

# 武陵源风景名胜区旅游生态环境演变趋势与 阈值分析

全 华<sup>1,2</sup>

(1. 东北财经大学旅游与酒店管理学院, 大连 116025; 2. 中国科学院地理科学与资源所, 北京 100101)

**摘要:**武陵源旅游业迅速发展的同时, 景区生态环境质量逐年下降引起联合国教科文组织世界遗产委员会的关注。武陵源风景名胜区核心景区较突出的生态环境问题, 主要表现在大气环境质量逐年降低; 金鞭溪水质明显恶化; 生物多样性受到威胁; 景区城镇化、工商业化速度加快等。通过实地监测并全面分析武陵源风景名胜区环境演变趋势, 发现住宿设施对环境的影响, 比其他游乐设施更为明显, 是武陵源风景名胜区旅游生态环境的关键影响因子。景区水质监测值的变化最大, 表明水体是景区生态环境中最为脆弱的环境因子。随着游客的逐年增多, 旅游生态环境呈现出加速恶化的趋势。通过建立基于环境脆弱因子的阈值模型, 计算得出在不超出武陵源风景名胜区景区最为脆弱的环境因子——景区水质标准: 总磷 $\leq 0.02$  (mg/L) 前提下, 景区上游接待区旅游生态阈值是春季宾馆可使用面积容限为  $29650\text{m}^2$ , 夏季为  $76425\text{m}^2$ , 秋季为  $13625\text{m}^2$ , 冬季为  $8325\text{m}^2$ 。不同类型的风景区, 生态环境脆弱因子不同, 宾馆建筑面积容限值也不同。沿着本文思路, 可计算出其他类型风景区阈值。

**关键词:**武陵源; 环境演变; 阈值模型

## A study on the threshold and the tendency in Zhangjiajie tourist and ecological environment

QUAN Hua (1. School of Tourism and Hotel Management, Dongbei University of Finance & Economics, Dalian 116025, China; 2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 938~945.

**Abstract:** Wulingyuan was a National Key Scenic Zone, It is also a National Geological Park, and a World Natural Heritage Site. With the development of Wulingyuan's tourist industry, the ecological environment quality of scenic zones began to deteriorate yearly. And this attracted the attention of the World Heritage Spot Committee of UNESCO. The main ecological environmental problems in Wulingyuan core scenic spots are: The atmospheric environment quality becomes worsens yearly. The water quality in Jinbian

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30200040); 国家重点科技项目(攻关)计划专题资助项目(96-920-37-01)

**收稿日期:**2002-01-02; **修订日期:**2002-11-20

**作者简介:** 全华(1965~), 男, 土家族, 湖南永顺人, 博士生, 副教授, 主要从事生态旅游、旅游规划等教学和研究。E-mail: quan-hua@163.com

**致谢:** 本文在写作过程中, 得到恩师毛汉英、陈田、方创琳、牛亚菲等的精心指导, 在武陵源风景名胜区实地调查过程中, 吉首大学的曹庸、湘潭师范学院的向言词, 张家界森林公园管理处尹立, 张家界市环境监测站的黄学锋、陈晓华、陈军山等给予了大力协助, 在此深表谢意。

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 30200040); National Key Science and Technology Item (tackle key problem) Plan Subject (No. 96-920-37-01)

**Received date:** 2002-01-02; **Accepted date:** 2002-11-20

**Biography:** 全华, 1965年生, 男, 土家族, 湖南永顺人, 博士生, 副教授, 主要从事生态旅游和旅游规划。E-mail: quan-hua@163.com

Stream has evidently been deteriorated. The variety of living things has been threatened. The process of the urbanization and commercialization as well as industrialization has been speeded up. Having done some field monitoring and overall analysis of the trend of environment in Wulingyuan, we found that the influence of accommodating facilities on the environment is greater than that of the other amusement facilities. So the major influential factor of Wulingyuan tourist ecological environment is the influence of accommodating facilities on environment. The great changes in the variation of the water quality monitoring value in scenic spots have taken place. That means the water body is the most fragile environmental factor in the ecological environment of the scenic spots. Due to the increasing number of tourists year after year, the deteriorative trend of ecological environment has appeared. As we know from the following analysis:

(1) The renovation of the scenic spots environment often fail to focus on the accommodating facilities even though they are not located within the scenic spot, yet still in the upstream area.

