

基于GIS和改进DEA模型的医疗资源便利性评价

彭程^{1,2,3}, 陈志芬⁴, 吴华瑞^{1,2,3}

(1. 北京农业信息技术研究所 北京 海淀区 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心 北京 海淀区 100097;
3. 农业部农业信息技术重点开放实验室 北京 海淀区 100097; 4. 中国城市规划设计研究院 北京 海淀区 100044)

【摘要】科学评价医疗资源的便利性,对于合理配置有限的医疗资源有着重要的现实意义。该文分析了社区医疗资源便利性的评价对象、服务内容、时空维度的特点,分别从医疗机构提供服务的便利性和社区获得服务的便利性两个方面建立评价指标体系。基于数据包络分析(DEA)模型并做无输入改进,提出了医疗资源便利性评价方法。在此基础上,借助GIS的网络分析、叠加分析等功能,考虑道路交通、人口分布及医疗机构分布等空间信息,计算医疗资源便利性评价的指标值。将该方法应用于北京郊区某镇,验证了该方法的有效性。

关键词 便利性评价; 数据包络分析; 地理信息系统; 医疗资源; 网络分析

中图分类号 TP391; P2

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.04.015

Evaluating Convenience of Medical Resource Based on GIS and Improved Data Envelopment Analysis Model

PENG Cheng^{1,2,3}, CHEN Zhi-fen⁴, and WU Hua-ru^{1,2,3}

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences Haidian Beijing 100097;
2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture Haidian Beijing 100097; 3. Key Laboratory for Information Technologies in Agriculture, Ministry of Agriculture Haidian Beijing 100097; 4. China Academy of Urban Planning and Design Haidian Beijing 100044)

Abstract For allocating the limited medical resource rationally, evaluating the convenience of the medical resource scientifically is important. Firstly, the characters of evaluating objects, service contents, and spatial and temporal dimensions of community medical facility are analyzed. Then the convenience evaluating index system is then built up from the convenience of service which the medical facilities provide and the community acquires respectively. According to the data envelopment analysis (DEA) model, the evaluation index is improved with no-input and the methods of evaluating the convenience of community and medical facility are presented. On the basis of this, taking into account of the road traffic, the distribution of population, and medical facilities, the convenience value of medical resource in town is calculated using the network analysis and overlay functions of GIS. The above method applied in the convenience evaluation of medical resource in Beijing suburbs is validated well

Key words convenience evaluation; data envelopment analysis; geography information system; medical resource; network analysis

随着我国基本医疗保健体系的建立,基层医疗机构在预防救治、保健康复、健康教育、计划生育等综合性服务方面的作用越来越大,已经成为基本医疗服务的主体。但是,基层医疗机构数量不足,空间布局和资源分配不够合理,缺乏整体的统筹优化,在服务距离和等待时间上都存在不“便利”的情况,不能很好满足群众日益增长的卫生保健服务的需求^[1-2]。因此,利用科学的方法定量评价基层医

疗机构的便利性,对于推进基层医疗机构的科学规划和合理布局,方便群众就医,具有重要的意义。

目前,不少学者针对服务距离的便利性,在医疗机构的空间分布、可达性分析方面开展了大量研究^[3-8]。这些研究主要从空间布局合理性、可达性来评价设施服务距离的便利性,并没有综合时空因素对医疗机构的便利性进行研究。另外,一些研究和城镇卫生事业发展规划往往以直线距离作为服务半

收稿日期: 2011-10-08; 2012-12-14

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAD21B02, 2013BAJ04B04, 2013BAJ10B15)

作者简介: 彭程(1981-),女,博士,副研究员,主要从事数字城镇、GIS应用方面的研究。

径构建医疗卫生机构的责任区,没有考虑实际的道路网络结构,这与居民就医时的情况不符^[3,9-11]。因此,本文从时间便利性、空间便利性两个方面建立医疗机构的便利性评价指标体系,引入数据包络分析(DEA)模型并做无输入改进,研究基于实际交通距离的医疗资源便利性定量评价方法。

