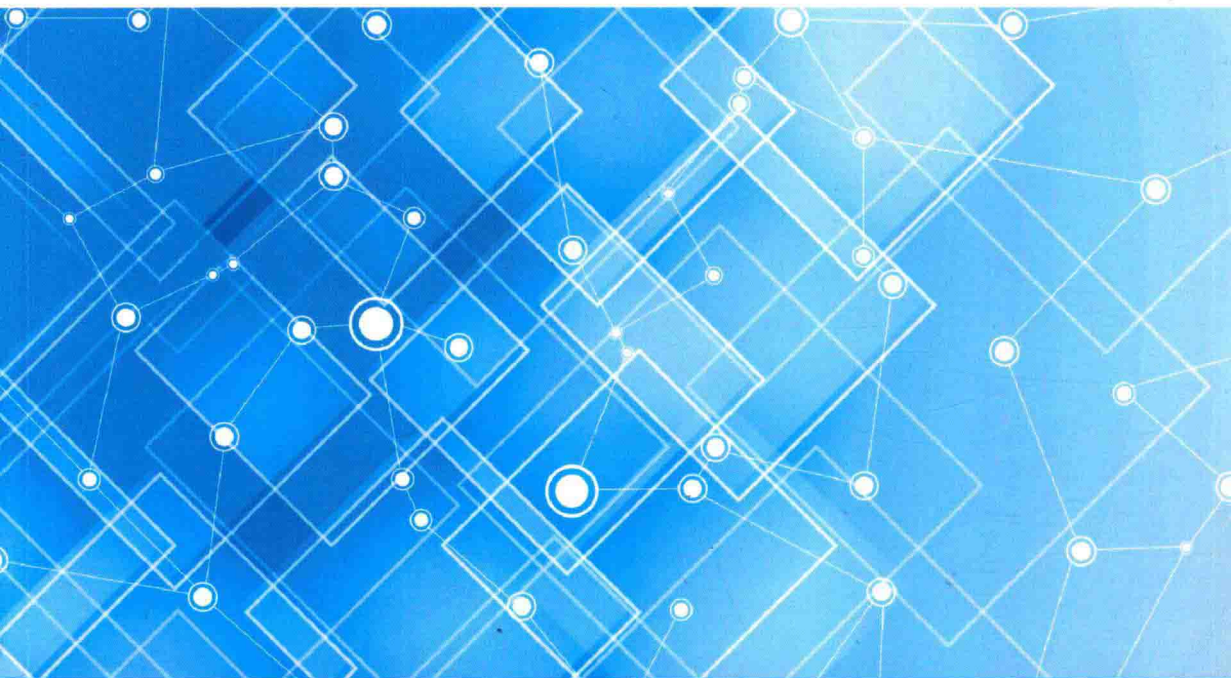


二维水系矢量数据

综合及绘制

冯 浩 黄 杰 王成智 等 编著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

三维水系矢量数据 综合及绘制

冯 浩 黄 杰 王成智 等 编著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

三维水系矢量数据综合及绘制 / 冯浩等编著. —北京: 科学技术文献出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-5189-3219-1

I. ①三… II. ①冯… III. ①水系—数字化测绘 IV. ①P641-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 198073 号

三维水系矢量数据综合及绘制

策划编辑: 孙江莉 责任编辑: 赵 斌 责任校对: 文 浩 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 虎彩印艺股份有限公司
版 次 2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷
开 本 710×1000 1/16
字 数 152千
印 张 10.25 彩插2面
书 号 ISBN 978-7-5189-3219-1
定 价 48.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

《三维水系矢量数据综合及绘制》

编著人员

冯 浩	国网湖北省电力公司信息通信公司
黄 杰	国网湖北省电力公司
王成智	国网湖北省电力公司
朱小军	国网湖北省电力公司信息通信公司
廖荣涛	国网湖北省电力公司信息通信公司
查志勇	国网湖北省电力公司信息通信公司
余 铮	国网湖北省电力公司信息通信公司
张 科	国网湖北省电力公司信息通信公司
刘 芬	国网湖北省电力公司信息通信公司
王逸兮	国网湖北省电力公司信息通信公司

