

# 山岳型旅游地水资源系统安全评价 ——以黄山风景区为例

王 群, 陆 林, 杨兴柱

(安徽师范大学国土资源与旅游学院, 旅游发展与规划研究中心, 芜湖 241002)

**摘要:** 以黄山风景区为案例地, 基于1998-2012年15年间的水资源与旅游发展相关数据, 运用集对分析法, 从扰动性和应对能力两个层面建立评价指标体系, 对其年际及月际水资源系统安全态势进行评价。结果表明: ① 15年间, 黄山风景区年际水资源系统安全性综合指数总体处于中等水平, 并呈现逐年上升趋势; ② 月际水资源系统安全性平均指数虽总体也处于中等水平, 但存在月际差异, 大体呈“双峰双谷”型; ③ 年际系统安全性与扰动性指数、应对能力指数呈现出显著的正相关关系。月际系统安全性则与扰动性指数、应对能力指数呈现出负相关关系。应对能力强弱对年际水资源安全性具有重要作用, 对月际系统安全性调节具有局限性。④ 水资源潜力、旅游发展、用水效率和纳污能力共同构成了系统安全的扰动要素, 资金收入与投入、技术与道德措施形成了系统的应对能力, 但各因子作用强度、性质不同。

**关键词:** 水资源系统; 安全评价; 集对分析; 山岳型旅游地; 黄山风景区

DOI: 10.11821/dljy201406007

## 1 引言

水资源安全评价是进行水资源综合管理与调控的关键基础。实现水资源的安全、高效和持续利用, 是当前人类发展进程中所面临的重大实践需求, 也是水资源研究的中心任务<sup>[1]</sup>。水资源安全问题已引起学术界高度关注, 并成为当前水资源科学中的一个重点和热点研究问题<sup>[2,3]</sup>。山岳水资源安全问题关系着山岳生态系统的安全, 由于许多山岳地势陡峭, 径流面积有限, 地表蓄水困难, 供水难度大, 而山岳旅游的开展在一定程度上改变了其水系统和水环境, 直接影响着山岳水资源的安全与健康。因此, 山岳型旅游地水资源安全是山岳可持续发展的重要内容。

目前对水资源的安全研究已取得了一定进展。研究内容主要集中于水资源安全的概念<sup>[4-8]</sup>、影响因素<sup>[9-12]</sup>、指标体系<sup>[13-16]</sup>、评价与预警<sup>[19,20]</sup>、安全机理及保障措施<sup>[21-24]</sup>等, 定性与定量相结合, 直接与间接相结合, 具有一定的系统性、操作性。研究方法多样, 并日趋成熟, 主要有层次分析法、模糊数学法、集对分析法、Vague集方法、灰色系统法、系统动力学、粗糙集、投影寻踪以及模糊物元等<sup>[19,25-27]</sup>。尤其是集对分析法在水资源管理评价中的运用。集对分析是一种新的不确定性分析途径, 能从整体和局部上剖析研究系统内在的关系。王文圣等将集对分析引入到水文水资源领域, 并在水文水资源系统评价中取得了重要进展, 认为集对分析法在水资源系统评价中结果可靠, 是行之有效的水资源系统评价新方法<sup>[28-30]</sup>。但到目前为止, 尚未见运用集对分析法对旅游区的水资源系统进

收稿日期: 2013-11-23; 修订日期: 2014-03-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41201149)

作者简介: 王群 (1979-), 女, 安徽合肥人, 副教授, 主要从事旅游环境与生态研究。

E-mail: junyang110771@163.com

行安全评价的例证。

黄山风景区地处安徽省南部黄山市境内,核心景区面积约160.6 km<sup>2</sup>。旅游业发展迅速,1979年接待游客10.42万人次,2012年突破300万人次。世界文化与自然遗产、世界地质公园,全球首个景区类优秀目的地测评地,中国山岳型旅游地的典型代表之一。水资源是黄山风景区生态环境维护、景观面貌保持和旅游业发展的基础。境内年平均降雨量2376.2 mm,地表水丰富。但由于山势陡峭,蓄水条件差,地下水较为贫乏,生态环境需水巨大。加上地形限制,游程较长,“山上游、山下住”的旅游模式尚不能全面实行,山上仍存在大量的宾馆接待设施及常住旅游服务人员。截至2012年12月,除温泉景区外,黄山风景区高山上拥有各类档次的宾馆、饭店、招待所9家,总接待床位3596张,常住服务人员旺季约达5000余人,而供水主要依靠修建的水库和蓄水池,拦蓄地表径流。旅游发展、生态环境、水资源系统的各种扰动因素对黄山风景区的水资源安全产生巨大的压力。本文运用集对分析法,从旅游系统、生态系统、水资源系统等方面选取多个指标对黄山风景区1998-2012年15年间的年际和月际水资源安全进行综合评价和分析,以期丰富旅游环境与水资源安全的研究内容,并为山岳旅游地水资源的可持续发展提供参考。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

**2.1.1 集对分析** 集对分析(SPA)最先由中国学者赵克勤提出,是一门新的处理不确定问题的系统理论方法,是解决多目标决策、多属性评价的有效途径,已在评价、管理、预测和规划等研究领域得以广泛应用<sup>[26,31-33]</sup>。山岳型旅游地水资源安全评价其实质是一个具有确定性的评价指标和评价标准与具有不确定性的评价因子及其含量变化相结合的分析过程。基于集对分析的水资源安全评价是将水资源安全状况与既定的水资源安全评价标准构成一个集对,通过两者间的比照分析,获得水资源安全评价的量化指标。基本思路见参考文献<sup>[28]</sup>。

运用集对分析进行多属性评价,记为 $M=\{Q, T, E, W\}$ ,评价方案集 $Q=\{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ ,评价指标集 $T=\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ,评价对象集 $E=\{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ ,评价指标权重集 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。在同一空间内进行对比确定各评价方案中的最优指标构成最优评价集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ,各评价指标中最劣指标构成最劣评价集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ,其中, $u_n$ 、 $v_n$ 分别为指标的最优值和最劣值。集对 $\{Q_m, U\}$ 在 $[U, V]$ 上的联系度为<sup>[34]</sup>:

$$\begin{cases} \mu(q_m, U) = a_m + b_m i + c_m j \\ a_m = \sum w_p a_{pk} \\ c_m = \sum w_p c_{pk} \end{cases} \quad p=(1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: $a_{pk}$ 和 $c_{pk}$ 分别为评价指标 $t_{pk}$ 与集合 $\{v_p, u_p\}$ 的同一度和对立度; $w_p$ 为第 $p$ 项指标的权重。 $a_m$ 值越大表示同一度越高, $c_m$ 值越大,表示对立度越大。

$$\text{当 } t_{pk} \text{ 对评价结果起正向作用时, } \begin{cases} a_{pk} = \frac{t_{pk}}{u_p + v_p} \\ c_{pk} = \frac{u_p v_p}{t_{pk}(u_p + v_p)} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{当 } t_{pk} \text{ 对评价结果起负向作用时, } \begin{cases} a_{pk} = \frac{u_p v_p}{t_{pk}(u_p + v_p)} \\ c_{pk} = \frac{t_{pk}}{u_p + v_p} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{方案 } q_m \text{ 与最优方案集 } U \text{ 的相对贴近度 } r_m \text{ 为: } r_m = \frac{a_m}{a_m + c_m} \quad (4)$$