(2) The fragile ecological environment factor—the changeable curves of water body environment quality are similar with the increasing curves of the accommodated tourists. The former is left far behind the latter.

(3) The symptom of the water deterioration can be seen from the fact that blue algae, and green algae, the phosphate has surpassed the standard. They are the causes of the deterioration of the water quality in the scenic spots.

(4) The scope of accommodating facilities in the upstream area has surpassed its ecological threshold, and the excessive use of phosphate in detergents has led to the total phosphate's surpassing the standard.

(5) Because of the different number of residents and services, different seasons, areas, so different drainage processing methods should be used.

A threshold model for the most fragile environment factor is built into this paper. From the calculation we recommend that: On condition of no surpassing the set water standard in Wulingyuan—the most fragile environment factor, that is the total phosphate content  $\leq 0.02\text{mg/L}$ —the ecological threshold of the tourist environment in the upstream of scenic spots. The number of tourists be as follows: Spring 1186 persons can stay overnight in the upstream of scenic spots, Summer 3057, Autumn 545, Winter 333. Different types of scenic zones, the fragile ecological environment factors are different from each other. If we follow the same process as this paper recommends, we can calculate the threshold of other scenic zones in country.

**Key words:** Wulingyuan; environment process; threshold model

文章编号:1000-0933(2003)05-0938-08 中图分类号:P901,S759.9 文献标识码:A

国家重点风景名胜区武陵源坐落在张家界市武陵源区境内,位于湖南省西北部,110°22'30"~110°41'15"E,29°16'25"~29°24'25"N。张家界市下辖永定区、武陵源区、桑植县、慈利县。武陵源风景名胜区由张家界国家森林公园、天子山自然风景区、索溪峪自然保护区构成。自20世纪70年代末,“养在深闺人未识”的武陵源被发现以来,接待人数由1979年的1.3万人上升到2001年的529万人次,旅游收入达到26.8亿元。2002年5月1日~5月7日,武陵源风景名胜区共接待了43.23×10<sup>4</sup>人次,实现旅游收入2.73亿元。为了满足日益增多的游客住宿的需要,景区上游的锣鼓塔、景区内的天子山、水绕四门等地段,已发展成拥有多种服务设施的旅游城镇。宾馆增多的同时,环境质量也逐年下降,尤其是接纳其生活污水的金鞭溪水质指标已发生明显变化。世界遗产委员会对此提出尖锐批评以后,武陵源风景名胜区正在拆迁景区内污染环境的人文景观数据地段的建筑该拆,拆多少为宜,急需科学依据。

旅游生态环境阈值可理解为旅游区生态环境对负面影响容限值,指在某一时期、某种状态或某种条件

下,旅游区在保证其旅游生态系统结构和功能不受破坏所能承受旅游活动的最大容量值。旅游生态环境阈值具有综合性、反馈性、动态性、可控性、可测性。旅游生态环境系统具有一定的结构和稳定性,因而,旅游生态环境阈值具有可测性。旅游生态环境阈值随时空条件变化而变化,所以具有动态性。

旅游生态环境阈值与旅游环境容量、承载力相近似。旅游环境容量是指某一旅游环境所能容纳旅游者人数或污染物的最大负荷量。环境容量,是针对环境的运载能力和同化能力而提出的概念,而生态环境阈值,是针对生态系统结构和功能而提出的。

研究旅游环境容量、承载力的文献较多。E. P. Odum 把承载力分为最大承载力与最适承载力<sup>[1]</sup>。Daily and Ehrlich 把承载力分为生物物理承载力和社会承载力<sup>[2]</sup>。Daly 认为,估算承载力要考虑生活水准及利用资源的科技因素<sup>[3]</sup>。张俊彦用电脑模拟方式分析并预测了太鲁阁国家公园容纳量空间分布情形<sup>①</sup>。美国国家公园管理委员会(NPS)出版的《设施和项目设计的综合指导手册》提出了包括废水处理在内的可持续设计基本原则和方法<sup>[4]</sup>。骆培聪根据 COD<sub>Cr</sub> 浓度计算出九曲溪全年常住人口和住宿游客容量<sup>[5]</sup>。杨桂华、钟林生、明庆忠把生态旅游环境容量量测方法归结为经验量测法(包括自我体验法、调查统计法、航拍问卷法)和理论推测法(包括单项推测法、综合推测法)<sup>[6]</sup>。有关旅游容量的研究还可列举许多,但对人文设施建造规模的定量研究为数很少。本文提出了基于环境脆弱因子的动态阈值模型,并在武陵源风景名胜区内进行了实地验证,为目前武陵源风景区正在进行的人工设施大拆迁,提供理论支持。