1 评价基础

1.1 便利性影响因素

从评价对象来分析,社区医疗资源的便利性,需要对医疗卫生机构和社区两类对象进行评价。对于医疗机构来说,便利性是指其向居民提供卫生服务的便利程度,记为“医疗机构便利性”;对于社区来说,便利性是指其获得卫生服务的便利程度,记为“社区便利性”。研究社区医疗资源的便利性,需要对医疗机构便利性和社区便利性两个方面分别进行评价。

对于医疗机构来说,其服务方式存在门诊服务和上门服务两种方式,因此,医疗机构便利性评价,需要考虑本地服务和外出服务两个因素。对于居民来说,有的服务内容可以根据需要选择临近的医疗卫生机构,有的则需要在指定的医疗卫生机构,因此,社区便利性评价,需要考虑就近获得服务和指定获得服务两个因素。

医疗卫生机构提供服务的便利性主要体现在服

务距离和服务时间两个方面。如取1 000 m路径距离为标准距离,在标准距离以内可以到达的,认为在距离上便利;不能到达的,随着距离的增加其便利性减少。服务时间主要体现在获得服务的等待时间上。当服务内容、服务人数在机构的容量以内,认为在时间上便利;否则,若超过机构容量的上限越多,在时间上的便利程度越低。

1.2 便利性评价指标体系

考虑到医疗资源便利性的评价对象、服务内容和时空维度的差异,分别建立医疗机构便利性、社区便利性的评价指标体系,如表1所示。其中,指标1、2、5、7为指定服务内容指标,指标3、4、6、8为临近服务内容指标;指标1、5、6为空间便利性指标,指标2、3、4、7、8为时间便利性指标^[12]。

根据上述各指标,建立指标的计算公式,如表1所示,其中,设定 $I = \{i | i = 1, 2, 3, \dots\}$ 为社区集合,社区 i 的总人数为 pop_i ; $J = \{j | j = 1, 2, 3, \dots\}$ 为医疗机构集合; $I_j = \{i | i = 1, 2, 3, \dots\}$ 为医疗机构 j 指定服务的社区的集合; $I_{j,i} = \{s | s \in I, s = 1, 2, 3, \dots\}$ 为社区 i 指定的医疗机构 j 所指定服务的社区的集合; d_{ij} 为社区 i 到医疗机构 j 的距离, $i \in I, j \in J$; d_{jk} 为医疗机构 j 到医疗机构 k 的距离, $j, k \in J$; J_i 为社区 i 临近范围 S 内的医疗机构的集合, $|J_i|$ 为集合 J_i 的元素个数;表1式(5)中,医疗机构 j 为社区 i 的指定服务机构。

表1 评价指标及指标计算

评价指标	指标符号/计算公式	指标解释
1 机构指定服务的平均距离	$F_{-d_1}(j) = \frac{1}{\sum_{i \in I_j} \text{pop}_i} \sum_{i \in I_j} d_{ij} \text{pop}_i \quad (1)$	指定服务,距离越大,便利性越低
2 机构指定服务的总人数	$F_{-p_1}(j) = \sum_{i \in I_j} \text{pop}_i \quad (2)$	人数越多,外出服务、本地服务的强度越大,越难以在既定时间内完成任务,便利性越低
3 机构临近内的总服务人数	$F_{-p_2}(j) = \sum_{i \in I_j, d_{ij} \leq S} \text{pop}_i \quad (3)$	
4 机构临近范围的机构数	$F_{-p_3}(j) = J_j , J_j = \{k k \in J, d_{kj} \leq S\} \quad (4)$	机构临近范围的机构越多,分担的人数越多,便利性越高
5 社区到指定服务机构的距离	$C_{-d_1}(i) = d_{ij} \quad (5)$	距离越大,便利性越低
6 社区到临近机构的最小距离	$C_{-d_2}(i) = \min_{j \in J} \{d_{ij}\} \quad (6)$	非指定的情况下,居民往往到最近的机构获得服务。因此,距离越大,便利性越低
7 社区指定机构的指定服务人数	$C_{-p_1}(i) = \sum_{s \in I_{j,i}} \text{pop}_s \quad (7)$	服务人数超过机构容量,容易出现排队等候现象。人数越多,排队等候时间越长,便利性越低
8 社区临近范围内的机构数	$C_{-p_2}(i) = J_i , J_i = \{j j \in J, d_{ij} \leq S\} \quad (8)$	机构数越多,选择的机会越多,越能避免排队,便利性越大