$r_m$ 反映了被评价方案 $q_m$ 与最优方案集 $U$ 的联系度, $r_m$ 值越大表示被评价对象越接近最优方案。

**2.1.2 熵权法确定权重** 由于黄山风景区内的主要经济活动是旅游,水资源安全影响要素受季节、空间、旅游发展等不确定因素影响较大,因此,集对分析中的权重采用客观赋权法——熵权法确定,主要步骤如下<sup>[35]</sup>:

(1) 数据标准化处理:

指标值越大对系统发展越有利时,采用正向指标计算方法:

$$X'_{ij} = (X_{ij} - \min\{X_j\}) / (\max\{X_j\} - \min\{X_j\}) \quad (5)$$

指标越小对系统发展越好时,采用负向指标计算方法:

$$X'_{ij} = (\max\{X_j\} - X_{ij}) / (\max\{X_j\} - \min\{X_j\}) \quad (6)$$

(2) 第 $i$ 年份(月份)第 $j$ 项指标值的比重:

$$Y_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^m X'_{ij} \quad (7)$$

(3) 指标信息熵:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}), \text{ 令 } k = \frac{1}{\ln m}, \text{ 有 } 0 \leq e_j \leq 1 \quad (8)$$

(4) 信息熵冗余度:

$$t_j = 1 - e_j \quad (9)$$

(5) 指标权重:

$$w_i = t_i / \sum_{j=1}^m t_j \quad (10)$$

式中: $X_{ij}$ 表示第 $i$ 年份(或月份)第 $j$ 项评价指标的数值; $\min\{X_j\}$ 和 $\max\{X_j\}$ 分别为所有年份中第 $j$ 项评价指标的最小值和最大值; $m$ 为评价年数或评价月份; $n$ 为指标数。

## 2.2 指标体系构建

黄山风景区水资源安全评价指标体系构建是水资源安全评价研究的核心内容。以水资源—旅游—社会经济—生态环境复合系统为研究对象,遵循针对性、可操作性、代表性、系统性、动态性原则,从水资源子系统、旅游发展子系统、社会经济子系统、生态环境子系统4个方面选取32项指标因子,通过相关性分析,剔除不相关因子。有几点需要说明:①从相关性分析来看,黄山风景区内溪流废水容纳量与年际相关性很小,人均用水水平、森林覆盖率、节水普及率、旅游经营收入、生态保护资金投入与月际水资源安全相关性很少,故年际与月际指标略有不同。②河流最小生态环境需水量,依据《黄山风景名胜区分水资源调查与利用规划》,南方山区一般取平均径流量的20%~30%作为河流最小生态环境需水量。本文依据丰平枯年月采取平均径流量的20%~30%作为估算值。③黄山风景区地下水资源除温泉作为休闲洗浴用途开发外,作为维护生态环境和旅游活动,目前尚不可利用,故指标未选入相关分析中。④主要水库和纳污水体水质

监测中，水质综合污染综合指数均在最低值范围内，故均采用单因子评价指标。水库水质监测结果显示，pH、DO、BOD<sub>5</sub>、高锰酸钾指数等指标均在一类水标准内，其他值变化很小，只有高锰酸钾指数虽在标准范围内，但略有波动。纳污水体的污水源主要为生活污水，COD是主要水质影响因子。故分别选取高锰酸钾和COD作为水库和纳污水体的代表因子纳入相关分析。⑤ 由于许多指标在年际或月际上或存在着很强的周期性，或不可能无限递增或递减，全部采用百分比或递增率指标测试的结果不太理想。因此除酒店住宿率、森林覆盖率和节水普及率外，其他指标数据均采用实际值作为分析基础。

同时，为了更详细地了解黄山风景区水资源安全的扰动因子和应对能力，将筛选后的因子分为扰动性指标和应对能力指标两部分，得出黄山风景区年际和月际水资源安全影响评价指标体系，确定指标影响方向，并依据熵权法步骤确定权重（表1）。

表1 黄山风景区水资源安全评价指标体系及权重  
Tab.1 Indicator system for water resources security of Huangshan resorts

项目	指标名称及单位	年际指标权重	月际指标权重	指标影响
扰动性指标	平均降雨量（mm）	0.0637	0.0735	正向
	平均径流量（m <sup>3</sup> /s）	0.1108	0.1023	正向
	游客人数（人）	0.0400	0.0490	负向
	酒店住宿率（%）	0.0655	0.1042	负向
	常住服务人员（人）	0.0658	0.1112	负向
	人均用水水平（t/人）	0.0214	/	负向
	生态环境用水(×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	0.0260	0.1068	负向
	主要供水水库水质指数（mg/L）	0.0485	0.0806	负向
	纳污水体水质指数（mg/L）	0.0327	0.0616	负向
	污水排放量（m <sup>3</sup> ）	0.0614	0.0853	负向
	森林覆盖率（%）	0.1161	/	正向
应对能力指标	溪流废水容纳量（m <sup>3</sup> ）	/	0.0715	正向
	供水能力（t）	0.0667	0.0735	正向
	污水处理（t）	0.0448	0.0806	正向
	节水普及率（%）	0.0619	/	正向
	旅游经营收入（×10 <sup>4</sup> 元）	0.0835	/	正向
	生态保护资金投入（×10 <sup>4</sup> 元）	0.0912	/	正向
合计		1.0000	1.0000	

注：“/”表示年际指标或月际指标中该项没有。

2.3 数据来源

本文收集了黄山风景区1998-2012年15年间的水资源安全评价相关指标的历年历年数据。数据主要来源于《黄山风景名胜区水资源调查和利用规划（2010年）》、《黄山风景区环境容量研究报告（2006年）》、《黄山风景名胜区生态环境保护规划（说明书）》、《黄山土壤》、《黄山风景名胜区总体规划（2007-2025年）基础资料汇编与专题研究报告》、《黄山风景区供水工程环境影响报告书（2000年）》、《黄山风景区生态环境改善工程环境影响报告书（2001年）》、《安徽统计年鉴（1998-2012年）》、《黄山志（2008

