基于多半径高斯两步移动搜索法的北京市多类型公共服务设施可达性分析

田浩正[1]，蒋晓涵[2]，张　宁[3,4*]，阿部都拉·阿力木江[5]，王少华[1]

1. 中国科学院空天信息创新研究院，遥感与数字地球全国重点实验室，北京 100101；
2. 兰州交通大学建筑与城市规划学院，兰州 730070；
3. 中国城市规划设计研究院，北京 100044；
4. 住房和城乡建设部遥感应用中心，北京 100835；
5. 中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101

摘　要：公共服务设施空间配置的均衡性直接关系城市运行效率、居民生活质量及公共服务公平。针对现有研究多聚焦单一设施类型、缺乏统一参数框架且难以刻画多类型设施差异化服务过程的问题，本文以北京市建成区为研究区域，选取医疗、教育、交通、购物、休闲及生活服务六类公共服务设施为研究对象，融合道路网络、人口分布、建成区及兴趣点等多源空间数据，构建多半径高斯两步移动搜索法（Multi-Radius Gaussian Two-Step Floating Catchment Area method，MRGS2SFCA）模型，对公共服务设施的覆盖格局与可达性特征进行系统分析。研究首先基于 POI 语义清洗与层级映射构建统一参数体系，将不同类型设施在服务半径、距离衰减与供给能力上的差异转化为可比较的模型参数；随后在统一需求空间单元上测度六类设施的可达性水平，并对其空间分布及结构差异进行综合比较。北京市公共服务设施整体呈现显著的“中心集聚-外围递减”格局，高覆盖、高可达性区域主要集中于东城区、西城区、朝阳区中部及海淀区南部等核心城区，而顺义、通州、大兴、房山以及延庆、门头沟等外围区域则存在不同程度的服务不足。六类设施虽均服从总体梯度结构，但空间组织方式存在显著差异：医疗与教育设施表现出较强的等级性和中心集聚特征，交通设施体现出较强的网络连续性，购物设施呈现多中心节点扩展格局，休闲设施分布相对离散，而生活服务设施则表现出高密度、广覆盖和较强的基层均衡性。研究表明，MRGS2SFCA 模型能够有效克服传统两步移动搜索法（2SFCA）在固定阈值与统一服务半径条件下对多类型设施刻画不足的问题，实现不同设施在同一分析框架下的可比表达。

关键词：公共服务设施；POI；可达性；MRGS2SFCA 模型
DOI: https://doi.org/10.3974/geodp.2026.05.04
CSTR: https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.05.04.

收稿日期：2026-04-22；**修订日期：**2026-09-10；**出版日期：**2026-10-25
基金项目：中华人民共和国科学技术部（2022YFC3800202）
***通讯作者：**张宁，中国城市规划设计研究院，zhangning@caupd.com
引用方式：田浩正，蒋晓涵，张宁等. 基于多半径高斯两步移动搜索法的北京市多类型公共服务设施可达性分析[J]. 全球变化数据学报，2026，10(5)：538–552. https://doi.org/10.3974/geodp.2026.05.04. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.05.04.

1 前言

公共服务设施作为支撑城市发展的基础性要素，在维持城市运行、提升居民福祉与促进社会公平方面发挥着关键作用。此类设施涵盖交通、医疗、教育、商业、文化与休闲等多个领域，直接服务于居民日常生活需求[1]。实现公共服务设施的空间均衡配置与供需协调，是提升城市宜居性和推动可持续发展的重要路径[2]。从全球层面看，这一目标与联合国可持续发展目标，尤其是“可持续城市与社区”高度契合[3]；从国家层面看，则呼应中国新型城镇化进程中对公共服务均等化与包容性发展的要求[4,5]。

在快速城市化背景下，北京市公共服务需求呈现出显著的多样化与动态化特征，同时设施供给在空间上的不均衡问题日益突出[6,7]。北京作为典型超大城市，具有空间尺度大、功能分区复杂、核心-外围差异显著等特征，不同区域在人口密度、就业活动、交通条件与服务需求方面存在明显差异，使得设施供给与需求之间的错位现象更加突出。仅依赖设施数量或人均指标，已难以准确识别城市内部真实的服务获取差异。

近年来，基于时空大数据的空间异质性分析、统计建模及指标体系构建逐渐成为监测公共服务设施覆盖与供需关系的重要技术路径。相关研究主要集中在三个方面：一是空间异质性刻画方法，如基于生活圈尺度的服务评价和基于移动数据的需求密度分析[6,7]；二是智能算法在设施优化中的应用，如商业求解器、启发式算法、深度强化学习及图卷积网络等[7−10]；三是融合 GIS 与空间统计方法对公共服务不均衡问题的量化测度[8,9]。与此同时，POI（Point of Interest）数据可用于精细描绘设施空间分布，人口数据可反映潜在需求规模，道路网络数据则为可达性分析提供基础，多源数据融合已成为研究城市公共服务供需关系的重要思路[11−13]。

然而，现有研究在多类型公共服务设施分析中仍存在两方面关键局限。其一，不同类型设施通常被分别测算，缺乏统一参数框架，导致结果虽能描述单类服务分布，却难以在同一尺度下进行横向比较，从而削弱了对城市整体服务结构的解释能力。其二，传统两步移动搜索法（2SFCA）虽然因兼顾供需平衡与计算可行性而被广泛应用，但其依赖固定服务半径与二值距离阈值，即在服务范围内视为完全可达、范围外视为不可达。这种“覆盖-不覆盖”的判定方式忽略了服务影响随距离连续衰减的客观规律，容易在城市边缘及低密度区域产生大量零值或近零值结果，从而低估外围区域的实际服务水平[14,15]。

以上局限在北京市城市环境下尤为明显。北京内部存在显著的核心-外围结构，中心城区设施密集、人口活动高度集聚，而外围地区设施布局相对稀疏、通勤距离较长。若仍采用固定阈值与统一服务范围，不仅会夸大中心区优势，也会低估边缘区域通过次级设施获得服务的可能性[16]。尤其当研究对象扩展为教育、医疗、交通、商业购物、生活服务与休闲娱乐等六类设施时，不同设施在服务覆盖尺度、供给能力、使用频率及空间吸引力方面差异显著，若采用统一半径或统一衰减机制，既难以体现设施层级差异，也难以准确刻画城市公共服务的复合结构[17−20]。

