

资源与环境信息系统国家重点实验室
国家自然科学基金项目 (40971064)



山地垂直带 信息图谱研究

DIGITAL INTEGRATION AND PATTERNS OF
MOUNTAIN ALTITUDINAL BELTS

张百平 谭 靖 姚永慧 等著

中国环境科学出版社

P941.76
Z074

资源与环境信息系统国家重点实验室
国家自然科学基金(40971064)

山地垂直带信息图谱研究

张百平 谭 靖 姚永慧 等著

P941.76
Z074

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

山地垂直带信息图谱研究/张百平, 谭靖, 姚永慧等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2009.12

ISBN 978-7-5111-0147-1

I. 山… II. ①张…②谭…③姚… III. 山地—垂直地带性—图谱—研究 IV. P941.76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 229078 号

责任编辑 陈金华
责任校对 刘凤霞
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2009 年 12 月第 1 版
印 次 2009 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 17.75 彩插 17
字 数 405 千字
定 价 60.00 元



【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

10 年前，陈述彭先生凭借对地球科学和现代信息技术发展的战略性把握，创造性地提出了“地学信息图谱”的概念，试图为新时代的地学及信息技术指出一条崭新的道路，引导人们向更高的科学殿堂迈进。一石激起千层浪，引无数仁人志士竞相趋之。10 年下来，大浪淘沙。经过好奇、涉猎和探索，不少人已经知难而退；有些人还在利用地学信息图谱的名义制作一些数字地图；当然，还有人仍在怀疑和挑剔。

陈述彭先生确实没有给地学信息图谱下过一个标准的定义。导致地学信息图谱出现了“说不清”、“道不明”、“理还乱”等问题。它似乎是一种方法，利用 GIS 强大的数据处理和分析功能研究地学对象的规律；似乎是一种目标，在数字地球时代，地学应该达到的新的科学高度；似乎是一种战略，地学研究都应该进行这样的探索；又似乎是一种要求，地学本身在新时代发展的必然趋势。

陈述彭先生已经仙去。地学信息图谱是他留给我们的宝贵遗产。但它不是成型的、直接可用的遗产，而是开放的、让我们发挥无限的想象力去开拓和探索的科学领域。事实上，这样的遗产对我们来说也许更有意义。一方面，对它的继承和发扬，是地球信息科学发展的必然要求；另一方面，对地学信息图谱的“信仰”和坚守，是我辈义不容辞的义务和责任。

我们深刻地认识到，对地学信息图谱的理解是困难的。难在必须对地学对象和信息技术都有深刻的认识：单单具有地学知识，或仅仅掌握信息技术，都不足以准确理解地学信息图谱的内涵与精髓；难在对地学科学问题的准确把握：如果没有长期的地学研究背景，实在难以认识地学信息图谱的科学高度；难在对学科发展趋势的把握：如果对研究学科的发展缺乏战略性眼光，也实在无法体会地学信息图谱的博大和精深。

但是，地学信息图谱不是形而上学的东西。它有海量数据、GIS、虚拟现实技术为三大基石。而且过去很多地球科学家都以不同的方式和思路探索了研究对象的空间排列和

随时间演化的规律,如大地构造学说、地貌演化阶段模式、地域分异规律等。它们是那个时代地学的巅峰,也是地学信息图谱的雏形。我们可以说,地学信息图谱是前有古人的。那么,“后有来者”也是必然。

地学信息图谱研究最需要强调的就是:地学信息图谱不是图。因为地学信息图谱的概念正是为了克服地图的不足(比例尺限制、有限载荷等)才诞生的。地学信息图谱的核心目标就是对地图学的完全超越。其实,我们可以从地学知识表达的三阶段“字—图—谱”来理解“地学信息图谱”的概念和科学高度。如果非要给地学信息图谱一个定义,我们认为是这样的:“基于地学对象结构化、数字化、信息完备的总体规律。”英文可以表示为:Digitally structured integral geo-info-spectrum(可以简称为 Geo-info-spectrum)。

地学信息图谱不是一蹴而就的东西。我们必须把它理解成一个“集大成”的过程和战略目标。它不是有限元素构成的地图或图集,而应该是数字化的宏伟巨作。因而,简单的几张图,千万不要声称是地学信息图谱。那样就会降低地学信息图谱的科学高度。我们需要的是对传统方法的超越和传统知识的升华,是对地学对象全面、系统、总体的数字化的把握。

要达到地学信息图谱这样的远大目标,必然需要新的手段和工具。人们懂得骑自行车和开汽车是不能到达月球的;同样,达到地学信息图谱的高度,不可能不具有自己的“特征元素”。它需要专门的“武器”来应对不同的地学对象。比如,我们创建的山地垂直带数据模型,实现了山地垂直带谱的全数字化;我们探索出的山地垂直带谱精确提取方法,可以获得垂直带谱的连续分布模式——数字曲线带谱。有了它们,山地垂直带信息图谱研究就有了“特质”和“有效武器”,世界山地垂直带信息图谱的建立也就为期不远了。