年)》等,以及黄山风景区管委会、黄山风景区园林管理局环境科及环保办、黄山旅游发展股份有限公司提供的其他资料。

### 3 黄山风景区水资源系统安全评价

借鉴相关研究成果<sup>[36]</sup>,将水资源系统安全性级别在(0, 1)范围内划分为三级,即 $0 \leq r_m \leq 0.33$ 为低级、 $0.33 < r_m < 0.67$ 为中级、 $0.67 \leq r_m \leq 1$ 为高级。根据公式(1)~公式(4),计算出黄山风景区1998-2012年15年间及多年月平均的水资源系统扰动指数、应对能力指数、安全性指数,结果分析如下:

#### 3.1 年际水资源系统安全评价

**3.1.1 年际水资源系统扰动性评价** 黄山风景区水资源系统的扰动性指数总体上呈缓慢上升趋势,其与最优值的相对贴适度 $r_m$ 由1998年的0.4750上升到2012年的0.5277,其间稍具波动性(表2)。大致可分为两个阶段:

1998-2006年区内的水资源系统扰动值相对较低,均在0.5以下,并处于相对波动阶段。此阶段,由于黄山风景区人均用水水平波动、生态环境用水逐年降低,加上相对较低的常住人口数量、污水排放量(最大值分别约4529人、 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ ),以及较高的森林覆盖率(83.4%~84.7%),黄山水资源系统扰动值始终徘徊在0.46~0.49之间。

2007-2012年区内的水资源系统扰动值稍高,处于0.49~0.53之间,并呈先上升后稳定趋势。此阶段黄山风景区的常住人口数量不断增长(2012年已达5500多人),同时巨大的游客量使得生态环境用水、污水排放量也不断增加。2009年系统扰动值约为0.53,此后随着黄山低碳旅游试点及优秀目的地测评地的建立,扰动值相对较平稳。

**3.1.2 年际水资源系统应对能力评价** 黄山风景区水资源系统的安全应对能力呈快速上升趋势,其与最优值的相对贴适度 $r_m$ 由1998年的0.1984上升到2012年的0.8319(表2),说

表2 黄山风景区水资源系统安全性年际变化(1998-2012)

Tab.2 Yearly change of water resources security of Huangshan resorts (1998-2012)

年份	扰动性指数			应对能力指数			水资源系统安全性指数		
	$A_m$	$C_m$	$r_m$	$A_m$	$C_m$	$r_m$	$A_m$	$C_m$	$r_m$
1998	0.4671	0.5163	0.4750	0.1631	0.6590	0.1984	0.3823	0.5371	0.4158
1999	0.4886	0.4956	0.4964	0.1978	0.5166	0.2769	0.4122	0.4772	0.4635
2000	0.4763	0.5103	0.4828	0.2417	0.4852	0.3325	0.3983	0.4884	0.4492
2001	0.4562	0.5284	0.4633	0.2515	0.4606	0.3532	0.4087	0.4723	0.4639
2002	0.4741	0.4998	0.4868	0.2626	0.4344	0.3767	0.4233	0.4437	0.4882
2003	0.4611	0.5312	0.4647	0.2834	0.4798	0.3713	0.4344	0.4736	0.4784
2004	0.4796	0.4973	0.4909	0.3700	0.3255	0.5320	0.4130	0.4618	0.4721
2005	0.4703	0.5070	0.4812	0.3960	0.2986	0.5702	0.4320	0.4417	0.4944
2006	0.4715	0.5089	0.4809	0.4981	0.2461	0.6693	0.4663	0.4283	0.5212
2007	0.4865	0.4914	0.4975	0.5151	0.2349	0.6868	0.4637	0.4298	0.5190
2008	0.5039	0.4715	0.5166	0.5842	0.2171	0.7291	0.5052	0.4001	0.5580
2009	0.5224	0.4578	0.5330	0.6389	0.2029	0.7590	0.5097	0.4107	0.5538
2010	0.5115	0.4639	0.5244	0.6972	0.1823	0.7927	0.5292	0.4012	0.5688
2011	0.5186	0.4601	0.5299	0.7568	0.1728	0.8141	0.5510	0.3992	0.5799
2012	0.5176	0.4634	0.5277	0.8073	0.1631	0.8319	0.5628	0.4033	0.5826



明黄山风景区面对水资源系统的危险具有较强的应对能力。总体上也可划分为两个阶段：

1998-2003年为弱势应对阶段。此阶段景区的水费虽已达到13元/t,但山上几乎没有采取节水措施;提水上山工程2002年完工,尚处于试运营阶段;13处生活污水处理设施刚刚建成;生态保护资金投入年递增率仅为9.19%;旅游收入1998年受洪水、2003年受非典影响,年递增率也仅为9.65%。

2004-2012年为强势应对阶段。此阶段,黄山通过提水上山工程,供水能力大大提高,考虑供水量过增会导致废水量的增加,从而加重山间溪流承载力,所以年供水平均递增率保持在5%左右。节水普及率虽截至2012年仅为5%左右,但实现了从无到有的突破,而且其普及让员工有了更多的节水意识。13处污水处理设施全部投入运行,年污水处理容量可达220万t。旅游收入年递增率平均为15.97%,生态保护资金投入年递增率达10.12%,尤其是2004年(2503万元)比2003年(1261万元)有了翻倍增长,2012年生态保护资金投入已近6000万元。

**3.1.3 年际水资源系统安全性评价** 纵观黄山风景区近15年的水资源系统安全性演变过程,可以看出:

黄山风景区的水资源系统安全性与最优值的相对贴度 $r_m$ 从1998年的0.4158上升到2012年的0.5826,基本处于中等水平,总体上水资源安全指数呈现逐年上升趋势(图1)。其间,大致可分为两个阶段:1998-2005年为缓慢低增阶段,处于中等偏低水平;2006-2012年为快速提升阶段,处于中等偏高水平。安全性阶段划分置后应对能力阶段约2年时间,说明应对措施的作用显现需要一个过程。安全性的同一度 $a_m$ 从0.3823逐步上升到0.5628,而对立度 $c_m$ 从0.5371下降到0.4033,说明尽管景区水资源系统扰动值缓慢上升,但由于强大的应对能力提高,使得其安全性越来越高。

20世纪80年代以前,全山生活用水主要靠溪流泉水,经管道引入蓄水池送往各处,小蓄水池遍及全山。1991年水电分营,在虎头岩上方、圣泉峰脚建立自来水厂,从事自来水生产、经营管理和供水基础设施建设。因森林防火需要,同时为改变枯水期山上饮用水困难、山下生活用水紧张的状况,先后又建设西海水库、云谷寺水库、天海一库、天海二库、五里桥一库、五里桥三库、五里桥新二库等7座水库,全山总蓄水量达 $45 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。2002年又完成了从五里桥新二库至天海水库和玉屏楼蓄水池的景区综合提水工程,在供水监控自动化系统调度下,通过高扬程水泵和供水主管线将水送至全山各接待点、生活区和生态用水管网,大大缓解了旱季山上缺水的局面,并满足了局部地段生态

