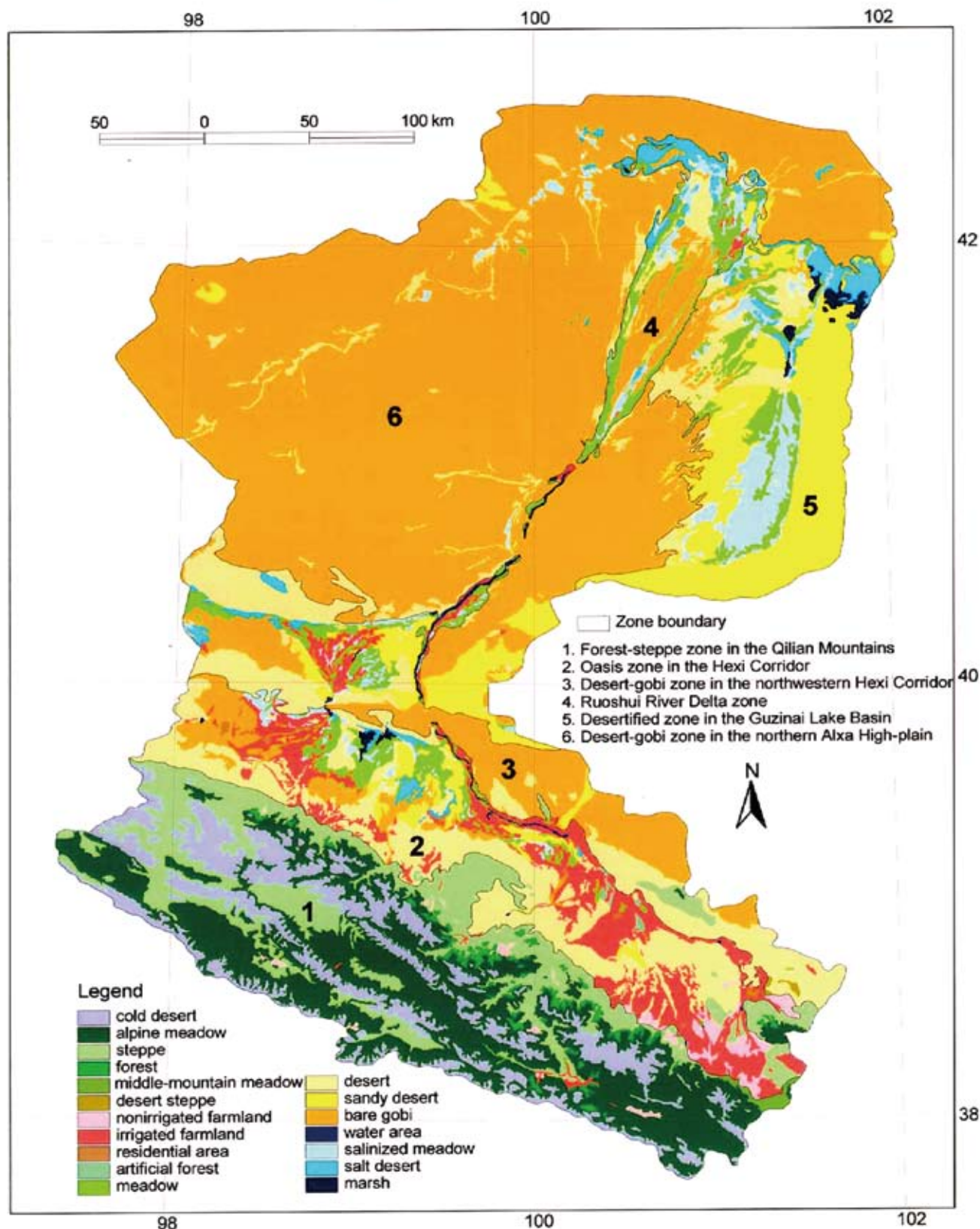


Landscape map of the Heihe River Basin



本图片由作者提供

内陆河流域综合集成研究所需的 e-Science环境

张耀南^{1,2} 肖洪浪¹ 李新¹ 程国栋¹

1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

2. 甘肃省高性能网格计算中心, 兰州 730000

摘要:

本文通过分析目前国外典型流域以及黑河流域研究中涉及的信息基础设施, 提出内陆河流域不同尺度的水文-生态过程综合集成研究, 需要建立一个覆盖流域的、多尺度的生态-水文观测网络, 建立一个数据集成、数据分析、模型驱动数据和参数制备的数据平台, 建立一个图形化的综合模型研发的空间建模环境, 建立一个基于Web的数据存取、知识发现、高性能计算和可视化分析的操作平台。利用上述环境来组成基于数据、计算、模型内陆河综合集成研究与资源管理的信息基础设施, 形成支持内陆河生态-水文过程的综合集成研究的e-Science环境。

关键词:

内陆河; 集成研究; 监测平台; 数据平台; e-Science



E-Science Environment for Integrated Research of Inland River Basin

Zhang Yaonan^{1,2}, Xiao Honglang¹, Li Xin¹, Cheng Guodong¹

1. Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2. Gansu High Performance & Grid Computing Center, Lanzhou, Gansu 730000, China

Abstract:

Analyzing demand of cyberinfrastructure for typical international catchment research programs and the research of Heihe river basin, a multi-scale eco-hydrological observational network is proposed for integrated research of eco-hydrological process from patch and watershed scale to river basin scale. The network includes a data platform, which can provide functions of data analysis, preparation model driven dataset and parameter etc. and an integrated modeling platform with graphic interface for model research and model development. Furthermore, based on high performance computing, a manipulating platform which provides visualized analyzing, data accessing, knowledge discovering and modeling analyzing operations through web is designed. All of above with a collaborative work environment will finally form an e-Science's environment for integrated research and resource management of inland river based on data, computing and modeling.

