

【文献信息研究】

我国科学数据共享管理的发展与现状

郭明航, 李军超, 田均良

(西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 西北农林科技大学生命学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:科学数据是现代科学可持续发展的重要资源。近数十年来,人类社会所积累的科学数据量已经超过过去五千年的总和。与此同时,数据的采集方式、存储方式、传播方式、使用方式等也变得复杂而多样。因此,科学数据的管理就成为支撑科研活动的重要方面。通过对大量文献资料的分析,总结了科学数据共享管理的理论基础,即科学数据的基本属性、科学数据的价值规律、科学数据的投入产出规律。通过对比分析美国和中国科学数据共享管理的状况,提出了我国在该领域存在的差距和主要问题。

关键词:科学数据;共享;管理

中图分类号: G 250.74

文献标识码: A

文章编号: 1008-7192(2009)04-0083-07

The Management of Scientific Data Sharing in China

GUO Ming-hang, LI Jun-chao, TIAN Jun-liang

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of A & F Yangling 712100, China;

Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences Yangling 712100, China;

College of Life-sciences, Northwest Sci-Tech University of A & F, Yangling 712100, China)

Abstract: Scientific data is one of the most important resources for the sustainable development of modern science. The amount of scientific data accumulated in the latest decades is much larger than the total sum built up by the human society in the past 5,000 years. Meanwhile, the way of collecting, memorizing, disseminating and applying data has become more and more complex and diversified. Therefore, the management of science data plays an important role to sustain the modern science research. Based on literature reviews, the paper summaries the basic theory of scientific data sharing management, that is, the basic characteristics, the law of value, and the input-output rule of scientific data. By means of comparing the status quo of scientific data sharing both in USA and China, the gap and major problems of this field is to be analyzed.

Key words: scientific data; sharing; management

收稿日期: 2009-06-15

基金项目: 国家“973”计划“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究项目”, (2007CB407200);

国家科技基础条件平台建设项目——地球系统科学数据共享网建设与服务(2005DKA32300)

作者简介: 郭明航(1962-),男,陕西乾县人,西北农林科技大学水土保持研究所高级工程师,硕士,主要从事科学数据管理和科研信息化研究工作。

科学数据作为现代科学可持续发展的重要资源以及科学数据与知识创新的密切关系在科学界已经成为共识^[1]。纵观科学数据管理的历史,其经历了漫长的手抄和印刷时代,在此期间,科学数据的相对量不大,人们对科学数据的管理主要是进行立卷和归档等档案保管活动,只能被动的为有限的用户提供有限的服务。近30年来,世界科学技术迅猛发展,使得人类社会所积累的科学技术数据量已经超过了过去五千年的总和^[2-3],科学数据的采集、存储、处理和传播的数量与日俱增。在数据管理方面,随着信息技术的飞速发展,建立在计算机技术、数据库技术、网络通讯技术基础上的数据管理出现了新的特征:如从对数据的采集、管理和使用集于一体,转变为数据的采集、管理、使用和传播相对分离;对数据的管理由传统的保管职能,转变为数据的加工、发布和提供数据产品服务;对数据的使用从有限范围和有限目标,转变为面向全社会提供多目标服务;数据的传播和交换向标准化、数字化和网络化转变。所有这些,使得以开放与共享为核心的科学数据管理应运而生。适应这种变化的重要标志就是世界数据中心(World Data Center 简称 WDC)的组建、国际科学数据委员会的成立(Committee on Data for Science and Technology,简称 CODATA)以及数据科学作为一门独立学科的诞生等。毋庸置疑,数据信息作为知识经济时代最活跃的因素,正在剧烈的影响着当今世界的每个角落。

本文通过对科学数据管理发展历程和现状的分析,以期理出我国科学数据共享管理现阶段的主要任务和实施数据共享的建议,以促进科学数据管理学科的发展。

一、科学数据共享管理的内涵及重要意义

1. 科学数据共享管理的理论依据

(1) 科学数据的属性。数据是人类为了认识和改造世界而用于刻画世界的一种符号。它借助于数字或其它符号来记录现实世界的本质、特

征以及运动规律^[4]。科学数据是指人类在认识世界、改造世界的科技活动中所产生的原始性信息,以及按照不同需求系统加工的数据产品和相关信息^[5]。科学数据作为一个客体,必然具有其一定的属性,孙九林等人对科学数据的属性进行了研究^[4,6]。正是因为科学数据具有的这些属性,使得科学数据的共享管理建立在符合客观规律的基础之上。

