

渭河流域人地关系地域系统模拟

张 洁¹, 李同昇², 王武科²

(1. 西安工业大学建筑工程学院, 西安 710032; 2. 西北大学 城市与资源学系, 西安 710127)

摘 要:以渭河流域(干流地区)为例,以水资源利用为主线,利用系统动力学方法,建立了渭河流域人地关系地域系统动态仿真模型,并利用 Venple 软件,选取经济高速发展模式、缺水反馈模式、缺水污染反馈模式、调水耦合模式等4种方案对该系统进行调控实验。结果表明:与传统的数理模型比较,利用系统动力学模型对流域人地关系地域系统进行模拟更能够反映出流域系统的非线性、高阶次和反馈性的特征,可以较好的模拟流域水资源、污染和经济发展的耦合关系;通过对4种情形下建立的不同模式的运行结果进行比较,发现在经济高速发展模型中经济发展速度最快,但是加重了生态环境的负担,同时水资源和经济的矛盾会急剧恶化;缺水反馈模式和缺水污染反馈模式考虑了资源和环境的限制,是对经济高速发展模式的完善;调水调控模式将区外水资源引入渭河流域,在一定程度上减轻了环境和资源压力,经济保持一定的增长速度,是最接近实际,也是目前对渭河流域人地系统进行调控最可取的方案。建议政府部门在政策制定时考虑经济、资源、环境的统筹发展,综合考虑各种约束条件可能对区域发展造成的影响,使决策更为科学合理。

关 键 词:系统动力学;人地关系地域系统;仿真模拟;渭河流域

1 引言

除了干旱的和寒冷的地区,全球陆地表面的大部分区域都是由流域构成的^[1]。流域是以河流为纽带的,以水资源利用为核心的,自然、经济、社会相互融合的,上、中、下游之间紧密相连的,经济中心、经济腹地和经济网络纵横交错的多维复杂的带状区域^[2]。流域人地关系地域系统是一个自然—经济—社会复合巨系统,是人与地以流域为依托形成的一个多层次、多变量、时间和空间相协调的耦合系统^[3-4],构成系统的各个要素相互关联与相互反馈过程是推动人地系统发展的根本动力^[5]。随着人类对流域水资源、土地资源等自然资源的开发强度不断扩大,流域上中下游的生态环境均遭到不同程度的破坏,许多流域区逐步成为生态脆弱地区和敏感地区,流域人地关系成为地理学的关注点之一。

系统动力学(System Dynamics)是建立在控制论、信息论和系统论基础上的,以反映反馈系统结构、功能和动态行为特征的一类动力学模型,其突出特点是擅长处理非线性、复杂性、长期性和时变性等系统耦合问题^[6]。其解决问题的过程实质上是寻优过程,其最终目的是寻找系统较优或次优的结

构与参数,以求得较优的系统功能。SD模型通过设定系统各种控制因素,以观测输入的控制因素变化时系统的行为和发展,从而能对系统进行动态仿真实验。

由于系统动力学模型用动态的、系统的、内部紧密关联的观点来研究流域,能很好的反映流域人地系统的独有特征,对研究和规划复杂的未来行为和相应的长期战略决策有独到的优点,因此有很多学者借助SD模型对流域人地关系进行研究,王武科等^[7]、喻小军等^[8]、鲍超等^[9]、王慧敏等^[10]、秦丽云^[11]对流域水资源、土地资源、产业结构等要素的优化进行了深入研究,方创琳等^[12-13]、李同升等^[14]对流域人地关系地域系统的耦合优化进行了一定的探索。此外,李林红^[15]将SD模型与投入产出表、郭怀成等^[16]将SD模型与多目标规划模型(IFMOP)有机结合研究流域环境系统。借助SD模型既可以进行时间动态分析,又可进行部门间的协调,它能对系统内部、系统内外因素的互相关系予以明确的认识,对系统内所隐含的反馈回路予以清晰的体现^[17-19]。本文以系统动力学模型为支撑,以渭河流域(干流地区)为实例建立流域人地关系地域系统调控模型,并进行多种方案调控试验,求解流域人地

收稿日期:2010-01; 修订日期:2010-07.

