

第 7 章

类

内容

7.1 定义抽象数据类型	228
7.2 访问控制与封装	240
7.3 类的其他特性	243
7.4 类的作用域	253
7.5 构造函数再探	257
7.6 类的静态成员	268
小结	273
术语表	273

在 C++语言中，我们使用类定义自己的数据类型。通过定义新的类型来反映待解决问题中的各种概念，可以使我们更容易编写、调试和修改程序。

本章是第 2 章关于类的话题的延续，主要关注数据抽象的重要性。数据抽象能帮助我们将对象的具体实现与对象所能执行的操作分离开来。第 13 章将讨论如何控制对象拷贝、移动、赋值和销毁等行为，在第 14 章中我们将学习如何自定义运算符。

254> 类的基本思想是数据抽象 (data abstraction) 和封装 (encapsulation)。数据抽象是一种依赖于接口 (interface) 和实现 (implementation) 分离的编程 (以及设计) 技术。类的接口包括用户所能执行的操作；类的实现则包括类的数据成员、负责接口实现的函数体以及定义类所需的各种私有函数。

封装实现了类的接口和实现的分离。封装后的类隐藏了它的实现细节，也就是说，类的用户只能使用接口而无法访问实现部分。

类要想实现数据抽象和封装，需要首先定义一个抽象数据类型 (abstract data type)。在抽象数据类型中，由类的设计者负责考虑类的实现过程；使用该类的程序员则只需要抽象地思考类型做了什么，而无须了解类型的工作细节。

7.1 定义抽象数据类型

在第 1 章中使用的 Sales_item 类是一个抽象数据类型，我们通过它的接口（例如 1.5.1 节（第 17 页）描述的操作）来使用一个 Sales_item 对象。我们不能访问 Sales_item 对象的数据成员，事实上，我们甚至根本不知道这个类有哪些数据成员。

与之相反，Sales_data 类（参见 2.6.1 节，第 64 页）不是一个抽象数据类型。它允许类的用户直接访问它的数据成员，并且要求由用户来编写操作。要想把 Sales_data 变成抽象数据类型，我们需要定义一些操作以供类的用户使用。一旦 Sales_data 定义了它自己的操作，我们就可以封装（隐藏）它的数据成员了。



7.1.1 设计 Sales_data 类

我们的最终目的是令 Sales_data 支持与 Sales_item 类完全一样的操作集合。Sales_item 类有一个名为 isbn 的成员函数 (member function)（参见 1.5.2 节，第 20 页），并且支持 +、=、+=、<< 和 >> 运算符。

我们将在第 14 章学习如何自定义运算符。现在，我们先为这些运算定义普通（命名的）函数形式。由于 14.1 节（第 490 页）将要解释的原因，执行加法和 IO 的函数不作为 Sales_data 的成员，相反的，我们将其定义成普通函数；执行复合赋值运算的函数是成员函数。Sales_data 类无须专门定义赋值运算，其原因将在 7.1.5 节（第 239 页）介绍。

综上所述，Sales_data 的接口应该包含以下操作：

- 一个 isbn 成员函数，用于返回对象的 ISBN 编号
- 一个 combine 成员函数，用于将一个 Sales_data 对象加到另一个对象上
- 一个名为 add 的函数，执行两个 Sales_data 对象的加法
- 一个 read 函数，将数据从 istream 读入到 Sales_data 对象中
- 一个 print 函数，将 Sales_data 对象的值输出到 ostream

关键概念：不同的编程角色

程序员们常把运行其程序的人称作用户 (user)。类似的，类的设计者也是为其用户设计并实现一个类的人；显然，类的用户是程序员，而非应用程序的最终使用者。

当我们提及“用户”一词时，不同的语境决定了不同的含义。如果我们说用户代码或者 Sales_data 类的用户，指的是使用类的程序员；如果我们说书店应用程序的用

户，则意指运行该应用程序的书店经理。



C++程序员们无须刻意区分应用程序的用户以及类的用户。

在一些简单的应用程序中，类的用户和类的设计者常常是同一个人。尽管如此，还是最好把角色区分开来。当我们设计类的接口时，应该考虑如何才能使得类易于使用；而当我们使用类时，不应该顾及类的实现机理。

要想开发一款成功的应用程序，其作者必须充分了解并实现用户的需求。同样，优秀的类设计者也应该密切关注那些有可能使用该类的程序员的需求。作为一个设计良好的类，既要有直观且易于使用的接口，也必须具备高效的实现过程。

使用改进的 Sales_data 类

在考虑如何实现我们的类之前，首先来看看应该如何使用上面这些接口函数。举个例子，我们使用这些函数编写 1.6 节（第 21 页）书店程序的另外一个版本，其中不再使用 Sales_item 对象，而是使用 Sales_data 对象：

```
Sales_data total; // 保存当前求和结果的变量
if (read(cin, total)) { // 读入第一笔交易
    Sales_data trans; // 保存下一条交易数据的变量
    while(read(cin, trans)) { // 读入剩余的交易
        if (total.isbn() == trans.isbn()) // 检查 isbn
            total.combine(trans); // 更新变量 total 当前的值
        else {
            print(cout, total) << endl; // 输出结果
            total = trans; // 处理下一本
        }
    }
    print(cout, total); // 输出最后一条交易
} else {
    cerr << "No data?!" << endl; // 没有输入任何信息
}
```

一开始我们定义了一个 Sales_data 对象用于保存实时的汇总信息。在 if 条件内部，调用 read 函数将第一条交易读入到 total 中，这里的条件部分与之前我们使用>>运算符的效果是一样的。read 函数返回它的流参数，而条件部分负责检查这个返回值（参见 4.11.2 节，第 144 页），如果 read 函数失败，程序将直接跳转到 else 语句并输出一条错误信息。

如果检测到读入了数据，我们定义变量 trans 用于存放每一条交易。while 语句的条件部分同样是检查 read 函数的返回值，只要输入操作成功，条件就被满足，意味着我们可以处理一条新的交易。

在 while 循环内部，我们分别调用 total 和 trans 的 isbn 成员以比较它们的 ISBN 编号。如果 total 和 trans 指示的是同一本书，我们调用 combine 函数将 trans 的内容添加到 total 表示的实时汇总结果中去。如果 trans 指示的是一本新书，我们调用 print 函数将之前一本书的汇总信息输出出来。因为 print 返回的是它的流参数的引用，所以我们可以把 print 的返回值作为<<运算符的左侧运算对象。通过这种方式，我们输出 print 函数的处理结果，然后转到下一行。接下来，把 trans 赋给 total，从而为接着处理文件中下一本的记录做好了准备。

处理完所有输入数据后，使用 while 循环之后的 print 语句将最后一条交易的信息输出出来。

7.1.1 节练习

练习 7.1： 使用 2.6.1 节练习定义的 Sales_data 类为 1.6 节（第 21 页）的交易处理程序编写一个新版本。



7.1.2 定义改进的 Sales_data 类

改进之后的类的数据成员将与 2.6.1 节（第 64 页）定义的版本保持一致，它们包括：bookNo，string 类型，表示 ISBN 编号；units_sold，unsigned 类型，表示某本书的销量；以及 revenue，double 类型，表示这本书的总销售收入。

如前所述，我们的类将包含两个成员函数：combine 和 isbn。此外，我们还将赋予 Sales_data 另一个成员函数用于返回售出书籍的平均价格，这个函数被命名为 avg_price。因为 avg_price 的目的并非通用，所以它应该属于类的实现的一部分，而非接口的一部分。

定义（参见 6.1 节，第 182 页）和声明（参见 6.1.2 节，第 186 页）成员函数的方式与普通函数差不多。成员函数的声明必须在类的内部，它的定义则既可以在类的内部也可以在类的外部。作为接口组成部分的非成员函数，例如 add、read 和 print 等，它们的定义和声明都在类的外部。

由此可知，改进的 Sales_data 类应该如下所示：

```
struct Sales_data {
    // 新成员：关于 Sales_data 对象的操作
    std::string isbn() const { return bookNo; }
    Sales_data& combine(const Sales_data&);

    double avg_price() const;
    // 数据成员和 2.6.1 节（第 64 页）相比没有改变
    std::string bookNo;
    unsigned units_sold = 0;
    double revenue = 0.0;

};

// Sales_data 的非成员接口函数
Sales_data add(const Sales_data&, const Sales_data&);
std::ostream &print(std::ostream&, const Sales_data&);
std::istream &read(std::istream&, Sales_data&);
```

257

Note

定义在类内部的函数是隐式的 inline 函数（参见 6.5.2 节，第 214 页）。

定义成员函数

尽管所有成员都必须在类的内部声明，但是成员函数体可以定义在类内也可以定义在类外。对于 Sales_data 类来说，isbn 函数定义在了类内，而 combine 和 avg_price 定义在了类外。

我们首先介绍 isbn 函数，它的参数列表为空，返回值是一个 string 对象：

```
std::string isbn() const { return bookNo; }
```

和其他函数一样，成员函数体也是一个块。在此例中，块只有一条 `return` 语句，用于返回 `Sales_data` 对象的 `bookNo` 数据成员。关于 `isbn` 函数一件有意思的事情是：它是如何获得 `bookNo` 成员所依赖的对象的呢？

引入 this

让我们再一次观察对 `isbn` 成员函数的调用：

```
total.isbn()
```

在这里，我们使用了点运算符（参见 4.6 节，第 133 页）来访问 `total` 对象的 `isbn` 成员，然后调用它。

7.6 节（第 268 页）将介绍一种例外的形式，当我们调用成员函数时，实际上是在替某个对象调用它。如果 `isbn` 指向 `Sales_data` 的成员（例如 `bookNo`），则它隐式地指向调用该函数的对象的成员。在上面所示的调用中，当 `isbn` 返回 `bookNo` 时，实际上它隐式地返回 `total.bookNo`。

成员函数通过一个名为 `this` 的额外的隐式参数来访问调用它的那个对象。当我们调用一个成员函数时，用请求该函数的对象地址初始化 `this`。例如，如果调用

```
total.isbn()
```

则编译器负责把 `total` 的地址传递给 `isbn` 的隐式形参 `this`，可以等价地认为编译器将该调用重写成了如下的形式：

```
// 伪代码，用于说明调用成员函数的实际执行过程
Sales_data::isbn(&total)
```

258

其中，调用 `Sales_data` 的 `isbn` 成员时传入了 `total` 的地址。

在成员函数内部，我们可以直接使用调用该函数的对象的成员，而无须通过成员访问运算符来做到这一点，因为 `this` 所指的正是这个对象。任何对类成员的直接访问都被看作 `this` 的隐式引用，也就是说，当 `isbn` 使用 `bookNo` 时，它隐式地使用 `this` 指向的成员，就像我们书写了 `this->bookNo` 一样。

对于我们来说，`this` 形参是隐式定义的。实际上，任何自定义名为 `this` 的参数或变量的行为都是非法的。我们可以在成员函数体内部使用 `this`，因此尽管没有必要，但我们还是能把 `isbn` 定义成如下的形式：

```
std::string isbn() const { return this->bookNo; }
```

因为 `this` 的目的总是指向“这个”对象，所以 `this` 是一个常量指针（参见 2.4.2 节，第 56 页），我们不允许改变 `this` 中保存的地址。

引入 const 成员函数

`isbn` 函数的另一个关键之处是紧随参数列表之后的 `const` 关键字，这里，`const` 的作用是修改隐式 `this` 指针的类型。

默认情况下，`this` 的类型是指向类类型非常量版本的常量指针。例如在 `Sales_data` 成员函数中，`this` 的类型是 `Sales_data *const`。尽管 `this` 是隐式的，但它仍然需要遵循初始化规则，意味着（在默认情况下）我们不能把 `this` 绑定到一个常量对象上（参见 2.4.2 节，第 56 页）。这一情况也就使得我们不能在一个常量对象上调用普通的成员函数。

如果 `isbn` 是一个普通函数而且 `this` 是一个普通的指针参数，则我们应该把 `this` 声明成 `const Sales_data *const`。毕竟，在 `isbn` 的函数体内不会改变 `this` 所指的对象，所以把 `this` 设置为指向常量的指针有助于提高函数的灵活性。

然而，`this` 是隐式的并且不会出现在参数列表中，所以在哪儿将 `this` 声明成指向常量的指针就成为我们必须面对的问题。C++语言的做法是允许把 `const` 关键字放在成员函数的参数列表之后，此时，紧跟在参数列表后面的 `const` 表示 `this` 是一个指向常量的指针。像这样使用 `const` 的成员函数被称作常量成员函数（`const member function`）。

可以把 `isbn` 的函数体想象成如下的形式：

```
// 伪代码，说明隐式的 this 指针是如何使用的
// 下面的代码是非法的：因为我们不能显式地定义自己的 this 指针
// 谨记此处的 this 是一个指向常量的指针，因为 isbn 是一个常量成员
std::string Sales_data::isbn(const Sales_data *const this)
{ return this->isbn; }
```

因为 `this` 是指向常量的指针，所以常量成员函数不能改变调用它的对象的内容。在上例中，`isbn` 可以读取调用它的对象的数据成员，但是不能写入新值。

259



常量对象，以及常量对象的引用或指针都只能调用常量成员函数。

类作用域和成员函数

回忆之前我们所学的知识，类本身就是一个作用域（参见 2.6.1 节，第 64 页）。类的成员函数的定义嵌套在类的作用域之内，因此，`isbn` 中用到的名字 `bookNo` 其实就是定义在 `Sales_data` 内的数据成员。

值得注意的是，即使 `bookNo` 定义在 `isbn` 之后，`isbn` 也还是能够使用 `bookNo`。就如我们将在 7.4.1 节（第 254 页）学习到的那样，编译器分两步处理类：首先编译成员的声明，然后才轮到成员函数体（如果有的话）。因此，成员函数体可以随意使用类中的其他成员而无须在意这些成员出现的次序。

在类的外部定义成员函数

像其他函数一样，当我们在类的外部定义成员函数时，成员函数的定义必须与它的声明匹配。也就是说，返回类型、参数列表和函数名都得与类内部的声明保持一致。如果成员被声明成常量成员函数，那么它的定义也必须在参数列表后明确指定 `const` 属性。同时，类外部定义的成员的名字必须包含它所属的类名：

```
double Sales_data::avg_price() const {
    if (units_sold)
        return revenue/units_sold;
    else
        return 0;
}
```

