

基于公平最大化目标的2020年北京市 养老设施布局优化

陶卓霖^{1,2}, 程 杨^{1*}, 戴特奇¹, 李 雪¹

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘 要:北京市正快速步入老龄化社会,机构养老作为一种重要的养老模式,对其布局公平性和合理性的研究具有重要的科学和现实意义。本文首先预测了自然增长状态下2020年北京市老龄人口的空间分布,然后建立设施布局优化模型,该模型以各需求点到养老设施的可达性差异最小化为目标;并采用粒子群优化算法求解,对北京市养老设施进行以公平最大化为目标的布局优化。研究表明,在公平最大化的目标下,首都功能核心区和城市功能拓展区(即中心城区)所提供的机构养老资源不能完全满足本地需求。城市发展新区在满足当地的机构养老需求之外,还将为中心城区提供大量机构养老服务,生态涵养发展区在满足本地需求的基础上还可为其他地区提供少量机构养老服务。该布局导向与《北京市养老设施专项规划》提出的布局建议相一致,且符合中心城区用地紧张、郊区自然环境较舒适的现实情况。研究结果能为养老政策的制定提供科学建议,所采用的方法也能为其他类型公共服务设施的布局优化提供借鉴。

关键词:空间优化;公平最大化;人口预测;粒子群优化算法;养老设施;北京

1 引言

中国正快速步入老龄化社会,养老形势十分紧迫。2000年北京市60岁以上老年人口为170万,占总人口的12.5%,到2013年时已高达279.3万,占总人口的21.2%(北京市老龄工作委员会办公室,2014)。在中国当前养老服务体系中,机构养老是一种重要的辅助养老模式(国务院办公厅,2011)。北京市政府制定的2020年“9064”养老发展目标规划,到2020年将为4%的老年人提供14~16万张床位,以满足其机构养老需求(北京市规划委员会等,2010)。2013年,北京市养老机构总床位数为6.93万张,与14~16万张的政策目标之间还存在较大差距。要达到这个目标,在2013-2020年间北京市平均每年约需新增1万张养老床位。公平性是公共服务设施合理布局的重要内容之一,其含义是为各区域居民提供均等的获取公共服务资源的机会。而

养老设施供给的巨大缺口对加强其合理布局提出了更高要求。从空间分布现状上看,北京市养老设施的可达性存在较大空间差异(Cheng, Wang et al, 2012; 陶卓霖等, 2014),说明其布局并不合理,亟待进行调整和优化。

现有关于机构养老服务的研究主要集中于养老服务建设(Zhan et al, 2005, 2006, 2008)、养老设施的空间分布特征(Smith et al, 1998; Andrews et al, 2002; 席晶等, 2015)、选择机构养老方式的老年人口特征(Gu et al, 2007; Cheng et al, 2011)、养老设施偏好(高晓路, 2013),及其使用养老设施的可达性(Cheng, Rosenberg et al, 2012; Cheng, Wang et al, 2012; 陶卓霖等, 2014)等方面,缺少关于养老设施优化布局的研究。一些研究探讨了医疗和其他类型设施的布局优化(Owen et al, 1998; Church, 1999; Gu et al, 2010; Wang, 2012),但这些经典的设施区位—分配模型主要关注设施布局的效率,并非以公

收稿日期:2014-12;修订日期:2015-09。

基金项目:国家自然科学基金项目(41301164)。

作者简介:陶卓霖(1990-),男,江西万载人,博士研究生,研究方向为区域与城市发展,E-mail: taozhuolin@pku.edu.cn。

通讯作者:程杨(1982-),女,四川自贡人,副教授,主要从事健康地理学研究,E-mail: chengyang@bnu.edu.cn。

引用格式:陶卓霖,程杨,戴特奇,等. 2015. 基于公平最大化目标的2020年北京市养老设施布局优化[J]. 地理科学进展, 34(12): 1609-1616.
[Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q, et al. 2015. Spatial optimization of residential care facility locations in 2020 in Beijing: maximum equity in accessibility[J]. Progress in Geography, 34(12): 1609-1616.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2015.12.009

平性作为目标。Wang等(2013)提出了以公平最大化为目标的设施布局优化模型,具体方法是使需求点到设施的可达性差异最小化,较好地解决了设施布局的公平性问题。

Tao等(2014)基于老年人口空间分布现状,采用公平最大化为目标的模型对北京市养老设施布局进行了优化。但由于北京市正处于快速老龄化阶段,不仅老年人口总量迅速增加,而且老年人口的空间分布也在发生变化。养老设施的规划建设往往需要一个过程,因此要求规划具备一定前瞻性,基于老年人口分布现状的养老设施布局优化往往难以满足这一要求。目前《北京市养老设施专项规划》的规划期限为2020年,若基于老年人口的分布现状进行优化布局,可能导致规划的设施布局与未来老年人口分布的不匹配,造成规划的不合理。