基金项目:教育部博士点基金资助项目(20060697004)。

作者简介:张洁(1982-),女,陕西西安人,主要从事人地关系与区域规划研究。E-mail: zhangxiyue1982@163.com

系统协调发展的优化模式,其目的是为渭河流域(干流地区)经济发展和环境建设提供借鉴。

2 渭河流域(干流地区)人地关系地域系统的SD模型

渭河是黄河最大的支流,其干流区域位于全国“两横三纵”城市化战略格局中陇海线横轴的西端,包括陕西西安、咸阳、宝鸡、铜川、渭南5市和甘肃天水市,与国务院确定的西部大开发3大重点经济区之一的关中—天水经济区的地域范围基本一致,是今后很长一段时间国家重点开发地区之一。2005年,该区域人口密度为1300~1400人/km²,城镇化水平达60%~65%,人均地区生产总值约17000元,经济密度2000~2200元/km²。渭河流域(干流地区)又是中国北方资源型缺水地区,人均水资源量不及全国的1/5,水资源供给难以支撑流域社会经济的高速增长;同时,随着人类对流域水资源、土地资源等自然资源的开发强度不断扩大,流域上中下游的生态环境均遭到不同程度的破坏,整个区域人地矛盾突出。

2.1 系统模型结构

鉴于流域是以河流为中心、由分水线包围的区域^[20],渭河流域(干流地区)是典型的缺水地区,因此将渭河流域人地关系地域系统以水资源作为主线,按渭河流经区域的先后顺序,划分为天水子系统、宝鸡子系统、西咸子系统、渭南子系统和铜川子系统,每个子系统内部进一步细分为水资源利用子系统、经济子系统和污染子系统等3个模块(图1)。

(1) 水资源利用子系统 水资源利用子系统主要模拟各地市水资源开发利用程度,具体分析各产

业产值的变动、用水效率变动,及城市、农村人口的变动对各地市用水量带来的影响。本模型将水资源利用子系统具体划分为生活用水、农业用水、工业用水、建筑业用水、第三产业用水等5个子模块。

生活用水子模块。根据城市人口增长率与农村人口增长率,城市需水定额与农村需水定额的不同分为城市生活用水和农村生活用水,将城市人口和农村人口分别作为水平变量。一方面,通过人口数量变动引起生活需水量变化,进而影响生活用水量;另一方面,考虑生活质量改善引起生活用水量增加的同时需水管理和节水技术的进步引起的用水定额增长趋势变化,将城市生活用水定额和农村生活用水定额用表函数表示,通过用水定额的变化影响生活用水量。

农业用水子模块。农业用水主要包括灌溉用水、草场用水、林业用水和牲畜用水,鉴于数据获取的困难,本模型用灌溉用水量和灌溉用水占农业用水的比例系数确定农业用水量。农灌用水量用有效灌溉面积、农灌用水定额和灌溉水利用系数的乘积表示,有效灌溉面积是耕地面积和有效灌溉系数的乘积。农灌用水定额和灌溉水利用系数随着技术进步而变化,用表函数表示。

工业用水、建筑业用水、第三产业用水子模块。第二和第三产业用水量随产业规模和部类的不同而变化。如我国将城市工商企业用水分为机械、电子设备制造及加工工业用水、冶金工业用水、纺织工业用水、电力工业用水、造纸工业用水、煤炭工业用水、化工工业用水、建筑业及基建用水、医药工业用水、食品加工制造用水、交通运输业用水、电信、邮政、金融、保险业用水等22个方面,每个方面的额定用水量和用水价格都不同。由于资料限制,

