

景区动态承载力估算方法及其应用

葛军莲^{1,2,3}, 张翎^{1,2,3}, 刘民士⁴, 刘丰源¹, 龙毅^{1,2,3}, 黄震方^{1,2,3}

(1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023; 2. 江苏省地理环境演化国家重点实验室
培育建设点, 南京 210023; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023;

4. 滁州学院地理信息与旅游学院, 滁州 239000)

摘要: 景区承载力是旅游学研究的重要领域, 由于现有景区承载力估算模型以景区由“均质的可游览空间”构成为假设前提, 通过面积和游客单位游览面积进行景区承载力的估算, 未涉及游客进入景区游览行为的动态性。由于游客不能瞬时填满整个景区, 景区承载力具有时空特性, 故建立景区动态承载力计算的概念模型, 并构建以停留区、通道以及出入口等要素为空间实体的网络结构逻辑模型, 从而提出基于网络结构的景区动态承载力估算方法, 选取南京总统府景区作为实验区域, 验证所提出的模型和算法。将地理信息科学应用于旅游管理, 有利于确定景区承载力的具体量化水平, 使景区管理分时段管控措施得到有效发挥, 进而促进旅游景区实现更高质量的经济社会效益。

关键词: 景区承载力; 动态承载力; 网络模型; 动态估算

旅游景区是旅游者参观游览、休闲度假、康乐健身的主要场所, 游览过程中如果频发拥挤、堵塞、使用冲突和资源破坏等现象势必降低旅游者的旅游体验和满意度。更令人堪忧的是, 在旅游旺季、“黄金周”“小长假”, 个别景区由于游客数量管控不利, 引发安全事故, 给旅游者生命和财产带来重大损失。因此, 2013年《旅游法》出台了关于景区应当公布最大承载量的规定。虽然原国家旅游局制定了《景区最大承载量核定导则》(LB/T034-2014)(以下简称“导则”)[¹]的行业标准, 但在实际应用中, 随着游客的陆续入园, 局部区域拥堵的问题并不能通过最大承载量解决, 未能从根源上解决景区的安全隐患和游客的游览舒适度问题。因此, 开展景区承载力的动态定量测算任务迫切, 也是对景区客流量进行科学分时段管控的基础和前提。

景区承载力源于旅游承载力, 可追溯到环境承载力[²], 是旅游承载力在景区的具体体现, 以旅游景区为研究主体或对象, 通过构建指标和模型对景区各种承载力进行综合测算, 衡量其与旅游活动强度是否协调。旅游承载力又称为旅游容量, 虽然有学者质疑两者的差别[³], 但实质上只是研究角度不同, 并无本质不同, 都来自英文“tourism carrying capacity”。国内外学者鲜少对景区承载力进行专门界定, 更多地是对特定景区进行旅游承载力的测算与分析。国外学者关于景区承载力的研究始于1982年[⁴], 1984年LAC理论的提出[⁵], 为旅游承载力的研究提供了新思路, 掀起了国家公园景区承载力研

收稿日期: 2020-05-04; 修订日期: 2020-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071175); 国家重点研发计划项目(2017YFB0503500)

作者简介: 葛军莲(1978-), 女, 江苏南通人, 博士, 副教授, 研究方向为旅游管理与旅游规划。

E-mail: gejunlian@njnu.edu.cn

通讯作者: 张翎(1982-), 男, 江苏丹阳人, 博士, 副教授, 研究方向为地图学与GIS、旅游信息化。

E-mail: lingzhang@njnu.edu.cn

究的浪潮^[6-9]。国内旅游景区承载力研究始于苏州拙政园^[10]和颐和园^[11]的空间承载力的测算,带动了国内关于景区承载力的探索。随后,学者利用线路法、面积法和木桶原理,对景区的游憩用地、游览空间等有效物理环境空间进行最大旅游者数据测定^[12-17];还有研究通过构建评价指标体系,对景区承载力进行综合性定量测算^[18-20]。在景区承载力的时间变化研究方面,大多数研究对于时间的划分维度相对较粗,主要是淡季和旺季的差异^[21,22],对于“日”尺度下,主要根据实际客流进行“高峰”和“低谷”时段的区分考虑,时间因子在定量化计算时较多转为空间因素^[23]。

综上,近40年来国内外对于景区承载力变化的研究正在逐步深入,特别是在国内,大多采用以景区为整体单元,以一定时间的环境承载量为相对稳定量的研究策略,因为大多数景区应用的目的只是从各景区资源特色和控制要素出发考虑,获取相对明确的景区综合承载量,以此作为各景区客流调控的定量依据。同时已有的研究成果也存在显著不足:(1)道路要素与游览区域之间连接性考虑不够,继而对于不同游览区的可达性也缺失考虑;(2)忽视游客的旅游行为是一种动态流动的过程,客观地存在着时空分布的差异性;(3)部分关于景区承载力变化的时间与过程研究也主要限于较为宏观的时间单元研究,缺乏进一步的理论与方法支持。景区可游览面积是一个客观因素,但由于景区中不同景点吸引力不同,且任何游览空间都依赖道路相连,故景区的承载能力不应是固定值,而是随着游客充填行为及时间变动而变化的动态值。因此,亟待进一步开展景区动态承载力的概念、理论及其方法的系统性研究与深度运用。

1 研究方法

1.1 景区动态承载力模型构建

1.1.1 景区动态承载力概念

为了与现有的景区承载力概念相区别,本文首先提出景区动态承载力概念。景区动态承载力是指在景区范围内依托于时间与空间变化的旅游环境承载力,记为 $C(S, T)$ 。其中: S 代表景区空间单元(也称空间区间),为一组封闭的多边形坐标集合, $S \subseteq A$; A 为景区全范围(也称景区全空间); T 为时间区间。

