

用脚投票：基于个体轨迹的北京市跑步空间绩效评估与诊断研究

□ 崔 喆, 何莲娜, 吴兰若, 张晓东

【摘要】跑步活动与居民健康息息相关，与城市空间关系紧密，因此对跑步空间的优化具有现实意义，急需以实际跑步活动轨迹的绩效评估与诊断作为提升跑步空间品质的手段。文章在分析个体的跑步活动发生逻辑及群体跑步特征形成逻辑的基础上，构建跑步活动运行逻辑与分析框架，在绩效评估层面，提出基于绝对跑步匮乏人口和相对跑步匮乏人口的绩效评估指标；在诊断层面，提出包括路径结构指标、利用效率指标和发展潜力指标等 3 个大类的诊断指标体系。在此基础上，对北京市六环内地区的跑步空间绩效进行评估与诊断，将研究区内的街道 / 乡镇分为“天赋异禀”型、“无米下锅”型、“低效利用”型等 3 种类型，并根据研究结论提出相应的规划建议和研究展望。

【关键词】跑步行为；空间绩效；空间诊断；北京市

【文章编号】1006-0022(2023)05-0068-08 **【中图分类号】**TU984.11*3 **【文献标识码】**B

【引文格式】崔喆, 何莲娜, 吴兰若, 等. 用脚投票：基于个体轨迹的北京市跑步空间绩效评估与诊断研究 [J]. 规划师, 2023(5): 68-75.

Vote by Foot: Running Space Performance Evaluation and Diagnosis Based on Individual Tracking in Beijing/
CUI Zhe, HE Lianna, WU Lanruo, ZHANG Xiaodong

【Abstract】 Running enhances people's health, and running space optimization shall be carried out via practical running performance evaluation and diagnosis based on running paths. The paper analyzes the behavioral logic of individual running and group running, establishes an analytical framework, puts forwards performance evaluation indices based on absolute and relative runner shortage, and diagnosis indices by three types: running path structure, usage efficiency, and development potential. The approach is applied in the evaluation and diagnosis of running space within the sixth ring of Beijing, and the streets and towns are divided into three types: running space abundance, running space scarcity, running space low-efficient utilization. Relevant planning suggestions and research prospects are put forward based on the research conclusions.

【Key words】 running behavior; space performance; space diagnosis; Beijing

体力活动极大影响着居民健康，适宜的城市环境要素对居民体力活动有一定的带动作用^[1-5]。因此，提高城市空间对体力活动的促进性成为预防医学、健康地理学关注的核心对象以及健康城市实践的核心目标^[6-11]。但并非所有的体力活动都对人的健康起到同等作用。世界卫生组织与我国发布的健康指南均将中高强度体力活动（一般定义为运动时心率达到最大心率的 64% 以上的活动^[12-13]）作为评价居民体力活动的重要指标，不能使呼吸频率或心率有显著提高的低强度有氧运动则没有出现在中外健康指南的建议中。因此，为更好地促进居

民健康，健康城市研究应进一步关注能让居民“喘起来”的中高强度体力活动。

跑步是门槛最低、受众最广泛、促进全身运动效果较好的中高强度体力活动之一。同时，跑步也是与城市公共空间关系最紧密的运动，绝大多数的跑步活动都发生在街道、公园等城市公共空间中。由于多数中高强度体力活动都有专门的运动场地需求，既有研究发现对居民中高强度体力活动有较大影响的建成环境要素，如交叉口密度、公园密度^[5]以及道路通达性、公共服务设施密度与多样性^[14]等，其实质发生作用的

【基金项目】 国家重点研发计划资助项目 (2020YFB210400、2020YFB210401)

【作者简介】 崔 喆, 工程师, 现任职于北京市城市规划设计研究院数字技术规划中心。

何莲娜, 正高级工程师, 注册城乡规划师, 北京市城市规划设计研究院数字技术规划中心主任工程师。

吴兰若, 工程师, 北京城垣数字科技有限责任公司数据科学部部长。

张晓东, 通信作者, 正高级工程师, 北京市城市规划设计研究院科技委副总师、数字技术规划中心主任。

运动项目类型应以跑步为主。因此，城市建成环境的特征与质量对刺激居民跑步行为、促进居民整体健康素质具有关键作用，急需针对跑步这一单项进行评价分析。

行为与空间的结合是健康城市研究的特征之一。当前的健康城市研究为避免“就空间论空间”^[15]，应从人的感知、意愿和行为出发，以自下而上的体验式指标评估空间绩效^[16-18]。跑步空间绩效评估是研究跑步行为与城市建成环境关系的基石。但以往的研究长期依靠点对点接触的调研方式获取跑步等体力活动行为信息，包括填写问卷询问受访者体力活动时长及类型^[14, 19-24]，要求受访者佩戴GPS与加速度传感器^[25]以获取其体力活动轨迹等。这类研究方法的优势在于更加精准细致，可以同步获取居民属性等控制变量信息，但缺点在于研究成本高、样本数量少。这带来了理论与实践两方面的问题：理论层面，在对科学问题的探究上，由于样本数量少，研究范围小，使得研究剥离出的空间规律信度较低；实践层面，在对城市规划的指导上，缺乏大范围数据支撑会导致研究结果难以揭示跑步空间绩效的地理格局，难以将居民体力活动纳入城市体检等实践项目并作为考核依据。

基于运动APP的跑步轨迹大数据的出现解决了以往难以感知跑步者行为路径的难题，使研究者有条件获得城市跑步空间中大量跑步者“用脚投票”的结果，从而分析跑步者的反馈，揭示跑步空间绩效的地理格局，形成从“因”到“果”的逻辑闭环。

本文旨在解决如下问题：应当怎样合理利用跑步行为大数据，通过何种方法评价不同区域的跑步空间绩效？针对实施上的补短板 and 因地施策需求，如何识别跑步空间绩效短板地区的病症所在？针对上述问题，本文构建了基于居民个体轨迹数据的跑步空间绩效评估与诊断框架，并应用上述框架对北京市的跑步空间绩效进行了评估。

