

城市规划实施过程的水资源承载力自适应评估

赵楠, 刘毅, 陈吉宁* (清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 估算目标年水资源的供给和需求是城市规划编制的内容之一,通常方法是基于特定情景假设下的历史信息外推,但这具有突出的不确定性;规划在实施过程中也将面临各类不确定因素的干扰,从而改变目标年水资源承载力(供给与需求差值)的风险水平.鉴于此,提出基于自适应管理的评估方法:依据规划实施过程不同阶段可获得的历史数据,利用时间序列分析、曲线拟合、组合预测、蒙特卡罗采样等方法,识别未来水资源承载力风险特征的变化,作为应对措施决策的依据.北京市案例研究表明,用2006年(应对年)之前数据与用2002年(基准年)之前数据预测结果存在较大差异:2020年(目标年)水资源需求与供给差值的数学期望由-9.8亿 m^3 (2002)增加至-3.4亿 m^3 (2006),风险保证率(需求不超过供给能力的概率)由70.5%下降至58.6%,标准差由23.2亿 m^3 缩小至11.2亿 m^3 ;在95%风险保证率下,供需缺口由9.4亿 m^3 增加至11.6亿 m^3 .

关键词: 自适应评估; 城市(总体)规划; 水资源承载力; 不确定分析; 趋势预测

中图分类号: X32 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)10-0944-06

Adaptive assessment on water resource carrying capacity during implementation of urban plan. ZHAO Nan, LIU Yi, CHEN Ji-ning* (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2008,28(10): 944~949

Abstract: It is needed to estimate water resource supply and demand in the target year in urban planning. However, the conventional technique extrapolates historic data under hyposized scenarios that uncertainties will lead to unreliable planning schemes. Also various uncertainties during the implematation can influence the characteristics of risk for water resource carrying capacity in the target year. The proposed assessment method is based on the adaptive management theory. Depending on different time length historic data series obtained during plan implementation, time series analysis, curve regression, combination forecasting and Monte-Carlo sampling were used to estimate the variation of risks for future water resource carrying capacity. The results could be basis of decision-making. The case study on Beijing municipality showed that there were considerable differences in the forecasting results of water resource shortage (demand minuses supply) in 2020, by using two time series data (pre-2002 and pre-2006, respectively). The mathematic expectation increased from -0.98 billion m^3 to -0.34 billion m^3 . The standard deviation drops from 2.32 billion m^3 to 1.12 billion m^3 . The risk secure level (probability of demand within supply capacity) decreased from 70.5% to 58.6%. For achieving the 95% secure level, there is the shortage of 0.94 billion m^3 and 1.16 billion m^3 in water supply capacity.

Key words: adaptive assessment; urban master plan; water resource carrying capacity; uncertainty analysis; trend forecasting

面对由城市社会经济、资源环境共同构成的复杂系统,规划的本质决定了确定的规划是不确定的未来现实的反映,而后者又是前者的作用结果^[1].在城市总体规划的编制中,通常基于对社会经济发展历史信息的分析和外推以及未来情景假设,估算目标年水资源需求,并以此来计划城市水资源供给保障工程.具有较大不确定性的水资源需求预测^[2],在相对刚性的供水措施约束下,形成水资源承载力不足的风险;且由于规划实施的过程中可能引入某些不可预知的影响因素^[3],所以在规划实施的不同阶段面对的风险,其特征是

不同的.为了应对这种处于变化状态的风险,提出自适应评估的概念:在不确定分析的基础上,对规划实施过程中城市社会经济-水系统进行有效监控,掌握规划实施的历史轨迹,进行信息反馈,不断矫正预测结果,为应对风险提供决策支持.

1 自适应评估方法

自适应管理的基本概念和过程如图1所示.

