

# 创建与销毁2

## (OOP)

刘知远

`liuzy@tsinghua.edu.cn`

`http://nlp.csai.tsinghua.edu.cn/~lzy/`

课程团队：刘知远 姚海龙 黄民烈

# 上期要点回顾

- 构造函数、析构函数
- 引用
- 运算符重载：流运算符(<<, >>), 函数运算符(), 前缀运算符(++, --), 下标运算符[]

# 本讲内容提要

- 静态成员何时创建、何时销毁？
- 常量该如何定义、如何初始化？
- 指针如何创建、如何销毁？

## ■5.1 友元

## ■5.2 静态成员与常量成员

## ■5.3 常量/静态/参数对象的构造与析构时机

## ■5.4 对象的new和delete

# 友元

## ■ 友元

- 友元的声明只能在类内进行。
- 被声明为友元的函数或类，具有对出现友元声明的类的private及protected成员的访问权限，即可以访问该类的一切成员。
- 友元修饰的函数或类，不受private的影响。

```
class A {  
    int data; // 默认私有成员  
    friend void foo(A &a);  
};
```

```
void foo(A &a) {  
    cout << a.data << endl;  
}
```

函数foo 是 类A的朋友因此  
在foo内可以访问A的私有成员  
和保护成员

# 友元

- 有时需要允许某些函数访问对象的私有成员，可以通过声明该函数为类的“友元”来实现

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
class Test {
    int id;
public:
```

```
    Test(int i) : id(i) { cout << "obj_" << id << " created\n"; }
```

```
    friend istream& operator>> (istream& in, Test& dst);
```

```
    friend ostream& operator<< (ostream& out, const Test& src);
```

```
};
```

```
istream& operator>> (istream& in, Test& dst) {
```

```
    in >> dst.id;
```

```
    return in;
```

```
}
```

```
// 以上类中声明了Test类的两个友元函数 —— 全局流运算符重载函数,
```

```
// 使这两个函数在实现时可以访问对象的私有成员 (如int id) .
```

```
int main() {
    Test test;
    cin >> test;
    cout << test << endl;
}
```

# 友元

## ■ 友元

- 被友元声明的函数一般不是当前类的成员函数
- **即使该函数的定义写在当前类内**
- （当前类的成员函数也不需要友元修饰）

```
class A {  
private:  
    int data;  
public:  
    A(int i) : data(i) {}  
    void print() { cout << data << " inside\n"; }  
    friend void print(A a)  
        { cout << a.data << " outside\n"; }  
};  
int main() {  
    A c(1);  
    c.print(); // 1 inside  
    print(c); // 1 outside  
    return 0;  
}
```

# 友元

## ■ 友元

- 可以声明别的类的成员函数，为当前类的友元。
- 其中，构造函数、析构函数也可以是友元。

```
class Y {  
    int data;  
    friend char* X::foo(int);  
    friend X::X(char), X::~~X();  
};
```

# 友元

## ■ 友元

- 可对class/struct/union进行友元声明。
- 对其他类型的友元声明会被忽略，但不会报错。

```
class Y {}; // Y能访问A的所有成员
class A {
    int data; // 私有数据成员
    enum { a = 100 }; // 私有枚举项
    friend class X; // 友元类前置声明（详细类型指定符）
    friend Y; // 友元类声明（简单类型指定符）（C++11起）
};
class X {}; // X能访问A的所有成员
```



# 友元

## ■ 友元

- 一个普通函数可以是多个类的友元函数

```
class Y;
class X
{
    int data;
    friend void show(X &x, Y &y);
};
class Y
{
    int data;
    friend void show(X &x, Y &y);
};

void show(X &x, Y &y) //全局函数
{
    cout << x.data << " " << y.data << endl;
}
```

# 友元

## ■ 注意事项

- 友元不传递
  - 朋友的朋友不是你的朋友
- 友元不继承（继承为后续内容）
  - 朋友的孩子不是你的朋友
- 友元声明不能定义新的class，如