前 言

随着“数字地球”和“全球信息网格”的提出和实施,人们对真三维的空间信息的取得、应用及其推广已经从基本的局部和地段发展到城市级、国家级和全球范围,科学研究、军事研究、生产应用等都需要建立在海量的空间数据的基础之上。GIS 的发展正经历着从二维 GIS 到三维 GIS 的深刻转变,正广泛且深刻地影响和改变着人们的生活。三维 GIS 的发展,能够包含和表达更加丰富的空间数据,突破二维数据对客观真实世界的表达的束缚,能重现人们对真实世界的视觉感受,已作为未来 GIS 发展的方向,备受企业界、学术界的关注。

在三维 GIS 系统中,在栅格数据应用方面,Google Earth 等三维 GIS 软件推出了实用化的栅格绘制技术,获得了巨大的成功,但在三维虚拟地球矢量应用方面,由于存在瓶颈问题没有得到解决,离大规模的实用还有较大的差距。例如,目前,三维软件只显示了主要城市的一些大比例尺的矢量数据,数据精度较差,不能直观地进行查询和分析,和 DEM 数据的结合也需加强。此外,大规模矢量数据的组织、绘制、查询、分析、统计等需要深入研究和技术攻关,才能早日走向实用化。其中,提供一个高效的矢量数据三维数据组织和绘制的解决方案是三维矢量数据查询、分析、统计和辅助决策支持的基础,是三维 GIS 系统中一个十分重要和具有挑战性的前沿研究问题。

本书提出一种基于遗传算法求取河网主流最优解的策略和方法。先将河网结构的问题看作选取主流的问题,将选取主流的问题看作一个全局最优的问题,在全局优化的问题中综合考虑拓扑信息和语义信息,提出了使用遗传算法的求解策略。求取河流的主流后,再建立河流的层次结构,实验验证了该方案的有效性。遗传算法能够综合考虑拓扑信息和水文、地形

等语义信息，能够更为准确地找到河网的主流，是一种易于扩展、性能稳定的优化求解河网主流最优解方案。同时研究和实现了屏幕显示条件下河网数据的快速无级综合。在确定了河网的主流之后，使用常用的 Horton 编码，对水系数据进行分级和结构化，之后通过三维环境下的无级综合的动态分解尺度选取综合化简的要素，运用本书提出的综合算子，最终实现了屏幕显示条件下河网数据的快速无级综合。

目 录

第 1 章 研究背景	1
第 1 节 三维 GIS 发展的需求	1
第 2 节 国内外研究现状	4
第 2 章 三维矢量数据综合简化	9
第 1 节 问题的提出	9
第 2 节 文献的分析和不足	10
第 3 节 解决方案	11
第 4 节 遗传算法确定主流的整体解决方案	13
第 5 节 基于 Horton 编码的河网结构求取	34
第 6 节 顾及地形语义的树状河网的快速无极综合算法	35
第 7 节 试验及试验结果	40
第 8 节 本章小结	52
第 3 章 顾及屏幕绘制优化、插值优化和综合化简优化的 统一金字塔数据组织	53
第 1 节 问题的提出	53
第 2 节 文献的分析和不足	53
第 3 节 解决方案	54
第 4 节 结合失真模型的数据集存储方案	60
第 4 节 基于一体化优化的金字塔组织三维矢量动态综合 绘制方法	65

第5节 本章小结	66
第4章 试验	67
第1节 系统介绍	67
第2节 典型试验、试验结果和试验结论	74
第3节 小结	93
第5章 总结与展望	94
第1节 研究总结和创新之处	94
第2节 研究展望	95
第6章 部分参考代码	97
第1节 三维绘制部分	97
第2节 矢量操作部分	104
第3节 矢量优化部分	117
第四节 地形和矢量结合的优化部分	133
参考文献	141

第 1 章 研究背景

第 1 节 三维 GIS 发展的需求

随着“数字地球”和“全球信息网格”的提出和实施，人们对真三维的空间信息的取得、应用及其推广已经从基本的局部和地段发展到城市级、国家级和全球范围，科学研究、军事研究、生产应用等都需要建立在海量的空间数据的基础之上。GIS 的发展正经历着从二维 GIS 到三维 GIS 的深刻转变，正广泛且深刻地影响和改变着人们的生活。三维 GIS 的发展，能够包含和表达更加丰富的空间数据，突破二维数据对客观真实世界的表达的束缚，能重现人们对真实世界的视觉感受，已作为未来 GIS 发展的方向，备受企业界、学术界的关注。

