

文章编号:1007-2284(2012)07-0066-04

华南湿润地区多水源联合调配研究

黄燕¹,刘丙军²

(1. 珠江水利科学研究院, 广州 510611; 2. 中山大学地理科学与规划学院水资源与环境系, 广州 510275)

摘要:针对袂花江流域水资源配置特点,提出一套多水源水资源配置的求解算法,并假定4种配置方案从中评价优选,此算法对丰富和完善华南湿润地区水资源优化配置的方法有一定意义。

关键词:华南湿润地区;多水源;优化配置

中图分类号:TV21

文献标识码:A

1 研究区概况

1.1 区域概况

袂花江发源于广东省茂名市电白县西北部那霍镇青鹅岭,向西南流经那霍镇、罗坑镇、沙琅镇、霞洞镇、林头镇、羊角镇、

袂花镇、七迳镇、入茂南区鳌头镇,经小良镇流入吴川县兰石镇,汇合鉴江入海,袂花江水系分布情况见图1。袂花江干流长112 km,集雨面积2 516 km²,平均坡降0.109%,是鉴江第二大一级支流,电白县最大河流。袂花江沿江两岸户籍人口79万,国内生产总值95亿元。

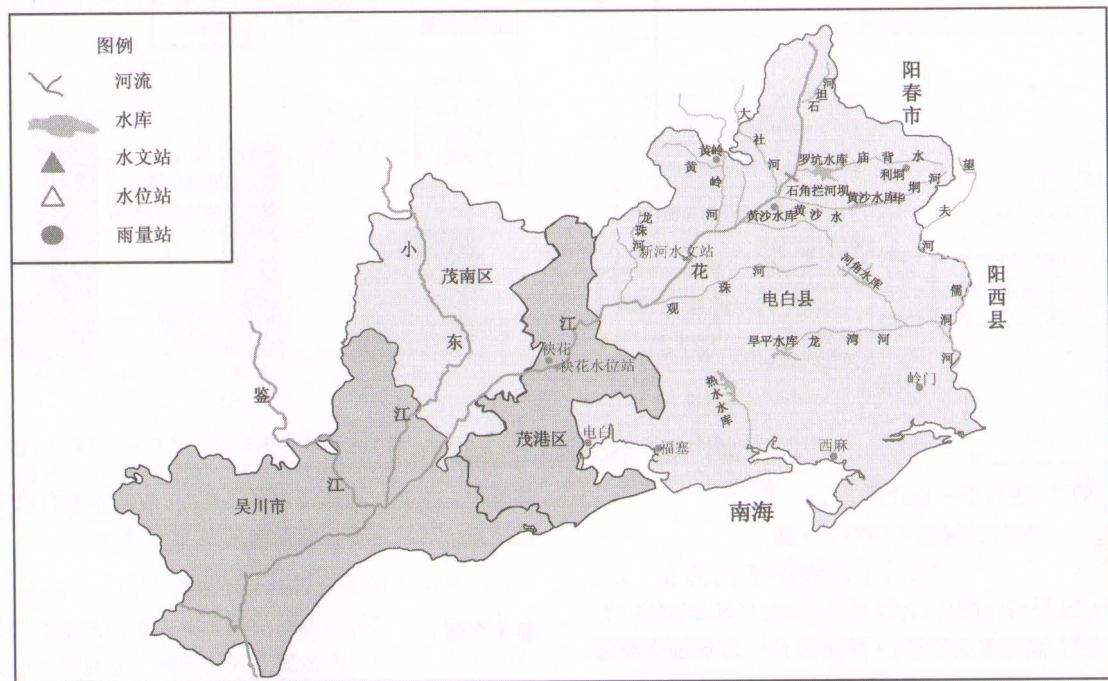


图1 袂花江水系分布图

1960年以后,袂花江上游建有罗坑、黄沙等大、中型水库,控制集雨面积127 km²,下游吴川县兴建了博茂减洪工程,将袂花江改道出口,并兴建梅节节制闸,防止鉴江洪水倒流和利用洪峰错位排洪。