收稿日期: 2008-03-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40701057)

* 责任作者, 教授, jchen1@tsinghua.edu.cn

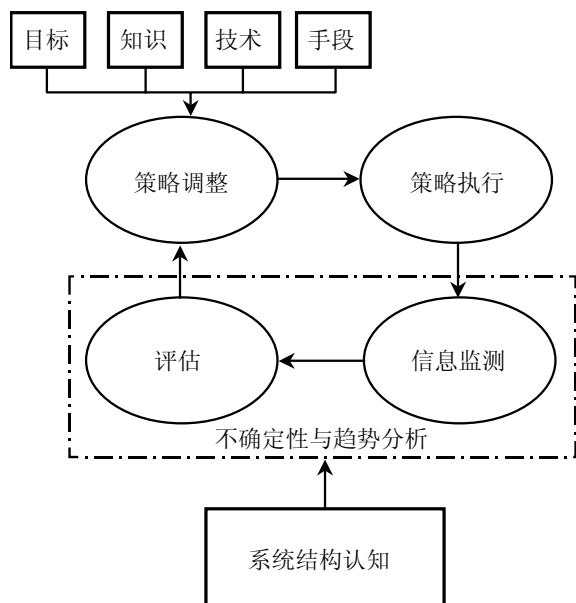


图1 自适应管理示意

Fig.1 Framework of adaptive management

图1表明,自适应管理可看作在对系统结构认知的基础上,由4个环节构成的循环式流程,其中“评估”作为重要环节之一,具有分析前一阶段管理策略执行后反馈的信息,对下一阶段管理

策略的调整提供决策支持的功能.该“评估”的具体内容是通过对新信息的不断学习,更新对系统不确定特征以及未来发展趋势的认识,提出更合理的目标、知识、技术、手段等作为调整策略.

1.1 城市总体规划与社会经济-水系统的关系

影响城市系统发展演化的因素可以分为两类^[4-5]:一类是源于城市的自组织性,是由市场规律主导的,表现为各类要素的流动、集聚等特征,并自然地推动城市社会经济的发展 and 扩张;另一类是人为对城市的规划控制,是以行政手段为主,通过对土地利用和基础设施项目进行监管控制和投资建设,形成对城市的刚性约束和发展保障.城市总体规划是为管理城市发展进行导航的蓝图,它的编制经过对历史数据的调研分析,基于对未来社会经济发展规模和结构的预测,设定了未来发展目标和实现目标的保障措施,最终以土地利用的形式在空间上予以分配.因此,城市总体规划对发展规模、结构、布局等方面信息的考虑,将会直接或间接地对社会经济-水系统产生影响(图2).