近年来，三维 GIS 的研究取得了长足的进步，一系列商业三维 GIS 软件相继推出，获得了巨大的商业成功。Google Earth、World Wind、Sky Line、Virtual Earth 等全球三维 GIS 软件，通过对全球、海量卫星影像数据，全球地形数据，三维城市数据，三维实景数据的良好表达和展现，能多尺度、更真实地展示整个世界发生的事件和活动，获得对我们生存的世界身临其境的感觉。

在三维 GIS 系统中，在栅格数据应用方面，Google Earth 等三维 GIS 软件推出了实用化的栅格绘制技术，获得了巨大的成功，但在三维虚拟地球矢量应用方面，由于存在瓶颈问题没有得到解决，离大规模的实用还有较大的差距。例如，目前，三维软件只显示了主要城市的一些大比例尺的矢量数据，数据精度较差，不能直观地进行查询和分析，和 DEM 数据的结合也需加强。此外，大规模矢量数据的组织、绘制、查询、分析、统计等需要深入研究和攻关，才能早日走向实用化。其中，提供一个高效的矢量数据三维数据组织和绘制的解决方案是三维矢量数据查询、分析、

统计和辅助决策支持的基础,是三维 GIS 系统中一个十分重要和具有挑战性的前沿研究问题。

(一) 三维矢量绘制的需求

矢量数据作为空间数据的一个重要的组成部分,具有数据精度高、样式可编辑、放大不失真、数据组织合理、数据密度高等优势。在三维虚拟地球系统中,矢量数据作为道路及铁路路网、水系、等高线等要素的重要表现形式,具有很高的使用率,是三维虚拟地球系统的一个十分重要的数据源。作为空间数据中最能表达空间位置、拓扑关系和属性信息的空间数据类型,矢量数据在各个行业中均得到广泛的应用和研究。在三维虚拟地球平台,对矢量数据的绘制、查询、分析等也具有较大的需求。

在传统的二维 GIS 系统中,由于只能直观地表达两个维度的地理信息,在高程方向只需要在顶点处以高程值的方式进行表达。随着技术的发展,矢量数据被引入三维虚拟现实系统中,因此对整个矢量要素的高程方向的表达成了三维系统的迫切需求。研究三维矢量数据的组织绘制有着重大的理论和实践意义。

随着空间数据获取方式的进步和发展,一种数据类型或者为数不多的几种数据类型的地理信息数据,已经越来越无法满足用户的需求。对于海量大范围、多时相、多数据类型、多分辨率的空间数据的综合分析,已经成功地运用到了环境监测、灾害预警、资源的利用和开发,甚至国防科研和现代战争中。而单一数据类型是无法满足上述应用需求的。因此,发展一种全球范围的多类型数据的无缝融合技术迫在眉睫。而能较好、无缝地展示多尺度、多类型的空间数据,并能做出相关的查询、分析的一种方式即是三维虚拟地球。

三维 GIS 平台中数据的融合和挖掘迫切需要大力拓展三维 GIS 平台中矢量数据的应用,而三维 GIS 矢量数据的绘制则是其中的关键技术,迫切需要得到解决。

鉴于矢量数据在空间数据中的重要位置和三维虚拟地球对矢量数据组织和绘制的需求,本书针对部分三维矢量数据的组织和绘制的瓶颈问题,研究三维矢量数据的组织和绘制的整体解决方案。

(二) 三维 GIS 中制图综合的需求

目前,地图综合的应用范围十分广泛,高精度的测量技术能快速且精准地将真实世界数字化并展示在使用者的面前,在数据本身极大丰富的同时,也给制图综合的工作带来了新的挑战。需要在丰富的原始数据中提取重要信息(尤其是一些概念性的知识),确定主次关系,需要将地图综合的工作作为获取地理知识的一种工具;随着国家空间数据基础数据库的建立和实施,从原始数据中建立一个新的、多层次的、综合后的多比例尺数据库成为一个比较重要的需求,也是地图综合工作的一个发展方向;随着网络技术的发展,复杂的地图数据需要在互联网上快速、准确传输,并且由于系统的互操作性,对于一副地图的多比例尺的实时操作和传输,也成了用户的需求;随着三维 GIS 的发展,以及三维 GIS 对各类矢量数据的需求和三维 GIS 实时操作的重要性,三维 GIS 也需要地图综合与之配合,同时,一个高效的地图综合策略也成为三维 GIS 的需求之一。