1.2 水资源量

(1)降雨。袂花江流域降雨量充沛,多年平均年降雨量

1 500 mm。降雨年内分配不均,大多集中在汛期的5—9月,雨量约占全年的73%。前汛期(6月前)以锋面雨为主,雨面广,降雨量大;后汛期以台风雨为主,降雨强度大。袂花江上游因首当水汽来源之冲,又受山地抬高作用的影响,后又有云开大山等高山所阻,形成了广东省暴雨高区之一,据上游的利垌站测得最大年降雨量为4 398 mm,最小年降雨量为1 827 mm,最大值为最小值的2.4倍。

(2)蒸发。袂花江流域各地的水面蒸发量接近,地区间差别不明显,多年平均水面蒸发量约1 100~1 300 mm,年际变化

不大,最大年与最小年比值为1.3~1.4,年平均陆地蒸发量为700~900 mm。

(3)水资源量。袂花江流域多年平均(1962—2008年)水资源总量为20.95亿m³,多年平均年径流深832 mm。袂花江流域的年径流量在地区间分布与年降水量相似,自西南向东北递增,多年平均年径流深分布在656~1 022 mm之间。时间分布上,汛期径流量约占全年的85%,多年平均连续最大4个月径

表1 2008年袂花江流域地表水供水能力统计表

袂花江流域	蓄水工程			引水工程			提水工程			调水工程			合计	
	数量/座	现状供水能力	设计供水能力	数量/座	现状供水能力	设计供水能力	数量/座	现状供水能力	设计供水能力	数量/座	现状供水能力	设计供水能力	现状供水能力	设计供水能力
电白县	90	2.51	2.59	86	0.97	1.05	30	0.28	0.29	0	0	0	3.76	3.93
茂港区	51	1.62	1.63	59	0.56	0.76	21	0.11	0.13	0	0	0	2.29	2.52
茂南区	45	1.67	1.70	6	2.48	2.50	209	0.61	0.62	0	0	0	4.76	4.82
吴川市	33	0.57	0.60	3	3.15	3.24	570	0.85	0.87	0	0	0	4.57	4.71
合计	219	6.37	6.52	154	7.16	7.55	830	1.85	1.91	0	0	0	15.38	15.98

注:数据来源于《2008年茂名市、湛江市水资源公报》和《广东省鉴江流域水资源分配方案报告书》(2010.3)。

1.4 袂花江流域用水水平分析

据《2008年茂名市水资源公报》、《2008年湛江市水资源公报》及用水量调查成果推算袂花江流域所属行政区用水指标,见表2。由表2可见,袂花江流域以农业用水为主,用水量较大,经济相对落后,单位GDP用水量大于全省水平,工业增加值指标低于全省水平。

表2 2008年袂花江流域所属行政区用水指标统计

行政分区	人均用水量/(m ³ ·人 ⁻¹)	单位GDP用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	工业增加值用水量指标/(m ³ ·万元 ⁻¹)	生活用水指标/(L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	农田灌溉用水量指标/(m ³ ·hm ⁻²)
电白县	436	376	61	138	10 920
茂港区	625	478	131	222	10 620
茂南区	444	145	45	237	12 135
吴川市	589	873	87	133	16 290
广东省	486	175	108	175	11 565

1.5 区域水资源开发利用存在的主要问题及水资源配置特点

袂花江流域水资源开发利用存在的问题:①袂花江流域人均水资源量743 m³,属用水紧张地区;②资源分布不均,流域外水源缺乏。流域外博贺新港区工业大发展,水资源需求猛增,仅依靠博贺新港区本地自产水无法满足需水要求,致使流域内外农业、工业争水严重;③径流年内分配不均,枯水期缺水严重。

本次水资源优化配置时,需要考虑在公平用水的前提下,倡导水资源利用的高效性和可持续性,协调流域内外用水关系,平衡农业、工业用水、充分发挥水库“蓄丰补枯”的功能,同时考虑引提水工程及灌区续建配套措施的影响,实现水资源开发利用、流域和区域社会发展与生态环境保护间的协调,缓解水资源供需矛盾,使袂花江流域整体效益最大。