分离性:科学数据与它所描述的物质客体是分离的。人们可以摆脱实物而只利用表征实体的科学数据去从事研究。把事物的过去、现在和未来联系在一起。

主导性:科学数据具有主导其他客体的能力。系统三象理论认为,客观世界是由物质、能量和信息构成的^[7],人类在认识和改造客观世界的过程中,虽然每个环节都离不开物质和能量,但贯穿全过程、统率全局和支配一切的都是科学数据和信息。物质和能量是支撑数据(信息)过程的手段,只有数据(信息)才是主导的、统率一切并不可取代的。

资源性:科学数据是一种非消耗性的可重复利用资源,它不会因为使用而改变其形态和数量,其重复使用的成本相对其原创的成本往往具有数量级的差异。

不对称性:不同主体对同一事物认识的程度因主体间知识结构的不同而不同,因而,不同主体对反映客观事物的数据使用总是局部的,有限的,而往往是相同的数据被不同的人使用会得到不同的结果。

增值性:任何一种科学数据都具有增值的特点,增值的程度决定他在使用中的作用,增值作用不仅取决于科学数据本身,也与数据使用者的能力有关。

科学数据除了以上的5个基本属性外,当然还有其他属性,但对于科学数据的共享管理而言,这5个属性应该是最重要的,它是进行科学数据共享管理的出发点。

(2) 科学数据的价值。科学数据的价值表现在3个方面,即科学价值、经济价值和社会价值^[8]。

当代科学数据的科学价值表现在它是科学研究的基础,同时它也是科学研究的“牵引力”。认识这一问题的典型例子是美国的 EOS (Earth Observing Satellites, 简称 EOS) 计划。从 1991 年起,美国国家宇航局(NASA)正式启动了把地球作为一个整体环境系统进行综合观测的地球观测系统计划。此计划的最终目标是根据 EOS 卫星系统长期连续观测,获得确切的地球系统变化数据和信息,研究确定全球环境和气候变化的程度、原因,加深对自然过程如何影响人类而人类活动又如何影响自然过程的理解。通过这种深入研究,来回答全球和区域气候/环境变化等目前由于数据不足而难以回答的问题,并且最终增强人类预报天气/气候变化和自然灾害监测的能力。

科学数据的经济价值表现在科学数据可以直接或间接为数据创建者、数据使用者带来经济效益。各类科研成果、专利、著作权等的转让过程都体现了科学数据的经济价值。

科学数据的社会价值主要体现在它在提高全民素质、全民的自我教育、违规行为的监督、社会稳定、政府决策的监督和政府意志的潜移默化的执行等方面。因此,在实现科学数据价值过程中,要综合考虑科学数据价值的各个方面,不能简单用一个指标去度量,不然的话,科学数据的价值就没有完全得到开发,就是对科学数据的浪费。

(3) 科学数据的投入产出特征。科学数据在投入方面有两种费用:一是极为昂贵的开发费用;一是非常廉价的复制费用。这意味着把科学数据复制给更多的人,并不需要追加太多的投资,而要重复地开发,总投资将成倍地增长。科学数据在产出方面的经济学特征表现在科学数据与用户的智力和质量之间有突变关系。用一种形象的比喻,科学数据就象是带有“干细胞性质的种子”,如果掉进荒漠,很快就会干瘪死去;把它种在沃土良田,却能开花、结果;把它放到不同的“适合土壤”中,就会结出不同的“果实”。由此可见,创建一种全社会的科学数据共享环境,则数据应用的效益将会大幅度提升。