2 基于DEA模型的便利性评价方法

医疗资源的便利性评价指标,涉及服务内容差异性、时空维度差异性指标,各指标量纲不同,意义不同,很难定量地确定指标的权重。本文引入数据包络分析(DEA)方法来评价便利性。

2.1 DEA模型

DEA方法主要采用数学规划的模型评价具有多输入、多输出的部门或决策单元(DMU)之间的相对有效性,是一种非参数的评估方法^[13-14]。DEA的显著特点是不需要投入与产出之间的函数关系,而且不需要预先估计参数、任何权重建设^[15]。

n 个DMU、 m 个输入指标、 s 个输出指标的CCR模型的线性表达式为:

$$\max \theta = \sum_{t=1}^s u_t \cdot y_{to} \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^s u_t y_{ij} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j=1,2,\dots,n \quad (11)$$

$$v_i \geq 0, u_t \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m, \quad t=1,2,\dots,s \quad (12)$$

式中, x_{ij} 、 v_i 、 y_{ij} 、 u_t 分别为第 j 个DMU的第 i 个输入指标观察值、权重和第 t 个输出指标的观察值、权重; $\theta(0 \leq \theta \leq 1)$ 为评价决策单元DMU_o的投入产出效率,其含义是投入1个单位的成本时,该决策单元可以获得 θ 个单位的产出。利用软件DEA-SOLVER可以对DEA模型进行求解。

但是,医疗资源的便利性评价,实际上是评价便利性的影响因素,与投入无关,是只有输出的DEA问题^[14],需要对式(10)进行改进。

2.2 DEA模型修正

在CCR模型中,用式(14)、式(16)、式(17)替换式(10),式(18)替换式(12)得如下模型:

$$\max \theta = \sum_{t=1}^s u_t y_{to} \quad (13)$$

$$\text{s.t.} v_1 x_{1o} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{t=1}^s u_t y_{ij} \leq v_1 x_{1j} \quad j=1,2,\dots,n \quad (15)$$

$$x_{1j} = 1 \quad j=1,2,\dots,n \quad (16)$$

$$v_1 = 1 \quad (17)$$

$$u_t \geq 0 \quad t=1,2,\dots,s \quad (18)$$

输入指标及其权重为常数1,模型等价于只有输出的CCR模型,可以直接利用DEA-SOLVER软件进行求解。

2.3 评价指标修正

根据DEA效率评价生产可能集定义,宜选择越大越好的指标作为输出指标^[16],因此,需要对1.2节确定的指标做相应的变换。依据式(19)对指标1、2、3、5、6、7进行变换,指标4、8本身为越大越好的指标,故不做变换。变换后的指标值为:

$$R_{j_0} = \begin{cases} 1 - \frac{r_{j_0}}{CS} & r_{j_0} \leq CS \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (19)$$

式中, S 为依据标准确定的机构的服务距离(人数)的上限; r_{j_0} 为评价单元 j_0 便利性评价指标的实际值; C 为常数,根据研究区实际规划情况而定。依据有关

标准,社区卫生服务中心的服务距离不超过3 000 m,服务人数不超过15 000人,社区卫生服务站的服务距离不超过1 000 m,服务人数不超过3 000人。

3 基于GIS的便利性评价过程

3.1 数据准备

本文研究收集的原始数据包括:研究区北京郊区某镇的行政区划、道路、水系、医疗卫生机构的空间数据以及各社区的人口网格数据等。步骤如下:

1) 道路数据:合并道路图层,包括主干道、次干道、支路等不同层次的道路,并计算各线路的长度。确保交通网络具备正确的拓扑关系后,建立网络数据集Network Dataset,其中,道路网线为795条,道路网络结点为588个,如图1所示。



图1 道路网络图

2) 居民点数据:以基层医疗机构为源点,按照用地类型、基础设施等对行政村进行居民点的划分,提取居民点的几何中心点作为社区便利性评价单元的目标点。

3) 服务区域数据:建立社区医疗机构的服务区域Service Area,定性分析卫生机构的空间分布。Service Area是所有在设定阈值内可以到达的区域,根据《北京市社区卫生服务中心(站)设置与建设规划》,远郊区平原、山区社区卫生服务机构满足20、30 min内可及的要求,考虑道路情况以及老弱病幼出行速度的特点,分别取路径距离为1 000~1 200 m、1 200~1 500 m作为平原、山区社区卫生服务机构的服务半径。图2设置的是社区卫生服务站的1 000 m、1 000~1 200 m、1 200~1 500 m的服务范围。

4) 成本矩阵OD Cost Matrix: OD Cost Matrix是包含从每一个源点到每一个目标点的网络距离的矩

阵。分别以医疗机构、居民点为源点和目标点，建立OD Cost Matrix，作为便利性评价的数据基础。

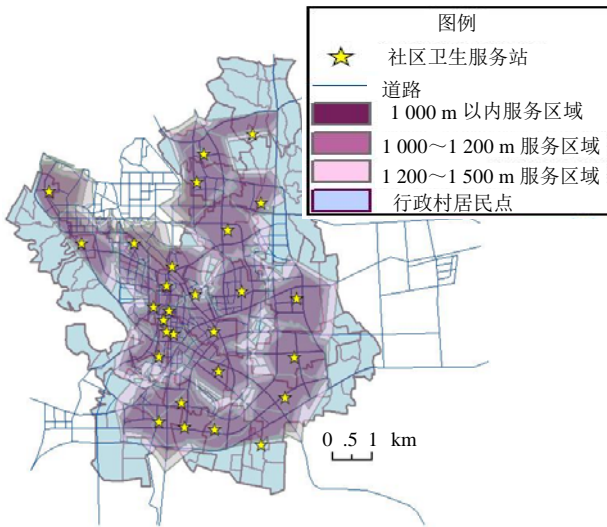


图2 社区卫生服务站的服务区域图

3.2 评价指标值计算

针对1.2节中提出的8个便利性评价指标，其中最基本的计算单元为服务距离、服务人数、医疗机构数及机构的服务责任区划分。医疗机构数及机构的服务责任区划分通过调查、搜集数据得到，为已知信息。服务距离和服务人数需要基于GIS的网络分析和叠加分析功能计算获取，以下为评价指标的具体计算流程。

1) 服务距离的计算：服务距离即社区居民点几何中心和医疗机构之间的距离，这个距离为实际道路的路径距离。首先获取成本矩阵OD Cost Matrix网络分析图层，定义ArcGIS的Geoprocessor(地理操作)的返回信息接口，将两者关联。同时设置OD Cost Matrix网络分析的源点Origin和目标点Destination分别为医疗机构图层和社区居民点中心点图层，通过计算得到距离矩阵。

2) 服务人数的计算：将社区居民点图层与人口网格数据在空间上进行叠加分析，得到归属于每个居民点内的人口网格，通过统计每个网格所赋予的人口数，从而得到每个社区居民点的人口数，即服务人数。

3) 评价指标的计算：以医疗机构的评价指标(F_{p3} : 机构临近范围的机构数)为例进行说明，首先设置待计算的医疗机构和临近范围的标准距离值，然后对基于OD Cost Matrix计算得到的距离矩阵数据进行遍历循环，当距离矩阵的起始点为医疗机构时，通过判断该起始点到目标点的距离是否在标准距离值之内，从而累加计算得到所求的临近范围内