Keywords:

Inland river basin; Integrated research; Monitoring platform; Data platform; e-Science

1. 流域研究与信息基础设施

在多时空尺度综合集成的流域研究中,实验和观测的结合可以帮助我们认识物能平衡与循环,理解尺度、异质性,探讨驱动力和时序过程;数据和模型集成,可以实现学科综合,从而拓展我们对时空过程的知识,实现流域尺度的科学研究^[1]。流域综合集成研究中,主要关注:(1)水文和生态过程的相互作用以及向基于水环境管理的流域生态系统管理转变的流域管理^[2, 3];跨学科的流域水-生态-经济系统的水循环、水平衡研究^[4, 5]。(2)利用学科交叉来模拟研究环境、地表水和地下水相互作用,建立流域监测和数据集成、数据建档、数据发布和数据管理的流域科学研究的支撑体系是USGS流域科学优先研究领域^[6]。(3)流域和浅层地下水系统对全球变化影响的适应性研究,加强水资源管理并提高水资源利用的可持续性,形成面向可持续性的生态水文学,淡水与生命支撑系统,面向可持续发展开展水资源保护教育是国际水文计划(IHP-VII 2008-2013)确定的五个主题^[7]。

美国NSF开展的“大尺度综合环境观测网(Cooperative Large-Scale Environmental Observatories (CLEO))”^[8]、“数字水文观测网站设计(Designing Hydrologic Observatories)”^[9],”协同

促进水文科学发展的大学联盟(CUAHSI)”计划中^[10],提出要建立一个水文监测网络、一个水文测量机制、一个水文信息系统和一个综合中心。其目的是,通过大型综合的水文观测站网(CLEOs)的建立,促进科学家之间的数据共享和经验交流,科学和工程的相互转化,实现依托数字技术,实现流域尺度学科的综合与集成,推动科学与工程进步^[11],寻求水问题的解决方案^[12, 13, 14, 15]。为此,在美国东北部卡罗莱纳州的纽斯河上以及紧邻纽斯河口的农田、中间尺度流域上,按照不同的小流域分带,建立降雨、ETR(Electron Transfer Rate)通量、土壤水分以及环境变化等水文观测网络。利用多尺度监测网络观测到不同尺度下的土壤水分、区域降水梯度、土地覆盖变化等特征数据。通过遥感观测获取植被盖度和叶面积指数、土壤含水量、河水水质等数据。在信息基础设施中(Cyberinfrastructure),尽可能的收集、归档,开展多样化数据分析,完成数据格式转换,实现多源、多机构数据之间的无缝集成,形成服务纽斯流域综合研究的大范围的核心资料和部分高精度特定数据。

在加州大学自然保护区系统(Natural Reserve System)^[16]的詹姆斯保护区(James Reserve)中,设计、开发、部署了嵌入式传感器网络系统,实

现不同陆地生态系统中生理和生态变化的连续监测,引入精密数码相机、网络摄像头和先进的图像分析方法,以及创新的成像系统来解决生态系统中的定量问题。建立可在线存取的多个微气候和参考气象站、摄像机、以及基于生态过程的土壤、水和各种陆面数据观测的固定和移动的传感器平台观测网络。扩展了包括地形、植被、土地利用等地理空间数据集。为国家生态观测站网络(National Ecological Observatory Network, NEON)提供了动物成像、植物成像、自动化微型根系传感器、环境传感器和图像采集的观测系统。形成了集数据观测、视频监控、无线传感器网络、无线数据传输、空间数据分析、多尺度数据服务与模型研究于一体的信息技术支撑系统。

在以数据为基础的生态、水文集成研究中,由于图形化、模块化的模型构建环境需求,开展了推动空间显式(spatially explicit)的集成建模环境IME(Integrated Modeling Environment, IME)的发展。到目前为止,国际上适合生态、水文建模的环境有模块化建模系统MMS(Modular Modeling System)^[17]、动态集成体系结构系统DIAS(Dynamic Information Architecture System)框架^[18]、交互式组建模拟系统ICMS(Integrated Catchment

► Modeling System)^[19]、Tarsier、空间建模环境SME(Spatial Modeling Environment)^[20]、HarmonIT的开放式建模接口和环境(OpenMI)等建模环境^[21]。在美国实施的流域研究中,利用SME完成了Patuxent流域,埃弗格来兹流域的PLM(the Patuxent Landscape Model-PLM 1995)^[22]综合集成模型和ELM(the Everglades Landscape Model-ELM 1995)集成模型^[23]等。利用MMS(Module Modeling System)和数据库、模型和GIS系统开发了应用于华盛顿州Yakima河等流域水资源管理和农业开发规划中RIVERWARE的决策支持系统^[24]。