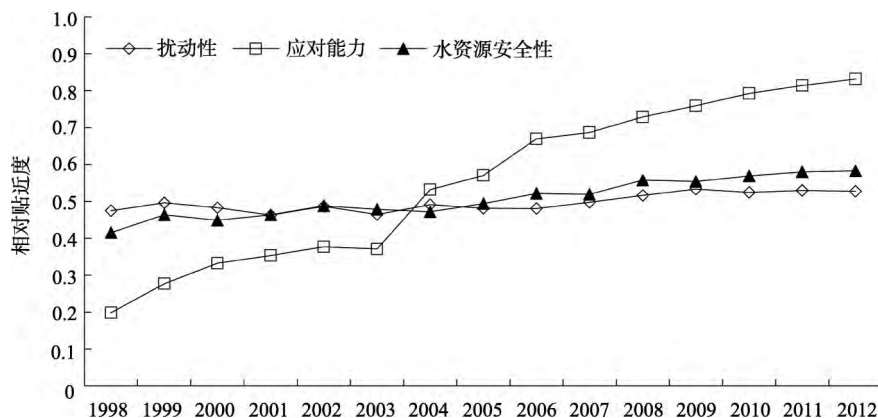


图1 黄山风景区水资源系统扰动性、应对能力与安全性年际变化态势

Fig.1 The yearly changing trends of water resources destabilization, response capacity and security of Huangshan resorts

用水及森林防火的需要。但与此同时, 旅游的迅猛发展以及众多的驻山单位、宾馆及员工, 使得景区水资源系统仍处于相对较为脆弱的状态。

2004年始, 景区旅游收入和生态保护资金投入有了长足增长。2006年, 黄山风景区按照“山内做减法、山外做加法”的思路, 逐步实施了办公和生活设施外迁工程, 先后在南大门外的寨西建设了客运集散中心、景区职工生活小区, 在汤口建设了黄山管委会和集团公司、股份公司综合办公楼。2007年重点组织实施了“黄山风景区保护与管理指挥调度中心”项目, 投入近2000万元, 建立一套覆盖全山的数字化监控、指挥系统。2007年底通过了国家环保总局组织的ISO 14000国家示范区现场评审验收, 实施了温泉地段、云谷小区环境综合整治, 制定了污水统一治理方案, 实现了污水统一处理、达标排放。2006年完成所有厕所的改善与新建工程, 景区水冲式旅游公厕全部达到三星级以上标准, 并新增了一批生态公厕。期间景区对因自然灾害、地质灾害和其他原因造成的水土流失地块进行了全面治理和恢复。2010年景区被确定为“全国首批50家低碳旅游景区”试点之一, 2012年被确定为全球首个景区类优秀目的地测评地。这些对提高黄山风景区水资源系统安全性具有重要推动作用。

3.2 月际水资源系统安全评价

**3.2.1 月际水资源系统扰动性评价** 从景区月际水资源系统扰动性与最优值拟合程度 $r_m$ 来看, 景区月际水资源系统扰动性处于波动状态, 大致可分为三个层次: 3月、6-7月相对贴适度均在0.5以下; 其次是1月、5月、8月、9月、12月, 相对贴适度在0.50~0.52之间; 2月、4月、10-11月相对贴适度较差, 在0.54之上, 水资源系统处于非常敏感时期, 尤其是10月份, 相对贴适度已达0.6725, 是全年中水资源系统的极端敏感月(表3)。10月份一方面是旅游旺季, 游客接待人数和酒店住宿率均达到全年最高水平, 用水需求很大; 另一方面秋季较为干燥, 连续无雨日较长(最长连续无降雨日达40天), 生态环境用水大增, 水库和溪流的水质因为废水排放量的增加和天然降雨的缺乏, 指标也趋于临界值。

表3 黄山风景区水资源安全性指数月际变化  
Tab.3 Monthly change of water resources security of Huangshan resorts

月份	扰动性指数			应对能力指数			水资源系统安全性指数		
	$a_m$	$c_m$	$r_m$	$a_m$	$c_m$	$r_m$	$a_m$	$c_m$	$r_m$
1	0.4730	0.4486	0.5132	0.3135	0.6865	0.3135	0.4503	0.4481	0.5012
2	0.4925	0.4001	0.5517	0.4601	0.5390	0.4605	0.4400	0.4310	0.5051
3	0.3458	0.4376	0.4414	0.4379	0.4898	0.4720	0.3871	0.4078	0.4870
4	0.4699	0.3690	0.5602	0.5711	0.3755	0.6033	0.3557	0.5012	0.4151
5	0.4890	0.4569	0.5170	0.5729	0.3750	0.6044	0.4048	0.5268	0.4346
6	0.3879	0.5224	0.4262	0.5690	0.3784	0.6006	0.4790	0.4302	0.5268
7	0.4621	0.4964	0.4821	0.6000	0.3591	0.6256	0.4508	0.4947	0.4768
8	0.4731	0.4680	0.5027	0.6526	0.3284	0.6652	0.4312	0.4999	0.4631
9	0.4495	0.4178	0.5182	0.5316	0.4045	0.5679	0.3707	0.4947	0.4283
10	0.5975	0.2910	0.6725	0.5192	0.4139	0.5564	0.2877	0.6016	0.3235
11	0.4323	0.3597	0.5458	0.5014	0.4297	0.5385	0.3569	0.4532	0.4406
12	0.4858	0.4417	0.5238	0.3442	0.6255	0.3549	0.4483	0.4559	0.4958

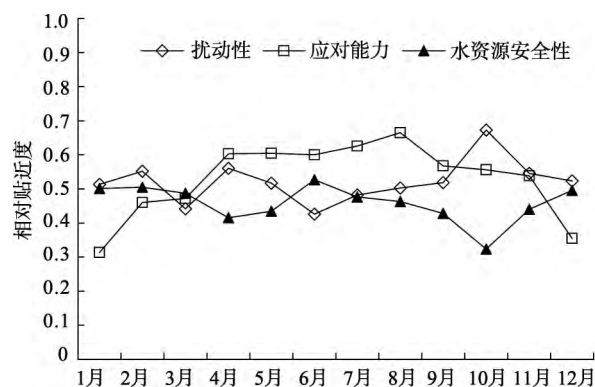


图2 黄山风景区水资源系统扰动性、应对能力与安全性月际变化态势

Fig. 2 The monthly changing trends of water resources destabilization, response capacity and security of Huangshan resorts