因此,本文将首先预测自然增长状态下2020年北京市老龄人口空间分布,然后建立以各需求点到养老设施可达性差异最小化作为优化目标的设施布局优化模型,采用粒子群优化算法求解,对北京市养老设施布局进行优化,以期为北京市养老设施规划提供科学依据。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文所使用的数据包括2000年和2010年北京市乡镇和街道级老年人口和区县级人口死亡率数据,2010年北京市道路网络数据,以及2013年北京市养老机构及床位数。本文对老年人口的年龄界定为60岁及以上。2000年和2010年北京市分年龄段老年人口数据及死亡率数据分别来自第五次和第六次人口普查数据。根据这些数据预测得到人口自然增长状态下2020年北京市乡镇与街道空间尺度下的老年人口,作为2020年养老设施需求规模及分布的依据。采用乡镇与街道一级居民点作为养老设施候选点,与《北京市养老设施专项规划》的布局建议相一致。乡镇与街道一级行政单元根据2010年第六次人口普查时北京市行政区划获得,共有324个乡镇与街道。养老机构数据来自北京市民政信息(<http://www.bjmzj.gov.cn>),截至2013年6月17日,采集到383所养老机构统计信息,空间数字化后建立北京市养老机构数据库。

路网数据采用北京市2010年的道路网络,参考已有研究中北京市实际道路速度(邓羽等,2012),将

4级道路的速度依次设置为50、40、30、20 km/h。采用乡镇与街道面图层的几何质心作为人口分布的质心。在ArcGIS平台上采用时间权重的网络分析工具计算每个需求点到每个候选设施点的最短出行时间,作为两者间出行成本。

本文使用中心城区、近郊区、远郊区的概念,其中,中心城区定义为东城、西城、朝阳、海淀、丰台和石景山区等六城区;近郊区为昌平、顺义、通州、大兴和房山区靠近中心城区的部分区域;远郊区为延庆、密云、怀柔、平谷、门头沟及房山区离中心城区较远的部分区域。

2.2 老年人口预测方法

老年人口的空间分布主要受自然增长和机械迁移的影响(易成栋等,2014)。易成栋等(2014)的研究表明,2010年北京市迁入的老年常住人口仅占老年人口总数的7%,即外来老年人口所占比例很小;因此,自然增长是北京市老年人口变动的主要因素。根据各地区人口年龄结构和死亡率现状可预测自然增长状态下的老年人口。

从人口普查中得到的人口死亡率数据为按5岁分年龄段,而本文预测的时间跨度为10年。对于某一年龄段的人口而言,从基期到预测期要经过两个年龄段,因此将本年龄段和后一年龄段的人口死亡率平均值作为该年龄段在基期和预测期之间的人口死亡率预测值,称为移动平均死亡率。例如,对于2010年60~64岁年龄段的人口,在2020年之前依次经历60~64岁和65~69岁两个年龄段,将这两个年龄段人口死亡率的平均值作为60~64岁年龄段在2010-2020年间的人口死亡率预测值。为得到预测期60岁及以上的老年人口,需要从基期50岁及以上的年龄段开始预测。

由于2020年老年人口死亡率未知,本文将根据2000年和2010年的死亡率变化趋势推测2020年死亡率。考虑到随着社会经济的发展和生活水平的提升,人口死亡率呈现出下降趋势,但北京市的人口发展阶段已进入低出生率低死亡率阶段,人口死亡率下降的趋势应有所放缓。因此假定2010-2020年间人口死亡率下降程度为2000-2010年间的一半,从而预测得到2020年人口死亡率。

对2010-2020年间各年龄段人口死亡率的处理分为两步:第一步,先对2010年和预测的2020年各年龄段的死亡率平均得到2010-2020年间各年龄段的平均死亡率;第二步,对第一步得到的平均死亡率进行前后两个年龄段的移动平均,可表示为:

$$a_i = \begin{cases} (b_i + b_{i+1})/2, & i < n \\ b_i, & i = n \end{cases} \quad (1)$$

式中: a_i 为第 i 个年龄段的移动平均死亡率, 即为预测采用的死亡率; b_i 和 b_{i+1} 分别为第 i 和 $i+1$ 个年龄段在 2010-2020 年间的平均死亡率; n 为年龄段的个数, 值为 8。根据各年龄段预测死亡率, 结合基期人口数据计算预测期的分年龄段人口数。计算公式为:

$$P'_i = P_i^0 \times (1 - a_i)^m \quad (2)$$

式中: P'_i 为第 i 个年龄段预测人口数; P_i^0 为第 i 个年龄段基期人口数; a_i 为第 i 个年龄段预测死亡率; m 为预测期长度, 在本文中为 10 年。将分年龄段预测值相加就得到各乡镇与街道的预测老年人口。

