

文章编号: 1009-6000(2020)04-0043-09

中图分类号: TU984 文献标识码: B

doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2020.04.006

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目(风景园林学); 教育部人文社科基金(181YJCZH043, 20YJAZH115); 国家留学基金委公派高级研究学者、访问学者、博士后项目(201308320105)。

作者简介: 张洁芦, 南京林业大学风景园林学院, 硕士生;

周珍琦, 南京林业大学风景园林学院, 硕士生;

徐振, 通信作者, 南京林业大学风景园林学院副教授, 博士, 研导, 注册城乡规划师, 哈佛大学定量社会研究所(IQSS)、加州大学伯克利分校城市与区域发展研究所(IURD)访问学者。

基于需求特征的大学设施布局适宜性评价研究 ——以南京市部分高校为例

Suitability Evaluation of University Facilities Layout Based on Demand Characteristics: Taking Several Universities in Nanjing as Examples

张洁芦 周珍琦 徐振

ZHANG Jielu ZHOU Zhenqi XU Zhen

摘要:

在我国大学生人口逐年增长、身体素质逐年下降的背景下, 探讨符合大学生需求的设施布局适宜性显得尤为重要; 关于步行指数测度的方法及应用实践近年来层出不穷, 但针对大学生这一特殊群体的基于大学生实际需求的“自下而上”的设施适宜性评估及其相关方面的探讨尚未完全充分展开。本研究依据核密度分析结果选取3个布局模式不同的典型大学, 采用百度地图POI爬取技术和问卷调查相结合的方法, 基于ArcGIS分析大学生活设施需求特征, 归纳并总结设施布局模式差异及其各类设施需求的异同, 探讨设施布局对学生步行出行需求的影响。另从健康视角出发, 基于大学生设施需求度和容忍时长, 初步提出步行量最优化的步行指数计算方法, 以揭示潜在步行量不足区域, 为提升大学生步行水平、促进大学生身心健康、推进校园规划更新进程提供参考。

关键词:

步行指数; 设施布局; 需求满足率; 健康校园

Abstract: With the increasing population and the declining physical fitness of college students, it is particularly important to explore the walking suitability of facilities allocation that meets the needs of college students. The application and practice of walking index has emerged in recent years, but the “bottom-up” facility suitability assessment based on the actual needs of college students has not been fully developed. Based on the results of nuclear density analysis, this study selected three typical universities with different layout modes. Using the combination of Baidu Map POI crawling technology and questionnaire survey, this study analyzed the characteristics of college life facilities demand based on ArcGIS, summarized the differences of facilities layout modes and the similarities and differences of various facilities demand, and discussed the impact of facility layout on students’ walking travel demand.

In addition, from the perspective of health, based on facility demand and tolerance time, a preliminary calculation method of walking index is proposed to reveal potential areas of insufficient walking, which can provide reference for improving college students' walking level and promoting college students' physical and mental health.

Key words: walking index; facilities layout; demand satisfaction rate; healthy campus

0 引言

世界卫生组织（WHO）指出大学和高等教育机构是推进健康事业进程的重要场所^[1]。据国家体育总局发布的《2014年国民体质监测公报》^[2]显示，大学生身体素质呈现连年持续下降趋势，为改善这一现状，教育部印发《国家学生体质健康标准》以促进学生体质健康发展。针对大学生健康改善问题，国内当前研究多从学生个人而较少从环境层面上进行探讨，国内外大量研究表明，环境与身体活动水平有显著关系^[3-5]，如何提升步行环境适宜性进而提升国民身体素质已成为国内外城市规划、公共健康、地理学等领域的研究热点^[6-8]。步行作为大学校园中最为普遍的体力活动方式，引导支持大学生步行对促进大学生体质健康有重要意义。为提升大学生步行水平，阿拉巴马大学（University of Alabama）于2012年新制定了一份促进大学生步行的校园总体规划，其中包括街道、人行道、自行车道的校园道路系统网络的构建；普林斯顿大学（Princeton University）于2016年公布了以可步行校园理念为核心的“新校园计划”^[9]。新城市主义、精明增长理论、新传统主义规划也皆以可步行性（walkability）作为指导原则^[10]，可步行性的提出不仅有利于促进身体健康，同时也能更好地构建社交网络，维护社会公平，促进社会经济发展。

国外针对大学校园步行性的评价研究已经展开，塔里亚（Tanya M. Horacek）等人为评价政策、设施、建成环境对体力活动的支持程度，推出体力活动校园环境支持量表（PACES）并将其

运用于美国13所大学实践研究当中^[11]，另对各大学步行性进行评估，探讨其与身体质量指数（BMI）之间的关系^[12]；张萱等以佐治亚大学为例，在前人研究基础上，着重强调城市设计层面的环境要素并结合当地人群步行偏好，进一步提出主观方式相结合的步行环境评价方法（POWER）^[9]；佐利（Zohreh Asadi-Shekari）等人改进了行人服务水平评价方法（PLOS），并将其运用于马来西亚理工大学（Technological University of Malaysia）校园步行设施评价当中^[13]。国内对步行适宜性评价的研究成果多集中在社区、街区和城市尺度层面，对微观尺度下校园步行适宜性评价的研究几乎没有，相关大学校园规划研究也大多从整体功能布局、土地空间布局模式、校园形态演变等出发，忽略了健康环境影响因素在校园规划中的作用。大学校园集中建设的时期已过去，在当前存量规划的背景下，研究日常生活设施步行出行适宜性有利于减少资源消耗、提升学生步行水平，进而促进校园规划更新。