2 袂花江流域水资源优化配置

2.1 水资源配置总体思路

袂花江流域水资源合理配置系统是一个包括多水源、多用户,需要满足近、远期不同用户、不同供水保证率要求的大系统,

流量出现在5—8月或6—9月,约占全年径流量的60%左右。

1.3 水利工程现状

2008年,袂花江流域内建有蓄水工程219座,设计供水能力6.52亿m³,现状供水能力6.37亿m³;引水工程154座,设计供水能力7.55亿m³,现状供水能力7.16亿m³;提水工程830座,设计供水能力1.91亿m³,现状供水能力1.85亿m³;无调水工程。2008年袂花江流域地表水供水能力见表1。

亿m³

影响因素和决策变量很多,因此,本文以大系统“分解协调”理论作为技术支持,进行递阶分析(递阶模型见图2),同时采用多目标分析方法构建模型,用多年长系列时历法对其进行求解。

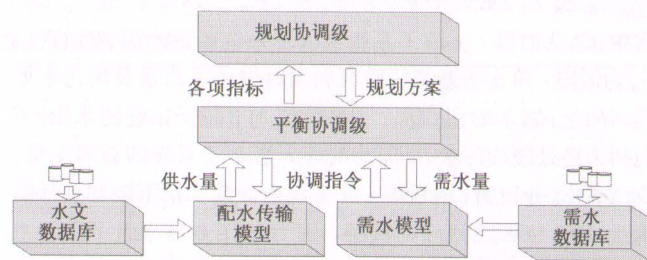


图2 水资源合理调配系统递阶框架

把一个规模较大的复杂系统分解成许多“独立”的子系统,分别建立子模型,然后根据子系统模型的性质以及子系统的目标和约束条件,采用不同的优化技术求解。子系统之间用耦合变量进行信息传递。信息的传递由高一级系统控制和耦合,以使全系统达到最优。这种分散处理的方法使规划人员可以分析和了解下层子系统的行为,并把所得到的信息传递到为数较少的上层系统中。这种分解和多级最优化的分析方法在解大规模复杂的水资源规划问题时非常有用,它突出的优点是使系统的模型更为逼真,在一个系统模型内可以使用多种模拟技术和最优化技术。

首先,将整个水资源系统分解为需水子系统和供水子系统作为递阶模型的第一级。供水子系统的输出之一——供水量即为需水子系统的输入,而需水子系统向供水子系统提出需水要求,后者据此考虑向需水子系统供水。第二级平衡协调级依据关联预估法原理先预估供水变量 q_t ,它是库群调度函数(表、图)、配水规则及需水过程的函数。供、需水子系统分别运行得到的有关信息反馈给协调级,后者再按要求的目标修改配水系统和用户供水权重等加以调整,如此反复迭代,直至协调级的目标被优化为止。因此,预估关联变量是本模型的协调变量。第三级是规划决策级。得到最终优化配水决策方案。

2.2 多目标分析模型

本文采用多目标分析模型,即主要按地表水水系兼顾地下

收稿日期:2012-02-17

作者简介:黄燕(1979-),女,工程师。E-mail: yhns@sina.com.cn。

水分布并结合供水系统及县级行政区划等因素将水资源系统划分为若干计算单元。本模型的功能是根据预估的供水变量结合各子系统其他可利用的水资源量,在各子系统和各用户间进行优化分配。

2.2.1 目标函数

(1)供水净效益最大:

$$\max \left\{ \sum_{n=1}^P \sum_{i=1}^T w_{li} S_{ni}^d + w_{li} S_{ni}^i + w_{li} S_{ni}^a \right\}$$

$$S_{ni}^d + S_{ni}^i + S_{ni}^a = S_{ni}$$

$$S_{ni} = \zeta_n q_{ni} \beta_n$$

水质满足要求 $\beta_n = 1$, 反之 $\beta_n = 0$

式中: w_{li} 、 w_{li} 、 w_{li} 分别为生活、工业、农业供水量的综合效益权重; S_{ni}^d 、 S_{ni}^i 、 S_{ni}^a 分别为 t 时段第 n 子系统的城市生活、工业和农业净供水量; S_{ni} 为时段 t 第 n 子系统的总净供水量; q_{ni} 为时段 t 第 n 子系统可利用水量; ζ_n 为第 n 子系统的供水有效利用系数。

