

陕西关中地区水资源—社会经济系统时空协同分析

徐冬平, 李同升

(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069)

摘要:以系统动力学模型为依据,根据渭河流域生产系统、生活系统和水资源系统相互作用机理,在满足一定程度的河道生态环境用水的情况下,建立关中地区社会经济发展与水资源关系模型;根据不同的发展目标和政策条件,分别运行高速发展方案(HD)、协调发展方案(CD)和调水发展方案(MD)。认为 MD 方案是实现关中地区水资源与社会经济系统协调发展的最佳途径;现有(含规划)的引水工程的数量不能完全满足未来社会经济发展的要求,应规划建设新的引水工程,并需要提前完工投入使用。

关键词: SD 模型; 水资源—社会经济系统; 时空协同; 关中地区

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)03—0097—03

中图分类号: TV213

Spatiotemporal Coupling Analysis on Water System and Social Economical System in Guanzhong Region of Shaanxi Province

XU Dong-ping, LI Tong-sheng

(Urban and Resource Department of Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China)

Abstract: Base on System Dynamic Model, the interaction of production-living system, and meeting the water demand of riverway ecosystem to some degree, the Spatiotemporal Coupling Formula of Water System and Social Economical System is put forward. According different develop goal and policy condition, runs economy high-speed develop model (HD), water-economy coordinated developing model (CD), water-moved develop model (MD) separately. MD is the best way to resolve water resource and social economical system problem in Guanzhong region. At present, the amount of water that moving from other zone can not reach the demand of economy development completely in the future. Planning more water-transportation projects is necessary and makes it works before the schedule.

Keywords: SD Model; water resource and social economical system; spatiotemporal coupling; Guanzhong Region of Shaanxi Province

关中地区属资源型缺水地区,渭河是其水资源主要的供给线。长期以来,渭河水资源支撑着关中地区社会、经济的稳定发展,并且影响和制约着其发展的规模和速度。

近年来,由于人类社会经济的强力干预以及全球气候变化的影响,渭河上游来水与关中自产水量已经不足以维持关中社会经济系统的稳定发展。为了加大供水力度,地区供水部门往往会采取牺牲生态环境水量和超采地下水的办法来增加供水量。而牺牲生态环境用水又造成生态用水不足、泥沙淤积、河道萎缩等问题,使得生态环境恶化;长期超采地下水诱发和加剧了地面沉降和地裂缝,破坏了城镇密集区的地质条件。这样的恶性循环持续下去,不但会使生态环境遭到严重破坏,也将会导致社会经济系统无可利用之

水,引发关中地区新的水危机,直接影响到关中地区社会、经济的快速、持续发展。因此,解决关中地区缺水问题,不仅是解决生态环境问题的必然要求,更是关中地区经济快速、协调、稳定发展的当务之急。

1 关中地区水资源状况及其发展趋势

关中平原位于渭河流域中下游,是陕西省经济发展的核心地带,这里人口和城市密集,各类开发区和工业园区高度集中,经济发展水平较高。关中地区 GDP 总量占陕西省 70% 以上,年均增长率高出全省 2% 左右;关中以全省 27% 的土地集中了陕西省 60% 的城镇人口,2003 年城市化水平达 40% 以上,是城市资本高度集中地区;随着国家级关中高新技术产业带和关中星火产业带的建设,关中地区正在成长为我

收稿日期:2005-03-20

资助项目:陕西省科技发展计划重大项目(2003 K12 - G5); 国家科技部软科学研究项目(2004D GS3D026)

作者简介:徐冬平(1978—),男(汉族)。电话(029)88034231, E-mail:xudongping65063@163.com。

国西部大开发的桥头堡和陕西经济实现跨越式发展的主要依托地区^[1]。

1.1 关中地区水资源利用现状

关中地区是我国北方资源型缺水地区,无论从相对数量还是绝对数量上衡量,该区水资源在全省乃至全国均很贫乏,关中地区人均水资源为 357.5 m^3 ,仅为陕西省人均水资源的 25.5% 和全国的 13.2%,单位均水资源量仅为全国的 15%,全省的 34%^[2];2000 年关中地区缺水量 $1.43 \times 10^9 \text{ m}^3$,缺水率达到 21% 左右。关中地区水资源开发利用率高,2000 年共用水 $5.00 \times 10^9 \text{ m}^3$,水资源开发利用率高达 60.9%,超过联合国规定的合理水资源开发利用率 30% 的标准两倍以上,持续地对水资源高度的开发利用将不可避免地破坏流域的水生生态环境和流域地质条件,造成流域经济可持续发展的基础被破坏。

