

农村学校撤并后规模约束对学校优化布局的影响 ——以北京延庆区为例

戴特奇¹, 王 梁¹, 张宇超², 廖 聪¹

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京教育考试院, 北京 100083)

摘 要:在城镇化和农村人口减少的背景下,中国农村地区大量学校撤并,如何优化学校布局成为研究的重点。2008年原建设部发布了农村学校的最小和最大学生规模标准,但该标准对学校布局的影响尚缺乏研究。本文在包含最大距离约束的 P -中值模型中增加了学校规模约束,构建了学校布局优化模型,并以北京延庆区小学布局为例,采用分支界定算法进行了求解。结果表明:实施学校规模标准化对学校优化选址有显著的影响,在优化模型中加入学校规模约束后,有65.22%的学校位置发生了改变,呈更加分散型布局;但在乡镇尺度下考察,学校的空间格局则基本未发生变化;学校规模标准化带来的距离增长较小,平均每个学生上学距离仅增长了135 m。并根据结果进一步讨论了研究结果对学校布局优化的政策启示。

关键词:农村学校;学校撤并;学校规模;学校优化布局; P -中值模型;北京市延庆区

1 引言

学校布局调整是对区域内学校空间重新进行规划布局的过程,是教育资源配置的重要内容之一。在中国快速城镇化和农村人口剧烈减少的背景下,为了优化教育资源配置、提高办学规模和办学效益,农村地区进行了大规模的学校布局调整,2000-2010年全国农村小学数量减少达52.1%(二十一世纪教育研究院,2013)。大幅度学校撤并的一个直接负面影响是增加了学生上学距离,致使一些地区上学距离过远,就学困难(赵丹等,2011);另一个负面影响是部分地区学校规模(本文中学校规模指学校学生数量,下同)偏小或偏大,影响学校的教育质量(卢珂等,2010;赵丹等,2015)。面对农村学校撤并中出现的这些问题,学校布局调整政策发生了很大的转向。2012年国务院办公厅发布了《关于规范农村义务教育学校布局调整的意见》,要求在完成农村义务教育学校布局专项规划备案之前,暂停农村义务教育学校撤并。目前,如何实现学校布

局优化成为迫切需要解决的重要研究课题。

上学距离过远等现象最早是由教育学和社会学研究所提出,但学校可达性的定量评价则主要由地理学者完成,现有文献提出了多种有针对性的可达性计算方法,并有效地揭示了学校服务的空间分布特征和问题(孔云峰等,2008;卢晓旭等,2010;郑童等,2011;钟业喜等,2011;韩艳红等,2012;胡思琪等,2012;Li et al, 2014;任若菡等,2014)。由于可达性最好的地方未必是最优的选址区位,探索最优的选址布局需要借助空间优化方法。空间优化涉及经济学、地理学、计算科学、数学等多个学科,在实际问题的推动下,自20世纪60年代以来得到了快速发展(Laporte et al, 2015)。空间优化也是地理学的一个重要研究方向,公共服务设施的选址优化是其重要的研究内容,学校选址优化是一个典型的空间优化问题(Tong et al, 2012)。

中国政府很早就尝试通过制定一些国家标准来引导和优化学校布局。学生最大上学距离是影响学校布局的直接因素。早在1987年,原国家教委

收稿日期:2016-07;修订日期:2016-09。

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(2015KJJC30) [Foundation: Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.2015KJJC30]。

作者简介:戴特奇(1980-),男,重庆人,博士,讲师,主要研究方向为交通地理、城市与区域发展,E-mail: daiteqi@bnu.edu.cn。

引用格式:戴特奇,王梁,张宇超,等.2016.农村学校撤并后规模约束对学校优化布局的影响:以北京延庆区为例[J].地理科学进展,35(11):1352-1359. [Dai T Q, Wang L, Zhang Y C, et al. 2016. Optimizing school distribution with constraints of school size after school consolidation in rural China: A case study of Yanqing District, Beijing City[J]. Progress in Geography, 35(11): 1352-1359.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.11.005

就在《关于制定义务教育办学条件标准、义务教育实施步骤和规划统计指标问题的几点意见》中规定了学校布局的距离参数,即学生上学时间不超过45 min或上学距离不超过3 km。已有一些文献以所有学生上学距离或时间之和最小为优化目标,以最大上学距离为约束条件,修正了空间优化模型用于研究中国学校布局优化问题(孔云峰等, 2012; 彭永明等, 2013; 韩增林等, 2014),为中国学校布局优化调整提供了可行的方法。

