



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.01.012

伏吉芮, 瓦哈甫·哈力克, 姚一平. 协调模式下的吐鲁番地区水资源合理供求模式[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 67-71, 144. FU Ji rui, WAHAP Halik, YAO Yi ping. Analysis of rational supply and demand of water resources in Turpan area in the coordination mode[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 67-71, 144. (in Chinese)

协调模式下的吐鲁番地区水资源合理供求模式

伏吉芮¹, 瓦哈甫·哈力克^{1,2}, 姚一平¹

(1. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室/资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046;

2. 新疆大学 旅游学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 系统动力学基于系统理论, 能够将用水子系统和供水子系统纳入到水资源供需系统中, 并且可以分析每个子系统中各因素的变化对于整体系统的影响。而系统动力学软件 Stella 可以通过情景模拟来预测水资源供需的发展趋势。运用系统动力学的方法, 结合吐鲁番社会经济发展和生态需水的实际情况, 构建了吐鲁番水资源供需系统模型, 设定四种不同的情景, 仿真模拟了 2013 年- 2030 年吐鲁番地区水资源供需变化趋势, 进而对该地区水资源供需平衡进行分析。研究结果表明: 为实现水资源的优化利用, 保证吐鲁番地区的可持续发展, 还必须加大水利建设, 增加水利投资, 进一步实施节水措施, 巧妙合理的利用水资源。

关键词: 水资源供需系统; 系统动力学; 吐鲁番地区

中图分类号: TV 213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2017)01-0067-05

Analysis of rational supply and demand of water resources in Turpan area in the coordination mode

FU Ji rui¹, WAHAP Halik^{1,2}, YAO Yi ping¹

(1. The Key Lab for Oasis Ecosystem of MOE/College of Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. College of Tourism Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: System dynamics is based on the system theory. It can incorporate the water use sub system and water supply sub system into the water resources supply and demand system, and can be used to analyze the influence of the factors in each subsystem on the overall system. The system dynamics software Stella can predict the development trend of water supply and demand through scenario simulation. Turpan water resources supply and demand system model was constructed using the system dynamics method based on the actual situation of Turpan social economic development and ecological water demand. Four different scenarios were set to simulate the variation trend of water resources supply and demand in Turpan area in 2013-2030. Then analysis was conducted on the balance of water resources supply and demand in the region. Research results showed that in order to achieve optimal use of water resources to ensure sustainable development of Turpan area, we must intensify water conservancy construction, increase investment in water conservancy, further implement water saving measures, and use water resources smartly and reasonably.

Key words: water resources supply and demand system; system dynamics; Turpan area

近年来, 随着工农业活动强度加剧, 耗水量迅速增长, 而水资源更新速度却落后于水资源消耗的速度,

水资源安全所面临的威胁与日俱增^[1,2]。基于此, 专家学者们对水资源研究的出发点集中在如何

收稿日期: 2016-01-11 修回日期: 2016-03-20 网络出版时间: 2017-01-04
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170104.0854.001.html>
基金项目: 国家自然科学基金(41271168)

Fund: National Natural Science Foundation of China(41271168)

作者简介: 伏吉芮(1990), 女, 甘肃天水人, 主要从事干旱区资源与环境方面研究。E-mail: 1281522988@qq.com

通讯作者: 瓦哈甫·哈力克(1967), 男, 新疆哈密人, 教授, 博士, 主要从事干旱区资源与可持续发展方面研究。E-mail: hwap@xju.edu.cn

充分合理利用水资源,以及协调经济发展,工农业生产活动和水资源之间的关系,实现经济、生态和资源效益的最大化,以达到可持续发展的目标。王友贞等^[39]从水资源安全的角度出发对水资源承载力及水资源脆弱性进行量化分析,得出水资源安全利用的阈值范围,保证水资源的可持续使用。冯文琦^[10]模拟了深圳市水资源配置;张衍广等^[11-15]运用系统动力学对山东、北京、大连、崇明岛,宝鸡的水资源承载力进行了模拟研究。这些研究将系统动力学方法运用到水资源的模拟研究中,模拟了水资源的配置和水资源的承载力,将水资源和经济发展、工农业生产之间的关系进行了分析。高彦春^[16]以汉中盆地为例进行了区域水资源的仿真模拟和决策优化,该研究将经济社会等方面的因素与水资源使用现状纳入一个总系统,进行系统模拟并得出最优的水资源使用决策。这些研究涉及地区虽较多,涉及水资源的承载力和脆弱性等多个方面,但运用系统动力学对干旱区的水资源进行仿真模拟研究的较少。