```
class X
{
    friend class Y {}; ☹️
}
```

## 关于友元，以下说法正确的是

- ☒ A A函数是B类的友元函数，B类是C类的友元类，A函数对C类没有特殊访问权限。
- ☐ B 如果函数fun被声明为类A的友元函数，则该函数成为A的成员函数；
- ☐ C 如果函数fun被声明为类A的友元函数，则fun的形参类型不能是A；

提交

# 回顾：静态变量/函数

## ■ 静态变量：使用static修饰的变量

- 定义示例：static int i = 1;
- 初始化：初次定义时需要初始化，且只能初始化一次。  
如果定义时不初始化，则编译器会自动赋值为0
- 静态局部变量存储在静态存储区，生命周期将持续到整个程序结束
- 静态全局变量的作用域仅限其声明的文件，不能被其他文件所用，可以避免和其他文件中的同名变量冲突

## ■ 静态函数：使用static修饰的函数

- 定义示例：static int func() {...}
- 静态函数的作用域仅限其声明的文件，不能被其他文件所用，可以避免和其他文件中的同名函数冲突

# 静态数据成员

- 静态数据成员：使用static修饰的数据成员，是隶属于类的，称为类的静态数据成员，也称“类变量”
  - 静态数据成员被该类的所有对象共享（即所有对象中的这个数据域处在同一内存位置），在类实例化对象前已分配内存空间
  - 非静态数据成员必须在类实例化对象后才分配内存空间
  - 类的静态成员（数据、函数）既可以通过对象来访问，也可以通过类名来访问，如ClassName::static\_var或者a.static\_var（a为ClassName类的对象）
  - 类的静态数据成员要在实现文件中赋初值，格式为：  
Type ClassName::static\_var = Value;

# 静态数据成员的多文件编译

- 静态数据成员应该在.h文件中**声明**，在.cpp文件中**定义**。
- 如果在.h文件中同时完成声明和定义，会出现问题。
  - 包含了该头文件的所有源文件中都定义了这些静态成员变量，即该头文件被包含了多少次，这些变量就定义了多少次。
  - 同一个变量被定义多次，会导致链接无法进行，程序**编译失败**。

# 静态数据成员示例

//Test.h

```
class Test {  
public:  
    static int count; //声明静态数据成员  
    Test();  
    ~Test();  
};
```

//main.cpp

```
#include <iostream>  
#include "Test.h"  
using namespace std;  
  
int main() {  
    Test t1[10];  
    cout << "Test#: " << Test::count << " or " << t1[0].count << endl;  
    //通过类名或对象访问静态数据成员  
}
```

//Test.cpp

```
#include "Test.h"
```

```
int Test::count = 0; //定义静态数据成员  
Test::Test() { count ++; }  
Test::~Test() { count --; }
```

运行输出结果

*Test#: 10  
or 10*

# 静态成员函数

- 静态成员函数：在返回值前面添加**static**修饰的成员函数，称为类的**静态成员函数**
  - 和静态数据成员类似，类的静态成员函数既可以通过**对象**来访问，也可以通过**类名**来访问，如  
**ClassName::static\_function**或者**a.static\_function**（a为**ClassName**类的对象）



# 静态成员函数的访问权限

## ■ 静态成员函数不能访问非静态成员

- 类的静态成员函数、非静态成员函数均在类实例化对象前分配内存空间
- 可以在实例化任何对象之前，直接调用静态成员函数
- 静态成员函数无法访问非静态成员，否则相当于使用没有初始化的变量

# 静态成员函数示例

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Test {
public:
    static int count; //声明静态数据成员
    float value;
    Test(int v): value(v) { count ++; }
    ~Test() { count --; }
    static int how_many() { return count; }
    //静态成员函数how_many仅能访问count, 无法访问value
};

int Test::count = 0; //定义静态数据成员

int main() {
    Test t1(2);
    cout << "Test#: " << Test::how_many() << endl;
    cout << "Test.value: " << t1.value << endl;
    return 0;
}
```

运行输出结果

Test#: 1  
Test.value: 2

# 静态成员函数错误调用示例

```
#include <iostream>
using namespace std;

class A {
    int data;
public:
    static void output() {
        cout << data << endl; // 编译错误
    }
};

int main()
{
    A a;
    a.output();
    return 0;
}
```

\*编译器错误提示:

**[Error] invalid use of member 'A::data' in static member function**

## 下列关于静态成员的说法正确的是

- ☒ A 同一个类的所有类对象，共享该类的静态数据成员，即所有对象中的该数据成员存储在同一内存位置。
- ☐ B 类的静态成员数据只能通过类名来访问；
- ☐ C 静态数据成员属于整个类，在第一个类实例化对象创建的时候分配它的内存空间。