1 研究方法与数据来源

本文遵循城市跑步空间的适跑性与居民跑步行为选择的因果运行逻辑，在“症状”与“病理”层次之间加入“诊断”层次，建立起三层次分析框架(图1)。

1.1 城市跑步活动的运行逻辑

(1) 从空间到个体选择

虽然跑步活动的空间需求较其他中高强度体力活动而言相对简单，但是仍出现了跑步活动量的空间分异，其原因之一是不同居住地可达范围内跑步空间的供给质量不同。跑步与通勤、上学等刚性较强的必需行为不同，是一种“非被迫性”行为，环境要素在跑步行为的生成中起到引导个人偏好的中介作用，环境质量的好坏在一定程度上与居民个体属性、偏好等因素共同作用于居民的跑步行为选择。与其他中高强度体力活动不同，影响跑步活动选择的要素既有以“量变”方式影响居民跑步行为选择的要素(如体育场、绿地等)，也有供给数量基本一致，但质量差别较大的要素(如街道等)。

(2) 从个体选择到群体选择

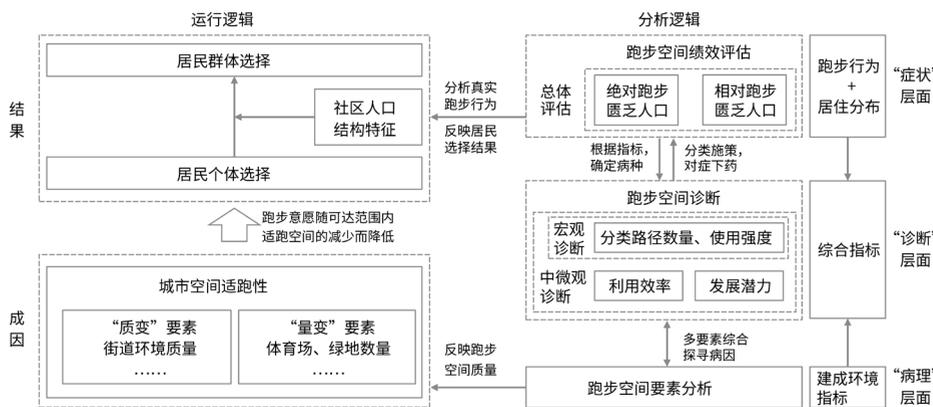
由于隐私保护的要求，运动APP公开的跑步路径数据不包含跑步者的个人属性信息，也就无从获取跑步者的意愿、感受等主观偏好信息，且由于研究空间尺度较大，细粒度人口结构资料获取难度

较大，需通过归并统计的方式对跑步者的个人属性与主观偏好进行控制。已有研究发现，在客观属性变量中，年龄、性别与居民中高强度体力活动强度的相关性不显著，学历、社会阶层要素与居民中高强度体力活动强度的相关性较弱^[14, 19]。这些变量的空间分异对跑步空间绩效评估的影响较小。在主观偏好变量中，热爱运动程度与居民中高强度体力活动强度强相关^[14, 19]，但不同类型社区居民剧烈运动的时间差异不显著^[22]，即不存在空间分异。根据大数定律，当样本量较大时，这些相关个人属性变量对群体跑步行为的影响会被抹平。因此，本文从“归并到一定规模后，不同地区居民运动偏好的平均值趋近于总体平均值”这一命题出发，将一定空间范围内大量居民的个体选择归并为群体选择，抹平居民个人偏好，突出建成环境要素的影响。综合各个空间单元内跑步强度与居民数量之间的关系，测度居民在建成环境影响下群体的跑步活动发生量及其位置，即“用脚投票”的结果，以此评估居民居住地周边跑步空间的绩效。

1.2 基于跑步匮乏人口的跑步空间绩效评估

(1) 数据处理

Keep、悦跑圈、咕咚运动、Nike+、Strava等提供的跑步轨迹数据都是未经纠偏处理的原始轨迹数据。由于居民的跑步路径不会完全重合，且GPS定位存



在误差,需要对其进行纠偏处理与计数。因此,本文采用格网法对跑步轨迹数据进行轨迹纠偏处理与计数,将跑步路径使用强度定义为经过格网的路径数量,并将格网像元大小定为30m。

(2) 跑步空间绩效评估

根据以上论述,跑步空间绩效评估需要将居民跑步行为与居民空间分布耦合叠加分析。根据纠偏处理与计数后的跑步路径数据和手机信令常住人口分布数据,通过人均跑步路径使用强度、绝对跑步匮乏人口占比、相对跑步匮乏人口占比等3个指标(表1)对某一空间单元的跑步空间绩效进行综合评估。

人均跑步路径使用强度是指各空间单元的跑步路径使用强度之和与空间单元内总人口之商。该指标综合了跑步强度与人口,是可以反映跑步空间优秀程度的进阶指标。但它们未包含可达性概念,且不能识别出缺少跑步路径的地区。

$$S = \frac{\sum S_n}{\sum P_n} \quad (1)$$

式中, S 为人均跑步路径使用强度, $\sum S_n$ 为各空间单元的跑步路径使用强度之和, $\sum P_n$ 为空间单元内总人口。

在此基础上,识别绝对跑步匮乏人口和相对跑步匮乏人口,计算绝对跑步匮乏人口占比和相对跑步匮乏人口占比。绝对跑步匮乏人口与相对跑步匮乏人口的划定借鉴了经济学对于绝对贫困和相对贫困的概念定义。在经济学领域,判断绝对贫困的方法是划定绝对贫困线,如世界银行定义绝对贫困的标准为日均收入小于1.9美元。判定相对贫困的方法是应用在群体中比较得到的相对线,如欧盟将收入小于全体居民收入中位数的50%的居民定义为相对贫困人口,新加坡将所有家庭中收入处于后20%的家庭定义为相对贫困家庭^[26]。借鉴经济学思路,本文将15分钟步行范围内无法接触到跑步路径的居住格网内的人口定义为绝对跑步匮乏人口。相对跑步匮乏人口则在比较中划定,即当某一地区的居住人口越多时,该地区15分钟可达范围内

