第29卷 第3期
2010年9月

中 国 岩 溶
CARSOLOGICA SINICA

Vol. 29 No. 3
Sep. 2010

文章编号:1001-4810(2010)03-0341-08

洞穴旅游容量测算方法探讨

向 旭[1],杨晓霞[2],施俊庄[2]
(1.西南大学经济管理学院,重庆 400715;2.西南大学地理科学学院,重庆 400715)

摘 要:通过对国内外相关文献梳理和分析,发现现行洞穴旅游容量测算方法存在以下不足:(1)单一方法测算不科学,无法反映出不同洞穴间的能量、形态的差异;(2)没有充分考虑洞穴的特殊环境,游客周转率计算取值简单化;(3)一味套用《旅游规划通则》的相关规定,取生态环境容量与设施容量、社会心理容量与设施容量、空间容量与设施容量之和中的最小值作为洞穴旅游容量最终值不合理;(4)热量法仅从游客角度测算洞穴的旅游容量,实际意义不大;(5)测算方法往往忽视了洞穴旅游容量的动态性分析。为此提出:应根据洞穴的具体情况确定与之相适应的测算方法;洞穴旅游容量的周转率取值应在两批游客之间留有恰当的间隔期;基本空间标准的取值,建议洞穴厅堂取3~5m²/人,洞穴游道取5~10m/人;洞穴空气中CO_2的最大浓度值应根据不同洞穴的具体情况确定,不宜设置统一标准;游客呼出的CO_2量建议取值25L/h;洞穴空气中CO_2背景值应以每个洞穴的监测数据为准;在洞穴旅游容量的测算中,应将环境影响的控制性因子作为重要依据。

关键词:洞穴;旅游容量;测算方法
中图分类号:F590 **文献标识码**:A

旅游环境容量又称旅游容量、游客环境容量、旅游承载力、游客容量等,因我国2003年颁布实施的"国标"《旅游规划通则》(GB/T18971-2003)中将其称为旅游容量,故本文一律称为旅游容量。但文章中凡引用其他学者的成果时,则沿用原文的概念。

旅游容量是旅游地可持续发展的保证,在规划和开发洞穴资源时,洞穴旅游容量是关键性的参数[1],它是洞穴保护、管理的一个重要因素,成为洞穴科学研究的一个重要内容[2]。由于旅游容量对于洞穴的开发、保护和管理具有十分重要的意义,国内外许多学者曾尝试采用不同方法对其进行量测。本文在对目前洞穴旅游容量测算方法进行系统梳理和分析的基础上提出一些不同的看法,以期为完善洞穴旅游容量的测算提供一定的参考。

1 现有洞穴旅游容量的测算方法

Cigna(1989,1990)将洞穴游客容量定义为在并不意味着相关参数永久改变(a permanent modification)的条件下,某一时间单位内可接纳的游客最大量[3,4]。国际旅游洞穴协会(ISCA)接受了这个定义,将洞穴游客容量定义为在某一时段内,洞穴主要环境参数除了自然波动外不发生永久性改变时洞穴所能接待的游客数量[5]。

我国于2003年颁布的国家标准《旅游规划通则》(GB/T18971-2003)中将旅游容量分为空间容量、设施容量、生态容量和社会心理容量4类,并分别给出了其测算方法。因此,国内多数学者根据此标准对洞穴旅游容量进行测算。目前,对洞穴旅游容量的测算方法有空间容量的测算、生态容量的测算以及综合

第一作者简介:向旭(1965-),男,西南大学经济管理学院旅游管理系副教授。主要从事旅游规划与开发、旅游基础理论等方面的研究。E-mail:xiangxu1965@126.com。
收稿日期:2010-04-02

万方数据

容量的测算。

1.1 空间容量的测算方法

空间容量是指在一定时期内，洞穴空间面积所能容纳的最大游人数。常见的测算方法有3种：面积法、线路法、卡口法。

1.1.1 面积法

岩溶洞穴为封闭空间，应以洞穴空间面积为前提确定其极限容量[6]。洞内容量不是以洞的体积来计算的，而是以洞内游人可接触到的地面、游路、广场面积来计算的，也就是可游览的面积[7]。其测算公式可表示为：

$$C = \frac{A}{A_0} \cdot K$$

式中：C 为洞穴的日极限容量（人次）；A 为洞穴空间规模（m^2）；A_0 为每位游客的最低空间标准（m^2/人）；K 为周转率，可表示为：

$$K = T/T_0$$

式中：T 为洞穴每日开放时间（h）；T_0 为每位游客在洞穴内的平均停留时间（h）。

1.1.2 线路法

洞穴多为线状游览空间，游客是沿着设计好的旅游线路观赏景观，因此洞穴的空间容量可采用线路容量法计算[6,8~10]。其测算公式可表示为：

$$C = K \cdot L/l$$

式中：C 为洞穴的日极限旅游容量；L 为洞穴内游道全长（m）；l 为每位游客占用的合理游道长度（m）；K 为周转率。

1.1.3 卡口法

林业部颁布的《森林公园总体设计规范（LY/T5132－95）》（1996）中指出，卡口测算法适用于溶洞类及通往景区、景点必须并对游客量具有限制因素的卡口要道[11]。计算公式为：

$$C = B \cdot Q = (t_1/t_3) \cdot Q = (H - t_2) \cdot Q/t_3$$

式中：C 为日容量（人次）；B 为日游客批数，$B=t_1/t_3$；Q 为每批游客人数（人次）；t_1 为每天游览时间（h），$t_1=H-t_2$；t_2 为游完全程所需时间（h）；t_3 为两批游客相距时间（h）；H 为每天开放时间（h）。

