

Guangyi DEM Yu Dimao Shuixi Yitihua Zonghe

广义DEM与地貌水系 一体化综合

Guangyi DEM Yu Dimao Shuixi Yitihua Zonghe

黄丽娜 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

广义DEM与地貌水系一体化综合

黄丽娜 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

广义DEM与地貌水系一体化综合 / 黄丽娜著.

—北京: 知识产权出版社, 2016.7

ISBN 978-7-5130-3912-3

I. ①广… II. ①黄… III. ①测绘学 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第265586号

内容提要

地貌综合是地图综合中的一个重要组成部分,也是其中的难点之一。地貌客观存在于三维空间,其形态复杂、表现形式多样,因此其数据的表达形式也多种多样,这就使得地貌综合成为最复杂的信息变换,具有高度的挑战性。

本书从三维信息承载的角度,以全新的思维方式重新审视了地貌综合问题,并提出应基于对地貌三维信息的理解,将地貌建模的概念延伸至广义DEM形态,以此保证不同形式的DEM在综合前后都能获得表达效果上的统一。

本书适合于地图制图及测绘工作者阅读,也可作为高等学校相关专业的教学参考书。

责任编辑: 祝元志

封面设计: 刘 伟

责任校对: 董志英

责任出版: 孙婷婷

广义DEM与地貌水系一体化综合

黄丽娜 著

出版发行: 知识产权出版社 有限责任公司

社 址: 北京市海淀区西外太平庄55号

责编电话: 010-82000860 转 8513

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

印 刷: 北京中献拓方科技发展有限公司

开 本: 720mm × 960mm 1/16

版 次: 2016年7月第1版

字 数: 186千字

ISBN 978-7-5130-3912-3

网 址: <http://www.ipph.cn>

邮 编: 100081

责编邮箱: 13381270293@163.com

发行传真: 010-82000893/82005070/82000270

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

印 张: 13.5

印 次: 2016年7月第1次印刷

定 价: 58.00元

出版版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

前 言

地图综合是地图学中最富挑战性和创造性的研究领域之一。通过减小地形的复杂程度、保持地形的易览性,在不同比例尺的地图制作中实现同类信息的最大保真,是地图生产的一个重要内容。其中,地貌和水系作为主要的自然地理要素,一直是国内外各种地形图中不可或缺的基本符号,却在当代数字环境下成为长期困扰地图制图领域的一个综合难题。究其根本原因,是由于地貌和水系是连续存在的地理现象,在传统的地图制图综合中,人工操作时一般都可以先对水系进行综合,然后以综合后的水系作为地形结构线来控制等高线形态的化简,从而保持两者之间的套合关系。但对于计算机自动处理而言,它还不具备人类与生俱来的视觉记忆和联想判断能力,因此,难以在等高线综合过程中实时参照经综合后的水系并做出正确判断,甚至经常会在自动综合过程中出现单线河不流经各等高线的局部曲率最大处抑或河流爬坡等不合常理的现象。为解决这些问题,目前在地图生产过程中还只能通过人工判读去进行综合成果的二次纠正,耗费的人力、物力十分惊人。

作者提出不从等高线及水系图形这些二维地图符号入手,另辟蹊径,将视角回溯至原始存储地貌与水系的三维地理特征点信息,将地貌与水系上的点统一看成是地表描述的广义数字高程模型进行一体化综合。该方法能够得到符合不同地图比例尺显示需要的综合结果,同时还保持自然界地貌和水系要素间固有的和谐关系,从而减少后期人工介入。本书对于提高我国基础地理信息的数据质量和应用水平具有

明显的学术价值和社会经济效益。

本书得到了“数字制图与国土信息应用工程”国家测绘地理信息局重点实验室和地理信息系统教育部重点实验室的热情帮助和大力支持。武汉大学费立凡教授、艾廷华教授、毋河海教授、郭庆胜教授，湖北大学何津副教授等给本书提出了宝贵的意见和建议。在此表示感谢！