吐鲁番是典型的干旱区破碎绿洲,绿洲作为一个独立存在的生态系统,具有唯水性,如果没有水,绿洲将不复存在。吐鲁番水资源极度缺乏,水资源对绿洲区域经济的发展有着至关重要的作用^[17],如何配置有限的水资源来确保可持续发展是该地区面临的难题。本文以吐鲁番地区为例,对该地区的水资源供需系统进行动态仿真模拟。结合该地区的实际情况,分析研究水资源的需求状况,从而实施适当的调控,使水资源得到合理利用,实现水资源的高效配置,从而实现该地区的可持续发展。

1 研究区概况

吐鲁番地区位于中国新疆维吾尔自治区东部,是中国内地连接中国新疆、中亚地区及南北疆的交通枢纽^[18]。吐鲁番盆地是我国海拔最低的盆地,区内艾丁湖海拔为 -154 m 。该地区属于典型的干旱区破碎绿洲,气候是独特的暖温带大陆性干旱荒漠气候,因地处盆地之中,四周高山环抱,增热迅速、散热慢,形成了日照长、气温高、昼夜温差大、降水少、风力强五大特点,素有“火州”、“风库”之称。年均降水量 16.4 mm ,由于炎热干燥,蒸发量特别大,因此该地区水资源十分匮乏。近年来,该地区经济发展迅速,旅游、工矿企业规模迅速增长,因此有必要对该区水资源的供需平衡进行分析,以便更有效地利用水资源,促进吐地区合理发展。

2 研究方法

2.1 系统动力学方法

系统动力学(system dynamics)简称 SD,是美国麻省理工学院福瑞斯特教授 1956 年创立的,系统的基本结构单元是反馈回路,即系统的状态、速率(决策)与信息的回路。系统动力学的基本方法包括因果关系流程图、流图、方程和仿真平台。通过对系统的分析,确定变量之间的关系、构建方程、建立模型,将模型输入计算机进行仿真模拟,可以设定不同的情景,对系统进行仿真。文中所采用的系统动力学软件是 Stella。

2.2 水资源供需系统模型构建

2.2.1 子系统分析

(1) 需水子系统。需水子系统由工业需水、农业需水、生活需水和生态需水构成。在吐鲁番绿洲内,农业用水的比例是最大的,有的年份高达 98%,一般年份也会在 95% 以上。在 2013 年时生态需水为 0.66 亿 m^3 ,农业需水和生态需水较多,工业用水为 0.51 亿 m^3 ,生活用水为 0.21 亿 m^3 。

(2) 供水子系统。供水子系统主要包括本地常规水资源和再生水的回用。吐鲁番地区的常规水资源主要是冰雪融水,由于废污水处理技术和设备限制,再生水回用量也不多,占水资源总量的 0.8%。近年来,随着气候变化,冰雪融水也在不断减少,2013 年只有 10.6 亿 m^3 。水质性缺水,季节性缺水在该地区也较为明显。

(3) 社会经济子系统。该系统主要由人口、GDP、城市化水平和产业规模等构成。人口总量由人口增长率决定,城市人口和农村人口的数量由城市化率决定,GDP 和产业规模反映的是该地区的经济水平,由各产业的增长率决定,水利投资由地区生产总值决定。

(4) 水环境子系统。该系统主要由废污水排放、处理及再生水回用量组成。吐鲁番地区的废污水处理技术和废污水处理设施滞后于整个产业的发展,这也是该地区中水利用率低的一个重要原因。

