

鉴江流域水资源供需平衡优化决策模型研究

沈佩君 王华杰 郭元裕

(武汉水利电力大学 武汉 430072)

向旭 林旭钊

黄晓东

(广东省水利厅 广州 510150) (广东省茂名市水电局 广东茂名 525000)

摘要 以鉴江流域供水系统为研究对象,根据大系统分解协调的原理,建立具有仿真性好、信息量大、灵活通用等特点的多层次长系列模拟模型。研究成果表明,整个模型系统简明合理,很好地解决了鉴江流域复杂水资源系统的供需平衡优化决策问题。

关键词 水资源供需平衡 联合供水 长系列模拟模型 鉴江流域

鉴江是粤西沿海最大的河流之一,全长232km,流域总面积946km²。流域内支流众多,大多汇入干流后入海,也有单独入海的;现有大型水库2座,中型水库4座,小型水库200余座,塘坝2000余处,水轮泵站2处。其中高州水库为鉴江流域主体水利工程,由良德、石骨两水库通过人工开挖渠(渠底高程81.0m)连通而成。此外,沿鉴江干流建有6处梯级引水工程,沿袂花江支流建有2处引水工程。随着国民经济发展和“九五”规划的实施,用水需求将迅速增长。鉴江流域水资源总量虽较丰沛,但由于时、空分布与用户需求不相适应,供需矛盾日益突出,为此,有必要对鉴江流域水资源进行供需平衡优化决策研究。

1 流域水资源系统概化网络图

鉴江流域供水系统是一个引、蓄、提结合,多水源、多用户的复杂水资源系统,为进行其供需平衡优化决策,有必要对其合理概化,绘制能够表征系统内各水利工程的位置以及与各用户、各水源间相互联系的网络图。概化原则有:①根据流域内水源分布与地形条件,将整个系统划分为相互独立而又联系

的4个供水片(即鉴江干流片、袂花江片、高州水库片、罗黄水库片)和12个供水区;②除热水、早平、河角三处中型水库因渠系相通并对同一供水区供水可以复合外,其余所有大、中型水库和引水工程均不复合,分别向供水区供水或联合运行;③小型水库、塘坝和地下水等分散零星水源分别由所在供水区包干使用,概化网络图中不予列出。由此建立的鉴江流域水资源供需概化网络图如图1所示。

图1中,高州水库除对自身供水区供水外,还可对鉴江干流供水片和袂花江供水片(共8个供水区)补水;罗坑、黄沙两水库除对其直灌区(即罗黄供水区)供水外,还可对电白供水区补水,以弥补热水、早平和河角三水库供水的不足。由于地形条件限制,不考虑高州水库对罗黄供水片补水;另因罗黄水库来水并不充裕,也不考虑其对袂花江供水片供水。

2 水资源供需平衡优化决策模型

2.1 建模思路

由以上概化网络图可见,鉴江流域水资源系统可分解为两个相互独立的子系统,即

型和模块设计技术,建立由2个子系统和7个子模块(包括输入和输出子模块)组成的供需平衡模拟模型,计算结构图如图2所示。

模型系统的运行规则如下:

a. 为了充分开发和合理利用流域内水资源,应先用河流水,后用水库水;先用各供水区当地水,后用区外水。为此子系统Ⅰ的模块操作顺序应为:先操作鉴江干流和袂花江供水子模块,后操作高州水库联合供水子模块。而对于子系统Ⅱ,则先操作电白供水子模块,后操作罗黄水库供水子模块,以便尽量发挥水库的补偿和反调节作用。

b. 在供水次序上,应先满足城乡居民生活用水,其次是工业用水,再次才是农业灌溉用水。

c. 水库不考虑专门发电供水,发电完全结合或服从于工农业和生活供水进行。

d. 高州水库在模拟运行中,当库水位在81.0m高程以上时,作为单库调度;当库水位降至81.0m以下时,则按良德水库和石骨水库分别调度。

下面分别介绍两个子系统的模拟模型。

2.2 高州水库联合供水子系统模拟模型

高州水库联合供水子系统包括鉴江干流供水,袂花江供水及高州水库联合供水三个子模块,分别处于模型结构图中的上、下两层(见图2),其中鉴江干流供水子模块和袂花江供水子模块之间并无水量联系,但它们均可由高州水库补水。