设施可达性作为可步行性评价研究中的重要一环，其测度模型和方法被不断提出并优化。步行指数方法由于具有统一计算标准便于横向对比，国内学者基于此方法不断改进并积极开展实践研究，吴健生等人根据我国国情对居民使用设施类别及权重进行相应调整，将步行指数方法应用于深圳市福田区日常生活设施配置合理性评价当中，并比较研究了普通克里格法和反距离权重法在计算面域步行指数准确程度方面的差异^[14]；卢银桃以上海市杨浦区江浦路街道为例，

通过调查市民的日常服务设施使用特征，分析居民出行需求满足度、使用多样性和距离衰减规律，从而提出较为系统的步行指数方法改进实践策略^[15]；黄建中等人针对老年人这一特殊群体，以上海市3个社区为例，对步行指数方法进一步改进，分析老年人出行时间衰减规律，拟合时间衰减曲线，使计算结果更精确^[16]。

本研究针对大学生这一群体，基于大学生出行需求，调查并分析其设施使用特征、设施使用多样性和时间衰减规律，采用步行指数计算方法对南京市3所大学布局适宜性进行评价，探讨设施布局对学生步行出行需求的影响，并在此基础上，从健康视角出发，初步提出步行量最优化的步行指数计算方法，为进一步提升大学生步行水平、促进大学生身心健康、推进健康校园规划更新进程提供参考。

1 研究数据与方法

1.1 区域选择

市区和郊区内大学在尺度和设施布局方式上都存在一定差异，本研究通过爬取南京市多所大学附近约1.2km范围内的POI点（邓肯等的研究表明，在1.2km范围内步行性评价的有效性最强^[17]），采用核密度分析法总结对比各大学POI点布局模式，最终选取位于郊区的设施以点状聚集为主的南京师范大学仙林校区（以下简称南师大）、邻近市中心的设施以带状分布为主的南京林业大学主校区（以下简称南林大）和位于市中心的设施以面状分布为主的南京大学鼓楼校区（以下简称南大）（图1）。

1.2 研究数据及方法

研究运用 Python 获取百度地图设施点数据及路网数据，采用问卷调查和访谈的方式了解设施的使用情况及体力活动情况，问卷包括两部分内容，第一部分为各类设施的使用频率、日常使用的各类设施数量、到达设施的容忍时间等，第二部分为国际体力活动调查问卷 (international physical activity questionnaire, IPAQ)^[18]。个体访谈主要为确定日常使用的设施类型。调研最终获得 555 个有效样本，其中南师大 212 份，有效 200 份；南林大共回收问卷 208 份，有效 201 份；南大 161 份，有效 154 份。

在调查过程中，根据实际使用频率和需求意愿确定了 20 类校园生活设施，主要包括小吃店、饭店、食堂、水果店、超市、沿街服装店、百货商场、快递点、菜场、休闲娱乐场所、公交站、地铁站、校内绿地、校外绿地、校内运动场所、校外健身中心、医院及诊所、药店、酒店及宾馆、理发店等。本研究是基于学生步行出行主观需求的研究，而教学楼步行出行需求由统一规划的课表设置决定，不由大学生主观需求意愿决定，因此暂不考虑此类设施。



图1 3种设施分布模式

表1 南师大设施权重表

设施分类	分类需求 满足度/%	多样性 取值	各设施多样性需求分配/%							
			1	2	3	4	5	6	7	8
食堂	42.11	3	20.84	15.76	5.51					
水果店	8.74	3	4.87	2.98	0.89					
超市	7.38	3	4.39	2.35	0.64					
校内运动场所	7.17	3	4.69	1.92	0.56					
校内绿地	6.61	3	4.55	1.42	0.64					
小吃店	6.02	6	2.16	1.66	0.95	0.59	0.47	0.19		
快递点	4.41	3	2.04	1.59	0.78					
公交站	4.34	7	1.75	1.20	0.51	0.30	0.21	0.20	0.17	
地铁站	3.98	3	3.05	0.70	0.23					
饭店	2.42	8	0.60	0.50	0.39	0.30	0.23	0.14	0.13	0.13
校外绿地	1.70	2	1.39	0.31						
百货商场	1.09	4	0.53	0.31	0.17	0.08				
休闲娱乐场所	1.02	5	0.54	0.30	0.09	0.05	0.04			
沿街服装店	0.74	7	0.23	0.15	0.12	0.09	0.07	0.04		
校外健身中心	0.70	2	0.63	0.07						
理发/干洗店/美容	0.55	2	0.43	0.12						
药店	0.28	2	0.22	0.06						
菜场	0.26	1	0.26							
医院/诊所	0.25	2	0.20	0.05						
酒店/宾馆	0.23	3	0.15	0.06	0.02					
总计	100.00									100.00

2 设施布局适宜性评价过程

2.1 设施权重

设施权重计算方法参考了卢银桃步行指数方法^[15]，即通过计算设施的需求度和多样性取值来完成设施多样性需求分配。与前人研究不同的是，本研究基于各学校需求特征，分别计算其设施权重，结果更具代表性。设施分类需求度是以所有设施的使用总频率作为步行出行需求总量，得到各类设施对需求的满足度（分类需求满足度）。多样性需求反映了人们对设施的需求广度，即统计分析多个同类设施对该类设施需求的承担比例。

