

文章编号:1000-582X(2004)07-0118-04

## 漓江水资源调查与水量调节研究\*

喻泽斌,龙腾锐,石炼,王敦球

(重庆大学城市建设与环境工程学院,重庆 400030)

**摘要:**降雨的季节性悬殊变化和污水处理能力的低下导致了漓江面临着枯水季节水量不足和水质污染问题,而水量调节是解决上述问题的重要措施。为此,开展了漓江水资源的调查,进行了地表水资源供需平衡计算。结果表明:如逢特枯年,在不进行水量调节的情况下,2010年漓江会出现断流现象,根本无法满足桂林水文站在枯水季节必须保持 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 的水量要求。并以此提出了漓江上游水量调节水库的建设项目,分析了项目的技术经济可行性,可能产生的环境影响以及项目实现所面临的主要问题,证明该项目环境效益、经济效益与社会效益显著,是一项实现漓江水资源合理利用的工程。而为保证项目能够发挥其功能,必须实行流域水资源与水环境的统一管理。

**关键词:**漓江;水资源;补水;合理利用

**中图分类号:**TV21

**文献标识码:**A

漓江位于中国广西壮族自治区南岭山脉西南部,属珠江水系,全长214 km,阳朔地点以上的流域(以下同)总面积 $6\,050\text{ km}^2$ ,总人口约为150万人。

降雨的季节性悬殊变化而导致枯水季节水量不足是漓江面临的首要问题。漓江流域属于亚热带季风气候,年径流量相当丰富,但全年分布极不均匀,将近80%出现在3月和8月之间。在枯水期,漓江的水位尤其是在桂林市区附近很低,在水荒年度已经无法满足正常的工农业生产和人民生活的需要,更不用说满足景观生态用水的需要。1988年,第一期补水工程完工,漓江上游清狮潭水库向漓江补水,每年补水 $16.5\text{ m}^3/\text{s}$ 的水量,加上漓江自流量,漓江枯水季节的最小流量达到 $26.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。但是,随着流域经济的发展,水资源需求不断增长,2000年最枯月平均自流量仅为 $6.42\text{ m}^3/\text{s}$ ,漓江枯水期水资源缺乏的问题越来越突出。

水质污染是漓江面临的另一个主要问题。是作为重要的国家风景名胜地,政府很早就开始采取措施保护其环境,并取得了显著的成效。流域内污水处理系统良好,现有3座2级污水处理厂在运行。然而,目前的市政污水量已超过了污水厂的处理能力,加上污水管网

的不完善,部分污水都未经处理就排入漓江及其支流。

从技术的角度来看,解决上述问题的重要措施是进行水量调节,将丰水期过多的水资源调节到枯水期,一则可以解决枯水期缺水,二则可以提高河流的环境容量。一般来说,水量调节的渠道有三:一是保护水源林以增加河道的基流,二是河流湖泊的调蓄,三是建库调蓄<sup>[1]</sup>。由于漓江流域湖泊较少,而水源林的保护见效相对较慢,因此,当务之急是修建调蓄水库来解决枯水季节水量不足和水质保障的问题。实际上,当地政府已经在2002着手修建思安江水库,以保证在枯水季节稳定向漓江补水 $10\text{ m}^3/\text{s}$ 。考虑到未来20 a流域经济发展对水资源的需求,有必要尽早考虑水资源的调节问题。

### 1 漓江水资源调查

流域年总降水量为108亿 $\text{m}^3$ ,年平均降水量为1900 mm,其中蒸发量损失约为28亿 $\text{m}^3$ ,水资源总量为80亿 $\text{m}^3$ 。其中,地表水资源总量为71亿 $\text{m}^3$ (加上跨流域引水1亿 $\text{m}^3$ ),地下水10亿 $\text{m}^3$ 。流域人均水资源为 $5\,020.5\text{ m}^3$ ,地表水资源人均 $4\,623\text{ m}^3$ ,远远高

\* 收稿日期:2004-03-28

基金项目:国家863课题(2003AA601060-3-3)和广西科学基金项目(0270144)