的跑步强度也应越高,因此可根据城市特征与数据分布情况,在所有同等水平居民数量的居住格网中,将15分钟可达范围内跑步强度排名靠后或跑步强度低于特定指标(如中位数的50%、平均数的50%、后20%等)的格网中的人口定义为相对跑步匮乏人口。在此基础上,根据识别出的跑步匮乏人口计算各空间单元的跑步匮乏人口占比。需说明的是,这一识别结果是根据群体画像特征确定的,某一格网内的人口被划定为跑步匮乏人口并非意味着某一格网内的所有人均不经常跑步。

1.3 跑步空间诊断

由于跑步路径涉及多种空间,不同类型空间中建成环境与跑步绩效可能存在的不同的作用机制,整体机制体系可能过于复杂。为加强跑步空间绩效评估研究的实际应用支撑作用,本文借鉴部分

学者提出的应参考医学领域诊断学的定位^[27],在理论与规划实践中架起桥梁的做法^[28],在空间格局—影响机制两步研究框架的基础上加入诊断环节,目的是说明哪些类型的跑步空间出现了问题,以及问题的类型是供给的质量还是数量。跑步空间诊断基于3个大类9项指标,在不同观测尺度上研判跑步空间出现的问题类型。通过相关分析剖析诊断指标与跑步供需的关系,最后通过聚类分析找到各空间单元的共性病症,以支撑因类施策的跑步空间提升实践。

(1) 指标体系

将跑步行为与空间联系起来,建立起包括路径结构指标、利用效率指标、发展潜力指标3个大类的指标体系(表2)。路径结构指标表达研究区内跑步者对跑步空间类型的选择,包括各类型跑步路径的占比及其使用强度,适用于城市总体宏观尺度与城市内部空间单元中微观

表1 基于居民跑步路径的跑步空间绩效评估指标

指标	说明
人均跑步路径使用强度	各空间单元的跑步路径使用强度之和与空间单元内总人口之商
绝对跑步匮乏人口占比	15分钟步行范围内无法接触到跑步路径的居住格网内的人口与空间单元总人口之商
相对跑步匮乏人口占比	在同等人口规模下,15分钟可达范围内跑步强度相对较低(由城市特征具体确定指标)的格网中的人口与空间单元总人口之商

表2 基于居民跑步路径的跑步空间诊断指标

类别	指标	说明	适用范围
路径结构指标	跑步路径类型比例	各不同空间上(各级道路、绿地、居住用地、就业用地、体育场馆)的跑步路径长度的比例	城市总体、城市内部空间单元
	分类型跑步路径使用强度	经过各类型跑步路径的跑步者人数	
利用效率指标	无跑步路径绿地占比	无跑步路径的绿地斑块面积/绿地总面积	城市总体
	无跑步路径的水系岸线缓冲区面积占比	无跑步路径的水系岸线缓冲区面积/水系岸线缓冲区总面积	城市总体
	道路利用效率	道路上跑步路径总长度/道路总长度	城市内部空间单元
	绿地利用效率	绿地内跑步路径总长度/绿地总面积	城市内部空间单元
发展潜力指标	水系岸线缓冲区利用效率	水系岸线100m缓冲区内跑步路径总长度/缓冲区面积	城市内部空间单元
	绿地面积		城市内部空间单元
	水系岸线缓冲区面积	水系岸线100m缓冲区面积	
	人均绿地面积	绿地面积/空间单元居住人口	
	人均水系岸线缓冲区面积	水系岸线100m缓冲区面积/空间单元居住人口	

尺度诊断；利用效率指标基于城市内跑步活动主要依托的道路、绿地和水系岸线等3类空间，在城市总体尺度计算内部无跑步路径的绿地、水系岸线缓冲区的面积比例，在城市内部空间单元尺度计算各类空间内跑步路径与空间供给量的比例以判断各类空间的利用效率；发展潜力指标着眼于潜在可利用空间的多寡，判断各地区提升跑步空间供给能力的可能性。在缺少对比城市的情况下，通过利用效率指标和发展潜力指标在城市总体层面进行宏观诊断并无意义，因此这些指标只适用于城市内部空间单元中微观尺度的诊断。

(2) 相关分析——剖析诊断指标与症状之间的关系

通过相关分析剖析诊断指标与症状之间的关系。由于绩效评估指标与诊断指标均为连续变量，使用 Pearson 相关系数计算绩效评估指标与诊断指标之间的相关性。

(3) 聚类分析——寻找各空间单元的共性特征

聚类分析的目的主要是针对因类施策的“治病”需求进行各空间单元的共性分析。本文主要使用基于高斯混合模型(GMM)的最大期望(EM)聚类方法，这是一种基于概率论的软聚类算法，相比于 K-means 等聚类算法，这种算法支持

椭圆形的聚类簇形状，而非正圆形，从而可以使聚类结果更准确。

1.4 数据来源

本文的跑步轨迹数据来自 Keep 网站公开的 2020 年度全球跑步轨迹地图。截至 2021 年 4 月，Keep 手机 APP 已有 3 亿用户规模，2020 年用户累计跑步距离超过 11 亿公里。结合北京市第三次全国国土调查数据进行叠加分析，发现北京市 86.2% 的城镇住宅用地内有 Keep 健身点。上述信息表明，该手机 APP 的用户分布较广泛，在一定程度上呈现随机均匀特征，可以作为抽样样本，反映北京市跑步者的行为轨迹特征。本文选择北京市六环内的跑步路径，按照上述数据与处理方法进行纠偏处理与计数，得到处理后的跑步路径数据(图2)。其中：人口数据来自 2020 年 9 月百度地图慧眼居住人口分布数据，本文将该数据聚合到 250 m 格网中；绿地、水系数据来自 2020 年互联网电子地图数据。

