

黄山风景区水生态承载力分析

王 群, 章锦河, 杨兴柱

(安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 文章以 BOD_5 为纳污水体的水质影响因子, 计算出黄山风景区 4 条主要纳污水体逍遥溪、丞相源、莲花沟和丹霞溪的丰、平、枯水期的日平均纳污量和年纳污量, 得出其水生态承载力总体上较弱, 且存在时间与空间分布不均的特征。据此, 从浓度控制与总量控制相结合的角度, 建立了“水量—水质—水生态系统”阈值模型, 提出通过降低用水标准、提高出水指标、进行中水回用、采用节水设备, 以缓解黄山风景区水生态承载压力。

关键词: 水生态承载力; 旅游; 黄山风景区

文章编号: 1000-0585(2009)04-1105-10

1 问题的提出

20 世纪 60 年代, 伴随着旅游环境问题的出现, 旅游对水体的污染开始受到国外学者广泛关注。Hunter 等、Lal、Henry、Becheri、Andronikou、Owens、Watanabe、Smith 等诸多国外学者分别对地中海滨、斐济、牙买加、亚得里亚海、地中海东部塞浦路斯、英国诺福克、日本本州岛和法国的比利牛斯山脉的山涧溪流进行了研究^[1~8], 指出水污染是大众旅游业最主要的不利影响, 污水排放加速了水体富营养化, 损坏了旅游景观吸引力。Green、Grenon、Harris、Miline 等分别指出汽油和柴油的溢出以及固体废弃物排放对水体产生了严重污染^[9~12]。Derper 阐释了旅游活动对加拿大班夫国家公园的影响, 重点辨析了水供应和污水处理等问题^[13]。Crowther 等分析了菲尔德海岸 (Fylde Coast) 8 个海滨游憩浴场的水质问题以及影响因素^[14]。Stephen 等分析了旅游业发展导致水资源短缺和水质恶化^[15]。水体污染反过来又制约了旅游业发展, 影响居民和旅游者健康^[16~18]。另外, 自然环境中水资源的减少也降低了风景名胜区的价值, 缩短了旅游地生命周期^[19]。国内, 全华等建立武陵源风景区的水环境因子阈值模型^[20]; 王群等对国内外旅游地的水环境影响研究进行了综述^[21]。此外, 众多学者在旅游环境研究中也对旅游所引起的水环境负面影响进行了大量的研究, 包括水质污染、水生物受害、人体健康受损、供水供电紧张、水土流失等^[22~27]。

综观国内外研究进展, 学者们多关注旅游对水体污染的影响, 学者提出的措施也大多注重污染物排放浓度的控制。2001~2020 年是我国实施国民经济可持续发展战略、遏制生态环境继续恶化和控制环境污染的关键时期, 污染物排放已从单纯的浓度控制转向浓度控制和总量控制相结合时代。实践中, 我国推行的一系列政策与法规也明确了污染物总量控制的重要性。但在理论界尤其在旅游学界, 学者们对水生态承载力的研究仍停留在浓度

收稿日期: 2008-09-06; 修订日期: 2009-02-26

基金项目: 安徽省高校青年教师科研资助计划项目(2006jql053); 安徽省高等学校自然科学基金项目(2005KJ017)

作者简介: 王群 (1979-), 女, 安徽合肥人, 讲师。主要从事旅游环境研究。E-mail: junyang110771@163.com

控制阶段，旅游地环境管理仍未实现浓度控制向浓度控制和总量控制相结合的转变。

黄山风景区是我国山岳旅游资源的重要载体之一，由于其独特的地形地貌，水生态承载力尤显脆弱。黄山风景区近期、中期、远期对各排污单位废水排放浓度标准都作了严格要求，各单位废水排放都通过集中或分散处理后达标排放，但对废水排放总量、污染物排放量的削减尚未作要求。据王群等实地调查与预测^[28]，黄山风景区目前每年需水约 $107.03 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，2010 年与 2020 年将达到 $215.55 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $325.96 \times 10^4 \text{ m}^3$ ；目前丰水年供水约 $105.27 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，枯水年供水约 $99.78 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。未来随着供水设施的完善，供水量可以大大增加，达到需水要求。供水量增加将导致排污量的增加，而目前黄山风景区仅有 4 条主要纳污水体，分别为逍遥溪、丞相源、丹霞溪和莲花沟（图 1），这些水体各不相通，纳污力相对有限，废水排放量的增加必然给水生态造成巨大的压力。本文以黄山风景区为案例地，分析其水生态承载力，从浓度控制与总量控制相结合的角度，建立“水量—水质—水生态系统”的阈值模型，由此提出相关水生态承载力调控措施，旨在推动黄山旅游地水量—水质相平衡的协调发展。

