

测量平差

程序设计 (第2版)

Celiang Pingcha
Chengxu Sheji

李玉宝 莫才健 兰纪昀 刘福臻 ◆ 编著



西南交通大学出版社

测量平差程序设计

(第2版)

李玉宝 莫才健 兰济昀 刘福臻 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书在简要介绍 VB 程序设计语言和测量平差数学模型的基础上,以一个能够实现导线网、三角网、三边网、边角网,以及上述网形(包括各种角度、边长交会图形)任意组合而成的混合结构控制网平差计算的示例程序为主线,完整、系统、循序渐进地阐述了经典测量平差程序实现方法。

复杂的编程技巧很难清晰、准确地阐述,因而一直是程序设计类教材的难点和短板。本书编著者在此方面作了努力尝试,通过对算法的深入介绍和代码的逐条注释,希望能够图文并茂、通俗易懂地阐述复杂测量数据计算问题的设计思想和实现技巧。

本书提供了示例程序的完整代码和典型算例,可供读者参考和验证,因此除可作为测绘工程专业本科生及研究生相关课程教材外,也可以供从事测量数据处理工作的专业人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量平差程序设计 / 李玉宝等编著. —2 版. —成

都: 西南交通大学出版社, 2017.7

ISBN 978-7-5643-5607-1

I. ①测… II. ①李… III. ①测量平差—高等学校—教材②BASIC 语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①P207②TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 170226 号

测量平差程序设计

(第 2 版)

李玉宝 莫才健 兰济昀 刘福臻 / 主编

责任编辑 / 张 波

封面设计 / 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)

发行部电话: 028-87600564

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 成都蓉军广告印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm×260 mm

印张 14.5 字数 364 千

版次 2017 年 7 月第 2 版 印次 2017 年 7 月第 2 次

书号 ISBN 978-7-5643-5607-1

定价 32.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

再版前言

本书自 2015 年 1 月出版迄今已经两年多，一些读者在给予肯定与鼓励的同时，指出了许多错误和不足。编著者在教学实践过程中，也发现了不少的问题，对此深感惶恐不安，并愿在此向所有阅读本书的读者表示歉意。

借本书再版机会，编著者对全书做了以下修订：

- (1) 对示例程序做了全面优化；
- (2) 修订了部分文字错误及表述不准确的内容。

再版修订工作由莫才健、刘福臻、李玉宝完成。

虽然编著者在修订过程中，花费了大量的心血，但由于受专业水平局限，谬误恐怕仍难以避免。编者一如既往地恳请读者不吝赐教，以便在后续重印时持续完善，并借此机会对使用本书的教师、学生表示衷心感谢。

编著者

2017 年 6 月

前 言

自 20 世纪 80 年代以来,电子计算机、光电测距、卫星定位、遥感等新技术迅速地被引入到测量领域。这些新技术的应用和持续发展,对测量理论和技术方法产生了革命性的影响,传统的光学仪器已经被自动化、数字化的测量设备所取代。在此新技术背景下,测量数据采集对作业人员的技术要求已经显著降低,而数据处理能力成为了衡量测量人员专业技术素质的重要指标。

“测量平差程序设计”或“测量数据处理程序设计”是测绘工程专业的必修专业课程,但由于各高校对本课程的定位存在差异及教学采用的程序设计语言不同,多采用自编讲义作为授课教材。

目前流行的编程语言较多,有些语言具有矩阵函数,可以极大地降低程序设计难度。本书编者认为学习程序设计课程,目的并不完全在于掌握测量平差程序设计方法本身,更重要的是通过学习复杂数值计算程序设计方法和技巧,培养逻辑思维能力,养成细致、周密的思维习惯。为达此目的就需要进行高强度的思维训练。若程序设计处理的问题没有一定难度,是达不到上述要求的。此外,VB 语言通俗易懂,语法与自然语言基本相同,可以使读者最大限度地精力集中于掌握编程思想和技巧,因而是一门很适合教学要求的编程语言。