2. 科学数据共享管理的意义

(1) 科学数据是科技发展的基础和牵引力。将科学数据提高到成为科技发展的牵引力之一的高度来认识,是最近十几年的事情。国际科学数据委员会前主席 John Rumble 认为:科学数据不仅仅是科学技术的基础,是科学研究不可缺少的信息来源,它更是现代科学基础数据发展的牵引力。一个好的数据库,有可能带出一个新的学科,也有可能将古老的学科激活,促使其进入新的发展阶段。在地球科学领域,几乎所有的综合性科学研究计划都是在基于全球观测系统的基础上开展起来的。美国新一代地球观测系统的思路是集数据获取、数据共享、数据应用研究为一体,几乎没有一个项目是脱离数据而设立的。针对一套数据,可设立一个项目,针对多套数据,则可设立综合性大项目。在生命科学领域中更典型的是人类基因组数据库,美国针对人类基因组数据库建立了一个研究所,全所的研究项目都围绕着这个数据库进行。在生态学领域,中国生态系统研究网络(Chinese Ecosystem Research Network, 简称 CERN)、美国长期生态研究(Long Term Ecological Research, 简称 LTER)等,都将多站点、长时间序列的观测研究数据实行共享管理,作为其重要的科技目标之一。2005 年,基于 CERN 的研究积累和大时空尺度的有利条件,我国基础科学研究计划“973”项目-中国主要生态系统生态过程研究开始启动。由此可见,科学数据的集成、共享管理是科技发展的客观需要。

(2) 科学数据共享管理是现代科学研究的需要。在 20 世纪的科学研究中,尤其是地学、生态学研究取得的重大成就中,涉及的科学数据浩如烟海,而正是通过对这些数据的分析研究,在诸如地球板块理论的形成、数值天气预报、碳氮循环与全球变化等领域取得了重大进展。科学数据作为自然界客观事物特性的表征,从而成为科学发现和科学新理论的源泉^[9]。

科学数据共享管理的必要性是地球科学本身的特点所决定的^[10]。这些特点诸如研究对象和问题通常表现为长时间序列、大尺度范围和大

规模研究计划等。也就是说,研究工作不仅在实验室中进行,而且更需要大范围、长时间序列的实地观测。一般而言,任何一个科研项目只能取得一定空间范围和一定时段的某个特定对象的观测资料。为了全面了解某种自然规律,就有利用/参考其他科研项目科学数据的必然要求。这种要求是相互的、多向的,这种要求也是科学研究所必需的。显而易见,对浩如烟海的数据如何进行组织、检索、统计分析、结果呈现等有关科学数据管理的研究将会加快科学研究的进程。

(3) 科学数据共享管理是数据科学发展的需要。科学数据管理是一门新兴的学科,这门新兴的学科在科学界被称之为数据科学。数据科学在20世纪的100年间,从其定位和作用方面划分,经历了4个基本发展阶段,即起步阶段(19世纪至20世纪40年代)、科学数据作为科技发展的独特领域和基础地位的确立阶段(二次世界大战至20世纪80年代)、科学数据是科学发展的基础和“牵引力”阶段(20世纪90年代)以及发展成为一个独立学科——数据科学阶段等。数据科学作为一门独立的学科是以国际CODATA的电子版杂志的诞生为标志。2001年国际CODATA决定创建国际CODATA官方杂志并定名为“Data Science - Official Journal of CODATA”。从此,数据科学作为一门独立的学科在科学界正式地被确定下来。这门学科特殊的研究对象、研究领域、研究方法以及研究体系已经形成^[1]。作为一门新兴学科,其有待研究的内容自然十分的丰富,但同时也意味着需要研究的问题很多,发展的空间很大。显然,数据科学的发展需要在科学数据管理的实践中不断地发展。

二、我国科学数据共享管理的现状及问题

1. 我国科学数据共享管理的现状

(1) 数据资源丰富但共享管理薄弱。我国是一个国有科学数据大国,国家财政资助直接开发和研究生成的科学数据遍及科学研究的各个领域。几十年来,气象、测绘、海洋、地震、环境、林

业、国土、水文、统计等国家机构,在国家有关专业计划的支持下,不断的进行基础性和专业性数据采集、加工处理工作,持续地位国民经济和社会发展提供基本资料和信息;此外,科研院校在承担科研项目的过程中,在地学、农学、医学、物理、化学、材料、生物、能源等领域采集和积累了一批基础性科学数据资料。

应该说,我国的数据资源是十分丰富的,但普遍存在的“各自为政,各行其是”现象。大量的数据资源仅限于行业内部建立数据库,极其有限的提供社会服务,如此一来,严重制约了科学数据价值的发挥、造成科技资源的浪费、国家财力和人力的浪费。