提交

# 回顾：常量

## ■ 常量关键字`const`常用于修饰变量、引用/指针、函数返回值等

- 修饰变量时（如`const int n = 1;`），必须就地初始化，该变量的值在其生命周期内都不会发生变化
- 修饰引用/指针时（如`int a=1;const int& b=a;`），不能通过该引用/指针修改相应变量的值，常用于函数参数以保证函数体中无法修改参数的值
- 修饰函数返回值时（如`const int* func() {...}`），函数返回值的内容（或其指向的内容）不能被修改

# 常量数据成员

- 常量数据成员：使用`const`修饰的数据成员，称为类的**常量数据成员**，在对象的整个生命周期里不可更改
- 常量数据成员可以在
  - 构造函数的**初始化列表**中被初始化
  - 就地初始化
  - **不允许**在构造函数的函数体中通过赋值来设置

# 常量数据成员示例

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Test {
    const int ID; //常量数据成员
    const int age = 9; // 就地初始化
public:
    Test(int id) : ID(id) {} // 通过初始化列表初始化常量数据成员
    int Next() {
        ID++; //该处会出现编译错误，因为常量数据成员不可更改
        return ID;
    }
};

int main() {
    Test obj1(20151145);
    cout << "ID = " << obj1.Next() << endl;
    return 0;
}
```

\*编译器错误提示：

**[Error] increment of read-only member 'Test::ID'**

# 常量成员函数

- 常量成员函数：成员函数也能用`const`来修饰，称为**常量成员函数**。
- 常量成员函数的访问权限：实现语句不能修改类的数据成员，即不能改变对象状态（内容）
  - `ReturnType Func(...) const {...}`
- 若对象被定义为常量(`const ClassName a;`)，则它只能调用以`const`修饰的成员函数



# 常量成员函数示例

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
class Test {
    int ID;
public:
    Test(int id) : ID(id) {}
    int MyID() const { return ID; } //常量成员函数
    int Next() const { ID++; return ID; } //编译错误，常量成员函数不能修改数据成员
    int Who() { return ID; }
};
```

\*编译器错误提示：

**[Error] increment of member 'Test::ID' in read-only object**

```
int main()
{
    Test obj1(20151145);
    cout << "ID_1 = " << obj1.MyID() << endl;
    cout << "ID_2 = " << obj1.Who() << endl;
```

```
    const Test obj2(20160301);
    cout << "id_1 : " << obj2.MyID() << endl;
    cout << "id_2 : " << obj2.Who() << endl; //编译错误，常量对象不能调用非常量成员函数
    return 0;
}
```

**[Error] passing 'const Test' as 'this' argument of 'int Test::Who()' discards qualifiers**

# 常量静态变量

- 当然，我们可以定义既是常量也是静态的变量
  - 作为类的常量变量
- 常量静态变量需要在类外进行定义
  - 和静态变量一样
  - 但有两个例外：`int`和`enum`类型可以就地初始化
- 常量静态变量和静态变量一样，满足访问权限的任意函数均可访问，但都不能修改
- \*注意：不存在常量静态函数
  - 静态函数隶属于类，可以不实例化而直接通过类名访问
  - 常量/非常量函数的访问权限需要通过实例化后的对象是否为常量对象来决定。没有对应的对象，常量修饰函数是毫无意义的

# 常量静态变量

```
class foo {  
    static const char* cs; // 不可就地初始化  
    static const int i = 3; // 可以就地初始化  
    static const int j; // 也可以在类外定义  
};
```

```
const char* foo::cs = "foo C string";  
const int foo::j = 4;
```

# 常量、静态成员总结

	静态数据成员	常量数据成员	常量静态数据成员 (除int, enum外)	常量静态数据成员 (int, enum)
初始化				
就地初始化		✓		✓
初始化列表初始化		✓		
构造函数体内初始化				
类外初始化	✓		✓	✓
访问				
普通成员函数	✓	✓	✓	✓
静态成员函数	✓		✓	✓
常量成员函数	✓	✓	✓	✓
修改				
普通成员函数	✓			
静态成员函数	✓			
常量成员函数	✓			

定义Test类如下，下列说法正确的是

```
class Test{
    const int member;
    float another_member;
public:
    Test(int mem):member(mem){another_member=1.0;}
    int MyMember() const {return member;}
    float MyAnotherMember() {return another_member;}
}
```