函数名 `Sales_data::avg_price` 使用作用域运算符（参见 1.2 节，第 7 页）来说明如下的事实：我们定义了一个名为 `avg_price` 的函数，并且该函数被声明在类 `Sales_data` 的作用域内。一旦编译器看到这个函数名，就能理解剩余的代码是位于类的作用域内的。因此，当 `avg_price` 使用 `revenue` 和 `units_sold` 时，实际上它隐式地使用了

Sales_data 的成员。

定义一个返回 this 对象的函数

函数 combine 的设计初衷类似于复合赋值运算符`+=`，调用该函数的对象代表的是赋值运算符左侧的运算对象，右侧运算对象则通过显式的实参被传入函数：

```
Sales_data& Sales_data::combine(const Sales_data &rhs)
{
    units_sold += rhs.units_sold; // 把 rhs 的成员加到 this 对象的成员上
    revenue += rhs.revenue;
    return *this;                // 返回调用该函数的对象
}
```

当我们的交易处理程序调用如下的函数时，

```
total.combine(trans);           // 更新变量 total 当前的值
```

total 的地址被绑定到隐式的 this 参数上，而 rhs 绑定到了 trans 上。因此，当 combine 执行下面的语句时，

```
units_sold += rhs.units_sold;    // 把 rhs 的成员添加到 this 对象的成员中
```

效果等同于求 total.units_sold 和 trans.unit_sold 的和，然后把结果保存到 total.units_sold 中。

该函数一个值得关注的部分是它的返回类型和返回语句。一般来说，当我们定义的函数类似于某个内置运算符时，应该令该函数的行为尽量模仿这个运算符。内置的赋值运算符把它的左侧运算对象当成左值返回（参见 4.4 节，第 129 页），因此为了与它保持一致，combine 函数必须返回引用类型（参见 6.3.2 节，第 202 页）。因为此时的左侧运算对象是一个 Sales_data 的对象，所以返回类型应该是 Sales_data&。

如前所述，我们无须使用隐式的 this 指针访问函数调用者的某个具体成员，而是需要把调用函数的对象当成一个整体来访问：

```
return *this;                  // 返回调用该函数的对象
```

其中，return 语句解引用 this 指针以获得执行该函数的对象，换句话说，上面的这个调用返回 total 的引用。

7.1.2 节练习

练习 7.2：曾在 2.6.2 节的练习（第 67 页）中编写了一个 Sales_data 类，请向这个类添加 combine 和 isbn 成员。

练习 7.3：修改 7.1.1 节（第 229 页）的交易处理程序，令其使用这些成员。

练习 7.4：编写一个名为 Person 的类，使其表示人员的姓名和住址。使用 string 对象存放这些元素，接下来的练习将不断充实这个类的其他特征。

练习 7.5：在你的 Person 类中提供一些操作使其能够返回姓名和住址。这些函数是否应该是 const 的呢？解释原因。



7.1.3 定义类相关的非成员函数

类的作者常常需要定义一些辅助函数，比如 `add`、`read` 和 `print` 等。尽管这些函数定义的操作从概念上来说属于类的接口的组成部分，但它们实际上并不属于类本身。

261 我们定义非成员函数的方式与定义其他函数一样，通常把函数的声明和定义分离开来（参见 6.1.2 节，第 168 页）。如果函数在概念上属于类但是不定义在类中，则它一般应与类声明（而非定义）在同一个头文件内。在这种方式下，用户使用接口的任何部分都只需要引入一个文件。



一般来说，如果非成员函数是类接口的组成部分，则这些函数的声明应该与类在同一个头文件内。

定义 `read` 和 `print` 函数

下面的 `read` 和 `print` 函数与 2.6.2 节（第 66 页）中的代码作用一样，而且代码本身也非常相似：

```
// 输入的交易信息包括 ISBN、售出总数和售出价格
istream &read(istream &is, Sales_data &item)
{
    double price = 0;
    is >> item.bookNo >> item.units_sold >> price;
    item.revenue = price * item.units_sold;
    return is;
}
ostream &print(ostream &os, const Sales_data &item)
{
    os << item.isbn() << " " << item.units_sold << " "
        << item.revenue << " " << item.avg_price();
    return os;
}
```

`read` 函数从给定流中将数据读到给定的对象里，`print` 函数则负责将给定对象的内容打印到给定的流中。

除此之外，关于上面的函数还有两点是非常重要的。第一点，`read` 和 `print` 分别接受一个各自 IO 类型的引用作为其参数，这是因为 IO 类属于不能被拷贝的类型，因此我们只能通过引用来传递它们（参见 6.2.2 节，第 188 页）。而且，因为读取和写入的操作会改变流的内容，所以两个函数接受的都是普通引用，而非对常量的引用。

第二点，`print` 函数不负责换行。一般来说，执行输出任务的函数应该尽量减少对格式的控制，这样可以确保由用户代码来决定是否换行。

定义 `add` 函数

`add` 函数接受两个 `Sales_data` 对象作为其参数，返回值是一个新的 `Sales_data`，用于表示前两个对象的和：

```
Sales_data add(const Sales_data &lhs, const Sales_data &rhs)
{
    Sales_data sum = lhs;           // 把 lhs 的数据成员拷贝给 sum
```

```

    sum.combine(rhs);           // 把 rhs 的数据成员加到 sum 当中
    return sum;
}

```

在函数体中，我们定义了一个新的 Sales_data 对象并将其命名为 sum。sum 将用于存放两笔交易的和，我们用 lhs 的副本来初始化 sum。默认情况下，拷贝类的对象其实拷贝的是对象的数据成员。在拷贝工作完成之后，sum 的 bookNo、units_sold 和 revenue 将和 lhs 一致。接下来我们调用 combine 函数，将 rhs 的 units_sold 和 revenue 添加给 sum。最后，函数返回 sum 的副本。

<262>

7.1.3 节练习

练习 7.6：对于函数 add、read 和 print，定义你自己的版本。

练习 7.7：使用这些新函数重写 7.1.2 节（第 233 页）练习中的交易处理程序。

练习 7.8：为什么 read 函数将其 Sales_data 参数定义成普通的引用，而 print 将其参数定义成常量引用？

练习 7.9：对于 7.1.2 节（第 233 页）练习中的代码，添加读取和打印 Person 对象的操作。

练习 7.10：在下面这条 if 语句中，条件部分的作用是什么？

```
if (read(read(cin, data1), data2))
```

7.1.4 构造函数



每个类都分别定义了它的对象被初始化的方式，类通过一个或几个特殊的成员函数来控制其对象的初始化过程，这些函数叫做构造函数（constructor）。构造函数的任务是初始化类对象的数据成员，无论何时只要类的对象被创建，就会执行构造函数。

在这一节中，我们将介绍定义构造函数的基础知识。构造函数是一个非常复杂的问题，我们还会在 7.5 节（第 257 页）、15.7 节（第 551 页）、18.1.3 节（第 689 页）和第 13 章介绍更多关于构造函数的知识。

构造函数的名字和类名相同。和其他函数不一样的是，构造函数没有返回类型；除此之外类似于其他的函数，构造函数也有一个（可能为空的）参数列表和一个（可能为空的）函数体。类可以包含多个构造函数，和其他重载函数差不多（参见 6.4 节，第 206 页），不同的构造函数之间必须在参数数量或参数类型上有所区别。

不同于其他成员函数，构造函数不能被声明成 const 的（参见 7.1.2 节，第 231 页）。当我们创建类的一个 const 对象时，直到构造函数完成初始化过程，对象才能真正取得其“常量”属性。因此，构造函数在 const 对象的构造过程中可以向其写值。

合成的默认构造函数



我们的 Sales_data 类并没有定义任何构造函数，可是之前使用了 Sales_data 对象的程序仍然可以正确地编译和运行。举个例子，第 229 页的程序定义了两个对象：

```

Sales_data total;           // 保存当前求和结果的变量
Sales_data trans;           // 保存下一条交易数据的变量

```

263> 这时我们不禁要问：`total` 和 `trans` 是如何初始化的呢？

我们没有为这些对象提供初始值，因此我们知道它们执行了默认初始化（参见 2.2.1 节，第 40 页）。类通过一个特殊的构造函数来控制默认初始化过程，这个函数叫做**默认构造函数**（**default constructor**）。默认构造函数无须任何实参。

如我们所见，默认构造函数在很多方面都有其特殊性。其中之一是，如果我们的类没有显式地定义构造函数，那么编译器就会为我们隐式地定义一个默认构造函数。

编译器创建的构造函数又被称为**合成的默认构造函数**（**synthesized default constructor**）。对于大多数类来说，这个合成的默认构造函数将按照如下规则初始化类的数据成员：

- 如果存在类内的初始值（参见 2.6.1 节，第 64 页），用它来初始化成员。
- 否则，默认初始化（参见 2.2.1 节，第 40 页）该成员。

因为 `Sales_data` 为 `units_sold` 和 `revenue` 提供了初始值，所以合成的默认构造函数将使用这些值来初始化对应的成员；同时，它把 `bookNo` 默认初始化成一个空字符串。

某些类不能依赖于合成的默认构造函数

合成的默认构造函数只适合非常简单的类，比如现在定义的这个 `Sales_data` 版本。对于一个普通的类来说，必须定义它自己的默认构造函数，原因有三：第一个原因也是最容易理解的一个原因就是编译器只有在发现类不包含任何构造函数的情况下才会替我们生成一个默认的构造函数。一旦我们定义了一些其他的构造函数，那么除非我们再定义一个默认的构造函数，否则类将没有默认构造函数。这条规则的依据是，如果一个类在某种情况下需要控制对象初始化，那么该类很可能在所有情况下都需要控制。



只有当类没有声明任何构造函数时，编译器才会自动地生成默认构造函数。

第二个原因是对于某些类来说，合成的默认构造函数可能执行错误的操作。回忆我们之前介绍过的，如果定义在块中的内置类型或复合类型（比如数组和指针）的对象被默认初始化（参见 2.2.1 节，第 40 页），则它们的值将是未定义的。该准则同样适用于默认初始化的内置类型成员。因此，含有内置类型或复合类型成员的类应该在类的内部初始化这些成员，或者定义一个自己的默认构造函数。否则，用户在创建类的对象时就可能得到未定义的值。



如果类包含有内置类型或者复合类型的成员，则只有当这些成员全都被赋予了类内的初始值时，这个类才适合于使用合成的默认构造函数。

264> 第三个原因是有的时候编译器不能为某些类合成默认的构造函数。例如，如果类中包含一个其他类类型的成员且这个成员的类型没有默认构造函数，那么编译器将无法初始化该成员。对于这样的类来说，我们必须自定义默认构造函数，否则该类将没有可用的默认构造函数。在 13.1.6 节（第 449 页）中我们将看到还有其他一些情况也会导致编译器无法生成一个正确的默认构造函数。

定义 `Sales_data` 的构造函数

对于我们的 `Sales_data` 类来说，我们将使用下面的参数定义 4 个不同的构造函数：

- 一个 `istream&`，从中读取一条交易信息。

- 一个 `const string&`, 表示 ISBN 编号; 一个 `unsigned`, 表示售出的图书数量; 以及一个 `double`, 表示图书的售出价格。
- 一个 `const string&`, 表示 ISBN 编号; 编译器将赋予其他成员默认值。
- 一个空参数列表 (即默认构造函数), 正如刚刚介绍的, 既然我们已经定义了其他构造函数, 那么也必须定义一个默认构造函数。

给类添加了这些成员之后, 将得到

```
struct Sales_data {
    // 新增的构造函数
    Sales_data() = default;
    Sales_data(const std::string &s): bookNo(s) { }
    Sales_data(const std::string &s, unsigned n, double p):
        bookNo(s), units_sold(n), revenue(p*n) { }
    Sales_data(std::istream &); // 之前已有的其他成员
    std::string isbn() const { return bookNo; }
    Sales_data& combine(const Sales_data&);
    double avg_price() const;
    std::string bookNo;
    unsigned units_sold = 0;
    double revenue = 0.0;
};
```

= default 的含义

我们从解释默认构造函数的含义开始:

```
Sales_data() = default;
```

首先请明确一点: 因为该构造函数不接受任何实参, 所以它是一个默认构造函数。我们定义这个构造函数的目的仅仅是因为我们既需要其他形式的构造函数, 也需要默认的构造函数。我们希望这个函数的作用完全等同于之前使用的合成默认构造函数。

在 C++11 新标准中, 如果我们需要默认的行为, 那么可以通过在参数列表后面写上 **= default** 来要求编译器生成构造函数。其中, `= default` 既可以和声明一起出现在类的内部, 也可以作为定义出现在类的外部。和其他函数一样, 如果`= default` 在类的内部, 则默认构造函数是内联的; 如果它在类的外部, 则该成员默认情况下不是内联的。



上面的默认构造函数之所以对 `Sales_data` 有效, 是因为我们为内置类型的数据成员提供了初始值。如果你的编译器不支持类内初始值, 那么你的默认构造函数就应该使用构造函数初始值列表 (马上就会介绍) 来初始化类的每个成员。

构造函数初始值列表

接下来我们介绍类中定义的另外两个构造函数:

```
Sales_data(const std::string &s): bookNo(s) { }
Sales_data(const std::string &s, unsigned n, double p):
    bookNo(s), units_sold(n), revenue(p*n) { }
```

这两个定义中出现了新的部分, 即冒号以及冒号和花括号之间的代码, 其中花括号定义了

(空的) 函数体。我们把新出现的部分称为构造函数初始值列表 (constructor initialize list)，它负责为新创建的对象的一个或几个数据成员赋初值。构造函数初始值是成员名字的一个列表，每个名字后面紧跟括号括起来的（或者在花括号内的）成员初始值。不同成员的初始化通过逗号分隔开来。

含有三个参数的构造函数分别使用它的前两个参数初始化成员 bookNo 和 units_sold，revenue 的初始值则通过将售出图书总数和每本书单价相乘计算得到。

只有一个 string 类型参数的构造函数使用这个 string 对象初始化 bookNo，对于 units_sold 和 revenue 则没有显式地初始化。当某个数据成员被构造函数初始值列表忽略时，它将以与合成默认构造函数相同的方式隐式初始化。在此例中，这样的成员使用类内初始值初始化，因此只接受一个 string 参数的构造函数等价于

```
// 与上面定义的那个构造函数效果相同
Sales_data(const std::string &s):
    bookNo(s), units_sold(0), revenue(0) { }
```

通常情况下，构造函数使用类内初始值不失为一种好的选择，因为只要这样的初始值存在我们就能确保为成员赋予了一个正确的值。不过，如果你的编译器不支持类内初始值，则所有构造函数都应该显式地初始化每个内置类型的成员。

