

地理信息 系统原理

兰运超 利光秘 袁征
编 译

GIS

广东省地图出版社

地理信息系统原理

兰运超 利光秘 袁 征 编译

广东省地图出版社

地理信息系统原理

兰运超 利光秘 袁征 编译

广东省地图出版社出版、发行

广州军区空军政治部印刷厂印刷

850×1168 大32开 7 $\frac{1}{3}$ 印张 164千字

1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷

印数：1—3,000

ISBN7—80522—121—9 / K·176新登字440号

定价：4.50元

编译者的话

地理信息系统(Geographical Information System—GIS)是近年来迅速发展起来的一门新兴技术。它作为制图学、计算机技术、地理、遥感、统计、测绘、通讯、规划和管理等学科交叉运用的产物,代表了现代计算机应用技术和其他学科相互渗透的发展方向。

我国许多大学、科研机构和应用部门正在从事 GIS 方面的教学、研究和应用开发工作。特别是近几年来,愈来愈多的部门和科技工作者相继加入到这个行列。目前,国内有关地理信息系统(GIS)方面的资料较为缺乏,迫切需要基础性强,比较系统、全面地论述 GIS 原理和应用方面的书籍作为工具,以便满足广大科技工作者从事 GIS 领域的教学和科研需要。

该书原文版由英国牛津大学出版社出版(1986)后,在欧洲许多国家的高等院校都用它作为地理信息系统专业的基础教材,同时也为众多 GIS 领域的技术人员使用。这是一部第一次把信息系统原理和应用综合到一起的著作之一,它比较全面、系统、详尽地论述了地理信息系统的基本概念、原理、方法和应用。包括了地理信息系统的建立,传统地图与计算机辅助制图、数据库原理、专题图和计算机系统的选择与配置。重点论述了 GIS 的定义、建立、评价、应用与开发以及将来的发展方向。

本书第一、三、五、七、八、九章均按原文翻译,仅在文中加了一些章节编号。第二、四、六章在内容上有些调整和少量的删节。调整和删节的原因:一是为了将有关内容归纳到同一章节内;二是为了缩减篇幅。原著者例举的许多参考文章的作者姓名等也作了删除,每章后面的参考文献均未译出。

我们把这本中文编译版奉献给国内广大读者,意在为从事 GIS 教学、研究和应用开发的科技工作者抛砖引玉。由于水平有限,时间仓促,错误在所难免,恳请广大读者指正。

本书译著过程中,得到武汉测绘科技大学制图系费立凡副教授的指导,谨此深表感谢。

编译者

1991年10月

目 录

第一章 地理信息系统	1
§ 1-1 引言——地图和空间信息	1
§ 1-2 计算机辅助制图和地图分析	4
§ 1-3 地理信息系统	7
§ 1-4 地理信息系统的组成	9
§ 1-5 GIS 的发展方向 and 趋势	14
第二章 专题地图的数据结构	16
§ 2-1 地理信息系统的数据特征	16
一 参考系统	16
二 点、线、面	16
三 地图的定义	17
§ 2-2 地理数据的计算机表示	17
一 计算机内的地理数据	17
二 计算机内的数据组织	18
三 数据文件	18
四 地理数据的显式和隐式表示	20
§ 2-3 数据库结构	21
一 层次数据库结构	21
二 网络数据库结构	22
三 关系数据库结构	23
§ 2-4 栅格数据结构	24
一 栅格数据的概念	24
二 层的概念	25
三 栅格数据的组织方法	26

四	减少栅格数据存储量的编码方法	27
§ 2-5	矢量数据结构	31
一	点实体	32
二	线实体	32
三	面实体	33
四	矢量数据结构的其他特点	40
§ 2-6	栅格和矢量数据结构的选择	43
一	栅格和矢量数据结构均为有效的方法	43
二	以矢量和栅格为基础的关系数据库	44
三	矢量与栅格数据结构的详细比较	20
第三章	数字高程模型	48
§ 3-1	DEM 的必要性	48
§ 3-2	DEM 的表示方法	48
一	数学分块法	49
二	图象法	49
§ 3-3	DEM 的数据源和采样方法	54
§ 3-4	DEM 的应用	55
一	三维方块图、剖面图及地层图	55
二	视线图	59
三	等高线图	62
四	坡度图和坡向图	62
五	地貌晕渲图	64
六	地貌晕渲图与其他专题地图的叠置	66
七	从 DEM 数据自动形成地形轮廓线	67
第四章	数据输入、存储和输出	69
§ 4-1	数据输入	69

