

基于灰色预测及多目标规划模型的水资源预测及优化配置

钟晨煜, 胡慧婷

(中山大学数学与计算科学学院, 广州 510275)

摘要:为探讨城市水资源预测和优化配置的方法,以北京市为例,采用灰色 GM(1,1)预测和多目标规划模型方法进行数学建模,以研究北京市在实现经济效益、社会效益、生态效益和环境效益最大化前提下的水资源的优化配置方案。预测结果显示,北京市 2015 年的水资源总量为 21.4523 亿 m^3 ,再生水量为 11.96 亿 m^3 ,总需水量为 39.74 亿 m^3 ,仍将存在 6.33 亿 m^3 缺口,将依赖于境外调水,与北京市水资源“十二五”规划十分接近。多目标规划模型结果显示,北京市可通过增加水资源的循环利用,减少农业用水、生活用水和环境用水量,维持现有工业用水量,实现可供水量与总需水量的基本平衡,并实现城市经济效益、社会效益、生态效益、环境效益的最大化。灰色 GM(1,1)预测和多目标规划模型可较好地预测城市未来供、需水状况,并进行水资源的优化配置,可用于区域水资源预测和综合规划。

关键词:水资源;灰色预测;多目标规划;优化配置

中图分类号:X22

文献标志码:A

引言

世界水资源的极不平衡造成许多国家和地区缺水。21 世纪,水已经成为全球关注的焦点。随着社会经济的发展,水资源量短缺和水质恶化更加突出,水资源需求量逐年增加,而可用的水资源量却呈下降趋势,矛盾日益尖锐。世界水文学理事会主席马哈茂德·阿布扎依德说:“预计到 2050 年,约占世界人口 2/3 的 66 个国家将由一般性缺水发展为严重性缺水”^[1]。我国水资源总量居世界第 6 位,但人均仅为世界平均水平的 1/4,被列为世界 13 个贫水国家之一。全国缺水城市 400 多个,其中严重缺水城市 114 个,每年因缺水造成的经济损失高达 2000 亿元。有专家预测,2010~2020 年我国将出现缺水高峰,届时我国可能出现大面积水荒。因此,如何做好有限水资源的规划利用,使得其产生较大的经济、生态和社会效益,具有十分重要的战略意义。

数学建模是针对或参照某种事物系统的特征或数

量关系、采用形式化的数学语言,概括或近似地表述出来的事物一种数学关系结构^[2],是资源预测与优化配置的方法之一。由于水资源信息不完整、影响因素多,为做有限水资源的规划利用,采用灰色模型预测出某地区未来各产业需水量,并运用多目标规划模型建立了水资源优化配置的数学模型。以水资源最为匮乏的北京市为例,依据模型测算出北京市“十二五”规划末期 2015 年的水资源分配数据以供参考。

1 研究背景

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是生态环境的控制性要素,是社会经济发展的重要支撑。水资源管理是社会宏观经济管理的重要组成部分。当前,我国正步入城镇化发展阶段,水资源匮乏成为我国社会经济发展和全面建设小康社会的瓶颈。通过对城市水资源的预测和优化配置,合理分配有限资源是实现城市可持续发展的关键。

1.1 研究区域概况

北京市地处海河流域,属半干旱半湿润季风气候区,水资源少,是世界上严重缺水的大城市之一,年人均水资源量不足 300 m³[3]。在全球变暖的同时,降水量与气温呈波动下降趋势,平均年降水量为 529 mm(1988 ~ 2008 年),其中 30.7% 形成年均水资源总量 27.3 亿 m³。年均入境水量 9.1 亿 m³,出境水量 13.9 亿 m³,年均实际可利用水资源总量 36.4 亿 m³[4]。目前,北京可供水量在平水年份为 40 亿 m³,在枯水年份只有 34 亿 m³;平原地区平均地下水开发率达到 109%,1988 ~ 2008 年超采地下水共 125 亿 m³,年均超采 6.27 亿 m³。近年来,随着北京的经济、社会、城市建设迅速发展用水量逐年上升,城市发展面临着土地资源、水资源等的限制,人口、资源、环境的矛盾日益突出。尽管中央政府实施了南水北调、引黄济京等工程,水资源的短缺仍相当突出,北京市城市人口承载力已经达到极限,成为社会和经济发展的最大“瓶颈”。为缓解这一矛盾,北京市人民政府