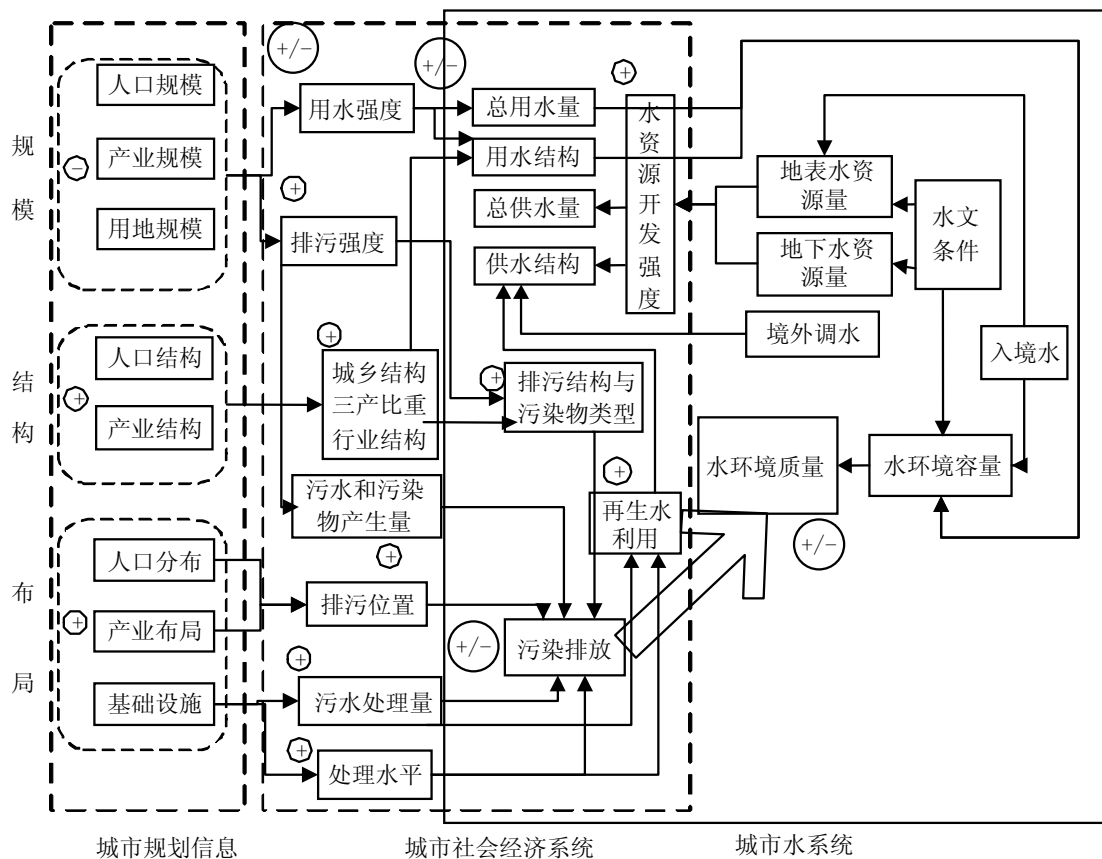


图2 城市规划与社会经济-水系统的关系

Fig.2 Relationship between urban plan and socio economic-water system

图中+、-符号表示规划对水系统的正面和负面影响,圆圈的相对大小表示不确定程度

由图 2 可知,在城市总体规划实施过程中,水资源承载力具有不确定性:其一,水系统的边界部分超出了城市总体规划实施控制的范围,且城市社会经济的发展难以与规划编制中预测的路径完全吻合.其二,不确定性在规划的制定和实施过程中通过传递、累积和放大,最终形成水资源承载力不足的风险.

1.2 不确定性及趋势分析

城市水资源供需平衡存在如下关系:

$$B = R \cdot E - S \cdot C \quad (1)$$

式中, B 为供需平衡指数, $B > 0$ 为安全; R 代表资源天然禀赋; E 代表资源开发利用水平; S 代表社会经济发展规模; C 代表社会经济发展的资源消耗强度.式中等式右侧的变量均为不确定因素,可以认为它们的未来取值是符合某种概率分布的随机量.假若出现社会经济规模增长偏快,资源利用效率改善不足,资源禀赋出现天然不足等情况,在城市社会经济-水系统中通过综合作用最终会对资源供需平衡产生巨大影响.城市总体规划编制时,是基于对基准年之前的历史信息分析,来对各不确定因素进行预测.针对资源供需安排的工程措施是考虑了预留一定应对风险的能力后,以确定的形式给出的,若不能在规划实施过程中及时识别风险的变化,则有可能在目标年出现资源供需缺口等问题.但城市向规划目标年演变的过程中,决策者针对上述因素可获得的历史信息是不断更新的,因此可通过对现实信息的不断获取与学习,重新认识未来的发展趋势和估计水资源供需平衡风险,研究风险应对措施和调整.

实际情况表明,系统中各类因素的信息特征是不同的:有的具有较为丰富的数据基础,在多年的时间序列上保持一定的趋势(例如社会经济规模);有的从长期来看,序列缺乏规律性,但在短期内受到某种外界因素的作用形成明显的走势(例如资源消耗强度);有的数据年际波动幅度很大(例如资源禀赋);有的较为平滑.

可用于城市(总体)规划编制中预测未来的数学方法和模型有很多种^[6].针对同样的基础数据会得到不同的预测结果,对信息的处理和分析可根据数据的特征选用不同的数学方法来实现,

例如将回归分析用于短期数据的拟合外推(当采用多种拟合曲线均表现出较为理想的拟合效果时,采用组合预测法)、时间序列分析用于趋势明显的历史多年数据;用指数平滑算法处理波动较大的序列.并且,采用统计学中区间估计的方法,对预测的结果保留某种置信度(本文采用 95%)下的不确定范围,作为风险估计的依据.