在此背景下，多半径高斯两步移动搜索模型（MRGS2SFCA）为复杂城市中的公共服务可达性分析提供了更具解释力的方法路径。相较于传统 2SFCA，MRGS2SFCA 通过引入高斯距离衰减函数、多层级服务半径及差异化设施权重，对传统模型进行了结构性改

进。该模型将可达性从“是否覆盖”的二值判定转化为“随距离连续变化”的权重过程，有效缓解了固定阈值带来的截断效应；同时通过多尺度服务范围刻画不同等级设施的空间影响，并结合分级权重反映设施服务能力差异，从而更真实地描述城市内部服务供给与需求之间的空间交互关系。总体来看，MRGS2SFCA 为北京市多类型公共服务设施供需分析提供了更加适宜的方法基础，也为揭示其空间异质性与供需不匹配格局提供了新的分析框架。

2 研究方法

2.1 研究思路

本研究以北京市 16 个区为研究范围，围绕公共服务设施供需关系的空间刻画，构建了一个融合多源数据与多方法分析的研究框架（图 1）。首先，整合人口数据、路网数据、建筑轮廓数据和六类公共服务设施 POI 数据，并依据北京市行政边界与建成区范围进行统一裁剪和预处理；在此基础上，以道路分割建成区形成地块单元，并筛选人口数量大于 100 的地块作为研究对象，以保证分析单元能够真实反映居民活动与服务需求。其次，对 POI 数据进行语义清洗与分类整合，将其划分为教育、医疗、交通、商业购物、生活服务和休闲娱乐六类设施，并结合设施服务范围、服务对象和供给能力构建层级参数体系。随后，在空间分析阶段，综合采用建成区分析、核密度分析和多半径高斯两步移动搜索法（MRGS2SFCA）对北京市公共服务设施进行研究：其中，建成区分析用于界定有效研究空间，核密度分析用于揭示六类设施的空间集聚格局，MRGS2SFCA 模型用于测度不同设施在统一空间尺度下的可达性及供需匹配关系。最后，从六类公共服务设施的分布特征、可达性格局及 MRGS2SFCA 模型在北京多类型设施研究中的适用性三个方面，对研究结果进行综合分析与评价，从而为北京市公共服务设施优化配置和精细化治理提供

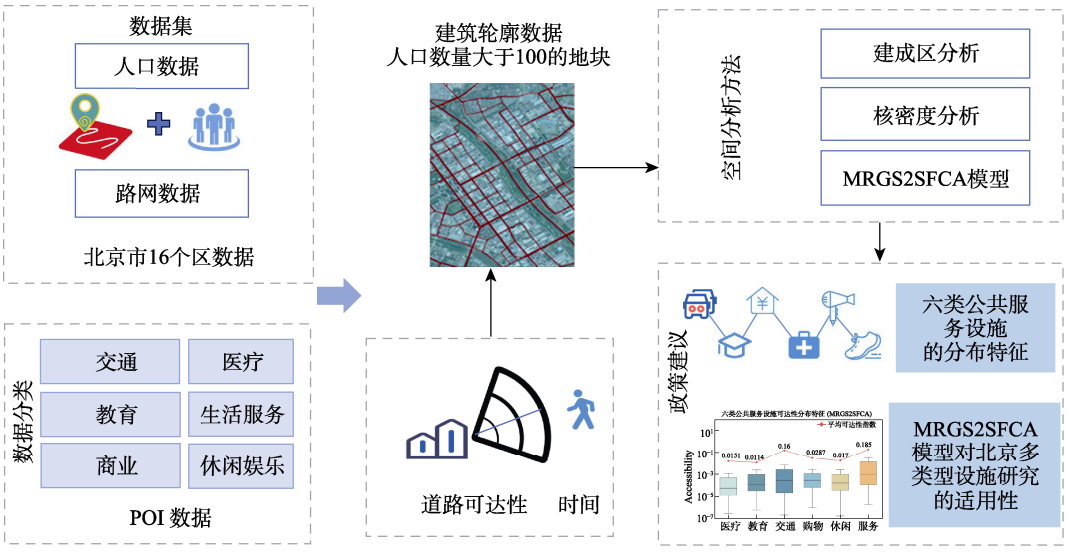


图 1 研究技术路线图

方法支撑。

2.2　数据采集与预处理

2.2.1　城市边界与建成区提取

本研究所使用的基础数据包括行政边界数据、人口数据、道路网络数据及多源遥感影像数据。北京市行政边界矢量数据来源于国家地理信息公共服务平台[1]，访问日期为 2026 年 2 月 2 日，用于界定研究区域范围及相关空间数据裁剪。北京市建成区边界数据由住房和城乡建设部遥感应用中心提供，为应用于 2025 年度城市体检工作的建成区边界成果，用于确定本研究的有效城市建成空间。

为保证不同数据之间的空间一致性，对行政边界、建成区边界、人口、道路网络及 POI 等数据进行统一坐标转换和空间匹配，并统一至 CGCS2000 3 Degree GK CM 117E 坐标系统。在此基础上，将道路网络与建成区进行叠加，并利用道路分割形成城市“地块”单元；随后，将人口数据关联至地块属性表，并筛选人口数量大于 100 的地块作为最终研究对象[21]于住房城乡建设部历史文化遗产监测重点实验室中完成。

2.2.2　道路网络

本研究中道路网络数据来源于 OpenStreetMap[2]，访问日期为 2026 年 4 月 2 日。首先，从该平台获取北京市道路网络的矢量数据，并依据北京市行政边界对数据进行裁剪，以提取研究区范围内的道路信息。随后，根据道路属性字段对道路要素进行整理，将双线道路合并为单线表示，以提高网络结构的一致性。

