目　　录

1 ArcGIS 简介 4
1.1 安装说明 4
1.1.1ArcView（单用户使用许可）的安装 4
1.1.2ArcGIS（浮动使用许可）的安装 5
1.2 ArcGIS 体系结构 6
1.2.1 服务器端 7
1.2.2 客户端 7
2 数据格式的转换 11
2.1 e00 格式转换成其他格式 11
2.2 CAD 格式转换成 Geodatabase 12
3 数据的显示和查询 13
3.1 数据的打开和显示 13
3.1.1 数据的打开 13
3.1.2 数据视图和版面视图 14
3.1.3 图层、数据集、地图 15
3.1.4 管理内容表 16
3.1.5 修改符号属性 16
3.1.6 符号的定制 18
3.1.7 标记要素 19
3.1.8 自动标记要素 21
3.1.9 设置显示阀值 22
3.2 数据的选择与查询 23
3.2.1 设置可选图层 23
3.2.2 属性选择查询 24
3.2.3 空间选择查询 25
3.2.4 查询结果的保存 26
3.2.5 创建查询结果的统计 27
4 数据的编辑 28
4.1 编辑环境 28
4.1.1 Editor 工具条 28
4.1.2 开始和结束编辑会话 28
4.1.3 选取、拖动和旋转要素 28

4.2 创建新要素.....29
4.2.1 创建线要素.....29
4.3 编辑存在要素.....30
4.3.1 编辑节点.....30
4.3.5 要素的合并.....31
4.3.6 要素的延伸和裁剪.....31
4.4 编辑属性.....31
4.4.1 查看属性.....31
4.4.2 添加和修改属性.....32
4.4.3 复制和粘贴属性.....32
4.5 空间配准.....33
4.5.1 使用地理参考工具栏.....33
5 数据的管理.....34
5.1 内容标签.....34
5.2 预览标签.....35
5.3 元数据标签.....36
5.4 设置显示数据类型.....36
5.5 创建新 ShapeFile 等.....37
6 制图与输出.....38
6.1 地图输出.....38
6.2 矢量数据的获取，从纸质地图到矢量地图.....39
7 空间数据处理.....43
7.1 坐标系统.....43
7.2 投影的实质.....46
7.3 投影分类.....47
7.4 GIS 中的地图投影.....48
7.5 投影变换.....52
7.6 实例一：影像配准和坐标系转换.....52
7.7 实例二：矢量数据的校准、匹配。.....53
8 3D 分析.....54
Exercise 1：Draping an image over a terrain surface.....54
专题一：TIN 与 DEM.....55
Exercise 2：Visualizing contamination in an aquifer.....57
专题二：如何将 2D Feature 显示为 3D.....57
Exercise 3：Visualizing soil contamination and thyroid cancer rates.....57

专题三：空间内插方法.....58
Exercise 4：Building a TIN to represent terrain.....59
专题四：创建 TIN.....60
Exercise 5：Working with animations in ArcScene.....61
专题五：三维动画制作.....61
9 空间分析模块.....63
9.1 空间分析简介.....63
9.2 显示数据和功能简介.....64
9.3 选址分析.....65
9.4 最佳路径.....66
9.5 如何获得连续的栅格数据.....67
9.6 其他功能.....67

1 ArcGIS 简介

1.1 安装说明

1.1.1ArcView（单用户使用许可）的安装

ArcView(单用户使用许可)即 ArcView-Single Use。试用版(Evaluation Edition)也属于这种。这两种软件的安装过程基本相同，只是在注册的时候略有差别。

ArcView 的安装对话框说明了如果在如何您的机器上安装 Arcview，您可以选择安装到本地机器或者安装到网络机器，本向导讨论如何安装到本地机器，如果需要安装到网络机器，请查看相应的文档。如果需要进行单用户安装，请选择第一个安装选项。

ArcView 的安装包含了可选择的 ArcGIS 的扩展和其他模块。如果需要安装可选模块，在安装的时候请选择 complete 选项或者 custome 选项，complete 选项将安装所有的可选择的模块，custom 允许你选择相应的模块。有的可选模块需要额外的注册，注册向导将告诉您如何进行注册。

注意：要安装的目标目录不能包含空格。

当 ArcView 安装结束的时候，安装向导会提示您安装可选的模块。安装向导也会提示您安装例子数据 ArcGIS Tutorial Data 和 Crystal Reports 9.0。

当所有的模块都安装完成之后，安装向导会提示你进行注册。在进行注册前，ArcView 将无法使用。选择一种注册模式，然后注册向导会提示您如何进行注册。

注：

1. ArcView 试用版(EvaluationEdition)注册时，需输入注册号码(RegistrationNumber)，

女口：EVA881681009；

2. ArcView 正式软件注册时，需输入软件锁号(KeyNumber)，如KEY3700541(见软件锁上印刷的数字)；同时还需要输入序列号，请留意产品的交货单。

1.1.2ArcGIS（浮动使用许可）的安装

ArcGIS (浮动使用许可)即 ArcGIS-Concurrent，使用浮动的 license。浮动的 License 允许您对 License 进行集中的管理，浮动的 License 的核心是 License 管理器，只要在一台机器上安装了 License 管理器，局域网内的其他机器也可以使用该机器上的 License。

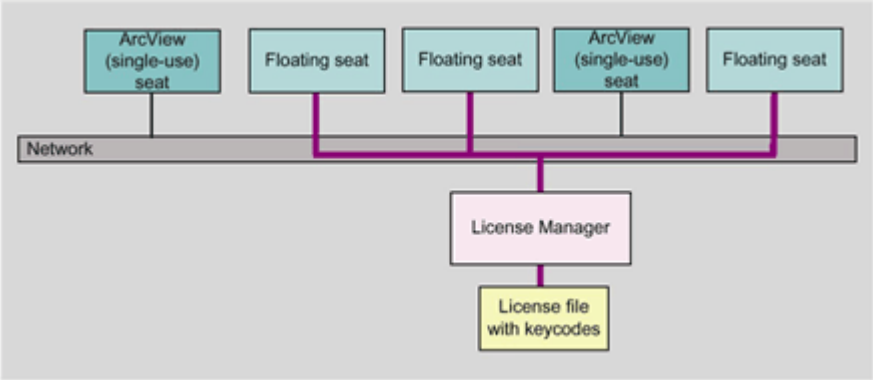


图 1.1 License 管理器示意图

ArcGIS (浮动使用许可)软件的安装跟单用户使用许可的软件差别不大，只是需要安装浮动的 license。由于 License 管理器(License Manager)已经安装在局域网内一台计算机上，所以其他计算机在安装时只要访问该计算机上的 License 即可。如下图所示，选择 Install ArcGIS on a network。

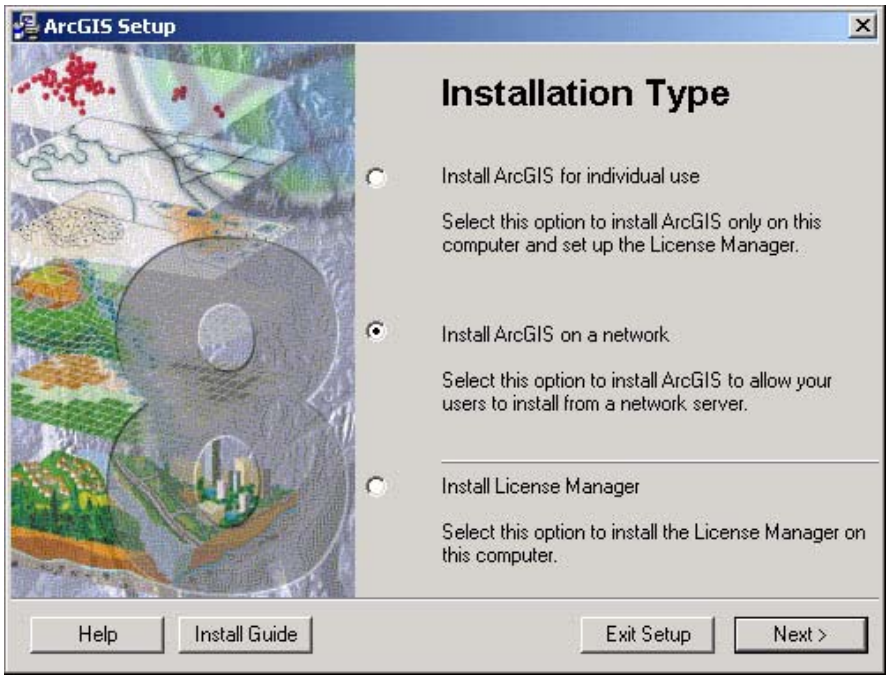


图 1.2 ArcGIS 安装界面

License Manager Server 中输入安装有 License 的计算机的名称，查找到 License 后继续安装即可。

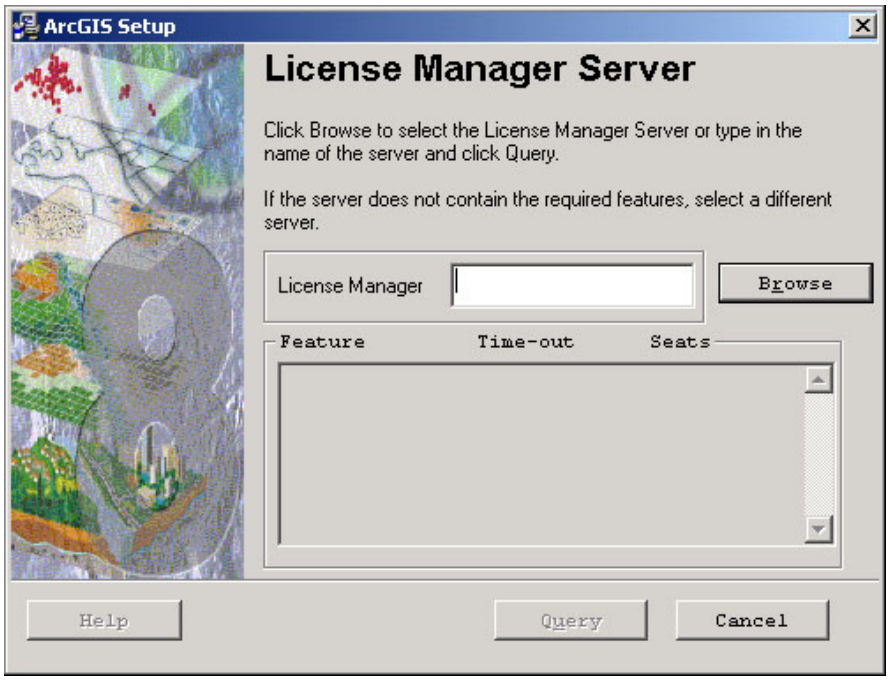


图 1.3 License Manager Server 输入界面

1.2 ArcGIS 体系结构

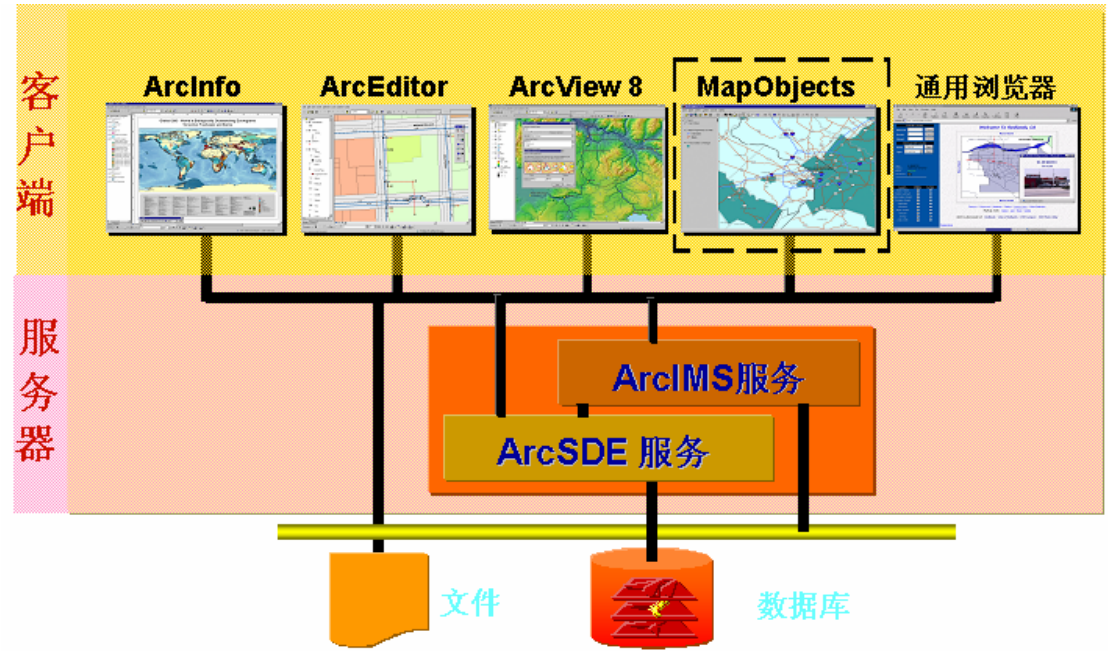


图 1.4 ArcGIS 体系结构图

ArcGIS 不是一个孤立的 GIS 软件，而是具有统一、严整、完备、可伸缩集成体系结构的系列 GIS 平台，它可以适应 GIS 用户由低到高的广泛需求。ArcGIS 由三个重要部分组成：ArcSDE、ArcIMS、ArcGIS 桌面软件。

1.2.1 服务器端

1. ArcSDE——空间数据管理中心

ArcSDE 是一个高效的海量空间数据库引擎。ArcSDE 将空间数据和相关的属性数据统一放在工业标准的 DBMS 下进行管理，支持多用产并发访问操作。ArcSDE 在企业级的 GIS 应用中扮演了一个重要的基础角色。ArcSDE 结合了多用户编辑和对空间数据库的事务处理，与 ArcEditor 和 ArcInfo 紧密结合支持对多用户空间数据库的设计、建立、编辑和共享。ArcSDE 支持 Oracle，Microsoft SQL Server，IBMDB2 和 Informix 等基于工业标准的数据库平台。

2. ArcIMS——空间信息网络发布中心

ArcIMS 是互联网地图服务器，是基于 Internet 的分布式空间信息和 GIS 服务器。ArcIMS 提供了 Internet／Intranet 环境下的地图服务能力。ArcIMS 客户端浏览器可以是标准的浏览器，如 IE，也可以是 ESRI 免费提供的 ArcExplorer 专用地图浏览器。所有的 ArcGIS 的桌面客户端(ArcInfo，ArcEditor，ArcView，ArcExplorer 和 ArcIMS Viewer)都可以通过 Web 从 ArcIMS 服务器动态地获取矢量数据流。这些新的图层类型可以象本地数据一样完成符号化，制图，查询，简单编辑和分析工作。

1.2.2 客户端

ArcGIS 的客户端包括 ArcInfo、ArcEditor、ArcView、ArcGIS 扩展模块、ArcExplorer、ArcReader 和 ArcIMSViewer(即通用浏览器)，此外，还有很多 ESRI 公司其他的软件产品：MapObjects for windows(MO-WIN)、MapObjects for Java(MO-Java)、ArcPad 等。

ArcGIS 桌面软件：一个一体化的高级的 GIS 应用平台，是指 ArcView、ArcEditor 和 ArcInfo。它们分享通用的结构，通用的代码基础，通用的扩展模块和统一的开发环境。从 ArcView、ArcEditor 到 ArcInfo，功能由简到繁。

1. ArcView8

ArcView 8 提供了核心的制图和 GIS 功能。可以完成数据的创建、编辑、显示、查询、符号定制管理，动态的投影转换，内嵌的 VBA 开发环境，对 Shape

文件和基于 Access 数据库的个人化 Geodatabase 的编辑工具，支持注记等；使用 ArcView 可以完成任何从简单到复杂的 GIS 任务，包括制图，数据管理，地理分析，数据编辑和地理处理并使用 VBA 进行客户化。

2. ArcEditor8

ArcEditor8 包含了 ArcView8 软件的所有功能，还增加了对 Geodatabase 的编辑能力。增加的功能包括，支持多用户编辑，版本管理，数据模型定制与扩展，与要素关接的注记和尺寸标注要素类。ArcEditor 提供对 ESRI 支持的所有矢量数据格式的建立和编辑能力。

3. ArcInfo8

ArcInfo 8 除了包括 ArcView 8 和 ArcEditor8 的所有功能外，还增加了高级的空间处理能力。ArcInfo 是一个完全的 GIS 数据建立、转换、更新、查询、制图和分析系统。所有的 ArcGIS 桌面软件都由一组相同的应用环境构成：ArcMap，ArcCatalog 和 ArcToolbox。通过这三个应用的协调工作，可以完成从简单到复杂的 GIST 作，包括查询检索、制图，数据管理，空间统计、空间分析和空间处理。还包括与 Internet~图和服务的整合，地理编码，高级数据编辑，高质量的制图，动态投影，元数据管理，对近 40 种数据格式的直接支持等。