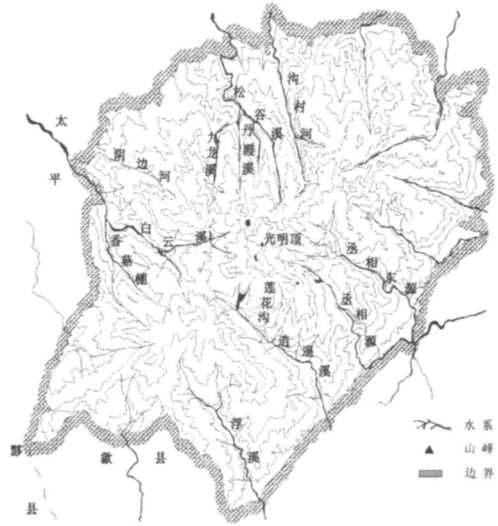


图 1 黄山风景区主要水系
Fig 1 The water system in Huangshan

2 研究方法 with 数据获取

2.1 确定水生态承载力影响因子

一般地，污水源不同，其主要生态承载力影响因子也不尽相同。黄山风景区内污水主要为生活污水和洗涤污水，其中生活污水主要由游客和工作人员的餐饮与住宿排水、公厕排水等产生。根据生活污水的特点和地表水监测情况，这类污水中 BOD_5 或 COD_{Cr} 与污水总成分的比值往往接近甚至大于 0.5，是污水中的主要组成成分，因此确定黄山风景区地面水生态承载力的关键影响因子为 BOD_5 (BOD_5 和 COD_{Cr} 具有相同的生化性质)。

2.2 建立水生态承载力模型

溪流污染物的容许排放量为河流对污染物的稀释容量和自净容量之和。自净容量是指水体的自净能力，其自净系数一般取实验数据或经验数据，需确定污染源和排放地点方能计算^[29]。黄山风景区属于小型山川溪流，水系较小，水体自净能力弱，本文暂不考虑其自净能力。同时，考虑其流速快的特点，从保守角度不计降解，选取完全混合稀释模型，其日入溪废水稀释容量解析式为：

$$Q_p = \frac{Qh(C - C_h)}{C_p - C} \times 3600 \times 24$$

式中， Q_p ：溪流废水纳污量 (m^3/d)， Qh ：溪水流量 (m^3/s)， C_h ：溪流中某污染物现状监测浓度 (mg/l)， C_p ：废水中某污染物浓度 (mg/l)， C ：溪流中水环境控制目

标浓度 (水质标准, mg/l)。

2.3 确定承载参数值

2.3.1 溪水流量 (QH) 的确定 采用小流域水量平衡法估算河溪流量。对于一个闭合小流域, 其通用水量平衡方程为:

式中, QH: 河流年总流量 (mm), P: 流域年均降雨量 (mm), E: 流域年均蒸发量 (mm), ΔW: 流域平均总蓄水量变化量 (mm)。

流域蓄水量 (ΔW) 表示年终与年初流域内蓄水量变化, 其值可正可负, 取决于自然条件中的降水状况, 多水年份 ΔW 为正值, 少水年份 ΔW 为负值, 对于多年平均情况则有:

水量平衡方程可简化为: $QH = P - E$

因此, 根据黄山风景区多年平均降水量及蒸发量^①, 确定 5~ 8 月份为丰水期, 共 123 天, 径流总量为 854.9 mm; 3、4、9 月份为平水期, 91 天, 径流总量为 420.7 mm; 1、2、10、11、12 月份为枯水期, 151 天, 径流总量为 68.6 mm。

根据公式:

表 1 各河流多年平均流量 (m³/s)

$$Qh = \frac{QH \times S}{D} \div 24 \div 3600$$

式中, Qh: 平均流量 (m³/s), QH: 流域总流量 (mm), S: 流域面积 (km²), D: 丰平枯水期天数 (d)。

Tab 1 Average runoff of rivers for many years				
项 目	逍遙溪	丞相源	丹霞溪	莲花沟
流域面积 (km²)	18	6	9	4
丰 水 期	1.448	0.483	0.724	0.322
平 水 期	0.963	0.321	0.482	0.214
枯 水 期	0.095	0.032	0.047	0.021

根据上述公式及参数, 计算出黄山风景区 4 条主要纳污水体在丰、平、枯期的多年平均流量 (表 1)。

2.3.2 其他参数的确定 根据《黄山风景区旅游发展总体规划(2005 年修编)》, 各溪流不仅是重要的景观要素, 而且下游是主要的生活用水区, 应符合地面水二类标准。《地表水环境质量标准 (GB3838-2002)》规定地面水二类标准中 BOD₅ 最高允许浓度(C) 为 3mg/l。