作者简介:喻泽斌(1968-),男,湖南长沙人,重庆大学博士研究生,高级工程师,主要从事水资源和水环境规划和管理的研究。

于全国人均水平  $2\ 700\ \text{m}^3/\text{人}^{[1]}$ 。根据国际水资源丰富程度指标,漓江流域属于人均水资源量丰富地区。

对于漓江来说,水资源的需求包括河道外国民经济用水(包括人类生存、发展的用水)和维持水文景观生态平衡的河道内景观生态用水两部分。流域河道外国民经济用水主要集中在桂林城区(含)以上地段,2000年为  $11.51\ \text{亿}\ \text{m}^3$ ,占全流域63%。流域河道外国民经济用水为  $18.328\ \text{亿}\ \text{m}^3$ ,仅占流域水资源总量的22.91%,可以认为流域的水资源开发仍有潜力。

河道内景观生态用水主要集中在桂林城区以下——阳朔地段,根据调查,河道内景观生态用水的最

低量为  $30\ \text{m}^3/\text{s}$ ,因此,可以认为,只要桂林水文站在枯水季节能够保持  $30\ \text{m}^3/\text{s}$  的水量,则流域的水资源的承载力是可以满足流域经济社会与生态的可持续发展的需要,因此,笔者把桂林城区以上段选为地表水资源平衡计算段,水资源的保证率为95%(特枯年)。

由2000年分月别分地段的河道外用水,预测2010年、2020年的河道外用水量。根据20年桂林水文站的流量资料分月别计算水资源供给量。在此基础上,进行青狮潭水库不补水条件的地表水资源供需平衡,计算成果见表1:

表1 地表水水资源收支平衡计算成果

|      |     |       |       |       |        |        |        |        |        |        |       |       | $\text{m}^3/\text{s}$ |                        |
|------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-----------------------|------------------------|
| 年度   | 项目  | 1月    | 2月    | 3月    | 4月     | 5月     | 6月     | 7月     | 8月     | 9月     | 10月   | 11月   | 12月                   | 全年/ $10^8\ \text{m}^3$ |
| 2000 | 需水量 | 6.53  | 6.95  | 35.04 | 51.52  | 51.58  | 51.31  | 59.50  | 60.90  | 55.53  | 43.80 | 7.99  | 7.25                  | 11.51                  |
|      | 供给量 | 12.95 | 23.00 | 63.86 | 106.69 | 174.41 | 364.57 | 298.82 | 297.98 | 120.73 | 60.90 | 32.26 | 17.93                 | 40.11                  |
|      | 剩余量 | 6.42  | 16.05 | 28.82 | 55.17  | 122.83 | 295.26 | 239.32 | 237.08 | 65.20  | 17.10 | 24.27 | 10.68                 | 28.60                  |
| 2010 | 需水量 | 13.81 | 14.80 | 41.17 | 56.81  | 57.44  | 58.13  | 66.69  | 68.00  | 62.08  | 50.26 | 17.05 | 15.43                 | 13.71                  |
|      | 供给量 | 12.95 | 23.00 | 63.86 | 106.69 | 174.41 | 364.57 | 298.82 | 297.98 | 120.73 | 60.90 | 32.26 | 17.93                 | 40.11                  |
|      | 剩余量 | -0.86 | 8.2   | 22.69 | 49.88  | 116.97 | 306.44 | 232.13 | 229.98 | 58.65  | 10.64 | 15.21 | 2.50                  | 26.40                  |
| 2020 | 需水量 | 21.43 | 23.03 | 47.21 | 61.65  | 62.94  | 64.65  | 73.44  | 74.59  | 68.14  | 56.43 | 26.53 | 23.99                 | 15.87                  |
|      | 供给量 | 12.95 | 23.00 | 63.86 | 106.69 | 174.41 | 364.57 | 298.82 | 297.98 | 120.73 | 60.90 | 32.26 | 17.93                 | 40.11                  |
|      | 剩余量 | -8.48 | -0.03 | 16.65 | 45.04  | 111.47 | 299.92 | 225.38 | 223.39 | 52.59  | 4.47  | 5.73  | -6.06                 | 24.24                  |

由表1可以看出,流域水资源的供给与需求的主要特点是:

1) 桂林地点的枯水季节的地表径流形成水资源总量小于合理景观生态需水量,需要进行水量调节,如果不进行补水,则倘若2010年为特枯水年,则漓江在最枯月份1月会出现断流现象。

2) 在青狮潭水库不补水的条件下,为保证河道外国民经济用水和河道内景观生态用水,2000年、2010年、2020年的1月、2月、10月、11月、12月都需要进行补水,最大补水量为  $38.48\ \text{m}^3/\text{s}$ ;

3) 在青狮潭水库补水条件下  $16.5\ \text{m}^3/\text{s}$ ,则2000年须在1月和12月进行补水,2010年1月、2月、10月、12月需要进行补水,2002年1月、2月、10月、11月、12月需要补水,最大补水量为  $22\ \text{m}^3/\text{s}$ ;

## 2 漓江水量调节(补水)工程

### 2.1 补水工程的主要内容

1) 五里峡补水。五里峡位于桂北暴雨区中心边缘(桂林市兴安县境内),年平均降雨量为  $1\ 600\ \text{mm}$ ,年平均蒸发量为  $1\ 500\ \text{mm}$ ,水库控制流域面积  $340\ \text{km}^2$ ,常年平均流量为  $11.3\ \text{m}^3/\text{s}$ (见表2)。该区域降雨年内

分配不均匀,75%的降雨集中在3-8月之间。

从现有的湘江流域上游的五里峡水库向漓江补水。水库的水将通过修缮、扩建一条  $23\ \text{km}$  长的水利渠流入漓江。项目包括建设节水渠衬  $23\ \text{km}$ ,延伸渠道  $400\ \text{m}$ ,在补水干末端建设一座小型水电站。在枯水季节,五里峡除了可以满足该区域现在及将来的农灌需要外,还可以稳定向漓江补水  $7.5\ \text{m}^3/\text{s}$  的水量。通过渠衬节水、兴建新的小型电站、加强水库管理等措施可以将水库的发电能力提高  $5 \times 10^9\ \text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。

2) 小溶江补水。小溶江的中上游位于桂北暴雨区,年平均降雨量为  $2\ 645\ \text{mm}$ ,最大降雨量为  $3\ 606\ \text{mm}$ ,最小降雨为  $2\ 073\ \text{mm}$ ,年平均蒸发量为  $1\ 624\ \text{mm}$ ,水库控制流域面积  $164\ \text{km}^2$ ,常年平均流量为  $10.1\ \text{m}^3/\text{s}$ (见表2)。

从漓江的一条支流——小溶江将水引到现有的清狮潭水库,建设一条  $9\ \text{m}$  高的拦河坝,由位于小溶江上游的4做垂直闸门( $10\ \text{m}$ 高)组成溢洪道,一条  $7.5\ \text{km}$  长的缓洞,将小溶江的水引到甘棠江流域上游的清狮潭水库。通过这一工程可以将丰水期的水从小溶江流域输送临近的甘棠江流域。水利研究表明,清狮潭水库的蓄水能力并没有得到充分利用,现有设施的水量调节能力并没有得到充分发挥。项目实施后,清狮潭

水库在枯水期的4个月向漓江输水能力可以提高到 $21.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,清狮潭水库的现有发电能力可以增加 $6 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ ,达到 $63.3 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ ,另外,在

小溶江的拦河坝和隧洞口分别建设一座小型电站,发电能力为 $6.8 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ 。因此,该方案共增加电能 $12.8 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ 。

表2 径流频率计算成果

| 工程名称  | 流域面积<br>/km <sup>2</sup> | 年径流均值<br>/m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> | Cv   | Cs   | Q <sub>p</sub> /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> |       |       |        |        |       |       |
|-------|--------------------------|---|------|------|---|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
|       |                          |   |      |      | 5%  | 10%   | 20%   | 50%    | 75%    | 90%   | 95%   |
| 桂林水文站 | 2 860                    | 128.0                                     | 0.18 | 0.36 | 168.0   | 158.0 | 147.0 | 127.00 | 112.00 | 99.50 | 92.60 |
| 清狮潭水库 | 474                      | 26.2                                      | 0.19 | 0.38 | 34.9  | 32.7  | 30.3  | 25.90  | 22.70  | 20.10 | 28.60 |
| 小溶江水库 | 164                      | 10.1                                      | 0.21 | 0.42 | 13.8  | 12.9  | 11.8  | 9.95   | 8.60   | 7.49  | 6.88  |
| 五里峡水库 | 340                      | 11.3                                      | 0.19 | 0.38 | 15.1  | 14.1  | 13.1  | 11.20  | 9.79   | 8.65  | 8.02  |