首先用 2000-2010 年的人口数据检验方法的有效性。根据 2000 年老年人口数据以及 2000 年和 2010 年死亡率数据, 预测得到 2010 年北京市老年人口为 238.3 万人, 而实际老年人口为 246.0 万人, 预测误差仅为 -3.13%, 表明该方法是有效的。预测结果表明, 在自然增长状态下, 2020 年北京市老年人口总数为 437 万人, 其中首都功能核心区、城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区分别占老年人口总数的 7.9%、50.2%、30.1% 和 11.8%。在乡镇与街道尺度下, 老年人口空间分布呈现中心城区较高、东南多于西北地区的趋势(图 1)。2010 年北京市老年人口分布则呈现出明显的中心往外递减的趋势, 近郊区老年人口密度整体较小, 且东南与西北地区差异不大等特点(陶卓霖等, 2014)。对比 2010 年和 2020 年的人口分布特点可知, 在自然增长状态下, 10 年间近郊区老年人口增长较快, 东南地区的增长明显快于西北地区。

2.3 公平最大化优化模型

设施空间可达性评价是公平最大化模型的基础。有关它的评价方法较多, 其中两步移动搜寻法和重力模型法最为常用。Wang(2012)将多种设施空间可达性评价方法综合为统一形式, 从而可以同时结合两步移动搜寻法和重力模型法的优点, 模型可表达为:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_j f(d_{ij})}{\sum_{k=1}^m D_k f(d_{kj})} \quad (3)$$

式中: A_i 是需求点 i 的可达性得分; S_j 是设施点 j 的设施规模; D_k 是需求点 $k(i=1, 2, \dots, n)$ 的需求规模, 本文中为老年人口; f 是一般化的距离衰减函数; d_{ij} (d_{kj}) 是 $i(k)$ 和 $j(k=1, 2, \dots, m)$ 之间的出行时间。本文

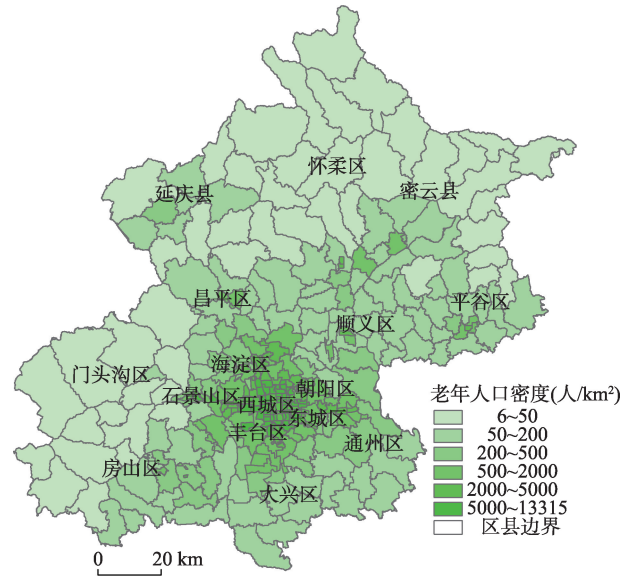


图1 2020年北京市乡镇与街道老年人口空间分布

Fig.1 Spatial distribution of elderly population at subdistrict level in Beijing in 2020

中 A_i 也可表示需求点 i 的平均每名老人可获得的养老床位数。

距离衰减函数 f 包括离散型或连续型。其中, 两步移动搜寻法采用离散型距离衰减函数, 即认为在某一阈值距离之内可达性均一化, 而在阈值之外则不可达。重力模型法则采用指数形式的连续型距离衰减函数。已有研究采用两步移动搜寻法评价了北京市养老设施空间可达性(Cheng, Wang et al, 2012)。研究表明, 养老设施和家庭住址之间的距离是老年人口选择养老设施时的一个重要考虑因素(Cheng, Rosenberg et al, 2012; 高晓路, 2013)。但原始形式的两步移动搜寻法忽略了搜寻半径以内的可达性差异, 而在其搜寻半径之内加入重力模型的距离衰减函数可以提高可达性评价的准确性。因此, 本文所采用的距离衰减函数 f 可写为:

$$f(d_{ij}) = \begin{cases} d_{ij}^{-\beta}, & d_{ij} \leq d_0 \\ 0, & d_{ij} > d_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: d_{ij} 是需求点 i 和 j 之间的出行时间; d_0 是出行时间阈值, 即搜寻半径; β 是距离衰减参数。

已有研究中 β 的取值大多位于 0.9 ~ 2.29 之间(Peeters et al, 2000)。如陶卓霖等(2014)在评价北京市养老设施可达性时将 β 设为 1; Tao 等(2014)在养老设施布局优化时对 β 取值进行了敏感性分析, 并对 β 取值为 1 时的结果进行了深入讨论。本文也对 β 取值进行敏感性分析。此外, 已有研究指出, 北京的老年人及其家庭成员接受的有效服务半径为 1~