(2)总需水保证:

$$Q_{ni}^d + R_{ni} + W_{ni} - Q_{ni}^d + G_{ni} \leq DE_{ni}$$

$$DE_{ni}^d + DE_{ni}^i + DE_{ni}^a = DE_{ni}$$

$$DE_{ni}^d \leq S_{ni}^d \leq DE_{ni}^d \quad DE_{ni}^i \leq S_{ni}^i \leq DE_{ni}^i \quad DE_{ni}^a \leq S_{ni}^a \leq DE_{ni}^a$$

式中: Q_{ni}^d 为时段 t 上游子系统流入子系统 n 的水量; R_{ni} 、 W_{ni} 、 G_{ni} 为时段 t 第 n 子系统区间可利用地表地下水及废污水处理回用量; Q_{ni}^d 为时段 t 第 n 子系统流入下游子系统的水量, 不包括未经处理的污水; DE_{ni} 为时段 t 第 n 子系统的总需水量; DE_{ni}^d 、 DE_{ni}^i 分别为时段 t 第 n 子系统生活需水量下限和生活需水量; DE_{ni}^i 、 DE_{ni}^a 分别为时段 t 第 n 子系统工业需水量下限和工业需水量; DE_{ni}^a 、 DE_{ni}^a 分别为时段 t 第 n 子系统农业需水量下限和农业需水量。

(3)防洪目标保证:

$$V_{ij} \leq VF_{ij}, Z_{ni} \leq Z_{n,\max}$$

式中: V_{ij} 、 VF_{ij} 分别为第 j 水库时段 t 的蓄水量和防洪限制库容; Z_{ni} 、 $Z_{n,\max}$ 分别为第 n 子系统时段 t 河道水位及防洪限制水位。

(4)生态环境用水量保证:

$$q_{ni} \in [VE_{ni,\min}, VE_{ni,\max}]$$

式中: $VE_{ni,\min}$ 、 $VE_{ni,\max}$ 分别为第 n 子系统在 t 时段的最小与最大生态环境需水量。

2.2.2 约束条件

鉴于袂花江具体情况,采用河库联合调度配水。水库供水典型年入库流量过程通过调蓄计算确定,水量在河道传播过程中考虑区间径流的加入和取出。

(1)水库。

①水库水量平衡:

$$V_t = V_{t-1} + I_t - \frac{1}{2} L_t (V_t + V_{t-1}) - Q_t - r_t - X_t$$

式中: V_{t-1} 、 V_t 分别为 t 时段初、末水库蓄水量; L_t 为 t 时段水库损失(包括蒸发损失和渗漏损失)系数; I_t 为 t 时段水库入库流量; Q_t 为 t 时段水库灌溉供水量; r_t 为 t 时段水库向地下含水层的回灌水量; X_t 为 t 时段水库弃水量。

②调节周期:

$$V_0 = V_r$$

对年调节水库,年初蓄水量 V_0 和年末蓄水量 V_r 相等。

③死库容约束:

$$V_t \geq V_D$$

任何时期水库蓄水量 V_t 不小于死库容 V_D 。

(2)河道。

①节点水量平衡:

$$Q_{t,i} = Q_{t,i-1} + R_{t,i} - U_{t,i} - S_{t,i} - D_{t,i}$$

式中: $Q_{t,i}$ 、 $Q_{t,i-1}$ 分别为 t 时段本节点和进入本节点的流量; $R_{t,i}$ 为 t 时段进入河段的区间径流; $U_{t,i}$ 为 t 时段河段水量损失(包括蒸发、渗漏及输水损失); $S_{t,i}$ 为 t 时段本节点总供水流量; $D_{t,i}$ 为 t 时段经本节点向下节点的分流量。

