



红河学院  
HONGHE UNIVERSITY  
学术文库丛书

# GIS 三维建模方法

刘 帅 赵伶俐 李佳田 著



中国科学技术出版社  
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



红河学院  
HONGHE UNIVERSITY  
学术文库丛书

红河学院学术著作出版基金资助出版

# GIS三维建模方法

刘 帅 赵伶俐 李佳田 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

GIS 三维建模方法/刘帅, 赵伶俐, 李佳田著. —北京:  
中国科学技术出版社, 2016. 1

ISBN 978 - 7 - 5046 - 7055 - 7

I. ①G… II. ①刘… ②赵… ③李… III. ①地理信息  
系统 - 系统建模 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 011909 号

---

责任编辑 高立波  
封面设计 中文天地  
责任校对 杨京华  
责任印制 张建农

---

出 版 中国科学技术出版社  
发 行 科学普及出版社发行部  
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号  
邮 编 100081  
发行电话 010 - 62103130  
传 真 010 - 62173081  
网 址 <http://www.kjpbooks.com.cn>

---

开 本 787mm × 1092mm 1/16  
字 数 250 千字  
印 张 10.25  
版 次 2016 年 3 月第 1 版  
印 次 2016 年 3 月第 1 次印刷  
印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司

---

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 7055 - 7/P · 189  
定 价 32.00 元

## 《红河学院学术文库》编委会

主 任 甘雪春

副主任 安学斌

委 员 陈 灿 彭 强 田志勇 张灿邦 张平海  
张永杰 何 斌 马洪波 杨六金 刘 卫  
吴伏家 刘艳红 路 伟 龙庆华 王 全  
杨文伟 雷明珍 张 谛 梁 健 孙玉方  
徐绍坤

## 第一作者简介



刘帅，男，1979年12月出生，博士，云南省个旧市人，现为红河学院工学院计算机科学与技术系副教授。研究方向为GIS三维建模、计算机视觉与虚拟增强现实。分别于2003年、2006年获得中南大学学士学位及硕士学位，同年考取中南大学与北京国家基础地理信息中心联合培养的博士，2007年3月前往北京攻读博士学位，期间在北京大学遥感与地理信息系统研究所增强现实研究室学习1年，2011年获得工学博士学位，2012年8月破格晋升为副教授。近年来，在《计算机辅助设计与图形学学报》《武汉大学学报（信息科学版）》等EI期刊及《地球信息科学学报》等核心期刊发表论文30多篇，其中三大检索及核心刊物论文20多篇。主持国家自然科学基金青年项目1项，参与国家自然科学基金项目3项，参与国家科技支撑项目2项，主持省教育厅项目1项，参与2项，指导云南省大学生创新实验计划项目1项，主持地方横向项目2项，2014年红河学院中青年学术带头人储备人才。分别于2012年、2013年获校优秀青年教师、红河园丁奖——科研突出贡献奖。

# 《红河学院学术文库》

## 总 序

红河学院地处红河哈尼族彝族自治州州府蒙自市，南部与越南接壤。2003年升本以来，学校通过对高等教育发展规律的不断探索、对自身发展定位的深入思考，完成了从专科到本科、从师范到综合的“两个转变”，实现了由千人大学向万人大学、由外延扩大到内涵发展的“两大跨越”，走出了一条自我完善、不断创新的发展道路。在转变和跨越过程中，学校把服务于边疆少数民族地区的经济社会发展、服务于桥头堡建设、服务于培养合格人才作为自己崇高的核心使命，确立了“立足红河，服务云南，辐射东南亚、南亚的较高水平的区域性、国际化的地方综合大学”的办学定位，凸显了“地方性、民族性、国际化”的办学特色，目前正在为高水平的国门大学建设而努力探索、开拓进取。