101	一	空间数据的输入	69
101	二	非空间属性数据的输入	79
101	三	空间数据和非空间数据的连接	80
101	§ 4-2	数据检核和存储	81
101	一	一般检查	81
111	二	误差检核	81
111	三	橡皮板变换和弯曲	83
111	四	数据检核	85
111	五	数据编辑	86
111	六	数据存储	87
121	§ 4-3	数据输出	87
121	一	矢量数据输出设备	90
121	二	栅格数据输出设备	91
121	三	交互图形工作站	93]
131	四	图形输出软件	94
131	五	数据表示	95
131	§ 4-4	用户接口	96
131	一	菜单	96
131	二	命令语言翻译程序	97
131	三	缺省	99
131	四	求助功能	99
141	五	窗口功能	100
	第五章	地理数据的分析方法	101
141	§ 5-1	引言	101
141	§ 5-2	简单数据恢复	101
141	一	布尔逻辑运算	103

03	二	重分类与显示	105
07	三	多幅地图的布尔逻辑运算	106
08	§ 5-3	地图叠置的一般方法	107
18	一	几个概念的定义	108
18	二	点、区域、邻域变换函数	109
18	§ 5-4	自然语言命令组成的制图模式	114
28	一	概述	114
28	二	常用自然语言命令示例	115
08	三	把自然语言命令序列连接成制图模式	116
18	四	三个实例:用于发展中国家土地评价的制图模式	117
28	五	制图模式的优缺点	124
	第六章	地理信息系统的数据质量	127
10	§ 6-1	一般质量问题	127
10	一	明显的质量问题	128
40	二	测量数据的质量	130
20	§ 6-2	处理过程引起的数据质量问题	132
00	一	计算机字长引起的误差	132
00	二	拓扑分析引起的问题	136
70	三	多图叠置与边界相交引起的问题	136
00	§ 6-3	矢量数据栅格化引起的质量问题	136
00	一	拓扑匹配误差的估计	137
001	二	例子	141
101	§ 6-4	数字化误差	142
101	§ 6-5	多层多边形网叠置的误差	144
101	一	多层叠置引起的拓扑匹配问题	144
101	二	多层叠置引起的属性组合误差	146

§ 6-6	多边形的边界特征	151
一	边界的一般特征	152
二	边界的统计特征	153
第七章	数据分类法	161
§ 7-1	分类	162
一	连续变量的区间分类法	162
二	外生—特殊类别区间	165
三	等值区域地图中的视觉表象和信息容量	166
§ 7-2	多变量分析及其分类	167
一	主成分分析	167
二	聚群分析	168
三	单个数据项到现有类别的分配方法	172
§ 7-3	GIS 的专家系统	174
第八章	空间内插法	176
§ 8-1	现存的内插方法	176
一	边界内插法	177
二	体现渐变特征的内插法	178
§ 8-2	整体内插法	179
一	趋势面分析	179
二	趋势面分析的显度	181
三	付立叶级数	182
§ 8-3	局部内插法	182
一	样条函数	182
二	移动平均法	185
§ 8-4	空间自协方差最佳内插法	187
一	概述	187

二	例子	189
三	空间变化的方向性	192
四	用半可变图模型内插	193
五	存在趋势时的 Kriging 模型	196
六	通用 Kriging 模型的应用和局限性	198
七	Kriging 的复杂性	198
八	Kriging 模型扩展到大区域	199
§ 8-5	kriging 法与其他内插法比较	199
第九章	选择合适的地理信息系统	204
§ 9-1	确定地理信息系统的需求状况	204
一	用户类型和用户要求	204
二	应用范围	205
三	技术选择	207
四	财力状况	208
五	人力状况	209
六	组织状况	210
七	GIS 设备和人员的费用	211
§ 9-2	建立地理信息系统的过程	214