在数据预处理过程中，构建了道路网络拓扑规则，对数据进行拓扑检查与修复，以消除孤立道路段、悬挂节点及断裂连接等问题，从而保证道路网络的连通性与分析可靠性。

2.2.3　人口数据

人口数据来源于 WorldPop[3]，访问日期为 2026 年 4 月 2 日，采用联合国校正的“Unconstrained”数据产品，空间分辨率为 100 m×100 m。数据首先投影至 CGCS2000 3 Degree GK CM 117E 坐标系统，并依据北京市行政边界进行裁剪，以保证与研究区空间范围一致。

随后，将人口栅格数据通过空间叠加方法映射至地块单元，实现人口数据与空间分析单元的一致化表达。

2.2.4　POI 数据

本研究中公共服务设施数据来源于 Amap 开放平台[4]，访问于 2026 年 4 月 2 日。通过 API 接口获取北京市范围内的兴趣点（POI）数据（表 1），并对其进行坐标转换与格式标准化处理，使其统一至 CGCS2000 3 Degree GK CM 117E 坐标系统。

---

[1] https://www.webmap.cn.
[2] https://www.openstreetmap.org.
[3] https://www.worldpop.org.
[4] https://lbs.amap.com.

在数据处理过程中，采用关键词检索与空间筛选相结合的方法，对 POI 数据进行分类整理，选取教育、医疗、交通、商业购物、生活服务与休闲娱乐等与居民日常生活密切相关的设施类型。随后，在 ArcGIS Pro 平台上对 POI 数据进行清洗、去重及空间校正，以保证数据质量。

表 1 POI 数据的类型和子类型及其最大传输周期

类型	亚型	代码	生命圈的最大交通时间
教育	幼儿园	160101	5 分钟
	小学	160102	10 分钟
	中学	160103	15 分钟
医疗	综合医院	170101	15 分钟
	专科医院	170102	15 分钟
	养老院和孤儿院	170201	15 分钟
交通	地铁站	230111	15 分钟
	公交车站	230112	10 分钟
商业购物	购物中心	130102	15 分钟
	超市	130106	10 分钟
生活服务	理发洗浴	140300	15 分钟
	电讯营业厅	140201	15 分钟
休闲娱乐	公园	180304	15 分钟
	广场	180306	15 分钟

2.3 数据结构与变量设定

需求侧采用栅格化人口数据表示空间需求强度，每一需求单元以人口规模 P_k 表征潜在服务需求，其数值来源于字段 grid_code 。该变量在模型中直接参与供需比计算，用于反映不同空间单元的需求规模差异。供给侧由 6 类设施构成，各类设施在语义清洗与分类后形成结构统一的数据形式，每一设施单元 j 均包含服务半径（ *Radius_D* ）、距离衰减参数（ σ ）及供给能力（ *Supply_C* ）三个核心参数。*Radius_D* 用于限定服务作用范围，σ 用于刻画服务影响随距离变化的衰减过程， *Supply_C* 用于反映设施的相对服务能力。上述参数均基于 POI 中类分类结果进行赋值，以保证不同设施在模型中的表达具有一致的逻辑基础[22]。

2.4 层级划分与参数体系构建

为避免直接按设施类别赋予参数所带来的主观性，本研究引入层级划分对不同类型设施进行统一表达。层级划分以设施的服务覆盖尺度与服务对象范围为依据，将设施划分为 5 个等级（L1–L5）。其中，能够跨区域提供服务、覆盖范围较广的设施被划为高层级，而服务范围局限于局部空间、以日常需求为主的设施划为低层级。该划分方式使不同类型设施在统一尺度下转化为可比较的分析单元，从而为参数设定提供基础。

在层级体系下，服务半径、距离衰减参数与供给能力之间形成一致的对应关系：服务半径随层级提升而增大，以反映高层级设施更广的服务范围；距离衰减参数与服务半径保持同一量级，使服务影响在空间上呈现连续递减；供给能力随层级提升而增加，用以体现不同设施在服务供给上的差异。三类参数的协同设定，使模型能够同时表达服务范围、服务强度与空间衰减机制[23]。

2.5　距离测度与空间一致性处理

为保证空间距离计算与模型参数设定的一致性，所有空间数据在计算前统一投影至同一米制坐标系，使服务半径（ *Radius_D* ）与距离衰减参数（ σ ）具有统一的度量单位。在此基础上，采用欧氏距离刻画需求点与设施点之间的空间关系，其表达形式为：

$$d_{ij}=\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2} \tag{1}$$

式中，d_{ij} 表示需求点 i 与设施点 j 之间的空间距离，(x_i,y_i) 与 (x_j,y_j) 分别为对应点的平面坐标。采用欧氏距离的主要考虑在于，其能够在统一空间参考下直接反映设施与人口的空间分布关系，并在计算效率与稳定性之间取得平衡，从而适用于多类型设施的大规模可达性分析。同时，在引入高斯衰减函数的前提下，距离对服务影响的作用以连续形式表达，使欧氏距离能够满足模型对空间梯度变化的刻画需求[24]。

2.6　MRGS2SFCA 模型实现与多类型耦合

在前述数据结构与层级参数体系基础上，本研究采用改进的高斯两步浮动搜寻法测度公共服务设施可达性。需求侧以人口栅格表示空间需求强度，每个需求单元以人口规模（ P_k ）表示潜在服务需求；供给侧由六类公共服务设施构成，每个设施单元包含服务半径（ D_j ）、距离衰减参数（ σ_j ）和供给能力（ S_j ）三个核心参数。为保证不同设施类型之间的可比性，各设施首先依据服务覆盖范围和服务层级映射至统一的层级体系，并继承相应参数配置。

模型计算包括两个步骤。首先，以设施为中心计算供需比：

$$R_j=\frac{S_j}{\sum_{k\in\{d_j\leqslant D_j\}}P_k\cdot\exp\left(-\frac{d_{xj}^2}{2\sigma_j^2}\right)} \tag{2}$$

式中，R_j 表示设施 j 的供需比，S_j 表示设施供给能力，P_k 表示服务范围内需求单元 k 的人口规模，d_{xj} 为需求单元与设施之间的欧氏距离，d_j 为设施服务半径，σ_j 为距离衰减参数。