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 问题的提出	1
1.2 国内外研究现状	7
1.3 本书的研究内容和写作安排	20
第二章 地貌、DEM与广义DEM.....	22
2.1 关于地貌的一般特征论述	22
2.2 地貌形态的DEM建模	27
2.3 从DEM到广义DEM.....	41
2.4 小结	49
第三章 基于广义DEM的地貌三维综合模型.....	51
3.1 地貌三维综合的基本思想	51
3.2 地貌三维综合的约束条件	55
3.3 基于广义DEM的地貌三维综合框架	59
3.4 小结	67
第四章 基于3DDP的地貌三维综合算法.....	69
4.1 三维Douglas-Peucker算法	69
4.2 考虑邻近特性的空间排序	81
4.3 基于视觉辨析的特征选取	96
4.4 特征点提取的分块法加速	113
4.5 实验结果分析	114
4.6 小结	126

第五章 地貌与水系一体化制图综合实现.....	128
5.1 地貌与水系一体化综合思想	128
5.2 地貌水系特征点的一体化提取	135
5.3 综合结果的图形再现	146
5.4 一体化综合结果分析	161
5.5 小结	165
第六章 关于两个重要问题的讨论.....	167
6.1 讨论一：综合程度的自动控制问题	167
6.2 讨论二：地貌综合结果的评判问题	173
6.3 小结	184
主要参考文献.....	186
附 录.....	205
后 记.....	207

第一章 绪论

1.1 问题的提出

1.1.1 地图综合的本质是地理信息综合

地图综合是地图学中最富挑战性和创造性的研究领域之一（王桥，1995；毋河海，2000）。在数字环境下，地图综合的内涵与外延发生了变化：地图综合不再局限于图纸上的绘制，而是贯穿地图信息的获取、存储、分析和显示的全过程（郭庆胜，2000）。在多比例尺地图生产或可视化领域，地图综合可以在给定的空间和精度范围下减小地理数据的复杂程度并保持地图的易览性；当进行信息传输时，地图综合能达到最有效压缩数据效果；当涉及地理空间知识的认知时，地图综合则成为获取空间知识和进行数据挖掘的重要手段（李霖和吴凡，2005）。地图综合的背后是对地理（现象）的认知与抽象：它以一定的概括手段，从庞大而复杂的信息数据中去粗取精，从而揭示事物本质。

数字环境下的地理信息具有数据存储和可视化分离的特点，地图综合即是对空间数据库中存储的地理实体信息以及它们之间的关系信息进行评价、抽象、选择和概括。当需要以图形形式输出时，再通过可视化手段对经综合的地理数据按给定的比例尺进行符号化表达。从综合实现的进程实质上看，地图综合的本质就是信息变换，即根据不同的用途对空间数据详细程度的要求，对初始的对象集合进行数量、质量和关系变换，得到新的对象集合（毋河海，1995）。这一过程可以具体描述如下：根据一定的条件（目的、用途、比例尺），把数据库中初始状态（比例尺1，地图性质

1, 地图用途1……) 的实体集 $E_{\text{初始}}=\{e_{\text{初始}}\}$ 及其关系集 $R_{\text{初始}}=\{r|r \in E_{\text{初始}} \times E_{\text{初始}}\}$ 变换为新条件下(比例尺2, 地图性质2, 地图用途2……) 的实体集 $E_{\text{新}}=\{e_{\text{新}}\}$ 及其关系集 $R_{\text{新}}=\{r|r \in E_{\text{新}} \times E_{\text{新}}\}$ 。

1.1.2 地图综合中的难点是地貌综合

(1) 地貌数据急剧增长, 地貌综合的要求提高

科技的进步为人类认识和理解自然提供了越来越精细的观测平台。紫外、红外、可见光、微波、合成孔径雷达、激光雷达、太赫兹、高分辨率卫星、激光扫描系统、数码相机、成像光谱仪、GPS、全站仪等各种宏观和微观传感设备或技术的使用, 以及常规的野外测量、地图数字化等空间数据获取手段的更新和提高, 使得地形数据的获取变得高效快捷。1999年至2004年, 美国成功建立了由七颗卫星(TERRA、AQUA、QULA、ICESAT、SORCE、LANDSAT-7、AVRA)组成的“对地观测系统”(Earth Observation System, EOS), 它借助多光谱扫描仪、微波辐射计、合成孔径雷达等在内的21个传感器实现了对地球进行全天候、全天时并且不受云雾干扰的观测(刘闯, 2003), 其获取的地表分辨率也高达15m。然而, 这在给人们以(精度提高的)惊喜之余, 同时也带来了问题——因为仅TERRA每日获取的遥感数据量就达TB级, 并且TERRA与AQUA卫星的组合还实现了全球每天最少昼夜各2次的数据更新。在地貌数据极大丰富甚至过剩的情况下, 如何有效使用它们成了难题。类似的还有美国的国家地理情报局(NGA)和国家宇航局(NASA)等合作实施的“航天飞机雷达地形测量计划”(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM): 通过这一计划, 人们仅需11天便可采集覆盖全球面积80%的高精度高程格网数据, 而且其水平绝对精度可达20m, 高程精度高达16m。这些数据极大地满足了人类研究地球资源和环境的潜在需求, 提供了丰富优质的数据源, 但同时也带来了海量数据在数据量、时效性和复杂性等方

