

| 地理学研究生教学丛书 |

地理信息系统底层开发教程

DEVELOP A GIS FROM THE BOTTOM UP

李 响 著



科学出版社

地理学研究生教学丛书

地理信息系统底层开发教程

DEVELOP A GIS FROM THE BOTTOM UP

李 响 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是根据作者近五年的教学经验总结的一本教材,它主要面向地理信息系统专业本科生或研究生,讲授如何通过程序语言实现地理信息系统的基本功能,包括空间数据与属性数据的管理、分析及可视化等。全书内容均为底层开发,不依赖于任何商业地理信息系统软件,各种算法或数据操作方法均有详细介绍,且深入浅出,适合教师讲授或学生自学之用。通过阅读本书,可以提高读者的原始创新能力。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统底层开发教程 / 李响著. —北京: 科学出版社, 2016
(地理学研究生教学丛书)

ISBN 978-7-03-049131-2

I. ①地… II. ①李… III. ①地理信息系统-系统开发-研究生-教材
IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 143292 号

责任编辑: 文 杨 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天津市新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2016 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 19 3/4

字数: 468 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《地理学研究生教学丛书》编委会

主 编 刘 敏

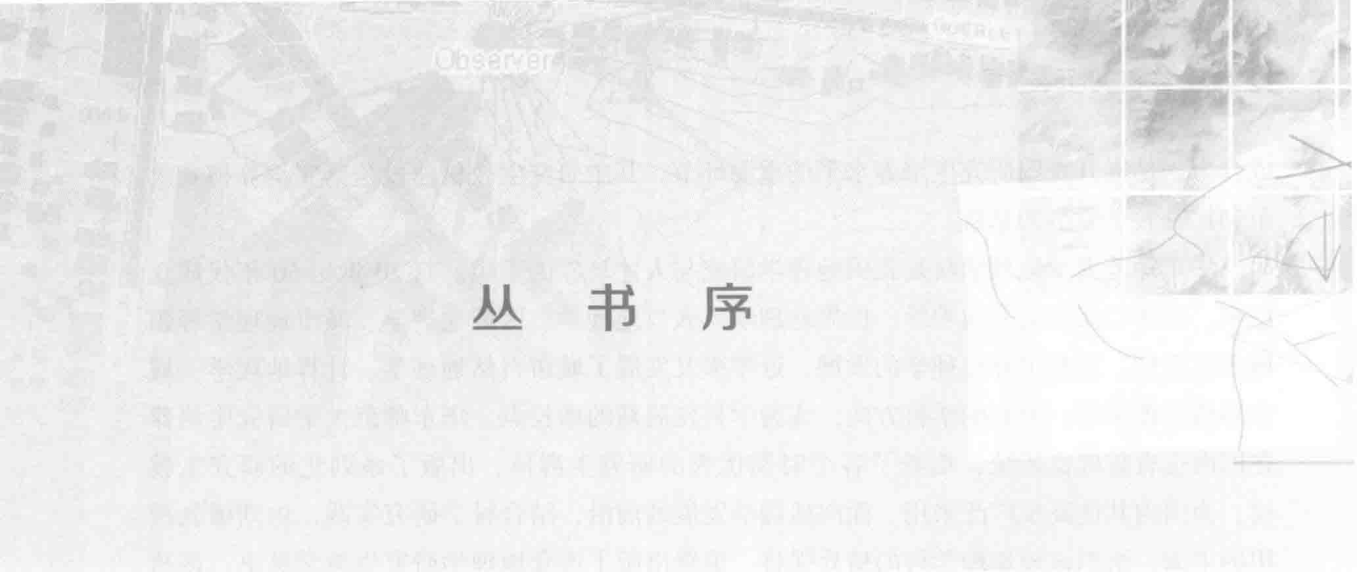
副主编 段玉山 郑祥民 吴健平 徐建华

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 军	王东启	叶 超	刘 敏	刘红星
过仲阳	余柏菴	李 响	吴健平	邱 方
周立旻	杨 毅	陈振楼	陈睿山	侯立军
郑祥民	段玉山	徐建华	蒋 辉	蔡永立

