

文章编号: 1008- 2786- (2008) 6- 641- 11

# 欧亚大陆山地垂直带谱数字集成框架

谭靖<sup>1,2</sup>, 张百平<sup>1</sup>, 孙然好<sup>1,2</sup>, 杨阿强<sup>1,2</sup>, 朱运海<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039 3. 山东省科技发展战略研究所, 山东 济南 250014)

**摘 要:** 欧亚大陆是山地垂直带谱多样性和复杂性最集中的区域, 在世界山地垂直带谱体系中具有十分重要的地位。针对当前山地研究数据集成相关的研究计划和山地垂直带谱研究中存在的问题, 指出进行欧亚大陆山地垂直带谱数字集成的必要性和重要意义; 探讨了欧亚大陆山地垂直带谱数字集成的框架体系, 包括数字集成的方法、数据库框架结构与内容、技术流程等; 详细阐述了数据收集与预处理、分类系统的建立、数据提取、元数据建设、数据存储方式等技术流程; 建立了欧亚大陆山地垂直带谱数据库, 包括 5 个专题空间数据库和元数据库; 指出了该数据库对山地垂直带谱及相关研究的意义; 总结了数据库建设过程中需注意的问题; 展望了进一步的发展方向。

**关键词:** 山地垂直带谱; 欧亚大陆; 数字集成; 空间数据库; GIS

**中图分类号:** P941

**文献标识码:** A

山地由于具有浓缩的环境梯度和高度异质化的生境、相对较低的人类干扰强度, 以及在地质历史上常成为大量物种的避难所和新兴植物区系分化繁衍的摇篮, 成为景观多样性和生物多样性的集中地<sup>[1-2]</sup>。进几十年来, 山地系统演化对现代陆地表层过程的影响以及对全球变化响应的放大作用引起广泛的关注, 不少重大国际研究计划非常关注山地重大科学问题的探索, 山地研究已经成为国际热点和科学前沿。

## 1 研究背景与意义

1973 年, 联合国教科文组织 (UNESCO) 在人与生物圈 (MAB) 研究计划中, 就开展了“人类活动对山地生态系统影响”的专题研究, 而后于 1974 年发表关于加强山地环境研究的《慕尼黑宣言》。其他重大国际研究计划, 如 IGBP、GTOS、HGP 等都开展了山地有关的专项研究。

1992 年, 联合国环境与发展委员会正式通过的

《21 世纪议程》指出, 山地对人类社会发展的重大贡献, 强调山地生态系统的管理与实现山地可持续发展的重要性, 并编制了 21 世纪山地可持续发展行动计划<sup>[3]</sup>。《21 世纪议程》同时也鲜明地指出, 全球山地的基础数据之少令人难以接受, 而且所给出的数据常常不能令人信服, 难以为山地可持续发展提供全面、客观的数据基础和科学的决策支持, 已成为制约山地研究与山区发展的瓶颈之一。这已引起山地科学家和相关国际组织的重视, 并已启动有关山地数据集成与共享的项目。国际山地研究与发展中心 (ICMOD) 建设的 Mountain GeoPortal 网站是目前国际上少数几个山地科学数据门户之一, 以专题目录的形式提供全球山地的资源环境及社会经济数据<sup>[4]</sup>。欧洲山地计划 (EUROMONT) 对欧洲 6 条主要山脉长期积累的研究数据进行整合<sup>[5]</sup>。全球高山环境观测计划 (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments, GLORIA) 收集全球主要山脉高山环境及生物多样性长期观测数据, 并通过自己的网站对外发布<sup>[6]</sup>。全球生物多样性信息机

收稿日期 (Received date): 2008- 05- 04; 改回日期 (Accepted): 2008- 08- 01。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (40571010)。[Supported by Natural Science Foundation of China grant No. 40571010]

作者简介 (Biography): 谭靖 (1981- ), 男, 汉族, 湖南茶陵县人, 博士研究生, 主要研究方向为山地地理、GIS 开发与应用。[Tan Jing (1981- ), male, born in Chaling Hunan province, PhD student, mainly engaged in mountain geography and GIS.] E-mail: tanj@reis.ac.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

构 (Global Biodiversity Information Facility GBIF) 启动了全球山地生物多样性评估计划 (Global Mountain Biodiversity Assessment), 并制定信息交换标准, 致力于整合国际上各种短期山地研究项目所收集的数据, 建立全球山地生物多样性数据库<sup>[5]</sup>。我国的地球系统科学数据共享网也建立了山地数据分中心。可见, 借助现代信息技术对山地研究数据进行整合、发布与共享, 推动山地研究快速发展已成为学界的广泛共识。

山地垂直带是山地最具特色的自然景观, 不少山地可以包含 8~9 种垂直带景观, 蕴涵了极为丰富的生态和地理内容, 颇有“方寸之间显大千世界”之势<sup>[7-8]</sup>。它不仅是传统自然地理学、气候、植物学、土壤学的重要研究内容, 也为从垂直方向上认识山地生态系统, 揭示山地环境垂直分异机理提供了重要的研究窗口, 在山地资源的意义开发利用与山地生态系统保育中具有重要意义。欧亚大陆是世界第一大陆, 在巨大的南北纬度跨度造成的热量差异、东西两岸到大陆内部的水分差异以及地形起伏的共同作用下, 发育了丰富多彩的山地垂直带谱, 青藏高原、地中海等特殊地理与气候单元的存在使这种多样性发挥到极致。初步研究表明, 欧亚大陆发育了全球 70% 以上的垂直带类型, 是垂直带多样性、复杂性的集中展示区, 堪称大尺度垂直带研究的最理想区域。

自 19 世纪初洪堡开创垂直带研究以来的近 200 a 中, 科学家们在实地考察基础上发表了大量垂直带文献, 为认识山地垂直生态格局提供了宝贵的基础资料。文献中的垂直带谱数据来自研究者艰苦的野外工作, 是其智慧、勇气甚至生命换来的, 对山地垂直带研究弥足珍贵。这些数据散落分布于不同语种、不同载体的文献资料中, 以文字描述为主, 收集、整理的难度非常大。在目前为数不多的对垂直带谱数据收集、整理的研究工作中, 研究者多是依据区域性的分类标准对垂直带类型和分布规律进行总结, 各个区域的分类标准各异, 不仅难以与全球性的植被、气候、土壤等分类系统对接, 也难以以为大陆甚至全球尺度的垂直带谱的对比分析提供全面而可靠的数据支撑。此外, 这些研究仅是以表格或手绘图的形式进行数据列表或图形化归纳, 缺乏对垂直带与其所处空间位置之间关系的数字化表现。由于缺乏有效的数据集成方法和技术手段, 这些文字描述式的垂直带谱数据难以实现数字化集成和分析, 导