1.2 生态容量的测算方法

洞穴和一般旅游景点一样，接待容量有资源接待容量、经济接待容量、生态环境接待容量、社会地域接待容量和观赏气氛接待容量5个不同概念，但在洞穴的开发规划和经营中，应以生态环境容量为其主要依据，不能单纯地考虑经济容量[1]。旅游生态环境容量是指以自然为基础的旅游地容纳旅游活动量的限定值。在这个限定值内，旅游地的自然生态环境不致退化，或在很短时间内自然生态环境能从已退化的状态恢复原状[12]。旅游地的生态容量的测算是一个比较复杂的问题，《旅游规划通则》（GB/T18971－2003）认为，在对其进行测算时需要考虑土壤、植被、水、野生动物、空气等因素，并提出了既成事实分析、模拟实验、长期监测3种测算方法。

洞穴生态容量是指在一定时间内，洞穴的自然环境所能承受的最大限度的旅游活动量，它主要取决于洞穴中易受污染和影响的程度以及洞穴环境的自净能力。洞穴环境系统包括多种要素，除了围岩、洞穴次生化学沉积物等变化缓慢的固态物质外，比较敏感的环境因素还有洞穴空气、洞穴水体、洞穴生物等。洞穴气候是洞穴最重要的因子之一，它对旅游活动极为敏感，限载容量最小。洞穴气候主要由洞穴中的气温、湿度、CO_2 浓度等因素组成，是判断洞穴是否可持续发展的重要环境参数，因而目前主要以洞穴气温及 CO_2 浓度的自净力来确定洞穴的生态环境容量[1,13]。

1.2.1 根据 CO_2 含量来测算洞穴旅游容量

CO_2 浓度是喀斯特洞穴最主要的环境指标，它对洞内化学沉积平衡、洞石的溶解及游客的舒适感有直接的影响[14]。故大多数学者认为，溶洞生态环境容量的测定和一般旅游地不同，应根据洞穴 CO_2 的允许浓度来计算[10,13,15~20]。

Villar（1986）以西班牙的阿尔塔米拉洞（Altamirac）的绘画大厅为例，给出了在短时间内（$t<1h$）CO_2 浓度变化与游客数的计算公式[15]：

$$C_t = C_0 + (17 \cdot 10^3 \cdot N \cdot t)/V$$

式中：C_t 为 t 时间内游客在大厅停留后的 CO_2 浓度（ppm）；C_0 为游客进入洞前洞穴已经存在的 CO_2 浓度（ppm）；N 为游客数量（人次）；t 为游客在洞内逗留时间（h）；V 为洞厅体积（m^3）；17 为每个游客每小时平均呼出的 CO_2 量（L）。

每个游客每小时平均呼出17L CO_2 量是Marion于1979年提出的[21]，因学者们对每个人呼出的 CO_2 量有不同的看法，故宋林华（1994，2003）将这个公式修正为[16,17]：

$$N = \frac{(C_t - C_0)V}{C_p \cdot t}$$

式中：N 为瞬间客流量（人次）；C_t 是洞穴空气中 CO_2 的最大浓度（ppm）；C_0 是洞穴开放时的 CO_2 本底值（ppm）；V 为洞穴容积（m^3）；C_p 是每个游客呼出的 CO_2 量（ppm）；t 是游客在洞中停留的时间（h）。

而洞穴全天容量为[20]：

$$D_a = \frac{N(T - t)}{t}$$

万方数据

式中:D_a 为日旅游容量(人次);N 为瞬间客流量(人次);T 为景区每日的开放时间(h);t 为第一批游客走到景点的时间或景点关闭前没有游人进入的时间(h)。

1.2.2 根据气温来测算洞穴旅游容量

气温是洞穴环境的重要因素之一,它不仅对洞穴碳酸钙的沉积速度有影响,而且对游客的舒适度也有影响。洞穴气温易受人为的影响,如游人身体不断散发的热量、洞内照明设施等均会影响洞中的气温,故可以根据气温的变化来测算洞穴旅游容量。洞穴气温的变化可以通过以下公式得到[16]:

$$\triangle C = \eta \cdot E/V$$

式中:E 为洞穴中新增加的总热量;$\triangle C$ 为洞内温度变化允许值;V 为洞腔容积;η 为空气密度ρ时的热容量,即洞穴空气温度升高1℃时所需的能量。