作者简介

李响，先后于南京大学获得学士及硕士学位，于香港中文大学获得博士学位，曾在法国及美国从事博士后研究工作，目前任职于华东师范大学地理科学学院暨地理信息科学教育部重点实验室，受聘为教授、博士生导师，同时担任城市空间优化与智能交通研究室负责人。主要研究领域包括交通地理信息系统、空间优化算法、时空数据管理与分析等。



丛书序

地理学是研究地球表层系统中自然与人文要素及其地理综合体的空间格局、演化特征及相互作用规律，具有区域性、综合性、交叉性的特点，可谓“探索自然规律，昭示人文精华”。

地理学是一门经世致用的学科，自地理学诞生伊始就与人类社会的发展和演进紧密联系在一起，从人类地理大发现到现代全球变化和全球经济一体化无不闪耀着地理学的贡献。现代自然环境演进过程中人类活动因素已和自然因素相互交融，20 世纪初大规模工业化以来，全球城市化快速发展，人口剧增，人类活动已深刻地影响到全球环境变化。应对这一变化，国际科学界推出了“未来地球”研究计划，旨在从局地、区域和全球尺度寻求通向可持续发展的途径和解决方案。“未来地球”研究计划代表着地理学发展的趋势，强调多学科交叉，多部门参与，强化自然-社会-经济的耦合研究，强调过程研究的深化和复杂系统的模拟和预测。

在研究问题导向驱动下，地理学研究方法和手段也发生着重大的变化。在传统的野外考察、描述记录的基础上，大批的新技术和新方法被引入地理学研究，地理数据收集、处理、分析的效率倍增，物理、化学、生物的分析方法与定位观测网络的结合，对地理过程的认识更为深入，地球系统模式的完善不但增强了空间格局演化的预测能力，也将成为新地理规律发现的重要工具，地理学研究的范式正在发生着深刻的变化。

在新一轮地理学大发展的时代背景下，培养和壮大高水平地理学人才队伍是当务之急，其中高质量的研究生培养更是关键。研究生是学科发展中重要的生力军，他们思想最为活跃，求知欲最为旺盛，掌握新技术、新方法最有热情。而目前我国地理学人才培养中还存在着明显的不足：①学科批判性思维、理论构建等方面的训练还十分薄弱；②课程多样化水平还不够高；③课程设置上紧密结合全球重大问题，以及社会经济发展的教学内容偏少；④教师背景相对统一，加之学生指导方面分明的专业分割，难以适应地理科学日益明显的交叉学科特征的要求。研究生培养模式的改革，教师队伍建设和教材建设等多要素集

成合力，是提升我国研究生培养水平的重要环节。其中研究生教材建设是落实培养模式改革和提升教学质量的基础。

华东师范大学地理学科是我国地理学研究与人才培养的重镇。自 20 世纪 50 年代成立以来，在河口海岸动力地貌学、世界地理学、人口地理学、区域地理学、城市地理学等领域多有建树。紧扣国际地理学的发展，近年来又发展了城市自然地理学、计算地理学、城市环境地理学等一批新的学科方向，成为学科发展新的增长点。华东师范大学研究生培养在国内也有着优良传统，培养了各个时期优秀的研究生群体，出版了系列化的研究生教材，为国内其他高校广泛采用。面向地理学发展的前沿，结合科学研究实践，由刘敏教授担纲主编，组织该校地理学科的精兵强将，编辑出版了该套地理学研究生教学丛书。该丛书特点鲜明：①强调地理学理论体系和方法论在研究生培养中的核心地位，将地理学整体理论发展史和各个分支学科发展史、地球表层系统圈层相互作用思想及地理要素格局与过程耦合思想等置于教材组织的核心位置；②紧密联系科研实践，各本教材在理论知识和前沿阐释部分之后，均以大量的科研实践案例形式组织专题章节，这些科研实践案例均来自于教材编写教师的科研实践，增强了理论和方法的应用。使学生能高效地把握学科前沿动态，掌握研究方法，更便于学生了解研究思路 and 如何应用，激发学生的学习和研究兴趣，培养学生科研能力；③该丛书涉及的学科门类广，并重视不同学科间的交叉，有利于不同专业研究生全面、系统了解地理科学进展，掌握知识点。

该丛书的出版是我国地理学研究生教育改革的重要标志。将丰富研究生教学组织形式，对国内研究生教学起到良好的示范与引领作用。丛书的内容也对初涉地理学科学研究的青年教师有很高的参考价值。