的机构数。

3.3 便利性评价

医疗机构的便利性评价分析的主要过程如下，评价流程的技术路线图如图3所示。

1) 评价指标输入：按照3.2节中的方法依次计算并得到医疗机构便利性所需的4个评价指标： F_{d1} 、 F_{p1} 、 F_{p2} 、 F_{p3} ，这些指标涵盖了时间指标、空间指标以及指定服务内容或临近服务内容的指标；

2) 模型计算：根据式(19)对部分评价指标进行修正处理后，将所有评价指标项代入修正后的DEA模型，进行线性优化模型分析计算。

3) 可视化表现：解析输出结果值，提取便利性值，将这些评价与医疗机构的空间图层进行匹配，为医疗机构图层赋予便利性的属性项值，然后利用GIS制图技术实现分级专题渲染，通过空间分布差异呈现出医疗机构资源的便利程度规律，为该研究区域的综合分析提供有效的数据支撑。

针对社区的便利性评价，除了需要替换便利性评价指标为 C_{d1} 、 C_{d2} 、 C_{p1} 、 C_{p2} 外，其关键步骤和上述流程类似，不再赘述。

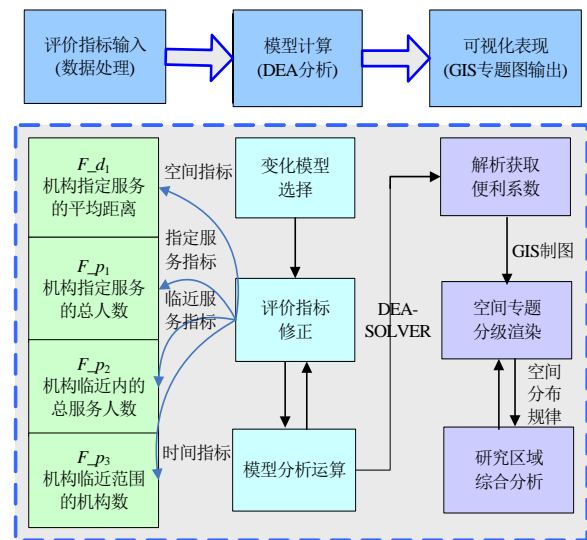


图3 医疗机构便利性评价技术路线

4 应用实例

将上述方法应用于北京郊区某镇的医疗资源便利性评价。该镇位于京郊平原地区，总面积约 $5.1 \times 10^7 \text{ m}^2$ ，人口71 000人，有23个行政村，划分为202个居民点，共28个村级社区卫生服务站。该镇社区卫生服务机构在空间布局上多集中分布于人口密度较高的区域，而人口密度较低的区域布局少甚至没有布局。利用1 200 m服务半径的服务区分析可见，仅有50%的居民点被覆盖，如图2所示。

根据社区卫生服务机构布局、居民点人口、交通现状, 利用上文的方法分别对社区、医疗卫生机构的便利性进行评价, 将计算得到的社区和医疗机构的便利性评价按等距0.2划分为5个等级, 并在地图上进行分级设色渲染和比例值点符号渲染, 颜色越深或点越大表示便利性越高。社区和医疗机构便利性评价结果如图4、图5所示, 统计图表如图6、图7所示。