黄山风景区污染源较为分散, 山势险峻, 高差很大, 采取分散处理和集中处理相结合。同时考虑风景区旅游淡旺季分明, 排水量不均, 浓度差别较大等特点, 联片处理 (污水量较大的) 采用以氧化沟为主的延时曝气处理工艺, 分散处理 (污水量较小的) 采用生物接触氧化法工艺 (ICEAS 工艺), 处理后废水中 BOD₅ 浓度(C_p) 为 22.0mg/l。

C_h 为溪流中 BOD₅ 现状监测浓度, 枯、平、丰不同时期的 BOD₅ 监测数据来源于安徽省环境保护科学研究所和黄山风景区环境保护监测站。

3 水生态承载力分析

3.1 纳污水体废水量承载力

由于流域面积、流量、流速不同, 4 条溪流水体自净能力和纳污承载力也不相同。据上述公式和参数值, 得出各纳污水体日最大废水承载量和年最大废水承载量 (表 2)。

①资料来源于《黄山风景区生态环境改善工程环境影响报告书 (简写本)》(安徽省科技咨询中心, 2001 年) 和黄山天气在线 (<http://www.hstqzx.gov.cn>) 2000~ 2006 年的各月降雨量。

表 2 各河流日废水容纳量和年废水容纳量 (单位: m³)

Tab 2 Daily and yearly capacity of waste water from each river (unit: m³)

水期	逍遥溪		丞相源		丹霞溪		莲花沟		合计	
	日	年	日	年	日	年	日	年	日	年
丰水期	3951	485943	3073	377956	1975	242972	1171	143983	10170	1250854
平水期	3504	318846	1606	146138	1752	159423	973	88568	7835	712976
枯水期	430	64989	143	21663	215	32495	96	14442	885	133589

黄山风景区丰水期、平水期和枯水期平均每天可分别容纳 10170 m³、7835 m³、885 m³的废水量。以用水量的 80% 排污系数计算^①, 则丰、平、枯水期平均每天用水限额为 12713 m³、9794 m³、1106 m³, 年用水限额为 2621774 m³。如果不计供水漏损, 以用水量等同于供水量, 则年供水量为 2621774 m³。所排出的废水, 总体上溪流可以承受。否则, 将产生一定的水体污染, 破坏生态环境。

表 3 各水期各溪流污径比 (%)

Tab 3 Dilution ratio of rivers in different periods (%)

项 目	逍遥溪	丞相源	丹霞溪	莲花沟
丰水期	3 16	7. 36	3 16	4. 21
平水期	4 21	5. 79	4 21	5. 26
枯水期	5 24	5. 17	5 29	5. 29

污径比是污水排入量与河流径流量之比。从污径比角度来看, 各水期各溪流污径比控制范围如表 3, 水生态系统才能维持基本平衡。

3 2 山上各片区用水量

现有 4 条纳污水体中, 丹霞溪接纳北海、西海的生活污水, 丞相源接纳光明顶、天海、云谷寺的生活污水, 莲花沟接纳玉屏楼分区生活污水, 逍遥溪接纳温泉景区和黄山管委会及宿舍的生活污水。根据参考文献 [28], 得出黄山风景区各片区现状用水量和中远期用水量 (表 4)。

表 4 各片区用水量 (单位: × 10⁴ m³)

Tab 4 Quantity of water demand in subareas (unit: × 10⁴ m³)

承纳水体	排水片区	现状水平年	2010 年	2020 年
丹霞溪	北海	15 04	25 13	32 00
	西海	15 24	30 87	46 11
	光明顶	4 67	8 95	14 84
丞相源	天海	4 37	13 45	18 28
	云谷	4 96	10 17	16 05
莲花沟	玉屏	3 68	7 41	8 78
逍遥溪	温泉	59 07	99 23	154 36
	合计	107 03	215 55	325 96

注: 黄山风景区的松谷、钓桥景区开发处于起步阶段, 排水较少, 故不作分析。

3 3 水生态承载力特征分析

对比黄山风景区各水体的纳污量和近中远期的排污量 (图 2), 可见水生态承载力呈现出如下特征。

3 3 1 总体上水生态承载力弱 由表 2 和表 4 可知, 在所有污水达标排放(处理后废水 BOD₅浓度(C_p) 为 22 mg/l) 情况下, 黄山风景区各纳污水体年容纳废水总量为 2097419m³,