第一章 地理信息系统

§ 1-1 引言——地图和空间信息

分析整理地球表面的空间分布数据是社会工作者长期以来的主要工作之一。古代文明到现代社会，航海家、地理工作者、测绘工作者都致力于空间数据的收集整理，制图工作者则以地图形式表示这些数据。最初，将地图用于描述遥远的地方，为航海和军事目的服务 (HO-dgkiss 1981)。罗马时代，土地测量员是组成政府的重要成员之一。现在欧洲土地景观中还能见到他们劳动的一些成果 (Dilke 1971)。土地测量和地图生产随着罗马帝国的衰落而衰落。直到 18 世纪，欧洲文明才又一次达到高度组织的状况，许多政府意识到对其管辖的土地进行系统制图的意义，积极委托政府各部门生产整个国家的地图。这些强制性的制度一直延续到现在并成为用地图形式表示地面空间分布或地形的传统方法。过去的 200 年间发展了许多特殊的制图风格，它们的共同点是制图标准要求较高。这一高标准要求长期以来从未终断。

不断增强的欧洲势力影响整个世界时，他们的制图方法也传播到了其他国家。地球科学研究的发展需要对新的内容制图。例如从 19 世纪开始，地质、地貌、土壤、生态和土地等自然资源的研究与评价发展较快，为制图工作提供了大量的新内容。其中地形图仅认为是一般目的的制图，岩类、土壤类型和土地利用类型分布图则是更有专门化目的的制图。这种特殊目的的地图通常称为“专题地图”，因为专题地图只反映单一物体或单一项目的信息。为便于用图者理解和定向，专题地图常常将地形要素简化作为基础图。

“专题地图”这一术语的含义很广，使用也不严格（见 Fisher 1978），不但可以用于表示“土壤”、“地形”等一般目的的地图，还可用来表示较为特殊的特征，诸如实验区内土壤 PH 值的分布，城市中某种疾病的影响范围，天气图上大气压的变化情况等。专题地图表示的数据项目可以是质量（如土地利用类别），也可以是数量（如钻井地带的深度变化量等）。质量和数量信息都可用等值区域图—由边界线分割出来的等值面表示。典型的例子是土壤地图、土地利用图、人口分布图等（图 1-1）。表示量的数据可假设为一个能用数学方法模拟的连续表面，

然后用等值点的连线——等值线表示成地图。地形图上的等高线、等地下水水位线和天气图上的等压线等都是典型例子（图 1-2）。

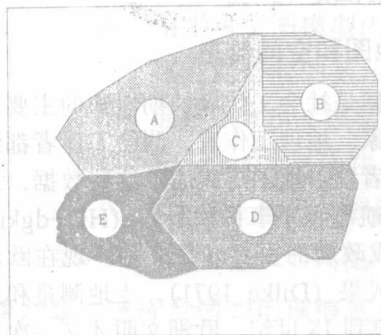


图 1-1 等值区域图示例

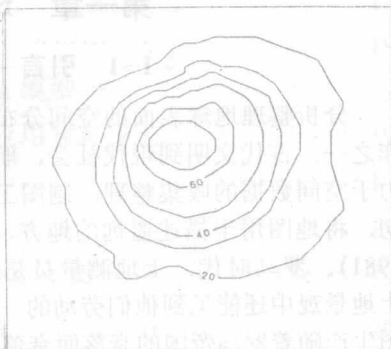


图 1-2 等值线图示例

二十世纪以来，人们对地形图和地表的各种专题地图（例如自然资源专题地图）的需求量迅速增加。立体航空摄影和遥感成像技术的发展，使摄影测量工作者能以很高的精度、快速地进行大面积测图，同时也为地球资源科学家们如地质学家、土壤学家、生态学家和土地利用专家等提供了极为优越的条件来进行资源勘探和中等详细度的制图工作（美国《摄影测量与遥感》1960），产生的专题地图已是资源调查和管理最有用的信息源泉。为使粮食生产和承载人口的土地需求量与气象、土壤、水等自然环境及可供使用的生产技术要素相匹配，发展了土地评价方面的研究工作（如 Brinkman 和 Smyth 1973, Beek 1978）。

岩石或土壤、植物群落或人的空间分析，都是从定性研究开始的，正如许多新科学的发展一样，测量或调查的首要目的是“清查”——观察、分类、记录。分类与制图的定性方法不可避免地产生大量的复杂数据，大多数环境调查方法都产生大量数据。定量描述的障碍在于相互矛盾的两个方面：数据容量大和数据观测量不足，另外还缺乏合适的数学工具来描述空间变化的数量关系。三十年代和四十年代期间，与统计法、时间序列法的发展并行，首次发展了描述空间变化的一种适用的数学方法。但这一有效的发展终因运算工具缺乏而被迫停止。六十年代数字计算机投入使用以来，空间分析的概念模式、数量专题制图及空间分析的实际应用的可能性才得到真正地发展（Cliff 和 Ord 1981, Journel 和