②水质约束:

$$SS_{t,i} = \zeta_i S_{t,i} \beta_i \quad (\text{水质满足要求 } \beta_i = 1, \text{ 反之 } \beta_i = 0)$$

式中: $SS_{t,i}$ 为 t 时段本节点实际净供水流量; β_i 为本节点水质控制系数; ζ_i 为本节点供水的有效利用系数。

③水位约束:

$$Z_{t,i} \geq ZS_{t,\min}$$

式中: $Z_{t,i}$ 、 $ZS_{t,\min}$ 分别为 t 时段本节点河道水位和河道取水最低水位。

(3)非负约束。一切变量均不能取负值。

2.3 模型条件

2.3.1 方案组合

采用 1970—2008 年水资源径流系列(包括水库、区间来水),以 2020 年需水量为计算依据,运用多目标水资源配置模型对其进行合理配置。本次配置将假定 4 种方案并从中优选,分别为①袂花江天然来水情况下,河库联合调度后,袂花江流域水资源余缺水情况;②袂花江石角坝提水量分别小于、等于、大于 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,流域余缺水情况。见表 3。

表 3 袂花江流域水资源配置方案设置

方案	需水方案	供水方案
方案 1		袂花江天然来水情况下,袂花江流域供水方案
方案 2	规划水平	袂花江石角坝引水能力 $3 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,袂花江流域供水方案
方案 3	年需水	袂花江石角坝引水能力 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,袂花江流域供水方案
方案 4		袂花江石角坝引水能力 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,袂花江流域供水方案

2.3.2 模型运行规则

(1)流域供水优先顺序。袂花江是流域内、外 100 余万人的生产、生活水源地,供水任务艰巨,为保障供水安全,确定流域供水顺序为袂花江、罗黄灌区、博贺港区。

(2)尊重现状用水原则。对于流域内已获得取水许可证的单位给予认可,其取水量优先配给。

(3)河库调度规则。优先满足袂花江石角坝下游生态用水。只有在下游生态用水满足时,石角坝提水泵站才能提袂花江河水供其他用水使用,石角坝的来水量减去下游生态、生活和农业用水量后为石角拦河坝处的可利用水量。石角拦河

坝提水泵站的实际提水量是拦河坝处的可利用水量和泵站可提水量的最小值。河道闸坝不具备调节能力,来水不能进行调蓄,水库具有调节能力,故优先采用袂花江河道径流,再采用水库补水,实行河库联调。

(4)其他约束。包括水库水量平衡约束河道节点水量平衡约束、非负约束。

配置概化图如图 3。

2.4 优化调度模型求解

本次研究将袂花江新河水文站、罗坑、黄沙水库的来水量及不同子区的用水量经过一定的技术处理,得到 1970—2008 年长系列的月可供水量与月需水量,以月为配水时段和年为计算周期进行长系列调算。求解过程中,按供水用途确定各个子区调配顺序为生态、生活、工业、农业。

本次研究假定袂花江石角坝提水能力分别为 0 、 3 、 5 、 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 4 种情况时,袂花江流域内外多年平均供水保证率,其结果见表 4。

根据备选方案的差异,从社会、经济、环境三方面对其进行评价和优选。从社会效益评价,方案四缺水最小(5744 万 m^3),方案三供水基尼系数最小(0.2876);从经济效益评价,方案四供水总量最大(43383 万 m^3),但工程投资明显高于其他

