

第十二章 工具与技术

1 命名空间

- 定义命名空间
- 使用命名空间

2 异常处理

- 抛出异常
- 检测异常
- 捕获异常
- 使用标准库异常类

3 多重继承与虚继承

- 多重继承
- 虚继承

4 嵌套类

- 二维数组类
- 通用计算器

5 运行时类型识别

- `dynamic_cast` 运算符
- `typeid` 运算符

6 union 类型

- 定义 union 类型
- 使用 union 类型

7 标准库特殊工具

- tuple 类型
- bitset 类型
- 日期和时间

学习目标

- ① 理解并掌握命名空间的使用方法；
- ② 掌握异常处理的使用方法；
- ③ 理解和使用多重继承以及虚继承；
- ④ 了解嵌套类和运行时类型识别的使用方法；
- ⑤ 学会使用标准库中一些特殊工具，包括 tuple 类型、bitset 类型以及对日期和时间的处理。

12.1 命名空间

将大量由于共同开发等原因使用的全局名字引入到同一作用域时，不可避免会产生命名冲突，例如：

定义相同名称的不同函数

```
//Foo.h
int doSomething(int x, int y) {
    return x * y;
}

//Goo.h
int doSomething(int x, int y) {
    return x + y;
}

//main.cpp
#include "Foo.h"
#include "Goo.h"
int main() {
    int x = doSomething(2, 1); //错误: doSomething已经被定义
}
```

说明

- 用户先在不同头文件里定义了同名的 doSomething 函数
- main.cpp 文件中的代码在引用了均包含 doSomething 函数的不同头文件后，试图调用 doSomething，引发编译错误

12.1 命名空间——定义命名空间

命名空间

命名空间可以将全局作用域内有效的类名、函数名或对象名组织到一个名字下面。即将全局作用域分割为子作用域，每个子域称为一个命名空间。

命名空间示例

```
//Foo.h
namespace Foo {
    int doSomething(int x, int y);
    class X{ /*...*/ };
}
```

说明

- 定义以关键字 `namespace` 开始，后面跟命名空间的名字
- 主体由一对花括号括起来的声明和定义组成
- 左侧代码定义了一个名为 `Foo` 的命名空间，该命名空间包括两个成员：一个函数和一个类

12.1 命名空间——定义命名空间

一个命名空间是可以不连续的。通常情况下，将命名空间成员声明放到头文件中，实现放在源文件，从而达到接口和实现分离的目的。例如：

命名空间示例

```
//Foo.h
namespace Foo {
    int doSomething(int x, int y);
    class X{ /*...*/ };
}

//Foo.cpp
namespace Foo {
    X g_x;
    int doSomething(int x, int y) { /*...*/ }
}
```

说明

- 已经在头文件 Foo.h 中定义了命名空间 Foo
- Foo.cpp 源文件中，打开命名空间 Foo，同时为它新增成员 g_x 以及函数 doSomething 的实现

12.1 命名空间——定义命名空间

在命名空间外部访问它内部的成员时，必须要明确指出成员所属的命名空间：

外部访问命名空间

```
int x = Foo::doSomething(2, 1);
```

说明

- 调用命名空间 Foo 中的成员 doSomething

12.1 命名空间——定义命名空间

在命名空间外部访问它内部的成员时，必须要明确指出成员所属的命名空间：

外部访问命名空间

```
int x = Foo::doSomething(2, 1);
```

说明

- 调用命名空间 Foo 中的成员 doSomething

提示

一个命名空间可以定义在全局作用域内，也可以定义在其它命名空间内，但不能定义在函数或类的内部。

12.1 命名空间——定义命名空间

命名空间的嵌套

在一个命名空间内部定义另外一个命名空间

命名空间的嵌套示例

```
namespace Wang {  
    namespace Goo {  
        int doSomething(int x, int y);  
    }  
    namespace Boo {  
        class Y { /*...*/ };  
    }  
}
```

嵌套命名空间的访问

```
int x = Wang::Goo::doSomething(2, 1);
```

说明

- 上面的代码在命名空间 Wang 的内部分别定义了另外两个命名空间：Goo 和 Boo
- 要访问内层命名空间的名字，必须要使用嵌套的命名空间名字

12.1 命名空间——定义命名空间 *

C++11 标准新增**内联命名空间 (inline namespace)**，用来指示命名空间中的名称可以在**外层命名空间中直接使用**。当一个程序的新版本发布时，我们使用内联命名空间，例如：

内联命名空间示例

```
namespace FirstVersion {  
    void fun(int);  
}  
  
inline namespace SecondVersion {  
    void fun(int);  
    void fun(double);  
}  
  
FirstVersion::fun(1); //调用早期版本fun函数  
fun(1); //调用当前版本fun函数  
fun(1.0); //调用当前版本中新增的fun 函数
```

说明

- inline 必须出现在一个命名空间首次定义的地方
- SecondVersion 是内联的，因此它的成员可以在外层作用域直接访问
- 如果要访问早期版本（非内联）的成员，则必须要指明所属的版本名字