本研究通过分析统计各学校问卷样本数据得到各自的 20 类设施的多样性需求表，即设施权重表（表 1—表 3）。设施权重的计算步骤如下：①各大学设施分类需求满足度计算，将所有设施的使用总频率作为需求总量，单类设施的使用频率作为单类设施需求量，单类设施需求量占需求总量的比例即为分类需求满足度；②多样性取值计算，根据统计的使用各类设施的多样性个数，确定同类型设施中由近及远各个设施的使用次数比例，承担 90% 以上该类设施需求的个数则为多样性取值；③多样性需求计算，

将单类设施分类需求满足度按照此类设施多样性比例（各个设施的使用次数比例）分配到各个设施上，得到设施多样性需求分配值，即设施权重。

2.2 时间衰减曲线

在选择设施的过程中，人们耗费的时间成本或距离成本越高，步行到达设施的可能性越低。研究参考黄建中等人根据样本寻找时间衰减规律的方法^[16]，拟合时间衰减曲线。时间衰减曲线拟合相对于距离衰减拟合更为简易，省略了时间转换为距离这一过程，结果也更加精确。时间衰减曲线反映了出行时间和

表2 南林大设施权重表

设施分类	分类需求 满足度/%	多样性 取值	各设施多样性需求分配/%						
			1	2	3	4	5	6	7
食堂	32.95	3	15.67	12.88	4.40				
超市	14.36	3	8.40	4.91	1.05				
校内绿地	9.02	3	5.46	2.61	0.95				
小吃店	8.43	7	2.12	1.96	1.54	1.16	0.83	0.45	0.37
地铁站	5.81	3	3.62	1.56	0.63				
校内运动场所	5.34	2	3.96	1.38					
水果店	5.20	3	2.80	1.90	0.50				
快递点	4.48	5	1.11	1.07	0.99	0.77	0.54		
饭店	3.23	6	1.08	0.90	0.56	0.33	0.26	0.10	
公交站	2.74	3	1.50	0.91	0.33				
校外绿地	2.41	3	1.63	0.56	0.22				
百货商场	1.12	6	0.43	0.27	0.17	0.10	0.09	0.06	
休闲娱乐场所	0.89	6	0.38	0.23	0.13	0.06	0.05	0.04	
沿街服装店	0.78	5	0.37	0.18	0.11	0.07	0.05		
菜场	0.68	2	0.63	0.05					
校外健身中心	0.67	1	0.67						
酒店/宾馆	0.60	4	0.41	0.09	0.05	0.05			
理发/干洗店/美容	0.60	2	0.45	0.15					
药店	0.36	2	0.28	0.08					
医院/诊所	0.33	2	0.24	0.09					
总计	100.00			100.00					

表3 南大设施权重表

设施分类	分类需求 满足度/%	多样性 取值	各设施多样性需求分配/%						
			1	2	3	4	5	6	7
食堂	31.35	3	15.52	9.33	6.50				
超市	9.77	3	5.57	3.19	1.01				
地铁站	8.50	3	4.85	2.87	0.78				
水果店	8.35	3	5.83	1.75	0.77				
校内绿地	6.70	3	4.83	1.35	0.52				
小吃店	6.29	6	2.03	1.59	1.12	0.76	0.58	0.21	
校内运动场所	4.97	2	4.08	0.89					
公交站	4.45	3	2.58	1.37	0.50				
饭店	3.86	6	1.29	1.01	0.67	0.43	0.33	0.13	
快递点	3.36	3	1.86	1.17	0.33				
校外绿地	2.98	3	1.65	1.02	0.31				
医院/诊所	1.78	2	1.33	0.45					
酒店/宾馆	1.38	3	0.93	0.30	0.15				
校外健身中心	1.32	2	1.00	0.32					
休闲娱乐场所	1.25	5	0.60	0.33	0.14	0.10	0.08		
百货商场	1.04	6	0.37	0.28	0.18	0.11	0.06	0.04	
药店	0.81	2	0.65	0.16					
菜场	0.71	2	0.65	0.06					
理发/干洗店/美容	0.57	2	0.47	0.10					
沿街服装店	0.56	4	0.28	0.16	0.08	0.04			
总计	100.00			100.00					

出行意愿的相互关系。横轴为容忍时间，即人们能接受的到达此类设施最长的时间，纵轴为衰减系数数值，取值范围为[0, 1]。在对样本进行曲线拟合的过程中，

一些需求值较低的设施不能达到曲线拟合标准，因此此类设施参考 WalkScore 距离衰减曲线转化后的时间衰减曲线进行衰减^[15]。此外，有研究指出，大多数人

最为舒适的出行距离是300~500m^[19]，根据标准步行速度，为便于后续计算，因此我们假定5min时距内不发生衰减，且当时距大于60min时，步行指数衰减为0，即设施对起始点的步行指数无影响（表4、图2）。

通过对样本容忍时间的散点图特征观察并运用SPSS软件进行函数筛选和试拟合，最终确定曲线分段函数，曲线方程为：

$$\begin{cases} y=1(x \leq 5) \\ y=ax+b(5 < x \leq 10) \\ y=a+b/x(10 < x < 60) \\ y=0(x \geq 60) \end{cases} \quad (1)$$

