

城市水资源再生利用系统分析及模拟

李 梅^{1,2}, 朱 丽², 王洪波²

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 山东建筑大学市政与环境工程学院, 山东 济南 250101)

摘要 运用系统动力学方法,建立了城市水资源再生利用与社会、经济、资源之间相互关系的系统动力学模型(SD模型)。将模型用于西宁市水资源的规划中,通过模型模拟和运行方案,对西宁市水资源再生回用系统的发展趋势进行了中、长期预测。结果表明:随着污水回用的增大,将增大城市供水量,促进城市的经济发展。SD模型能够模拟不同设计方案下系统的发展趋势,为决策者提供理论依据。

关键词 SD模型;水资源;污水回用;系统分析;西宁市

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2008)01-0031-03

System analysis and simulation of reclamation and utilization of urban water resources

LI Mei^{1,2}, ZHU Li², WANG Hong-bo²

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. School of Public Works and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

Abstract The system dynamics model(SD model), which described the relationship between municipal water resources reclamation & utilization(MWRRU) and society, economy and resources was established and applied to water resources planning in Xi'ning City. The medium and long-term prediction of the development trend of MWRRU system of the city was accomplished by model simulation & design proposal running. It is concluded that with the increasing of wastewater reuse, the urban water supply would increased, and the urban economic development would be promoted. The SD model could simulate the system trend under different design proposal and could offer theoretical bases for decision makers.

Key words system dynamics model(SD model); water resources; reclamation and utilization of wastewater; system analysis; Xi'ning City

我国西北地区水资源总量少、降水量小、生态环境恶化、水资源开发利用受限^[1],这些地域特点决定了该地区水资源紧缺,并限制了经济的发展。例如西宁市作为西北地区具有代表性和西部大开发中的重点城市,水资源开发利用程度已达极限,周边环境生态平衡严重失调,西宁的水资源问题已成为制约城市经济发展和生态建设的重要因素,亟待寻求新的水源。水资源再生利用作为一条解决水资源短缺的有效途径,已受到普遍关注。

1 西宁市水资源状况

1.1 水资源概况

西宁市是青海省省会,是全省政治、经济、文化和信息中心。西宁市属高原干旱大陆性气候区,四季变化明显,夏季凉爽,冬季寒冷。西宁市地理位置决定了该市干旱少雨、生态环境脆弱、水资源总量少的特点。西宁市水资源总量为 13.14 亿 m³,人均水资源量仅为 683.5 m³,为全国平均水平的 1/3,市区总供水量的 83%是境外调水与客水^[2],属于典型的资源型缺水城市。

作者简介:李梅(1968—),女,内蒙古包头人,副教授,在读博士后,主要从事水处理技术、水资源保护与规划等方面的教学与研究工作。

E-mail: limei0361@sina.com

在建模过程已得到验证,本次模型通过选用变量进行验证,验证指标以相对误差表示。结果表明:最大误差在允许范围之内,认为模型仿真结果与实际值拟和较好,模型具有较好的适用性。

3 模型预测结果分析

3.1 方案设计

通过调整每个变量和几种变量的组合,进行模型仿真模拟,设计了3种方案进行分析。输入3个方案的决策变量,运行结果反映了西宁市水资源再生利用系统在不同方案下的行为。本文从城市用水量、回用量、缺水量和工业产值等几方面考察西宁市水资源再生利用与社会、经济发展的关系。

方案一:按现状发展,不考虑污水回用。

方案二:根据“西宁城市总体规划(1999~2020)”目标,即2020年污水二级处理率达到100%,污水回用率达到50%。设计方案中把二级处理增长率和回用增长率分配到每年,平均逐年增长,即二级处理增长率5.8%,回用增长率5.0%。

方案三:根据我国“城市污水处理及污染防治技术指南”目标,2010年污水二级处理率达到50%,2030年达到85%,污水回用率在2010年实现30%。方案设计中,确定2000~2010年期间二级处理增长率8.0%,回用增长率7.0%;2010~2020年期间二级处理增长率3.8%,回用增长率3.5%。

3.2 模型模拟及结果分析

3.2.1 城市需水量

按照西宁城市规划发展,城市总需水量的模拟预测见图4。图4中可看出,城市需水总量在2010年为1.52亿 m^3 ,在2020年达到1.98亿 m^3 ;工业用水2010年为0.78亿 m^3 ,2020年达到1.08亿 m^3 ;生活用水2010年为0.75亿 m^3 ,在2020年达到0.90亿 m^3 。工业用水和生活用水均随着时间呈上升趋势。生活用水受人口的影响,工业用水受到万元产值用水量和产值的影响^[6]。