2.2.2 模型构建

根据吐鲁番地区水资源供需的实际情况,建立水资源供需系统仿真模型(图 1)。模型中的变量如下(因变量名称较长,因此用变量全名拼音的第一个字母组合来代替)。

(1) 状态变量(L)。总人口(ZRK)、农田灌溉面积(NTGGMJ)、农田灌溉单位面积用水量(NTGG-DWMJYSL)等 9 个状态变量。

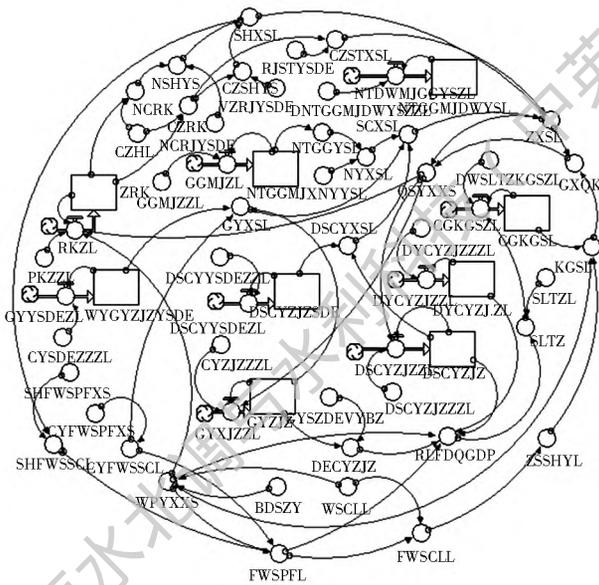


图1 吐鲁番地区水资源供需系统流图

Fig.1 The flow chart of water resources supply and demand system in Turpan area

(2) 速率变量 (R)。人口增量(RKZL)、灌溉面积增量(GGMJZL)、农田单位面积灌溉用水增量(NTDWMJGYSZL)等9个速率变量;

(3) 辅助变量 (A)。城镇人口(CZRK)、农村人口(NCRK)、农村生活需水量(NCSHXSL)、城镇生活需水量(CZSHXSL)、城镇生态需水量(CZSTXSL)、生产需水量(SCXSL)等22个变量。

(4) 常量 (C)。模型中所包含的常数、表函数和初始值。

该模型共包含40个系统动力学方程:22个辅助方程、9个状态变量方程、9个速率变量方程。用Stella软件对模型进行运行,检验结果表明该模型构建合理,以2013年为基准年,模拟2009年-2013年吐鲁番地区的人口、GDP和总需水量,模拟结果与实际数据误差均小于5%(见表1),符合要求,说明该模型的模拟结果可信。

表1 实际值和模拟值对照

Tab.1 Actual value and simulation value control table

时间	GDP/亿元			总人口/万人			总需水/亿 m ³		
	实际值	模拟值	误差(%)	实际值	模拟值	误差(%)	实际值	模拟值	误差(%)
2009	154.6	153.2	-0.09	61.5	61.8	0.48	12.41	12.38	-0.24
2010	185.3	187.4	1.1	62.3	62.7	0.64	13.47	13.64	1.16
2011	217.5	224.5	3.2	63.2	63.9	1.1	14.80	13.98	-4.5
2012	243.9	245.8	0.99	63.4	64.5	1.7	13.35	13.65	0.74
2013	267.2	272.5	1.9	64.1	64.6	0.78	13.55	13.74	1.4

表2 吐鲁番地区水资源供需系统调控参数及方案

Tab.2 Adjustment parameters and options of water resources supply and demand system in Turpan area

参数名称单位	情景一	情景二	情景三	情景四
第一产业增加值增长率(%)	4	5	5	3
工业增加值增长率(%)	6	7	7	6
第三产业增加值增长率(%)	6	7	7	7
工业用水定额增长率(%)	-4	-4	-4.5	-5
第三产业用水定额增长率(%)	-3	-3.5	-4	-3.5
单位灌溉面积用水增长率(%)	-3	-2.5	-4	-3
城市化率(%)	21.7	25	22	23
污水处理率(%)	27	32	45	50
农村人均生活用水定额 / (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	50.32	53	51	52
城镇人均生活用水定额 / (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	81.36	83	82	82
人均生态用水定额 / (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	10.61	9	11	11
工业废水物排放系数	0.51	0.52	0.53	0.55
生活废污水排放系数	0.32	0.34	0.35	0.36
水利投资率(%)	0.6	0.8	1.1	1.5

3 情景模拟及结果

3.1 情景设计

以2013年为基准年,对吐鲁番地区的社会发展、人口变化与水资源供需平衡情况进行模拟分析, (步长为1 a),终止年为2030年。水资源供需系统调控参数及方案见表2。