## 1 旅游环境特征与问题诊断

### 1.1 旅游生态环境特征

武陵源风景名胜区总面积 364km<sup>2</sup>,整个风景区以世界罕见的石英砂岩峰林峡谷地貌为主体,境内怪峰林立,溶洞群布,古木参天,珍禽竞翔,山泉潺潺,云雾缭绕,集幽、野、神、奇、秀于一体。其旅游生态环境特征主要有:

(1) 峰柱林数量众多,分布密集 根据卫星遥感影像和航片判读结果,武陵源风景名胜区核心景区共有岩峰石柱 3100 多座,单体占地数十平方米、高度超过 200m 的有 1000 多座。峰柱密度约为 30 座/km<sup>2</sup>,密集处达 100 多座/km<sup>2</sup>。数量之众多,分布之密集,可以列入世界吉尼斯纪录。

(2) 石英砂岩地貌造型怪异,人为影响小 武陵源风景名胜区石英砂岩峰柱林地貌,既不同于黄山、华山、衡山、崂山、普陀山、九华山、天台山、千山等,浑圆敦实的花岗岩风景地貌;也不同于桂林、路南石林、石钟山、黄果树等,喀斯特齿状峰丛或间距较大的锥状孤峰;更不像雁荡山、天目山、长白山、宝石山等,灰黑扭曲的流纹岩地貌造型;还与武夷山、丹霞山、邵阳莨山等,赤壁丹崖(很少有石柱)的丹霞地貌不同;广西大瑶山,虽有类似之处,但其规模和集中程度比不上武陵源风景名胜区。英国苏格兰海岸由玄武岩构成的“神仙台阶”,像密挤成排的栅栏,不如武陵源风景名胜区石英砂岩峰柱林气势宏伟;委内瑞拉石英砂岩沟谷,虽谷深崖陡,但没有成片的峰柱林;美国的科罗拉多大峡谷,规模宏大(长 350km,深 1800m,峡谷顶部宽 8~25km),但谷顶光秃,几乎没有植被,不像金鞭溪那样动植物资源丰富。在旅游开发以前,390 km<sup>2</sup>的景区内,人烟稀少,基本保留着原始自然状态。

(3) 造型地貌规模大,类型多 武陵源风景名胜区核心景区,面积达 390 km<sup>2</sup>,比我国重点风景名胜区平均面积的两倍还多。这里石英砂岩峰柱林地貌的博大,还表现在造型组合上,奇峰中间巨大的山谷盆地,深不可测。武陵源风景名胜区石英砂岩峰柱林地貌发育完整,峰、柱、寨、堡、墙、桥、门、洞等地貌单元,一应俱全。尤其是地貌与植被的神奇结合,在其他地区尤为少见。

(4) 生态环境良好,物种丰富 武陵源风景名胜区地处武陵山脉东南走向的中支部分,属中亚热带季风湿润气候区。已用标本鉴别的植物资源有 1300 多种,木本植物有 93 科 517 种,比整个欧洲的树木种类还多出 1 倍以上。世界五大名科植物(菊科、兰科、豆科、蔷薇科、禾本科)、三大活化石植物(珙桐、银杏、水

① 张俊彦,《电脑模拟方式建立游憩区容纳量管理机制之研究——以太鲁阁国家公园为例》,休闲、游憩、观光研究成果研讨会论文集,台湾,1999,159~176。

杉)、中国五大特有科植物(珙桐、杜仲、钟萼木、银杏、香果树),这里均有分布。在张家界国家森林公园,森林覆盖率达 97%。经初步考察,森林公园共有鸟类 6 目、13 科、41 种;兽类 27 种,稀有珍贵的禽类有背水鸡、长尾雉和锦鸡,珍贵的兽类有麝、猕猴、岩羊、水獭、鼩鼠等。