（1）ArcMap

ArcMap 是 ArcGIS 桌面系统的核心应用。它把传统的空间数据编辑、查询、显示、分析、报表和制图等 GIS 功能集成到一个简单的可扩展的应用框架上。

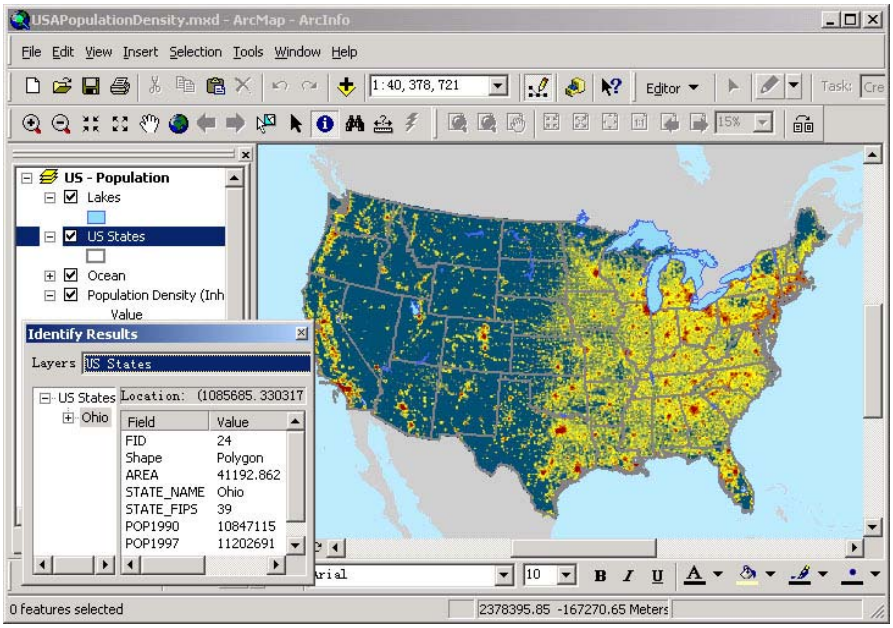


图 1.5 ArcMap 地理数据视图

在该应用中，我们可以操作地图。地图是一个包含地理窗口或视图的制图版面，它由一系列图层，图例，比例尺，指北针和其他制图元素组成。

ArcMap 可以以不同的视图显示地图——地理数据视图和版面视图——在此环境中，你可以完成一系列高级的 GIS 任务。

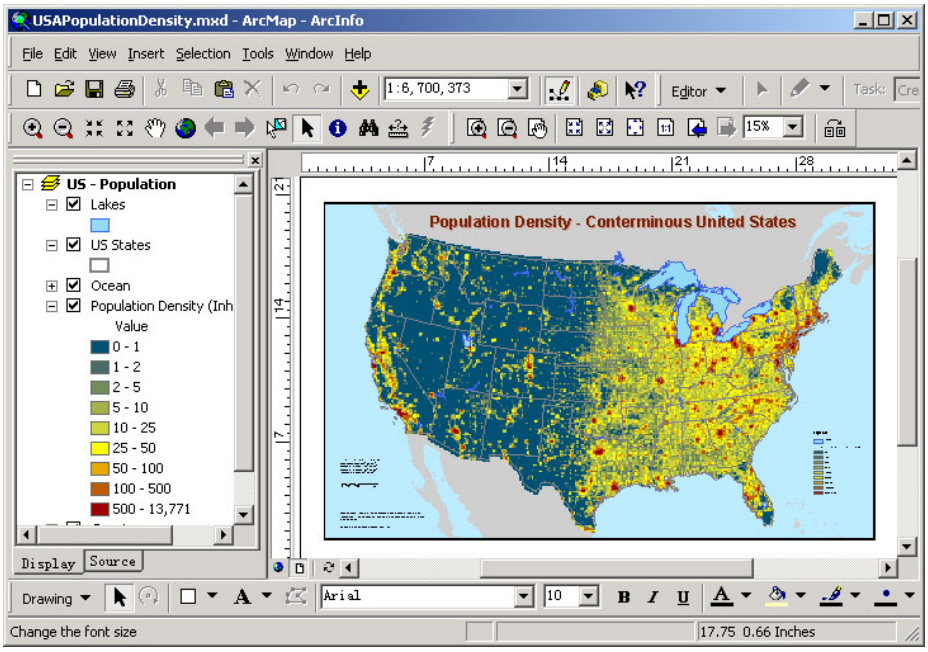


图 1.6 ArcMap 版面视图

（2）ArcCatalog

ArcCatalog 用于组织和管理所有 GIS 数据。它包含一组工具用于浏览和查找地理数据、记录和浏览元数据、快速显示数据集及为地理数据定义数据结构。

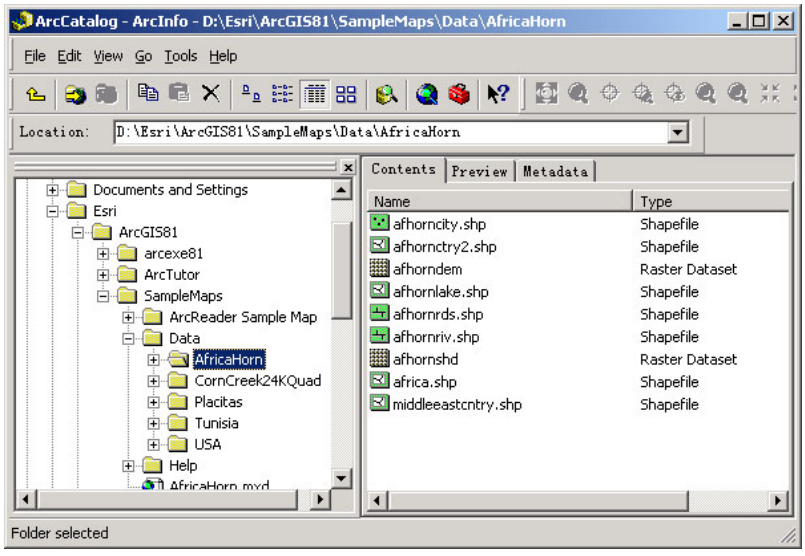


图 1.7 ArcCatalog 组织管理 GIS 数据

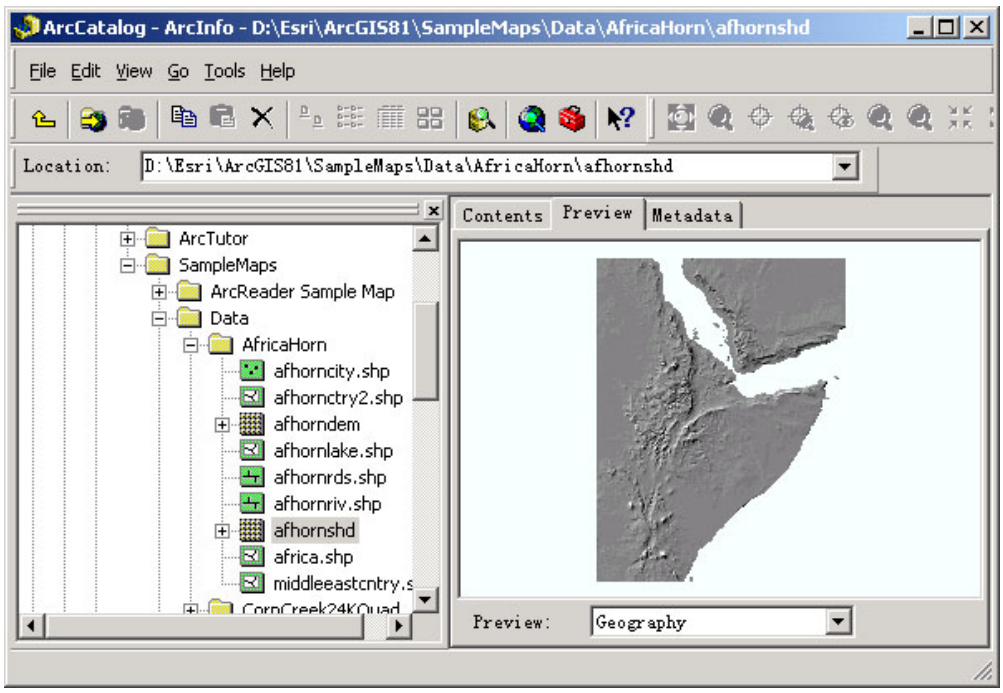


图 1.8 ArcCatalog 预览 GIS 信息

（3）ArcToolbox

ArcToolbox 是一个简单的包含了各种用于空间处理的 GIS 工具的应用。有两个版本的 ArcToolbox-随 ArcInfo 提供的完整版和随 ArcView 和 ArcEditor 提供的简化版。

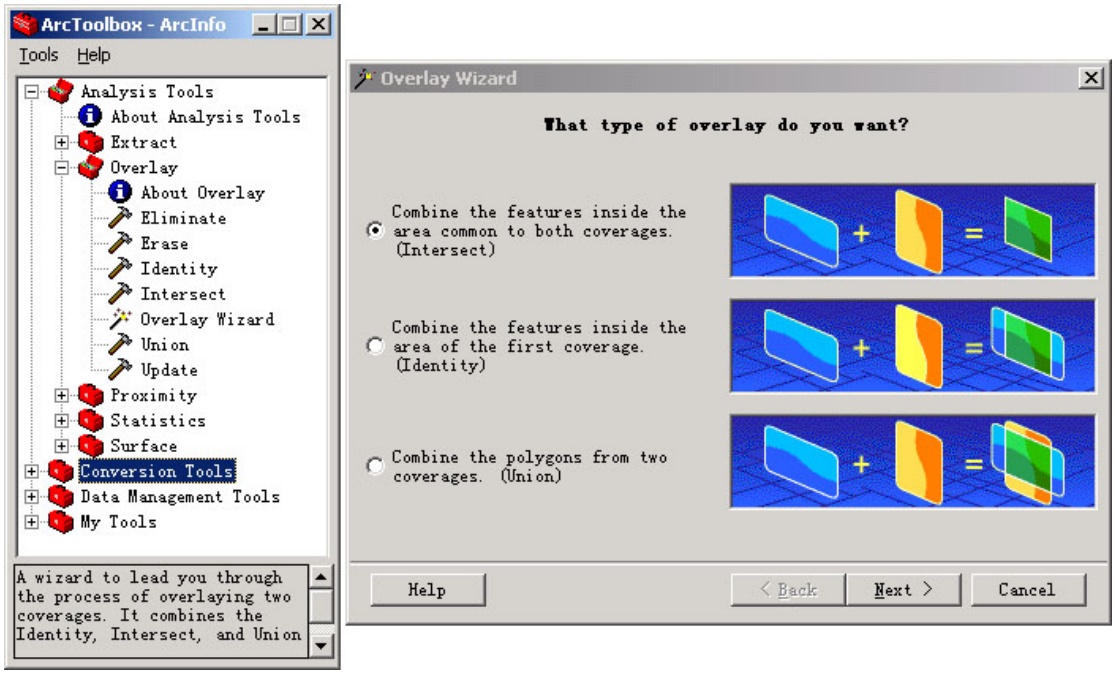


图 1.9 ArcToolbox 用于空间处理和数据转换

2 数据格式的转换

2.1 e00 格式转换成其他格式

1. e00 格式转换成 Coverage

ArcToolBox → 转换工具（Conversion Tools） → 导入到 Coverage（Import to Coverage） → 从 ESRI 中间交换文件导入 ArcView（ArcView Import from Interchange File） → 在“输入文件”中输入 e00 的路径及文件，在“输出数据集”中输入要生成的 Coverage 的路径及名称 → 确定完成转换。

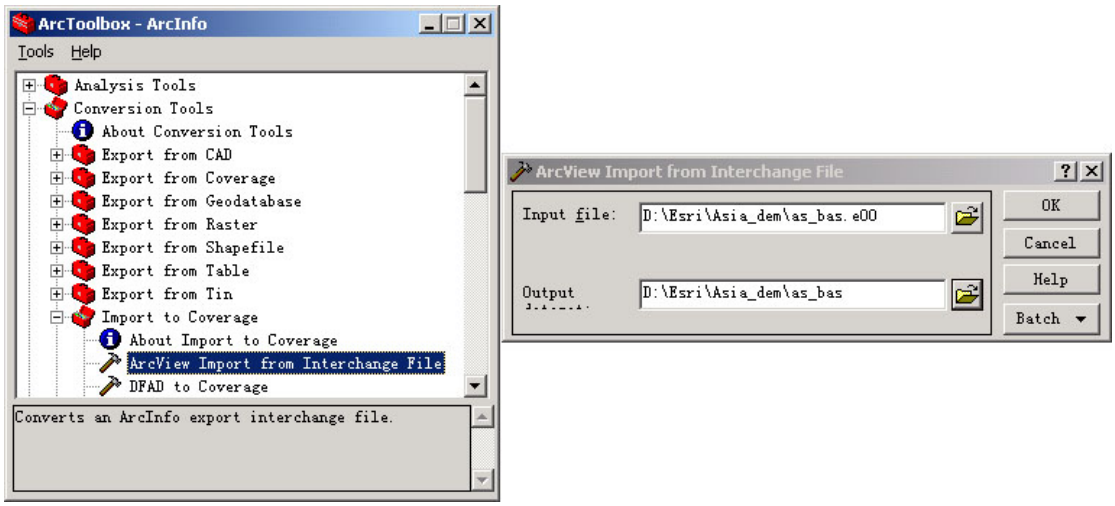


图 2.1 e00 格式转换成 Coverage

2. Coverage 格式转换成 ShapeFile

ArcToolBox → 转换工具（Conversion Tools） → 从 Coverage 导入（Export from Coverage） → Coverage 导入到 ShapeFile（Coverage to ShapeFile） → 在“输入 Coverage”中输入 Coverage 的路径及文件，在“Feature class”中选择 Poly、Line 或 Point 类型，在“Data type mapping”中选择投影类型，在“输出 ShapeFile”中输入要生成的 ShapeFile 的路径及名称 → 确定完成转换。

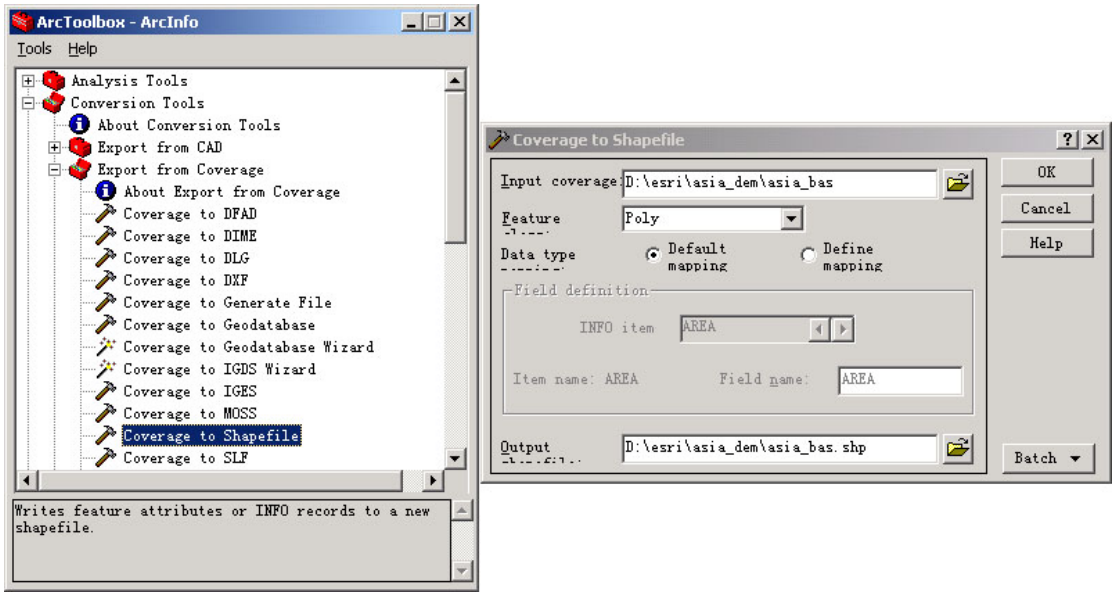


图 2.2 Coverage 格式转换成 ShapeFiles

2.2 CAD 格式转换成 Geodatabase

首先，在 ArcCatalog 中新建一个 Personal Geodatabase。

ArcCatalog → 在放置 Geodatabase 的目录上击右键 → New →Personal Geodatabase → 生成一个 Personal Geodatabase。

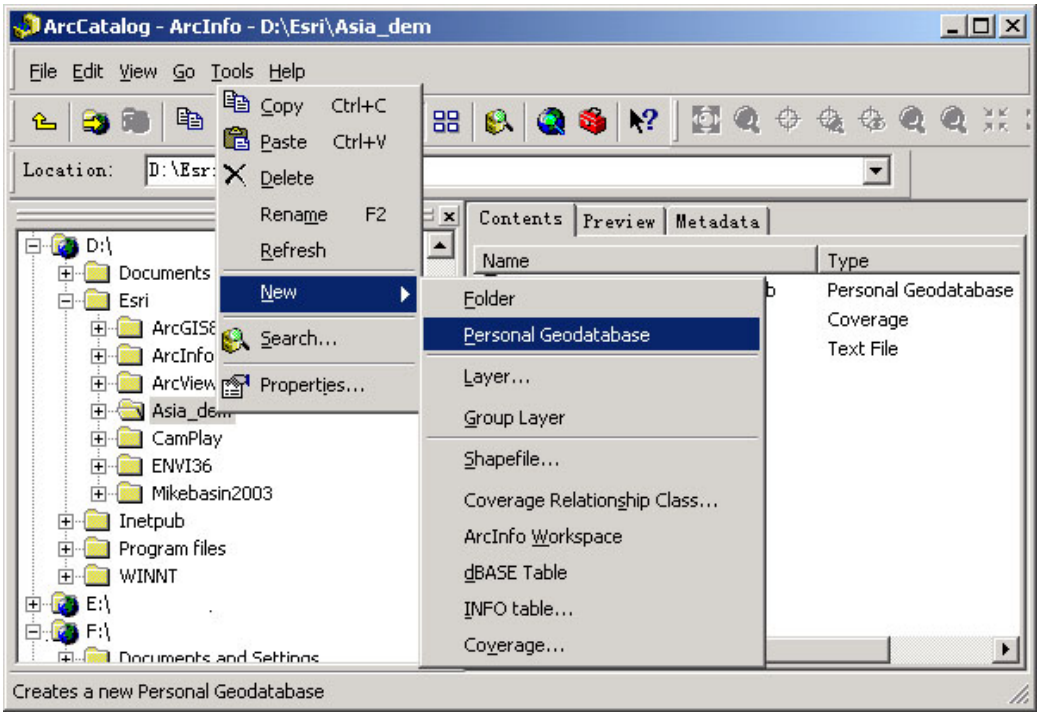


图 2.3 在 ArcCatalog 中生成一个 Personal Geodatabase

ArcToolBox → 转换工具（Conversion Tools） → 从 CAD 导入（Export from CAD） →CAD 格式转换成 Geodatabase（CAD to Geodatabase） → 在“输入 CAD 文件”中输入 CAD 的路径及文件，在“Select an existing CAD feature class”中选择 PolyLine 或 Point 等类型，在“Output Geodatabase”中输入要导入的 Geodatabase 的路径及名称 → 确定完成转换。

