

文章编号: 1007-7588(2014)06-1168-07

干旱区绿洲城市发展与水资源需求预警分析 ——以乌鲁木齐市为例

唐宏^{1,2} 夏富强² 杨德刚² 黄凤³ 乔旭宁⁴

(1. 四川农业大学经济管理学院 四川省农村发展研究中心 成都 611130;

2. 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011;

3. 四川省宜宾市城乡规划建设地理信息中心 宜宾 644000;

4. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院 焦作 454000)

摘要 基于乌鲁木齐市城市发展与水资源开发利用历史数据,采用系统动力学方法,构建干旱区绿洲城市发展与水资源需求预警系统仿真模型,并对乌鲁木齐市城市发展的水资源需求进行多情景模拟。模拟结果显示:①现有水资源条件难以满足城市发展的需要,各情景下水资源对城市发展系统均存在较强约束,采用调水与节水方案,乌鲁木齐市中、高速发展情景下到2030年将分别存在5.17亿 m^3 、30.15亿 m^3 的水资源缺口;②节水方案对水资源开发利用潜力提高的效果远大于调水的效果,社会经济发展越快,节水带来的效果越明显;③适度增强城市人口和产业的集聚与规模效应,降低用水定额,提高水资源利用效率,是提高水资源开发利用潜力最有效的途径;④通过跨流域调水提高区域的供水能力,有助于减弱水资源系统对城市发展系统的约束作用。

关键词 城市发展;水资源潜力;预警分析;约束强度;绿洲城市;乌鲁木齐市

1 引言

水资源已成为区域社会发展的重要约束条件,国内外学者从水资源对城市发展的相互作用机制^[1-5]、城市化进程中的水资源管理问题^[6-8]、水资源约束下的城市发展策略^[9-11]等方面进行了深入研究和探讨,我国尤其西北干旱区水资源与城市发展问题相关研究居多。随着水资源与城市发展相互关系研究不断加强,学者开始尝试运用各种方法模拟水资源开发利用对城市发展的影响过程,以及不同城市发展速度对水资源开发利用模式的影响。不同学者从理论、方法和实践层面对此进行了探索,借助系统动力学模型^[12,13]、CLUE-S模型^[14]等对不同区域的城市化进程和用水趋势进行了预测^[15],分析了未来城市发展的水资源需求和水资源对城市发展的保障程度^[16]。西北干旱区城市发展受到水资源短缺和生态环境脆弱的多重胁迫,与水资源的

关系尤为密切,本文选择干旱区典型绿洲城市——乌鲁木齐市为例,基于城市发展与水资源开发利用状况和二者相互关系的前期研究^[17,18],运用系统动力学模型对多情景条件下水资源对城市发展的支撑能力进行预测,以期对绿洲水资源可持续开发利用与城市发展提供优化方案和决策依据。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

乌鲁木齐市地处天山北麓中段,准噶尔盆地南缘,东、南、西三面环山,地势南高北低,兼具山地城市和平原城市的特点,是典型的干旱区绿洲城市。区域属中温带大陆性干旱气候,降水稀少且四季分布不均,多年平均降雨量为197.99mm,2010年水资源总量为9.39亿 m^3 。乌鲁木齐市作为新疆的政治、经济、文化和科技中心,是经济高速发展、人口密集的特大城市,2011年全市总人口249.35万人,地区

收稿日期: 2014-01-15; 修订日期: 2014-03-17

基金项目: 十二五 国家科技支撑计划(编号: 2012BAC20B09); 中国科学院 西部之光 人才培养计划(编号: RCPY201003); 四川省农村发展研究中心项目(编号: CR1309); 教育部人文社会科学研究青年基金(编号: 13YJZJH140)。

作者简介: 唐宏,男,四川金堂人,博士,主要从事水资源利用与区域可持续发展研究。E-mail: tanghongwa@126.com

2014年6月

生产总值为1 690亿元,占新疆地区生产总值的25.57%,三次产业结构比例为1.31 44.91 53.78。随着社会经济的快速发展,以乌鲁木齐为中心城市的天山北坡经济区被纳入国家重点发展区域,成为中国扩大向西开放、开展对外经济文化交流的重要窗口,未来乌鲁木齐市将进入大规模开发和建设的新时期,水资源需求将不断增长。但水资源严重衰竭和水污染加剧导致乌鲁木齐市的水资源环境容量和承载能力大大降低,城市发展和水资源之间的矛盾日益加剧,必须对水资源开发利用提出更高的要求。