Best Practices

构造函数不应该轻易覆盖掉类内的初始值，除非新赋的值与原值不同。如果你不能使用类内初始值，则所有构造函数都应该显式地初始化每个内置类型的成员。

266 有一点需要注意，在上面的两个构造函数中函数体都是空的。这是因为这些构造函数的唯一目的就是为数据成员赋初值，一旦没有其他任务需要执行，函数体也就为空了。

在类的外部定义构造函数

与其他几个构造函数不同，以 istream 为参数的构造函数需要执行一些实际的操作。在它的函数体内，调用了 read 函数以给数据成员赋以初值：

```
Sales_data::Sales_data(std::istream &is)
{
    read(is, *this); // read 函数的作用是从 is 中读取一条交易信息然后
                      // 存入 this 对象中
}
```

构造函数没有返回类型，所以上述定义从我们指定的函数名字开始。和其他成员函数一样，当我们在类的外部定义构造函数时，必须指明该构造函数是哪个类的成员。因此，Sales_data::Sales_data 的含义是我们定义 Sales_data 类的成员，它的名字是 Sales_data。又因为该成员的名字和类名相同，所以它是一个构造函数。

这个构造函数没有构造函数初始值列表，或者讲得更准确一点，它的构造函数初始值列表是空的。尽管构造函数初始值列表是空的，但是由于执行了构造函数体，所以对象的成员仍然能被初始化。

没有出现在构造函数初始值列表中的成员将通过相应的类内初始值（如果存在的话）初始化，或者执行默认初始化。对于 Sales_data 来说，这意味着一旦函数开始执行，则 bookNo 将被初始化成空 string 对象，而 units_sold 和 revenue 将是 0。

为了更好地理解调用函数 `read` 的意义，要特别注意 `read` 的第二个参数是一个 `Sales_data` 对象的引用。在 7.1.2 节（第 232 页）中曾经提到过，使用 `this` 来把对象当成一个整体访问，而非直接访问对象的某个成员。因此在此例中，我们使用`*this` 将“`this`”对象作为实参传递给 `read` 函数。

7.1.4 节练习

练习 7.11：在你的 `Sales_data` 类中添加构造函数，然后编写一段程序令其用到每个构造函数。

练习 7.12：把只接受一个 `istream` 作为参数的构造函数定义移到类的内部。

练习 7.13：使用 `istream` 构造函数重写第 229 页的程序。

练习 7.14：编写一个构造函数，令其用我们提供的类内初始值显式地初始化成员。

练习 7.15：为你的 `Person` 类添加正确的构造函数。

7.1.5 拷贝、赋值和析构



<267

除了定义类的对象如何初始化之外，类还需要控制拷贝、赋值和销毁对象时发生的行为。对象在几种情况下会被拷贝，如我们初始化变量以及以值的方式传递或返回一个对象等（参见 6.2.1 节，第 187 页和 6.3.2 节，第 200 页）。当我们使用了赋值运算符（参见 4.4 节，第 129 页）时会发生对象的赋值操作。当对象不再存在时执行销毁的操作，比如一个局部对象会在创建它的块结束时被销毁（参见 6.1.1 节，第 184 页），当 `vector` 对象（或者数组）销毁时存储在其中的对象也会被销毁。

如果我们不主动定义这些操作，则编译器将替我们合成它们。一般来说，编译器生成的版本将对对象的每个成员执行拷贝、赋值和销毁操作。例如在 7.1.1 节（第 229 页）的书店程序中，当编译器执行如下赋值语句时，

```
total = trans; // 处理下一本书的信息
```

它的行为与下面的代码相同

```
// Sales_data 的默认赋值操作等价于：  
total.bookNo = trans.bookNo;  
total.units_sold = trans.units_sold;  
total.revenue = trans.revenue;
```

我们将在第 13 章中介绍如何自定义上述操作。



某些类不能依赖于合成的版本

尽管编译器能替我们合成拷贝、赋值和销毁的操作，但是必须要清楚的一点是，对于某些类来说合成的版本无法正常工作。特别是，当类需要分配类对象之外的资源时，合成的版本常常会失效。举个例子，第 12 章将介绍 C++ 程序是如何分配和管理动态内存的。而在 13.1.4 节（第 447 页）我们将会看到，管理动态内存的类通常不能依赖于上述操作的合成版本。

不过值得注意的是，很多需要动态内存的类能（而且应该）使用 `vector` 对象或者 `string` 对象管理必要的存储空间。使用 `vector` 或者 `string` 的类能避免分配和释放内存带来的复杂性。

进一步讲，如果类包含 `vector` 或者 `string` 成员，则其拷贝、赋值和销毁的合成版本能够正常工作。当我们对含有 `vector` 成员的对象执行拷贝或者赋值操作时，`vector` 类会设法拷贝或者赋值成员中的元素。当这样的对象被销毁时，将销毁 `vector` 对象，也就是依次销毁 `vector` 中的每一个元素。这一点与 `string` 是非常类似的。



在学习第 13 章关于如何自定义操作的知识之前，类中所有分配的资源都应该直接以类的数据成员的形式存储。



7.2 访问控制与封装

268

到目前为止，我们已经为类定义了接口，但并没有任何机制强制用户使用这些接口。我们的类还没有封装，也就是说，用户可以直达 `Sales_data` 对象的内部并且控制它的具体实现细节。在 C++ 语言中，我们使用访问说明符（access specifiers）加强类的封装性：

- 定义在 `public` 说明符之后的成员在整个程序内可被访问，`public` 成员定义类的接口。
- 定义在 `private` 说明符之后的成员可以被类的成员函数访问，但是不能被使用该类的代码访问，`private` 部分封装了（即隐藏了）类的实现细节。

再一次定义 `Sales_data` 类，其新形式如下所示：

```
class Sales_data {
public:           // 添加了访问说明符
    Sales_data() = default;
    Sales_data(const std::string &s, unsigned n, double p):
        bookNo(s), units_sold(n), revenue(p*n) { }
    Sales_data(const std::string &s): bookNo(s) { }
    Sales_data(std::istream&); 
    std::string isbn() const { return bookNo; }
    Sales_data &combine(const Sales_data&);
private:          // 添加了访问说明符
    double avg_price() const
    { return units_sold ? revenue/units_sold : 0; }
    std::string bookNo;
    unsigned units_sold = 0;
    double revenue = 0.0;
};
```

作为接口的一部分，构造函数和部分成员函数（即 `isbn` 和 `combine`）紧跟在 `public` 说明符之后；而数据成员和作为实现部分的函数则跟在 `private` 说明符后面。

一个类可以包含 0 个或多个访问说明符，而且对于某个访问说明符能出现多少次也没有严格限定。每个访问说明符指定了接下来的成员的访问级别，其有效范围直到出现下一个访问说明符或者到达类的结尾处为止。

使用 `class` 或 `struct` 关键字

在上面的定义中我们还做了一个微妙的变化，我们使用了 `class` 关键字而非 `struct` 开始类的定义。这种变化仅仅是形式上有所不同，实际上我们可以使用这两个关键字中的任何一个定义类。唯一的一点区别是，`struct` 和 `class` 的默认访问权限不太一样。

类可以在它的第一个访问说明符之前定义成员，对这种成员的访问权限依赖于类定义

的方式。如果我们使用 `struct` 关键字，则定义在第一个访问说明符之前的成员是 `public` 的；相反，如果我们使用 `class` 关键字，则这些成员是 `private` 的。

出于统一编程风格的考虑，当我们希望定义的类的所有成员是 `public` 的时，使用 `<269> struct`；反之，如果希望成员是 `private` 的，使用 `class`。



使用 `class` 和 `struct` 定义类唯一的区别就是默认的访问权限。

7.2 节练习

练习 7.16：在类的定义中对于访问说明符出现的位置和次数有限定吗？如果有，是什么？什么样的成员应该定义在 `public` 说明符之后？什么样的成员应该定义在 `private` 说明符之后？

练习 7.17：使用 `class` 和 `struct` 时有区别吗？如果有，是什么？

练习 7.18：封装是何含义？它有什么用处？

练习 7.19：在你的 `Person` 类中，你将把哪些成员声明成 `public` 的？哪些声明成 `private` 的？解释你这样做的原因。

7.2.1 友元



既然 `Sales_data` 的数据成员是 `private` 的，我们的 `read`、`print` 和 `add` 函数也就无法正常编译了，这是因为尽管这几个函数是类的接口的一部分，但它们不是类的成员。

类可以允许其他类或者函数访问它的非公有成员，方法是令其他类或者函数成为它的友元（friend）。如果类想把一个函数作为它的友元，只需要增加一条以 `friend` 关键字开始的函数声明语句即可：

```
class Sales_data {
    // 为 Sales_data 的非成员函数所做的友元声明
    friend Sales_data add(const Sales_data&, const Sales_data&);
    friend std::istream &read(std::istream&, Sales_data&);
    friend std::ostream &print(std::ostream&, const Sales_data&);
    // 其他成员及访问说明符与之前一致

    public:
        Sales_data() = default;
        Sales_data(const std::string &s, unsigned n, double p):
            bookNo(s), units_sold(n), revenue(p*n) { }
        Sales_data(const std::string &s): bookNo(s) { }
        Sales_data(std::istream&);

        std::string isbn() const { return bookNo; }

        Sales_data &combine(const Sales_data&);

    private:
        std::string bookNo;
        unsigned units_sold = 0;
        double revenue = 0.0;
    };

    // Sales_data 接口的非成员组成部分的声明
    Sales_data add(const Sales_data&, const Sales_data&);
```

```
std::istream &read(std::istream&, Sales_data&);  
std::ostream &print(std::ostream&, const Sales_data&);
```

友元声明只能出现在类定义的内部，但是在类内出现的具体位置不限。友元不是类的成员也不受它所在区域访问控制级别的约束。我们将在 7.3.4 节（第 250 页）介绍更多关于友元的知识。



一般来说，最好在类定义开始或结束前的位置集中声明友元。

关键概念：封装的益处

封装有两个重要的优点：

- 确保用户代码不会无意间破坏封装对象的状态。
- 被封装的类的具体实现细节可以随时改变，而无须调整用户级别的代码。

一旦把数据成员定义成 `private` 的，类的作者就可以比较自由地修改数据了。当实现部分改变时，我们只需要检查类的代码本身以确认这次改变有什么影响；换句话说，只要类的接口不变，用户代码就无须改变。如果数据是 `public` 的，则所有使用了原来数据成员的代码都可能失效，这时我们必须定位并重写所有依赖于老版本实现的代码，之后才能重新使用该程序。

把数据成员的访问权限设成 `private` 还有另外一个好处，这么做能防止由于用户的原因造成数据被破坏。如果我们发现有程序缺陷破坏了对象的状态，则可以在有限的范围内定位缺陷：因为只有实现部分的代码可能产生这样的错误。因此，将查错限制在有限范围内将能极大地降低维护代码及修正程序错误的难度。



尽管当类的定义发生改变时无须更改用户代码，但是使用了该类的源文件必须重新编译。



友元的声明

友元的声明仅仅指定了访问的权限，而非一个通常意义上的函数声明。如果我们希望类的用户能够调用某个友元函数，那么我们就必须在友元声明之外再专门对函数进行一次声明。

为了使友元对类的用户可见，我们通常把友元的声明与类本身放置在同一个头文件中（类的外部）。因此，我们的 `Sales_data` 头文件应该为 `read`、`print` 和 `add` 提供独立的声明（除了类内部的友元声明之外）。



许多编译器并未强制限定友元函数必须在使用之前在类的外部声明。

271

一些编译器允许在尚无友元函数的初始声明的情况下就调用它。不过即使你的编译器支持这种行为，最好还是提供一个独立的函数声明。这样即使你更换了一个有这种强制要求的编译器，也不必改变代码。

7.2.1 节练习

练习 7.20: 友元在什么时候有用? 请分别列举出使用友元的利弊。

练习 7.21: 修改你的 Sales_data 类使其隐藏实现的细节。你之前编写的关于 Sales_data 操作的程序应该继续使用, 借助类的新定义重新编译该程序, 确保其工作正常。

练习 7.22: 修改你的 Person 类使其隐藏实现的细节。

7.3 类的其他特性

虽然 Sales_data 类非常简单, 但是通过它我们已经了解 C++语言中关于类的许多语法要点。在本节中, 我们将继续介绍 Sales_data 没有体现出来的一些类的特性。这些特性包括: 类型成员、类的成员的类内初始值、可变数据成员、内联成员函数、从成员函数返回 `*this`、关于如何定义并使用类类型及友元类的更多知识。

7.3.1 类成员再探

为了展示这些新的特性, 我们需要定义一对相互关联的类, 它们分别是 Screen 和 Window_mgr。

定义一个类型成员

Screen 表示显示器中的一个窗口。每个 Screen 包含一个用于保存 Screen 内容的 string 成员和三个 `string::size_type` 类型的成员, 它们分别表示光标的位置以及屏幕的高和宽。

除了定义数据和函数成员之外, 类还可以自定义某种类型在类中的别名。由类定义的类型名字和其他成员一样存在访问限制, 可以是 `public` 或者 `private` 中的一种:

```
class Screen {
public:
    typedef std::string::size_type pos;
private:
    pos cursor = 0;
    pos height = 0, width = 0;
    std::string contents;
};
```

我们在 Screen 的 `public` 部分定义了 `pos`, 这样用户就可以使用这个名字。Screen 的用户不应该知道 Screen 使用了一个 `string` 对象来存放它的数据, 因此通过把 `pos` 定义成 `public` 成员可以隐藏 Screen 实现的细节。◀ 272

关于 `pos` 的声明有两点需要注意。首先, 我们使用了 `typedef` (参见 2.5.1 节, 第 60 页), 也可以等价地使用类型别名 (参见 2.5.1 节, 第 60 页):

```
class Screen {
public:
    // 使用类型别名等价地声明一个类型名字
    using pos = std::string::size_type;
    // 其他成员与之前的版本一致
};
```

其次, 用来定义类型的成员必须先定义后使用, 这一点与普通成员有所区别, 具体原因将

在 7.4.1 节（第 254 页）解释。因此，类型成员通常出现在类开始的地方。

Screen 类的成员函数

要使我们的类更加实用，还需要添加一个构造函数令用户能够定义屏幕的尺寸和内容，以及其他两个成员，分别负责移动光标和读取给定位置的字符：

```
class Screen {
public:
    typedef std::string::size_type pos;
    Screen() = default; // 因为 Screen 有另一个构造函数,
                        // 所以本函数是必需的
    // cursor 被其类内初始值初始化为 0
    Screen(pos ht, pos wd, char c): height(ht), width(wd),
    contents(ht * wd, c) { }
    char get() const                                // 读取光标处的字符
    { return contents[cursor]; }                     // 隐式内联
    inline char get(pos ht, pos wd) const;           // 显式内联
    Screen &move(pos r, pos c);                     // 能在之后被设为内联
private:
    pos cursor = 0;
    pos height = 0, width = 0;
    std::string contents;
};
```