资金投入作为月际应对能力指标,相关性分析不明显,但由于其常年发挥的作用,对整体月际应对能力的强弱起着重要作用;另外,根据王群等已有研究<sup>[37,38]</sup>,黄山纳污水体客观生态承载力有限,主观供水和污水处理不能无限量增加,由此也导致仅依赖供水和污水处理能力来提高整个月际水资源系统应对能力,具有一定的局限性。

**3.2.3 月际水资源系统安全性评价** 纵观黄山风景区近15年的水资源系统安全性平均月际变化,可以看出:总体上景区水资源系统月际安全处于中等水平,但存在月际差异,尤其是出现极端不安全月份(10月份),大体呈现出“双峰双谷”型(图2)。一方面,受2005年前水资源系统安全较低值的影响,另一方面由于剔除了一些月际相关性弱但年际相关性却很强的指标(如森林覆盖率、生态资金投入等),因此,15年间的平均月际水资源系统最高安全值(6月份,0.5268)也低于近几年的年际系统安全值。但月际分布曲线可以反映全年各月的水资源安全态势。

受季节影响,冬季游客大量减少,山上宾馆如白云宾馆、狮子林大酒店、西海饭店等部分或全部停业1-3个月,相应的服务员工也全部下山,设施用水大为减少,加上山上冰雪覆盖,生态环境用水也大大减少。近年来黄山冬游有了较好发展,2月份大多适逢春节,虽游客量增多对系统有一定的扰动性,但尚处冰雪覆盖的黄山水资源安全性仍较高。3月份,虽然宾馆全部开业、员工驻山,但山上积雪融化对水生态安全的维护起着重要作用。因此,12月、1-3月水资源安全性相对高一些。4-5月份,天气转暖,人类活动频繁,旅游和生态需水量巨增,景区水资源系统安全性呈现出第一个“低谷”。随着降雨季节的来临和旅游活动的相对减弱,6月份呈现出全年相对最高的水资源安全态势。7月份始,随着旅游活动和生态需水增加,以及天气及生态环境变化,水资源系统安全性又开始逐步减弱,直至10月份出现全年极端低谷值(0.3235)。

## 4 黄山风景区水资源系统安全影响因子与机制分析

### 4.1 水资源系统年际安全影响因子分析

从黄山风景区年际水资源系统扰动性、应对能力、安全性指数关系来看,运用SPSS 19.0软件,对其进行相关分析。结果表明,扰动性指标与系统安全性之间具有显著的正相关关系,相关系数为0.846(在0.01检验水平上显著);应对能力指标与系统安全

### 3.2.2 月际水资源系统应对能力评价

景区的水资源系统应对能力与最优方案的相对贴适度呈现出“中间高、两头低”的状态(图2)。12月、1-3月相对贴适度在0.31~0.47之间,其他月份均在0.53以上,最高月份为8月,达到0.6652。从目前黄山风景区水资源安全应对能力来看,供水能力和污水处理能力尚具有一定余力,其大小主要根据客观扰动性指标而相应变化。但考虑成本及环境负面影响因素等,在10月至次年2月扰动指数较强的状况下,应对能力的发挥却非常有限。这说明虽然旅游收入和生态



性之间具有显著的正相关关系, 相关系数为0.955 (在0.01检验水平上显著)。可见, 应对能力大小在黄山风景区水资源系统安全性程度方面的作用更加明显。说明尽管黄山风景区存在着很多影响水资源安全的扰动因素, 但通过发挥人的主观能动性可以充分缓解这些矛盾, 这为景区水资源安全性的进一步提升提供了较大的空间。

从年际系统扰动性指标来看, 平均径流量和森林覆盖率是影响水资源安全性最关键的因子, 权重分别为0.1108、0.1161; 其次是年降雨量、酒店住宿率、常住服务人员、污水排放量, 权重在0.61~0.66之间; 而游客人数、纳污水体水质、主要供水水库水质、人均用水水平的权重值均较低。可见黄山风景区自身的水资源量及保持能力对维护景区水资源安全最为重要, 其次是水资源使用水平。而最为关注的游客人数与水质情况, 对于黄山目前来说, 尚不构成最重要的敏感因子, 因为一日游游客在黄山上用水很少, 而过夜游游客用水更多, 所以酒店住宿率更为敏感, 因此黄山风景区的游客增长并不对水资源安全构成威胁。关键是要控制山上酒店和常住人口规模, “山上游、山下住”的旅游模式的提倡对保持黄山风景区水资源安全和维护景区旅游人数和收入增长具有重要意义。此外, 由于山上用水量的控制和生态环境的维护, 景区水库和溪流水质都保持较好, 尚不构成水资源安全的关键影响因子。

从年际系统应对能力指标来看, 生态保护资金投入和旅游收入是最关键影响因子, 权重分别为0.09、0.08; 其次是供水能力、节水普及率, 权重约为0.6; 污水处理能力的权重最低, 只占0.04。说明生态意识和资金实际投入对于提高黄山风景区水资源系统至关重要, 而由于山上住宿能力的限制、引提水上山工程的运行和污水处理能力的剩余, 这些因子在水资源安全系统中权重值相对较低。

#### 4.2 水资源系统月际安全影响因子分析

从黄山风景区月际水资源系统扰动性、应对能力、安全性指数关系来看, 结果表明, 扰动性指标与系统安全性之间具有显著负相关关系, 相关系数为-0.812 (在0.01检验水平上显著); 而月际应对能力指标与系统安全性之间呈现出负相关关系, 为-0.353, 但未通过相关性检测。黄山风景区月际扰动性指标对系统安全程度有着至关重要的影响。

从月际系统扰动性指标来看, 径流量、生态环境用水、常住服务人员、酒店住宿率是月际水资源安全最关键的影响因子, 权重均在0.1以上, 景区溪流的水源涵养能力和生态、人口用水对月际水资源系统的扰动性最大。其次是平均降雨量、主要供水水库水质、污水排放量、溪流废水容纳量, 权重分别为0.0735、0.0806、0.0853、0.0715, 水源补充和用水所带来的一系列问题指标是景区水资源系统安全的重要影响因子。纳污水体水质和游客人数所占权重均较低, 分别约占0.0616、0.0489, 与年际扰动性因子具有较强的一致性。

从月际系统应对能力指标来看, 供水能力和污水处理能力所占权重较为均衡, 但权重值相对都不高。黄山风景区溪流径流量小, 废水容纳量有限, 主要纳污水体年废水容纳量约为2097419 m<sup>3</sup>, 年供水限额约为2621774 m<sup>3</sup>, 水资源系统安全的关键阈值存在于水生态安全中, 而水生态安全需要总量控制与浓度控制相结合。因此即使通过供水能力和污水处理等技术手段的提高, 可以解决水供需安全, 但由此导致的废水排放总量的增加会严重影响水生态安全, 进而影响整个水资源系统安全<sup>[38]</sup>。从这个意义上说, 如果没有常年旅游收入和生态保护资金投入的保障, 仅通过月际供水和污水处理能力的应对, 不足以改变景区水资源系统受扰动的现状。