Huijbregts 1978 等)。

地球科学家离不开空间数据和空间分析,其他领域的科学家们同样离不开。例如城市规划、地籍工作者需要更为详细的城镇土地和资源的分布信息;市政工程师要进行道路和河道线路的规划并估算包括填挖土方量在内的各类经济费用;治安人员要掌握各种犯罪活动的空间分布;医务工作者需要疾病流行的空间分布与状况;商业工作者对商品的产销、潜在市场的空间分布极感兴趣等。数量繁多的基础设施——正确的名称应为“公用事业设施”如水、气、电、电话线、排污系统等都需利用空间数据和空间分析,然后以地图的形式加以记录和处理。

计算机应用于测绘以前,各类制图都毫不例外地把绘在纸张或薄膜上的地图看成空间数据库,空间信息则以点、线、面的形式记录,这些基本实体(点、线、面)再用各种显示技巧(形形色色的符号、颜色和文字编码)加以表示,符号、颜色和文字的含义则用图例说明,更为详细的信息则记载于附件中。

由于纸质地图和附录作为数据库,在收集、编码和重新利用地图包含的信息时产生了不良的后果:(1)原始数据量必须大大压缩或分类,才能使地图易于理解和表示,因而综合、损失掉许多碎部特征;(2)地图描绘必须极为精确,地图内容尤其是复杂内容的表示必须十分清晰易读;(3)信息的绝对容量意味着:比例尺一定时,一个大面积制图区域需用多幅地图描绘。共同的经验证明,人们感兴趣的部分有时恰恰落在多幅地图的接边地带;(4)一旦数据表示于地图后,要从中恢复某些数据以便与其他空间数据组合分析时显得很困难且费用高;(5)印刷地图是静态定性资料,如要为特殊目的制作专题地图时制图单元内的定量空间分析难以凭借新收集的信息。

数据收集、编辑及地图印刷出版还需花大量资金和时间。况且,如果新地图必须从普通地图中提取某一单要素,再由手工绘制,制图工作几乎无法进行。另外,一幅地图印刷出版后不可能不修改,目前科研的要求是即时得到有关地表变化的信息,这种情况下传统制图方法就完全不适应了。例如天气图、电话分布图等类型的制图,因数据每天甚至每小时都在变化,要即时更新数据库中的数据并立即绘出新的地图,传统的手工制图法是绝对办不到的。

在特定时期,按特定规则及测量员的特定观点观察实地状况后,用手工绘制图件或资源调查图件也是必不可少的。近来人们能用航空摄影

特别是卫星遥感监测土地的动态变化过程；了解沙漠化、土壤侵蚀等缓慢变化进程，或是森林火灾、洪水、蝗灾和天气等的迅速变化状况等。然而航空和航天遥感产品是图象和记录在磁带上的数据流，而不是地图。数字数据是二维陈列中的象元编码，而不是人们熟悉的表示地表点线面特征的图式符号。象元编码仅仅是一些用来表示一定波段中电磁辐射反射强度的数字，需用新的设备将这些数据流转换成图象，再从图象中识别有意义的物体。最初，制图工作者还没有掌握这些新技术，于是数学家、物理学家、计算机科学家在军事部门的大力支持下培育起来了新兴的遥感技术、图象分析技术和模式识别技术等。传统的空间数据管理者反而没有从事这方面的研究。制作地球图象的新实践者们采用了与测量学家、制图学家和其他传统空间分析领域中的科学家完全不同的方法。起初，他们有点夸大其辞的宣称：不需要费用过高的外业测量就有能力用遥感和图象分析技术进行地表特征的识别与制图。后来他们才认识到只有与实地数据结合，从遥感数据分析中产生的结果才具有真正价值。就是说要使判读结果与实地一致，就必须进行适当的外业调查。为便于图象校准，还应按适当的大地测量网对图象进行定位纠正，否则获取的信息不能有确切的相关位置。因此，遥感、地面测量与调查和制图技术必须紧密结合起来。地理信息系统(GIS)之类的制图工具使这一结合成为可能。