洞穴中新增加的总热量可用下式计算[16]:

$$E = 170t_1 + 360N_1 + N_2wt_2 + N_3Ht_3 + Qmt_4 + \triangle E_w$$

式中:E 为洞穴中新增加的总热量;t_1 为平均每个人在洞穴中停留的时间(h);t_2 为平均每个灯泡工作的时间(h);t_3 为电器的平均工作时间(h);t_4 为垃圾在洞穴中堆放的时间(h);N_1 为一年内的旅游总人数(人次);N_2 为洞穴内的灯泡数(个);N_3 为洞穴内的电器数(个);w 为灯泡的平均功率(J/s);H 为电器的平均功率(J/s);m 为洞穴内的垃圾量;Q 为垃圾腐烂中的熵值(J/s·kg);$\triangle E_w$ 为吹入和吹出风的热能差(J)。

由于洞内热量变化主要由洞内的灯光和游人造成,所以上述公式可简化和修正为[20]:

$$E = 170Nt_1 + N_1wt_2$$

式中:t_1 为平均每个人在洞穴中停留的时间;t_2 为平均每个灯泡工作的时间;N 为在洞穴内的旅游总人数;N_1 为洞穴内的灯泡数;w 为灯泡的平均功率。

一个人释放出来的热量范围在82~116W(1W=1J/s)之间[22],但如果人走动,那么释放的能量可达170J/s[15]。据此,每年输入洞穴的热量E(J/s)还可由下列公式计算[23]:

$$E = 170t \times 3600N$$

式中:t 指平均游览时间(h),N 指年总游客数。

根据上述公式,通过监测,可以计算出洞穴的年旅游容量。

1.2.3 根据通气量测算洞穴旅游容量

卢云亭(1988)认为,对洞穴、古墓穴、进深大而通道窄的石窟这样一些旅游点,要根据自然和人工提供的通气量来测算其旅游容量,其公式可表示为[24]:

$$R_a = K/20$$

式中:R_a 为游人容量;K 为自然和人工提供的通气量(L/min);20L 是在一般情况下每人每分钟呼出或吸入的空气量。

1.3 综合旅游容量的测算

旅游容量是一个综合性的概念体系,它是由社会、经济、自然环境构成的复合系统,不仅包括旅游生态环境容量、旅游资源容量,也包括旅游经济容量、旅游心理容量和旅游管理容量[25]。因此,遵循"利比希最低因子定律",旅游容量的大小等于各个分项的最小值[26],其公式为:

$$M = \min(M_1, M_2 \cdots, M_n)$$

式中:M 为综合旅游容量;M_1 为社会容量;M_2 为经济容量;M_n 为环境容量。

2 现有洞穴旅游容量测算方法存在的主要不足

2.1 单一方法测算洞穴旅游容量不科学

根据洞穴系统能量水平不同,洞穴可分为高能洞、中能洞、低能洞[27],不同能量等级的洞穴的容量是不一样的。同时,同一洞穴的不同部分的能量等级也不相同,因而游客承载量也不一样。因此,不同能量等级洞穴或洞段的旅游容量是不相同的[28],任何单一方法对洞穴旅游容量的测算都是不科学的。比如,测算的出发点不同(基于游客的角度还是洞穴环境保护的角度),选择的测算方法应该不一样。另外,由于洞穴的空间形态各异,使用单一的面积法、线路法、卡口法等测算其空间容量也是不恰当的。例如,罗培计算芙蓉洞旅游容量时,采用线路法得出"任何时刻洞穴全线容量不能超过185人"的结论[6],与芙蓉洞的实际情况有出入。因为芙蓉洞中还存在多个洞厅,如辉煌大厅(面积超过1 000m²)、崩塌大厅、吊萝厅等,其真实旅游容量应大于此值。

2.2 游客周转率取值简单化

现有洞穴旅游容量测算方法中的面积法和线路法中的游客周转率是指每日开放时间内可以接待游客的批次,表示为T/T_0,T_0 表示游客游览洞穴所需时间,但在取值时存在以下问题:一是当洞穴入口、出口同一时,T_0 中往往忽略了返回出口的时间;二是计算洞穴中不同景点的分容量时,T_0 就只是游客游览某一景点所需的时间而不是游览整个洞穴的时间。T_0 取值时没有充分考虑洞穴的特殊环境,取值过于简单化,导致所计算出的洞穴旅游容量值远远大于实际值,对洞穴的旅游规划、开发和管理等工作产生误

