

# 全国 1:25 万数字高程模型数据库的设计与建库

王东华, 刘建军, 商瑶玲, 吉建培, 宋鸿运

(国家基础地理信息中心, 北京 100044)

## The Design and Establishment of 1:250 000 Digital Elevation Model of China

WANG Dong-hua, LIU Jian-jun, SHANG Yao-ling, JI Jian-pei, SONG Hong-yun

**摘要:** 1:25 万数字高程模型库是国家基础地理信息系统全国 1:25 万数据库的重要组成部分, 目前已在国家宏观管理决策、区域规划、防灾减灾等部门广泛应用。从数据库的设计角度出发, 比较详细地介绍了 1:25 万数字高程模型数据库的设计思路、建库流程、数据精度分析以及数据库的应用等内容。

**关键词:** 国家基础地理信息系统; 1:25 万数据库; 数字高程模型

### 一、前 言

随着计算机技术和信息技术迅猛发展, 国民经济和社会发展的信息化步伐迅速加快, 对基础地理信息的需求日益迫切。自 20 世纪 80 年代以来, 国家测绘局就一直加紧建设国家基础地理信息系统。该系统由全国 1:100 万、1:25 万、1:5 万及省级 1:1 万等比例尺系列的空间基础数据库群构成, 其中全国 1:100 万、1:25 万基础地理数据库已经建成。全国 1:25 万数字高程模型(DEM)是全国 1:25 万数据库中的 3 个数据库之一, 其他 2 个是地形数据库(矢量核心要素数据库)和地名数据库。

DEM 是描述地表起伏形态特征的空间数据模型。全国 1:25 万 DEM 采集地面格网点的高程, 形成栅格结构数据集, 可以为区域规划、生态环境的治理和开发、宏观管理和决策等提供基础的空间信息支持, 是构造“数字中国”基础数据框架的重要组成部分。

### 二、1:25 万 DEM 的设计

#### 1 信息源的选择与分析

全国 1:25 万 DEM 是以国家 1:25 万基本比例尺地形图作为信息源, 采集图上有关的地形、地貌、水系等要素, 经过复杂的数据处理和加工而生产的数据成果。1:25 万地形图按经差 1°30′、纬差 1°的标准分幅, 覆盖全国陆地和岛屿范围共 819 幅, 这些地形图大部分于 20 世纪 80 年代后期陆续出版, 采用了当时最新的 1:5 万、1:10 万高精度实测地形图编辑而成, 是国家经济建设和国防建设中重要的、权威性的测绘资料。

数字化原图全部采用国家测绘资料档案馆保存的 1:25 万薄膜分版二底图, 避免了因纸张变形引起的误差。

#### 2 地图投影设计

1:25 万地形图采用 6°分带高斯-克吕格投影, 其特点为等角投影, 面积和距离变形也都很小, 能够保证地图的精度。但是, 投影带之间为不同的平面直角坐标系, 并存在裂隙, 跨带之间的数据不能直接拼接, 需要将数据转换到同一投影带

或其他可以进行拼接的投影坐标。利用 GIS 的功能, 可以很方便地进行各种投影之间的相互转换。对于矢量数据, 投影转换速度快, 精度也不受损失; 对于 DEM 格网数据, 投影转换时需要重采样, 从而会降低 DEM 数据的精度, 并且转换速度也较慢。

考虑到上述因素, 我们认为: 根据当前 GIS 应用的技术现状, DEM 适宜同时采用高斯-克吕格和经纬度地理坐标 2 种投影, 保存 2 套不同坐标的数据, 其中高斯-克吕格数据适合于较小范围的应用, 经纬度数据适合于大区域或全国范围的应用。

#### 3 DEM 格网大小(分辨率)设计

选择和确定合适的 DEM 格网大小, 是 DEM 数据库设计中的关键技术之一。全国 1:25 万 DEM 的格网大小设计, 主要从以下几个因素综合考虑和分析: 数据库的主要应用对象及应用目标, 尽可能与 1:25 万地形图的高程精度保持一致, 尽可能少的数据冗余, 参考国际上类似的 DEM 数据库的格网大小、与其他相关比例尺的 DEM 数据库的关系、数据库管理的可行性、方便性等。