近年来，学校结合区位优势和独特环境，整合资源和各方力量，深入开展学术研究并取得了丰硕成果，这些成果是红河学院人坚持学术真理、崇尚学术创新，孜孜以求的积累。为更好地鼓励具有原创性的基础理论和应用理论研究，促进学校深入开展科学研究，激励广大教师多出高水平成果和支持高水平学术著作出版，特设立“红河学院学术著作出版基金”，对反映时代前沿及热点问题、凸显学校办学特色、充实学校内涵建设等方面的专著进行专项资助，并以《红河学院学术文库》的形式出版。

学术文库凸显了学校特色化办学的初步成果。红河学院深入实施“地方性、民族性、国际化”特色发展战略，着力构建结构合理、特色鲜明、创新驱动、协调发展的学科建设体系，不断加大力度推进特色学科研究，形成了鲜明的学科特色，强化了特色成果意识。学术文库的出版在一定程度上凸显了我校的办学特色，反映了我校学者在研究领域关注地方发展、关注民族文化发展、

关注边境和谐发展的胸怀和视域。

学术文库体现了学校力争为地方经济社会发展做贡献的能力和担当。服务社会是大学的使命和责任。《红河学院学术文库》丛书的出版，集中展现了我校教师将科研成果服务于云南“两强一堡”建设、服务于推动边疆民族文化繁荣、提升民族文化自信、助推地方工农业生产、加强边境少数民族地区统筹城乡发展的追求和担当，进一步为促进民族团结、民族和谐贡献智慧和力量。

学术文库反映了我校教师在艰苦的条件下努力攀登科研高峰的毅力和信心。我校学者克服了在边疆办高等教育存在的诸多困难，发扬了蛰居书斋，沉潜学问的治学精神。这批成果是他们深入边疆民族贫困地区做访谈、深入田间地头做调查、埋头书斋查资料、埋头实验室做研究等辛勤耕耘的成果。在交通不畅、语言不通、信息缺乏、团队力量薄弱、实验室条件艰苦等不利条件下，学者们摒弃了“学术风气浮躁，科学精神失落，学术品格缺失”的陋习，本着为国家负责、为社会负责、为学术负责的担当和虔诚，展现了追求学术真理、恪守学术道德的学术品格。

本次得到学校全额或部分资助并入选文库的著作涵涉文学、经济学、政治学、教育学等学科门类的七部专著，是对我校学术研究水平的一次检阅。尽管未能深入到更多的学科领域，但我们会以旺盛的学术生命力在创造和进步中不断进行文化传承和科技创新，以锲而不舍的精神和舍我其谁的气质勇攀科学高峰。

“仰之弥高，钻之弥坚；瞻之在前，忽焉在后”，对学术崇高境界的景仰、坚韧不拔的意志和自身的天分与努力造就了一一位学术大师。红河学院人或许不敢轻言“大师级”人物的出现，但我们有理由坚信：学校所有热爱科学研究的广大师生一定能继承发扬过去我们在探索路上沉淀的办学精神，积蓄力量、敢于追梦，并为努力实现“国门大学”建设的梦想而奋勇前行。当然，《红河学院学术文库》建设肯定会存在一些问题和不足，恳请各位领导、各位专家和广大读者不吝批评指正，以期帮助我们共同推动更多学术精品的出版。

甘雪春

2013年10月

# 前言

三维建模是三维地理信息系统(3D GIS)中的一项核心问题,概括而言,常用的三维建模可以归纳为两类:一类是地形模型,由数字高程模型与正射影像构建得到;另一类是地物模型(处于地表的人工与自然对象,以及地下的地质对象),通常由自动或半自动的人工交互方式构建得到。这两种方法构建的三维模型均有一定的局限性:前者现势性不强、纹理细节不够丰富;后者构建费时费力、技术复杂且更新较为困难,往往不能满足一些突发事件处理和对环境局部高细节、现势性的需求。例如,国家边界场景的管理服务是一个十分典型的应用案例,往往需要获取并处理一些突发事件过程中的现实场景真实信息,现有三维地理信息系统技术难以综合解决这一应用问题。

