

岔路河流域水资源合理配置研究

黄金林^{1,2}, 丁元芳³, 迟宝明¹

(1. 吉林大学 环境与资源学院, 长春 130026; 2. 长春工程学院 教务处, 长春 130012; 3. 水利部松辽水利委员会, 长春 130021)

摘 要: 水资源合理配置是实现水资源可持续利用的有效调控措施之一。以岔路河流域为研究对象, 对该流域的水资源特征进行了分析, 采用多目标规划建立流域水资源配置模型, 以2007年为规划水平年, 以经济效益最大和用水量最小为规划目标, 对水资源进行配置。结果表明: 在保证生活及生态用水的前提下, 节约农业灌溉用水, 以发展乡镇工业, 从而实现可利用水资源量效益的最大化。

关键词: 水资源; 合理配置; 岔路河流域; 小流域

中图分类号: TV213

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0235-04

A Case Study of the Reasonable Allocation of Water Resources in Chaluhe River Basin

HUANG Jin-lin^{1,2}, DING Yuan-fang³, CHI Bao-ming¹

(1. College of Environment & Resources, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Educational Administrative Department of Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China; 3. Hydrological Bureau, Songliao Water Resources Commission, the Ministry of Water resources, Changchun 130021, China)

Abstract: Reasonable water resources allocation is one of the effective control measures in the sustainable water resources utilization. Taking Chaluhe River basin as the research object, the characters of the water resources are analyzed, and the model of reasonable allocation of water resources is set up by adopting the multi-purpose program. Taking 2007 as the level year, the maximum of economical benefit and the minimum of water consume as objective function, the model to allocate the water resources is established. The results show that on the foundation of assurance to living and zoology using-water, it is necessary to save agriculture irrigational using-water to develop the industry of villages and towns, all of which can realize the maximum of available water resources benefit.

Key words: water resources; reasonable allocation; Chaluhe River basin; small basin

1 水资源合理配置

我国于20世纪90年代初开始对水资源合理配置的定义、方法等进行了多方面的探讨。对于水资源合理配置的定义, 目前仍没有统一的解释。《全国水资源综合规划大纲》对水资源合理配置给出了一个比较权威的定义, 即在流域或特定的区域范围内, 遵循有效性、公平性和可持续性的原则, 利用各种工程与非工程措施, 按照市场经济的规律和资源配置准则, 通过合理抑制需求、保障有效供给、维护和改善生态环境质量等手段和措施, 对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的配置^[1]。水资源的合理配置是由工程措施和非工程措施组成的综合体系。其基本功能涵盖两个方面^[2]: 在需求方面通过调整产业结构, 建设节水型经济并调整生产力布局, 抑制需水增长势头, 以适应较为不利的水资源条件; 在供给方面则协调各项竞争性用水, 加强管理, 并通过工程

措施改变水资源天然时空分布来适应生产力布局。

水资源合理配置多应用于大流域或大区域等水资源短缺、用水目标多样化的地区, 该地区一般水资源的需求量大, 而水资源供给相对有限, 或者工程调蓄能力有限。因此, 进行水资源合理配置有利于提高区域整体的用水效率和效益, 维持生态环境系统, 促进区域的可持续发展。此外, 对于流域面积或主河道基本在一个县属范围内的小流域^[3], 其不但作为大流域的基本组成单元, 而且也是水资源合理配置的基本调配单元。相对于大流域而言, 单独对小流域进行合理配置最大特点在于配置流域位于县属等行政区范围内, 相关部门易于进行水资源的优化调控。大流域一般跨越市级或省级行政区, 需要相关行政部门及流域部门相互协调、综合考虑, 调配复杂度较高。当然, 也要考虑相互小流域之间水资源的空间差异, 通过跨流域调水来调剂水资源的余缺。此

收稿日期: 2007-04-23

基金项目: 吉林省科技厅科技发展项目(20010432)

作者简介: 黄金林(1963-), 男, 吉林九台人, 教授, 主要从事工程流体力学研究。E-mail: ding_yuanfang@163.com

通信作者: 迟宝明(1957-), 辽宁瓦房店人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源配置及基岩裂隙水研究。

外,小流域地区由于地理位置、经济发展等原因,用水目标多元化程度不高,进行调配时相对简单;小流域还由于地貌形态、降雨径流等特征,通常需要水库等工程措施来解决时间上分布不均的问题。