12.1 命名空间——定义命名空间

定义在全局作用域中的名字也是定义在**全局命名空间**中的。我们可以直接使用**作用域操作符**访问全局命名空间的成员：

访问全局命名空间成员

```
::member_name
```

说明

全局命名空间是隐式声明的，每个文件将全局作用域内定义的名字添加到全局命名空间中。

12.1 命名空间——使用命名空间

为了简化如下的繁琐的命名空间成员的访问方式，我们可以使用 **using 声明** (using declaration) 或 **using 指示** (using directive)

繁琐的命名空间成员访问形式

```
Wang::Goo::doSomething
```

12.1 命名空间——使用命名空间

一条 **using 声明** 语句用来引用命名空间中的一个**成员**。例如，我们使用 `using` 声明引入标准库命名空间 `std` 中成员 `cout`：

使用 `using` 声明

```
using std::cout; //此声明告诉编译器后续cout属于命名空间std
cout << "Hello world"; //cout等价于std::cout
```

说明

- `using` 声明引入的这个名字的作用域从声明的地方开始，直到 `using` 声明所在的作用域结束处为止
- 左侧的 `using` 声明表明在其作用域范围内，所有的 `cout` 都是指 `std::cout`

12.1 命名空间——使用命名空间

`using` 声明一次只能引入命名空间的一个成员，如果要引入一个命名空间内**所有的成员**，我们可以使用 **`using` 指示**：

使用 `using` 指示

```
using namespace std;
```

说明

- `using` 指示意味着 `std` 中所有成员在此处都可见

注意

- 指示可以出现在全局作用域、局部作用域和命名空间作用域中，但是不能出现在类的作用域中
- `using` 指示的作用域也是从声明的地方开始，直到 `using` 语句所在的作用域结束处为止

12.1 命名空间——使用命名空间

`using` 声明一次只能引入命名空间的一个成员，如果要引入一个命名空间内**所有的成员**，我们可以使用 **`using` 指示**：

使用 `using` 指示

```
using namespace std;
```

说明

- `using` 指示意味着 `std` 中所有成员在此处都可见

提示

虽然 `using` 声明只能引入命名空间中的一个成员，但与 `using` 指示相比，它**不易引起命名冲突**，是一种更安全的方式。

12.2 异常处理

我们很难保证一个大型程序在运行期间不会出现错误，如果出现了错误，程序很可能无法正确运行，甚至会崩溃。**异常处理 (exception handling)** 允许将异常检测和解决的过程分离开来，程序中某一个模块出现了异常不会导致整个程序无法正确运行。

12.2 异常处理

我们很难保证一个大型程序在运行期间不会出现错误，如果出现了错误，程序很可能无法正确运行，甚至会崩溃。**异常处理 (exception handling)** 允许将异常检测和解决的过程分离开来，程序中某一个模块出现了异常不会导致整个程序无法正确运行。

C++ 语言异常内部处理机制使用的三个关键字

- try: 检测可能产生异常的语句块
- catch: 捕获异常
- throw: 抛出异常

12.2 异常处理——抛出异常

当程序在运行期间**出现异常**时，我们可以通过 `throw` 来**抛出**一个异常。例如，以下函数返回 `a` 除以 `b` 的结果，如果出现除数为 0 的情况：

抛出一个异常

```
double divide(int a, int b){  
    if (b == 0)  
        throw "Error, division by zero!";  
    return a / b;  
}
```

抛出各种类型的异常

```
throw -1; // 抛出一个整型数  
throw x; // x为double类型对象  
throw MyException("Fatal Error"); //MyException为一个类类型
```

说明

- `throw` 可以抛出**任何类型对象**
- 通常情况下，抛出的异常为错误的编号、错误描述或用户自定义的异常类对象。
- 执行 `throw` 语句时，其**后面的语句不会被执行**。程序控制权将转移到**与之匹配的 `catch` 模块**

12.2 异常处理——检测异常

C++ 语言通过**关键字** `try` 来检测可能发生异常的代码。通常情况下，我们将可能发生异常的代码放到 `try` 语句块中，该语句块中的任何异常都可以被检测到。

检测异常

```
try{  
    divide(a, b); //函数调用语句  
}
```

说明

一旦在 `try` 语句块内部有异常抛出时，系统检查与该 `try` 块关联的 `catch` 子句，并寻找与异常相匹配的 `catch` 子句。

12.2 异常处理——捕获异常

最终，我们通过 `catch` 子句**捕获异常**，并处理它：

检测异常

```
catch (const char *str) { // 捕获一个C风格字符串常量对象
    // 任何能够被char *接受的异常都将被捕获
    cerr << "捕获异常" << str << endl; // cerr为标准错误ostream对象
}
```

说明

- `cerr` 为标准错误 `ostream` 对象，用于输出程序错误信息。
- `catch` 语句中的异常声明类似于只包含一个形参的函数形参列表。
- 异常声明中的类型决定了该 `catch` 子句能够捕获的异常的类型
- 能够捕获的错误类型可以为左值引用，但不能为右值引用。

12.2 异常处理——捕获异常

一个包含 try、catch 和 throw 的异常处理案例如下:

异常处理案例

```
int a = 1, b = 0;
try {
    int c = divide(a, b);
}
catch (const string &str) {
    cerr << str << endl;
}
catch (const char *str) {
    cerr << str << endl;
}
```

说明

异常被抛出后:

- 1 try 后面的 catch 尝试匹配, 匹配则处理
- 2 否则沿着调用链向外层逐层检查
- 3 无法匹配, 则调用 terminate 终止程序

问题

异常被谁捕获?