该步骤通过对服务半径范围内的人口需求进行距离加权累积，衡量设施所承担的服务压力。随后，以需求点为中心计算综合可达性：

$$A_i=\sum_{j\in\{d_j\leqslant \mathrm{D_i}\}}R_j\cdot\exp\left(-\frac{d_j^2}{2\sigma_j^2}\right) \tag{3}$$

式中，A_i 表示需求点 i 的可达性水平，反映其在综合考虑设施供给能力和空间距离影响后的服务获取程度。计算过程中采用高斯衰减函数对距离进行连续加权，使设施影响力随距

离增加逐渐减弱，从而避免传统固定阈值方法产生的边界突变问题。

在此基础上，对医疗、教育、交通、商业购物、休闲娱乐和生活服务六类设施分别进行独立测算，并将结果统一映射至同一需求单元。由于各类设施采用一致的层级参数体系和计算框架，因此所得可达性结果具有直接可比性，能够从统一尺度揭示不同公共服务系统的空间分布特征与供给差异，为后续公共服务均衡性评价与空间优化分析提供基础支撑[25–27]。

3 数据结果分析

3.1 北京市公共服务设施覆盖的空间分布

本研究以北京市建成区为研究区域（图 2）。北京市作为中国的首都和典型超大城市，人口规模庞大，经济发展水平高，是我国城市化水平最高、功能结构最为复杂的城市之一。在长期城市扩展过程中，北京逐步形成了以中心城区为核心、向外围梯度扩展的空间结构，不同区域在人口分布、土地利用及公共服务设施配置等方面呈现出显著差异。北京市建成区作为人口活动高度集聚与公共服务需求最为集中的核心空间单元，不仅承载着多样化的城市功能，也是各类公共服务设施布局最为密集的区域。随着城市化进程的持续推进以及人口结构与生活方式的转变，北京市公共服务需求逐渐呈现出多样化、分层化与动态演化特征。然而，与需求快速变化相比，公共服务设施供给在空间上的响应仍存在一定滞后，整体上表现为中心城区资源高度集聚，而外围区域在设施数量、服务能力及可达性方面仍存在不同程度的供给不足，反映出明显的空间不均衡特征。

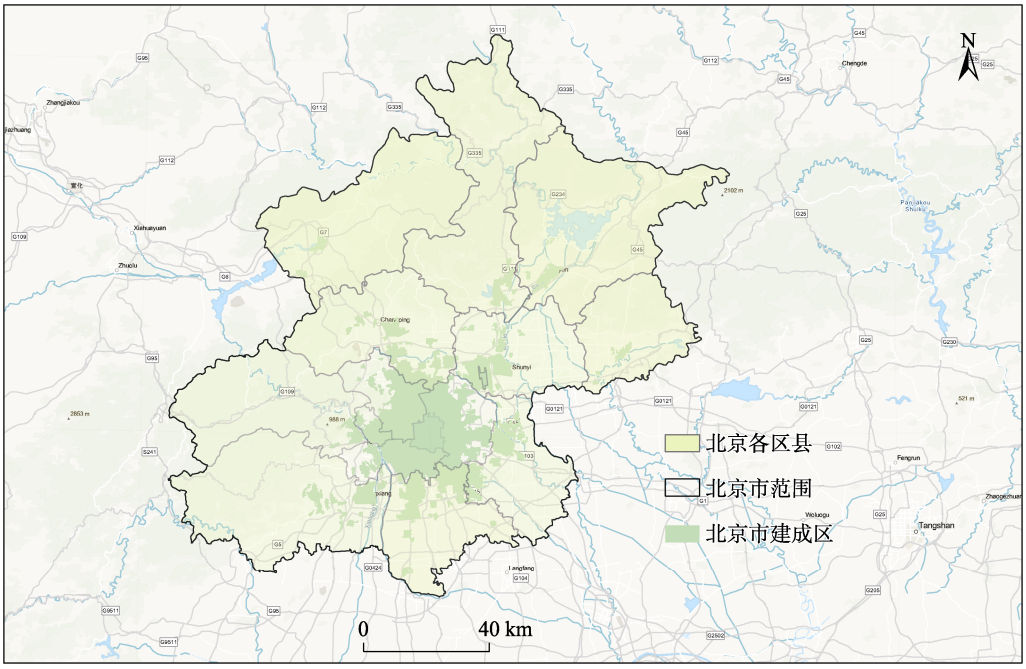


图 2 北京的行政边界和建成区分布图

从空间结构来看，北京市内部存在明显的功能分区特征，包括以东城区、西城区为代表的核心功能区，以朝阳区、海淀区为代表的高密度发展区，以及昌平、顺义等快速发展区域。不同区域在经济发展水平、人口密度及交通可达性方面差异显著，使得公共服务设施的供需关系呈现出复杂的空间异质性特征。

因此，选取北京市建成区作为研究对象，能够在典型超大城市背景下揭示公共服务设施供需关系与空间异质性的内在机制，为后续基于多源数据的空间分析与设施优化提供具有代表性的研究基础。

图 3 展示了北京市公共服务设施覆盖得分在地块尺度上的空间分布。从图中可以看出，不同覆盖得分等级（1–7）的空间分布与北京市城市结构高度一致，整体呈现出显著的“中心集聚-外围递减”特征。高值区域（6–7 级）主要集中于城市核心区域，包括东城区、西城区及朝阳区中部、海淀区南部等地，这些区域人口密度高、功能集聚程度强，公共服务设施覆盖水平较高。

从核心城区向外围区域扩展，覆盖得分等级逐渐降低。在近郊区域，如丰台区、石景山区及昌平区南部，地块多表现为中等等级（3–5 级）；而在远郊区域，如顺义区、通州区、大兴区及房山区，覆盖得分进一步降低，多为低等级（1–3 级）。此外，在延庆区和门头沟区等山区，整体呈现低值集聚特征，公共服务设施覆盖水平较低。