在《北京城市总体规划(2004 ~ 2020)》中提出“打造节约型城市,建设节水型社会,为首都经济社会和‘人文北京、科技北京、绿色北京’的可持续发展及中国特色世界城市建设提供支撑和保障”的城市发展战略。同时提出了“城市建设量水而行,坚持‘节流、开源、保护水源并重’的方针,合理利用多种水资源,提高用水效率,形成优水优用,一水多用的水循环系统”。故如何预测和分配有限的水资源已成为一个值得探讨的关键问题。

本文运用灰色预测和多目标规划的知识,根据北京市 2002 ~ 2011 年水资源和用水量情况,预测 2015 年水资源状况和各产业需水量,并对水资源进行了优化配置,同时满足了经济效益、社会效益、环境效益和生态效益最大化等多方面的要求以供参考。

1.2 数据来源

根据北京市水资源公报[5],全市 2002 ~ 2011 年的水资源和用水量见表 1,作为模型预测和验证的根据。

表 1 2002 ~ 2011 年北京市水资源及配置情况(水单位:亿 m³;人口单位:万人)

年份	水资源总量	再生水量	总用水量	农业用水	工业用水	生活用水	第三产业用水	环境用水	常住人口
2002	16.10		34.63	15.50	7.50	5.40	5.43	0.80	1423.2
2003	18.40		35.80	13.80	8.40	6.38	6.62	0.60	1456.4
2004	21.40	2.04	34.19	13.50	7.70	5.70	6.68	0.61	1492.7
2005	23.20	2.60	34.50	13.20	6.80	5.80	7.60	1.10	1538.0
2006	24.50	3.60	34.32	12.80	6.20	6.00	7.70	1.62	1581.0
2007	23.80	4.95	34.81	12.40	5.80	6.20	7.69	2.72	1633.0
2008	34.20	6.00	35.10	12.00	5.20	6.43	8.27	3.20	1695.0
2009	21.84	6.50	35.50	12.00	5.20	6.66	8.04	3.60	1755.0
2010	23.08	6.80	35.29	11.40	5.10	6.59	8.20	4.00	1961.2
2011	26.81	7.00	36.00	10.90	5.00	7.54	8.06	4.50	2019.0

1.3 建模中的变量符号

数学建模中的变量符号及意义见表 2。

2 模型建立与求解

城市水资源受气候降雨、蒸发,区域中的径流,地下水开采,循环再生水量等多种因素影响。城市需水量受生活需水量、农业需水量、工业需水量、第三产业用水、环境用水的影响。由于生活需水量常受人口数量、居民生活水平、水资源重复利用率等因素的限制,而工业需水量又受工业产值、产品结构、工业用水重复利用率、工业技术进步指数、工业用水价格、政策性节水率、中水回用情况以及时间等因素的限制[6-7],变化较复杂。因此要想罗列出所有影响因素并给出这些因素与需水量之间准确的函数关系非常困难。此外,城市工业用水系统也是一个多因素、多层次的复杂系统,系统中包含已知信息和未知或不确定信息[8],因此它是一个灰色系统。

表 2 模型中的变量符号及意义说明

变量符号	意义说明
x_1	农业供水
x_2	工业供水
x_3	第三产业供水
x_4	生活供水
x_5	环境供水
x_6	再生水量
Q	水资源需求总量
Q_1	农业需水量
Q_2	工业需水量
Q_3	第三产业需水量
Q_4	生活需水量
Q_5	环境需水
Q_i	需水量的第 i 个观察值, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
	供水量的第 i 个观察值, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
$x^{(0)}$	原始数据序列
$x^{(1)}$	$x^{(0)}$ 的一次累加生成序列
$x^{(1)}(k)$	累加序列的第 k 个预测值
$\hat{x}^{(0)}$	$x^{(0)}$ 对应的模拟序列
f_1	经济效益
f_2	生活缺水
f_3	生态效益
f_4	环境效益

根据灰色系统理论原理,可以不去研究这个复杂系统内部因素及它们之间的相互关系,而从已经发生的需水量时间序列这个综合灰色量的本身去挖掘有用信息,利用它的动态记忆特性,建立灰色模型来寻找和揭示系统需水的内在规律,并以此建立模型,对未来的系统需水做出预测。通过对过去 10 年的各个产业及生态需水量,预测出未来若干年所需用水。灰色预测特别针对少量的、不完全的信息,建立灰色微分预测模型,对事物发展规律作出模糊性的长期描述,提供了信息缺少条件下解决系统问题的新途径^[9],已成功地应用于工业、农业、医学等多个领域的需求预测,其中应用最为广泛的灰色预测模型是 GM(1,1)模型。应用该模型进行预测有所需历史数据少、不考虑分布规律、不考虑变化趋势、运算方便、易于检验等优点^[10]。