12.2 异常处理——捕获异常

一个包含 try、catch 和 throw 的异常处理案例如下:

异常处理案例

```
int a = 1, b = 0;
try {
    int c = divide(a, b);
}
catch (const string &str) {
    cerr << str << endl;
}
catch (const char *str) {
    cerr << str << endl;
}
```

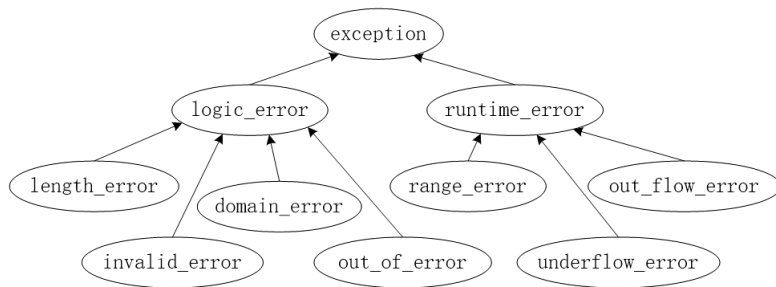
注意

通常情况下, 异常的类型和 catch 声明的类型要求严格匹配, 但不包括以下情况:

- 非常量到常量的转换
- 派生类向基类的转换
- 数组或函数被转换成指向数组元素或函数的指针

12.2 异常处理——标准库异常类

C++ 标准库提供了**标准异常类 (standard exception)**，使用时需要包含头文件 `exception`。其继承关系如图：



基类 exception

基类 `exception` 只定义了默认的构造函数、复制构造函数、赋值运算符、虚析构函数和一个名为 **what** 的虚成员。

12.2 异常处理——标准库异常类

what 函数返回一个 `const char*`，指向一个以 `null` 结尾的字符数组，用于提示异常类型。我们可以继承 `exception` 类并**重写** **what**：

自定义版本的 what 成员

```
struct MyException : public exception {  
    const char* what() const noexcept { return "Oops!"; }  
};
```

noexcept

C++11 标准引入的新关键字，用来指明某个函数**不会抛出异常**

说明

`noexcept` 应置于：

- 形参列表后面
- 如修饰成员函数，在 `const` 限定符之后，`final`、`override` 或纯虚函数 `=0` 之前
- 声明和定义处都要有

12.2 异常处理——标准库异常类

what 函数返回一个 `const char*`，指向一个以 `null` 结尾的字符数组，用于提示异常类型。我们可以继承 `exception` 类并**重写** **what**：

自定义版本的 `what` 成员

```
struct MyException : public exception {  
    const char* what() const noexcept { return "Ooops!"; }  
};
```

`noexcept`

C++11 标准引入的新关键字，用来指明某个函数**不会抛出异常**

提示

`noexcept` 说明可以优化代码的执行效率。

12.2 异常处理——标准库异常类

下面的代码将抛出一个 `MyException` 异常对象，该对象可以被异常声明为基类 `exception` 类型的 `catch` 子句捕获：

使用 `MyException` 对象

```
try {  
    throw MyException();  
}  
catch (exception &ex) {  
    cerr << ex.what() << endl;  
}
```

12.3 多重继承与虚继承——多重继承

多重继承

为一个派生类指定多个基类的继承结构称为多重继承

多重继承示例

```
class Mammal {  
public:  
    virtual void feedMilk() {} //母乳喂养  
};  
class WingedAnimal {  
public:  
    virtual void flap() {} //振翅飞翔  
};  
class Bat: public Mammal, public WingedAnimal { };
```

说明

- Bat 类的派生列表中有两个以逗号分隔的基类
- Bat 类对象将具有 Mammal 和 WingedAnimal 两种动物的行为

12.3 多重继承与虚继承——多重继承

多重继承

为一个派生类指定多个基类的继承结构称为多重继承

多重继承示例

```
Bat b;  
b.feedMilk();    //母乳喂养  
b.flap();        //振翅飞翔
```

说明

- Bat 类的派生列表中有两个以逗号分隔的基类
- Bat 类对象将具有 Mammal 和 WingedAnimal 两种动物的行为

12.3 多重继承与虚继承——多重继承

多重继承

```
class Bat: public Mammal, public WingedAnimal { };
```

调用基类构造函数

```
//隐式调用Mammal和WingedAnimal的默认构造函数
```

```
Bat::Bat() {}
```

```
//显式调用基类的默认构造函数
```

```
Bat::Bat() :Mammal(), WingedAnimal() {}
```