① 依据《黄山风景区污水处理工程可行性研究报告》, 安徽省城乡规划设计研究院, 1999 年 11 月。

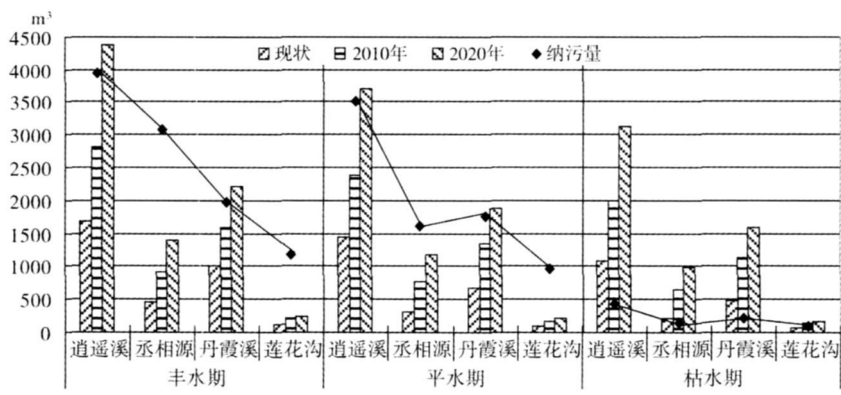


图 2 各年各区各溪流纳污量与排污量 (单位: m³)

Fig. 2 Wastewater received and drained capacity

加上排污系数和消防用水, 年限制用水量为 2621774m^3 , 可以承载 2010 年的废水排放。然而, 2020 年需水量将达 $325.96 \times 10^4\text{m}^3$, 污水排放量大大增加。如果随着游客量和旅游设施的不断增加, 无限制地增加供水, 将导致纳污水体容量的过饱和, 进而导致水体稀释和自净能力大大降低, 水生态承载力大大减弱, 水生态系统将遭到严重破坏。

3.3.2 空间分布不均 各河流水生态承载力差异较大。逍遙溪废水承载量最大, 约占黄山风景区年纳污总量的 41.5%; 其次为丞相源, 约占 26%; 丹霞溪约占 20.7%; 莲花沟纳污量最小, 约占 11.8%。由于各河流纳污量与其所承担的各景区需水量分布比例的不同, 从目前各景区需水情况来看, 各河流纳污量虽完全可以接纳所在区达标排放的废水, 但到 2010 年逍遙溪和丹霞溪水生态承载力将分别超载 14.08% 和 28.77%, 2020 年将超载 77.47% 和 79.6%, 而丞相源和莲花沟 2020 年尚空载 9.91% 和 64.45%。

3.3.3 时间分布不均 从年内纳污量看, 黄山风景区降雨的强季节性, 导致丰、枯水期各河流的日纳污能力差异悬殊。丰水期雨水多, 流速快, 纳污能力较强, 逍遙溪和丹霞溪丰水期日废水纳污量是枯水期的 9 倍之多, 莲花沟为 12 倍, 丞相源达 21 倍之多; 丰水期和平水期差异相对较小, 丞相源最高约为 2 倍, 其他仅为 1.1~1.2 倍。

从年际承载力看, 丰水期和平水期除 2020 年逍遙溪和丹霞溪水生态承载力超载以外, 现状水平年和 2010 年各溪流均能承载当年的排污量。枯水期, 除莲花沟现状年基本能接受排污量以外, 其他各年各流水生态承载力均严重超载, 丞相源超载近 9 倍, 逍遙溪超载近 8 倍。若遇连续无降雨季节, 蒸发量大于降雨量, 各溪流出现断流干涸现象, 污水的露天排放将会产生严重的生态破坏和视觉影响。

3.4 “水量—水质—水生态系统” 阈值模型

量变的积累会产生质变, 黄山风景区废水排放量的的高低直接影响着各纳污溪流的水质, 进而影响整个水生态系统和景观生态环境。纳污水体的废水来源主要为山上各宾馆和招待所的废水排放。尽管可以修建水库提水上山或区外引水, 但用水量增加随之带来污水量的相应增加, 而各溪流的稀释容量和自净能力是客观有限的, 且人为不可改变的。

因此根据前文分析, 以污水达标排放为前提, 以各水体水生态最大承载力为阈值, 以 BOD₅ 为水生态系统影响的控制性要素, 建立纳污水体的“水量—水质—水生态系统” 阈值模型。其公式可表达为: $k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n \leq W$

式中： $x_1 \dots x_n$ 为各用水主体单位数； $k_1 \dots k_n$ 为各用水主体的用水系数（用水标准）； W 为河流允许用水量（河流允许排污量除以 80% 的排污系数）。