岔路河流域主要位于吉林省永吉县的部分乡镇内,目前其水资源开发利用存在以下问题:可利用水资源量短缺。位于岔路河流域的岔路河特色农业经济开发区是国家A级稻米产区之一,并且被联合国工业发展组织中国投资促进处命名为绿色产业科技示范园。随着稻田灌区的迅速发展,星星哨水库的兴利库容满足不了该地区的灌溉要求,为进行泡田、灌地,大量打井开采地下水,导致灌区地下水严重超采,形成地下水漏斗。特别是近几年连续大旱,村民饱受缺水之苦,严重影响着地区的经济发展和社会稳定。此外,星星哨灌区有总干渠1条,分干渠4条,支渠23条,三级配水渠道,全长192.4 km,由于管道老化,“跑、冒、滴”漏水现象比较严重。星星哨水库下游岔路河段季节性有水,加之大量开采地下水导致水位下降,生态环境保护用水受到影响。根据永吉县政府发展规划,要做好水的文章,建设一拉溪镇至万昌、星星哨水库休闲观光旅游带,因此景观用水也要保证。

响应国家建设节水防污型社会,加强水资源的合理利用,提高水资源的利用效益,有必要对岔路河流域水资源进行合理配置,并以此进行小流域水资源合理配置的探讨。

2 岔路河流域水资源状况

2.1 概况

岔路河流域位于吉林市西部,属于饮马河的分级流域。岔路河源头一为磐石县的观音岭,另一为大莽麦楞子屯南的太平岭,流经磐石县的取柴河镇、永吉县的双河镇、岔路河镇、三家子、万昌、官厅等地,于官厅镇吴桥屯以西汇入饮马河。岔路河呈弧形由东南流向西北,全长92.5 km,河道纵向比降0.1%左右,流域面积1 080 km²。季节性有水,多年平均径流量为 1.58×10^8 m³,径流多集中在5—8月。

流域内主要蓄水工程是位于岔路河干流上具有调节能力的星星哨水库。它是以灌溉为主,并结合防洪、发电、养鱼等综合利用的大(Ⅱ)型水库。总库容 2.65×10^8 m³,防洪库容 2.03×10^8 m³,兴利库容 0.95×10^8 m³。流域内提水工程主要为农业灌溉提水工程,提水以水库蓄水为主。

2.2 水资源总量

(1)地表水资源。岔路河流域地表水来源主要是降水。根据流域内星星哨水库水文站多年降水观测资料,流域内多年平均降水量为750 mm,6—9月平均降雨量为521 mm,占全年降雨量的73%,年蒸发量1 080~1 340 mm。流域内可供利用的地表水资源主要来自星星哨水库的入库水量,根据1973—2004年统计资料,水库入库流量最大为 4.72×10^8 m³,最小为 0.29×10^8 m³,平均为 1.90×10^8 m³。在计算可利用量时,还要考虑水库的蒸发损失量和渗漏损失量。

因此,岔路河流域地表水资源量分布特点:从时间分布上来看,岔路河流域的地表水资源主要受降水量的控制。由于流域处于中温带大陆性季风气候,降水年际变化较大,造成流域的地表水资源的多年不均,给水资源的利用造成一定困

难;从空间分布上来看,岔路河流域的地表水资源主要受到星星哨水库的控制。由于水库的调节,入库流量与出库流量存在较大差别。

(2)地下水资源。多年平均地下水资源的可利用量由流域地下水资源的补给量决定。地下水资源的补给项有:降水入渗补给量,河流入渗补给量,水库入渗补给量,灌溉回渗补给量。

岔路河流域地下水分布特点:地下水的形成和分布,具有明显的从东南到西北变化规律,就其自然状态而言,地势由高变低,山区地形转变为平原地形。在河谷平原区垂直河谷,由台地、阶地、漫滩至河床,含水层厚度由薄变厚,水位埋藏由深到浅,富水性由小到大。在岔路河下游,含水层厚度10~20 m,最厚可达30 m,水量比较丰富。