当 T 为某一时刻时,表示景区的瞬时承载力,标示为 $C(S, t)$,其中 t 为某一时刻。本文对一段时间内的不同时刻承载力进行动态计算,因此,景区动态承载力为在一个时段内,对于一切时间间隔 k 和时间点 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 的景区瞬时承载力的集合,表示为:

$$\{C_i(S, t_i) | i = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (1)$$

式中: $t_i = i \times k$, k 为时间间隔,可以以秒、分、小时等为单位。

景区动态承载力的过程性特征是指景区作为一个区域,由于游客并不能一瞬间同时填满整个景区从而达到其静态承载力(即最大空间承载力),而是受景区入口、路网、停留区等限制而逐渐填充整个景区^[24],并且因为景区是非均质的,各个区域的静态承载力并不一致,故其填充并不是均匀填充,而是存在有其填充规律。因此,景区动态承载力是随游客在景区内的填充过程而变化的,其值是从景区开园时的零值逐渐增加,达到或接近静态承载力之后,临近闭园时,其值又逐渐下降至零。考虑到景区客流在景区内部的路网以及景点之间的流动过程,因此采用网络结构模型对其进行建模表达,从而建立景区客流在其网络结构中的填充过程模型,并依次建立景区动态承载力估算模型,分

析景区动态承载力的变化特征。

1.1.2 景区动态承载力的概念模型

景区动态承载力概念模型由停留区、通道、出入口和游览路线组成，如图1所示。其中，停留区与出入口通过通道相连，构成了模型的基本要素。

(1) 停留区。景区内的停留区是指空间上相邻近、主题上相互关联，同时在功能区域单元内相对独立的景区实体的集合。停留区除了包括其自身的空间位置信息、静态承载人数等属性信息外，还包括停留时长、停留区与通道以及停留区之间的拓扑关系。

(2) 通道。通道是游客在游览过程中所经过的道路。除了包括其自身的空间位置信息、静态承载人数等属性信息外，还包括运动时长、通道与停留区以及出入口之间的拓扑关系。由于通道存在方向性和不同的通行方式，其中，从方向性可以分为单向通道和双向通道。此外，游客在不同通道存在多种通行方式。一般来说，景区内通道以步行为主，但也有游览车或索道等方式，从而导致通道承载力的不同计算方法^[25]。

(3) 出入口。出入口作为模型的一部分，其最大通行速度或通行流量，以及个数与位置分布，都会影响景区动态承载力。

1.1.3 景区动态承载力的逻辑模型

本文采用网络结构描述景区动态承载力概念模型，需要采用网络结构中的顶点和边对概念模型的停留区、通道、出入口进行表达（图2）。其中，通道采用网络结构中的有向边表示，称为通道边。停留区和出入口则都采用顶点表示，虽然都为顶点，但是具有不同的属性，分别将其称为停留区结点和出入口结点。此外，在该结构中，为了描述了路网之间的连通与拓扑结构，还存在另外一类结点需要表达，该结点为路网结点。

通过利用面向对象的思想，将景区动态承载力抽象为多个对象，主要包括结点（包含停留区、出入口、道路结点）、通道边（包含承载通道、连接通道）两个对象实体，同时对结点和流向边之间的空间拓扑关系进行描述，从而实现景区动态承载力网络模型中各实体类的设计。模型的对象关系及其数据结构用UML进行表达，如图3所示。

景区动态承载力网络的模型构建主要包括通道边和结点的提取以及网络拓扑关系的建立。道路结点以及出入口的空间位置以及属性值均可通过数字化获取，其入口速度=入口闸机数×检票速度。对于通道边，提取时通过通道边类型加以区分承载通道以