山地垂直方向上的环境变化梯度是水平方向上的 1 000 倍,加上坡向、坡度的变化及影响,山地具有高度的环境多样性和生物多样性。毫无疑问,山地浓缩了地球生态与环境的主要内容,可以使它在“方寸”之间尽显大千世界。山地垂直带谱是对山地复杂环境和结构的一种经典的模式化概括。对全球山地垂直带(谱)的分类、集成、分布模式和动态规律研究,符合地学信息图谱的战略设想。在开始的阶段,我们以中国山地为例进行探索,收集、甄别了几乎所有山地的垂直带谱数据,以自主研究的独特的山地垂直带谱数据模型为核心模块,创造性地建立了中国山地垂直带谱信息系统,并且根据分析提出了山地垂直带二次曲线分布模式假说。整个研究方法和体系在国际山地协会刊物 Mountain Research and Development (2006 年第 3 期)上发表。说明我们的初步成果得

到了国际的认可。在此基础上,我们将视野扩展到世界第一大陆——欧亚大陆,收集了主要山地的垂直带谱数据,建立了欧亚大陆垂直带和垂直带谱分类体系,创建了欧亚大陆山地垂直带谱信息系统,分析了大陆、区域、山系 3 个尺度上的垂直带分布规律。我们的思路、方法和研究体系,也得到了进一步的检验和提升。一路走来,我们对地学信息图谱的认识已经渐入佳境。欧亚大陆山地垂直带谱的工作更坚定了我们对于世界山地垂直带信息图谱研究的信念和追求。

近 10 年来,研究生们在山地垂直带谱研究方面,进行着一棒又一棒的交接与传递。陈晓东帮助完善了第一代垂直带谱数据模型;谭娅完成了中国山地垂直带谱信息系统的开发,使山地垂直带谱首次实现了数字化;武红智将垂直带谱信息系统进行了升级,使带谱的可视和分析更上一层楼;肖飞首次探索了山地垂直带谱的数字化连续提取;许娟全面分析了青藏高原垂直带谱的规律及控制机制;孙然好(第 5 章)进一步推进了山地垂直带谱连续数字提取方法,并开发了带谱数字识别系统;谭靖(第 3、4、7、8 章)以欧亚大陆为对象,搜索和采集了大量宝贵的山地垂直带谱数据,并将它们集成于垂直带谱信息系统之中,还分析了各种尺度上垂直带分布规律。其工作量之大、成果之丰,令人感叹。他们虽已毕业,但对山地垂直带信息图谱的研究仍深怀眷恋,都积极参与了该书的撰写。韩芳(第 2、9 章,主要图件)和庞宇正分别开展垂直带谱的山体效应和坡向效应研究。姚永慧博士撰写了第 6、7 章。张百平负责本书的总体设计和统稿工作,并撰写了第 1、10 章。在这里,对研究生们的辛勤劳动表示最诚挚的谢意。

地学信息图谱研究,与其他重要事物一样,在发展过程中都会存在着一道坎。就是它,在阻挡着我们的进步,也给很多人提供了怀疑和责难的理由。但它毕竟只是一道坎,并非什么难以跨越的崇山峻岭。过了它,就是海阔天空。欧亚大陆山地垂直带谱的研究就是一道坎,过了它,离建立世界山地垂直带信息图谱也就不远了。当然,我们难免还会遇到新的困难和挫折。不过,我们已经准备好了。

我们有坚强的信念,那就是对地学信息图谱的这份坚守。在不远的将来,我们将完成全球山地垂直带信息图谱的构建,也即世界山地垂直带谱完整的时空序列及机理研究。到那时,希望可以向国人和世界展示一种真正意义上的地学信息图谱,并以此来告慰陈述彭先生的在天之灵。而这也是对陈述彭先生最好的纪念。

张百平
2009 年 8 月于北京

目 录

第 1 章 地学信息图谱研究：进展与挑战	1
1.1 地学图解与地学图谱	1
1.2 “地学信息图谱”概念产生的背景	2
1.3 地学信息图谱研究进展及述评	4
1.4 地学信息图谱的科学高度	7
1.5 地学信息图谱的战略意义	9
1.6 地学信息图谱研究展望	9
第 2 章 山地垂直带谱研究概述	12
2.1 山地垂直带研究的背景	12
2.2 垂直带谱的调查与列举	15
2.3 垂直带谱结构分类	17
2.4 区域规律分析	21
2.5 垂直带谱的连续展布图式	27
2.6 垂直带分布的数学模式	31
2.7 垂直带与水平地带关系	38
2.8 垂直带谱研究面临的问题	45
第 3 章 欧亚大陆山地垂直带的地理框架	48
3.1 水平自然地带区划	48
3.2 山地垂直层带的划分	61
3.3 垂直带的系统分类	67
第 4 章 欧亚大陆山地垂直带谱结构分类	86
4.1 垂直带谱结构分类及其系统框架	86
4.2 寒温带北部（北泰加林地带）垂直带谱结构类型	88
4.3 寒温带南部（南泰加林地带）垂直带谱结构类型	90