关中地区可开采地下水量 $2.95 \times 10^9 \text{ m}^3$,2000 年关中地区地下水开采量达 $3.00 \times 10^9 \text{ m}^3$,占总用水量 60%,地下水超采 1.7%,部分地区长期超采,已形成多处下降漏斗。关中地区生态环境用水保证率极低,区内各市以牺牲生态环境用水来发展生产,75% 频率年关中地区生态环境用水平均保证率仅 42.74%,各水文站最高生态环境缺水率达 67%,最低也达 27%^[3],过度抢占生态环境用水加剧了渭河水资源污染程度,更使渭河下游成为了地上悬河。

近年来水资源的供需矛盾以及不合理的水资源开发利用方式产生的诸多生态环境退化与破坏问题逐渐暴露,这些问题正是影响地区可持续发展的制约因素。可以预测,伴随着经济社会发展,水资源问题将是制约经济社会可持续发展的“瓶颈”,水资源供给难以支撑流域社会经济持续的高速增长。如何解决这一问题成为关中地区可持续发展的关键。

1.2 关中地区水资源发展趋势

随着关中地区经济、社会的不断发展,社会经济各部门对水资源的需求不断加大,而地区水资源的数量并没有明显增加,甚至有减少的趋势,因此,地区缺水的程度不断加深,基于政府规划方案的预测,至 2010 年和 2020 年陕西省渭河流域(含关中地区)的缺水率将达到 43% 和 54%。在此种情况下,社会经济的方方面面都会受到不同程度的影响。

2 水资源与社会经济系统 SD 模型

2.1 系统建模分析

关中地区社会经济系统的用水部门可分成三大部门,工业用水部门、生活用水部门(包括城镇生活和农村生活用水两部分)和农业灌溉用水部门,三大用

水部门用水量占关中总用水量的 98% 左右,是关中地区用水的主要部门。关中地区主要水资源供给是渭河及泾河、洛河、黑河、石头河等支流。本文以 75% 频率年为代表年,主要以农业、工业和生活用水为主线建立关中地区水资源与社会经济的系统动力学(SD)模型。

流域水资源是社会经济发展的决定因素,因此在构建关中地区水资源与社会经济系统的 SD 模型时采取以下思路。(1) 将水资源的总量作为流域经济发展的主线,同时将满足河道生态环境用水后的地区可利用水资源总量作为承载社会经济发展的基础,确定流域内农业、工业、人口等经济部门发展水平以及城市化水平、基础设施的发展状况。(2) 将建立流域节水型社会作为地区社会发展的重要目标,积极调整产业结构,降低单位产值取水量,提高单方水效益,增加地区节水投资,加大节水工程设施和污水回用工程设施的建设,提高区域水资源承载能力。

2.2 系统边界

宝鸡市、西安市、咸阳市、渭南市和铜川市及杨凌区等 5 市 1 区的生产、生活和灌溉用水均取自渭河及其支流地表水和流域内地下水,渭河是关中社会经济发展的支撑,是其发展的生命补给线。考虑行政边界的完整性和政策的可实施性,将关中 5 市 1 区确定为系统的边界,其范围为关中地区的行政边界。

2.3 因果分析和系统流图

根据对关中地区水资源与社会经济系统的分析,选择系统的主要组成要素,并对其因果关系进行分析,绘制系统的因果关系图(见图 1)。在因果关系图的基础上,根据系统各组成要素在系统中的作用和地位,将系统要素归类为不同的变量类型,并以系统流图的形式表现出来(见图 2)。