致形成了一种绝对数据量丰富, 而有效可用数据却相对贫乏的局面。纵观当前有关山地数据的集成与共享计划, 尚无面向山地垂直带的专题数据集发布, 这也折射出对垂直带数据进行收集、标准化处理和数字集成的迫切需求。

在数字垂直带谱理论和方法支持下, 张百平<sup>[9]</sup>等成功实现了中国山地垂直带谱的数字化集成与分析, 为世界山地垂直带谱理解的标准化、数字集成及与环境要素关系分析研究奠定了重要基础。本次集成将研究区域扩展到欧亚大陆, 是数字垂直带谱走向国门, 实现世界山地垂直带谱数字集成的关键一步。本文将对欧亚大陆带谱数字集成的地理科学基础、带谱数据处理、集成的方法与技术体系进行探讨。

## 2 集成的地学框架

在中国区垂直带谱数字集成的研究工作中, 采用黄秉维综合自然区划方案的水平自然地带作为垂直带谱的基带, 并通过基带在水平地带和垂直地带之间建立联系, 将原本分类及定义方式纷乱复杂的垂直带谱纳入到统一的框架体系, 不仅实现了带谱数据的标准化处理, 也使得定量对比、分析地带内和地带间的垂直带谱成为可能。在此成功经验的指导下, 本研究试图寻找或建立一个面向欧亚大陆的、与黄秉维方案相似的水平地带区划方案, 并根据文献资料归纳欧亚大陆垂直带分类体系, 二者共同构成带谱数字集成的地学框架。

虽已有大量全球或区域尺度生态地理区划、植被区划方案发表, 但由于受制定者国家、学派以及所处年代学术思潮的影响, 区划原则、方法及指标体系有所不同。制定方案的出发点、应用目的的不同, 也导致在等级体系、术语表达、表现形式等方面存在差异。在本研究收集到的数十个当前广为应用的分类系统中, 尚未有完全满足需求、可供直接套用的方案。垂直带方面, 已有学者对部分区域的垂直带谱类型进行过总结, 但覆盖区域不够完整, 且由于对垂直带的理解、表达的有所不同, 分类方式各异, 尚未形成面向欧亚大陆整体的分类体系。因此, 建立面向欧亚大陆垂直带谱数字集成的水平自然地带及垂直带分类系统势在必行。

为此, 本研究对所收集的数十个全球、区域及国家尺度有关植被区划、植被分类、生态地理区划、土

壤区划等方面的权威方案进行了全面对比、分析和评估。分析发现, 这些系统大多都是在前人研究成果的基础上, 结合最新的研究进展, 通过定性的归纳和综合或辅以定量的分类指标而完成。在大陆或全球尺度上这种方式不仅是可行的, 也是被普遍接受的。考虑到现有资料已比较完备, 本研究拟采用定性归纳, 结合定量指标的方式建立分类系统, 并选取 Köppen-Trewartha 气候区划方案<sup>[10-11]</sup>、俄罗斯 Komarov 植物研究所 Fedorova 等建立的全 球植被区划方案 (简称 FVV 方案)<sup>[12]</sup>、Bailey 全球生态地理区划方案<sup>[13]</sup>、世界自然基金 (WWF) 会发布的全球生态地理区域系统<sup>[14]</sup>以及郑度的青藏高原综合自然区划方案<sup>[15]</sup>作为主要参考系统。以上参考系统为蓝本, 遵循地带性与非地带性相结合及区域空间连续性等区划原则, 依据气温、降水、植被、地貌等分类指标, 采用自上而下的演绎法与自下而上的归纳法相结合的区划方法, 通过多方案的对比, 并在专家知识辅助下, 借助区域/局域尺度更详细的文献及图件资料、遥感影像等, 建立了初步方案。经多次专家会商与修订后, 确定了最终方案。该方案设置气候带-生物气候区 (类型)-自然地带三级地域单元等级体系, 将欧亚大陆划分为 7 个气候带、23 个生物气候区和 72 个自然地带。图 1 是依据该分类系统的第二级单元-生物气候区的图例化表示, 图中以字母标识各图斑所代表的自然地带编码, 表 1 则对分类系统的等级体系及编码进行了说明。

垂直带方面, 在中国山地垂直带谱分类系统基础上, 参考所收集的全球植被分类系统及中国以外区域详细的垂直带谱文献资料, 对原有分类系统适当扩展, 建立了欧亚大陆垂直带分类系统 (另文讨论)。它与水平地带分类共同构成带谱数字集成的地学框架。

### 3 集成方法

GIS 的空间数据管理功能可将垂直带及相关数据集中到统一的数据管理和检索平台下, 而它强大的空间分析功能为空间信息提取、分析及知识发现提供了支撑。由于缺乏合适的数据库和数据表达方法, 通用 GIS 难以实现对垂直带的空间化表达与分析。

数字山地垂直带谱则很好地解决了上述问题。它通过带谱体系标准化、构建带谱数据模型、带谱图

形化转换算法等克服了通用 GIS 在垂直带研究中的不足, 并在计算机信息技术与 GIS 技术支持下研制了信息系统, 实现了山地垂直带谱的数字化集成、管理与分析, 是垂直带谱研究在信息化时代新的发展和突破。带谱数据模型是垂直带谱文本-数据-图形转换过程的关键, 通过一系列的地学推理规则和转换算法, 将带谱空间位置、基带、垂直带宽度、各带排列顺序及拓扑组合规则纳入到统一的数据框架, 进而实现空间数据库集成。借助带谱图形化算法和组合分析算法, 可进一步实现带谱数据的可视化、各种空间拓扑组合分析及数据挖掘。数字山地垂直带谱方法体系在不同尺度和研究区的垂直带谱数字集成与分析中取得了一系列具有创新意义的研究成果<sup>[7-9, 16-21]</sup>, 它将为本次集成提供最重要的理论、方法和技术支持。

