聆听大师级的指点，轻松步入C++ STL开发殿堂

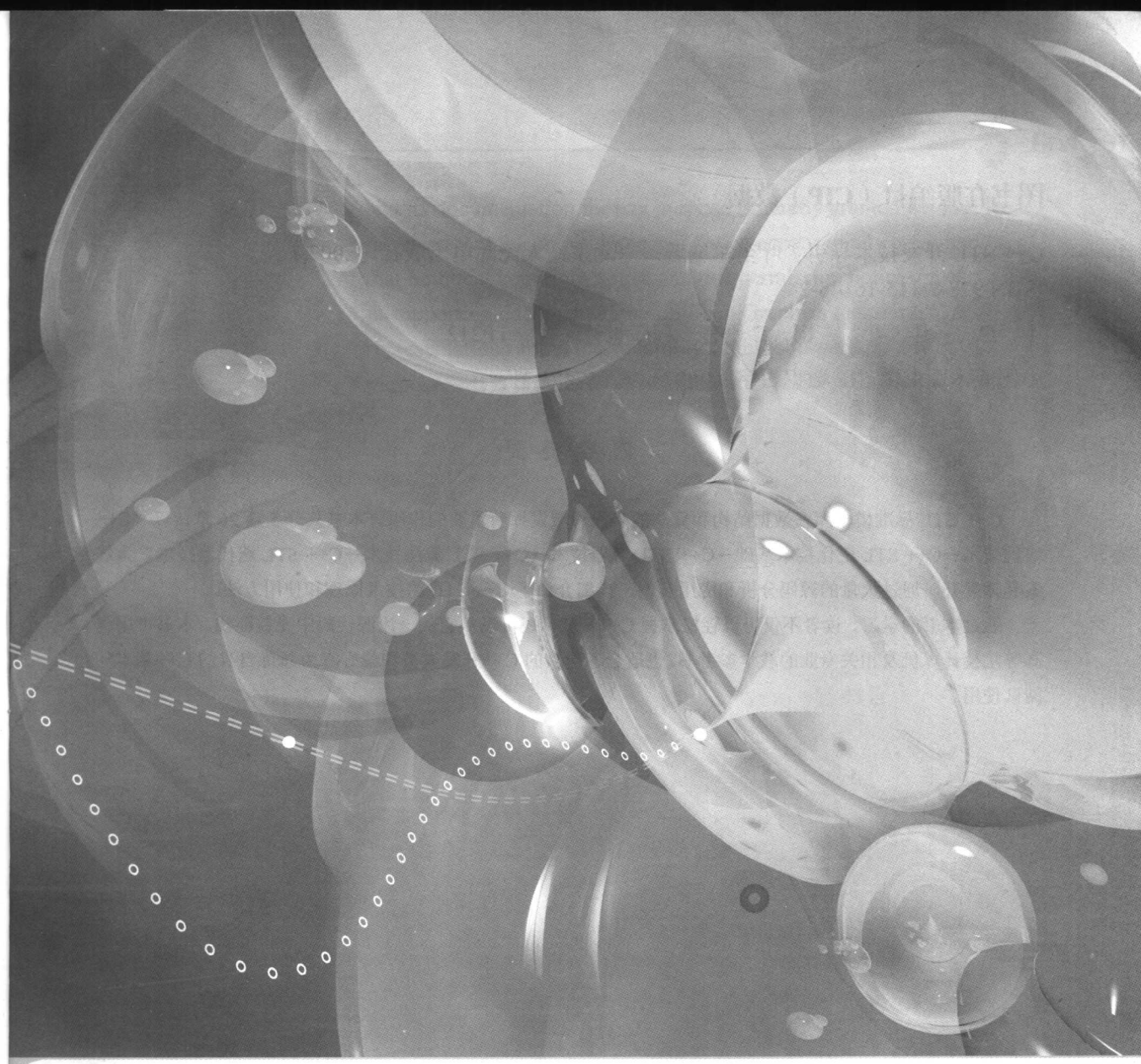
C++ STL 开发技术导引

C++ STL PROGRAMMING TUTORIALS

叶至军 编著

附源代码
CD-ROM

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



C++ STL
开发技术导引

C++ STL PROGRAMMING TUTORIALS

叶至军 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目（CIP）数据

C++ STL 开发技术导引 / 叶至军编著. —北京：人民邮电出版社，2007.7
ISBN 978-7-115-16148-2

Ⅰ. C… Ⅱ. 叶… Ⅲ. C 语言—程序设计 Ⅳ. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 057471 号