总体来看，北京市公共服务设施覆盖呈现出明显的空间梯度结构，高值区集中于核心城区，低值区分布于城市外围及生态区域，反映出设施配置与人口分布及城市功能结构之

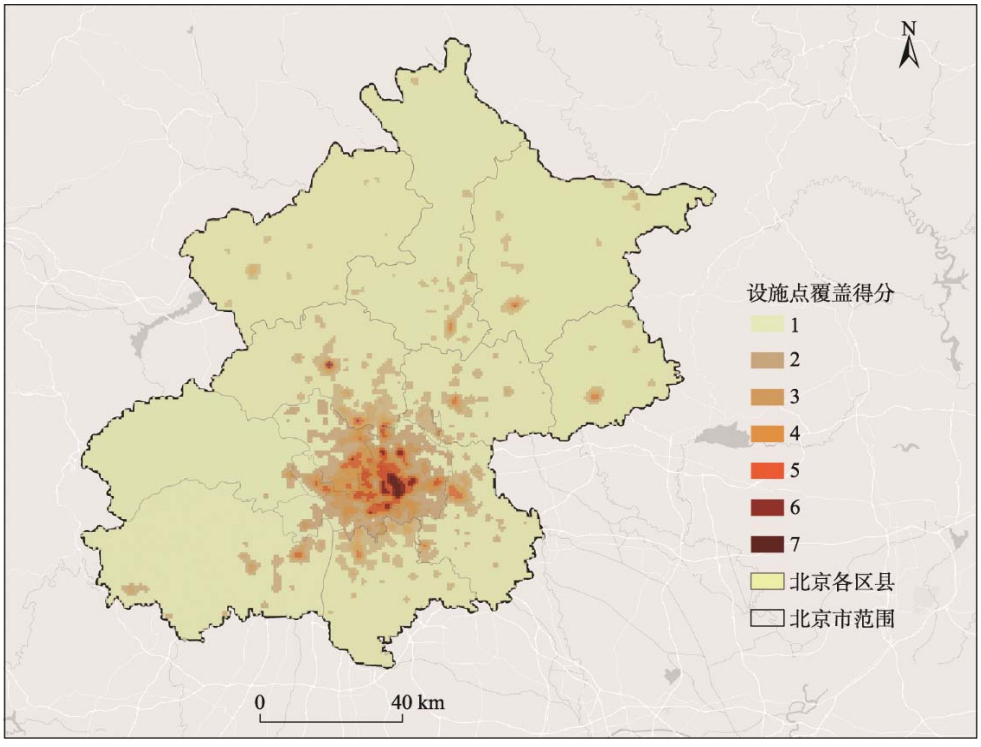


图 3　北京市公共服务设施综合覆盖得分图（2026）

间的显著空间耦合关系。

图 4 展示了北京市六类公共服务设施的核密度空间分布特征。总体来看，不同类型设施的空间分布均呈现出显著的“中心集聚-外围递减”格局，但在集聚强度与扩散范围上存在明显差异。

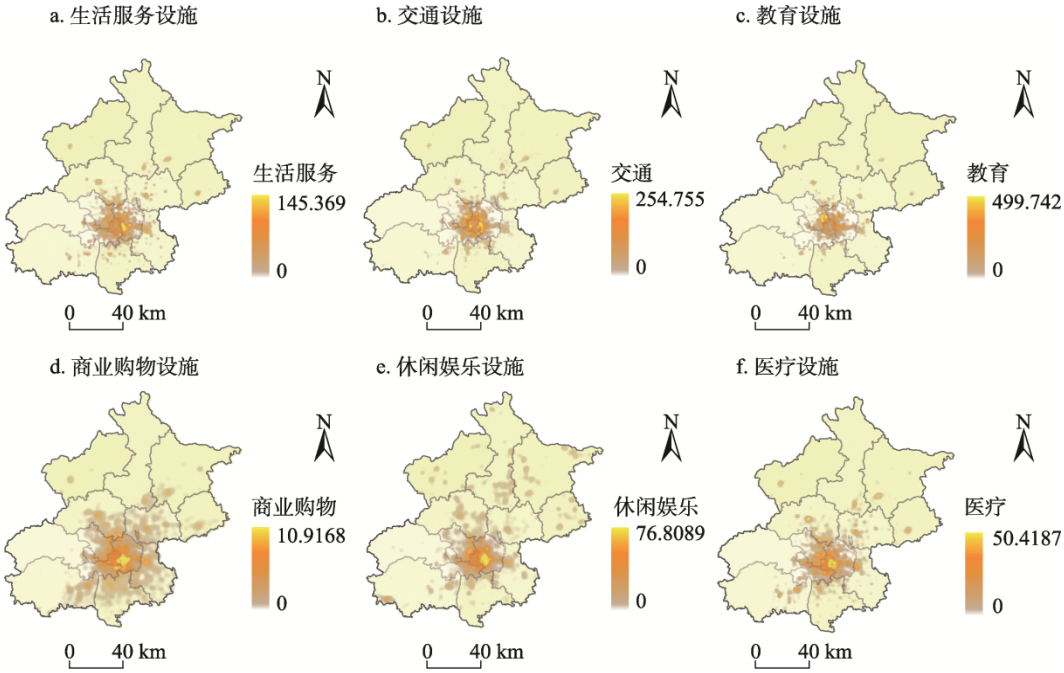


图 4 北京市六种 POI 的核密度指数分布图（2026）

从教育设施分布来看，其高密度区域主要集中于中心城区，尤其在东城区、西城区及海淀区南部形成明显集聚，向外围呈快速衰减趋势，表明优质教育资源高度依附于核心城区。休闲娱乐设施的分布范围相对更广，在中心城区形成高值区的同时，在部分近郊区域亦出现零散次级热点，反映出其服务对象具有一定的空间扩散性。

医疗设施整体呈现出“多核心+中心强化”的分布特征，除中心城区高密度集聚外，在通州、昌平等区域亦存在局部高值点，说明医疗资源在空间上具备一定的均衡布局趋势，但总体仍以核心城区为主导。商业购物设施的核密度最高且集聚范围最大，在中心城区形成显著高值核心，并沿主要城市发展轴向外扩展，体现出商业活动对人口与交通的高度依赖。

生活服务设施分布与商业设施相似，但集聚强度略低，呈现出以中心城区为核心、向近郊逐步扩散的空间格局。交通设施则表现出较强的网络化分布特征，在中心城区形成高密度节点的同时，沿主要交通廊道向外围延伸，空间连续性较强，反映出交通基础设施对城市空间结构的支撑作用。

