

# 漓江流域水资源形势分析

## Analysis on Water Resources of Lijiang River Basin

黄宗万,陈余道,蒋亚萍,程亚平

Huang Zongwan, Chen Yudao, Jiang Yaping, Cheng Yaping

(桂林工学院资源与环境工程系, 广西桂林 541004)

(Dept. of Resource & Envi. Engi., Guilin Univ. of Tech., Guilin, Guangxi, 541004, China)

**摘要:**漓江全长 214km, 流域面积 5585km<sup>2</sup>, 漓江流域降水资源丰富, 水资源总量为  $66.23 \times 10^8 \text{m}^3$ , 水资源具有山地河流的特点, 水资源可利用量为  $26.49 \times 10^8 \text{m}^3$ , 现状供水总量为  $15.44 \times 10^8 \text{m}^3$ , 现状用水总量为  $13.60 \times 10^8 \text{m}^3$ , 供用水基本达到平衡。但流域水资源时空分布极不均衡, 枯水季节干旱严重, 汛期洪灾频繁。城镇污水处理能力有限或排水管网不配套, 局部河段尤其漓江支流水质状况不良。水短缺和水污染问题随着社会发展而日益突出。解决问题的途径主要是依靠漓江流域增加水资源调蓄能力与节水, 增强污水处理能力, 逐步实现污水资源化, 实现生态节水型的目标。

**关键词:** 漓江流域 水资源形势 节水 防洪 水污染

中图分类号: P968; P343.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2005)01-0056-05

**Abstract:** Lijiang River is 214 km in length, and 5585 km<sup>2</sup> in drainage area. Water resources of Lijiang river basin totals  $66.23 \times 10^8 \text{m}^3$ , which is characteristic of mountain stream. Its available amount, actual water supply, and actual utilization are  $26.49 \times 10^8$ ,  $15.44 \times 10^8$ , and  $13.60 \times 10^8 \text{m}^3$ , respectively. The water resources utilization and supply are basically equilibrium. But water shortage often appears in dry season, and flood in rainfall season. In addition, water quality is affected in some parts of river, especially in its branches. The limited sewage disposal and uncoordinated drainage net are problem. The water shortage and water pollution would become serious with the development of socioeconomics. Increasing reservoir flood routing capability and saving water are approaches to solve the water problem. Meanwhile the capability of sewage disposal must be enhanced to have wastewater reused.

**Key words:** Lijiang River basin, water resources, water conservation, flood control, water pollution

桂林市是一座历史文化名城, 以其独特的自然风光成为驰名中外的风景游览城市, 享有“国际旅游明珠”之美誉。漓江孕育了美丽的桂林山水, 滋养着桂林人民, 是桂林人民的“母亲河”。但是, 由于受季风气候影响, 降雨时空分布极不均衡, 汛期洪涝灾害频繁, 枯水季节干旱严重, 再加上人为因素造成的水污染问题, 已成为影响桂林现代化国际旅游城市建设的瓶颈, 制约了桂林社会经济的可持续发展。为此, 本文以漓江流域为研究空间, 以 2002 年为现状水平年, 分析桂林市所面临的水资源形势, 从而为桂

林市城市规划提供基础性的参考资料。

### 1 漓江流域概况

漓江是珠江流域西江水系的一级支流桂江上游河段, 发源于桂林市兴安县西北部的越城岭猫儿山八角田高山沼泽带, 由北流向南, 全长 214km (桂林市水利局, 桂林工学院. 桂林市全国生态节水型社会建设试点规划. 2004. 4)。漓江流域北面、西面以猫儿山、天平山、架桥岭为界, 与长江流域洞庭水系资江及柳江支流寻江、洛清江毗邻, 流域东面以海洋山为界, 与长江流域湘江水系海洋河、灌阳河接壤, 流域面积约 5585km<sup>2</sup> (桂林市水利局, 桂林工学院. 桂林市全国生态节水型社会建设试点规划. 2004. 4; 广西水利电力勘测设计研究院. 广西桂林市防洪总体规划

收稿日期: 2004-10-13

作者简介: 黄宗万 (1970-), 男, 广东阳江人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水文学及水资源研究。

划报告(修编本).2003.)。

漓江流域地处低纬,属中亚热带季风气候区,热量丰富,光照充足,年平均温度 18.8℃,年平均蒸发量为 1482.5mm。漓江上游是我国高值暴雨区之一,流域内降水量自西北向东南递减,多年平均降水量为 1872.1mm(桂林市水利局,桂林工学院.桂林市全国生态节水型社会建设试点规划.2004.4),且各季降水量分配极不均衡,主要集中在汛期。

