江源—扎日神山—雅鲁藏布大峡谷—色普—黄河源—长江源
	优先	①黄河源—祁连山;②祁连山—大熊猫;③大熊猫—普达措/独龙江
机场飞地组合	潜在	①祁连山—海西盐湖、昆仑山可可西里、长江源、澜沧江源、色普、扎日神山;②大熊猫—雅鲁藏布大峡谷、色林错普若岗日、帕米尔、长江源、扎日神山;③海西盐湖—扎日神山—独龙江/普达措

4 优化讨论

4.1 增强研究区地面交通可达性，完善群间联系路网

首先，增强外部客源经地面交通到达研究区的可达性。重点结合《国家公路网规划（2013—2030 年）》《中长期铁路网规划（2016—2030）》以及相关省区交通规划，增强进入研究区的青藏高速公路、其他高等级公路及川藏、新藏铁路线等区域地面干线交通的建设运营，以整体降低外部客源经地面交通进入研究区的时间成本。

其次，完善国家公园群内部地面交通联系网络体系，增强各国家公园之间、国家公园到青藏高原其他知名景区等的地面交通可达性，进一步提高国家公园吸引力与游览便捷性。公路方面应加强墨脱、贡山等县公路建设，加快格尔木、治多县至色林错普若岗日国家公园内的国道，以及拉萨—日喀则、林芝等高速公路展望线的研究建设；铁路方面，加快青藏铁路支线建设，增加色尼区、巴宜区向周边区县的铁路连接，重点补强西藏西南部的多个国家公园相关县等铁路稀缺区，发挥节点组织腹地、集散游客等要素的功能。此外，结合青藏高原客流季节性特征，旺季应增开铁路车次，提高对游览需求的承载力。

4.2 促进机场便捷可达，优化机场体系与航线网络

首先，优化县到机场的交通衔接，促进机场便捷可达。依据直线距离、距离比进行优化分类（图 6）。其中，格尔木等 8 县（19.5%）等到机场距离<50km，可继续稳步发展；凉州等 3 县（7.3%）到邻近机场的直线距离在 50~100km 且距离比<1.5，表明路网较通畅，应进一步使其间接交通提速；墨脱等 8 县（19.5%）到邻近机场的直线距离在 50~100km 但距离比>1.5，应优化县到机场路网；其余 22 县（53.7%）距机场>100km，可考虑新建机场。

其次，结合上述优化及航空运输设施建设，基于 LSCP 模型发现为满足航空运输服务能在 100km 服务半径内覆盖相关县，需至少新增机场 14 座，满足外部客源的直接可进入性。其中 200km 阈值下至少需新增 3 处，应主要考虑民航运输机场，重点增强珠峰、色林错普若岗日、神山圣湖的外部客源可达性；以 150km 为阈值需新增 6 处，除上述 3 地，还有治多、玛多、曲麻莱县和大柴旦行委等，宜考虑建设运输机场和其他跑道通用机场；其余 5 座机场主要可考虑跑道型通用机场。此外，以 50km 为阈值还需新增 13 处，除上述地区外，主要考虑为西藏的国家公园配置小型跑道机场、直升机起降场地等灵活、小规模、低成本的运输设施，既增强国家公园群内联系、丰富游览方式，也提高对灾害等的应急救援功能。

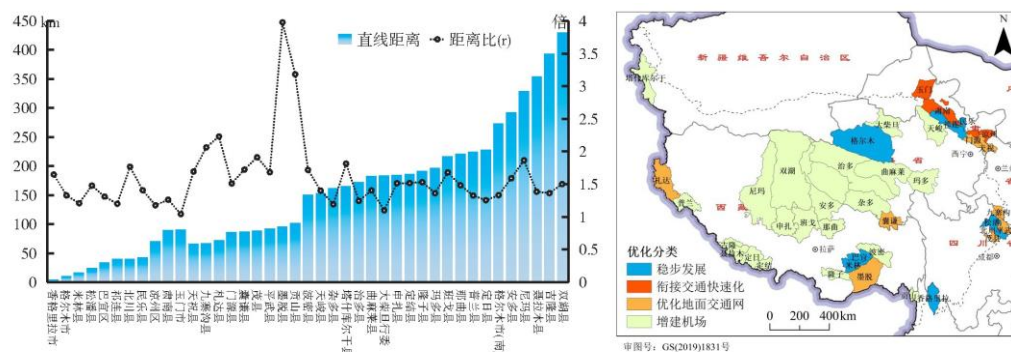


图 6 县到邻近机场的交通情况及优化分类

第三，由于研究区邻近机场多为连接枢纽的支线中小机场，互相鲜有直达航班，故应在旺季增设到主要客源地、国家公园间的航线航班，尤其是札达土林、神山圣湖、海西盐湖、珠峰等航空运输内部联系薄弱的国家公园之间的航线，满足搭配效果好但距离较远、地面交通衔接不足的跨国家公园游览的需求，强化航空运输对国家公园群的组合能力。