2.1 GM(1,1)模型的建立

GM(1,1)模型的理论与方法见参考文献[9]。

(1)对 $x^{(0)}$ 进行累加得到 $x^{(1)}$:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \tag{1}$$

(2)根据最小二乘法,确定模型参数:

$$\hat{a} = [au]^T = (B^T B)^{-1} B^T y_N \tag{2}$$

其中:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

(3)建立预测模型及时间响应序列:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{3}$$

(4)检验和判断 GM(1,1)模型精度。

模型预测效果和优劣需经过统计检验来确定,选用后验差比值 C 检验和小误差概率 P 检验方法。C 值越小表明模型所得到的残差不离散,P 值越大表明残差与残差均值小于给定值的点较多。当残差数据方差小于 $P > 0.95, C < 0.35$ 时可认为预测精度“好”,见表 3。

2.2 多目标规划模型的建立

多目标规划是数学规划的一个分支,研究多于一个

表 3 预测模型精度等级标准

项目/精确度等级	好	合格	勉强合格	不合格
P(小误差概率)	>0.95	>0.80	>0.70	≤0.70
C(均方差比)	<0.35	<0.5	<0.65	≥0.65

目标函数在给定区域上的最优化^[11]。一个方案的好坏往往难以用一个指标来判断,而需要用多个目标来比较,从而确定使得各方面综合效果最好的方案。水资源的配置需要考虑到多方面的影响,例如经济效益、社会效益、生态效益、环境效益等,仅考虑一个目标函数显然是不够的。然而在绝大多数情况下,没有一种分配方式会使所有效益最大化,所以需要从中找出一个合适的方式,使得所有方面的综合效益最大^[12]。建立本多目标规划模型的具体步骤包括:(1)确定目标;(2)确定目标的优先权;(3)建立多目标规划模型;(4)求解多目标规划模型。

根据实际情况与需要,对上述四个目标按其重要程度划分不同目标的优先权,分别用 f_1, f_2, f_3, f_4 来表示从高到低的优先权。

针对优先权最高、次高的目标建立线性规划模型并用 matlab 软件求解,一般来说,多目标规划问题很难实现所有目标都能达到的情况,但却可实现大多数目标。

2.2.1 确定目标

应用多目标规划对北京市水资源进行优化配置时,需要考虑多种因素以保证在水资源供给不变的情况下获得最大化利益。本例水资源优化配置的目标是使北京市经济效益、社会效益、生态效益、环境效益最大化。

2.2.2 确定优先权

本例有 4 个同等优先权的任务,用 f_1, f_2, f_3, f_4 来分别表示经济效益、生活缺水、环境效益和生态效益的优先权。

2.2.3 建立多目标规划模型

(1)经济效益最大化:

$$\text{Max } f_1 = \sum_{i=1}^3 xi/ai \tag{4}$$

其中, a_1 为第一产业每万元 GDP 的耗水量, a_2 为第二产业每万元 GDP 的耗水量, a_3 为第三产业及其他的每万元 GDP 的耗水量。

(2)生活缺水最少:社会效益最大化体现为维护社会稳定,生活供水不应低于需水的 90%。

$$\text{Min } f_2 = Q4 - x4 \tag{5}$$

(3)生态效益最大化:为改善日益严重的生态问题,应使生态供水量与需水量之比最大。

$$\text{Max } f_3 = \frac{x5}{Q5} \tag{6}$$

(4)环境效益最大化:为使环境得到进一步改善,应

使再生水利用率达到最大。

$$\text{Max } f_4 = x_6 \quad (7)$$

2.2.4 模型的约束条件

模型为符合实际需要,设置以下条件约束:

(1) 供水总量不超过可供水总量,其中可供水总量 = 水资源总量 + 再生水量。

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq Q + x_6 \quad (8)$$

(2) 各产业供水量不应超过其(最大)需水量。

$$x_i \leq Qi \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (9)$$

(3) 再生水利用量不应超过一产用水量、二产用水量及环境用水量之和:

$$x_6 \leq x_1 + x_2 + x_5 \quad (10)$$

(4) 为维护社会稳定,生活供水不应低于需水的 90%:

$$x_4 \geq 0.9Q_4$$

(5) 非负约束:

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \quad (11)$$

2.2.5 模型公式

综上所述,2015 年北京市用水量的多目标规划模型

表 4 2015 年北京市水资源及需水量预测数据(单位:亿 m³)

年份	水资源总量	再生水量	总需水量	农业需水	工业需水	生活需水	第三产业需水	环境需水
2015 年	21.45	11.96	39.74	9.54	4.41	7.88	9.87	8.04

2.3.2 对北京市 2015 年水资源和用水量的优化配置

用 matlab 求解多目标规划模型,对预测的 2015 年水资源及用水量数据进行优化配置(表 5)。经过计算,

表 5 2015 年北京市水资源优化配置结果(单位:亿 m³)

年份	水资源总量	再生水量	总需水量	农业需水	工业需水	生活需水	第三产业需水	环境需水
2015 年	21.45	11.96	33.41	6.91	4.40	7.09	9.87	5.14

3 结果与讨论

3.1 北京市水资源供需现状与预测

从表 1 可以发现,2008 年北京市的水资源量较其它年份明显增加,其原因是 2008 年全市平均降水量 638 mm,比上年降水量 499 mm 多 28%,使得全市地表水资源量为 12.79 亿 m³,地下水资源量为 21.42 亿 m³,水资源总量达到 34.21 亿 m³。而 2009 年水资源量较其它年份明显减少,其原因是 2009 年为枯水年,全市平均降水量仅 448 mm,比多年平均值 585 mm 少 23%,由此造成全市地表水资源量为 6.76 亿 m³,地下水资源量为 15.08 亿 m³,水资源总量为 21.84 亿 m³,比多年平均值减少^[5]。

《北京市“十二五”时期水资源保护及利用规划》(以下简称《规划》)^[13]显示,北京市 1999~2010 年年均降水量 475 mm,形成地表水资源量 7.3 亿 m³,地下水资

函数关系式为:

$$\begin{cases} \text{Max } f_1 = \sum_{i=1}^3 a_i x_i \\ \text{Min } f_2 = Q_4 - x_4 \\ \text{Max } f_3 = \frac{x_5}{Q_5} \\ \text{Max } f_4 = x_6 \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq Q + x_6 \\ x_i \leq Qi \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \\ x_6 \leq x_1 + x_2 + x_5 \\ x_4 \geq 0.9Q_4 \\ x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \end{cases} \quad (13)$$

2.3 模型求解

2.3.1 对北京市 2015 年水资源和用水量的预测

用 matlab 求解 GM(1,1) 模型,得到“十二五”规划末期 2015 年北京市水资源及用水量的各项预测数据见表 4。

模型中 $a_1 = 1630$, $a_2 = 126$, $a_3 = 13$,将数据代入模型式(12)、式(13)计算得到: $x_1 = 6.913$, $x_2 = 4.4092$, $x_3 = 9.8700$, $x_4 = 7.0920$, $x_5 = 5.1353$, $x_6 = 11.9600$

源量 17.2 亿 m³(扣除地表地下水重复量后地下水资源量 13.9 亿 m³),水资源总量 21.2 亿 m³。其中,北京市 2011~2015 用水量规划见表 6。

表 6 北京市“十二五”时期全市用水量预测表(单位:亿 m³)

分 项	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
生活用水量	16.2	16.8	17.4	18	18.6
工业用水量	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
农业用水量	12	12	12	12	12
环境用水量	3.8	3.9	4	4.1	5.3
总用水量	37.2	37.9	38.6	39.3	41.1

本文预测结果显示,北京市 2015 年水资源总量分别为 21.4523 亿 m³,与北京市“十二五”规划的水资源总量 21.2 亿 m³ 相比十分接近,对 2015 年总需水量的预测为 39.74 亿 m³,也与《规划》比较接近。两个预测结果的差异主要体现在工业需水、农业需水和生活需水量预测值不尽相同。从表 6 中可以发现,造成这一差异