谷歌地球(Google Earth, GE)是3D GIS领域的一个典型应用,其所采用的建模技术除了前面提到的常规三维建模之外,还引入了全景(panorama)模型(即“街景”)。街景的引入,解决了三维表达真实性不足,三维数据获取困难以及建模费时费力的问题。但依据地理信息系统领域的应用需求,街景只能提供浏览而难以提供分析量测功能,其并不能解决真正意义上的三维问题。与街景相类似,近年国内外有学者提出了可量测实景影像的理念,其主要思路是将诸如激光扫描仪(或近景摄像测量)所获取的三维点云与对应的影像像素进行匹配整合,从而达到直接在影像上进行量测的目的。可量测实景的优点是显而易见的,其不足主要在于必须对所获取的点云数据进行较处理好才能满足后期量测的需求。此外,国际有学者基于全景影像重构一些人工构筑物与目标场景等对象,但在具体计算中,他们主要基于多方位全景影像,应用大量的控制点并结合光束法平差以实现构筑物的三维重构与场景重建。

事实上,全景本身即是一种建模表达方式,可提供360°全方位景观浏览,其获取数据便捷,表达方式简捷,如果具备可量测性,则可以为3D GIS提供一种极好的景观表达方法,作为对现有三维对象与场景建模方式的补充。但在已



有的全景三维研究工作中,全景只起到原始数据的作用,未作为场景景观浏览。由于全景在一定程度上已经表达了较好的可视化效果,在实时性要求较高的环境下,如果仅仅为了量测分析将整个全景场景进行重构,是完全没有必要的。

笔者以 GIS、近景摄影测量学及计算机视觉等领域的先进成果为理论依据,总结研究小组近年来的研究成果,发展适合以野外场景特点及城市三维快速建模方法为目标,提出立体全景三维建模方法,并结合构筑物的三维快速建模以及局部地区综合多类信息浏览与分析表达集成方法等科学问题展开相关深入的研究,最后开发实验系统对研究的成果进行了验证与分析。本书的读者对象主要为从事 GIS、测绘、地学、计算机信息等相关领域的学术研究、教学的科研人员及相关学科的硕士、博士研究生。

本书完成之际,笔者首先感谢导师国家基础地理信息中心陈军教授、赵仁亮高级工程师与北京大学孙敏副教授多年来的指导与帮助。他们严谨的治学态度、敏锐的学术洞察力使我终生受益。感谢昆明理工大学国土资源工程学院测绘系李佳田副教授所进行的指导与关心。

本书研究工作主要是在国家自然科学基金(41201418、41301442、41561082)及国家科技支撑项目(陆地边界管理精准化关键技术研究子课题三维全景建模与量测分析技术,2012BAK12B02-1)及红河学院中青年学术带头人后备人才(2014HB0201)资助下完成,感谢所带学生作出的勤苦工作。

感谢家人的支持与关爱。

由于笔者水平有限,书中疏漏与不足在所难免,恳请各位读者批评指正。

刘 帅

2015 年 6 月

# 目 录

## CONTENTS

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 前 言 .....                   | 1  |
| 第 1 章 绪论 .....              | 1  |
| 1.1 野外边界场景——以陆地边界为例 .....   | 1  |
| 1.2 国内外相关问题研究现状及分析 .....    | 5  |
| 1.3 研究内容及各章节安排 .....        | 17 |
| 第 2 章 近景摄影测量的全景三维重建方法 ..... | 23 |
| 2.1 研究思路与步骤 .....           | 23 |
| 2.2 球形全景建模基础 .....          | 25 |
| 2.3 立体全景测量算法的构建 .....       | 27 |
| 2.4 实验与讨论 .....             | 31 |
| 2.5 小结 .....                | 36 |
| 第 3 章 计算机视觉的全景三维重建方法 .....  | 37 |
| 3.1 概述 .....                | 37 |
| 3.2 球形全景投影关系构建 .....        | 38 |
| 3.3 双球形投影几何关系建立 .....       | 39 |
| 3.4 立体全景测量方法与实验 .....       | 42 |
| 3.5 结论与展望 .....             | 47 |
| 第 4 章 全景影像核线方程推导及其应用 .....  | 48 |
| 4.1 概述 .....                | 48 |
| 4.2 球形全景影像核线方程 .....        | 49 |
| 4.3 实验设计与验证 .....           | 53 |
| 4.4 结论 .....                | 57 |
| 第 5 章 基于横向切片的三维重建方法 .....   | 58 |
| 5.1 横向切片重建方法的提出 .....       | 58 |