内 容 提 要

C++ STL 标准模板库在数据结构和算法的实践领域发挥着重要的作用。本书共分 5 篇 26 章，以“C++ 编程技术→C++ STL 泛化技术基础→C++ STL 容器技术→C++ STL 算法技术→C++ STL 迭代器技术”为线索具体展开，通过大量的源码分析和应用实例，详细介绍了 C++ STL 的技术原理和使用方法。

通过本书的学习，读者不仅可以轻松掌握 C++ STL，还可以从它的一流源代码中受益匪浅。本书可用作高等院校计算机及相关专业的教学参考书。也适合各层次的 C++开发人员和爱好者为锤炼自身的 C++基本功阅读使用。

C++ STL 开发技术导引

◆ 编　　著　叶至军
　责任编辑　汤　倩
◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
　邮编　100061　　电子函件　315@ptpress.com.cn
　网址　http://www.ptpress.com.cn
　北京密云春雷印刷厂印刷
　新华书店总店北京发行所经销
◆ 开本：787×1092　1/16
　印张：28.25
　字数：691 千字　　2007 年 7 月第 1 版
　印数：1－4 000 册　　2007 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 978- 7-115-16148-2/TP

定价：55.00 元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132692　印装质量热线：(010)67129223

前 言

搜索网上一些比较著名的开源软件项目，可以发现几乎都是使用C++进行开发的。从它们高品质的源码可以看出，C++ STL标准模板库使用得非常广泛。颇负盛名的3D图形渲染引擎OGRE，就很好地应用了C++ STL库提供的数据结构和算法。

为什么写本书

对于大多数人来说，他们最关心的问题是如何使用C++ STL标准模板库，而不是如何实现一个数据结构和算法的通用库，毕竟这会涉及到编译平台的一些语言细节问题。现在C++ STL已被纳入C++的编程环境中，成为C++标准库的一个重要组成部分。用户不必再像以往那样经常翻阅资料，只需寥寥数行代码的调用，即可实现常用的数据结构和算法。

本书主要内容

全书共分5篇26章，所采用的SGI STL库代码，可到sgi的网站（www.sgi.com）下载。

第一篇为“预备知识”，介绍C++编程技术，包括实现类型泛化的模板技术和实现输入输出迭代器所需要的IO流技术。

第二篇为“C++ STL泛化技术基础”，介绍C++ STL的基本设计轮廓，包括它的发展历程、编译配置、结构体系，以及容器、算法、迭代器、内存分配器、函数对象和各种STL概念的综合分析。

第三篇为“C++ STL容器技术”，具体介绍各种容器的原理和应用，包括vector向量容器、deque双端队列容器、list双向链表容器、slist单向链表容器、bit_vector位向量容器、set集合容器、multiset多重集合容器、map映照容器、multimap多重映照容器、hash_set哈希集合容器、hash_map哈希映照容器、string基本字符序列容器、stack堆栈容器、queue队列容器和priority_queue优先队列容器。

第四篇为“C++ STL算法技术”，介绍七十多种高效算法，包括非变易算法、变易算法、排序算法和数值算法。

第五篇为“C++ STL 迭代器技术”，介绍输入输出流的迭代器和在已有迭代器之上构造出来的迭代器，包括输入流迭代器、输出流迭代器、向前插入迭代器、向后插入迭代器、插入迭代器、反向迭代器、反向双向迭代器和原始存储迭代器。