4.4 温带垂直带谱结构类型	92
4.5 亚热带的垂直带谱结构类型	101
4.6 热带垂直带谱结构类型	104
4.7 青藏高原垂直带谱结构类型	106
第5章 山地垂直带谱的数字识别	111
5.1 研究意义	111
5.2 总体思路与技术路线	112
5.3 识别模型与实现算法	112
5.4 面向对象的带谱识别系统	115
5.5 方法试验	124
5.6 数字带谱与传统带谱的区别	127
第6章 山地垂直带谱的数字集成方法	129
6.1 垂直带谱数字集成面临的挑战	129
6.2 垂直带谱数据模型	131
6.3 数据库设计	133
6.4 数据的采集与标准化	139
6.5 数据库集成	148
第7章 欧亚大陆山地垂直带谱信息系统与共享	151
7.1 系统建设背景	151
7.2 总体建设框架	152
7.3 欧亚大陆垂直带谱数字集成与分析系统	153
7.4 欧亚大陆山地垂直带谱网络发布与共享平台	164
第8章 欧亚大陆山地垂直带空间分布模型	169
8.1 数据来源与标准化处理	169
8.2 山系尺度垂直带的空间分布模型	170
8.3 区域尺度山地垂直带空间分布模型	181
8.4 大陆尺度山地垂直带空间分布模型	188
8.5 林线纬向下降率	194
8.6 山地垂直带的二次曲线模型	196
第9章 山地垂直带谱的控制机制研究	200
9.1 气候与植被的一般关系	200
9.2 山地垂直带控制机制概述	203
9.3 地带性控制	206

9.4 山体效应.....	211
9.5 坡向效应.....	218
9.6 其他地形控制因素.....	222
9.7 小结.....	223
第 10 章 地学信息图谱研究框架.....	225
10.1 “地学信息图谱”的再定义.....	225
10.2 山地垂直带信息图谱研究框架.....	226
10.3 地学信息图谱研究框架.....	231
参考文献.....	234

第1章 地学信息图谱研究：进展与挑战

1.1 地学图解与地学图谱

地理之学，非图不明。地理学很早就突破了文字记载/描述阶段，将地图作为它的第二代语言，把得到的知识和研究成果进行空间化归纳，也应用图解方式分析和解释地学问题。因而，地图是传统的地理知识集成的重要方法和高效表达。清末杨守敬主编的《中国历代疆域沿革地图（集）（12卷）》，现代谭其骧主编的《中国历史地图集（8卷）》，都是图、史合一的名著，让我们清晰地认识历史在空间上的变化。《中华人民共和国国家自然地图集》、《青藏高原地图集》、《中国地方病地图集》，给我们科学地展示了相同区域不同自然地理要素的空间分布和相互关系。李四光的《中国大地构造》对我国的山地格局进行了图形化高度概括。黄秉维的《中国综合自然区划》在单张图上全面系统地总结了我国温度、水分、土壤、植被的地域差异和分布规律。陈述彭先生1954年完成了桂林七星岩喀斯特山块及洞穴发育的图解和沁河流域黄土剖面与地貌类型图解（陈述彭，1957；1968），竺可桢的5000年气候变迁等时空融合的图形思维，都是地学图解的典范。国际上，魏格纳的大陆漂移说，柯本的气候类型，道库恰耶夫的自然地带谱，Davis（1850—1934）的地貌演化旋回模式，美国地质调查局有关科罗拉多大峡谷、阿帕拉契山脉和东海岸发育的图解（Lobeck，1941），瑞士学者关于阿尔卑斯山地构造与冰川演化，《丹麦地图集》描绘冰缘地貌与海岸发育的图解（Schon，1949），不但具有伟大的科学意义，而且也是艺术的杰作。门捷列夫的化学元素周期表，更是巧妙地归纳了世界上所有元素的属性规律。它们都充分地发挥了图的概括能力，使复杂的现象得到了最简明和清晰的表达，达到了方寸之间尽显大千世界的效果，真可谓“一图胜过千言”。