漓江在阳朔水文站(县城下游约 1km 的木山村)以上主要有甘棠江、桃花江、相思江、潮田河、南溪河等支流(图 1)。已建的青狮潭水库及正在兴建的思安江水库分别位于甘棠江与潮田河上,总库容约  $6.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 。流域内还分布有杉湖、榕湖、桂湖和木龙湖 4 个湖泊,总面积约为  $38.59 \times 10^4 \text{m}^2$ (桂林市水利局,桂林工学院.桂林市全国生态节水型社会建设试点规划.2004.4)。

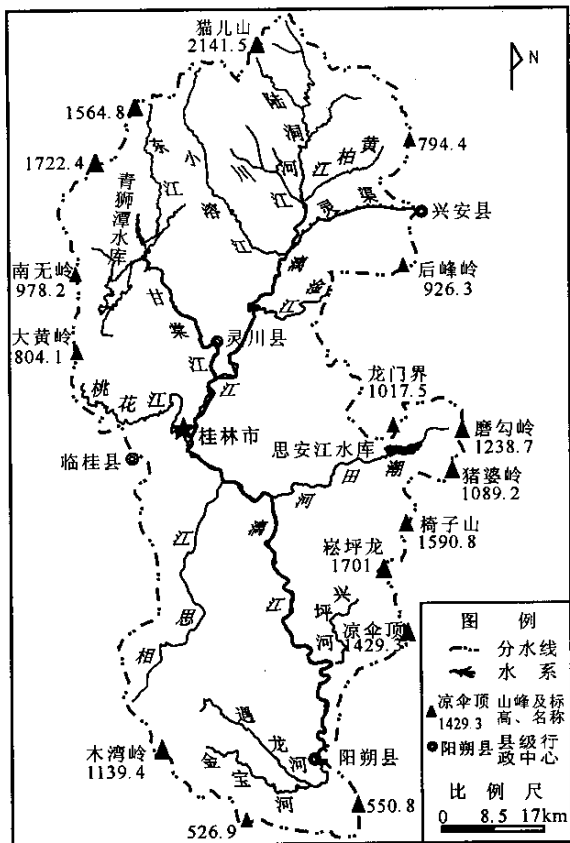


图 1 漓江流域水系简图

流域内行政区划有桂林市属的兴安县部分乡镇、灵川县、桂林市区、临桂县部分乡镇以及阳朔县。2002 年流域内总人口 160.93 万人,占桂林市总人口的 33%,其中市区总人口 69.09 万人;全流域国内生产总值为 178.52 亿元,占桂林市的 50%,其中市区国内生产总值为 127.82 亿元;流域耕地面积

$6.82 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,占桂林市的 25%,水田面积为  $5.30 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,占桂林市的 27%;另外,流域林果面积为  $2.17 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,渔业面积为  $0.66 \times 10^4 \text{hm}^2$ (桂林经济社会统计年鉴编委会.桂林经济社会统计年鉴——2002,2003)。

## 2 漓江流域水资源量及其特点

### 2.1 水资源量

漓江流域大溶江水文站(兴安县溶江镇盐广村)以上流域面积  $719 \text{km}^2$ ,河川水资源量  $12.39 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水资源量  $1.58 \times 10^8 \text{m}^3$ ,河川径流和地下水的重复计算量  $1.58 \times 10^8 \text{m}^3$ ,水资源总量  $12.39 \times 10^8 \text{m}^3$ 。桂林水文站(渡头村)以上流域面积  $2762 \text{km}^2$ ,河川水资源量  $41.82 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水资源量  $7.49 \times 10^8 \text{m}^3$ ,河川径流和地下水的重复计算量  $7.49 \times 10^8 \text{m}^3$ ,水资源总量  $41.82 \times 10^8 \text{m}^3$ 。阳朔水文站以上流域面积  $5585 \text{km}^2$ ,河川水资源量  $66.23 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水资源量  $9.68 \times 10^8 \text{m}^3$ ,河川径流和地下水的重复计算量  $9.68 \times 10^8 \text{m}^3$ ,水资源总量  $66.23 \times 10^8 \text{m}^3$ (表 1)。