2.2 研究方法

系统动力学认为系统的行为模式与特性主要取决于其内部的动态结构与反馈机制,通过定性与定量结合、系统综合推理,可以用于研究复杂系统的结构、功能与行为之间的动态关系^[19]。绿洲城市系统内部结构复杂,城市发展与水资源开发利用的相互作用机制难以用传统数学方法进行揭示,而系统动力学对处理非线性复杂反馈系统具有独特优势,可以进行长期、动态的定量分析,因此本文选择系统动力仿真模型对乌鲁木齐市城市发展进程与水资源利用潜力进行多情景模拟与预测。

根据城市发展进程中的水资源约束理论与机制,建立系统动力仿真模型,将区域水资源-城市发展复合系统划分为水资源和城市发展两个系统,其中水资源系统包括供水、用水、水资源利用综合潜力等模块,城市发展系统包括人口、经济和城市发展综合指数等模块,对城市发展进程与水资源需求进行多情景模拟与预测。其中,水资源利用综合潜力由本底条件、开发程度、利用效率、管理能力4个方面、15个指标构建的评价体系计算得出,城市发展综合指数由城市人口、城市经济、城市社会、城市空间4个方面、16个指标构建的评价体系计算得出^[18]。为提高模型的科学性和可操作性,适当规避难以确定的因素,在模型构建时假定区域可利用水资源确定,可利用土地资源不变,节水技术改进速度稳定,城市水平根据设定情景发展^[13]。系统仿真模型构建的概念框架如图1。

在模型构建基础上,根据控制参量的调控原则和情景预测模型的因果反馈流程,将具有能动调控作用的城市发展系统的7个参量作为控制参量(表1),根据区域现实情况、未来发展环境及城市发展模式选择等进行初步实验调控,对乌鲁木齐市城市发展情景进行高、中、低三种发展方案设定,其中,高速方案采用乌鲁木齐市“十二五”规划发展速度,中速方案采用1995-2010年平均增速,低速发展则假定城市发展速度相对保守。

水资源开发利用则从供水和用水两个方面设定了现状供水、跨流域调水、现状用水和节水利用四种方案:①现状供水方案假定区域地表、地下水资源量为1995-2010年均值,分别为10.52亿 m^3 、5.82亿 m^3 ,地表水源供水量占地表水资源量的比例由2010年的62.68%匀速增至2030年的75%,地下水水源供水量占地下水资源量的比例维持在50%不变,到2030年区域可供水资源总量为11.15亿 m^3 ;②调水方案中区域调水能力逐渐增强,调水量以每年

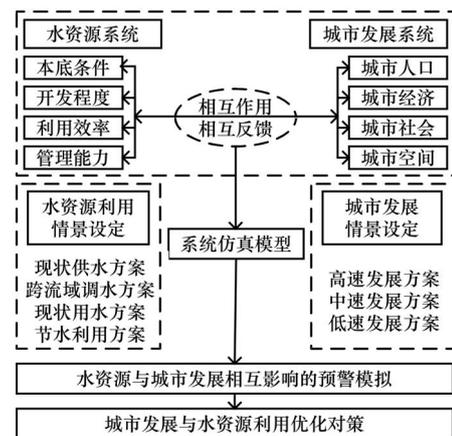


图1 系统仿真模型构建的概念框架

Fig.1 The conceptual framework of building system simulation model

表1 2010-2030年乌鲁木齐市城市发展情景设定

Table 1 Scenarios on the urban development system in Urumqi from 2010 to 2030

发展方案	人口增长率	GDP增速	一产产值增速	二产产值增速	三产产值增速	工业产值增速	建成区面积扩张速度
高	28.0	18.39	5.26	19.00	18.00	19.00	1.18
中	14.0	11.34	5.26	12.39	10.43	12.71	0.88
低	7.0	7.04	5.26	8.08	6.04	8.50	0.59

注:高情景采用十二五规划方案,二产产值和工业产值的增速一致;中、低情景参考历年平均增速设定,因二产包括工业和建筑业,故二者增速有差异,但增长趋势大致相同。

0.2 亿 m^3 的速度匀速增加,到 2030 年调水量达 4 亿 m^3 ,可供水资源总量达 15.15 亿 m^3 ;③现状用水方案中,工业重复用水率保持 2010 年 70% 的水平,农业灌溉用水定额以 $50m^3/hm^2$ 的速度逐年递减;④节水方案中,工业重复用水率到 2030 年匀速提高到 85%,灌溉用水定额的降幅有所加大。