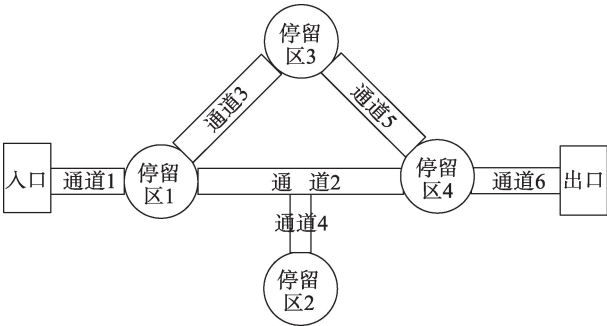


图1 景区动态承载力概念模型
Fig. 1 The concept model of dynamic carrying capacity

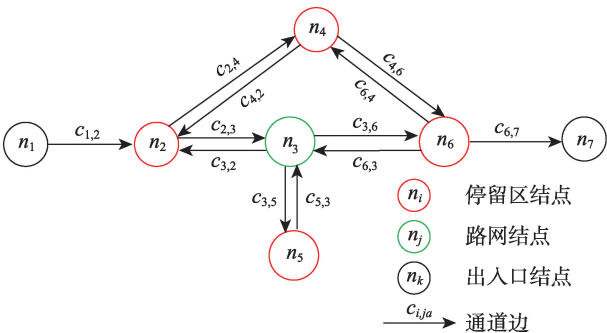


图2 景区动态承载力网络模型
Fig. 2 The network model of dynamic carrying capacity

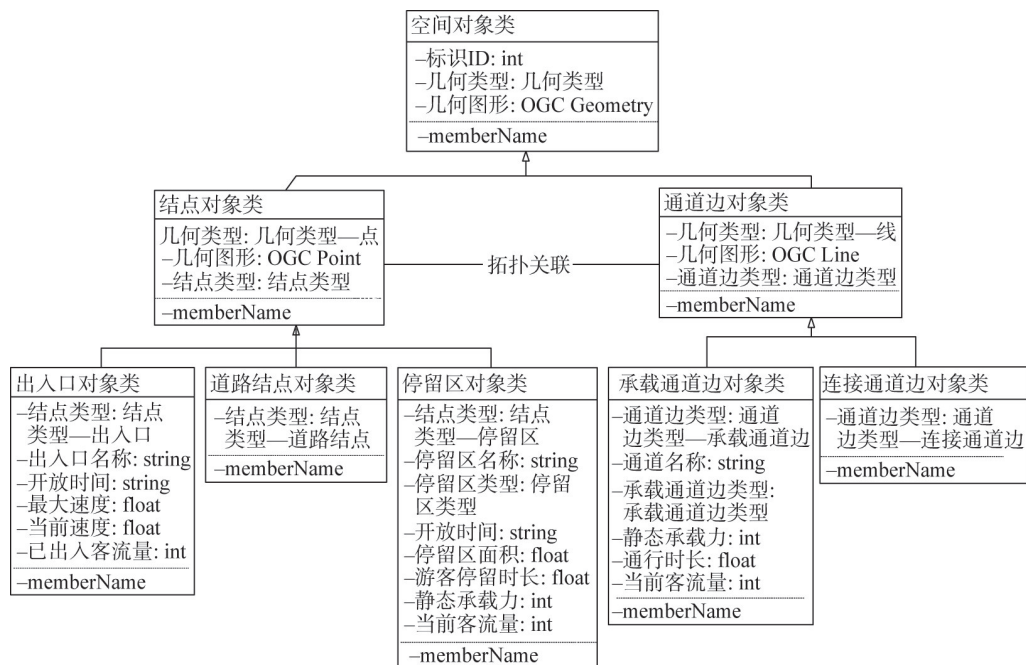


图3 动态承载力网络模型的对象关系及UML表达

Fig. 3 E-R diagram of the network model of dynamic carrying capacity

及连接通道, 承载通道边的长、宽、类型通过数字化采集获取, 通行时长=通道长度/通行速度, 道路局部静态承载力依据道路法计算获取, 由于通道边具有方向性, 对于无向通道边, 生成两条相同的通道边数据, 通过标识ID加以区别, 后续通过拓扑关联设定方向。对于停留区, 虽然数字化后为面状要素, 但是在网络结构中停留区作为结点出现, 因此以停留区面要素的质心作为停留区结点的空间位置, 停留区的面积、开放时间、类型通过数字化采集获取, 停留区的静态承载力依据面积法计算获取, 停留时长则可通过统计得到。拓扑关系的建立包含结点对通道边的关系以及通道边对结点的关系。本文通过对通道边两侧端点与结点之间的空间关系以及通道边的流向, 对通道边和结点进行拓扑关系字段的填充更新。

1.2 景区动态承载力的估算方法

1.2.1 基本思路

由于景区动态承载力的过程性特征, 游客不会一瞬间填满整个景区, 因此, 其估算需要考虑游客进入景区或某一子区域的运动过程。影响景区动态承载力主要有两个方面的因素, 一是构成景区要素的空间结构, 二是游客在景区的停留时长, 这两个因素能决定景区内游客的动态填充过程和运动方式。因此, 从这些因素出发, 分析景区的动态填充过程, 计算景区的瞬时承载力, 估算景区动态承载力, 生成一日之内的景区承载力变化曲线。

动态承载力是关于时间的函数, 该函数的几何形态为景区开放时间范围内的动态承载力变化曲线。根据景区的客流实际运转规律, 景区开放之后, 开始只有进园客流, 由于存在拥堵区域 (景点或通道), 客流填充变缓。一段时间后, 客流慢慢流出景区, 此时

既有进园客流也有出园客流,但是流出时也会由于拥堵区域,使得景区无法全部被填满,所以客流渐渐达到或接近静态承载力。最后,在接近闭园时,此时只有出园客流,该承载力曲线示意图如图4所示。

图4中,坐标系的横坐标为时间,纵坐标为承载力,单位是人数,红色直线为静态承载力 SB ,黑色曲线为动态承载力变化曲线 DB 。该曲线可划分为三部分,第一阶段为承载力上升阶段,该阶段取决于景区客流入口速度和客流在景区内的填充过程;第二阶段为承载力相对稳定阶段,既与景区客流入口速度、出口速度相关,同时也与景区游览时长相关;第三阶段为承载力下降阶段,该阶段主要取决于景区客流出口速度和客流出园的疏散过程。

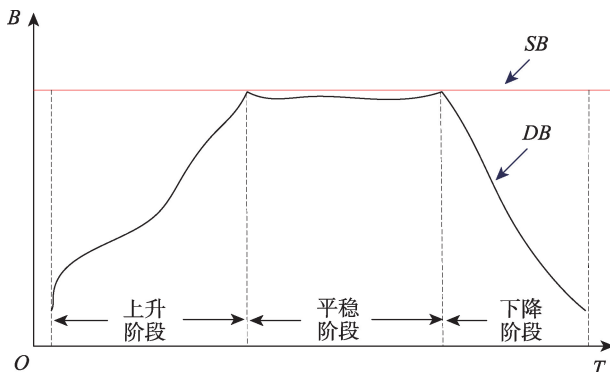


图4 动态承载力变化曲线示意图

Fig. 4 An illustrated curve of dynamic carrying capacity

1.2.2 动态承载力填充算法

网络结构下景区动态承载力估算算法原理是从入口开始,考虑填充过程,依次对通道边和停留区结点进行填充,从而记录填充顺序、时间以及填充过程的通行速度。填充过程借鉴栅格填充思路,只有当填充完一个要素的时候,才考虑填充下一个要素,这样能在不影响计算动态承载力的情况下简化填充过程。本填充方法中,只需要给定任意时间,即可计算出当前要素,从而得到对应的动态承载力。填充算法步骤如下:

首先定义一个包括填充结点的候选集 FN 和一个包括填充结点的序列集合 FQ 。

步骤1: 初始化候选集 FN ,以入口结点的入园速度为初始速度,找到入口结点关联的通道边,为其创建填充结点,并将其加入集合 FN 中;

步骤2: 从 FN 中选择填充时间最短的填充结点 fn_i ,将其加入集合 FQ 中;

步骤3: 将填充结点 fn_i 从 FN 中移除,并找到 fn_i 关联的通道边或停留区结点,为其创建填充结点,并将其加入集合 FN 中;

步骤4: 合并集合 FN 中相同填充结点,修改填充时间、修改输入速度与输入时间序列;

步骤5: 修改集合 FN 中的其他填充结点的填充时间、输入速度与输入时间序列;

步骤6: 循环执行步骤2至步骤5,直至 FN 为空结束,得到 FQ 序列。

1.2.3 动态承载力计算方法

在上述填充过程中,仅仅考虑的是填充过程,因此初始速度采用的是入园速度。实际上,当存在出园速度时,同时存在填充和疏散过程。为了简化处理,将初始速度设置为入园速度减去出园速度,则当初始速度大于零时,该过程为填充过程,动态承载力逐渐增加;而当初始速度小于零时,该过程为疏散过程,动态承载力逐渐减小。

已知集合 $FQ=\{fn_i|i=1,2,3,\dots,n\}$,每个填充结点的填充时间为 tf_i ,输入速度和输入时间集合为 $\{(v_j,t_j)|j=1,2,3,\dots,m\}$,每个填充结点所对应的通道或停留区的静态承载力为 sb_i ,给定入园速度 ve ,出园速度 vo ,静态承载力为 sb ,因此,给定任意时间 t ,

该时刻的动态承载力 $DB(t)$ 计算方法如下:

令 $v = ve - vo$ 。

① 如果 $v \geq 0$, 根据 t 和集合 FQ 中结点 fn_n 的填充时间 tf_n 的关系, 分为两种情况:

- 如果 $t \geq tf_n$, 表示景区已经满载, 其动态承载不再增加, $DB(t) = sb$;
- 如果 $t < tf_n$, 首先在集合 FQ 中找到最后一个结点 fn_i , 满足 $t > tf_i$,

$DB(t) += \sum_{k=1}^i sb_k$; 其次在结点 fn_{i+1} 中, 找到最后一个输入时间 t_j 满足 $t > t_j$, 令

$DB(t) += \sum_{k=1}^{j-1} v_k \times (t_{k+1} - t_k)$; 最后, $DB(t) += \frac{t - t_j}{t_{j+1} - t_j} \times v_j$ 。

② 如果 $v < 0$, 假定其时间范围为 $[t_0, t]$, 并假定 t_0 时刻的动态承载力为 DB_0 , 则

$DB(t) = DB_0 - \sum_{k=1}^{t-t_0} v_k$ 。

2 结果分析

2.1 实验区域

选择南京总统府景区作为实验区域。南京总统府景区作为人文资源景观中的博物馆型景区, 是中国近代建筑遗存中规模最大、保存最完整的建筑群之一。图5左边为南京总统府景区数字化结果, 不同类型的图块代表不同的实体类型; 右边为南京总统府景区的网络结构模型图。

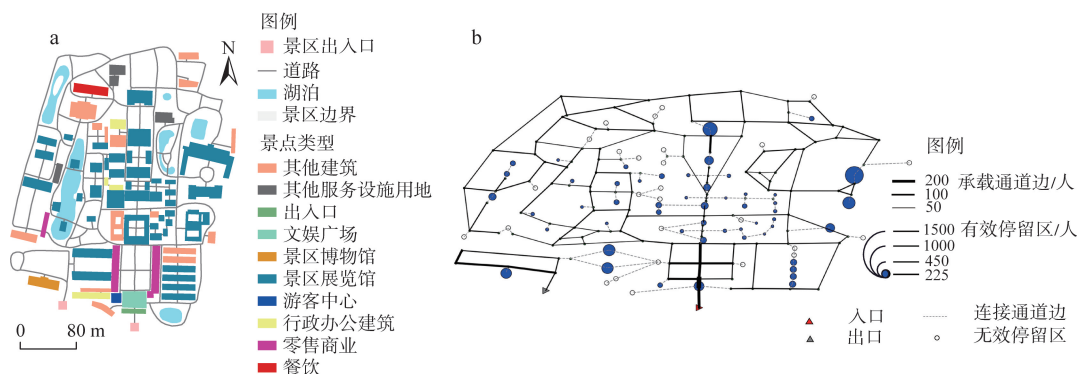


图5 南京总统府景区数字化结果及其网络结构模型图

Fig. 5 The digitized map of experimental area and its network model representation

南京总统府景区占地总面积约为 90000 m², 按照不同用地类型划分为文娱广场、游客中心、景区博物馆、景区展览馆、通道等有效游览区域, 不同类型景区局部承载力的计算方法可参考文献 [25]。按照《导则》的相关标准, 对南京总统府景区进行静态承载力 (即空间最大承载力) 计算, 具体数据见表1。

2.2 动态承载力估算结果

根据景区动态承载力估算模型与方法, 针对实验区域有两个结果展示:

(1) 展示景区动态承载力网络的填充过程。其中, 空心景点为未填充实体和不可进

表1 南京总统府景区游览区域及静态承载力
Table 1 The static carrying capacity of experimental area

用地类型	数量/个	面积/m ²	承载标准 (m ² /人)	静态承 载力/人	说明
文娱广场	1	840.50	2	420	参照《导则》表A.3中古建筑类景区的人均空间 承载指标1~3 m ² /人取中位数计算
游客中心	1	217.09	2	108	
景区博物馆	1	1220.08	1.9	642	参照《导则》表A.1中故宫博物院的人均空间承 载指标0.8~3 m ² /人取中位数计算
景区展览馆	47	17301.91	1.9	9106	
行政办公建筑	4	1386.14	0	0	不可游览区域，办公区域
其他建筑	12	4752.69	0	0	不可游览区域，不开放区域
餐饮	1	679.88	0	0	不可游览区域，职工餐厅
零售商业	4	2154.15	0	0	不可游览区域，无法进入，游客在过道购物
通道	92	14364.10	1.5	9576	参照《导则》表A.2中文化遗址类景区游步道的 人均空间承载指标1~3 m ² /人取中位数计算
总计				19852	

入实体（如办公区域、保护区域等），绿色实体为填充实体，颜色深浅代表了填充程度。灰色道路为未填充道路，绿色道路为填充道路，颜色深浅代表了填充程度。三个景区的入园速度均设置为180人/分钟，选取开园2小时、4小时、6小时、8小时四个时间节点，对景区填充情况进行比较分析。

（2）展示了景区动态承载力估算结果。针对实验区域，分别设置不同的入园速度，并以小时为单位，展示动态承载力曲线图。本实验中，统一设置景区的入园时间为8点，出园时间为16点，假设16点之后不再进入游客，并且以设置的最大入园速度出园。

2.2.1 南京总统府景区动态承载力时空切片

南京总统府景区的承载力时空变化4个时间节点切片如图6所示。由图6可以看出，该景区为单入单出型景区，客流从入口进入，沿着路网向景区四周填充。入园2小时承载力分布图中（图6a），该景区东、中、西三条游线由入口向景区内部平均填充，中线填充速度比其他稍快。入园4小时（图6b），西线填充速度高于其他两条，这是因为西线的道路网复杂并可承载，有利于游客的快速填充。南京总统府景区在开园6小时后基本填充完毕，达到空间最大承载力。

2.2.2 南京总统府景区动态承载力估算

针对该景区，设置了不同的入园速度：30~240人/分钟，其动态承载力曲线如图7所示。总体上不同入口速度的承载力曲线均存在拐点，这是由于部分热门景点和狭长道路所造成的。入园速度达到90人/分钟时，动态承载力曲线最终可达到静态承载力。入园速度介于90~240人/分钟之间，入园速度越大的将优先达到最大静态承载力。入园速度等于240人/分钟时与210分钟达到最大承载的时间相近，所以并不是入园速度越大就填充的越快，到达一定入园速度后，景区内部的堵点将减缓客流填充。入园速度低于90人/分钟时，景区将不会达到静态承载力，但是动态承载力的增长速度不固定，特别是在11点钟时，曲线增长稍微变缓，应该这是由于景区内部产生了小的堵点。本实验按照240人/分钟的速度出园，并在16点假设游客不再入园，均在18点前承载力达到最小0。