总体而言，北京市六类公共服务设施 POI 在空间上均呈现出明显的集聚特征，但不同

设施在集聚程度、扩散范围及空间均衡性方面存在差异：商业购物与生活服务设施集聚最为显著，教育设施与医疗设施次之，而休闲娱乐设施与交通设施相对更具空间扩展性。这一差异反映出不同类型公共服务设施在功能属性、服务对象及选址机制上的差异，同时也揭示了北京市公共服务设施配置的空间异质性特征。

在此基础上，各类 POI 根据其中类语义映射至对应层级，并继承相应参数，从而完成“语义分类-层级映射-参数赋值”的转换过程。统一的层级参数体系如表 2，图 5 所示。

表 2　北京市公共服务设施层级参数映射关系对照表（2026）

层级	服务特征	服务半径 (m)	σ (m)	供给系数
L1	城市级核心设施（跨区域服务）	8,000–12,000	2,500–3,500	4–5
L2	区域级重要设施（跨片区服务）	5,000–8,000	1,500–2,500	3–4
L3	中尺度设施（街道/片区服务）	3,000–5,000	1,000–1,500	2–3
L4	社区级设施（局部服务）	1,000–3,000	500–1,000	1–2
L5	邻里级设施（微观日常服务）	300–1,000	200–500	1

通过该层级体系，图 5 显示不同类型设施在服务能力与空间作用范围上的差异被转化为统一参数表达，从而提高模型的一致性与可解释性。

3.2　六类公共服务设施可达性的空间分布特征

基于 MRGS2SFCA 模型计算结果，北京市六类公共服务设施在空间上均呈现出由中心城区向外围递减的总体格局，但不同类型设施在衰减强度与空间连续性上存在显著差异（图 6）。

医疗设施表现为典型的中心集聚型结构，高值区主要集中于核心城区，外围区域可达

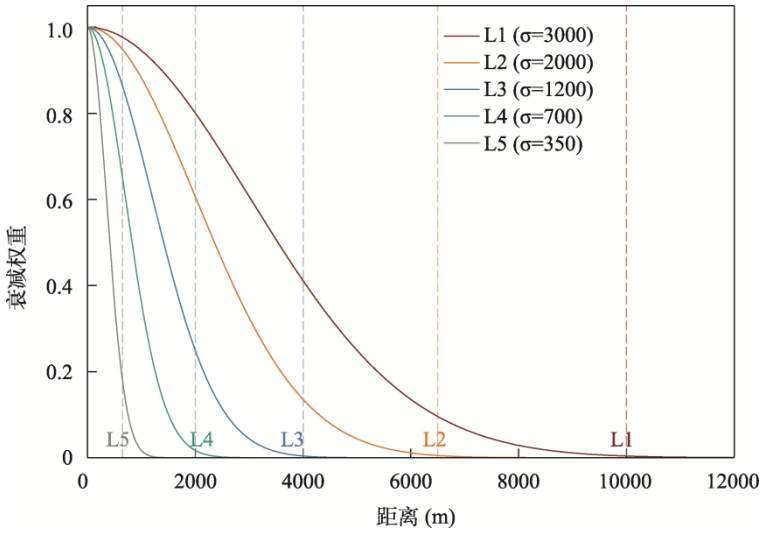


图 5　层级参数作用机制示意图

性迅速下降，说明其服务的供给受等级体系与资源集聚的双重约束；教育设施整体格局与医疗相似，但在部分副中心与组团区域形成局部次高值，反映出教育资源在空间配置上具有一定的扩散特征，但仍未形成均衡覆盖。交通设施呈现出连续性更强的高值网络结构，高可达性区域沿主干交通廊道与节点展开，空间过渡相对平缓，说明交通设施在网络结构中的连接作用能够有效缓解空间阻抗。购物设施则表现为多中心分布特征，高值区除核心城区外，在若干区域性商业节点亦有显现，表明其空间布局更依赖市场驱动与消费需求分布。休闲设施整体分布较为离散，高值区呈点状或片状分布，缺乏连续覆盖，显示其供给更受特定资源禀赋与功能定位影响。生活服务设施则呈现出最为均匀的空间分布特征，高值区覆盖范围较广，空间衰减相对缓和，说明此类设施在日常生活需求驱动下形成了较为密集且稳定的基层服务网络。

从整体上看，六类设施虽均表现出中心-外围梯度结构，但其形成机制并不一致：医疗与教育更依赖等级体系与行政配置，交通体现网络结构的连续性，购物体现市场导向的节点集聚，休闲受资源与功能约束呈离散分布，而生活服务则以高密度、广覆盖为特征。这种差异说明，不同类型公共服务在同一城市空间中并非同质扩展，而是通过不同机制共同塑造了城市服务格局。

3.3 六类设施可达性的综合对比与结构差异

在空间分布分析的基础上，对六类设施可达性进行统计对比，可以更清晰地揭示其整体水平与分布特征之间的差异（图 7）。从平均可达性水平来看，生活服务与交通设施明显高于其他类型，其中生活服务设施的平均值最高，交通设施次之，表明两类设施在空间供给上具有更强的普遍性与可获取性；购物设施处于中等水平；医疗与教育设施整体偏低，反映其服务供给在空间上具有更强的选择性；休闲设施亦处于较低水平，说明其覆盖范围与服务连续性相对有限。

从分布形态来看，各类设施在离散程度上存在显著差异。交通与生活服务设施的箱体范围较为集中，说明其可达性在不同区域之间差异相对较小，体现出较高的空间均衡性；医疗与教育设施的分布则呈现更明显的长尾特征，高值区域集中但低值区域广泛存在，表明其空间不均衡程度较高；购物与休闲设施则介于两者之间，其分布既包含一定范围的中等可达性区域，又存在局部高值与低值并存的情况。结合图 6 可以进一步理解，这种统计差异正是由各类设施不同的空间组织方式所导致：网络型与高密度型设施更易形成均衡分布，而等级型与资源依赖型设施则更容易产生空间差异。