基于不同方案,以 2010 年为现状基础年,对乌鲁木齐市 2010–2030 年城市发展水平与水资源需求进行情景模拟。同时,借鉴城市发展与水资源发展潜力综合测度的相关成果^[17,18]和水资源对城市发展的约束强度模型^[20],计算不同方案下的水资源缺口和水资源系统对城市发展系统的约束强度,比较分析各城市发展和水资源开发利用方案,对不同情景下水资源对城市发展的支撑能力进行预测。

3 结果分析

3.1 城市发展水平的情景模拟

采用城市发展综合水平指数反映乌鲁木齐市

城市人口、城市经济、城市社会和城市空间的整体发展水平^[18]。在不同的城市发展速度下,乌鲁木齐市主要年份的城市发展指标和综合指标的模拟结果如表 2。

(1)高速发展方案中,区域总人口由 2010 年的 243.03 万人增至 2030 年的 422.21 万人,城镇人口增加到 413.76 万人,地区生产总值由 303.76 亿元增加到 8 895.62 亿元(图 2),三次产业结构由 1.49 44.86 53.65 变为 0.14 49.68 50.18,工业总产值由 391.36 亿元增至 12 691 亿元,建成区面积由 $343km^2$ 增至 $433.7km^2$ 。城市发展综合指数由 0.563 7 上升到 0.922 6(图 3)。

(2)城市中速发展方案中,到 2030 年乌鲁木齐市总人口增至 320.94 万人,城镇人口增至 314.52 万人,地区生产总值增加到 2 605.62 亿元,三次产业结构变为 0.48 54.04 45.48,工业总产值增至 428 1 亿元,建成区面积增至 $408.69km^2$ (图 2)。城市发展综

表 2 主要城市发展指标的情景仿真结果

Table 2 Scenario simulation results of major indicators on urban development

年份	方案	总人口 (万人)	城镇人口 (万人)	GDP (亿元)	三次产业结构 (% % %)	工业总产值 (亿元)	建成区面积 (km^2)	城市发展综合水平指数
2010	现状	243.03	234.71	303.76	1.49 44.86 53.65	391.36	343	0.563 7
2020	高	320.33	311.64	1 636.46	0.46 47.41 52.12	2 229	385.69	0.656 9
	中	279.28	271.71	884.96	0.85 49.49 49.66	1 294	374.41	0.618 2
	低	260.59	253.52	596.76	1.27 49.63 49.10	884.7	363.78	0.594 2
2030	高	422.21	413.76	8 895.62	0.14 49.68 50.18	12 691	433.7	0.922 6
	中	320.94	314.52	2 605.62	0.48 54.04 45.48	4 281	408.69	0.711 5
	低	279.42	273.83	1 183.42	1.07 54.43 44.51	2 000	385.82	0.637 4