中国科学院院士、中国地理学会理事长

2016 年 6 月

前 言

这是一本讲授如何利用程序设计语言开发一套基本的地理信息系统（geographic information system, GIS）软件平台的书。书中，在 Windows 操作系统下，以 C# 为开发语言进行讲解。在阅读本书之前，读者需要对 GIS 的基本概念及 C# 语言有一定了解，此外，面向对象编程思想也在本书有较好的应用，因为这是编写一个较为复杂的软件平台所必需的，读者可事先寻找相关资料对这一思想加以学习和领会。相信通过阅读本书，会进一步加深读者对 C# 语言及面向对象编程思想的理解。而更重要的是，提高读者的 GIS 开发与原始创新能力。

学习本书内容，读者唯一需要特别安装的软件就是 Visual Studio 集成开发工具，该工具是 Microsoft 软件公司的一个产品，如果是出于学习的目的，读者可以从该公司网站上免费下载并安装这个产品，在试用一段时间后，通过电子邮件注册的方式，就可以永久使用这一开发工具。本书就是利用这一开发工具编写代码的。Visual Studio 是一个存在已久的软件产品，其已经发布了多个版本，而本书内容并不针对其中的特定版本，读者可以按照以下步骤下载并安装最新的 Visual Studio 软件。

(1) 在网络浏览器中输入如下网址：<http://www.visualstudio.com/en-us/products/visual-studio-express-vs.aspx> 或者通过网络搜索引擎，如 Google，搜索关键字“Visual Studio Express”，通常在搜索结果中的第一项就是上述网址。

(2) 在打开的网页中，找到当前适用于 Windows Desktop 操作系统的最新版本，根据网页提示完成下载和安装。

在编写本书时，笔者选择的版本是 Visual Studio 2013 Express，当安装结束后，在所有程序中，读者会发现一个新的程序组，名为“Visual Studio 2013”，在该组下，读者会见到“VS Express 2013 for Desktop”，点击它，如果读者能够看到如图 1 所示的界面，则说明一切就绪，可以开始学习本书的第 1 章，否则，请重新安装上述软件。在今后的章节中，将“VS Express 2013 for Desktop”简称为 VS。

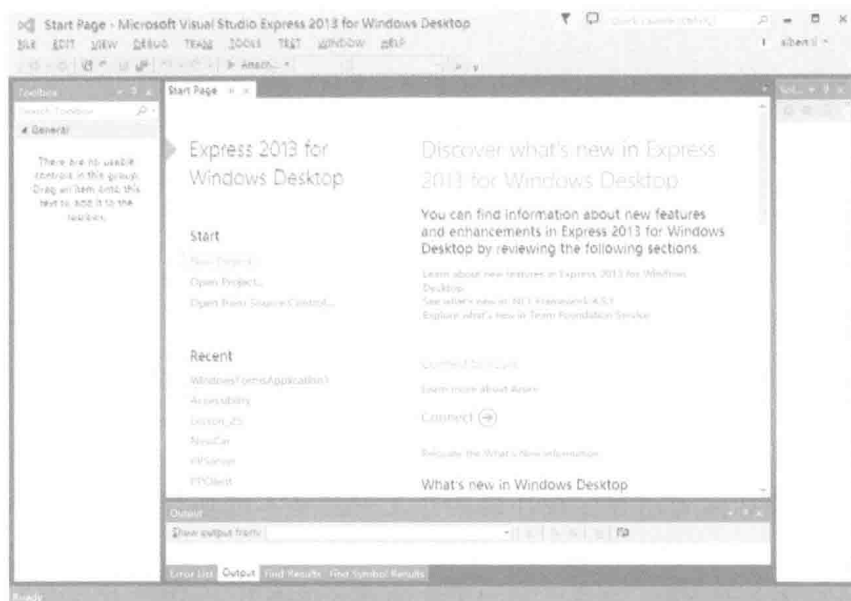


图 1 VS Express 2013 for Desktop 程序界面

本书附带的光盘或其他电子介质包含每一章涉及的源代码，读者可以直接在 VS 中打开阅读，附录包含所有类及新定义数据类型的属性成员和函数的定义及说明。此外，文中所有源代码都会被清楚地标明其所属的文件或其中的类，例如，如下信息表示所列出的代码属于“项目 Lesson_1”的“文件 BasicClasses.cs”，它定义了一个类，叫做 GISLine。