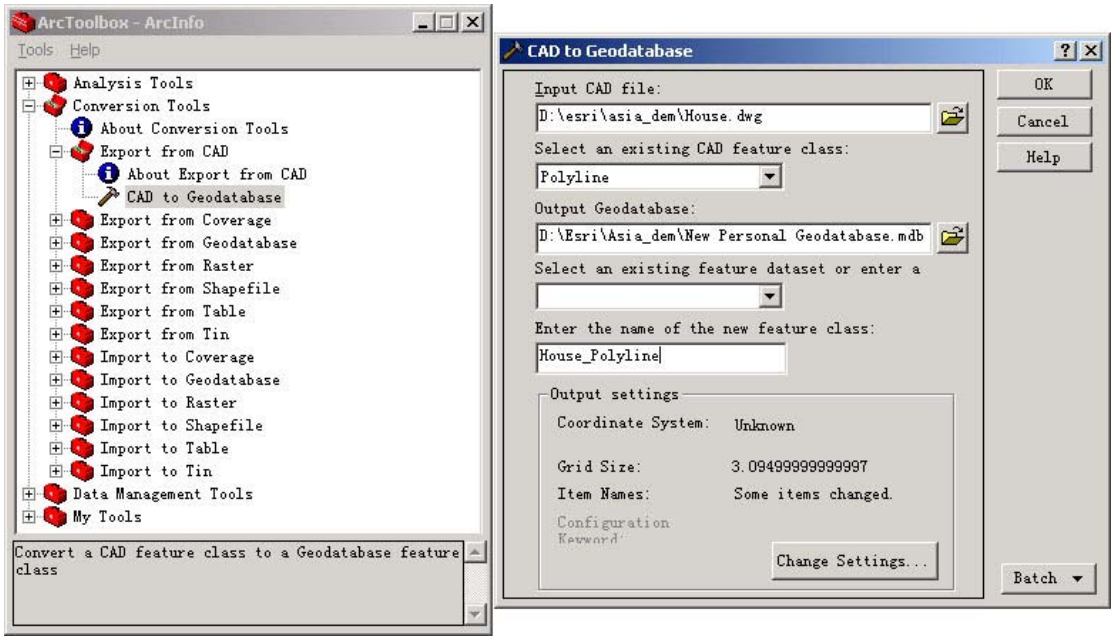


图 2.4 CAD 格式转换成 Geodatabase

3 数据的显示和查询

3.1 数据的打开和显示

3.1.1 数据的打开

ArcMap → 选择 An existing map → 双击 Browse for maps → 选择要打开的文件（*.mxd）。

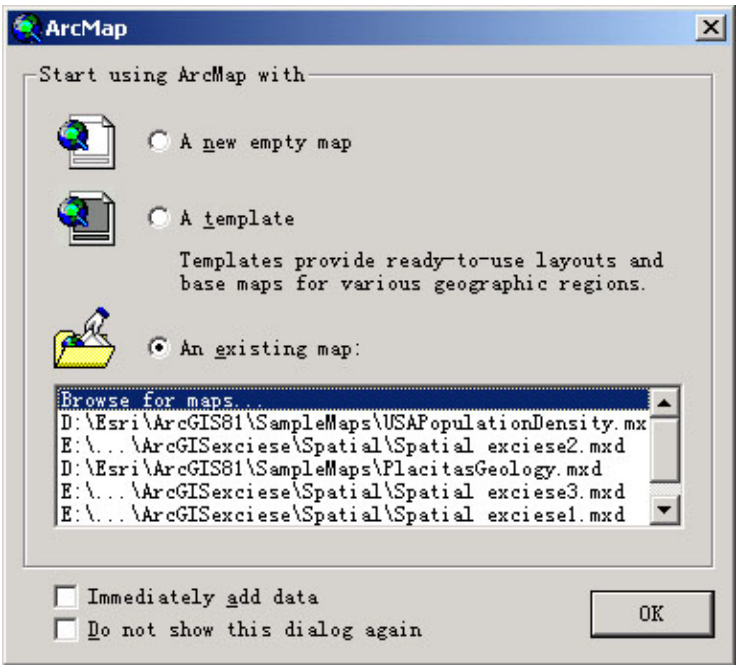


图 3.1 在 ArcMap 中打开数据

3.1.2 数据视图和版面视图

ArcMap → View 菜单 → Data View 数据视图。

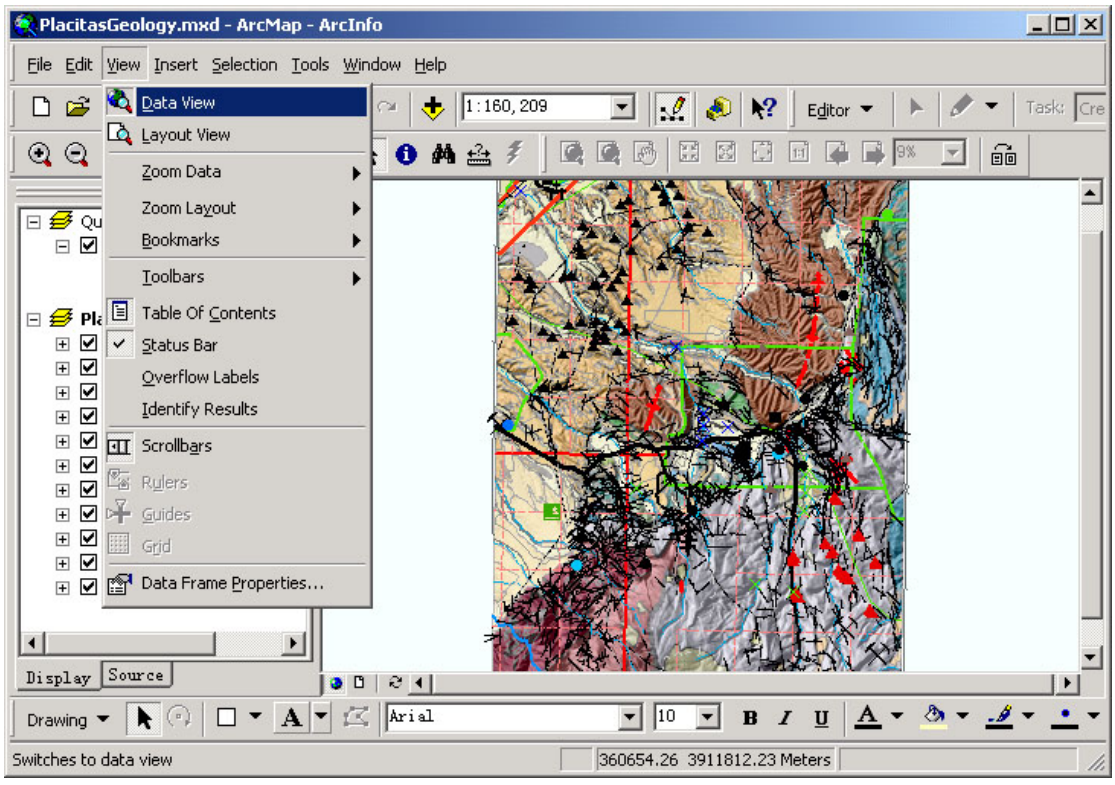


图 3.2 ArcMap 的数据视图

ArcMap → View 菜单 →Layout View 版面视图。

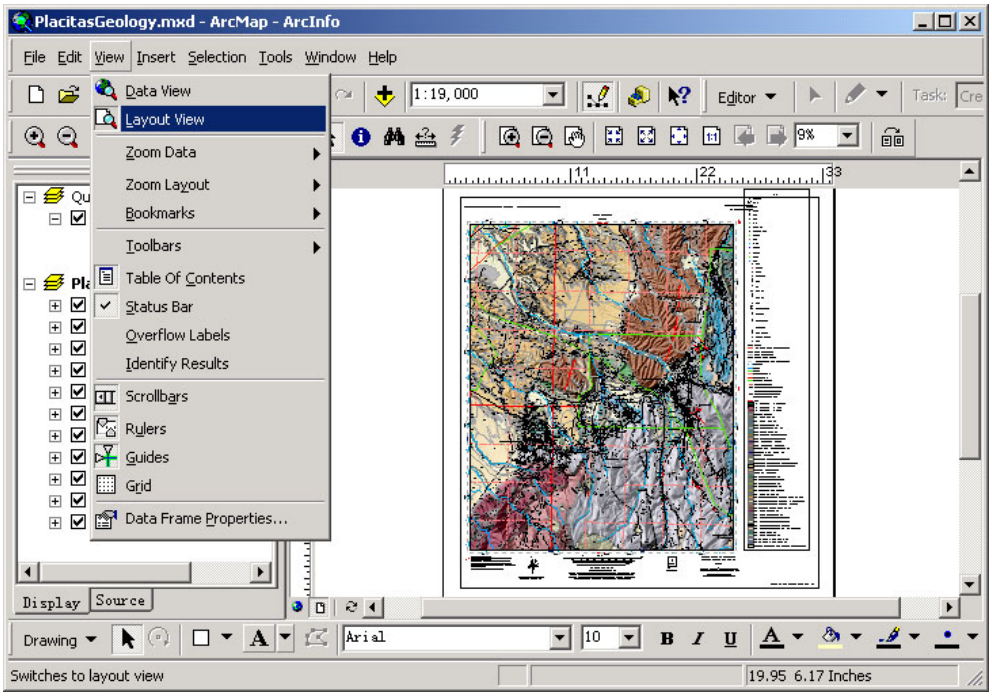


图 3.3 ArcMap 的版面视图

3.1.3 图层、数据集、地图

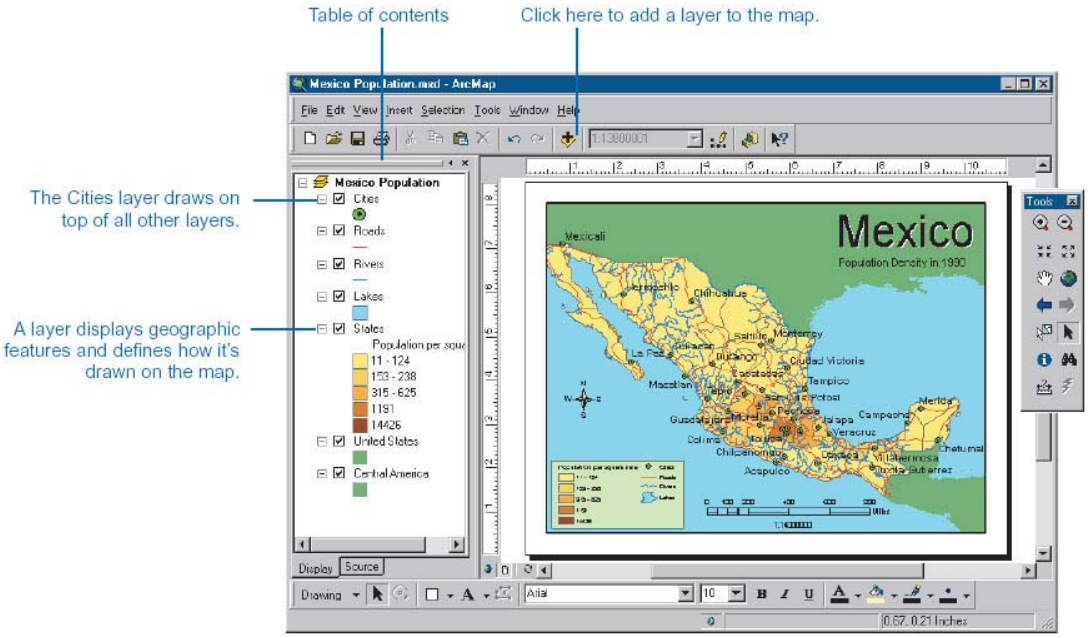


图 3.4 ArcMap 的图层、数据集、地图

ArcMap 中，左边是内容表（Table of contents），右边是地图。在内容表中，列出了所有的图层并指示出它们在地图中的表现方式。可以将图层进一步组织为数据集（Data frames），使数据框中包含的图层可以同时进行操作，比如数据集的对比。

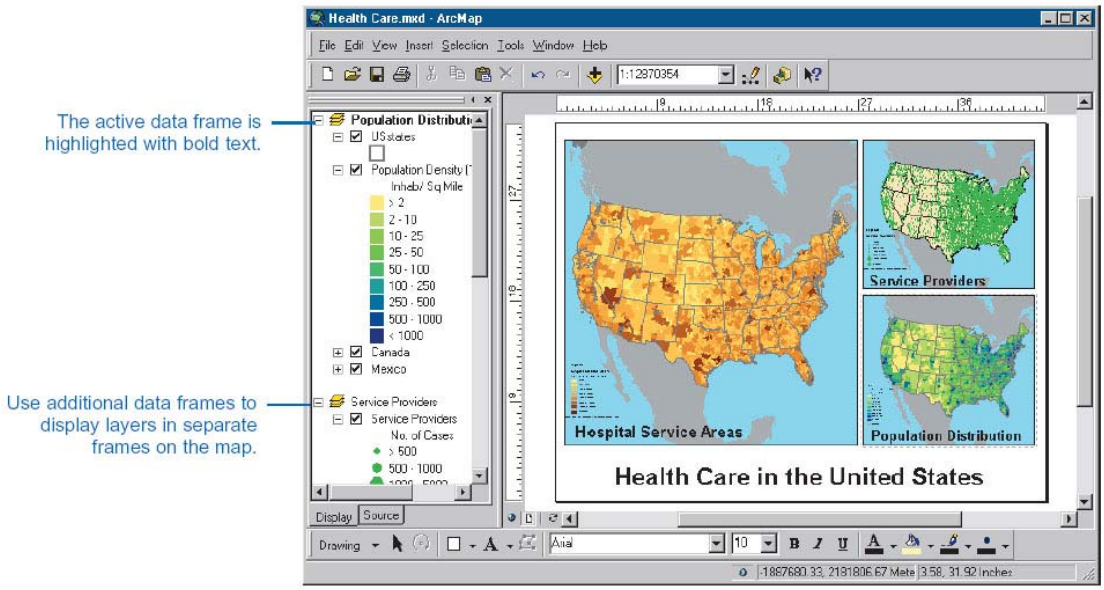


图 3.5 ArcMap 的数据集的应用

3.1.4 管理内容表

如图 3.4 所示，排在内容表中上部的图层在地图窗口中显示在排在内容表中下部的图层的上面，为了不遮盖其他图层，面图层一般应排在内容表的下部。

点击图层前面的 ⊞ 使之变成 ⊟，可以看到该图层的详细信息；将图层前面的 ☑ 中的“√”去掉，可以使该图层不显示。

3.1.5 修改符号属性

点击 schools 图层的点符号 → 显示其符号选择窗口，在该窗口中重新选择符号 → 新符号在地图窗口中显示。如图 3.6～图 3.8 所示。

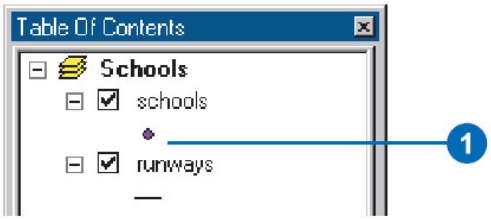


图 3.6 ArcMap 中修改符号属性 1 图

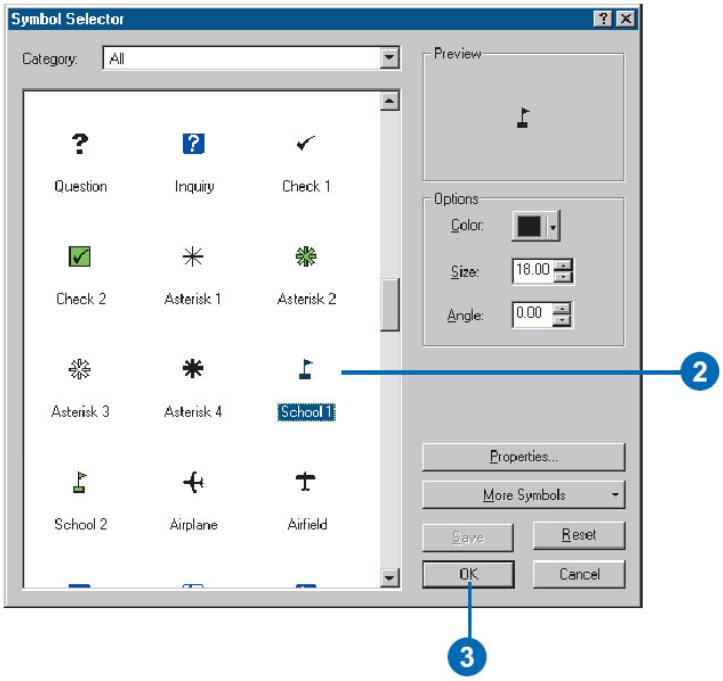


图 3.7 ArcMap 中修改符号属性 2 图

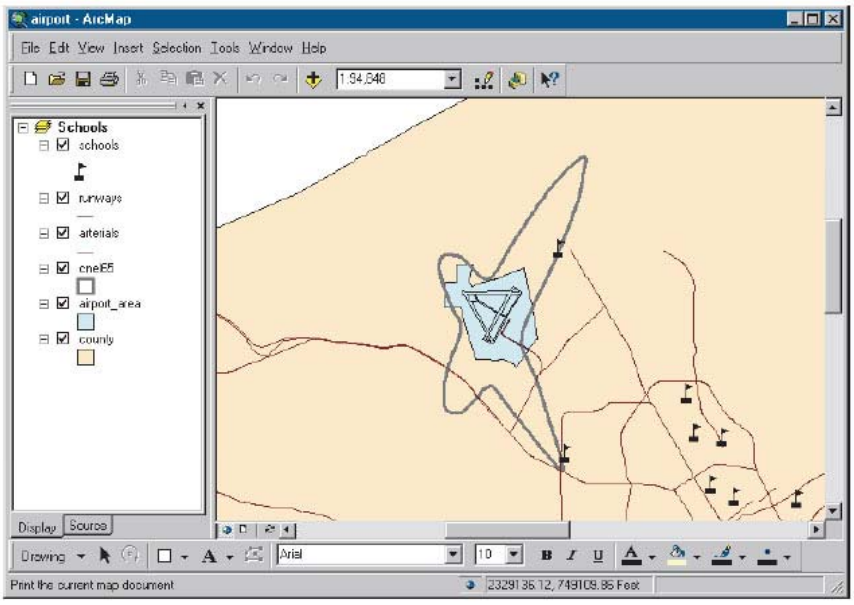


图 3.8 ArcMap 中修改符号属性 3 图

3.1.6 符号的定制

Tools → Styles → Style Manager，弹出 ArcMap 的符号管理器如图 3.9 所示 → 选中 Line Symbols → 在右边 Symbol contents 窗口的空白区域击鼠标右键 → 点击 New → 点击 Line Symbol → 得到 New Line Symbol。

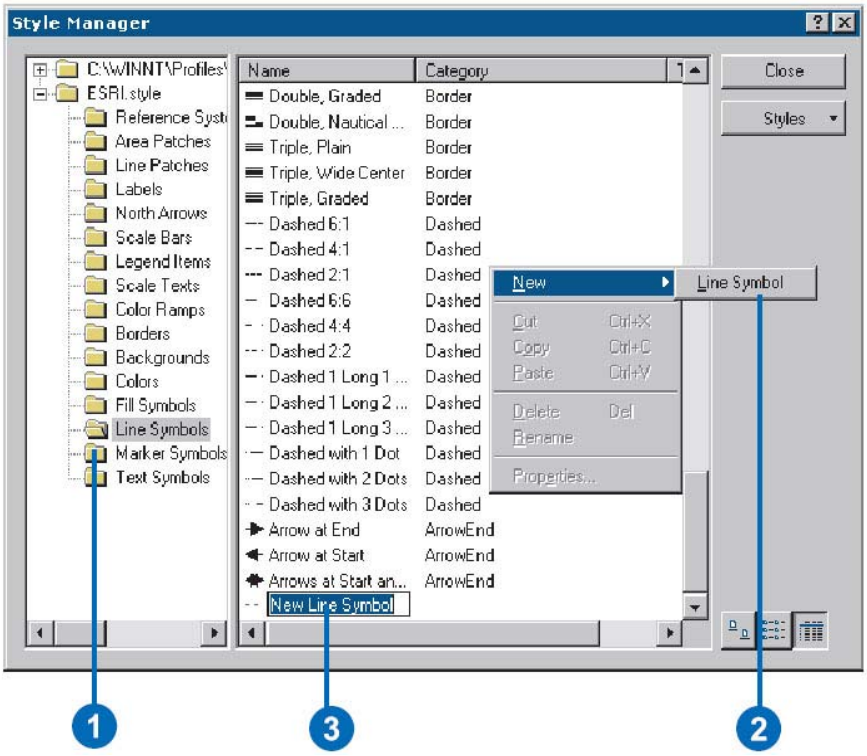


图 3.9 ArcMap 的符号管理器

在 Style Manager 中双击 New Line Symbol → 弹出 Symbol Property Editor → 选择 Type 为 Cartographic Line Symbol→ Color 选择白色 → Width 选择 2.2 → 单击 Template tab → 将小格子拉到 11 的位置 → 点击将前面的 4 各格子涂黑。

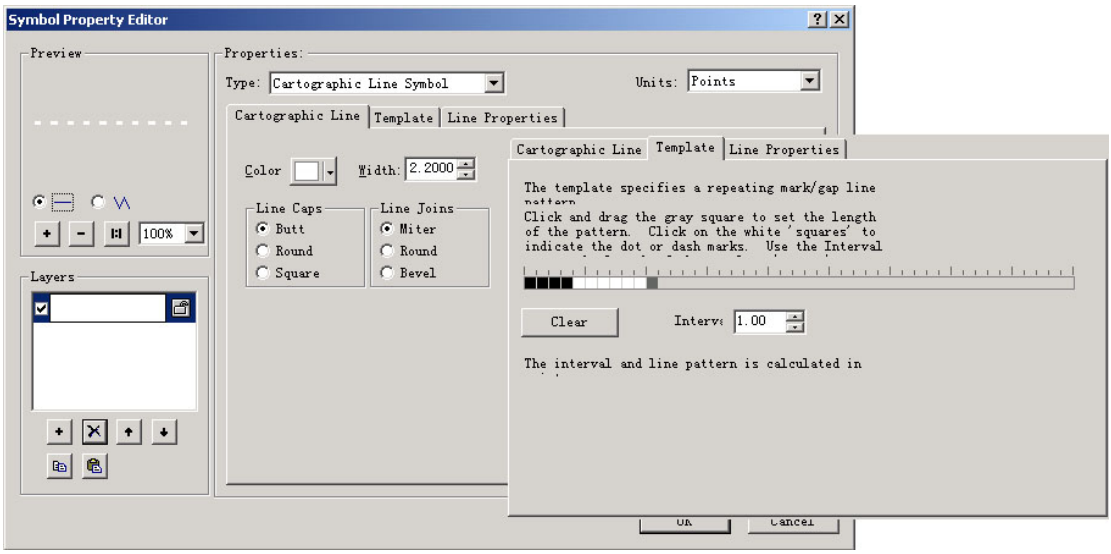


图 3.10 ArcMap 的符号属性编辑 1 图

在 Symbol Property Editor 的 Layers 下点击+号增加 1 层 → Color 选择黑色 → Width 选择 3 → 确定完成铁路符号的定制。

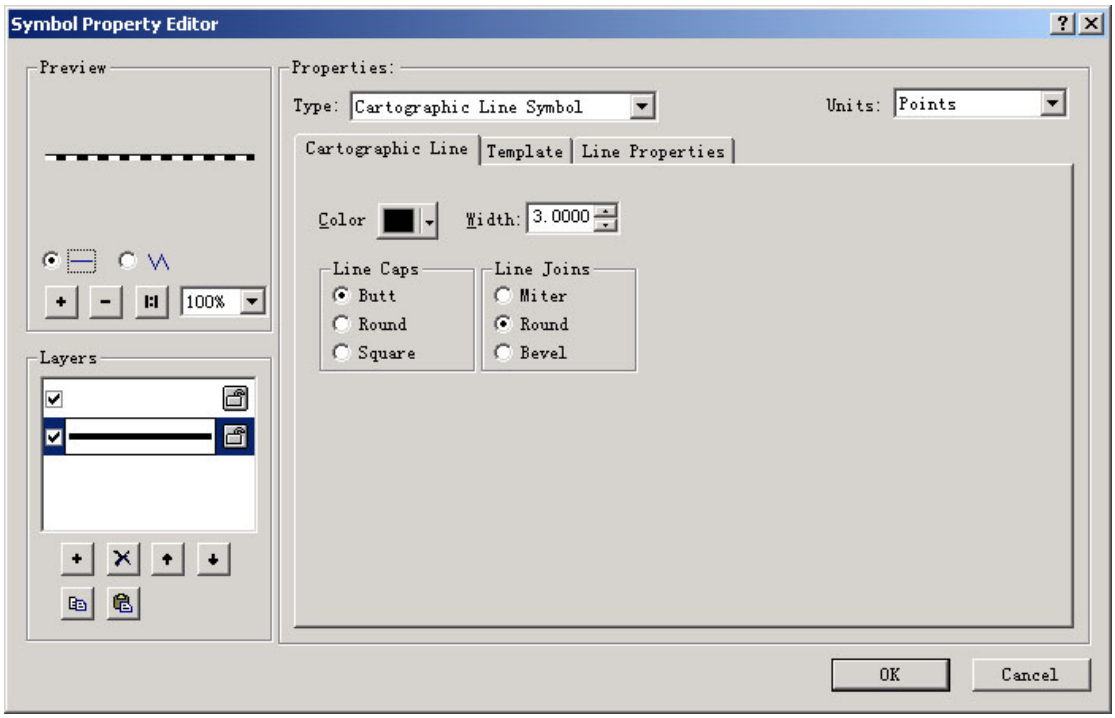


图 3.11 ArcMap 的符号属性编辑 2 图

3.1.7 标记要素

在内容表中右键点击要标记的层并点击属性 → 选择 Labels tab → 选择标

记使用的 Label Field → 确定。

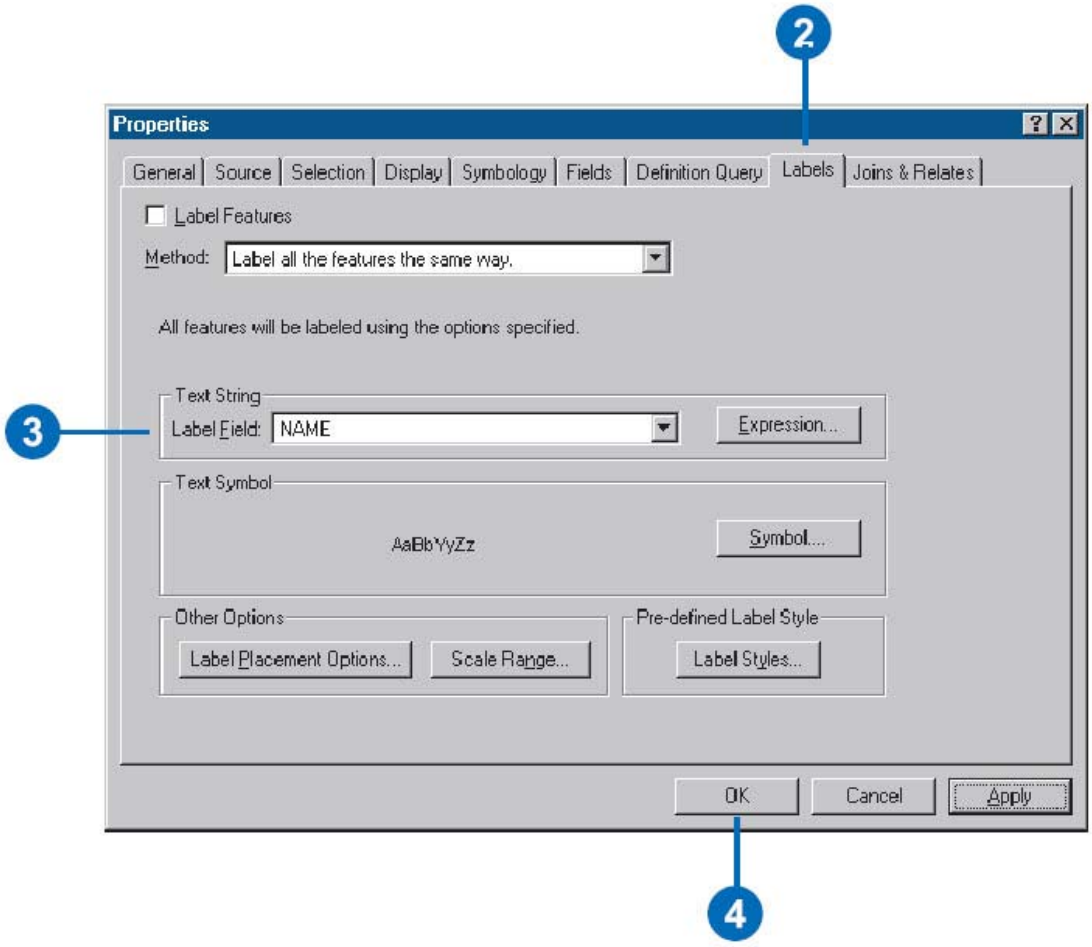


图 3.12 ArcMap 中选择要标记的字段

在 Draw toolbar 中点击 Label button（点击 New Text 旁边的 dropdown arrow 选择） → 选择 position 和 label style → 在要标记的位置点击鼠标。