从理论上讲, 为保证 DEM 数据的精度, DEM 格网大小与地形地貌的特征密切相关, 这方面的研究成果较多。格网大小与地形坡度成反比, 平坦和地形完整的地区应采用较大的格网尺寸, 而山区和地形破碎的地区应采用较小的格网尺寸。考虑到 DEM 数据库管理的方便性, 以及 DEM 精度要求, 全国 1:25 万 DEM 统一采用 100 m 分辨率。

我们针对采用 100 m 分辨率进行了试验。选择平原、丘陵、山地、高山地的 1:25 万等高线数据, 分别都生成 200 m、100 m、50 m 分辨率的 DEM 数据, 然后分析比较 3 种分辨率 DEM 的精度。通过分析比较, 200 m DEM 与 100 m DEM 的精度相差较大, 而 100 m DEM 与 50 m DEM 的精度没有明显的差异。试验结果说明: 全国 1:25 万 DEM 采用 100 m 分辨率是比较合适的, 经纬度地理坐标下的分辨率可以相应确定为 3°。

收稿日期: 2001-04-30; 修回日期: 2001-05-21

作者简介: 王东华(1962-), 男, 湖南邵阳人, 副研究员, 主要从事国家基础地理数据库的设计、建库及应用开发工作。

#### 4 DEM 格式及分块设计

全国 1:25 万 DEM 数据库的管理系统采用 UNIX/NT 版 ARC/INFO, 内部格式为 ARC/INFO 的 GRID, 可以被转换成各种不同的应用格式, 包括中国国家地球空间数据交换格式等。

全国 1:25 万 DEM 数据的高程单位是 m, 无小数位, 精确到整数 m。

DEM 数据分块, 主要目的是为了便于数据管理、数据分发应用。通常, 模拟地图以图幅为单位印刷提供, 数据采集和生产管理也以图幅为单位, 全国 1:25 万 DEM 也应按惯例, 以图幅为单位分块。

高斯投影坐标系下, 图幅范围为梯形, 并且低纬度地区的图幅面积大, 高纬度地区的图幅面积小。每一块 DEM 的范围, 以图幅的外接矩形为基础, 再向外扩大至横坐标、纵坐标的整公里数处。块与块之间有重叠, 重叠部分, 即图廓外的区域也有高程值, 这些值经过 DEM 接边, 处理成相同的值。

经纬度坐标系下, 所有图幅范围都为大小相等的矩形。每一块 DEM 的范围与图幅范围相同。从西图廓第一列起, 至东图廓止共 1 801 列; 从北图廓第一行起, 至南图廓止共 1 201 行。块与块之间只有一行或一列的重叠。

#### 5 DEM 内插方法设计

利用等高线等矢量数据内插 DEM 的方法可归纳为两类: 曲面拟合内插、构建 TIN (不规则三角网) 内插。我们使用一些典型地区的矢量数据, 在相同的情况下, 采用不同的内插方法, 分别生成 DEM 进行实验比较。试验结果是, 用矢量数据首先构成 TIN, 然后将 TIN 内插为格网形式的 DEM, 其生成 DEM 的精度和效率都比较高。因此, 全国 1:25 万 DEM 的生产, 采用先构 TIN, 后内插 DEM 的方法。

构造 TIN 可以使用两种类型的数据, 一种是基本的高程信息, 如等高线、高程点、等深线、深度点、海岸线 (0 m) 等, 另一种是一些特征要素, 如山脊线、山谷线、河流、湖泊等。加入特征信息, 内插结果更加符合实地地形。

### 三、全国 1:25 万 DEM 的生产技术流程

全国 1:25 万地形数据库基本建成后, 其中的数据经过了入库检查、数据修改与处理, 数据质量达到了规定的要求。利用这些数据, 再进行处理加工、内插等流程, 从而生成全国 1:25 万 DEM。