表 1 漓江流域水资源总量

流域	地表水 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	地下水 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	地下与地表水重复量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	水资源总量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )
天溶江水文站以上	12.39	1.58	1.58	12.39
桂林水文站以上	41.82	7.49	7.49	41.82
阳朔水文站以上(漓江流域)	66.23	9.68	9.68	66.23

注:数据来自桂林市水利局,桂林工学院.桂林市全国生态节水型社会建设试点规划.2004.4;广西水利电力勘测设计研究院.广西桂林市防洪总体规划报告(修编本).2003。

### 2.2 水资源特点

漓江属于雨源型山区河流,其径流主要由降雨形成,汛期一般在 3~8 月,汛期连续最大 4 个月径流量占年总径流量 60%以上,丰枯水季节水量相差悬殊,有明显的汛期和枯水期。

漓江径流的年际变化有较大的差异,丰枯变化明显,历年最大年流量与最小年流量之比超过 2000。3 个水文站的年径流量变化基本上呈丰枯循环变化规律,存在不同长度的连续枯水段和丰水段。

由于漓江属山溪性河流,流域坡降及河道比降大,汇流快,汇流时间一般为 7~13h,洪水涨率较大,桂林站最大涨率为 2.16m/h,洪水暴涨暴落,洪水呈山区性河流特性(广西水利电力勘测设计研究院.广西桂林市防洪及漓江补水枢纽工程项目建议书.2004)。

### 3 漓江流域水资源可利用量

根据河流流量生态指标的一般原则<sup>[1~7]</sup>,河道内应保证 60%的水质功能达标流量作为生态用水的基流量。漓江流域大溶江水文站以上水资源可利用量为  $4.96 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中地表水可利用量为  $4.89 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水可利用量采用天然排泄量  $0.07 \times 10^8 \text{m}^3$ 。桂林水文站以上水资源可利用量为  $16.73 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中地表水可利用量为  $15.80 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水可利用量采用天然排泄量  $0.93 \times 10^8 \text{m}^3$ 。阳朔水文站以上水资源可利用量为  $26.49 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中地表水可利用量为  $24.64 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水可利用量采用天然排泄量  $1.85 \times 10^8 \text{m}^3$  (桂林市水利局,桂林工学院,桂林市全国生态节水型社会建设试点规划,2004.4;桂林市水利电力局,桂林市地下水资源开发利用规划报告,2000;桂林市水利局,桂林市水利综合统计年报表—2002,2003)。

综合分析,漓江流域水资源总量为  $66.23 \times 10^8 \text{m}^3$ ,可用于国民经济发展的水资源可利用量为  $26.49 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中地下水可利用量为  $1.85 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从概念上说,这一水资源可利用量不是供水或可供水,而是漓江流域水资源开发利用的极限数量。由于受限于开发的必要性、开发难度、经济可行性、投资等因素,实际开发利用量将小于上述可利用量。

### 4 漓江流域水资源开发利用现状分析

#### 4.1 供水现状

漓江流域内现有供水工程类型为水利供水工程、城镇饮水工程、自备水源工程及集雨工程,没有污水回用工程,其中水利供水工程分为蓄、引、提工程。2002年流域内供水工程总供水能力为  $15.44 \times 10^8 \text{m}^3$  (表2)。其中水利工程现状供水主要服务于农田灌溉,供水能力占所有供水工程总供水能力 77.21%;其次是自备地下水源供水,供水能力占 13.10%,该类供水用途复杂,包括居民生活、企业生产以及农业生产用水,以桂林市区分布最为集中。

#### 4.2 用水现状

2002年,漓江流域河道外用水主要包括生活用水、工业用水和第一产业用水。生活用水包括城镇生活用水(大生活用水)和农村生活用水,如城市居民生活用水(小生活用水)、城市公共设施用水和农村人口用水等,这部分水量与生活水平和生活习俗有直接关系。工业用水和第一产业用水包括工业、农业、林果、渔业等对水资源的需求,这部分用水量与

国民经济发展水平、产业结构、水资源供需紧张程度、节水措施的开展情况、水价等多个因素密切相关<sup>[8]</sup>。

表2 2002年各类供水工程现状供水能力

供水工程类型	现状供水能力 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	备注
水利供水工程	11.92	包括蓄、引、提、调水工程共7047处
城镇饮用供水工程	1.50	指城镇自来水厂,取用地表水,共7处
自备地下水源供水工程	2.02	以市区为主,用于工业与部分居民用水,共开采井532眼
合计	15.44	