因为我们已经提供了一个构造函数，所以编译器将不会自动生成默认的构造函数。如果我们的类需要默认构造函数，必须显式地把它声明出来。在此例中，我们使用`=default`告诉编译器为我们合成默认的构造函数（参见 7.1.4 节，第 237 页）。

需要指出的是，第二个构造函数（接受三个参数）为 `cursor` 成员隐式地使用了类内初始值（参见 7.1.4 节，第 238 页）。如果类中不存在 `cursor` 的类内初始值，我们就需要像其他成员一样显式地初始化 `cursor` 了。

273> 令成员作为内联函数

在类中，常有一些规模较小的函数适合于被声明成内联函数。如我们之前所见的，定义在类内部的成员函数是自动 `inline` 的（参见 6.5.2 节，第 213 页）。因此，`Screen` 的构造函数和返回光标所指字符的 `get` 函数默认是 `inline` 函数。

我们可以在类的内部把 `inline` 作为声明的一部分显式地声明成员函数，同样的，也能在类的外部用 `inline` 关键字修饰函数的定义：

```
inline                                         // 可以在函数的定义处指定 inline
Screen &Screen::move(pos r, pos c)
{
    pos row = r * width;                      // 计算行的位置
    cursor = row + c;                         // 在行内将光标移动到指定的列
    return *this;                             // 以左值的形式返回对象
}
char Screen::get(pos r, pos c) const // 在类的内部声明成 inline
{
    pos row = r * width;                      // 计算行的位置
    return contents[row + c];                 // 返回给定列的字符
}
```

虽然我们无须在声明和定义的地方同时说明 `inline`, 但这么做其实是合法的。不过, 最好只在类外部定义的地方说明 `inline`, 这样可以使类更容易理解。



和我们在头文件中定义 `inline` 函数的原因一样 (参见 6.5.2 节, 第 214 页), `inline` 成员函数也应该与相应的类定义在同一个头文件中。

重载成员函数

和非成员函数一样, 成员函数也可以被重载 (参见 6.4 节, 第 206 页), 只要函数之间在参数的数量和/或类型上有所区别就行。成员函数的函数匹配过程 (参见 6.4 节, 第 208 页) 同样与非成员函数非常类似。

举个例子, 我们的 `Screen` 类定义了两个版本的 `get` 函数。一个版本返回光标当前位置的字符; 另一个版本返回由行号和列号确定的位置的字符。编译器根据实参的数量来决定运行哪个版本的函数:

```
Screen myscreen;
char ch = myscreen.get();      // 调用 Screen::get()
ch = myscreen.get(0,0);       // 调用 Screen::get(pos, pos)
```

可变数据成员

有时 (但并不频繁) 会发生这样一种情况, 我们希望能修改类的某个数据成员, 即使是在一个 `const` 成员函数内。可以通过在变量的声明中加入 `mutable` 关键字做到这一点。

一个可变数据成员 (`mutable data member`) 永远不会是 `const`, 即使它是 `const` 对象的成员。因此, 一个 `const` 成员函数可以改变一个可变成员的值。举个例子, 我们将给 `Screen` 添加一个名为 `access_ctr` 的可变成员, 通过它我们可以追踪每个 `Screen` 的成员函数被调用了多少次: ◀ 274

```
class Screen {
public:
    void some_member() const;
private:
    mutable size_t access_ctr;    // 即使在一个 const 对象内也能被修改
    // 其他成员与之前的版本一致
};
void Screen::some_member() const
{
    ++access_ctr;               // 保存一个计数值, 用于记录成员函数被调用的次数
    // 该成员需要完成的其他工作
}
```

尽管 `some_member` 是一个 `const` 成员函数, 它仍然能够改变 `access_ctr` 的值。该成员是个可变成员, 因此任何成员函数, 包括 `const` 函数在内都能改变它的值。

类数据成员的初始值

在定义好 `Screen` 类之后, 我们将继续定义一个窗口管理类并用它表示显示器上的一组 `Screen`。这个类将包含一个 `Screen` 类型的 `vector`, 每个元素表示一个特定的 `Screen`。默认情况下, 我们希望 `Window_mgr` 类开始时总是拥有一个默认初始化的

C++ 11 Screen。在 C++11 新标准中，最好的方式就是把这个默认值声明成一个类内初始值（参见 2.6.1 节，第 64 页）：

```
class Window_mngr {
private:
    // 这个 Window_mngr 追踪的 Screen
    // 默认情况下，一个 Window_mngr 包含一个标准尺寸的空白 Screen
    std::vector<Screen> screens{Screen(24, 80, ' ')};
};
```

当我们初始化类类型的成员时，需要为构造函数传递一个符合成员类型的实参。在此例中，我们使用一个单独的元素值对 `vector` 成员执行了列表初始化（参见 3.3.1 节，第 87 页），这个 `Screen` 的值被传递给 `vector<Screen>` 的构造函数，从而创建了一个单元素的 `vector` 对象。具体地说，`Screen` 的构造函数接受两个尺寸参数和一个字符值，创建了一个给定大小的空白屏幕对象。

如我们之前所知的，类内初始值必须使用=的初始化形式（初始化 `Screen` 的数据成员时所用的）或者花括号括起来的直接初始化形式（初始化 `screens` 所用的）。



当我们提供一个类内初始值时，必须以符号=或者花括号表示。

275

7.3.1 节练习

练习 7.23: 编写你自己的 `Screen` 类。

练习 7.24: 给你的 `Screen` 类添加三个构造函数：一个默认构造函数；另一个构造函数接受宽和高的值，然后将 `contents` 初始化成给定数量的空白；第三个构造函数接受宽和高的值以及一个字符，该字符作为初始化之后屏幕的内容。

练习 7.25: `Screen` 能安全地依赖于拷贝和赋值操作的默认版本吗？如果能，为什么？如果不能，为什么？

练习 7.26: 将 `Sales_data::avg_price` 定义成内联函数。



7.3.2 返回*this 的成员函数

接下来我们继续添加一些函数，它们负责设置光标所在位置的字符或者其他任一给定位置的字符：

```
class Screen {
public:
    Screen &set(char);
    Screen &set(pos, pos, char);
    // 其他成员和之前的版本一致
};

inline Screen &Screen::set(char c)
{
    contents[cursor] = c;           // 设置当前光标所在位置的新值
    return *this;                  // 将 this 对象作为左值返回
}
```

```

    }
    inline Screen &Screen::set(pos r, pos col, char ch)
    {
        contents[r*width + col] = ch;      // 设置给定位置的新值
        return *this;                      // 将 this 对象作为左值返回
    }
}

```

和 move 操作一样，我们的 set 成员的返回值是调用 set 的对象的引用（参见 7.1.2 节，第 232 页）。返回引用的函数是左值的（参见 6.3.2 节，第 202 页），意味着这些函数返回的是对对象本身而非对象的副本。如果我们把一系列这样的操作连接在一条表达式中的话：

```
// 把光标移动到一个指定的位置，然后设置该位置的字符值
myScreen.move(4,0).set('#');
```

这些操作将在同一个对象上执行。在上面的表达式中，我们首先移动 myScreen 内的光标，然后设置 myScreen 的 contents 成员。也就是说，上述语句等价于

```
myScreen.move(4,0);
myScreen.set('#');
```

如果我们令 move 和 set 返回 Screen 而非 Screen&，则上述语句的行为将大不相同。在此例中等价于：

```
// 如果 move 返回 Screen 而非 Screen&
Screen temp = myScreen.move(4,0);           // 对返回值进行拷贝
temp.set('#');                                // 不会改变 myScreen 的 contents
```

< 276

假如当初我们定义的返回类型不是引用，则 move 的返回值将是 *this 的副本（参见 6.3.2 节，第 201 页），因此调用 set 只能改变临时副本，而不能改变 myScreen 的值。

从 const 成员函数返回*this

接下来，我们继续添加一个名为 display 的操作，它负责打印 Screen 的内容。我们希望这个函数能和 move 以及 set 出现在同一序列中，因此类似于 move 和 set，display 函数也应该返回执行它的对象的引用。

从逻辑上来说，显示一个 Screen 并不需要改变它的内容，因此我们令 display 为一个 const 成员，此时，this 将是一个指向 const 的指针而 *this 是 const 对象。由此推断，display 的返回类型应该是 const Sales_data&。然而，如果真的令 display 返回一个 const 的引用，则我们将不能把 display 嵌入到一组动作的序列中去：

```
Screen myScreen;
// 如果 display 返回常量引用，则调用 set 将引发错误
myScreen.display(cout).set('*');
```

即使 myScreen 是个非常量对象，对 set 的调用也无法通过编译。问题在于 display 的 const 版本返回的是常量引用，而我们显然无权 set 一个常量对象。



一个 const 成员函数如果以引用的形式返回 *this，那么它的返回类型将是常量引用。

基于 const 的重载

通过区分成员函数是否是 const 的，我们可以对其进行重载，其原因与我们之前根据指针参数是否指向 const（参见 6.4 节，第 208 页）而重载函数的原因差不多。具体说

来，因为非常量版本的函数对于常量对象是不可用的，所以我们只能在一个常量对象上调用 `const` 成员函数。另一方面，虽然可以在非常量对象上调用常量版本或非常量版本，但显然此时非常量版本是一个更好的匹配。

在下面的这个例子中，我们将定义一个名为 `do_display` 的私有成员，由它负责打印 `Screen` 的实际工作。所有的 `display` 操作都将调用这个函数，然后返回执行操作的对象：

```
277> class Screen {
public:
    // 根据对象是否是 const 重载了 display 函数
    Screen &display(std::ostream &os)
        { do_display(os); return *this; }
    const Screen &display(std::ostream &os) const
        { do_display(os); return *this; }

private:
    // 该函数负责显示 Screen 的内容
    void do_display(std::ostream &os) const { os << contents; }
    // 其他成员与之前的版本一致
};
```

和我们之前所学的一样，当一个成员调用另外一个成员时，`this` 指针在其中隐式地传递。因此，当 `display` 调用 `do_display` 时，它的 `this` 指针隐式地传递给 `do_display`。而当 `display` 的非常量版本调用 `do_display` 时，它的 `this` 指针将隐式地从指向非常量的指针转换成指向常量的指针（参见 4.11.2 节，第 144 页）。

当 `do_display` 完成后，`display` 函数各自返回解引用 `this` 所得的对象。在非常量版本中，`this` 指向一个非常量对象，因此 `display` 返回一个普通的（非常量）引用；而 `const` 成员则返回一个常量引用。

当我们在某个对象上调用 `display` 时，该对象是否是 `const` 决定了应该调用 `display` 的哪个版本：

```
Screen myScreen(5, 3);
const Screen blank(5, 3);
myScreen.set('#').display(cout);      // 调用非常量版本
blank.display(cout);                 // 调用常量版本
```

建议：对于公共代码使用私有功能函数

有些读者可能会奇怪为什么我们要费力定义一个单独的 `do_display` 函数。毕竟，对 `do_display` 的调用并不比 `do_display` 函数内部所做的操作简单多少。为什么还要这么做呢？实际上我们是出于以下原因的：

- 一个基本的愿望是避免在多处使用同样的代码。
- 我们预期随着类的规模发展，`display` 函数有可能变得更加复杂，此时，把相应的操作写在一处而非两处的作用就比较明显了。
- 我们很可能在开发过程中给 `do_display` 函数添加某些调试信息，而这些信息将在代码的最终产品版本中去掉。显然，只在 `do_display` 一处添加或删除这些信息要更容易一些。

- 这个额外的函数调用不会增加任何开销。因为我们在类内部定义了 `do_display`，所以它隐式地被声明成内联函数。这样的话，调用 `do_display` 就不会带来任何额外的运行时开销。

在实践中，设计良好的 C++ 代码常常包含大量类似于 `do_display` 的小函数，通过调用这些函数，可以完成一组其他函数的“实际”工作。

7.3.2 节练习

练习 7.27：给你自己的 `Screen` 类添加 `move`、`set` 和 `display` 函数，通过执行下面的代码检验你的类是否正确。

```
Screen myScreen(5, 5, 'X');
myScreen.move(4,0).set('#').display(cout);
cout << "\n";
myScreen.display(cout);
cout << "\n";
```

练习 7.28：如果 `move`、`set` 和 `display` 函数的返回类型不是 `Screen&` 而是 `Screen`，则在上一个练习中将会发生什么情况？

练习 7.29：修改你的 `Screen` 类，令 `move`、`set` 和 `display` 函数返回 `Screen` 并检查程序的运行结果，在上一个练习中你的推测正确吗？

练习 7.30：通过 `this` 指针使用成员的做法虽然合法，但是有点多余。讨论显式地使用指针访问成员的优缺点。

7.3.3 类类型

每个类定义了唯一的类型。对于两个类来说，即使它们的成员完全一样，这两个类也是两个不同的类型。例如：

```
struct First {
    int memi;
    int getMem();
};

struct Second {
    int memi;
    int getMem();
};

First obj1;
Second obj2 = obj1;           // 错误：obj1 和 obj2 的类型不同
```

< 278

 Note

即使两个类的成员列表完全一致，它们也是不同的类型。对于一个类来说，它的成员和其他任何类（或者任何其他作用域）的成员都不是一回事儿。

我们可以把类名作为类型的名字使用，从而直接指向类类型。或者，我们也可以把类名跟在关键字 `class` 或 `struct` 后面：

```
Sales_data item1;           // 默认初始化 Sales_data 类型的对象
class Sales_data item1;      // 一条等价的声明
```

上面这两种使用类类型的方式是等价的，其中第二种方式从 C 语言继承而来，并且在 C++ 语言中也是合法的。

类的声明

就像可以把函数的声明和定义分离开来一样（参见 6.1.2 节，第 186 页），我们也能仅声明类而暂时不定义它：

```
class Screen; // Screen 类的声明
```

279 这种声明有时被称作前向声明（forward declaration），它向程序中引入了名字 Screen 并且指明 Screen 是一种类类型。对于类型 Screen 来说，在它声明之后定义之前是一个不完全类型（incomplete type），也就是说，此时我们已知 Screen 是一个类类型，但是不清楚它到底包含哪些成员。