万方数据

导作用。

2.3 用综合容量测算洞穴旅游容量不合理

根据2003年颁布的国家标准《旅游规划通则》规定，旅游区的旅游容量取决于生态环境容量、社会心理容量、空间容量与设施容量之和这三者的最小值。但对于观光型景区来说，其设施容量弹性较大，刚性较小，对景区旅游容量不起主导作用[29]。社会心理容量目前还很难使用定量方法来测算，也起不了多大作用。洞穴大都属于观光型景区，决定其容量的应该是洞穴的空间容量或生态环境容量，而洞穴的旅游经济容量、旅游设施容量、社会心理容量严格说来意义不大，所以按所计算出的各分容量中的最小值取值没有多少实际意义。如织金洞的旅游环境容量分别按其空间容量、生态环境容量、经济环境容量计算出来后为6 600人次/日、96 370人次/日、5 495人次/日，根据综合容量测算，最终织金洞的旅游环境容量是以经济环境容量即5 495人次/日为准[10]，这显然不符合实际情况，因为经济容量是可以通过增加投入而迅速增大的，它不具有刚性。

2.4 热量法的实际意义不大

洞穴内的温度比较稳定，一般一个巨大洞穴系统中的气温，接近于当地的年平均气温，年较差常不到1℃[30]。游客进入后，气温会升高，但由于当地年均温不太高，在游客能接受的范围内，如我国南方洞穴气温一般为19～20℃，北方洞穴气温在12～16℃之间[31]，因此，气温升高在短时间内对游客影响不大。按照现存的热量法公式计算出来的结果与实际相差也比较大，因为没有考虑岩石、水等物质吸收的热量[6]。若仅从游客角度测算洞穴的旅游容量，热量法的实际意义不大。

2.5 忽视了洞穴旅游容量的动态性分析

旅游容量具有静态性和动态性特点。静态性是指游客在进行某一游览活动过程中环境容量不会发生任何变化，即具有一个瞬时旅游容量；动态性则是指在一段时间内旅游容量不是一个固定的数值，而是一个不断变化的波动阈。长期而言，旅游环境容量是一个不断变化的动态系统，它随着旅游者消费行为的变化、旅游地的发展及旅游时间的延伸而不断变化[32]。

目前，国内外学者建立的旅游容量计算模型几乎都是静态的，计算出来的容量值是一种理想的静态结果。实际上，旅游环境容量是一个不断变化的动态系统，如果计算中使用不变的数值，必然会影响旅游环境容量的客观准确性[25,26]。

洞穴旅游容量同样如此，它不是一个机械的单一数值，而是一个不断变化的波动阈，需要长期测算和关注其变化。

3 对洞穴旅游容量测算的几点思考

3.1 洞穴旅游容量测算方法的选择

洞穴旅游容量的测算方法不能千篇一律，应视出发点（基于游客角度或是基于洞穴保护的角度）和洞穴的具体情况选择相应的测算方法。有些洞穴可以单独使用某一种方法计算其容量，有些洞穴则需同时运用几种方法才能准确计算出其容量。

（1）从保护洞穴环境和洞穴景观出发，测算其容量应选择生态环境容量法，如根据洞穴中CO_2浓度或者洞穴气温等来测算。

（2）从确保游客在洞穴中的游览质量出发，测算其容量应选择空间容量方法。由于洞穴空间形态多样，常见的有廊道式、厅堂式、串珠式和迷宫式等[33,34]，其旅游容量的测算方法也不一样。

廊道式洞穴空间窄长，弯多曲折，可以选择线路法来测算其容量；厅堂式洞穴可以选择面积法测算其容量；串珠式洞穴是宽阔的大厅与狭窄的通道交替出现，迷宫式洞穴厅堂与厅堂之间有廊道连接互相沟通形成迷宫，因此这两种形态的洞穴应采用线路法计算出其通道的旅游容量，用面积法计算其厅堂的旅游容量，然后加总。

3.2 游客周转率的取值

周转率是旅游容量测算中的一个重要的数值。因传统的旅游容量测算方法中的周转率是一种较为理想化的游客周转率，故许多研究者对其提出了改进建议。如许丽忠（2007）认为应将游道型旅游空间容量的周转率改为$K-1$[35]；官金华（2004）建议公式中补充旅游环境类型系数P（见表1）[36]；王涛（2008）建议采用多因子进行修正[37]；宋子千（2003）主张采用峰值指标代替周转率来计算空间日容量[38]。

表1 旅游环境类型系数值

Tab.1 The quotiety P of tourism environment type

生态脆弱区	自然保护区	风景名胜区	一般旅游区	人文及城市旅游区
0～0.4	0.4～0.7	0.7～0.9	0.9～1.2	1.2～2.0

资料来源：文献[36]

洞穴旅游容量测算中的周转率的取值应充分考虑其特殊性，即对洞穴环境、洞穴景观的保护，确保将游览活动带来的对洞穴环境改变的因素（如温度、湿度、CO_2浓度等）控制在合理的范围内。进入洞穴游览

万方数据

的一批游客与下一批游客之间应留有恰当的间隔期。因此,洞穴旅游容量的周转率取值可表示为:

$$K=\frac{T}{t+t_1}$$

式中:K 为洞穴旅游容量的周转率;T 为洞穴每日开放时间(h);t 为每批游客完整游览洞穴所需时间(h);t_1 为洞穴每次游览结束后的间隔期(h),根据笔者对我国部分洞穴的实际调研,该间隔期以0.5~1小时为宜。