目前,利用计算机进行的地图的自动综合,主要还停留在沿用传统的手工制图综合的办法和模式。传统的制图综合方法主要是对地图的要素进行选取和概括。选取操作是指留下对制图生产目的最有用的要素,让它们在地图上得以绘制,而那些不是那么有用的要素在制图时不会被绘制,即被舍去。概括的核心是对地理要素进行简化,简化的内容是地理要素的形状、数量等。这些操作的过程,都是制图人员对制图对象规律性的认知和对这些规律的表达能力通过长期的经验积累和发挥主观能动性完成的(翟仁健,2003)。在制图自动综合中,这些工作需要由计算机来完成,计算机具有擅长处理抽象问题,而对需要思考和逻辑思维能力的工作处理较慢的特点,因此对需要大量的灵感思维和形象思维的制图综合工作显得相当困难。综合的效果是由综合的模型、综合的规律、综合的算法等相关因素的合理性、完备性决定的,与制图综合的智能化程度也有关,而目前的方法和理论还都不能快速有效地完美解决地图自动综合中所存在的问题(邓红艳等,2009)。

由于三维虚拟地球系统是一个灵活漫游的系统,用户只需简单操作即可大幅变换显示的地理要素的细节程度。因此,一个比例尺的矢量数据直接用于三维绘制,必然会造成在比例尺较小的情况下,矢量数据的要素过

于拥挤而难以分辨的情况,而这种情况也极端浪费了有限的绘制资源。诚然,这个问题可以通过导入多比例尺的原始数据,并设定各比例尺的显示高度范围来解决,但是多比例尺的数据源有时并不齐全,并不能完全满足直接将多比例尺数据进行预处理的需求。因此,迫切需要一种自动数据综合化简的方法。

与二维 GIS 系统不同,三维虚拟地球给用户提供的是一种渐进式的用户体验,传统的制图综合主要为地图生产服务,其技术和规范只局限在有限的比例尺之间操作。因此,无法直接照搬到三维 GIS 的屏幕快速无级的矢量综合化简中,一种基于三维绘制的快速无级的制图综合方法是迫切需要研究和解决的。

第 2 节 国内外研究现状

(一) 三维矢量绘制的进展和趋势

GIS 中的矢量数据用点线面表达对象的几何位置,赋予其相应的属性信息,即 DEM 数据用于表达空间对象的高程信息,采用规则的三角格网来模拟地球表面起伏。将矢量数据与地形数据结合并统一表达,能够有效地恢复空间对象的真实面貌。近年来,二者的结合主要是基于平面进行的,随着数据获取技术的不断发展,大范围及大分辨率的空间数据能够有效快速的获得,基于此,球面地形与矢量数据的集成研究变成了热点研究领域。

王姣姣(2009)在球面退化四叉树格网的基础上,针对几何叠加法计算复杂及效率低下的问题,通过引入格网单元分解思想,提出了基于球面 DQG 的地形与矢量数据自适应集成建模,并在此基础上研究了地形矢量线三维漂移算法。

曾俊钢(2008)提出了一种快速获得切割路径的曲面三角格网切割算法,并利用边界表示模型的性质,判断了剖切面与三角形的共面关系,提出了一种新的平面剖切算法。

邹焯等(2006)结合 ROAM 地形简化算法,设计相关的数据结构及

算法,实现地形格网与矢量数据的无缝叠加,并对算法性能做出了分析。

郭德伟(2011)以矿山应用为例,研究了一种三维GIS的矢量数据结构,提出了使用6组拓扑结构来刻画三维数据结构的方式,并结合矿山实体给出了其完整的描述。但是其研究主要是基于体表示的数据模型,若用于表面矢量的绘制,数据冗余较大。

孙寅乐(2005)将矢量数据与高程数据相结合,提出了一种基于矢量高程纹理与矢量叠加的绘制方法。在绘制矢量纹理时,结合了DEM的网格与原始矢量数据中的高程信息,进行叠加绘制矢量,但实验所表达的空间范围较小且未对试验的矢量数据做索引等数据处理。

肖锋(2008)使用多分辨率金字塔、基于四叉树的动态LOD算法、异步数据动态调度机制、内存缓存和本地缓存技术实现了基于Globe模型的空间信息三维可视化理论和研究方法,完成了全球多分辨率地形可视化策略和方案。但缺乏对海量矢量数据的支持能力。