的原因之一是《规划》预测中工业用水和农业用水量自2011~2015年五年中没有变化,总用水量随着生活用水量和环境用水量的增加而增长至41.1亿 m^3 。但这一情况与北京市的社会经济发展和用水量变化趋势不甚相符。许凤冉等^[14]分析了北京市1990~2002年产业结构调整与用水量的关系,发现随着第一产业(农业)占GDP比重的下降,第二产业(工业)增速放缓,第三产业成为第一大产业,北京市总用水量呈现了稳中有降趋势,并提出了加强北京“三二一”型产业结构的调整促进水资源优化配置和建设节水型社会的建议。《规划》也指出了“十二五”期间的北京市水资源规划原则是“按照用水量总量控制、生活用水适当增长、工业用新水零增长、农业用新水负增长、生态环境扩大再生水使用的原则”进行规划。《北京市水资源公报》^[5]显示,2011年北京市总用水量仅36.00亿 m^3 ,其中农业用水10.9亿 m^3 ,工业用水5亿 m^3 ,生活用水7.54亿 m^3 。结合北京市产业结构调整的现状,农业用水量进一步下降,工业用水量平稳,生活用水增加更符合北京市社会经济发展实际。我们预测北京市2015年用水结构将得到进一步调整,农业需水在2011年10.9亿 m^3 基础上进一步减少到9.54亿 m^3 ,生活需水、第三产业需水和环境需水将在2011基础上分别增加到7.88亿 m^3 、9.87亿 m^3 和8.04亿 m^3 ,总需水量39.74亿 m^3 ;再生水量在2011基础上进一步提升至11.96亿 m^3 ,是更加科学和贴近实际的,也是与《规划》原则相统一的。

3.2 北京市水资源和用水量的优化配置

《北京市水资源公报》^[5]数据显示,自2002年至2011年,北京每年均存在较大水资源缺口,最高年份为2004年,供水缺口高达10.75亿 m^3 。《规划》预测:由于“降水和来水严重不足”、“城市应急水源地已接近开采极限”,2013、2014年北京市分别缺水“6.5亿 m^3 ”和“6.6亿 m^3 ”,模型预测到2015年北京市水资源缺口仍将存在,水资源缺口总量达6.33亿 m^3 ,与《规划》的预测十分一致。北京市水资源的供需平衡仍将在很长一段时间依赖于境外调水。有研究显示,城市人口增长过快是导致北京市生活用水增长和水资源短缺的主要原因之一,并指出:北京市未来水资源能否满足人口的快速增长的关键在于再生水的充分处理和有效利用、南水北调供水入京^[4]。在北京市自然水资源无法开源及南水北调中线工程建设周期延长的情况下,通过调整用水结构和增加水资源的循环利用无疑是节水的重要战略之一。据报道,2015年北京市年污水总量约为16~18亿 m^3 ,按《规划》中提出的2015年“全市污水处理率达

到90%以上”、“全市再生水利用率75%”、“再生水利用10亿 m^3 ”的目标测算,2015年再生水量约为10.8到12.15亿 m^3 。我们采用灰色模型预测到2015年循环再生水量将达到11.96亿 m^3 ,与该《规划》十分吻合。

为缓解北京市水资源短缺,政府实施了河北应急调水、引黄济京、南水北调等境外调水工程,将极大缓解北京市未来水资源短缺状态。但有专家指出,即便南水北调工程2014年进京后每年可提供10亿 m^3 水源,随着北京人口规模的迅速膨胀,也难以缓解北京严重缺水的局面,仍需要进一步研究开源节流的新办法,继续提高水资源利用效率。未来北京市的水资源规划更好的战略应该是在可供水总量下实行“总量控制、结构调整”的可持续、生态发展战略。我们预测2015年北京市可供水总量(等于水资源总量加再生水量)约33.41亿 m^3 。为更多挖掘北京市水资源利用效率,我们采用多目标规划,在保持可供水总量与总用水量相当的前提下,建议通过减少农业用水2.63亿 m^3 ,维持工业用水量水平,减少生活用水0.79亿 m^3 和环境用水2.90亿 m^3 ,以实现北京市经济效益、社会效益、生态效益、环境效益的最大化。

4 结论

(1)土地、水资源、能源和环境是城市可持续发展的四大支柱,水资源更是人类生存发展的物质基础,是可持续发展的重要保障。我国是一个贫水的国家。我国水资源战略规划提出到2020年万元国内生产总值(GDP)用水量较2008年降低50%左右,2030年再降40%的中长期目标。因此,做好水资源的总量控制和优化配置将是一个长期战略。应用灰色预测模型研究了北京市“十二五”规划末期2015年水资源和用水量情况,并运用多目标规划模型在可供水总量的限制下、在保证北京市社会效益、经济效益、环境效益和生态效益最大化的前提下对有限水资源进行了最优配置,为未来城市水资源的规划和管理提供了一个有益的参考。灰色预测模型和多目标规划的结合对水资源优化使用安排能提供战略性的全面规划和管理,为社会的可持续发展发挥极其重要的作用。