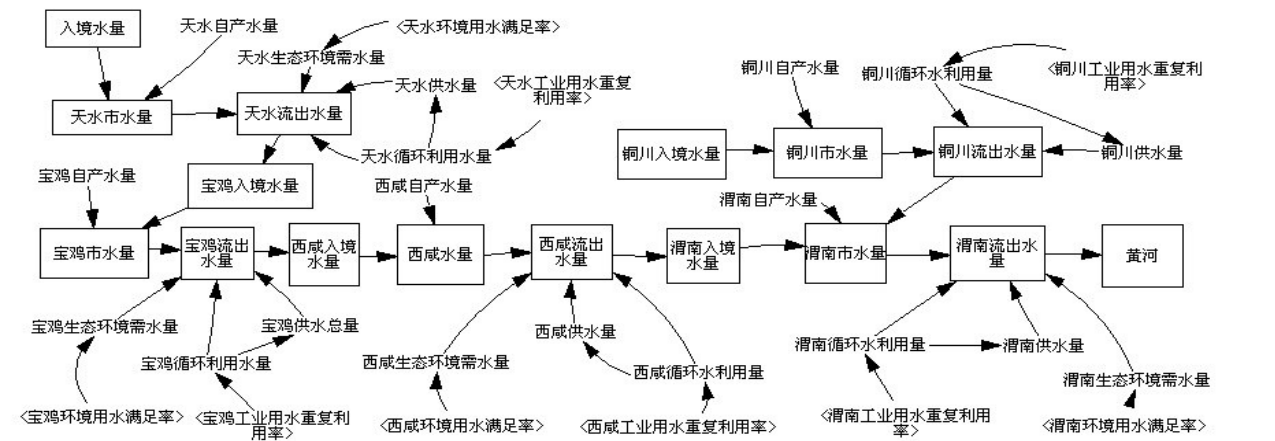


图1 天水经济高速发展模式的系统动力学流程图

Fig.1 The system dynamics flow chart of the high-speed economic development mode in Tianshui

本模型不再细分,只根据工业总产值和工业用水定额预测工业用水量、建筑业产值和建筑业用水定额确定建筑业用水量、第三产业产值和第三产业用水定额确定第三产业用水量。其中,各产业产值由其产业增长率决定,用水定额由于受技术进步影响连续变化在模型中用表函数表示。

(2) 经济子系统 主要通过第一产业、工业、建筑业和第三产业生产总值、国内生产总值和固定资产投资反映。分别选取第一产业、工业、建筑业和第三产业生产总值作为水平变量,将第一产业产值增长率、工业产值增长率、建筑业产值增长率和第三产业产值增长率作为辅助变量进行模拟,并通过固定资产投资、工业总产值与环境子系统连接。

(3) 污染子系统 污染子系统主要用来模拟各地市环境质量的变化,其中废气储量、固废存量、废水储量是主要的预测指标,通过废气排量、固废排量、废水排量、万元产值废气排放率、万元产值固体废弃物排放率、万元产值废水排放率、工业总产值、环保投资增长率等辅助变量求得,并通过环保投资影响其他子系统。

2.2 系统参数确定

在上述分析的基础上,建立渭河流域(干流地区)人地关系地域系统动力学仿真模型(图2),同时考虑行政边界的完整性和政策的可实施性,将渭河流域(干流地区)所辖的天水、宝鸡、咸阳、西安、渭

南、铜川 6 个行政区的边界确定为模型的地域边界,模型的时间边界定义为 2005-2025 年,共 20 年,以 2005 年作为模拟的基年,主要历史数据涉及 1996-2006 年。由于数据不足或函数关系复杂,实际上很难对各变量之间的关系用严格的数学函数关系加以量化。因此必须采用简化、近似、概括等方法进行处理^[12,21-22]以确定变量间的数学关系(定量关系)。本模型依据调查与统计数据,以灰色模型预测、几何平均值法、加权平均值法、趋势外推法等方法为基本方法进行参数估测,并进行一些必要的检验,将复杂的函数关系加以简化,来确定模型中的参数值^[7]。模型参数的具体确定方法如下:①算术平均值法确定参数,主要有城镇人口增长率、农村人口增长率,有效灌溉系数等;②趋势外推法确定参数,主要有第一产业、工业、建筑业和第三产业增长率、耕地增加率、耕地减少率、循环用水量等;③用回归分析确定参数,采用一元回归方法确定固定资产总投资系数和各地市农灌用水量占农业用水总量的比例系数,采用多元回归方法确定环保投资系数等;④运用表函数法确定城市生活用水定额、农村生活用水定额、工业用水定额、建筑业用水定额、第三产业用水定额等;⑤运用灰色系统预测模型修正部分主要参数,校正的主要参数有:国内生产总值、第一产业产值、工业产值、建筑业产值、第三产业产值、总用水量、总投资等预测值,进而反