Lesson_1/BasicClasses.cs

```
class GISLine
{
    List<GISVertex> AllVertices;
}
```

而如下信息表明为“项目 Lesson_6”的“文件 BasicClasses.cs”中的“类 GISTools”定义一个“函数 CalculateLength”。

Lesson_6/BasicClasses.cs/GISTools

```
public static double CalculateLength(List<GISVertex> _vertexes)
{
    double length = 0;
    for (int i = 0; i < _vertexes.Count - 1; i++)
    {
        length += _vertexes[i].Distance[_vertexes[i + 1]];
    }
    return length;
}
```

至此，已经完成了准备工作，开始正式的学习内容，在阅读本书章节的过程中，欢迎读者将任何问题、意见或建议发送给笔者：xli@geo.ecnu.edu.cn。同时，基于本书讲解的内容、开发的多个实用工具可以通过微信公众号“大数据攻城狮”（二维码如下）免费获得。本书后续出版物将选择性地介绍上述实用工具的开发过程，欢迎读者关注。





目 录



丛书序

前言

第1章 一切从“●”开始	1	5.4 更新的 GIS	44
1.1 最简单的空间对象	1	5.5 总结	48
1.2 让空间对象变成程序代码	2	第6章 从 Shapefile 中读取线和面	
1.3 第一个迷你 GIS	6	实体	49
1.4 总结	10	6.1 更完善的 GISLine 及	
第2章 更完整的类库	11	GISPolygon	49
2.1 建立一个新的项目	11	6.2 读取线与面 shp 文件	53
2.2 空间对象体系	11	6.3 功能更加完善的 GIS	56
2.3 重新实现迷你 GIS	16	6.4 总结	57
2.4 总结	18	第7章 读取 Shapefile 中的属性	
第3章 屏幕坐标与地图坐标	19	数据	58
3.1 坐标系统	19	7.1 建立属性数据的字段结构	58
3.2 两种坐标之间的转换	21	7.2 dbf 文件驱动程序及读取	59
3.3 再次更新迷你 GIS	25	7.3 再次完善 GIS	62
3.4 总结	28	7.4 总结	64
第4章 制作可浏览的地图	29	第8章 读写自己的空间数据文件	65
4.1 地图缩放	29	8.1 数据类型与文件结构	65
4.2 地图平移	32	8.2 写入文件头与图层名	66
4.3 更丰富的迷你 GIS	33	8.3 写入字段信息	69
4.4 总结	35	8.4 写入空间和属性数据值	71
第5章 从 Shapefile 中读取点实体	36	8.5 读取自定义文件	74
5.1 获得 Shapefile 白皮书	36	8.6 测试读写过程	78
5.2 读取 shp 文件	37	8.7 总结	78
5.3 图层的引入	42	第9章 点选点实体和线实体	79

9.1 建立一个选择的框架	79	14.2 为 GISDocument 添加函数 ...	127
9.2 点选点实体	82	14.3 添加与删除图层操作	129
9.3 点选线实体	84	14.4 调整图层显示顺序	132
9.4 测试点选功能	87	14.5 存储操作	134
9.5 总结	88	14.6 总结	136
第 10 章 点选面实体	89	第 15 章 地图窗口的简化	137
10.1 建立点选面实体的框架	89	15.1 与地图窗口的联动	137
10.2 Include 函数——判断点面 位置关系	90	15.2 修改地图窗口	138
10.3 更友好的点选结果显示	93	15.3 实现对图层管理对话框的 调用	141
10.4 总结	97	15.4 总结	143
第 11 章 属性窗口与地图窗口的 互动	98	第 16 章 开发一个集成的控件	144
11.1 唯一标识符	98	16.1 扩大化的 MyGIS	144
11.2 修改后的属性窗口	99	16.2 从 Form1 到 GISPanel	145
11.3 让彼此记住并认识	100	16.3 测试 GISPanel	146
11.4 从地图窗口到属性窗口 ...	101	16.4 总结	147
11.5 从属性窗口到地图窗口 ...	103	第 17 章 唯一值专题地图	148
11.6 总结	105	17.1 GIS Thematic 类	148
第 12 章 更有效的显示方法	106	17.2 唯一值地图	151
12.1 为什么会闪烁	106	17.3 扩充图层管理对话框	153
12.2 用双缓冲解决闪烁问题 ...	107	17.4 总结	156
12.3 解决地图内容消失和 变形的问题	108	第 18 章 独立值地图与分级 设色地图	158
12.4 加快显示效率	111	18.1 支持多种专题地图方式的 图层定义	158
12.5 总结	112	18.2 独立值地图	160
第 13 章 鼠标的作用	113	18.3 分级设色地图	163
13.1 定义鼠标的功能	113	18.4 支持专题地图的图层管理 对话框	166
13.2 鼠标按钮被按下	114	18.5 总结	170
13.3 鼠标移动和抬起按钮	115	第 19 章 栅格图层	171
13.4 选择操作	117	19.1 栅格文件结构	171
13.5 放大操作	119	19.2 扩充的图层类定义	172
13.6 缩小操作	121	19.3 针对新的图层类更新 类库	176
13.7 移动操作	122	19.4 构建栅格数据	182
13.8 切换鼠标功能	123	19.5 总结	185
13.9 总结	125	第 20 章 网络数据模型基础	186
第 14 章 多图层问题	126		
14.1 地图文档类 GISDocument ...	126		