1.5 h(Cheng, 2010),本文采用调查结果中老年人可接受半径的下限1 h作为养老设施的搜寻半径。

经典的区位配置模型关注设施布局的效率。其优化目标包括覆盖人口数最大化(最大覆盖模型)、设施数量最少化(位置集合模型)和需求点到设施的出行成本最小化(p-中位模型)等(Wang, 2012)。很少有研究将公平性作为设施布局优化的目标,其中一个重要原因是难以对设施布局的公平性进行建模(Wang et al, 2013)。Wang等(2013)提出了以需求点到设施的可达性差异最小化为目的的设施布局优化模型,从而实现了设施布局的公平最大化问题,该模型可表达为:

$$\min \sum_{i=1}^m (A_i - a)^2 \quad (5)$$

$$a = \sum_{i=1}^m \frac{D_i}{D} A_i = \frac{S}{D} \quad (6)$$

式中: A_i 是根据式(3)、(4)计算得到的可达性得分; a 是可达性的加权平均值; S 是总供给规模; D_i 为需求点 i 的需求规模; D 是总需求规模。该模型是非线性的二次规划问题,而传统的设施布局优化模型大多是线性的。

2.4 粒子群优化算法

本文采用粒子群优化算法求解公平最大化模型。粒子群优化算法最初由Kenned等(1996)提出,并得到了广泛的应用,可用来求解公平最大化目标的优化模型(Tao et al, 2014)。采用Malab中的粒子群优化工具箱运行粒子群优化算法。算法的参数采用工具箱的默认设定,并把最大迭代次数提增至3000以提升算法的优化效果(表1)。设施候选点为第六次人口普查中的324个乡镇与街道单元,为确保各粒子群所代表的总供给等于给定的总供给规模,将粒子群的维度设为323($\{P_1, P_2, \dots, P_{323}\}$),则 $P_{324} = S - P_1 - P_2 - \dots - P_{323}$ 。优化后得到最优的 P_1, P_2, \dots, P_{324} 值,即为324个乡镇与街道单元的最优养老设施床位供给数量。

表1 粒子群优化算法参数设置

Tab.1 Parameters in the particle swarm optimization (PSO) solution

参数	取值
粒子群个数	36
最大迭代次数	3000
加速常数 c_1, c_2	2, 2
X 取值范围	[0, 2500]
最大速度	$0.2 \times X$ 取值范围(2500)
粒子群维度	323

3 养老设施布局优化结果

根据《北京市养老设施专项规划》的政策目标,到2020年满足4%的老年人口选择机构养老方式的需求,本文将2020年北京市养老设施的总供给设定为2020年老年人口的4%,即17.5万张床位。

首先对距离衰减参数 β 取值进行敏感性分析,比较 β 不同取值时结果的差异。将 β 的取值区间设为0.4~1.4,以0.2为间隔设定了6个情景。计算了每个情景下现状和优化后养老设施可达性的标准差,现状标准差与优化后标准差的比值可反映优化效率,比例越大优化效率越高。由表2可知, β 取值越大,设施现状布局下的可达性标准差越大,这是因为 β 越大时,距离衰减效应越强,人们对设施的距离越敏感。最优可达性标准差随着 β 增大先减小后增大,说明优化结果对 β 取值的敏感性较强且较复杂,设定 β 取值时应更为谨慎。现状可达性标准差和最优可达性标准差的比值则先增大后减小。最优可达性标准差在 $\beta=1$ 时达到最小值,且现状可达性标准差与最优可达性标准差的比值在 $\beta=1$ 时最大,说明在 $\beta=1$ 时,优化后的养老设施布局下可达性差异最小,即公平性最大化目标得到最好的体现,而且与现状布局相比优化效率最高。因此,后文中将对 $\beta=1$ 时的优化结果作进一步分析和讨论。

优化结果中,布局在首都功能核心区、城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区的养老床位数分别占总量的2.7%、32.7%、48.5%和16.1%,接近一半的养老床位布局在城市发展新区(图2)。相比之下,老年人口的分布呈现由中心向外围递减的趋势。首都功能核心区和城市功能拓展区老年人口所占比例分别为7.9%和50.2%,提供的养老床位数比例却仅为2.7%和32.7%;而城市发展新区和生态涵养发展区老年人口比例为30.1%和11.8%,但养老床位数比例却达48.5%和16.1%,尤其是城市发展新区,养老床位数比例相较于老年人口比例

表2 现状和最优布局下北京市养老设施可达性标准差

Tab.2 Actual and optimized standard variation of accessibility to residential care facilities (RCFs) in Beijing

β	现状可达性标准差	最优可达性标准差	两者比例
0.4	0.0140	0.0045	3.1110
0.6	0.0153	0.0035	4.3088
0.8	0.0175	0.0025	7.0896
1.0	0.0207	0.0024	8.5163
1.2	0.0243	0.0030	8.2141
1.4	0.0280	0.0045	6.1728