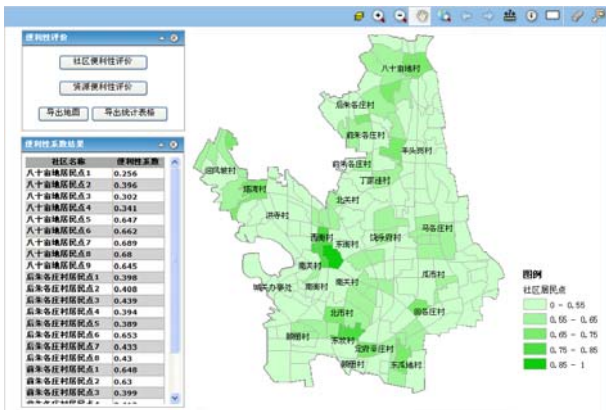


图4 社区便利性评价结果图

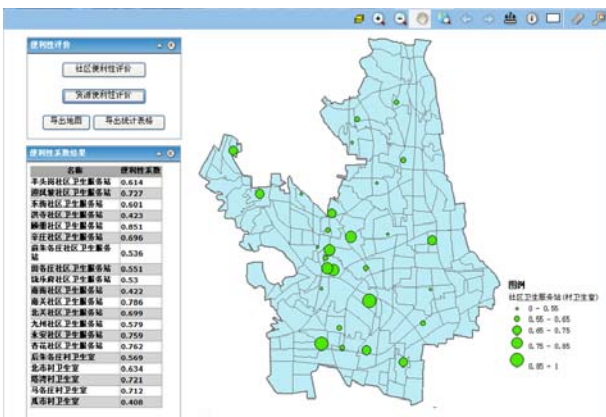


图5 医疗机构便利性评价结果图

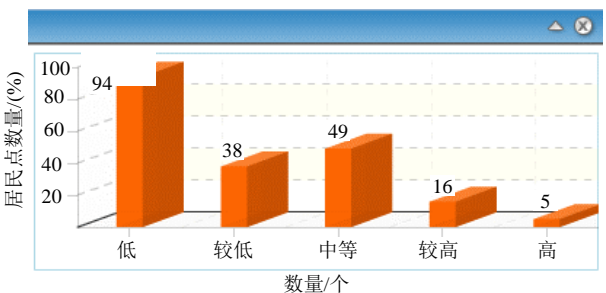


图6 社区便利性评价统计图表

从评价结果可以看出, 该镇居民点获得医疗服务和设施提供服务的便利性均不高, 其中居民点获得服务便利性为高和较高的共21个, 约占居民点总数的10%; 医疗机构提供服务便利性高和较高的6个, 约占机构总数的21%。总体来看, 该镇的医疗

卫生资源在数量上仍有缺口, 并且由于空间布局不合理, 医疗机构分布较多的社区便利性较高, 图2中医疗机构服务难覆盖的社区的便利性较低。在医疗机构提供服务方面, 在镇中心或人口密度较高的区域形成规模布局的医疗机构便利性较高, 零散分布的医疗机构便利性较低。



图7 医疗机构便利性评价统计图表

5 结论

本文从基层医疗机构提供服务和居民点获得医疗服务两方面出发, 分别建立医疗机构便利性和社区便利性的评价指标体系, 提出了基于DEA模型的社区医疗资源的便利性评价方法, 借助GIS的空间分析和可视化功能, 对医疗便利性进行定量评价和制图表达。

本文方法具有以下优点: 1) 引入DEA模型并做无输入改进, 对医疗资源便利性进行评价, 无需建立评价指标的权重, 从而避免了主观因素影响, 增加了评价的客观性和科学性; 2) 计算得到的DEA效率值作为便利性评价结果, 其定量的结果与定性的判断结论趋势一致, 验证了该方法的有效性; 3) 借助GIS强大的数据管理、空间分析和可视化功能, 用实际路径距离代替直线距离, 计算结果更加符合实际情况。同时, 便利性评价结果以专题地图的形式表达, 能够全面展现医疗资源的空间分布特征, 有助于发现医疗资源较薄弱的区域, 为医疗资源的规划和调整提供了有价值的参考依据。进一步的研究还需要引入更多的影响因素进行评价分析, 如人口结构因素、医疗机构规模等。

参 考 文 献

[1] 刘伟忠. 我国农村小城镇医疗保障体系的衰微及思考[J]. 广西社会科学, 2005(8): 170-172.
LIU Wei-zhong. Decline of rural medical security system in China and thinking[J]. Guanxi Social Sciences, 2005(8): 170-172.

[2] 邱晓艳, 张开金, 秦翔. 社区卫生资源配置现状及公平性研究[J]. 现代预防医学, 2008, 35(20): 3963-3966.