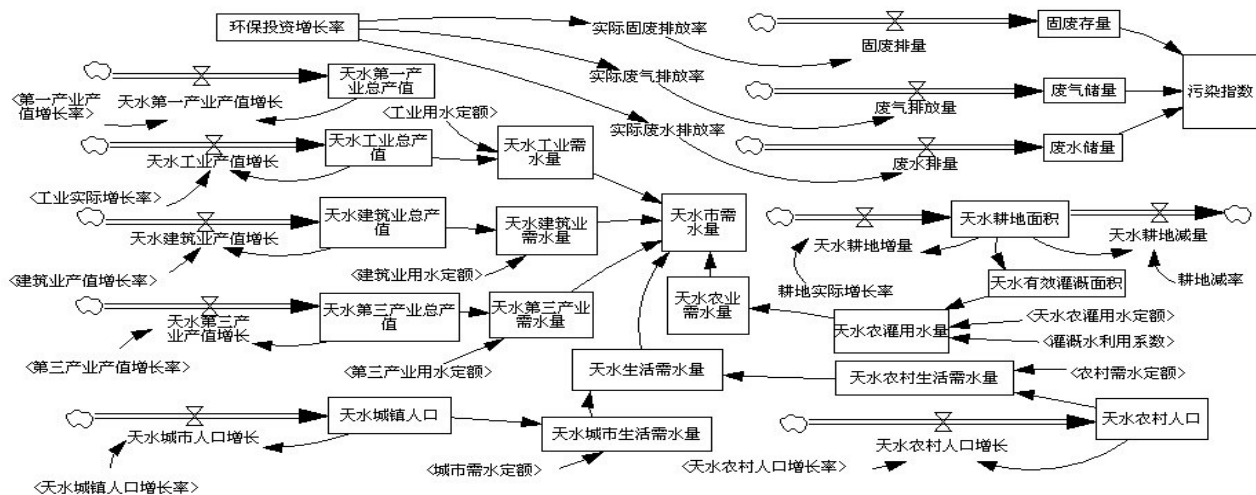


图2 渭河流域人地关系地域系统总流程图

Fig.2 The system dynamics flow chart of the man-land relationship areal system in the Weihe River Basin

*指陕西省人民政府 2004 年编制的《以高新技术产业为先导实现关中跨越式发展规划》,陕西省水利厅 2002 年编制的《水资源开发利用规划》,陕西省水利厅 2002 年编制的《农业节水灌溉规划》,宋进喜的研究成果《渭河生态环境需水量研究》,岳乐平等 2005 编制的《渭河流域综合治理战略研究报告》,陕西省渭河流域综合治理规划编制组 2002 编制的《陕西渭河流域综合治理规划》,陕西省建设厅 2006 年编制的《关中城市群建设规划》,天水市水利局 2006 年编制的《天水市“十一五”节水型社会建设规划》、2005 年编制的《天水市“十一五”水资源开发利用规划》和天水市环保局 2005 年编制的《天水市环境保护十一五规划》等。

推系统参数(表1)。模型数据主要来源于历年来各地市国民经济发展统计公报和陕西省、甘肃省统计年鉴(1996-2006),其中有部分变量值参考有关规划和研究成果确定*。

2.3 模型检验

将渭河流域(干流地区)水资源调度系统SD模型各种指标、参数代入仿真系统,利用 Vensim PLE 软件进行真实性检验(reality check),检验结果完全满足要求。然后,将历史数据与模型运行得出的1996-2006年的共11年的各个变量时间序列数据进行比较,可以看出系统模拟的结果与渭河流域(干流地区)基本变量的实际值基本一致,误差均在6%以内。检验的结果表明,该模型是一个灵敏度较

低、拟合精度较好的SD模型,可以用来预测流域人地关系地域系统的动态发展过程。

3 渭河流域(干流地区)人地关系地域系统发展与调控模式

根据渭河流域(干流地区)经济发展状况,以调控流域经济发展和缺水、污染之间的矛盾为主要目标,通过多种方案的调控试验,探讨了4种不同发展模式下的渭河流域人地关系地域系统演化特征(表2)。