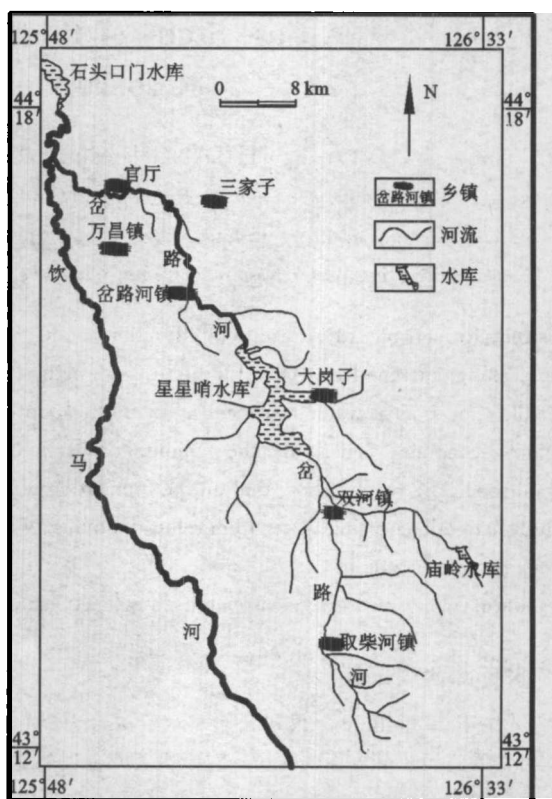


图1 研究区范围

(3)水资源总量。流域内的水资源总量等于地表水资源量与地下水资源量之和再减去重复量,其中重复量可用基流分割法求得。可计算求得不同保证率下水资源总量,如表1所示。

(4)水质状况。岔路河流域的工业不发达,污染较轻,水质较好,据水质分析报告,水库为Ⅲ类水体;区域地下水中主要超标物质是铁,主要是由于特殊的地质结构,造成铁的本底值偏高。

2.3 开发利用

根据流域内的用水主要包括农业用水、工业用水、生活用水及生态用水。根据2001年流域统计,流域内工业用水不发达,主要为近几年兴起的乡镇企业为主,占总用水量的12%;村镇居民生活用水量占6%;生态用水占10%;区内用水主要以农业灌溉为主,占全部用水量的72%。

表1 不同降水保证频率下的水资源总量 万 m³/a

降水保证率/%	25	50	75	90
地表水资源量	17799.3	16873.6	15975.0	15185.4
地下水资源量	7593.2	7604.0	7201.9	6848.4
重复量	1280.7	1214.5	1150.3	1093.8
水资源总量	24111.8	23263.1	22026.6	20940.0

流域内工业用水全部取自地下水,其用水量稳定增长;生活用水同样全部取自地下水,年内用水变化不大;农业用水主要取自地表水库,当水源不足时,则开采地下水。

3 模型的建立与求解

3.1 建模的基本思路

(1)从水资源供需方面着手,尽可能使其在总体上达到平衡。

(2)兼顾流域经济、社会、环境的相互协调,统筹区域代际之间、不同层次之间的利益实行水资源的公平分配,在此基础上实现水资源的净效益最大。

(3)建立地表水和地下水优化配置,最大限度地满足规划需水量,使有限的水资源发挥最大的经济效益。

3.2 模型的建立

由于水资源配置问题是多目标规划问题,根据岔路河流域自然地理与人文地理的特点,采用多目标线性规划模型对流域的水资源进行合理配置^[4]。

3.2.1 确定目标函数

结合研究区的实际情况,确定两个目标函数:

(1)流域的经济效益最大,即 $\max \sum_k f_1(x)$, 式中: k ——流域分区个数; $f_2(x)$ ——各区经济效益函数。

(2)流域的耗水量最小,即 $\min \sum_k f_2(x)$, 式中: k ——流域分区个数; $f_2(x)$ ——各区用水量。

3.2.2 确定约束条件

结合研究区的实际情况,确定约束条件:

(1)水源可供水量约束

$$\sum_k G_{1,k}(x) \leq \sum_k b_{1,k} \quad k=1,2,\dots,8$$

式中: $G_{1,k}(x)$ ——分区需水量; $b_{1,k}$ ——分区可供水量。

(2)工业需水能力预测

$$b_{2,k} \leq G_{2,k}(x) \leq 1.5b_{2,k} \quad k=1,2,\dots,8$$

式中: $G_{2,k}(x)$ ——分区工业需水量; $b_{2,k}$ ——分区最低工业需水定额限制。借鉴《永吉县万昌镇城区水资源规划报告》,取 $1.5b_{2,k}$ 为分区最高需水定额限制。