黄山风景区高低山片区的用水主体可分为标准间、独卫间、公卫间、流动旅客及景区常住人口，各片区各主体用水标准不同。此外，各水期溪流的纳污量也不同。因此，以各用水标准为系数^[25]，分片区、分水期建立每日的“水量—水质—水生态系统”阈值模型。各片区、各用水主体每日的用水之和不得超过所处水期的日平均最大承载量。根据表 2 各水期各纳污水体的日平均纳污量，除以 80% 的排污系数，得出丰平枯水期，温泉片区的用水量分别不得超过 4938m³、4380m³、538m³，天海、光明顶、云谷片区分别不得超过 3841m³、2007m³、179m³，北海、西海片区分别不得超过 2469m³、2190m³、269m³、玉屏景区分别不得超过 1463m³、1217m³、120m³。

4 水生态承载力调控

根据以上生态承载力特征和各景区最大承载阈值分析，黄山风景区可采取如下措施进行调控，从而使图 2 中的超载现状得到逐步解决。

4.1 降低用水标准

减少供水量可相应地减少污水排放量，缓解水生态压力。各需水主体的用水标准对用水总量产生直接影响，降低用水标准既可缓解供水不足的现象，也可减轻水生态压力。若中远期高低山景区的用水标准均采用基本型^①，则需水量较之采用宽裕型和舒适型平均减少 21.93%，其中最低减少 15.49%，最高减少达 34.48%。相应地，废水排放量也随之减少，则丰水期和平水期各溪流接纳的废水均在纳污能力范围内，枯水期水生态承载力仍处于超饱和状态（图 3）。

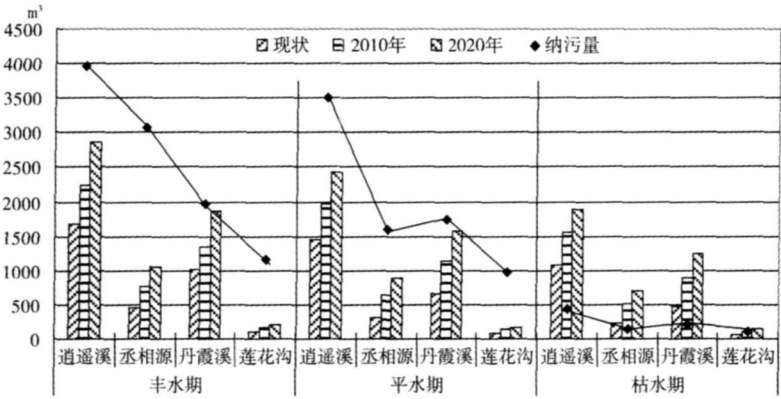


图 3 基本型用水标准各年各区各溪流纳污能力与排污量（单位：m³）

Fig. 3 Wastewater received and drained capacity of water demand by basic standard

4.2 提高出水指标

目前黄山风景区分散片污水处理采用的生物接触氧化法（ICEAS 工艺），出水水质较好，最高出水指标可达到 BOD₅ ≤15 mg/l。目前由于技术应用问题，实际上处理后废水中 BOD₅ 浓度仅达到 22 mg/l。若通过改善污水处理工艺，提高出水指标，将出水浓度由

①现状水平年高低山景区需水标准均以基本型计算，中期需水标准高低山景区将向宽裕型转化，远期高山景区需水标准保持不变，低山景区向舒适型发展。具体标准值及需水值见参考文献 [28]。

22mg/l 降低至 15mg/l, 则各溪流丰平枯水期日纳污总量分别达 16102 m³、12405 m³、1401 m³, 平均比原来提高 58%, 年纳污总量达 3320913 m³, 加上排污系数和消防用水, 年可供水达 390×10⁴ m³, 总体上完全可以承纳 2020 年的废水排放量。从各溪流各水期看, 加上采用基本型用水标准, 丰水期和平水期完全可承纳废水量, 且尚有较大的承载空间, 枯水期莲花沟也可以接纳 2020 年废水量 (图 4)。可见, 提高出水指标是扩大水生态承载力的重要途径。