(1) 情景一。假设在人口、经济发展水平、水资源承载力维持现有状况下的发展,将这种情景下的发展模式称其为现状延续模式。

(2) 情景二。假设主要突出经济发展,以提高各产业的增加值的增长率,产业规模扩大为目标的发展,将这种情景下的发展模式称其为经济发展模式。

(3) 情景三。假设重点在于提高水资源的管理技术,旨在构建节水型社会,形成节水型生产生活方式。在模拟过程中,减少城乡人均生活用水定额、万元产业增加值用水定额增长率,提高有效灌溉系数等。将这种情景下的发展模式称其为节水模式。

(4) 情景四。假设在节水模式的基础上,对经济

发展速度和产业结构进行调整,在水资源短缺的情况下,使该地区社会经济和生态协调发展。同时,提高污水处理率和再生水回用率,适当增加在水利建设方面的资金投入。我们将这种情景下的发展模式称为协调发展模式。

3.2 模拟结果

选取 GDP、人口变化、供需压力、总需水量等主要指标来说明模型的仿真模拟结果及其变化趋势比较见图 2。

在情景一中,2030 年吐鲁番地区 GDP 为 0.056×10^{12} 元,总需水量 16.1 亿 m^3 ,水资源供需压力达到 1.5 ,水资源供需缺口大,水利投资随着社会经济的发展逐渐增加,污染影响系数为 0.755 ,水环境污染严重。如果延续这种现状,水资源短缺将日益严重。

在情景二中,2030 年吐鲁番地区 GDP 为 0.083×10^{12} 元,总需水量 17.3 亿 m^3 ,水资源供需压力高达 1.79 ,远远超过情景一。虽然在这种情景

下,生产总值升幅很大,但是水资源压力非常大,而且由于产业规模迅速扩大,废污水的排放量也增加,对吐鲁番极度脆弱的生态环境来说,这种具有高经济效益的发展是以生态环境的破坏和资源的枯竭为代价的。这种发展是不可持续的发展。

在情景三中,2030 年吐鲁番地区 GDP 将达到 0.09×10^{12} 元,总需水量达到 15.3 亿 m^3 ,水利投资逐年递增,达到 1.55×10^8 元;水资源供需压力虽然呈现缓慢稳定增长状态,但小于情景一和情景二;污染影响系数为 0.73 ,这说明水资源污染问题依然较为严重。预测结果说明,节水措施对于缓解水资源供需矛盾起到了一定作用,但是水资源污染的问题依然存在。

在情景四中,水资源供需处于一个可持续发展状态,发展到 2030 年,水资源的供需压力为 0.98 ,比情景一的 1.5 、情景二的 1.79 都小,这说明水资源供给能力可以支撑当地的可持续发展。