在规划实施过程的不同阶段,利用当时掌握的数据重新对系统中各不确定因素进行未来趋势预测,得到的结果具有以下特征:数学期望发生变化;不确定区间,即方差发生变化.进而利用 Monte-Carlo 随机采样方法,将各因素的采样值综合叠加最终形成符合某种概率分布,在不同阶段有所变化的未来水资源承载力风险.

1.3 应对决策分析

通过在规划实施过程中的不同阶段进行对未来趋势的不确定分析,更新了风险的特征.从自适应管理的角度讲,随规划实施过程而发生变化的目标年水资源承载力风险区间包含了对城市系统自适应潜力(Flexibility),以及自适应能力(Adaptivity)的需求两层含义^[7].前者体现在风险区间的边界范围大小,不确定范围越大,越需要更加充足、完善的备用方案;后者表现为规划实施不同阶段所认知的未来风险区间的移动,移动的幅度越明显,越说明需要更为及时地采取有效应对措施.

应对决策的依据包括风险保证率(要求不超过供给能力的概率)、费用效益水平等;应对决策的对象可以是系统中社会经济规模、结构,资源消耗强度,资源禀赋,开发利用水平等各个因素.应对决策的方式包括调整规划目标、补充更新所需的知识信息、开发更有效的技术、采用更合理的实施手段和政策等.

2 案例研究

对《北京城市总体规划 2004~2020》进行案例研究,规划编制时主要依据 2002 年之前的信息,因此将其作为基准年;2006 年作为应对年,之前的信息作为自适应评估的依据.与式(1)相对应,关注以下会对水资源供需平衡造成影响的因素:人口、产业发展规模(S);生活、工业、农业用水

的强度(C),再生水利用,境外调水(E);天然水资源量,入境水(R).

2.1 北京市社会经济与水系统的不确定性及趋势

对于人口、第一产业、工业、第三产业增加值,采用 SPSS 软件的 Time Series 中 Expert Modeler 进行预测和区间估计(图 3~图 5).