3.3 基本空间标准的取值

基本空间标准是指单位利用者(通常以人或人群为单位,也可以是旅游者使用的载体,如车、船等)所需占用的空间规模或设施量。基本空间标准一般是通过对旅游者的拥挤度和满意度的调查获得,然后运用于同类场所。但遍查世界旅游组织(WTO)规定的部分旅游场所的基本空间标准、我国《风景名胜区规划规范》(GB50298-1999)提出的参考性基本空间标准[39],均没有洞穴的基本空间标准的参考取值。这也就导致了在现有的洞穴旅游空间容量研究成果中,基本空间标准的取值混乱,如面积法中的基本空间标准有取60m²/人的[6,40],也有取21~32m²/人、8~10m²/人的[1],还有取5m²/人的[10];线路法中的基本空间标准有取25m/人的[8],也有取值为10m/人的[6],低的甚至取值1.5~2.3m/人[1]。

基本空间标准是洞穴旅游容量测算的关键性参数,究竟取值多少才较为科学呢?由于洞穴属于热烈型旅游场所,游览人数多不会导致游客心理的不快,甚至还会增添游览气氛。因此,洞穴基本空间标准取值可适当低一些。根据笔者对我国部分溶洞的实际调研,提出以下参考值:(1)洞穴厅堂:3~5m²/人;(2)洞穴游道:5~10m/人。

3.4 CO_2 浓度的取值

根据CO_2来测算洞穴容量的方法中,CO_2 浓度值的确定非常关键。CO_2 浓度值的确定涉及到三个方面:洞穴空气中 CO_2 的最大浓度(C_t)、每个游客呼出的CO_2 量(C_p)、CO_2 背景值(C_0)。

3.4.1 洞穴空气中 CO_2 的最大浓度(Ct)

在确定洞穴空气中CO_2 的最大浓度时,学者们采用的标准各异。有的从旅游要求出发,提出洞内CO_2 浓度必须<2 000ppm[18];郑天然(2008)在计算河北省木兰溶洞的瞬间客流量时,Ct 取值为1 000ppm[20];Kermode(1979)认为,CO_2 在5 000ppm 以上时,就会对游客产生危险[41]。根据CO_2 浓度卫生标准(表2,表3),大都认为洞穴内CO_2 的最大浓度应为5 000ppm。但王晓青(2008)对山东省九天洞监测表明,旺季游客进入时,全洞CO_2 平均浓度超过5 000ppm,有些地段高达8 000ppm,最大值上万[43],但因游客呆在洞穴内的时间不长,一般在1.5小时左右,感觉不太明显。

上述分析表明,现存的洞穴空气中CO_2 的最大浓度取值相差悬殊。究其原因,应与不同洞穴的具体情况有关,如湿度、空间、游览时间长短等。因此,在确定该数值时,在适当参考CO_2 浓度卫生标准的基础上,根据不同洞穴的具体情况,特别通过调查游客的感受后确定,不宜设置一个统一标准。

表2 洞穴空气中CO_2对人体与环境的影响

Tab.2 The impact of CO_2 in cave air on human body and environments

CO_2 浓度/ppm	环境影响及评价
300	正常大气圈空气中的含量
1 000以内	建筑物管理基准
1 000	公共场所允许浓度
5 000	敏感者恶心、无力,日本劳动卫生允许浓度,苏联诺沃阿方洞穴允许的下限
10 000	大部分探洞者认为合适,不存在装备问题,苏联诺沃阿方洞穴允许的上限
20 000	不快感,但可工作。蜡烛燃烧不好
30 000	呼吸短促,血压上升。蜡烛、火柴闪烁
40 000	头晕、目眩、耳鸣
60 000	呼吸十分困难,碳化物灯燃烧不好
70 000~100 000	数分钟后神志不清,死亡,碳化物灯熄灭

资料来源:文献[42]

表3 旅游洞穴空气CO_2 分级

Tab.3 The grading of CO_2 in cave air

级别	洞穴空气CO_2 特征	CO_2 含量/ppm
Ⅰ	维持原始空气中CO_2 含量,洞穴空气质量对游客及洞石无危害	≤1000
Ⅱ	CO_2 浓度递增,对游客及洞石不发生影响	1 000~3 000
Ⅲ	游客慢性中毒,一般生物(除敏感者外)能正常生长,不伤害洞穴景观	3 000~5 000
Ⅳ	游客恶心,无快感,头痛,对洞石影响较大	≥5 000

资料来源:文献[14]

3.4.2 游客呼出的CO_2 量(C_p)