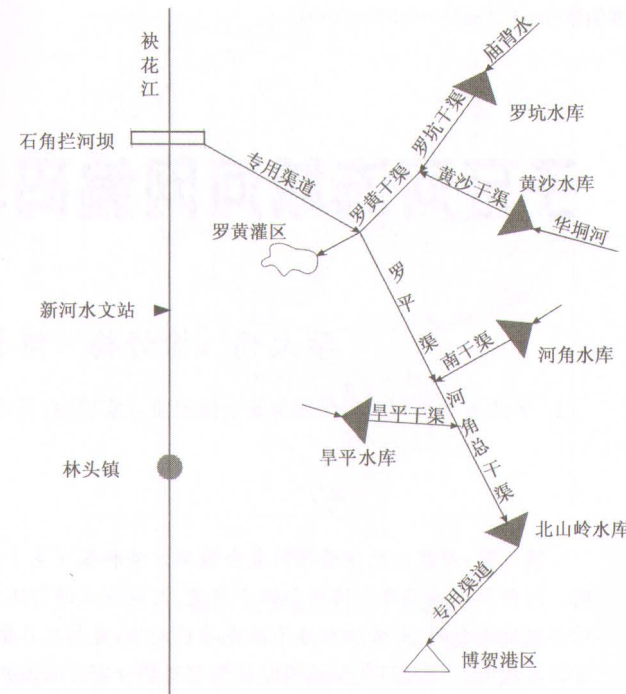


图 3 水资源配置概化图

表 4 袂花江流域多年平均水资源供需平衡统计表

方案	分区	需水量			供水量			缺水量			总配水		供水保证率/%
		生活	工业	农业	生活	工业	农业	生活	工业	农业	供水量	缺水量	
方案一	袂花江	4 149	1 580	18 076	4 110	1 496	17 497	39	84	579	23 103	702	96.96
	罗黄灌区	2 007	888	12 003	1 550	659	6 771	457	229	5 232	8 979	5 919	34.09
	博贺港区		10 156			4 420			5 737				无法保证
方案二	袂花江	4 149	1 580	18 076	4 111	1 499	17 577	38	81	498	23 187	618	97.34
	罗黄灌区	2 007	888	12 003	1 628	706	8 571	379	181	3 432	10 905	3 993	63.39
	博贺港区		10 156			6 464			3 692				42.88
方案三	袂花江	4 149	1 580	18 076	4 115	1 546	17 665	34	78	411	23 326	522	97.76
	罗黄灌区	2 007	888	12 003	1 693	574	9 265	314	152	2 738	11 531	3 204	72.21
	博贺港区		10 156			7 301			2 855				60.90
方案四	袂花江	4 149	1 580	18 076	4 122	1 524	17 719	27	56	357	23 364	440	98.12
	罗黄灌区	2 007	888	12 003	1 746	764	9 792	261	124	2 211	12 302	2 596	78.90
	博贺港区		10 156			7 716			2 440				68.38

方案,供水保证率也无显著提高;从环境评价,各方案生态环境供水保证程度相当。综合考虑认为本次配置方案三为最优方案,即石角拦河坝提水能力为 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,按本调度规则配置,袂花江流域水资源利用率最高。

3 结论

华南湿润地区水资源时空分布不均,水资源开发利用体现季节性缺水特征,随着地区工业化进程加快及粗放型用水,形成用水多—排污多—水质型缺水的恶性循环,水安全形势较为严峻。结合研究区现状水资源状况及其开发利用基础上,根据区域来水条件,综合现有引水灌区,当地的蒸发、渗漏资料、用水情况,通过河库联合调度模型进行供需平衡分析。在此基础上,以促进区域经济、社会及生态环境的协调发展为目标,以大系统“分解协调”理论作为技术支持,建立了袂花江流域可持

续利用水资源联合调配优化模型,提出了适合区域经济社会发展的水资源高效利用方案。

参考文献:

- [1] 王树谦,陈南祥. 水资源评价与管理[M]. 北京:水利电力出版社, 1996.
- [2] 陈南祥. 复杂系统水资源合理配置理论与实践[D]. 西安:西安理工大学, 2006.
- [3] 王浩,王林. 水资源配置理论与方法探讨[J]. 水利规划与设计, 2004, (3).
- [4] 刘丙军,陈晓宏,张灵,等. 中国南方季节性缺水地区水资源合理配置研究[J]. 水利学报, 2007, (6).
- [5] 方红远,陈志春,刘彦朵,等. 南方湿润区域水资源供需分析及配置方法研究[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2007, (2).