

生态视角下半干旱区水资源优化配置研究

——以辽宁省建平县为例

付彦伟

(辽宁省阜蒙县旧庙镇水利服务中心, 辽宁 阜蒙 123105)

【摘要】 文章以辽宁省建平县为例,将生态环境需水纳入用水部门,基于多目标优化理论,构建出综合效益最大化为目标的生态半干旱地区水资源合理配置模型,并以设定水平年在不同保证率下的水资源供需状况为依据拟定相关参数进行函数求解,获得相应的优化方案。

【关键词】 水资源; 优化配置; 半干旱区; 生态需水

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)06-0027-04

Research on water resources optimized allocation in semi-arid areas from the ecological perspective: with Jianping County of Liaoning Province as an example

FU Yanwei

(Liaoning Fumeng County Jiumiao Town Water Conservancy Service Center, Fumeng 123105, China)

Abstract: In the paper, Jianping County of Liaoning Province is adopted as an example for including the ecological and environmental water requirement in water departments. A water resources rational allocation model in biological semi-arid areas with maximization of comprehensive benefits as objectives is constructed, related parameters are formulated for function solution based on water resources supply and demand condition under different assurance rates in set level years, and corresponding optimization plans are obtained.

Key words: water resources; optimized allocation; semi-arid areas; ecological water requirement

我国的水资源时空分布差异大,人均水资源量低。北方干旱、半干旱地区占全国面积的近50%,但是水资源量仅有全国的7%,水生态环境异常脆弱,水资源缺乏已经成为制约上述地区经济社会发展的重要瓶颈因素。因此,加强生态视角下半干旱地区的水资源优化配置研究,对上述地区的生态环境保护和水资源可持续利用具有重要意义。

1 研究区概况

建平县位于辽宁省西部,地处东经119°14'~120°03',北纬41°19'~41°23'。建平县东西宽75km,南北长125km,总面积约4900km²[1]。建平县属于辽西丘陵地区,位于燕山山脉向辽沈平原的过渡地带,境内群山起伏,沟壑纵横。其中山区面积约占30.4%,丘陵面积约占43.3%,平川面积约占26.3%。

建平县属北温带半干旱大陆季风气候区,雨热同季,全年平均气温 7.6℃,最高气温 37℃,最低气温 -36.9℃,年均日照时数 2850~2950h^[2]。年降水量平均 514.7mm,多集中在 6—8 月。多年平均蒸发量为 1517mm。建平县有大小河流 12 条,其中较大河流有老哈河、蹦蹦河、海棠河等,多年平均径流量为 2.94 亿 m³^[3]。

建平县辖 5 个街道、16 个镇、8 个乡、2 个畜牧农场,总人口约 57.5 万。2014 年,建平县国民经济发展势头良好,其中工业增加值完成 67 亿元,比上年增长 32%,占 GDP 的比重为 51%。2013 年全县有耕地 127.3 万亩,其中灌溉面积 73.16 万亩,全县农业产值为 33.7 亿元。

2 水资源优化配置模型的构建

2.1 建立多目标水资源优化配置模型

根据建平县的水资源现状及水资源的优化配置需要,模型的构建目标确定为第一产业,生活,生态及第二、三产业四方面的用水综合效益最优^[4],其数学表达式如式(1):

$$\max Z(X) = \max \{f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)\} \\ (X \in G(x), x \geq 0) \quad (1)$$

式中 x ——决策变量;

$f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)$ ——第一产业效益,生活效益,生态效益,第二、三产业效益目标;

$G(x)$ ——约束条件集合。

2.2 子区划分及水源类型

以建平县的行政区划为主要依据,结合实际的水资源分布与供水情况,将全县划分为建平镇、喀喇沁镇、沙海镇、哈拉道口镇、老官地镇、奎德素镇、小塘镇、昌隆镇、青峰山镇、青松岭乡、杨树岭乡、烧锅营子乡、太平庄乡、三家蒙古乡、义成功乡等 15 个研究分区。研究中的供水水源用 HY(i)表示,设定建平县包括地下水、地表水和中水三种供水水源类型^[5]。