对于每个游客呼出的CO_2 量,研究者们也存在较大分歧。Marion 认为每人每小时平均呼出CO_2 17L[21];宋林华认为健康的成年人每小时呼出的

万方数据

CO_2 在20～24L之间[16,17]；张英骏(1988)认为成年游客呼出的CO_2为40L/h[44]；程寿全(1992)认为游客平均每人每小时呼出的CO_2量为0.023m³(即23L)[45]；卢云亭认为，成年人从事轻体力劳动时(一般游览活动量与此相近)，每人每时排出$CO_2$25L，重体力劳动时，排出的CO_2为40L[24]；郑天然在计算河北木兰溶洞时取值40L[20]；胡希军(2005)认为，根据医学实验测算，一个普通成年人每天24小时需要吸入氧气5～8m³，同时呼出等量的CO_2(即每人每小时208～333L)[46]。

笔者赞同卢云亭先生的意见，洞穴游客每小时呼出的CO_2取值25L较为合理，这也与每人每天呼出的CO_2大约为500L的平均值20.8L/h较为吻合[10]，因为人在睡眠期间呼出的CO_2要低一些，在游览运动状态下要高一些。

3.4.3 洞穴空气中CO_2背景值(C_0)

洞穴空气中CO_2背景值(C_0)差异较大。Camille(1989)认为，洞穴空气CO_2的含量一般为0.05%以上，最高可达0.65%[47]。柳州响水岩、匈牙利Tapolca医疗洞穴、格鲁吉亚新阿仿洞、格鲁吉亚白洞的CO_2含量分别为0.04%、0.2～0.7%、0.7～0.9%、0.4～0.7%[48]。

在确定洞穴空气中CO_2背景值(C_0)时，因缺乏监测数据，部分学者就按大气中CO_2平均含量作为背景值来计算。一般认为，大气中的CO_2平均含量为300ppm[15,31]，因此郑天然(2008)计算河北木兰溶洞的旅游容量时就取300ppm作为背景值。但随着工业化的发展，大气中的CO_2含量不断增加，目前大气中的CO_2平均含量已达330ppm[13,45,49]。此外，大气中的CO_2含量还随着海拔高标增加大气压力的降低而降低(见表4)。

表4 大气中CO_2含量随海拔标高的变化

Tab.4 Variation of atmospheric CO_2 content with altitude

海拔/m	大气压力(为海平面大气压的%)	P_{CO_2}/%
0	100	0.035
1 000	88.7	0.031
2 000	78.4	0.027 4
3 000	69.2	0.024 2

资料来源：文献[31]

因此，洞穴空气中的CO_2含量的取值，不宜简单地按大气中CO_2平均含量作为背景值，应根据每个洞穴的监测数据而定。

3.5 洞穴旅游容量测算应着眼于对环境影响的控制

中国的旅游容量研究，特别是在旅游规划和管理实践中，基本上是以控制游客人数为着眼点。但若仅仅把旅游容量作为一个“数据游戏”，则会在实践中带来很多负面影响。故美国学者于20世纪80年代在游憩环境容量的基础上提出了LAC(Limits of Acceptable Change)理论，即“可接受的可变化的限度”。LAC理论强调研究的重点应放在控制环境影响方面，而不是控制游客人数方面；应淡化对游客人数的管理，只有在非直接(管理游客)的方法行不通时，再来控制游客人数；准确的监测指标数据是必须的，这样可以避免规划的偶然性和假定性[50]。在洞穴旅游容量的测算中，应该更多地考虑环境影响的控制性因子，将这些因子作为旅游容量测算的重要依据。尽管这个问题存在着许多技术性问题，但应该是洞穴旅游容量测算的发展方向。

4 小 结

(1)国内外关于洞穴旅游容量的测算方法可分为空间容量测算法、生态容量测算法和综合容量测算法。其中，空间容量的测算又可分为面积法、线路法和卡口法；生态容量的测算主要从CO_2和热量两方面入手；而综合容量的测算则取各个分容量(空间容量、生态容量、经济容量、心理容量等)的最小值。

(2)现有洞穴旅游容量测算方法存在如下不足：用单一方法测算洞穴旅游容量不科学；游客周转率取值简单化；用综合容量测算洞穴旅游容量不合理；热量法的实际意义不大；忽视了洞穴旅游容量的动态性分析。

(3)要获得合理的洞穴旅游容量，应根据洞穴的具体情况确定与之相适应的测算方法；应对旅游容量测算方法中的有关参数如周转率、基本空间标准、洞穴中CO_2浓度等确定出合理的取值；应将环境影响的控制性因子作为洞穴旅游容量测算的重要依据。

参考文献

[1] 周宣森. 浙江旅游洞穴开发与容量研究[C]//宋林华，丁怀元. 喀斯特景观与洞穴旅游. 北京：中国环境科学出版社，1993：165—169.

[2] 卢耀如. 岩溶(喀斯特)洞穴的开发与保护的方向与途径探讨[C]//陈伟海，朱德浩，朱学稳. 洞穴探测、研究、开发与保护. 北京：地质出版社，2008：3—4.