2.2.1 鉴江干流供水子模块模型

鉴江干流上共有秧地坡等6个引水供水区,利用干流上游及各区间河段的来水进行供水

a. 目标函数:以供水区亏水量最小为目标

$$Z = \min \left\{ \sum_{y=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^K WM(i, j, y) \right\} \quad (1)$$

式中 Z 为目标值; i, j, y 分别为区间河段序号、时段序号和年份序号,其中区间河段从下游往上排序; K, M, N 分别为区间河段总数、时段总数和年份总数; $WM(i, j, y)$ 为第

y 年第 j 时段第 i 区间河段的亏水量。

b. 约束条件:有区间引水能力约束和余水量利用约束等。

c. 模拟运行方程:

$$EM(i, j, y) = RM(i, j, y) - MS(i, j, y) \quad (2)$$

$$EM(i, j, y) = EM(i+1, j, y) - WM(i, j, y) \quad (3)$$

式中 $EM(i, j, y), RM(i, j, y), MS(i, j, y)$ 分别为第 y 年第 i 时段第 j 区间河段的余水量、净入流量及须供水量。

考虑到利用河流径流时,不但应充分利用区间河段承纳的径流量,还应充分利用该区间河流上游的余水量。因此,河流径流供水子模块可首先采用由下游按区间向上游逐级演算,求出各区间河段可供水量亏水量及余水量;其次再由上游逐级往下游演算,求出各区间河段可利用的上游余水量、利用上游余水量后仍亏缺的水量以及可供其下游区间河段利用的余水量等。而河流供水子模块中的亏缺水量,将由高州水库尽可能给以补充,因此模拟运行方程还需分自下游向上游演算和自上游向下游演算两种情况,下面进一步描述。

2.2.1.1 自下游向上游演算

a. 如果在按式(2)自下游向上游各区间河段计算中,得 $EM(i, j, y) \geq 0$,则取

$$WM(i, j, y) = 0$$

$$KM(i, j, y) = MS(i, j, y)$$

b. 如果在按式(2)自下游向上游各区间河段计算中,得 $EM(i, j, y) < 0$,则取

$$WM(i, j, y) = -EM(i, j, y)$$

$$EM(i, j, y) = 0$$

$$KM(i, j, y) = MS(i, j, y) - WM(i, j, y),$$

式中 $KM(i, j, y)$ 为第 y 年第 j 时段第 i 区间河段的可供水量。

2.2.1.2 自上游向下游演算

a. 检查并记下第 K 区间河段 $EM(i, j, y), WM(i, j, y)$ 及 $EM(i, j, y)$ 的值。

b. 对第 $K-1$ 河段进行计算,如果

$WM(i, j, y) = 0$ 则取

$$EM(i, j, y) = EM(i+1, j, y) + EM(i, j, y)$$

如果 $WM(i, j, y) > 0$, 且 $EM(i+1, j, y) \geq WM(i, j, y)$, 则按式(3) 计算 $EM(i, j, y)$

$$KM(i, j, y) = KM(i, j, y) + WM(i, j, y)$$

如果 $WM(i, j, y) > 0$, 且 $WM(i, j, y) > EM(i, j, y)$, 则

$$WM(i, j, y) = WM(i, j, y) - EM(i+1, j, y)$$

$$KM(i, j, y) = KM(i, j, y) + EM(i+1, j, y)$$

$$EM(i, j, y) = 0$$

c. 如果该河段是属于有水轮泵站的南盛或江边村河段, 则应对该区间河段可供水量 $KM(i, j, y)$ 在各用户间进行分配, 对于分配给农业的可供水量, 应把其中用于推动水轮泵提水的份额作为下一区间余水, 以便重新利用。

d. 返回步骤 b, 继续进行下一区间河段的计算, 直到 $i = 1$ 时终止。

e. 记下各年各时段各区间河段的亏缺水量及其在各用户间的分配数, 以便由高州水库放水补充。

2.2.2 袂花江供水子模块模型

袂花江上有共青河和名利两个引水区, 其模拟模型与鉴江干流供水子模块类同, 从略。

2.2.3 高州水库联合供水子模块模型

它是联系鉴江干流供水和袂花江供水子模块、高州水库来水及其各直灌区需供水量的一个子模块, 主要用以确定高州水库对鉴江供水片、袂花江供水片及其各直灌区的各种可供水量和亏水量, 仍采用模拟模型。

a. 目标函数: 以亏水量最小为目标

$$Z = \min \left\{ \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{y=1}^2 W(i, j, y) \right\} \quad (4)$$