### 4 集成的技术流程

垂直带谱数字集成涉及资料收集、整理、标准化处理和数据库集成等多个技术流程, 如图 2。

#### 4.1 数据的组织与预处理

共有两种垂直带谱数据, 即: (1) 以离散点表达的单个山体垂直带谱的离散带谱数据; (2) 以连续曲线或曲面表达一段山体或整个山体垂直带谱的连续带谱数据。连续带谱数据是通过本研究组开发的“山地垂直带谱数字识别系统”<sup>[21]</sup>提取实现, 包括山体单侧、山体全方位、山体单峰等多种表达模式。离散垂直带谱数据的来源分为三种: (1) 研究组成员实地考察数据, 这类数据来源可靠, 描述准确, 数据覆盖中国若干山系, 如昆仑山、天山等; (2) 权威国际组织或研究计划 (如 ICMOD、MRI GMBA、GLORIA 等) 发布的数据, 这类数据以林线、雪线为主, 包含少量完整垂直带谱; (3) 从各类文献中整理、发掘出来的数据。文献数据是主要数据来源, 目前收集到中文文献 400 余篇 (章), 其他语言 (英语、德语、俄语等) 文献 600 余篇 (章)。

基于本研究组成果——山地地貌类型数字提取方法实现<sup>[22-23]</sup>山地界线的提取, 将界线与其他专题数据, 如地形、地貌、土壤、植被、遥感影像等数据叠加、镶嵌后提取相应的山地背景专题数据。最后, 对上述空间数据等进行统一的投影转换和坐标配准后入库。

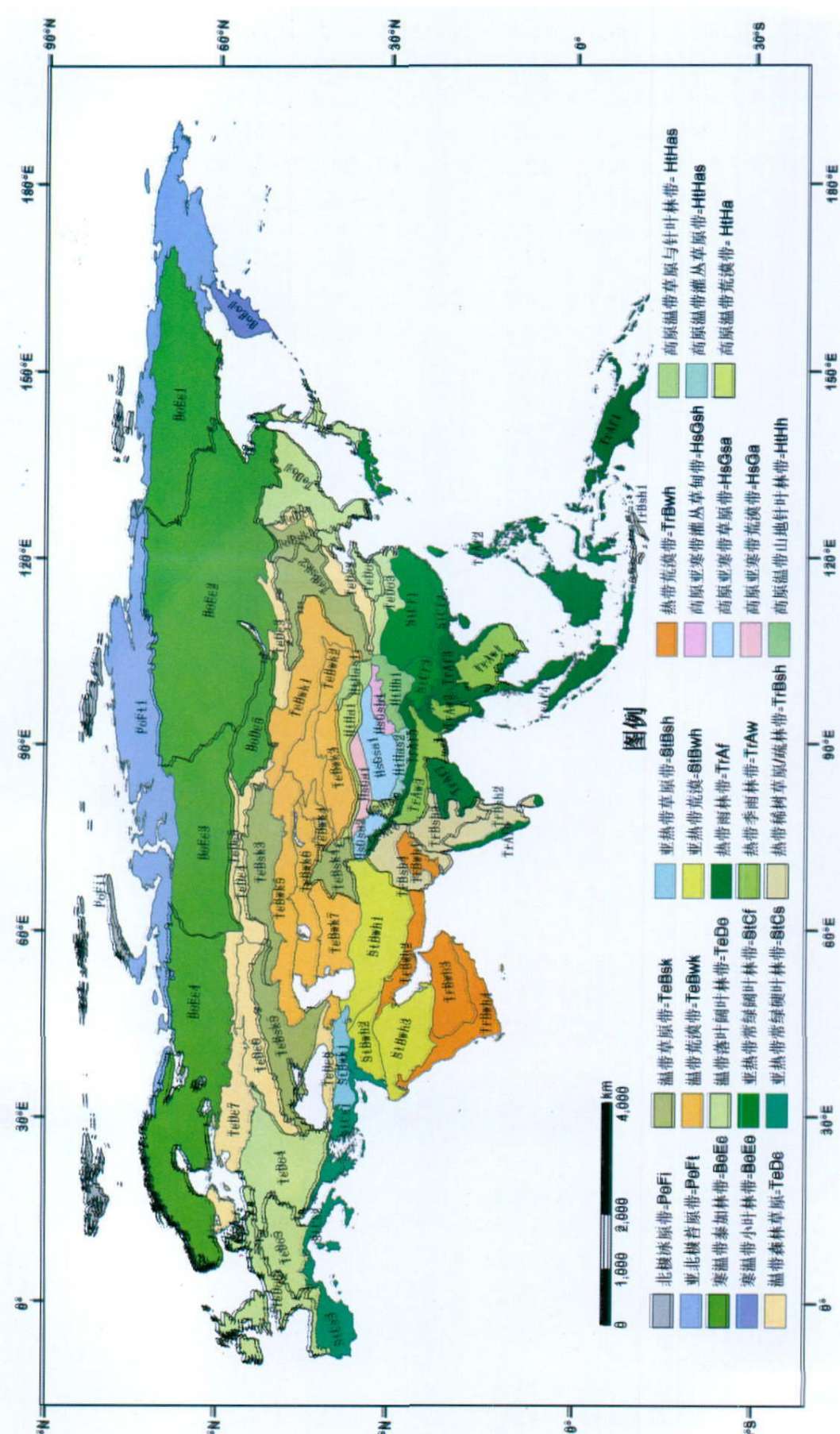


图1 面向垂直带谱数字集成的欧亚大陆水平自然地带  
Fig 1 Natural zones of the Eurasian continent for digital integration of mountain altitudinal belt spectra

表 1 面向垂直带谱数字集成的欧亚大陆自然地带分类系统说明

Table 1 Description for the hierarchical system of natural zones in the Eurasian continent

