

基于模拟技术的灌区水资源供需平衡分析

杜发兴¹ 梁 川¹ 程玉华²

(1. 四川大学水利水电学院, 四川 成都 610065; 2. 四川大学制造学院, 四川 成都 610065)

摘要 利用系统工程的思想, 建立灌区水资源需水计算的数字模拟模型, 并对都江堰灌区水资源开发利用现状及灌区水资源供需平衡进行了分析。以都江堰灌区为例, 将灌区分为若干子区, 分析该流域的供水能力、供需现状及供需发展情况。讨论各规划水平年水源工程和解决分区内水资源紧缺问题。

关键词 数字模拟技术 都江堰灌区 水资源 供需平衡

中图分类号 S274 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2006)03-0005-04

Analysis of water supply and demand equilibrium based on simulation technique

DU Fa-xing¹, LIANG Chuan¹, CHENG Yu-hua²

(1. School of Hydraulic Engineering, Sichuan University, Chendu 610065, China; 2. School of Manufacturing, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract A mathematical model was established for water demand computation in irrigation districts based on system engineering theory. The exploitation and utilization of water resources and water supply and demand equilibrium in Dujiangyan irrigation district were analyzed. Water supply capacity and present situation and its future development of supply and demand were discussed by dividing the Dujiangyan irrigation district into several parts. Water source projects under different planning years were discussed, and countermeasures were put forward to solve the scarcity of water resources.

Key words mathematical simulation technique; Dujiangyan irrigation district; water resources; supply and demand equilibrium

水资源供需分析是以区域现状和预测水资源系统、社会经济系统及供需水系统的状况和发展趋势为基础, 对各水平年的供需水系统主要特征参数和性态进行定性、定量的综合分析。在水资源系统供需分析过程中^[1], 如果用数学规划模型求解, 过程将十分复杂, 有些情况下甚至无法求解, 利用建立在系统理论基础上的水资源系统数字模拟技术进行区域水资源需水计算, 可以解决这些问题, 真实地反映区域的需水现状。

本文在分析东风渠灌区地表水和地下水可供水量及灌区用水量的基础上, 根据作物的生长特性, 通过地表水与地下水的联合运用, 对灌区不同灌溉保证率和不同水平年的情况进行灌溉用水量的计算,

并对灌区水资源供需平衡进行了分析。从而为区域水资源的合理开发利用、区域开发与规划、区域经济社会-生态持续协调发展提供决策支持。

1 模拟模型

1.1 灌溉需水量计算的主要数学物理模型

a. 目标函数。以灌区水资源一定情况下的灌区多年(30 a)总净效益值 f 最大为目标^[2,3]:

$$\max f = \sum_{t=1}^{30} \frac{1}{(1+0.07)^t} \sum_{i=0}^m \left[\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (P_j Y_{ijt} - C_{ijt}) - C_i \right] A_{ij}$$

式中: Y_{ijt} 为 i 子区 j 作物第 t 年的单位面积产量; C_{ijt} 为 i 子区 j 作物第 t 年的单位面积农业费用(包括种子、肥料、农药、耕作、地膜、灌溉等费用), 元/hm²;

C_i 为 i 子区各项工程的年费用 ; A_{ij} 为 i 子区 j 作物种植面积 ,作决策变量 ; P_j 为 j 作物产品单价 ; α_{ij} 为 i 子区 j 作物种植比 0.07 为贴现率。

b. 降雨对地下水的补给模型

$$G = ap^2 + bp + c$$

式中 : G 为降雨对地面水的补给量 ; p 为降雨与前期影响雨量之和 ; a 、 b 、 c 为回归系数 ,对各子区实测资料分析确定。

c. 灌溉生产函数模型

$$y = y_m \left(1 - \beta \left(1 - \frac{p_v + M}{E} \right)^\gamma \right)$$

式中 : y 、 y_m 为作物实际产量及正常产量 ; p_v 为作物生育期有效降雨 ; M 为灌溉水量 ; E 为作物充分供水条件下的田间耗水量 ; β 、 γ 为灌区产量统计参数 ,调查统计确定 , $\beta = 0.6753$, $\gamma = 1.286$ 。