学校规模的标准化是农村学校布局调整的重要动因,但农村学校优化布局方面的文献却少有涉及这方面研究。与中国学校布局中距离标准于1987年出现相比,关于学校规模的国家标准直到2008年才首次出现。2008年原建设部发布了《农村普通中小学校建设标准》,规定农村小学入学人数的最小和最大规模分别为120人和1080人。这也许与农村地区过去学校数量较多,学生上学距离较近,学校撤并带来的学生上学距离过长问题表现突出有关;随之而来的是农村地区由于学校规模小、布局分散导致教学质量长期较低(姚永强, 2009)。因此,学校规模是学校布局调整中不可忽视的因素(Kumar, 1983),不合理的学校规模还可带来学校财政规模不经济(van Goeverden et al, 2013)、学校纪律问题(Haller, 1992)等负面影响。

本文将在既有空间优化模型的基础上增加学校规模约束,构建满足最大上学距离约束和学校规模约束的学校布局优化模型,并在案例区进行应用研究;通过对比模型改进前后学校布局结果的差异,探讨学校布局优化模型中学校规模约束的影响;进而讨论研究对农村地区学校布局优化的政策启示。

2 模型构建与参数设置

2.1 模型构建思路

空间优化模型的研究已有较长历史,广泛应用于多类公共服务布局。其中,追求系统总出行距离最小化的 P -中值(P -Median)模型是经典的布局优化模型,且已多次应用于学校选址(Pizzolato, 1994; Ndiaye et al, 2012; Nasir et al, 2014)。根据不同地区学校布局问题的经济社会背景,模型在应用进行了修改和扩展。在国外修订的重点为种族问题(Church et al, 1993; Taylor et al, 1999)、公立和私立

比例问题(Teixeira et al, 2007)、交通安全问题和学校合理规模问题(Møller-Jensen, 1998)。同样,针对中国学校布局的实际问题,也需要对原始的 P -中值模型进行修正。本文将根据学校撤并的政策目标构建对应的优化模型。

中国农村地区的学校撤并,在政策文件中清晰地表述为以下2个目标:一是就近入学。在模型中可以通过要求学生上学距离不超过某个关键阈值来体现,已有文献按此修正了模型,修正后的模型同时具有 P -重心和 P -中心的特性(彭永明等, 2013);二是确保学校规模的标准化。本文将在彭永明等(2013)改进的模型的基础上,增加对学校规模的约束条件来进行学校布局优化。同时考虑了最大距离约束和学校规模的 P -Median模型表述如下:

目标函数:

$$\min Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_j X_j = P, j \in J \quad (2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j, \forall j \in J, \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (4)$$

$$d_{ij} \times Y_{ij} \leq D_{\max}, \forall j \in J, \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_i h_i \times Y_{ij} \leq X_j \times C_{\max}, \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_i h_i \times Y_{ij} \geq X_j \times C_{\min}, \forall j \in J \quad (7)$$

$$X_j, Y_{ij} = \{0, 1\}, \forall j \in J, \forall i \in I \quad (8)$$

式中: Z 表示所有学生的上学距离之和; i 表示需求点,即各个行政村; j 表示候选点,即可能的学校选址,在本文各个行政村驻地; h_i 表示需求点 i 居住的学生数量; d_{ij} 表示需求点 i 到候选点 j 的最短道路距离,在地理信息系统平台上通过网络分析得到。式(1)为目标函数,用于求最小化 Z 值;式(2)-(8)为约束条件。其中式(2)要求规划布局小学数量为 P 个;式(3)要求需求点的学生只能到被选中的候选点上学;式(4)要求需求点的学生只能去一个学校上学;式(5)要求每个学生到学校的距离要小于一个设定的阈值 D_{\max} , D_{\max} 表示给定的最大上学距离;式(6)要求学校规模不超过设定的学校最大规模;式(7)要求学校规模不小于设定的学校最小规模, C_{\max} 和 C_{\min} 分别表示学校就读学生数量的最大规模和最小规模;式(8)表示 X_j 和 Y_{ij} 为(0,1)决策变量, X_j 表示候选点 j 是否有学校,如果有学校则为1,否则为0, Y_{ij} 表

示需求点 i 是否被分配到候选点 j 就学,如果是则赋值为1,否则为0。

在模型求解算法方面,本文对模型改进是整数规划问题,属于典型的非确定性多项式难题(NP-hard)问题。本文将采用分支界定法而不是退火算法等启发式算法进行求解,因为前者得到的最优解相比启发式算法是全局解,相对于其他算法具有通用性(Land et al, 1960)。