2 北京市跑步匮乏人口识别与跑步空间绩效评估

2.1 跑步匮乏人口识别与分析

结合百度地图慧眼 250 m 居住人口格网数据，基于路网识别各格网 15 分钟

步行范围内的跑步路径，计算其可达跑步路径的使用强度之和。根据居民数量—跑步路径使用强度的分布情况，按居民数量排序，以 1000 个居住格网为一组，将每组中跑步路径使用强度为后 20% 的居住格网内的居民定义为相对跑步匮乏人口。最后通过相对线判断的相对跑步匮乏人口与通过绝对线判断的绝对跑步匮乏人口合并，考察其空间分布状态。结果发现，跑步匮乏人口空间分布总体呈现“内少外多，北少南多”特征。见图3。

基于 250 m 格网内总居住人口与跑步匮乏人口，进一步计算北京市六环内(以几何中心判断)各街道/乡镇的跑步匮乏人口占比(图4)。可见，北京市跑步匮乏人口呈现由城市中心向城市外围逐渐增多的特征。这与城市外围地区开放空间多、绿地与水系资源多的特征正好相反，其原因可能是适跑空间的设施需求高于开放空间、留白空间，这类空间只有经过整治才能完整发挥其社会效益。此外，跑步匮乏人口占比较高的地区主要分布在二环外南部地区，包括部分居住人口密度较高的新开发区域，这反映出北京市南部地区的跑步空间需进一步提档升级。

2.2 人均跑步路径使用强度分析

人均跑步路径使用强度为该街道/

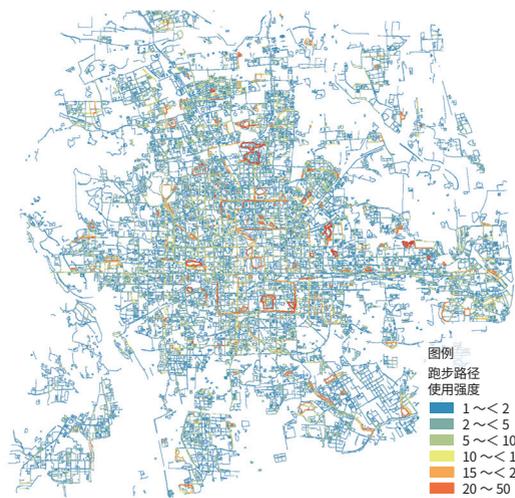


图2 北京市六环内 Keep 跑步路径数据(2020年)示意图

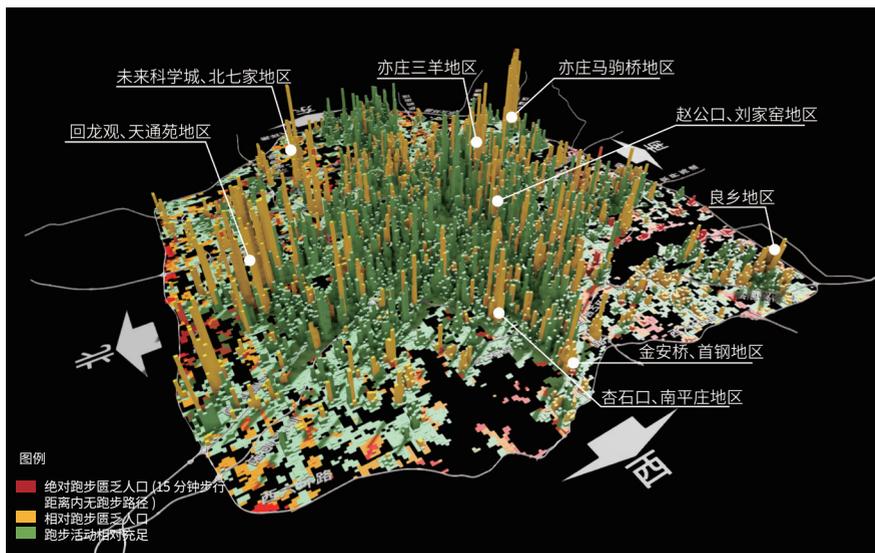


图3 北京市跑步匮乏人口空间分布图

注：图中柱的高度表示格网内的居民数量，颜色表示格网内居民的跑步匮乏状态。

乡镇中所有跑步路径的使用强度(某一条路径片段上跑步者的数量)与该街道/乡镇常住人口的比例。将北京市六环内各街道/乡镇的人均跑步路径使用强度求对数后绘制分布图(图5),发现与跑步匮乏人口指标相比,在跑步绩效较落后的地区的识别上,二者相似性较大。但部分跑步匮乏人口占比较小或无跑步匮乏人口的地区,人均跑步路径使用强度较低。一方面,如上所述,跑步匮乏人口指标偏向保底性,这一指标只考虑跑步强度的相对位次是否处于较低区间,而不考虑具体数量,因此跑步匮乏人口占比较小的街道/乡镇的空间优化可参考人均跑步路径使用强度指标。另一方面,人均跑步路径使用强度未考虑居民居住地与跑步空间的可达性问题,即虽然部分街道/乡镇内部跑步空间欠完善,但是居民可利用周边街道/乡镇的跑步空间,因此跑步匮乏人口占比较小。

3 北京市跑步空间诊断

3.1 全市尺度

3.1.1 跑步路径类型结构分析

在全市尺度下,对北京市六环内的跑步路径按所在用地类型进行分类,计算不同类型跑步路径的总长度及其使用强度,结果可见(图6):①体育场馆、绿地、水系岸线周边、教育科研用地中的人均