面日益凸显的问题。

近年来,随着地理信息系统(GIS)和地图制图应用的深入,测绘、地质、地理、水利、交通、城建等科学研究领域和经济部门对各种比例尺的地貌信息的需求种类和规模与日俱增。在自动综合一直没有成果性进展的情况下,各国只得采用多种比例尺共存的方式,建立多级尺度(或多分辨率)地理数据库,通过花费巨大的工作量和存储代价来回避地图综合问题。目前,美国已建成1:2万、1:2.4万和1:2.5万的大比例尺数字线画地图(DLG),中比例尺1:10万中比例尺DLG地形图和1:200万的小比例尺DLG地形图,并已全部投入使用。英国建立了1:5万和1:1万两个比例尺的数字高程数据,既可单独使用,也可与大比例尺类及小比例尺类数据联合使用。捷克建立了领土全覆盖的1:5000、1:1万、1:2.5万、1:5万、1:10万、1:20万的系列基本比例尺地形图,其中除1:5000采用航空摄影测量成图法生成外,其他比例尺均采用编绘成图法逐级缩编生成。日本的国家系列比例尺地图包括1:2500、1:5000、1:2.5万、1:20万、1:50万和1:100万。我国的地貌数据主要以两种数据形式进行生产:DLG地形图(纸质或数字)和Grid DEM,已经基本完成了基本比例尺的数据建库工作[《国家基础地理信息系统数据库》(<http://www.sbsm.gov.cn/article/zszygx/chzs/jcch/jcdlxxxt/200812/20081200044790.shtml>),最后访问日期:2010.04.18]。从各国的地貌数据生产情况可知,由于地貌自动综合研究尚未足以投入实际生产应用当中,建立多尺度地貌数据花费了大量的财力和物力。根据现有的生产技术,通常采用大比例尺DEM生产下一级小比例尺DEM的方法来实现多尺度地貌数据的生产,与其说是地理信息,实质是概括程度不断增加的地图信息。而呈几何级数快速递增的海量地貌数据存储需求对这一做法的可持续性提出了严峻挑战。

(2) 地貌形态复杂, 地貌数据形式多样, 综合困难

自从计算机技术被引入地学领域、特别是20世纪50年代米勒(Miller)提出数字地面模型(Digital Elevation Model, DEM)的概念之后, 地貌数字化研究成了一个活跃的领域。地貌形态复杂多样, 各种地貌表达模型相继出现, 如规则格网(Grid)和不规则三角网(Triangulated Irregular Network, TIN)等图形的表达方式及其他一些数学化的表达方式(如傅立叶级数和多项式等)先后被提出且被广泛应用。

尽管如此, 到目前为止还没有任何人敢声称其方式能做到最有效地表达地貌形态。就拿目前应用最为广泛的三种地貌形式(等高线、Grid、TIN)来说, 等高线是最“古老”并且至今仍在工程领域广为使用的地貌表达形式, 但由于其对地形塑形的空间关系难以控制, 不便于土方量计算和坡度计算等地形分析, 在数字环境下的应用受到诸多限制; 而结构简单且易于组织管理的Grid则由于其均值性模糊了地貌形态单元的地形特征, 在山谷、山峰处所给予的信息量往往不足, 但在地形特征平坦的地方却又产生大量数据的冗余; TIN在目标表达的灵活性上强于Grid, 但其三角网的边常与地形特征没有直接关系, 这在应用上多少带来了些不便, 而其不规则性还使得它的存储和应用变得更加复杂(王涛, 2005)。