## 2.2 工程的技术和经济可行性分析

补水项目实施后,每年枯水期可以向漓江增加 $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量,加上正在修建的思安江水库,可以稳定补水 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,从而实现特枯年漓江冬季的水量达到 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 目标。项目的技术难度不大,五里峡项目主要是对现有管渠加一层混凝土渠衬,这种渠衬的有效性已经在清狮潭水库得到证实;小溶江项目主要是建一座混凝土结构的拦河矮坝和自流渠引水隧洞,技术上来说应该是没有问题的;护岸采用石笼坝,这在国外已被证实是有效的。从经济上来说,主要考虑旅游业经济收益、发电产生的收益、供水的收益、灌溉的收益以及护岸的经济效益。按照保守估计,每立方米和每千瓦小时的至少可以增加0.5元的价值,则项目净现值分别为2 446万元和7 950万元(具体计算略)。

## 2.3 环境评价

1)项目没有涉及人口迁移,征地十分有限(约 $0.05 \text{ km}^2$ ),失去土地的农民可以得到补偿。另外,根据中环境科学研究院环境影响评价报告,项目不会该区域的动植物群落和濒危物种产生负面的环境影响。

2)项目可以满足漓江流域现在及未来20 a的经济发展对水资源需要,尤其是满足旅游对漓江水质水量的要求。

3)对水库运作进行管理,监测及报告用水情况是运作期最基本的环保措施。由于主要的环境影响发生在建设阶段,项目的建设期的环境监督尤为重要。

4)为避免补水工程建设造成水土流失,将在水库周边地区进行水土保持。主要内容包括在水库及其周边地区植树造林;对水库上游的水源林地区采取封山育林措施;加固水库堤岸,防止侵蚀和滑坡。

5)公众调查表明,该项目得到广大群众的拥护。公众支持的主要原因是因为该项目实施后可以改善漓江的水环境,为当地创造明显的社会经济与环境效益。但是,公众支持是以漓江补水必须对项目所在区域进

行补偿,水资源在各用户之间合理分配为先决条件的。

## 2.4 环境、经济和社会效益分析

1)项目实施后,漓江上游的五里峡水库、清狮潭水库和小溶江水库与中游的思安江实现联合调度,从而保证2002年漓江枯水期最小流量不低于 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ,实现满足中下游的景观生态需水的目标,同时也提高水环境容量。另外,五里峡水库和小溶江水库的灌溉效率和可靠性的保证程度也将因此得到提高。因此,该项目是不但加强了水库的多功能能力,而且使水资源的水能、水量、水质都得到了有效利用。

2)项目的水利发电量预计为 $17.8 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ ,将极大促进项目地区的农村电气进程,同时也将带动当地经济的发展,尤其是对当地旅游业和乡镇企业的发展。另外,由于水利发电一项可更新的能源,可以避免火电厂引起的空气污染,因此,该项目产生的环境效益可以作为环境的外部价值量化。

3)项目实施后,水量的增加可以抑制中游桂林市区的水质污染加剧,配合污水处理工程、上游水源林保护工程与饮用水源地调整工程的同步实施,可以解决漓江的枯水期水量不足和水质污染问题。

## 3 存在的主要问题及对策

漓江水量调节的目的是通过补水使枯水期漓江流量保持在 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ,改善漓江的水质、满足景观生态需水要求。但是,单纯用于具体设施上的巨大投资不能够完全解决问题,必须通过机构改革来实现更好的水资源管理<sup>[2]</sup>。实施项目的关键是如何建立一个权威的管理机构,确保项目目标的可持续性和整体最优<sup>[3-4]</sup>,以保证水资源的合理分配和有效利用。建议首先是建立漓江流域协调委员会及其领导下的水库运作办公室,主要负责五里峡水库、小溶江水库、清狮潭水库、思安江水库的联合调度,并逐步过渡到漓江流域水资源与水环境管理委员会,实行水资源与水环境的