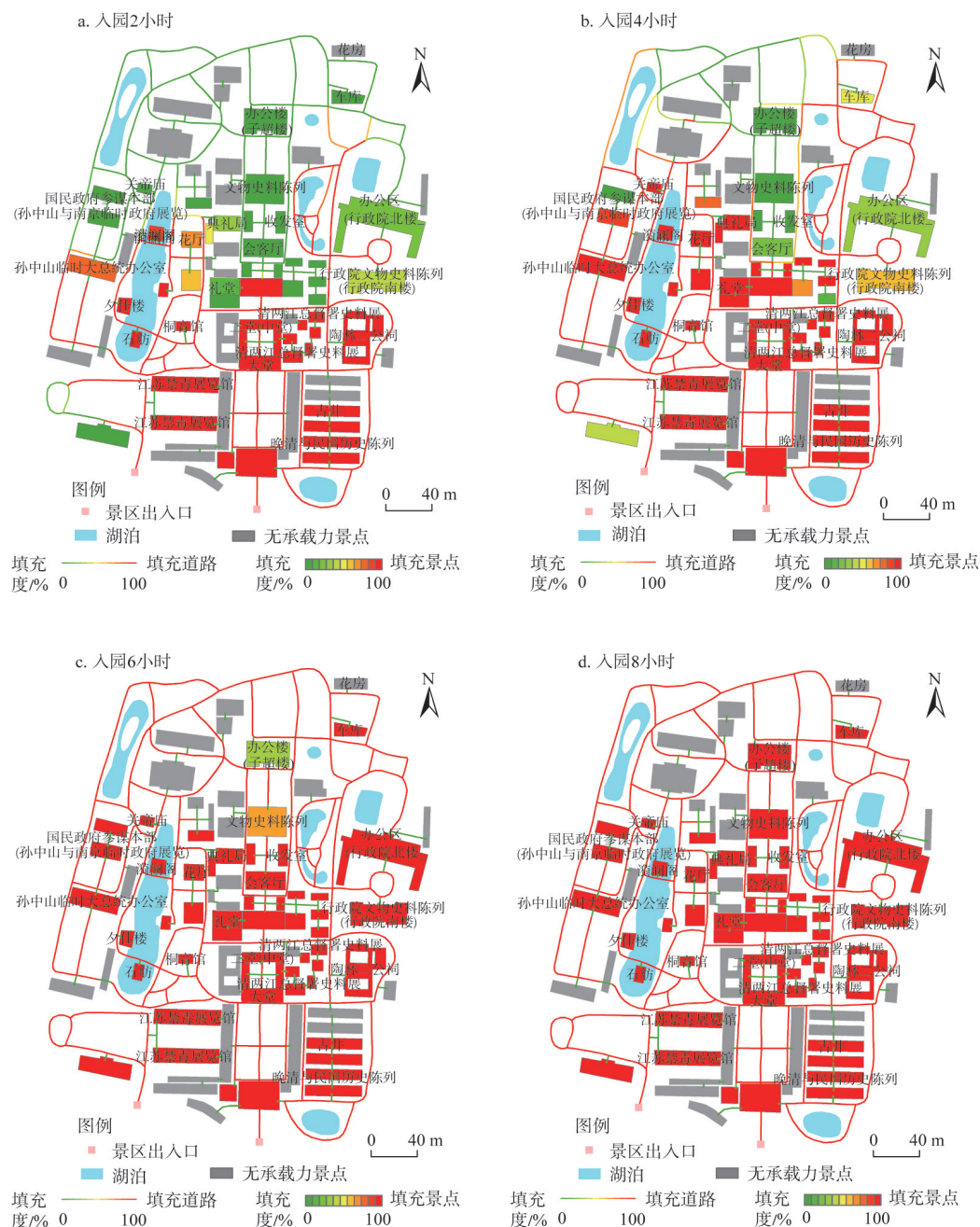


图6 南京总统府景区承载力时空变化切片

Fig. 6 Spatio-temporal slices of the dynamic carrying capacity of experimental area

表2是以小时为单位,不同入园速度所达到的动态承载力表。从表中可以看出,该景区的最大空间承载力为19852人次。由于表格数据和曲线图以整点为时间节点,所以拐点一般出现在整点,但是这不是实际情况,整点的拐点是前面数据的累积,以最大入园240人/分钟寻找拐点,如图7中,实际的拐点在21分钟、35分钟和233分钟产生,对

应的时间为8:21、8:35、11:53，其对应的堵点可见图8。

图8为8:21、8:35、11:53产生的堵点。从图8a中可以看出，在240人/分钟入园速度的情况下，入园21分钟，由于景区入口只有一个，游客大量涌入入口停留区，停留区两侧为展览馆，中间为广场，所以能持续21分钟，然后在东线晚清与民国民俗图片展和陶林二公祠产生了拥堵，通过广场直达大堂，大堂区域也产生了拥堵，并且有部分道路产生拥堵；图8b中堵点在大堂与中堂之间的史料馆，停留时间较长，易产生堵点，同时，西部停留区中的石舫也产生拥堵，此点为单出入口，且只有一条通道通过；图8c中，在11:53时刻，该景区的必经景点子超楼产生拥堵。

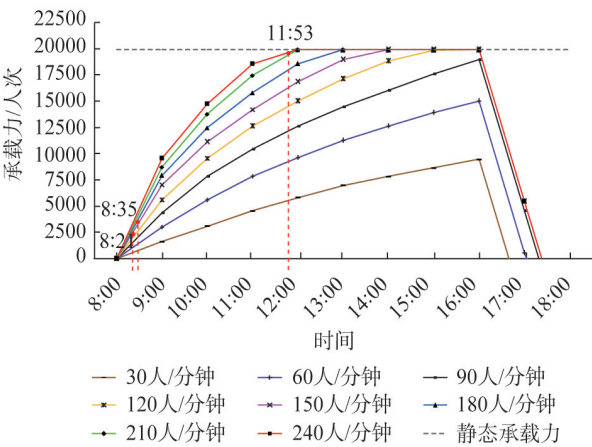


图7 南京总统府景区动态承载力曲线

Fig. 7 Curves of dynamic carrying capacity of experimental area with different speeds of entering