|        |                                  |     |
|--------|----------------------------------|-----|
| 5.2    | 横向切片的三维重建思想与物体成像 .....           | 59  |
| 5.3    | 横向切片的三维重建算法 .....                | 62  |
| 5.4    | 算法测试 .....                       | 67  |
| 5.5    | 小结 .....                         | 71  |
| 第 6 章  | 基于 JAVA 3D 的构筑物三维建模 .....        | 72  |
| 6.1    | 概述 .....                         | 72  |
| 6.2    | 形体模型抽象 .....                     | 74  |
| 6.3    | 实验 .....                         | 89  |
| 6.4    | 小结 .....                         | 91  |
| 第 7 章  | 基于 SketchUp 与 ArcGIS 的场景建模 ..... | 92  |
| 7.1    | 概述 .....                         | 92  |
| 7.2    | 瓦片技术与影像地图 .....                  | 96  |
| 7.3    | 构建思路与方法 .....                    | 100 |
| 7.4    | 实验 .....                         | 101 |
| 7.5    | 小结 .....                         | 104 |
| 第 8 章  | 三维场景的多层次细节集成方法 .....             | 105 |
| 8.1    | 三维场景数据集成模型 .....                 | 105 |
| 8.2    | 场景集成模型的形式化描述 .....               | 108 |
| 8.3    | 集成模型的实现与技术 .....                 | 119 |
| 8.4    | 小结 .....                         | 121 |
| 第 9 章  | 实验与分析 .....                      | 122 |
| 9.1    | 实验系统功能框架 .....                   | 122 |
| 9.2    | 实验工具 .....                       | 123 |
| 9.3    | 边界实验结果 .....                     | 130 |
| 9.4    | 三维场景建模实验 .....                   | 139 |
| 9.5    | 小结 .....                         | 142 |
| 第 10 章 | 结论与展望 .....                      | 143 |
| 10.1   | 主要研究工作 .....                     | 143 |
| 10.2   | 展望 .....                         | 144 |
| 参考文献   | .....                            | 146 |

# 第1章 绪 论

GIS 三维建模常用的方法可大致分为两类：一类是将数字高程模型与影像相结合，在区域范围内构建本质上为 2.5 维的 LOD 0 级数字地形模型；另一类是在以构筑物为主的城市局部范围，采用实体模型与纹理贴面相结合的方法，构建多级 LODs 三维模型。用这两种方法构建的三维模型均有一定的局限性，前者的现势性往往不高、纹理细节不够，后者构建技术复杂、更新较为困难，往往不能满足某种特定情况下对局部高细节、现势性三维场景的需求。本章以研究发展适合野外场景特点（如数字陆地边界）及城市三维建模方法为目标，提出立体全景三维建模方法，并结合城市构筑物三维重构以及局部地区综合多类信息浏览与分析表达集成方法等科学问题展开相关深入的研究。

## 1.1 野外边界场景——以陆地边界为例

### 1.1.1 以自然实体为主

根据国际法规定，国家的边界是指划分一个国家领土和另一个国家的领土或一个国家的领土和未被占领的土地、一个国家的领土和公海以及国家领空和外层空间的想象的界线，边界是有主权的国家行使其主权的界线；国界是国家间界定领土范围的界线，是一国政府对内实施行政管辖和对外宣示主权的依据<sup>[1,2]</sup>。论文涉及的边界与国界指中国的陆地边界，边界与国界在论文中为同义。