气候带	生物气候区	地带性植被	自然地带	编码
极地 (Po)	冰原型 (Fi)	冰原	北极冰原荒漠地带	PoFi1
	苔原型 (Ft)	苔原	亚北极苔原地带	PoFt1
寒温带 (Bo)	大陆性 (Ec)	泰加林	东西伯利亚-远东矮灌木冻原 – 森林冻原地带	BoEc1
			东西伯利亚泰加林地带	BoEc2
			西西伯利亚泰加地带	BoEc3
			斯堪的纳维亚 – 俄罗斯泰加林地带	BoEc4
			阿尔泰 – 萨彦南泰加林地带	BoEc5
	海洋性 (Eo)	寒温带小叶林	勘察加小叶林地带	BoEo1
	大陆性 (Dc)	温带森林草原	中国东北中部森林草原地带	TeDc1
			华北中部半干生落叶阔叶林 – 森林草原地带	TeDc2
			蒙古北部 – 东西伯利亚森林草原地带	TeDc3
			西西伯利亚 – 哈萨克森林草原地带	TeDc4
			西西伯利亚小叶落叶林 /混交林地带	TeDc5
			东欧森林草原地带	TeDc6
			斯堪的纳维亚 – 俄罗斯混交林地带	TeDc7
			安通利亚 – 高加索森林草原地带	TeDc8
			中国东北-朝鲜半岛-日本北部针叶与落叶阔叶混交林地带	TeDo1
			中国华北东部-日本中部中生性落叶阔叶林地带	TeDo2
			秦巴山地-长江中下游平原-朝鲜半岛南部落叶阔叶与常绿阔叶林地带	TeDo3
			中欧落叶阔叶林地带	TeDo4
			西欧落叶阔叶林地带	TeDo5
			西欧 – 英国落叶阔叶林地带	TeDo6
温带 (Te)	海洋性 (Do)	温带落叶阔叶林	中国东北西部-蒙古东部草原地带	TeDsk1
			中国北部-蒙古干草原地带	TeDsk2
			哈萨克草原地带	TeDsk3
	半干旱型 (Bsk)	温带草原	兴都库什-帕米尔 – 阿莱山地灌丛草原地带	TeDsk5
			俄罗斯西南 – 乌克兰草原地带	TeDsk6
			阿拉善-蒙古荒漠草原地带	TeBwk1
			阿拉善-准葛尔荒漠地带	TeBwk2
			塔里木盆地荒漠地带	TeBwk3
	干旱型 (Bwk)	温带荒漠	天山山前荒漠草原地带	TeBwk4
			哈萨克荒漠草原地带	TeBwk5
			中亚北部温带荒漠地带	TeBwk6
			中亚南部荒漠地带	TeBwk7

续表 1

气候带	生物气候区	地带性植被	自然地带	编码		
亚热带 (St)	湿润型 (Cf)	亚热带常绿阔叶林	中国华南-东南-日本南部常绿阔叶林地带	StCf1		
			中国南部沿海常绿阔叶林地带	StCf2		
	夏季干燥(地中海)型(Cs)	亚热带常绿硬叶林/灌木林	云南-缅甸北部常绿阔叶林地带	StCB		
			地中海东部常绿硬叶林地带	StCsl		
			地中海中北部常绿硬叶林地带	StCs2		
			伊比利亚常绿硬叶林地带	StCs3		
	半干旱型(Bwk)	亚热带草原	安通利亚草原地带	StBwk1		
			干旱型 (Bwh)	亚热带荒漠	伊朗-阿富汗-巴基斯坦荒漠地带	StBwh1
	中东荒漠地带	StBwh2				
	热带 (Tr)	季风(冬季干燥)型 (Aw)	热带雨林/季雨林	阿拉伯半岛北部荒漠地带	StBwh3	
印度尼西亚-马来西亚赤道雨林地带				TrAf1		
菲律宾热带雨林地带				TrAf2		
中国南部-东南亚热带季雨林地带				TrAf3		
湿润型 (Af)				热带雨林/季雨林	中南半岛西南部热带雨林地带	TrAf4
东喜马拉雅常绿阔叶林、山地季雨林地带					TrAf5	
西喜马拉雅常绿阔叶林、山地季雨林地带					TrAf6	
德干高原中东部热带季雨林(湿性)地带					TrAf7	
印度西海岸-斯里兰卡热带季雨林带(湿性)地带					TrAf8	
中南半岛南部季节性(干性)落叶疏林地带					TrAw1	
半干旱型 (Bsh)	热带稀树草原/疏林	缅甸中部季节性(湿性)落叶地带	TrAw2			
		恒河平原季节性(湿性)落叶地带	TrAw3			
		爪哇东部热带疏林地带	TrBsh1			
		德干高原西部-斯里兰卡北部萨王那地带	TrBsh2			
干旱型 (Bwh)	热带荒漠	印度西北部热带落叶林/疏林地带	TrBsh3			
		巴基斯坦-印度西北部热带灌丛地带	TrBsh4			
		塔尔荒漠地带	TrBwh1			
		伊朗南部荒漠地带	TrBwh2			
高原亚寒带 (Hs)	半干旱型 (Gsa)	高寒草原	阿拉伯半岛南部荒漠地带	TrBwh3		
			阿拉伯半岛西南荒漠萨王那地带	TrBwh4		
	半干旱型 (Gsa)	高寒草原	羌塘/青海高寒草原地带	HsGsa1		
			喀喇昆仑-青藏高原西北高寒草原地带	HsGsa2		
	干旱型(Ga)	高寒荒漠	昆仑高寒半荒漠与荒漠地带	HsGa1		
			半湿润型(Gsh)	高寒灌丛草甸	那曲玉树高寒灌丛草甸地带	HsGsh1
	湿润型(Hh)	山地针叶林	藏东川西山地针叶林地带		HsHh1	
			半干旱型 (Has)	草原与针叶林	青东祁连山地草原与针叶林地带	HsHas1
			山地灌丛草原		藏南山地灌丛草原地带	HsHas2
			干旱型 (Ha)	高原温带荒漠	柴达木山地荒漠地带	HsHa1
阿里山地半荒漠与荒漠地带	HsHa2					