占我国国土面积的1/3西北干旱区内陆河流域,是山区与平原、绿洲与荒漠,地表水与地下水相互转换的典型独立单元。水资源是内陆河流域可持续发展的基础^[25]。水资源管理不当引起了诸如荒漠化、盐碱化、沙尘暴等问题,直接威胁着流域可持续发展。因此,需要建立完善的流域生态-水文野外观测试验站网^[26],通过内陆河流域实验、观测、研究与示范,实现多学科、多尺度流域数据和模型集成,系统了解流域尺度水文系统、生态系统和社会经济系统相互作用与依存关系,为我国西北干旱区流域水、生态、经济协调和持续发展提供科学支撑和决策依据。从信息支撑角度来看,其研究难点在于:

(1) 生态-水文过程研究的数据

观测完整性、系统性、尺度的一致性;(2) 流域观测网络数据的及时获得以及数据按照综合集成需要进行集成和加工;(3) 各分散模型根据综合研究需要的集成和综合模型的开发^[27];(4) 如何在计算环境中用直观的、可视化方式提供模型的模拟过程和决策的过程;(5) 如何让多学科的研究团队共同在一个虚拟的环境下参与生态-水文过程研究。

2. 黑河流域研究的观测、数据、模型环境

为了实现黑河流域上游山区分布式水文模型的开发,解决出口口径流变化和预测问题,实现大气-植被-土壤-冻土-积

雪系统耦合;中游实现水-生态-经济耦合,形成多学科集成的生态水文和生态经济模型;下游建立水-生态-经济耦合系统,解决地表水和地下水模型的耦合及与生态的关系问题。因此从信息基础设施需求来看,内陆河流域综合集成研究需要构建一个如图1所示的e-Science环境。利用计算、通信、存储技术,在高性能计算、数据观测、数据管理、各种接口、可视化和协同工作基础之上,建立完善的数据监测平台、模型平台和操作平台。将观测数据与数据库系统、模型库系统、高性能计算系统、可视化系统、虚拟协同工作环境连接起来,形成支持综合集成研究的e-Science环境,实现对内陆河



图1 理想的流域综合集成研究信息基础设施

生态水文过程综合集成研究的支持。形成一个如图1所示支撑多学科、跨网络、跨区域/国家的内陆河流域研究的信息基础设施。

2.1 以覆盖流域的数据观测网络为基础建立数据监测平台

为了实现黑河流域的生态水文过程研究，需要在山区冰雪冻土带、山区植被带、山前绿洲带和下游荒漠带四个不同的景观带上，结合遥感试验，建立黑河流域上游和中游的地-空观测系统，形成较完善的观测网络。

重点在冰雪冻土带上建立大气边界条件、土壤水热动态、冻融过程和水文过程观测系统；在山区植被带上建立不同下垫面水文-土壤-生物-气候和山区植被涵养水源研究的观测系统；在山前绿洲带上建立中游节水型防护体系和可持续高效农业技术研究的观测系统；在中游，建立人工绿洲、草地、林地系统的水汽通量、大气边界条件、土壤水热动态等过程观测系统；在下游，建立尾闾区生态环境（包括气候要素、二氧化碳、树干茎流、土壤温度、土壤湿度、土壤热流量等）的观测系统。在空间，开展航空遥感，卫星遥感等空间对地观测，获取多时相的土地利用/土地覆盖信息，基于多源遥感资料，获取流域水循环、生态关键参数，获取生态-水文模型的重要驱动数据。综合各类水文、气象业务台站及车载移动气象站，

初步形成包括常规、重点和重点加强的黑河中上游地区，卫星、航空、地面一体化的流域观测系统。在上述观测系统的基础上，采用GSM/CDMA/GPRS/卫星通讯/微波、无线宽带等有线、无线网络技术，进行观测仪器组网，实现数据自动传输。通过综合网络技术，建成山区冰冻圈、山地小流域、山前绿洲、人工绿洲、荒漠河岸林、四个重点景观带的网络化观测系统，实现观测数据的自动传送与触发入库，实现监控运行状态，确保数据质量和数据的完整性，形成生态-水文研究的关键数据资源。从而建立数据采集和数据自动传输及时处理的数据监测平台。

2.2 以数据管理、分析、集成与制备为基础建立数据平台

黑河流域生态水文综合集成

研究，利用交叉学科来建立综合集成模型，无论是上游、中游、下游，都建立在数据驱动的模式研究基础上。因此，从斑块到小流域以及全流域的生态-水文的集成研究，其过程机理研究和综合模型的建立，都依赖于高分辨率、高质量和系统化的基础数据集。按照黑河流域综合集成的最小需求，需要建立图2所包含数据平台中的基础信息框架。形成高分辨率、时空一致的用于生态-水文过程、生态经济研究的数据集。但系统的开展黑河流域生态-水文过程研究，需要在可比的时间和空间尺度上进行。因此，围绕生态-水文研究，需要综合利用信息技术，建立一个有效的数据平台^[28]，对历史的、现有的和正在部署的流域数据进行整合、融合以及进行再分析处理。建立流域内所有对地观测、调查、实验