国际上边界有以界山、界河、界湖划分的自然边界；有以民族、宗教信仰、语言、意识形态、心理习惯等因素为标准的人为边界；也有以经度或纬度等地理位置划分几何边界。边界地区常常以竖立界碑等作为分界标志物，并通过 GPS 测量其坐标。

中国陆地边界有 2 万多千米，与 14 个国家接壤，一旦局部地区发生突发、争议事件，如何实现局部地区快速三维建模，展现边界地区的真实场景，是三维建模的主要研究内容。目前，“数字陆地边界”三维建模，通常采用两种方法：一是将数字高程模型与影像相结合，在边界地带构建数字地形模型；二是在边界口岸等局部范围，采用实体模型与纹理贴面相结合的方法构建三维模型。用这两种方法构建的边界三维模型均有一定的局限性，前者的现势性往往不高、纹理细节不够，后者构建技术复杂、更新较为困难，往

往不能满足边界突发事件处置和勘界联检等对局部高细节、现势性三维场景的需求。研究发展适合边界场景特点的三维建模方法,是“数字陆地边界”的一个重要研究任务。

美国前副总统戈尔 1998 年提出的“数字地球”<sup>[3]</sup>,是人类对真实地球及相关现象统一的数字化重现和再认识<sup>[4]</sup>,是“人类认识地球的第三次飞跃”<sup>[5]</sup>。从理论上讲,它是地球科学与信息科学的高度综合<sup>[6]</sup>;从技术上讲,它是遥感、数据库与地理信息系统、全球定位系统、宽带网络及虚拟仿真等现代科技的高度综合与升华,是当代科学技术发展的“制高点”<sup>[7]</sup>;从本质上讲,它是信息化的地球,包括地球大部分要素的数字化、网络化、智能化、可视化的全过程<sup>[7]</sup>。“数字陆地边界”的提出,可以认为是“数字地球”的一个节点,是边界基础地理信息的结合并存储在计算机或者计算机网络上的能供本地或远程用户访问的一个新的虚拟边界空间。

当前大规模三维建模工作出现在城市里,如 CityGML 的提出<sup>[8]</sup>,现已成为语义三维城市和地形模型进行显示和交换的国际标准,陆地边界地区与城市在三维场景方面有所不同,如图 1-1 所示,多地处荒原、人烟稀少、地形险峻,多以自然实体为主,人工构造物为辅;相反,城市经济发达、人口密集,则以人工构造物为主,自然实体为辅。城市三维建模在应用与研究方面虽已取得了显著成果,但若以城市精细的方式进行三维建模,面对 2 万多千米的陆地边界,其工作量与费用是无法估计,且不切实际的,尤其不能满足对突发事件、争议地区的快速三维建模的要求,应在数据粒度、复杂性和精度上达到一个平衡。



图 1-1 以自然实体为主的中国陆地边界环境

场景三维建模包括地表以下与地表两类建模。本书不考虑地表以下建模(三维地质建模)。地球表面以上是人类生活和活动的场所,地形(topography)是地表的特定的形态,包括地表的特征、几何特征和统计特征<sup>[9]</sup>,地形因素是影响地表物质和能量循环和分配的重要因素<sup>[10]</sup>,除了地形建模,边界地区地表场景建模包括局部地带与界碑等

构筑物建模。

边界局部地区较为敏感,甚至某些道路具有不连通性,机载、车载、热气球等无法及时介入,往往是双方约定勘察现场;再者,边界环境多地处荒原,以自然实体为主,人工构造物为辅,难以沿用城市的精细三维建模方法,迫切需要研究发展一种面向突发事件具有边界特色的三维快速重建方法,服务于边界勘界、联检与会商,提升突发事件的处置能力。