图的信息概括能力和信息传递能力具有内在的科学机理。实验心理学家赤瑞特拉（Treicher，1979）通过大量实验证明，人类在接受的信息中，通过视觉获得的占83%，听觉占11%，嗅觉占3.5%，触觉占1.5%，味觉占1%。说明视觉是人类接受信息的主要通道。经过漫长的进化，人类处理视觉信息的能力逐渐提高，一般比处理文字信息快6000倍，使用视觉辅助能够将学习效率提高400%。在短暂记忆中，人们很难记住七位以上的数据，原因是人脑的比特率低。但当每一比特按可识别模式排列，以便使其具有相关关系的内涵，我们却可以理解数十亿比特的信息（Gore，1998）。地理研究中地理事物随时间演变的研究都是以图形为基础，地学的地理预测就是基于这种图形系列进行外

推(索恰瓦, 1991)。毫无疑问, 图是传递信息最好、最自然的手段。

通过对地图学发展的分析, 陈述彭(1961)首先提出了图谱的概念。“图谱”是一种源远流长的中国传统方式, 主要运用图形语言进行时间与空间的综合表达与分析。其中“地学图谱”是古代和传统地理时代, 在时间演化过程的系统中, 同时表达地区(空间)差异的系列地图, 是应用于地学分析的系列多维图解。它不仅用来描述现状, 而且通过建立时空模型来重建过去和虚拟未来。最典型的就是同一区域、同一比例尺的专题/综合地图集。综合地图集的编制要求经过严格的数量统计, 并按照类型区划的方法加以分析, 制定出可以反映区域地理特征的技术指标, 使地图集能够反映自然、社会经济要素和分布现象的相互制约、相互联系及其区域历史发展的过程。通过地理分布规律和历史发展过程两条线索, 把地图贯穿、交织起来, 使它们成为反映区域全貌和区域特征的图谱(陈述彭, 1961)。自然或经济区域综合体的内部结构是很复杂的, 既存在垂直地带谱的变化, 又具有水平地带的不同形式的组合; 图谱不仅可以反映区域内部结构及其分异规律, 而且可以检验和论证区域划分原则和指标的准确性。1964年, 陈述彭对图谱方法的应用作了初步总结(陈述彭, 1964a; 1964b), 表明图谱分析方法具有实际意义: 毛乌素沙漠的景观图对荒漠草原和典型草原的划分有所改进; 鼎湖山的景观图对热带、亚热带的具体空间界线问题有所澄清。

地学图解是用图来描述和解释地学专家个人或小组野外调查、室内实验、数据分析、模式建立、绘图等研究工作后得到的关于某地学问题的认识以及得到的相应的地学规律特征。但是传统的地学图解, 仅作为一种重要的方法和表达形式被使用, 实际上也是无奈之举, 不得已而为之。而且往往具有浓厚的个人色彩(野外素描能力、对地理对象/现象的个人感受), 其他人一般难以重复。没有对地理知识的可视化进行系统的研究, 更缺乏相应的理论与方法(王伟星, 2009)。

1.2 “地学信息图谱”概念产生的背景

20世纪80年代以来, 随着对地观测和GIS技术的迅速发展, 全球已经进入“数字地球”时代——开发分辨率为1m的世界数字地图, 构建一个多种分辨率、三维表达的地球, 可以在其上添加许多与我们所处的星球有关的地学数据(Gore, 1998)。数字地球时代的特点就是地球信息资源极大丰富, 也即“信息爆炸”或海量数据, 而且具有全球覆盖、同步观测和动态更新三大特点。仅仅是美国NASA的地球行星计划, 每天就产生1000G字节的信息。如何将海量的数据转换成地学规律和地学知识, 而不是被海量数据淹没, 是地理学和地理学家面临的严峻挑战。地理信息系统现有的空间数据分析方法就显得力所不能及甚至无能为力了。这就需要扩展学科的交叉, 从对地理空间信息的本质理解及其研究方法的根本上, 去探求和发展有关海量数据的“空间分析”的新方法与新技术。由于研究对象具有区域性和尺度变化的特点, 地理学不可能用数学模型解决根本问题。另外, 图形抽象虽具有强大的涵盖功能和充分的生命力, 但其表现力毕竟有限。在排山倒海般的数据面前, 无论是单张地图还是地图集, 同样都捉襟见肘。大有被信息和数据淹没的危险。幸运的是数据库和地理信息系统(GIS)也在同时期产生了, 有效地

解决了大数据量的处理和管理问题。但是如此多的数据对我们来说意味着什么？能给我们带来什么？我们能否借助 GIS 将它们进行别样的组织，进而探索和发现更深层次的、更具有普遍意义的地学规律？因而，时代呼唤一种新的地理学方法体系和战略，与 GIS/RS 携手来应对浩瀚的地理信息和数据。

地学信息图谱就是在这样的时代背景下产生的。20 世纪 90 年代末期，以陈述彭院士为首的中国地理学家基于 GIS、地图学、遥感与生物基因图谱提出了“地学信息图谱”的构想。它是“数字地球”时代的产物。虽然根植于经典的“地学图谱”（陈述彭，1998），继承了中国传统研究成果，但它又远远超越了地学图谱的范畴。它的概念形成具有三大基石（陈述彭，1998）：