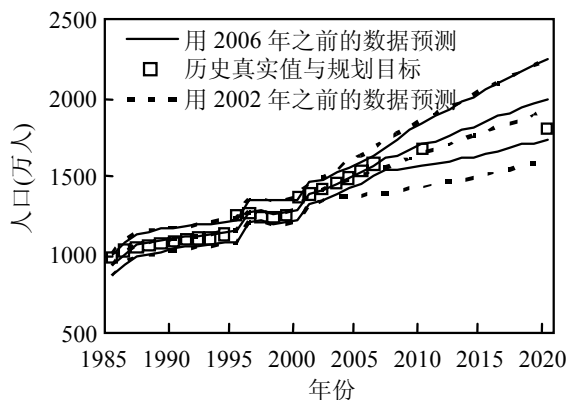


图 3 北京市人口数不确定分析与趋势

Fig.3 Population trend forecasting of Beijing City

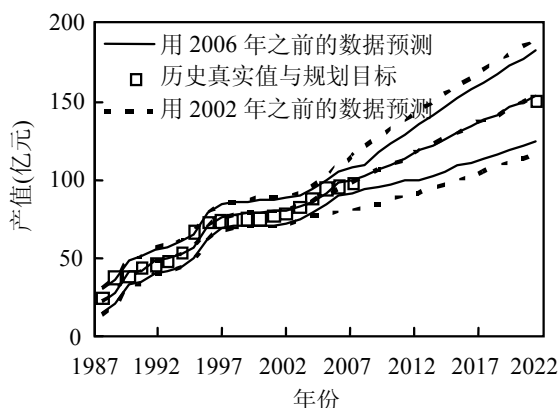


图 4 北京市第一产业产值不确定分析与趋势

Fig.4 Agricultural economic production trend forecasting of Beijing City

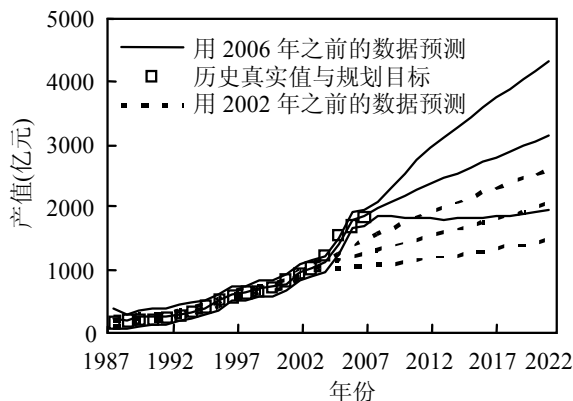


图 5 北京市工业增加值不确定分析与趋势预测

Fig.5 Industrial economic production trend forecasting of Beijing City

对比用 2006 年之前数据与用 2002 年之前数据预测的结果发现,人口在规划目标年的期望值略有上移,超出了规划目标,不确定区间缩小;第一产业产值的期望值无明显变化,与规划目标吻合,不确定区间缩小;工业增加值的期望值明显上升,不确定区间放大。

对于生活、工业、农业用水强度,进行 2006 年之前数据的回归分析(因为历史数据不足,没有对 2002 年之前的数据拟合),选择拟合度较好(R^2 较高)的曲线进行线性组合形成最后的预测区间(图 6~图 8).可见工业、农业的单位经济用水强度都有明显下降,趋势预测的期望值不同程度地优于规划目标的水平,人均生活用水强度的预测期望值略高于规划目标。

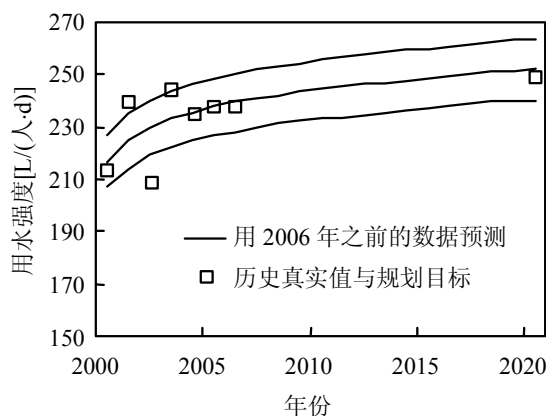


图 6 北京市人均生活用水不确定分析与趋势

Fig.6 Water use for living per capita-trend forecasting of Beijing City

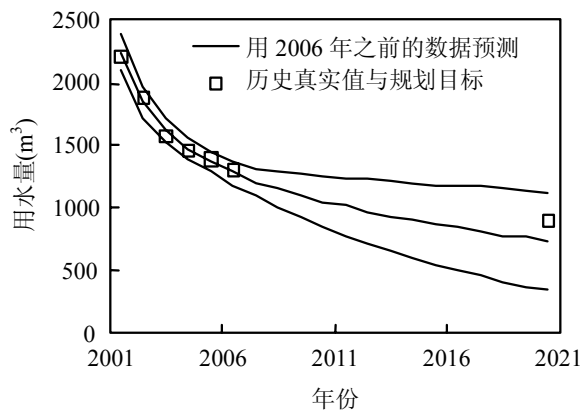


图 7 北京市万元第一产业产值用水不确定分析与趋势

Fig.7 Water use per unit of agricultural economic production-trend forecasting of Beijing City

对于北京市水资源禀赋,采用 SPSS 软件

Time Series 中 Exponential Smoothing 进行预测和区间估计(图 9).由于 1999 年起出现多年连续枯水年,用 2002 年之前数据以及 2006 年之前数据预测的未来水资源量的期望值都明显低于用 1998 年之前数据预测结果.