高出了18.4%。

上述结果表明,在公平性最大化的目标下,中心城区所提供的机构养老资源不能完全满足本地需求;城市发展新区在满足当地的机构养老需求之外,还可为中心城区提供大量机构养老服务;生态涵养发展区也在满足本地需求的基础上还可为其他地区提供少量机构养老服务。其原因在于,根据北京市老年人口愿意接受的到养老设施的距离,本文将养老设施服务半径设定为1 h。虽然老年人口在核心区以及近郊区尤其是东南地区分布较为集中,但布局在近郊区的养老设施仍能服务在1 h范围内核心区、近郊区以及靠近近郊的远郊老年人口。在公平最大化目标下,养老设施资源倾向于配置在服务范围最广的近郊区,因此核心区的很大一部分需求也由近郊区的养老设施满足。而远郊区的乡镇由于面积较大,大部分地区与近郊区之间的距离较远,因此主要由本地的养老设施提供服务。该布局导向与《北京市养老设施专项规划》提出的布局建议相一致,且符合中心城区用地紧张、郊区自然环境较好的现实情况。

从区县尺度来看(表3),朝阳区和通州区提供的养老床位超过2万张,两者均位于东部地区。提供养老床位数最多的8个区县均位于城市功能拓展区和城市发展新区。首都功能核心区的东城区与西城区优化后可提供的养老床位最少,分别为每百人

1.57和1.11张,远远低于每百人4个床位的政策目标。生态涵养发展区的5个区县优化后本地养老床位供给水平平均高于每百人7.01张,高于政策目标,但规模较小。在乡镇尺度,平均每个乡镇与街道可提供的养老床位数为539张,且养老床位数呈现近郊区多、中心城区和远郊区少的分布特点,而近郊区内部又呈现东南地区多于西北地区的趋势。

优化后各乡镇与街道到养老设施的可达性与加权平均值的标准差仅为0.0026,可达性差异达到非常低的水平。相比之下,现状可达性的标准差为0.0207,是优化后的8倍,可见优化效果显著。图3显示了优化之后各乡镇与街道到养老设施可达性与加权平均值0.04的比值,在大多数乡镇与街道该比值为0.95~1.05之间,而小于0.95或大于1.05的乡镇与街道均离散地分布在各区域,进一步验证了优化结果的有效性和可靠性。

图4为各乡镇与街道现状养老床位数与优化后养老床位数之间的差值,正值表示在现状的基础上还需要新增养老床位,负值则表示养老床位数应适当减少。由于北京市老年人口的快速增长,到2020年时将由2010年的235万人增至437万人,因此大部分乡镇与街道还需要新增养老床位。需要新增养老床位较多的乡镇与街道主要位于近郊区,其中东南部的通州区和大兴区最多。中心城区和北部远郊区新增养老床位较少,并有少量乡镇与街道的养老床位过剩,即现状的养老床位数已多于优化后

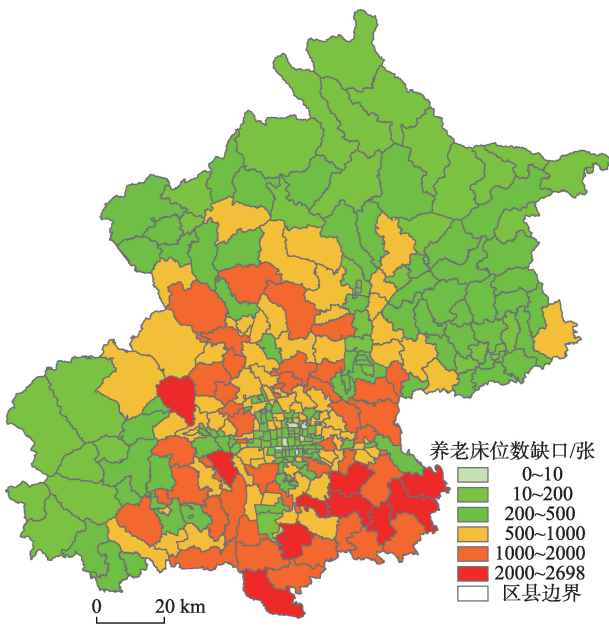


图2 2020年北京市养老设施床位优化结果

Fig.2 Spatial distribution of the optimized residential care facility (RCF) beds in Beijing in 2020

表3 北京市各区县养老床位数的优化结果
Tab.3 Optimized residential care facility (RCF) bed numbers at the district level in Beijing

区县	优化后养老 床位数/张	优化后人均 养老床位数/张	现状养老 床位数/张
朝阳区	21329	4.92	9444
通州区	20194	13.91	3962
大兴区	19876	15.36	4910
海淀区	17876	4.81	8655
昌平区	16645	10.88	12369
房山区	15748	12.19	5386
丰台区	12845	4.77	4610
顺义区	12286	11.60	2172
门头沟区	8355	18.22	2067
密云县	5237	7.55	2957
石景山区	5137	6.19	2220
延庆县	5104	10.93	3061
怀柔区	4779	10.18	1671
平谷区	4632	7.01	3093
东城区	2409	1.57	298
西城区	2343	1.11	1377
总计	174795	-	69314