跑步路径使用强度最高,但其占比不高。这4类跑步路径均属于较优质的跑步路径,但从路径长度占比来看,这4类路径占比均较小,路径总长度仅占全部跑步路径长度的15.94%。②街道人均跑步路径使用强度随道路等级的下降而下降。高速路、快速路(辅路人行道)上跑步路径的平均使用强度为4.72,而主干路上跑步路径的平均使用强度为4.24,次干路、支路上跑步路径的平均使用强度为3.70。一种可能的解释是跑步需要较高专注度^[29],跑步路径中出现的交叉口、商业设施、停顿的人群等均会对跑步者产生干扰,而高等级道路的交叉口较少,周边设施也较少,可能更受跑步者青睐。

3.1.2 跑步空间利用效率分析

如上所述,绿地与水系岸线周边是人均跑步路径使用强度较高的两类公共跑步空间,且分布较广泛。基于跑步轨迹识别研究区域内无人跑步的绿地与水系岸线发现(图7),北京市六环内无人跑步的绿地面积占比为28.7%,无人跑步的水系岸线缓冲区面积占比为45.8%。北京市四环内的绿地、水系岸线得到了较充分的利用,基本没有无人跑步的绿地与水系岸线。四环外地区的绿地利用情况尚好,除部分因地形限制而无法跑步的绿地外,其他绿地无人跑步的比例较小。水系岸线的利用效率尚存在提升空间,如清河、温榆河、永定河等较大的河

流沿线,或仅有单侧岸线有跑步者跑步,或仅有部分河段的岸线有跑步者跑步,故可进一步提升郊野河流岸线的适跑性。

3.2 街道/乡镇尺度

3.2.1 绩效评估指标与诊断指标的相关关系

本文通过计算北京市六环内各街道/乡镇的绩效评估指标与诊断指标之间的Pearson相关系数,剖析二者间的相关关系(表3)。

对于低水平跑步空间,道路是保底性要素。与从保底角度考虑的跑步匮乏人口占比这一底线指标相关性较强的是道路利用效率,呈显著负相关,即道路利用效率越高,跑步匮乏人口占比越小。这说明对于现状跑步匮乏人口较多的跑步匮乏型街道/乡镇,应保证优化与提升道路步行空间这一基本保底性要素的适跑性。

对于高水平跑步空间,绿地、水系岸线是提升性要素。人均跑步路径长度与人均跑步路径使用强度两个指标主要是从跑步空间质量角度考虑的,是反映跑步空间优秀程度的进阶指标。与其相关性较强的是人均绿地面积与人均水系岸线缓冲区面积,呈显著正相关,即人均绿地面积、人均水系岸线缓冲区面积越大,跑步路径的长度越长及使用强度越高。虽然街道内绿地、水系岸线的数

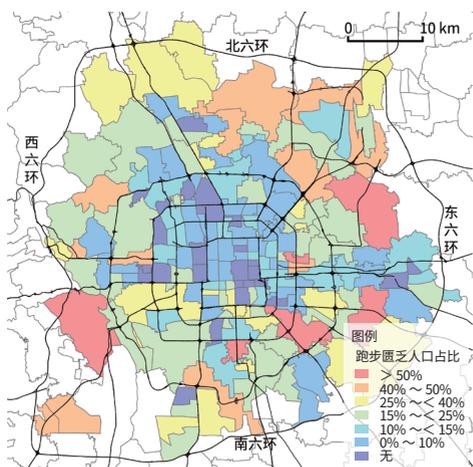


图4 北京市六环内各街道/乡镇跑步匮乏人口占比示意图

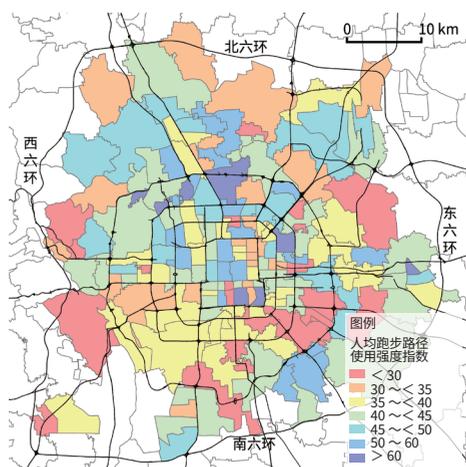


图5 北京市六环内各街道/乡镇人均跑步路径使用强度指数分布图

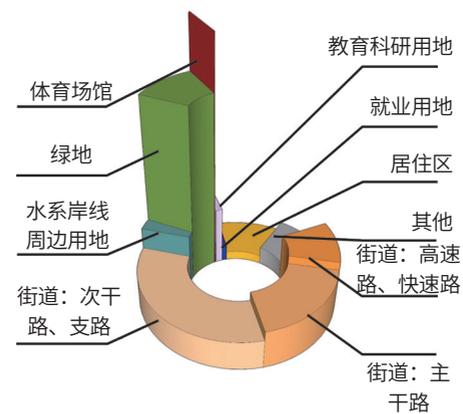


图6 北京市六环内不同类型跑步路径长度及使用强度示意图

注:图中各部分在圆环中的角度表示跑步路径的长度,各部分的高度表示单位路径长度上的使用强度。

量可有效提升跑步空间绩效,但是绿地、水系岸线是自然本底要素,并非所有地区都有条件建设提升这一类型的跑步空间。

3.2.2 分街道/乡镇跑步空间主导问题诊断

通过对各街道/乡镇的绩效评估指标、诊断指标进行聚类分析,找出具有共性特征的街道/乡镇,进而考察各聚类组的指标特征(表4)与空间分布特征。见图8。

经观察,将通过EM聚类得到的7组街道空间进一步归纳为3类地区,其中跑步空间绩效较低的街道/乡镇可分为“无米下锅”型和“低效利用”型,跑步空间绩效较高的街道/乡镇为“天赋异禀”型。