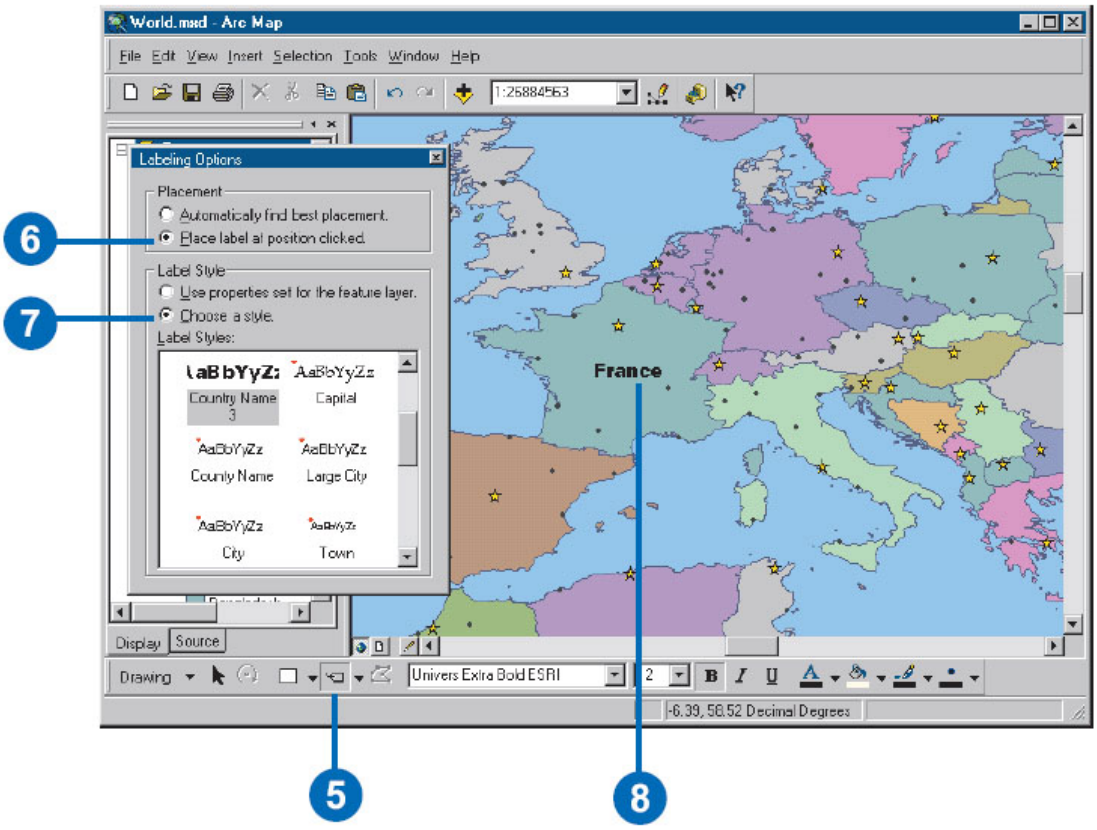


图 3.13 ArcMap 中的要素标记

3.1.8 自动标记要素

和图 3.12 类似，在内容表中右键点击要标记的层并点击属性 → 选择 Labels tab → 选中 Label Features → 选择标记使用的 Label Field → 确定，该层所有的要素自动标记。

在内容表中右键点击已标记的层并点击 Label Features，可清除该层的自动标记；复选，重新自动标记。

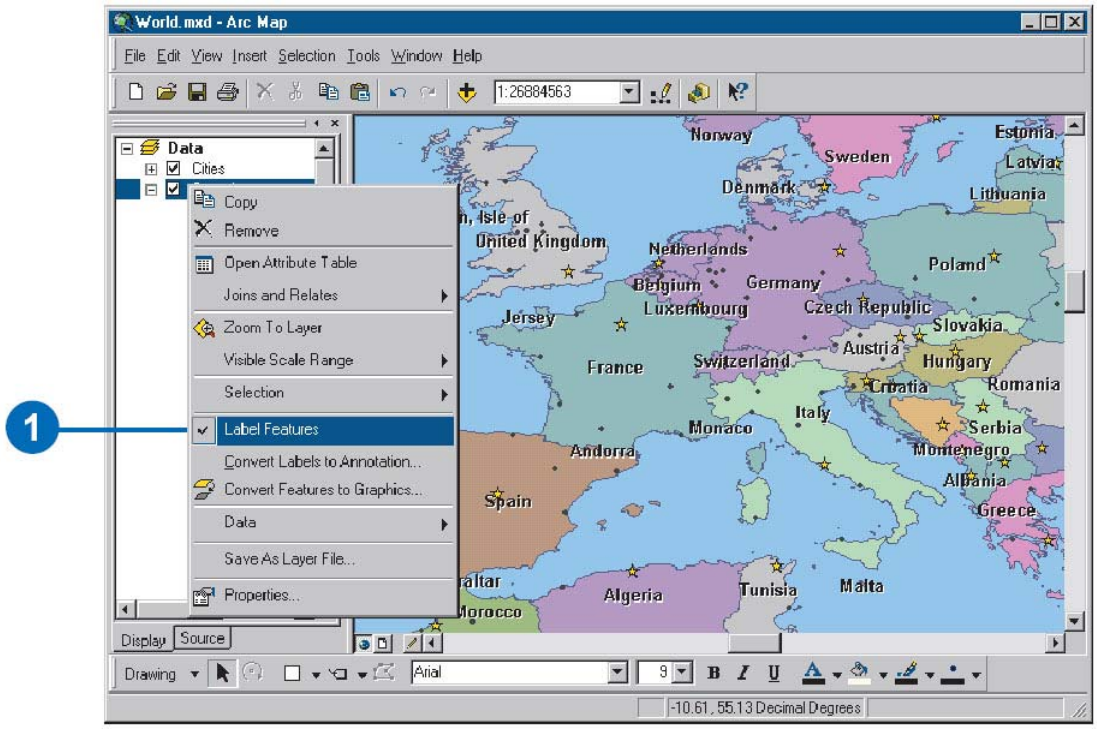


图 3.14 ArcMap 中开关自动标记

3.1.9 设置显示阀值

在地图窗口中调整到合适的显示比例 → 右键点击要设置显示阀值 visible scale 的图层 → 点击 Visible Scale Range 选择设置 Maximum Scale 或 Minimum Scale。

已设置显示阀值的可以点击 Clear Scale Range 取消。

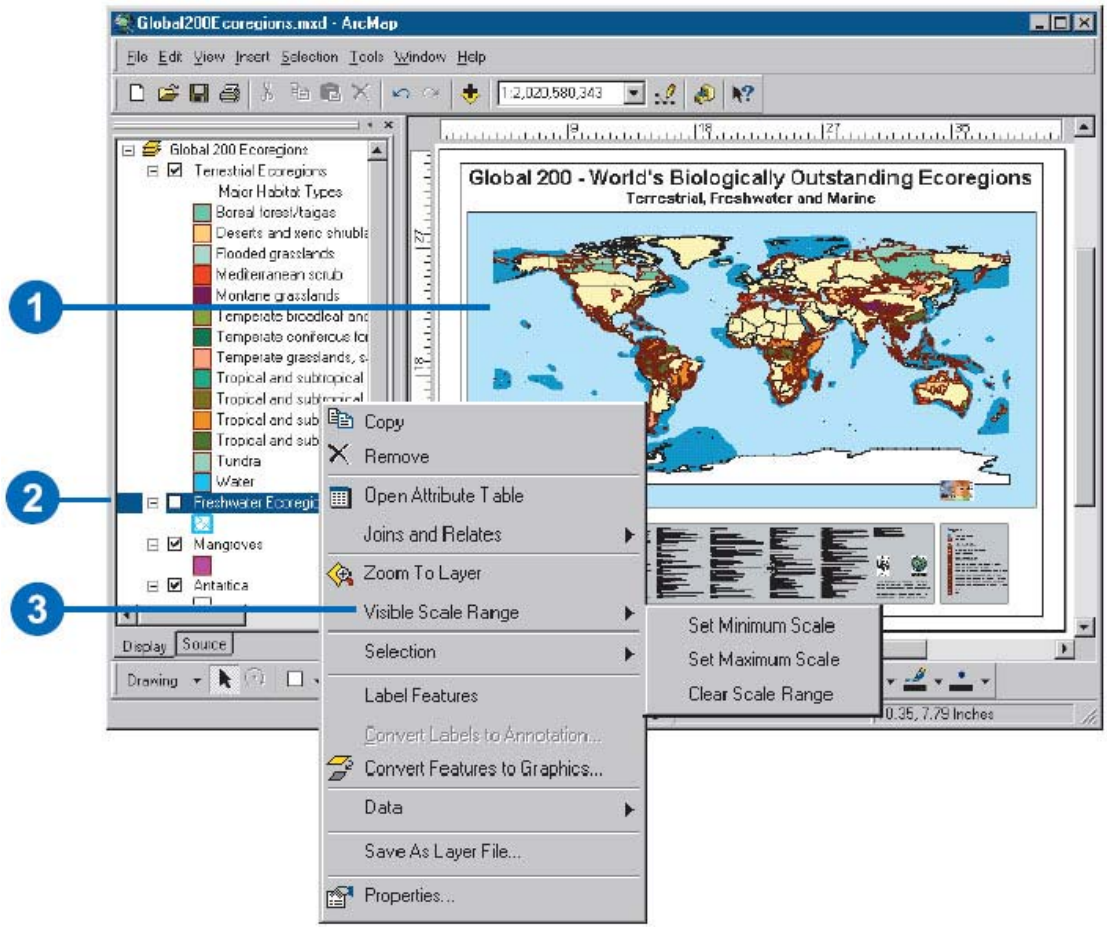


图 3.15 ArcMap 中开关自动标记

3.2 数据的选择与查询

3.2.1 设置可选图层

点击 Selection 菜单下的 Set Selectable Layers → 在弹出窗体中选中要选择的层 → 再点击 Selection 菜单下的 Interactive Selection Method 中的 Create New Selection → 在工具栏中点击 Select Features 工具 → 点击要选择的要素（可以按住 Shift 键进行更多选择）。

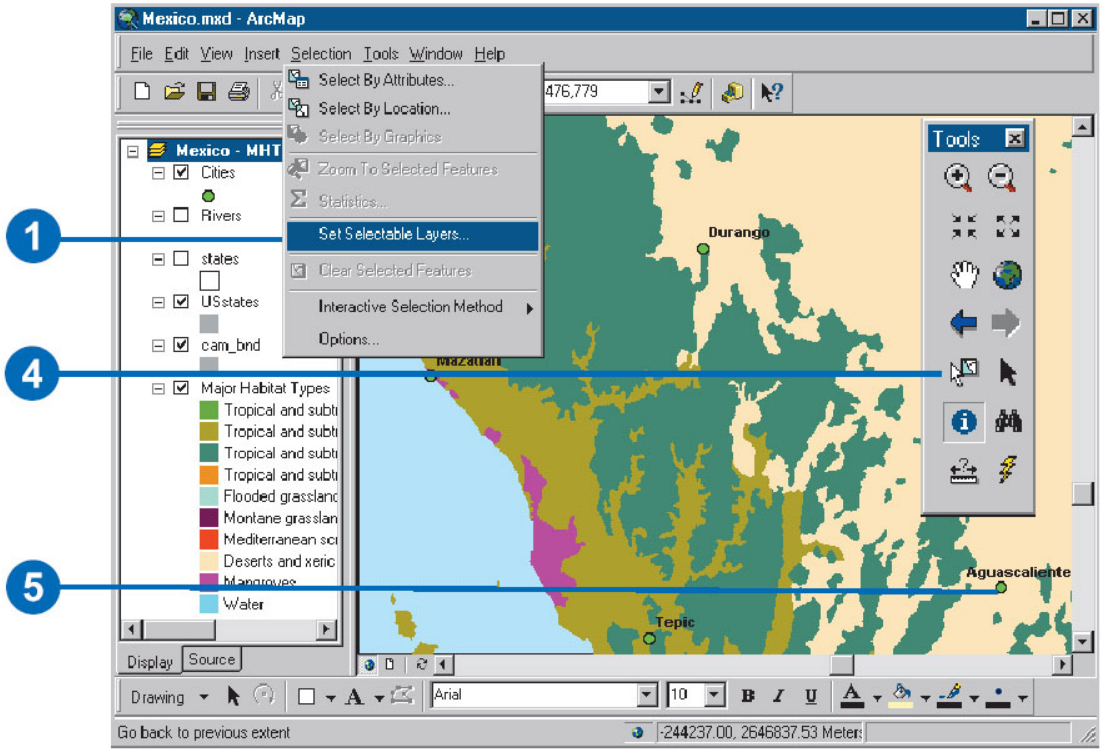


图 3.16 ArcMap 中设置可选图层 1 图

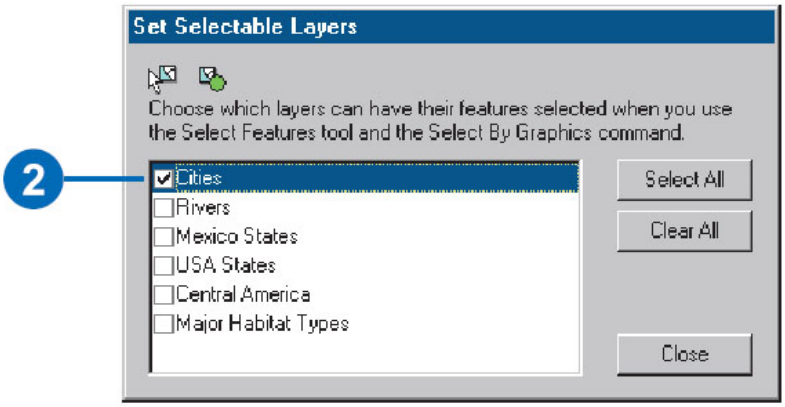


图 3.17 ArcMap 中设置可选图层 2 图

3.2.2 属性选择查询

点击 Selection 菜单下的 Select By Attributes → 在弹出窗体中选中要选择的层 → 选择 selection method → 双击一个 field 添加 field name 到 expression box → 给表达式添加操作符 operator → 选择 values → 点击 Verify 按钮验证表达式的正确性 → 应用执行。

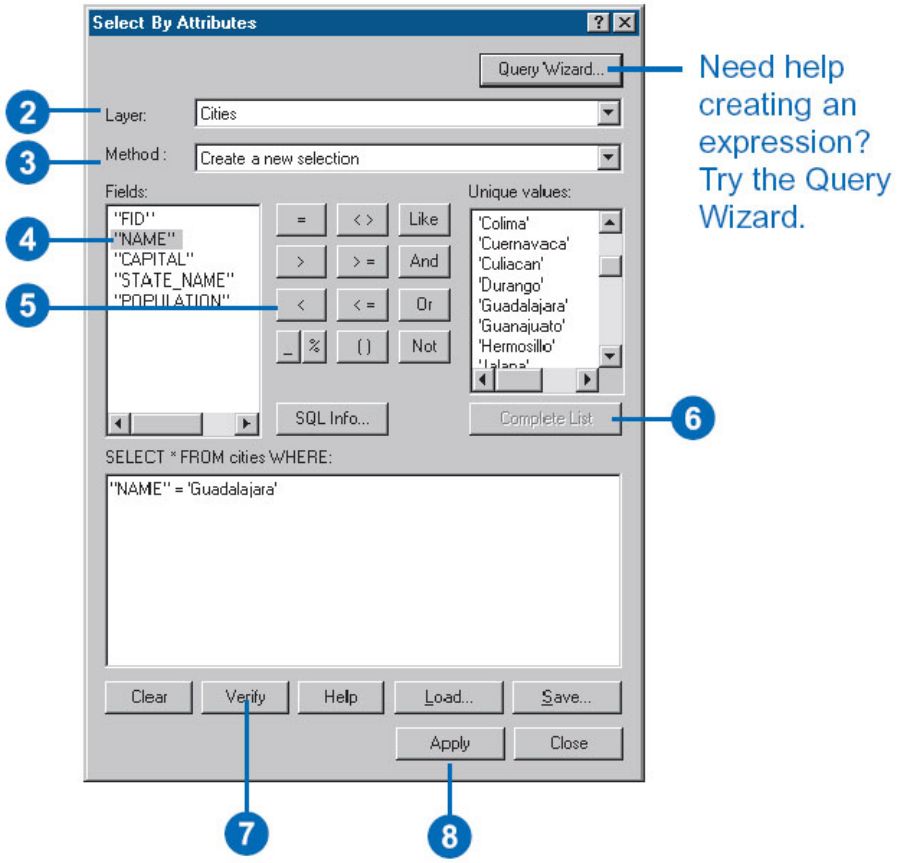


图 3.18 ArcMap 中属性选择查询

3.2.3 空间选择查询

点击 Selection 菜单下的 Select By Location → 在弹出窗体中选择 selection method → 选中要选择的层 → 选择执行的 selection method → 选择要执行选择的层 → 选中 use selected features → 选中 Apply a buffer → 应用执行。

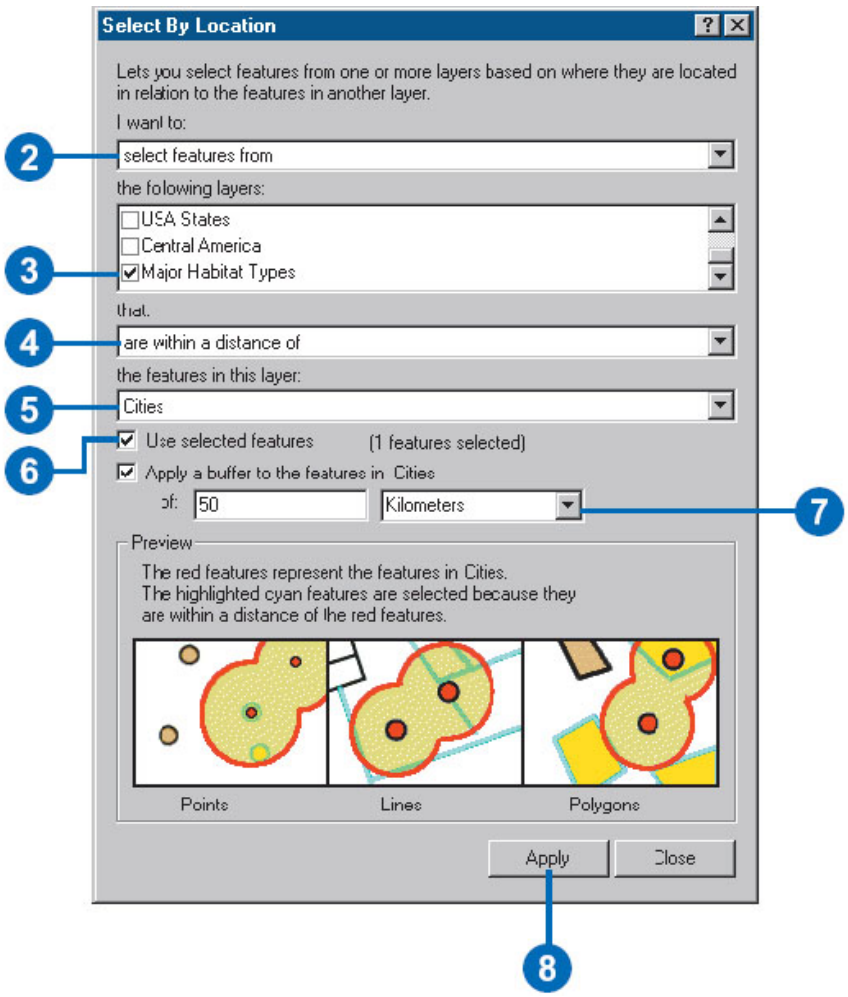


图 3.19 ArcMap 中空间选择查询

3.2.4 查询结果的保存

右键点击包含选择集的图层→ 选择 Data → Export Data → 在 Export 框中选择 Selected features → 输入 Output file 路径及文件名 → 保存。

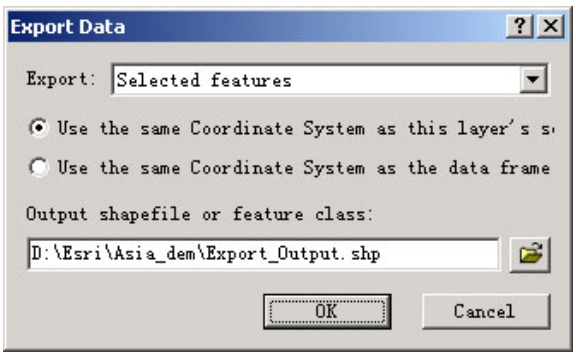


图 3.20 ArcMap 中查询结果的保存

3.2.5 创建查询结果的统计

右键点击包含选择集的图层→ 选择 Open Attribute Table → 选择 Selected 显示 → 右键点击 AREA 字段头选择 Summarize。