式中 i 为水库号, $i = 1$ 指良德水库, $i = 2$ 指石骨水库; $W(i, j, y)$ 为第 i 水库在第 y 年第 j 时段的亏缺水量; 其余符号意义同前。

b. 模拟运行方程:

$$VG(j+1, y) = VG(j, y) + \sum_{i=1}^2 R(i, j, y) - \sum_{i=1}^2 PM(i, j, y) - \sum_{i=1}^2 US(i, j, y) \quad (5)$$

$$V(i, j+1, y) = V(i, j, y) + R(i, j, y) - PM(i, j, y) - US(i, j, y) \quad (6)$$

式中 $VG(j, y)$ 为高州水库在第 y 年第 j 时段初的库容; $V(i, j, y)$ 为第 i 水库在第 y 年第 j 时段初的库容; $R(i, j, y)$ 为第 i 水库在第 y 年第 j 时段的净入流量; $US(i, j, y)$ 、 $PM(i, j, y)$ 分别为第 i 水库在第 j 时段的各直灌区的需供水量和对鉴江干流或袂花江的补水量。

当高州水库水位高于 81.0 m 时, 用式(5)模拟水库蓄放水运行方程; 当水库水位低于 81.0 m 时, 用式(6)分别对良德、石骨水库进行水库的入流和出流过程模拟。

c. 约束条件: 有库容约束、放水流量约束和边界约束等, 从略。

2.3 罗黄供水子系统模拟模型

罗黄供水子系统模型包括两个子模块, 分别处于图 2 中上、下两层。其中第一层为电白供水区和热水、旱平、河角复合水库供需平衡子模块(简称电白供水子模块), 第二层为罗坑、黄沙两水库联合供水子模块(简称罗黄供水子模块), 它与第一层子模块的联系是向第一层子模块的亏水时段进行补水。

2.3.1 电白供水子模块模型

a. 目标函数: 以亏水量最小为目标

$$Z = \min \left\{ \sum_{j=1}^N \sum_{y=1}^M W(j, y) \right\} \quad (7)$$

式中 $W(j, y)$ 为电白供水区在第 y 年第 j 时段的亏水量。

b. 模拟运行方程:

$$V(j+1, y) = V(j, y) + R(j, y) - US(j, y) \quad (8)$$

式中 $V(j, y)$ 为复合水库在第 y 年第 j 时段初的库容; $R(j, y)$ 为复合水库在第 y 年第 j 时段的净入流量; $US(j, y)$ 为电白供水区在第 y 年第 j 时段的需供水量。

c. 约束条件: 有库容约束、放水流量约束和边界约束等, 约束方程从略。

2.3.2 罗黄供水子模块模型

它是联系罗坑、黄沙两水库直灌区和电

白供水区进行供需水平衡的子模块,主要用以确定罗黄两水库对其直灌区及电白供水区的供水量、补水量和亏水量。

a. 目标函数:以罗、黄两水库的需供水亏缺总量最小为目标,相应的目标函数为

$$Z = \min(\{\sum_{y=1}^N \sum_{j=1}^M W(j,y)\}) \quad (9)$$

式中 $W(j,y)$ 为第 y 年第 j 时段罗、黄两水库总需供水量的亏缺水量。

b. 模拟运行方程:这一模块的运行准则是罗、黄两水库的总需供水量按库容系数比例直接分配到罗坑和黄沙水库,当其中一个水库供水不足时,另一水库水位只要在死水位以上,即对其补水,其模拟运行方程可写为