### 1.1.2 三维场景重建的内容

边界三维场景重建的内容,如图1-2所示,包括边界设施(界碑、界桩等边界标志)、边界资源(国界附近区域的自然资源)、边界专题要素(口岸、跨界水)等。



图1-2 边界三维场景重建的主要内容

### 1.1.3 边界场景建模的需求

用于边界热点和突发事件处理过程中的信息速报、多部门会商、多用户标绘和辅助预案生成等,为多部门协同会商提供技术支撑平台。边界场景三维快速建模,包括地形建模、场景建模、分界标志物建模等,反应边界真实场景,必须满足:

(1) 对突发事件与争议地区的重点路段应用超高细节特征的高保真纹理,并适合人的观察方式,应需实时采集与更新,并实现场景的量测性等。

三维地理信息系统(3DGIS)中对象的表达可分为两类:一类是地形模型,由数字高程模型与正射影像构建得到;另一类是地物模型(如处于地表的人工与自然对象,对于地质类信息本书不予以考虑),通常由自动或半自动的人工交互方式构建得到。在“数字陆地边界”系统的研究过程中,这两类三维模型均有一定的局限性,其表现为:地形模型其现势性不强、纹理细节不够丰富;而地物模型的构建不仅费时费力且技术复杂,同时更新较为困难,往往不能满足边界突发事件处置和勘界联检等对局部高细节、现势性的需求。为了弥补这两类模型表达方面的不足,本书研究发展一种立体全景模型,作为对3DGIS平台中景观表达的一个补充。其优点在于:①数据采集简便灵活、现势性强;②细节表达丰富且构模效率高;③具备可量测性,易与3DGIS结合应用。

全景具有很强的 360°全方位景观表现能力。利用相机在 360°视角进行多方位拍摄,获取多个视角的序列图像,经过匹配等处理,拼接缝合后形成的全景图像模型,可提供漫游浏览功能,能使人体验到 360°身临其境的视觉效果,已广泛用于街景建模、数字校园等方面。但这种全景其本质是二维图像,仅在视觉上有一定的三维表现力,其并非真正的三维模型,不具备可量测性。

近年来,人们开始关注全景的可量测性问题,Yin Li 等人将一个或多个中心投影的普通相机安装在同心轴上,旋转得到柱形全景影像或多视角影像序列,通过水平、垂直视差以及核线平面约束等,实现目标对象的深度恢复<sup>[11]</sup>;Weijia Feng 等人采用四个鱼镜头安装于固定装置上,提出球面全景立体视觉系统(Panoramic Stereo Sphere Vision, PSSV),通过对四个方向成像影像的几何关系构建、模型推导及相机标定等完成三维恢复<sup>[12]</sup>;在国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)全景专题中代表性的工作:Luhmann 等人探讨了柱面投影下全景三维重构方法,Fangi 等人研究了球面投影下的全景三维建模方法,在具体计算中,他们基于多方位全景影像,采用传统摄影测量方法进行数据处理,应用了大量的控制点,并结合光束法平差以实现构筑物对象的三维重构,这些研究工作的主要目的在于通过构建全景影像,实现整体性重构目标对象的三维模型<sup>[13-21]</sup>。另外,这些工作的主要目的是针对人工构筑物与城市场景的全景重构,对于自然景观,这些工作仍然难以应用。

由于全景在一定程度上已经表达了较好的可视化效果,如果为了量测将整个全景场景进行重构是完全没有必要的,且“数字陆地边界”系统中的大量内容涉及户外自然景观。针对边界带状特征以及快速反应的应用需求,在全景图像获取的基础上,如何实现基于序列全景图像场景中的三维建模,实现场景中的量测,需研究发展适合边界特征的全景图像立体像对建立的方法,实现场景量测。