不完全类型只能在非常有限的情景下使用：可以定义指向这种类型的指针或引用，也可以声明（但是不能定义）以不完全类型作为参数或者返回类型的函数。

对于一个类来说，在我们创建它的对象之前该类必须被定义过，而不能仅仅被声明。否则，编译器就无法了解这样的对象需要多少存储空间。类似的，类也必须首先被定义，然后才能用引用或者指针访问其成员。毕竟，如果类尚未定义，编译器也就不清楚该类到底有哪些成员。

在 7.6 节（第 268 页）中我们将描述一种例外的情况：直到类被定义之后数据成员才能被声明成这种类类型。换句话说，我们必须首先完成类的定义，然后编译器才能知道存储该数据成员需要多少空间。因为只有当类全部完成后类才算被定义，所以一个类的成员类型不能是该类自己。然而，一旦一个类的名字出现后，它就被认为是声明过了（但尚未定义），因此类允许包含指向它自身类型的引用或指针：

```
class Link_screen {
    Screen window;
    Link_screen *next;
    Link_screen *prev;
};
```

7.3.3 节练习

练习 7.31： 定义一对类 X 和 Y，其中 X 包含一个指向 Y 的指针，而 Y 包含一个类型为 X 的对象。

7.3.4 友元再探

我们的 Sales_data 类把三个普通的非成员函数定义成了友元（参见 7.2.1 节，第 241 页）。类还可以把其他的类定义成友元，也可以把其他类（之前已定义过的）的成员函数定义成友元。此外，友元函数能定义在类的内部，这样的函数是隐式内联的。

类之间的友元关系

举个友元类的例子，我们的 Window_mgr 类（参见 7.3.1 节，第 245 页）的某些成员可能需要访问它管理的 Screen 类的内部数据。例如，假设我们需要为 Window_mgr 添加一个名为 clear 的成员，它负责把一个指定的 Screen 的内容都设为空白。为了完成这一任务，clear 需要访问 Screen 的私有成员；而要想令这种访问合法，Screen 需要

把 Window_mgr 指定成它的友元:

```
class Screen {
    // Window_mgr 的成员可以访问 Screen 类的私有部分
    friend class Window_mgr;
    // Screen 类的剩余部分
};
```

如果一个类指定了友元类，则友元类的成员函数可以访问此类包括非公有成员在内的所有成员。通过上面的声明，Window_mgr 被指定为 Screen 的友元，因此我们可以将 Window_mgr 的 clear 成员写成如下的形式：

```
class Window_mgr {
public:
    // 窗口中每个屏幕的编号
    using ScreenIndex = std::vector<Screen>::size_type;
    // 按照编号将指定的 Screen 重置为空白
    void clear(ScreenIndex);
private:
    std::vector<Screen> screens{Screen(24, 80, ' ')};
};

void Window_mgr::clear(ScreenIndex i)
{
    // s 是一个 Screen 的引用，指向我们想清空的那个屏幕
    Screen &s = screens[i];
    // 将那个选定的 Screen 重置为空白
    s.contents = string(s.height * s.width, ' ');
}
```

一开始，首先把 s 定义成 screens vector 中第 i 个位置上的 Screen 的引用，随后利用 Screen 的 height 和 width 成员计算出一个新的 string 对象，并令其含有若干个空白字符，最后我们把这个含有很多空白的字符串赋给 contents 成员。

如果 clear 不是 Screen 的友元，上面的代码将无法通过编译，因为此时 clear 将不能访问 Screen 的 height、width 和 contents 成员。而当 Screen 将 Window_mgr 指定为其友元之后，Screen 的所有成员对于 Window_mgr 就都变成可见的了。

必须要注意的一点是，友元关系不存在传递性。也就是说，如果 Window_mgr 有它自己的友元，则这些友元并不能理所当然地具有访问 Screen 的特权。



每个类负责控制自己的友元类或友元函数。

令成员函数作为友元

除了令整个 Window_mgr 作为友元之外，Screen 还可以只为 clear 提供访问权限。当把一个成员函数声明成友元时，我们必须明确指出该成员函数属于哪个类：

```
class Screen {
    // Window_mgr::clear 必须在 Screen 类之前被声明
    friend void Window_mgr::clear(ScreenIndex);
    // Screen 类的剩余部分
};
```

要想令某个成员函数作为友元，我们必须仔细组织程序的结构以满足声明和定义的彼此依赖关系。在这个例子中，我们必须按照如下方式设计程序：

- 首先定义 `Window_mgr` 类，其中声明 `clear` 函数，但是不能定义它。在 `clear` 使用 `Screen` 的成员之前必须先声明 `Screen`。
- 接下来定义 `Screen`，包括对于 `clear` 的友元声明。
- 最后定义 `clear`，此时它才可以使用 `Screen` 的成员。

函数重载和友元

尽管重载函数的名字相同，但它们仍然是不同的函数。因此，如果一个类想把一组重载函数声明成它的友元，它需要对这组函数中的每一个分别声明：

```
// 重载的 storeOn 函数
extern std::ostream& storeOn(std::ostream &, Screen &);
extern BitMap& storeOn(BitMap &, Screen &);

class Screen {
    // storeOn 的 ostream 版本能访问 Screen 对象的私有部分
    friend std::ostream& storeOn(std::ostream &, Screen &);
    // ...
};
```

`Screen` 类把接受 `ostream&` 的 `storeOn` 函数声明成它的友元，但是接受 `BitMap&` 作为参数的版本仍然不能访问 `Screen`。



友元声明和作用域

类和非成员函数的声明不是必须在它们的友元声明之前。当一个名字第一次出现在一个友元声明中时，我们隐式地假定该名字在当前作用域中是可见的。然而，友元本身不一定真的声明在当前作用域中（参见 7.2.1 节，第 241 页）。

甚至就算在类的内部定义该函数，我们也必须在类的外部提供相应的声明从而使得函数可见。换句话说，即使我们仅仅是用声明友元的类的成员调用该友元函数，它也必须是被声明过的：

```
struct X {
    friend void f() { /* 友元函数可以定义在类的内部 */ }
    X() { f(); }                                // 错误：f 还没有被声明
    void g();
    void h();
};

void X::g() { return f(); }                    // 错误：f 还没有被声明
void f();                                     // 声明那个定义在 X 中的函数
void X::h() { return f(); }                    // 正确：现在 f 的声明在作用域中了
```

282 >

关于这段代码最重要的是理解友元声明的作用是影响访问权限，它本身并非普通意义上的声明。



请注意，有的编译器并不强制执行上述关于友元的限定规则（参见 7.2.1 节，第 241 页）。

7.3.4 节练习

练习 7.32: 定义你自己的 Screen 和 Window_mgr，其中 clear 是 Window_mgr 的成员，是 Screen 的友元。

7.4 类的作用域

每个类都会定义它自己的作用域。在类的作用域之外，普通的数据和函数成员只能由对象、引用或者指针使用成员访问运算符（参见 4.6 节，第 133 页）来访问。对于类类型成员则使用作用域运算符访问。不论哪种情况，跟在运算符之后的名字都必须是对应类的成员：

```
Screen::pos ht = 24, wd = 80;           // 使用 Screen 定义的 pos 类型
Screen scr(ht, wd, ' ');
Screen *p = &scr;
char c = scr.get();                   // 访问 scr 对象的 get 成员
c = p->get();                      // 访问 p 所指对象的 get 成员
```

作用域和定义在类外部的成员

一个类就是一个作用域的事实能够很好地解释为什么当我们在类的外部定义成员函数时必须同时提供类名和函数名（参见 7.1.2 节，第 230 页）。在类的外部，成员的名字被隐藏起来了。

一旦遇到了类名，定义的剩余部分就在类的作用域之内了，这里的剩余部分包括参数列表和函数体。结果就是，我们可以直接使用类的其他成员而无须再次授权了。

例如，我们回顾一下 Window_mgr 类的 clear 成员（参见 7.3.4 节，第 251 页），该函数的参数用到了 Window_mgr 类定义的一种类型：

```
void Window_mgr::clear(ScreenIndex i)
{
    Screen &s = screens[i];
    s.contents = string(s.height * s.width, ' ');
}
```

因为编译器在处理参数列表之前已经明确了我们当前正位于 Window_mgr 类的作用域中，所以不必再专门说明 ScreenIndex 是 Window_mgr 类定义的。出于同样的原因，编译器也能知道函数体中用到的 screens 也是在 Window_mgr 类中定义的。 ◀ 283

另一方面，函数的返回类型通常出现在函数名之前。因此当成员函数定义在类的外部时，返回类型中使用的名字都位于类的作用域之外。这时，返回类型必须指明它是哪个类的成员。例如，我们可能向 Window_mgr 类添加一个新的名为 addScreen 的函数，它负责向显示器添加一个新的屏幕。这个成员的返回类型将是 ScreenIndex，用户可以通过它定位到指定的 Screen：

```
class Window_mgr {
public:
    // 向窗口添加一个 Screen，返回它的编号
    ScreenIndex addScreen(const Screen&);
    // 其他成员与之前的版本一致
};

// 首先处理返回类型，之后我们才进入 Window_mgr 的作用域
```

```
Window_mgr::ScreenIndex
Window_mgr::addScreen(const Screen &s)
{
    screens.push_back(s);
    return screens.size() - 1;
}
```

因为返回类型出现在类名之前，所以事实上它是位于 `Window_mgr` 类的作用域之外的。在这种情况下，要想使用 `ScreenIndex` 作为返回类型，我们必须明确指定哪个类定义了它。

7.4 节练习

练习 7.33: 如果我们给 `Screen` 添加一个如下所示的 `size` 成员将发生什么情况？如果出现了问题，请尝试修改它。

```
pos Screen::size() const
{
    return height * width;
}
```



7.4.1 名字查找与类的作用域

在目前为止，我们编写的程序中，**名字查找**（name lookup）（寻找与所用名字最匹配的声明的过程）的过程比较直截了当：

- 首先，在名字所在的块中寻找其声明语句，只考虑在名字的使用之前出现的声明。
- 如果没找到，继续查找外层作用域。
- 如果最终没有找到匹配的声明，则程序报错。

284

对于定义在类内部的成员函数来说，解析其中名字的方式与上述的查找规则有所区别，不过在当前的这个例子中体现得不太明显。类的定义分两步处理：

- 首先，编译成员的声明。
- 直到类全部可见后才编译函数体。



编译器处理完类中的全部声明后才会处理成员函数的定义。

按照这种两阶段的方式处理类可以简化类代码的组织方式。因为成员函数体直到整个类可见后才会被处理，所以它能使用类中定义的任何名字。相反，如果函数的定义和成员的声明被同时处理，那么我们将不得不在成员函数中只使用那些已经出现的名字。

用于类成员声明的名字查找

这种两阶段的处理方式只适用于成员函数中使用的名字。声明中使用的名字，包括返回类型或者参数列表中使用的名字，都必须在使用前确保可见。如果某个成员的声明使用了类中尚未出现的名字，则编译器将会在定义该类的作用域中继续查找。例如：

```
typedef double Money;
string bal;
class Account {
public:
```

```

    Money balance() { return bal; }
private:
    Money bal;
    // ...
};

```

当编译器看到 `balance` 函数的声明语句时，它将在 `Account` 类的范围内寻找对 `Money` 的声明。编译器只考虑 `Account` 中在使用 `Money` 前出现的声明，因为没找到匹配的成员，所以编译器会接着到 `Account` 的外层作用域中查找。在这个例子中，编译器会找到 `Money` 的 `typedef` 语句，该类型被用作 `balance` 函数的返回类型以及数据成员 `bal` 的类型。另一方面，`balance` 函数体在整个类可见后才被处理，因此，该函数的 `return` 语句返回名为 `bal` 的成员，而非外层作用域的 `string` 对象。

类型名要特殊处理

一般来说，内层作用域可以重新定义外层作用域中的名字，即使该名字已经在内层作用域中使用过。然而在类中，如果成员使用了外层作用域中的某个名字，而该名字代表一种类型，则类不能在之后重新定义该名字：

```

typedef double Money;
class Account {
public:
    Money balance() { return bal; } // 使用外层作用域的 Money
private:
    typedef double Money;           // 错误：不能重新定义 Money
    Money bal;
    // ...
};

```

需要特别注意的是，即使 `Account` 中定义的 `Money` 类型与外层作用域一致，上述代码仍然是错误的。

尽管重新定义类型名字是一种错误的行为，但是编译器并不为此负责。一些编译器仍将顺利通过这样的代码，而忽略代码有错的事实。



类型的定义通常出现在类的开始处，这样就能确保所有使用该类型的成员都出现在类名的定义之后。

成员定义中的普通块作用域的名字查找

成员函数中使用的名字按照如下方式解析：

- 首先，在成员函数内查找该名字的声明。和前面一样，只有在函数使用之前出现的声明才被考虑。
- 如果在成员函数内没有找到，则在类内继续查找，这时类的所有成员都可以被考虑。
- 如果类内也没找到该名字的声明，在成员函数定义之前的作用域内继续查找。

一般来说，不建议使用其他成员的名字作为某个成员函数的参数。不过为了更好地解释名字的解析过程，我们不妨在 `dummy_fcn` 函数中暂时违反一下这个约定：

```

// 注意：这段代码仅为了说明而用，不是一段很好的代码
// 通常情况下不建议为参数和成员使用同样的名字
int height;                      // 定义了一个名字，稍后将在 Screen 中使用

```

```

class Screen {
public:
    typedef std::string::size_type pos;
    void dummy_fcn(pos height) {
        cursor = width * height;      // 哪个 height? 是那个参数
    }
private:
    pos cursor = 0;
    pos height = 0, width = 0;
};

```

286

当编译器处理 `dummy_fcn` 中的乘法表达式时，它首先在函数作用域内查找表达式中用到的名字。函数的参数位于函数作用域内，因此 `dummy_fcn` 函数体内用到的名字 `height` 指的是参数声明。

在此例中，`height` 参数隐藏了同名的成员。如果想绕开上面的查找规则，应该将代码变为：

```

// 不建议的写法：成员函数中的名字不应该隐藏同名的成员
void Screen::dummy_fcn(pos height) {
    cursor = width * this->height;           // 成员 height
    // 另外一种表示该成员的方式
    cursor = width * Screen::height;          // 成员 height
}

```



尽管类的成员被隐藏了，但我们仍然可以通过加上类的名字或显式地使用 `this` 指针来强制访问成员。

其实最好的确保我们使用 `height` 成员的方法是给参数起个其他名字：

```

// 建议的写法：不要把成员名字作为参数或其他局部变量使用
void Screen::dummy_fcn(pos ht) {
    cursor = width * height;                 // 成员 height
}