## 1.2 旅游生态环境问题

1992 年联合国世界遗产高级顾问验收武陵源,认为 5540m 的金鞭溪,清澈的溪水,完好的植被,长地段不见人烟,这在亚洲是十分少见的。然而,仅仅 6 年后的 1998 年,世界遗产官员再次检查武陵源时,对自然遗产的保护工作提出了严肃批评:“武陵源的自然环境已变成一个被围困的孤岛,局限于深耕细作的农业和迅速发展的旅游业的范围内”;“在峡谷入口区和天子山这样的山顶上,其城市化对自然界正在产生深度尚不清楚的影响”;“将道路和旅馆糟糕地定位于河边,给河床狭窄的地段造成危险隐患”。武陵源风景名胜区较突出的生态环境问题主要表现在:大气环境质量逐年降低;水质明显恶化;生物多样性受到威胁;景区城镇化、工商业化速度加快等。

截至 2001 年 11 月大拆迁之前,武陵源风景名胜区及其周围住宿设施床位总数达到 31000 多张,其中,星级宾馆 26 家,床位 5817 张。住宿设施主要分布在永定区和武陵源区,核心景区内及其上游地带,有 79 家宾馆、饭店、招待所,床位数已达到 7585 个,此外还有 612 家商场、店铺,52 家管理服务机构,325 家宿舍民居。多年来,这些设施以煤为主要燃料,每年有近 600t SO<sub>2</sub>,70 余 t 粉尘直接排入景区大气。张家界市环保局监测数据,显示了大气污染指数从 1991 年起,连年超过国家大气环境质量一级标准(见表 1)。

表 1 1984~1997 年武陵源风景名胜区环境空气质量监测指标(mg/L)

Table 1 The monitoring number value of the air pollution in Wulingyuan scenic spot from 1984~1997

监测点 Measure spot 指标 Index	住宿设施集中的锣鼓塔 Luoguta where hotels concentrated in			游览活动集中的黄石寨 Huangshizhai where tourism concentrated in		
	NOx	SO <sub>2</sub>	TSP	NOx	SO <sub>2</sub>	TSP
评价标准 Appraise standard	0.05	0.12	0.05	0.05	0.12	0.05
1984	0.029	0.252	0.004	0.000	—	0.000
1988	0.017	0.055	0.010	0.007	0.030	0.006
1991	0.093	0.196	0.044	0.003	0.036	0.017
1994	0.141	0.202	0.004	0.002	0.036	0.036
1995	0.344	0.203	0.020	0.021	0.066	0.003
1996	0.171	0.066	0.012	0.026	0.049	0.005
1997	0.202	0.201	0.015	0.023	0.145	0.004

据统计,2000 年经张家界锣鼓塔进入景区的旅游人次已达 168 万,按 100 万人次计算排污理论值,每天排放五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>) 94.5 kg,高锰酸盐指数 63kg,按地面水一级标准衡量,BOD<sub>5</sub> 的等标负荷为  $9.45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,而此段金鞭溪丰水期每昼夜水流量为  $3.4 \times 10^4 \sim 8.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,最小流量为  $0.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ <sup>①</sup>,污水处理设施仅个别单位安装有埋地式无动力生活污水处理装置,金鞭溪水质已明显恶化。原来清澈见底的河床已有一层附着物,呈现出明显的有机污染。

在同样的旅游负载下,对比历年金鞭溪水质变化和其他风景因子变异情况,可明显发现,金鞭溪游览线地质、地貌风光依旧,除了游览线附近,因沿溪改变了地下水、土壤元素迁徙路径,旅游旺季游客践踏石板游道两侧草木,致使道边土壤板结,8 棵乔木枯死外,动植物风景因子也无明显变异。但是,不用借助任何仪器,仅凭感官,就能明显感受到金鞭溪水质在急剧恶化。1991 年在举行张家界国际森林保护节期间,整条金鞭溪水,清澈见底,游鱼可数,犹如天然矿泉水。1992 年全国武陵源风光摄影大奖赛的获奖录像带中,许多画面形象生动地记录下了金鞭溪优质水体状况,可惜这已变成了珍贵的历史镜头。20 世纪 90 年代中期,