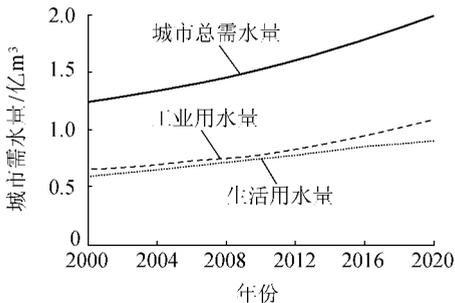


图4 城市需水量预测

3.2.2 污水回用量

不同方案模拟的回用量见图5,方案一由于没有考虑回用量,回用量为零;方案二和方案三均考虑

了污水回用,但回用水量增长速度不同。方案三的回用量在2010年达到5876万 m^3 ,比方案二的3847万 m^3 高出2000万 m^3 ;在2020年,方案三回用量达到11179万 m^3 ,方案二的回用量为10644万 m^3 。根据总需水量和总供给量的差额,可得出城市的缺水量,方案一在2010年缺水1608万 m^3 ,在2020年缺水2136万 m^3 。方案二和方案三的缺水量在2010年分别为263万 m^3 、206万 m^3 ,在2020年分别为338万 m^3 、320万 m^3 ,方案一的缺水程度比较严重。模拟结果表明:污水回用后增加了城市供水量,使缺水程度有所缓解。

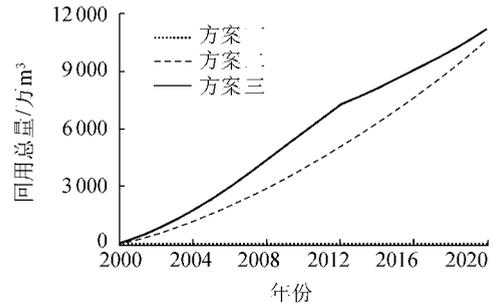


图5 污水回用量模拟预测

模型模拟污水回用率的结果见表1,2010年三个方案的污水回用率依次分别为0、0.25、0.44,2020年三个方案的污水回用率依次分别为0、0.56、0.59。方案三由于加快了2000~2010年阶段污水二级处理和污水回用的建设速度,所以回用量和回用率在2010年和2020年也均高于方案二。根据我国“城市污水处理及污染防治技术指南”目标,污水回用率在2010年实现30%的目标,方案三的污水回用率能够实现我国规定的目标值,但需要加大污水二级处理和回用项目的投资。

表1 三个方案的污水回用率

年份	方案一	方案二	方案三	年份	方案一	方案二	方案三
2000	0	0	0	2015	0	0.43	0.54
2005	0	0.13	0.19	2020	0	0.56	0.59
2010	0	0.25	0.44				

3.2.3 工业产值

三个方案下西宁市工业产值的模拟结果见图6。

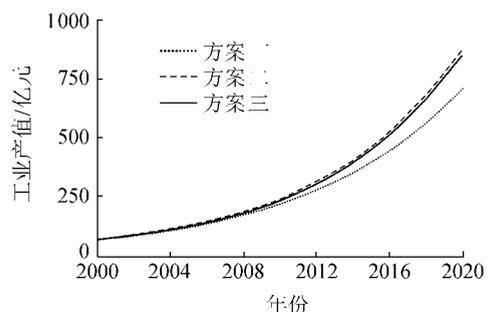


图6 工业产值模拟预测

(下转第41页)

平均浓度 \bar{C}_x 即排污口断面污染物混合浓度 C_0 ;求解容量为管理环境容量 ,因而背景浓度 C_a 即计算河段所在功能区的水质目标 C_S ,则式(8)变为

$$\bar{S}_S = \frac{c - C_S}{C_0 - C_S} \quad (9)$$

不少国家和地区对排污的设计初始稀释度都有规定 ,如美国要求最小初始稀释度为 100 ,英国为 50 ,香港一般为 $85^{[1]}$ 。我国目前只在 GB 18486—2001《污水海洋处置工程污染控制标准》^[2]中对排往河口水体的污水海洋处置排放点对应的设计初始稀释度作了相关规定。参考以上规定并根据我国实际情况 ,得出一般地表河流排污口断面平均稀释度要求 ,Ⅲ类水为 50 ,Ⅳ类水为 40 ,Ⅴ类水为 30。