(1) “无米下锅”型

虽然组 I、II、III 的跑步空间利用效率高,但是可用空间总量少,因此人均跑步路径使用长度较短,跑步匮乏人口占比高,呈现出“无米下锅”的状态。从路径结构上看,这一类型街道/乡镇内道路沿线跑步路径的占比较高。组 I 的跑步空间利用效率最高,组 II 的绿地、水系岸线缓冲区跑步空间占比较小,组 III 的潜在跑步空间数量大于其余两组。这类地区主要分布在四环以内区域,多为城镇化率较高的存量地区。因此,应加强存量空间挖潜以增加空间供给,挖掘街道、短期暂不开发土地、小区院落空间、高架桥底等“金角银边”空间以承载居民的跑步功能。

(2) “低效利用”型

组 IV、V 的跑步匮乏人口占比最高(组 IV 为 17%,组 V 为 42%)。在诊断指标上,问题主要出现在跑步空间利用效率上,无论是道路还是绿地、水系岸线等开放空间,在这些空间中跑步的人都很少。组 IV 的跑步空间利用效率较组 V 更高,因此跑步匮乏人口和人均跑步路径使用强度两个绩效评估指标也较组 V 更好。这进一步表明,开放空间、留白空间不等于适跑空间,应在设计层面提升空间的安全性、舒适性,提升这类空间的适跑性,从而提升跑步空间的绩效。

(3) “天赋异禀”型

组 VI、VII 的自然资源本底条件得天独厚,应进一步增强其辐射带动作用。

表3 绩效评估指标与诊断指标之间的 Pearson 相关系数

指标	利用效率指标			路径结构指标			发展潜力指标		
	道路利用效率	绿地利用效率	水系岸线缓冲区利用率	道路占比	绿地占比	水系岸线缓冲区占比	人均绿地面积	人均水系岸线缓冲区面积	
人均跑步路径使用强度	0.140	-0.022	0.211**	-0.407**	0.521**	0.251**	0.819**	0.628**	
跑步匮乏人口占比	-0.478**	0.018	-0.221**	-0.176*	-0.066	-0.047	-0.011	0.044	

注:“***”表示相关性在 0.01 水平上显著(双尾);“**”表示相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

表4 各聚类组指标平均值

类型	聚类组	人均跑步路径使用强度	利用效率指标					路径结构指标					发展潜力指标			
			跑步匮乏人口占比	道路利用效率	绿地利用效率	水系岸线缓冲区利用率	高速路、快速路占比	主干路占比	次干路、支路占比	道路占比	绿地占比	水系岸线缓冲区占比	绿地面积	水系岸线缓冲区面积	人均绿地面积	人均水系岸线缓冲区面积
“无米下锅”型	组 I	0.08	0.12	0.21	176.6	90.2	0.39	0.21	0.23	0.83	0.22	0.39	26	37	3.2	4.5
	组 II	0.08	0.11	0.12	16.8	22.5	0.14	0.30	0.33	0.77	0.07	0.12	54	50	5.2	4.8
	组 III	0.16	0.12	0.19	33.3	50.8	0.16	0.17	0.22	0.55	0.42	0.55	188	131	27.1	22.5
“低效利用”型	组 IV	0.12	0.17	0.07	8.2	12.0	0.05	0.16	0.29	0.49	0.28	0.22	554	241	67.9	34.8
	组 V	0.06	0.42	0.04	2.2	2.6	0.04	0.20	0.37	0.61	0.05	0.11	440	381	39.9	40.4
“天赋异禀”型	组 VI	0.96	0.07	0.11	21.2	88.7	0.05	0.02	0.02	0.10	0.92	0.37	3529	305	449.0	44.1
	组 VII	1.59	0.00	0.14	6.9	8.8	0.10	0.10	0.25	0.44	0.43	0.32	403	236	997.0	585.0

注:单元格的填充颜色代表该聚类组的指标在所有样本中(一列)的相对位序。

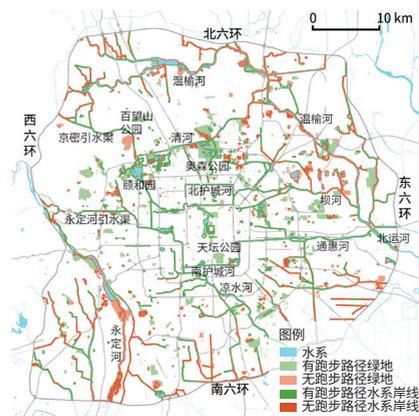


图7 北京市六环内绿地、水系岸线跑步空间利用情况示意图

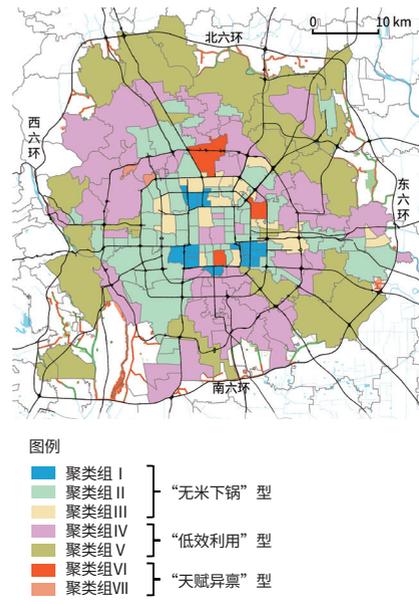


图8 不同聚类组街道空间分布图

这一类型的街道包括北京市跑步热度最高的地区——奥林匹克森林公园、天坛公园、朝阳公园，以及“三山五园”（“三山”指香山、万寿山、玉泉山，“五园”指颐和园、圆明园、畅春园、静宜园、静明园）地区均在这一组中。这类具有丰富跑步资源的地区可定位于全市级的跑步活动中心，不应局限于服务15分钟可达范围内的居民，还应加强其对全市级群众跑步活动的组织，营造与激发全市的跑步氛围和热情。