2.3 目标函数

a. 第一产业用水效益目标函数的表达式如式(2):

$$\max f_1(x) = \begin{cases} \gamma_1 B_g Q_{g1}, & 0 \leq Q_{g1} \leq X_1^{\min} \\ \gamma_1 B_g X_1^{\min} + \beta_1 B_g (Q_{g1} - X_1^{\min}), & X_1^{\min} \leq Q_{g1} \leq X_1^{\max} \\ \gamma_1 B_g X_1^{\min} + \beta_1 B_g (X_1^{\max} - X_1^{\min}), & Q_{g1} \geq X_1^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

式中 Q_{g1} ——第一产业用水量, m³;

X_1^{\min}, X_1^{\max} ——第一产业最小需水量和第一产业最大需水量, m³;

γ_1, β_1 ——折算系数,本文中 γ_1 取 1.1, β_1 取 0.2。

b. 生活用水效益目标函数的表达式如式(3):

$$\max f_2(x) = \begin{cases} \gamma_2 B_g Q_{g2}, & 0 \leq Q_{g2} \leq X_2^{\min} \\ \gamma_2 B_g X_2^{\min} + \beta_2 B_g (Q_{g2} - X_2^{\min}), & X_2^{\min} \leq Q_{g2} \leq X_2^{\max} \\ \gamma_2 B_g X_2^{\min} + \beta_2 B_g (X_2^{\max} - X_2^{\min}), & Q_{g2} \geq X_2^{\max} \end{cases} \quad (3)$$

式中 Q_{g2} ——生活用水量, m³;

X_2^{\min}, X_2^{\max} ——生活用水最小需水量和生活用水最大需水量, m³;

γ_2, β_2 ——折算系数,本文中 γ_2 取 1.7, β_2 取 0.4。

c. 生态环境用水效益目标函数的表达式如式(4):

$$\max f_3(x) = \begin{cases} \gamma_3 B_g Q_{g3}, & 0 \leq Q_{g3} \leq X_3^{\min} \\ \gamma_3 B_g X_3^{\min} + \beta_3 B_g (Q_{g3} - X_3^{\min}), & X_3^{\min} \leq Q_{g3} \leq X_3^{\max} \\ \gamma_3 B_g X_3^{\min} + \beta_3 B_g (X_3^{\max} - X_3^{\min}), & Q_{g3} \geq X_3^{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中 Q_{g3} ——生态环境用水量, m³;

X_3^{\min}, X_3^{\max} ——生态环境用水最小需水量和生态环境用水最大需水量, m³;

γ_3, β_3 ——折算系数,本文中 γ_3 取 1.5, β_3 取 0.3。

d. 第二、三产业用水效益目标函数的表达式如式(5):

$$\max f_4(x) = B_g Q_{g4} \quad (5)$$

其中

$$B_g = \beta/W_4$$

式中 B_g ——第二、三产业综合用水效益,万元/ m^3 ;

Q_{g4} ——第二、三产业用水量, m^3 ;

β ——两产业供水效益分摊系数,本次研究中取 0.1;

W_4 ——工业万元产值耗水量, m^3 。

2.4 约束条件

a. 各行业获得的分配水量之和不大于供水水源总和。

b. 各类水源的可供水量小于等于自身供水能力。

c. 各部门所获得的分配水量应介于该部门的最小需水量和最大需水量之间^[6]。

d. 考虑到建平县作为半干旱地区在水生态系统方面的脆弱性,水量分配后的主要污染物含量不应大于污染物排放总量。

e. 所有变量应非负。

2.5 参数和系数说明

a. 决策变量。结合建平县水源、水质以及水量的特征,在该地区取用 3 种水源、4 类用水户。依据上述不同水源和用水户的特点,确定的决策变量见表 1。

表 1 决策变量界定结果

水源类型	第一产业用水量	生活用水量	生态环境用水量	第二、三产业用水量
地表水	X_1	X_4	X_6	X_9
地下水	X_2	X_5	X_7	X_{10}
中水	X_3		X_8	X_{11}

b. 需水量上下限。根据建平县的水资源规划,2030 年各部门在不同保证率下的需水量上下限见表 2。

表 2 2030 年不同用户需水量上下限

单位: $万 m^3$

用水部门	50% 保证率		75% 保证率	
	最大需水量	最小需水量	最大需水量	最小需水量
第一产业	6367.57	10612.63	7105.80	11843.00
生活	1515.94	1894.93	1515.94	1894.93
生态环境	23.4	23.4	23.4	23.4
第二、三产业	5093.08	6366.35	5093.08	6366.35