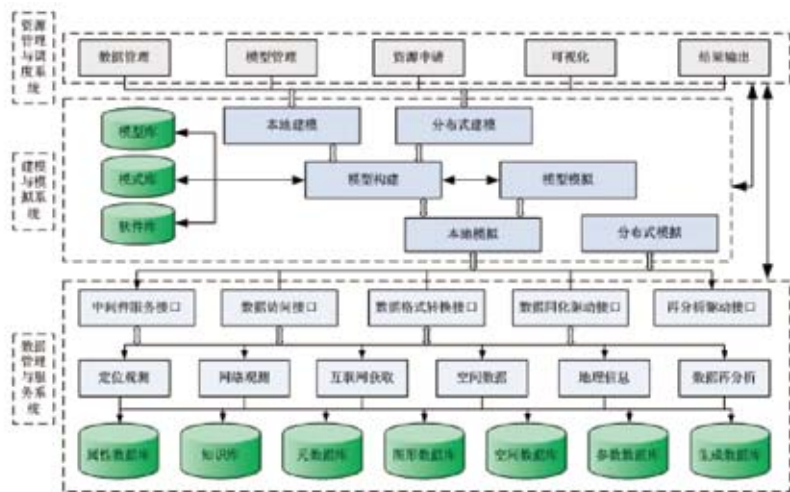


图2 黑河流域综合集成最基本的信息基础框架

► (包含水、土、气、生、经济、环境过程数据)的数据库,建立高分辨率的网格化驱动数据库,建立多阶段遥感反演的专题数据、特征数据、隐含信息的可测度标准遥感信息系统。建立在线和离线的科学数据处理、分析工具,依据生态-水文模型需要,实施数据的格式转换、尺度转换、同一尺度数据的集成与融合。提供数据可视化显示、制图、转换、分析等Web服务功能;提供基于观测站/点的多学科、多尺度时空数据,向流域尺度物理、化学、生物、社会经济相互作用集成功能。能够实现基于地面气象、水文、降雨、雷达、积雪、冻土、森林结构、森林水文、生物物理参数、光谱、蒸散发、土壤湿度、组分温度、大气探空等观测数据,结合航空、卫星、雷达遥感数据等来反演雪深、雪反照率、融雪径流等积雪参数,反演冻融循环、土壤水分、土壤温度等冻土参数,反演蒸散发、地表温度、土壤水分等生态水文参数,反演森林结构等参数。能够实现遥感特征提取,弥补关键参数,进行尺度转换。能够提供基于陆面、水文、生态模型的数据同化分析(图6所示)和驱动数据集制备。在流域综合模型的动力学框架内,同化多源遥感观测以及其他观测资料,为黑河综合集成研究制备尺度一致长序列的遥感数据集、模型驱动数据集、参数集。

2.3 以空间建模环境为基础建立模型研究与开发的模型平台

黑河围绕水文、生态和陆面过程研究,取得了较好的模型积累工作。其中在分布式水文模型和山前地带分布式水量平衡水文模型方面,取得了较好的研究进展。同时,多数国内外先进模型如:冰川消融模型、融雪径流模型、分布式水热耦合模型等,都不同程度在黑河进行了试验。积累了涵盖与冻土、冰川、积雪、水文、气候、绿洲农业、生态、遥感的众多模型。这些研究模型需要进行依据表层过程机理进行管理,进行基于过程和机理的耦合。这些模型需要进行有效地

管理。同时山区分布式水文模型的构建,大气-植被-土壤-冻土-积雪系统耦合等模型的构建需要在一个支持空间过程和时间过程的建模环境中进行开发。因此,需要建立一个可视化的空间显式建模与数据集成环境,实现单元模型模块化的层级管理,对众多模型资源进行库管理。在模型平台内,实现模型间的耦合、实现各个独立的模型按照研究需要进行集成,形成一个完整的集成模型,从而实现利用模块集成构造完整模型的过程。具有综合集成功能的空间建模环境模型平台,其综合集成模型框架由前处理、模型平台和后处理组成。主要实现模型构建、模型与数据的

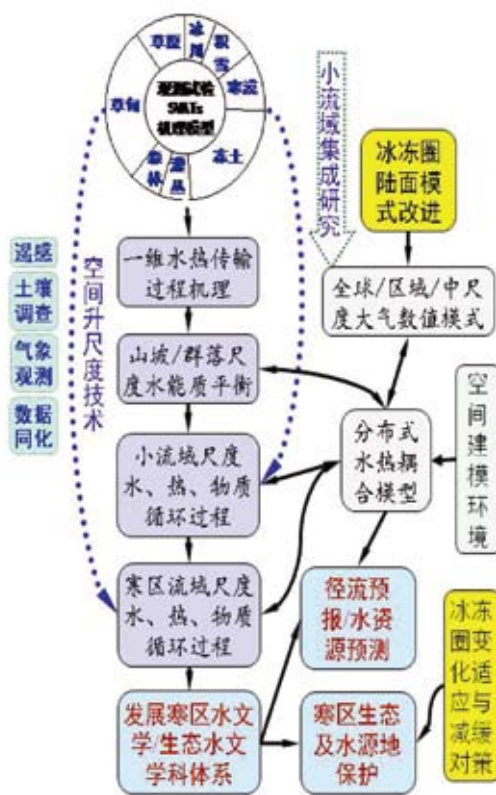


图3 小流域生态-水文模型综合集成过程架构

交换、模型空间分析和数据操作。

在黑河流域山区分布式水文模型的开发过程首先需要从斑块尺度上进行小流域生态-水文模型构建,然后将小流域的生态-水文模型进行尺度上推,形成全流域的生态-水文的集成模型。黑河流域分布式水文模型与生态模型的耦合开发是按照图4的框架进行。在包含冰川、冻土、森林、灌丛、草甸等典型水文和生态特征小流域,首先建立寒漠带、沼泽冻土、森林、冰冻圈小流域、灌丛、河谷、草甸、水文断面观测系统,开展遥感同步试验和数据反演,引入小型廉价的传感器网络和网络摄像机,建立地-空观测数据比较系统。然后将这些观测数据传输到模型平台中,作为分布式水文模型、生态模型,水文和生态模型集成驱动数据。在完成小流域水文生态模型的开发与验证后(如图3所示),在模型平台中,开展山区大气-植被-土壤-冻土-积雪系统的耦合与集成模型构建,中游开发水-生态-经济模型耦合与集成,降水-径流-土壤水-地下水模型耦合与集成,下游开发水-生态-经济耦合集成模型。地表水和地下水模型的耦合集成,实现流域水文过程的整体集成模拟。