(3)生活、生态用水最低量保证

$$G_{3,k}(x) \geq b_{3,k}, G_{4,k}(x) \geq b_{4,k} \quad k=1,2,\dots,8$$

式中: $G_{3,k}(x)$ ——分区生活用水量; $b_{3,k}$ ——分区生活用水定额; $G_{4,k}(x)$ ——分区生态用水量; $b_{4,k}$ ——分区生态用水定额。

(4)农业粮食最低产量保证

$$\sum_k G_{5,k}(x) \geq \sum_k b_{5,k} \quad k=1,2,\dots,8$$

式中: $G_{5,k}(x)$ ——分区农业用水量; $b_{5,k}$ ——分区农业用水定额。

(5)变量非负约束

$$x_i^k \geq 0 \quad k=1,2,\dots,8; i=1,2,3$$

式中: x_i^k ——第 k 分区第 i 个用户用水量。

将上述目标函数与约束条件组合在一起,建立起多目标线性规划模型。

$$F(x) = \text{opt}[f_1(x), f_2(x)] = \begin{cases} \max \sum_k f_1(x) \\ \min \sum_k f_2(x) \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_k G_{1,k}(x) \leq \sum_k b_{1,k} \\ G_{2,k}(x) \geq b_{2,k} \\ G_{2,k}(x) \leq 1.5b_{2,k} \\ G_{3,k}(x) \geq b_{3,k} \\ G_{4,k}(x) \geq b_{4,k} \\ \sum_k G_{5,k}(x) \geq \sum_k b_{5,k} \\ x_i^k \geq 0 \end{cases} \quad k=1,2,\dots,8 \quad i=1,2,3$$

3.3 模型求解

3.3.1 用权重法进行多目标处理

采用权重法来处理多目标^[5]。该方法是给多目标规划中的每一个目标,按其在整体规划中的重要性,赋以一个相对权重,将目标向量式转换为一个标量,即各个目标函数的加权。这样就可以将多目标线性规划问题转化为单目标线性规划问题。

权重值可根据经验获得,不同的权重值可得出原多目标线性规划问题的一个非劣解,为决策者更多的有关目标权衡比较的信息,以便选择最佳权衡解。

$$F(x) = \max[\lambda f_1(x) - (1-\lambda)f_2(x)]$$

式中: $\lambda \in (0,1)$ ——目标 $f_1(x)$ 的权重系数; $(1-\lambda)$ ——目标 $f_2(x)$ 的权重系数。

$f_1(x)$ 为研究区的经济效益(用 10^6 元/ 10^4 m³ 表示):

$$f_1(x) = \sum_k f_{1,1}^k(x) + f_{1,2}^k(x)$$

式中: $f_{1,1}^k(x)$ —— k 分区农业用水效益; $f_{1,2}^k(x)$ —— k 分区工业用水效益。

$f_2(x)$ 为研究区的耗水量

$$f_2(x) = \sum_k f_{2,1}^k(x) + f_{2,2}^k(x) + f_{2,3}^k(x)$$

式中: $f_{2,1}^k(x)$, $f_{2,2}^k(x)$, $f_{2,3}^k(x)$ —— k 分区农业、工业、生活生态耗水量。

综上,数学模型可表示为:

$$F(x) = \max\{\lambda[\sum_k f_{1,1}^k(x) + f_{1,2}^k(x)] - (1-\lambda) \cdot [\sum_k f_{2,1}^k(x) + f_{2,2}^k(x) + f_{2,3}^k(x)]\} \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_k G_{1,k}(x) \leq \sum_k b_{1,k} \\ G_{2,k}(x) \geq b_{2,k} \\ G_{2,k}(x) \leq 1.5b_{2,k} \\ G_{3,k}(x) \geq b_{3,k} \\ G_{4,k}(x) \geq b_{4,k} \\ \sum_k G_{5,k}(x) \geq \sum_k b_{5,k} \\ x_i^k \geq 0 \end{cases} \quad k=1,2,\dots,8; i=1,2,3$$

3.3.2 模型求解

选取 2007 年为规划水平年,将有关数据作为参数代入模型(2),取不同的权重系数 $\lambda \in (0,1)$ 值进行灵敏性测试,

经测试 $\lambda \in (0.42, 0.59)$ 时,模型解较为稳定。限于篇幅,仅取 λ 中间值 0.51 形成模型的非劣解集。利用 Excel 中的规划求解功能,对模型进行求解,结果如表 2 所示。

3.4 结果分析

(1)在 λ 的稳定模型解范围内,随着 λ 值的增大,即经济效益在模型中所占的权重增大,工业用水量明显增加,致使总用水量增加,而总的经济效益也增加,这符合建模的初衷,证明模型的正确性。