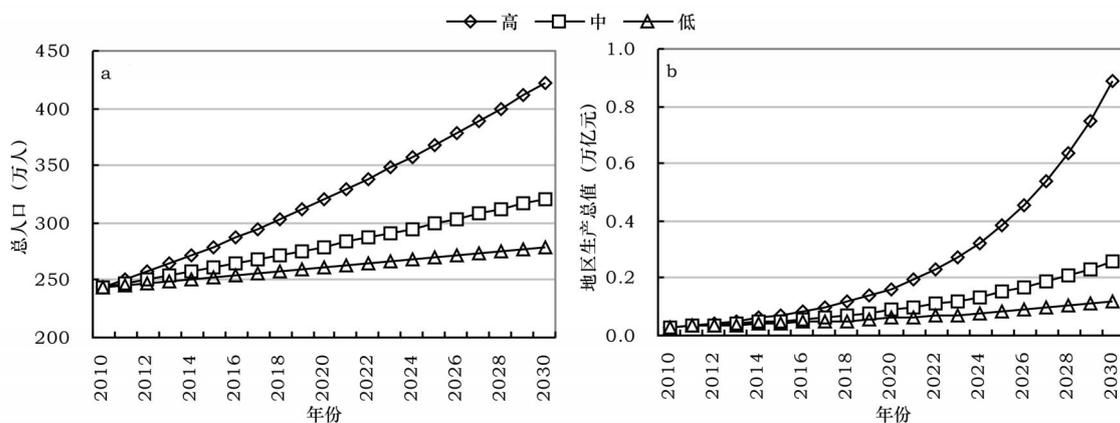


图 2 不同情景下的乌鲁木齐市人口与 GDP 增长模拟

Fig.2 The simulation results of population and GDP growth in different scenes

2014年6月

合指数上升到0.711 5(图3)。

(3)城市低速发展方案中,乌鲁木齐市2030年总人口增至279.42万人,城镇人口增加到273.83万人,地区生产总值增加到1 183.42亿元,三次产业结构变为1.07 54.43 44.51,工业总产值增加到2 000亿元,建成区面积增加到385.82km²(图2)。城市发展综合指数上升到0.637 4(图3)。

3.2 水资源供需水平的情景模拟

高、中、低3种城市发展方案下用水人口与用水产业的不同使水资源需求量有所差异。相同城市发展方案下,用水方案的不同导致用水定额的变化,也带来需水总量的差异(表3)。

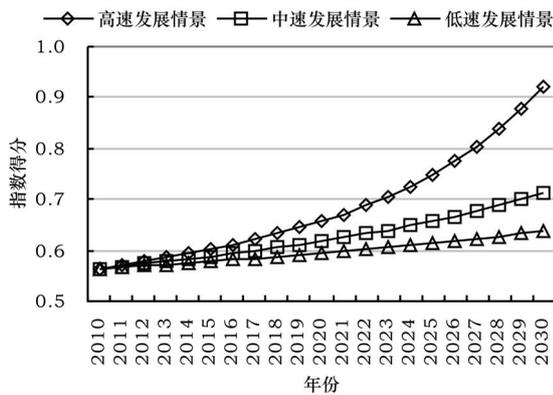


图3 不同情景下的乌鲁木齐市城市发展综合水平模拟

Fig.3 The simulation results of urban development level in different scenarios

(1)社会经济高速发展情景下,除农业需水呈下降趋势,2010~2030年乌鲁木齐市工业需水、生活需水、生态需水和需水总量均呈增长趋势(表3)。现状用水方案中,需水总量从10.89亿m³增至53.80亿m³,增加了3.94倍,年均增加2.15亿m³,主要用于工业发展,农业、工业、生活、生态用水比重由2010年的64.36 18.00 13.74 3.89变为2030年的9.41 83.18 4.39 3.03,工业产值的高速增长导致工业用水需求增加迅速,工业成为乌鲁木齐市用水的重要部门。节水方案中,需水总量增至45.30亿m³,年均增加1.72亿m³,需水结构调整至9.85 81.35 5.21 3.60,水资源利用结构较现状用水方案得到了一定优化。

社会经济高速发展带来水资源需求的加大,超过供水能力时必然导致较大的水资源供需差额。按照现状供水方案,到2030年乌鲁木齐市可供水资源总量为11.15亿m³,现状用水和节水方案下缺水量将分别达42.65亿m³和34.15亿m³(图4)。若有外调水补给供水,2030年供水总量为15.15亿m³,现状用水和节水方案下缺水量分别为38.65亿m³和30.15亿m³。

(2)城市中速发展情景下,农业需水量呈下降趋势,工业需水、生活需水、生态需水和需水总量均有所增长。现状用水方案中,2030年需水总量增加到23.58亿m³,增加了1.17倍,年均增加0.63亿m³,

表3 不同情景下主要用水指标的仿真结果

Table 3 The simulation results of major indicators on water resources utilization

年份	城市发展方案	需水总量 (亿m ³)	农业需水 (亿m ³)	工业需水 (亿m ³)	生活需水 (亿m ³)	生态需水 (亿m ³)	万元GDP需水(m ³)
现状	2010 现状	10.89	7.01	1.96	1.50	0.42	50.11
	2020 高	17.37	5.33	9.25	1.97	0.81	41.52
	中	13.24	5.33	5.37	1.72	0.81	41.52
2030	高	53.80	5.06	44.75	2.36	1.63	35.26
	中	23.58	5.06	15.09	1.79	1.63	35.26
	低	15.31	5.06	7.05	1.56	1.63	35.26
节水	2020 高	16.17	5.03	8.36	1.97	0.81	37.50
	中	12.42	5.03	4.85	1.72	0.81	37.50
	低	10.77	5.03	3.32	1.61	0.81	37.50
2030	高	45.30	4.46	36.85	2.36	1.63	29.04
	中	20.32	4.46	12.43	1.79	1.63	29.04
	低	13.46	4.46	5.81	1.56	1.63	29.04