全书以 VB 语言编写的平差示例程序为主线,详细阐述控制网测量平差的数学模型、步骤、方法和实现技巧,并尽可能详尽地对程序代码作了逐一注释。示例程序在调试过程中,通过了几十个各类算例,可以处理各种单一或混合网型的经典平面网和高程网的平差计算问题。

本书由李玉宝、兰济昀、武峰强编著,具体分工为:兰济昀,第 1 章第 1~10 小节;武峰强,第 1 章第 11 小节;李玉宝,第 2~5 章,并完成全书校对及最后定稿工作。

编著者长期从事测量平差程序设计教学工作,本书是编著者多年教学经验的集成,但是受专业水平局限,疏漏不足之处仍难以避免。此外,控制网网型结构复杂多样,各种可能性很难被全部预测,因而示例程序还可能存在缺陷,编著者在此恳请读者不吝赐教,以便后续改进。

编著者

2015 年 1 月 4 日

目 录

第 1 章 VB 6.0 数值计算程序设计基础	1
1.1 VB 应用程序的基本结构	1
1.2 VB 应用程序的对象	8
1.3 VB 应用程序的数据存储	19
1.4 运算符与表达式	25
1.5 VB 应用程序的过程	28
1.6 VB 应用程序的数据输入与输出	33
1.7 菜单与工具栏设计	37
1.8 VB 图形程序设计	42
1.9 工程的创建与管理	44
1.10 数值计算程序的调试	48
第 2 章 测量平差程序设计的数学模型	53
2.1 测量平差的任务	53
2.2 衡量精度的数字指标	53
2.3 协方差（协因数）传播律	56
2.4 测量平差的数学模型	60
2.5 参数估计与最小二乘准则	63
2.6 间接平差法	64
第 3 章 控制网测量平差程序设计	81
3.1 平差程序的基本要求	81
3.2 平差程序设计的基本步骤	81
3.3 平差数据结构	83
3.4 数据储存设计	86
3.5 数据读入	88
3.6 近似坐标计算	93
3.7 组法方程	113
3.8 解算法方程	119
3.9 精度评定	123
3.10 成果输出	129

第4章 自定义函数及通过程	132
4.1 角度转弧度函数 Radian ()	132
4.2 弧度转角度函数 Angle ()	132
4.3 反算坐标方位角函数 Azimuth ()	133
4.4 由点名查点号函数 Seqn ()	134
4.5 提取观测边函数 Sid ()	134
4.6 查询是否已知点及该点前已知点数函数 Charact ()	135
4.7 坐标反算边长函数 SCalcul ()	135
4.8 平面坐标转换通过程 Transformation ()	136
4.9 反余弦函数 Arccos ()	137
4.10 前方交会坐标计算通过程 Intersection ()	138
4.11 后方交会坐标计算通过程 Resection ()	139
4.12 三角形坐标计算通过程 Cotangent ()	140
4.13 三边形坐标计算通过程 Sdcoord ()	142
4.14 观测一角一边特殊三角形坐标解算通过程	143
4.15 组法方程通过程 Equation ()	144
4.16 高斯约化解法方程通过程 Slequation ()	145
4.17 法方程系数阵求逆通过程 Inversion ()	147
4.18 点位中误差、误差椭圆参数计算通过程 Ellipse ()	150
4.19 计算边长、方位角平差值权倒数通过程 Quandaoshu ()	151
4.20 计算输出边长方位角平差值及其精度指标通过程 SideAzimuthadj ()	153
4.21 高差平差值权倒数计算函数 Heitweight ()	154
4.22 平面网成果输出通过程 Output ()	155
4.23 误差椭圆绘制通过程 Drawellipse ()	157
4.24 测量坐标转屏幕坐标通过程 Screen ()	158
第5章 示例程序及其算例	159
5.1 控制网平差示例程序	159
5.2 高程网平差算例	199
5.3 导线网平差算例	202
5.4 三角网平差算例	209
5.5 三边网平差算例	213
5.6 混合结构控制网平差算例	215
参考文献	226