$$V(i,j+1,y) = V(i,j,y) + R(i,j,y) - \beta_i \cdot IS(j,y) \quad (10)$$

式中 β_i 为第 i 水库的分水系数,分别按罗坑及黄沙水库的库容系数求得 $\beta_1 = 0.44, \beta_2 = 0.56$; $V(i,j,y), R(i,j,y)$ 为 i 水库在第 y 年第 j 时段初的库容及净入流量; $IS(j,y)$ 为第 y 年第 j 时段罗坑、黄沙两水库的总需供水量。

c. 约束条件:有库容约束、放水流量约

束和边界条件约束等,从略。

3 成果分析

利用鉴江、袂花江等水文站的径流资料和各水库的水位、出库流量等观测资料,求得1961~1991年长系列河流及各水库的来水系列;并根据该流域社会发展规划与用水预测系列资料,编成数据文件;按上述数学模型,对鉴江流域供水系统进行了不同水平年多方案计算,限于篇幅,仅列出2010水平年的计算成果,见表1和表2(表中A代表工业和城市生活用水,B代表农村生活用水,C代表农业灌溉用水)。

由表1和表2可知,整个供水系统多年平均需供水量为34.36亿 m^3 ,其中鉴江干流供水17.22亿 m^3 ,占50.1%;袂花江供水3.65亿 m^3 ,占10.6%;高州水库供水8.42亿 m^3 ,占24.5%;罗、黄两库及复合水库供水3.12亿 m^3 ,占9.1%;亏水1.96亿 m^3 ,占5.7%。

另外,从供水保证率分析,2010水平年高州水库联合供水子系统的生活及工业用水

表1 高州水库联合供水子系统2010年来、用水平衡表(多年平均)

万 m^3

灌区名称	供 水 量										亏 水 量			
	鉴江(袂花江)径流			高州水库			合 计				A	B	C	合计
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	合计				
吴 阳	5510	444	1805	1523	138	726	7033	582	2531	10146	85	14	136	235
积 美	9214	494	1969	1595	125	729	10809	619	2698	14126	99	13	144	256
高 岭	28065	545	20123	399	27	3162	28464	572	23285	52321	147	8	343	498
江边村	3069	58	5847	558	34	6673	3627	92	12520	16239	23	2	729	754
南 盛	74832	864	6087	14305	482	5561	89137	1346	11648	102131	728	34	699	1461
袂地塘	5453	351	7464	15	1	168	5468	352	7632	13452	2	0	62	64
鉴江合计	126143	2756	43295	18395	807	17019	144538	3563	60314	208415	1084	71	2113	3268
名 利	1773	192	1846	0	0	29	1773	192	1875	3840	0	0	18	18
共青河	27439	520	4709	4651	320	4789	32090	840	9498	42428	225	19	471	715
袂花江合计	29212	712	6355	4651	320	4818	33863	1032	11373	46268	225	19	489	733
高州水库直灌区	0	0	0	15319	1371	21444	15319	1371	21444	38134	204	36	1033	1273
高州总合计	155355	3468	49850	38365	2498	43281	193720	5966	93131	292817	1513	126	36435	5274

表2 罗黄供水子系统2010年来、用水平衡表(多年平均)

万 m^3

灌区名称	供 水 量										亏 水 量			
	三水库复合			罗黄水库			合 计				A	B	C	合计
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	合计				
电 白	8355	30	226	10429	274	4338	18784	304	4564	23652	4854	214	4147	9215
罗 黄	0	0	0	2777	235	4505	2777	235	4505	7517	869	166	4101	5136
总 计	8355	30	226	13206	509	8843	21561	539	9069	31169	5723	380	8248	14351

量保证率仍可达到要求,一般均大于等于 97%;但对农业用水,按年计,其保证率仅在 70%~87%之间,即使按水量计,也有个别供水区的农业用水保证率达不到 95%。而罗黄供水子系统,即便是生活及工业等优先用水户的水量保证率也只有 80%,农业用水的水量保证率则仅为 52%;如果农业用水按年统计或生活和工业用水按时段统计,则农业用水年年出现亏缺情况,生活及工业用水也有一半时段出现亏缺,说明罗黄供水子系统水资源量缺口较大,拟提出增建小型水库和提水泵站的建议予以解决。