各种地形数据各有优点, 各自适用不同的领域, 相互之间也无法替代。虽然可以通过形式转换从一种地形数据得到另一种地形数据, 但受现在技术水平的制约, 总会引起不同程度的精度损失。大多数情况下, 这些损失还无法弥补。例如, 将等高线转化为TIN时, 会在山谷和山脊处产生大量的“平三角”, 导致地形特征失真; 由Grid生成等高线时, 需要充分考虑地形结构线、高程点和水系等其他特征。为满足社会的多层次需要, 在缺乏成熟而又通用的整合方案的情况下, 各国便通过建立多源的地理信息数据库来对这些数据进行管理。这当然会带来问题, 其中最为明显的一个例子就是: 对它们进行综合的技术更加复杂, 实现也愈加困难。因为即

使原先所有数据都做到了相互套合，却无法保证这些数据在综合之后还能保持一致。

（3）地貌自动综合研究刚刚起步、路尚漫漫

地貌数据与日俱增，数据形式多种多样，数据的时效性和复杂性日益膨胀。面对如此巨量的地形数据，过于详细的数据内容限制了数据处理的速度，而次要的、非本质的数据的引入，也会造成分析结果的不确定性。人们不再满足于简单的数据检索、查询，而是希望能够从纷繁复杂的数据中，随时随地地获取所需要的数据，提取主要的、本质的信息进行更高层次的分析。因此，涉及信息的认知时，综合成为了一种获取知识的工具和思维方式。

国内外众多专家学者给予了地貌综合极大的关注，提出了诸如滤波法、信息论法、数学形态学法、分形法、小波分析法等一批有价值的地貌综合研究成果（吴艳兰，2004）。然而，目前地貌自动综合的理论和算法研究还处于针对各种数据表达结构的探索阶段，“现存的所有方法都不能顾全地貌综合的各方面要求”（Weibel，1992），地貌综合结果仍不能令人满意。究其原因在于：一方面，各种不同的数据表达方式局限于各自的地貌信息模型空间，诸如山峰、山体、鞍部等地貌实体在地理数据库中难以直接表达或存储，不适用于更高层次的地形表达（Dikau，1989），导致综合过程复杂；另一方面，地貌综合需要多维空间思维，除了地貌实体本身的信息，还需要顾及邻近环境，即上下文关系，这有赖于对三维空间中地形信息的正确理解（毋河海，2000）。然而，到目前为止，对于这些问题的研究都还处于初步的探讨阶段。

1.1.3 地貌综合的难点是地貌信息的统一

地貌综合的实质是可视范围内的地貌三维空间信息在一定尺度下到主观感知的映射（Buttenfield和McMaster，1991；郭庆胜，1998；毋河海，

2000; Bicanic和Solaric, 2002), 由于前述的种种原因, 地貌综合成为了一种最为复杂的信息变换。从本质上讲, 对地表空间信息的抽象概括, 不管其程度如何, 都应该是基于对地理信息的化简, 而不应仅拘囿图形(或图像)化简。然而, 迄今为止, 国内外的地貌综合研究主要还是从图形化简或脱离空间内涵的信号分频角度(实际上它也能未能摆脱图形形式的限制)展开, 并针对具体DEM数据形式提出不同的综合算法。由此产生两个问题: 一是人作为认知主体, 对地貌形态的认知感受未受到足够重视; 二是由于地貌表达形式的多样化造成方法的不统一。如果说前一个问题还过于抽象, 那么对于第二个问题来说, 其产生的诸多不利实际上早已见诸端倪。其中最为典型的一个例子就是: 为了在DEM(现在人们通常以DEM来存储和表达地貌)生产过程中提高精度, 各生产单位往往会采用混合形式的DEM数据模型, 这就使得原来针对性很强的各种综合方法都难以实施。因此, 为了能够进行科学、统一的地貌综合, 一方面需要对DEM数据的信息本质和存储表达方式有充分的认识, 另一方面需要提出新的基于地形空间信息理解的地貌综合模型。