2.2 案例区与数据来源

北京延庆区位于北京市西北部,为北京市郊区之一,延庆区距北京德胜门74 km。根据《北京市总体规划(2004-2020)》,延庆区功能定位为首都生态涵养发展区,以农业和生态保护为主。截至2010年,延庆区共辖15个乡镇,397个行政村(图1)。在教育设施方面,延庆区也经历了大规模的学校撤并:1995年几乎村村有小学,小学总数达到295个;到2010年,全区仅有46所小学,学校数量减少了84.41%。在需求点规模方面,本文研究尺度为村级,采用各村7~12岁小学适龄儿童数量来表示需求规模。由于2010年人口普查数据中只有各村5~14岁的人口统计,本文按年龄比例计算了各村学龄儿童人口数。各村适龄儿童人数的平均值为28人,最大值是大榆树镇大泥河村的372人,最小值是刘斌堡乡营东沟村的1人。在模型候选点方面,采用的学校布设候选点包括了各个村的位置。

本文所用人口数据来源于《北京市延庆县2010年第六次人口普查分村数据》,路网数据采用数字

化的县域道路规划资料,最低等级的公路数据包括了乡道。

2.3 参数设定

模型中 P 、 C_{\max} 、 C_{\min} 和 D_{\max} 等4个重要参数,需要预先设定。本文设定学校数量参数 P 为2010年延庆小学实际数量。根据《2010年延庆县年鉴》,当时延庆县(现为延庆区)共有46所小学,故 P 为46。最大和最小规模约束取值参考了中国《农村普通中小学校建设标准》(建标[2008]159号),其中规定学校规模最大规模为1080人,最小规模为120人。故本文设定 C_{\max} 和 C_{\min} 分别为1080和120。参数 D_{\max} 一般采用规范的可达性标准。1986年中国曾规定学生居住地与学校距离原则上应在3 km以内,国际上对于学生上学距离一般要求5 km以内(van Goeverden, 2013)。但是经过测算,维持延庆区学校数量不变,如果设定最大距离参数为3 km或5 km时,模型均无解。换言之,按目前的学校数量,无法实现所有学生在5 km以内入学。故参考彭永明等(2013)采用的方法进行了参数设定。具体为:按1 km步长,逐步增加参数 D_{\max} 的数值进行求解,最后发现当参数值增加到12 km时,模型才有解。因此,本文设定12 km为最大距离阈值。这一数值低于现状中的最大上学距离(2010年延庆真实的学校布局下,学生上学的最大距离为13.4 km)。

3 结果与分析

本文通过对比有规模约束和无规模约束的模型最优解,来说明学校规模约束对学校选址的影响。共设定了2个情景:情景一不包含式(6)-(7),即不包含学校规模约束,是仅考虑最大上学距离约束的 P -Median模型;情景二在情景一的基础上加入了式(6)和式(7)这2个规模约束。

3.1 情景一的优化结果

根据确定的参数和算法,求解得到未增加学校规模约束的空间优化模型的优化结果。计算得到目标函数最优解为22037.86 km,学生平均上学距离为1.58 km。其中41%的学生上学距离小于平均值,80%的学生上学距离小于5 km。按现状学校的布局 and 最近学校入学,现状上学总距离至少为68062.84 km,是本情景最优解的3.09倍。可见,现实的学校布局与最优布局偏离很大,农村地区学生上学距离较长,在很大程度上是学校布局与最优布局



图1 延庆学校分布现状

Fig.1 Distribution of schools in Yanqing District, Beijing City

偏离较大造成的。由于中国以前实行“小学村村覆盖”的政策,本文采用的学校候选点在农村小学撤并过程是曾经存在学校的,意味着如果采用优化方法辅助决策,这一布局是有可能实现的。

优化模型计算后得到学校分布结果如图 2 所示。可以发现,区域内小学总体布局较为均衡,达到《城乡规划法》提出的每个乡镇至少布设一个普通小学的基本要求,其中延庆镇建有小学数量最多,共有 11 所小学;八达岭镇和珍珠泉乡仅各建有 1 所小学。

但是,在优化模型中如果不施加规模约束,则结果会出现部分学校规模低于国家学校规模下限的情况。具体地,有 9 所小学没有达到 120 人这一

最小的学校规模(表 1)。比如,最优解中,白河堡水库布局有学校,但该学校仅有 12 名学生。这样规模的学校,在师资配置和硬件建设方面,显然存在规模不经济,不利于提供良好的教育环境。在这一优化模型的最优解中,没有出现突破国家学校标准上限的情况。所有学校的学生规模均低于 1080 人,最大规模的学校出现在旧县镇张北庄村,共有学生 878 人。