```

在此例中，当编译器查找名字 `height` 时，显然在 `dummy_fcn` 函数内部是找不到的。编译器接着会在 `Screen` 内查找匹配的声明，即使 `height` 的声明出现在 `dummy_fcn` 使用它之后，编译器也能正确地解析函数使用的是名为 `height` 的成员。

类作用域之后，在外围的作用域中查找

如果编译器在函数和类的作用域中都没有找到名字，它将接着在外围的作用域中查找。在我们的例子中，名字 `height` 定义在外层作用域中，且位于 `Screen` 的定义之前。然而，外层作用域中的对象被名为 `height` 的成员隐藏掉了。因此，如果我们需要的是外层作用域中的名字，可以显式地通过作用域运算符来进行请求：

```

// 不建议的写法：不要隐藏外层作用域中可能被用到的名字
void Screen::dummy_fcn(pos height) {
    cursor = width * ::height;                // 哪个 height? 是那个全局的
}

```



尽管外层的对象被隐藏掉了，但我们仍然可以用作用域运算符访问它。

在文件中名字的出现处对其进行解析

<287

当成员定义在类的外部时，名字查找的第三步不仅要考虑类定义之前的全局作用域中的声明，还需要考虑在成员函数定义之前的全局作用域中的声明。例如：

```
int height;                                // 定义了一个名字，稍后将在 Screen 中使用
class Screen {
public:
    typedef std::string::size_type pos;
    void setHeight(pos);
    pos height = 0;                      // 隐藏了外层作用域中的 height
};
Screen::pos verify(Screen::pos);
void Screen::setHeight(pos var) {
    // var: 参数
    // height: 类的成员
    // verify: 全局函数
    height = verify(var);
}
```

请注意，全局函数 `verify` 的声明在 `Screen` 类的定义之前是不可见的。然而，名字查找的第三步包括了成员函数出现之前的全局作用域。在此例中，`verify` 的声明位于 `setHeight` 的定义之前，因此可以被正常使用。

7.4.1 节练习

练习 7.34：如果我们把第 256 页 `Screen` 类的 `pos` 的 `typedef` 放在类的最后一行会有什么情况？

练习 7.35：解释下面代码的含义，说明其中的 `Type` 和 `initVal` 分别使用了哪个定义。如果代码存在错误，尝试修改它。

```
typedef string Type;
Type initVal();
class Exercise {
public:
    typedef double Type;
    Type setVal(Type);
    Type initVal();
private:
    int val;
};
Type Exercise::setVal(Type parm) {
    val = parm + initVal();
    return val;
}
```

7.5 构造函数再探

<288

对于任何 C++ 的类来说，构造函数都是其中重要的组成部分。我们已经在 7.1.4 节（第 235 页）中介绍了构造函数的基础知识，本节将继续介绍构造函数的一些其他功能，并对

之前已经介绍的内容进行一些更深入的讨论。

7.5.1 构造函数初始值列表

当我们定义变量时习惯于立即对其进行初始化，而非先定义、再赋值：

```
string foo = "Hello World!";           // 定义并初始化
string bar;                           // 默认初始化成空 string 对象
bar = "Hello World!";                // 为 bar 赋一个新值
```

就对象的数据成员而言，初始化和赋值也有类似的区别。如果没有在构造函数的初始值列表中显式地初始化成员，则该成员将在构造函数体之前执行默认初始化。例如：

```
// Sales_data 构造函数的一种写法，虽然合法但比较草率：没有使用构造函数初始值
Sales_data::Sales_data(const string &s,
                      unsigned cnt, double price)
{
    bookNo = s;
    units_sold = cnt;
    revenue = cnt * price;
}
```

这段代码和我们在 237 页的原始定义效果是相同的：当构造函数完成后，数据成员的值相同。区别是原来的版本初始化了它的数据成员，而这个版本是对数据成员执行了赋值操作。这一区别到底会有什么深层次的影响完全依赖于数据成员的类型。

构造函数的初始值有时必不可少

有时我们可以忽略数据成员初始化和赋值之间的差异，但并非总能这样。如果成员是 `const` 或者是引用的话，必须将其初始化。类似的，当成员属于某种类类型且该类没有定义默认构造函数时，也必须将这个成员初始化。例如：

```
class ConstRef {
public:
    ConstRef(int ii);
private:
    int i;
    const int ci;
    int &ri;
};
```

[289] 和其他常量对象或者引用一样，成员 `ci` 和 `ri` 都必须被初始化。因此，如果我们没有为它们提供构造函数初始值的话将引发错误：

```
// 错误：ci 和 ri 必须被初始化
ConstRef::ConstRef(int ii)
{ // 赋值：
    i = ii;                     // 正确
    ci = ii;                    // 错误：不能给 const 赋值
    ri = i;                     // 错误：ri 没被初始化
}
```

随着构造函数体一开始执行，初始化就完成了。我们初始化 `const` 或者引用类型的数据成员的唯一机会就是通过构造函数初始值，因此该构造函数的正确形式应该是：

```
// 正确：显式地初始化引用和 const 成员  
ConstRef::ConstRef(int ii): i(ii), ci(ii), ri(i) { }
```



如果成员是 `const`、引用，或者属于某种未提供默认构造函数的类类型，我们必须通过构造函数初始值列表为这些成员提供初值。

建议：使用构造函数初始值

在很多类中，初始化和赋值的区别事关底层效率问题：前者直接初始化数据成员，后者则先初始化再赋值。

除了效率问题外更重要的是，一些数据成员必须被初始化。建议读者养成使用构造函数初始值的习惯，这样能避免某些意想不到的编译错误，特别是遇到有的类含有需要构造函数初始值的成员时。

成员初始化的顺序

显然，在构造函数初始值中每个成员只能出现一次。否则，给同一个成员赋两个不同的初始值有什么意义呢？

不过让人稍感意外的是，构造函数初始值列表只说明用于初始化成员的值，而不限定初始化的具体执行顺序。

成员的初始化顺序与它们在类定义中的出现顺序一致：第一个成员先被初始化，然后第二个，以此类推。构造函数初始值列表中初始值的前后位置关系不会影响实际的初始化顺序。

一般来说，初始化的顺序没什么特别要求。不过如果一个成员是用另一个成员来初始化的，那么这两个成员的初始化顺序就很关键了。

举个例子，考虑下面这个类：

```
class X {  
    int i;  
    int j;  
public:  
    // 未定义的：i 在 j 之前被初始化  
    X(int val): j(val), i(j) { }  
};
```

< 290

在此例中，从构造函数初始值的形式上来看仿佛是先用 `val` 初始化了 `j`，然后再用 `j` 初始化 `i`。实际上，`i` 先被初始化，因此这个初始值的效果是试图使用未定义的值 `j` 初始化 `i`！

有的编译器具备一项比较友好的功能，即当构造函数初始值列表中的数据成员顺序与这些成员声明的顺序不符时会生成一条警告信息。



最好令构造函数初始值的顺序与成员声明的顺序保持一致。而且如果可能的话，尽量避免使用某些成员初始化其他成员。

如果可能的话，最好用构造函数的参数作为成员的初始值，而尽量避免使用同一个对

象的其他成员。这样的好处是我们可以不必考虑成员的初始化顺序。例如，`X` 的构造函数如果写成如下的形式效果会更好：

```
X(int val): i(val), j(val) { }
```

在这个版本中，`i` 和 `j` 初始化的顺序就没什么影响了。

默认实参和构造函数

`Sales_data` 默认构造函数的行为与只接受一个 `string` 实参的构造函数差不多。唯一的区别是接受 `string` 实参的构造函数使用这个实参初始化 `bookNo`，而默认构造函数（隐式地）使用 `string` 的默认构造函数初始化 `bookNo`。我们可以把它们重写成一个使用默认实参（参见 6.5.1 节，第 211 页）的构造函数：

```
class Sales_data {
public:
    // 定义默认构造函数，令其与只接受一个 string 实参的构造函数功能相同
    Sales_data(std::string s = "") : bookNo(s) { }
    // 其他构造函数与之前一致
    Sales_data(std::string s, unsigned cnt, double rev):
        bookNo(s), units_sold(cnt), revenue(rev*cnt) { }
    Sales_data(std::istream &is) { read(is, *this); }
    // 其他成员与之前的版本一致
};
```

在上面这段程序中，类的接口与第 237 页的代码是一样的。当没有给定实参，或者给定了一个 `string` 实参时，两个版本的类创建了相同的对象。因为我们不提供实参也能调用上述的构造函数，所以该构造函数实际上为我们的类提供了默认构造函数。

291



如果一个构造函数为所有参数都提供了默认实参，则它实际上也定义了默认构造函数。

值得注意的是，我们不应该为 `Sales_data` 接受三个实参的构造函数提供默认值。因为如果用户为售出书籍的数量提供了一个非零的值，则我们就会期望用户同时提供这些书籍的售出价格。

7.5.1 节练习

练习 7.36: 下面的初始值是错误的，请找出问题所在并尝试修改它。

```
struct X {
    X (int i, int j): base(i), rem(base % j) { }
    int rem, base;
};
```

练习 7.37: 使用本节提供的 `Sales_data` 类，确定初始化下面的变量时分别使用了哪个构造函数，然后罗列出每个对象所有数据成员的值。

```
Sales_data first_item(cin);
int main() {
    Sales_data next;
    Sales_data last("9-999-99999-9");
}
```

练习 7.38: 有些情况下我们希望提供 `cin` 作为接受 `istream&` 参数的构造函数的默认实参，请声明这样的构造函数。

练习 7.39: 如果接受 `string` 的构造函数和接受 `istream&` 的构造函数都使用默认实参，这种行为合法吗？如果不，为什么？

练习 7.40: 从下面的抽象概念中选择一个（或者你自己指定一个），思考这样的类需要哪些数据成员，提供一组合理的构造函数并阐明这样做的原因。

- | | | |
|-------------|------------|--------------|
| (a) Book | (b) Date | (c) Employee |
| (d) Vehicle | (e) Object | (f) Tree |

7.5.2 委托构造函数

C++11 新标准扩展了构造函数初始值的功能，使得我们可以定义所谓的委托构造函数（delegating constructor）。一个委托构造函数使用它所属类的其他构造函数执行它自己的初始化过程，或者说它把它自己的一些（或者全部）职责委托给了其他构造函数。

和其他构造函数一样，一个委托构造函数也有一个成员初始值的列表和一个函数体。在委托构造函数内，成员初始值列表只有一个唯一的入口，就是类名本身。和其他成员初始值一样，类名后面紧跟圆括号括起来的参数列表，参数列表必须与类中另外一个构造函数匹配。

举个例子，我们使用委托构造函数重写 `Sales_data` 类，重写后的形式如下所示：

```
class Sales_data {
public:
    // 非委托构造函数使用对应的实参初始化成员
    Sales_data(std::string s, unsigned cnt, double price):
        bookNo(s), units_sold(cnt), revenue(cnt*price) { }
    // 其余构造函数全都委托给另一个构造函数
    Sales_data(): Sales_data("", 0, 0) {}
    Sales_data(std::string s): Sales_data(s, 0, 0) {}
    Sales_data(std::istream &is): Sales_data()
        { read(is, *this); }
    // 其他成员与之前的版本一致
};
```

在这个 `Sales_data` 类中，除了一个构造函数外其他的都委托了它们的工作。第一个构造函数接受三个实参，使用这些实参初始化数据成员，然后结束工作。我们定义默认构造函数令其使用三参数的构造函数完成初始化过程，它也无须执行其他任务，这一点从空的构造函数体能看得出来。接受一个 `string` 的构造函数同样委托给了三参数的版本。

接受 `istream&` 的构造函数也是委托构造函数，它委托给了默认构造函数，默认构造函数又接着委托给三参数构造函数。当这些受委托的构造函数执行完后，接着执行 `istream&` 构造函数体的内容。它的构造函数体调用 `read` 函数读取给定的 `istream`。

当一个构造函数委托给另一个构造函数时，受委托的构造函数的初始值列表和函数体被依次执行。在 `Sales_data` 类中，受委托的构造函数体恰好是空的。假如函数体包含有代码的话，将先执行这些代码，然后控制权才会交还给委托者的函数体。

7.5.2 节练习

练习 7.41: 使用委托构造函数重新编写你的 Sales_data 类，给每个构造函数体添加一条语句，令其一旦执行就打印一条信息。用各种可能的方式分别创建 Sales_data 对象，认真研究每次输出的信息直到你确实理解了委托构造函数的执行顺序。

练习 7.42: 对于你在练习 7.40（参见 7.5.1 节，第 261 页）中编写的类，确定哪些构造函数可以使用委托。如果可以的话，编写委托构造函数。如果不可以，从抽象概念列表中重新选择一个你认为可以使用委托构造函数的，为挑选出的这个概念编写类定义。



7.5.3 默认构造函数的作用

293> 当对象被默认初始化或值初始化时自动执行默认构造函数。默认初始化在以下情况下发生：

- 当我们在块作用域内不使用任何初始值定义一个非静态变量（参见 2.2.1 节，第 39 页）或者数组时（参见 3.5.1 节，第 101 页）。
- 当一个类本身含有类类型的成员且使用合成的默认构造函数时（参见 7.1.4 节，第 235 页）。
- 当类类型的成员没有在构造函数初始值列表中显式地初始化时（参见 7.1.4 节，第 237 页）。

值初始化在以下情况下发生：

- 在数组初始化的过程中如果我们提供的初始值数量少于数组的大小时（参见 3.5.1 节，第 101 页）。
- 当我们不使用初始值定义一个局部静态变量时（参见 6.1.1 节，第 185 页）。
- 当我们通过书写形如 `T()` 的表达式显式地请求值初始化时，其中 `T` 是类型名（`vector` 的一个构造函数只接受一个实参用于说明 `vector` 大小（参见 3.3.1 节，第 88 页），它就是使用一个这种形式的实参来对它的元素初始化器进行值初始化）。

类必须包含一个默认构造函数以便在上述情况下使用，其中的大多数情况非常容易判断。

不那么明显的一种情况是类的某些数据成员缺少默认构造函数：

```
class NoDefault {
public:
    NoDefault(const std::string&); // 还有其他成员，但是没有其他构造函数了
};

struct A { // 默认情况下 my_mem 是 public 的（参见 7.2 节，第 240 页）
    NoDefault my_mem;
};

A a; // 错误：不能为 A 合成构造函数

struct B {
    B() {} // 错误：b_member 没有初始值
    NoDefault b_member;
};
```