- 建立在现代空间技术、信息科学的基础上——信息资源极大丰富。
- 建立在地球系统科学与地理信息系统的基础上——图谱生成过程全部智能化与自动化。
- 建立于“赛博空间”和“虚拟现实”的电脑智能化的结合上——提供再现过去和预测未来的多种设想和可能方案，可供决策者作出判断。

在上述科学、技术背景之下，地理学研究可以融合现代信息（数字）技术，实现地理研究的图形思维模式、全数字化及动态模拟分析。这就是地学信息图谱区别于地图和图谱的主要特征。初期的设想认为，“地学信息图谱”由征兆图、诊断图和实施图构成。征兆图和诊断图可表达为各种基础图的不同组合，可以反映资源环境动态的变化与发展趋势（承继成，1998）；实施图以诊断图为依据，通过改变各种边界条件，分析推理不同控制条件下的决策方案，可为进行规划实验提供依据和预案（周成虎等，1998）。

地球系统科学、认知科学和地球信息科学的发展，为地学信息图谱的研究奠定了科学基础，数字地球的发展为地学信息图谱的建立提供了非常丰富且取之不尽的信息源，以及强大的技术支持。而地学信息图谱将成为数字地球应用的重要方式与手段，并将大大拓展数字地球的应用与研究领域，加强数字地球的理论基础（廖克等，2001）。

1.2.1 数字地球的发展将极大地推动地学信息图谱的研究

数字地球对数据的精度要求很高、数据量很大，庞大而精确的地球空间信息数据是地学信息图谱研究的重要信息源（李德仁，1999）；数字地球为地学信息图谱研究提供强大的技术支持。数字地球是建立在计算机技术、通信技术和空间技术等现代信息科学技术之上，是各种现代信息技术的集大成者，包括虚拟现实技术、高分辨率卫星影像、高速宽带网络技术、海量数据的存储技术、三维乃至多维显示技术以及科学计算等技术，这也是地球信息图谱研究所需要的基础技术；实施数字地球战略为地学信息图谱研究提供了良好的机遇。数字地球战略让信息技术推进到人们的日常工作、生活与娱乐中，是一项整体性的、导向性的国家战略目标（徐冠华，1999）。社会与国家的需要更能推动科学的研究，以及技术的创新与进步。所以，在当前各国大力推进数字地球战略的过程中，发展以信息科学技术为支撑的地学信息图谱面临极好的机遇；数字地球思想将深化地学信息图谱的理论研究。地学信息图谱研究的前提条件是空间

技术的发展积累了大量的地球空间观测数据,而充分发挥这些数据的作用是地学信息图谱研究的一个重要方面。随着数字地球研究的不断深入,可以为地学信息图谱的研究提供理论与技术基础。目前兴起的数据挖掘也是旨在通过对大量数据的分析,获取新的知识,其理论方面的逐步成熟对地学信息图谱的理论与技术的研究起到推动作用。所以,数字地球思想和数据分析与挖掘研究,也是地学信息图谱研究的重要理论研究领域。

1.2.2 地学信息图谱的理论研究必将推动数字地球应用的深入发展

地学信息图谱是数字地球分析、处理与表示信息的一种重要方式与手段。它的一个重要特点在于其能简明扼要地表达所描述的现象。面对超出我们处理能力的海量数据与空间信息,我们往往束手无策,例如对于复杂系统而言,由于包含的数据量大且复杂,要了解其内部机理有一定的难度。但图谱通过对数据的分析、处理,可利用系列化的专题图,反映其不同时间的状态和不同条件下的形态特征,从而通过外部表象揭示其内部规律。此外,图谱还可以对地球信息数据进行动态分析、模拟。因此地学信息图谱是数字地球分析、利用数据的一种重要手段与有益补充;地学信息图谱的理论研究将推动数字地球应用的深入发展。地学信息图谱的理论研究包括基础理论研究、应用基础理论、技术基础理论等。基础理论研究主要指对地球信息形成机制、地球空间信息认知、地球系统的研究,涉及地球科学的信息论、信息流、信息场、能量信息、图形信息与存贮信息、认知论、系统论等。应用基础理论研究主要包括应用于地理信息系统的自我组织理论、整体性与分异性理论、空间结构与空间功能理论、熵原理、承载力理论、突变与混沌理论、图谱反演理论、预测模型与理论等。技术基础理论涉及图像信息科学理论(Iconic Informatics)、关系数据库理论、空间数据(信息)模型理论、信息概括模型理论、空间关系理论、数据探索与挖掘理论与技术等。随着地学信息图谱研究的深入,这些理论将得到完善与发展,从而必将使地学信息图谱的应用领域大大拓宽,不仅可以应用于数据采集和数据开发利用,而且可以服务于科学预测与决策方案的虚拟。显然,作为地学信息图谱母体的数字地球研究也将得到极大发展。