#### 4.3 水资源系统安全影响机制分析

水资源系统安全包括水质安全和水量安全两个方面<sup>[39]</sup>。从系统角度来看, 无论是年

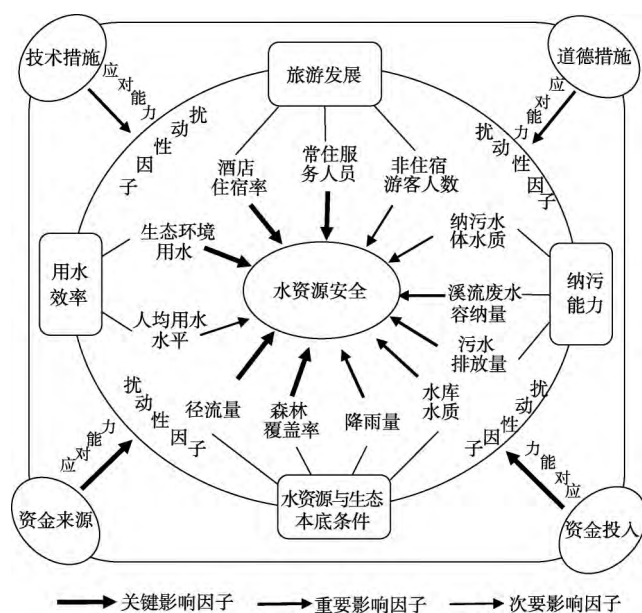


图3 黄山风景区水资源系统安全影响因子与机制

Fig. 3 The influencing factors and mechanism of water resources security of Huangshan resorts

际还是月际安全测度，水资源潜力和旅游发展程度作为黄山风景区的生态环境本底条件和人类社会经济主要活动，在主观和客观上都很大程度地决定着其水量和水质安全，并与其导致的用水效率（进水角度）和纳污能力（出水角度）共同构成景区水资源安全的扰动要素。资金收入与投入、技术与道德措施组成了景区的应对能力。由于各因子作用性质、强度上的差异，景区水资源安全程度在扰动要素与应对能力的相互抗衡中处于一定的波动状态（图3）。

综合来看，年际和月际水资源系统安全影响因子具有很强的共同性和关联性。扰动性因子方面，水资源与生态本底条件（平

均径流量和森林覆盖率等指标）、生态环境与旅游发展用水（生态环境用水、常住服务人员、酒店住宿率等指标）是黄山风景区水资源系统最为关键的扰动因素。降雨量及旅游用水导致的一系列社会经济、水环境指标变化（水库供水水质、污水排放量、溪流废水容纳量等）是系统的重要扰动因素。年际和月际影响因子分析都显示，非住宿游客人数的增长目前尚不构成对水资源系统安全的威胁，“山上游、山下住”的旅游模式应是黄山风景区发展的方向；此外，由于管理的有效性，景区的溪流和水库水质仍具有很大的安全空间，目前也尚不构成水资源系统安全性的重要影响因子。应对能力方面，资金收入与投入是提高景区水资源系统最为关键的要素，虽然月际应对能力指标相关性分析被剔除，但其发挥整体作用至关重要。供水和污水处理等技术措施及节水道德措施的提高，是保证景区水资源供需系统安全的重要因子。管理措施同样则应贯穿于整个系统的应对能力中。

## 5 结论与讨论

（1）1998-2012年间，黄山风景区年际水资源系统安全性综合指数呈现逐年上升趋势，从1998年的0.4158上升到2012年的0.5826，总体处于中等水平，并可分为两个阶段：1998-2005年为缓慢低增阶段，处于中等偏低水平；2006-2012年为快速提升阶段，处于中等偏高水平。扰动性指数虽缓慢上升，但应对能力的快速上升，保证了黄山风景区水资源系统安全性的不断提高。

（2）黄山风景区近15年的水资源系统安全性月际平均指数，总体上也处于中等水平，但存在月际差异，尤其是出现极端不安全月份（10月），大体呈现出“双峰双谷”型。景区月际水资源系统扰动性与系统安全性指数曲线大致相反，而应对能力则呈现出

“中间高、两头低”的状态,与安全性指数也大致呈相反态势。可见从月际安全性来看,景区水资源系统受扰动性程度一定意义上决定着其系统的安全性,仅依赖月际供水能力和污水处理能力应对,对提高整个水资源系统的安全性效果是有限的。

(3)从扰动性、应对能力和系统安全性相关分析来看,年际扰动性指数、应对能力指数与系统安全性均呈现出正相关关系。而月际扰动性指数、应对能力均与安全性呈现出负相关关系。黄山水资源系统安全包括水供需系统和水生态系统安全两部分,月际供水能力和污水能力对提高水供需系统安全具有重要作用,但总体上改变不了系统的月安全性现状,多种手段相结合的应对能力对提高整个系统的年际安全性具有突出作用。

(4)水资源潜力、旅游发展、用水效率和纳污能力共同构成了黄山水资源系统安全的扰动要素,资金收入与投入、技术和道德措施形成强大的应对能力,与扰动要素相抗衡。综合年际和月际扰动具体因子可以看出,环境本底条件和生态与旅游发展用水是影响景区水资源安全性最关键的因子,尤其是黄山风景区自身的溪流径流量和森林的水土保持功能是其水资源系统安全性的最基本保证。其次是降雨量和旅游用水引发的一系列社会经济、水环境指标变化是黄山水资源系统安全的重要影响因子。非住宿游客人数的增长和仍有较大承载空间的水体水质目前尚不构成对水资源系统安全的威胁。应对能力方面,景区的生态保护资金投入和旅游收入对提高景区的水资源系统安全具有至关重要的作用。

由于资料和区域特性的限制,本文仍存在以下不足,值得进一步讨论和研究:

(1)山岳旅游地水资源系统安全性的空间评价。黄山风景区可分为温泉、北海、西海、天海、玉屏、松谷、钓桥等旅游区,温泉景区属于低山景区,目前区内的管委会、股份公司办公地点及一些员工宿舍、招待所均已迁至黄山大门外,水资源系统危机尚未显露。而其他景区均属于高山景区,黄山风景区水资源系统安全的关键在高山,由于游客流动的空间性、空间水资源的相关数据(如降雨量、径流量、生态环境用水等)难以分割和获取,故缺乏对黄山高山景区水资源系统的分区空间评价。黄山高山景区水资源系统分区空间评价可以为高山景区的旅游设施配置、空间扩容、游客导向、水安全重点应对提供很好的参考作用。