#### 1 数据预处理

1 提取等高线层、水系层中所有用于 DEM 生成的基本要素, 作为基本高程信息。

2 提取水系层中的静止面状水体, 如大型湖泊、水库等, 并输入这些要素的高程, 作为特征面状要素。

3 提取水系层、等高线层中的单线河、双线河、冲沟等, 作为特征线要素。

4 提取境界层中的国界线, 沿国界向外扩 10 公里作缓冲分析, 生成 DEM 有效范围控制区。

5 投影换带。将投影带边缘的图幅数据, 转成邻带坐标的数据。当生成投影带边缘图幅的 DEM 时, 需要跨带调用邻幅图的数据。

#### 2 生成 TIN

利用数据预处理后新生成的数据和 TIN 模块的功能, 按图幅分别构建 TIN, 包括下面几项内容。

1 确定 TIN 的范围。TIN 用于内插 DEM, TIN 的范围应大于 DEM 分块范围 2 km 以上, 并完全包容 DEM 分块范围, 构 TIN 时需要调用本幅及周围共 9 幅图的矢量数据。

2 TIN 错误检查和修改。原始数据中错误或不足, 会引起 TIN 数据的错误或不合理。以 3 维显示方式检查 TIN, 对错误和不合理的地方, 修改或补充矢量数据, 然后重新生成 TIN。

#### 3 生成 DEM

TIN 经过检查无误后, 可以利用 TIN 内插格网间隔为 100 m × 100 m 的 DEM。

内插方法选用高次内插。DEM 按分幅内插, 每一幅的结果就是分块设计中的一块, 范围与实际一致。

#### 4 DEM 接边处理

相邻两块 DEM 的重叠区的高程应相等, 在相差不大于 3 倍等高距的条件下, 取平均值作为接边处的高程。

#### 5 DEM 的检查修改

利用软件检查、屏幕显示的方式, 检查 DEM 数据的有效范围、格网大小、粗差以及接边误差等, 对局部的小问题, 用格网编辑功能进行修改; 对较大的错误应进行矢量修改和重新生成。

#### 6 3 分辨率 DEM 的生产

100 m 分辨率的 DEM, 经过检查无误后, 才能利用投影转换的方法获得 3 分辨率的 DEM。将高斯坐标 100 m 分辨率的 DEM, 转换成经纬度投影坐标, 采用双线性方法重采样, 生成 3 格网间隔的 DEM。

### 四、1:25 万 DEM 精度分析

#### 1 相对精度

全国 1:25 万 DEM 采用等高线内插, DEM 与等高线之间的相对误差, 反映了由矢量数据生成 DEM 的内插精度。我们将 G5006、H4806、H4903、J4705、J5009、K4511、L5215 这 7 幅图中的所有等高线全部离散化成高程点, 求出高程点与相应位置 DEM 的高程值比较结果, 最大误差在 50~100 m 范围内, 中误差在 6.5~15.4 m 范围内。

#### 2 绝对精度

从大地数据库中, 选择 3 幅 1:100 万图范围中的全部三角点、水准点, 求出这些控制点与 DEM 相应位置的高程值比较结果, 见表 1。

表 1

图号	三角点			水准点		
	三角点数量	最大误差/m	中误差/m	水准点数量	最大误差/m	中误差/m
J50-北京	1 397	191.5	±21.4	633	52.0	±9.11
G48-昆明	1 458	212.9	±33.6	842	142.9	±35.43
L45-克拉玛依	662	202	±21.4	256	40.6	±9.68

(下转第 31 页)

5 坐标投影转换

1 25 万地形数据在采集过程中采用以米为单位的高斯-克吕格投影坐标存放,按照 1 25 万地形数据库的坐标系设计,在数据入库前,必须将投影坐标转换成以度为单位的经纬度坐标,以达到入库要求。

6 质量检查

严格数据组织和处理过程的操作要求,确保已检查修改的数据不被破坏。同时,对上述处理的结果进行检查,以保证最后成果达到入库要求。

7 地形数据入库

1 25 万数据经过检查验收,数据的组织和处理、投影转换,达到入库标准后,即可入库。

为此,首先建立库体结构。主要包括建立索引文件,建立 TLE 和 LAYER 的结构,数据库网络结构的建立,数据库安全性的设置等。库体结构建立之后,即可进行数据入库。

8 地形数据库应用管理系统的开发

全国 1 25 万地形数据库建立在 SUN 1000E 服务器上,应用管理系统运行在各客户机上,它们在以太网的支持下,构成客户机/服务器(Client/Server)结构。