2.4 以计算和可视化为基础建立支持虚拟协同工作的操作平台

地理环境可视化是地理信息系统和空间决策支持系统的一

个重要内容。虚拟地理环境希望通过地理建模手段将地理研究对象搬进计算机,并以可视化手段(包括虚拟现实、网络等)提供给科学家使用。在高性能计算环境的支撑下,应用高性能计算和可视化技术,建立协同工作空间建模环境,以流域积累的科学数据和分布式水文模型为基础,构建界面友好,实现多学科研究人员共同参与的模型开发和模型集成。通过基于Web的协同环境,实现对丰富的空间数据和先进的流域集成模型进行集成;实现针对性的可视化模拟,并应用于流域综合管理;实现多方参与的群决策。在建立的虚拟流域集成研究平台(Virtual Observatory)中,建立虚拟协同研究环境,形成基于Web的集数据存取、知识发现、建模分析的操作平台,实现在线数据、在线工具和在线科学模型的操作;实现利用分布式计算技术和网格技术,连接高性能计算节点;实现计算资源共享和应用。形成支持流域研究和决策的协同环境。

3. e-Science基础环境的实现措施

3.1 引入新技术,建立流域生态水文观测网络

在完善现有观测仪器的前提下,引入嵌入式无线网络传感器技术,网络摄像头和先进的图像分析方法技术。建立可在线存

取的、覆盖流域的、用于不同研究目的、多个微气候、参考气象站网络,实现基于生态过程的土壤、水和各种陆面要素的观测,为利用多尺度数据和多模式方法研究生态-水文过程提供数据。在开展遥感同步观测的区域内,密集布置温、湿、光、辐射等无线传感器网络,在卫星过境的时间内收集地表各种要素信息,开展短期的数据密集型观测,为遥感数据特征信息提取、地表数据反演提供参考数据,提供标定数据,为量化遥感提供支持。利用相对成熟的不同带宽、不同使用模式的无线传输网络节点设备、中继设备、网关设备、数据终端,构建无线数据传输链路。或采用GSM/CDMA/GPRS/卫星通讯/微波等无线技术等多种网络技术,实现流域野外观测仪器组网,形成覆盖流域生态水文地-空一体、长期的、连续的、网络化的观测网络,实现数据的实时自动传输、数据自动规范分类、数据格式自动转换、自动触发入库管理的数据持续积累和数据服务体系,形成完备的生态水文监测体系。

3.2 利用网格技术,建立流域数据管理、分析环境

按照数据网格的体系结构,将数据平台分为服务器端、中间层、接口层三部分如图4所示。服务器端主要提供数据服务,包括档案数据、本地数据、在线网上

数据、数据的辅助目录、通用元数据有关的服务。中间件层提供元数据的发现服务、数据复制服务、元数据复制服务、请求管理服务、安全认证服务、可视化服务、数据分析服务。接口层主要提供数据发布、数据应用分析、数据发现和数据应用服务。

数据发现服务是通过存储系统抽象,实现不同存储系统之间的文件实例的传输。数据复制服务是通过数据复制服务来将符合一定条件的数据进行集合,减少了数据存取的时间。元数据的管理模型使用了一种索引结构来构造元数据的体系。形成支持多种方式 for 应用提供元数据服务和保持元数据一致的机制。

在数据平台中,建立数据融合、数据插值、特征信息提取等多种数据分析环境,实现数据按需集成和制备。数据融合环境,实现各种观测数据资源以及遥感数据进行数据的同化分析,为模型应用优化分析出参数,生成驱动模型的数据集。插值和模型的数据集制备环境,利用降尺度、升尺度方法,利用插值方法以及模型,将来自不同观测点、不同数据源的数据,不同时间段的数据,通过降尺度处理以及插值方法,形成具有空间覆盖范围、和时间序列的数据,以便驱动模型研究,同时实现通过尺度转换、数据挖掘等措施,建立数据集。例如利用降尺度反演某一地区的气象资料,用于驱动冰川水文模

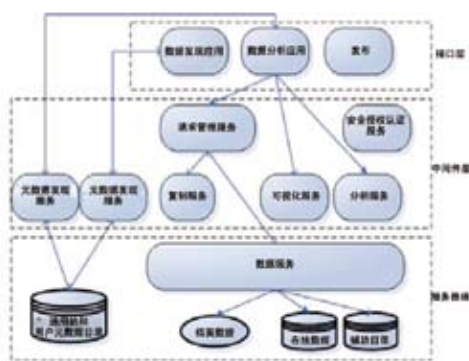


图4 数据平台的体系结构示意图

型等。数据插值处理环境如图5所示。基于陆面模型的数据同化过程如图6所示。

3.3 引进模型框架技术，建立图形化建模与模型集成环境

基于MMS和SME系统的基础，分析、消化目前国际上比较可行的空间建模环境MMS、SME、ICMS、TARSIER，解刨、整理现有框架结构、功能组成和内在联系与通讯机制，重新规划、设计空间建模框架，划分功能模块，形成插件化，利用已有的数据资源和外部的数据服务资源，搭建黑河流域“水—土—气—生—人”空间建模环境，支撑多学科交叉的生态、水文模型开发和集成。