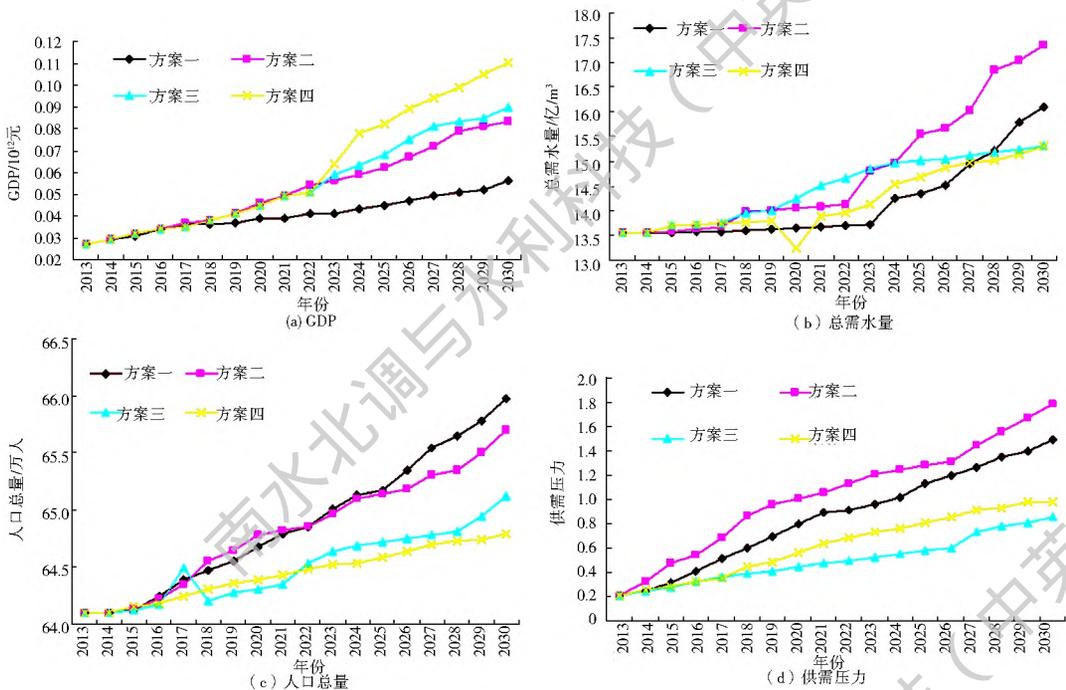


图 2 2013 年-2030 年吐鲁番地区水资源供需系统演化趋势

Fig. 2 The evolutionary trend of water resources supply and demand system in Turpan area from 2013 to 2030

情景三虽然达到了节水的目的,但对于经济发展有制约,因此不是最优选择,情景二突出经济发展,但是是一种不可持续的发展,情景一是在没有任何调控下延续现状的发展,这种发展对生态环境和水资源的压力较大,难以维持长久。吐鲁番地区在情景四(协调发展模式)下,实行再生水利用、将再生水、地表水,地下水进行统一配置。水资源供给基本能够实现可持续发展的要求,关键在于以消耗较少的水资源,获得了较高的经济效益,因此在该情景

下,水资源的使用效率最高。随着吐鲁番地区城镇化的快速发展,水资源的需求量将不断增加,到 2030 年,总需水量依然是增长的趋势。随着城市化率的提高,农村人口大量向城市转移,导致城市生活人口增加,从而需水量增加,而农村生活用水有所减少,城镇生态需水总量略有增长。由于节水措施和有效灌溉系数的提高,农田有效灌溉面积增长,但是由于吐鲁番地区的农业属于灌溉农业,用水量大,所以农业用水并没有减少,反而是略有增长。由于产

业规模扩大的需要,工业需水量会继续增长,第三产业需水量会随着产业规模的逐渐扩大而稳定增长。

4 结语

随着人口数量增加,人们生活水平提高,吐鲁番水资源的供需矛盾日益强化。在模拟时间段内,水资源的需求会不断增长,但是水资源的更新却赶不上需求增长的脚步。在新丝绸之路经济带建设的背景下,吐鲁番地区的经济发展显得尤为重要,水资源安全所面临的威胁就是城市发展所面临的威胁。在全球变暖的大环境下,该地区的雪山融水供应能力有限,要缓解水资源的紧张状况,就必须做到优化产业结构,合理布局各产业,在招商引资的过程中拒绝耗水企业进驻吐鲁番,已进驻该地区的企业,尽量要求升级生产设备,以减少污染,减少水资源消耗;农业方面,全面发展滴灌技术,实现节水农业,保证地区的可持续发展。(本文数据来源于《吐鲁番统计年鉴(2002-2014)》、《新疆水资源公报》和《吐鲁番地区国民经济和社会发展统计公报》。同时结合了课题组2012年-2015年在研究区的野外调查数据)

参考文献(References):

[1] Gleick P. The World's Water 2008 2009: The biennial report freshwater resources: Washington DC: Island Press 2008.

[2] 刘昌明. 21世纪中国水资源若干问题的讨论[A]. 2003年专家论坛论文及有关材料选编[C]. 2003. (LIU Chang ming. Discussion on the problem of water resources in China in twenty-first Century [A]. Selection of Papers and Related Materials of the 2003 Experts Forum [C]. 2003. (in Chinese))

[3] 王友贞, 施国庆, 王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 597-604. (WANG You zhen, SHI Guo qing, WANG De sheng. Study on evaluation indexes of regional water resources carrying capacity [J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(4): 597-604. (in Chinese))

[4] 夏军. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269. (XIA Jun. Measurement of water resources safety: research and challenge of water resources bearing capacity [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 262-269. (in Chinese))

[5] 夏军, 翁建武, 陈俊旭, 等. 多尺度水资源脆弱性评价研究[J]. 应用基础与工程科学学报 2012(增刊): 1-14. (XIA Jun, WENG Jian wu, CHEN Jun xu, et al. Multi-scale water vulnerability assessment research [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2012(s): 1-14. (in Chinese))