20.1 基本的网络要素	186	23.3 开始种树	228
20.2 建立拓扑关系	188	23.4 结点的插入	229
20.3 最短路径分析	190	23.5 结点的分裂	232
20.4 展示分析结果	194	23.6 树的调整	235
20.5 总结	195	23.7 在图层中引入 R-Tree	236
第 21 章 操作网络数据模型	196	23.8 总结	240
21.1 生成弧段及结点图层	196	第 24 章 空间索引的应用与维护	241
21.2 单一文件多图层读写	198	24.1 树的搜索	241
21.3 网络分析对话框设计	200	24.2 优化后的 GISSelect	242
21.4 实现对话框功能	203	24.3 更快的图层绘制	245
21.5 总结	210	24.4 树的存储	247
第 22 章 约简、纠错、完善与优化 ...	211	24.5 修改图层的索引选项	250
22.1 关于图层名	211	24.6 数据结点的删除	252
22.2 关于保存图层	213	24.7 总结	254
22.3 Peerchar 的问题	216	第 25 章 空间参考系统	255
22.4 解除 dbf 文件长度的 限制	216	25.1 WGS 1984 及 UTM	255
22.5 处理空值字段	217	25.2 单个点的坐标转换	256
22.6 提高文件读取效率	219	25.3 空间实体坐标转换	259
22.7 属性窗口的快速打开	221	25.4 带有空间参考系统的图层 定义	261
22.8 纠正图层管理对话框的 错误	222	25.5 图层坐标转换	265
22.9 避免无效显示	222	25.6 总结	268
22.10 总结	224	第 26 章 做最后的整合工作	269
第 23 章 空间索引的构建	225	26.1 真正的产品	269
23.1 空间索引基础	225	26.2 “Hello World”	270
23.2 定义结点	226	26.3 总结	271
		附录: MyGIS 类库说明	272

第1章 一切从“●”开始



本章将介绍几个最基本的空间对象，以及如何用计算机语言把这些基本的空间对象编码成一个个的“类”，并组织到“类库”中去。不仅如此，还会基于类库，实现一个超级迷你 GIS，它具有空间数据和属性数据的输入、显示及查询功能。

1.1 最简单的空间对象

作为本书正文的开篇，可以说一切从零开始，但本章题目中的“●”指的并不是“零”，而是指 GIS 中的“点”——一个零维的，也是最简单的空间对象。在现实世界中，并不存在一个“点”的对象，任何一个微小的地理实体，都是一个“体”，有长、宽、高。但是在计算机世界里，可以将一个与研究区面积相比起来尺寸非常小的面（在二维空间中）或体（在三维空间中）简单地表达成一个点对象。例如，在中国小比例尺国家地图中，可以用一个点来代表一个城市。

“点”对象非常简单，用两个或三个数字，或者说一个坐标对，就可准确地描述出这个对象在二维或三维空间中的位置。此外，点对象也是构成其他空间对象的最基本单元，由两个点可以构成一条线段，由多个有序的点可以构成一段折线或者一个面，同时，一个单独的点也可以是具有实际意义的一个空间对象，如前文所说的在一个小比例尺地图中用来代表城市的点。因此，从 GIS 的角度出发，总结定义了以下三种点对象。