表2 南京总统府景区动态承载力表

Table 2 Data of dynamic carrying capacity of experimental area

时间	入口速度/(人/分钟)								静态承载力 /人次
	30	60	90	120	150	180	210	240	
09:00	1602	3010	4333	5608	7024	7903	8699	9531	19852
10:00	3082	5613	7842	9562	11093	12440	13749	14706	
11:00	4530	7845	10384	12588	14192	15790	17407	18541	
12:00	5813	9568	12590	14945	16802	18550	19852	19852	
13:00	6958	11199	14409	17083	18917	19852	19852	19852	
14:00	7821	12594	16016	18770	19852	19852	19852	19852	
15:00	8637	13865	17573	19779	19852	19852	19852	19852	
16:00	9451	14950	18935	19852	19852	19852	19852	19852	
17:00	0	550	4535	5452	5452	5452	5452	5452	
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	

从堵点时间序列看，按照240人/分钟，也就是1秒钟能进4个人的情况下，在第21分钟时大堂和东线的景点就会产生堵点，然后很快在第35分钟中线沿线的大堂和中堂之间的史料馆产生堵点，并且在通往西线停留区的石舫也会拥堵，最后在接近中午12点时，景区核心景点子超楼产生拥堵。

表3中，以240人/分钟的速度进园，8:21产生堵点，进园速度由195人/分钟下降到175人/分钟。由表3可以看出，所有列出的实体，当前速度都达到预计通过速度，一些实体的当前客流已经达到实体的静态承载力，如晚清与民国民俗图片展（编号36）、大堂（编号62）、游步道（编号38）。一些实体空间由于拥堵游客的数量增加减缓，并没有

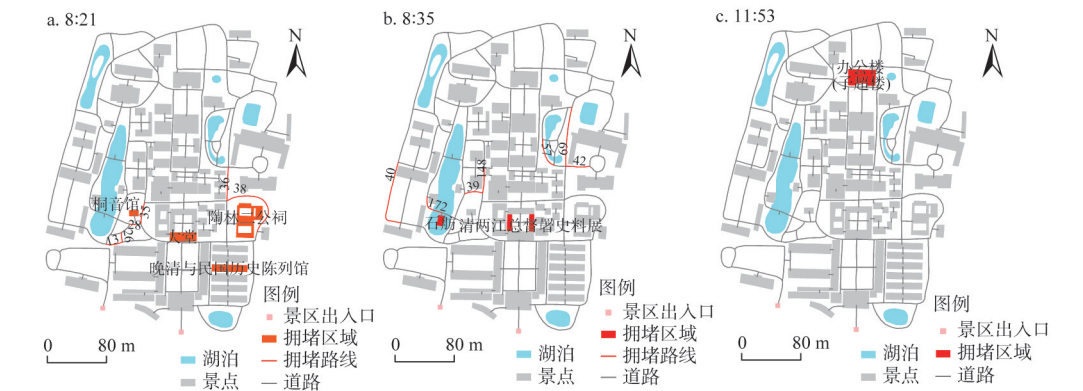


图8 南京总统府景区部分堵点(以240人/分钟入园速度为例)
Fig. 8 Partial congested locations (entering speed is 240 person/m)

表3 南京总统府景区8:21时刻堵点的数据表
Table 3 The data of congested location at 8:21

实体编号	名称	预计速度 /(人/秒)	当前速度 /(人/秒)	静态 承载力	当前客流
5	桐音馆	0.2	0.2	43	2
7	陶林二公祠	1.3	1.3	383	73
36	晚清与民国民俗图片展	0.9	0.9	188	167
62	大堂	0.9	0.9	182	126
13	游步道	1.5	1.5	30	9
26	游步道	1.5	1.5	17	9
28	游步道	1.6	1.5	11	1
35	游步道	2.2	2.1	58	12
36	游步道	1.9	1.9	76	13
38	游步道	1.8	1.8	168	167

达到静态承载。

表4为8:35产生的堵点，中线的史料馆区域均已达到最大承载，但是石舫景点还没有达到最大承载时，已经拥堵，此时整个景区的进园速度由170人/分钟降到140人/分钟。

表5为该景区11:53产生的堵点，基本上已接近最大承载，此时整个景区也已接近静态承载力，游客的入园速度由23人/分钟降为0，整个景区处于饱和状态。

2.3 实验验证与分析

由于假设在客流饱和情况下模拟不同时间的景区承载力，故选择黄金周期间景区满载情况下的客流数据对提出的景区动态承载力进行验证。通过获取闸机数据，得到该景区2019年国庆黄金周10月3日的闸机出入口数据，经统计，得到景区的客流入园速度在91~114人/分钟之间，所以，将该景区动态承载力估算的90人/分钟和120人/分钟的模拟结果与10月3日景区整点实际在园人数进行对比，得到结果如图9所示。

从图9中可以看出，景区一天的客流量都基本接近于90人/分钟模拟出来的动态承载力，说明景区从开园一直都处于饱和状态，而且在10点时超过了最大动态承载力，与景

表4 南京总统府景区8:35时刻堵点的数据表

Table 4 The data of congested location at 8:35					
实体编号	名称	预计速度/(人/秒)	当前速度/(人/秒)	静态承载力	当前客流
4	石舫	0.3	0.3	52	17
46	史料馆	0.3	0.3	65	55
67	史料馆	0.3	0.3	65	54
39	游步道	2.2	2.2	50	37
40	游步道	1.8	1.8	167	5
42	游步道	2.2	2.0	66	52
57	游步道	2.3	2.3	81	11
69	游步道	1.8	1.8	135	53
148	游步道	2.2	2.2	68	37
172	游步道	1.5	1.4	46	17

表5 南京总统府景区11:53时刻堵点的数据表

Table 5 The data of congested location at 11:53					
实体编号	名称	预计速度/(人/秒)	当前速度/(人/秒)	静态承载力	当前客流
18	景区办公楼(子超楼)	1.6	1.6	945	916