d. 农业投资模型。农业投资(元/hm²)是产量(kg/hm²)的线性相关函数

$$C_A = \alpha(y - 50) + C_0$$

式中 : C 为系数 ,元/kg 随作物而不同 ; C_0 为基本农业投资。

e. 工程年费用。井灌和渠灌工程基建投资的年值及年维修以常数计算 ,井灌动力费用则以每时段抽水量 M_g 和扬程 H_g 的不同按时段计算 ,即

$$C_g = 0.00272 C_e M_g H_g / \eta_p$$

式中 : C_g 为动力消耗费 ; C_e 为电价 ; η_p 为水泵机组

$$D = \begin{cases} 0 & V + I - V_0 \leq 0 \\ V + I - V_0 & 0 \leq V + I - V_0 \leq M_1 \\ M_1 & M_1 \leq V + I - V_0 \leq M_1 + V_1 \\ V + I - V_1 - V_0 & M_1 + M_2 \leq V + I - V_0 \leq M_1 + M_2 + V_1 \\ M_1 + M_2 & M_1 + M_2 + V < V + I - V_0 \leq M_1 + M_2 + V_1 + V_2 \\ V + I - V_1 - V_2 - V_0 & M_1 + M_2 + V_1 + V_2 < V + I - V_0 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{无水供应} \\ \text{向低灌区部分供水} \\ \text{向低灌区充分供水} \\ \text{向高低两灌区供水} \\ \text{全灌区充分供水} \\ \text{全灌区充分供水有废泄} \end{matrix} \quad (2)$$

式中 : D 为某时段水库放水量 , V 为某时段初水库蓄水量 ; I 为某时段水库净来水量 ; V_0 为死库容 ; V_1 为高低放水高程之间的库容 ; V_2 为兴利水位与高灌区放水高程间库容 ; M_1 为低灌区要求的某时段放水量 ; M_2 为高灌区要求的某时段放水量。

高低灌区的灌水如式(2)。子区间的灌水分配 ,则按各子区地下水补给量的大小 ,规定各子区地面水供水比例 ,按照这一比例由水库向各子区提供地面水 ,其余水由地下水提供。

2 水资源供需平衡分析实例

都江堰灌区位于四川盆地西部 ,地跨岷、涪、沱三江 ,东临涪江。总体规划面积为 2.86 万 km^2 ,现灌区幅员面积 2.32 万 km^2 ,受益范围包括成都、德阳、

效率。

1.2 主要作物的灌溉制度

作物灌溉制度是旱作物播种前或水稻插秧前以及全生育期内的灌水次数、每次的灌水日期和灌水定额以及灌溉定额。对于旱作物 ,任一时段内作物需要的供水量由下式决策 :

$$Q = \begin{cases} AH(S_{\max} - S) & S \leq S_{\min} \\ 0 & S \geq S_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

式中 : Q 为作物的需水量 ; A 为相应时段作物的种植面积 ; $S_{\max}$ 、 $S_{\min}$ 为作物的土壤含水量上下限 ,以体积含水率计 ; S 为未灌水时土壤含水率 ; H 为计划湿润的土层厚度。

对于水稻 ,在黄熟期后的灌溉制度参照旱作物灌溉制度(式(1))进行。在水稻的生育期内 ,任一时段内水稻需水量

$$Q = \begin{cases} A(h_{\max} - h) & 0 \leq h \leq h_{\min} \\ 0 & h \geq h_{\min} \end{cases}$$

式中 : $h_{\max}$ 、 $h_{\min}$ 为水稻适宜水层深度上下限 ; h 为未灌水时水田水层深度。

1.3 配水运行规则

大型水库以防洪为主兼顾灌溉兴利 ,水库任何时段的兴利蓄水位不得超过规定的限制水位 ,汛期为防洪限制水位 ,非汛期为水库周边作物种植高度。由于水库有高、几个放水孔 ,其调度规程比单一放水孔的放水规则要复杂 ,放水规则为

绵阳、乐山、眉山、遂宁、资阳 7 市 37 个县(市、区) ,总体规划灌溉面积 1500 万 hm^2 ,目前实际灌溉面积 1007 万 hm^2 。多年平均降雨量 $880 \sim 1250$ mm ;多年平均蒸发量 $875.1 \sim 1222.1$ mm。

2.1 都江堰灌区水资源现状^[4]

都江堰的水源主要是都江堰渠首工程以上的岷江来水 ,灌区周边山溪水和部分地下水为补充水源。都江堰渠首段多年平均径流量为 150.82 亿 m^3 ,其中都江堰年均引水 100.38 亿 m^3 。都江堰平原灌区地下水丰富 ,冲洪积扇顶部含地下水 10 m 以上 ,中、下部 $2 \sim 5$ m。平原灌区地下水贮存量约为 96.9 亿 m^3/a 。入渗地下水储量 40.14 亿 m^3/a 。平原灌区地下水年平均可开采量为 31.48 亿 m^3 ,见表 1。

表 1 都江堰灌区水资源总量

水源	岷江上		成都平原		丘陵区		边缘山	合计
	游来水	平原区径流	地下水	当地径流	地下水	区径流		
水量多年平均/亿 m ³	147.30	24.92	34.04	43.78	2.74	37.22	290	
占总量/%	50.80	8.59	11.71	15.06	1.04	12.80	100	