第 1 章 VB 6.0 数值计算程序设计基础

1.1 VB 应用程序的基本结构

利用 VB 开发应用程序时，通过工程来管理构成应用程序的所有不同文件。一个工程主要包括：

- (1) 跟踪所有部件的工程文件 (.vbp)；
- (2) 窗体文件 (.frm)；
- (3) 标准模块文件 (.bas)；
- (4) 类模块文件 (.cls)；
- (5) 资源文件 (.res)。

1.1.1 模块及按模块划分的层次结构

Visual Basic 中的程序代码存储在模块中，模块是相对独立的程序单元。VB 系统提供的模块包括窗体模块、标准模块、类模块。三种模块都可以包含声明和过程，它们形成了如图 1.1 所示工程的模块层次结构。

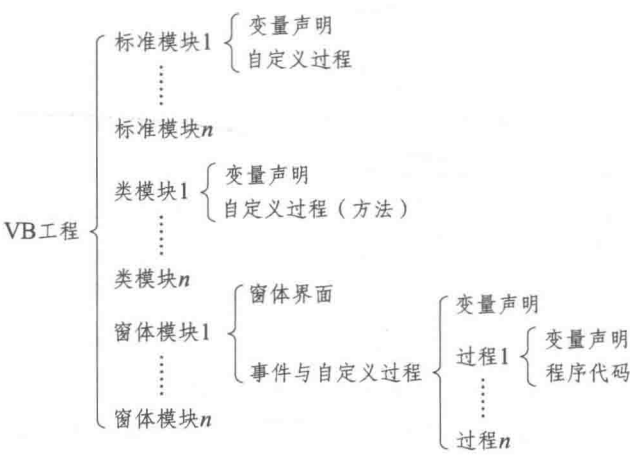


图 1.1 VB 应用程序的组织结构

1. 窗体模块

窗体模块包含窗体及其控件的属性设置、事件过程（代码部分）、窗体内自定义过程的窗体级声明等。每个窗体对应一个窗体模块，其文件扩展名为.frm。

一个 VB 应用程序至少应包含一个窗体模块。每个窗体模块包含菜单、命令按钮等控件。每个控件都有一个对应的事件过程，事件过程中有响应该事件执行的程序段。除了事件过程，窗体模块还可包含通用过程、函数过程，这些过程对来自该窗体中任何事件过程、通用过程或函数过程的调用指令作出响应。

2. 标准模块

简单的应用程序可以只有一个窗体，所用的程序都驻留在窗体模块中，而当应用程序比较复杂时，往往会采用多个窗体。复杂多窗口应用程序可能存在几个窗体模块共同执行的代码，为了在各窗体中不产生重复代码，VB 系统提供一种独立的模块，用于保存公用程序代码，该独立模块就称为标准模块。

标准模块是 VB 程序中的一个独立模块，包含模块级或全局变量声明、函数过程和通用过程，标准模块的文件扩展名为.bas。一个应用程序可以没有标准模块，也可以包含多个标准模块。

为了提高开发效率，通常将那些与特定窗体或控件无关的代码放入标准模块，写入标准模块的代码不与特定应用程序绑定。标准模块中除包含允许其它模块访问的过程，还包括变量、常量、数据类型、自定义过程的全局或模块级声明。

（1）使用标准模块。

在缺省状态下，变量对于过程是局部的，即仅能在创建这些变量的过程中读取或者修改。与之相似，过程对于创建它们的窗体来说也是局部的。为了在工程中的所有窗体中共享变量和过程，需要在该工程的一个或多个标准模块中对它们进行声明和定义。

正如窗体一样，标准模块被单独列在 Project（工程）窗口内，并可通过使用 File（文件）菜单中的“Save Module As”菜单项存盘。与窗体模块不同的是，标准模块不包含对象及其属性设置，而只包含可在代码窗口中显示和编辑的代码。