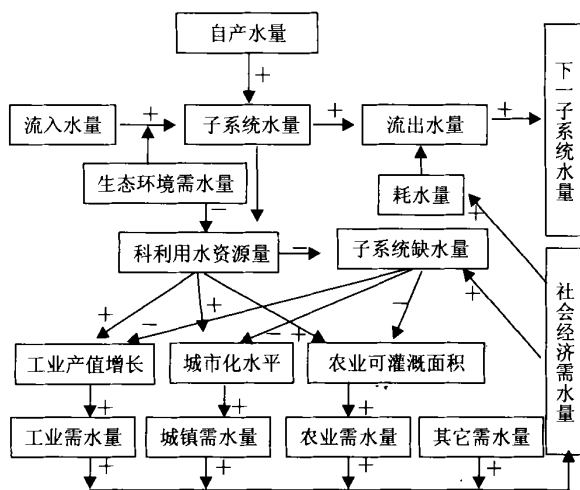


图 1 关中 SD 模型因果关系图

2.4 变量间的数学关系及参数的确定

系统变量是系统运行的基础支撑,因此用数学函数形式表达的系统变量务必接近真实系统。有时由于资料不足或函数关系复杂,很难对各变量之间的关系用严格的数学关系加以表达,因此,必须采用简化、

近似、概括等方法进行数据处理,来确定系统变量及其之间的关系^[4-5]。

本文模型变量确定过程中采用了利用灰色模型预测、几何平均值法、加权平均值法、趋势外推法等方法,模型主要变量指标见表 1。

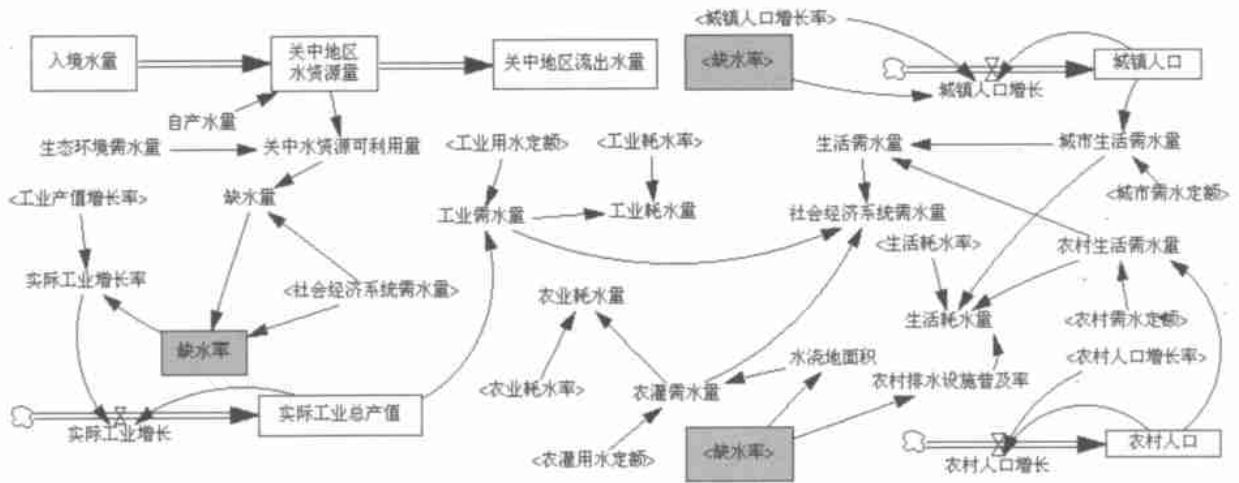


图 2 关中地区 SD 模型系统流程图

表 1 关中地区各水平年社会经济发展指标

年份	工业产值增长率/%	工业用水定额/ $10^4 m^3$	工业耗水率/%	城镇人口增长速度/%	农村人口增长速度/%	城镇生活用水定额/ $(m^3/人 \cdot a)$	农村生活用水定额/ $(m^3/人 \cdot a)$	城镇生活耗水率/%	农村生活耗水率/%	农灌需水量/ $(m^3 \cdot hm^{-2})$	农灌耗水率/%	农村排水设施普及率/%
2003	15	61	30	3.1	- 0.90	60	22	9	1	22.5	65	15
2010	12	35	33	3.1	- 1.28	67	29	7	1	21.3	67	35
2020	10	20	37	2.8	- 1.28	79	38	5	1	19.5	70	50