3.2 设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度确定

以 COD 为例 ,由于反向计算是虚拟排污口 ,排污口不针对具体行业企业 ,因而只需知道各类水域污染物最高允许排放浓度。由 GB 8978—1996《污水综合排放标准》^[3]知 ,排入Ⅲ类地表水体的污水中 COD 最高允许排放质量浓度是 100 mg/L ,排入Ⅳ类和Ⅴ类地表水体的污水中 COD 最高允许排放质量浓度是 300 mg/L。

已知排污口断面平均稀释度 \bar{S}_S 、水质目标 C_S 、污水中污染物浓度 c ,由式(9)求得排污口断面污染物混合浓度 C_0 ,从而确定设计断面水质超标幅度为

$$\beta_S = \frac{C_0 - C_S}{C_S} = \frac{c - C_S}{\bar{S}_S C_S} \quad (10)$$

结合一维衰减方程式(1) ,考虑设计河段水质达

标比例 α_S ,可求得设计河段计算单元长度 L_S 为

$$L_S = \frac{1}{(1 - \alpha_S)} \ln \left(\frac{c + (\bar{S}_S - 1)C_S}{\bar{S}_S C_S} \right) \frac{86.4u}{K} \quad (11)$$

确定 L_S 后 ,分段计算容量 ,求其和即得总容量 :

$$W = Q[(C_S e^{K(1 - \alpha_S)L_S(86.4u)} - C) + (C_S - C_S e^{-K\alpha_S L_S(86.4u)})] \quad (12)$$

4 算例

选取广西左江某河段作实例 ,该河段长 73 km ,设计流量 $84 \text{ m}^3/\text{s}$,设计流速为 0.1 m/s ,COD 上断面来水水质和下断面目标水质皆为 20 mg/L ,COD 综合降解系数为 $0.2/\text{d}$ 。

采用传统容量算法 ,得该河段容量值为 23.41 万 t/a。

采用本文推荐容量算法 ,设计河段水质达标比例取推荐值 0.5 ,计算得设计河段计算单元长度为 15.3 km ,据此将该河段分成 5 段计算 ,得该河段容量值为 8.98 万 t/a ,仅为传统算法容量值的 38.36%。

可以看出 ,采用本文推荐算法 ,容量计算安全性得以提高 ,对提高水环境管理水平有一定意义。

参考文献 :

- [1] 张永良 ,李玉樑 . 排污混合区分析计算指南 [M]. 北京 :海洋出版社 ,1993 52-53.
- [2] GB 18486—2001 污水海洋处置工程污染控制标准 [S].
- [3] GB 8978—1996 污水综合排放标准 [S].

(收稿日期 2006-11-16 编辑 :傅伟群)

(上接第 页)

方案三在 2010 年和 2020 年的工业产值均高出方案一和方案二。方案一比其他两个方案缺水程度严重 ,受缺水程度的影响 ,该方案下的工业产值偏低 ,方案二和方案三虽然回用量不同 ,但城市缺水状况均得到缓解 ,这两个方案的工业产值相差不大 ,三个方案的工业产值到 2010 年分别为 218 亿元、236 亿元和 232 亿元 ,2020 年分别为 707 亿元、877 亿元和 870 亿元。

4 结论

通过城市水资源再生回用系统 SD 模型在西宁实例研究的应用 ,预测了西宁城市在不同方案下污水再生回用的发展趋势以及污水回用对城市经济发展的影响。结果表明模型应用效果较好 ,说明模型具有实用性 ,能为决策者提供可靠的理论依据。决策者可根据当地的实际情况和经济条件 ,选择合适

的方案。

参考文献 :

- [1] 刘昌明 . 我国西部大开发中有关水资源的若干问题 [J]. 中国水利 ,2000(8) 23-25.
- [2] 西宁市统计局 . 西宁统计年鉴 [M]. 北京 :中国统计出版社 ,2000 53-72.
- [3] 王其藩 . 系统动力学 [M]. 北京 :清华大学出版社 ,1994 :1-5.
- [4] TAKASHI A. Planning and implementation of water reuse projec [J]. Water Science and Technology ,1991 ,24(9) :24-26.
- [5] SLOBODAN P S. World water dynamics :global modeling of water resources [J]. Journal of Environmental Management ,2002 66(3) 249-267.
- [6] 李梅 . 城市污水再生回用系统分析及模拟预测 [D]. 西安 :西安建筑科技大学 ,2003.

(收稿日期 2007-02-28 编辑 :傅伟群)