为便于阅读，书中删去了源代码的命名标志符中的下划线“__”。附录中则给出了 SGI STL 的版权信息。

本书主要由叶至军编写，参与编写的人员还有欧阳国、孙德俊、郭景春、苏骞、叶至力、李德扬和叶青峰等。另外，感谢焦焦、叶敦介、符译尹、吴嘉颖、郭浩宇和符传学等人对本书的顺利完稿给予的大力支持和帮助。在编写过程中，我们力求精益求精，但书中难免存在疏漏和不足之处，敬请批评指正。如果读者使用本书时遇到困难或问题，请发 E-mail 到 tangqian@ptpress.cn 与我们联系。

编　者

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

光盘使用说明

为了方便读者学习，本书附带一张光盘，提供全书所有例程的工程文件。下面对光盘内容和使用方法进行简要的介绍。

一、光盘的运行环境

硬件环境：一般的 PC 机，对 CPU 和内存不需特别要求。

软件环境：操作系统为 Windows2000/XP，集成开发平台为 Visual C++ 6.0 或以上。前 9 章例程直接采用 VC++内置的 P.J.Plauger STL 进行编译，余下各章使用 STLport 进行编译，具体的下载和配置说明请参见第 9 章的内容。

二、光盘目录

如图 1 所示，C++ STL Source 是光盘的根目录，内有 01～26 的子目录。其下是各章的例程目录，如图 2 所示，为第 7 章的各个例程目录。

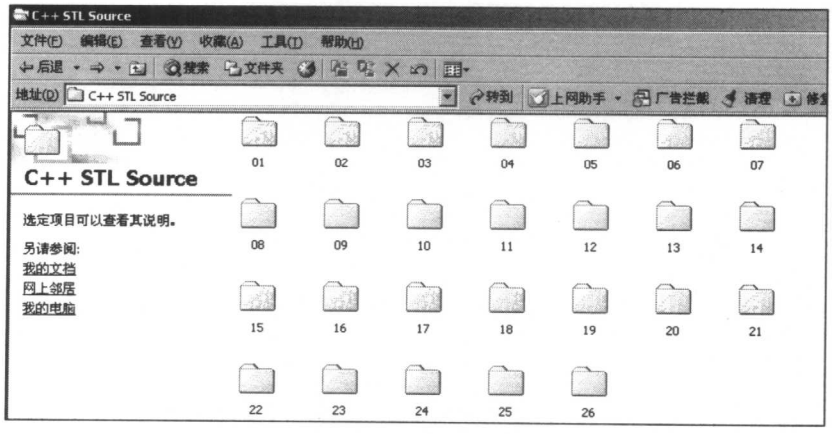


图 1　光盘的根目录

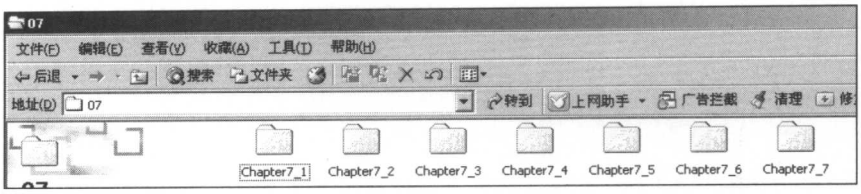


图 2　例程的工程目录

三、光盘的使用方法

将光盘的内容拷贝到硬盘，去除文件的只读属性。打开各例程的 Visual C++工程文件，就可进行程序的运行调式。

目 录

第一篇 预 备 知 识

第 1 章 C++编程技术 2

1.1 类和对象 2
1.2 类的继承 5
1.3 函数重载 5
1.4 访问控制 7
1.5 操作符重载 8
1.6 显式类型转换 9
1.7 异常处理 13
1.8 名字空间 17
1.9 友员函数 20
1.10 内联函数 21
1.11 静态成员 22
1.12 本章小结 23