注:城镇生活用水定额综合了第三产业用水定额。

(1) 城镇人口增长率、农村人口增长率的确定。首先 1991—1999 年利用历史资料,建立关中地区总人口的 GM(1,1)模型:

$$X_{t+1} = 203\ 521.77 \cdot 0.009\ 692^t - 201\ 539.2$$

经过后验差检验知, $P = 1, C = 0.309\ 586 < 0.35$, 模型精度较好,预测可靠性较高。利用此方程及城市化发展规划目标确定城镇人口和农村人口增长率。工业产值增长速率的确定方法与之相仿。

(2) 工业用水定额、城镇、农村生活用水定额、工业耗水率、城镇、农村生活耗水率、农灌耗水率等指标根据 1991—1999 年利用历史资料,采取几何平均值法确定这一时间段各参数水平,同时根据规划发展目标结合加权平均值法确定。农村排水设施普及率,根据规划发展的目标来确定。

2.5 模型的检验

采用系统动力学 Vensim 软件包,将关中地区 SD 模型各种指标、参数代入模型系统流程图(隐含系统动

力学方程),运行模型,得出社会经济发展的各项指标,并与历史数据相比较,反复调整参数,将误差控制在 1.5%之内,以关中城镇人口为例说明模型精度,其它类同(表 2)。

通过对模型进行检验,结果认为模型是一个具有较高行为灵敏度、数值灵敏度和政策灵敏度的模型,可圆满地解决关中地区水资源与社会经济的耦合模拟问题。

表 2 城镇人口实际值与计算值比较

年份	实际值/ 10^4 人	模拟值/ 10^4 人	误差/%
1998	798.2	798.2	0.00
1999	820.2	818.2	0.24
2000	860.4	853.6	0.79
2001	887.7	879.6	0.91
2002	915.6	904.1	1.26
2003	947.8	934.1	1.45

3 关中地区 SD 模型的运行

3.1 关中地区 SD 模型的 3 种方案

根据社会经济发展指标,借助计算机和系统动力学 Vensim 软件包对模型进行反复试验调控,得出关中地区经济高速发展方案(HD)、水资源与社会经济协调发展方案(CD)和调水发展方案(MD)等 3 种方案,作为对关中地区进行 SD 模型研究的基础。

3.1.1 高速发展方案 HD 方案是在考虑社会经济发展的前提下,积极响应政府大力发展流域经济的规划目标,利用政府社会经济发展规划确定各项参数来运行模型。HD 方案将经济快速发展作为关中地区发展首要的目标,不考虑水资源短缺对社会经济发展的影响,通过运行模型,模拟出各水平年关中系统社会经济发展总需水量、地区水资源可利用总量、缺水程度等指标,为了解关中地区在经济发展过程中水资源系统响应状况提供数据支撑,为进一步运行 CD 方案和 MD 方案提供比对方案。

3.1.2 协调发展方案 社会经济系统与水资源系统是相互影响、相互作用的一个整体,在地区缺水的状况下,社会经济系统会根据地区缺水程度适当地调整经济发展目标和速度,CD 方案是在 HD 方案的基

上,通过 SD 模型特有的反馈控制和调节机制,使社会经济各部门根据水资源状况及时调整其发展速度,使模型对关中系统的模拟更加接近现实。

3.1.3 调水发展方案 为了保持关中地区经济的高速发展,确保其在陕西省经济中的核心地位,建设调水工程,调入区外水资源富足地区的剩余水量,成为解决关中地区缺水“瓶颈”有力手段。MD 方案在 CD 方案的基础上,考虑区外调水工程对关中社会经济系统的调节作用,再次建立关中地区调水工程调节下的 CD 模型,模拟水资源系统,治理工程和社会经济系统的时空耦合。

关中地区规划确定的主要调水工程安排如下:2010 年前计划调水工程:东雷抽黄续建工程,增水 $4.3 \times 10^8 \text{ m}^3$;南门沟水库,增水 $1.05 \times 10^8 \text{ m}^3$;引乾济石调水工程,增水 $4.70 \times 10^7 \text{ m}^3$;引红济石调水工程,增水 $1.28 \times 10^8 \text{ m}^3$;引汉济渭应急工程,增水 $5.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2020 年前计划调水工程:引汉济渭调水工程,增水 $8.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.2 结果及分析