体系结构上,从空间显式出发,分为前处理、模型算法和工具、后处理为主。前处理部分主要完成模型驱动和验证数据集、参数集的预处理和数据的空间管理,完成基于图标的单元模型构建,负责数据的集成和管理(导

入、转换等)，以及模型所需参数的自动生成。模型平台，主要提供单元模型构建、导入，模块层级管理，模块库管理，模块与数据的交换，模型算法和工具包括水文、生态模型、优化算法，并封装成完整的模型。后处理主要解决高性能计算、结果输出可视化，将模型结果以报表、地图或其它可视化手段提供给用户。实现集成GIS的模型空间分析和数据操作。其中GIS在集成建模环境中，在前处理中准备空间数据，在模型运算时提供空间分析支持，在后处理中提供地图可视化。模型库和模型构建环境是集成建模环境的核心。在模型库中需集成如水文模型SWAT、TOPMODEL、水文系统模型和生态、社会经济模型，建立优化算法，包括遗传算法、模拟退火算法等优化算法。在模型基础上，利用已有的计算环境，通过陆面过程模型、地下水模型和动态植物生长等模型，以及数值插值分析（如图5所示）为水文和生态模型反演参数、提供同化数据，实现流域分布式水文模型建立和高性能计算模拟。

3.4 基于WEB环境建立虚拟协同工作环境

通过研究多学科研究人员共同参与的协同工作环境以及基于高性能计算的可视化技术的研究

究,在数据平台和模型平台中数据和模型资源的基础上,建立多人员参与的生态水文研究、水资源管理的协作环境。在三维可视化库VTK/OpenGL的游戏图形界面支持下,以科学计算可视化技术为表现手段,以模型研究为核心,利用情景驱动(scenario-driven)概念以及三维游戏体验,建立多学科参与的虚拟协同工作环境,形成基于Web的流域综合集成研究平台,实现小流域生态-水文模型开发和生态水文模型集成。通过Web上多方参与的群决策,形成基于Web的黑河流域水资源管理和生态恢复决策支持系统。

4. e-Science环境在内陆河研究中的预期作用

1) 为地球系统在流域尺度上开展研究, 提供研究方法和技术基础。将为数据支持下的地表

过程数字模型构建，从信息层面对地表过程进行整体模拟，以及利用机理模拟和虚拟环境过程再现来研究地表环境过程，提供了重要的基础环境和技术准备。这种连接观测系统、数据系统、模型系统、高性能计算及科学计算可视化系统，建成流域的3M（监测Monitoring、模拟Modeling、分析处理Manipulating）平台，将逐步形成数据生成、产生、获取、传输、存储、处理、应用与服务的完整的价值链。

2) 推动生态-水文-经济耦合模型的建立, 形成内陆河流域集成研究的重要示范。利用无线传感器网络等新技术, 弥补地面定点观测、遥感对地观测所不能实现的密集数据的缺失, 形成黑河

流域无人区观测和数据密集观测的关键技术，将进一步推动山区分布式自主水文模型的建立，推动水文、陆面数据同化方法的完善和数据同化系统的建立。为水文模型研究、生态模型研究、经济模型研究提供关键参数、驱动数据，行程模型研究的基础。

3) 起到研究方法改进和网络化科研组织机

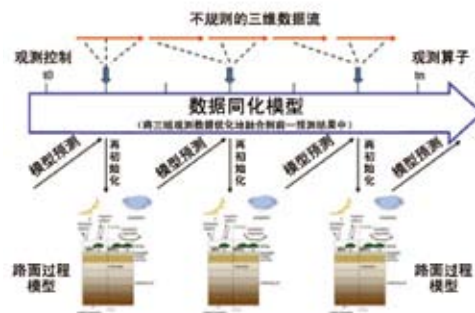


图6 基于路陆面模型的数据同化过程

构形成的引导和推动作用。以信息技术支撑环境为基础，将逐步建立实验室、野外台站、示范区的网络化研究组织结构，形成吸引国内外科学家参与、多学科交叉研究的基础营盘，形成基于内陆河研究的开放平台。通过数据观测、模型机理研究、实验过程验证等分工明确的多学科科研组织的有机结合，实现网络化组织内部透明和完全共享，体现各个环节的价值，推动内陆河流域研究思维的变革，促进研究方法的改进。

4) 形成西北干旱区其他内陆河、地学和生态研究的基础设施。通过围绕山区分布式水文模型和多元数据同化虚拟集成模拟环境的建立,将有机的整合数据、模型、文献等知识资源,形成一个综合的信息资源环境,成为西北内陆河流域研究的重要平台。黑河流域中积累的数据、模型、协同环境等资源,基于Web的虚拟流域集成研究平台和空间建模环境以及决策支持系统,可进一步形成支撑其他地学和生态研究的重要基础设施,具有重要的