## (2) 对分界标志物(如界碑)进行快速三维建模。

界碑等分解标志物三维重构,传统的测量可采用尺子或者特殊仪器获取,如激光扫描仪等;这些方法具有耗时、处理复杂或便携性较差等特点。基于二维图像的三维重构技术仅仅需要拍摄一定数量的照片,其在数字摄影测量学和计算机视觉研究领域是一项非常重要的技术和研究热点,并在很多领域取得了广泛的应用<sup>[22-26]</sup>,如建筑物重建、室内测量、法庭取证、交通调查、机器视觉、文物重建等。近景数字摄影测量作为一种非接触性测量手段,可提供相当高的精度与可靠性,能够获取被测物体的物理和几何信息,然而,传统的摄影测量方法需要特殊控制场,通过已知的标定物体,如平面控制板<sup>[23]</sup>,进行相机标定及提供外方位元素,通过重构物体的特征匹配,利用交会方法和光束法平差进行三维重建,限制了其灵活性。在某些情况下可采用自标定,相机自标定大都多需要求解非线性方法组,计算量大,且数值往往不稳定<sup>[27-29]</sup>,需发展一种适合边界特征,基于二维图像的快速三维重构的方法。

## (3) 集成边界各类信息,整合边界资源。

城市多尺度建模 CityGML<sup>[8]</sup>的提出,采用 5 种连续的 LOD 进行建模,已成为语义三



维城市和地形模型进行显示和交换的国际标准；随着不同 LOD 的增加，物体会变得更细；不同的 LODs 通常来自独立的数据采集过程，方便有效的可视化和数据分析。针对边界地区的争议、突发事件，如何引入多层次细节模型，提出一种具有边界特征集成模型，集成现有分辨率的 DTM 或者影像地图，重点路段的序列全景图像，实现全景漫游、全景量测以及实现分界标志物的三维建模，形成一种多尺度的层次细节模型（LODs）集成方法，此方法应是一种多技术相互渗透的并行、重构与协同过程，以此提供一种综合多类信息浏览与分析表达的集成方法。

1.2 国内外相关问题研究现状及分析

1.2.1 数字地形建模

1.2.1.1 数字地形建模的概述

为了认识和改造自然，人们不断地尝试着用各种方法来描述、表达周围的环境信息，利用数字化模型对地形表面形态建模并表达便是其中之一。美国麻省理工学院摄影测量试验室 Mille 教授于 1958 年提出了数字地面模型（Digital Terrain Model, DTM），即使用采样数据表达地形表面<sup>[32]</sup>。数字地面模型在测绘和遥感、农林规划、土木与水利工程、军事领域、地学分析以及地理信息系统等各个领域得到了广泛深入的研究和普遍应用。地形表达从模拟时代走向数字表达时代。

自 DTM 概念提出以来，许多学者在不同的时期都对 DTM 进行过不同的定义<sup>[33]</sup>（表 1-1）。

表 1-1 数字地面模型、数字高程模型定义

| 国内外学者          | 定 义                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Miller, 1958   | 数字地面模型是利用一个任意坐标场中大量选择的已知 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 的坐标点对连续面的一个简单的统计表示                                                                                                                                                                               |
| Doyle, 1978    | 数字地面模型是描述地面特性空间分布的有序数值阵列，在一般情况下，所记录的面特性为高程值，它的空间分布由 $x$ 、 $y$ 平面坐标系统来描述，也可通过经度和纬度进行描述海拔分布。在最近文献中，称上述高程或海拔分布的数字地面模型为数字高程模型，与描述其他地面特性的数字地面模型有所区别，DTM 可以是每三个三维坐标值为一组的散点结构，也可以是由多项式或傅里叶级数确定的曲面方程。另外，数字地面模型可以包含除高程外的其他地面特性，如地价、土地权属、土壤类型、岩层深度等 |
| 王之卓, 1979      | 数字地面模型是地形表面用 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 坐标的数字形式的一种表达                                                                                                                                                                                                 |
| Burrough, 1986 | 数字高程模型是以数字形式表示的局部地球表面的量化模型，有时也称为数字地形模型 DTM                                                                                                                                                                                                |
| Weibel, 1991   | 数字地形模型是局部地形表面的数字化表达                                                                                                                                                                                                                       |
| 龚健雅, 1993      | 数字地面模型 DTM 是定义在二维区域上地形特征空间分布及关联信息的一个有限 $n$ 维向量系列 $\{X_i\}$ ，数字高程模型 DEM 是 DTM 的一个子集，它表示地形空间分布的一个有限三维向量系列 $\{X$ 、 $Y$ 、 $Z\}$ ，其中 $X$ 、 $Y$ 表示地形点的平面位置， $Z$ 表示相应点的高程                                                                        |