分别运行 HD 方案、CD 方案、MD 方案的系统动力学模型,得到不同方案的预测结果表 3,表 4,并对运行结果进行比较和分析。

表 3 关中地区各水平年工业发展及需水状况

方案	2003 年			2006 年			2010 年			2015 年			2020 年		
	产值/ 10^8 元	增长 率/ %	需水/ 10^8 m^3	产值/ 10^8 元	增长 率/ %	需水/ 10^8 m^3	产值/ 10^8 元	增长 率/ %	需水/ 10^8 m^3	产值/ 10^8 元	增长 率/ %	需水/ 10^8 m^3	产值/ 10^8 元	增长 率/ %	需水/ 10^8 m^3
HD	2 105.6	15	12.8	3 166.6	14	15.7	5 176.0	12	17.7	8 960.0	11	24.4	14 827.8	10	29.7
CD	2 105.6	13	12.8	3 003.7	10	14.9	4 329.4	9	14.9	6 390.7	8	17.4	8 631.3	5	17.3
MD	2 105.6	13	12.8	3 003.7	10	14.9	4 510.0	11	15.6	7 463.5	10	20.3	11 803.0	9	23.6

表 4 关中地区各水平年缺水状况

方案	2003 年		2006 年		2010 年		2015 年		2020 年	
	缺水量/ 10^8 m^3	缺水 率/ %	缺水量/ 10^8 m^3	缺水 率/ %	缺水量/ 10^8 m^3	缺水 率/ %	缺水量/ 10^8 m^3	缺水 率/ %	缺水量/ 10^8 m^3	缺水 率/ %
HD	18.18	26.53	23.54	32.34	29.09	37.84	36.85	43.93	43.60	48.52
CD	8.05	13.78	12.45	20.18	15.66	24.69	19.38	29.18	20.62	30.83
MD	8.05	13.78	12.45	20.18	4.21	6.57	6.34	9.12	7.22	9.81

(1) 基于经济快速发展目标的 HD 方案是社会经济高速发展模式,但地区可利用水资源供给与需求之间的缺口持续加大,至 2020 年缺水率达近 50%,代表经济发展的工业产值增长率为 10%,这种既严重缺水经济又高速发展的情况在现实不可能发生;CD 方案可据流域内水资源承载力状况调整社会经济发展目标,使水资源供给与社会经济发展保持相对的平衡,但其发展速度较慢,难以完成关中地区所承

担的发展和带动使命;MD 方案引入了区外水资源,地区缺水状况得到明显改善,社会经济发展保持较高的增长速度,是解决关中地区水资源问题有效途径。

(2) 实现关中水资源的可持续利用和社会经济的持续发展,关键是合理优化用水结构,提高单方水的利用效益,以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发展^[6]。

(下转第 104 页)

[参 考 文 献]

- [1] 刘江. 全国生态环境建设规划[M]. 北京: 中华工商联合出版社, 1999. 26—38.
- [2] 郭索彦. 搞好“十百千”示范工程建设推动水保生态环境建设再上新台阶[J]. 中国水利, 1999(6): 25—26.
- [3] 董建军, 张安华, 闫庆伟. 河南省南阳市生态环境建设问题及对策研究[J]. 河南林业科技, 2001, 21(4): 22—28.
- [4] 喻权刚, 赵帮元, 董戈英. GPS 在水土保持生态建设中的应用研究[J]. 中国水土保持, 2000(11): 23—25.
- [5] 郭克贞. 草地集约化经营—中国草地畜牧业可持续发展的希望[A]. 魏益民. 中国西北旱作地区农业可持续发展国际学术研讨会论文集[C]. 西安: 世界图书出版公司, 1997. 83—89.
- [6] 范小克, 韩建国, 苏大学. 草业应作为我国优先发展的产业[J]. 宏观观经济研究, 2001(9): 10—13.