2020年的供给水平。这些养老床位过剩的乡镇与街道大多数属于现状养老设施布局的热点区域,例如位于昌平区的十三陵镇和小汤山镇分别需减少1000张以上床位。这是因为上述养老机构分布的热点区域大多位于自然环境较舒适的地区,现状布局受自然环境和私营养老机构集聚效应的双重影

响。在规划布局时,不能简单判断这些热点区域的过剩供给是否合理,需要对其养老设施的实际入住情况作进一步的调查和分析。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于预测的2020年北京市老年人口分布,按照“到2020年将为4%的老年人提供机构养老服务”的政策目标,将公平最大化模型应用于养老设施布局优化研究。主要得到以下几条结论:

(1) 公平最大化模型的优化效果显著,优化后可达性的标准差仅为0.0026,远低于现状可达性标准差0.0207。

(2) 最优布局中城市发展新区是养老设施建设的重点区域,在满足当地机构养老需求外,还将为中心城区(首都功能核心区和城市功能拓展区)提供大量机构养老服务;生态涵养发展区在满足本地需求基础上还可为其他地区提供少量机构养老服务。

(3) 最优布局与《北京市养老设施专项规划》提出的布局建议相一致,且符合中心城区用地紧张、郊区自然环境较舒适的现实情况。

(4) 与基于老年人口分布现状的最优布局相比,养老设施资源向北京市东南部近郊区的集聚更为明显,说明基于预测老年人口分布进行优化的必要性。

4.2 讨论

本文的主要创新之处在于建立了基于2020年预测老年人口分布的公平最大化模型,既能将设施布局的公平性目标模型化,又能与2020年规划期限相一致,为中国包括养老设施在内的公共服务设施布局提供了重要的研究方法和模型工具,具有重要的理论和现实意义。此外,本文在以下几方面均具有一定创新性:采用粒子群优化算法作为求解算法,为公平最大化优化模型求解提供了新的方法;针对距离衰减参数取值进行敏感性分析,为模型关键参数的设置提供了更科学的依据;将2020年最优与现状布局作比较分析,为在现状布局基础上调整和优化养老设施布局提供了更直观的结果。

本文也存在一些局限与不足。一是未考虑社会经济及养老设施与医疗资源等因素对老年人口选择养老设施的综合影响。二是在人口预测中只考虑了老年人口的自然增长。虽然对2000-2010年间的老年人口数据检验显示预测误差仅为-3.13%,

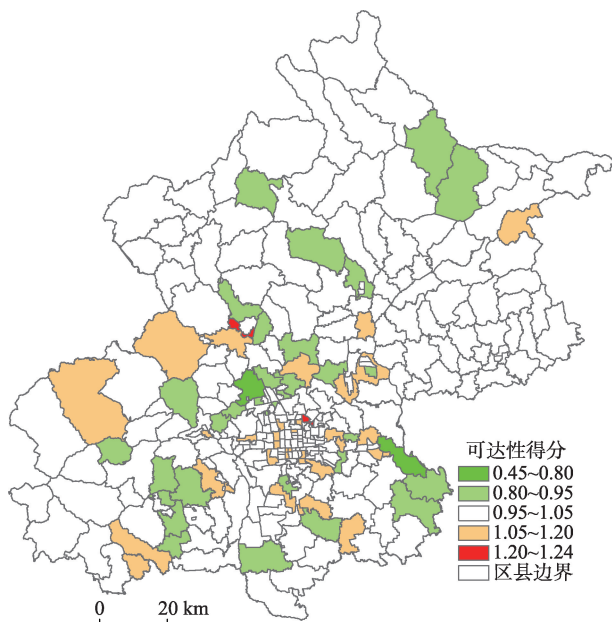


图3 北京市养老设施可达性优化结果与优化目标比值分布
Fig.3 Spatial distribution of the ratio of optimized results and optimized objective in Beijing in 2020

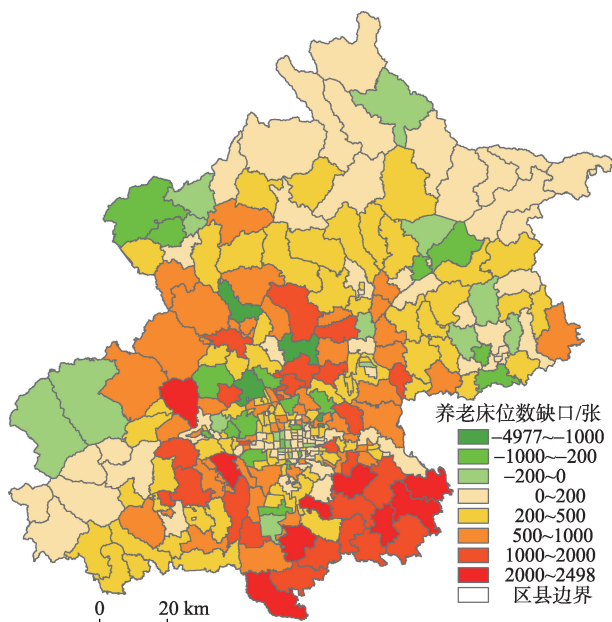


图4 北京市现状养老设施与优化结果差值
Fig.4 Gaps between the optimal and actual numbers of residential care facility (RCF) beds in Beijing