3 优化配置结果及分析

3.1 优化配置结果

利用 MATLAB 中的 linprog 函数,基于理想点法对上节中的优化配置模型进行求解^[7]。其中理想点的构造评价函数如式(6):

$$\varphi(Z) = \sqrt{\sum_{i=1}^r [Z_j - Z_j^*]^2} \quad (6)$$

对 $\varphi[Z(x)]$ 进行极小化处理,并将其最优解作为模型在这种意义下的“最优解”^[8]。

$$\min_{x \in D} \varphi[Z(x)] = \sqrt{\sum_{i=1}^r [Z_j(x) - Z_j^*]^2} \quad (7)$$

计算确定建平县 2030 年 50% 和 75% 保证率下的水资源优化配置结果见表 3 和表 4。

表 3 建平县 2030 年 50% 保证率下的水资源优化配置结果
单位: $万 m^3$

分区名称	总需水量	总供水量				余缺水量	
		合计	地表水	地下水	中水	地表水	地下水
建平镇	4252.6	4252.6	1580.62	1235.42	1436.55	0	0
喀喇沁镇	1248.28	1248.28	545.69	702.59	0	0	0
沙海镇	1015.67	1015.67	481.17	534.51	0	0	0
哈拉道口镇	1419.0	1637.7	787.18	850.52	0	218.7	0
老官地镇	862.11	862.11	383.33	478.78	0	0	0
奎德素镇	1534.53	1534.53	644.73	889.80	0	0	0
小塘镇	1066.39	1066.39	573.51	492.88	0	0	0
昌隆镇	1395.09	1596.63	725.4	435.59	434.54	202.54	0
青峰山镇	716.73	819.33	369.25	450.09	0	102.6	0
青松岭乡	654.09	769.68	415.99	353.68	0	115.59	0
杨树岭乡	968.12	1161.79	697.10	464.69	0	193.67	0
烧锅营子乡	3049.44	3477.93	1542.39	1190.36	745.07	428.59	0
太平庄乡	369.94	404.12	119.34	284.78	0	33.18	0
三家蒙古乡	650.83	770.38	430.27	340.11	0	119.55	0
义成功乡	1390.44	1778.77	1397.84	379.93	0	388.23	0
全县合计	20593.26	22395.91	10693.81	9083.73	2616.16	1802.65	0

表 4 建平县 2030 年 75% 保证率下的水资源优化配置结果
单位: $万 m^3$

分区名称	总需水量	总供水量				余缺水量	
		合计	地表水	地下水	中水	地表水	地下水
建平镇	4426.23	4426.23	1692.1	1297.57	1436.55	0	0
喀喇沁镇	1437.06	1437.06	568.57	868.50	0	0	0
沙海镇	1343.43	1343.43	615.18	728.24	0	0	0
哈拉道口镇	1091.99	1091.99	550.91	541.08	0	0	0
老官地镇	929.36	929.36	447.41	481.95	0	0	0
奎德素镇	1811.28	1811.28	910.00	901.38	0	0	0

续表

分区名称	总需水量	总 供 水 量				余 缺 水 量	
		合计	地表水	地下水	中水	地表水	地下水
小塘镇	1138.90	1138.90	644.01	494.89	0	0	0
昌隆镇	1550.03	1550.03	656.68	457.71	435.64	0	0
青峰山镇	744.17	744.17	276.29	467.88	0	0	0
青松岭乡	664.09	664.09	300.56	363.53	0	0	0
杨树岭乡	979.80	979.80	504.96	474.86	0	0	0
烧锅营子乡	3251.91	3251.91	1288.32	1218.42	745.17	0	0
太平庄乡	385.86	385.86	86.27	299.60	0	0	0
三家蒙古乡	674.58	674.58	329.75	344.83	0	0	0
义成功乡	1395.82	1395.82	1013.85	382.1	0	0	0
全县合计	21824.51	21824.51	9884.86	9322.54	2617.36	0	0