注:数据来自桂林市水利局,桂林工学院,桂林市全国生态节水型社会建设试点规划,2004.4;桂林市水利电力局,桂林市地下水资源开发利用规划报告,2000;桂林市水利局,桂林市水利综合统计年报表—2002,2003。

经过调查统计,2002年漓江流域河道外总用水  $13.60 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占流域水资源总量 20.5%。其中生活用水  $1.48 \times 10^8 \text{m}^3$ ,工业用水  $2.12 \times 10^8 \text{m}^3$ ,第一产业农业、林果与渔业用水  $10.00 \times 10^8 \text{m}^3$  (图2)。漓江流域人均用水量为  $845 \text{m}^3$ ,万元 GDP 用水量为  $761 \text{m}^3$ 。其中,桂林市区人均用水量为  $436 \text{m}^3$ ,万元 GDP 用水量为  $236 \text{m}^3$ ;而4个县人均用水量为  $1114 \text{m}^3$ ,万元 GDP 用水量为  $2087 \text{m}^3$ 。另外,河道内漓江生态补水  $1.24 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

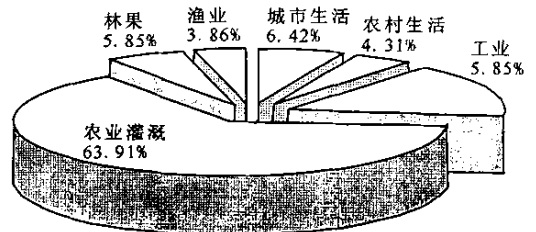


图2 2002年漓江流域用水现状

### 5 漓江流域面临的水资源形势

#### 5.1 水短缺与节水

从2002年的数据来看,漓江流域人均拥有水资源量为  $4116 \text{m}^3$ ,参照国际水资源丰歉标准<sup>[2]</sup>,属于丰水地区。从现状年供用水量来看,漓江流域供水工程现状供水能力合计为  $15.44 \times 10^8 \text{m}^3$ ,现状生活生产用水量为  $13.60 \times 10^8 \text{m}^3$ ,供用水基本达到平衡。然而,漓江是雨源型河流,由于受季风气候影响,水资源时空分布极不均衡,每年秋冬季节为漓江的枯水期,时间长达6个月以上,干旱缺水,并集中在漓江中上游段,枯水期桂林水文站多年平均流量为

48.6 m<sup>3</sup>/s, 多年平均最枯流量为 10.8 m<sup>3</sup>/s, 实测瞬时最小流量仅为 3.8 m<sup>3</sup>/s(桂林市水利局, 桂林工学院. 桂林市全国生态节水型社会建设试点规划. 2004. 4; 广西水利电力勘测设计研究院. 广西桂林市防洪及漓江补水枢纽工程项目建议书. 2004), 而桂林市区用水现已达 7 m<sup>3</sup>/s, 加上沿江村镇用水后漓江几乎枯竭。

根据河流生态用水指标的一般原则<sup>[1~7]</sup>, 桂林水文站多年平均流量 132.6 m<sup>3</sup>/s 的 60% 仅为 79.6 m<sup>3</sup>/s, 相比较表明, 在枯水期, 桂林水文站断面平均流量比生态需水的基流量小 31.0 m<sup>3</sup>/s, 当出现极端枯水时, 这个缺口更大。枯水季节河道缺水还导致漓江游程缩短以及河流内源污染加重等问题。在第一期补水工程青狮潭水库正常运行的情况下, 可以使漓江枯水期流量达到 30 m<sup>3</sup>/s, 到第二期补水工程思安江水库的建成, 可以使漓江枯水期流量增至 42 m<sup>3</sup>/s, 但与 79.6 m<sup>3</sup>/s 的最佳流量还有很大的差距。因此, 在未来水资源开发利用中, 漓江生态用水是一个需要着重解决的问题。

另外, 从用水现状来看, 第一产业是主要的用水大户, 占河道外总用水的 73.62%。4 个县人均用水量达 1114 m<sup>3</sup>, 万元 GDP 用水量达 2087 m<sup>3</sup>。由此可知 4 个县存在明显的水浪费与产业结构不合理情况, 漓江流域特别是 4 个县具有很大的节水潜力。随着社会经济的发展, 在一定现状用水水平不高的情况下, 在相当长的一段时间内人类生活与国民经济对水的需求将呈增长趋势。而另一个方面, 随着科技进步, 工业生产的工艺水平提高, 农业采用低耗水作物, 经济结构的转变, 以及大力实施节水措施等, 万元 GDP 需水量将呈下降趋势。就漓江流域而言, 这两种趋势共同作用的结果是使国民经济需水总量呈缓慢的上升趋势, 并在一定的时间内, 需水量将基本保持稳定。