## 万方数据

① 张家界市环境监测站,张家界环境质量报告书,2000

随着旅游业的发展,旅游人次数的上升,武陵源风景名胜区旅游设施迅速增多,此时的金鞭溪水,已无人敢喝,但还可见到游人戏水涉足其间,顿足玩赏。到了 2001 年 8 月,国家重点科技攻关项目《重点旅游景区生态环境评估方法与技术研究》考察组,看到的金鞭溪,已成了锣鼓塔旅游接待区的排污水沟,公园大门旁边的简易污水处理设施氧化塘已干枯,塘底遗留下一层残渣污泥。金鞭溪游览线的起始点——老磨湾一带的溪水已发黑发臭,河床卵石上,长满了黑色的水生植物,溪水流至紫草潭,经过大约 3km 的自然净化,水质有所好转。金边溪游览线的终点——水绕四门,溪水已自然变清。但是水绕四门又是一处拥有 11 家宾馆、35 个旅游纪念品销售摊位、19 家餐馆的旅游接待设施集中的地域,流经这些设施的龙尾溪,在汇入金鞭溪时,已如墨汁一般,与已经自然变清的金鞭溪水,形成“泾渭分明”的两股水域。龙尾溪的污染程度,比老磨湾一带的金鞭溪,严重得多。

截至 2001 年 8 月竣工的袁家界崖沿标准石板游道,景区内共有标准石板游道 17 条,总长 43.2km;车行游道总长 69.8km。纵横交错的景区游道,造成生境片段化。为了繁衍后代和抵御侵害,动物种群须达到一定的大小,而且每一种群,都有一个最小生存面积(MVA)。在能量金字塔中,处于高营养级的肉食动物, MVA 较大。Belovsky 研究表明,体重大于 50kg 的兽类,生存较长时间(105a),则 106km<sup>2</sup> 生存面积是必须的。由于游道的分割,50kg 左右的豹、云豹已在武陵源风景名胜区绝迹。对植物群落而言,其生境的地质、气候和土壤条件,决定了其最小群落面积。植物群落实际面积小于其最小群落面积时,则面临着灭绝危险。据专家估算,武陵源风景名胜区的植物群落最小面积在 1000m<sup>2</sup> 左右,因此游道等游览设施对植物群落没有明显的直接影响。但游道等游览设施,破碎了自然生态景观的完整性,减少了动物迁移的频率,种子传播受到影响,最终影响到景区植物物种的多样性。

景区城镇化、工商业是武陵源风景名胜区旅游生态环境的又一突出问题。锣鼓塔、水绕四门、十里画廊出口、绿山庄、天子山等地,已由清幽山谷(顶),变成了繁华闹市,卡拉 OK 厅、网吧电游室、烟草专卖楼、金银珠宝店、自由菜市场、等等应有尽有。袁家界、黄石寨、张家界山庄等处,人工建筑也正在扩张。1997 年建成的黄石寨索道站房,占地多达 26×666.7 m<sup>2</sup>,除操作间之外,还建有大量的员工餐宿设施和一个篮球场。金鞭溪上游锣鼓塔接待区,是金鞭溪水质的主要污染源,但却没有列入拆迁范围。

## 2 旅游生态环境变化过程与趋势

武陵源风景名胜区在 1982 年以前是一个鲜为外人知的深山老林。1984 年,大庸县环保局组织进行的背景值调查时,绝大部分地区仍保持着原始风貌。锣鼓塔、黄石寨、水绕四门等处的大气环境质量优于国家一级标准。大气中二氧化硫含量仅为:锣鼓塔 0.02mg/L,黄石寨 0.01mg/L。琵琶湾、金鞭溪、谢家峪、水绕四门等地的水质优良,达到国家一级(I类)标准。

从图 1 可知,在大气污染程度方面,住宿设施集中的锣鼓塔,远比游览活动集中的黄石寨污染严重。锣鼓塔作为武陵源风景名胜区旅游生活接待区的典型代表,宾馆、饭店、招待所鳞次栉比,正受到日益严重的大气污染。黄石寨作为游览活动集中的热点景区的代表,空气质量各项指标绝大多数在国家一级大气标准限值以内,而且,历年变化不大,状态较为稳定。

这说明住宿设施对环境的影响,比其他游乐设施更为明显,是武陵源风景名胜区旅游生态环境的关键影响因子。

根据张家界市环境监测站数据,可绘制景区水系水质历年变化(表 2)。

表 2 显示了 1984 年到 2000 年武陵源风景名胜区水系水质的主要环境指标(高锰酸钾指数、五日生化需氧量、亚硝酸盐氮、化学需氧量、总磷酸盐)监测值之和的变化情况,其排序是 2000>1998>1999>1997。这与旅游接待各方数据密切相关。武陵源风景名胜区旅游人次分别为:2000 年 514 万,1998 年 207 万,1999 年 204 万,1997 年 202 万。金鞭溪老磨湾断面化学需氧量 COD 由 1984 年的 0.79 mg/L,上升到 2000 年的