1.3 地学信息图谱研究进展及述评

由于地球科学问题是一个“复杂的、开放的巨系统”,不可能完全依靠抽象的数学模型来解决。但是使用形一数一理一体化的研究手段,就可以从混沌中找到有序,从无序中发现规律。目前,地学信息图谱的理论与方法研究、地学信息图谱系统的开发、典型地物地学信息图谱的建立等,处于探索起步阶段,其理论体系和技术体系有待于在实践中丰富完善,任重道远。从地学信息图谱提出到现在,仅有短短 10 年的时间。但经过大量地理科学工作者的努力,进行了一定的案例研究,形成了初步的概念和研究方法。

1.3.1 有关地学信息图谱的概念

关于地学信息图谱的定义,人们从不同角度诠释了它的科学含义。刘纪远在为《地

学信息图谱探索研究》一书的序言中,将地学信息图谱解释为“地学信息图谱是对复杂地学现象的物理结构、能量特征及其变化的描述”;齐清文等将其定义为“经过分析综合的地图、图像、图表形式,反映事物与现象空间结构特征与时空序列变化规律的一种信息处理与显示手段”,廖克将其定义为“地学信息图谱是由遥感、地图数据库、地理信息系统与数字地球的大量数字信息,经过图形思维与抽象思维概括,并以计算机多维与动态可视化技术,显示地球系统及各要素和现象空间形态结构与时空变化规律的一种手段和方法。同时这种空间图形谱系经过空间模型与地学认知的深入分析,可进行推理、反演与预测,形成对事物和现象更深层次的认识,有可能总结出重要的科学规律,在此基础上为经济与社会可持续发展的规划决策与环境治理、防灾减灾对策的制定,提供科学依据和明确的具体结论”。傅肃性在 2002 年出版的《遥感专题分析与地学信息图谱》一书中,将地学信息图谱的概念描述为“地学信息图谱是地球信息通过分析、高度概括,以地图、图像、图表等图形语言表达地学时态演进和空间分异的一种多维图解”。汤国安提出了坡度转换图谱的概念:“坡度转换图谱是指按照一定指标递变规律或分类规律排列的一组能够反映坡度在不同空间分辨率、不同比例尺的底图以及不同的地貌类型条件下的相关转换规律的地图、图表或曲线”。从这些概念中,我们可以看出一个共同特征就是:以现代地球信息技术为手段,用形、数、理一体化的思维理念,揭示与表达地球科学中的规律性知识,为人类认识自然并与自然和谐相处提供科学策略。

上述定义对地学信息图谱概念的内涵与外延做了思考性探索。但遗憾的是,这些定义和思维方式,始终没有脱离地图学的束缚。从地图或数字地图的角度来理解地学信息图谱,就必然落入“数字化系列图/数字地图集”的陷阱。地学信息图谱本质上是基于地理学第三代语言(GIS)的研究战略,是对地图理念的超越。因而它首先就不是地图。地图只是地学信息图谱的一种表现形式。

1.3.2 关于理论基础与研究方法

地学信息图谱的对象非常广泛,从地球表层各圈层,到人类社会的物质生产与精神文明建设,从自然与人类发展的历史到未来环境与社会的变化,涉及空间信息的所有领域。目前,地学信息图谱的分类还没有系统研究和成熟的看法,针对不同的分类标志产生了不同的分类结果。按研究对象的性质分为系统图谱、空间格局图谱、时间序列图谱、发展过程图谱,按演变过程分为过去图谱、现在图谱、未来图谱,按功能分为征兆图谱、诊断图谱、实施图谱等。

陈述彭院士先前提出地图学家参与地学信息图谱研究具有独特的优势,强调了经典地图学理论中的地图投影、地图概括、地图符号、多维可视化、地图多尺度效应等基础理论在地学信息图谱中的重要作用,以及地球系统科学理论,是地学信息图谱研究必不可少的理论基础。地球系统科学和地球信息科学是地学信息图谱的理论基础,可以具体细化为地学专业的基础理论、地学认知理论和地学信息机理(齐清文, 2001)。地学信息图谱也可以看成传统地图学向现代地图学发展中的产物,继承了经典地图学中的图形概括、图形抽象理论,数字地球和 3S 技术的发展为其提供了技术保障,地球信息科学的形

成和发展为其提供全新的形—数—理一体化的方法论(陈燕等, 2006)。关于地学信息图谱理论的研究, 由于受实践范围和应用深度的影响, 其理论体系的研究, 目前很不系统, 而且也比较粗, 有待于进一步提高与深化。