4.3 合理开拓客源市场，注重维护区域主体功能

伴随川藏铁路等的建设与“一带一路”倡议的深化推进，交通综合运输网络的逐步形成将进一步紧密本地区同外界的区域联系。基于中国—中亚—西亚、中巴、孟中缅印等经济走廊沿线的节点地区，能够组织更广阔腹地的人口要素并加强社会经济文化交流，适当开放与增强国际视野，规划国际大通道，亦将有助于相关国家公园更好地应对外部进入需求。

不过尤其值得关注的是，国家公园的建设发展要注意生态保护^[2,7-9]。青藏高原作为重要的生态安全屏障，相关开发建设应以本区域生态安全及生态服务功能为关键，在合理确定承载阈值、不损害区域主体功能的基础上，要着力促进交通与旅游的绿色低碳化，最大限度地使交通与社会经济建设对本地区生态环境提供正效应。与此同时，相关国家公园的建设发展与生态屏障、区域主体功能关系的适应性研究也应当作为值得关注的重点。

5 结论与展望

5.1 结论

(1) 研究区交通设施建设整体不足，各县评分结果整体较低，且得分的空间非均衡特征显著，高值集中于青藏高原东部的国家公园，青藏铁路线和机场等设施对此贡献突出，而低值主要集中于青藏高原西南部的国家公园。不同交通方式中，公路建设的县域差异较小，而铁路与航空运输的县域差异突出。此外，部分相关县到机场的地面交通衔接不便，值得关注。

(2) 主要客源地经地面交通到研究区的可达性整体较差，且呈过度相对平缓的自东向西递增的分异特征，经公路、铁路的时间成本区间为[19.5h, 66.2h]和[20.4h, 58.5h]，主要客源地进入的时间成本普遍较高。主要客源地经航空运输到研究区邻近机场的平均时间成本为 13.6h，对地面交通平均压缩 20.9h(61.2%)，同样具有整体自东向西递增的变化趋势但更具差异化特征，优化机场布局与航线网络对国家公园群外部可达的意义突出。此外，交通设施建设与可达性不完全对应，以交通设施优化可达性也需考虑区位条件与实际需求。

(3) 国家公园群内部联系紧密性整体不强，其中色林错普若岗日、黄河源、长江源、大熊猫、扎日神山、昆仑山可可西里、海西盐湖、祁连山等联系紧密性相对较好，具有作为节点的潜力。在公路、铁路、航空运输联系网络下，分别能够围绕黄河源、海西盐湖、祁连山、大熊猫等国家公园形成邻近、串联、飞地型的优先、潜在国家公园组，航空运输对远端国家公园的融入具有重要意义。

(4) 为增强交通设施对青藏高原国家公园群发展的支撑能力，应从外部可进入交通干线、内部支线路网及增开车次优化地面交通可达性；航空运输方面应优化县到机场的地面交通衔接、新增至少 14 座不同类型的通用机场、增设客源地到国家公园及国家公园间的航线航班等。此外，伴随川藏铁路等的建设与“一带一路”倡议的深化推进，在合理开拓客源市场的同时，更要注重维护国家公园地的生态保护，维护其区域主体功能。

5.2 不足与展望

首先,限于数据,航空与铁路之间未能有效结合,综合可达性有待进一步梳理,以最短时间成本表征国家公园的可达性可能也无法准确反映不同群体出行偏好需求,对本地居民出行需求与外来旅游者对不同国家公园感受等社会感知视角仍需加以结合^[39],为国家公园体系发展提供适应性对策借鉴;其次,优化配置的LSCP模型仅针对航空运输,未来可进行算法优化,以探索不同交通方式相结合下的最优配置方式与情景;再次,研究区旅游的季节差异明显,本文主要选取自2019年9月,对季度差异的探讨不够全面,应加强长期观测,以更好地把握规律性。

参考文献:

- [1]张海霞,汪宇明.可持续自然旅游发展的国家公园模式及其启示——以优胜美地国家公园和科里国家公园为例[J].经济地理,2010,30(1):156-161.
- [2]杨锐.生态保护第一、国家代表性、全民公益性——中国国家公园体制建设的三大理念[J].生物多样性,2017,25(10):1040-1041.
- [3]肖练练,钟林生,周睿,等.近30年来国外国家公园研究进展与启示[J].地理科学进展,2017,36(2):244-255.
- [4]田世政,杨桂华.中国国家公园发展的路径选择:国际经验与案例研究[J].中国软科学,2011(12):6-14.
- [5]王连勇,霍伦贺斯特·斯蒂芬.创建统一的中华国家公园体系——美国历史经验的启示[J].地理研究,2014,33(12):2407-2417.
- [6]张朝枝,曹静茵,罗意林.旅游还是游憩?我国国家公园的公众利用表述方式反思[J].自然资源学报,2019,34(9):1797-1806.
- [7]张玉钧,薛冰洁.国家公园开展生态旅游和游憩活动的适宜性探讨[J].旅游学刊,2018,33(8):14-16.
- [8]胡欢,章锦河,刘泽华,等.国家公园游客旅游生态补偿支付意愿及影响因素研究——以黄山风景区为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(12):2012-2022.
- [9]苏红巧,苏杨.国家公园不是旅游景区,但应该发展国家公园旅游[J].旅游学刊,2018,33(8):2-5.
- [10]孙尚志.论西南地区交通建设必要性与进入21世纪的路网格局[J].经济地理,1994,14(4):68-72.
- [11]金凤君,陈卓.1978年改革开放以来中国交通地理格局演变与规律[J].地理学报,2019,74(10):1941-1961.
- [12]汪德根,钱佳,牛玉.高铁网络化下中国城市旅游场强空间格局及演化[J].地理学报,2016,71(10):1784-1800.
- [13]宋金平.京九铁路沿线集镇发展研究[J].地理研究,1997(4):81-87.
- [14]Anthony DP,Andrew RG. Corridors,hybrids and networks:three global development strategies for high speed rail[J].Journal of Transport Geography,2015,42:134-144.
- [15]王峰,刘安乐,张斌丰,等.云南省交通优势度与旅游产业发展水平空间耦合态势研究[J].世界地理研究,2014,23(2):