4 结论、建议与展望

4.1 结论

在健康城市研究中，面向运动者个体行为的研究受到更多关注，同时又需根据个体行为“用脚投票”的绩效评估结果来辅助分析和指导。

因此，本文首先分析了跑步者的行为逻辑与集体跑步特征的形成逻辑，将大量居民的个体选择合并成抹平个人特征的集体选择，而这一集体选择可以反映跑步空间绩效。

其次，在分析行为逻辑的基础上，本文根据跑步者的个体跑步行为大数据，结合“城市诊断”的概念提出了绩效评估—诊断—病理成因的三层次分析框架。在绩效评估层面，除提出了人均跑步路径长度、人均跑步路径使用强度两个指标外，还借鉴经济学对绝对贫困、相对贫困的划分，提出了绝对跑步匮乏人口和相对跑步匮乏人口的识别方法，并由此提出了绝对跑步匮乏人口占比、相对跑步匮乏人口占比两个基于可达性概念的跑步空间绩效评估指标。在诊断层面，针对在跑步空间绩效评估与基础行为逻辑原理之间架起桥梁以指导实践的需求，提出了包括路径结构指标、利用效率指标与发展潜力指标等3个大类的指标体系，并基于诊断指标向绩效评估找关系，提出通过相关分析剖析诊断指标与症状之间的关系，通过聚类分析找出有共性特征的空间单元。

最后，本文以北京市六环以内地区为例，根据Keep跑步大数据，将跑步空间的绩效评估与诊断方法进行实证应用。研究发现：①跑步匮乏人口空间分布总体呈现“内少外多，北少南多”特征。②体育场馆、绿地、水系岸线的跑步路径使用强度最高，但占比较低。③四环内绿地、水系岸线的利用效率较高，四环外则较低。④街道跑步路径的使用强度随道路等级的下降而下降。⑤对于低水平跑步空间，道路是保底性要素；对于高水平跑步空间，绿地、水系岸线是提升性要素。⑥全市六环内街道可分为3种类型，分别为“无米下锅”型、“低效利用”型和“天赋异禀”型。

4.2 建议

针对北京市的跑步空间绩效评估与诊断结果，本文提出如下规划应对建议：

(1) 精细划分街道慢行活动，复合定位街道功能类型

本文发现各类道路沿线的跑步路径占比较高，“路跑”为较普及的跑步类型，但支持“路跑”群体的相关街道优化仍处于缺位状态。当前，在部分街道设计导则与街道改造实践中，往往将步行、跑步、骑行统一为慢行，并提出相同的应对策略^[30]。跑步活动要求流畅、少受干扰，本文也发现街道跑步路径的使用强度随道路等级的下降而下降，上述特点均有别于步行、骑行。因此，应精细划分街道慢行活动，利用跑步轨迹数据选择跑步路径占比较大的街道进行针对性的规划干预。针对高等级道路人行道跑步路径使用强度较高的特征，应考虑复合定位，将街道分类体系由一维拓展至多维^[31]。高等级道路通常被定义为单一性质的交通性街道，这类街道因交叉口少、人行道宽度大，除承担交通功能外，也可承担跑步功能并进行相应优化，如在道路沿线的带状绿地中增设跑步道。

(2) 针对“无米下锅”型地区，应优化既有设施的时空间供给

本文识别出的“无米下锅”型地区

的跑步空间利用效率高，但可用绿地、水系岸线空间少。这类地区在跑步空间资源方面的增量空间有限，应着眼于既有设施与空间，通过采取设施延时开放，分时段共享开放学校、机关、企事业单位内的运动场等措施，在恒定的空间供给基础上优化时空间供给。

(3) 针对“低效利用”型地区，应优化利用绿地、水系岸线资源

本文识别出的“低效利用”型地区的特点是虽然可承载跑步的优质空间资源较多，但是利用效率较低。因此，应认识到开放空间、留白空间不等于适跑空间。这类地区应重点改造本文识别出的无人跑步的绿地与水系岸线，通过增设照明设施、改进步道铺装等空间优化方案增强适跑性，吸引跑步者前来跑步。同时，应优化绿道布局，采用增加绿道及对绿地、水系周边道路进行绿道化改造与管控^[32]等措施串联公园、绿地，增加跑步空间系统的连通性。

4.3 展望

未来可从以下方面展开深入研究：

(1) 针对细分跑步空间类型展开特定类型机制研究

针对街道、绿地等具有较高承载力的空间，瞄准跑步活动所特有的空间需求，在建成环境要素对跑步行为的影响机制等方面展开研究。对于道路，可关注道路的多种复合功能、区域内不同类型道路的级配、道路交叉口数量、道路绿化情况、道路照明情况及道路横断面特征等与跑步路径之间的因果关系。对于绿地，可关注空间内的流线设计及绿地内配套设施等要素对跑步的影响。

(2) 进一步加强居民属性、居民认知方面的研究，详细剖析人的决策过程与决策影响因素

可关注空间与行为的具体交互机制，研究居民在不同的空间供给下是如何通过信息搜寻、空间感知、行为认知地图一系列机制最终产生行动意向的；可使用大数据与小数据结合的方法，综合性

研究与定量研究进行分析。

(3) 进行多城市对比

跑步活动 APP 在全国乃至全世界都有用户在使用, 可以提供全世界的跑步行为数据, 因此能够支撑多城市的对比分析。对于单个城市的评估而言, 可以通过与其他城市的对比锚定站位。对于城市运行规律的分析而言, 可以通过多城市提供多样本, 以大样本提升研究结果的信度。