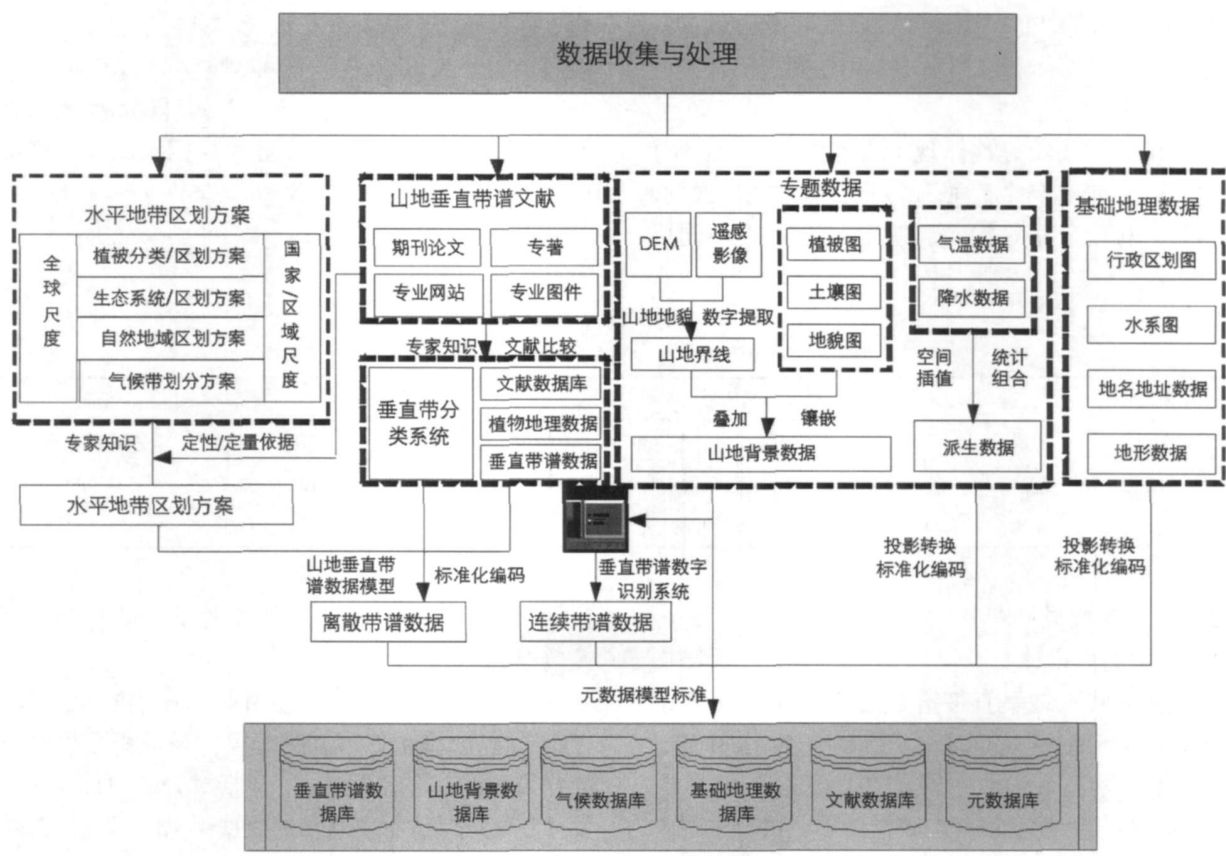


图 2 垂直带谱数字集成技术流程

Fig 2 Flow diagram of MAB data collection, processing and integration

## 4.2 垂直带谱标准化处理

MABSDE各子数据库涉及数据类型繁多,而数据预处理过程中各数据源之间的交叉融合进一步增加了处理过程的复杂性。因此,对各类数据的标准化处理就显得尤为重要,这不仅大大简化数据组织与处理过程,同时有利于优化数据库结构,提高数据存储和访问效率。

### 4.2.1 数据提取

数据提取是指根据水平地带及垂直带分类系统,利用带谱数据模型对文献中的带谱数据进行提取和数字化。由于国外数据大多来自是外文文献,文献翻译需花费大量人力,而不同国家和学派对垂直带的理解和描述的差异进一步增加了数据提取的难度。其他问题还包括采集点的精确三维定位、多个文献数据描述不一致、国内外山峰名称的统一等。针对上述问题,本研究制定了一套较为合理且行之有效的文献数据处理流程,在专家知识指导下,参考详细的文献资料和专题背景资料,并辅助空间信息工具软件(如 GoogleEarth)进行综合判别。参照该处理流程实现了文献数据的提取,并基于水平地带

和垂直带分类系统以及垂直带谱数据模型进行标准化、结构化处理,而后利用 GIS 软件(如 ArcGIS)完成垂直带谱数据数字化和空间化。目前已完成近 500 条垂直带谱数据的处理,基本覆盖欧亚大陆主要山系。文献题录信息参照国家标准《文后参考文献著录规则(GB/T-7714-2005)》整理。

### 4.2.2 命名约定及编码规则

文献数据采集点遵循如下命名规则:行政区名(可选)+山体名称+朝向(可选,阴/阳或者东/西南/北)+坡(面、侧、翼),例如:吕良山西坡,宁夏大罗山东大口子沟阴坡,梵净山。

地表自然综合体从其外部外貌到内在实质都是异常复杂的,其差异性和相似性都是相对的,需经多级的划分才能反映区域分异的实质,建立等级划分体系有利于在不同层次上对自然综合体的认识和理解<sup>[24]</sup>。在数据库建设过程中,根据地域单元等级的数据多级编码正是运用了这一思想。本研究采用地带性单位与山地实体单位相结合的多级编码方式,具体如下:共四级、八位数字编码,即生物气候带(1位)+自然地带(2位)+山系(2位)+流水号(3

位)。MABSDE中的垂直带谱子数据库及山地背景子数据库中各实体和数据项均采用此规则。详细的示例见表 2。

该编码方式较好地体现了自然综合体(山地)的地带性和非地带性属性,使数据具有空间层次性,并可将各相对独立的数据子集关联起来,在不同层

面上有机整合各数据库。该规则有利于建立统一的空间检索分类标准,提高空间数据访问、表达和分析的效率。编码中还潜在包含了气候、自然地带、植被等多种背景信息,为进一步数据挖掘和知识发现提供可能。

表 2 数据采集点编码规则  
Table 2 Coding rules for sampling points

采集点	生物气候带		自然地带		山地	流水号		编码
Tshishop	寒温带	2	西西伯利亚暗针叶林地带	03	乌拉尔山脉	07	001	20307001
科古琴山北坡	温带	3	天山山前荒漠草原地带	34	天山	16	002	33416002
Ganotxa	亚热带	4	伊比利亚常绿硬叶林地带	41	比利牛斯山脉	23	003	44123003