- QIU Xiao-yan, ZHANG Kai-jin, QIN Xiang. Study on the equity of resource allocation for community health service[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2008, 35(20): 3963-3966.
- [3] 曹书平. 农村医疗资源的空间可达性分析—以漯河市源汇区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
CAO Shu-ping. The spatial accessibility analysis of rural medical resource—the case of Yuanhui Luohe[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.
- [4] 王远飞. GIS与Voronoi多边形在医疗服务设施地理可达性分析中的应用[J]. *测绘与空间地理信息*, 2006, 29(3): 77-80.
WANG Yuan-fei. GIS and Voronoi polygon based public health care accessibility analysis[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2006, 29(3): 77-80.
- [5] BULLEN N, MOON G, JONES K. Defining localities for health planning: a GIS approach[J]. *Social Science and Medicine*, 1996, 42(6): 801-816.
- [6] TIMOTHY S H, HOLLY R B. Geographical accessibility and Kentucky's heart-related hospital services original research article[J]. *Applied Geography*, 2007, 27(3): 181-205.
- [7] YANG D H, ROBERT G, ROSS M. Comparing GIS-based methods of measuring spatial accessibility to health services[J]. *Journal of Medical Systems*, 2006, 30(1): 23-32.
- [8] MARK F G. Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges[J]. *International Journal of Health Geographics*, 2004, 3(1): 1-13.
- [9] 刘兆文. 杭州医疗机构发展与医院布局研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
LIU Zhao-wen. Study on the development of medical facilities and the hospitals spatial layout in Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [10] 顺义区卫生局. 顺义区“十一五”卫生事业发展规划[EB/OL]. [2007-08-29]. <http://218.246.86.226/xinxgk/guihxx/shiywgh/200708/13105.html>.
Shunyi District Health Board. "Eleventh Five-Year" public health development plan in Shunyi District[EB/OL]. [2007-08-29]. <http://218.246.86.226/xinxgk/guihxx/shiywgh/200708/13105.html>.
- [11] 徐州市政府网站. 徐州市卫生事业发展“十一五”规划[EB/OL]. [2006-04-29]. http://www.jiangsu.gov.cn/shouye/tzjs/cygh/200710/t20071031_178816.html.
Xuzhou City Government Website. "Eleventh Five-Year" public health development plan in Xuzhou city[EB/OL]. [2006-04-29]. http://www.jiangsu.gov.cn/shouye/tzjs/cygh/200710/t20071031_178816.html.
- [12] 陈志芬, 邢涛, 尤秋菊, 等. 基于数据包络分析的社区卫生服务机构便利性评价[C]//经济全球化与系统工程—中国系统工程学会第十六届年会论文集. 上海: 上海系统科学出版社, 2010: 279-285.
CHEN Zhi-fen, XING Tao, YOU Qiu-ju, et al. Assessing convenience of community health facility based on data envelopment analysis[C]//Economic Globalization and Systems Engineering, Proceedings of the 16th Annual Conference of System Engineering Society of China. Shanghai: Shanghai System Science Press, 2010: 279-285.
- [13] COOPER W W, SEIFORD L M, TONE K. Data envelopment analysis[M]. 2nd ed. New York, USA: Springer Science + Business Media, 2007.
- [14] 冯增哲, 刘建波, 刘桂娟. 基于DEA法的社区医疗资源配置效率研究[J]. *中国医学装备*, 2007, 4(7): 9-11.
FENG Zeng-zhe, LIU Jian-bo, LIU Gui-juan. Research on the collocation efficiency of community medical resource based on the DEA[J]. *China Medical Equipment*, 2007, 4(7): 9-11.
- [15] 郑新奇. 基于GIS的城镇土地优化配置与集约利用评价研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2004.
ZHENG Xin-qi. Study on the optimum location and the intensive use of urban land based on GIS[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2004.
- [16] 吴文江. 数据包络分析及应用[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
WU Wen-jiang. Data envelopment analysis and application[M]. Beijing: China Statistics Press, 2002.

编辑 漆蓉