3.2 情景二的优化结果及比较

根据 2.1 小节构建的模型进行求解,得到情景二的最优解。比较 2 个优化结果,可以发现学校布局发生了显著的变化,46 个学校中有 65.22% 的学校选址位置发生了变化(图 3)。总体而言,学校布局

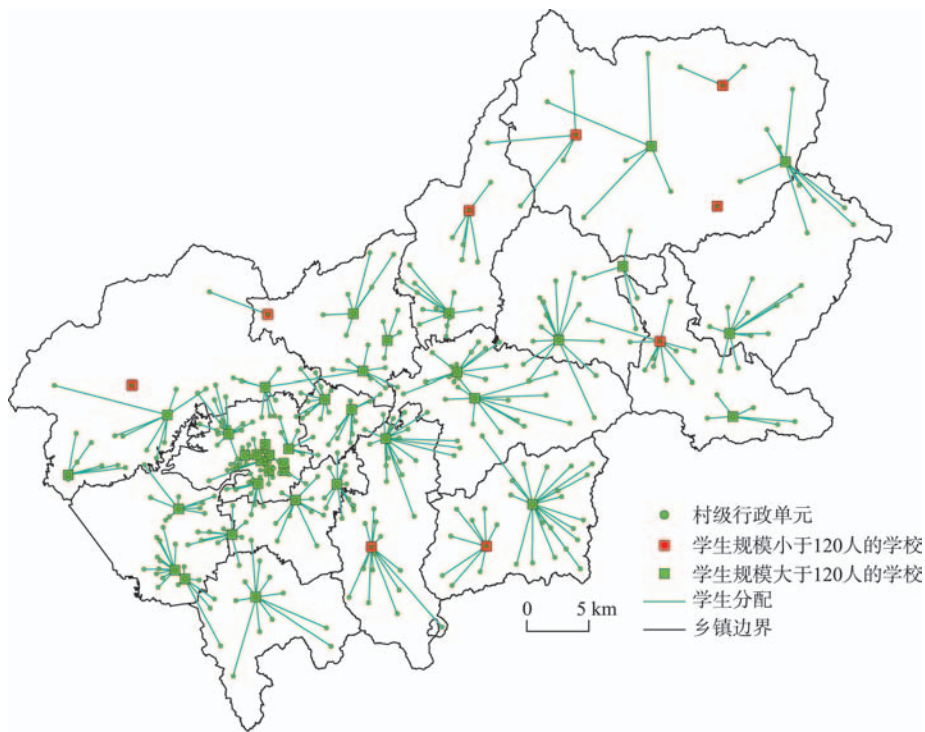


图 2 情景一下延庆区农村小学布局和学生分配

Fig.2 School locations and student-to-school assignments for scenario 1 in Yanqing District

表 1 未达到国家标准规模的小学

Tab.1 The primary schools under the national standards of school size

学校所在位置	规模/人	学校所在位置	规模/人
香营乡白河堡水库	12	大庄科乡霹破石村	85
香营乡下德龙湾村	36	井庄镇老银庄村	97
千家店镇花盆村	47	旧县镇古城村	100
千家店镇红旗甸村	73	四海镇黑汉岭村	107
张山营镇小河屯村	74		

变得更为分散。本文采用最邻近指数(NNI)来比较 2 种情景情景学校最优布局的差异程度。若该指数大于 1,则学校布局为分散分布;小于 1,则为集聚分布;等于 1 表示随机分布。计算结果表明,情景一的 NNI 指数为 1.3033,情景二的 NNI 指数为 1.3165,均为离散分布;而后的分布更为分散。