说明

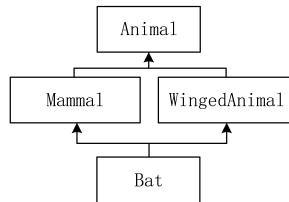
- 多重继承的派生类对象的构造函数只能初始化其**直接基类成员**
- 构造的顺序与**派生列表**中基类出现的先后顺序一致
- 成员析构的顺序与构造的顺序相反
- 调用基类的构造函数有**隐式**和**显式**两种方式

12.3 多重继承与虚继承——多重继承

我们将 Mammal 和 WingedAnimal 进一步抽象，设计一个公共基类 Animal：

加入公共基类 Animal

```
class Animal {  
protected:  
    int m_age;  
public:  
    Animal(int n = 0) :m_age(n) {}  
    virtual void eat() {}  
};  
class WingedAnimal: public Animal{  
public:  
    virtual void feedMilk() {}  
};  
class Mammal: public Animal{  
public:  
    virtual void flap() {}  
};  
class Bat: public Mammal, public WingedAnimal { };
```

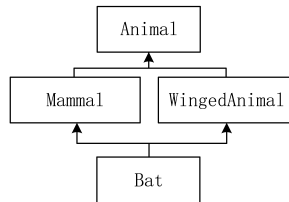


12.3 多重继承与虚继承——多重继承

我们将 Mammal 和 WingedAnimal 进一步抽象，设计一个公共基类 Animal：

加入公共基类 Animal

```
class Animal {
protected:
    int m_age;
public:
    Animal(int n = 0) :m_age(n) {}
    virtual void eat() {}
};
class WingedAnimal: public Animal{
public:
    virtual void feedMilk() {}
};
class Mammal: public Animal{
public:
    virtual void flap() {}
};
class Bat: public Mammal, public WingedAnimal { };
```



死亡钻石

菱形继承关系造成的二义性问题

12.3 多重继承与虚继承——多重继承

当存在如下调用的时候，会产生二义性问题：

加入公共基类 Animal

```
Bat b;  
b.eat(); //错误：二义性访问  
Animal a = b; //错误：类型无法转换
```


12.3 多重继承与虚继承——多重继承

C++ 通过**虚继承** (virtual inheritance) 的机制来解决上述问题:

加入公共基类 Animal

```
class WingedAnimal: virtual public Animal { /*...*/ };  
class Mammal : virtual public Animal { /*...*/ };
```

说明

- 通过在派生列表中添加关键字**virtual**来指定虚基类
- 不论该虚基类在继承体系中出现多少次, 在派生类中只包含**唯一一份**共享的虚基类成员

12.3 多重继承与虚继承——多重继承

虚继承的基类由最底层的派生类进行初始化：

虚继承对象的构造

```
class Bat : public Mammal, public WingedAnimal {  
public:  
    Bat() :Animal(1), Mammal(), WingedAnimal(){}  
};
```

说明

此处初始化顺序如下：

- Bat 类的构造函数提供的初始化列表初始化 Animal 成员
- 构造 Mammal 成员
- 构造 WingedAnimal 成员

12.4 嵌套类

嵌套类

在一个类的内部定义的类

说明

- 嵌套类是**独立**的类，与外层类在语法上没有关联
- 嵌套类和外层类的访问控制遵循**普通类**之间的访问控制原则

12.4 嵌套类——二维数组类

任务

实现一个二维数组类，该类可以像普通二维数组那样支持两个下标操作：

```
int arr[2][2];  
arr[0][0] = 1;
```

12.4 嵌套类——二维数组类

任务

实现一个二维数组类，该类可以像普通二维数组那样支持两个下标操作：

```
int arr[2][2];  
arr[0][0] = 1;
```

存在的问题

C++ 仅支持一维下标操作符的重载：

```
class Array2D{  
    /*...*/  
    int operator [] [] (/*...*/); //错误：C++没有运算符[] []  
};
```

12.4 嵌套类——二维数组类

任务

实现一个二维数组类，该类可以像普通二维数组那样支持两个下标操作：

```
int arr[2][2];  
arr[0][0] = 1;
```

存在的问题

C++ 仅支持一维下标操作符的重载：

```
class Array2D{  
    /*...*/  
    int operator [] [] (/*...*/); //错误：C++没有运算符[] []  
};
```

分析

arr[0][0] 等价于 (arr[0])[0]

12.4 嵌套类——二维数组类

代码清单 12.1 二维数组类

```
template<typename T>
class Array2D {
private:
    class Array1D {
        ... //下页内容
    };
    size_t m_size; //第一维长度
    Array1D *m_arr; //元素类型为Array1D
public:
    Array2D(size_t s1, size_t s2) :m_size(s1), m_arr(new Array1D[s1]) {
        for (int i = 0; i<m_size; i++) {
            m_arr[i].m_size = s2;
            m_arr[i].m_arr = new T[s2];
        }
    }
    ~Array2D() { delete[] m_arr; }
    Array1D & operator[](int idx) { return m_arr[idx]; }
    size_t size() { return m_size; }
};
```