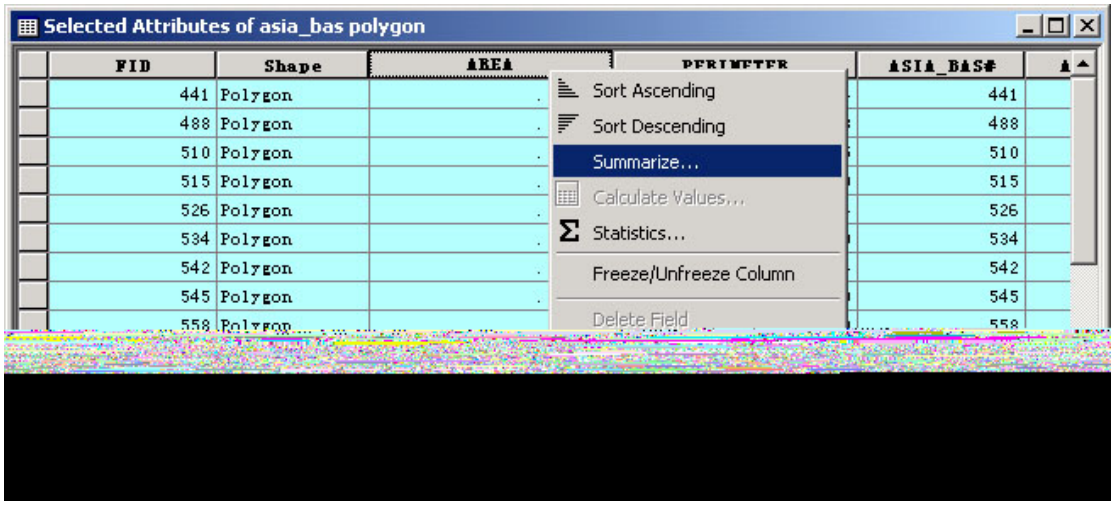


图 3.21 ArcMap 中查询结果的统计 1 图

在弹出窗口中选择 summary statistics 的方法 → 选择 output table 的路径及文件名 → 确定执行。

图 3.22 ArcMap 中查询结果的统计 2 图

选取要素后，点击 Rotate 按钮可以旋转要素。

4.2 创建新要素

4.2.1 创建线要素

1. 草图工具 

2. 打断工具 

3. 中点工具 

a 单击编辑工具条中的中点工具；

b 在图中点击两点画一条线；

d 这条线的中点将作为新创建的线的一个点；

e 继续画线，每一条线的中点将作为新创建线的点。

4. 距离－距离工具 

a 单击编辑工具条中的距离-距离工具；

b 单击图中任意一点，以此点为圆心画圆，按 D 键后输入数字，确定半径；

c 单击图中任意一点，以此点为圆心画圆，按 D 键后输入数字，确定半径；

d 两个圆的交点作为创建线的一个点；

e 按上述方法继续创建线的其他点。

5. 方向—距离工具 

a 单击编辑工具条中的方向-距离工具；

b 单击图中任意一点，确定方向后单击；

c 单击图一点，以此点为圆心画圆，按 D 键后输入数字，确定半径；

d 圆与线的交点将做为新创建线的一点；

e 按上述方法继续创建线的其他点。

6. 弧线工具

7. 中点弧工具

a 单击编辑工具条中的工具中点弧工具；

b 点击弧线的起点；

c 点击弧线的终点；

d 移动鼠标确定合适的弧度。

8. 切线工具

a 在画完一段弧线之后，单击编辑工具条中的工具切线工具；

b 点击任意一点画第二个点；

c 确定的弧线和原来的弧线相切。

4.3.5 要素的合并

选择要合并的两个或两个以上的要素，点击 Merge 或 Union。Merge 执行合并，原要素删除；Union 产生一个新的合并要素，原要素不变。

4.3.6 要素的延伸和裁剪

Start Editing 后，在 Task 栏选择 Extend/Trim Features → 点击 Edit 按钮 → 选择要延伸或裁剪的线段 → 点击 Sketch 工具 → 绘制线段，完成延伸或裁剪。

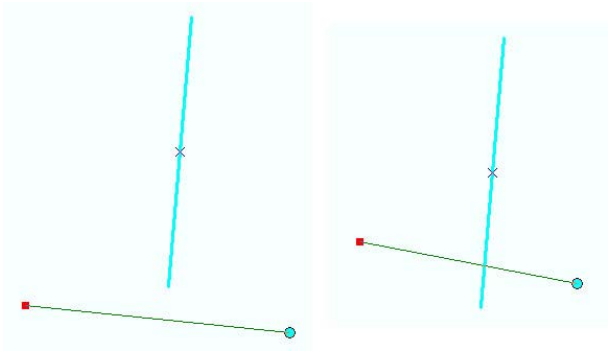


图 4.3 ArcMap 中要素的延伸和裁剪

Start Editing 后，在 Task 栏选择 Cut Polygon Features → 点击 Edit 按钮 → 选择要裁剪的多边形 → 点击 Sketch 工具 → 绘制线段完成裁剪。

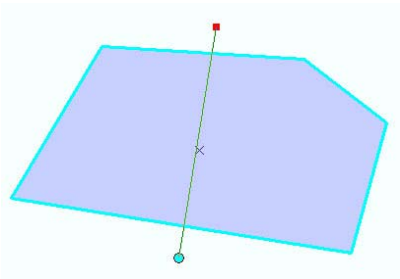


图 4.4 ArcMap 中要素的裁剪

4.4 编辑属性

4.4.1 查看属性

Start Editing 后，点击 Edit 工具 → 选择要查看属性的要素→ 点击 Attributes 按钮 → 弹出属性表。

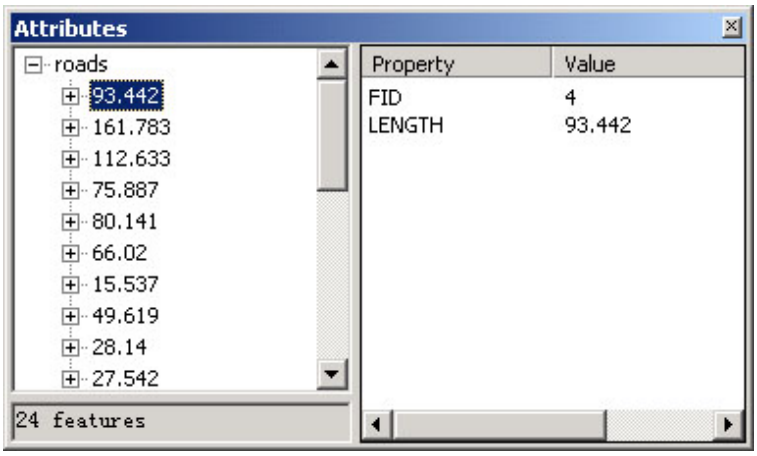


图 4.5 ArcMap 的数据编辑中查看属性

4.4.2 添加和修改属性

如图 4.5 所示，可以在要素的某一字段的 Value 列中更改属性值，回车即可保存。

也可以对图层的所有要素的某一字段修改属性值，如图 4.6 所示。

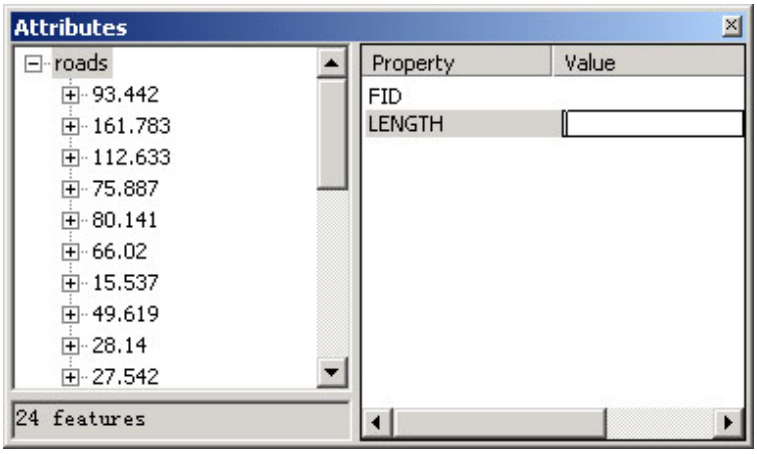


图 4.6 ArcMap 的数据编辑中查看属

4.4.3 复制和粘贴属性

属性表支持复制和粘贴操作，可以复制和粘贴属性值。

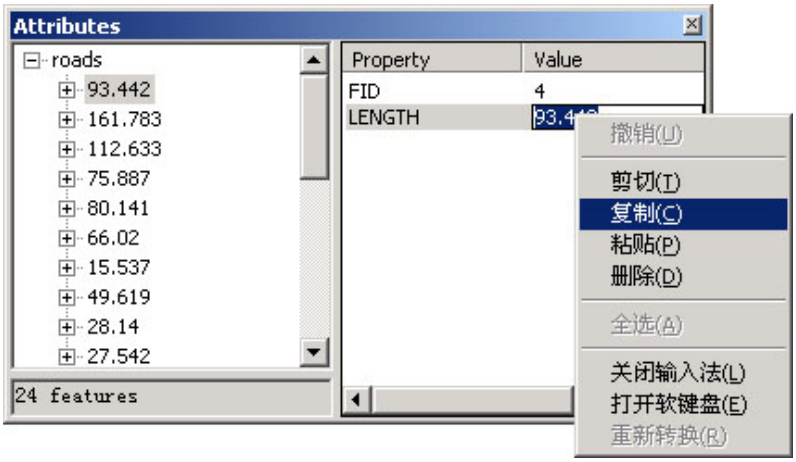


图 4.7 ArcMap 的数据编辑中查看属

4.5 空间配准

4.5.1 使用地理参考工具栏

在菜单栏点鼠标右键，选取影像配准工具 Georeferencing。

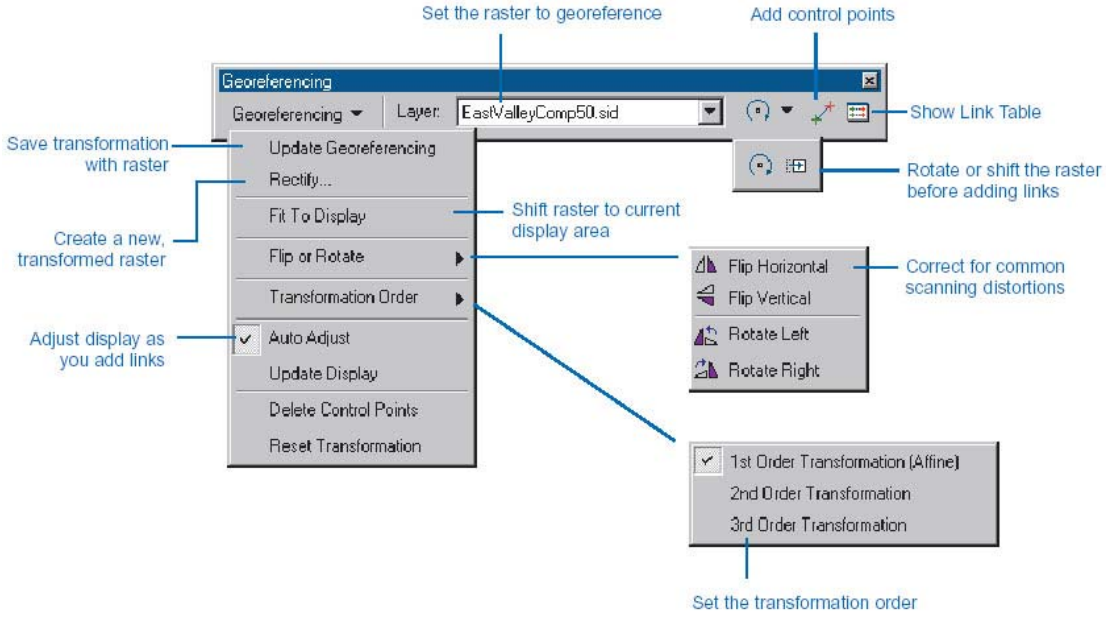


图 4.8 ArcMap 的影像配准工具

鼠标右键单击target layer(矢量层)选择Zoom to Layer → 选择Georeferencing 下的 Fit To Display → 点击 Control Points 工具添加控制点(在光栅图上点击一个位置点，再点击矢量图上的相应位置点）→ 添加更多的控制点使配准更精确 → 点击 View Link Table 可以查看添加的控制点的信息 → 点击 Georeferencing 下的 Update Georeferencing 保存更改信息（和光栅图同名但拓展名为.aux）→ 可以点

击 Rectify 将校正后的光栅图另存为一个文件。

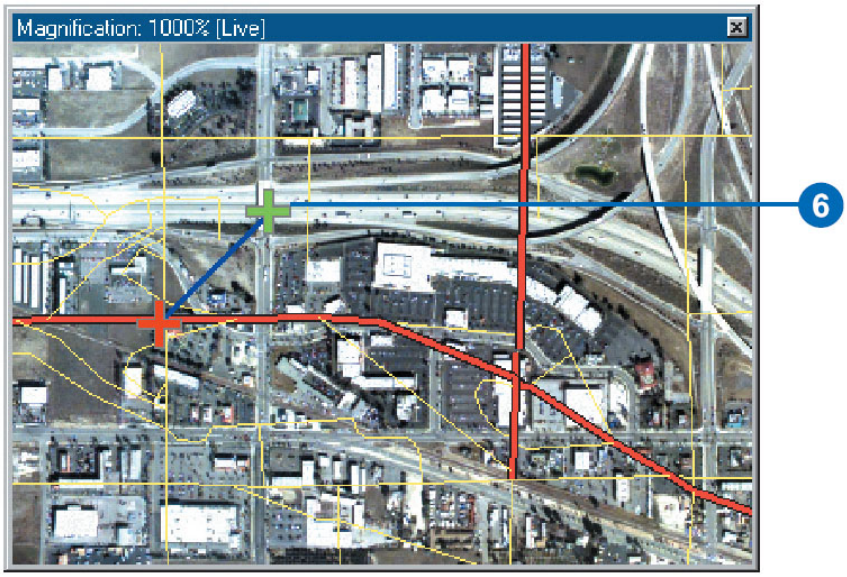


图 4.9 ArcMap 中影像配准

5 数据的管理

5.1 内容标签

Contents 窗口有四种浏览方法：大图标、列表、详细列表、缩略图。

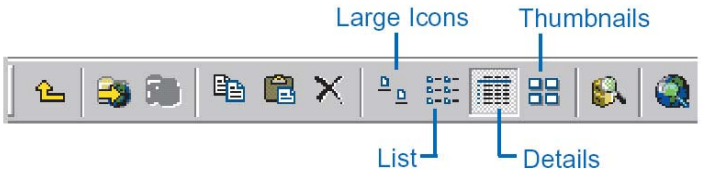


图 5.1 ArcCatalog 的内容浏览工具条

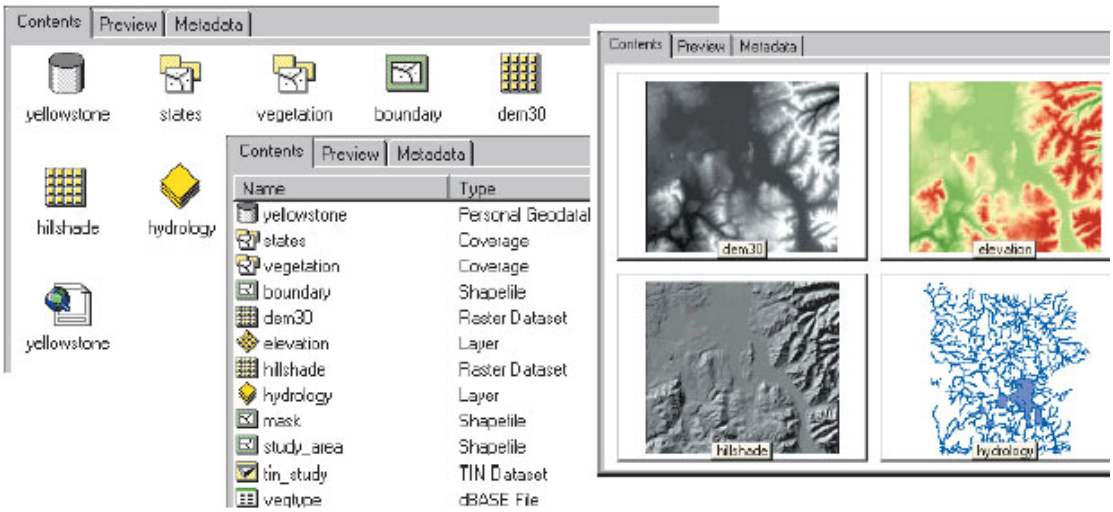


图 5.2 ArcCatalog 的内容标签

5.2 预览标签

在预览窗口能够执行 Zoom In, Zoom Out, Pan, Full Extent, and Identify 的操作。

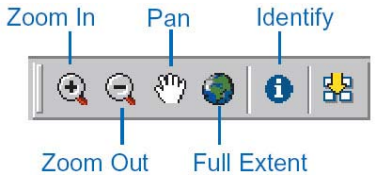


图 5.3 ArcCatalog 的预览工具条

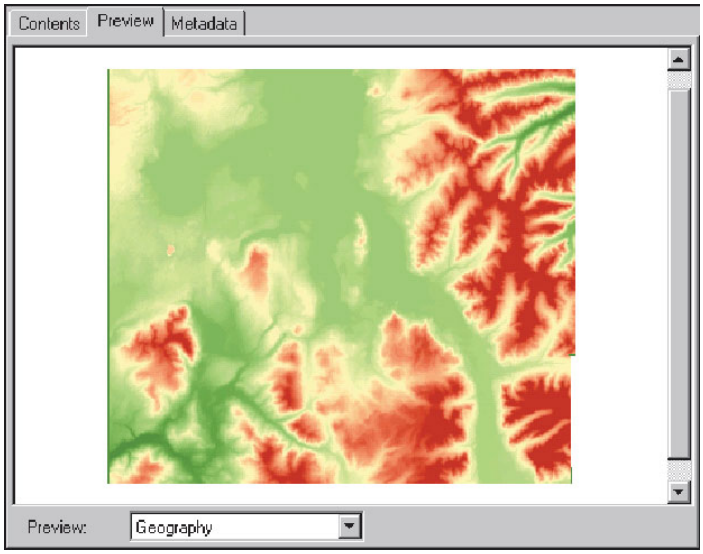


图 5.4 ArcCatalog 的预览标签

5.3 元数据标签

元数据窗口显示地图数据的描述信息。其中，Description 描述数据的状态，存储及访问信息；Spatial 描述数据的坐标系，空间信息；Attributes 描述数据的字段信息。

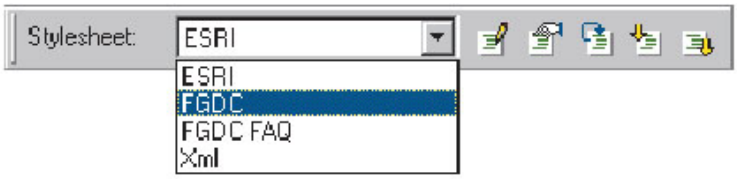


图 5.5 ArcCatalog 的元数据工具条

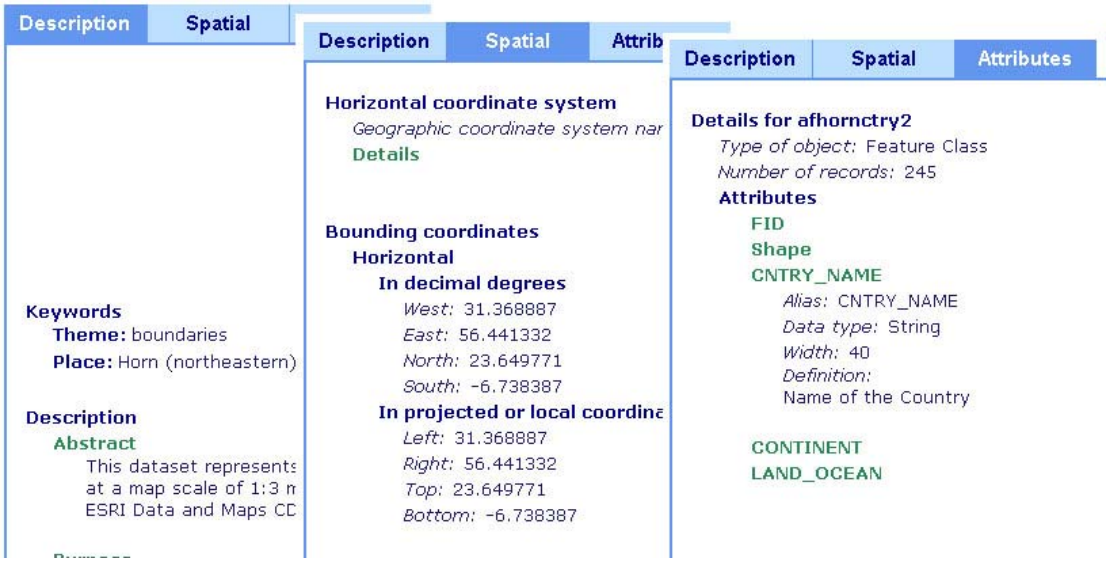


图 5.6 ArcCatalog 的元数据标签

5.4 设置显示数据类型

选择 Tools 菜单下的 Options → 在 General tab 中可以设置 Catalog 显示的数据类型。

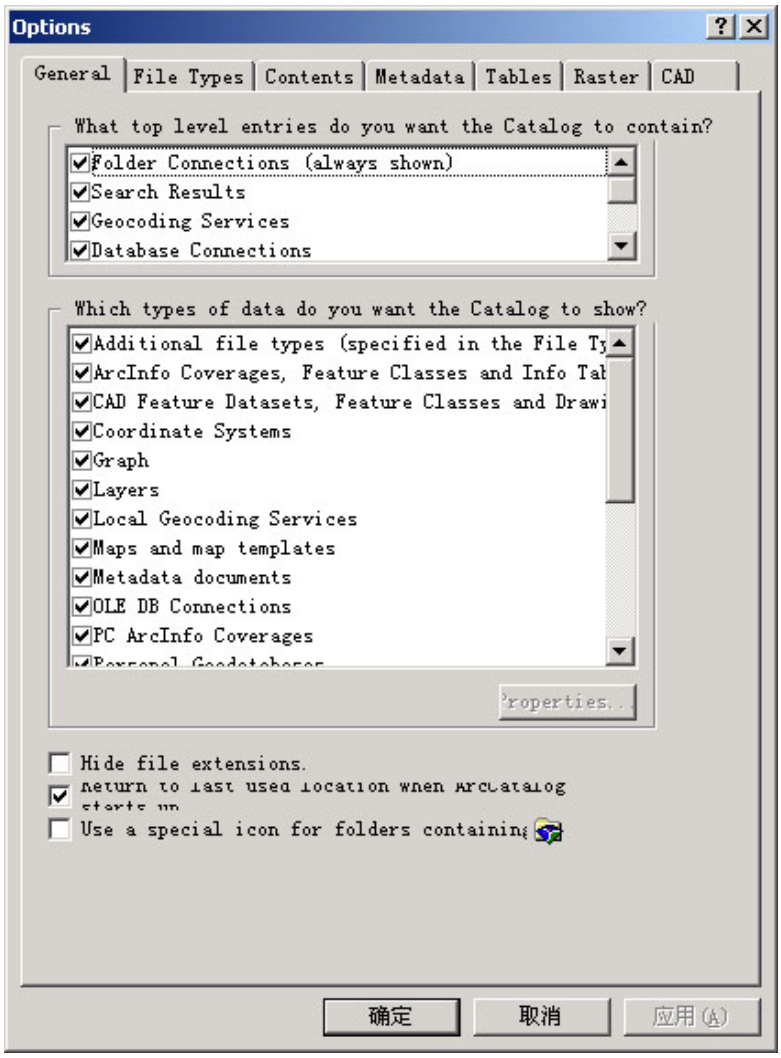


图 5.7 ArcCatalog 中设置显示数据类型

5.5 创建新 ShapeFile 等

在放置 ShapeFile 的目录上击右键 → New → ShapeFile → 设置 ShapeFile 的属性，包括 Point、Line、Polygon 等类型和坐标系 → 生成。