学校的选址虽然发生了较大的变化,但从乡镇尺度看,学校分布又较为稳定。从各个乡镇所拥有

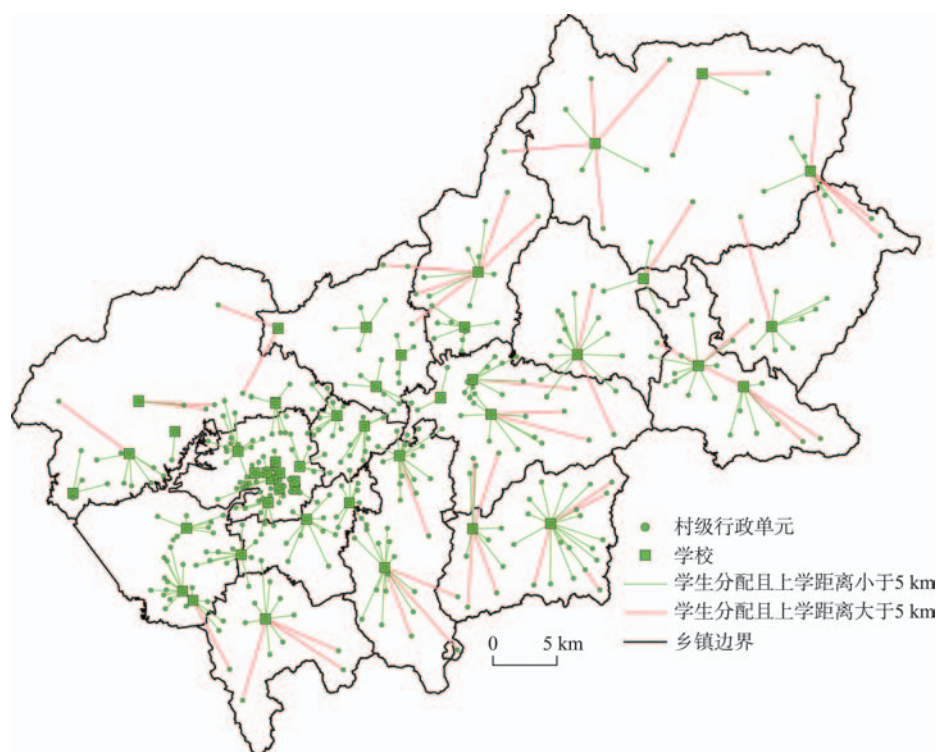


图3 情景二下延庆区农村小学布局和学生分配

Fig.3 School locations and student-to-school assignments for scenario 2 in Yanqing District

的学校数量而言,仅有3个乡镇发生了变化:张山营镇和永宁镇各新开设了1所学校,千家店镇则撤并了2所学校。这意味着新的优化方案在乡镇一级的实施难度与原优化模型的布局调整难度相近。

学校规模的标准化,有利于提高学校的运行效率和教学质量,缩小学校间教育质量的差异。施加规模约束后,学校的学生规模得到了保证,所有学校的学生数量均在120~1080人之间,符合国家标准。其中,最小规模的学校有120人,共有3所这样的学校,分别位于香营乡南窑村、旧县镇大柏老村和井庄镇老银庄村;最大的学校规模与无规模约束的模型结果一样,仍然是878人,但并非同一个学校:情景一中位于旧县镇张北庄村,而情景二中位于延庆镇燕水佳园。

但是,学校规模的标准化也带来上学距离方面的负面影响。本文进一步比较了施加规模约束的距离代价,计算结果表明,施加规模约束会造成更长的学生上学距离。满足规模约束条件下的最优解为23911.85 km,这一总上学距离比情景一增加了1873.99 km(增加了8.50%),但平均每个学生的上学距离增加并不大,仅增加了135 m,距离代价很小。值得一提的是,情景二下上学距离小于5 km的

学生数增加了232人,占学生总数的1.67%。

3.3 情景二下上学距离的空间分类

如前所述,一般认为学生上学距离不宜超过5 km。根据情景二下学生的上学距离是否大于5 km,可将延庆区的行政村分为2类,进一步讨论每一类与情景一相比的距离变化,并讨论其空间分布特征。

上学距离小于5 km的村有314个,学生12921人,主要分布在该区西南部的县城附近(图4a)。这一类虽然只占村总数的79%,却服务了93%的学生,可见情景二下多数学生上学是较近的。与情景一相比,这一类中有257个村的上学距离没有发生变化,主要分布在延庆区的西南部;上学距离减少的村共36个,这些村在情景二的上学距离得到了改善,特别是其中11个村的上学距离从5 km以上减到5 km以下,距离减少的村主要分布在延庆区东北、中部和西北部;上学距离增加的村共21个,主要分布延庆区的东北部山区。

上学距离大于5 km的村共有83个,占案例区村总数的21%;学生984名,占学生总数的7%。这类村主要分布在该区外围人口、道路较为稀疏的地区,特别是东北部山区(图4b)。其中,上学距离不变