第 2 章 C++模板技术 25

2.1 函数模板 25
2.2 类模板 27
2.3 模板完全特化 28
2.4 函数模板重载 30
2.5 类模板继承 30
2.6 本章小结 31

第 3 章 C++ I/O 流技术 32

3.1 I/O 流类 32
3.2 标准输入输出 34

3.3 文件输入输出 …… 36
3.4 流的格式控制 …… 41
3.5 本章小结 …… 45

第二篇 C++ STL 泛化技术基础

第 4 章 C++ STL 泛型库概述 …… 48
4.1 C++ STL 的发展历程 …… 48
4.2 C++ STL 的各种实现版本 …… 49
4.2.1 HP STL …… 49
4.2.2 SGI STL …… 50
4.2.3 STLport …… 50
4.2.4 P.J.Plauger STL …… 50
4.2.5 Rouge Wave STL …… 50
4.3 C++ STL 的 Visual C++编译 …… 50
4.4 C++ STL 的体系结构 …… 52
4.4.1 容器（Container） …… 52
4.4.2 迭代器（Iterator） …… 53
4.4.3 算法（Algorithm） …… 53
4.4.4 函数对象（Function Object） …… 54
4.4.5 适配器（Adapter） …… 55
4.4.6 内存分配器（Allocator） …… 56
4.4.7 概念（Concept）和模型（Model） …… 56
4.5 C++ STL 存在的一些问题 …… 57
4.6 本章小结 …… 57
第 5 章 C++ STL 泛化技术分析 …… 58
5.1 算法和迭代器 …… 58
5.1.1 算法 …… 58
5.1.2 迭代器 …… 61
5.1.3 函数对象 …… 65
5.1.4 适配器 …… 68
5.2 内存分配器和容器 …… 74
5.2.1 内存分配器 …… 75
5.2.2 容器 …… 77
5.3 概念 …… 82
5.3.1 基础性概念 …… 82
5.3.2 容器概念 …… 84
5.3.3 迭代器概念 …… 86
5.3.4 函数对象概念 …… 88
5.4 本章小结 …… 89

第三篇 C++ STL 容器技术

第 6 章 vector 向量容器 …… 92

6.1 vector 技术原理 92
6.2 vector 应用基础 94
6.3 本章小结 101

第 7 章 deque 双端队列容器 102

7.1 deque 技术原理 102
7.2 deque 应用基础 108
7.3 本章小结 115

第 8 章 list 双向链表容器 116

8.1 list 技术原理 116
8.2 list 应用基础 124
8.3 本章小结 131

第 9 章 slist 单向链表容器 132

9.1 slist 技术原理 132
9.2 slist 应用基础 140
9.3 本章小结 148

第 10 章 bit_vector 位向量容器 149

10.1 bit_vector 技术原理 149
10.2 bit_vector 应用基础 156
10.3 本章小结 161

第 11 章 set 集合容器 162

11.1 set 技术原理 162
11.2 set 应用基础 181
11.3 本章小结 186

第 12 章 multiset 多重集合容器 187

12.1 multiset 技术原理 187
12.2 multiset 应用基础 190
12.3 本章小结 196

第 13 章 map 映照容器 197

13.1 map 技术原理 197
13.2 map 应用基础 200
13.3 本章小结 206

第 14 章 multimap 多重映照容器 207

14.1 multimap 技术原理 207
14.2 multimap 应用基础 210
14.3 本章小结 216

第 15 章 hash_set 哈希集合容器 ····· 217
15.1 hash_set 技术原理 ····· 217
15.2 hash_set 应用基础 ····· 230
15.3 本章小结 ····· 234
第 16 章 hash_map 哈希映照容器 ····· 235
16.1 hash_map 技术原理 ····· 235
16.2 hash_map 应用基础 ····· 237
16.3 本章小结 ····· 242
第 17 章 string 基本字符序列容器 ····· 243
17.1 string 技术原理 ····· 243
17.2 string 应用基础 ····· 258
17.3 本章小结 ····· 264
第 18 章 stack 堆栈容器 ····· 265
18.1 stack 技术原理 ····· 265
18.2 stack 应用基础 ····· 266
18.3 本章小结 ····· 269
第 19 章 queue 队列容器 ····· 270
19.1 queue 技术原理 ····· 270
19.2 queue 应用基础 ····· 271
19.3 本章小结 ····· 274
第 20 章 priority_queue 优先队列容器 ····· 275
20.1 priority_queue 技术原理 ····· 275
20.2 priority_queue 应用基础 ····· 278
20.3 本章小结 ····· 281