李占(2008)使用了基于线性四叉树瓦片金字塔模型,实现了一种基于瓦片状态标号序列的多线程调度和预测策略、数据的请求和处理显示策略,完成了三维城市中空间数据组织调度方法研究。主要针对影像数据、地形数据和模型数据,没有提及矢量数据的策略。

吴晨琛(2008)使用了GeoGlobe中等经纬度格网的四叉树索引作为数据集的组织与管理方式,实现了GeoGlobe中多尺度空间数据集的管理机制。但没有对各个网络节点上的多尺度的数据集建立统一的空间索引。在矢量数据的绘制上也使用了栅格化的方式。

周强(2011)研究了异构虚拟地球中影像数据集成方法,对主流的虚拟地球的数据组织方式进行了分类和比较,并统一选择了规则格网的方式对异构的数据集进行集成。但是只研究了影像数据,对矢量数据的研究较少。

综上所述,栅格数据的金字塔数据组织的研究已经相对完善,但是栅格数据的金字塔数据组织方式不能直接套用在矢量数据上,传统的矢量数据组织通常有两种方式:构建矢量金字塔和不构建矢量金字塔,它们通常只是对矢量数据本身进行处理,较少综合考虑屏幕绘制精度、地形优化和数据源综合化简。迫切需要一种综合考虑了屏幕绘制精度、地形优化和数据源综合化简的统一的数据组织方案。

(二) 制图综合的进展和发展趋势

作为一个公认的世界性难题,“制图综合是地图数据处理所面临的最富智慧与技术性挑战的问题之一”(K. Stuart Shea, 1991)。数字环境下地图综合与传统制图综合的区别在于直接处理的对象不同。例如,传统制图综合直接处理客观世界的地图模型,而数字环境下的地图综合直接处理的是表达客观世界的的数据模型,从而使数字环境下的制图综合在综合的目的、类型、方式上均不同,对此3点不同分别进行介绍如下(邓红艳等, 2009)。

1. 综合目的

传统地图综合的目的是地图制图,而数字环境下的制图综合的目的在于获得、集成、存储、显示读取等地理信息。Muller将地图综合分为经济、数据健壮、多用途、显示和传递4个需求(邓红艳等, 2009)。而且根据存储环境、需求、综合目的的不同,实际操作的综合手段也不相同。

对于只需要将复杂的地图进行多比例尺缩编并入库的需求来说,需要考虑选取或删除、抽象或概括、合并等手段来保证地图的空间和属性的精度,以及层次和逻辑关系。而对于需要可视化的地图综合,对于地图要素的均衡性及较小的地图空间和客观真实世界的矛盾,需要通过符号化、位移、整饰、夸张等手段来综合解决,从而保证地图的正确性、简洁性及合理性。

2. 综合类型

综合的类型分为模型综合和图形综合。

地图综合是表达、描述客观世界的有效模型,地理对象表达形式是以符号、图形作为地理对象进行展示的。在传统制图综合中模型与图形能够保持一致性,从而使得内容与形式的综合也能够同步进行(邓红艳等, 2009)。数字地图则不同,其内容和形式是分离的,其存储和可视化也是分离的,由此特性产生了2种制图模型,即数字景观模型(DLM)和数字制图模型(DCM),因此地图综合的模型也分为上述的模型综合和图形综合2种类型。

数字景观模型是用坐标信息、属性信息与关系来描述空间对象的,是不依赖于符号系统的空间对象的表达,是人们对认知的模式在数据中的

体现。

模型综合与图形综合之间存在一定的联系,并不独立,主要的原因是,数字景观模型在经过模型综合的信息子集在进行图形综合后,形成了对应的数字制图模型。模型综合主要通过选取、概括的方法来选定制图对象及其表示方式,它是图形综合的先导。前者是为了方便数据的访问,而后者主要是为了满足地图的展示需求。

沿用传统的制图综合的方法和步骤是目前大多数相关研究的主要方向,将综合和对象的认知同时进行,将模型综合和图形综合同时进行,这种方法会将地图综合变得更主观、更复杂,不利于综合问题的真正解决。随着相关领域研究的深入,人们认为“地图综合的实质性对象是空间数据库中的地理信息,即数字景观模型”(邓红艳等,2009)。将模型综合和图形综合分解开,能获得更多的中间结果,也产生了不同用途,这样更有利于问题的解决。这种方式也成了制图综合研究的新趋势。