图 1 历年黄石寨和锣鼓塔大气二氧化硫含量对比图  
Fig. 1 The comparison of SO<sub>2</sub> content in air above Huangshizhai(■) to Luoguta(◆)



2.5 mg/L。亚硝酸盐氮由 1984 年的 0.000mg/L,上升到 2000 年的 0.005 mg/L,但仍低于地表水 I 类标准。从 2000 年才开始总磷监测。其背景值可用临近监测断面、未受污染的支流监测值。老磨湾、紫草潭、水绕四门断面总磷背景值分别为 0.012,0.017,0.014mg/L,均低于地表水 I 类标准( $\leq 0.02\text{mg/L}$ )。2000 年度各断面平均值在 0.0028~0.048mg/L 之间,远高于地表水 I 类标准。最大值出现在紫草潭断面,达 0.063mg/L,超标率为 73%。通过背景值与现状比较,总磷变化幅度最大(见表 3)。由此可见金鞭溪呈有机型污染,特别是磷污染较重,除沙刀沟清洁对照断面外,2000 各断面,总磷年均值 100%超标<sup>[7]</sup>。

表 2 武陵源风景名胜区水系水质历年变化

Table 2 The change of the water quality in Wulingyuan scenic spot

断面 Measure spot	1984	1986	1991	1993	1994	1997	1998	1999	2000
老磨湾指标监测值之和 <sup>①</sup> (mg/L)	0.000	0.016	0.00	0.009	0.004	1.53	2.00	1.08	3.10
紫草潭指标监测值之和 <sup>②</sup> (mg/L)	0.000	0.00	0.00	0.003	0.003	0.62	1.64	0.92	2.35
水绕四门指标监测值之和 <sup>③</sup> (mg/L)	0.001	0.00	0.00		0.04		1.42	1.10	2.83

① The sum of the indices in Laomowan, ② The sum of the indices in Zicaotan, ③ The sum of the indices in Shuiraosimen

### 3 生态环境阈值分析

生态环境阈值的确定与量测,立足于维持当地原有的自然生态质量。对于不同的环境因子,其脆弱性不同,基于其承载力的生态环境阈值也不相同。计算每一种环境因子承载力的生态环境阈值,过于复杂,也没有必要。根据景观安全理论,景观中有某些潜在的空间格局,它们由景观中的某些关键性的局部,位置和空间联系所构成,对维护或控制某种生态过程有着异常重要的意义<sup>[8]</sup>。金鞭溪就是武陵源风景名胜区的键性的局部。

1998 年以来,金鞭溪水开始变黑发臭,说明污染物排放量,超过了溪水对污染物的自然净化阈值。藻类和水生植物在金鞭溪中逐年增多,表明氮和磷已过多地进入了金鞭溪水体,发生了“富营养化”,过分消耗了水中的溶解氧,导致鱼类因缺氧而减少。磷的过多排放,与锣鼓塔生活接待区过量使用洗涤剂直接相关。因为洗涤剂中含有三聚磷酸钠,是藻类的重要营氧物,可使水中藻类迅速、大量繁殖。武陵源风景名胜区生态环境阈值中,最小分阈值是金鞭溪水对污染物的自然净化容量。由以上分析得知金鞭溪水体的主要污染因子是总磷。

水环境容量是满足水环境质量标准要求的最大允许污染负荷量,其计算模型以环境目标河水体稀释自净规律为依据。可用数学公式表述为:

$$W = (C_N - C_0)Q + K \frac{x}{U} C_N Q \quad (1)$$

式中,  $W$  为水环境容量(kg/d),可用污染物浓度乘水量表示,也可用污染物总量表示; $C_N$  为水环境质量标准(mg/L); $C_0$  为上一断面水中污染物浓度(mg/L); $X$  为监测点至排污口的距离(m); $Q$  为水量(m<sup>3</sup>);

表 3 武陵源风景名胜区自然环境本底与现状比较

Table 3 The comparison of current situation to its background about the environment in Wulingyuan scenic spot

项目 Item	1984 年所测可比	2000 年所测可比
	项目平均值 <sup>①</sup>	项目平均值 <sup>②</sup>
SO <sub>2</sub> (mg/L)	0.000	0.004
TSP(mg/L)	0.010	0.052
pH	7.10	7.53
溶解氧 DO (mg/L)	6.9	81.5
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0.000	0.005
总磷酸盐 P(mg/L)	0.012	0.037
硬度 Rigidity	1.44	57.7
As (mg/L)	0.000	0.004