第四篇 C++ STL 算法技术

第 21 章 非变易算法 ····· 284
21.1 逐个容器元素 for_each ····· 284
21.2 查找容器元素 find ····· 285
21.3 条件查找容器元素 find_if ····· 286
21.4 邻近查找容器元素 adjacent_find ····· 287
21.5 范围查找容器元素 find_first_of ····· 289
21.6 统计等于某值的容器元素个数 count ····· 290
21.7 条件统计容器元素个数 count_if ····· 291
21.8 元素不匹配查找 mismatch ····· 293
21.9 元素相等判断 equal ····· 295
21.10 子序列搜索 search ····· 296
21.11 重复元素子序列搜索 search_n ····· 299
21.12 最后一个子序列搜索 find_end ····· 301

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

21.13 本章小结 303
第 22 章 变易算法 304
22.1 元素复制 copy 304
22.2 反向复制 copy_backward 305
22.3 元素交换 swap 306
22.4 迭代器交换 iter_swap 307
22.5 区间元素交换 swap_ranges 308
22.6 元素变换 transform 309
22.7 替换 310
22.8 条件替换 replace_if 311
22.9 替换和复制 replace_copy 312
22.10 条件替换和复制 replace_copy_if 313
22.11 填充 fill 314
22.12 *n* 次填充 fill_n 315
22.13 随机生成元素 generate 316
22.14 随机生成 *n* 个元素 generate_n 317
22.15 移除复制 remove_copy 318
22.16 条件移除复制 remove_copy_if 319
22.17 移除 remove 320
22.18 条件移除 remove_if 321
22.19 不连续重复元素复制 unique_copy 322
22.20 剔除连续重复元素 unique 324
22.21 元素反向 reverse 325
22.22 反向复制 reverse_copy 326
22.23 旋转 rotate 327
22.24 旋转复制 rotate_copy 329
22.25 随机抖动 random_shuffle 330
22.26 随机采样 random_sample 331
22.27 容器分割 partition 333
22.28 容器稳定分割 stable_partition 335
22.29 本章小结 338
第 23 章 排序算法 339
23.1 元素入堆 push_heap 339
23.2 创建堆 make_heap 343
23.3 元素出堆 pop_heap 348
23.4 堆排序 sort_heap 351
23.5 是否为堆 is_heap 352
23.6 局部排序 partial_sort 354
23.7 局部排序复制 partial_sort_copy 356
23.8 排序 sort 359
23.9 归并 merge 366
23.10 内部归并 inplace_merge 368
23.11 稳定排序 stable_sort 376

23.12 是否排序 is_sorted ····· 383
23.13 第 *n* 个元素 nth_element ····· 384
23.14 下确界 lower_bound ····· 386
23.15 上确界 upper_bound ····· 388
23.16 等价区间 equal_range ····· 390
23.17 折半搜索 binary_search ····· 392
23.18 子集合 includes ····· 393
23.19 集合求并 set_union ····· 394
23.20 集合求交 set_ intersection ····· 396
23.21 集合求差 set_difference ····· 398
23.22 集合求异 set_symmetric_difference ····· 399
23.23 最小值 min ····· 401
23.24 最大值 max ····· 402
23.25 最小元素 min_element ····· 403
23.26 最大元素 max_element ····· 404
23.27 字典比较 lexicographical_compare ····· 405
23.28 下一排列组合 next_permutation ····· 406
23.29 上一排列组合 prev_permutation ····· 409
23.30 本章小结 ····· 411

第 24 章 数值算法 ····· 412

24.1 递增赋值 iota ····· 412
24.2 元素求和 accumulate ····· 413
24.3 两序列元素内积 inner_product ····· 414
24.4 部分元素求和 partial_sum ····· 415
24.5 相邻元素求差 adjacent_difference ····· 417
24.6 *n* 次方计算 power ····· 419
24.7 本章小结 ····· 421