- [16] 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[J]. 地理研究, 2003, (3):305-312.
- [17] 苗毅, 王成新, 吴莹, 等. 中国民航机场结构的时空演变特征及优化选择[J]. 经济地理, 2017, 37 (11):37-45.
- [18] 周宁, 郝晋珉, 邢婷婷, 等. 黄淮海平原地区交通优势度的空间格局[J]. 经济地理, 2012, 32 (8):91-96.
- [19] 金凤君, 王成金, 李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析[J]. 地理学报, 2008, 63 (8):787-798.
- [20] 阿荣, 陈才, 佟宝全, 等. 内蒙古地区基础设施支撑能力区域差异性[J]. 经济地理, 2017, 37 (9):36-46.
- [21] 王兆峰, 徐赛. 不同交通方式对旅游效率的影响与评价——以张家界为例[J]. 地理科学, 2018, 38 (7):1 148-1 155.
- [22] 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[J]. 地理学报, 2006, 61 (10):1 065-1 074.
- [23] 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[J]. 地理学报, 2017, 72 (12):2 252-2 264.
- [24] 宋正娜, 陈雯, 张桂香, 等. 公共服务设施空间可达性及其度量方法[J]. 地理科学进展, 2010, 29 (10):1 217-1 224.
- [25] 蒋海兵, 张文忠, 祁毅, 等. 区域交通基础设施可达性研究进展[J]. 地理科学进展, 2013, 32 (5):807-817.
- [26] 冯立新, 杨效忠, 姚慧, 等. 骨干交通设施对区域旅游空间格局的影响——以渤海海峡跨海通道为例[J]. 经济地理, 2011, 31 (2):189-194.
- [27] 刘军林, 尹影. 高铁交通体验对中小城市旅游空间结构的影响——以涪陵为例[J]. 经济地理, 2016, 36 (5):190-194.
- [28] 刘安乐, 王成, 杨承玥, 等. 边疆山区旅游城市的交通与旅游发展耦合关系——以丽江市为实证案例[J]. 经济地理, 2018, 38 (1):196-203.
- [29] 樊杰, 钟林生, 黄宝荣, 等. 地球第三极国家公园群的地域功能与可行性[J]. 科学通报, 2019, 64 (27):2 938-2 948.
- [30] 高兴川, 曹小曙, 李涛, 等. 1976—2016年青藏高原地区通达性空间格局演变[J]. 地理学报, 2019, 74 (6):1 190-1 204.
- [31] Gao X, Li T, Cao X. Spatial fairness and changes in transport infrastructure in the Qinghai-Tibet Plateau Area from 1976 to 2016[J]. Sustainability, 2019, doi:10.3390/su11030589.
- [32] 苗毅, 王成新, 袁玉珂, 等. 基于区域发展与出行满意度的山东省高速交通建设及优化布局[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34 (6):106-112.
- [33] 崔学刚, 方创琳, 张蔷. 山东半岛城市群高速交通优势度与土地利用效率的空间关系[J]. 地理学报, 73 (6):165-177.

-
- [34]Wang J, Mo H, Wang F, et al. Exploring the network structure and nodal centrality of China' s air transport network:a complex network approach[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(4):712-721.
- [35]Toregas C, Swain R, ReVelle C, et al. The location of emergency service facilities[J]. Operations Research, 1971, 19(6):1 363-1 373.
- [36]戴特奇, 张玉韩, 陶卓霖. 不同可达性目标下我国民航机场总规模测算[J]. 综合运输, 2013(12):14-18.
- [37]郭向阳, 穆学青, 明庆忠, 等. 旅游地快速交通优势度与旅游流强度的空间耦合分析[J]. 地理研究, 2019, 38(5):1 119-1 135.
- [38]张捷, 都金康, 周寅康, 等. 自然观光旅游地客源市场的空间结构研究——以九寨沟及比较风景区为例[J]. 地理学报, 1999, 54(4):357-364.
- [39]Wee B V. Accessible accessibility research challenges[J]. Journal of Transport Geography, 2016, 51:9-16.