(2) 科学数据共享逐渐成为国家创新体系的组成部分。近年来,信息化工作被提到前所未有的战略高度,科学数据的管理与共享工作开始得到了国家的重视。科技部在1999年实施了“国家科技基础性工作专项”,陆续支持了一批科技基础数据库的建设,2001年组织专家,就我国科学数据共享问题开展了深入的调研,提出了《实施科学数据共享工程,增强国家科技创新能力》的报告。2001年12月14日科技部与国家气象局联合召开新闻发布会,宣布气象数据共享试点正式启动,从而在国家层面上,把科学数据共享工作向前推动了一大步。2002年11月28日至30日,围绕着“科学数据共享的战略地位”、“科学数据共享机制”和“科学数据共享工程”三大主题,由科技部部长徐冠华院士、孙鸿烈院士、孙枢院士、科技部副部长程津培院士、原中国气象局局长秦大河院士和科技部基础司司长张先恩研究员担任会议执行主席的第196次香山科学会议在京召开。本次会议作为历届香山科学会议中参会人员最多、规模最大、规格最高的一次,其目的直指我国科学数据共享的实际问题。

截至目前,国家科学数据共享工程正在建设气象科学数据中心、地球系统科学数据共享服务网、海洋科学数据中心等科学数据共享管理建设项目。2009年,科技部对这些项目陆续进行评估,通过评估的项目将转为国家科技基础条件平台,将会给予稳定、持续的支持。这意味着我国

科学数据共享管理将进入常态建设、运行和服务的新阶段。

2. 我国科学数据共享管理存在的主要问题

回顾我国科学数据管理的历程,在决策层面,科学数据共享已经列为国家科技基础条件平台开始建设和运行,但在操作层面,诸如数据共享的机制、政策、技术等方面还存在种种问题。

(1) 科学数据共享管理缺乏法律和政策保障。20世纪50年代到80年代,我国实行社会主义计划经济体制,数据共享通过国家政策比较容易的得到推行。例如,不同单位之间通过单位出具的介绍信等证明材料,就可得到其他单位的科学数据(查阅纸质的科技档案)。社会公益性行业部门也定期编印各类数据手册,并以内部资料的方式向社会发布。进入20世纪90年代以后,随着社会主义市场经济体制的建立,原有的各类数据手册陆续停止了印刷发行,要得到外单位的数据也变成需要付费。很多科学数据由国家投资产生,数据生产者把它当作小集团的财产,纳入市场机制获得利益,并且将这些利益通过各种方式作为这一小部分人的劳动补贴。即所谓:国家利益部门化,部门利益个人化。科学数据的公益性和市场化界限越来越模糊。

目前,我国尚无国家层面有关科学数据共享管理方面的法律、政策条文,仅有的法律、政策还停留在行业层面上,例如测绘法、水文数据管理办法、地震数据管理办法、气象数据管理办法。值得重视的是,在已有的数据管理办法中对数据的保密规定的更多,而对数据的共享使用没有给予足够的重视。

(2) 对科学数据的共享管理投入不足。我国长期以来没有科学数据共享稳定的人员和专项资金投入,也没有设立相应的国家级项目,对在研项目的数据集成和汇交无明确的要求。这样一来,大量的科学数据游离在部门、单位和个人的手中。近年来,国家科学数据共享工程的实施以及资源环境领域的“973”项目数据汇交试点使得数据管理的状况有所改变,但就科学数据共享管理这个领域来说,与发达国家相比差距甚大。以美国在美国全球变化研究项目(地球科学及其相关领域)1993年投

资为例,在观测与数据获取方面的投资达到5.95亿美元,占总投资的45%,在数据处理方面的投资6.1亿美元,占总投资的46%,在数据获取和处理方面投入合计12亿美元,占总投资的91%,而在建立模型和预测方面研究的经费仅为1.2亿美元,仅占总投资的9%。其用于数据管理的经费额度由此可见一斑。

(3) 数据处理技术与数据应用工具问题。现代科学研究,需要从数据层面提炼到信息层面,然后从信息层面提炼到知识层面,以至达到形成科学研究结论的目的。在大量的数据面前,如何将数据、信息知识有效地贯串起来,是目前国际上重点研究的前沿问题。仅有简单的数据库的查询已经不能够满足科学研究的需要,新的技术方法和工具,包括数据获取、数据综合、数据分析、数据可视化、数据散发、数据综合、数据互操作以及信息和知识在数据基础上的提炼技术等都是当前科学研究所需要的。我国由于数据共享管理的相对滞后,这一方面更待加强。