有些研究认为, 地学信息图谱研究的起步工作应该包括 3 个方面: 区域地理单元及其等级体系; 地理单元的遥感影像特征分析; 地学信息的表达方法(张洪岩等, 2004)。还有些学者将地学信息图谱的建立划分为 6 个具体步骤: 第一步认真研究图谱对象, 掌握其时空格局和规律; 第二步从对象中抽象出基本的组成单元, 逐个描绘这些单元的不同形态图形并尽量穷举, 形成系列图形; 第三步对系列图形进行归类、归纳和提炼出图谱的抽象映像图、标准类型和等级; 第四步对系列图形进行数学参数描述, 使其具有可量化和可形式化的功能; 第五步进行图谱的建模工作, 使图谱具有计算机模式识别和虚拟现实的功能; 第六步是针对图谱的实际应用目标进行信息单元的重组和虚拟, 以建立资源环境问题的调控方案, 并虚拟预测调控结果; 甚至提出了地学信息图谱研究的基本框架(齐清文等, 2001; 陈燕等, 2006)。

遗憾的是这些思考和设计, 都基本上是基于地图学的思考, 将表达作为核心理念, 因而始终无法脱离地图学的框架。例如, 上述建立地学信息图谱的第一步竟然是研究图谱对象, 掌握其时空格局和规律。这恰恰是地学信息图谱的主要目标, 而非第一步。没有对大量数据进行数字化分析和总结, 如何得到研究对象的时空格局和规律? 所述的第二步是形成系列图, 很明显, 已经陷入地图集的陷阱。地学信息图谱概念形成的基础是地理学的第三代语言——地理信息系统, 而非地图。因而, 地学信息图谱的研究, 必须突破地图学框架的束缚, 从地理信息系统入手。地图只是地学信息图谱最后阶段研究成果的表现形式之一。

1.3.3 有关案例研究

10 年来, 零零星星进行了一些称之为地学信息图谱的工作(张荣群, 2009)。例如, 以中国地震数据库为基础, 探讨中国地震空间组合图谱及中国东海区潮流场特征图谱等(陈述彭, 2001); 对黄土高原地貌形态进行的研究, 建立了包括沟间地个体单元形态表、沟间地组合单元形态表、垂直带谱表、沟间地空间分布格局表、沟谷空间格局表、地貌形态个体/组合体的重组表等 6 类图谱的表达样例(齐清文, 2005); 以陕北黄土丘陵沟壑区的绥德县韭园沟流域为实验区, 探讨了不同转换参数对转换精度的影响, 并应用地学信息图谱的理论和方法, 对坡度信息图谱的定义、表现形式及存在原因等经过反复试验、分析和验证, 得到了一个具有较理想精度的适用于黄土高原不同地貌类型的坡度转换图谱, 实现了对基于 1:5 万地形图 25 m 空间分辨率的 DEM 提取的地面坡度统计值的误差纠正, 以及不同空间尺度下的 DEM 地面坡度精度提取(陈燕等, 2004)。中国自然景观综合信息图谱的设计、建立方法以及信息提炼的技术指标体系的研究, 建立了中国自然景观综合信息图谱系统(廖克, 2001); 利用遥感技术研究了黄河三角洲土地利用动态变化信息图谱(叶庆华等, 2004); 通过在北京小五台山亚高山草甸生物多样性的研究基础上, 建立了小五台山亚高山草甸植被的植物生物多样性及其空间变化格局, 并通过木糖醇转化方法、植物群落野外调查和实验室分析, 分别测得生境效应温度、物种

盖度和生物量,应用该数据建立了小五台山亚高山草甸植物物种分布与温度的关系图谱(江源等,2005);选择新颖的斜角坐标系量化图形中的双坐标系组合图形用于展现地球信息图谱,通过筛选多种多样的组合形式选择适合于不同地球信息展示的最佳图形样式,高效、美观地传递信息,使地球复杂系统的统计数据中蕴藏的时空规律跃然纸上,为研究地学信息图谱引进了一种新的表达方法(李仁杰等,2006;2007);以地学信息图谱、景观生态学以及遥感与地理信息系统等理论与方法作为支撑,建立了城市景观信息图谱的理论与方法体系,研究了自20世纪80年代末至2003年期间,快速城市化过程中的城市空间扩展规律,城市绿地景观、城市热力景观以及高层建筑景观等单要素景观的格局与过程,以城市景观综合表征的城市热力景观作为突破口,研究了若干单因子景观要素对热力景观格局的影响机制,开发了城市景观信息图谱模型系统(芮建勋,2006);以福建省复合生态系统建设为例,对复合生态系统良性循环的内涵与标志、衡量的指标体系进行了研究与地域分类分级;提出了复合生态系统的信息图谱设计及应用方法(石建平,2005);从信息图谱的角度,选取内缘比、紧凑度和栅格维数对用地的图谱信息进行详细描述,以武汉市工业和商业用地为例绘制图斑信息曲线图,以此表述用地的形态特征及其复杂性。城市外部空间形态的分维数随城市的发展有其本身的演变规律,分维数的变化与人类活动有着密切的关系。以新中国成立以来武汉市不同时段的城市外部形态为例,在GIS环境下研究外部形态分析分维信息图谱,利用各时段的分维数和人口、面积的统计数据,构建“形态描述函数”,得出在城市发展时期,城市规模是外部形态分维数的函数,利用分维数与社会经济因素的互动关系可进一步分析城市空间形态的发展机理(李江,2003)。