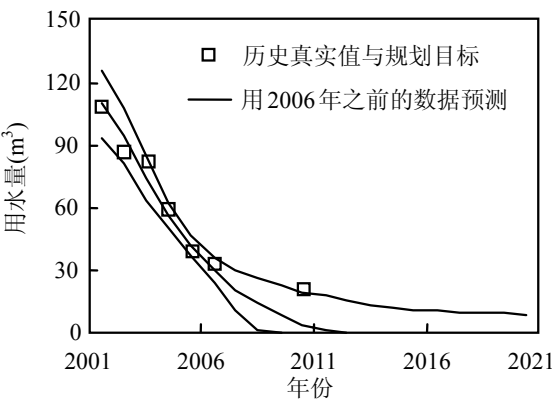


图 8 北京市万元工业增加值用水不确定分析与趋势
Fig.8 Water use per unit of industrial economic production-trend forecasting of Beijing City

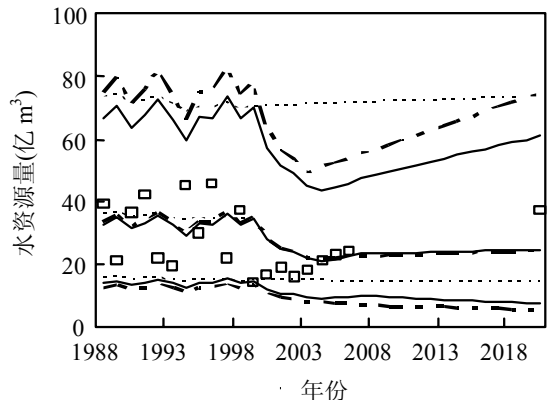


图 9 北京市水资源量不确定分析与趋势预测
Fig.9 Quantity of natural water resource trend forecasting of Beijing City
.....用 1998 年之前的数据预测 —·—·用 2002 年之前的数据预测
——用 2006 年之前的数据预测 □历史真实值与规划目标

2.2 北京市水资源承载力风险变化与应对

无论是时间序列分析还是组合预测方法,趋势预测的区间估计方法大多是基于偏差符合以 0 为均值的正态分布的假定^[8-9].将 2.1 中各因素在 2020 年的预测结果看作符合正态分布,各生成 1000 个随机数样本并进行运算,发现生活需水量的分布基本在规划目标值以上,农业和工业需水量优于规划预期,三者之和也基本没有超出目标

值;规划中对于地表水和地下水资源的预期未能充分考虑近些年连续枯水的特殊状况,水资源量的分布基本达不到预期值.

假设南水北调的供水能力、再生水和雨水的利用、生态环境的需水量、地表水和地下水开发利用效率都与规划预期值完全一致,分别对用 2002 年之前的数据和用 2006 年之前的数据预测后并随机采样的结果(用水强度统一,用图 6~图 8 的数据),绘制供需平衡差值(需水量-可供水量)的概率密度函数曲线,计算 95%风险保证率下所需新增的供水能力,如图 10.

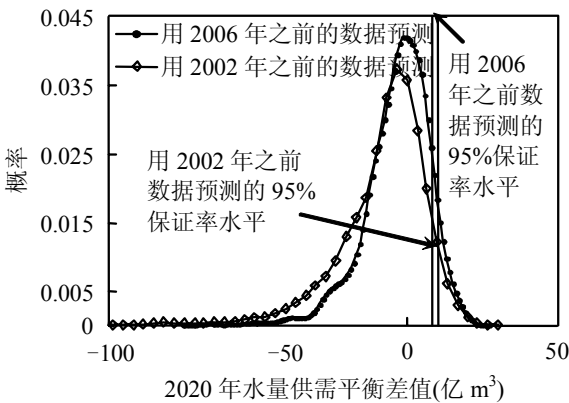


图 10 供需平衡差值的概率密度曲线
Fig.10 Probability density curves of water resource shortage

水资源需求与供给差值的不确定特征表现为:数学期望值都为负值(满足规划预期的水资源供需平衡),由-9.8 亿 m^3 增加至-3.4 亿 m^3 ,标准差由 23.2 亿 m^3 缩小至 11.2 亿 m^3 ,风险保证率由 70.5%下降至 58.6%;在 95%风险保证率水平下,规划目标年供需缺口分别为 9.4 亿 m^3 和 11.6 亿 m^3 .