12.4 嵌套类——二维数组类

代码清单 12.1 二维数组类

```
...//上页内容
class Array1D {
    friend class Array2D; //声明为友元类
public:
    ~Array1D() { delete[] m_arr; }
    T & operator[](int idx) { return m_arr[idx]; }
private:
    size_t m_size = 0; //第二维长度
    T *m_arr = nullptr;
};
...//上页内容
```

说明

- 使用嵌套类将 Array1D 的底层实现隐藏

12.4 嵌套类——二维数组类

代码清单 12.1 二维数组类

```
...//上页内容
class Array1D {
    friend class Array2D; //声明为友元类
public:
    ~Array1D() { delete[] m_arr; }
    T & operator[](int idx) { return m_arr[idx]; }
private:
    size_t m_size = 0; //第二维长度
    T *m_arr = nullptr;
};
...//上页内容
```

使用二维数组

```
Array2D<int> arr(2, 2);
arr[0][0] = 1;           //写操作
cout << arr[0][0] << endl; //读操作
```

说明

- 使用嵌套类将 Array1D 的底层实现隐藏

12.4 嵌套类——二维数组类

代码清单 12.1 二维数组类

```
...//上页内容
class Array1D {
    friend class Array2D; //声明为友元类
public:
    ~Array1D() { delete[] m_arr; }
    T & operator[](int idx) { return m_arr[idx]; }
private:
    size_t m_size = 0; //第二维长度
    T *m_arr = nullptr;
};
...//上页内容
```

使用二维数组

```
Array2D<int> arr(2, 2);
arr[0][0] = 1;           //写操作
cout << arr[0][0] << endl; //读操作
```

说明

- 使用嵌套类将 Array1D 的底层实现隐藏

想一想

- 如何判断对 arr 元素的读写操作？

12.4 嵌套类——二维数组类

9.3.5 节中我们实现的计算器程序 `dolt` 函数中有以下代码：

计算器

```
/*...*/  
unique_ptr<Operator> oo;  
if (o == '+')  
    oo = make_unique<Plus>();  
else if (o == '-')  
    oo = make_unique<Minus>();  
else if (o == '*')  
    oo = make_unique<Multiply>();  
else if (o == '/')  
    oo = make_unique<Divide>();  
...  
/*...*/
```

思考

如果我们想要为计算器添加新的运算符，我们要怎么做？

12.4 嵌套类——二维数组类

为了有利程序扩展，我们希望根据运算符的名字来自动创建相应运算符类对象。首先我们需要实现一个**类注册机制**，我们将用如下数据结构来实现：

12.4 嵌套类——二维数组类

为了有利程序扩展，我们希望**根据运算符的名字来自动创建相应运算符类对象**。首先我们需要实现一个**类注册机制**，我们将用如下数据结构来实现：

类注册机制核心数据结构

```
map<char, function<unique_ptr<Operator>()>> ms_operator;
```

类注册机制

保存**类名（字符串）**和**类实例**获取方法的映射关系，使程序能够根据名称得到类的实例。

说明

- map 对象的关键字为 char 类型，用于根据字符调用对应的 function 对象
- function 对象将返回一个指向 Operator 对象的 unique_ptr，用于生成对应运算符对象

12.4 嵌套类——二维数组类

下面代码将自动注册 Plus 类：

类注册机制核心数据结构

```
ms_operator.emplace('+', []() { return make_unique<Plus>(); });
```

说明

- `emplace` 函数用于向 `map` 插入一组 `char` 到 `Operator` 对象生成器的映射
- `lambda` 表达式用于初始化 `function` 对象

12.4 嵌套类——二维数组类

之后即可根据运算符名字自动创建该运算符类对象：

类注册机制核心数据结构

```
ms_operator.emplace('+', []() { return make_unique<Plus>(); });
```

12.4 嵌套类——二维数组类

之后即可根据运算符名字自动创建该运算符类对象：

类注册机制核心数据结构

```
ms_operator.emplace('+', []() { return make_unique<Plus>(); });
```

根据名字自动创建运算符

```
unique_ptr<Operator> oo = ms_operator['+']();
```

说明

- 下标运算符调用 function 对象
- function 对象通过 lambda 表达式调用 make_unique
- make_unique 将返回对应下标运算符接收的字符所对应的 Operator 的 unique_ptr

12.4 嵌套类——二维数组类

为了方便用户注册，我们实现一个**对象工厂** (object factory)：

代码清单 12.2 Operator 类对象工厂 1

```
class Factory{
public:
    template<typename T>
    struct RegisterClass {
        RegisterClass(char opr) {
            Factory::ms_operator.emplace(opr, []{return make_unique<T>();});
        }
    };
    static unique_ptr<Operator> create(char opr) {
        auto it = ms_operator.find(opr);
        if (it != ms_operator.end())
            return it->second(); //调用关联的lambda表达式
    }
private:
    //静态成员
    static map<char,function<unique_ptr<Operator>()>> ms_operator;
};
map<char, function<unique_ptr<Operator>()>> Factory::ms_operator;
```