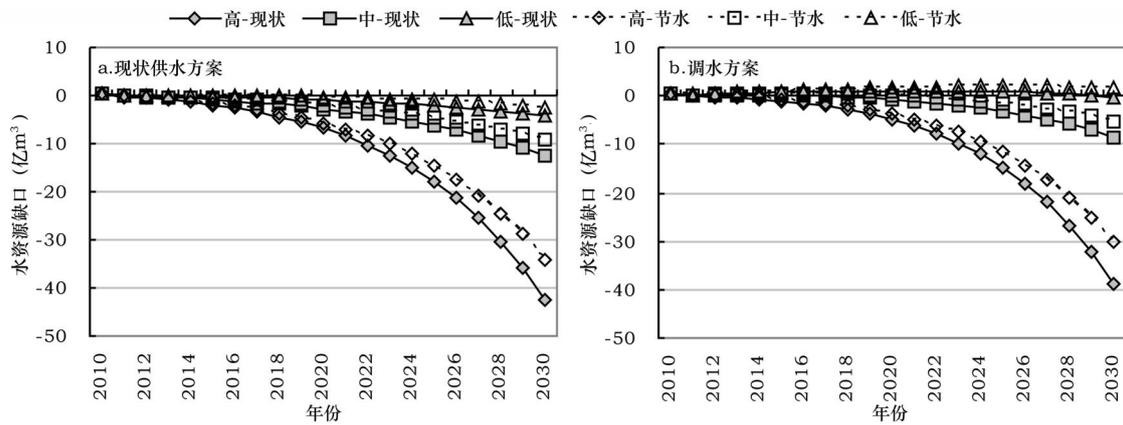


图4 不同情景下的乌鲁木齐市供需差额模拟

Fig.4 The simulation results of water supply and demand balance in different scenario

农业、工业、生活、生态需水结构为 21.48 63.99 7.61 6.91。节水方案中需水总量增加到 20.32 亿 m³, 年均增加 0.47 亿 m³, 需水结构调整 为 21.97 61.17 8.83 8.02。

中速发展情景下的缺水程度较高速情景大大减小。在现状供水条件下, 乌鲁木齐市从 2011 年开始缺水, 现状用水方案下到 2030 年缺水量为 12.43 亿 m³, 节水方案下 2030 年缺水量为 9.17 亿 m³。调水情景下, 现状用水方案使乌鲁木齐市 2017 年开始缺水, 到 2030 年缺水量为 8.43 亿 m³, 节水方案使乌鲁木齐市 2021 年开始缺水, 到 2030 年缺水量为 5.17 亿 m³。

(3)在低速发展情景下, 2011-2030 年农业需水量和生活需水量呈现下降趋势, 工业需水量、生态需水量和需水总量有所增长。现状用水方案中, 2030 年需水总量增加到 15.31 亿 m³, 年均增加 0.22 亿 m³, 农业、工业、生活、生态需水结构为 33.08 46.05 10.20 10.65。节水方案中需水总量增加到 13.46 亿 m³, 年均增加 0.13 亿 m³, 需水结构调整 为 33.16 43.14 11.60 12.11。

乌鲁木齐市需水总量大大减小, 在现状供水条件下, 现状用水方案 2012 年开始缺水, 到 2030 年缺水量为 4.16 亿 m³, 节水方案 2017 年开始缺水, 2030 年缺水量为 2.31 亿 m³。调水情景下, 水资源处于盈余状态, 水资源能够满足社会经济发展的需要。

3.3 水资源对城市发展约束强度的情景仿真

水资源对城市发展的约束强度反映水资源短

缺对城市发展进程的影响^[20], 水资源条件较好、水资源开发利用潜力较大, 其对城市发展的约束强度较小, 城市发展水平较高, 对水资源约束力的抗拒能力较强, 也在一定程度上减轻水资源带来的约束作用。不同情景下的仿真结果显示, 由于城市发展综合水平和水资源开发利用潜力的提高, 水资源系统对城市发展系统的约束强度有所下降(表 4)。