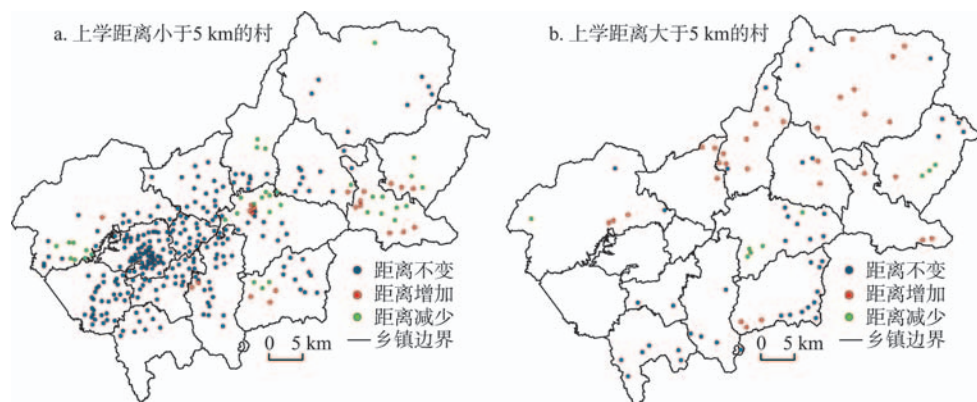


图4 情景二延庆区农村学校布局和学生分配优化结果分类

Fig.4 Classification of optimization results of scenario 2 in Yanqing District

的村共43个,主要分布在延庆西南地区并靠近延庆边界;上学距离增加的村共31个,主要分布在案例区东北部,其中有14个村的上学距离从5 km以下增加到了5 km以上;上学距离减少的村共9个,主要分布在该区的东部。

从2类居民点的空间分布看,平原地区特别是县城周边人口、路网较为密集的地区,学生上学距离较小,这类区域在优化模型中增加学校规模约束后,多数村的上学距离没有变化,甚至减少。上学距离较远的村主要分布在距离县城较远、人口较少、路网密度较低的地区,特别是东北部的偏远山区,虽然这类地区也存在一些上学距离较近的村,但多数受到了增加学生规模约束的影响。总体而言,施加学校规模约束后,对人口稀少和路网稀疏地区的优化效果是显著的,对人口密集的县城周边平原地区影响很小。

4 结论与讨论

目前,中国已经发布了农村学校建设的学生规模标准,但还少有研究涉及这一标准对学校布局优化的影响,本文构建了包含学校学生规模约束的空间优化模型,以延庆区为案例探讨学校规模对学校布局优化的影响。对比施加规模约束前后的空间优化模型的结果,主要结论为:

(1) 施加规模约束后学校布局有很大调整,有65.13%的学校选址位置发生了变化,从总体看学校布局分散程度更高,说明符合国家标准和学校规模将对学校布局优化产生很大的影响。但在乡镇尺度下考察,则学校的空间分布格局仍基本未发生变

化,反映了学校规模约束影响具有一定的空间稳定性。

(2) 施加规模约束后的最优解可以保证学校规模符合国家标准,仅付出了少量的距离代价(平均每个学生的上学距离仅增加135 m)。但不同地区付出的距离代价存在一定差异,上学距离增加较大的居民点多分布在乡镇交接地带以及北部和东部山区,而西南部地区居民点的上学距离基本上没有变化。

根据本文分析,可对农村地区学校布局调整提出以下建议:学校规模对农村学校布局调整的影响确实较大,本案例区在学生现状上学距离已较长的情况下,又有所增加,这对学生的学习和成长是不利的,但从确保学生规模可以提高教学效益视角又具有一定的合理性,因此在学校布局调整时应考虑学校规模约束。

中国的《义务教育法》规定各级政府为公众提供义务教育服务,追求系统最优的空间优化模型对中国公立为主的学校体系更具有实践指导价值。政府出台行业标准或部门规范对学校布局进行布局优化前,应进行充分的情景模拟研究。学校规模标准化或有利于改善教学质量,但可能造成上学距离大幅度增加。虽然在本文的案例区仅造成了轻微的上学距离增长,但由于人口分布等方面的差异,在其他地区未必是同样的结果。学校规模标准化的影响需要更多的案例研究,以充分揭示不同区域在上学距离和学校规模标准化之间的相互关系,为布局优化提供更充分的科学决策基础。此外,中国实际的人口分布仍处于不断变化过程中,应该尝试对动态的空间优化模型进行深入研究。

参考文献(References)