- ☒ A member 的值在不同的Test对象中可以不同。
- ☐ B 初始化数据成员member时，可以采用类似于another\_member的初始化方式，在构造函数的函数体中赋值。
- ☐ C 成员函数MyMember的函数体内可以增加语句，修改another\_member的值；
- ☐ D 定义一个Test类的常量对象，其可以调用MyMember和MyAnotherMember两个成员函数

提交

## 下列程序的运行结果是

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Num {
    int a;
public:
    Num(int b=1){a = b;}
    void print() {cout << ++a << endl;}
    void print() const {cout << a << endl;}
};

int main(){
    Num x;
    const Num y(3);
    x.print();
    y.print();
    return 0;
}
```

A

2  
4

C

1  
3

B

2  
3

D

1  
4

提交

# 常量对象的构造与析构

## ■ 常量全局/局部对象的构造与析构时机和普通全局/局部对象相同

- 常量全局对象：在main()函数调用之前进行初始化，在main()函数执行完return之后，对象被析构
- 常量局部对象：在程序执行到该局部对象的代码时被初始化。在局部对象生命周期结束、即所在作用域结束后被析构

# 静态对象的构造与析构

- 静态全局对象的构造与析构时机和普通全局对象相同
- 函数静态对象：在函数内部定义的静态局部对象
  - 在程序执行到该静态局部对象的代码时被初始化。
  - 离开作用域**不析构**。
  - **第二次**执行到该对象代码时，**不再初始化**，直接使用上一次的对象
  - 在main()函数结束后被析构。

```
void fun(int i, int n) {  
    if (i >= n)  
        static A static_obj("static");  
}
```



# 静态对象的构造与析构

## ■ 类静态对象：类A的对象a作为类B的静态变量

- a的构造与析构表现和全局对象类似，即在main()函数调用之前进行初始化，在main()函数执行完return之后，对象被析构
- 和B是否实例化无关

# 常量/静态对象的构造与析构实例

```
#include <iostream>
using namespace std;

class A {
    const char* s;
public:
    A(const char* str):s(str) {
        cout << s << " A constructing" << endl;
    }
    ~A() {
        cout << s << " A destructing" << endl;
    }
};

class B {
    static A a1;
    const A a2;
public:
    B(const char* str):a2(str) { }
    ~B() { }
};

void fun() {
    static A static_obj("static");
}

const A c_a("const c_a");
static A s_a("static s_a");
A B::a1("static B::a1");
```

```
int main() {
    cout << "main starts" << endl;
    static B main_b("static main_b");
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        fun();
    }
    cout << "main ends" << endl;
    return 0;
}
```

运行结果：

const c\_a A constructing  
static s\_a A constructing  
static B::a1 A constructing  
main starts  
static main\_b A constructing  
static A constructing  
main ends  
static A destructing  
static main\_b A destructing  
static B::a1 A destructing  
static s\_a A destructing  
const c\_a A destructing

# 参数对象的构造与析构

## ■ 如果传递的是形参

```
void fun(A b) {  
    cout << "In fun: b.s=" << b.s << endl;  
}  
fun(a);
```

- 在函数被调用时，b被构造，调用**拷贝构造函数（以后内容）**进行初始化。默认情况下，对象b的属性值和a一致。
- 在函数结束时，调用析构函数，b被析构。

# 参数对象的构造与析构实例

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
class A {
public:
    const char* s;
    A(const char* str):s(str) {
        cout << s << " A constructing" << endl;
    }
    ~A() { cout << s << " A destructing" << endl; }
};
```

```
void fun(A b) {
    cout << "In fun: b.s=" << b.s << endl;
}
```

```
int main() {
    A a("a");
    fun(a);
    return 0;
}
```

运行结果:

a A constructing  
In fun: b.s=a  
a A destructing  
a A destructing

构造一次，  
析构两次？

# 参数对象的构造与析构

## ■ 如果参数是类对象的引用

```
void fun(A &b) {  
    cout << "In fun: b.s=" << b.s << endl;  
}  
fun(a);
```

- 在函数被调用时，b不需要初始化，因为b是a的引用。
- 在函数结束时，也不需要调用析构函数，因为b只是一个引用，而不是A的对象。

# 参数对象的构造与析构

## ■ 如果一个类含有指针成员？

```
#include <iostream>
using namespace std;

class A {
public:
    int *data; // 注意这是一个指针
    A(int d) {data = new int(d);}
    ~A() {delete data;} // 注意这里，释放之前申请的内存
};

void fun(A a) {
    cout << *(a.data) << endl;
}

int main() {
    A object_a(3);
    fun(object_a);
    return 0; // 在程序结束时会出错
}
```