（2）创建标准模块。

在工程中创建一个空的标准模块的步骤如下：

① 启动 VB 打开一个新的标准工程，单击工程菜单中的“添加模块”菜单项，选择“新建”并单击“打开”按钮。执行上述操作后，VB 即在工程中增加一个默认名为“Module1”的标准模块，并且模块代码窗口被自动打开，可在窗口中编辑修改程序代码。

② 在“文件”菜单中，单击“保存 Module1”。

3. 类模块

类模块是面向对象编程的基础，VB 系统允许通过在类模块中编写代码建立新对象，这些新对象可以包含自定义的属性和方法。每个类模块只能定义一个对象。类模块定义的对象不可视，应用需要通过声明对象型变量的方法。

类模块与标准模块的区别在于：标准模块仅包含代码，而类模块既含代码又含数据，类模块可视为没有物理表示的对象。

VB 中对象是用类定义的，工具箱上每个控件都是一个类，但在窗体上引用一个控件之前，以该控件命名的对象是不存在的。具体的、可以引用的对象实际上是类的一个拷贝或实例。

类与过程有共同之处，但有本质的区别：过程是将逻辑上有关的语句与数据集合在一起，主要用于执行；而类则是逻辑上有关的过程及其数据的集合，主要不是用于执行而是提供所需的资源。

1.1.2 VB 应用程序运行流程

VB 应用程序呈层次结构，典型应用程序包括若干个模块：应用程序中每个窗体的窗体模块、共享代码的标准模块和自定义对象的类模块。每个模块包含若干含有代码的过程，过程分为三类：事件过程、通用过程、函数过程。过程是划分 VB 代码的最小单元，每个过程是一个可执行的代码片段。

VB 程序的运行通过事件来驱动，程序运行的流程完全取决于事件发生与否及发生的顺序。VB 定义了众多的事件，用户程序设计者通常只需对所选择的事件设计一段响应程序（事件过程），由用户操作对象驱动相应的事件发生来完成设定的功能，或由事件过程中的指令调用通用、函数过程来执行指定的操作。事件指窗口或控件能识别的活动，通常发生在用户与应用程序交互时，但也有一些事件由系统自行产生，如计时器事件。

事件驱动是图形操作界面程序设计的本质，即用户控制事件产生，而代码做出反应。事件在 Visual Basic 中是指由 IDE 或者系统指定的，能够被窗体或控件所响应和识别的动作。例如，Form_Load 就是一个事件，是指窗口在内存中加载完毕后，所触发的一个动作。事件可分为“用户事件”和“系统事件”。例如，鼠标点击事件MouseDown 就是一个用户事件；时钟控件 Timer 是一个典型的系统事件。一般来说，应用程序中最早触发、必然发生的事件是 Form_Load 事件。

事件的命名是 VB 系统设定的，命名格式为：

Private Sub 控件名_事件名 ()

例如：Private Sub Command1_Click () 是指在控件（按钮）Command1 上发生点击事件。

1. 典型事件

（1）窗体和图像框类事件。

Paint 事件：当某一对象在屏幕中被移动，改变尺寸或清除后，程序会自动调用 Paint 事件。注意：当对象的 AutoDraw 属性为 True（-1）时，程序不会调用 Paint 事件。

Resize 事件：当对象的大小改变时触发 Resize 事件。

Load 事件：仅适用于窗体对象，当窗体被装载时运行。

Unload 事件：仅适用于窗体对象，当窗体被卸载时运行。

(2) 当前光标 (Focus) 事件。

GotFocus 事件：当光标聚焦于该对象时发生事件。

LostFocus 事件：当光标离开该对象时发生事件。

注意：Focus 英文为“焦点”、“聚焦”之意。最直观的例子是：设有两个窗体，一个窗体被另一窗体部分遮盖。当点击下面的窗体时，其即被激活并全部显示出来，这就是 GotFocus 事件；而另外一个窗体则被遮盖，并且标题条变灰，称为 LostFocus 事件。