式中：x为步行时间(min)，y为衰减系数。此函数仅适用于食堂、超市、校内绿地、小吃店、地铁站、校内运动场所、水果店、快递点、公交站、菜场和药店此11类设施。 R^2 值多位于0.80至0.95范围内，故拟合度较好。

2.3 评价过程

本研究基于大学校园实际路网结构及校园范围构建300m×300m方格网，以每个单元格的几何中心点作为评价点，另取宿舍几何中心点对宿舍区进行评价，评价过程如下：

(1) 以评价点为中心，基于ArcGIS构建实际路网结构，参照百度地图实际路线，确定设施点的位置、到达最近几个设施点的时间成本（一般按照标准步行速度80m/min计算^[12]）。

(2) 根据时间衰减曲线得到衰减系数，在各类设施权重的基础上进行衰减，最终得到各类设施的步行指数。

(3) 将各类设施的最终指数得分累计相加得到该学校的步行指数：

$$W=f(p,d)=\sum_{i=1}^{n \in [1,n]} p_i d_i \quad (2)$$

式中： p_i 为第*i*个设施的需求满足度， d_i 为第*i*个设施的时间衰减系数，*n*是考虑了多样性取值的设施个数。

(4) 基于所有研究点的步行指数，

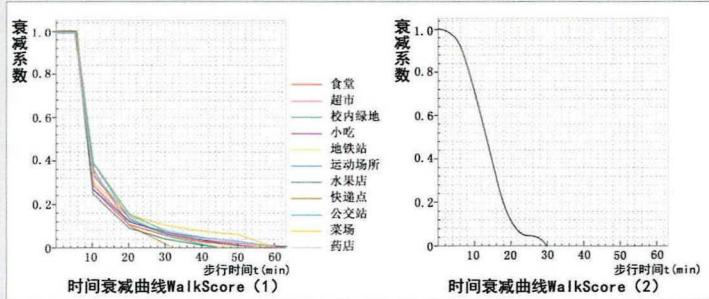


图2 时间衰减曲线

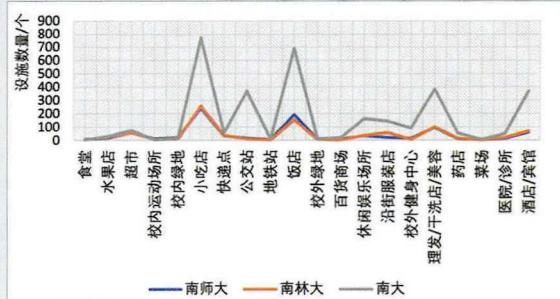


图3 3所大学设施数量对比图

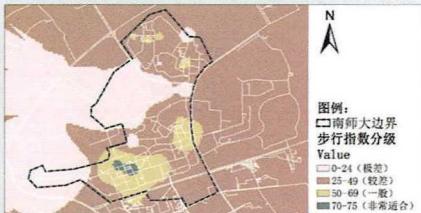


图4 南师大步行指数分级图

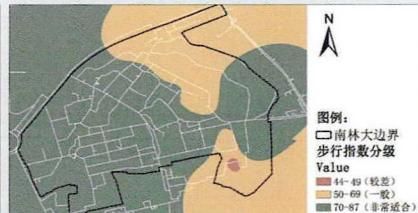


图5 南林大步行指数分级图

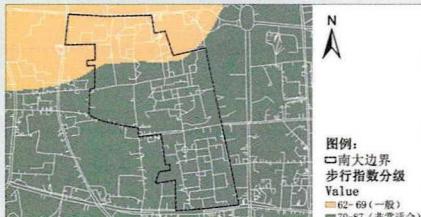


图6 南大步行指数分级图



图7 南师大步行指数分布详图

表4 时间衰减曲线函数拟合表(部分设施)

设施	R ²	P值	逆函数
快递点	0.933	0.002	$y = -0.167 + 5.262/x$ ($10 < x < 60$)
地铁站	0.919	0.000	$y = -0.109 + 4.813/x$ ($10 < x < 60$)
公交站	0.917	0.003	$y = -0.117 + 4.962/x$ ($10 < x < 60$)
超市	0.897	0.000	$y = -0.047 + 3.253/x$ ($10 < x < 60$)
药店	0.846	0.003	$y = -0.059 + 3.933/x$ ($10 < x < 60$)
菜场	0.845	0.027	$y = 2.970/x$ ($10 < x < 60$)

表5 大学步行性基本数据

学校	南师大	南林大	南大
有效样本数/个	200	201	154
整体步行指数平均值	33.13	77.93	74.69
宿舍区步行指数平均值	48.88	64.91	83.32
步行时间/(min/人·周)	254.07	358.32	258.59

表6 步行指数评价标准表

步行指数	描述
90~100	步行者天堂：日常无需汽车，完全可以通过步行解决
70~89	非常适合步行：大部分出行可通过步行解决
50~69	步行性一般：有一些出行可通过步行解决
25~49	步行性较差：只有少数出行可通过步行解决
0~24	步行性极差：几乎所有出行都不能通过步行解决