① The average of the index in 1984, ② The average of the index in 2000

表 4 2000 年金鞭溪总磷实测值及衰减系数表

Table 4 The phosphate content mg/L and its attenuation coefficient in Wulinyuan streams

监测季节 平均值 The average in different season	老磨湾 C <sub>1</sub> Laomowan	紫草潭 C <sub>2</sub> Zicao tan	衰减系数 Attenuation coefficient $K_i = (C_{i+1} - C_i) / (X_{i+1} - X_i)$
春 Spring	0.252	0.163	$3.47 \times 10^{-5}$
夏 Summer	0.542	0.337	$7.995 \times 10^{-5}$
秋 Autumn	0.571	0.463	$4.21 \times 10^{-5}$
冬 Winter	0.054	0.038	$6.24 \times 10^{-6}$
距排污口距离 Distance from drain spot	X <sub>1</sub> =860	X <sub>2</sub> =3424	

$U$  为流速(m/s); $K$  为污染物衰减系数。

因金鞭溪游览线主要景点集中在老磨湾至紫草潭地段,而且该段溪流几乎没有新的总磷污染源,所以,老磨湾至紫草潭总磷污染衰减系数(见表 4),比较真实地反映了金鞭溪总磷污染衰减情况。

按水域功能划分,金鞭溪水质应执行地表水环境质量 I 类标准,总磷含量  $C_N \leq 0.02\text{mg/L}$ 。宾馆为保证住店游客吃住卫生及环境整洁。据调查每床位每天需消耗  $P=56.7\text{g}$  洗衣粉或洗涤剂经验值,据检测,各种洗涤用品中,总磷含量平均为  $R=0.37\%$ ,根据最近的人口普查,张家界村锣鼓塔共有常住人口  $L_0=1123$ 。由此可推算出在不超出总磷的最大允许污染负荷前提下,金鞭溪上游最大床位数量为:

$$L = W/P \cdot R - L_0 = \{ (C_N - C_0)Q + K \frac{x}{U} CNQ \} / P \cdot R - L_0 \quad (2)$$

将表 1 及表 2 中数据代入公式(2),根据标准客房平均每两张床占建筑面积  $50\text{m}^2$  的经验数据。即可算出金鞭溪老磨湾段水环境的总磷生态阈值  $W$  及锣鼓塔接待区宾馆最大建筑面积动态系列值(见表 5)。

表 5 金鞭溪老磨湾段总磷动态阈值及锣鼓塔接待区宾馆建筑面积容限值

Table 5 The dynamic threshold of phosphate content near Laomowan in Jingbian steam and the most carrying capacity for tourist lodgings

季节 Season	项目 Item	参照面 沙刀沟 Reference spot	断面 1 老磨湾 Spot 1 Laomowan	断面 2 紫草潭 Spot 2 Zicaotan	断面 3 水绕四门 Spot 3 Shuirao- simen	衰减系数 Attenuation coefficient $K_i = (C_{i+1} - C_i) / (X_{i+1} - X_i)$	总磷容 量( $W$ ) Taotal P (mg/d)	宾馆建筑 面积容限值 The most carrying capacity for hotel( $\text{m}^2$ )
春 Spring	$C_0(\text{mg/L})$	0.019	0.014	0.312	0.023			
	$U(\text{m/s})$	0.609	0.481	0.47	0.356	$3.47 \times 10^{-5}$	484.5	29650
	$Q(\text{m}^3)$	23572	66737	71352	88434			
夏 Summer	$C_0(\text{mg/L})$	0.013	0.012	0.354	0.208			
	$U(\text{m/s})$	0.764	0.653	0.586	0.767	$7.995 \times 10^{-5}$	877.01	76425
	$Q(\text{m}^3)$	35327	86747	90173	98354			
秋 Autumn	$C_0(\text{mg/L})$	0.021	0.016	0.563	0.312			
	$U(\text{m/s})$	0.483	0.369	0.282	0.206	$4.21 \times 10^{-5}$	350	13625
	$Q(\text{m}^3)$	21747	58725	62414	83193			
冬 Winter	$C_0(\text{mg/L})$	0.017	0.015	0.042	0.052			
	$U(\text{m/s})$	0.464	0.357	0.275	0.247	$6.24 \times 10^{-6}$	305.35	8325
	$Q(\text{m}^3)$	19872	57613	59115	81337			