但老年人口在北京市内迁移的情况仍然需要进一步研究。在未来研究中,将考虑老年人口的市内迁移,以提升对其预测的准确性。此外,还将考虑不同优化目标下(如效率和公平目标)设施布局的差异。以期使研究结果能为养老政策的制定提供科学依据,所采用的方法也能为其他类型公共服务设施的布局优化提供借鉴。

参考文献(References)

- 北京市规划委员会,北京市民政局. 2010. 北京市养老设施专项规划[EB/OL]. 2010-11-25[2015-09-07]. http://www.bjghw.gov.cn/web/static/articles/catalog_26/article_ff8080812ac7af9e012c8219c9eb07c2/ff8080812ac7af9e012c8219c9eb07c2.html. [Beijing Municipal Commission of Urban Planning, Beijing Civil Affairs Bureau. 2010. Beijingshi yanglao sheshi zhuanxiang guihua[EB/OL]. 2010-11-25 [2015-09-07]. http://www.bjghw.gov.cn/web/static/articles/catalog_26/article_ff8080812ac7af9e012c8219c9eb07c2/ff8080812ac7af9e012c8219c9eb07c2.html.]
- 北京市老龄工作委员会办公室. 2014. 北京市2013年老年人口信息和老龄事业发展状况报告[EB/OL]. 2014-09-30 [2015-09-07]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/tjxx/tjgb/t1369122.htm>. [Beijingshi Laoling Gongzuo Weiyuanhui Bangongshi. 2014. Beijingshi 2013 nian laonian renkou xinxi he laoling shiye fazhan zhuangkuang baogao[EB/OL]. 2014-09-30 [2015-09-07]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/tjxx/tjgb/t1369122.htm>.]
- 邓羽,蔡建明,杨振山,等. 2012. 北京城区交通时间可达性测度及其空间特征分析[J]. 地理学报, 67(2): 169-178. [Deng Y, Cai J M, Yang Z S, et al. 2012. Measuring time accessibility with its spatial characteristics in urban areas of Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 67(2): 169-178.]
- 高晓路. 2013. 城市居民对养老机构的偏好特征及社区差异[J]. 中国软科学, 28(1): 103-114. [Gao X L. 2013. Preference of the urban elderly for caring facilities: variation across different communities[J]. China Soft Science, 28 (1): 103-114.]
- 国务院办公厅. 2011. 社会养老服务体系规划建设规划(2011-2015年)[EB/OL]. 2011-12-27[2015-09-07]. http://www.gov.cn/zwgg/2011-12/27/content_2030503.htm. [Guowuyuan bangongting. 2011. General Office of the State Council of the People's Republic of China. The construction planning of social elderly care system (2011-2015)[EB/OL]. 2011-12-27 [2015-09-07]. http://www.gov.cn/zwgg/2011-12/27/content_2030503.htm.]
- 陶卓霖,程杨,戴特奇. 2014. 北京市养老设施空间可达性评价[J]. 地理科学进展, 33(5): 616-624. [Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q. 2014. Measuring spatial accessibility to residential care facilities in Beijing[J]. Progress in Geography, 33(5): 616-624.]
- 席晶,程杨. 2015. 北京市养老机构布局的时空演变及政策影响[J]. 地理科学进展, 34(9): 1187-1194. [Xi J, Cheng Y. 2015. Spatiotemporal evolution of residential care facilities in Beijing and policy impacts[J]. Progress in Geography, 34(9): 1187-1194.]
- 易成栋,张纯,吴淑萍,等. 2014. 2000-2010年北京市老年人口空间分布及其变动研究[J]. 城市发展研究, 21(2): 66-71. [Yi C D, Zhang C, Wu S P, et al. 2014. Spatial restructuring of senior population in Beijing from 2000-2010[J]. Urban Development Studies, 21(2): 66-71.]
- Andrews G J, Phillips D R. 2002. Changing local geographies of private residential care for older people 1983-1999: lessons for social policy in England and Wales[J]. Social Science & Medicine, 55(1): 63-78.
- Cheng Y. 2010. Residential care for elderly people in Beijing, China: a study of the relationship between health and place[D]. Ontario, Canada: Queen's University.
- Cheng Y, Rosenberg M W, Wang W Y, et al. 2011. Aging, health and place in residential care facilities in Beijing, China[J]. Social Science & Medicine, 72(3): 365-372.
- Cheng Y, Rosenberg M W, Wang W Y, et al. 2012. Access to residential care in Beijing, China: making the decision to relocate to a residential care facility[J]. Ageing and Society, 32(8): 1277-1299.
- Cheng Y, Wang J E, Rosenberg M W. 2012. Spatial access to residential care resources in Beijing, China[J]. International Journal of Health Geographics, 11(1): 32.
- Church R L. 1999. Location modelling and GIS[M]//Longley P A, Goodchild M F, Manuire D J, et al. Geographical information systems: principles and applications. New York: Wiley: 293-303.
- Gu D N, Dupre M W, Liu G Y. 2007. Characteristics of the institutionalized and community-residing oldest-old in China[J]. Social Society & Medicine, 64(4): 871-883.
- Gu W, Wang X, McGregor S E. 2010. Optimization of preventive health care facility locations[J]. International Journal of Health Geographics, 9(1): 17.
- Kennedy J, Eberhart R. 1996. Particle swarm optimization[C]//Proceedings of the IEEE international conference on neural networks. Perth, Western Australia: IEEE: 1942-1948.
- Owen S H, Daskin M S. 1998. Strategic facility location: a review[J]. European Journal of Operational Research, 111 (3): 423-447.
- Peeters D, Thomas I. 2000. Distance predicting functions and applied location-allocation models[J]. Journal of Geographical Systems, 2(2): 167-184.
- Smith G C, Ford R G. 1998. Geographical change in residen-