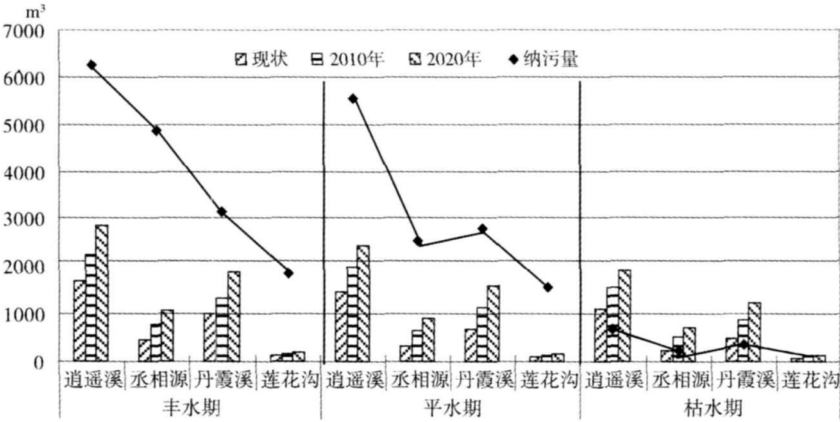


图 4 基本型用水标准和 BOD₅= 15mg/l 各溪流纳污能力与排污量 (单位: m³)

Fig 4 Wastewater received and drained capacity of water demand by basic standard and BOD₅= 15mg/l

4 3 中水回收利用

中水回收利用是采用中水处理工艺, 以沐浴、盥洗用水为原水, 将其处理后达到《生活杂用水水质标准》, 用于冲厕、绿化等。目前黄山风景区采用中水回收利用系统的仅有玉屏楼宾馆, 其中水水源收集及中水处理损耗率仅为 15% 和 10%, 可节约 30% 的用水量, 大大减少分片水库向玉屏楼景区的供水量。采用中水回用技术也是莲花沟水生态压力最小的重要原因之一。如果全山全部实行中水回用, 则全山供水可减少 1/3, 加上降低的用水标准和提高的出水指标, 丰枯水期水生态承载量远远大于废水排放量, 枯水期现状年各溪流基本全部能承纳废水。中远期逍遥溪和丹霞溪水生态压力也大大减轻 (图 5)。

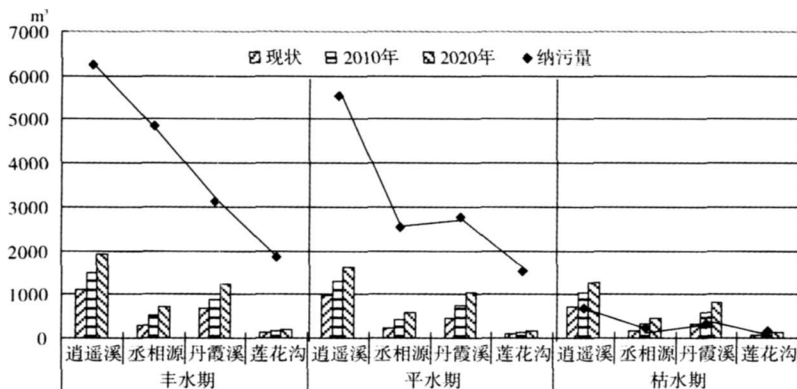


图 5 基本型用水标准、BOD₅= 15mg/l 和中水回用后各溪流纳污能力与排污量 (单位: m³)

Fig 5 Wastewater received and drained capacity of water demand by basic standard, BOD₅= 15mg/l and wastewater reuse

4 4 采用节水设备

一个关不紧的水龙头一个月可以流掉 1~ 6m³ 水; 一个漏水的马桶一个月要流掉 3~ 25m³ 水, 旧式马桶每次冲水需 13L, 普通马桶需 9L 或 6L, 而节水型马桶每次冲水只需 3L 或 4. 5L, 在保证冲洗效果的情况下, 比普通马桶节约 67% 的水量; 一个普通的红外线感应水龙头可节水 30%, 若采用先进的节水节能恒温水龙头节水可达 40%; 一个节水淋浴喷头或节水电子淋浴器节水可达 30~ 70%; 一个节水型浴缸要比普通浴缸节水 20% 左右。采用节水设备是目前黄山风景区减少用水量最直接有效的途径。部分宾馆已采用节水马桶、感应水龙头或安装限速流量器等, 取得了很好的效果。如果全山采用节水设备, 以 30% 节水效率计算, 则全山中远期各溪流各水期水生态压力基本解决 (图 6)。