[3] Cigna A. A., Forti P.. The environmental impact assessment of a tourist cave[C]//Cave Tourism. Proc. Int. Symp. 170th Anniv. Postojnska Jama, Postnja, Nov. 10—12, 1988. Centre

万方数据

Scient. Res. SAZU & Postojnska Jama Tourist and Hotel Organiz.:1989:29—38.

[4] Cigna A. A., Forti P,. La V. I. A. delle gratte turistiche. The E. I. A. of a tourist cave[J]. VIA, 1° Arca Edizioni, Milano. 1990,4(16):42—53.

[5] Cigna A. A.. The ISCA Management Gudielines For Show Caves[C]// In: Proceedings of 15th International Congress of Speleology. Aemerica, 2009:1085—1088.

[6] 罗培,光磊,况明生.重庆武隆芙蓉洞洞穴景观美学评价[J].西华师大学报(自然版),2004,2:194—198.

[7] 曹南燕.中国风景名胜区发展概况及洞穴风景资源的开发利用[C]//宋林华,丁怀元,张发明.喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.北京:地震出版社,1994:189—195.

[8] 简王华.乐业大石围天坑溶洞群旅游资源特征及其综合生态开发[J].世界地理研究,2002,11(2):80—86.

[9] 孙强,许学工.喀斯特地区旅游开发的自然景观保护——以贵州省绥阳县为例[J].地理与地理信息科学,2005,21(4):75—78.

[10] 王剑,刘洪玉.喀斯特洞穴景区旅游环境容量研究——以织金洞为例[J].毕节学院学报,2007,3(25):52—56.

[11] 林业部调查规划设计院.森林公园总体设计规范[S].中华人民共和国林业行业标准,1995.

[12] 保继刚,楚义芳.旅游地理学(修订版)[M].北京:高等教育出版社,1999:145.

[13] 谢运球,郑治芗,杜恩荣.北京西山地区岩溶旅游资源、洞穴环境容量、环境问题及其对策[J].中国岩溶,1995,14(1):89—97.

[14] 贺卫.试论喀斯特洞穴若干环境因子与旅游活动[C]//宋林华,丁怀元,张发明.喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.北京:地震出版社,1994:83—87.

[15] Villar E. et al. Influence of Visitors on Carbon Dioxide Concentrations in Altamira Cave[J]. Cave Science, 1986, 13(1): 21—23.

[16] 宋林华.旅游洞穴的环境变异及景观保护[C]//宋林华,丁怀元,张发明.喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.北京:地震出版社,1994:118—125.

[17] 宋林华,韦小宁,梁福源.河北临城白云洞洞穴旅游对洞穴CO_2浓度及温度的影响[J].中国岩溶,2003,22(3):230—235.

[18] 杨汉奎,田维新.游览洞穴的环境变异[C]//宋林华,丁怀元,张发明.喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.北京:地震出版社,1994:73—77.

[19] 赵旭光,张仕俊.人·旅游洞穴环境——以贵州溶洞为例[J].中国园林,2000,16(72):22—25.

[20] 郑天然.喀斯特溶洞旅游环境承载力及其调控措施——以木兰溶洞为例[J].河北农业科学,2008,12(5):83—94.

[21] Marion. J. B.. General Physics with Bioscience Essays[M]. Wiley(New York,NY). 1979.

[22] Bartlett. A., Braun. T. Death in a hot tube: The physics of heat stroke[J]. Amer. J. phs. 1983,(51):127—140.

[23] Cigna. A. A., Ezio Burri. Development, Management and Economy of Show Caves[J]. Int. J. Speleol. 29B(1/4) 2000:1—27.

[24] 卢云亭.现代旅游地理学[M].南京:江苏人们出版社,1988:124—125.

[25] 翁刚民,杨秀平.国内外旅游环境容量研究评述[J].燕山大学学报(哲学社会科学版),2005,6(3):30—43.

[26] 刘少湃,吴国清.旅游环境容量的动态分析——生命周期理论与木桶原理的应用[J].社会科学家,2004(2):102—104.

[27] Heaton T.. Caves, A Tremendous Range in Energy Environments on Earth. National Speleological Society News [Z]. 1986: 301—304.

[28] 张寿越,金玉璋.旅游洞穴持续发展及其科学发展观[C]//陈伟海,朱德浩,朱学稳.洞穴探测、研究、开发与保护.北京:地质出版社,2008:10—15.

[29] 刘益.大型风景旅游区旅游环境容量测算方法的再探讨[J].旅游学刊,2004,19(6):42—46.

[30] 任美锷,刘振中.岩溶学概论[M].北京:商务印书馆,1983:216—217.

[31] 袁道先.中国岩溶学[M].北京:地质出版社,1993:33—37,42.

[32] 姚海琴,高萍,周玲强.旅游景区环境容量的动态性分析[J].经济论坛,2007,(9):72—74,90.