## 5.2 洪水与防洪

漓江上游直至发源地猫儿山是广西三大暴雨区之一, 暴雨集中, 强度大, 加之流域内水量调蓄控制工程不足, 洪水暴涨暴落, 突发性强, 灾害频繁。市区岩溶洼地分布面广, 水网密布, 地势普遍较低, 洪涝共生, 致使灾害加重。历史上最大洪峰流量达 7810 m<sup>3</sup>/s, 而漓江城区河段的洪水安全泄量仅为 2100 m<sup>3</sup>/s, 历年洪水几乎都超过安全泄量时的警戒水位 145.0 m, 每两年就会发生一次灾害性洪水, 而且洪峰水位越来越高, 持续时间也有增长的趋势, 近 50 a 来洪灾严重、损失较大的年份有 1949、1952、

1974、1976、1992、1994、1998 及 2002 年。其中, 1998 年的“6.24”大洪水, 洪峰流量达 5890 m<sup>3</sup>/s, 最高水位达 147.7 m, 比常水位高 6 m, 超警戒水位 2.70 m, 受淹面积达 25 km<sup>2</sup>, 受灾人口 48.8 万人, 直接经济损失达 21.63 亿元(桂林市水利局, 桂林工学院. 桂林市全国生态节水型社会建设试点规划. 2004. 4; 广西水利电力勘测设计研究院. 广西桂林市防洪及漓江补水枢纽工程项目建议书. 2004)。目前, 桂林市区总体防洪能力接近 10 a 一遇(4850 m<sup>3</sup>/s)的防洪标准, 加上青狮潭水库的调洪运行可以达到 20 a 一遇(5550 m<sup>3</sup>/s)洪水标准, 与 2007 年要达到 50 a 一遇(6430 m<sup>3</sup>/s)的防洪标准, 到 2010 年要达到 100 a 一遇(7090 m<sup>3</sup>/s)的设防标准相差很远, 洪涝灾害频繁与抗洪能力薄弱的矛盾十分突出。

## 5.3 水污染

漓江干流的水质状况基本上比较好, 一般能达到 II-III 类水质标准(《地表水环境质量标准》, GB3838-2002)。漓江兴安源头水猫儿山自然保护区, 水质优良, 符合 I-II 类水质标准。漓江灵川饮用农业用水区主要表现为农田施肥带来的面源污染, 主要污染物为氨氮, 水质状况为 II 类, 丰水季节局部为 III 类。漓江桂林饮用工业用水区上下游河流水质由 II-III-IV 类, 主要超标污染物为溶解氧、氨氮和石油类, 尤其以石油类更为突出。漓江桂林景观娱乐用水区是漓江百里画廊的主要河段, 水质状况为 III 类, 但经过河流的自净能力, 加上往下游没有乡镇工业污染源, 水质达 II-III 类。

漓江支流的水质状况较差, 基本为 IV 类水质标准, 局部达 V 类水质。甘棠江枯水期氨氮超标, 为 1.08 mg/L, 达 IV 类, 主要是由于接纳了灵川县主要生活、工业污染源, 致使水质受到污染。桂林市区的四条支流(桃花江、南溪河、相思江、小东江)的水质都不达标, 以南溪河水质最差。南溪河的溶解氧、COD<sub>Mn</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、挥发酚、石油类等多个指标严重超标, 远超 V 类水质标准。桃花江石油类和氨氮超标, 溶解氧也有时超标, 上游水质较下游好, 为 IV 类水质, 下游胜利桥以下及宁远河河段为 V 类水质。小东江经 1995~1997 年的治理, 污染得到控制, 水质为 IV 类, 相思江的水质也为 IV 类, 这两条支流主要污染物是石油类。

根据对漓江流域入河排污状况的调查, 灵川县、桂林市区以及阳朔县是污废水直接排放河流的主要城镇, 入河排污口总数达 87 个, 年排放污废水总量为 13521 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 其中以桂林市区最为严重, 约占