§ 1-2 计算机辅助制图和地图分析

六十——七十年代期间，空间数据应用的趋势是资源调查、土地评价和规划等领域。各个科学领域的科学家们认识到地表各特征之间的相互联系，相互影响这一事实之后，开始寻找一种综合的多学科，多目的的调查、分析方法来评价地表特征。现有两种方法可用：第一种方法试图找出自然生成的、按研究的各种属性的总作用加以认识、描述和制图的环境单元 (Hopkins 1977)。假设在“环境单元”中存在着由地形、地质、土壤、植被、水等环境要素组成的能被识别的唯一而独立的组合。Vink (1981) 称这种组合为“相关复杂性”。

这一基本思想已用于综合性资源调查，典型例子有澳大利亚综合资源和土地系统调查 (Christian 和 Stewart 1968)，英国资源分配 (现在叫做土地资源发展中心 Brunt 1967) 以及荷兰恩斯赫德 ITC 进行的资源调查工作等。

综合调查结果的主要问题是：对许多应用目的来说，这些结果过于一般化，难以从中重新生成土地景观中特定属性的特殊信息。于是单学科调查的传统方法被保留下来。例如，地质、地形、土壤、植被、土地利用等分别测量和调查，且比例尺也愈来愈大。

用户面对大量单学科资源图又需寻找另一种信息综合方法，来综合描述、或重新分类、或制图综合。实践中，规划师、土地景观建筑师（特别是美国）已从原理上认识到各种单项资源测量数据的组合和综合，可以简单地在透光桌上进行单项资源透明薄膜图的叠置处理来完成组合工作，并找出各叠置层上多边形边界一致的部分。这一技术的最著名倡导者之一是美国土地景观建筑师 Ian Mcharg (Mcharg 1969)。另一名美国建筑师和城市规划师 Howard T. Fisher 精心地利用了 Horwood 的思想—用计算机在平板格网纸上打印统计数值并绘出简单地图。Fisher 的绘图程序 SYMAP (同步制图系统的缩写) 包括一系列数据分析和数据处理模式，用这些模式可以生产等值区域或等值线内插图，而且能用多种方法显示分析结果，其中一种显示方法就是字符重印产生适当灰度级的地图。

Fisher 是哈佛研究生院计算机图形设计实验室主任，他的绘图程序 SYMAP 是当时国际上享有较高声誉的工作者所编制的制图生产线程序包中的第一个程序。这些程序中包括著名的栅格制图程序 GRID 和自动进行地图叠置的程序 IMGRID。很自然，除哈佛工作组在这一新领域中进行研究外，还有其他许多工作者也在进行类似的研究，并开发了一些相似功能的程序 (例如 Duffield 和 Coppock 1975 等)。起初，所有这类程序在原理上都不让用户进行 Mchary 未作过的事，只是用计算机完成他所做的工作，使其速度快、可重复生产而已。用户在进行简单地图叠置过程中还发现地图叠置程序稍加修改就能对制图数据进行许多其他类型的空间分析和逻辑分析，例如规划研究 (Steinitz 和 Brown 1981)、生态研究 (Luder 1980) 等用传统手工操作极难完成的分析。我们也许从过去的工作中注意到了：虽然各科学领域的术语及数据来源都大不相同，但用于栅格地图分析程序中的许多方法与首先用于遥感数据处理中的方法基本相同。

由于 SYMAP、GRID、IMGRID、GEOMAP 以及其他一些相对简单的程序都是为栅格数据分析这种快速便宜的方法而设计的，并且最初只能用粗糙的行式打印机输出分析结果图，使许多制图工作者拒绝承

认这种图可作为地图使用。六十年代,制图工作者已开始利用计算机技术,但到目前为止还局限于印刷地图的准备、或辅助草绘图件等。新的计算机科学技术并没有改变传统制图生产的特征—基本的数据存储方式和最终产品仍然是高质量的纸制印刷图。

然而,到1977年,计算机制图的历程向前迈进了一大步,致使Rhind (1977) 能有力地说明制图领域使用计算机的如下原因:

- 1、更快地生产现有地图;
- 2、更便宜地生产现有地图;
- 3、生产特殊用户需要的地图;
- 4、缺少技术人员的情况下生产地图;
- 5、允许用同样的数据产生不同图形表示的实验;
- 6、应用数字形式的数据能使地图生产和修测更加方便;
- 7、易于进行统计分析与制图工作要求相互作用情况下的数据分析;
- 8、改变印刷地图当作数据存储的应用方法,因而减少了数据分类和数据综合对质量的影响;
- 9、生产手工方法难以生产的地图,如三维地图、立体地图等;
- 10、生产那些已确定地图内容的取舍原则并连续生产的地图;
- 11、自动化的引入能导致整个地图生产过程的革新、节省和改进。

七十年代末,各政府部门特别是北美洲政府部门和私人企业已投入大量资金开发利用机助制图科学 (Tomlinson 等 1976)。从那时开始确实开发了数百种用于各种制图目的的计算机程序或软件系统 (Marble 等 1981)。估计在北美已安装了约 1000 套地理信息系统,到 1990 年预计会达到 4000 套 (Tomlinson 1984)。欧洲的发展规模比北美小,但一些国家如瑞士、挪威、丹麦、法国、荷兰、联合王国、西德等已在应用和开发机助制图方面迈出了大步。

引入机助制图后,不象人们希望的那样立即产生节省费用的直接效果,因为购买或开发一种新工具往往相当昂贵 (Burrough 1980),而且总是缺乏训练有素的工作人员。许多机助设计和计算机图形系统的生产厂家发现机助制图市场是变化多端的,以致于不太可能从市场收回开发软件的主要投资。因此,许多已购买昂贵系统的用户都集中于雇用软件人员来开发他们需要的软件。还有许多制图部门甚至不了解新系统到底能作些什么,是加快进行现有工作,还是能给空间数据用户提供更为广泛的产品?有的部门对这种新技术未经过恰当的试验,这就是说该部门

引进新的机助制图系统后没有进行必要的工作流程结构调整和实践结构调整,使新技术能有效工作。技术发展,尤其是计算机硬件技术的持续高速发展,使管理能力脱节。在这种情况下,要保持机助制图技术的客观效果并用以分析解决制图基本实际问题都是相当困难的。于是,在地图生产部门,自动化的机助制图技术通常仅用于精确的底图绘制、等高线扫描、印刷图的制版胶片图准备等。看来,许多制图工作者还没有意识到这项新技术的潜力,即有了数字形式的制图数据并存储于大型数据库中之后就可用来进行许多非常重要的空间问题分析。我们注意到 Poiker (1982) 对“计算机制图”的评论:“计算机制图就象一个具有青年运动员的体格和儿童思维能力的人一样”。加拿大制图协会主席抱怨说:“制图工作者仍然相信机助制图的唯一用途是帮助驱动绘图笔去复制地图”(Boyle 1981)。

Boyle 和 Poiker 的这些评论阐明了现有手工制图技术自动化的普遍问题,即课题本身的概念模式应与自动化技术并行发展。计算机科学家 Weizenbaum 早就认识到这个问题的重要,并于 1976 年提醒人们:“加强特殊技术(即引进自动化)——为此花费了很大力气——但它的有效性却不起作用……。如果新技术在处理预想的问题时确实很重要,还需奋力解决隐藏的技术贫穷问题。问题难度越大,则在解决问题过程中获得的技术成就越大,原技术也就更加扎实。”他的评论对计算机制图来说听起来是真实的。因为要解决空间数据编码、建立地图数据库并保证计算机能可靠地重复生产那些有技能的制图员能生产的产品等方面的拓扑和计算问题都是极为困难。计算机制图的确是资金密集的技术发展过程,曾耗去了几百个计算机程序员年。并且多半用在解决现存手工方法的自动化问题上,还没有着手寻找处理空间数据的新方法。

六十年代、七十年代期间,计算机制图方法的应用形成两种主要趋势——一种是现有制图任务的自动化,重点在于制图精度和质量;另一种侧重于空间分析,但却以损失精细图形输出为代价。我们将看到,计算机制图技术的发展很大程度上反映了当代技术的能力,过去几年中,计算机技术的新发展对进一步提高这种新制图技术具有很大的促进作用。

§ 1-3 地理信息系统

计算机用于制图和空间分析的历史表明,在一些较为广泛相关的科学领域中,数据自动获取,数据分析和数据表示等得到了同步发展。这