[33] 杨颖瑜.喀斯特洞穴的旅游开发研究[C]//陈伟海,朱德浩,朱学稳.洞穴探测、研究、开发与保护——全国洞穴学术会议论文选集.北京:地质出版社,2008:227—231.

[34] 张英骏,章典.喀斯特洞穴形态与洞穴水动力条件[J].贵州师范大学学报(自然版),1985(2):1—8.

[35] 许丽忠,张江山,王菲凤.游道型旅游空间环境容量改进模型及应用[J].福建师范大学学报(自然科学版),2007,23(4):105—109.

[36] 官金华,李晓趁.旅游区环境容量测算方法探讨[J].中国环境管理干部学院学报,2004,14(1):61—62,69.

[37] 王涛,张立明.新规划旅游区环境容量动态研究——以湖北梁子湖地区为例[J].农业与技术,2008,28(3):99—101.

[38] 宋子千.峰值指标:旅游空间容量估算的一种新方法[J].北京第二外国语学院学报,2003(5):1—3.

[39] 向旭,杨晓霞,赵小鲁.旅游规划原理与方法[M].重庆:西南师范大学出版社,2009:185—187.

[40] 高强."中国南方喀斯特"世界自然遗产地旅游环境承载力与可持续发展管理模式研究——以荔波遗产地为例[D].贵阳:贵州师范大学,2008:32—33.

[41] Kermode. L. O.. Cave Corrosion by Tourist [C]//Cave Management in Australia 3. Proceedings of the 3rd Australian Conference on cave Tourism and Management, Mt. Gambier, South Australia, Australasian Cave and Karst Management Association, Carlton South, Victoria, 1979:97—104.

[42] 朱文孝,李坡,潘高潮.织金洞的气候环境及空气中二氧化碳[J].中国岩溶,1993,12(4):409—417.

[43] 王晓青,周长春,孙小银,等.山东沂源九天洞洞穴环境变化监测分析[J].中国岩溶,2008,27(1):91—96.

[44] 张英骏.贵州旅游洞穴环境保护刍议[C]//贵州省环境科学协会.贵州喀斯特环境研究.贵阳:贵州人民出版社,1988:9—14.

[45] 程寿全.岩溶洞穴大气中二氧化碳含量的预测——以贵州某些洞穴为例[J].中国岩溶,1992,11(3):240—244.

[46] 胡希军,马永俊,朱丽东,等.旅游活动对溶洞环境、景观的影响和保护对策[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2005,28(1):76—79.

[47] EK Camille, Gewelt Michel, Zhang Shouyue. Carbon dioxide

万方数据

content of cave sediments and cave air in China [C]// Proceedings of 10th International Congress of Speleology, Hungary, 1989:63—64.

[48] 汪训一,杨日英,陈华奇,等.柳州市响水岩洞穴医疗可行性探讨[C]//宋林华,丁怀元,张发明.喀斯特与洞穴风景旅游资源研究.北京:地震出版社,1994:231—235.

[49] 汪训一,杨日英.旅游洞穴环境的变异与保护之研究[J].中国岩溶,1998,17(3):245—250.

[50] 杨锐.从游客环境容量到LAC理论——环境容量概念的新发展[J].旅游学刊,2003,18(5):62—65.

Research on calculating methods for tourism carrying capacity of caves

XIANG Xu[1], YANG Xiao-xia[2], SHI Jun-zhuang[2]

(1. *College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*;
2. *School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*)

Abstract: After reviewed and analyzed the relevant literature at home and abroad, it is found that there are some weaknesses in the existed calculating methods for tourism carrying capacity of caves in the following aspects. (1) It is unscientific to calculate the tourism carrying capacity with single method, because of the difference of the energy and shape of the caves can not be discovered. (2) The value of tourist turnover rate in the calculation is too simple, because of the absence of full consideration on the special cave environments. (3) In determining the final value of show caves tourism carrying capacity, blindly applied the relevant stipulations of General Specification for Tourism Planning, and it's unreasonable to choose the minimum value of ecological environment capacity, social mentality capacity, the sum of space capacity and facility capacity. (4) Because of the temperature in caves is very stable, heat method has little practical significance in calculating show caves tourism carrying capacity if only from visitors' point. (5) Analysis on the regime of the tourism carrying capacity is often neglected in current calculation methods. To obtain a reasonable tourism carrying capacity of show caves, it should be based on the specific situations of caves in determining suitable calculating methods; appropriate intervals between two groups of visitors should be considered when calculate the turnover rate value of the tourism carrying capacity; for the value's choice of basic space standards, it is proposed the cave hall range from 3 to $5m^2$/person, the cave corridor 5～10m/person. The maximum value of CO_2 density in show caves should be determined according to the different caves' specific situations and uniform standards should not be set up. It is recommended the CO_2 volume exhaled by visitors should be 25 L/h and the CO_2 background value in the cave air should be subject to the monitoring data of each caves. The controlling factors in the environments should be taken as important bases in the calculation.

Key words: caves; tourism carrying capacity; calculating methods

万方数据