综合来看，图 7 所反映的统计结果并非对空间分布图的简单重复，而是对六类公共服务设施可达性差异的量化表达。不同设施类型在平均水平、箱体范围和上下须长度上呈现出明显差别，说明北京市公共服务供给并非均质分布，而是具有较强的类型分化特征。其中，交通与生活服务设施的平均可达性较高，同时箱体和上下须也相对较长，表明其在整体覆盖水平较高的基础上，仍存在较为明显的空间梯度和区域分化，即不同地区之间并非完全均衡，而是表现为由高到低的连续变化。相比之下，购物与休闲设施处于中等水平，

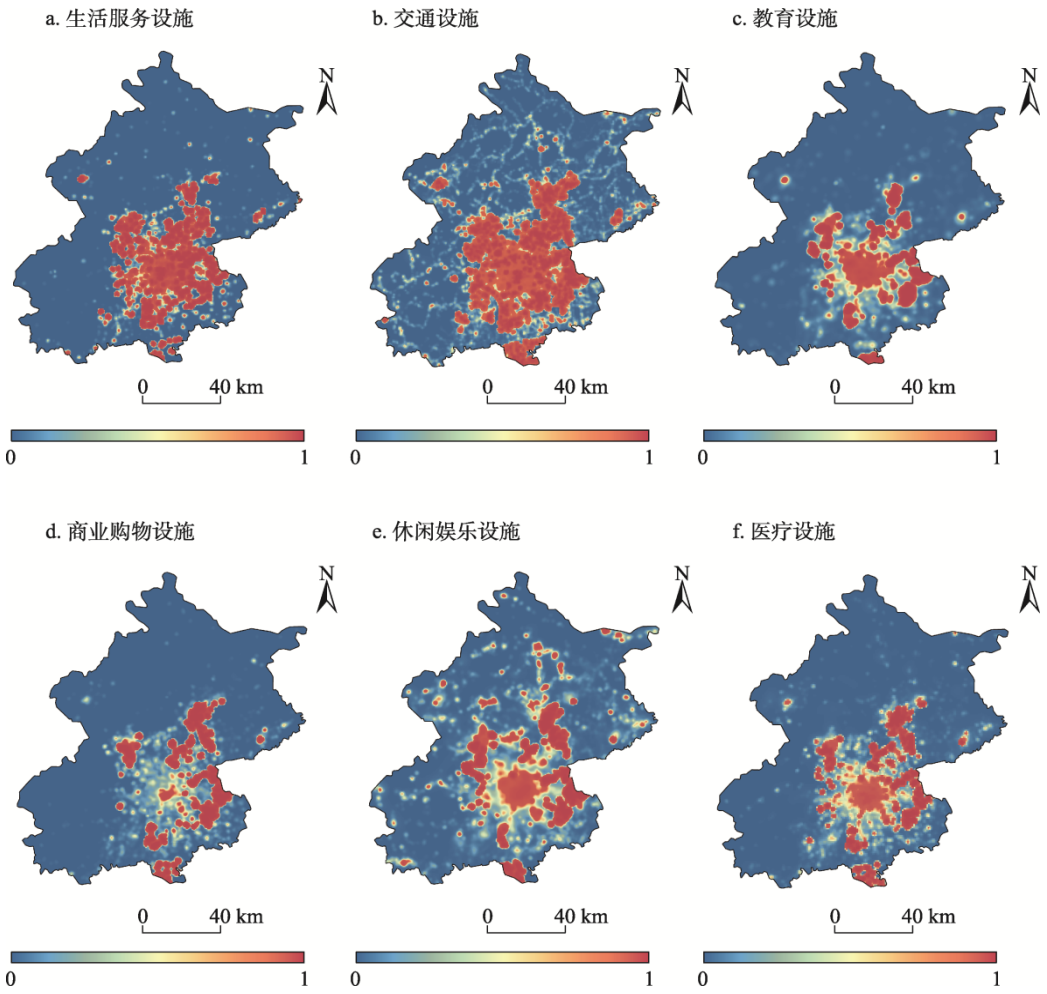


图 6　基于 MRGS2SFCA 的北京市六类公共服务设施可达性空间分布图（2026）

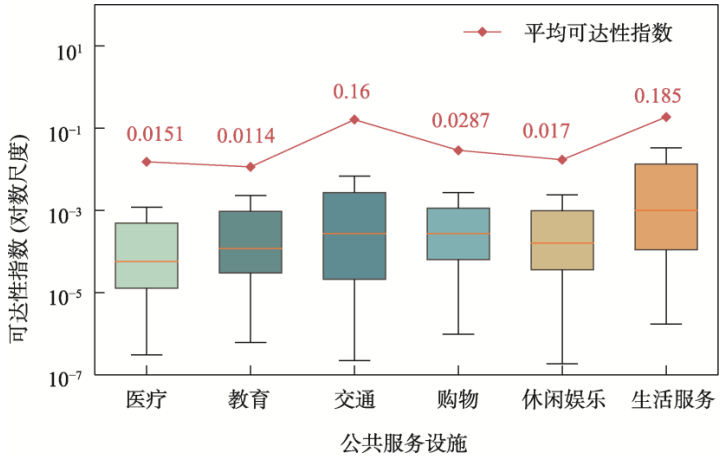


图 7　北京市六类公共服务设施可达性分布特征图（2026）

分布形态介于前两类与医疗、教育之间，说明其空间组织更多依赖若干节点支撑，具有一定的集聚性与不均衡性。医疗与教育设施的平均可达性相对较低，且低值区间延伸较明显，反映出其服务供给在空间上更为集中，部分区域仍存在较强的可达性不足。由此可见，北京市公共服务体系整体呈现出基础性服务覆盖较广但内部仍有梯度差异，专业性服务则更集中、空间差异更突出的结构特征，这一结果也为后续从供给机制与空间优化角度展开分析提供了依据。