3.1 经济高速发展模式

以经济快速发展为主要目标,不考虑资源和环

表1 渭河流域系统动力学模型主要调控参数

Tab.1 Main control parameters of system dynamic model in the Weihe River Basin

年份	第一产业产值增长率/%	工业产值增长率/%	建筑业产值增长率/%	第三产业产值增长率/%	工业用水循环比例/%	环保投资系数	工业用水定额/(m ³ /万元)	建筑业用水定额/(m ³ /万元)	第三产业用水定额/(m ³ /万元)	农村生活用水定额/(m ³ /人·年)	城市生活用水定额/(m ³ /人·年)
基准年	8.8	17	15.6	17.4	91	0.020	70	53	16.5	22	60.0
2015	5.0	12	11.0	13.0	71	0.028	52	38	28.0	30	71.0
2025	4.5	9	8.0	11.0	50	0.032	39	18	36.0	37	82.5

表2 四种方案下渭河流域人地系统发展仿真模拟结果

Tab.2 Simulated results of the four man-land relationship models in the Weihe River Basin

指标名称	基准年 (2005年)	经济高速发展模式		缺水反馈模式		缺水污染反馈模式		调水调控模式	
		2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025
城市人口/万人	1030.9	1369.8	1789.9	1346.2	1663.6	1311.6	1522.9	1329.3	1591.8
农村人口/万人	1524.5	1411.4	1244.5	1437.9	1342.8	1477.4	1472.8	1456.3	1405.5
总人口/万人	2555.4	2781.2	3034.4	2784.1	3006.4	2789.0	2995.7	2785.6	2997.2
城市化水平/%	0.391	0.476	0.571	0.467	0.538	0.454	0.495	0.460	0.512
工业产值/亿元	919.17	3635.66	9999.20	3138.56	5724.76	2841.31	4369.80	3161.90	5697.59
农业产值/亿元	283.56	391.75	530.42	494.34	726.17	468.98	623.94	482.04	659.80
建筑业产值/亿元	320.05	1137.70	2857.47	1002.47	1693.41	927.38	1364.31	1027.72	1833.94
第三产业产值/亿元	1166.95	4893.31	15332.12	4703.97	13251.53	4240.85	9719.48	4374.78	10456.96
国内生产总值/亿元	2689.91	10179.17	28998.72	9339.35	21378.99	8478.51	16077.92	9076.43	18648.27
固定资产投资/亿元	1434.54	5451.92	15581.52	4987.63	11347.12	4518.62	8449.53	4849.43	9802.10
生活用水/10 ⁸ m ³	9.54	13.96	19.37	13.87	18.69	13.74	18.02	13.81	18.33
工业用水/10 ⁸ m ³	6.43	19.12	39.00	16.32	22.33	14.77	17.04	16.60	22.22
建筑业用水/10 ⁸ m ³	1.70	4.78	8.57	4.21	4.40	3.90	4.09	4.32	5.50
三产用水/10 ⁸ m ³	1.93	13.70	55.20	13.17	47.71	11.87	34.99	12.25	37.65
农业用水/10 ⁸ m ³	36.15	35.76	36.26	30.29	23.54	30.30	25.00	33.11	29.23
总需水量/10 ⁸ m ³	55.74	87.11	158.39	77.86	117.30	74.58	99.15	80.08	112.93
缺水率/%	0.042	0.269	0.511	0.203	0.411	0.187	0.362	0.066	0.212
有效灌溉面积/万 hm ²	86.67	109.33	132.67	92.00	85.33	92.00	92.00	100.67	108.67
废水储量/10 ⁹ t	3.811	40.757	130.024	38.754	104.012	37.612	93.390	39.225	106.821
废气储量/10 ¹² m ³	0.371	4.102	13.638	3.821	11.018	3.746	10.030	3.884	11.434
固废存量/10 ⁹ t	0.315	3.283	10.999	3.038	8.666	2.976	8.096	3.113	9.629
污染指数	1.000	11.297	37.247	10.637	30.534	10.322	27.686	10.623	30.504
环保投资/亿元	28.691	149.928	498.610	137.158	363.108	124.262	273.578	133.359	313.667