通过上表计算结果得知,锣鼓塔地段在夏季丰水季节,总磷容量最大,此时可容纳的宾馆建筑面积为  $29650\text{m}^2$ 。冬季金鞭溪水量最小,总磷容量为  $305.35\text{mg/d}$ ,此时可容纳的宾馆建筑面积为  $8325\text{m}^2$ 。然而锣鼓塔实际宾馆建筑面积已达  $89625\text{m}^2$ ,远大于其总磷生态阈值许可的最大建筑面积容量。解决办法有三:一是关闭一些宾馆,使之不超过相应季节的最大宾馆建筑容量;二是沿着现已动工兴建的“峪园公路”隧道铺设排污管道,使宾馆污水流过隧道,经处理后排入两叉河。三是建污水处理场,根据国外经验,  $1\text{km}^2$  污水处理场,可处理约 3330 人产生的生活污水<sup>[9]</sup>。

#### 4 结语

武陵源风景名胜在生态旅游中具有典型性,其环境演变趋势反映出的普遍性问题,有着深层内涵。(1)住宿设施排污是景区最大的污染源,景区环境治理往往忽视虽在景区外,但位于上游的接待设施;(2)景区污染受体中,水体通常是最为脆弱的环境因子;(3)随着旅游接待人次数的增长,旅游生态环境质量下降趋势越明显;(4)上游接待区住宿设施规模超过生态阈值,洗涤剂用磷过量导致总磷超标;(5)总磷超标排放是风景区水质下降的主要原因,水质恶化感官表现为蓝藻,绿藻迅速繁殖,在生态旅游区环境演变中最为明显;(6)不同数量的常驻居民及服务管理人员、不同的季节、不同地段、不同的排污治理措施,景区

生态环境阈值各不相同。本文只是对典型生态旅游区武陵源风景名胜区生态环境阈值的探讨,但方法可以借鉴。不同类型的风景区,生态环境脆弱因子不同,例如,海拔较高的山岳型景区最为脆弱的生态环境因子是高山草甸;洞穴景观最为脆弱的生态环境因子是洞内空气中  $\text{CO}_2$  的浓度。沿着本文思路,可计算出其他类型风景区阈值。

#### References:

- [ 1 ] Odum E P. *Ecology and our Endangered Life-Support System*. Sunderland, M. A: Sinauer Assoc. , 1989.
- [ 2 ] Daily and Ehrlich P R. Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity. *Bioscience*, **42**,1992, 761 ~ 771.
- [ 3 ] Daly H E. Carrying Capacity as a Tool of Development Policy: the Ecuadoran Amazon and the Pparaquayan Chaco, *Ecological Economics*, 1990,**2**: 187~195.
- [ 4 ] Eagles P, PerNilsen, eds. *Ecotourism: Interpretation of References for Planners and Managers*. North Bennington; The Ecotourism Society, 1995.
- [ 5 ] Luo P C. A Discussion on the *Tourist Enviromental Capacity* in National Scienic Resort of Wuyishan. *Journal of Fujian Teachers University*, 1997, **13**(7):94~97.
- [ 6 ] Yang G H, Zhong L S, Ming Q Z. *Ecotourism*. Beijing:China Higher Education and Springer-Verlag Heidelberg, 1999. 248.
- [ 7 ] Wu W H. The environmental meaning of *monitoring phosphate pollution* in Wulinyuan streams. *Hu'nan Forestry*, 2001, **256**(5):31.
- [ 8 ] Yu K J. *Landscape ecological security patterns* in biological conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999,**19** (1):8~14.
- [ 9 ] Xie Y J. *Basic tourism*. Beijing; China Tourism Press,1999. 269.

#### 参考文献:

- [ 5 ] 骆培聪. 武夷山国家风景名胜区旅游环境容量探讨. 福建师范大学学报, 1997, **13**(7):94~97.
- [ 6 ] 杨桂华,钟林生,明庆忠. 生态旅游. 北京:高等教育出版社,2000. 248.
- [ 7 ] 吴文晖. 武陵源景区水体中总磷的监测及环境意义. 湖南林业, 2001, **256**(5):31.
- [ 8 ] 俞孔坚, 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999,**19** (1):8~14.
- [ 9 ] 谢彦君. 基础旅游学. 北京: 中国旅游出版社,1999. 269.