[6] 夏军, 邱冰, 潘兴瑶, 等. 气候变化影响下水资源脆弱性评估方法及其应用[J]. 地球科学进展, 2012, 27(4): 443-451. (XIA Jun, QIU Bing, PAN Xing yao, et al. Assessment of water resources vulnerability under climate change and human activities [J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(4): 443-451. (in Chinese))

[7] 翁建武, 夏军, 陈俊旭. 黄河上游水资源脆弱性评价研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(9): 9-20. (WENG Jian wu, XIA Jun, CHEN Jun xu. Water resources vulnerability assessment of the upper Yellow River [J]. Yellow River, 2013, 35(9): 9-20. (in Chinese))

[8] 王晨华, 梁川, 何小龙. 云南省水资源开发利用评价方法应用研究[J]. 水资源研究, 2005, 23(3): 17-19. (WANG Chen hua, LIANG Chuan, HE Xiao long. Application of water resources development and utilization evaluation method in Yunnan [J]. Water Resources Research, 2005, 23(3): 17-19. (in Chinese))

[9] 杨广, 何新林. 投影寻踪技术在水资源可持续利用评价中的应用研究[J]. 中国农村水利电, 2010(11): 1-3, 7. (YANG Guang, HE Xin lin. A study of projection pursuit model in the sustainable utilization evaluation of water resources [J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(11): 1-3, 7. (in Chinese))

[10] 冯文琦, 王丽萍, 向波. 基于模拟模型的深圳市水资源配置[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2007(4): 65-69. (FENG Wen qi, WANG Li ping, XIANG Bo. Water resources allocation in Shenzhen City based on simulation model [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007(4): 65-69. (in Chinese))

[11] 张衍广, 林振山, 陈玲玲. 山东省水资源承载力的动力学预测[J]. 自然资源学报, 2007, 22(4): 596-605. (ZHANG Yan guang, LIN Zhen shan, CHEN Ling ling. Prediction on the dynamics of water resource carrying capacity in Shandong Province [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(4): 596-605. (in Chinese))

[12] 冯海燕, 张昕, 李光永, 等. 北京市水资源承载力系统动力学仿真[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(6): 106-110. (FENG Hai yan, ZHANG Xin, LI Guang yong, et al. A system dynamic model and simulation for water resources carrying capacity in Beijing [J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(6): 106-110. (in Chinese))

[13] 徐毅, 孙才志. 基于系统动力学模型的大连水资源承载力研究[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(6): 71-74. (XU Yi, SUN Cai zhi. Simulation of water resources carrying capacity based on a system dynamic model in Dalian [J]. Journal of Safety and Environment, 2008, 8(6): 71-74. (in Chinese))

[14] 车越, 张明成, 杨凯. 基于SD模型的崇明岛水资源承载力评价与预测[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2006, 11(6): 67-74. (CHE Yue, ZHANG Ming cheng, YANG Kai. Evaluation and prediction of water resources carrying capacity based on SD Model: a case study of Chongming Island [J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2006, 11(6): 67-74. (in Chinese))

[15] 孙新新, 沈冰, 于俊丽. 基于系统动力学模型的宝鸡市水资源承载力[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2007, 2(1): 72-77. (SUN Xin xin, SHEN Bing, YU Jun li. Carrying capacity of water resources of Baoji city based on the system dynamics model [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2007, 2(1): 72-77. (in Chinese))

(下转第144页)