- 节点（vertex）：用于构成其他空间对象实体（feature），如线实体、面实体等，也可以指代空间中的任意一个位置。

- 结点（node）：是节点的一种，仅指在构成折线实体的一系列有序节点集中的起始和终止节点。

- 点实体（point）：由一个单独节点构成的空间对象实体。

其中，空间对象实体指的是能够代表一个客观世界实际存在的实体或现象（如一个校园、一座大楼、一条马路、一场台风经过的路径等）的计算机模型，其中点实体就是一种空间对象实体。其他还包括线实体、面实体等，如图 1-1 所示。

这里需要提醒的是，节点与结点并非一个空间对象实体，而是构成一个空间对象实体

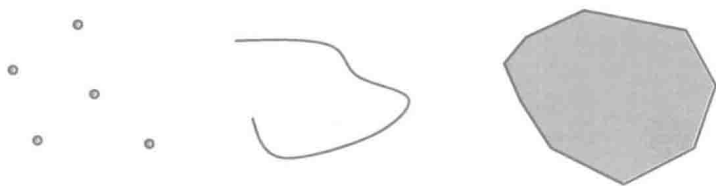


图 1-1 点实体、线实体及面实体

的重要元素。此外，节点与结点在以往的使用中经常被混淆，上述的定义把它们明确地区分开来，而一个最好的实例就是线实体。如图 1-2 所示，任何复杂、曲折或者光滑的线实体都是由节点构成的，如图中菱形和圆形的点，而其中圆形的点又是该线实体的端点，也即一种特殊的节点，被称为结点。结点在网络数据结构中具有重要的作用，将在今后相关章节中做进一步的讨论。



图 1-2 构成线实体的节点（菱形）和结点（圆形）

1.2 让空间对象变成程序代码

至此，开始启动 VS，把上述的想法代码化。在运行 VS 之前，需要建立一个新的目录用来存放项目，例如，在 D 盘建立一个“GISBook”的目录，然后运行 VS，选择“Visual C#”作为程序开发模板，建立一个 Windows 窗体应用程序（Windows forms application），它会包含一个缺省的解决方案（solution）和一个缺省的项目，在该项目之下又有一些代码文件。对于一个复杂的工程来说，通常包含多个项目，每个项目又包括多个代码文件。在 VS 中，“解决方案”就指的是上述的工程。在本书中，希望把每节课的项目都放在一个统一的解决方案下，这样将比较容易管理。为此，将缺省的解决方案重命名为“AllLessions”，项目名称也改为“Lesson_1”，文件存储位置指向新建的目录“D:\GISBook”，如图 1-3 所示。

在图 1-3 的界面中点击【OK】，就正式进入了 VS 的集成开发环境中。如图 1-4 所示，其中最醒目的“Form1”就是这个程序的初始图形界面，目前看来它还什么都没有，暂时不管它，因为需要先把之前提到的几个与点有关的空间对象代码化。

首先，需要建立一个文件用于存储这些代码。在解决方案资源管理器中，选择“Lesson_1”，点击右键，在菜单中选择“Add”，在接下去的菜单中选择“New Item...”，上述过程也可以通过快捷键“Ctrl+Shift+A”一步实现。如图 1-5 所示，在弹出的“Add New Item-Lesson_1”对话框中，选择“Code File”（代码文件），然后给出一个文件名，这里给的名字是“BasicClasses”，就是说这个代码文件将记录定义的一些基本类。