社会经济高速发展, 导致城市发展综合指数较高, 使得城市对水资源短缺的抗约束能力越强, 较中、低情景下的水资源约束强度更小。但现状用水方式下, 社会经济的快速发展, 也带来水资源开发程度的加剧, 影响水资源开发利用潜力, 导致到 2030 年高情景下的水资源约束强度反而低于中、低情景。在现状供用水方案下, 水资源对城市发展的约束强度逐年下降, 从 2011 年的 0.508 3 降到 2027 年的 0.460 2, 后有所上升, 到 2030 年为 0.465 4; 调水方案下, 从 2011 年的 0.508 0 降到 2027 年的

表 4 不同情景下水资源对城市发展的约束强度

Table 4 The simulation results of water resources constraint intensity on urban development

年份	方案	现状用水		节水利用	
		现状供水	跨流域调水	现状供水	跨流域调水
2020	高	0.473 3	0.470 9	0.456 8	0.454 4
	中	0.477 6	0.475 2	0.463 5	0.461 0
	低	0.481 0	0.478 6	0.469 6	0.467 2
2030	高	0.465 4	0.460 6	0.405 0	0.400 2
	中	0.457 2	0.452 4	0.416 7	0.411 8
	低	0.456 5	0.451 7	0.426 1	0.421 3

2014年6月

0.456 7,后上升到2030年的0.460 6。节水利用方案下,现状供水和调水方案分别导致乌鲁木齐市水资源对城市发展的约束强度从2011年的0.507 3、0.507 0降到2030年的0.405 0、0.400 2。中速和低速发展情景下,社会经济的发展带来的城市发展水平的提高,均导致各用水方案下的水资源约束强度降低。比较而言,在现状用水方案下,城市低速发展的水资源约束强度最小;节水利用方案下,城市高速发展的水资源约束强度则最小。

总体来看,未来乌鲁木齐市水资源系统对城市发展系统的约束强度基本在0.4~0.5之间,按水资源对城市发展约束强度的分级标准^[20],约束强度<0.3为弱约束,0.3~0.5为较强约束,0.5~0.7为强约束,>0.7为极强约束,则乌鲁木齐市未来基本属于较强约束。社会经济发展速度较快,城市发展综合水平较高,有助于提高对水资源约束强度的抵抗能力;节水方案较现状用水方案,水资源开发利用潜力指数较高,水资源约束强度也低于现状用水方案。

4 结论

(1)城市发展方案和用水方案共同影响需水总量。按照现状用水方案,到2030年高、中、低三种城市发展情景下乌鲁木齐市的需水总量将分别达53.80亿 m^3 、23.58亿 m^3 和15.31亿 m^3 ,若采用节水方案,需水总量则分别为45.30亿 m^3 、20.32亿 m^3 、13.46亿 m^3 。

(2)现状供水方案下,2030年乌鲁木齐市供水总量为11.15亿 m^3 ,水资源甚至难以支撑社会经济的低速发展,未来乌鲁木齐市水资源系统对城市发展系统基本属于较强约束。若采用调水方案,调水量以每年0.2亿 m^3 的速度递增,可以满足城市低速发展的要求,但按照中速发展方案,2017年将出现缺水,2030年水资源缺口为8.43亿 m^3 ,如果采用节水措施,中速发展情景下缺水将推迟到2021年,2030年水资源缺口减少到5.17亿 m^3 。设定的调水方案和节水方案也难以满足社会经济高速增长带来的用水需求增加,必须加大调水和节水力度,否则水资源对城市发展的约束将限制乌鲁木齐市社会的健康发展。

(3)节水对水资源开发利用潜力提高的效果远大于调水,社会经济发展速度越快,节水带来的效

果越明显。在现状用水方案下城市低速发展的水资源约束强度最小,节水利用方案下城市高速发展的水资源约束强度则最小。

(4)乌鲁木齐市水资源开发利用潜力提升空间较大,适度扩大城市规模,加快人口和产业的集聚与规模效应,采取节水措施,降低用水定额,提高水资源利用效率,是提高水资源开发利用潜力最有效的途径。在节水技术满足社会经济发展对水资源需求的同时,通过跨流域调水提高区域的供水能力,也有助于减弱水资源系统对城市发展系统的约束作用。