- tial care provision for the elderly in England, 1988-93[J]. *Health & Place*, 4(1): 15-31.
- Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q, et al. 2014. Spatial optimization of residential care facility locations in Beijing, China: maximum equity in accessibility[J]. *International Journal of Health Geographics*, 13(1): 33.
- Wang F H. 2012. Measurement, optimization, and impact of the health care accessibility: a methodological review[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(5): 1104-1112.
- Wang F H, Tang Q. 2013. Planning toward equal accessibility to services: a quadratic programming approach[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(2): 195-212.
- Zhan H J, Feng X T, Luo B Z. 2008. Placing elderly parents in institutions in urban China: a reinterpretation of filial piety[J]. *Research on Aging*, 30(5): 543-571.
- Zhan H J, Liu G Y, Bai H G. 2005. Recent development in Chinese elder homes: a reconciliation of traditional culture [J]. *Ageing International*, 30(2): 167-187.
- Zhan H J, Liu G Y, Guan X P. 2006. Willingness and availability: explaining new attitudes toward institutional elder care among Chinese elderly parents and their adult children[J]. *Journal of Aging Studies*, 20(3): 279-290.

Spatial optimization of residential care facility locations in 2020 in Beijing: maximum equity in accessibility

TAO Zhuolin^{1,2}, CHENG Yang^{1*}, DAI Teqi¹, LI Xue¹

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Beijing is facing rapid population aging. Residential care plays an increasingly important role in the care for the elderly people. It is of great importance to optimize the layout of residential care facilities to ensure equal and reasonable access, which has scientific and practical implications. This study first forecasted the spatial distribution of the elderly population under natural growth in 2020 in Beijing. Second, a spatial optimization model was established to maximize equity in access to residential care facilities. The Particle Swarm Optimization algorithm was used to solve the optimization model. As the results show, the elderly population aged 60 or older will reach 4.37 million in 2020 in Beijing, among which 7.9%, 50.2%, 30.1%, and 11.8% of the total elderly population will be located in the Capital Core Functional Area, Urban Functional Extension Area, Urban New Developing Area, and Ecological Protection Area, respectively. By contrast, 2.7%, 32.7%, 48.5%, and 16.1% of the total residential care facility (RCF) beds will be located in the Capital Core Functional Area, Urban Functional Extension Area, Urban New Developing Area, and Ecological Protection Area, respectively when optimized. The optimized RCF layouts improve spatially equal access to residential care resources with very low accessibility standard variation (0.0026), while the accessibility standard variation of actual layouts is 8 times (0.0207) that of the optimized results. In the layouts with maximum equity in access, only a portion of the demands for residential care in the Capital Core Functional Area and Urban Functional Extension Area will be met locally. The residential care resources in the Urban New Developing Area will meet both the local demands and the demands from the two functional areas in the central city. The Ecological Protection Area, however, mainly provides residential care services for the local elderly population. The optimized results of this study correspond to the “Special Plan for the Development of Residential Care Facilities in Beijing,” which also conforms to the reality that the land resources are in shortage in the central city and the physical environment in the suburb is more pleasant for the elderly people. The results of this study will support knowledge-based policy-making and planning of residential care facilities. The methods introduced in this study can also be applied to the spatial optimization of other types of public service facilities.

Key words: spatial optimization; maximum equity; population forecast; particle swarm optimization (PSO); residential care facilities; Beijing