境对经济发展的反馈作用,按照渭河流域各级政府部门国民经济发展规划确定的各项参数进行模拟和预测。调控模拟结果表明耦合系统的各方面均呈现出快速增长的态势。到2025年,国内生产总值达到26998.12亿元,20年间平均增长率为12.6%;工业产值年均增长12.7%,建筑业产值年均增长11.6%,第三产业产值年均增长13.7%;产业结构由2005年的10.5:46.1:43.4转变为2025年的1.8:44.3:52.9,农业地位迅速下降,工业和建筑业比重有所降低,第三产业保持较快的增长趋势。二、三产业带动下的经济快速发展必然引起城市化水平的显著提高,与2005年39.1%的城市化率相比,2015年和2025年渭河流域的城市化水平分别增长到47.6%和57.1%。

随着经济高速发展,水资源利用强度加大,生态环境压力不断显现。到2025年地区缺水率为104.99亿t,缺水率达到51.1%,水资源供需矛盾突出,经济发展将严重受制于水资源。在污染排放方面,到2025年,废水、废气、废渣的排放量将分别增长126.21亿t、132700亿m³、1068亿t,同时,本地区污染指数由基准年的1增长为37.247。该方案是4种方案中经济发展最快,水量最大,污染程度最严重的方案。可见,以经济增长为目标的方案在取得经济快速发展的同时,必然会对资源使用和生态环境保护产生巨大压力,是一种传统的高投入、高产出、高报复性的模式,人地系统矛盾加剧,是一种不可持续的发展模式。

3.2 缺水反馈模式

考虑到渭河流域是典型的缺水地区,水资源对社会经济发展具有明显的约束作用,利用缺水率对人口、城镇化、农业、工业、建筑业、第三产业和有效灌溉面积的影响,模拟渭河流域缺水反馈模式下的人地系统发展趋势,即缺水率越大,城市人口增长率、产业增长率和有效灌溉面积都会逐步降低,农村人口增长率会适当提高;经济发展速度减缓继而影响三废的排放和污染指数。从模拟的结果看,该方案的经济增长速度 and 城市化水平均低于经济高速发展模式,2015年和2025年国内生产总值分别达到9339.35亿元和21378.99亿元,20年间年均增长10.9%,较经济高速发展模式分别降低了1.7%;2025年该方案的城市化率为53.8%,较经济高速发展模式降低了3.3%。经济增长速度和城市化水平的降低使需水量和污染排放量均显著降低,

2025年,渭河流域的需水量为117.3亿t,缺水率为41.1%,需水量和缺水率分别比经济高速发展模式降低了41.09亿t和10%;同时,三废排量和污染指数显著降低,该方案废水、废气、废渣的排放量分别比经济高速发展模式降低了26.01亿t、26200亿m³和6.71亿t;2025年污染指数达到30.53,与经济高速发展模式相比降低了6.713,相应的环保投资额只有经济高速发展模型的72.83%。可见,水资源的限制会引起经济发展速度减缓,并在一定程度上缓解环境污染的压力。该方案是对经济高速发展模式的一个修正,以更接近现实情况。

3.3 缺水污染反馈模式

同时考虑缺水和污染对社会经济各部门的影响,利用缺水率和污染指数综合控制经济增长速度,即利用一元线性回归模型,建立各产业增长率、城市和农村人口增长率、有效灌溉系数等变化速率与缺水率和污染指数的线性耦合关系,以此模拟资源和环境双重作用下渭河流域的发展情况。模拟结果表明,到2025年,渭河流域的农业产值、工业产值、建筑业产值、第三产业产值、国内生产总值分别达到4369.8亿元、1364.31亿元、9719.48亿元、16077.92亿元,20年间年均增长8.11%、7.52%、11.18%、9.35%,城市化率在2015年和2025年分别为45.4%和49.5%,是4种方案中经济发展速度最慢的一种模式。2025年,该方案的产业结构转变为3.9:35.7:60.4,经济总体增长放缓,城镇人口增长放缓,工农业产值比重显著下降,第三产业产值比重显著提高,与前两种方案相比,资源和环境压力也较小。2025年,渭河流域缺水率为36.2%,污染指数为27.69,废水、废气、废渣排放量较2005年将分别增加89.6亿t、96590亿m³、7.8亿t,为所有方案中的最小值。缺水污染反馈模式是对经济高速发展模式的第二次修正,是更接近于现实环境的一种状态。从该模式模拟结果可以看出,水资源和环境污染对渭河流域未来发展具有深远的影响,为保证渭河流域的可持续发展,政府部门必须将节约用水和生态治理作为重点工作。