(3) 鼠标操作事件。

Click 事件：鼠标单击事件。

DblClick 事件：鼠标双击事件。

MouseDown、MouseUp 事件：鼠标键按下/放开事件。

MouseMove 事件：鼠标移动事件。

DragDrop 事件：拖放事件，相当于 MouseDown、MouseMove 和 MouseUp 的组合。

DragOver 事件：鼠标在拖放过程中就会产生 DragOver 事件。

(4) 键盘操作事件。

KeyDown、KeyUp 事件：键盘按键的按下/放开事件。

KeyPress 事件：键盘按键事件。

(5) 改变控制项事件。

Change 事件：当对象的内容发生改变时，触发 Change 事件，最典型的例子是文本框 (TextBox) 的 text 属性值被改变时，就会触发 Change 事件。

DropDown 事件：下弹事件，仅用于组合框 (ComboBox) 对象。

PathChange 事件：路径改变事件，仅用于文件列表框 (FileBox) 对象。

2. 其他事件

Timer 事件：仅用于计时器，每隔一段时间被触发一次。

一个对象的 Enable 属性为 False 时，用户不能通过鼠标或键盘操作，仍可通过程序控制。

1.1.3 过程中代码执行流程控制

封装在事件、通用或函数过程中的程序代码，执行顺序是三种基本程序结构的组合：

顺序结构：程序按语句顺序由上而下逐句执行。

选择结构：程序按设定的条件实现程序语句的选择执行。

循环结构：程序按给定的条件重复地执行设定的程序段或过程。

1. 顺序结构

从上往下按顺序执行的语句结构。

2. 选择结构

根据设定的条件分析，比较和判断，选择性地执行不同的程序代码。

(1) If 语句结构。

If 语句分单分支结构、双分支结构和多分支结构三种情况。If 语句的“条件”是一个逻辑表达式，VB 系统根据条件判断返回 True 或 False，选择执行不同的程序语句块。

① 单分支结构（图 1.2）。

其语法结构为：

```
If 条件 Then  
    语句或语句块  
End If
```

② 双分支结构（图 1.3）。

其语法结构为：

```
If 条件 Then  
    语句或语句块 1  
Else  
    语句或语句块 2  
End If
```

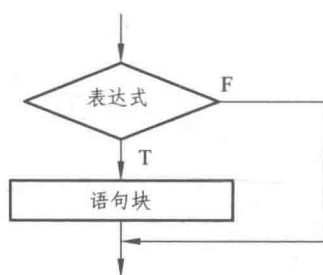


图 1.2 单分支结构

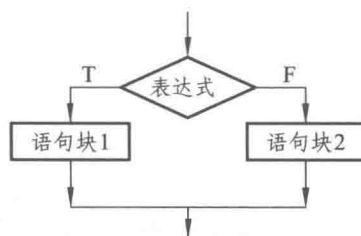


图 1.3 双分支结构

③ 多分支结构（图 1.4）。

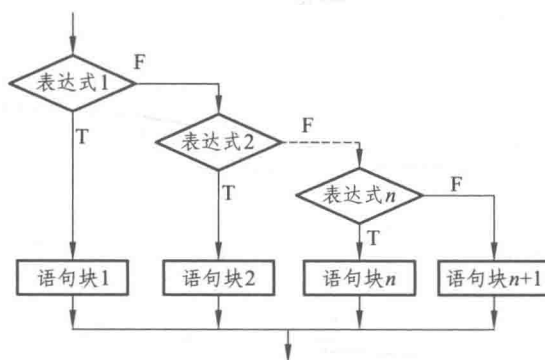


图 1.4 多分支结构

其语法结构为：

```

If 条件 1 Then
    语句或语句块 1
Else If 条件 2 Then
    语句或语句块 2
...
Else
    语句或语句块 n
End If

```

(2) Select Case 语句。

Select Case 语句首先判断一个表达式的值，然后根据表达式的值选择执行不同的程序语句块。

其语法结构如下：

```

Select Case 表达式
    Case 表达式 1
        语句或语句块 1
    Case 表达式 2
        语句或语句块 2
    ...
    Case Else
        语句或语句块 n
End Select