Best Practices

在实际中，如果定义了其他构造函数，那么最好也提供一个默认构造函数。

使用默认构造函数

< 294

下面的 obj 的声明可以正常编译通过：

```
Sales_data obj(); // 正确：定义了一个函数而非对象
if (obj.isbn() == Primer_5th_ed.isbn()) // 错误：obj 是一个函数
```

但当我们试图使用 obj 时，编译器将报错，提示我们不能对函数使用成员访问运算符。问题在于，尽管我们想声明一个默认初始化的对象，obj 实际的含义却是一个不接受任何参数的函数并且其返回值是 Sales_data 类型的对象。

如果想定义一个使用默认构造函数进行初始化的对象，正确的方法是去掉对象名之后的空的括号对：

```
// 正确：obj 是个默认初始化的对象
Sales_data obj;
```



WARNING

对于 C++ 的新手程序员来说有一种常犯的错误，它们试图以如下的形式声明一个用默认构造函数初始化的对象：

Sales_data obj();	// 错误：声明了一个函数而非对象
Sales_data obj2;	// 正确：obj2 是一个对象而非函数

7.5.3 节练习

练习 7.43：假定有一个名为 NoDefault 的类，它有一个接受 int 的构造函数，但是没有默认构造函数。定义类 C，C 有一个 NoDefault 类型的成员，定义 C 的默认构造函数。

练习 7.44：下面这条声明合法吗？如果不，为什么？

```
vector<NoDefault> vec(10);
```

练习 7.45：如果在上一个练习中定义的 vector 的元素类型是 C，则声明合法吗？为什么？

练习 7.46：下面哪些论断是不正确的？为什么？

- (a) 一个类必须至少提供一个构造函数。
- (b) 默认构造函数是参数列表为空的构造函数。
- (c) 如果对于类来说不存在有意义的默认值，则类不应该提供默认构造函数。
- (d) 如果类没有定义默认构造函数，则编译器将为其生成一个并把每个数据成员初始化成相应类型的默认值。

7.5.4 隐式的类类型转换



4.11 节（第 141 页）曾经介绍过 C++ 语言在内置类型之间定义了几种自动转换规则。同样的，我们也能为类定义隐式转换规则。如果构造函数只接受一个实参，则它实际上定义了转换为此类类型的隐式转换机制，有时我们把这个构造函数称作转换构造函数 (converting constructor)。我们将在 14.9 节（第 514 页）介绍如何定义将一种类类型转换为另一种类类型的转换规则。

< 295



能通过一个实参调用的构造函数定义了一条从构造函数的参数类型向类类型隐式转换的规则。

在 Sales_data 类中，接受 string 的构造函数和接受 istream 的构造函数分别定义了从这两种类型向 Sales_data 隐式转换的规则。也就是说，在需要使用 Sales_data 的地方，我们可以使用 string 或者 istream 作为替代：

```
string null_book = "9-999-99999-9";
// 构造一个临时的 Sales_data 对象
// 该对象的 units_sold 和 revenue 等于 0, bookNo 等于 null_book
item.combine(null_book);
```

在这里我们用一个 string 实参调用了 Sales_data 的 combine 成员。该调用是合法的，编译器用给定的 string 自动创建了一个 Sales_data 对象。新生成的这个（临时）Sales_data 对象被传递给 combine。因为 combine 的参数是一个常量引用，所以我们可以给该参数传递一个临时量。

只允许一步类类型转换

在 4.11.2 节（第 143 页）中我们指出，编译器只会自动地执行一步类型转换。例如，因为下面的代码隐式地使用了两种转换规则，所以它是错误的：

```
// 错误：需要用户定义的两种转换：
// (1) 把 “9-999-99999-9” 转换成 string
// (2) 再把这个（临时的）string 转换成 Sales_data
item.combine("9-999-99999-9");
```

如果我们想完成上述调用，可以显式地把字符串转换成 string 或者 Sales_data 对象：

```
// 正确：显式地转换成 string，隐式地转换成 Sales_data
item.combine(string("9-999-99999-9"));
// 正确：隐式地转换成 string，显式地转换成 Sales_data
item.combine(Sales_data("9-999-99999-9"));
```

类类型转换不是总有效

是否需要从 string 到 Sales_data 的转换依赖于我们对用户使用该转换的看法。在此例中，这种转换可能是对的。null_book 中的 string 可能表示了一个不存在的 ISBN 编号。

另一个是从 istream 到 Sales_data 的转换：

```
// 使用 istream 构造函数创建一个函数传递给 combine
item.combine(cin);
```

这段代码隐式地把 cin 转换成 Sales_data，这个转换执行了接受一个 istream 的 Sales_data 构造函数。该构造函数通过读取标准输入创建了一个（临时的）Sales_data 对象，随后将得到的对象传递给 combine。

296>

Sales_data 对象是个临时量（参见 2.4.1 节，第 54 页），一旦 combine 完成我们就不能再访问它了。实际上，我们构建了一个对象，先将它的值加到 item 中，随后将其丢弃。

抑制构造函数定义的隐式转换

在要求隐式转换的程序上下文中，我们可以通过将构造函数声明为 **explicit** 加以阻止：

```
class Sales_data {
public:
    Sales_data() = default;
    Sales_data(const std::string &s, unsigned n, double p):
        bookNo(s), units_sold(n), revenue(p*n) { }
    explicit Sales_data(const std::string &s): bookNo(s) { }
    explicit Sales_data(std::istream&); // 其他成员与之前的版本一致
};
```

此时，没有任何构造函数能用于隐式地创建 `Sales_data` 对象，之前的两种用法都无法通过编译：

```
item.combine(null_book); // 错误：string 构造函数是 explicit 的
item.combine(cin); // 错误：istream 构造函数是 explicit 的
```

关键字 `explicit` 只对一个实参的构造函数有效。需要多个实参的构造函数不能用于执行隐式转换，所以无须将这些构造函数指定为 `explicit` 的。只能在类内声明构造函数时使用 `explicit` 关键字，在类外部定义时不应重复：

```
// 错误：explicit 关键字只允许出现在类内的构造函数声明处
explicit Sales_data::Sales_data(istream& is)
{
    read(is, *this);
}
```

`explicit` 构造函数只能用于直接初始化

发生隐式转换的一种情况是当我们执行拷贝形式的初始化时（使用`=`）（参见 3.2.1 节，第 76 页）。此时，我们只能使用直接初始化而不能使用 `explicit` 构造函数：

```
Sales_data item1(null_book); // 正确：直接初始化
// 错误：不能将 explicit 构造函数用于拷贝形式的初始化过程
Sales_data item2 = null_book;
```

 当我们用 `explicit` 关键字声明构造函数时，它将只能以直接初始化的形式使用（参见 3.2.1 节，第 76 页）。而且，编译器将不会在自动转换过程中使用该构造函数。

为转换显式地使用构造函数

<297

尽管编译器不会将 `explicit` 的构造函数用于隐式转换过程，但是我们可以使用这样的构造函数显式地强制进行转换：

```
// 正确：实参是一个显式构造的 Sales_data 对象
item.combine(Sales_data(null_book));
// 正确：static_cast 可以使用 explicit 的构造函数
item.combine(static_cast<Sales_data>(cin));
```

在第一个调用中，我们直接使用 `Sales_data` 的构造函数，该调用通过接受 `string` 的

构造函数创建了一个临时的 `Sales_data` 对象。在第二个调用中，我们使用 `static_cast`（参见 4.11.3 节，第 145 页）执行了显式的而非隐式的转换。其中，`static_cast` 使用 `istream` 构造函数创建了一个临时的 `Sales_data` 对象。

标准库中含有显式构造函数的类

我们用过的一些标准库中的类含有单参数的构造函数：

- 接受一个单参数的 `const char*` 的 `string` 构造函数（参见 3.2.1 节，第 76 页）不是 `explicit` 的。
- 接受一个容量参数的 `vector` 构造函数（参见 3.3.1 节，第 87 页）是 `explicit` 的。

7.5.4 节练习

练习 7.47: 说明接受一个 `string` 参数的 `Sales_data` 构造函数是否应该是 `explicit` 的，并解释这样做的优缺点。

练习 7.48: 假定 `Sales_data` 的构造函数不是 `explicit` 的，则下述定义将执行什么样的操作？

```
string null_isbn("9-999-99999-9");
Sales_data item1(null_isbn);
Sales_data item2("9-999-99999-9");
```

如果 `Sales_data` 的构造函数是 `explicit` 的，又会发生什么呢？

练习 7.49: 对于 `combine` 函数的三种不同声明，当我们调用 `i.combine(s)` 时分别发生什么情况？其中 `i` 是一个 `Sales_data`，而 `s` 是一个 `string` 对象。

- (a) `Sales_data &combine(Sales_data);`
- (b) `Sales_data &combine(Sales_data&);`
- (c) `Sales_data &combine(const Sales_data&) const;`

练习 7.50: 确定在你的 `Person` 类中是否有一些构造函数应该是 `explicit` 的。

练习 7.51: `vector` 将其单参数的构造函数定义成 `explicit` 的，而 `string` 则不是，你觉得原因何在？



7.5.5 聚合类

298 聚合类（aggregate class）使得用户可以直接访问其成员，并且具有特殊的初始化语法形式。当一个类满足如下条件时，我们说它是聚合的：

- 所有成员都是 `public` 的。
- 没有定义任何构造函数。
- 没有类内初始值（参见 2.6.1 节，第 64 页）。
- 没有基类，也没有 `virtual` 函数，关于这部分知识我们将在第 15 章详细介绍。

例如，下面的类是一个聚合类：

```
struct Data {
    int ival;
    string s;
};
```

我们可以提供一个花括号括起来的成员初始值列表，并用它初始化聚合类的数据成员：

```
// val1.ival = 0; val1.s = string("Anna")
Data val1 = { 0, "Anna" };
```

初始值的顺序必须与声明的顺序一致，也就是说，第一个成员的初始值要放在第一个，然后是第二个，以此类推。下面的例子是错误的：

```
// 错误：不能使用"Anna"初始化 ival，也不能使用 1024 初始化 s
Data val2 = { "Anna" , 1024 };
```

与初始化数组元素的规则（参见 3.5.1 节，第 101 页）一样，如果初始值列表中的元素个数少于类的成员数量，则靠后的成员被值初始化（参见 3.5.1 节，第 101 页）。初始值列表的元素个数绝对不能超过类的成员数量。

值得注意的是，显式地初始化类的对象存在三个明显的缺点：

- 要求类的所有成员都是 `public` 的。
- 将正确初始化每个对象的每个成员的重任交给了类的用户（而非类的作者）。因为用户很容易忘掉某个初始值，或者提供一个不恰当的初始值，所以这样的初始化过程冗长乏味且容易出错。
- 添加或删除一个成员之后，所有的初始化语句都需要更新。

7.5.5 节练习

◀ 299

练习 7.52： 使用 2.6.1 节（第 64 页）的 `Sales_data` 类，解释下面的初始化过程。如果存在问题，尝试修改它。

```
Sales_data item = {"978-0590353403", 25, 15.99};
```

7.5.6 字面值常量类



在 6.5.2 节（第 214 页）中我们提到过 `constexpr` 函数的参数和返回值必须是字面值类型。除了算术类型、引用和指针外，某些类也是字面值类型。和其他类不同，字面值类型的类可能含有 `constexpr` 函数成员。这样的成员必须符合 `constexpr` 函数的所有要求，它们是隐式 `const` 的（参见 7.1.2 节，第 231 页）。

数据成员都是字面值类型的聚合类（参见 7.5.5 节，第 266 页）是字面值常量类。如果一个类不是聚合类，但它符合下述要求，则它也是一个字面值常量类：

- 数据成员都必须是字面值类型。
- 类必须至少含有一个 `constexpr` 构造函数。
- 如果一个数据成员含有类内初始值，则内置类型成员的初始值必须是一条常量表达式（参见 2.4.4 节，第 58 页）；或者如果成员属于某种类类型，则初始值必须使用成员自己的 `constexpr` 构造函数。
- 类必须使用析构函数的默认定义，该成员负责销毁类的对象（参见 7.1.5 节，第 239 页）。

`constexpr` 构造函数

尽管构造函数不能是 `const` 的（参见 7.1.4 节，第 235 页），但是字面值常量类的构造函数可以是 `constexpr`（参见 6.5.2 节，第 213 页）函数。事实上，一个字面值常量类必须至少提供一个 `constexpr` 构造函数。

C++ 11 constexpr 构造函数可以声明成 = default (参见 7.1.4 节, 第 237 页) 的形式 (或者是删除函数的形式, 我们将在 13.1.6 节 (第 449 页) 介绍相关知识)。否则, constexpr 构造函数就必须既符合构造函数的要求 (意味着不能包含返回语句), 又符合 constexpr 函数的要求 (意味着它能拥有的唯一可执行语句就是返回语句 (参见 6.5.2 节, 第 214 页))。综合这两点可知, constexpr 构造函数体一般来说应该是空的。我们通过前置关键字 constexpr 就可以声明一个 constexpr 构造函数了:

```
300> class Debug {
public:
    constexpr Debug(bool b = true): hw(b), io(b), other(b) { }
    constexpr Debug(bool h, bool i, bool o):
        hw(h), io(i), other(o) { }
    constexpr bool any() { return hw || io || other; }
    void set_io(bool b) { io = b; }
    void set_hw(bool b) { hw = b; }
    void set_other(bool b) { other = b; }
private:
    bool hw;                                // 硬件错误, 而非 IO 错误
    bool io;                                 // IO 错误
    bool other;                             // 其他错误
};
```

constexpr 构造函数必须初始化所有数据成员, 初始值或者使用 constexpr 构造函数, 或者是一条常量表达式。

constexpr 构造函数用于生成 constexpr 对象以及 constexpr 函数的参数或返回类型:

```
constexpr Debug io_sub(false, true, false);           // 调试 IO
if (io_sub.any())                                     // 等价于 if(true)
    cerr << "print appropriate error messages" << endl;
constexpr Debug prod(false);                          // 无调试
if (prod.any())                                      // 等价于 if(false)
    cerr << "print an error message" << endl;
```

7.5.6 节练习

练习 7.53: 定义你自己的 Debug。

练习 7.54: Debug 中以 set_ 开头的成员应该被声明成 constexpr 吗? 如果不, 为什么?