第五篇 C++ STL 迭代器技术

第 25 章 输入输出流迭代器 ····· 424

25.1 输入流迭代器 ····· 424
25.2 输出流迭代器 ····· 426
25.3 本章小结 ····· 427

第 26 章 插入/反向/存储迭代器 ····· 428

26.1 向前插入迭代器 ····· 428
26.2 向后插入迭代器 ····· 429
26.3 插入迭代器 ····· 431
26.4 反向迭代器 ····· 432
26.5 反向双向迭代器 ····· 434
26.6 原始存储迭代器 ····· 435
26.7 本章小结 ····· 437

附录 STL 版权说明 ····· 438

第一篇

预备知识

本篇导引

在深入进行 C++ STL 源码的原理分析之前，先回顾一下 C++的一些基本概念和编程技术。C++模板技术用于实现泛化的模板类和模板函数，C++ I/O 流技术用于实现 I/O 流上的迭代器。操作符重载、显式类型转换、友员函数和静态成员等也是 C++ STL 的常用编程手段。

考虑到 C++ STL 的程序也常使用 C++ I/O 流技术进行文件输入输出，以及用名字空间进行编码，本篇对这方面的应用也将进行说明。

第 1 章

C++编程技术

C++语言由 Bjarne Stroustrup 开发，兼容于 C 语言，以面向对象方式，提供更直观的程序设计方法、更强大的语言开发能力、更严谨的安全管理和更有效的程序代码组织机制。

本章主要介绍 C++ STL 源码中常用的一些 C++编程技术，包括类、继承、操作符重载、访问控制、显式类型转换操作、异常处理、名字空间、友员函数、内联函数和静态成员等内容。

1.1 类 和 对 象

C++是 C 的一个超集，最大特点是提供面向对象的 C++标准库，支持面向对象编程。面向对象的程序设计（Object-Oriented Programming），采用一种更自然、更直观、更艺术化的方式看待和编写程序。程序的设计过程如同在现实世界中有秩序地应用各种物质材料，去实施一项既定任务，例如打开空调机的电源，用遥控器设定温度高低，空调机就会把房间温度降低到预定值。

举例来说，我们可以深入到执行码的生成去理解它的意义。在这样的编程观之下，程序设计就是编程者与编译器对话的过程，让编译器生成二进制的指令和数据——分配 3 个 int 型存储空间 a、b 和 c，把整数 3、8 和 10 分别存入，作为函数 f、g 和 h 的参数进行调用。

```
int a=3;
int b=8;
int c=10;
f(a, b);
g();
h(c);
```

以上观点可算是把程序设计看作是一门科学对待，其实也可以从艺术的角度去理解它——做出 3 个 int 类型的物质材料 a、b 和 c，然后再把整数 3、8 和 10 放到这 3 种材料里面，再

让精灵 f 做个动作（需补给材料 a 和 b），让精灵 g 做个动作，最后让精灵 h 做个动作（需补给材料 c）。这样整个的程序编写，都是程序员自己在布置和运用各种材料（包括可动作的精灵），然后按照一定的语法把做事过程写出来，比起对话编程模式，少了许多拐弯抹角之处，思考问题更直接、更符合现实的思维方式。

从感觉上来说，上面的存储材料和函数精灵还是有一定的区别。在面向对象语言中，两者在形式上可统一起来对待，因为在一个类型中，不仅可定义充当材料的变量，也可定义充当精灵的函数，从而神秘的函数精灵被划入到具体的材料中，成为该材料的一个能动性质。