地形数据库应用管理系统分两个部分开发,一部分运行在工作站和 ARC/INFO 环境,它们包括设计的所有功能,实现数据的在线管理。另一部分运行在 PC 和 Arcview 3.0 环境,主要具有检索、查询、绘图等功能,它是数据库的前端,面向广大的用户。在系统开发的同时,还需开发库外汉字库、

1 25 万地形图标准符号库、专题地图常用符号库等。

四、1 25 万地形数据库的应用

全国 1 25 万地形数据库建成至今,已得到了广泛的应用,在一定程度上提高了数据应用部门的信息化程度,提高了工作效率,产生了巨大的社会效益和经济效益。主要的应用方面包括:应用 1 25 地形数据库的全部数据内容,结合其他各部门的专业数据,可用于各级政府的宏观管理、决策支持。将 1 25 万地形数据作为空间定位基础,可用于调解国际争端、保卫领土主权、军事战略研究等。还可应用 1 25 万地形数据库的地形地貌等数据内容,在一定范围内,模拟实地景观,进行战略研究。1 25 万作为主要基础地理信息的载体,主要应用地形地貌、土质、水系、部分道路、居民地等数据。对我国的资源分布情况进行调查,进行合理的资源利用规划和管理。用于各省建立省级基础地理信息系统。支持科研院所、大学等科学研究项目及应用于教学研究。用于防灾、减灾,对各种灾害的灾情统计、分析等。

已用于商业系统和一些公益性项目,创造了极高的商业价值和社会价值。

1 25 万地形数据库的建立从用户出发,以为国家的各个部门提供良好的数据服务为目的。在数据库的建设过程中更多地考虑数据的使用方便程度及各专业部门的应用模式,使它在国家的经济建设中真正发挥作用。随着国民经济的不断发展,信息化建设的不断推进,会有更多的部门应用该数据库数据,其将成为各部门科学决策与管理的必要手段。

(上接第 28 页)

3 误差分析及结论

全国 1 25 万 DEM 与三角点比较,绝大部分点的高程误差在一个等高距以内,高程中误差都在 1/3~ 1/2 等高距之间,误差分布见表 2。

高程误差区间	图名图号					
	J50(北京)		G48(昆明)		L45(克拉玛依)	
	点数	占总数百分比/(%)	点数	占总数百分比/(%)	点数	占总数百分比/(%)
< 50m	1 309	93.70	823	56.46	619	93.51
51~ 100	73	5.23	488	33.47	38	5.74
101~ 150	14	1.00	124	8.50	4	0.60
151~ 200	1	0.07	18	1.23	0	0
> 200			5	0.34	1	0.15
总计	1 397	100	1 458	100	662	100

五、DEM 数据库的管理与应用

1 DEM 数据库的管理

采用 ARC/INFO V 7.2 管理全国 1 25 万 DEM,利用 AML 和 FORMED IT 开发界面,其系统功能主要包括以下几部分。

1 DEM 显示。系统提供单幅、多幅、分省以及任意范围等多种范围的 DEM 显示功能,显示方式包括灰阶显示、任

意配色方案的分层设色显示、区域查询显示、晕渲显示、3 维透视显示等,并可以在 DEM 显示的基础上叠加 1 25 万地形数据库进行显示。

2 DEM 查询。系统提供全库范围根据坐标或鼠标查询高程的功能,并提供根据高程查询空间位置的区域查询功能,查询结果可以多种方式屏幕显示或生成报表。

3 制图输出。系统提供 DEM 数据或同时叠加矢量数据的制图功能,可以根据多种方式生成任意区域的标准图或各类专题地形图。

4 数据分发。系统提供对 DEM 数据进行分发服务功能,可以按照多种方式确定分发范围,按照多种格式进行数据转换,并同时可以完成数据拼接、切割等操作的分发服务功能。

2 DEM 数据库的应用

全国 1 25 万 DEM 已经在测绘遥感、防洪救灾、国防建设、工程建设、土地管理、农林规划、区域治理开发、科研教育、国家宏观管理决策等多方面得到了广泛的应用,产生出了巨大的社会效益和经济效益。通过在 1 25 万 DEM 数据上叠加各种专题要素和卫星影像,可以制作各种晕渲图、立体景观图、鸟瞰图等,如:利用 1 25 万 DEM 数据库为南水北调工程提供辅助决策、为雅鲁藏布大峡谷科考提供科学数据等。