在数字地面模型 DTM 中，一般包含四类信息：地貌信息、地物信息、自然资源与环境信息以及社会经济信息<sup>[39]</sup>，当信息仅为高程时，DTM 称为数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）。不同机构和地区的表达不同，数字地面模型出现了许多相近的术语<sup>[32,33]</sup>（表 1-2）。

表 1-2 数字地面模型有关术语

| 术语   | 全称                                  | 特点与定义                                        |
|------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| DEM  | Digital Elevation Model             | 以绝对高程或海拔表示的地形模型                              |
| DHM  | Digital Height Model                | 以任意高程表示的地形模型，包括绝对高程和相对高程，为德国所使用              |
| DGM  | Digital Ground Model                | 具有连续变化特征的地表实体模型，为英国所使用，除高程外的其他地貌形态模型，如坡度、坡向等 |
| DTM  | Digital Terrain Model               | 泛指地形表面自然、人文、社会景观模型                           |
| DTEM | Digital Terrain Geomorphology Model | 为美国国防制图局所使用的地形模型，强调模型的格网结构特征                 |

DEM 通过离散分布的高程数据来模拟连续分布的地形表面<sup>[38]</sup>，定义为区域地形起伏的数字化表达。随着人们对 DEM 理解的不断提升，DEM 的技术特征也在变化，已由早期单一的数据产品概念发展到集数据和数据处理方式为一体的技术体系<sup>[40]</sup>。DEM 所表达的对象不再局限于地形，也可用于模拟其他二维表面上连续变化的非地形特征<sup>[33]</sup>。DEM 对地形的表达，按其原理可分为数学描述和图形表达两类，有其各自特点（图 1-3）。

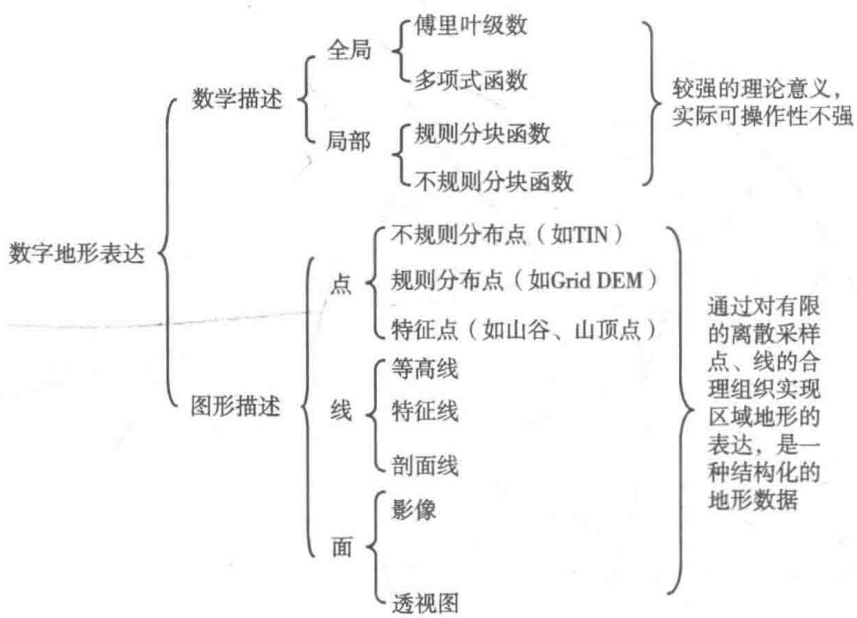


图 1-3 数字地形表达方法及特点<sup>[32,41]</sup>