说明

- 工厂通过嵌套类 RegisterClass 的构造函数实现对其静态成员 ms_operator 的类型注册功能
- it->second() 调用与 opr 相关的 lambda 表达式，返回对应的对象。

12.4 嵌套类——二维数组类

下面是用于注册的宏和静态成员的初始化：

代码清单 12.2 Operator 类对象工厂 2

```
#define REGISTRAR(T, Key) Factory::RegisterClass<T> reg_##T(Key);
```

示例：注册 Plus 类

```
REGISTRAR(Plus, '+');
```

等价于：

```
Factory::RegisterClass<Plus> reg_Plus('+');
```

说明

- 通过宏 REGISTRAR 创建嵌套类 RegisterClass 的全局对象同时完成注册
- ## 用来连接两个语言符号，产生一个对象名
- lambda 表达式用于初始化 function 对象

12.4 嵌套类——二维数组类

其他运算符类注册方式类似：

代码清单 12.2 Operator 类对象工厂 2

```
REGISTRAR(Minus, '-');  
REGISTRAR(Multiply, '*');  
REGISTRAR(Divide, '/');  
REGISTRAR(Equal, '=');
```

说明

- 通过宏 REGISTRAR 创建嵌套类 RegisterClass 的全局对象同时完成注册
- ## 用来连接两个语言符号，产生一个对象名
- lambda 表达式用于初始化 function 对象

12.4 嵌套类——二维数组类

修改后 Calculator 类的 doIt 函数

```
double Calculator::doIt(const string & exp) {
    for (auto it = exp.begin(); it != exp.end(); ) {
        if (isNum(it))
            m_num.push(readNum(it));
        else {
            auto oo=Factory::create(*it++);
            while (oo->precedence() <= m_opr.top()->precedence()) {
                if (m_opr.top()->symbol() == ' #' )
                    break;
                calculate();
            }
            if (oo->symbol() != ' =' )
                m_opr.push(std::move(oo));
        }
    }
    double result = m_num.top();
    m_num.pop();
    return result;
}
```

说明

第 6 行代码调用

Factory::create 函数，用来构造相应类型的对象

问题

如果形参未注册，调用 create 将会返回什么？

12.4 嵌套类——二维数组类

修改后 Calculator 类的 doIt 函数

```
double Calculator::doIt(const string & exp) {
    for (auto it = exp.begin(); it != exp.end(); ) {
        if (isNum(it))
            m_num.push(readNum(it));
        else {
            auto oo=Factory::create(*it++);
            while (oo->precedence() <= m_opr.top()->precedence()) {
                if (m_opr.top()->symbol() == ' #' )
                    break;
                calculate();
            }
            if (oo->symbol() != ' =' )
                m_opr.push(std::move(oo));
        }
    }
    double result = m_num.top();
    m_num.pop();
    return result;
}
```

说明

第 6 行代码调用

Factory::create 函数，用来构造相应类型的对象

问题

如果形参未注册，调用 create 将会返回什么？

思考

体会修改后代码和原始代码的区别以及改进之处

12.5 运行时类型识别

运行时类型识别

运行时类型识别 (run-time type identification, RTTI) 指的是通过**基类的指针或引用**来检查其指向的**派生类型**。

RTTI 提供如下两个运算符：

- typeid
- dynamic_cast

这两个运算符作用于基类的指针或引用，如果该类型：

- 含有虚函数，则返回**基类指针或引用的动态类型**
- 不含有虚函数，则返回**该类型的静态类型**

12.5 运行时类型识别——dynamic_cast 运算符

dynamic_cast 运算符用于**基类和派生类**之间的安全转换，其使用方式有：

dynamic_cast 用法

```
dynamic_cast<type*>(expr)
dynamic_cast<type&>(expr)
dynamic_cast<type&&>(expr)
```

expr 依次必须为：

- 有效的指针
- 左值
- 右值

注意

成功转换的前提：

expr 的类型必须是 type 的基类、派生类或 type 本身

否则：

- 指针类型返回空指针
- 引用类型抛出 std::bad_cast 异常

12.5 运行时类型识别——dynamic_cast 运算符

dynamic_cast 运算符用于基类和派生类之间的安全转换，其使用方式有：

定义基类及其派生类

```
struct Base{  
    virtual ~Base() {}  
};  
struct Derived:Base{  
    void name() {}  
};
```

说明

- 第一个转换 b1 与基类对象绑定，转换失败
- 第二个转换 b2 与派生类对象绑定，转换成功，执行 name 调用

指针类型的 dynamic_cast

```
Base *b1 = new Base, *b2 = new Derived;  
if (Derived *d = dynamic_cast<Derived*>(b1))  
    d->name(); //转换失败，d为nullptr，不会执行此调用  
if (Derived *d = dynamic_cast<Derived*>(b2))  
    d->name(); //转换成功，执行此调用
```