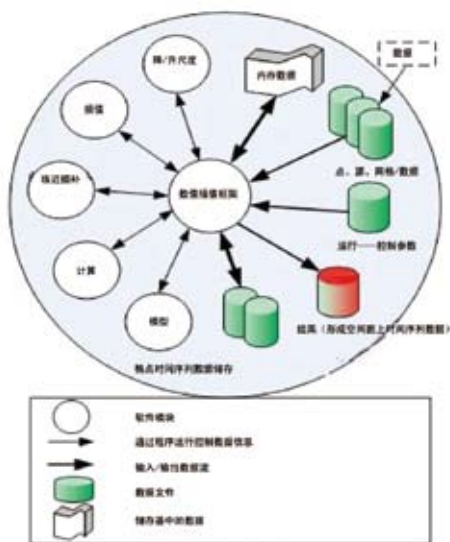


图5 数据插值分析框架

► 应用示范和推广价值。

5. 内陆河流域e-Science环境发展的思考

从进一步完善内陆河综合集成研究所需的信息基础设施来考虑,还需要建立完善的地-空综合的观测系统,需要提供监控手段确保野外观测系统的稳定运行和观测数据完整性,需要提供移动式数据采集系统以减轻现场数据获取的难度和费用,需要为模型研究和集成研究提供更加丰富的数据处理手段,需要提供保证野外观测仪器数据质量,需要更加完善的能够形成可以持续发展的数据管理环境。因此,在目前考虑的e-Science的基础上还要进一步完善以下几个信息基础设施。

1) 进一步完善地-空监测系统。组建超高空、复杂地形下可以稳定飞行的空中监测系统,进一步加密和完善地面观测系统,建立生态与水文和经济结合的综合观测系统和流域尺度的监测平台。形成地空结合、时空综合的完整水文-生态观测网络^[27](如图7),获取长序列、高精度的观测、试验数据,以满足流域水-生态-经济综合研究和试验示范的需求。

2) 进一步完善数据处理和分析环境。针对研究问题,围绕选定具有代表性的观测区域,按照研究尺度设计观测范围和各种观测要素,获取研究所需的关键数据。对长期、分布的、静态数据进行有效

的管理和描述,建立数据格式、质量控制、数据交换的元数据系统,集成数据准备、融合、挖掘、发现和可视化的工具,建立了陆面/水文数据、实时多源遥感观测数据融合的同化系统,生成高分辨率的、时空一致性的高质量数据集,实现模型与数据集成,形成从单点、小流域到流域的多尺度围绕模型研究需要的综合数据。

3) 建立基于多模型的数据同化系统。建立利用站点观测资料和卫星遥感资料,通过陆面模型、水文模型、生态模型等进行遥感数据同化,优化大尺度再分析资料对黑河流域大气强迫场的描述,改进土壤-植被-大气模型中的水文过程和生态过程,运用网格嵌套和次网格尺度等方案,将其与区域气候模式耦合,实现不同尺度的生态-水文-大气过程的相互作用。

4) 建立仪器运行、数据传

输的监控系统。利用多种网络技术,实现监测数据同步传输,实现以图表形式对监测仪器运行状态、传输数据的实时监控,对监测数据的实时质量评估,降低仪器的故障时间,减少数据损失,完成观测数据的自动规范处理、自动数据分类保存功能,确保数据的连续性。

5) 建立移动式数据采集和数据标校系统。利用移动式数据采集系统在接近数据观测系统的一定距离内,通过呼叫应答系统建立通信机制,将观测系统中的数据传输到车载数据采集系统中。通过移动式野外数据标校系统,进行观测仪器的现场标校。从而降低现场数据获取的成本和难度以及仪器标校的困难,实现对观测仪器非接触操控。

6) 建立管理、服务、应用的数据网格系统。在数据网格环境,提供多样化数据的集成环

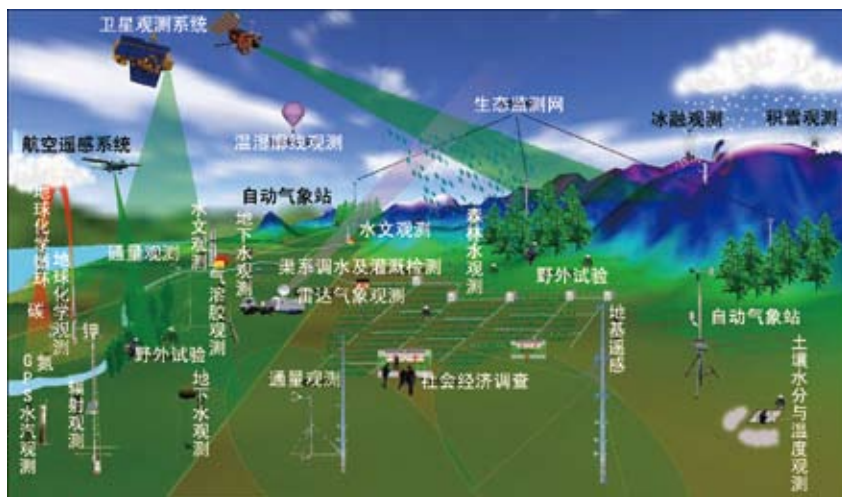


图7 黑河流域地-空一体综合观测网络示意图

境。实现按照数据规范进行归类整理,按照数据分类进行整合,按照元数据提供数据复制和服务,按照研究需求进行集成。进行数据同化、空间化和序列化处理,构建各种数据插值分析、升尺度、降尺度再分析环境,建立隐性信息提取、特征信息提取、专题信息分析的方法和工具,开展数据格式转换等加工,形成驱动模型模拟社会、水、生态、环境、工程过程的相对完整数据集。