(上接第 100 页)

从表 3 可见, 经过多年的产业结构调整和节水的努力, 关中地区工业用水的单方效益已从 2003 年的 164.5 元增长到 2020 年的 499.3 元, 基本达到发达国家现阶段的水平, 基本实现了水资源高效利用。

(3) 关中地区为陕西省缺水最为严重的地区, 在区外调水的情况下, 关中地区的缺水状况虽得到明显的改善, 社会经济发展速度有了明显的提升, 但仍存在一定程度的缺水。随着地区经济总量的不断扩大, 社会发展的需水量快速增加, 关中地区缺水率自 2010 年出现了微弱的增长趋势, 现有引水工程不能满足未来经济发展对水资源的需求, 需加大对关中地区的引水力度, 规划新的引水工程。从时间角度来说, 调水工程需提前动工和投入使用, 以有效地支持这一“龙头”地区的快速发展。

[参 考 文 献]

- [1] 李同升, 赵荣. 西部大开发与陕西省区域发展战略研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(1): 1—4.
- [2] 史鉴, 陈兆丰, 等. 关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护[M]. 河南: 黄河水利出版社, 2002.
- [3] 宋进喜, 李怀恩. 渭河生态环境用水量研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [4] 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[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 119—124.
- [5] 惠泱河, 蒋晓辉, 等. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 191—198.
- [6] 方创琳, 鲍超. 黑河流域水—生态—经济发展耦合模型及应用[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 781—790.

美国 A GNPS, RSULE2, WEPS 模型研讨培训

2005 年 4 月 17 日 - 5 月 17 日, 由农业部 948 项目“土壤侵蚀及其环境效应评价模型”组织的美国 A GNPS(Agricultural Nonpoint Source Pollution, 农业面源污染模型), RSULE2(the 2nd Revised Universal Soil Loss Equation, 修正通用土壤流失方程), WEPS(Wind Erosion Prediction System, 风蚀预报系统)模型研讨培训在中科院水利部水土保持研究所国家重点实验室举办。来自中国科学院水利部水土保持研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院东北地理与农业生态研究所、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、西北农林科技大学、黄河上中游管理局、陕西省水土保持局和沙漠治理研究所等单位近 120 名研究人员参加了本次研讨培训。

培训期间, 美国农业部农业研究局国家泥沙实验室(USDA ARS National Sedimentation Laboratory)主任 Mathias Romkens 博士, 美国国家土壤侵蚀实验室(USDA ARS National Soil Erosion Research Laboratory)的主任 Chi-hua Huang 博士, 以及 A GNPS 模型的研发者 Ron Bingner 博士和 Yongping Yuan 博士, RSULE2 模型的研发者 Geen Weesies 先生, WEPS 模型的研发者的 Edward Skidmore 博士和 Larry Wagner 博士分别就 A GNPS, RSULE2, WEPS 模型的理论基础、模型结构、模型系统的研发历史与发展趋势做了详细介绍; 并对其使用方法、模型数据库建设等方面进行了现场示范和演示。

同时, 通过美方专家对黄土高原沟壑区侵蚀环境的考察及长武、安塞野外试验站的参观, 加深了他们对黄土高原侵蚀

环境及其土壤侵蚀引起的环境效应的认识, 明确了黄土高原地形和农作物管理与美方的差异, 为 A GNPS, RSULE2 和 WEPS 模型在我国及黄土高原的应用及修正奠定了基础。在模型培训过程中, 通过用中国实际资料对模型的验证及双方科学家的讨论, 双方科学家明确了将该模型在我国应用存在的问题, 并提出了解决这些问题的具体途径。通过双方科学家的讨论, 双方就 A GNPS, RSULE2 和 WEPS 模型从美方引进的技术转让和知识产权等问题达成了意向。

本次模型研讨培训是继 2004 年 11 月举行的 WEPP 模型培训之后, 又一次根据中美农业部有关合作协议精神、中美水土保持与环境保护研究中心工作计划, 由中美水土保持中心和美国国家泥沙实验室、美国国家土壤侵蚀实验室共同组织策划, 针对以上模型的引进与推广在中国首次举办的官方培训, 它将进一步促进并带动我国在生态保护、土壤侵蚀与水土保持理论和应用等方面的研究。通过这次培训, 加深了双方彼此了解, 为进一步开展实质性的国际合作研究奠定了良好基础。不但使学员们基本掌握了模型的科学原理、模型构建、模型运行操作过程及其模型数据库管理, 而且也扩大了我校在国际国内的影响。

(供稿人: 张玉斌, 郑粉莉 中科院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌, 712100)