4 讨论与结论

基于2026年的数据分析，北京市公共服务设施在空间上总体呈现显著的“中心集聚-外围递减”格局，高覆盖、高可达性区域主要集中于东城区、西城区、朝阳区中部及海淀区南部等核心城区，而顺义、通州、大兴、房山及延庆、门头沟等外围区域则不同程度存在服务不足。这一格局与北京市长期形成的核心-外围城市结构高度一致，反映出公共服务设施配置与人口密度、土地开发强度及功能分区之间存在显著耦合关系。进一步分析表明，六类设施虽均服从总体梯度结构，但其空间组织方式与形成机制存在明显差异：医疗与教育设施表现出较强的等级性和中心集聚特征，交通设施体现出较强的网络连续性，商业设施呈现多中心节点扩展格局，休闲设施分布相对离散，而生活服务设施则表现出高密度、广覆盖和较强的基层均衡性，说明北京市公共服务体系并非单一均质系统，而是由不同服务尺度、供给机制和功能属性共同塑造的复合结构。基于此，本文认为传统两步移动搜索法在固定阈值和统一服务半径条件下，难以准确刻画多类型设施在服务范围、空间吸引力和供给能力上的差异；相比之下，MRGS2SFCA通过引入连续距离衰减、多尺度服务范围与分级权重，实现了不同设施在同一分析框架下的可比表达，更能真实反映超大城市内部公共服务供给的空间异质性及供需不匹配格局。总体来看，北京市公共服务体系呈现出“高频基础性服务覆盖相对较广，专业性与等级性服务空间差异更为突出”的结构特征，本文构建的分析框架不仅有助于揭示超大城市公共服务供给的空间分异规律，也可为北京市公共服务设施优化配置、生活圈建设和精细化城市治理提供方法支撑与实证依据。

作者分工：田浩正收集数据并撰写了论文；蒋晓涵、阿部都拉·阿力木江验证了数据，并做了方法设计；张宁处理数据并撰写了论文的部分内容；王少华审核、指导、修改并完善了论文。

致谢：感谢住房城乡建设部历史文化遗产监测重点实验室对本研究的数据和技术支持。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

[1] 李扬, 郭成玉, 王磊. 中国城市公共服务供给水平的空间格局及其影响因素[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 145–156.

[2] 吴培培, 朱小川, 王伟. 上海市公共服务功能设施供需匹配研究——基于居民需求异质性视角的分析[J]. 城市问题, 2023(4): 87–95.

[3] Bennett, J., Iossa, E. Building and managing facilities for public services [J]. *Journal of Public Economics*, 2006, 90(10–11): 2143–2160.

[4] 高旸. 基本公共卫生服务供给对消费升级的影响研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2025.

[5] 魏新月, 田伟腾. 城市公共服务设施空间布局、人才流入与城市空间效率[J]. 统计与信息论坛, 2025, 40(4): 115–128.

[6] 赵美风, 张蓝青, 汪德根. 生活圈视角下城市公共服务设施配置分异及影响因素——基于京津冀地区不同规模城市比较[J]. 城市发展研究, 2024, 31(10): 77–86+107.

[7] Liang, H. J., Wang, S. H., Li, H. L., *et al*. Sponet: solve spatial optimization problem using deep reinforcement learning for urban spatial decision analysis [J]. *International Journal of Digital Earth*, 2024, 17(1): 2299211.

[8] 陈国强. 基于 MCLP 模型构建南宁市 AED 配置方案及验证[D]. 南宁: 广西医科大学, 2025.

[9] 徐国淞. 基于地理信息系统的辽宁省生态系统服务空间异质及驱动因素分析[J]. 北斗与空间信息应用技术, 2025(6): 16–20.

[10] 钟耳顺. 深度地图——论地图学与神经科学的结合[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 1988–2002.

[11] 常明园. 基于公平正义视角的郑州市核心区公共服务设施空间布局及驱动因素研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2024.

[12] 李化英, 张志斌, 陈龙等. 基于可达性的兰州新区公共服务设施空间配置研究[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(7): 125–134

[13] 李元芳, 乔伟峰, 杨春花等. 基于公共服务设施可达性的村镇建设格局评价及优化策略研究——以常州市金坛区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2024, 40(1): 106–113.

[14] 傅俐, 王勇, 曾彪等. 基于改进两步移动搜索法的北碚区医疗设施空间可达性分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(10): 1565–1575.

[15] 杨星童, 李飞雪, 罗婷瑜等. 基于改进两步移动搜索法的室内应急避难场所可达性研究——以深圳市都市核心区为例[J]. 灾害学, 2026(3): 217–226.

[16] 钮心毅, 陈晨. 郊区城镇基本公共服务空间均等和公正的测度[J]. 城市规划, 2018, 42(10): 42–50.

[17] 张陈岩, 李静泰, 刘垚等. 基于空间格局视角的菜子湖湿地生态系统服务价值及其驱动因素研究[J/OL]. 草业科学, 2026.

[18] 高巍, 李雅琪, 赵玫等. 基于 TOD 站域供需视角的北京城市公共服务设施可达性分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2025, 61(6): 1091–1104.

[19] 徐瑞良, 刘倩倩, 廖莹等. 基于 15 min 生活圈的公共服务设施覆盖—适配评价与优化——以南京市主

城区为例[J]. 地理科学进展, 2026, 45(1): 209–224.

[20] 韦韡, 蔡运坤, 陈晓璇. 基本公共服务供给如何影响中国居民消费？——基于机会不平等视角[J]. 消费经济, 2023, 39(1): 33–45.

[21] Zhang, Y., Li, Q. Z., Huang, H. P., *et al*. The combined use of remote sensing and social sensing data in fine-grained urban land use mapping: a case study in Beijing, China [J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(9): 865.

[22] Luo, W., Wang, F. H. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region [J]. *Environment and Planning B*: *Planning and Design*, 2003, 30(6): 865–884.

[23] 张慧. 基于复杂网络的城市道路网络层次分析及表达——以济南和北京两市为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2021.

[24] Luo, W., Qi, Y. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians [J]. *Health & Place*, 2009, 15(4): 1100–1107.

[25] McGrail, M. R., Humphreys, J. S. Measuring spatial accessibility to primary care in rural areas: improving the effectiveness of the two-step floating catchment area method [J]. *Applied Geography*, 2009, 29(4): 533–541.

[26] Dai, D. J. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: where to intervene? [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 102(4): 234–244.

[27] Wang, F. H. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: a methodological review [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102(5): 1104–1112.