4.3 数据库集成

4.3.1 数据库设计

欧亚大陆山地垂直带谱数据库(Mountain Altitudinal Belt Spectra Database of Eurasia,简称 MABSDE)是本次垂直带谱数字集成的直接成果,也是进一步带谱分析与地学解释的数据基础。根据主题内容,MABSDE分为 6个子数据库。各子数据库相对独立,也可根据关键字相互关联,以满足跨库检索及数据同步更新的需求。垂直带谱子数据库是 MABSDE的核心组成部分。山地环境要素(气温、降水、地形等)对垂直带的规律分析和地学解释具有重要作用,因此 MABSDE还应集成必要的山地环境要素数据及其他背景数据,包括山地背景数据库、基础地理数据库、气候数据库、文献数据库、元数据库等。数据类型包括以栅格和矢量格式存储的空间

数据,以及以表格、图片、文本文件等形式存储的属性数据。

山地背景子数据库包括山地区域界线内的多项专题数据,它为垂直带谱的可视化与分析提供必要的背景数据。气候子数据库包括对分析和解释垂直带分布规律具有重要意义的数据库项,如年均温、最热月温度、最寒冷月温度年均降水量等,以及由此派生计算得到的其他气候指标(如温暖指数、干燥指数等)。文献子数据库包含垂直带谱数据的来源文献的题录信息及文献全文,并包含从文献中扫描的垂直带相关的图片和照片,为数据库用户了解垂直带谱数据来源的详细信息。元数据库包含上述子数据库中各数据项的数据来源、标识、质量、语义、维护等描述信息。数据库总体框架如图说。

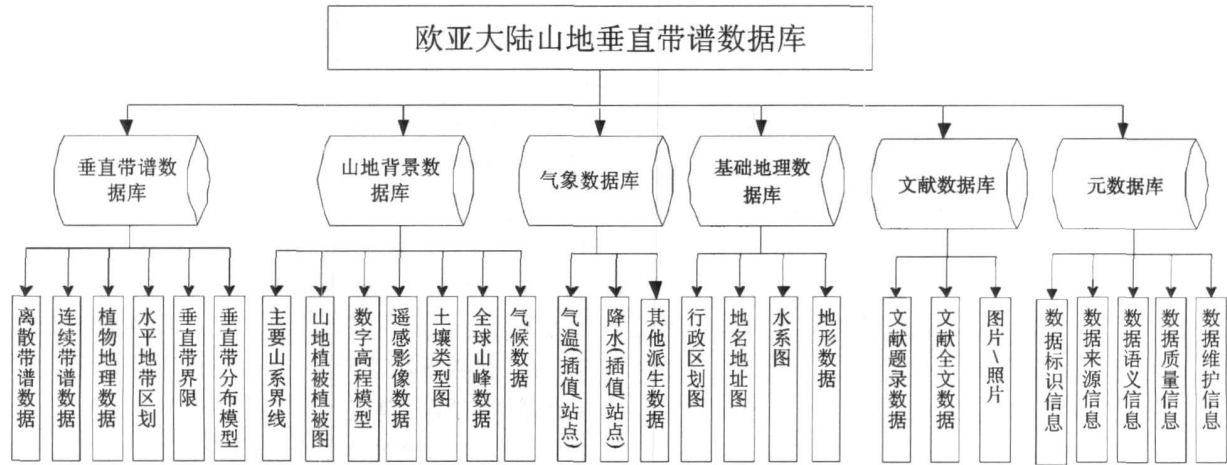


图 3 MABSDE数据库总体框架

Fig 3 Architecture of MABSDE



#### 4.3.2 元数据建设

元数据是对数据进行描述的数据,它是数据发现、数据转换、数据管理和数据使用的整个信息过程中的一种不可或缺的工具和方法,利用它可以实现对数据集各项特征的描述,有效提高用户对数据的鉴别能力和检索效率,对数据库的使用、开发和维护具有重要的意义,特别是对 MABSDE 这样一个数据来源广泛、类型多样的数据库显得尤为重要。

目前,国际上对空间元数据标准制定者主要有三个,即国际标准化组织地球信息技术委员会 (ISO/TC 211) 美国联邦地理数据委员会 (FCDC) 和欧洲标准化委员会 (CEN/TC 287)。其他还有一些面向特定领域的元数据标准,如我国制定的面向地球科学数据的 GEODATA 元数据标准,面向生态环境领域的 CERN 元数据标准等。全球山地生物多样性评估计划 (The Global Mountain Biodiversity Assessment G MBA) 制定了一个面向山地生物多样性空间数据元数据标准雏形,这也是目前屈指可数的几个面向山地研究领域的元数据标准之一。本文以 MABSDE 的数据特点以及用户对数据理解的潜在需求为导向,参考上述各种标准,建立了面向山地研究领域的 MABSDE 元数据库。它主要包括 5 个信息包:数据标识信息、数据来源信息、数据语义信息、数据质量信息和数据维护信息。

#### 4.3.3 数据库集成平台

目前, MABSDE 的数据量已达 GB 级,且包含大量的空间数据,各子数据库间逻辑关系复杂,传统的文件式管理方式在海量数据管理、数据一致性维护及多用户并发访问等方面已难以胜任。Geodatabase 是一种新型的空间数据模型,它提供数据集、特征类、对象类、几何网络等多种空间、非空间数据组织方式,为数据类型多样、逻辑关系复杂的空间数据库提供良好的数据组织模型。基于 Geodatabase 的空间数据库解决方案可分为两种,即面向中小型应用的 Personal Geodatabase 模式和面向大型应用的空间数据引擎 + 大型关系数据库模式。当前,在支持第二种模式的软件平台中, Geodatabase 数据模型的提出者——ESRI 公司的 ArcSDE 无疑是空间数据引擎软件平台的佼佼者。它通过采用扩展结构模型,在现有的标准关系型数据库基础上增加了一个空间数据管理层,并引入面向对象的思想,实现了空间实体的属性、行为以及空间拓扑关系的一体化存储。ArcSDE 能与当前市场大部分关系数据库平