3.2 合理性分析

按照上节的优化配置结果,建平县 2030 远景年 50% 保证率下的地表水供水量为 8891.16 万 m³, 占总供水量的 43.18%; 地下水供水量为 9083.73 万 m³, 占总供水量的 44.11%, 与 2015 年的 56.43% 相比降低了 12.32%; 在 75% 保证率下的地表水供水量为 9984.86 万 m³, 占总供水量的 45.29%; 地下水供水量为 9322.54 万 m³, 占总供水量的 42.72%, 与 2015 年的 59.05% 相比降低了 16.33%。

以不同用水类型来分析,生活用水在不同保证率下均为 1894.94 万 m³, 在 50% 保证率下占供水总量的 8.4%, 在 75% 保证率下占供水总量的 8.6%, 这一比例均比 2015 年有小幅增加, 究其原因主要是该地区的人口总量在增加, 增加的水量由农业节水提供; 第一产业用水在 50% 保证率下为 100612.64 万 m³, 占供水总量的 47%, 在 75% 保证率下为 118430.54 万 m³, 占供水总量的 54%, 这一比例均低于 2015 年的数值, 其原因在于农业节水措施运用与强化水资源管理的结果; 第二产业和第三产业用水在不同保证率下均为 8066.44 万 m³, 在 50% 保证率下占总供水量的 35%, 在 75% 保证率下占总供水量的 36%, 跟 2013 年相比比例有所增加, 这与当地第二、三产业的高速发展趋势基本一致; 生态环境需水量约为 23.4 万 m³, 用水量较 2015 年增加明显, 水生态环境可以得到较好的保护和恢复, 需要增加的水量主要由农业节水提供。

综合上述, 2030 年建平县在 50% 保证率下的水资

源可利用总量为 22395.91 万 m³, 优化配置水资源量为 20593.26 万 m³, 余水量为 1802.65 万 m³; 在 75% 保证率下的水资源可利用总量为 21824.51 万 m³, 优化配置水资源量为 21824.51 万 m³。因此, 从长期来看, 只有依靠产业结构调整, 进一步强化节水措施, 才能从根本上解决建平县的水资源供需矛盾。

4 结 论

a. 根据建平县的水资源现状, 将生态效益纳入考虑范围, 构建出包含第一产业用水效益, 生活用水效益, 生态用水效益和第二、三产业用水效益的多目标水资源优化配置模型。

b. 利用 MATLAB 中的 linprog 函数, 基于理想点法对上节中的优化配置模型进行求解, 得到了建平县 2030 年不同保证率下的水资源优化配置方案。

c. 通过对水资源配置格局、缺水量等多方面的分析, 说明模型和求解方法是合理的。◆

参考文献

- [1] 苏建军, 尹丽丽. 建平县水资源短缺及主要保护措施[J]. 地下水, 2015(6): 121-122.
- [2] 刘同敬, 甄永强, 杜明月, 等. 朝阳市建平县水资源配置及规划工程供水规模[J]. 中国水运(下半月), 2015(3): 134-136 + 138.
- [3] 李春雨, 池海清. 建平县水资源现状分析与开发利用对策[J]. 水利规划与设计, 2010(2): 18-20.
- [4] 田景环, 刘林娟. 区域水资源多目标优化配置方法研究[J]. 人民黄河, 2013(4): 29-31.
- [5] 刘春妍, 金福强. 基于多目标优化模型的区域水资源配置求解方法研究[J]. 吉林水利, 2013(10): 20-22 + 34.
- [6] 张玲玲, 高亮. 多目标约束下区域水资源优化配置研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014(4): 16-19.
- [7] 王宏伟, 张鑫, 邱俊楠, 等. 基于多目标遗传算法的西宁市水资源优化配置研究[J]. 水土保持通报, 2012(2): 150-153.
- [8] 崔东文. 基于 MATLAB 的文山州区域水资源线性多目标优化配置研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2011(3): 4-7.