统一管理。最终管理的改善目标和机构的职责应主要考虑以下几个方面的因素<sup>[4]</sup>：

- 1) 多功能的水管理和水资源的联合调度<sup>[5]</sup>；
- 2) 明确水资源开发、利用与保护者的责、权、利，增强利用和管理水资源者的责任<sup>[6]</sup>；
- 3) 理顺管理体制，减少现有管理机构的重叠；
- 4) 实施大气降雨与河流水质水质的同步监测，建立漓江水资源和水环境管理信息系统；
- 5) 制订流域水环境与水环境管理的制度，建立高效的运行机制<sup>[7-8]</sup>。

#### 4 结 论

1) 漓江的水量调节是迫在眉睫的事情，否则在2010年，在青狮潭水库不补水的情况下，如逢特枯年，漓江会出现断流现象；

2) 漓江补水项目是一个含补水、灌溉、供水、发电和控制侵蚀在内的多效能的水资源管理项目，尤其对解决漓江枯水期缺水和提高水环境容量有重要意义。项目在技术上和经济上都具备可行性。对环境不造成重大影响，没有人口迁移，征地亦十分有限，社会和经济效益显著；

3) 项目的综合管理是关键。为统筹考虑水资源

的开发、利用与保护，建立漓江流域水资源与水环境管理委员会，实行水资源与水环境的统一管理势在必行。

#### 参考文献：

- [1] 刘善建. 水的开发与利用[M]. 北京: 中国水利出版社, 2000.
- [2] 伏格乐. 21世纪大城市可持续发展水资源保障国际研讨会[EB/OL]. <http://topic.waterinfo.net.cn/wanshangzibo/chinese/xinwen/16.htm>, 2003-10-10.
- [3] BECK M B. Applying systems analysis in managing the water environment: towards a new agenda[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(5): 1-17.
- [4] 华德尊. 二龙山流域生态整治与可持续发展管理机制[J]. 环境科学研究, 2000, 15(3): 26-29.
- [5] 刘强文, 何杉. 海河流域水污染特征及水资源保护对策[J]. 水资源保护, 1997, 2(2): 31-34.
- [6] 陈志恺. 管好、用好、保护好有限的水资源[J]. 水问题论坛, 1996, 11(2): 27-31.
- [7] RIGG N S. Integrated water resources management: who should lead, who should pay? [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 35(3): 527-534.
- [8] LETEY J. Science and policy in integrated watershed management: a case study[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 35(3): 603-607.

## Investigate to Water Resource and the Dispatch to Water Capacity in LIJIANG

YU Ze-bin, LONG Teng-rui, SHI Lian, WANG Dun-qi

(College of City Construction and Environmental Engineering, ChongQing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** The tremendous seasonal variation of rainfall and the relative little dispose capacity of sewage are the main reason of the lack of water quantity and the contaminate of water quality in low water season in LIJIANG. Adjusting water quantity is an important measure to resolve the problem. So, the author does an investigation on water resource of LIJIANG, calculates upper-water supply and requires equation. As a result, in the condition of no water adjust, and if in the extraordinary year of the lack of water quantity, the water flow will fade in 2010, and the demand of water quantity of 30 m<sup>3</sup>/s in the season of the lack of water will not be satisfied. Based on the actuality of water resource, the thesis introduces the project of mending water reservoir to LIJIANG, analyzes its feasibility in the respect of technique and financial condition, brings forward major problem of the project. The result proves the benefit of the project in the field of environment, economy society is very prominent, and the project is an engineering to realize water resource of LIJIANG reasonable utilize; for the reason to guarantee this project to bring into play its function, it is time to carry out integrate management to water resource and water environment in LIJIANG valley.

**Key words:** LIJIANG; water resource; mend water; reasonable utilize

(编辑 姚 飞)