(2)北京是中国的首都,城市发展长期以来依赖于境外调水入京。首都北京的和谐、生态、可持续发展有赖于在“总量控制,结构调整”下的水资源优化配置和管理。在2015年,通过减少农业用水、生活用水和环境用水,维持工业用水水平,可以实现北京市可供水量与总需水量的平衡,并实现城市经济效益、社会效益、生态效益、环境效益的最大化。这对首都北京乃至全国其它城

市未来水资源规划和管理有着积极意义,值得有关部门参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 李纯,袁汝兵,王彦峰.北京市水资源危机与可持续利用探讨[J].环境科学与技术,2009,32(6):533-535.
- [2] 唐敏.数学模型的建立探析[J].西南民族大学学报:自然科学版,2011,37(5):727-730.
- [3] 杨东平.北京的水资源危机[J].报林,2005(11):24-25.
- [4] 刘鹏飞,刘强.北京市水资源人口承载力的预测研究[J].安徽农业科学,2012,40(1):329-331.
- [5] 北京市水务局.2002-2011 北京市水资源公报[EB/OL].<http://www.bjwater.gov.cn/tabid/207/Default.aspx>, 2013,02-08.
- [6] 张雅君,刘全胜.北京工业需水量的多元回归分析及预测[J].给水排水,2002,28(11):53-55.
- [7] 王兵,王伯铎,林积泉,等.高等学校污水再生利用的途径与效益研究[J].西北大学学报:自然科学版,2007,37(2):322-325.
- [8] Michael J B, Slobodan P S. A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115(1): 35-44.
- [9] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [10] 汪妮,孙博,张刚.改进的灰色模型在城市工业需水量预测中的应用[J].西北大学学报:自然科学版, 2009,39(2):313-316.
- [11] Kilic M, Anac S. Multi-Objective Planning Model for Large Scale Irrigation Systems: Method and Application[J]. Water Resources Management, 2010, 24 (12): 3173-3194.
- [12] Godoy W R, Barton A F, Perera B J. A Procedure for Formulation of Multi-Objective Optimisation Problems in Complex Water Resources Systems[R]. 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia, 12-16 December 2011. <http://www.mssanz.org.au/modsim2011/111/godoy.pdf>.
- [13] 北京市人民政府.北京市“十二五”时期水资源保护及利用规划[EB/OL].<http://zhengwu.beijing.gov.cn/ghxx/sewgh/t1222920.htm>, 2013,02-08.
- [14] 许凤冉,陈林涛,张春玲,等.北京市产业结构调整与用水量关系的研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2005,3(4):258-263.

Forecasting and Optimizing of Water Resources Based on Grey Prediction and Multi-objective Planning Model

ZHONG Chen-yu, HU Hui-ting

(School of Mathematics & Computational Science, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: To explore the methods of forecasting and optimal allocation of water resources in a city, take Beijing as an example, we use the methods of gray GM (1,1) forecasting and multi-objective planning model to build a mathematical model which is used to study the optimal allocation program of water resources on the premises of the maximizing of economic, social, eco-efficiency and environmental benefits in Beijing. Predicting results show that the total water resources is 2.14523 billion m^3 , recycled water is 1.196 billion m^3 and the total water demand is 3.974 billion m^3 of Beijing in 2015. There is a gap of 0.633 billion m^3 will continue to exist that will be dependent on diversion of outside water. Those are very near the data of “Twelfth five Year Plan” about water resources of Beijing. The results of Multi-objective programming model show that Beijing can achieve a basic balance between the total available water and demanded water to maximize the benefits of economy, society, ecology and environment, by increasing the amount of recycling water resources, reducing the amount of agricultural water, domestic water and environmental water, maintaining the existing industrial water consumption. Grey GM (1,1) prediction and multi-objective programming model can work well in the prediction of future conditions of urban water supply and demand and the optimization of allocation of water resources. It can be used for forecasting and integrated planning of regional water resources.

Key words: water resources; gray forecasting; multi-objective planning; optimal allocation