资料来源：<https://www.walkscore.com/methodology>。

采用反距离权重法，生成面域步行指数分布布图。

3 设施步行适宜性评价结果

3.1 整体评价

南师大、南林大、南大3所大学的生活设施布局适宜性评价结果见表5。从整体步行指数平均值来看，南林大的步行指数最高(77.93)，其次是南大(74.69)，南师大(33.13)最低；从IPAQ问卷调查得出的步行时长来看，南林大每人每周平均步行时长最长为358.32min，而南大和南师大分别为258.59min和254.07min。3所大学步行时长整体趋势与其步行指数方向一致，这一定程度上验证了学校设施步行适宜性与步行水平相关。另就3所大学设施数量而言，南大数量最多，南师大和南林大在设施数量上无明显差异(图3)。

根据步行指数评价标准表(表6)来划分步行适宜性等级，3所大学步行适宜性分级图如图4、图5、图6所示。从适宜性等级评估结果来看，南林大和南大绝大多数区域的大部分出行需求可通过步行解决，步行性等级偏高；南师大步行性较差，只有少数出行可通过步行解决，步行性等级偏低。此外，从图7、图8、图9可以更直观细致地看出各学校内部各区域内步行指数变化情况：南师大南侧宿舍区步行指数得分最高，往北递减，北侧绿地区适宜性最差；南林大步行最为适宜的区域集中在中央绿地，其最北侧玄武公寓区域和南

侧南大山区域适宜性最差；南大步行指数变化规律明显，从南至北依次递减。

3.2 分类设施评价

3.2.1 各学校分类设施需求差异

3所大学在分类设施需求上均有明显差异（图10），南师大地处仙林郊区，相对市区学校，南师大学生对食堂诉求更高，而南大周边餐饮类设施多种多样，对食堂就餐功能起到补充作用，因此南大学生对食堂需求度相对较低。在超市、校内绿地和小吃的需求方面，三者也有明显差异，南林大学生使用此类设施频率最高，其次是南大和南师大。此外，在交通出行需求方面，相较于南林大和南大，南师大学生使用公交的频率远高于地铁；在购物需求方面，南大和南林大对商场、沿街服装店此类设施的多样性要求更高。就容忍时间而言，3所学校对步行需求度高的设施时间敏感度较高，如南师大约50%、南林大约60%、南大约70%的学生对地铁站可接受步行时间范围在10min以内。

从整体上来看，3所大学对餐饮类设施、校内运动设施及校内绿地、交通设施需求度偏高，对娱乐设施等其他类设施需求度偏低。

3.2.2 分类设施评价

各学校分类设施步行指数及需求满足率如表7、图11所示。分类设施评价结果能详细反映出学生到达各类设施的步行适宜程度，有助于了解各类设施能否满足学生日常步行出行需求，以便针对性改善各类设施布局。

从整体上来看，南大步行出行需求满足率最高，其次是南林大，南师大满足率最低。南师大内绝大多数设施满足率低于40%，总体满足率非常低，对于学生使用频率最高的设施食堂，其满足率低至38%；地铁站的满足率接近0，说明步行范围内几乎未设置此类设施。相对于南师大，南林大设施需求满足率总体偏高且波动起伏较大，超市、小吃满足率高达90%以上，然而百货商场满足率低至14%，但

就整体而言，约一半的设施满足率均能达到80%以上。南大的分类设施需求满足率整体波动较小，且多集中在较高阈值范围内，超过一半的设施需求满足率高达90%以上，但此类满足率偏高的设施其使用频率普遍偏低。

3.3 步行指数方法验证

热力图以LBS平台手机用户地理位置数据为基础，通过一定的空间表达处理，最终呈现给用户不同程度的人群集聚度，即通过叠加在网络地图上的不同色块来实时描述城市中人群的分布情况，在城市空间结构、职住关系等研究中发挥不可或缺的作用^[20]。通过南林大微信热力图数据统计分析，可以得到一定范围内绝大部分学生的位置分布特征。

本研究以南林大为例对步行指数方法进行验证。热力图获取的是周末下课时间段用户密度分布，微信热力图（图12）和步行指数图（图13）在空间上呈现出较高的同步性，微信用户多聚集在步行指数较