资料来源于四川省水利水电勘察设计院、四川省都管局的四川省都江堰灌区续建配套节水改造工程规划报告,2000。

2.2 供水区域概化网络

水资源系统有 3 个主要组成部分,即公共水源工程、用水子区、输水网络。在系统概化的时候,以线段代替输水网络,连接起水源工程和用水子区。对于连接相同水源工程和用水子区的多条输水管线或输水渠道,按照过流能力相等的原则归并为一条线路。根据都江堰水库供水区域的实际情况及灌区内部的供、用、耗、排之间的相互关系建立都江堰灌区网络(见图 1)。在此例中,供水区域只有部分偏远农村生活用水少量取自浅层地下水,其他用户均依靠地表水源供水,因此适当简化,不考虑地下水用作供水水源。

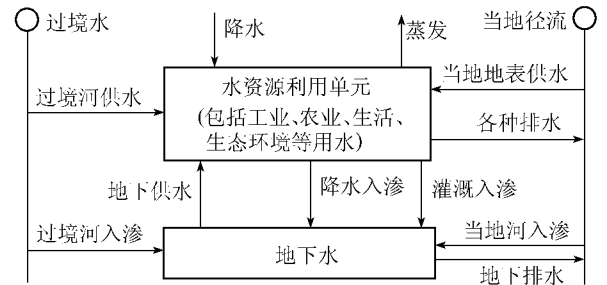


图 1 灌区渠系水资源系统概化

2.3 供需平衡的模拟计算

根据图 2 给出的系统结构和模拟模型计算框图^[5],按照水资源系统供需平衡计算的控制规则及模型,编制能代表系统“动作”的计算机程序,根据这

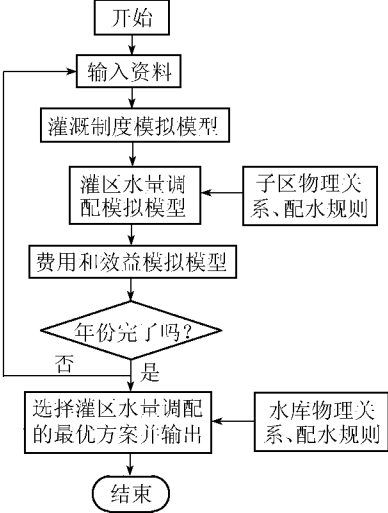


图 2 模拟模型计算框图

数字模拟程序进行水资源系统的供需平衡计算,分析出整个系统以及各用水子区、各个水利工程的灌溉需水情况。在模拟的过程中,把都江堰灌区分为 6 个子区,分别为:外江、人民渠、东风渠、龙泉山、黑龙滩和绵阳子灌区,各个灌区的种植作物种类为:水稻、夏玉米、杂粮、油菜、瓜蔬、草地、果树 7 类作物。以各类作物在不同子灌区的种植面积 A_{ij} 为决策变量,共计 42 个变量。都江堰灌区农业灌溉用水约占总用水量的 70%,采用模拟模型对农业需水量进行计算。都江堰灌区生活用水和工业用水的需水量,见表 2 和表 3。

表 2 都江堰灌区人畜饮水量 万 m³

年份	城镇人口 饮水量	农村人口 饮水量	农村牲畜 饮水量	总用水量
1998	33 419	36 870	4 877	75 166
2005	51 590	45 370	7 186	104 146
2015	71 421	52 387	10 685	13 493
2020	78 545	57 954	12 685	149 094
2030	81 625	62 621	14 446	158 692

表 3 都江堰灌区工业生产净需水

年份	1998	2005	2015	2020	2030
需水量/亿 m ³	24.7	33.8	36.7	41.0	46.5

根据前面的需水量预测和现状工程条件下的可供水量分析,按 4 种保证率($P = 75\%$ 、 $P = 80\%$ 、 $P = 85\%$ 和 $P = 90\%$)分别对不同水平年进行供需分析计算。分析结果见表 4。

2.4 规划工程条件下不同水平年的供需平衡分析

a. 根据计算得到规划水平年需水量预测分析成果,2005 年灌溉保证率 P 为 75% 的年需水总量为 36.68 亿 m³,2030 年灌溉保证率 P 为 90% 的年总需水量为 117.08 亿 m³。由于城市规模扩大,市镇生活用水和工业用水比现状年有较大增加(分别增加 51%、147%),而农业用水由于考虑到远景扩灌面积,其灌溉用水量相应增加(增加 43%)。

b. 在规划工程条件下,不同水平年在 P 为 80% 保证率情况下的供需平衡分析,2015 年可供水量 99.28 亿 m³,需水总量 87.53 亿 m³,可供水量大于需水量;2020 年可供水量 94.53 亿 m³,需水总量 102.95 亿 m³,需水大于可供水,存在缺水现象。造成这种缺水局面的直接原因是:按都江堰管理规划,灌区灌溉面积将由 2015 年的 1 007 万 hm² 增加到 2020 年的 1 500 万 hm²。