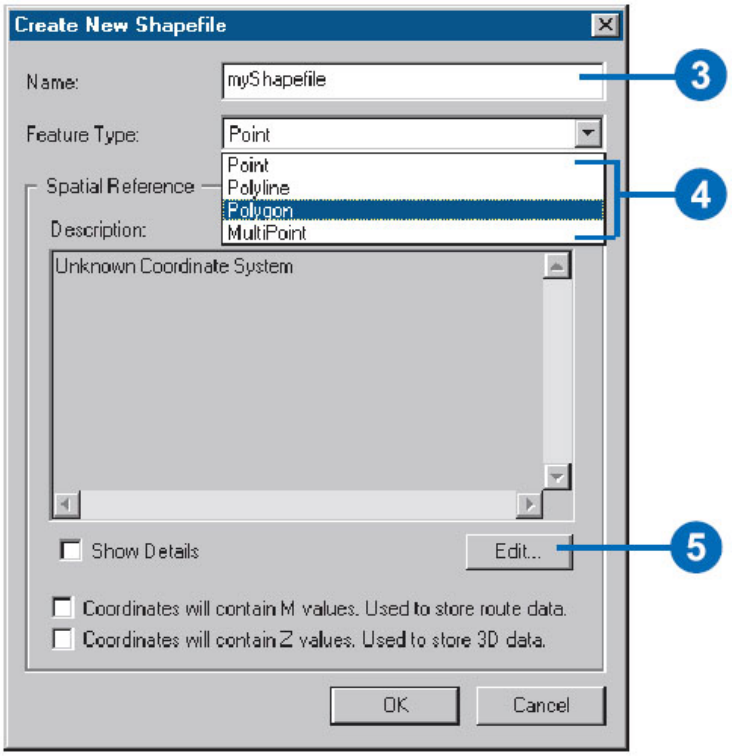


图 5.8 ArcCatalog 中创建新 ShapeFile

6 制图与输出

6.1 地图输出

通过一个练习（见 using ArcMap P23），了解地图输出的有关功能，主要包括：

1. 地图模板
2. 数据框
3. 地图制图和整饰的要素
4. 页面设置
5. 预览和打印输出。

6.2 矢量数据的获取，从纸质地图到矢量地图

在 GIS 的几何数据采集中，如果几何数据已存在于其它的 GIS 或专题数据库中，那么只要经过转换装载即可；对于由测量仪器获取的几何数据，只要把测量仪器的数据传输进入数据库即可，测量仪器如何获取数据的方法和过程通常是与 GIS 无关的。

对于栅格数据的获取，GIS 主要涉及使用扫描仪等设备对图件的扫描数字化，这部分的功能也较简单。因为通过扫描获取的数据是标准格式的图像文件，大多可直接进入 GIS 的地理数据库。

从遥感影像上直接提取专题信息，需要使用几何纠正、光谱纠正、影像增强、图像变换、结构信息提取、影像分类等技术，主要属于遥感图像处理的内容。

因此，以下主要介绍 GIS 中矢量数据的采集。GIS 中矢量数据的采集主要包括地图跟踪数字化与地图扫描数字化，以及屏幕跟踪数字化。

一、地图跟踪数字化

跟踪数字化是目前应用最广泛的一种地图数字化方式，是通过记录数字化板上点的平面坐标来获取矢量数据的。其基本过程是：将需数字化的图件(地图、航片等)固定在数字化板上，然后设定数字化范围、输入有关参数、设置特征码清单、选择数字化方式(点方式和流方式等)，就可以按地图要素的类别分别实施图形数字化了。

由于跟踪数字化本身几乎不需要 GIS 的其它计算功能，所以跟踪数字化软件往往可以与整个 GIS 系统脱离开，因而可单独使用。

地图跟踪数字化时数据的可靠性主要取决于操作员的技术熟练程度，操作员的情绪会严重影响数据的质量。操作员的经验和技能主要表现在能选择最佳点位来数字化地图上的点、线、面要素，判断十字丝与目标重合的程度等能力。

二、地图扫描数字化

扫描数字化是目前较为先进的地图数字化方式，也是今后的发展方向，但要实现完全自动化还要做大量艰巨的努力，目前所能提供的扫描数字化软件是半自动化的，还需做相当的人机交互工作。地图扫描数字化的基本思想是：首先通过扫描将地图转换为栅格数据，然后采用栅格数据矢量化的技术追踪出线和面，采用模式识别技术识别出点和注记，并根据地图内容和地图符号的关系，自动给矢量数据赋属性值。

根据目前的技术水平，首先要对所扫描的彩色地图进行分版处理，通常分为黑版要素、水系版要素、植被要素和地貌要素，也可以直接对分版图进行扫描，然后由软件进行二值化，去噪音等处理，经常需要进行一些编辑，以保证自动跟踪和识别的进行；在软件自动进行跟踪和识别时，仍需要进行部分的人机交互，如处理断线、确定属性值等，有时甚至要人工在屏幕上进行数字化。

与地图跟踪数字化相比，地图扫描数字化具有速度快、精度高、自动化程度高等优点，正在成为 GIS 中最主要的地图数字化方式。

地图扫描数字化的自动化程度高，但必须具有一些对扫描后的地图数据的预处理能力，同时，由于其最后结果同地图跟踪数字化的结果是相同的，因而还必须具有地图跟踪数字化所具有的一些功能。

三、屏幕跟踪数字化过程

当数据量不是特别大，精度要求不是特别高的时候，可以采用一种折中的方法，就是屏幕跟踪数字化。结合实例介绍屏幕跟踪数字化的过程。

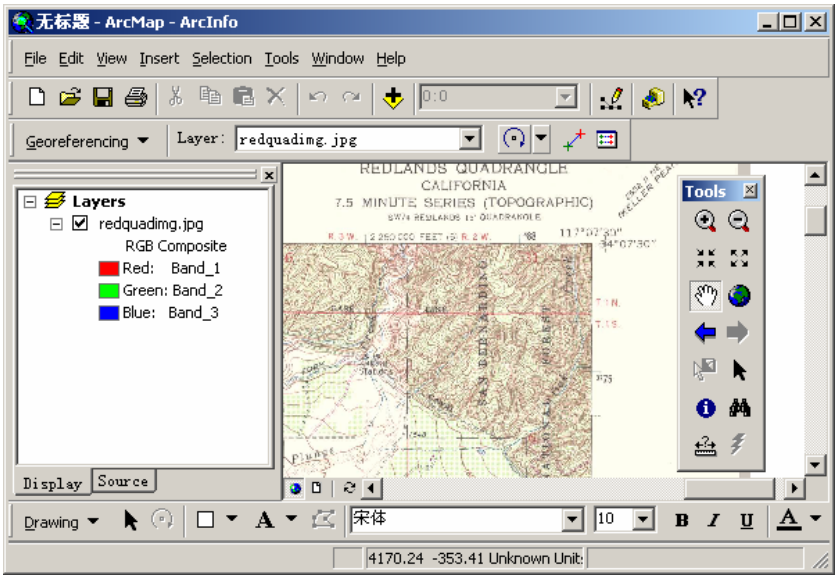
1. 纸质地图准备。
2. 建立新的图层或者打开已有的图层，并进行坐标系统、范围的设置。
3. 在纸质地图上建立控制点，扫描。
4. 配准纸质地图。

所有图件扫描后都必须经过扫描纠正，对扫描后的栅格图进行检查，以确保矢量化工作顺利进行。

对影像的配准有很多方法，下面介绍一种常用方法。

（1） 打开 ArcMap，增加 Georeferncing 工具条。

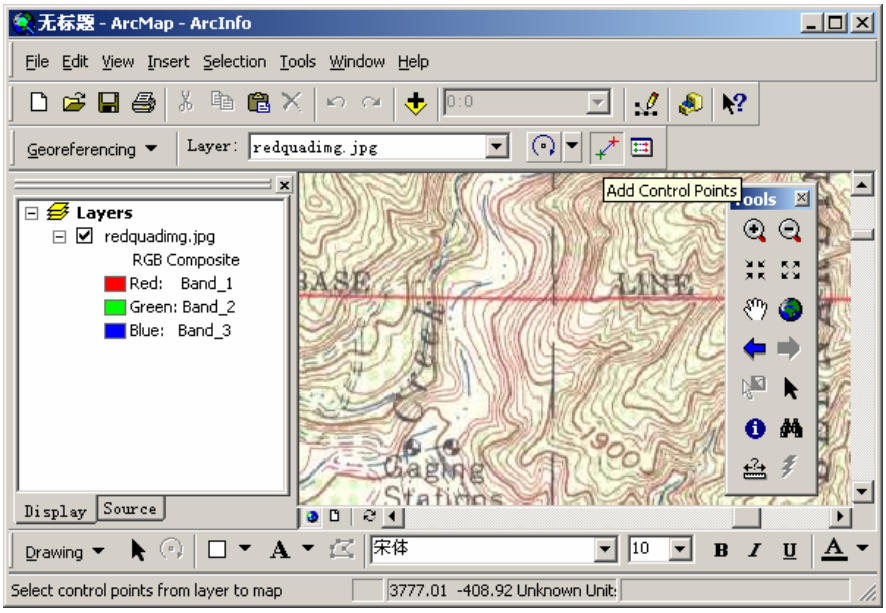
（2） 把需要进行纠正的影像增加到 ArcMap 中，会发现 Georeferncing 工具条中的工具被激活。



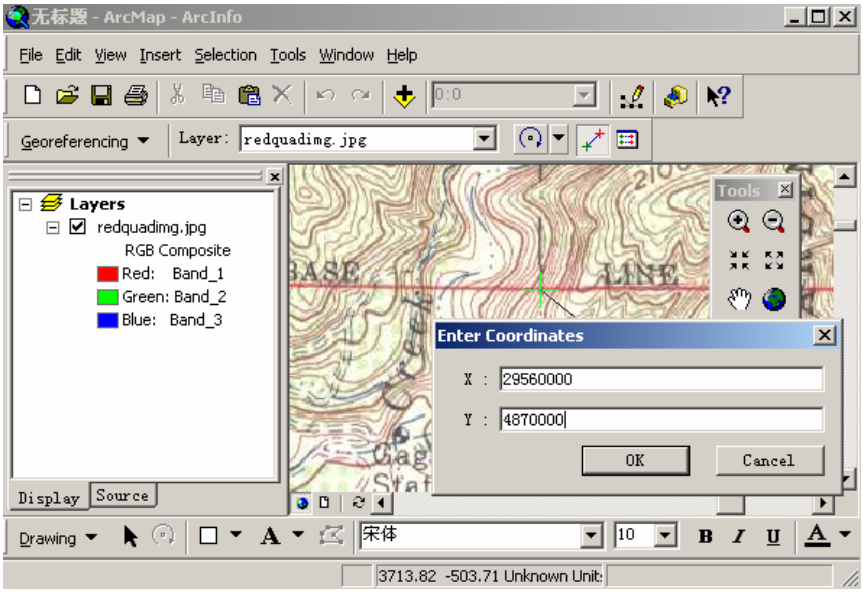
（3） 在配准中我们需要知道一些特殊点的坐标，即控制点。可以是经纬线网格的交点、公里网格的交点或者一些典型地物的坐标，我们可以从图中均匀的取几个点。如果我们知道这些点在我们矢量坐标系内坐标，则用以下方法输入点的坐标值，如果不知道它们的坐标，则可以采用间接方法获取。

（4） 首先将 Georeferncing 工具条的 Georeferncing 菜单下 Auto Adjust 不选择。

（5） 在 Georeferncing 工具条上，点击 Add Control Point 按钮。

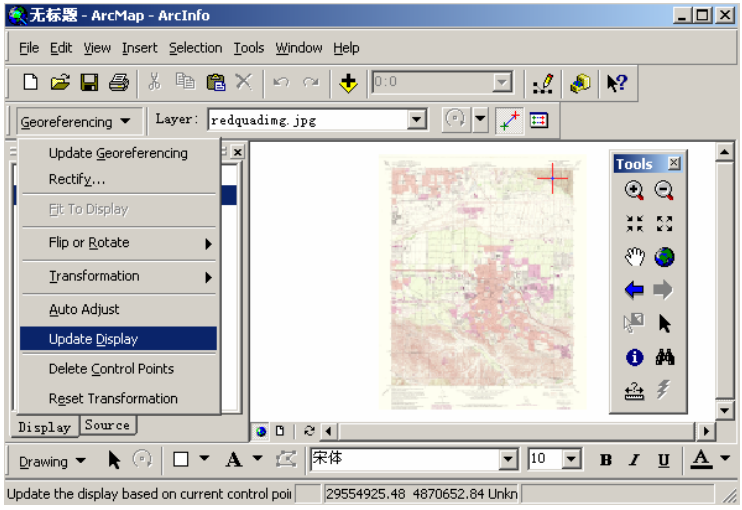


（6） 使用该工具在扫描图上精确到找一个控制点点击，然后鼠标右击输入该点实际的坐标位置，如下图所示：



（7） 用相同的方法，在影像上增加多个控制点，输入它们的实际坐标。

（8） 增加所有控制点后，在 Georeferencing 菜单下，点击 Update Display。



（9） 更新后，就变成真实的坐标。

（10） 在 Georeferencing 菜单下，点击 Rectify，将校准后的影像另存。

后面我们的数字化工作是对这个校准后的影像进行操作的。

5. 分层矢量化。

通过上面的操作我们的数据已经完成了配准工作，下面我们将使用这些配准后的影像进行分层矢量化。此时创建新的图层时可以直接导入第 4 步中创建图层的坐标系统了。

7 空间数据处理

本章通过几个练习，介绍空间数据处理有关的几个问题，主要包括：

投影的概念

投影的分类

投影变换

影像配准

空间配准

空间数据处理是指针对数据本身进行的操作，包括数据转换、数据重构与数据抽取，使系统存储和采集的数据能满足用户的特定需求。不产生新的信息。

数据转换主要解决几何配准的问题，包括几何纠正、投影变换和辐射纠正。辐射纠正是对图像而言，由成像系统的中心投影变换为正射投影。对我们而言用途不大，所以在这一章关于数据转换主要介绍投影变换。

数据重构是指针对数据本身进行的某种格式的再建，解决结构和类型上的统一。包括结构变换（栅格到矢量或矢量到栅格）、类型的转换、数据的压缩、边沿匹配。数据压缩主要是对栅格数据的，边沿匹配在 ArcGIS 中体现在空间配准上，在这一章里主要介绍空间配准。

数据提取是指针对数据本身进行的有条件的提取，以满足某种特定的需求。包括类型提取、窗口提取、布尔提取、空间内插等。关于数据提取部分主要介绍空间内插，放在第八章结合实例介绍。

7.1 坐标系统

目前，世界各国、各地区已建立了各种规模和类型的 GIS，这些系统为经济、国防等各个领域的科学决策提供了依据，发挥了重要的作用。但是不论每个应用型的 GIS 的服务目的是什么，每个 GIS 自身的数据必须是在统一的地理参照系下的数据，也就是说要有统一的坐标系和高程系。

一、地球的形状

地球近似球体，其表面高低不平，极其复杂。

假想将静止的平均海水面延伸到大陆内部，可以形成一个连续不断的、与地球比较接近的形体。把该形体视为地球的形体，其表面就称之为大地水准面。

但是，由于地球内部物质分布不均匀和地面高低起伏不平，使各处的重力方向发生局部变异，处处与重力方向垂直的大地水准面显然不可能是一个十分规则的表面，且不能用简单的数学公式来表达，因此，大地水准面不能作为测量成果的计算面。

为了测量成果计算的需要，选用一个同大地体相近的、可以用数学方法来表达的旋转椭球来代替地球，且这个旋转椭球是由一个椭圆绕其短轴旋转而成的。

凡是与局部地区(一个或几个国家)的大地水准面符合得最好的旋转椭球，称为参考椭球。经过长期的观测、分析和计算，世界上许多学者和机构算出了参考椭球的长短半径的数值。

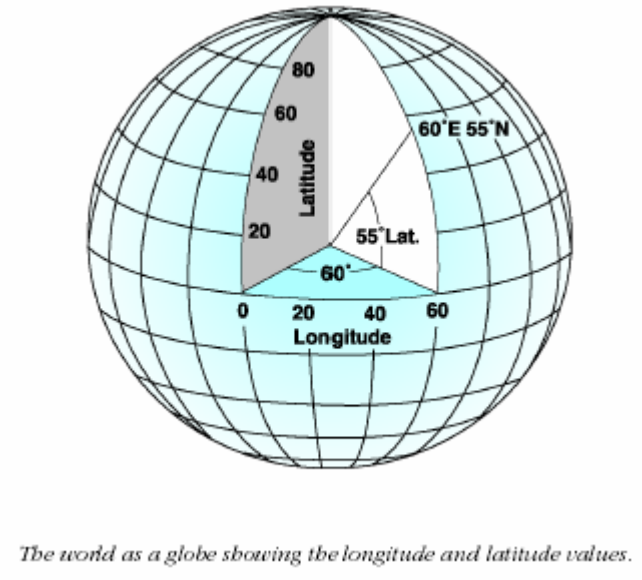
我国 1952 年前采用的海福特椭球，1953 年起改用克拉索夫斯基椭球，1978 年后开始采用 1975 年国际椭球，并以此建立了我国新的、独立的大地坐标系。

二、坐标系

坐标系——确定地面点或空间目标位置所采用的参考系。与测量相关的主要有地理坐标系和平面坐标系。

(1)地理坐标系(Geographic Coordinate System)

我们在 ArcView 和 ArcInfo 中经常看到这种坐标系，它是一种用三维球面来定义地物位置的坐标系，地面上任一点 M 的位置可由经度 λ 和纬度 φ 来决定，记为 M(λ,Φ)。经纬度是衡量地物点到地心和地球曲面之间的角度的。坐标原点在本初子午线和赤道的交点，因此地理坐标系被分为四个象限。



The world as a globe showing the longitude and latitude values.