(2)旅游地用水水平的评价。区域用水水平评价可以反映区域水资源利用的程度,运用集对分析可以对旅游地用水水平进行评价,通过旅游地水资源利用主体、用水效率、用水效益、定额指标等,建立评价标准区间,将区域用水指标集合和评价标准集合构成一个集对,通过指标间同异反联系度计算与比较,判断旅游地用水水平高低。由于黄山风景区无生活生产常住居民,社会经济活动开展均围绕旅游和生态保护而展开,经济活动单一,水资源使用也较为单一,加上区域空间数据分割较为困难,因此黄山风景区用水水平评价有待于进一步探讨。

(3)旅游地水资源系统安全评价指标体系的选取。由于黄山风景区独特的地形及经济活动的单一性,水资源系统安全指标具有一定的独特性,如地下水、产业用水水平、防洪减灾等指标均不具有相关性,可选取的指标比较有限。旅游地水资源安全研究涵盖了水、生态、社会经济等多学科基础问题和可持续发展问题,今后,针对各类型旅游地的共性,可进一步从水资源系统、旅游发展系统、社会经济系统、生态环境系统等方面建立范式旅游地水资源系统安全评价指标体系,从交叉学科研究视角,对旅游地水资源系统安全及影响因子进行评价。



致谢:感谢南京大学地理科学与海洋学院章锦河教授、黄山旅游股份公司西海饭店许飞副经理在资料获取方面提供的大力帮助!

## 参考文献(References)

- [1] 王浩, 严登华, 贾仰文, 等. 现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题. 水科学进展, 2010, 21(7): 479-489. [Wang Hao, Yan Denghua, Jia Yangwen, et al. Subject system of hydrology and water resources and research frontiers and issues. *Advances in Water Science*, 2010, 21(7): 479-489.]
- [2] 夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269. [Xia Jun, Zhu Yizhong. The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 262-269.]
- [3] 陈绍金. 水安全系统评价、预警与调控研究. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 52-65. [Chen Shaojin. *Evaluation, Forecasting and Regulation Research in the Water Security System*. Beijing: China WaterPower Press, 2006: 52-65.]
- [4] Global Water Partnership (GWP). *Towards Water Security: A Framework for Action*. Stockholm: GWP, 2000: 32-43.
- [5] David G, Claudia W S. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 2007, (9): 545-571.
- [6] 贾绍凤, 王国, 夏军, 等. 社会经济系统水循环研究进展. 地理学报, 2003, 58(2): 255-261. [Jia Shaofeng, Wang Guo, Xia Jun, et al. Research progress in socio-economic water cycle. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 255-261.]
- [7] 张翔, 夏军, 贾绍凤. 水安全定义及其评价指数的应用. 资源科学, 2005, 27(3): 145-149. [Zhang Xiang, Xia Jun, Jia Shaofeng. Definition of water security and its assessment using Water Poverty Index. *Resources Science*, 2005, 27(3): 145-149.]
- [8] Gössling S, Peeters P, Michael C, et al. Tourism and water use: Supply, demand and security: An international review. *Tourism Management*, 2012, 33(1): 1-15.
- [9] Adrian C, Winston M. A market-based proposal for encouraging water use efficiency in a tourism-based economy. *International Journal of Hospitality Management*, 2012, 31(1): 286-294.
- [10] Angela H, Thomas S. Urban and tourist land use patterns and water consumption: Evidence from Mallorca, Balearic Islands. *Land Use Policy*, 2011, 28(4): 792-804.
- [11] 贾绍凤, 何希吾, 夏军. 中国水资源安全问题及对策. 中国科学院院刊, 2004, 27(5): 81-87. [Jia Shaofeng, He Xiwu, Xia Jun. Problem and countermeasures of water resource security of China. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2004, 27(5): 81-87.]
- [12] 孙才志, 张蕾, 闫冬. 我国水资源安全影响因素与发展态势研究. 水利经济, 2008, 26(1): 1-4. [Sun Caizhi, Zhang Lei, Yan Dong. Affecting factors of water resources security and its evolving tendency. *Journal of Economics of Water Resources*, 2008, 26(1): 1-4.]
- [13] Green H, Hunter C. The environmental impact assessment of tourism development. In: Johnson P, Thomas B. *Perspectives on Tourism Policy*. London: Mansell, 1992: 5-10.
- [14] Sullivan C. Calculating a water poverty index. *World Development*, 2002, 30(7): 1195-1210.
- [15] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267-272. [Han Yuping, Ruan Benqing. Research on evaluation index system of water safety. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, 23(2): 267-272.]
- [16] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270. [Liu Heng, Geng Leihua, Chen Xiaoyan. Indicators for evaluating sustainable utilization water resources. *Advances in Water Science*, 2003, 14(3): 265-270.]
- [17] Simonovic S P. *Managing Water Resources: Methods and tools for a Systems Approach*. London: Earthscan, 2008: 65-72.
- [18] Charnay B. A system method for the assessment of Integrated Water Resources Management (IWRM) in mountain watershed areas: The case of the "Giffre" Watershed (France). *Environmental Management*, 2011, 48(1): 189-197.
- [19] 畅明琦, 刘俊萍, 黄强. 水资源安全 Vague 集多目标评价及预警. 水力发电学报, 2008, 27(3): 81-87. [Chang Mingqi, Liu Junping, Huang Qiang. Multio bjective assessment and early warning of water resources security based on Vague set. *Journal Hydroelectric Engineering*, 2008, 27(3): 81-87.]
- [20] 韩宇平, 阮本清, 解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用. 资源科学, 2004, 26(4): 39-42. [Han Yuping, Ruan Benqing, Xie Jiancang. Multi-objective and multilevel fuzzy optimization model and its application in water security evaluation. *Resource Science*, 2004, 26(4): 39-42.]
- [21] Viviroli D, Archer D R, Buytaert W, et al. Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15(2): 471-504.