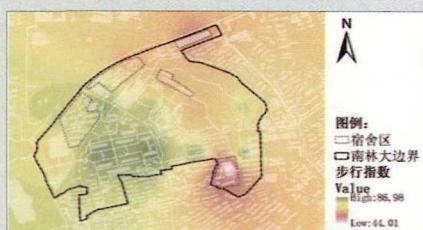


图8 南林大步行指数分布详图



图9 南大步行指数分布详图

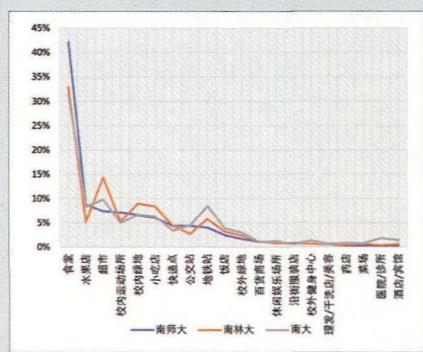


图10 3所大学分类设施需求度

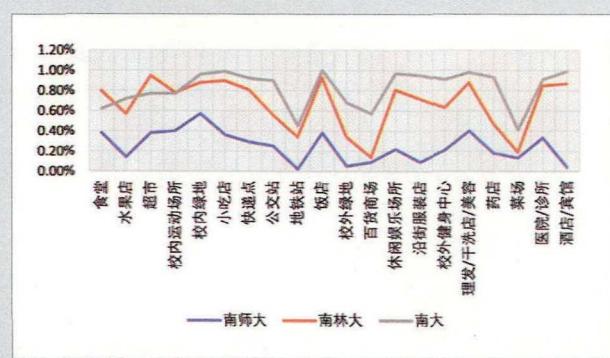


图11 3所大学分类设施需求满足率



图12 微信热力图

表7 大学分类步行指数及满足率

设施	南师大			南林大			南大		
	理想步行指数	实际步行指数	满足率/%	理想步行指数	实际步行指数	满足率/%	理想步行指数	实际步行指数	满足率/%
食堂	42.11	15.91	0.38	32.95	26.49	0.80	31.35	19.37	0.62
水果店	8.74	1.22	0.14	5.20	2.97	0.57	8.35	5.99	0.72
超市	7.38	2.82	0.38	14.36	13.65	0.95	9.77	7.56	0.77
校内运动场所	7.17	2.84	0.40	5.34	4.19	0.78	4.97	3.83	0.77
校内绿地	6.61	3.75	0.57	9.02	7.97	0.88	6.70	6.41	0.96
小吃店	6.00	2.16	0.36	8.43	7.55	0.90	6.29	6.24	0.99
快递点	4.41	1.26	0.29	4.48	3.62	0.81	3.36	3.08	0.92
公交站	4.35	1.09	0.25	2.74	1.54	0.56	4.45	4.01	0.90
地铁站	3.98	0.08	0.02	5.81	1.95	0.34	8.50	3.84	0.45
饭店	2.43	0.93	0.38	3.23	3.01	0.93	3.86	3.84	1.00
校外绿地	1.70	0.08	0.05	2.41	0.81	0.34	2.98	2.04	0.68
百货商场	1.09	0.10	0.09	1.12	0.16	0.14	1.04	0.60	0.57
休闲娱乐场所	1.02	0.22	0.22	0.89	0.72	0.81	1.25	1.22	0.97
沿街服装店	0.73	0.06	0.09	0.78	0.56	0.72	0.56	0.53	0.95
校外健身中心	0.70	0.15	0.21	0.67	0.42	0.63	1.32	1.20	0.91
理发/干洗店/美容	0.55	0.22	0.40	0.60	0.53	0.88	0.57	0.56	0.98
药店	0.28	0.05	0.18	0.36	0.17	0.47	0.81	0.75	0.93
菜场	0.26	0.03	0.13	0.68	0.13	0.19	0.71	0.29	0.41
医院/诊所	0.25	0.08	0.33	0.33	0.28	0.85	1.78	1.62	0.91
酒店/宾馆	0.22	0.01	0.04	0.60	0.52	0.87	1.38	1.37	0.99

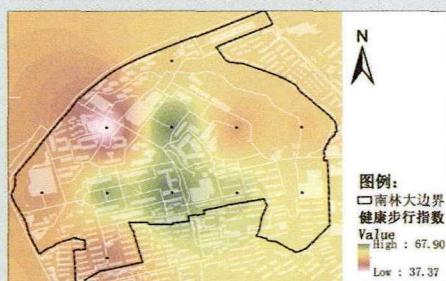


图13 步行指数图

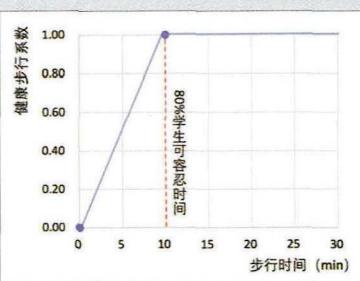


图14 健康步行系数变化曲线

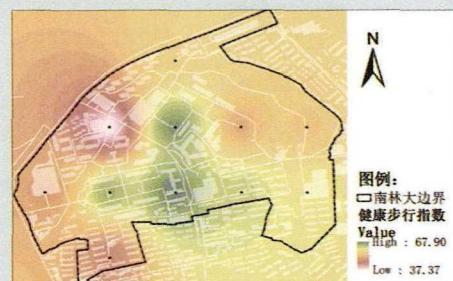


图15 步行量最优化指数分布图

高的区域，而步行指数较低区域用户聚集较少，由此可知，步行指数计算方法有效。

4 基于步行量优化的步行适宜性评价方法构建

目前学者们在步行指数计算的过程中对步行适宜性的解释默认为“越近则越适宜”^[15]。本文从健康角度对“步行适宜性”做出新的诠释，即在学生步行时间容忍范围内，步行量越优化越适宜，并就此进一步改进步行指数计算方法。基于此方法从健康视角挖掘潜在的步行量不足的区域，从而提出设施优化布局的建议。

4.1 评价方法构建

该方法在步行指数计算方法的基础上对容忍时间范围内步行量加以考量，最终得出基于个体需求的步行量优化的步行指数计算方法。研究制定两个假设：①为便于量化步行量与健康之间的关系，研究引入健康步行系数这一概念，假设在满足80%的设施使用人群可接受步行时间范围内，随着步行时间的增长，健康步行系数由0趋近于1，超过可容忍时长，健康步行系数持平不变（图14）；②在需求度满足度相同的情况下，行人偏向于选择容忍时间范围内距离较远的几个设施。此方

法以分类需求满足度（即使用频率）为基础步行指数，在时间衰减的基础上考虑健康步行系数，最终得出步行量优化的步行指数。以南林大为例，依据上述研究中的POI点数据及问卷数据，对此方法进行详细阐述。