区管理人员了解得到，景区在10点左右时处于十分拥堵的情况，这与模拟结果十分吻合。图中，在16:00之后产生了较大的差异，是因为我们的假设条件出现了错误，假设16:00之后景区不再进入游客，所以动态承载力会急剧下降，而实际上景区在16:00~17:00之间仍然不断地有客流进入。

3 结论与展望

通过实验发现，景区动态承载力受到入园速度、出入口数量、路网复杂度、景区有效游览面积的影响。本文得出以下结论：（1）从承载力时空变化切片结果可以看出，动态承载力填充模型是从入口进园后按照停留区和通道连接顺序进行逐步填充，并在通道结点处均匀分配填充客流，这可以解释南京总统府景区再以180人/分钟进行填充时，基本上6小时才能填充到子超楼，说明如果景区能够有效布控游客行进路线，可以使景区能够承载更多人。（2）从承载力的动态曲线数据看出，入园速度越小，景区的

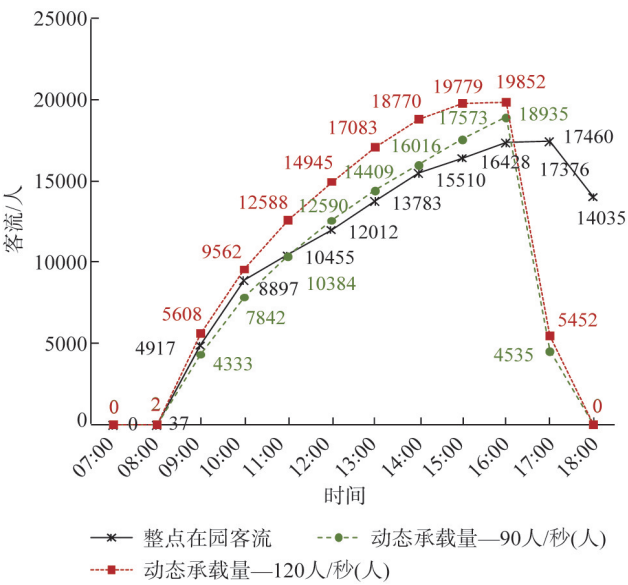


图9 南京总统府景区实际客流数据与动态承载力对比结果（10月3日）

Fig. 9 Comparison between the dynamic carrying capacity and real passenger flow volume on Oct. 3

动态承载力越小。南京总统府景区在入园速度小于90人/分钟时达不到各自的静态承载力(南京总统府景区:2万人次),只有当入园速度足够小时,景区的动态承载力呈直线增长趋势,否则增长速度变缓,说明景区内部产生拥堵。南京总统府景区入园速度要小于30人/分钟才能使景区内不产生堵点。(3)从堵点实验数据看出,由于路网节点处客流的平均分配,导致核心景点被拥堵得较晚,但却说明,如果合理导流客流,可以延迟核心景点的拥堵时间。(4)选择南京总统府景区黄金周期间景区满载情况下的客流数据,对提出的景区动态承载力进行验证得出,在景区客流量入园速度与实际相近情况下,南京总统府景区动态承载力曲线模拟结果与景区整点实际在园人数相符,一定程度上验证了本文提出的动态承载力估算模型与方法。

本文提出了景区动态承载力的估算方法,并在南京总统府景区进行试验和分析。但是,还存在以下可以完善的工作:(1)景区实体、停留区的局部承载力的计算标准参照了《导则》中的数据,单位游客游览面积的核定存在不合理之处,由于不是本文的重点,所以没有深入给出适合的解决方案,这个是景区空间承载力需要解决的问题;(2)提出的动态承载力的计算方法,是假设游客从入口往景区内部填充的方式,没有加入游线对景区游客填充路径的影响,可以在结点通道选择中加入权重设置来解决,这也是需要进一步研究的问题。

参考文献(References):

- [1] 国家旅游局. 景区最大承载量核定导则(LB/T 034-2014). 2014. [National Tourism Administration. Guideline for measurement of carry capacity of scenic area (LB/T 034-2014). 2014.]
- [2] 封志明, 李鹏. 承载力概念的源起与发展: 基于资源环境视角的讨论. 自然资源学报, 2018, 33(9): 1475-1489. [FENG Z M, LI P. The genesis and evolution of the concept of carrying capacity: A view of natural resources and environment. Journal of Natural Resources, 2018, 33(9): 1475-1489.]
- [3] 崔凤军, 刘家明. 旅游环境承载力理论及实践意义. 地理科学进展, 1998, 17(1): 86-91. [CUI F J, LIU J M. A study on the theory and application of tourism environmental bearing capacity. Process in Geography, 1998, 17(1): 86-91.]
- [4] LEWSEY C. Assessing the environmental effects of tourism development on the carrying capacity of small island systems: The case for Barbados. New York: Cornell University, 1978.
- [5] STANKEY G, COLE D, LUCAS R, et al. The limits of acceptable change (LAC) system for wilderness planning. General technical report INT-176, Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1985.
- [6] SAVERIADES A. Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus. Tourism Management, 2000, 21(2): 147-156.
- [7] LOBO H A S, TRAJANO E, MARINHO M DE A, et al. Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. Tourism Management, 2013, 35: 234-243.
- [8] MORTEZA Z, REZA F M, SEDDIQ M M, et al. Selection of the optimal tourism site using the ANP and fuzzy TOPSIS in the framework of Integrated Coastal Zone Management: A case of Qeshm Island. Ocean & Coastal Management, 2016, 130: 179-187.
- [9] SOUSA R C DE, PEREIRA L C C, COSTA R M DA, et al. Management of estuarine beaches on the Amazon coast though the application of recreational carrying capacity indices. Tourism Management, 2017, 59: 216-225.
- [10] 赵红红. 苏州旅游环境容量问题初探. 城市规划, 1983, 7(3): 46-53. [ZHAO H H. A preliminary study on the capacity of Suzhou tourism environment. City Planning Review, 1983, 7(3): 46-53.]
- [11] 保继刚. 颐和园旅游环境容量研究. 中国环境科学, 1987, 7(2): 32-38. [BAO J G. Research on the tourism environmental capacity of the Summer Palace. China Environmental Science, 1987, 7(2): 32-38.]