3.4 调水调控模式

在运行缺水污染控制模式的基础上,考虑到调水工程对本地区缺水状况的缓解,建立渭河流域(干流地区)调水调控模型进行模拟。模拟结果显示:该模式的经济总量与发展速度介于经济高速发展模式和缺水污染反馈模式之间,并略低于缺水反

馈模式。2025年,该模式的国内生产总值为18648.27亿元,年均增长速度为10.17%,城市化率为51.2%。区外调水有效地缓解了渭河流域的水资源危机,2015年和2025年渭河流域的缺水率分别为6.6%和21.2%,供水量的增加促进工业产值的增长并在一定程度上减缓生态环境的压力,2025年,本地区污染指数为30.5,废水、废气、废渣的排放量较2005年分别增加了100.01亿t、110630亿t、9.315亿t。

调水调控模式是对经济高速发展模式的第三次修正,该方案既考虑了经济的持续稳定增长,又兼顾了水资源的合理开发与环境污染的有效控制,在一定程度上是最能反应现实情况的渭河流域人地系统较为协调持续发展模式。可见,政府部门在政策制定时需考虑经济、资源、环境的统筹发展,综合考虑各种约束条件可能对区域发展造成的影响,使决策更为科学合理。

4 结论

(1) 流域人地关系地域系统是一个多层次的、多变量的、时间和空间相协调的耦合系统^[4-5]。流域人地系统的关系就是在以流域为单位的区域社会经济发展过程中,社会经济系统与资源环境系统交互胁迫、相互依存的非线性关系的总和。因此,利用系统动力学模型对流域人地关系地域系统优化调控与传统的数理模型比较,更能够反映出流域系统的非线性、高阶次和反馈性的特征,可以较好的模拟流域水资源、污染和经济发展的耦合关系。

(2) 通过对4种情形下建立的不同模式运行结果的比较分析,发现经济高速发展模式经济发展速度最快,但是加重了生态环境的负担,同时水资源和社会经济的矛盾会急剧恶化;缺水反馈模式可以根据流域水资源承载力对社会经济发展速度进行调解,但在一定程度上限制了经济的发展;缺水污染反馈模式同时考虑污染和水资源的制约,这是社会经济发展最缓慢的一种模式,在这种模式下短期内会改善缺水和环境恶化状况,但经济的过慢增长,会影响资本积累和区域发展,也会使人地关系矛盾加剧;调水调控模式将水资源引入渭河流域,缺水状况和生态环境得到明显改善,社会经济也保持一定的增长速度,是目前对渭河流域人地系统进行调控最可取的方案。

(3) 流域人地关系地域系统具有复杂性,在其演化模拟的过程中,系统的内部结构必然会发生变化,而系统动力学模型运行中各方案的结构是不能改变的,而且要素间的函数关系式的准确性会随时间逐步降低,这些可能导致模拟结果出现偏差,因此,预测的结果仅是对实际系统总体发展趋势的模拟,为了与社会经济、污染等要素的实际情况更加吻合,更好的对流域人地系统进行调控,需要根据现实系统的发展趋势不断的进行参数调整。