```

Select Case 的执行过程是：在 Select Case 关键字后的测试条件中计算测试表达式，然后 VB 将表达式的值与结构中每一个 Case 关键字后的值进行比较，若相等就执行与该 Case 相关联的语句块。

在 Select Case 结构中，Case 关键字后表达式可以是几个值的列表，各值之间用逗号分隔。如果有多个 Case 关键字后表达式值与测试表达式值匹配，则只执行第一个匹配的 Case 关键字后语句块。

Select Case 与 If...Then...Else 结构的区别在于，Select Case 结构只在开始处计算测试条件的值，而 If...Then...Else 结构为每个 Else If 语句计算不同的表达式。因此在处理多重选择问题时，If...Then...Else 结构能适应更复杂的选择性，而 Select Case 结构更具可读性并且执行效率更高。

3. 循环结构

循环结构是数值计算程序中最重要结构之一，在复杂数值计算程序中起着不可替代的作用。循环结构是在给定条件成立时，反复执行某程序段，直到条件不成立为止。给定的条件称为循环条件，反复执行的程序段称为循环体。在 VB 中提供了多种循环语句供用户使用，下面介绍两种常用的形式：For 语句和 Do 语句。

(1) For 语句 (计次循环语句)。

For 循环 (For...Next) 语句的基本格式为:

```
For 循环变量 = 初值 To 终值 Step 增量
    循环体
Next 变量
```

其中循环变量为数值型变量,初值、终值、增量均为数值型变量。“Step”部分可以省略,缺省时默认为 1。在循环体中使用 Exit For 语句可直接中止循环,跳出循环并执行 Next 后面的语句。正常循环结束后跳出循环时,循环变量值为循环变量终值 + 增量值,使用 Exit For 语句终止循环时,循环变量保持退出时的值。

For 循环的执行过程如下:

- ① 将循环变量赋初值。
- ② 比较循环变量是否小于或等于终值 (如 Step 后增量值为负值,则比较是否大于或等于终值),小于或等于 (大于或等于) 时循环条件成立,运行循环体中的语句,若条件不成立,结束循环执行 Next 后的语句。
- ③ 循环体执行完毕后至 Next 语句,循环变量增加增量值,转到②继续比较执行。

(2) Do 语句。

For...Next 循环语句用于循环次数确定的循环问题,对于循环次数未知的循环问题,Visual Basic 设置了 Do 循环语句。

① 第一种循环结构 (图 1.5)。

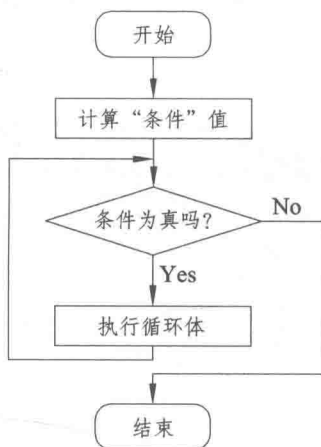


图 1.5 不计次循环结构 (前测型)

其语法结构如下:

```
Do{While | Until}<条件>
    <语句块>
[Exit Do]
    <语句块>
Loop
```

② 第二种循环结构（图 1.6）。

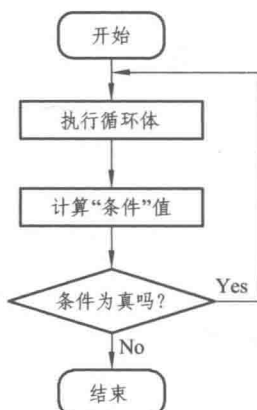


图 1.6 不计次循环结构（后测型）

其语法结构如下：

```
Do
    <语句块>
    [Exit Do]
    <语句块>
Loop{While | Until}<条件>
```

功能：当关键字 While 或关键字 Until 后条件为真（True）时，执行循环体。

说明：第一种格式为先判断后执行，有可能一次也不执行；第二种格式为先执行后判断，至少执行一次循环体；

Exit Do：类似于 Exit For 语句，执行该语句后，退出循环执行 Loop 后的语句。

说明：上述两种 Do 循环是以关键字 while 为例，条件成立进入循环；若选用关键字 until，则是条件成立时，结束循环。

1.2 VB 应用程序的对象

1.2.1 对象的概念

1. 对 象

将数据和处理数据的过程打包在一起而生成的新型数据类型称之为对象。对象中的数据称之为“属性”，过程称之为“方法”。所有的窗体和控件都是对象。访问对象的属性和方法是在对象和属性、方法之间加一个“.”号。

```
Label1.caption = "Name" 访问属性
Text1.SetFocus 访问方法
```