上述工作都在为地学信息图谱的发展而努力,其意义也不可否认。但存在的问题也非常明显。①形态描述占据了很多内容,无论是黄土地貌的形态,还是图斑信息曲线,以及形态描述函数,都过分注重形式的表达,特别是阶段性或局部形态的表达。地学信息图谱,不是具体对象或内容的排列形式,而是完整的规律。②多坐标图形所含信息较多,但较为复杂,带来信息传输限制、感知效果降低等问题。③黄河三角洲的研究缺乏对研究对象的深入了解,得出的某些规律缺乏明显的科学意义。④草甸与气候的关系分析,在很小的局部的地方进行,离地学信息图谱设想的总体规律还有很大距离。总之,它们中的大部分都是仅仅贴上了地学信息图谱的标签而已。由于这些问题的存在,使得人们对地学信息图谱产生了一定程度的怀疑。人们禁不住会反复问起:这就是地学信息图谱吗?到底什么才是真正的地学信息图谱?能否给我们看看真正的地学信息图谱?地学信息图谱的未来究竟是怎样的?

1.4 地学信息图谱的科学高度

我们的初步研究认为,从传统地学研究上升到地学信息图谱的高度,至少要满足三个条件:研究对象标准化、数字化与信息(相对)完备。

1.4.1 研究对象世界级标准化

研究对象的标准化指地理对象的定义及内涵的标准化。例如研究中国山地垂直带谱,我们就需要对垂直带及其组合(带谱)有一个标准的地理学定义,和一个比较完善的垂直带分类体系。这要求研究对象具有严格的定义,建立全球一致的严密的分类、分级体系,以便可以进行全球比较、分析和集成,避免各国、各地区地理对象分类方面“各自为政”的局面。为此,我们必须具有全球视野,对研究对象有全面的认识和整体上的把握,具体方法就是对它进行科学的分级和分类。这样的工作要求具备相关领域雄厚的学科基础和知识积累。没有这些知识和框架,研究对象信息的集成和分析就缺乏科学基础和科学意义。

1.4.2 全数字化

数字化指研究对象的定位、定量及可视化。即全方位数字化,包括数据可视化、信息可视化、科学计算可视化、知识可视化,实现数据—系统—知识—规律的一体化。它远远超出计量地理学(Quantitative Geography),建立的是地理对象的“数字模型”而非“数学模型”;它绝不是简单的地理定位(简单数字化),不仅仅是利用 GIS 进行数据分析,而是全方位、全阶段、全内容、全形式的数字化。在很多情况下,面向对象的数据模型的构建是实现地理对象全数字化的关键步骤。复杂的地理对象或现象有时难以用传统 GIS 手段(点、线、面)来处理。因而需要设计特有的面向对象的数据模型,使地理对象实现全数字化。该数据模型就像一座桥梁,将地理对象与 GIS 有机地联系在一起。例如山地垂直带谱数据模型(张百平等, 2003, 2005)实现了山地垂直带谱从传统的手画到数字生成的跨越,也为世界山地垂直带谱的数字集成,奠定了理论和方法基础(Zhang, et al., 2006; 张百平等, 2006)。

1.4.3 信息完备

信息的完备性指针对某种研究对象数据的相对或绝对完整性。传统地学研究由于技术条件和历史条件的制约,信息经常表现为残缺性。现代信息技术(对地观测、海量数据存储和处理)使得数字时代的地理学有可能针对某种现象或对象获得比较完备的信息,从而使我们有可能会在新的起点上对该现象/对象的认识达到新的水平。信息的完备性是“谱”的根本性质。地学信息图谱不是系列图、不是地图集;信息的完备性是从“图集”向“图谱”跃进的关键,也是“谱”与“集”的根本区别。因而,地学信息图谱应该可以创建无限的地学情景:它的成果不是有限的系列图,而是无限的情景组合,可以根据需要瞬间产生任意情景或情景组合。

“地学信息图谱”的提法虽然来自于传统图谱的概念,但它基于地理学第三代语言(GIS)和数字地球背景的地理学研究战略,完全超越了传统的区域地图和传统图谱的框架。地学信息图谱与经典图谱(集)的比较,见表 1-1。总之,地学信息图谱研究是一个集地学知识体系、数字集成分析、规律探索创新于一身的反映数字时代特点的地理研究体系。通过地学信息图谱研究,可以使传统地理研究得到全面提升。