假设在类型 someType 中定义了变量 a、b、c 和函数 f、g、h，someObject 是 someType 类型的一个材料，someObject.f(a, b)语句就是用材料 someObject 的 f 能动特性做一下事情（需供给材料 a 和 b），例如让汽车的喇叭响一下，又或者让汽车的方向盘左转一下，以免碰着右边路上的行人。

```
double d;    //做出材料 d
d=13.6;      //把 13.6 放入材料 d
char e;      //做出材料 e
e='y';       //把'y'放入材料 e
int i;       //做出材料 i
i=60;        //把 60 放入材料 i
someType someObject();   //做出材料 someObject
someObject.a=3;          //把 3 放入构成材料 a 中
someObject.b=8;          //把 8 放入构成材料 b 中
someObject.c=10;         //把 10 放入构成材料 c 中
someObject.f(a, b);      //用材料 someObject 的 f 做一下
someObject.g();          //用材料 someObject 的 g 做一下
someObject.h(c);         //用材料 someObject 的 h 做一下
```

从上面代码的注释可以看到，面向对象的编程过程，犹如在现实物质世界中运用各种可见、可触摸的材料，完成一件工作任务。把这个处理过程书写出来，就可获得程序代码，当然必须遵循一定规则才行，正如其他文字作品一样，需要按照相应的语法写出来。

编程中可使用的材料，也就是面向对象语言所谓的对象，是通过一个类型或者一个类，用类似传统的“类型 变量”形式构建出来。面向对象语言不仅提供了大量内建类型和类，还可用已有的类型或类，去定义更多的类型和类。

下面是 C++定义一个类的基本语法，其中关键字 class 说明是一个类的定义，ClassName 是类名，public、private 和 protected 是访问控制符。

```
class ClassName{
 public:
     公有数据和函数;
 protected:
     保护数据和函数;
 private:
     私有数据和函数;
};
```

在类的定义中，一般都要求提供一个 public 的构造函数和析构函数。构造函数要求与类同名，可带参数，但不能有函数返回值，一个类中可定义多个重载的构造函数。析构函数的名字由波浪符号“～”开头，名字的其余部分与类名相同，不能带任何参数，也不能有返回值，一个类只能定义一个析构函数。缺省情形下，由编译器提供一个空的构造函数和析构函数。

创建对象有如下的一般形式，构造函数利用各个参数值来初始化类中定义的变量。用

delete 语句删除对象时，会调用析构函数进行资源释放处理。

```
ClassName object(参数值 1,参数值 2,..., 参数值 n);  //创建对象
```

一般将类的定义放在.h 文件中，而具体的函数实现代码则放在.cpp 文件（c plus plus），如下面 CCompute 类所示，头文件 Comput.h 存放类的定义，实现文件 Compute.cpp 用来编写函数代码，各函数需用类名前缀“CCompute::”引出，表明是该类的成员函数。

```
//Compute.h 文件
class CCompute{
protected:
  int i;
  int j;
public:
  CCompute(int a, int b){
    i=a;
    j=b;
  }
  ~CCompute(){}
  int sum();
  int minus();
};

//Compute.cpp 文件
#include "Compute.h"
int CCompute::sum(){
  return i+j;
}

int CCompute::minus(){
  return i-j;
}
```

下面在 main.cpp 文件中，编写一个程序调用 CCompute 类，计算两数之和与两数之差，其中创建对象的“CCompute compute Obj(3, 8);”语句会调用构造函数，将对象内部的 i 和 j 初始化为 3 和 8。

```
//main.cpp 文件
#include "Compute.h"
#include <stdio.h>
int main(void){  //C++可省去 void 不写
  CCompute computeObj(3, 8);
  printf("3 和 8 之和等于%d\n", computeObj.sum());
  printf("3 和 8 之差等于%d\n", computeObj.minus());
  return 0;
}
```

也可以使用 new 操作符创建对象，返回对象的地址，然后用指针去调用对象的函数，如下面代码所示。

```
CCompute *pComputeObj=new CCompute(3, 8);
printf("3 和 8 之和等于%d\n", pComputeObj->sum());
printf("3 和 8 之差等于%d\n", pComputeObj->minus());
delete pComputeObj; //delete 与 new 配对，删除对象（调用析构函数释放资源）
```

由此可见，类与传统 C 模块的编写基本类似，可把类看作是对 C 模块的一个封装，把一

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com