# 参数对象的构造与析构

## ■ 如果一个类含有指针成员？

- 对象a和对象object\_a的data成员一样（地址一样），所以delete的时候释放的是同一块内存地址。
- 对象a析构时不会出错。但对象object\_a析构时，因为试图释放一块已经释放过的内存，所以会出错。

析构两次，两个对象的指针是同一个内存地址，但是被删除两次

# 参数对象的构造与析构

- 尽量使用对象引用作为参数，这样做还可以减少时间开销

```
#include <iostream>
using namespace std;

class A {
public:
    int *data;
    A(int d) {data = new int(d);}
    ~A() {delete data;} // 注意这里，释放之前申请的内存
};

void fun(A &a) { // 这种情况下，程序不会出现问题
    cout << *(a.data) << endl;
}

int main() {
    A object_a(3);
    fun(object_a);
    return 0;
}
```



# 对象的new和delete

## ■ new

- 生成一个类对象，并返回地址（构造函数会被调用）

```
A *pA = new A(some parameters);
```

## ■ delete

- 删除该类对象，释放内存资源（析构函数会被调用）

```
delete pA;
```

# 对象的new和delete

## ■ 实例：生成一个类对象的数组

- 注意：该实例的实现细节和编译器实现有关，并不通用于所有编译器

```
A *pA = new A[3];
```

①调用operator new[] 标准库函数来分配足够大的原始未类型化的内存。  
注意要多出4个字节来存放数组的大小。



# 对象的new和delete

## ■ 实例：生成一个类对象的数组

- 注意：该实例的实现细节和编译器实现有关，并不通用于所有编译器

```
A *pA = new A[3];
```

②在刚分配的内存上运行构造函数对新建的对象进行初始化构造。



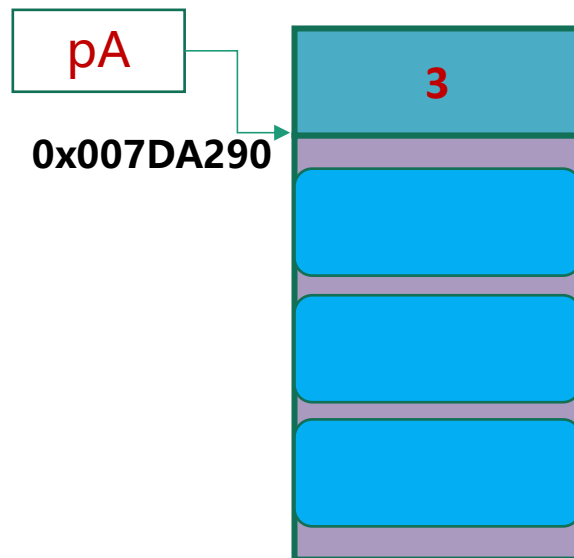
# 对象的new和delete

## ■ 实例：生成一个类对象的数组

- 注意：该实例的实现细节和编译器实现有关，并不通用于所有编译器

```
A *pA = new A[3];
```

③返回指向新分配并构造好的对象数组的指针。



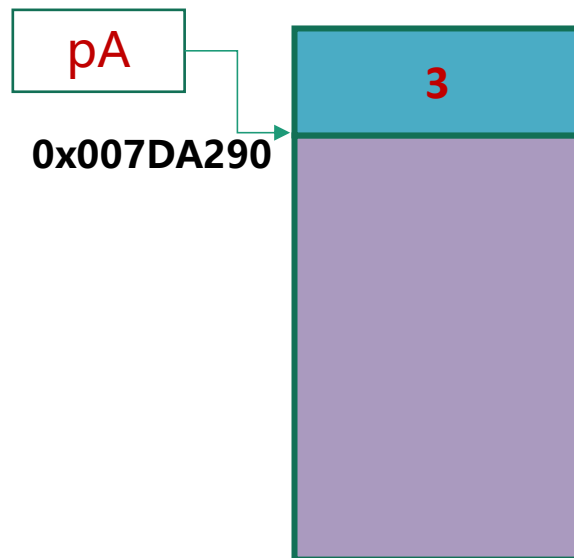
# 对象的new和delete

## ■ 实例：删除该对象数组及数组中的每个元素（释放内存资源）

- 注意：该实例的实现细节和编译器实现有关，并不通用于所有编译器

```
delete []pA;
```

①对数组中各个对象运行析构函数，数组的维数保存在pA前4个字节里。



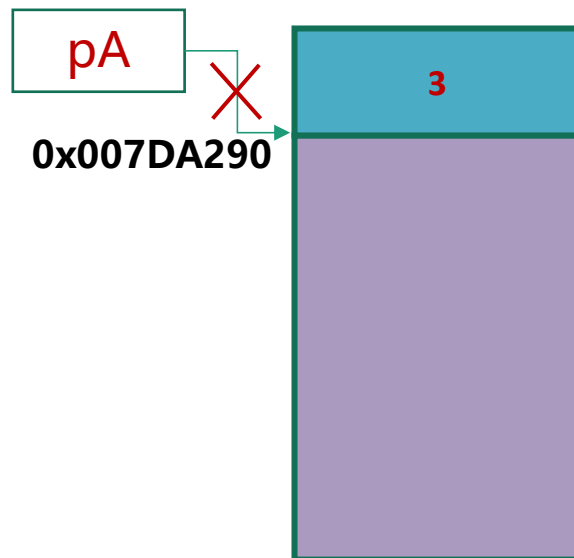
# 对象的new和delete

## ■ 实例：删除该对象数组及数组中的每个元素（释放内存资源）

- 注意：该实例的实现细节和编译器实现有关，并不通用于所有编译器