4.2 评价过程

基于南林大校园实际路网结构及空间范围构建300m×300m方格网，以每个单元格的几何中心点作为评价点，评价过程如下：

（1）以评价点为中心，基于ArcGIS构建的实际路网结构，根据多样性取值

筛选出最接近容忍时间点的几个设施，并确定评价点到达各设施点的时间成本。如就饭店这一设施，多样性取值为7，80%的学生容忍时间为10min，则选取评价点到设施的时间最接近15min的7个设施，计算其时间成本。

(2) 根据时间成本得到时间衰减系数(图2)、健康步行系数(图14)，在各类设施分类需求满足度的基础上加以考量时间衰减、步行量权重，得到各类设施的步行指数。

(3) 将各类设施的最终指数得分累计相加得到该学校的步行指数：

$$W=f(p,d,w)=\sum_{i=1}^{n(f,n)} p_i d_i w_i \quad (3)$$

式中： p_i 为第*i*个设施的需求满足度， d_i 为第*i*个设施的时间衰减系数， w_i 是第*i*个设施的健康步行系数， n 是考虑了多样性取值的设施的个数。

(4) 基于所有评价点的步行指数，采用反距离权重法，生成面域步行指数分布图(图15)。

从基于步行量最优化的南林大步行指数图中可以看出，北侧宿舍区及西南侧居民楼区存在潜在的学生步行量不足的情况，本文限于篇幅，不对结果进行过多阐述。

5 结论与讨论

5.1 结论

从设施布局结合学校尺度及功能布局来看，南林大设施呈现东、南两侧沿街带状布局的特点，宿舍食堂区呈组团式分散分布，设施布局相对合理是其步行适宜性最高的主要原因。南大地处市中心，周边设施多种多样，然其步行适宜性相对南林大略低，主要原因是学校宿舍食堂区与教学区被汉口路一分为二，宿舍片区聚集南侧，此种隔离式功能分区布局方式较大幅度削减了食堂步行出行需求满足率，造成其步行适宜性相对较低。虽然南师大宿舍食堂区同南林大一样呈现组团式分散分

布的模式，但其由于学校尺度过大，设施大面积单方向聚集，致使步行适宜性较差。

就设施配置而言，应优先考虑餐饮、运动及交通类等需求度偏高的设施，尤其重视食堂设施的布局。学校设施布局方式比设施数量多少更为重要。南大虽周边设施多种多样，但由于其需求度较高的设施分布较远、需求度较低的设施分布较近，以至于其步行适宜性略低于南林大。且就分析结果来看，大学生对设施多样性需求平均约为3.5个，也就是说，理想上平均每个大学只要设置70个在步行容忍时间范围内的设施就能满足需求。然而由于现存大学必须具备足够的教学功能，因此其固有尺度必然较大，另学生又对设施步行时间敏感度较高，因此学校的每类设施设置数量必然高于70个，但依旧不会过多。目前3所学校在学校周边1.2km范围内各设施数量足够多，但依旧不能满足需求，主要原因是校园设施布局不合理。就本研究分析结果而言，在学校尺度合适的情况下，内部设施分散布局、外部设施带状邻街、需求度高则优先布局的分布模式，能有效促进步行适宜性。

5.2 讨论

5.2.1 加强政府主导作用，提高对健康校园事业的投入力度

国务院发布《“健康中国2030”规划纲要》提出了健康中国建设的目标和任务，倡导健康文明的生活方式。学校作为教育和文化传承的重要场所，大学生作为社会进步主要推动力量，“健康校园”的提出与创建对实施健康中国战略具有重要意义。美国大学健康协会(ACHA)在其政府的领导下推进实施“健康校园2020计划”^[21]，该计划基于社会生态学理论，从改善校园环境这一视角来促进学生健康，这一理念目前被广泛应用于欧美大学校园当中。在大学生体质下降的背景下，亟待创建符合中国大学生行为特征的健康校园计划。政府一方面需推进校园规

划与公共健康联合教育的项目，加强与大学生健康相关的科研投入，为培养交叉领域学科人才、制定中国大学健康校园计划提供理论支撑；另一方面需要注重大学生健康意识培养、营造良好健康文化氛围，积极推进健康计划实施。

5.2.2 校内外设施统一整合，资源共享

大学作为城市中教育与文化功能载体，无法脱离城市其他功能单独存在。在当前学校管理制度与权责分配下，大学与城市基本隔离，大学校方将社会人群作为校园管理的负担，尤其关注校内秩序，校园空间对商业设施异常排斥，学生对此类设施的需求多依附于校园周边社区或商业中心。另由于学校在建设初期缺乏可步行性的设计，导致校园尺度失控，与校园空间隔离的设施设置模式更造成校园内步行活力不足^[22]，这一缺点在郊区类大学体现更为明显。目前此种模式违背了建设初期校城一体化发展理念的初衷^[23]，将周边设施适当引入校园内，在校园内部按照设施服务半径合理设置，在校园外部结合周边社区需求整合设施布局方式，采用此种“校内分散、校外带状集中”的多层次设施布局模式，有利于实现资源共享，并进一步提升校园步行性。此外，在校园存量规划的背景下，调整设施布局能更省力地提升校园步行性，促进校园规划更新进程。