2. 对象的操作

(1) 访问对象属性。

访问对象的属性有两种方法，以标签控件 Label1 为例：

① 在属性栏里面直接定义。

设置标签 Label1 的 Caption 属性为 Visual Basic (图 1.7)。



图 1.7 属性栏

② 通过程序代码赋值。

在窗体加载事件 Form_Load 中写下代码：

```
Label1.Caption = "Visual Basic"
```

运行结果见图 1.8。

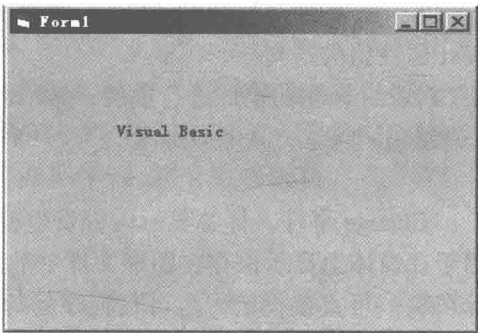


图 1.8 访问 Label1.Caption 属性运行结果

(2) 访问对象的方法。

方法是 VB 为对象预设的、用户不能更改的事件过程，不同的对象具有不同的方法。访问对象方法的语法结构为：

```
对象名.方法名([参数列])
```

例如：在窗口 Form1 上显示字符“Hello World”的语句为：

```
Form1.Print "Hello World"
```

其中，对象为 Form1，方法为 Print，参数为“Hello World”。

3. 对象型变量

对象型变量是用于保存对象的变量，所谓保存对象，实际上是保存对象的内存地址（句柄）。和使用普通变量类似，对象型变量通过声明和赋值，就可以像普通变量一样操作。例如：

```
Dim obj as Command ' 声明 obj 为 Command 对象型变量
Set obj = Command1 ' 对象型变量赋值
obj.Caption = "ok" ' 访问对象型变量的属性
```

也可以清除对象型变量：

```
Set obj = Nothing
```

简单地说，对象型变量就是被声明成具体对象类型，并可以赋值于已定义对象（控件）的特殊变量。

4. VB 常用控件

控件是可视或具有图标的对象，如 Picture、Command、TextBox 等，VB 将常用的控件置于工具箱中，方便用户引用。常用控件主要有：

① 文本框 TextBox：是窗口中进行输入、输出操作的重要控件，文本框本身支持一般的文字编辑功能，这些功能已由 VB 封装在文本框对象中了。

方法：Move。

事件：Click、Dblick、Change 事件。注意在 Change 事件（文本框中文本内容发生改变）中，不可有改变自身 Text 属性值的语句。

② 标签 Label：主要用于对没有标题的控件进行说明，显示内容（caption 属性值）不可直接编辑，但可通过程序代码修改。

方法：Move。

事件：Click、Dblick、Change 事件。标签显示内容发生改变时触发 Change 事件。

③ 图像控件 Image：用于在窗体上显示保存在图形文件中的图像。

Picture 属性：决定图像来源，可直接设定，也可在程序运行中用内部函数 LoadPicture 赋值，例如：

```
image.picture=loadpicture("C:\windows\setup.bmp")
```

设计时赋予 Picture 属性的图形文件会被复制到二进制窗体文件（.frx）中，运行时不依赖原文件。

方法：Move。

事件：Click、Dblick 事件。

④ 图片框控件 PictureBox：与图像控件 Image 功能基本相同，在平差示例程序中，被用