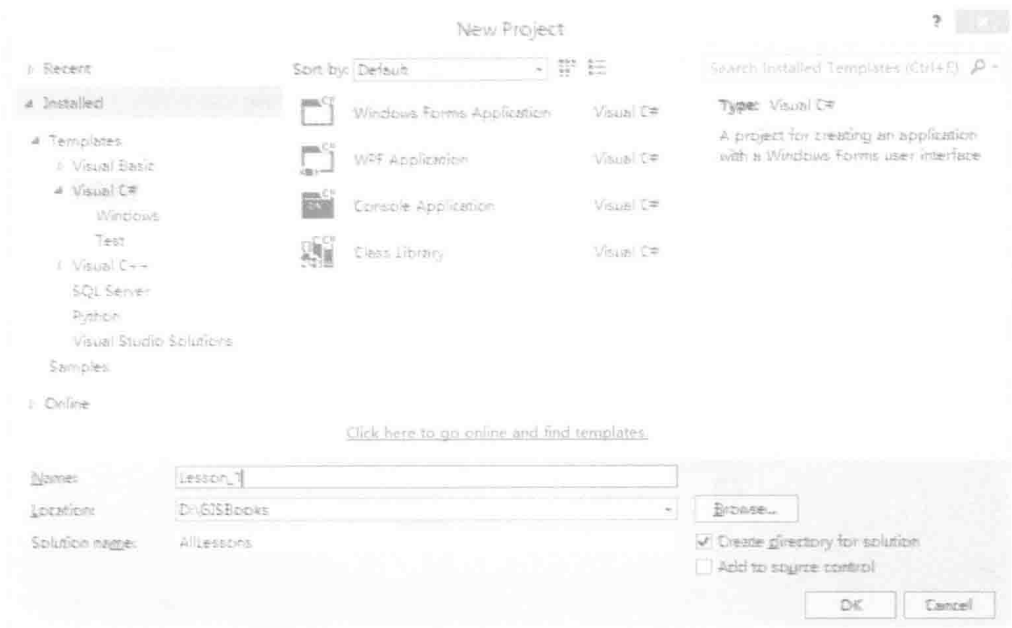


图 1-3 建立第一个 VS 程序

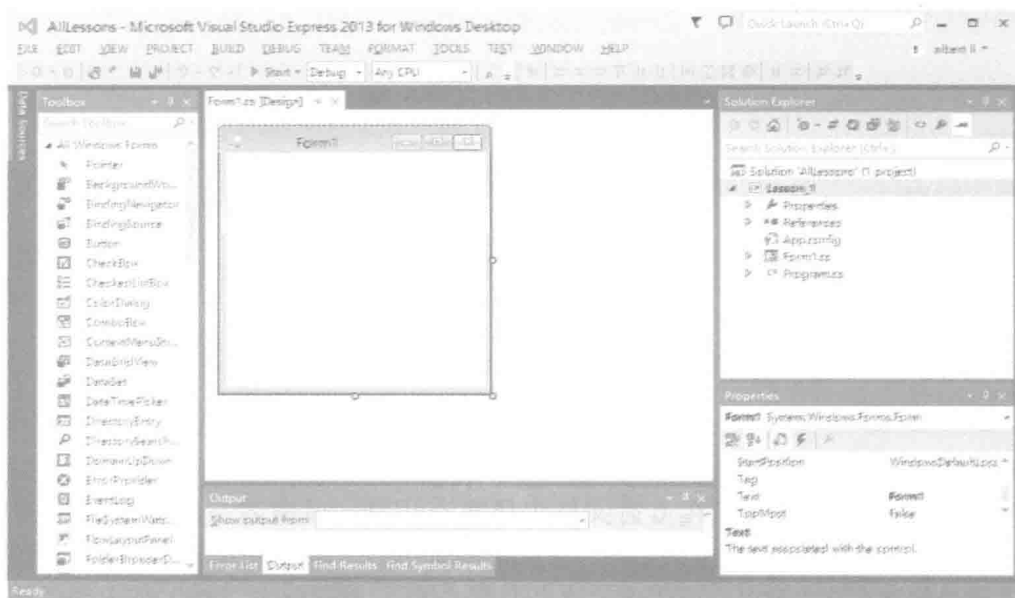


图 1-4 第一个程序的集成开发环境

在图 1-5 中点击【Add】按钮后，将出现一个空白的文本编辑器，用于编辑 Lesson_1 项目中的 BasicClasses.cs 文件。请先把以下代码复制到编辑器中，之后会对它进行详细的解释。