参考文献

- [1] Newson M D. Land, Water and Development: Sustainable and adaptive management of rivers. London and New York: Routledge, 2008: 2-3.
- [2] 俞永军. 赣江流域空间结构模式研究. 南京师范大学博士学位论文, 2004: 9-10.
- [3] 王慧敏, 徐立中. 流域系统可持续发展分析. 水科学进展, 2000, 11(2): 165-172.
- [4] 王慧敏, 刘新仁. 流域复合系统可持续发展测度. 河海大学学报, 1999, 27(3): 45-48.
- [5] 方创琳. 区域发展规划的人地系统动力学基础. 地学前沿, 2003, 7(增刊): 256-259.
- [6] 王其藩. 系统动力学. 北京: 清华大学出版社, 1994: 17-20.
- [7] 王武科, 李同升, 徐冬平, 等. 基于SD模型的渭河流域关中地区水资源调度系统优化. 资源科学, 2007, 30(7): 983-989.
- [8] 喻小军, 江涛, 王先甲. 基于流域水资源承载力的动力学模型. 武汉大学学报: 工学版, 2007, 40(4): 45-48.
- [9] 鲍超, 方创琳. 内陆河流域用水结构与产业结构双向优化仿真模型及应用. 中国沙漠, 2006, 26(6): 1033-1040.
- [10] 王慧敏, 刘新仁, 徐立中. 流域可持续发展的系统动力学预警方法研究. 系统工程, 2001, 19(3): 61-68.
- [11] 秦丽云. 流域水资源与环境经济系统优化研究. 节水灌溉, 2007(3): 44-46.
- [12] 方创琳, 步伟娜, 鲍超. 黑河流域水-生态-经济协调发展方案及用水效益. 生态学报, 2003, 24(8): 1701-1709.
- [13] 方创琳, 鲍超. 黑河流域水-生态-经济发展耦合模型及应用. 地理学报, 2004, 59(9): 781-790.
- [14] 李同升, 徐冬平. 基于SD模型下的流域水资源-社会经济系统时空协同分析: 以渭河流域关中段为例. 地理科学, 2006, 26(5): 551-556.
- [15] 李林红. 滇池流域可持续发展投入产出系统动力学模型. 系统工程理论与实践, 2002(8): 89-94.
- [16] 郭怀成, 徐云麟, 邹锐, 等. 不完备信息条件下流域环境系统规划方法研究. 环境科学学报, 1999, 19(4): 421-426.

- [17] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究. 地理研究, 2001, 20(2): 191-198.
- [18] 张永勤, 缪启龙, 何毓意, 等. 区域水资源量的估算及预测分析. 地理科学, 2001, 21(5): 457-462.
- [19] 邓伟, 翟金良, 闫敏华. 水空间管理与水资源的可持续性. 地理科学, 2003, 23(4): 385-390.
- [20] 陈湘满. 论流域开发管理中的区域利益协调. 经济地理, 2002, 22(5): 525-529.
- [21] 裴相斌, 赵冬至. 基于 GIS-SD 的大连湾水污染时空模拟与调控策略研究. 遥感学报, 2000, 4(2): 119-124.
- [22] 方创琳, 步伟娜. 水资源约束下河西走廊的城市竞争能力与扩张幅度研究. 地理科学, 2004, 24(5): 385-390.

The Simulation of Man-land Areal System in the Wei River Basin

ZHANG Jie¹, LI Tongsheng², WANG Wuke²

(1. School of Civil and Architecture Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Taking the Wei River Basin (mainstream) as a case, a dynamic model of man-land areal system has been established using SD method and Vensim PLE software and taking utilization of water resources as the main clues. Through adjustment of water utilization and pollution index, four scenarios of the simulations during 2005-2025 have been established, which are the high-speed economic development mode, the water-lack feedback mode, the water-lack and environment-pollution feedback mode, and the water diversion coupling mode. The results show that, firstly, system dynamic model is a very useful tool for simulating the man-land relationship in a river basin. It is quite easy to reflect the characters of nonlinear relations, feedback and changeability of the system. Secondly, based on the analysis of the four scenarios, it can be concluded that the economic development is the fastest in the high-speed economic development mode, however, the burden of ecological environment will aggravate, as well as the water, social and economic conditions will get worse sharply. Social and economic developing speed can be regulated by water resources bearing capacity in the water-lack feed back mode, but in some degree economic development will be limited. The water resource limitation and environment pollution are considered in the water-stor tage and environment-pollution feedback mode, in which the social and environment development is the slowest. This mode can improve the conditions of water stor tage and environmental pollution in a short time, while the slow economic development will suppress the capital accumulation, and will also aggravate the man-land contradiction. The water-lack feedback mode and the water-lack and environment-pollution feedback mode are the supplement of the high-speed economic development mode. The water diversion coupling model diverts water resources into the Wei River Basin, by which the situation of water shortage can be improved, also the economic development can keep increasing at a sustainable high speed, and it is an effective way to balance the man-land relationship in the Wei River Basin. Therefore, in order to make decisions more reasonably, it is important for the government to consider the overall development of economy, resource and environment in decision making.

Key words: system dynamic model; man-land areal system; analogue simulation; Wei River Basin

本文引用格式:

张洁, 李同昇, 王武科. 渭河流域人地关系地域系统模拟. 地理科学进展, 2010, 29(10): 1178-1184.