c. 都江堰灌区的水资源开发利用已有一定基础,在 2015 年前可满足用水需要,并有一定的余水。而在 2020 年以后,就出现不同程度的缺水现象,随

表 4 现状工程条件下不同水平年供需平衡分析

保证率	水平年	规划可用水量/亿 m ³				预测需水量/亿 m ³					水量平衡/亿 m ³		缺水率/%
		地表	地下	其他	小计	农业	工业	生活	其他	小计	余水	缺水	
P = 75%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	38.30	15.63	10.42	5.00	69.35	36.68		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	38.48	24.25	13.45	6.30	82.48	16.80		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	41.35	29.88	14.31	7.42	92.96	1.57		
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	46.99	38.71	15.86	7.98	109.54		23.21	21.19
P = 80%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	40.54	15.63	10.42	5.00	71.59	34.44		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	43.53	24.25	13.45	6.30	87.53	11.75		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	47.47	29.88	14.31	7.42	99.08		4.55	4.59
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	50.65	38.71	15.86	7.98	113.20		28.67	25.33
P = 85%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	44.24	15.63	10.42	5.00	75.29	30.74		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	45.25	24.25	13.45	6.30	89.25	10.03		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	51.34	29.88	14.31	7.42	102.95		8.42	8.18
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	53.36	38.71	15.86	7.98	115.91		29.58	25.52
P = 90%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	47.36	15.63	10.42	5.00	78.41	27.62		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	47.48	24.25	13.45	6.30	91.48	7.80		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	53.54	29.88	14.31	7.42	105.15		10.62	10.01
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	54.53	38.71	15.86	7.98	117.08		30.70	26.23

着西部大开发的不断深入 ,工业和生活用水大幅增加是缺水的主要原因 ;另一方面 ,农业是用水大户 ,需水量都在 60% 以上 ,提高灌溉率也是造成灌区缺水的重要因素。

3 小结和建议

通过建立农业灌溉需水模型 ,针对都江堰灌区水资源特征及开发利用情况 ,在不同的灌溉保证率和不同的水平年对灌区水资源供需状况作出分析。分析结果表明 ,都江堰灌区水资源开发利用已达相当规模 ,随着地区经济发展 ,都江堰灌区将面临缺水状况。为使都江堰灌区在不同水平年达到供需平衡 ,必须采取工程措施 ,增加可供水量 ,同时要强化全社会的保护水源和节水意识 ,严防工业、生活污水污染水源 ,积极推广节水技术 ,降低耗水量。在遇到严重干旱时 ,对水源供水工程要进行联合调度 ,加强宏观调控和动态管理。为适应社会对水需求不断增

长的要求 ,还需进一步论证如何合理开发利用有限的水资源和采取计划用水、节约用水的措施来解决供需矛盾。

参考文献：

[1] 曾令刚. 数字模拟技术在水资源供需平衡中的应用[J]. 浙江水利科技 2003(2) 9-13.
[2] 郭元裕 ,李寿声. 灌排工程最优规划与管理[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1994 :180-200.
[3] 汤瑞凉 ,郭存芝 ,董晓娟. 灌溉水资源优化调配的熵权系数模型研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2000 ,28(1) :19-20
[4] 彭述明. 都江堰水利可持续发展战略研究[M]. 北京 :科学出版社 ,2004 :75-82.
[5] 雍富强 ,刘学军. 宁夏引黄灌区沟水利用研究[J]. 水资源保护 ,2004 ,20(3) :17-20.

(收稿日期 2005-03-10 编辑 :舒 建)

(上接第 4 页)监测工作 ,建立健全地下水水质、水量监测网和信息系统。其次 ,地下水水质方面的技术力量较薄弱 ,需要加强地下水方面的技术建设 ,提高地下水科学管理和保护的能力。另外 ,对地下水水质的重要性和水质污染的严重后果缺乏认识。由于地下水水质污染具有隐蔽性和难恢复的特点 ,需要加强宣传和科学知识的普及工作 ,加强地下水水质保护工作的力度。

参考文献：

[1] 水利部水文局. 水资源评价[M]. 北京 :水利水电出版社 ,1990.
[2] 中央爱国卫生运动委员会 ,中国科学院地理与资源研究所. 中国生活饮用水地图集[M]. 北京 :中国地图出版社 ,1988.
[3] 唐克旺 ,侯杰 ,唐蕴. 中国地下水质量评价(I)——平原区地下水水化学特征[J]. 水资源保护 ,2006(2) :1-5.

(收稿日期 2004-12-31 编辑 :舒 建)