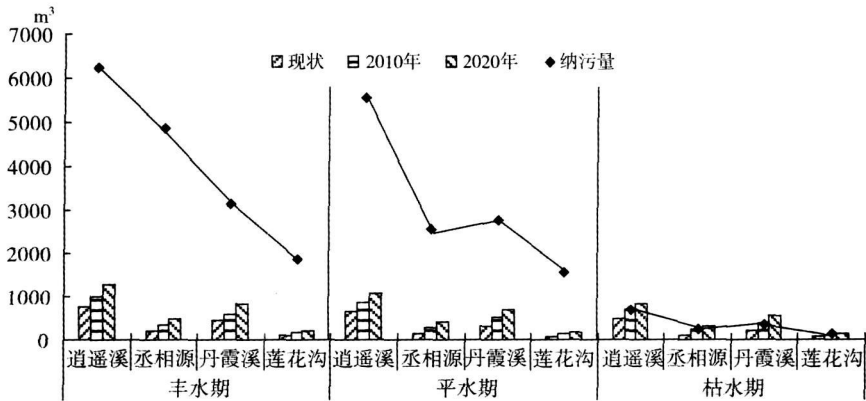


图 6 基本型用水标准、BOD₅ = 15mg/l, 中水回用和采用节水设备后纳污能力与排污量

Fig 6 Wastewater received and drained capacity of water demand by basic standard, BOD₅ = 15mg/l, wastewater reuse and efficient technology

5 结论与讨论

通过建立水生态承载力模型, 计算出黄山风景区 4 条主要纳污水体的废水允许排放量, 与各区出的需水量进行对比, 发现其承载力有以下特征: (1) 总体上, 在黄山风景区污水全部达标排放前提下, 4 条纳污水体总纳污承载量可以承载现状及 2010 年的废水排放, 但以后无法满足废水排放要求, 生态承载力呈现超饱和趋势。(2) 空间分布不均匀, 逍遙溪和丞相源纳污量较大, 丹霞溪和莲花沟纳污量较小, 但逍遙溪和丹霞溪所在景区需水量比例更大, 导致中远期水生态承载力过饱和。(3) 时间分布不均匀, 丰水期和平水期除远景规划年个别溪流超饱和外, 其他均能容纳预期废水排放量, 而枯水期除莲花沟目前仍能容纳外, 其他均严重超载。据此, 文章以保护水生态系统为目标, 建立“水量—水质—水生态系统”阈值模型, 确定各溪流废水承载阈值, 未来可根据各阈值调整供水量, 通过降低用水标准、提高出水指标、中水回收利用和采用节水设备来解决水生态压力问题。

以下问题有待进一步深入研究: (1) 限于水质监测资料的缺乏, 本文只考虑水体的平均稀释容量, 而未考虑排污地点及污染物衰减等水体自净的影响因素。(2) 枯水期承载力计算撇除了蒸发量大于降雨量月份, 从而扩大了水生态承载力, 在连续无降雨天数较多的情况下, 溪流干涸, 水生态承载力应为零。(3) 由于防火启用水库供水的机率较小, “水量—水质—水生态系统”阈值模型的建立没有考虑防火用水预警系统。目前, 黄山风景区

根据连续无降雨日数和水库水位将防火预警系统分级, 并确定各单位的供水时间和供水量, 必要时将启用水库供水进行防火。

参考文献:

- [1] Hunter C, Green H. *Tourism and the Environment: A Sustainable Relationship?* London and New York, 1995. 19 ~ 21, 23~ 25
- [2] Lal P N. Environmental implications of coastal development in Fiji *Ambio*, 1984, 13: 5~ 6
- [3] Henry B. The environmental impact of tourism in Jamaica *World Leisure and Recreation*, 1988, 29: 19~ 21
- [4] Becheri E. Rimini and Co: the end of a legend? Dealing with the algae effect. *Tourism Management*, 1991, 12(3): 229~ 235
- [5] Andronickou A. Cyprus: management of the tourist sector *Tourism Management*, 1987, 7(2): 127~ 129
- [6] Owens S, Owens P L. *Renewable Resource Management: The Norfolk Broads* Environment, Resources and Conservation. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [7] Watanabe Y. Report of the 54th Conference of the Japanese Society of Limnology: Present state of the lake environment in Shinshu *Japanese Journal of Limnology*, 1990, 51(1): 15~ 23
- [8] Smith C, Jenner P. Tourism and the environment *Travel and Tourism Analyst*, 1989, 5: 68~ 86
- [9] Green H, Hunter C. The environmental impact assessment of tourism development. In: Johnson P., Thomas B (eds.). *Perspectives on Tourism Policy*. London: Mansell, 1992
- [10] Grenon M, Batisse M. *Futures for the Mediterranean Basin: The Blue Plan* Oxford: Oxford University Press, 1989
- [11] Harris C M. Environmental effects of human activities on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica *Polar Record*, 1991, 27(162): 193~ 204
- [12] Milne S. The impact of tourism development in small Pacific Island States: An overview. *New Zealand Journal of Geography*, 1990, 89: 16~ 21.
- [13] Dianne D. Touristic development and water sustainability in Banff and Canmore, Alberta, Canada *Journal of Sustainable Tourism*, 1997, 5(3): 183~ 212
- [14] Crowther J, David K, Mark D W. Relationships between microbial water quality and environmental conditions in coastal recreational waters: The fylde coast, U K. *Water Research*, 2001, 35(17): 4029~ 4038
- [15] Stephen E, Martin K, Rewi Newnham. Tourism development in Mallorca: Is water supply a constraint? *Journal of Sustainable Tourism*, 2004, 12(1): 4~ 28
- [16] Tyler C. A phenomenal explosion *Geographical Magazine*, 1989, 61(8): 18~ 21
- [17] Kocasoy G. The relationship between coastal tourism, sea pollution and public health: A case study from Turkey. *Environmentalist*, 1989, 9(4): 245~ 251
- [18] Pawson IG, Stanford DD, Adams V A, *et al*. Growth of tourism in Nepal's Everest region: Impact on the physical environment and structure of human settlements *Mountain Research and Development*, 1984, 4(3): 237 ~ 246
- [19] Kent M R, Newnham S. Essex. Tourism and sustainable water supply in Mallorca: A geographical analysis *Applied Geography*, 2002, 22: 351~ 374
- [20] 全华, 陈田, 杨竹莘. 张家界水环境演变与旅游发展关系. *地理学报*, 2002, 57(5): 619~ 624
- [21] 王群, 章锦河, 丁祖荣. 国外旅游水环境影响研究进展. *地理科学进展*, 2005, 24(1): 127~ 136
- [22] 庄大春, 邓祥征, 战金艳. 武陵源风景区环境质量评估. *地理研究*, 2004, 23(2): 192~ 200
- [23] 沈军辉, 王兰生. 虹口自然生态旅游区开发中的环境地质问题. *山地学报*, 2000, 18(2): 166~ 170
- [24] 宋秀杰, 赵彤润, 郑希伟, 等. 松山自然保护区旅游开发的环境影响研究. *环境科学*, 1997, 18(3): 57~ 59
- [25] 黄震方. 发达地区旅游城市化现象与旅游资源环境保护问题探析——以长江三角洲都市连绵区为例. *人文地理*, 2001, 16(5): 53~ 57
- [26] 俞穆清, 朱颜明, 田卫, 等. 长白山国家级自然保护区旅游与环境可持续发展研究. *地理科学*, 1999, 19(2): 189~ 192

- [27] 杨春平, 曾光明, 汪洛, 等. 旅游度假区建设对旅游资源的影响评价及保护规划研究. 中国环境科学, 1996, 16 (6): 415~ 417.
- [28] 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
- [29] 刘玲. 旅游环境承载力研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2000 191~ 192.

Analysis of water ecology capacity in Huangshan Resort

WANG Qun, ZHANG Jin-he, YANG Xing-zhu

(College of National Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: In the 21st century, controls on contamination emission have transformed from the simple concentration control to the combination with concentration and total amount control. But tourism research on water ecological carrying capacity remains concentrated on the concentration control. Water is one of the most important environmental factors in Huangshan resort. Adding water supply can meet the need of an increasing number of visitors. However, concomitant wastewater put tremendous pressure on water ecological carrying capacity. Taking BOD₅ as an influencing factor of water quality, the paper calculates daily average and annual capacities in Xiaoyaoxi, Chengxiangyuan, Lianhuagou and Danxi-axi water bodies during high-flow period, normal water period and low-flow period. The conclusions are: (1) In general, under the premise of sewage discharge up to standard in the Huangshan resort, four major pollutant-holding water bodies can carry sewage discharge from now to 2010. However, after 2010, these four water bodies cannot satisfy sewage discharge the need of and the carrying capacity is saturated. (2) The spatial distribution is uneven in the water ecological carrying capacity. Xiaoyaoxi and Chengxiangyuan have relatively high waste load allocations than Lianhuagou and Danxi-axi. But the sites around Xiaoyaoxi and Danxi-axi have greater water demand, which lead to supersaturation of water ecological carrying capacity in the middle-long term. (3) The uneven temporal distribution is presented. Except individual stream, most of the water bodies can carry anticipative sewage discharge during high-flow and normal water periods in the long term. But during low-flow period, the water bodies except Lianhuagou are seriously overloading. Hereby, the paper builds the threshold model of "water quantity-water quality-water ecology system", and puts forward concrete measures to relieve the pressure on water ecological carrying capacity such as reducing water demand standard, advancing produced-water index, reusing wastewater, adopting efficient water-saving techniques and so on.

Key words: water ecological carrying capacity; tourism; Huangshan resort