建议

把 dynamic_cast 操作放到条件定义里，避免出现使用未绑定指针的不安全操作

12.5 运行时类型识别——dynamic_cast 运算符

dynamic_cast 运算符用于基类和派生类之间的安全转换，其使用方式有：

引用类型的 dynamic_cast

```
try { //转换失败，抛出std::bad_cast异常
    Derived &d = dynamic_cast<Derived&>(*b1);
} catch(std::bad_cast){
    cout << "downcast failed" << endl;
}
```

说明

引用类型的 dynamic_cast 转换失败时将抛出 std::bad_cast 异常

12.5 运行时类型识别——typeid 运算符

关键字 typeid 用来查询一个类型的信息

typeid 使用格式

```
typeid(type)  
typeid(expr)
```

说明

- 如果表达式类型是**类类型且包含虚成员函数**，那么需要在**运行时**计算并返回表达式的**动态类型**；
- 否则，typeid 运算将返回表达式的**静态类型**，在**编译时**获得。

12.5 运行时类型识别——typeid 运算符

typeid 操作符的返回结果是名为 `type_info` 的标准库类型对象的引用。其支持的操作如下：

typeid 使用格式

<code>t1 == t2</code>	如果两个 <code>type_info</code> 对象 <code>t1</code> 和 <code>t2</code> 类型相同，则返回真；否则返回假
<code>t1 != t2</code>	如果两个 <code>type_info</code> 对象 <code>t1</code> 和 <code>t2</code> 类型不同，则返回真；否则返回假
<code>t.name()</code>	返回类型的 C 风格字符串，类型名字用系统相关的方法产生
<code>t1.before(t2)</code>	返回一个 <code>bool</code> 值，表示 <code>t1</code> 类型是否出现在 <code>t2</code> 类型之前

注意

`name` 成员返回的类型名与程序中使用的类型名并不一定一致，具体由编译器的实现决定

12.5 运行时类型识别——typeid 运算符

typeid 常用于比较两个表达式的类型是否相同，或一个表达式的类型是否与指定类型一致：

typeid 比较

```
Derived *d = new Derived;  
Base *b = d;  
if (typeid(*d) == typeid(*b)) { /*检查d和p是否指向同一类型对象*/}  
if (typeid(*b) == typeid(Derived)) {/*检查b是否指向Derived类型对象*/}
```

注意

此处 typeid 作用于 *b 而非 b。

12.6 union 类型

union 类型

一种特殊的复合数据类型，可以实现一个对象用作多种数据类型的作用

说明

- 可以包含多个共享同一段内存空间的数据成员
- 占用的空间大小取决于内存占用最大的数据成员类型
- 使用时只有一个数据成员处于激活状态

12.6 union 类型——定义 union 类型

union 类型定义方法

union 类型定义

```
union ID {  
    char char_type;  
    int int_type;  
    long long llong_type;  
};
```

说明

- 定义了名为 ID 的 union 类型
- ID 类对象可用于存储 char、int、long 类型数据
- ID 类型对象占用内存长度和 long 类型长度相同

12.6 union 类型——使用 union 类型

union 类型定义方法:

union 类型定义

```
ID wang = { ' a' }; //构造一个ID类对象并为第一个成员赋值
cout << wang.char_type << endl; //输出a
wang.int_type = 1001; //激活使用第二个成员
cout << wang.int_type << endl; //输出1001
wang.llong_type = 20171001001; //激活使用第三个成员
cout << wang.llong_type << endl; //输出20171001001
```

说明

- 使用花括号可对其**第一个**数据成员赋值
- 赋值后其他成员将处于**未定义**状态
- ID 类型对象占用内存长度和 long 类型长度相同

12.6 union 类型——使用 union 类型

注意

class 的大多特征适用于 union:

- 其数据成员可用 private、public 和 protected 修饰, 默认为 public
- 可以定义成员函数

但另一些特征 union 不具备:

- 不能包含引用类型的数据成员
- union 类不具备继承特性

注意

另外:

- 如成员为类类型, 状态变化时将调用其构造/析构函数
- 使用时必须清楚使用的是哪一个成员, 错误使用会导致崩溃

12.7 标准库特殊工具——tuple 类型

tuple

tuple (元组) 是固定大小的异类值集合, 它是泛化的 pair

定义 tuple 对象

```
tuple<string, double, int, list<string>> book(  
    "title1", 58.99, 2017, {"Mandy", "Lisha", "Rosieta"});
```

说明

tuple 对象必须直接初始化

make_tuple 函数

```
auto book2 = make_tuple(string("title2"), 68.99, 2017, list<string>  
    >{"Mandy", "Lisha", "Rosieta"});
```

说明

make_tuple 使我们可以利用 auto 推导类型而不必显式指定

12.7 标准库特殊工具——tuple 类型

访问 tuple 成员

```
auto item1= get<0>(book); //访问第一个元素
get<1>(book) = 48.99; //对第二个元素赋值
for (auto &i : get<3>(book)) //使用范围for访问第四个成员的所有元素
    cout << i << " ";
```