未基于统一的地貌信息观来进行地貌综合的另一个致命问题是, 无法从根本上解决多源数据的融合问题。目前, 各国在构建多尺度(或多分辨率)基础地理信息数据库时, 地形要素的综合均采用分要素进行的策略, 这便不可避免地出现要素间的拓扑冲突和逻辑冲突, 影响数据质量, 因此, 有时候必须采用移位和图形夸大的方法来解决这些问题(Bicanic和Solaric, 2002; Weibel, 1987)。为何会出现这种情况? 追根究底, 是因为现在人们对其他要素中所涵盖的地貌信息没有足够的认识。一切地表物体(水系、建筑、道路等)都立于地面之上, 或高或低, 其基底并非悬空而存在, 为何要在地貌综合时忽略它们的存在? 地貌综合需要空间思维的多维性——既要顾及其自身特征, 也必须顾及邻近环境[上下文关系(范青松, 2007)]。因此, 如何实现和谐的地貌综合, 是一项极具挑战性的

任务。

为此,本书提出将水系要素的三维特征及其对地貌形态的塑形作用予以充分认识,并将之融入地貌综合的范畴之中。为达到这个效果,本书立足于三维地貌信息的理解,探讨在综合过程中地貌信息变化与地貌形态变化之间的关系及其技术解决方案。对于地表上其他要素与地貌的和谐综合也可依此展开。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 地貌综合技术的发展阶段

地貌综合大体上经历了三个发展阶段,即地貌手工综合、地貌模拟综合和地貌自动综合。

第一阶段:传统地图制图阶段的地貌综合。在传统地图制图中通常采用具有可量测性的等高线组来表达地貌形态。制图员首先对地形图中的等高线进行判读,分析总体的地貌态势,然后勾绘出如谷底线、山脊线等地形特征线作为地貌骨架系统,用于指导细部等高线图形的形态化简、夸大、移位。因此,地貌的抽象和概括结果极大地依赖于制图员正确的地理学知识、丰富的制图经验和娴熟的作业技能。

第二阶段:机助制图阶段的地貌综合。20世纪50年代计算机辅助制图技术的出现,为地图制图提供了友好的模拟技术环境,制图员参照手工综合的技术路线采用绘图软件实施地貌综合,这被称为模拟综合。地貌综合的工作地点从纸质地图转移到计算机屏幕上,作业工具由小笔尖变为鼠标、绘图仪等,绘图软件提供的强大的数据组织和管理功能、编辑功能和表达输出功能,极大地提高了地貌综合的工作效率,但综合质量对制图员的主观依赖性却仍然很大,为了获得新的地形图产品,人们只关注综合前和综合后这两级状态。

第三阶段:数字制图阶段的地貌综合。数字技术的发展使得人们获取

的地貌数据极大丰富,对地貌能够实时自动化地进行抽象与概括提出了新的时代要求。国内外许多学者对地貌自动综合进行研究,提出了许多新的理论和技术方法。本书中的讨论也是针对这一阶段中的问题而展开。

1.2.2 数字环境下地貌综合的新特点

一般而论,数字环境下的地貌综合具有如下四个新的特点。

(1) 模型综合与可视化分离

在数字环境下,地图制图的最大特点是数据的存储与可视化分离,对于地貌综合也不例外。人们用空间数据存储地理信息(包含地理实体的位置、图形、属性及它们之间的相互关系),当进行地图图形再现时,则再根据给定的比例尺和图式符号系统对空间数据库中的地理对象进行可视化表达。由此产生了两种模型:数字景观模型(Digital Landscape Model, DLM)和数字制图模型(Digital Cartographic Model, DCM)(毋河海, 2000)。DLM面向地形实体,它从图形介质的符号表示系统中分离出来,通过属性、坐标、关系来描述地理实体及其之间的关系,是地理信息在数据库中的模型化表达。当按照特殊需求和专用图式符号对DLM或其子集进行图形化表示时,得到的则是DCM。

这对于地貌综合来说是一个新的情况。因为在传统(纸质)地图中多用等高线来表示地貌——此时的地貌综合通常只需要地形概括和等高线图形化简这两步操作(后者还需要考虑相邻等高线之间的冲突问题)——整个过程(抽象、概括,有时也包括冲突处理)几乎需要同时完成。而在数字环境下,对地貌信息的概括不再需要考虑采用什么符号进行可视化,也不涉及图形表达的艺术性和美感。取而代之的是,它所关注的是在满足精度要求条件下对地貌形态特征的描述更加抽象,即如何保留主要的、本质的地形特征,舍掉次要的、非本质的微地貌形态(剥离出“模型综合”过程)。现在模型的综合在地图综合各领域已经获得了广泛认可(Brassel和