(4) 针对特定人群需求展开研究

基于手机 APP 的跑步行为数据可能不能反映出所有人群的跑步行为和跑步需求, 尤其是对于老年人等还未跨越“数字鸿沟”的人群, 可通过调研、活动日志调查等小数据方法, 感知这类人群的特殊行为特征、空间需求并提出规划策略。■

[参考文献]

- [1] 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report[R/OL]. (2019-09)[2023-03-16]. https://health.gov/sites/default/files/2019-09/PAG_Advisory_Committee_Report.pdf.
- [2] LEE I M, SHIROMA E J, LOBELO F, et al. Effect of Physical Inactivity on Major Non-communicable Diseases Worldwide: An Analysis of Burden of Disease and Life Expectancy[J]. The Lancet, 2012(9 838): 219-229.
- [3] SMITH M, HOSKING J, WOODWARD A, et al. Systematic Literature Review of Built Environment Effects on Physical Activity and Active Transport—An Update and New Findings on Health Equity[J]. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2017(1): 158.
- [4] KÄRMENIEMI M, LANKILA T, IKÄHEIMO T, et al. The Built Environment as a Determinant of Physical Activity: A Systematic Review of Longitudinal Studies and Natural Experiments[J]. Annals of Behavioral Medicine, 2018(3): 239-251.
- [5] SALLIS J F, CERIN E, CONWAY T L, et al. Physical Activity in Relation to Urban Environments in 14 Cities Worldwide: A Cross-sectional Study[J]. The Lancet, 2016(10 034): 2 207-2 217.
- [6] SILVER M. Planners and Public Health Professionals Need to Partner...Again[J]. North Carolina Medical Journal, 2012(4): 290-296.
- [7] LOON J van, FRANK L. Urban Form Relationships with Youth Physical Activity: Implications for Research and Practice[J]. Journal of Planning Literature, 2011(3): 280-308.
- [8] 王兰, 贾颖慧, 朱晓玲, 等. 健康融入国土空间总体规划方法建构及实践探索[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 81-87.
- [9] 谭少华, 郭剑锋, 江毅. 人居环境对健康的主动式干预: 城市规划学科新趋势[J]. 城市规划学刊, 2010(4): 66-70.
- [10] 李志明, 张艺. 城市规划与公共健康: 历史、理论与实践[J]. 规划师, 2015(6): 5-11, 28.
- [11] 单卓然, 张衍春, 黄亚平. 健康城市系统双重属性: 保障性与促进性[J]. 规划师, 2012(4): 14-18.
- [12] World Health Organization. WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour[R/OL]. (2020-11-25)[2023-03-16]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>.
- [13] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动(2019—2030年)[R]. 2019.
- [14] 张延吉, 邓伟涛, 赵立珍, 等. 城市建成环境如何影响居民生理健康? : 中介机制与实证检验[J]. 地理研究, 2020(4): 822-835.
- [15] 石晓冬, 杨明, 王吉力. 城市体检: 空间治理机制、方法、技术的新响应[J]. 地理科学, 2021(10): 1 697-1 705.
- [16] 张文忠, 何炬, 谌丽. 面向高质量发展的中国城市体检方法体系探讨[J]. 地理科学, 2021(1): 1-12.
- [17] 王灿, 王德, 朱玮, 等. 基于消费者行为的商业空间绩效评价体系建构[J]. 城市规划, 2021(3): 33-45.
- [18] 石晓冬, 杨明, 金忠民, 等. 更有效的城市体检评估[J]. 城市规划, 2020(3): 65-73.
- [19] 张延吉, 陈小辉, 赵立珍, 等. 城市建成环境对居民体力活动的影响: 以福州市的经验研究为例[J]. 地理科学, 2019(5): 779-787.
- [20] 曹晨, 甄峰, 汪侠, 等. 基于健康视角的城市就业者通勤模式选择及影响因素研究: 以南京市为例[J]. 人文地理, 2020(1): 114-122.
- [21] 姜玉培, 甄峰, 孙鸿鹤, 等. 健康视角下城市建成环境对老年人日常步行活动的影响研究[J]. 地理研究, 2020(3): 570-584.
- [22] 李智轩, 胡宏. 基于计划行为理论的城市居住分异对居民健康活动的影响研究[J]. 地理科学进展, 2019(11): 1 712-1 725.
- [23] 郑振华, 彭希哲. 社区环境对老年人行为与健康的影响研究: 不同年龄阶段老年人的群组比较[J]. 地理研究, 2019(6): 1 481-1 496.
- [24] 宋江宇, 周素红, 柳林, 等. 日常活动视角下居民健康影响的性别差异: 以广州为例[J]. 地理科学进展, 2018(7): 999-1 010.
- [25] 吴志建, 王竹影, 宋彦, 等. 城市老年人户外体力活动时空特征的社区分异: 基于GIS、GPS、加速度计的实证研究[J]. 人文地理, 2019(5): 53-61.
- [26] 樊增增, 邹薇. 从脱贫攻坚走向共同富裕: 中国相对贫困的动态识别与贫困变化的量化分解[J]. 中国工业经济, 2021(10): 59-77.
- [27] 万学红, 卢雪峰. 诊断学(第9版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [28] 叶锺楠, 吴志强. 城市诊断的概念、思想基础和发展思考[J]. 城市规划, 2022(1): 53-59.
- [29] 张佳奇, 朱文一. 美国最宜跑城市阿灵顿城的线路解析[J]. 城市设计, 2020(6): 58-67.
- [30] 吴文治, 陆佳顺, 赵斌. 国内外街道设计导则比较研究[J]. 规划师, 2022(7): 58-65.
- [31] 何兆阳. 对于我国城市道路多维分类体系的再思考: 基于街道营造与交通方式转型背景的探讨[J]. 城市规划, 2018(3): 118-127.
- [32] 汪小琦, 李星, 乔俊杰, 等. 公园城市理念下的成都特色慢行系统构建研究[J]. 规划师, 2020(19): 91-98.

[收稿日期] 2023-03-24