(2)在 λ 的稳定模型解范围内,随着 λ 值的改变,农业用水量和生态用水量并没有太大改变。这是由于研究区内的用水以农业为主,而农业的用水产值和工业产值相比相差较大,为满足模型经济效益最大的目的,工业用水增加优先。而在模型约束条件中,对农业用水与生活、生态用水做最低用水量限制,造成农业用水与生活用水量没有变化。如果不对农业用水与生活、生态用水做了最低用水量限制,模型结果就会使工业用水无限增大,不符合实际。然而,这样

处理降低了模型水资源配置的实用价值,需要继续研究。

(3)从表中可知,农业用水调整后仍以下游用水为主,其占农业用水总量的 $2/3$ 左右;工业用水量上下游基本相当。根据岔路河流域特点,地形由山丘区向平原区转变,下游是农业作物的主要产区,因此,农业用水侧重下游;相对来说,上游侧重发展乡镇工业,提高单位水量的效益。所以此次调配基本能达到配置目的。

(4)一般情况下,单位水量的工业产值要高于农业产值。因此,在可利用水资源量没有增加的情况下,通过完善田间防渗管道工程、改进田间灌溉技术、强化灌区管理、加强节约用水宣传,把节约的水资源用于流域的工业发展,实现水资源的效益最大化。当然,要恰当处理好节约用水资金投入问题,以及节约水资源量的上、下游,乡镇间的水权分配问题。

(5)上述结果仅从水量方面进行合理配置的初步研究,未能充分考虑不同生产部门对水质的不同需求,应结合实际不断进行完善。

表 1 λ 取 0.51 时的模型配置方案

分区	官厅	万昌镇	岔路河镇	三家子	大岗子	双河镇	取柴河镇	总量
农业用水/万 m^3	2312.1	952.7	2738.8	310.1	1498.4	1004.7	915.9	9732.7
工业用水/万 m^3	306.7	76.6	568.4	52.5	253.5	381.9	324.2	1963.8
生活用水/万 m^3	452.2	113.0	558.8	77.4	373.9	375.6	478.1	2429.0
生态用水/万 m^3	361.8	90.4	447.0	61.9	299.1	300.5	382.5	1943.2
总用水量/万 m^3	3071.0	1142.3	3866.0	440.0	2125.8	1762.2	1718.2	14125.5
农业效益/万元	21294.4	9365.0	25881.7	2949.1	13725.3	9183.0	7666.1	90064.6
工业效益/万元	30890.8	7457.8	56062.0	3073.6	25126.9	38037.2	32575.6	195223.9
经济效益/万元	52185.3	16822.8	81943.7	8022.7	38852.3	47220.2	40241.7	285288.7

4 结论

(1)流域水资源合理配置的研究是水资源研究的一个重要领域。目前,关于流域水资源合理配置的方法和评价尚无固定统一的规范模式。但是实施合理配置的最终目标是一致的,即促进区域的可持续发展和社会的发展进步。

(2)根据岔路河流域以农业用水为主的特点,合理调配星星哨水库上下游农业的灌溉用水量。此外,在保证生活用水和生态用水的基础上,实施节水灌溉以鼓励发展乡镇工业,实现可用水量的最大效益化。

(3)星星哨水库是流域内水资源的主要控制性工程,在保证大坝安全和下游防洪要求的情况下,研究提高汛限水位的可行性,实施汛限水位的动态控制,增蓄汛期的弃水,使汛期丰富的水资源得到最大程度的利用,整体提高岔路河流域水资源的利用率。

(4)由于资料所限,仅从岔路河流域水量方面进行合理

调配。不同的用水部门对水质需求的不同,因此基于分质供水的水量水质合理配置模型和方法,以及配置方案合理性评价将是今后的主要研究方向。

参考文献:

- [1] 水利部水利水电规划设计总院. 全国水资源综合规划技术细则[S]. 水利部, 2002: 125-128.
- [2] 阮本清, 梁瑞驹, 王浩, 等. 流域水资源管理[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 134-137.
- [3] 陈炯新. 小流域水利规划手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991: 1-8.
- [4] 陈爱光, 李慈君, 曹剑锋. 地下水资源管理[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 45-53.
- [5] 姜涛. 对区域水资源优化配置多目标规划的模型[J]. 黑龙江水利科技, 2004(2): 95.