Weibel, 1988; Weibel, 1995、1997; Dettori 和Puppo, 1998; 毋河海, 2000)。

如果说传统的综合过程属于 $DLM_1 \rightarrow DCM_2$ 范畴, 那么数字环境下的综合则明确划分成 $DLM_1 \rightarrow DLM_2 \rightarrow DCM_2$ 两个阶段。对于其中的模型综合过程($DLM_1 \rightarrow DLM_2$), 由于地理空间数据库中地貌信息的模型化表达多种多样, 有时可采用多种方法实现地貌的DLM综合。对此, Weibel (1987) 研究并提出了该过程中必须满足的几个基本要求, 以期由此获得一定的约束:

- 是直接面向模型的操作;
- 尽可能的自动化, 并且尽量少的交互修改;
- 可以导出多比例尺的新模型;
- 可根据地貌类型和制图目的调整综合方法;
- 可基于主要地形特征和地貌特点的认知来对综合结果进行各种视觉优化;
- 综合结果可用于地形分析。

模型综合和可视化使地貌综合的分离有利于优化地貌综合算子的选取, 进行综合过程控制, 以及实现细化综合结果评价。经模型综合后得到的新的DLM, 即 DLM_2 , 也可根据使用者的视觉需求进行地图设计, 并在不同的介质材料上进行图形再现。从应用的角度来看, 可以由同一数据库满足不同要求的输出产品, 因此, 更加灵活地增强了综合结果的适用性。

(2) 空间分析与地图综合相结合

综合的目的之一便是为获取空间知识或数据挖掘提供满足精度要求的简洁的数据集合。而模型综合通过抽象概括得到低分辨率下空间对象的主体结构、分布模式、空间关系等内容, 需要空间分析技术获得目标特征, 并利用分析技术评价综合结果对特征概括的程度。空间分析既有从无到有导出其他形式信息内容的分析, 也有从详细精确的数据进行抽象概括的宏

观分析,这个抽象概括过程正是综合研究所感兴趣的。对当下而言,地理信息环境下的综合动机不再仅是为适应比例尺缩小后的图面表达,制图概括也不仅是为了地理数据表达而进行的数据和图形转换,而是一种具有GIS数据表达、数据深加工等多种功能的数据转换方法和技术手段(齐清文和刘岳,1998)。

相对于其他地理要素,地貌综合产生的信息变换最为复杂。数字环境下,虽然普遍采用DEM来对高低起伏的地表形态进行建模,但是在空间数据库中存储的并不是地貌形态的实体,如谷底、山体等,而是通过离散手段——等高线、Grid、TIN等图形表达方式或抽象的傅立叶级数、多项式函数等数学表达方式来表示地貌形态(毋河海,1995)。在传统的地貌综合中,作业员根据制图经验,从等高线群中识别地貌实体是一件非常容易的事;但是在计算机的软硬件环境下,单根等高线本身整体与局部的嵌套关系、成组等高线之间的套合关系、隐含的山脊线与山谷线的主结构关系的自动识别和组织,是相当复杂的过程,涉及分形几何、计算机视觉、信息论、人工智能等方面的知识——于是这个领域也吸引了一大批计算机、数学、地质学等不同背景专家加入。

地貌综合需要整体识别区域的地貌结构特征,从宏观上确定空间分布的格局和层次,构建地形特征框架,建立综合结果的定量评价标准。而目前解决这些问题的理论通常以抽象的原则和概念性的描述来定性地表达,远未实现计算机自动综合所需要的计量化和模型化,这对地貌自动综合研究课题提出了挑战。所有的一切都表明:地貌综合需要空间分析研究的进一步深入。

(3) 多时相、多语义、多分辨率数据的集成

Internet技术为全球性空间信息共享提供了有利条件,数字环境下的地形数据采集源和采集手段也更加多种多样。不同时期、不同主题的地貌数据交错在一起,使得数据的规模空前壮观。空间数据存储手段使得人们