- 二十一世纪教育研究院. 2013. 农村教育向何处去: 对农村撤点并校政策的评价与反思[M]. 北京: 北京理工大学出版社. [21st Century Education Research Institute. 2013. Nongcun jiaoyu xiang hechu qu: Dui nongcun chedian bingxiao zhengce de pingjia yu fansi[M]. Beijing, China: Beijing Institute of Technology Press.]
- 韩艳红, 陆玉麒. 2012. 教育公共服务设施可达性评价与规划: 以江苏省仪征市高级中学为例[J]. 地理科学, 32(7): 822-827. [Han Y H, Lu Y Q. 2012. Accessibility assessment and planning of public service facilities for education: A case study on senior high schools in Yizheng City [J]. Scientia Geographica Sinica, 32(7): 822-827.]
- 韩增林, 杜鹏, 王利, 等. 2014. 区域公共服务设施优化配置方法研究: 以大连市甘井子区兴华街道小学配置为例[J]. 地理科学, 34(7): 803-809. [Han Z L, Du P, Wang L, et al. 2014. Method for optimization allocation of regional public service infrastructure: A case study of Xinghua Street primary school[J]. Scientia Geographica Sinica, 34(7): 803-809.]
- 胡思琪, 徐建刚, 张翔, 等. 2012. 基于时间可达性的教育设施布局均等化评价: 以淮安新城规划为例[J]. 规划师, 28(1): 70-75. [Hu S Q, Xu J G, Zhang X, et al. 2012. Temporal accessibility based educational facilities even development evaluation: Huai'an new city planning example[J]. Planners, 28(1): 70-75.]
- 孔云峰, 李小建, 张雪峰. 2008. 农村中小学布局调整之空间可达性分析: 以河南省巩义市初级中学为例[J]. 遥感学报, 12(5): 800-809. [Kong Y F, Li X J, Zhang X F. 2008. Analysis of spatial accessibility for school redistricting in rural China: A case study of the secondary schools in Gongyi City, Henan Province[J]. Journal of Remote Sensing, 12(5): 800-809.]
- 孔云峰, 王震. 2012. 县市级义务教育学校区位配置优化设计与实验[J]. 地球信息科学学报, 14(3): 299-304. [Kong Y F, Wang Z. 2012. Optimal location-allocation for county-level compulsory school site selection using GIS and integer linear programming[J]. Journal of Geo-Information Science, 14(3): 299-304.]
- 卢珂, 杜育红. 2010. 农村学校布局调整对学生成绩的影响: 基于两水平增值模型的分析[J]. 清华大学教育研究, 31(6): 64-73. [Lu K, Du Y H. 2010. The effect of layout adjustment of rural schools on student achievement: Analysis based on the two-level value-added model[J]. Research on Education Tsinghua University, 31(6): 64-73.]
- 卢晓旭, 陆玉麒, 袁宗金, 等. 2010. 基于可达性的城市普通高中生源区研究[J]. 地理科学进展, 29(12): 1541-1547. [Lu X X, Lu Y Q, Yuan Z J, et al. 2010. Research on student distribution of general senior high school in city based on accessibility[J]. Progress in Geography, 29(12): 1541-1547.]
- 彭永明, 王铮. 2013. 农村中小学选址的空间运筹[J]. 地理学报, 68(10): 1411-1417. [Peng Y M, Wang Z. 2013. Space operation of rural primary and secondary school location [J]. Acta Geographica Sinica, 68(10): 1411-1417.]
- 任若茜, 王艳慧, 何政伟, 等. 2014. 基于改进的两步移动搜寻法的贫困区小学教育资源空间可达性分析: 以重庆市黔江区为例[J]. 地理信息世界, 21(2): 22-28. [Ren R H, Wang Y H, He Z W, et al. 2014. Research on spatial accessibility of primary school education resources in poverty area based on modified two-step floating catchment area method: A case study of Qianjiang[J]. Geomatics World, 21(2): 22-28.]
- 姚永强. 2009. 基于规模经济视域下的农村中小学布局调整[J]. 现代教育科学, (6): 1-2. [Yao Y Q. 2009. Spatial redistribution of rural middle and primary schools from the perspective of scale economics[J]. Modern Education Science, (6): 1-2.]
- 赵丹, 范先佐. 2011. 偏远农村学生上学难问题及对策思考: 以学校布局调整为背景[J]. 河北师范大学学报: 教育科学版, 13(12): 37-41. [Zhao D, Fan X Z. 2011. A strategic study of the difficult schooling in remote rural country: Distribution of schools[J]. Journal of Hebei Normal University: Educational Science Edition, 13(12): 37-41.]
- 赵丹, 曾新. 2015. 义务教育均衡发展背景下农村学校规模对教育质量的影响[J]. 现代教育管理, (3): 26-30. [Zhao D, Zeng X. 2015. Rural school size and educational quality: Impacting factors and policy suggestions[J]. Modern Education Management, (3): 26-30.]
- 郑童, 吕斌, 张纯. 2011. 北京流动儿童义务教育设施的空间不均衡研究: 以丰台区为例[J]. 城市发展研究, 18(10): 115-123. [Zheng T, Lv B, Zhang C. 2011. Research on the inequity of compulsory education infrastructure for migrant children in Beijing: A case study of Fengtai District [J]. Urban Studies, 18(10): 115-123.]
- 钟业喜, 余双燕. 2011. 南昌市基础教育资源空间可达性研究[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 35(6): 657-661. [Zhong Y X, Yu S Y. 2011. The accessibility of basic educational resources in Nanchang City[J]. Journal of Jiangxi Normal University: Natural Sciences Edition, 35(6): 657-661.]
- Church R L, Murray A T. 1993. Modeling school utilization and consolidation[J]. Journal of Urban Planning and Development-Asce, 119(1): 23-38.
- Haller E J. 1992. High school size and student indiscipline: Another aspect of the school consolidation issue[J]. Educational Evaluation and Policy Analysis, 14(2): 145-156.
- Kumar R C. 1983. Economic of scale in school operation: Evidence from Canada[J]. Applied Economics, 15(3): 323-340.