参考文献(References):

- [1] Merrett S. Introduction to the Economics of Water Resources: An International Perspective[M]. London: University College London Press, 1997.
- [2] 高云福. 城市化发展与水系统的演变[J]. 城市勘测, 1998, 3(1): 5-8.
- [3] 仇保兴. 国外城市化的主要教训[J]. 城市规划, 2004, 28(4): 8-12.
- [4] Jenerette G D, Larsen L. A global perspective on changing sustainable urban water supplies[J]. *Global and Planetary Change*, 2006, 50(3-4): 202-211.
- [5] 程怀文, 李玉文, 徐中民. 水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1430-1439.
- [6] 霍利斯, 钱纳里, 莫伊思, 赛尔昆. 发展的型式: 1950-1970[M]. 北京: 经济科学出版社, 1988.
- [7] 贾绍凤, 周长青, 燕华云, 等. 西北地区水资源可利用量与承载能力估算[J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 801-807.
- [8] 赵晨, 王远, 谷学明, 等. 基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1636-1644.
- [9] Atef A K, Rakad T. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at South Jordan[J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, 53(4): 619-630.
- [10] Fitzhugh T W, Richter B D. Quenching urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems[J]. *Bioscience*, 2004, 54(8): 741-754.
- [11] 方创琳, 李铭. 水资源约束下西北干旱区河西走廊城市化发展模式[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 825-832.
- [12] 李艳红, 楚新正, 封海宁. 水资源约束下的乌鲁木齐绿洲城市发展模式研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2006, 25(3): 112-117.

- [13] 鲍超,方创琳.干旱区水资源对城市化约束强度的情景预警分析[J].自然资源学报,2009,24(9):1509-1519.
- [14] 张华,张勃,Peter Verburg.不同水资源情景下干旱区未来土地利用/覆盖变化模拟——以黑河中上游张掖市为例[J].冰川冻土,2007,29(3):397-405.
- [15] 梁勇.西北地区城市化进程与水资源可持续利用研究[D].北京:中国科学院研究生院,2005.
- [16] 宋建军,张庆杰,刘颖秋.2020年我国水资源保障程度分析及对策建议[J].中国水利,2004,(9):14-18.
- [17] 唐宏,夏富强,杨德刚.干旱区绿洲城市水资源开发利用潜力以乌鲁木齐市为例[J].干旱区研究,2013,30(6):973-980.
- [18] 夏富强,唐宏,杨德刚,等.干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析[J].生态学报,2013,33(18):5883-5892.
- [19] 王其藩.系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [20] 鲍超,方创琳.干旱区水资源对城市化约束强度的时空变化分析[J].地理学报,2008,63(11):1140-1150.

Scenario Warning for Urban Development and Water Resource Demand in the Arid Oasis City of Urumqi

TANG Hong^{1,2}, XIA Fuqiang², YANG Degang², HUANG Feng³, QIAO Xuning⁴

(1. Sichuan Center for Rural Development Research, College of Economics and Management, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

3. Geographic Information Center of Urban-rural Planning Construction, Yibin 644000, China;

4. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Water resource scarcity influences economic and social development, and the relationship between urban development and water resources are closer in arid areas such as northwest China. In this study, the typical arid oasis city of Urumqi in Xinjiang province was selected as a case study. Based on urban development and water resource system data, a warning analysis model was built using the program Vensim, and different scenarios for urban development, water supply and water consumption were established. We found that differences in water consumption were mainly affected by urban development and water consumption, differences in total water supply were affected by water supply scenarios, and both these affected the balance of water supply and demand. Water resources were strained to meet the demand of urban development, and had a strong constraint on urban development in various scenarios. Under scenarios of inter-basin water transfer and water-saving consumption, the water shortage in 2030 will be $5.17 \times 10^8 \text{m}^3$ and $30.15 \times 10^8 \text{m}^3$ respectively under middle and high urban development scenarios. Water conservation programs played a bigger role than inter-basin water transfer programs on improving the water resource potential, and the higher the urban development the more obvious the effects. Expanding the city scale appropriately and accelerating the concentration of population and industries will improve water use efficiency. Improving the capacity of water supply through inter-basin water transfer will weaken the constraint intensity of water resources on urban development.

Key words: urban development; potential of water resources; warning analysis; constraint intensity; oasis city; Urumqi city