与规划编制时的信息(2002 年之前)相比,近几年的实际数据(2002~2006 年)减小了趋势预测的不确定程度,但显示了目标年水资源问题压力增大的趋势.趋势预测分析表明:人口、工业规模的过快增长和天然水资源匮乏的加剧是造成水资源紧张的主要原因;并且工业规模、工业农业的用水强度、天然水资源的历史数据对供需平衡预测的不确定性贡献较大.

首先分析城市自适应潜力(应对风险保证率

下供需平衡的不确定范围):供水方面,由于规划编制时较为充分地考虑到天然水资源开发的潜力(例如南水北调、周边水资源),所以进一步增加开发的余地不大,需要从加速提高再生水回用能力着手,规划预计 2020 年再生水利用率为 48.8%,还有较大的提升空间.需水方面,2005 年约占总用水量 40%的生活用水还有较大的节水潜力,《21 世纪展望》估计每人每天最小需水量为 40L^[10],而规划中 2020 年每人每天需求量高达 240L.

其次分析城市的自适应能力(应对供需平衡风险特征变化的趋势):工程技术方面,由于城市水设施具有使用周期长,投资沉淀性高的特点,再加上城市规划体制上的约束,因此大型供水、水处理设施,管网改扩建方面不具有足够的灵活性,需要推广处理技术高,小型、分散式中水回用设施.政策管理方面,大力推行满足全成本回收的水价可以用来控制用水强度,并辅以行业标准促进节水器具和工艺的采用;在城市建设用地开发方面需加强土地利用类型,开发强度的监管,从而间接控制城市人口增长和产业结构调整.

3 结语

城市总体规划的实施不能拘泥于最初规划目标的设置,而应该从不确定分析的角度认识城市实际发展过程与规划预期轨迹的关系,看到不同时期所面对的未来水资源承载力风险是变化的,适时调整应对方案,预留足够的缓冲空间.针对北京案例,尝试了若干常用的预测方法进行风险的自适应评估,但对于特定的数学方法自身的优缺点及其适用性还需在今后的工作中进一步深入研究.自适应管理的实行要求及时监控获取发展过程中的关键指标信息,从宏观和微观的角度把握城市发展以及资源状况变化的趋势以及产生原因,由于城市社会经济—水系统的复杂性,针对城市总体规划的自适应评估和各项管理措施的执行需要城市多部门的有效协调与合作,以及城市与区域的统筹发展.

参考文献:

[1] 王万茂,张颖.市场经济与土地利用规划—关于规划修编思路

的探讨 [J]. 中国土地科学, 2003,17(1):9-15.

- [2] 刘毅,陈吉宁,何炜琪,等.基于不确定性分析的城市总体规划环评方法与案例研究 [J]. 中国环境科学, 2007,27(4):566-571.
- [3] Noble B F. Strengthening EIA through adaptive management: a systems perspective [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000,20:97-111.
- [4] 谭纵波.城市规划 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [5] 阿瑞安.穆斯特迪.城市空间规划设计 [M]. 曹娟译. 北京:中国林业出版社, 2007.
- [6] 徐国祥.统计预测和决策 [M]. 2 版. 上海:上海财经大学出版社, 2005.
- [7] Jeffery P, Seaton R, Parsons S, et al. Evaluation methods for the design of adaptive water supply systems in urban environments [J]. Water Science and Technology, 1997,35(9):45-51.
- [8] Blake A P. Forecast error bounds by stochastic simulation [J]. National Institute Economic Review, 1996,156:72-79.
- [9] Christoffersen P F. Evaluating interval forecasts [J]. International Economic Review, 1998,39:841-862.
- [10] 赛度.马克思毛维克,约瑟.阿伯塔.特加大-古波特.城市水管理中的新思维—是僵局还是希望 [M]. 陈吉宁译.北京:化学工业出版社, 2006.

作者简介: 赵楠(1982-),男,河北石家庄人,清华大学博士研究生,主要从事战略环境影响评价,流域水管理等方面的研究.

致谢: 本研究的数据收集由谢丹同学协助完成,在此表示感谢.