4 结 语

a. 本文运用系统分析的方法,对鉴江流域水资源系统进行了供需水平衡优化决策,成果可供生产单位参考。

b. 根据大系统分解协调原理,本文建立了具有仿真性好、信息量大、灵活通用等特点的多层次长系列模拟模型。在进行鉴江及袂花江供水片长系列供需平衡优化决策计算中,创新地提出了先下游至上游(逆流向),再上游到下游(顺流向)的计算方法,计算简便、成果合理,有推广应用价值。

c. 关于水资源供需平衡中的不确定性问题,有待进一步研究。

参考文献

- 1 郭元裕,李寿声.灌排工程最优规划与管理.北京:水利电力出版社,1994
- 2 沈佩君等.多种水资源的联合优化调度.水利学报,1994(5):1~8
- 3 华士乾.水资源系统分析指南.北京:水利电力出版社,1988

(收稿日期:1996-01-24)

岷江太平驿水电站全部建成

由电力部成都勘测设计研究院负责设计并承担监理工作的四川岷江太平驿水电站,位于四川省阿坝州汶川县境内,是岷江干流上继映秀湾电站修建后的第二座引水径流式电站。该电站以发电为单一目标,兼顾漂木;电站装机 4 台,总容量为 26 万 kW,保证出力 10.5 万 kW,年平均发电量 17.2 亿 kW·h,年利用小时 6615 h。工程由中国华能集团公司、阿坝州政府和能源投资公司合资建设,采用业主负责制、招标承包制和建设监理制。主体工程于 1991 年 7 月 1 日开工,1992 年 11 月 8 日河床截流,1994 年 10 月 29 日第一台机组启动并于 11 月 7 日正式并网运行,比原计划提前 2 个月发电。1995 年,第二、三、号机组相继投入运行。

该工程由首部枢纽、引水系统和厂区枢纽三大部分组成。拦河最大闸高 29.1 m,闸顶长 232 m;无压引水隧洞长 10.5 km,直径 9 m,末端设直径 28.6 m 的地下差动式调压室和 2 根直径为 6 m 的压力管道;主、副厂房和主变室尺寸为 19.7 m×110.2 m×41.2 m。拦河闸闸基置于 80 余米厚的覆盖层上,采用以水平铺盖为主的闸基防渗方案,该工程采用国内最大的地下双升管差动式调压室(直径 28.6 m,高度 80 m),地下厂房采用岩壁吊车梁、大跨度拱形预制钢筋混凝土吊顶等先进技术;漂木闸采用下沉式弧形门设计,填补了国内水电行业的空白;厂区供水因地制宜,首次将压力式一体化净水新工艺用于厂区供水,为今后水电站的供水和水处理净化处理设计开

辟了新途径;电站采用常规与计算机监控相结合的自动控制系统。

目前,机组运行工况良好,自动控制保护设备灵活正常,达到预期的设计目标。经建设单位初步决算表明,工程总投资较概算节省约 7000 万元,为国内同期建设的水电工程少有。主体工程建设仅用 40 个月,创造了国内中型水电站建设速度的新纪录。

1996 年 2 月 3 日,该电站第 4 号机组启动运行成功。至此,电站全部建成发电。(李春辉 供稿)

=====

《农村经济与科技》征订启事

《农村经济与科技》杂志是一份面向全国统一发行的农业综合性科技月刊,它宣传农村政策、交流先进经验、推广先进技术、传递可靠信息、表达基层心声,积极为农村、农业、农民服务。辟有农村论坛、专家访谈、经营管理、基层党建、企业之声、生态环保、作物栽培、畜禽养殖、水产养殖、林果特产、良种繁育、土肥植保、农产品开发、水利农机、科技短波、知识窗、致富快车、乡镇百花等三十多个栏目。

《农村经济与科技》16 开本,48 页,激光照排,彩封精印。全年 12 期,每期定价 2.60 元,全年定价 31.2 元,刊号:CN42-1374/S,邮发代号:38-206。如在当地邮局订阅有困难,可通过邮局汇款,直接向本刊编辑部订阅。本刊承办广告业务,欢迎广告客户惠至。地址:441021 湖北省襄樊市檀溪路 70 号;开户银行:襄樊市农行西门办事处;帐号:873100655;电话:(0710)3529741。