经纬度具有深刻的地理意义，它标示物体在地面上的位置，显示其地理方位(经线与南北相应，纬线与东西相应)，表示时差，此外，经纬线还标示许多地理现象所处的地理带，如气候、土壤等部门都要利用经纬度来推断地理规律。

虽然经纬度可以准确的定位，但是他们并不是标准的度量单位，只有赤道上一个经度带的距离与一个纬度带的距离相接近，因为纬线中只有赤道是大圆，而所有的经线圈都是大圆。

(2)平面坐标系

将椭球面上的点通过投影的方法投影到平面上时，通常使用平面坐标系。平面坐标系分为平面极坐标系和平面直角坐标系。

平面极坐标系采用极坐标法，即用某点至极点的距离和方向来表示该点的位置的方法，来表示地面点的坐标。主要用于地图投影理论的研究。

平面直角坐标采用直角坐标(笛卡尔坐标)来确定地面点的平面位置。可以通过投影将地理坐标转换成平面坐标。

三、高程系

高程——由高程基准面起算的地面点的高度。

而高程基准面是根据多年观测的平均海水面来确定的。也就是说，高程(也称海拔高程、绝对高程)是指地面点至平均海水平的垂直高度。

地面点之间的高程差，称为相对高程，简称高差。

由于不同地点的验潮站所得的平均海平面之间存在着差异，所以，选用不同的基准面就有不同的高程系统。

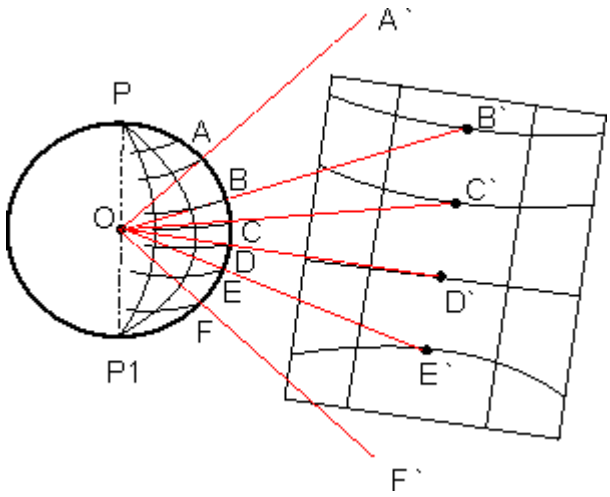
一个国家一般只能采用一个平均海水面作为统一的高程基准面。我国的高程基准原来采用“1956 年黄海高程系”，由于观测数据的积累，黄海平均海水面发生了微小的变化，因此启用了新的高程系，即“1985 年国家高程基准”。

在采用新的高程基准后，对已有地图的等高线高程的影响可忽略不计。

7.2 投影的实质

不规则的地球表面可以用地球椭球面来替代，地球椭球面是不可展曲面，而地图是一个平面，将地球椭球面上的点映射到平面上来的方法，称为地图投影。

对于较小区域范围，可以视地表为平面，这样就可以认为投影没有变形。但对于大区域范围，甚至是半球、全球，这种投影方法就不太适合了。这时，可以考虑另外的投影方法，例如，可以假设地球按比例尺缩小成一个透明的地球仪那样的球体，在其球心、球面或球外安放一个发光点，将地球仪上经纬线(连同控制点及地形、地物图形)投影到球外的一个平面上，即成为地图。下图是将地球表面投影在平面上的透视投影示意图。



透视投影示意图

实际上这种直观的透视投影方法亦有很大的局限性，例如，只能对一局部地区进行投影，且变形有时较大，同时往往不能将全球投影下来，多数情况下不可能用这种几何作图的方法来实现。科学的投影方法是建立地球椭球面上的经纬线网与平面上相应的经纬线网相对应的基础上的，其实质就是建立地球椭球面上点的坐标(λ，φ)与平面上对应的坐标(x,y)之间的函数关系，用数学表达式表示为：

$$x = f_1(\lambda, \varphi)$$

$$y = f_2(\lambda, \varphi)$$

这是地图投影的一般方程式。当给定不同的具体条件时，就可得到不同种类的投影公式。

7.3 投影分类

由于要将不可展的地球椭球面展开成平面，且不能有断裂，那么图形必将在某些地方被拉伸，某些地方被压缩，因而投影变形是不可避免的。

投影变形通常包括三种，即长度变形、角度变形和面积变形。

(1) 按投影变形性质分类

根据地图投影中可能引入的变形的性质，可以分为等角投影、等面积投影和任意投影三种。

等角投影保证了投影后任意点的由任意两条微分线段构成的角度不产生变形，这种投影可以使得投影前后的形状保持不变，因而也称之为正形投影。

等面积投影保证了投影前后面积保持不变，对微分面积如此，对整个区域的较大面积亦如此。

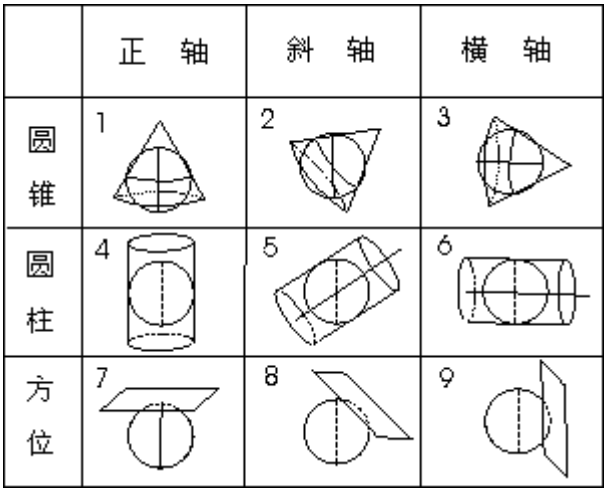
任意投影在投影后既不保持角度不变，又不保持面积不变，它同时存在着长度、角度和面积的变形。在任意投影中，如果存在某一方向上长度不变时，我们将之称为等距离投影。

等角与等面积是相互抵触的，也就是说等角是以牺牲等面积为代价的；同样等面积也是以牺牲等角为前提的；任意投影虽然存在着各种变形，但各种变形比较均衡。

(2) 根据投影面及其位置分类

在地图投影中，我们首先将不可展的地球椭球面投影到一个可展曲面上，然后将该曲面展开成为一个平面，得到我们所需要的投影。通常采用的这个可展曲面有圆锥面、圆柱面、平面(曲率为零的曲面)，相应地可以得到圆锥投影、圆柱投影、方位投影。同时我们还可以由投影面与地球轴向的相对位置区分为正轴投影(投影面的中心轴与地轴重合)、斜轴投影(投影面的中心轴与地轴斜向相交)、

横轴投影(投影面中心轴与地轴相互垂直)。各种投影都具有一定的局限性，一般地说，距投影面越近，变形就越小。为了控制投影的变形分布，我们可以调整投影面与椭球体面的相交位置，根据这个相交位置，又可以进一步得到各种投影相应的切投影(投影面与椭球体相切)和割投影(投影面与椭球体相割)。对这一体系的分类可以用给出，其中 1、5、9 表示的是 3 种割投影。　此外，尚有的方位、伪圆锥、伪圆柱等许多类型的投影，此处从略。



常用投影示意图

7.4 GIS 中的地图投影

GIS 所存贮记录、管理分析、显示应用的内容是地理信息，而地理信息的描述必须要有指定的地理参照系，且地理位置应以地理坐标或平面坐标的方式表示出来。

地图不仅是 GIS 的重要数据源，而且是表示地理信息的最佳媒介。也就是说，在 GIS 中，地理信息基本上都是以地图的方式显示给用户的，用户也是在地图上进行空间信息的查询的，GIS 空间分析的结果也是以地图的形式显示出来的，GIS 输出的成果中大部分是地图，等等。

由于 GIS 大多是以地图的方式来显示地理信息的，而地图是平面，地理信息则是在地球椭球面上的，因此，地图投影在 GIS 中是不可缺少的。

例如，当 GIS 的地理数据库中的地理数据是以地理坐标(即经纬度)来存贮时，对于输入的以地图为数据源的空间数据必须通过投影变换来转换成地理坐标，然后才能装入到 GIS 的地理数据库中，而当需要显示或输出地图时，则必须将地理数据库中的地理坐标表示的空间数据通过投影变换成指定投影的平面坐标。

在 GIS 中，地理数据的显示往往可以根据用户的需要，指定各种投影。但当所显示的地图与国家基本地图系列的比例尺一致时，往往采用与国家基本系列地图所用的投影。我国常用的地图投影的情况为：

(1) 我国基本比例尺地形图(1：100 万、1：50 万、1：25 万、1：10 万、1：5 万、1：2.5、1：1 万、1：5000)除 1：100 万外均采用高斯—克吕格投影为地理基础；

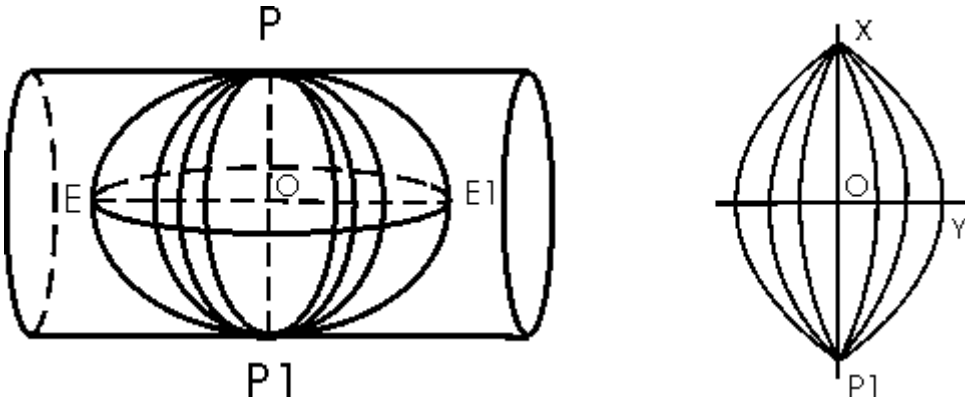
(2) 我国 1：100 万地形图采用了 Lambert 投影，其分幅原则与国际地理学会规定的全球统一使用的国际百万分之一地图投影保持一致。

(3) 我国大部分省区图以及大多数这一比例尺的地图也多采用 Lambert 投影和属于同一投影系统的 Albers 投影(正轴等面积割圆锥投影)；

(4) Lambert 投影中，地球表面上两点间的最短距离(即大圆航线)表现为近于直线，这有利于地理信息系统中和空间分析量度的正确实施。

1. 高斯—克吕格投影

高斯—克吕格投影是一种横轴等角切椭圆柱投影。它是将一椭圆柱横切于地球椭球体上，该椭圆柱面与椭球体表面的切线为一经线，投影中将其称为中央经线，然后根据一定的约束条件即投影条件，将中央经线两侧规定范围内的点投影到椭圆柱面上，从而得到点的高斯投影。



高斯投影

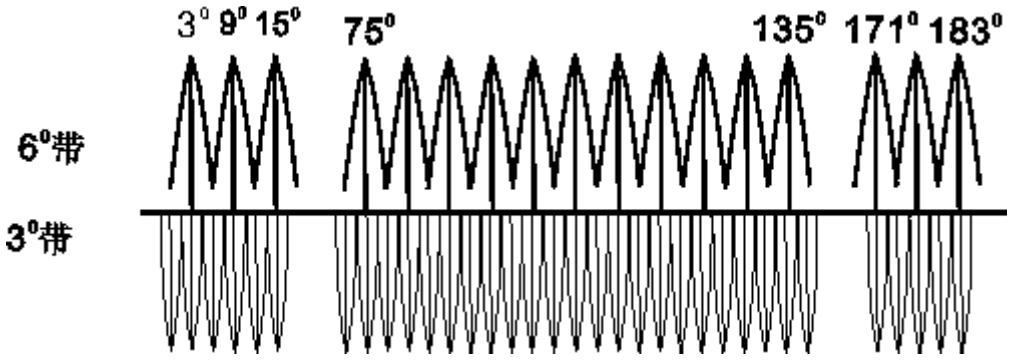
高斯投影的特点为：

(1)中央经线和地球赤道投影成为直线且为投影的对称轴；

(2)等角投影；

(3)中央经线上没有长度变形。

由此可见，高斯投影的最大变形处为各投影带在赤道边缘处，为了控制变形，我国地形图采用分带方法，即将地球按一定间隔的经差(6°或 3°)划分为若干相互不重叠的投影带，各带分别投影。1：2.5 万至 1：50 万的地形图均采用 6°分带方案，即从格林尼治零度经线起算，每 6°为一个投影带，全球共分为 60 个投影带。我国领土位于东经 72°到 136°之间，共包括 11 个投影带(13 带～22 带)。1：1 万及更大比例尺地形图采用 3°分带方案，全球共分为 120 个投影带。下图给出了高斯投影的 6°带和 3°带分带方案。



高斯－克吕格投影 3^0 带与 6^0 大分带示意图

为了制作地图和使用地图的方便，通常在地图上都绘有一种或两种坐标网，即经纬线网和方里网。

经纬线网——即指由经线和纬线所构成的坐标网，又称地理坐标网。

在 1：1 万——1：20 万比例尺的地形图上，经纬线只以图廓线的形式直接表现出来，并在图角处注出相应度数。为了在用图时加密成网，在内外图廓间还绘有加密经纬网的加密分划短线(图式中称“分度带”)，必要时对应短线相连就可以构成加密的经纬线网。1：25 万地形图上，除内图廓上绘有经纬网的加密分划外，图内还有加密用的十字线。

我国的 1：50 万——1：100 万地形图，在图面上直接绘出经纬线网，内图廓上也有供加密经纬线网的加密分划短线。

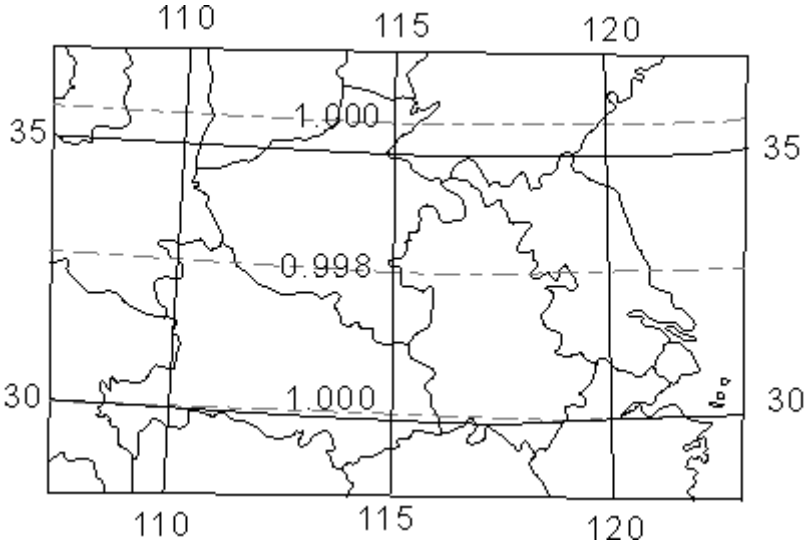
方里网——是由平行于投影坐标轴的两组平行线所构成的方格网。因为是每隔整公里绘出坐标纵线和坐标横线，所以称之为方里网，由于方里线同时又是平行于直角坐标轴的坐标网线，故又称直角坐标网。

直角坐标网的坐标系以中央经线投影后的直线为 X 轴，以赤道投影后的直线为 Y 轴，它们的交点为坐标原点。这样，坐标系中就出现了四个象限。纵坐标从赤道算起向北为正、向南为负；横坐标从中央经线算起，向东为正、向西为负。

我国位于北半球，全部 X 值都是正值。在每个投影带中则有一半的 Y 坐标值为负。为了避免 Y 坐标出现负值，规定纵坐标轴向西平移 500km(半个投影带的最大宽度不超过 500km)。这样，全部坐标值都表现为正值了。

2. 正等角圆锥投影

这种投影，是假想圆锥轴和地球椭球体旋转轴重合并套在椭球体上，圆锥面与地球椭球面相割，将经纬网投影于圆锥面上展开而成。其经线表现为辐射的直线束，纬线投影成同心圆弧(图 3—5)。



正等角割圆锥投影及其经纬线图形

圆锥面与椭球面相割的两条纬线圈，称之为标准纬线(φ 1，φ 2)。采用双标准纬线的相割比采用单标准纬线的相切，其投影变形小而均匀。

投影变形的分布规律是：

(1)角度没有变形，即投影前后对应的微分面保持图形相似，故亦可称为正形投影；

(2)等变形线和纬线一致，同一条纬线上的变形处处相等；

(3)两条标准纬线上没有任何变形；

(4)在同一经线上，两标准纬线外侧为正变形(长度比大于 1)，而两标准纬线之间为负变形(长度比小于 1)，因此，变形比较均匀，绝对值也较小；

(5)同一纬线上等经差的线段长度相等，两条纬线间的经线线段长度处处相等。

7.5 投影变换

当系统所使用的数据是来自不同地图投影的图幅时，需要将一种投影的几何数据转换成所需投影的几何数据，这就需要进行地图投影变换。

地图投影变换的实质是建立两平面场之间点的一一对应关系。假定原图点的坐标为 x，y (称为旧坐标)，新图点的坐标为 X，Y(称为新坐标)，则由旧坐标变换为新坐标的基本方程式为：

$$X = f_1(x, y)$$
$$Y = f_2(x, y)$$

实现由一种地图投影点的坐标变换为另一种地图投影点的坐标就是要找出上述关系式。投影变换的方法有很多，其中反解变换法(又称间接变换法)更有助于我们对投影的理解。这是一种中间过渡的方法，即先解出原地图投影点的地理位置 λ，对于 x，y 的解析关系式，将其代入新图的投影公式中求得其坐标。

7.6 实例一：影像配准和坐标系转换

已有数据：

珠江流域行政区划详细图：bount.shp

珠江流域行政区划图（区级）：bount_proj.shp

扫描珠江流域分区位图：map.bmp

其中：bount.shp 没有投影，鉴别方法：

（1） Windows 目录下，没有 bount.prj 文件

（2） ArcCatalog 中，bount 属性\字段\shape\空间参考为 unknown，在 ArcMap 中查看，，map 单位为度而且不可改变，说明它使用的是地理坐标系。

Bount_proj 有投影，可以查看

（1） 可以用记事本打开 Bount_proj.prj

（2） 在 ArcCatalog 中查看

（3） 在 ArcMap 中新建地图，添加数据 bount_proj，查看 dataframe 的属性，投影。

注：不同数据添加顺序，dataframe 的投影设置可能会不同。

1. 查看位图

根据经纬网形状判断它的投影类型。

目的：变换矢量图层的投影，然后配准。因为通过控制点进行影像配准只是对影像进行：平移、旋转和缩放，并不能改变位图上的投影数据。而配准的目的是让栅格图像和矢量数据很好的切合。所以我们的步骤可以解释为定义一个地图坐标系，然后把扫描位图找到合适的位置和角度放在这个坐标系内。

判断结果：认为它跟 bount_proj 的很像，因此可以将 bount 的投影转成 bount_proj 的投影。

2. 在 ArcCatalog 里或者用 ArcToolbox 制定 bount 现在的坐标系，为地理坐标系，beijing54

ArcToolbox\数据管理工具\投影\定义投影。这时不是变换投影，而是告诉系统现在的数据用了什么投影。

3. ArcToolbox 里的投影向导，为大地坐标系的数据进行投影，可以选择投影或者导入已有的投影。

4．配准。均匀布点，但如果强调某一地区的显示精确性，可在这一地区多加控制点。

7.7 实例二：矢量数据的校准、匹配。

已有数据：bount.shp，政区.shp

1. ArcToolbox 将以上两种数据转化为 coverage：bount_cov 和政区_cov。转换结果，投影信息丢失，变成大地坐标系。
2. 查看两者的 Tic 文件，定义的是四个角点的坐标。
3. 将 bount_cov 拷贝并重新命名为 zhengqu_cov
4. 在 ArcMap 中打开 bount.cov，看看政区图应该在这副图的什么范围，用 draw 拉一个框，记下四个角点的坐标
5. 在 zhengqu_cov 的 tic 中输入范围坐标，角点输入顺序，左下开始逆时针。

6. ArcToolbox 转换工具 transform：政区_cov 转为 zhengqu_cov
7. 如果需要投影，可同时选择两个文件投影到同一个坐标系。

8 3D 分析

通过 5 个练习（详见 Using ArcGIS 3D Analyst 第二章）重点掌握以下几个内容：

三维数据的生成：

通过高程点生成 TIN；

在三维场景中如何将二维矢量特征表达成三维。

根据 TIN 生成剖面、通视分析

贴影像纹理

三维场景飞行

Exercise 1：Draping an image over a terrain surface

1. 打开 3D 分析扩展模块
2. 在 ArcCatalog 中预览 3D 数据，预览方式为 3D View，右键打开 3D View tools。
3. 启动 ArcScene 并添加数据（TIN 和 TIF）

   TIN 是一个表示高程的起伏表面，而图像是一个平面，可以理解为高程值都为 0，也就相当于海平面。因此两个图层叠置的时候，可以看到 TIN 中高出海平面的部分，而低于海平面的部分被隐藏了。
4. 贴影像纹理。图像层属性对话框\Base Heights tab 页，Obtain heights for layer from surface。

   在 ArcScene 中，可以将一层（包括 grid、image 或者 2D Features）覆盖在一个地形表面上（可以是 TIN 或者是 grid）。
5. 夸大高度。(Scene properties).