- [12] 董成森, 熊鹰, 覃鑫浩. 张家界国家森林公园旅游资源空间承载力. 系统工程, 2008, 26(10): 90-94. [DONG C S, XIONG Y, TAN X H. The spatial bearing capacity of tourism resources space in Zhangjiajie National Forest Park. System Engineering, 2008, 26(10): 90-94.]
- [13] 熊鹰, 杨雪白. 城市山岳型旅游地旅游资源空间承载力分析: 以岳麓山风景区为例. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 310-313. [XIONG Y, YANG X B. Research on the carrying capacity of resources space of city-mountain resorts: A case study of Yuelu Mountain. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(3): 310-313.]
- [14] 范霄鹏, 王良苗. 山地古村落旅游空间承载力影响要素研究: 以夔底下村为例. 中国名城, 2014, (4): 68-72. [FAN X P, WANG L M. Research on influencing factors of spatial capacity of ancient vernacular villages: A case study of Cuandixia village. China Ancient City, 2014, (4): 68-72.]
- [15] 张丹, 王传武, 陈燕军. “三孔”景区空间承载力与可持续发展研究. 济宁学院学报, 2015, 36(3): 106-109. [ZHANG D, WANG C W, CHEN Y J. Research on spatial bearing capacity of "San Kong" Scenic Area and its sustainable development. Journal of Jining University, 2015, 36(3): 106-109.]
- [16] 杜京伦. 基于空间承载力的芜湖古城保护更新规划设计研究. 北京: 北京建筑大学, 2016. [DU J L. Research on the protective renovation planning based on space carrying capacity in Wuhu ancient city. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2016.]
- [17] 张昭一. 雾灵山森林公园游客空间承载力研究. 旅游纵览, 2018, (6): 47-48. [ZHANG Z Y. Research on tourist spatial carrying capacity of Wuling Mountain Forest Park. Tourism Overview, 2018, (6): 47-48.]
- [18] JURADO E N, TEJADA M T, GARCÍA F A, et al. Carrying capacity assessment for tourist destinations: Methodology for the creation of synthetic indicators applied in a coastal area. Tourism Management, 2012, 33(6): 1337-1346.
- [19] YANG X P, LI E C. Early-warning model for tourism environment carrying capacity in scenic spots based on fuzzy inference. Advanced Materials Research, 2012, 605-607: 2405-2408.
- [20] ZHU J W, WANG E, SUN W Z. Application of Monte Carlo AHP in ranking coastal tourism environmental carrying capacity factors. Asia Pacific Journal of Tourism Research, Informa UK Limited, 2019, 24(7): 644-657.
- [21] 吕东珂, 于洪贤. 安邦河湿地自然保护区旅游环境承载力时空分异分析及调控策略. 黑龙江农业科学, 2008, (6): 60-63. [LYU D K, YU H X. Analyses for space-time distribution of tourism environment bearing capacity and regulating strategy in Anbang River Wetland Nature Reserves. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2008, (6): 60-63.]
- [22] 唐占辉, 马逊凤, 王雪霁. 长春市净月潭国家森林公园时空旅游承载力研究. 东北师大学报: 自然科学, 2009, 41(3): 131-135. [TANG Z H, MA X F, WANG X L. Study on tourism environment carrying capacity of Jingyuetan National Forest Park. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2009, 41(3): 131-135.]
- [23] 崔凤军, 杨永慎. 泰山旅游环境承载力及其时空分异特征与利用强度研究. 地理研究, 1997, 16(4): 48-56. [CUI F J, YANG Y S. A study on the time-space distribution features and utility in intensity of the TEBC resource of Mt. Tai. Geographical Research, 1997, 16(4): 48-56.]
- [24] 张岩. 博物馆景区最大承载量核定与实施之尴尬: 以秦始皇帝陵博物院为例. 博物馆天地, 2017, (6): 103-108. [ZHANG Y. The embarrassment of the approval and implementation of the maximum carrying capacity of the museum scenic spot: Taking the museum of Emperor Qinshihuang's Mausoleum as an example. Relics and Museology, 2017, (6): 103-108.]
- [25] 葛军莲, 宋晓晴, 刘丰源, 等. 顾及用地类型的景区局部空间承载力计算方法. 南京师大学报: 自然科学版, 2019, 42(4): 124-130. [GE J L, SONG X Q, LIU F Y, et al. Calculation methods for local space carrying capacity of a scenic area with consideration of land use type. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2019, 42(4): 124-130.]

Dynamic estimation method of scenic area carrying capacity and its application

GE Jun-lian^{1,2,3}, ZHANG Ling^{1,2,3}, LIU Min-shi⁴, LIU Feng-yuan¹, LONG Yi^{1,2,3},
HUANG Zhen-fang^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210023, China; 2. State Key Laboratory Cultivation Base of Geographical Environment Evolution of Jiangsu Province, Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 4. School of Geographic Information and Tourism, Chuzhou University, Chuzhou 239000, Anhui, China)

Abstract: With the development of the economy and the improvement of living standards, the tourism market is rising fast. However, entertaining in a limited tourist area, the huge number of tourists causes many problems, such as traffic jams, conflict in using of facilities, and resource destruction. Poor tourism management leads to frequent accidents and causes a great loss of people's lives and property. Since the tourist areas where tourists are active have boundaries, the carrying capacity is often limited in a certain period. The carrying capacity of the scenic area is an important field of tourism research. A lot of achievements have been made in domestic and international research. However, the existing scenic area carrying capacity estimation model is based on a traditional method that does not involve the dynamics of tourists entering the scenic site. Since tourists cannot fill the whole scenic area instantaneously, this research proposes a concept of dynamic carrying capacity. Firstly, the paper studies the conceptual model of the dynamic carrying capacity of the tourist area. It presents the elements such as the stay area, the passage, the entrance and exit, and obtains the relevant carrying capacity through the local carrying capacity calculation model. Then, based on the network structure model, logical structures of the residence area, passage and entrance and exit elements in the dynamic carrying capacity model are designed, and the detailed object relation diagram of nodes and passage edges is presented. Finally, the estimation method of the dynamic bearing capacity of the tourist area is given. Nanjing Precedential Palace is selected as the experimental area to verify the proposed method. The application of GIS technology in scenic environments can not only realize the spatial pattern analysis of scenic tourism activities and dynamic monitoring of the impact intensity of tourism activities but also help determine the quantitative level of tourist area bearing capacity and improve the quantitative level of the effectiveness of time-sharing management measures. Consequently, it promotes tourist attractions to achieve higher quality economic and social benefits under a safer production.

Keywords: scenic area carrying capacity; dynamic carrying capacity; network model; dynamic estimation