台 (如 Oracle SQL Server 等) 相配合,构成良好的大型空间数据库解决方案。

考虑到 MABSDE 的海量数据特征,且将来数据量还会不断增加,本文选择后者作为数据存储模式。在该模式下,空间数据与非空间数据均以数据表的形式存储在关系数据库中,数据表之间联接和约束通过本文定义的编码规则及外键 (FID) 实现。元数据存储则是将每个 XML 文档整体存储到关系数据库中的大二进制对象 (BLOB) 字段,避免每次读取中对元数据元素的组合,提高了存取效率。软件平台采用 ArcSDE 9.0 + SQL Server 2000,数据的装载通过 ArcCatalog 完成。

## 5 讨论

山地垂直带的研究历史悠久,学科底蕴深厚,在信息技术高度发达的今天,为其加入新的信息技术元素既是时代赋予的任务,也是学科本身自展的内在需求。数字山地垂直带谱的正是顺应了这种趋势,成功地实现了这一传统学科向数字化、信息化时代的跨越。将研究区域扩展到欧亚大陆,是数字山地垂直带谱理论和方法体系国际化的一次重要尝试,将为实现世界山地垂直带谱标准化分类体系,垂直带谱数字化集成、分析与解释统一框架的形成奠定坚实基础,并将极大地提高我国山地研究的国际影响力。本文探讨了面向欧亚大陆的带谱数字集成的学科基础、方法与技术,为整合长期积累的山地垂直带谱数据资源提供了一个较为完备的理论、方法与技术框架。该集成框架突破了传统研究中偏重于“线”的不足,建立了完整的涵盖垂直带界线、垂直带、垂直带谱等的多级集成体系。更重要的是,该集成框架注意与国际接轨,参考国际上广泛接受的分系统对垂直带谱进行标准化处理,助于将欧亚大陆垂直带谱纳入到一个统一的框架体系,有利于实现不同国家和学派研究人员对垂直带的标准化理解,进而开展世界各地垂直带多级体系全面而系统的对比和分析。

本研究收集了大量水平地带分类系统及垂直带谱文献资料,在全面对比、分析和评估的基础上,借助翔实的基础资料及专家知识建立了水平地带与垂直带分类系统,实现了垂直带谱数据的标准化处理;基于 Geodatabase 空间数据模型,利用空间数据引擎和大型关系数据库技术实现了带谱及背景数据的空

间化集成,建立了首个面向欧亚大陆的垂直带谱专题空间数据库(MABSDE)。该数据库是对本学科长期知识积累的数字化总结与提升,具有重要的科学意义与实用价值,它将为山地生态环境、地表生态格局等研究领域提供宝贵的基础数据,并为进一步山地三维景观可视化分析、数据挖掘和知识发现提供支持。近年来,一些山地垂直带界限,如林线、雪线对气候变化的放大作用使其在全球变化研究中受到特别的关注<sup>[25-28]</sup>,MABSDE集成的大量有关垂直带界线时空变化数据将为全球变化研究提供重要的证据数据集和过程数据集。

文献资料是学科长期研究成果的积淀,是研究者智慧与汗水的结晶,从文献中获取数据已成为研究特定实体时空变化的重要手段,各学科对其重视程度日益增加。本文探索了从文献中整理、发掘出有价值的数据并进行空间化集成的数据处理方法,这将为地理学、生态学、环境科学等空间数据相关研究领域类似数据集建设提供有益的参考。由于研究对象(山地垂直带)自身的复杂性,以及不同学派、国家和研究人员对其理解的差异,导致针对同一实体的研究成果之间存在分歧,在甄别此类文献时,需要大量经验丰富的专家参与,以保证数据的一致性和可靠性。文献数据提取过程中专家主观经验的参与不可避免地影响到数据质量,因此有必要建立数据精度和可信度评价机制,向用户提供必要的参考信息,帮助其科学合理地使用数据。

科学数据是人类活动的产物,代表人类文明与社会的进步,对它的开发应用又可以进一步推动社会向前发展。科学数据应该在充分的传播和流通中,“把珍珠串成项链”,让全社会的人去利用,只有当科学数据进行交流和共享时才能充分体现数据的价值和效益<sup>[29]</sup>。因此,借助网络技术和WebGIS技术实现MABSDE数据的共享将是下一步的工作重点之一。

## 参考文献 (References)

- [1] Stone Peter B. State of the World's Mountains[M]. New Jersey: Zed Books Ltd, 1992: 1~10
- [2] Fang Jing-Yun. Exploring altitudinal patterns of plant diversity of China's mountains [J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 1~4 [方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 1~4]
- [3] United Nations Agenda 21[R]. Rio de Janeiro, 1992.
- [4] Mountain Geoportal [EB/OL]. <http://mnr.isc.inod.net>
- [5] Kömer C., Donoghue E.M., Fabbro T. *et al.* Creative use of mountain biodiversity databases: the Kazbegi research agenda of GMBAD-IVERSITAS [J]. *Mountain Research and Development*, 2007, 27(3): 276~281
- [6] Grabherr G., Gottfried M., Paul H. GLORIA: A global observation research initiative in alpine environments [J]. *Mountain Research and Development*, 2000, 20(2): 190~191
- [7] Zhang Baiping, Yao Yonghui, Mo Shenguo, *et al.* Digital spectra of altitudinal belts and their hierarchical system [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 660~665 [张百平, 姚永慧, 莫申国, 等. 数字山地垂直带谱及其体系的探索 [J]. 山地学报, 2002, 20(6): 660~665]
- [8] Zhang Baiping. Progress in the study on digital mountain altitudinal belts [J]. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(1): 12~14 [张百平. 数字山地垂直带谱研究进展 [J]. 山地学报, 2008, 26(1): 12~14]
- [9] Zhang Baiping, Xu Juan, Wu Hongzhi, *et al.* Digital integration and pattern analysis of mountain altitudinal belts in China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 144~149 [张百平, 许娟, 武红智, 等. 中国山地垂直带的数字集成与基本规律分析 [J]. 山地学报, 2006, 24(2): 144~149]
- [10] Köppen W. Das Geographische System der Klimate. In: Köppen, Geiger, editors. *Handbuch der Klimatologie* [M]. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936
- [11] Trewartha A. An Introduction to Climate (4th ed) [M]. New York: McGraw-Hill, 1968.
- [12] Fedorova I.T., Volkova Y.A., Varlygin D.L. World Vegetation Cover Digital Raster Data on a 30-minute Cartesian Orthogonal Geodetic (lat/long) 1080x2160 grid. Global Ecosystems Database Version 2.0 [DB/OL]. USDOC/NOAA National Geophysical Data Center, 1994. <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/fliers/sc2006.shtml>. Last Accessed 2008/06/10.
- [13] Bailey R.G., Hogg H.C. A world ecoregions map for resource partitioning [J]. *Environmental Conservation*, 1986, 13: 195~202
- [14] Olson D.M., Dinerstein E., Wikmanayake E.D., *et al.* Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth [J]. *Bioscience*, 2001, 51(11): 933~938
- [15] Zheng Du, Zhang Rongzu, Yang Qinye. On the natural zonation of Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1979, 34(1): 1~11 [郑度, 张荣祖, 杨勤业. 试论青藏高原的自然地带 [J]. 地理学报, 1979, 34(1): 1~11]
- [16] Zhang Baiping, Zhou Chenghu, Chen Shupeng. The eco-information spectrum of montane altitudinal belts in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 163~171 [张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨 [J]. 地理学报, 2003, 58(2): 163~171]
- [17] Wu Hongzhi, Zhang Baiping, Xu Juan, *et al.* Improvement and upgrade of mountain altitudinal belts information system [J]. *Geoinformation Science*, 2006, 8(2): 46~48 [武红智, 张百平, 许娟, 等. 山地垂直带谱信息系统应用分析与技术改进 [J]. 地球信息科学, 2006, 8(2): 46~48]
- [18] Xu Juan, Zhang Baiping, Zhu Yunhai, *et al.* Distribution and geographical analysis of altitudinal belts in the Ailun-Qilian Mountains