- [22] Kapp J, Fijen A, Van Z F. Towards a water management strategy for an environmentally sensitive and popular tourist region. *Water Science and Technology*, 1995, 32(5): 245-254.
- [23] 畅明琦, 刘俊萍. 水资源系统的弹塑性及其安全机理分析. *中国安全科学学报*, 2008, 18(4): 28-36. [Chang Mingqi, Liu Junping. Elastoplasticity of water resources system and safety mechanism. *China Safety Science Journal*, 2008, 18(4): 28-36.]
- [24] 阮本清, 魏传江. 首都圈水资源安全保障体系建设. 北京: 科学出版社, 2004: 35-40. [Ruan Benqing, Wei Chuanjiang. Capital Construction of Water Resources Security Safeguard System. Beijing: Science Press, 2004: 35-40.]
- [25] 畅明琦. 水资源安全理论与方法研究. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 32-45. [Chang Mingqi. The Theory and Method of Water Resources Security. Beijing: China WaterPower Press, 2006: 32-45.]
- [26] 赵克勤. 集对分析及其初步应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 8-21. [Zhao Keqin. Set Pair Analysis and its Preliminary Application. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000: 8-21.]
- [27] 刘招, 黄强, 燕爱玲, 等. 粗糙集理论在水科学中的应用. *应用科学学报*, 2007, 25(6): 645-650. [Liu Zhao, Huang Qiang, Yan Ailing, et al. Application of rough sets in water science. *Journal of Applied Sciences*, 2007, 25(6): 645-650.]
- [28] 王文圣, 金菊良, 丁晶, 等. 水资源系统评价新方法: 集对评价法. *中国科学: E辑*, 2009, 39(9): 1529-1534. [Wang Wen-shen, Jin Juliang, Ding Jin, et al. A new approach to water resources system assessment: Set pair analysis method. *Science in China: Series E*, 2009, 39(9): 1529-1534.]
- [29] 万星, 王文圣, 丁晶. 集对分析在水文水资源中的应用. *水利水电科技进展*, 2006, 26(4): 9-11. [Wan Xing, Wang Wen-sheng, Ding Jing. Set pair analysis and its application to hydrology and water resources. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2006, 26(4): 9-11.]
- [30] 金菊良, 吴开亚, 魏一鸣. 基于联系数的流域水安全评价模型. *水利学报*, 2008, 39(4): 401-409. [Jin Juliang, Wu Kai-ya, Wei Yiming. Connection number based assessment model for watershed water security. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(4): 401-409.]
- [31] 苏美蓉, 杨志峰, 王宏瑞, 等. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用. *环境科学学报*, 2006, 26(12): 2072-2080. [Su Meirong, Yang Zhifeng, Wang Hongrui, et al. A kind of method and its application for urban ecosystem health assessment. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(12): 2072-2080.]
- [32] 苏飞, 张平宇. 基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价. *地理学报*, 2010, 65(4): 454-464. [Su Fei, Zhang Ping-yu. Vulnerability assessment of petroleum city's economic system based on set pair analysis: A case study of Daqing city. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 454-464.]
- [33] 王文圣. 水文水资源集对分析. 北京: 科学出版社, 2010: 21-33. [Wang Wen-sheng. Set Pair Analysis of Water Resources and Hydrology. Beijing: Science Press, 2010: 21-33.]
- [34] 王明全, 王金达, 刘景双. 基于集对分析和主成分分析的吉林西部生态承载力演变研究. *中国生态农业学报*, 2009, 17(4): 795-799. [Wang Mingquan, Wang Jinda, Liu Jingshuang. Evolution of ecological carrying capacity of western Jilin province via set pair analysis and principal component analysis. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(4): 795-799.]
- [35] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析. *地理学报*, 2009, 64(4): 387-398. [Chen Ming-ing, Lu Dadao, Zhang Hua. Comprehensive evaluation and driving factors of china's urbanization. *Acta Geographica*, 2009, 64(4): 387-398.]
- [36] 苏飞, 张平宇, 李鹤. 中国煤矿城市经济系统脆弱性评价. *地理研究*, 2008, 27(4): 907-916. [Su Fei, Zhang Pingyu, Li He. Vulnerability assessment of coal-mining cities' economic systems in China. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 907-916.]
- [37] 王群, 章锦河, 杨兴柱. 黄山风景区水供需系统安全及动态调控研究. *自然资源学报*, 2007, 22(6): 896-906. [Wang Qun, Zhang Jinhe, Yang Xingzhu. Study on tourism water supply and demand system and dynamic control in Huangshan Mountain. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(6): 896-906.]
- [38] 王群, 章锦河, 杨兴柱. 黄山风景区水生态承载力研究. *地理研究*, 2009, 28(4): 1105-1114. [Wang Qun, Zhang Jinhe, Yang Xingzhu. Analysis of water ecology capacity in Huangshan Resort. *Geographical Research*, 2009, 28(4): 1105-1114.]
- [39] 郭安军, 屠梅曾. 水资源安全预警机制探讨. *生产力研究*, 2002, 1(37): 37-38. [Guo Anjun, Tu Meizeng. Discussion on water resources security early warning mechanism. *Productivity Research*, 2002, 1(37): 37-38.]

## Security assessment of water resources system for mountain resorts based on set pair analysis: A case study of Huangshan

WANG Qun, LU Lin, YANG Xingzhu

( Research Center of Tourism Planning and Development, College of Territorial Resources and Tourism,  
Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China)

**Abstract:** The security assessment of water resources system is the key basis for water resources management and regulation. By choosing the disturbance and response capabilities as the evaluation factors, this study built the water resource security evaluation index system. First, the main evaluating indicators are determined, including the water resources, tourism development, social economic, environment aspects. Then, using the water resources and tourism development datasets over the period of 1998-2012, this paper presented an empirical analysis of water resource security evaluation in Huangshan resort, combined with the method of set pair analysis. Results show that: (1) The interannual variation of the security index presents an increasing tendency, rising from 0.4158 in 1998 to 0.5826 in 2012 at its medium level. From the point of view of evaluation factors, a disturbance index showed a slowly upward trend and response capacity increased rapidly. These changes of the disturbance and response capabilities are the underlying cause of water resources security improvement in Huangshan resort. (2) The monthly variation of the security index has the pattern of “double peaks and two valleys” at its medium level. But there are monthly difference, especially October has extreme insecurity. The monthly variation of water resources system is mainly affected by disturbance factors. Thus, monthly water supply and sewage treatment capacity are not sufficient enough to improve the security of the water resource system. (3) The interannual variation of the security index with disturbance and response capabilities exists a strong positive correlation. However, the monthly variation of the security index with disturbance and response capabilities exists a negative correlation. The interannual variation of the security index with response capabilities shows high consistency, but response capabilities can not change the monthly variation of the security index. (4) The potential of water resources, tourism development, water use efficiency and pollutant capacity constitute the disturbance factor for system security; income and investment, technology and moral measures form response capabilities. Environmental background conditions, eco-water usage and tourism water usage are key factors affecting security of water resources system. Rainfall and tourism water usage triggering a series of socio-economic and environmental changes are important factors. However, same-day visitors growth, larger load streams and the reservoir water quality do not constitute important disturbance factors. Scenic ecological protection, capital investment and tourism revenues play a crucial role in improving the response capacity of water system security. On the one hand, the paper provides a new study viewpoint of the tourism water resources security research. On the other hand, it also provides a scientific basis for the water resource sustainable development of mountain tourism destination.

**Key words:** water resources system; security assessment; set pair analysis; mountain resorts; Huangshan