专题一：TIN 与 DEM

TIN 是数字高程模型（DEM）的一种表达方式。

一、数字高程模型(DEM)的概念

数字高程模型(DEM)，也称数字地形模型(DTM)，是一种对空间起伏变化的连续表示方法。由于 DTM 隐含有地形景观的意思，所以，常用 DEM，以单纯表示高程。

尽管 DEM 是为了模拟地面起伏而开始发展起来的，但也可以用于模拟其它二维表面的连续高度变化，如气温、降水量等。对于一些不具有三维空间连续分布特征的地理现象，如人口密度等，从宏观上讲，也可以用 DEM 来表示、分析和计算。

DEM 有许多用途，例如：在民用和军用的工程项目(如道路设计)中计算挖填土石方量；为武器精确制导进行地形匹配；为军事目的显示地形景观；进行越野通视情况分析；道路设计的路线选择、地址选择；不同地形的比较和统计分析；计算坡度和坡向，绘制坡度图、晕渲图等；用于地貌分析，计算浸蚀和径流等；与专题数据，如土壤等，进行组合分析；当用其它特征(如气温等)代替高程后，还可进行人口、地下水位等的分析。

二、DEM 的表示方法

(1)拟合法

拟合法是指用数学方法对表面进行拟合，主要利用连续的三维函数(如富立叶级数、高次多项式等)。但对于复杂的表面，进行整体的拟合是不可行的，所以，通常采用局部拟合法。

局部拟合法将复杂表面分成正方形的小块，或面积大致相等的不规则形状的小块，用三维数学函数对每一小块进行拟合，由于在小块的边缘，表面的坡度不一定都是连续变化的，所以应使用加权函数来保证小块接边处的匹配。

用拟合法表示 DEM 虽然在地形分析中用的不多，但在其它类型的机助设计系统(如飞机、汽车等的辅助设计)中应用广泛。

(2)等值线

等值线是地图上表示 DEM 的最常用方法，但并不适用于坡度计算等地形分析工作，也不适用于制作晕渲图、立体图等。

(3)格网 DEM

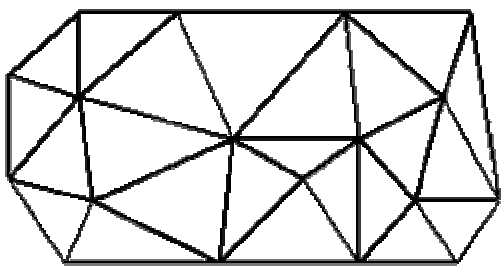
格网 DEM 是 DEM 的最常用的形式，其数据的组织类似于图像栅格数据，只是每个象元的值是高程值。即格网 DEM 是一种高程矩阵(如下图)。其高程数据可直接由解析立体测图仪获取，也可由规则或不规则的离散数据内插产生。

格网 DEM 的优点是：数据结构简单，便于管理；有利于地形分析，以及制作立体图。其缺点是：格网点高程的内插会损失精度；格网过大会损失地形的关键特征，如山峰、洼坑、山脊等；如不改变格网的大小，不能适用于起伏程度不同的地区；地形简单地区存在大量冗余数据。

100	110	120	140	110	105	90
120	115	130	135	120	110	100
135	120	120	130	130	120	110
145	130	115	120	120	115	118
150	140	135	130	135	120	110
145	135	150	140	138	125	120

(4)不规则三角网 DEM(TIN)

不规则三角网 DEM 直接利用原始采样点进行地形表面的重建，由连续的相互联接的三角面组成(如图 4—4)，三角面的形状和大小取决于不规则分布的观测点的密度和位置。不规则三角网 DEM 的优点是：能充分利用地貌的特征点、线，较好地表示复杂地形；可根据不同地形，选取合适的采样点数；进行地形分析和绘制立体图也很方便。其缺点是：由于数据结构复杂，因而不便于规范化管理，难以与矢量和栅格数据进行联合分析。



通常所说的 DEM 即指格网 DEM 和不规则三角网 DEM，地形分析也基于此。

Exercise 2：Visualizing contamination in an aquifer

目的：显示地下水污染情况和工厂的关系，以及工厂的治理优先级。

1. 打开地下水 Scene 文档。（groundwater.sxd），查看数据类型和信息。
2. 显示污染物的扩散和浓度。(将污染物浓度层 congrd 贴在 plume 的表面上，进行三维显示)。（base heights，并改变显示颜色）
3. 显示污染物与水井之间的关系。Wells\properties\Extrusion\Calculate Extrusion Expression。（因为水井深度都是负值，所以从基准面往下画）。
4. 显示工厂的治理优先级。Extrusion \priority*100。然后使用 Quantities 方法显示。

专题二：如何将 2D Feature 显示为 3D

1. 从地形表面获取高程值。Base heights
2. Extrusion。通过一列的值或输入一个常数将 2D 的地物显示为 3D
3. 3D Analyst 菜单\convert\Feature to 3D。同样也是通过一列或者表达式赋 Z 值，或者是从地形表面获取高程值，与上述两种方法的效果相同，不同的是输出新的结果文件。

另外，将栅格数据显示为 3D，也是采用从地形表面获取高程值的办法。

Exercise 3：Visualizing soil contamination and thyroid cancer rates

已有数据：土壤中的 CS137 浓度的样点数据和甲状腺癌的病发率的样点数据

目的：显示土壤污染与甲状腺癌病发率的关系

1. 为 CS137 浓度样点创建 3D 特征点。方法是：菜单中的 convert；并夸大 Z 值。
2. 为病发率样点创建 3D 特征点。方法：Extrusion。

3. 从 CS137 样点数据创建平面。方法是反距离加权插值。
4. 改变插值平面的显示。改变颜色；3 维显示：从自己获取高程值。这是因为该平面本身就是以高程值为属性的栅格图。
5. 通过属性选择地物。菜单 selection\select by attributes。选择条件：INCID1000>=0.5，也就是病发率大于等于千分之 0.5 的。
6. 利用属性表统计。Open attribute table。通过 selected 按钮只显示选中的。然后右击 cases 列进行统计。

专题三：空间内插方法

已知一批空间数据，它可以是离散的也可以是分区的，从这些数据中推求一个函数关系式，使该关系式最好的逼近这些已知的空间数据，并能根据该函数关系式推求出区域范围内其他任意点或任意分区的值，这种通过已知点或分区的数据推求出任意点或分区数据的方法称为空间数据的内插。它是地理信息系统数据处理常用的方法之一，广泛应用于等值线自动制图、数字高程模型的建立、不同区域界线现象的相关分析和比较研究等等。

通过内插可以生成或补充原始数据的不足，可以使原来离散分布的数据变成规则的格网数据。

ArcGIS 空间分析包括如下内插方法：

•样条（Spline）

样条用一种数学函数来估计值，最小化所有的表面曲率，逼近曲面一种方法。样条函数易操作，计算量不大，它与空间统计方法相比具有以下特点:不需要对空间方差的结构做预先估计；不需要做统计假设，而这些假设往往是难以估计和验证的；同时，当表面很平滑时，也不牺牲精度。样条函数适合于非常平滑的表面，一般要求有连续的一阶和二阶导数；它适合于根据很密的点内插等值线，特别是从不规则三角网（TIN）内插等值线。

样条函数的缺点是难以对误差进行估计，点稀时效果不好。

•Inverse Distance Weighted (IDW)

反距离加权法是最常用的空间内插方法之一。它认为与未采样点距离最近的若干个 点对未采样点值的贡献最大，其贡献与距离成反比。

$$Z=\sum_{i=1}^{n} W(d_i)Z_i$$

式中，Z 是估计值，Z_i 是第 i（i=1，…，n）个样本，d_i 是距离。以数据点到待求点的距离给予适当的权重，按最小二乘法平差原理求解。权的值应与距离成反比，间距愈近，对待求点测定值的影响应愈大。如取

$$W = 1 / d^p \text{ 或} [(R-d)/d]^p$$

式中 d 为待定点到数据点间的水平距离， p 是距离的幂，它显著影响内插的结果，它的选择标准是最小平均绝对误差。Husar 等的研究结果表明，幂越高，内插结果越具有平滑的效果。

- Kriging

克里格法是空间统计方法的一种。所谓空间统计方法，其基本假设是建立在空间相关的先验模型之上的。假定空间随机变量具有二阶平稳性，或者是服从空间统计的本征假设（in trinsic hypothesis）。则它具有这样的性质：距离较近的采样点比距离远的采样点更相似，相似的程度或空间协方差的大小，是通过点对的平均方差度量的。点对差异的方差大小只与采样点间的距离有关，而与它们的绝对位置无关。空间统计内插的最大优点是以空间统计学作为其坚实的理论基础，可以克服内插中误差难以分析的问题，能够对误差做出逐点的理论估计；它也不会产生回归分析的边界效应。缺点是复杂；另一个缺点是变异函数。

克里格法的优点是以空间统计学作为其坚实的理论基础，物理含义明；不但能估计测定参数的空间变异分布，而且还可以估算估计参数的方差分布。克里格法的缺点是计算步骤较烦琐，计算量大，且变异函数有时需要根据经验人为选定。

Exercise 4：Building a TIN to represent terrain

1. 打开并浏览数据。
2. 从点生成 TIN。Vipoint points 数据中包含一个 SPOT 字段，存储的是这一点的高程值。Create TIN from feature。观察生成的 TIN。
3. adding features to a TIN
4. 从 TIN 获取高度，设置显示

5. 制作剖面图

6. 通视分析

7. 最陡路径，可以用于分析径流方向。

专题四：创建 TIN

1. 从矢量数据创建 TIN

TIN 通常由矢量数据创建生成的，可以用带有高程值的点、线、多边形来生成 TIN。但也并不是所有的矢量 Feature 都带有高程值。

可以使用一种或多种矢量数据一次创建 TIN，也可以分步进行，也就是先用一种矢量数据创建 TIN，然后使用 add Feature to TIN 来修改 TIN。

常用的是从高程测样点生成 TIN，这些点就成为 TIN 中的顶点，它们决定了整个平面的形状。

往 TIN 中加入的线称为 breakline，可以有高程值也可没有高程值，它们就成了 TIN 中三角形的边。Breakline 可以是溪流、边界、道路等等。Breakline 可以分为两种：soft 和 hard

hard breakline：表示在 TIN 表面上坡度不连续，往 TIN 中加入 hard breakline 通常会带来坡度的突然变化。例如山坡上的一条路。

Soft breakline：将边加入了 TIN，但是不影响地表的形状。例如政界线。

加入多边形包括四种类型：clip、erase、replace、fill

clip：定义了插值的边界，落在边界外的数据就被除去了。例如行政界限。Clip 的边界成为新的边界。也有 soft 和 hard 的区别，与上同理。

Erase：落在边界内的数据被除去。

Replace：用插入的 ploygon 代替原来的该区域的地形表面。例如湖。

Fill：给区域所有三角形赋整数值。内不改变地形表面的高度。

2. 从栅格数据创建 TIN

convert raster to TIN。

Exercise 5：Working with animations in ArcScene

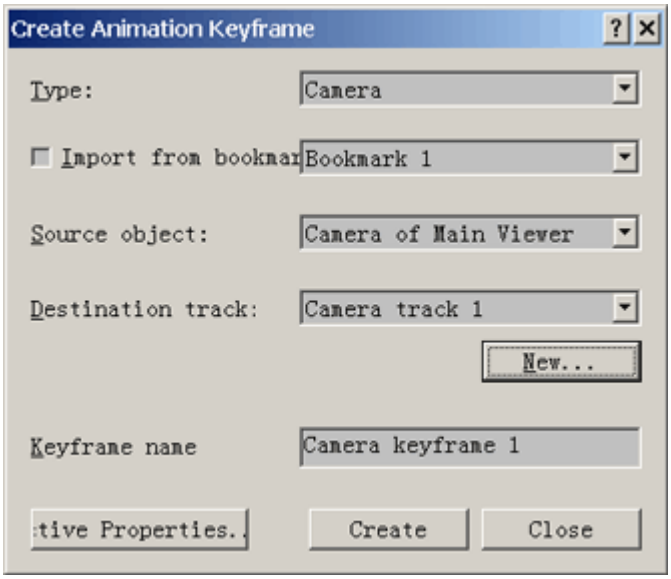
1. 使用 Capture View
2. 使用飞行工具
3. 使用书签设置拍照路线
4. 使用 Group Animation 设置层之间的可视情况
5. 使用 Animation Manager 隐藏飞行路线
6. 改变 Options 中的 Duration，改变放映速度。
7. 沿预定义的路线移动物体
8. 沿预定义路线创建动画

专题五：三维动画制作

一、如何制作动画

在 ArcScene 中提供了制作动画的工具条，能够制作数据动画、视角动画和场景动画。动画是由一条或多条轨迹组成，轨迹控制着对象属性的动态改变，例如，场景背景颜色的变化，图层视觉的变化或者观察点的位置的变化。轨迹是由一系列帧组成，而每一帧是某一特定时间的对象属性的快照，是动画中最基本的元素。在 ArcScene 中可以通过以下几种方法生成三维动画：

1、通过创建一系列帧组成轨迹来形成动画：在动画工具条中提供了创建帧的工具，如下图：



我们可以通过改变场景的属性（例如场景的背景颜色、光照角度等）、图层的属性（图层的透明度、比例尺等）以及观察点的位置来创建不同的帧。然后用创建的一组帧组成轨迹演示动画。其中，动画功能会自动平滑两帧之间的过程。比如，可以改变场景的背景颜色由白变黑，同时改变场景中光照的角度来制作一个场景由白天到黑夜的动画。

2、通过录制导航动作或飞行创建动画：点击动画控制器上的录制按钮开始录制，在场景中通过导航工具进行操作或通过飞行工具进行飞行，操作结束后点击录制按钮停止录制。这个工具类似录相器，将场景中的导航操作或飞行动作的过程录制下来形成动画。

3、通过捕捉不同视角，并自动平滑视角间过程创建动画：通过导航工具将场景调整到某一合适的视角，用动画工具条上的捕捉视角命令捕捉此时的视角，然后将场景调整到另一个合适的视角，再次用捕捉命令捕捉视角，依次可捕捉多个视角。动画功能会自动平滑两视角间的过程，形成一个完整的动画过程。

4、通过改变一组图层的可视化形成动画效果：通过动画制作工具条中的创建组合动画命令，选择图层组，控制一组图层的可视化生成动画效果。例如，可以用一组显示洪水淹没过程的图层生成洪水演进的动画效果。

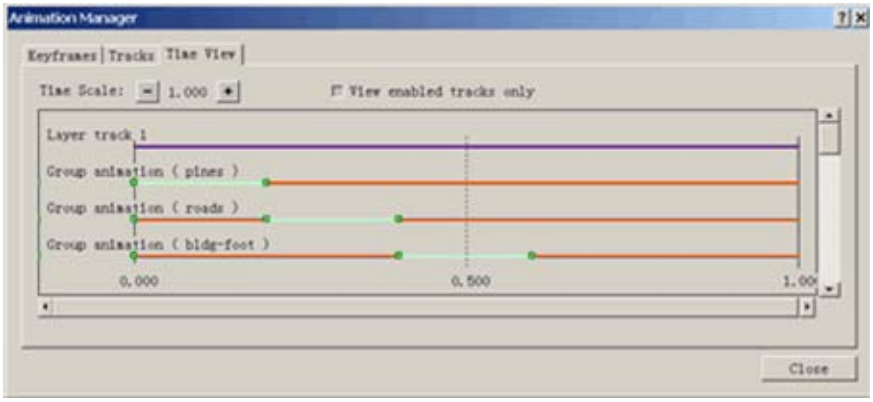
5、通过导入路径的方法生成动画：选择场景中存在的路径要素，用动画工具条中的沿路径飞行命令制作沿路径飞行的动画效果，此时可以设置飞行时的一些参数来控制飞行过程中的视觉效果。或用图层沿路径移动命令制作某一图层沿路径移动的动画轨迹。

以上是五种基本的动画制作方法，动画制作完成后，可以通过动画控制器中

的播放按钮演播动画。

二、编辑和管理动画属性

动画的帧或轨迹创建完成之后，我们还可以用动画管理器编辑和管理组成动画的帧和轨迹。另外，通过它我们也能改变帧的时间属性，并可预览动画播放效果。下图是动画管理器。



动画管理器

三、保存动画

我们在 ArcScene 中制作的动画可以存储在当前的场景文档中，即动画可以保存在 SXD 文档中；也能存储成独立的 ArcScene 动画文件（*.asa）用来与其他的场景文档共享；同时我们也能将动画导出成一个 AVI 文件，被第三方的软件调用。

9 空间分析模块

9.1 空间分析简介

空间分析是 GIS 的最大特色，GIS 的发展中具备了一系列的分析方法和模型。大多是基于栅格数据的。在 ArcGIS 中我们可以直接用这些工具，而不必追问其原理和算法。空间分析不但能从各种已有的数据源中的信息生成合适的表面表达，还可以从多种叠加专题类型里生成新的信息，其结果可以用来作为最初提出的问题的建议方案。

但是，空间分析不仅仅是分析，更重要的是解决问题，要得到正确的结果，就要求提供正确的信息，另外就是要建立正确的概念模型。例如一个学校选址问题，有了地形等数据，最重要的是我们要知道学校选址应该符合什么样的条件，考虑什么样的因素。

建立了正确的概念模型之后，就是要选择合适的分析方法，一步步得到我们所要的结果；最后就是要选择合适的方式表达分析的结果。

ArcGIS 空间分析提供了丰富的，强大的空间建模和分析功能。这个扩展模块可以创建基于栅格的数据，并对其查询，分析，绘图。另外，它也可以提供矢量－栅格的一体化分析。用它你可以生成数据，分析数据间的关系，选择最佳地点，计算两点间距离代价。

理解栅格数据

栅格数据(raster)：通过 cell 表示位置信息，而 cell 的值可以是高度、土地利用类型的代码、坡度值、方向代码等等。也可以根据需要赋予它不同的含义，例如本来是记录的某种并发率（每个 cell 所代表的实际范围内的统计值），我们可以将它解释为高度，在 3D 分析中，将其拉伸为高度，则更直观看出其数量关系。另外 cell 的值也可以为空，即 nodata，因此栅格数据可以表示连续的现象，比如温度、高度，也可以表示不连续的现象。栅格的边长成为空间分辨率。



9.2 显示数据和功能简介

1. 启动空间分析。
2. 在 ArcMap 中添加数据。
3. 调整显示方式。
4. 在地图上高亮显示选择集。

5. 信息工具。

6. 设置空间分析属性：工作路径、分析范围、空间分辨率。空间分辨率越小意味着分析的精细，也意味着计算量的增加。根据分析用途选择合适的分辨率。

7. 直方图。

8. hillshade。Azimuth（方位角）：正北为 0 度，然后顺时针转计算角度，用来指定光照来源。Altitude（高度角）：用来定义光线的倾斜度，可以理解为太阳高度角。Z factor：用来定义高度与平面 x,y 之间的单位换算关系。

9. 设置透明度。

10. 关掉其他图层。

9.3 选址分析

使用各种表面分析功能，为新的学校选址。

首先分析学校选址需要考虑的因素：坡度、距离已有学校的距离，距离娱乐场所的距离，占用土地的土地利用类型。然后一步一步从已有数据分析获取所需信息。

1. 打开数据。（elevation, landuse, rec_sites, schools），设置工作路径。

2. 获取坡度。Spatial Analyst\Surface Analyst\slope。根据高度获取坡度。

3. 计算到娱乐场所的距离。Spatial Analyst\distance\Straight Line。对每个栅格计算它到最近的娱乐场所的直线距离。

4. 同样计算到现有学校的直线距离。

现在已经获得了所有所需的信息了，接下来是如何分析这些信息，选择出最合适的地址，如何让结果一步步更明朗的显示出来。我们使用重新分类。所谓重新分类就是为已有的数据重新设定**统一**的衡量标准，这个统一的衡量标准就是适宜建新学校的适宜程度，对每一个栅格都将其根据适宜程度划分类别（级别）。我们将这种适宜程度划分为 10 个级别，1－10，级别越高表示越适合建立新学校。

1. 对坡度重新分类。显然坡度越小越好。Spatial Analyst\reclassify：input slope，Reclass field：Value；点击 Classify 按钮：Equal interval，10；重新设置每个级别的值，坡度越小级别越高。

2. 对到娱乐场所的距离重新分类，同上操作，距离越小越好，级别越高。

3. 对到现有学校的距离重新分类，同上操作，学校越分散越好，所以距离越小级别越低。

4. 对土地利用类型重新分类。不同用地类型适宜建设新学校的程度也不相同。我们定义，Agriculture 的适宜程度为 10，built_up 的适宜程度为 3，Barren land 为 6，Brush 为 5，Forest 为 4，Water 和 Wetland 则不能建设。所以选中这两行，按 delete entries。然后选中复选框：changing missing values to nodata，则他们的级别变为 nodata。然后重新设置 Reclass of landuse 的显示。

5. 加权综合分析。以上四种因素对新校选址的影响力度并不相同，所以为每种因素设定其权重。到娱乐场所的距离：50%；到现有学校的距离：25%；土地利用类型：12.5%；坡度：12.5%。Spatail Analyst\raster Calculator。然后输入新栅格值的表达式。。计算。这称为地图的代数操作。



6. 对于计算产生的新的图层，改变其显示符号，分为 10 个级别，选择颜色系列，同时改变 nodata 的显示方式为空。选中最后三个高级别的行，改变为一种比较明亮的颜色。此时图上新校选址就很明显了。

9.4 最佳路径

为新建的学校修建道路，与已有道路连接，因此就成为查找新校到特定点的最短路径了。但是修路并不是直线距离最短就可以了，而是要考虑修路的代价。因此我们分析的首要步骤就是要计算修路代价。它的影响因素有：土地利用类型、坡度。同样还是采用重新分类，设定 10 个代价级别。

1. 在 ArcCatalog 里创建 shapefile，为其选择投影。在 ArcMap 中创建新 Feature，表示新的学校选址。

2. 为坡度重新分类。等间距，10 个级别。坡度越小，代价越小。

3. 为 landuse 重新分类。Agriculture 的代价为：4，built_up：9，Barren land

为 6，Brush 为 5，Forest 为 8，Water：10；Wetland 则不能建设。所以选中这行，按 delete entries。然后选中复选框：changing missing values to nodata，则其级别变为 nodata。然后重新设置 Reclass of landuse 的显示。

5. 合并两层的代价值。代数相加。计算，然后改变显示。
6. 计算到新校址的代价距离，同时创建方向。

   代价距离函数是根据 cost 栅格层提供的 cost 值，为每一个栅格计算经由花费最小路径，到达最近的源点花费代价的累加值。

   而方向则是为每个 cell 指明相邻的 cell 究竟哪一个在最短路径上。然后用方向代码表示。
7. 计算最短路径。
8. 显示结果。

补充，生成 cost_weighted distance 时，还可以生成 Allocation。当有多个源点时，Allocatiaon 可以为每一个 cell 指明它是属于哪一个源的，也就是到哪一个源点最近。

9.5 如何获得连续的栅格数据

1. 点密度图

   simple 和 kenel 两种。设置搜索半径，落在搜索区域内的点（或线）的值的总和除以搜索面积，点密度图可以更好的观察点或线在区域内的分布情况。
2. 点内插
3. TIN 到栅格

9.6 其他功能

等值线、挖方填方、通视分析、结构转换等。