流域排放总量的 79.2%。主要入河污染物是氨氮、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、挥发酚、氰化物等 5 种污染物,年排放总量达 12939.8t(表 3)。尽管市区建有 4 个污水处理厂,但自 1996 年以来污水处理能力一直停留在 17.85 万 m<sup>3</sup>/d,2002 年实际处理率仅为 44.2%,均为二级处理,污水管网不配套,污水处理能力有限。处理后的污水直接排入河流,部分被沿途用来灌溉农田。2002 年灵川县城、阳朔县城,尚没有污水处理厂,污废水直接进入干支流。

#### 5.4 体制与管理

漓江流域水资源开发利用的管理存在“水源地不管供水,供水的不管排水,排水的不管治污,治污的不管回用”,“政出多门、多龙管水”的弊端。因此,以流域为系统,建立城乡水务一体化管理,进行系统分析,统一规划,是科学开发、利用、治理、配置、节约和保护的根本保证。

考虑到漓江流域水资源统一管理的固有特性,漓江流域水资源管理体制的深化改革可分两步来实施:第一步是按照国务院批准水利部的“三定”规定,进一步理顺涉水事务的部门职责与权限,从根本上解决职能交叉、政出多门、执法难、管理难等体制弊端,真正实现水资源管理上质与量的统一,除害与兴利的统一、开发与治理的统一、节约与保护的统一;第二步是在深化体制改革、实现水资源统一管理的基础上,创新以水权、水市场理论为基础的高效权威的水资源管理体制,建立区域水资源管理规章制度,充分发挥市场在水资源配置中的导向作用,形成以

表 3 漓江流域 2002 年主要城镇入河废污水量与污染物统计

城镇	废污水量 (×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	污染物入河量(t)					
		氨氮	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	挥发酚	氰化物	合计
灵川县	2761	83.4	3751.7	35.5	0.1025	1.292	3872.0
桂林市区	10713	1155.0	6525.8	1361.0	1.28	1.5	9044.6
阳朔县	47	4.8	13.9	4.5	0.001	0.002	23.2
合计	13521	1243.2	10291.4	1401	1.3835	2.794	12939.8

注:数据来自桂林市环境保护局.广西壮族自治区桂林市环境质量报告书(2002年度).2003.

#### 参考文献:

[1] 冯尚友.水资源持续利用与管理导论[M].北京:科学出版社,2000.  
 [2] 吴季松.现代水资源管理概论[M].北京:中国水利水电出版社,2002.  
 [3] 林洪孝主编.水资源管理理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2003.  
 [4] 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[J].自然资源学报,2002,17(3):262-269.

经济手段为主的节水机制,不断提高水资源的利用效率和效益,促进经济、资源、环境协调发展。

## 6 结束语

对漓江流域水资源形势的分析表明,漓江流域水资源丰富,但时空分布极不均衡,漓江流域属于枯季缺水。枯水季节干旱严重,汛期洪涝频繁,加上水污染严重,已严重影响到桂林市社会经济的可持续发展。随着桂林市社会经济的发展,水短缺和水污染问题将变得更为突出。

要使漓江水生态系统质量 2007 年要达到“极好”级<sup>[2]</sup>,2010 年水生态系统要达到“最佳流量”级;桂林市区防洪能力,2007 年要达到 50 a 一遇的防洪标准,2010 年要使防洪标准提高到 100 a 一遇的防洪标准;水质 2010 年全部境内水要达到 II 类水质标准,其解决问题的途径主要是依靠漓江流域增加水资源调蓄能力与节约用水,通过在漓江上游兴建防洪与补水控制性工程调蓄漓江洪水,实现水资源的时空优化配置。结合河道整治等工程措施,将实现防洪与生态补水两大目标。提高水的利用效率和产出,大力进行以灌区节水改造为中心的农业节水技术推广,调整作物结构,种植低耗水的作物;加快城市用水和工业用水的节水步伐,实行阶梯水价;加大污水治理,提高污水处理率;推广中水回用,逐步实现污水资源化。总而言之,只有通过科技、经济、管理、行政等手段才能逐步建立全面生态节水型城市。

[5] 粟晓玲,康绍忠.生态需水的概念及其计算方法[J].水科学进展,2003,14(6):740-744.  
 [6] 苗鸿,魏彦昌,姜立军,等.生态用水及其核算方法[J].生态学报,2003,23(6):1156-1164.  
 [7] 宋炳煜,杨.关于生态用水研究的讨论[J].自然资源学报,2003,18(5):617-625.  
 [8] 王煜,杨立彬,张新海,等.西北地区水资源承载能力研究[J].水科学进展,2001,12(4):523-529.

(责任编辑:黎贞崇)