参考文献:



- [1] Vertessy R. Integrated catchment science. CSIRO land and water, technical report 21/01, 2001.
- [2] Kijne J W, Barker R, Molden D. Water productivity in Agriculture—limits and opportunities for improvement. CABI Publishing, 2003.
- [3] Falkenmark M, Rochstörm J. Balancing water for human and nature—the new approach in Ecohydrology. James & James/Earthson, 2004.
- [4] Rockstriiml J, Gordon L. A ssessment of Green Water Flows to Sustain Major Biomes of the World: Implications for Future Ecohydrological Landscape Management. Phys. Chem. Earth, 2001, 26(11–12): 843–851.
- [5] UNESCO. Jean Burton: Integrated water resources management on a basin level, a training manua, 2003.
- [6] CRS (Committee on River Science), USGS, NRC (National Research Council). River Science at the U.S. Geological Survey. Washington D.C., National Academies Press, 2007.
- [7] <http://ihp.bafg.de/servlet>.
- [8] CLEANER (Committee on the Collaborative Large-Scale Engineering Analysis Network for Environmental Research, National Research Council). CLEANER and NSF's Environmental Observatories. Washington D.C., National Academies Press, 2006.
- [9] Band, L., et al. Hydrologic Observatory Network. CUAHSI Technical Report #4. Washington, D.C. 26pg, 2002.
- [10] CUAHSI (The Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science). Hydrologic Information System, at: <http://www.cuahsi.org/his/>, 2004.
- [11] CLEANER (Committee on the Collaborative Large-Scale Engineering Analysis Network for Environmental Research, National Research Council). CLEANER and NSF's Environmental Observatories. Washington D.C., National Academies Press, 2006.
- [12] MREFC Guidelines. Guidelines for planning and managing the major research equipment and facilities construction account, at: <http://www.joialliance.org/MREFC/mrefc.html>, 2005.
- [13] E-Science Institute. National e-Science Centre, OSI Report: Developing the UK's e-Infrastructure for Science and Innovation, at: <http://www.nesc.ac.uk/>, 2005.
- [14] UN. The Millnennium Development Goals Report, 2007.
- [15] NSF (USA). NSF investments and strategic goals, at: <http://www.nsf.gov/index.jsp>, 2005.
- [16] <http://www.jamesreserve.edu/>.
- [17] MMS .Modular Modeling System. URL: http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/SW_precip_runoff/mms/, 2003.
- [18] Sydelko PJ, Majerus KA, Dolph JE, et al. A dynamic object-oriented architecture approach to ecosystem modeling and simulation[A]. Proceedings of 1999 American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Annual Conference[C], 1999:410–421.
- [19] Reed M, Cuddy S, Rizzoli AE. A framework for modelling multiple resource management issues—an open modelling approach[J]. Environmental Modelling & Software, 1999, 14: 503–509.
- [20] Maxwell, T. and Costanza, R. Distributed Modular Spatial

► Ecosystem Modeling. International Journal of Computer Simulation: Special Issue on Advanced Simulation Methodologies, 1995, 5(3): 247–262.

[21] Blind M, Gregersen JB. Towards an Open Modelling Interface (OpenMI): The HarmonIT project[A]. Pahl–Wostl C, Schmidt S, Rizzoli AE, et al. Complexity and Integrated Resources Management, Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, Vol.1[C]. Manno, Switzerland: iEMSs, 2004, 346–351.

[22] Voinov, A., Costanza, R., Wainger, L. [et al.], The Patuxent landscape model: Integrated ecological economic modeling of a watershed. Environmental Modelling and Software, 1999, 14, 473–491.

[23] [http://www.sfwmd.gov/org/wrp/elm/\[EB/OL\]](http://www.sfwmd.gov/org/wrp/elm/[EB/OL]), 2004–12–1–18.

[24] <http://wa.water.usgs.gov/projects/yakimawarsmp/warsmp/riverware.htm>.

[25] 程国栋, 肖洪浪, 等. 黑河流域节水生态农业与流域水资源集成管理研究领域[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 661–665.

[26] 肖洪浪, 程国栋, 等. 黑河流域生态–水文观测试验与水–生态集成各管理研究[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 667–670.

[27] 李新, 程国栋, 等. 流域科学研究中的观测系统和模型系统建设[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 756–763.

[28] 张耀南, 程国栋, 等. 适宜环境与生态研究的e-Science探讨[J]. 地球科学进展, 2006, 21(10): 112–117.

收稿时间: 2009年3月30日

作者信息



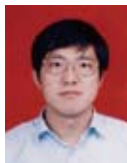
张耀南

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 研究员, 博导, 研究方向为基于数据、模型、计算的e-Science研究。



肖洪浪

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 研究员、博导, 研究方向为水土资源与生态。



李新

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 研究员、博导, 研究方向为遥感与地理信息系统。



程国栋

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 研究员、院士, 研究方向为冻土与寒区工程、寒旱区人地系统机理与区域可持续发展、寒旱区水资源环境与生态经济。