```
delete []pA;
```

②调用operator delete[]标准库函数释放申请的空间。  
不仅仅释放对象数组所占的空间，还有上面的4个字节。



# 对象的new和delete

## ■ new和delete要配套使用

- new 和 delete
- new[] 和 delete[]

## ■ 如果同时使用new[]和delete，会有什么后果？

```
A *pA = new A[3];  
delete pA;
```

# 对象的new和delete

## ■ new&&delete

- 如果同时使用new[]和delete，会有什么后果？

```
A *pA = new A[3];  
delete pA;
```

- 该delete命令做了两件事：
  - 调用一次 pA 指向的对象的析构函数。
  - 释放pA地址的内存。
- 后果如下：
  - **只调用一次析构函数**。如果类对象中有大量申请内存的操作，那么因为没有调用析构函数，这些内存无法被释放，**造成内存泄漏**。
  - 直接释放pA指向的内存空间，这个会造成严重的**段错误**，程序必然会崩溃。因为分配空间的起始地址是**pA-4byte**。  
(**delete[] pA**的释放地址自动转换为**pA-4byte**)
- **注意**：该页的解释说明同样和编译器具体实现相关



假定A是一个类的名字，下面四个语句总共会引发类A构造函数的调用多少次

1. A \*p = new A;
2. A p2[10];
3. A p3;
4. A \*p4[10];

☐ A 11

☒ B 12

☐ C 21

☐ D 22

提交

下列程序在编译、运行时会出现什么情况

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A {
public:
    int *data;
    A(int d) {data = new int(d);}
    ~A() {delete data;}
};
void fun(A a) {
    cout << *(a.data) << endl;
}
int main() {
    A tmp(0);
    fun(tmp); //(1)
    return 0; //(2)
}
```

- ☐ A 编译错误
- ☐ B 输出0，程序结束
- ☐ C 在运行完(1)后崩溃
- ☒ D 在运行完(2)后崩溃

提交

## 以下说法正确的是

- ☒ A C++11中，类内的非静态成员变量可以不通过构造函数进行初始化。
- ☒ B 当类中没有显式定义任何构造函数时，编译器会根据自身需要合成默认构造函数。
- ☐ C 静态成员函数可以访问非静态成员变量。
- ☒ D 如果静态数据成员在.h文件中同时完成声明和定义，链接将无法进行。
- ☐ E 常量静态的成员变量只能在类外进行初始化。
- ☒ F 创建和删除对象时，new[]和delete同时使用可能会导致内存泄漏。

提交

# 课后阅读

## ■ 《C++编程思想》

- 常量，p185-p200
- 名字控制，p227-p250（高级内容：静态初始化的相依性）
- 动态对象创建，p315-p325

**结 束**