- Land A H, Doig A G. 1960. An automatic method of solving discrete programming problems[J]. *Econometrica*, 28(3): 497-520.
- Laporte G, Nickel S, da Gama F S. 2015. *Location science* [M]. New York & Heidelberg, Germany: Springer International Publishing.
- Li L, Liu H M. 2014. Primary school availability and middle school education in rural China[J]. *Labour Economics*, 28: 24-40.
- Møller-Jensen L. 1998. Assessing spatial aspects of school location-allocation in Copenhagen[J]. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 98(1): 71-80.
- Nasir N, Shariff S S R. 2014. Using hierarchical *P*-Median problem for public school allocation[J]. *AIP Conference Proceedings*, 1613(1): 420-426.
- Ndiaye F, Ndiaye B F, Ly I. 2012. Application of the *P*-Median problem in school allocation[J]. *American Journal of Operations Research*, 2(2): 253-259.
- Pizzolato N D. 1994. A heuristic for large-size *P*-Median location problems with application to school location[J]. *Annals of Operations Research*, 50(1): 473-485.
- Taylor R G, Vasu M L, Causby J F. 1999. Integrated planning for school and community: The case of Johnston County, North Carolina[J]. *Interfaces*, 29(1): 67-89.
- Teixeira J, Antunes A, Peeters D. 2007. An optimization-based study on the redeployment of a secondary school network [J]. *Environment and Planning B: Planning & Design*, 34(2): 296-315.
- Tong D Q, Murray A T. 2012. Spatial optimization in geography[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(6): 1290-1309.
- van Goeuverden C D, de Boer E. 2013. School travel behaviour in the Netherlands and Flanders[J]. *Transport Policy*, 26: 73-84.

Optimizing school distribution with constraints of school size after school consolidation in rural China:

A case study of Yanqing District, Beijing City

DAI Teqi¹, WANG Liang¹, ZHANG Yuchao², LIAO Cong¹

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

2. Beijing Education Examinations Authority, Beijing 100083, China)

Abstract: With urbanization and the decrease of rural population, a large number of rural schools in China has been merged. How to optimize the layout of schools has become a research hotspot. In 2008, China issued the standards of school size, but the impact of the standards on the layout of schools is yet to be researched. In this study, based on existing location allocation models, constraints of the size of schools were applied to build a model of school layout optimization, which also considered the constraint of maximum distance to school. We chose the primary schools in Yanqing District, Beijing for case study and used the branch and bound algorithm and global optimal solution method to solve the model. The data range from 1995 to 2010, which include 295 primary schools distributed in nearly all villages at the start, and 46 primary schools after the large-scale school merging. The results show that after the school size constraints were applied in the optimization model, 65.22% of the rural schools need to be relocated, which reflects the significant impact of school size constraints. But school spatial distribution pattern remained essentially unchanged at the town and township scale, with the proximity index higher than 1, larger than before. After applying the size constraints, the distribution pattern of schools was still a discrete type. But the degree of dispersion has decreased. The optimal solution with school size constraints can satisfy the national standards. At the same time, the optimal solution results in an increase of schooling distance at 135 m per student, which is acceptable. Finally, this study examined the implications of the results for the school layout optimization policy.

Key words: rural school; school consolidation; school size; school layout optimization; *P*-median model; Yanqing District, Beijing City