(4) 数据保存与档案管理问题。科学数据是宝贵的资源,对科学数据长期有效的保存是科学研究持续发展的重要基础。目前最为紧要的问题是纸质科技档案逐渐弱化,而电子科技档案没有应有的规范、归档程序和要求,也就是传统科研模式向信息化科研环境模式转变过程中的科技档案管理问题。举例来说,一个研究团队或一个导师带若干名学生做一个科研项目,每一个人交给负责人或导师的实验研究数据多为一个一个的数据表,而缺乏对该数据表的说明信息,即元数据。日积月累,数据表一大堆,但分不清那个数据是谁做的?在哪里做的?为什么要做?等等,这样的数据无异于垃圾。科学技术数据的保存不仅仅是个人的问题、一代人的问题,而要考虑别人能够看得懂、后世的人能够看得懂,这样的数据才是有价值的,也才有利于科学研究继承性的发展。对数字化的数据保存与对纸张存储数据的保存不仅仅表现在数据存储介质的不同和保存技术的差异上,而且表现在数据保存过程中所涉及的财政投入问题、组织机构问题、管理问题、政策问题等各方面。目前状态下由于归

档不规范、技术手段不配套、政策措施不明确等所引起的数据散失已经造成不可弥补的损失。

三、完善我国科学数据共享管理的对策建议

针对科学数据共享管理存在的种种问题,笔者提出以下对策建议,期望有助于我国科学数据共享管理事业的发展。

1. 加强国家层面的统筹规划和政策法规制定

我国的科学数据多由国家投入所产生,某种意义上说它属于国有资产,这是科学数据能够并需要共享的重要基础。另一方面,科学数据的产生多依赖科研项目和行业部门的业务积累。所以,科学数据共享管理首先需要从国家层面进行统筹规划,协调各部门科学数据生产、管理与使用之间的关系,将科学数据共享管理列为相关部门的工作任务和对国家应该承担的责任。在国家创新体系中,要把科学数据作为重要的科技资源纳入国家信息基础条件平台建设之中,发挥国家在数据共享管理中的主导作用。

鉴于科学数据共享管理的复杂性,国家必须制定相应的政策,以强制和规范科学数据共享管理工作。这些政策法规诸如:知识产权的认定与保护、数据密级的划分和共享使用、数据资源建设和服务的补偿与持续发展机制、国家级科研项目(如“973”计划、“863”计划、“科技支撑计划”、重大自然科学基金等等)数据汇交等。在人才队伍建设方面也要制定有利于数据共享管理事业发展的激励政策。例如:数据管理人员的绩效考核评价、科学数据引用的考核评价等。类似政策性引导将从根本上激发数据生产者、管理者的积极性,促进科学数据共享管理的发展。

2. 建设国家数据共享管理技术平台并稳定支持

充分利用现代信息技术开发数据共享管理系统网络化平台,提供数据汇交、数据存储、数据更新、目录查询、数据查询、数据浏览、数据下载等数据管理功能。该平台的建设需要国家自上而下的统一规划和部署,以避免重复和遗漏。可

根据对数据资源的分析,在国家科学数据管理门户之下建立若干个逻辑上统一,物理结构上分散的专业(或行业)数据平台,如气象数据平台、地震数据平台、地球系统科学研究数据平台等。每个平台可以建立若干个分布式子平台,每个子平台由若干个数据库(或数据集)组成。每个平台内要采用统一的技术、统一的规范、统一的用户界面、统一的用户认证、统一的共享服务政策等。子平台的设立首先要考虑数据资源的分异性,使得数据资源尽可能的属地化加工和质量检验,从而提高数据质量。其次,数据访问的速度和存储的安全性也是需要考虑的因素,逻辑上统一,物理上分散的分布式数据平台技术体系有助于对这种情况的处理。最后,子平台依托单位的数据资源量、数据共享管理的观念、数据库建设基础、人力和技术水平状况等也是重要的因素。

国家科学数据共享管理平台一旦建设就需要稳定的支持以保证持续发展和运行服务,这是因为:科学数据共享管理是一项功在当代,利在千秋的大工程,其效益将广泛体现在国家建设和社会经济发展的各个方面。同时,科学数据共享管理也是一项长期而复杂的工程必须在国家的主导下才能做起来的大工程,其中给予稳定、足额的财政支持是科学数据共享管理最重要的保证。