5.2.3 打破功能分区界限，提高功能混合度

从本研究可以看出，由于校园自身规模普遍偏大，过于明确的功能分区不利于可步行性校园的建立，因此在校园规划更新过程中，一方面适当改变完善建筑服务功能，使得其适应当代大学生需求；另一方面可加大校园内部各功能区域的混合度，尤其注重教学区、宿舍区、餐饮区的混合，尽可能使学生在可步行出行的范围内解决绝大多数的设施需求。

6 研究不足与展望

本研究侧重研究设施步行适宜性，未结合其他步行环境要素如美观性、安全性、空气质量、噪音等考虑，未能全面综合反映校园步行适宜性。未来应加大问卷样本量、结合学生需求对多所大学步行适宜性进一步精细化研究，在借鉴参考国外大学步行性评价方法上，构建一个兼顾设施可达性、步行环境适宜性的符合大学生需求的校园步行性综合评价方法，探索更合理的更利于学校步行的布局模式。此外，未来研究也应进一步结合步行环境要素完善健康导向的步行指数计算方法，对健康校园影响因子进一步评估，制定符合中国国情的“健康校园”计划，这对提升大学生身心健康水平、推进校园规划更新具有重要意义。

参考文献：

- [1] World Health Organisation. The WHO Health Promotion Glossary[Z]. 1998. [2013-09-02]. <http://www.who.int/healthpromotion/about/HPG/en/>.
- [2] 国家体育总局. 2014 年国民体质监测公报 [EB/OL]. 2015-11-25. <http://www.sport.gov.cn/n315/n329/c216784/content.html>.
- [3] Borchardt J L, Paulitsch R G, Dumith S C. The influence of built, natural and social environment on physical activity among adults and elderly in southern Brazil: A population-based study[J]. International Journal of Public Health, 2019, 64(5): 649–658.
- [4] Brownson R C, Baker E A, Housemann R A, et al. Environmental and policy determinants of physical activity in the United States[J]. American Journal of Public Health, 2001, 91(12): 1995–2003.
- [5] Saelens Brian E, Handy Susan L. Built environment correlates of walking: A review[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2008, 40(S1): 550–566.
- [6] Frank L D, Sallis J F, Saelens B E, et al. The development of a walkability index: Application to the neighborhood quality of life study[J]. BJSM Online, 2009, 44(13): 924–933.
- [7] Vargo J, Stone B, Glanz K. Google walkability: A new tool for local planning and public health research?[J]. Journal of Physical Activity & Health, 2011, 9(5): 689–697.
- [8] 鲁斐栋, 谭少华. 建成环境对体力活动的影响研究: 进展与思考[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 62–70.
- [9] Zhang X, Mu L. The perceived importance and objective measurement of walkability in the built environment rating[J]. Urban Analytics and City Science, 2019. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2399808319832305>.
- [10] Zhu X, Lu Z, Yu C. Walkable communities: Impacts on residents' physical and social health[J]. World Health Design, 2013(7): 68–75.
- [11] Horacek T M, White A A, Byrd-Bredbenner C, et al. PACES: A physical activity campus environmental supports audit on university campuses[J]. American Journal of Health Promotion, 2013, 28(4): e104–e117.
- [12] Horacek T M, Dede Y E, Kattelmann K, et al. Path analysis of campus walkability/bikeability and college students' physical activity attitudes, behaviors, and body mass index[J]. American Journal of Health Promotion, 2018, 32(3): 578–586.
- [13] Asadi-Shekari Z, Moeinaddini M, Muhammad Z S. A pedestrian level of service method for evaluating and promoting walking facilities on campus streets[J]. Land Use Policy, 2014(38): 175–193.
- [14] 吴健生, 秦维, 彭建, 等. 基于步行指数的城市日常生活设施配置合理性评估: 以深圳市福田区为例[J]. 城市发展研究, 2014, 21(10): 49–56.
- [15] 卢银桃. 基于日常服务设施步行者使用特征的社区可步行性评价研究: 以上海市江浦路街道为例[J]. 城市规划学刊, 2013(5): 113–118.
- [16] 黄建中, 胡刚钰, 李敏. 老年视角下社区服务设施布局适宜性研究: 基于步行指数的方法[J]. 城市规划学刊, 2016(6): 45–53.
- [17] Duncan D T, Aldstadt J, Whalen J, et al. Validation of Walk Score for estimating neighborhood walkability: An analysis of four US metropolitan areas[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2011, 8(11): 4160–4179.
- [18] IPAQ Group. International Physical Activity Questionnaire[EB/OL]. 2002. <http://www.ipaq.ki.se/downloads.html>.
- [19] 杨观宇. 城市舒适性步行系统的影响要素及其应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [20] 吴志强, 叶钟楠. 基于百度地图热力图的城市空间结构研究: 以上海中心城区为例[J]. 城市规划, 2016, 40(4): 33–40.
- [21] Taylor P, Hons B A, Saheb R, et al. Creating healthier graduates, campuses and communities: Why Australia needs to invest in health promoting universities[J]. Health Promotion Journal of Australia, 2017(12): 285–289.
- [22] 王峰玉, 朱丽娟. 功能混合对我国大学城建设的启示[J]. 现代城市研究, 2012, 27(6): 55–58.
- [23] 刘铮, 王世福, 莫浙娟. 校城一体理念下新城式大学城规划的借鉴与反思: 以比利时新鲁汶大学城为例[J]. 国际城市规划, 2017, 32(6): 108–115.