3. 综合方式

综合方式分为以下多种:交互式综合方式、在线综合方式、自动化综合方式与伪自动化综合方式(邓红艳等,2009)。

地图综合是一种高度依赖人的参与的工作,这项工作要求制图者做出自己的决定和选择,尤其是在关于地图要素或地图密度的相关细节上。若要将此项工作自动化处理,必须要获取制图学专家的相关专业知识和经验,而将相关专业知识和经验使用计算机采集,并数字化存储和表达,绝非易事。

由于相关技术发展还没有达到理想的高度,存在一定的局限性,高度依赖相关技术的全自动智能综合及全自动综合系统还没有达到可用的程度。因此,在这个大背景下,涌现出在一定限定条件下的智能、交互式、自动化、在线和伪自动化等多种制图综合的方式(邓红艳等,2009)。

赵春燕(2006)以树状河系为研究对象,建立基于图论的水系网矢量模型,以水系中最主要的自然形态树状河系为研究对象,依据河段的自然形态和空间特征识别河系的主支流,并以支流级别建立水系的 Horton 编码。在 Horton 编码及其他制约因素的基础上,完成了制图综合。但主流的选取较为简单,且未对综合的详细流程进行说明。

张青年(2006)分析河系简化中的各种因素,提出了一种河流等级规

则河流选取指标体系,设计了一个综合指标,将河流的等级、长度、层次综合起来进行河流选取,探讨了在自动构建河网树的基础上计算河流等级、长度、层次等选取指标方法。使用该综合指数进行相关实验,验证该方法的有效性。但是其对河流的分级只考虑了矢量数据本身的拓扑特性,并未对相关水文特性进行综合考虑。

龙毅等(2011)结合地形,将等高线按所属地形区域划分为不同渠道,然后根据河网层次化选取的结果,分别进行针对性的化简,确保综合后各条河流处于地形谷位置。证明此方法能有效避免综合后等高线与河流之间的相互冲突,提升制图综合的智能化程度。但本方法仅适用于等高线相对密集、河网与等高线协调较明显的特定区域,并没有考虑各级沟谷之间的联系,其综合尺度跨度不宜过大。因此,关于地形与水系之间的协同空间关系、协同综合算法还有待于进一步的研究。

杨敏等(2012)在等高线上利用 Delaunay 三角网提取地形特征,与水网和等高线交点建立匹配关系,并利用几何方法完成一致化操作,解决了在空间数据库集成与匹配中因来源不同,使得两种数据不一致,导致水网“爬坡”现象所产生的问题。但在等高线移位匹配水网需要有更好的位移控制关系。

翟仁健(2007)在“基于遗传多目标优化的线状水系要素自动选取研究”中,利用遗传算法解决地图自动综合问题,针对线状水系要素的选取,设计具有一定智能的算法,取得了较为理想的综合效果。但是,由于其在解决综合问题时,考虑了多种制约因素的全局最优,在计算效率上有一定的影响。

综上所述,目前矢量要素综合的文献很多是针对传统制图综合的要求。传统的制图综合主要为地图生产服务,其技术和规范只局限在有限的比例尺之间操作,较少考虑专门针对三维屏幕可视化的线状矢量数据综合化简的要求,而基于三维绘制的制图综合方法需要针对渐变的多种比例尺建立综合的准则和算子。

第2章 三维矢量数据综合简化

第1节 问题的提出

在三维矢量绘制中，数据源也是制约矢量绘制的关键因素。通常在进行矢量数据三维可视化的时候，由于三维系统灵活缩放的特性，无论矢量数据缩小到什么尺度，数据量的大小是不变的；而数据显示的范围则在不断缩小，从而导致由于单位面积内信息量成倍增加造成地物要素的拥挤和难以识别，离散的物体挤在一起，复杂的地物轮廓显得混乱。如果再进一步提高相机高度，那么大量的矢量数据甚至会形成一个色块，这样的效果完全没有显示意义，而且还造成了绘制资源的浪费。图2-1显示了矢量要素密度过大时很差的绘制效果。



图2-1 矢量要素密度过大时很差的绘制效果

要提高三维矢量数据绘制的精度和效率，还需要引入针对屏幕可视化的制图综合。本书将选择河网作为研究对象，进行针对屏幕可视化河网快速无级综合的研究。