- [9] 史志刚,袁道阳,李廷栋,等. 公元 600 年秦陇地震考证与发震构造探讨[J]. 科技导报, 2013, 31(12): 48-52. (SHI Zhirgang, YUAN Dao yang, LI Ting dong, et al. Textual research of A. D. 600 Qir Long Earthquake and discussion on its seismogenic structure[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(12): 48-52. (in Chinese))
- [10] 袁道阳,雷中生,刘兴旺,等. 公元 842 年甘肃碌曲地震考证与发震构造分析[J]. 地震地质, 2014, 36(3): 609-624. (YUAN Dao yang, LEI Zhong sheng, LIU Xing wang, et al. Textual research of Luqu Earthquake in 842 AD Gansu province and analysis of its causative structure[J]. Seismology and Geology, 2014, 36(3): 609-624. (in Chinese))
- [11] 李善邦. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 1960. (LI Shan bang, Chinese earthquake catalog[M]. (in Chinese))
- [12] 中国百科网. 东川 1733 年地震[DB/OL]. <http://wenda.chinabaike.com/html/20103/q1410922.html>. 2016-01-13.
- [13] 滕德贞. 云南省小江断裂带中段地震地质基本特征[J]. 地震研究, 1978, 1(2): 55-64. (TENG De zhen, Basic features of seismic geology of the middle segment of Xiaojiang Fault[J]. Journal of Seismological Research, 1978, 1(2): 55-64. (in Chinese))
- [14] 刘翔,王绍晋,钱晓东,等. 2005 年会泽 5.3 级地震与小江断裂地震活动关系研究[J]. 地震研究, 2006, 29(4): 332-337. (LIU Xiang, WANG Shao jin, QIAN Xiao dong, Relation between the 2005 Huize M5.3 Earthquake and the Seismicity of Xiaojiang Fault[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(4): 332-337. (in Chinese))
- [15] 兰恒星,王苓涓,周成虎. 云南小江流域滑坡关键影响因子研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 100-106. (LAN Heng xing, WANG Ling juan, ZHOU Cheng hu. Study on the key landslide factor by means of GIS in Xiaojiang Valley, Yunnan[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14(1): 100-106. (in Chinese))
- [16] 黄润秋. 汶川地震地震灾害研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010. (Geohazard Assessment of the Wenchuan Earthquake [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))
- [17] 唐川,黄楚兴,万晔. 云南省丽江大地震及其诱发的崩塌滑坡灾害特征[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 76-84. (TANG Chuan, HUANG Chu xin, WAN Ye. Lijiang earthquake and the induced rockfalls and slumps in Yunan[J]. Journal of Natural disasters, 1997, 6(3): 76-84. (in Chinese))
- [18] 倪振强,史存鹏,韩涛. 地震滞后滑坡的破坏机理及防治措施研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(9): 63-68. (NI Zhen qiang, SHI Cun peng, HAN Tao. Failure mechanism and prevention measures of lagged earthquake induced landslide[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(9): 63-68. (in Chinese))
- [19] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29-38. (YIN Yue ping. Features of landslides triggered by the Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 29-38. (in Chinese))
- [20] 朱守彪,石耀霖,陆鸣,等. 地震滑坡的动力学机制研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(7): 1096-1105. (ZHU Shou biao, SHI Yao lin, LU Ming, et al. Dynamic mechanisms of earthquake triggered landslides[J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 43(7): 1096-1105. (in Chinese))
- [21] 杜玉龙,方维萱,柳玉龙. 东川铜矿因民矿区非污染性环境地质问题分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(4): 404-409. (DU Yu long, FANG Wei xuan, LIU Yu long. Analyzing of non-pollution type environmental geology problem of Yinmin Mine in Dongchuan Cu Deposit[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(4): 404-409. (in Chinese))
- [22] 赵鑫,程尊兰,刘建康,等. 云南东川地区单沟泥石流流危险度评价研究[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 102-106. (ZHAO Xin, CHENG Zun lan, LIU Jian kang, et al. Hazard degree assessment on site specific debris flows in Dongchuan of Yunnan Province[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(1): 102-106. (in Chinese))

(上接第 71 页)

- [16] 高彦春,刘昌明. 区域水资源系统仿真预测及优化决策研究以汉中盆地平原区为例[J]. 自然资源学报, 1996, 11(1): 23-32. (GAO Yan chun, LIU Chang ming. A study of the simulated calculation and optimal decision making of regional water resources: taking the plain area of the Hanzhong basin as an example[J]. Journal of Natural Resources, 1996, 11(1): 23-32. (in Chinese))
- [17] 闫业超,孙希华,李平. 水资源对区域经济社会发展的支撑能力研究: 以济南市长清区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(1): 132-137. (YAN Ye chao, SUN Xi hua, LI Ping. Load-carrying capacities of regional water resource for social and economic development [J]. China Population, Resources and Environment [J], 2005, 15(1): 132-137. (in Chinese))
- [18] 李新,尹景原. 吐鲁番盆地的干旱环境特征[J]. 干旱区地理, 1993, 16(2): 63-69. LI Xin, YIN Jing yuan. The arid hot environmental characteristics in Turpan Basin [J]. Arid Land Geography, 1993, 16(2): 63-69. (in Chinese))