- [J]. *Geographical Research*, 2006 25(6): 977 ~ 984 [许娟, 张百平, 朱运海, 等. 阿尔金山 - 祁连山山地植被垂直带谱分布及地学分析 [J]. 地理研究, 2006 25(6): 977 ~ 984]
- [19] Zhang Baiping Tan Ya Mo Shenguo. Digital spectrum and analysis of altitudinal belts in the Tianshan Mountains [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(2): 184~ 192 [张百平, 谭娅, 莫申国. 天山数字垂直带谱体系与研究 [J]. 山地学报, 2004, 22(2): 184~ 192]
- [20] Zhang Baiping Tan Ya Wu Hongzhi Design and development of mountain altitudinal belt information system [J]. *Geo-information Science*, 2005 7(1): 20~ 24 [张百平, 谭娅, 武红智. 中国山地垂直带信息系统的设计与开发 [J]. 地球信息科学, 2005 7(1): 20~ 24]
- [21] Sun Ranhao Zhang Baiping Xiao Fei Exploring the method of digital identification of mountain altitudinal belts [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008 12(2): 305~ 311 [孙然好, 张百平, 肖飞. 山地垂直带谱的数字识别方法探讨 [J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 305~ 311]
- [22] Xiao Fei Zhang Baiping Ling Feng et al. DEM based auto-extraction of geomorphic units [J]. *Geographical Research*, 2008, 27(2): 459~ 466 [肖飞, 张百平, 凌峰, 等. 基于 DEM 的地貌实体单元自动提取方法 [J]. 地理研究, 2008, 27(2): 459~ 466]
- [23] Yao Yonghui Zhou Chenhu Sun Ranhao et al. Digital mapping of mountain landforms based on multiple source data [J]. *Journal of Mountain Science*, 2007 25(1): 122~ 128 [姚永慧, 周成虎, 孙然好, 等. 基于多源数据的山地地貌数字解译 [J]. 山地学报, 2007, 25(1): 122~ 128]
- [24] Yang Qinye Zheng Du Wu Shaohong Eco-geographic region study in China [J]. *Progress in Natural Science*, 2002 12(3): 287~ 291 [杨勤业, 郑度, 吴绍洪. 中国的生态地域系统研究 [J]. 自然科学进展, 2002, 12(3): 287~ 291]
- [25] Daniels L D., Veblen T. T. Altitudinal treelines of the southern Andes near 40 degrees S [J]. *Forestry Chronicle*, 2003 79(2): 237~ 241
- [26] Komer C. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation [J]. *Oecologia*, 1998 115(4): 445~ 459
- [27] Wang T., Zhang Q. B., Ma K. P. Treeline dynamics in relation to climatic variability in the central Tianshan Mountains northwest China [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2006 15(4): 406 ~ 415
- [28] Wardle P. An explanation for alpine timberline [J]. *New Zealand Journal of Botany*, 1971 9(3): 371 ~ 402
- [29] Sun Jiulin. On the scientific data sharing [A]. In Sun Jiulin Shi Huizhong Management and Sharing of Scientific Data [C]. Beijing: China Science and Technology Press, 2002: 1~ 8 [孙九林. 略论科学数据共享 [A]. 见: 孙九林, 施慧中. 科学数据管理与共享 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2002: 1~ 8]

## A Framework for Digitally Integrating Mountain Altitudinal Belt Spectra in the Eurasian Continent

TAN Jing<sup>1, 2</sup>, ZHANG Baiping<sup>1</sup>, SUN Ranhao<sup>1, 2</sup>, YANG Aqiang<sup>1, 2</sup>, ZHU Yunhai<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China;

3. Shandong Institute for Development Strategy of Science and Technology, Jinan 250014, China)

**Abstract** Eurasian continent is considered to be the best study area for mountain altitudinal belt spectra (MABS) researches thanks to its MABS' magnitude and diversity. By analyzing the recent tendency in mountain research field and requirements of MABS related research field, this paper points out that it is urgent to spatially integrate the MABS data accumulated in literatures. For this, the paper presents a framework for digitally integrating the MABS in Eurasian continent. Three elements of the framework, including integration method, architecture designing and technical process are discussed. Then the paper illustrates several key procedures of technical process, including data collection and preprocessing, construction of a classification system, data standardization, metadata creation and data storage solution, etc. A spatial database for MABS of Eurasian continent which contains five thematic dataset and metadata is established. At last the paper summarizes problems during database construction and shows the prospects of further study.

**Key words** Mountain altitudinal belts spectra, Eurasian continent, digital integration, spatial database, GIS