3. 加强数据管理和应用技术研究

科学数据共享管理的目的不仅仅是把现有的数据收集起来、管理起来、提供服务,更重要的是科学数据是一种资源,具有深加工和再生的巨大潜力。所以,数据管理和应用技术研究就成了数据加工和再生的必要途径。数据加工和再生需要多学科的交叉,这样就有可能从更大的范围、更宽的视野认识客观世界。另一方面,数据的加工和再生又可成为新的数据资源,丰富现有的数据资源。在现代信息技术中,促进科学数据共享的关键技术包括:分布式数据库的互操作、超算环境与数据库的结合、数学模型与数据库的结合、元数据和数据文档的标准规范、数据挖掘以及虚拟现实等。

(下转第100页)

学生的隐喻思维能力。课程本身要突破修辞学和文体学的范畴,将认知语言学的成果应用到教学实践中。目前,有的西方国家已在高中和大学

阶段开设了类似的课程;美国也已经将其列为必修课,写入课程大纲。我国在这方面的研究还略显滞后,希望本文能引起国内同行的重视。

参 考 文 献

- [1] RICHARDS J C, Theodore S R. Approaches and Methods in Language Teaching[M]. Beijing: Foreign Language Teaching and Research Press, 2000.
- [2] 赵艳芳. 认知语言学概论[M]. 上海:上海外语教育出版社, 2000.
- [3] KOVESCES Z. Metaphor: A Practical Introduction[M]. New York: Oxford University Press, 2002.
- [4] HAWKE S, TERENCE E. Metaphor[M]. New York: Methuen, 1972.
- [5] LA KOFF G, MARK J. Metaphors We Live By[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1980.
- [6] WOOLFOLK A. Educational Psychology (8th edition)[M]. Boston: Allyn, 2001.
- [7] BOERS F. Metaphor Awareness and Vocabulary Retention[J]. ELT Journal, 2000, 21(4): 553 - 571.
- [8] 苏立昌, 李建波. 从概念合成理论看隐喻翻译[J]. 天津外国语学院学报, 2009(3): 29 - 33.
- [9] LITTLEMORE J. Low G. Metaphoric Competence: Second Language Learning and Communicative Language Ability[J]. Applied Linguistics, 2006, 27(2): 268 - 294.
- [10] DEIGAN A, D. GABRYA. Teaching English Metaphors Using Cross-linguistic Awareness-raising Activities[J]. ELT Journal, 1997, 51(4): 352 - 360.

(上接第88页)

四、结 语

从以上对国内外科学数据共享管理的现状综述可见:数据科学作为一门新兴的学科正在迅速发展。科学数据所固有的属性及其科学价值、

经济价值和社会价值以及投入产出规律等研究成果奠定了科学数据共享管理的理论基础。科学数据只有通过共享管理才能最大限度的发挥其投资的效益。我国作为一个国有科学数据大国,科学数据的共享管理任务艰巨,需要国家层面上从政策环境、数据共享管理技术等方面给予推动。

参 考 文 献

- [1] 孙鸿烈, 刘闯. 国际科学技术数据前沿领域发展研究[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 13 - 18.
- [2] 程津培. 科学数据的共享管理:创建共享新秩序[J]. 中国基础科学, 2003(1): 10 - 12.
- [3] 严冬梅, 尚翔. 论科技创新的基石:科学数据共享[J]. 科学管理研究, 2005, 23(1): 20 - 22.
- [4] 孙九林. 科学数据资源与共享[J]. 中国基础科学, 2003(1): 30 - 33.
- [5] 黄鼎成. 实施科学数据共享工程的若干思考[M]. 孙九林, 施慧中. 科学数据管理与共享. 北京:科学技术出版社, 2002
- [6] 黄思雨. 信息定义与信息本质[EB/OL]. 2009-06-10[2006-08-02]. <http://www.survivor99.com>
- [7] 黄思雨. 系统结构与系统三象[EB/OL]. 2009-06-10[2006-08-02]. <http://entropy.com.cn>
- [8] 刘闯. 美国国有科学数据共享管理机制及对我国的启示[J]. 中国基础科学, 2003(1): 34 - 39.
- [9] 孙枢. 地球数据是地球科学创新的重要源泉:从地球科学谈科学数据共享[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 334 - 337.
- [10] 孙枢, 周秀骥, 马宗晋, 等. 我国地球科学数据共享问题[M]. 中国地球科学发展战略的若干问题:从地学大国走向地学强国. 北京:科学出版社, 1998.