练习 7.55: 7.5.5 节 (第 266 页) 的 Data 类是字面值常量类吗? 请解释原因。

7.6 类的静态成员

有的时候类需要它的一些成员与类本身直接相关, 而不是与类的各个对象保持关联。例如, 一个银行账户类可能需要一个数据成员来表示当前的基准利率。在此例中, 我们希望利率与类关联, 而非与类的每个对象关联。从实现效率的角度来看, 没必要每个对象都存储利率信息。而且更加重要的是, 一旦利率浮动, 我们希望所有的对象都能使用新值。

声明静态成员

我们通过在成员的声明之前加上关键字 `static` 使得其与类关联在一起。和其他成员一样，静态成员可以是 `public` 的或 `private` 的。静态数据成员的类型可以是常量、引用、指针、类类型等。

举个例子，我们定义一个类，用它表示银行的账户记录：

<301>

```
class Account {
public:
    void calculate() { amount += amount * interestRate; }
    static double rate() { return interestRate; }
    static void rate(double);
private:
    std::string owner;
    double amount;
    static double interestRate;
    static double initRate();
};
```

类的静态成员存在于任何对象之外，对象中不包含任何与静态数据成员有关的数据。因此，每个 `Account` 对象将包含两个数据成员：`owner` 和 `amount`。只存在一个 `interestRate` 对象而且它被所有 `Account` 对象共享。

类似的，静态成员函数也不与任何对象绑定在一起，它们不包含 `this` 指针。作为结果，静态成员函数不能声明成 `const` 的，而且我们也不能在 `static` 函数体内使用 `this` 指针。这一限制既适用于 `this` 的显式使用，也对调用非静态成员的隐式使用有效。

使用类的静态成员

我们使用作用域运算符直接访问静态成员：

```
double r;
r = Account::rate(); // 使用作用域运算符访问静态成员
```

虽然静态成员不属于类的某个对象，但是我们仍然可以使用类的对象、引用或者指针来访问静态成员：

```
Account ac1;
Account *ac2 = &ac1;
// 调用静态成员函数 rate 的等价形式
r = ac1.rate(); // 通过 Account 的对象或引用
r = ac2->rate(); // 通过指向 Account 对象的指针
```

成员函数不用通过作用域运算符就能直接使用静态成员：

```
class Account {
public:
    void calculate() { amount += amount * interestRate; }
private:
    static double interestRate;
    // 其他成员与之前的版本一致
};
```

302 定义静态成员

和其他的成员函数一样，我们既可以在类的内部也可以在类的外部定义静态成员函数。当在类的外部定义静态成员时，不能重复 `static` 关键字，该关键字只出现在类内部的声明语句：

```
void Account::rate(double newRate)
{
    interestRate = newRate;
}
```



和类的所有成员一样，当我们指向类外部的静态成员时，必须指明成员所属的类名。`static` 关键字则只出现在类内部的声明语句中。

因为静态数据成员不属于类的任何一个对象，所以它们并不是在创建类的对象时被定义的。这意味着它们不是由类的构造函数初始化的。而且一般来说，我们不能在类的内部初始化静态成员。相反的，必须在类的外部定义和初始化每个静态成员。和其他对象一样，一个静态数据成员只能定义一次。

类似于全局变量（参见 6.1.1 节，第 184 页），静态数据成员定义在任何函数之外。因此一旦它被定义，就将一直存在于程序的整个生命周期中。

我们定义静态数据成员的方式和在类的外部定义成员函数差不多。我们需要指定对象的类型名，然后是类名、作用域运算符以及成员自己的名字：

```
// 定义并初始化一个静态成员
double Account::interestRate = initRate();
```

这条语句定义了名为 `interestRate` 的对象，该对象是类 `Account` 的静态成员，其类型是 `double`。从类名开始，这条定义语句的剩余部分就都位于类的作用域之内了。因此，我们可以直接使用 `initRate` 函数。注意，虽然 `initRate` 是私有的，我们也能用它初始化 `interestRate`。和其他成员的定义一样，`interestRate` 的定义也可以访问类的私有成员。



要想确保对象只定义一次，最好的办法是把静态数据成员的定义与其他非内联函数的定义放在同一个文件中。

静态成员的类内初始化

通常情况下，类的静态成员不应该在类的内部初始化。然而，我们可以为静态成员提供 `const` 整数类型的类内初始值，不过要求静态成员必须是字面值常量类型的 `constexpr`（参见 7.5.6 节，第 267 页）。初始值必须是常量表达式，因为这些成员本身就是常量表达式，所以它们能用在所有适合于常量表达式的地方。例如，我们可以用一个初始化了的静态数据成员指定数组成员的维度：

```
class Account {
public:
    static double rate() { return interestRate; }
    static void rate(double);
private:
```

303

```

static constexpr int period = 30;      // period 是常量表达式
double daily_tbl[period];
};

```

如果某个静态成员的应用场景仅限于编译器可以替换它的值的情况，则一个初始化的 `const` 或 `constexpr static` 不需要分别定义。相反，如果我们将它用于值不能替换的场景中，则该成员必须有一条定义语句。

例如，如果 `period` 的唯一用途就是定义 `daily_tbl` 的维度，则不需要在 `Account` 外面专门定义 `period`。此时，如果我们忽略了这条定义，那么对程序非常微小的改动也可能造成编译错误，因为程序找不到该成员的定义语句。举个例子，当需要把 `Account::period` 传递给一个接受 `const int&` 的函数时，必须定义 `period`。

如果在类的内部提供了一个初始值，则成员的定义不能再指定一个初始值了：

```

// 一个不带初始值的静态成员的定义
constexpr int Account::period;           // 初始值在类的定义内提供

```



即使一个常量静态数据成员在类内部被初始化了，通常情况下也应该在类的外部定义一下该成员。

静态成员能用于某些场景，而普通成员不能

如我们所见，静态成员独立于任何对象。因此，在某些非静态数据成员可能非法的场合，静态成员却可以正常地使用。举个例子，静态数据成员可以是不完全类型（参见 7.3.3 节，第 249 页）。特别的，静态数据成员的类型可以就是它所属的类类型。而非静态数据成员则受到限制，只能声明成它所属类的指针或引用：

```

class Bar {
public:
    // ...
private:
    static Bar mem1;                // 正确：静态成员可以是不完全类型
    Bar *mem2;                     // 正确：指针成员可以是不完全类型
    Bar mem3;                      // 错误：数据成员必须是完全类型
};

```

静态成员和普通成员的另外一个区别是我们可以使用静态成员作为默认实参（参见 6.5.1 <304> 节，第 211 页）：

```

class Screen {
public:
    // bkground 表示一个在类中稍后定义的静态成员
    Screen& clear(char = bkground);
private:
    static const char bkground;
};

```

非静态数据成员不能作为默认实参，因为它的值本身属于对象的一部分，这么做的结果是无法真正提供一个对象以便从中获取成员的值，最终将引发错误。

7.6 节练习

练习 7.56：什么是类的静态成员？它有何优点？静态成员与普通成员有何区别？

练习 7.57：编写你自己的 Account 类。

练习 7.58：下面的静态数据成员的声明和定义有错误吗？请解释原因。

```
// example.h
class Example {
public:
    static double rate = 6.5;
    static const int vecSize = 20;
    static vector<double> vec(vecSize);
};

// example.C
#include "example.h"
double Example::rate;
vector<double> Example::vec;
```

小结

< 305

类是 C++ 语言中最基本的特性。类允许我们为自己的应用定义新类型，从而使得程序更加简洁且易于修改。

类有两项基本能力：一是数据抽象，即定义数据成员和函数成员的能力；二是封装，即保护类的成员不被随意访问的能力。通过将类的实现细节设为 `private`，我们就能完成类的封装。类可以将其他类或者函数设为友元，这样它们就能访问类的非公有成员了。

类可以定义一种特殊的成员函数：构造函数，其作用是控制初始化对象的方式。构造函数可以重载，构造函数应该使用构造函数初始值列表来初始化所有数据成员。

类还能定义可变或者静态成员。一个可变成员永远都不会是 `const`，即使在 `const` 成员函数内也能修改它的值；一个静态成员可以是函数也可以是数据，静态成员存在于所有对象之外。

术语表

抽象数据类型 (abstract data type) 封装（隐藏）了实现细节的数据结构。

访问说明符 (access specifier) 包括关键字 `public` 和 `private`。用于定义成员对类的用户可见还是只对类的友元和成员可见。在类中说明符可以出现多次，每个说明符的有效范围从它自身开始，到下一个说明符为止。

聚合类 (aggregate class) 只含有公有成员的类，并且没有类内初始值或者构造函数。聚合类的成员可以用花括号括起来的初始值列表进行初始化。

类 (class) C++ 提供的自定义数据类型的机制。类可以包含数据、函数和类型成员。一个类定义一种新的类型和一个新的作用域。

类的声明 (class declaration) 首先是关键字 `class`（或者 `struct`），随后是类名以及分号。如果类已经声明而尚未定义，则它是一个不完全类型。

class 关键字 (class keyword) 用于定义类的关键字，默认情况下成员是 `private` 的。

类的作用域 (class scope) 每个类定义一个作用域。类作用域比其他作用域更加复

杂，类中定义的成员函数甚至有可能使用定义语句之后的名字。

常量成员函数 (const member function) 一个成员函数，在其中不能修改对象的普通（即既不是 `static` 也不是 `mutable`）数据成员。`const` 成员的 `this` 指针是指向常量的指针，通过区分函数是否是 `const` 可以进行重载。

构造函数 (constructor) 用于初始化对象的一种特殊的成员函数。构造函数应该给每个数据成员都赋一个合适的初始值。

构造函数初始值列表 (constructor initializer list) 说明一个类的数据成员的初始值，在构造函数体执行之前首先用初始值列表中的值初始化数据成员。未经初始值列表初始化的成员将被默认初始化。

转换构造函数 (converting constructor) 可以用一个实参调用的非显式构造函数。这样的函数隐式地将参数类型转换成类类型。

数据抽象 (data abstraction) 着重关注类型接口的一种编程技术。数据抽象令程序员可以忽略类型的实现细节，只关注类型执行的操作即可。数据抽象是面向对象编程和泛型编程的基础。

< 306

默认构造函数 (default constructor) 当没有提供任何实参时使用的构造函数。

委托构造函数 (delegating constructor) 委托构造函数的初始值列表只有一个入口，指定类的另一个构造函数执行初始化操作。

封装 (encapsulation) 分离类的实现与接口，从而隐藏了类的实现细节。在 C++ 语言中，通过把实现部分设为 `private` 完成封装的任务。

显式构造函数 (explicit constructor) 可以用一个单独的实参调用但是不能用于隐式转换的构造函数。通过在构造函数的声明之前加上 `explicit` 关键字就可以将其声明成显式构造函数。

前向声明 (forward declaration) 对尚未定义的名字的声明，通常用于表示位于类定义之前的类声明。参见“不完全类型”。

友元 (friend) 类向外部提供其非公有成员访问权限的一种机制。友元的访问权限与成员函数一样。友元可以是类，也可以是函数。

实现 (implementation) 类的成员（通常是私有的），定义了不希望为使用类类型的代码所用的数据及任何操作。

不完全类型 (incomplete type) 已经声明但是尚未定义的类型。不完全类型不能用于定义变量或者类的成员，但是用不完全类型定义指针或者引用是合法的。

接口 (interface) 类型提供的（公有）操作。通常情况下，接口不包含数据成员。

成员函数 (member function) 类的函数成员。普通的成员函数通过隐式的 `this` 指针与类的对象绑定在一起；静态成员函数不与对象绑定在一起也没有 `this` 指针。

成员函数可以重载，此时隐式的 `this` 指针参与函数匹配的过程。

可变数据成员 (mutable data member) 这种成员永远不是 `const`，即使它属于 `const` 对象。在 `const` 函数内可以修改可变数据成员。

名字查找 (name lookup) 根据名字的使用寻找匹配的声明的过程。

私有成员 (private member) 定义在 `private` 访问说明符之后的成员，只能被类的友元或者类的其他成员访问。数据成员以及仅供类本身使用而不作为接口的功能函数一般设为 `private`。

公有成员 (public member) 定义在 `public` 访问说明符之后的成员，可以被类的所有用户访问。通常情况下，只有实现类的接口的函数才被设为 `public`。

struct 关键字 (struct keyword) 用于定义类的关键字，默认情况下成员是 `public` 的。

合成默认构造函数 (synthesized default constructor) 对于没有显式地定义任何构造函数的类，编译器为其创建（合成）的默认构造函数。该构造函数检查类的数据成员，如果提供了类内初始值，就用它执行初始化操作；否则就对数据成员执行默认初始化。

this 指针 (this pointer) 是一个隐式的值，作为额外的实参传递给类的每个非静态成员函数。`this` 指针指向代表函数调用者的对象。

= default 一种语法形式，位于类内部默认构造函数声明语句的参数列表之后，要求编译器生成构造函数，而不管类是否已经有了其他构造函数。

第 II 部分

C++ 标准库

内容

第 8 章 IO 库.....	277
第 9 章 顺序容器.....	291
第 10 章 泛型算法	335
第 11 章 关联容器.....	373
第 12 章 动态内存	399

随着 C++ 版本的一次次修订，标准库也在不断成长。确实，新的 C++ 标准中有三分之二的文本都用来描述标准库。虽然我们不能深入讨论所有标准库设施，但有些核心库设施是每个 C++ 程序员都应该熟练掌握的，第二部分将介绍这些内容。

我们首先在第 8 章中介绍基本的 IO 库设施。除了使用标准库读写与控制台窗口相关的流之外，我们还将学习其他一些库类型，可以帮助我们读写命名文件以及完成到 `string` 对象的内存 IO 操作。

标准库的核心是很多容器类和一族泛型算法，这些设施能帮助我们编写简洁高效的程序。标准库会去关注那些簿记操作的细节，特别是内存管理，这样我们的程序就可以将全部注意力投入到需要求解的问题上。

我们在第 3 章中已经介绍了容器类型 `vector`，在第 9 章中将介绍更多 `vector` 相关的内容，这一章也会涉及其他顺序容器。我们还会介绍更多 `string` 类型所支持的操作，可以将 `string` 看作一种只包含字符元素的特殊容器。`string` 支持很多容器操作，但并不是全部。

第 10 章介绍泛型算法。这类算法通常在顺序容器一定范围内的元素上或其他类型的序列上进行操作。算法库为各种经典算法提供了高效的实现，如排序和搜索算法，还提供了其他一些常用操作。例如，标准库提供了 `copy` 算法，完成一个序列到另一个序列的元素拷贝；还提供了 `find` 算法，实现给定元素的查找，等等。泛型算法的通用性体现在两个层面：可应用于不同类型的序列；对序列中元素的类型限制小，大多数类型都是允许的。