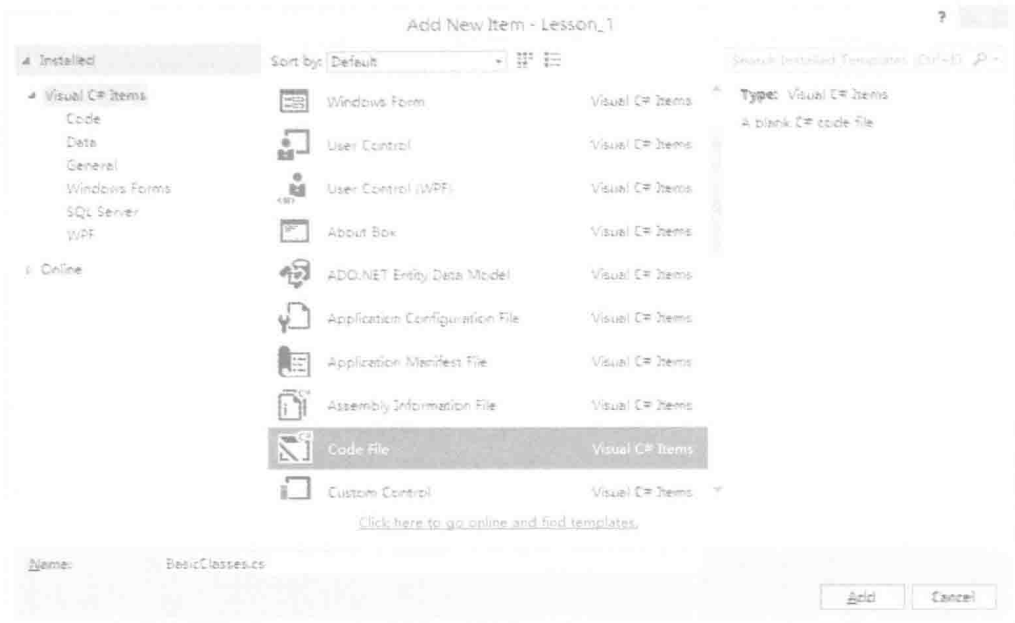
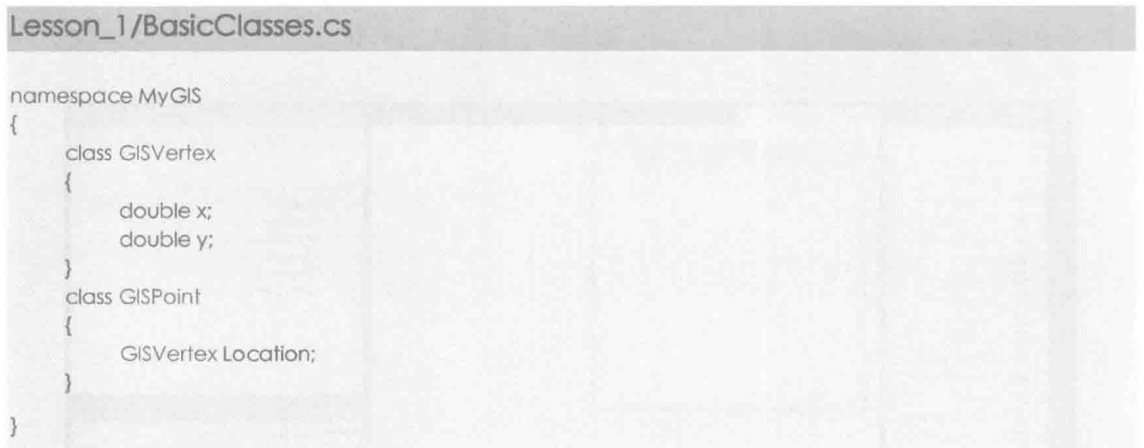


图 1-5 为 Lesson_1 添加一个新的代码文件



每一个 C# 代码文件都包括文件头及一个命名空间体 (namespace)，其中文件头用于列出需要引用的其他类库，在上述文件中还没有用到，而命名空间体就是用关键词 namespace 及一对大括号括起来的代码，并且在 namespace 后面要给出一个名称，这个名称实际上就是包含在这个命名空间体中的所有类的“姓”，通过这个“姓”加上类名就可以比较方便地引用一个类。通过命名空间的方式可以比较容易地把各种类有效组织起来，便于管理和使用。在同一个项目中，不同的代码文件如果使用了同样的“姓”，那么在类之间的相互引用时就可以直接用类名，因为它们已经是同一家族的兄弟姐妹了。在本项目中，Form1.cs (在解决方案资源管理器中，选择“Form1.cs”，点击右键，在菜单中选择“View Code”即可看到该文件的代码) 中的命名空间是“Lesson_1”，即项目的名称，在 BasicClasses.cs 中，定义了另外的命名空间，称为“MyGIS”。