说明

- 使用标准库函数模板 `get` 来获取 tuple 的成员
- 使用 `get` 时需提供一个整型常量表达式实参，如 `get<0>` 表示第一个成员

比较 tuple 对象

```
if(book < book2) { /*...*/}  
if(book == book2) { /*...*/}
```

说明

两个 tuple 可比较的条件:

- 成员数量相等
- 对应成员可以比较

比较的规则为按字典顺序比较 tuple 中的值

12.7 标准库特殊工具——tuple 类型

使用 tie 函数

```
string title;  
double price;  
int year;  
list<string> author;  
auto book3 = tie(title, price, year, author); //创建一个tuple对象
```

tuple 对象的解包操作

```
tie(title, price, year, author) = book;  
cout << title << " " << price << " " << year;
```

输出:

```
title1 48.99 2017
```

说明

标准库 tie 函数可以将多个对象的左值引用组合为一个 tuple 对象

说明

- 第一条语句将 book 中的成员依次赋值给 tie 函数创建的 tuple 对象
- 由于 tie 函数创建的 tuple 包含的是对象的引用，所以输出如上

12.7 标准库特殊工具——bitset 类型

bitset

固定长度的二进制序列，可以方便地进行逻辑运算，及与字符串和整数相互转换。

定义 bitset

```
bitset<12> b(1002); //b的二进制序列[0011 1110 1010]  
bitset<12> b2("110010"); //二进制序列为[0000 0011 0010]
```

说明

- 模板参数为表示位长度的整型表达式
- bitset 可以由整型值初始化，整形将转换为 unsigned long long 再转化为位模式存储
- bitset 也可以由 0 和 1 组成的字符串常量初始化

12.7 标准库特殊工具——bitset 类型

bitset

固定长度的二进制序列，可以方便地进行逻辑运算，及与字符串和整数相互转换。

高位舍弃

```
bitset<8> b1(1002); //舍弃高位，b1 的二进制序列[1110 1010]
```

说明

- unsigned long long 位数如大于 bitset 长度，则高位会被舍弃
- 否则多余高位设为 0

12.7 标准库特殊工具——bitset 类型

bitset 的一些成员函数如下所示：

bitset 成员函数——统计

```
bitset<8> b3("01010101");  
b3.any(); //是否至少有一位为1  
b3.none(); //是否所有位全为0  
b3.all(); //是否所有位全为1  
b3.count(); //值为1的位的数量  
b3.size(); //位集合的长度
```

bitset 成员函数——位操作

```
b3.flip(); //所有位取反（0变1，1变0）  
b3.reset(); //所有位设为0  
b3.set(); //所有位设为1  
b3.set(i); //第i位设为1  
b3.reset(i); //第i位设为0  
b3.flip(i); //第i位取反  
b3.test(i); //第i位是否为1  
b3[i] = 0; //第i位设为0
```

12.7 标准库特殊工具——bitset 类型

bitset 转化为整型值

```
cout << b.to_ulong() << endl; //输出1002
```

说明

bitset 的成员函数 to_ulong 和 to_ullong 可将位集合的二进制序列转化成整型值

注意

待转换的位集合的长度不能大于 long 或 long long 的位数

12.7 标准库特殊工具——日期和时间

C++ 提供 **chrono 库**对时间和日期进行操作，其包含三种时钟类：

- `system_clock`
- `steady_clock`
- `high_resolution_clock`

其中 `system_clock` 和 `high_resolution_clock` 是**实时时钟 (real time clock)**，会随如夏令时的时间调整而改变，而 `steady_clock` 是**单调时钟 (monotonic clock)**，不随外界时间调整而改变。

12.7 标准库特殊工具——日期和时间

输出时间点

```
using namespace chrono;  
time_t tt = system_clock::to_time_t(system_clock::now());  
cout << put_time(gmtime(&tt), "%F %T" ) << endl;
```

在我们测试中，上述代码输出为：
2017-12-09 20:15:08

说明 1

- 成员函数 `now` 可获得数据成员的时间点 `time_point`
- `high_resolution_clock` 相比 `system_clock` 精度要高

说明 2

获取标准日历形式输出：

- 通过 `to_time_t` 将 `time_point` 转换为 `time_t` 类型，然后通过 `gmtime` 转换为日历时间
- 再借助 `io manip` 库中的 `put_time` 函数将日历时间转换成各种时间书写形式

输出时间间隔

```
auto start = steady_clock::now();  
doSomething(); // 执行某种算法  
auto end = steady_clock::now();  
auto interval = duration_cast<milliseconds>(end - start);  
cout << interval.count() << endl;
```

说明

- 两个 `time_point` 类型相减得到 `duration` 类型用于表示时间段
- 转换函数 `duration_cast` 将时间段转换成特定的时间单位，如毫秒等
- 最后使用 `duration` 的成员函数 `count` 获取最终结果

注意

考虑到测量时间间隔需要稳定不变的时钟，代码中使用的时钟是 `steady_clock`

本章结束