



## § 13. 动态内存申请

### 1. 结构体类型的定义及使用 (第07模块 复习)

- ★ 结构体类型的声明
- ★ 字节对齐
- ★ 结构体变量的定义和初始化（普通变量、数组、指针、引用）
- ★ 指向结构体变量的指针和指向结构体变量中某个成员的指针
- ★ 结构体（struct）和类（class）的区别



## § 13. 动态内存申请

### 2. 指向结构体变量的指针与链表

#### 2.1. 链式结构的基本概念

##### ★ 数组的不足

- 1、大小必须在定义时确定，导致空间浪费  
是否可以按需分配空间
- 2、占用连续空间，导致小空间无法充分利用  
是否可以充分利用不连续的空间
- 3、在插入/删除元素时必须前后移动元素  
插入/删除时能否不移动元素

##### ★ 链表

不连续存放数据, 用指针指向下一数据的存放地址

例：数据1，2，3，4，5，分别存放在数组和链表中

存放5个元素：

数组：连续的20字节

链表：非连续的40字节

(每个结点的8字节连续)

问：本例中，存储相同数量数据，链表所占空间是数组的两倍，为什么不把这个问题当做是链表的缺点？

在数组/链表含有大量数据时：  
1、频繁在任意位置插入/删除，哪种方式好？  
2、频繁存取第i个元素的值，哪种方式好？(i随机)

数组

2000	1
2003	
2004	2
2007	
2008	3
2011	
2012	4
2015	
2016	5
2019	

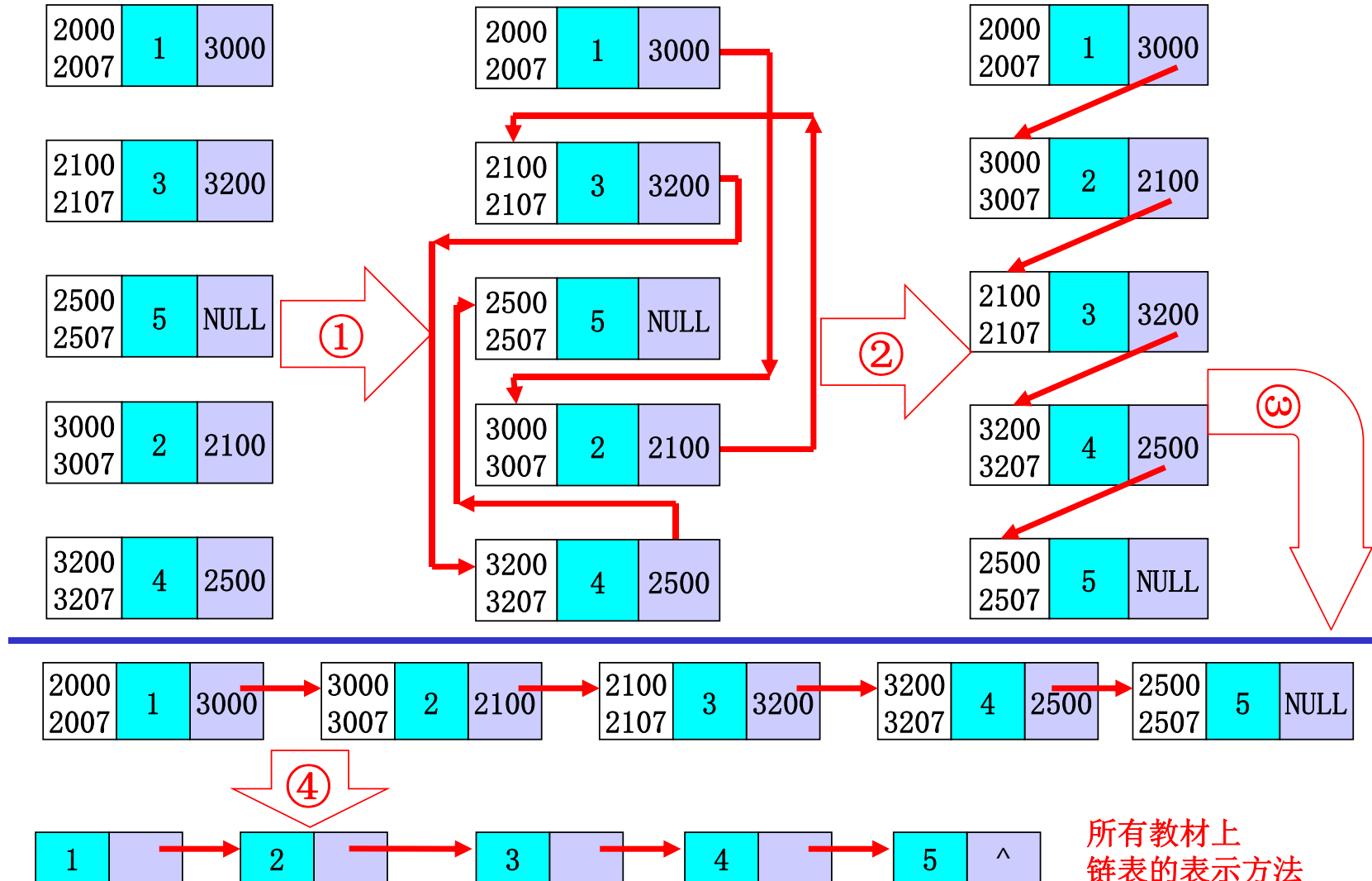
链表

2000	1	3000
2007		
2100	3	3200
2107		
2500	5	NULL
2507		
3000	2	2100
3007		
3200	4	2500
3207		



## § 13. 动态内存申请

例：数据1，2，3，4，5，分别存放在数组和链表中





## § 13. 动态内存申请

### 2. 指向结构体变量的指针与链表

#### 2.1. 链式结构的基本概念

结点：存放数据的基本单位

{ 数据域：存放数据的值  
指针域：存放下一个同类型节点的地址

链表：由若干结点构成的链式结构

表头结点：第一个结点

表尾结点：链表的最后一个结点，指针域为NULL(空)

头指针：指向链表的表头节点的指针



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};
```

指向结构体自身的指针  
成员类型不允许是自身的结构体类型，  
但可以是指针(因为指针占用空间已知)

```
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;  
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;  
    p=head;  
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {
    long num;
    float score;
    struct student *next;
};

int main()
{
    student a,b,c, *head, *p;
    a.num = 31001; a.score=89.5;
    b.num = 31003; b.score=90;
    c.num = 31007; c.score=85;
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;
    p=head;
    do {
        cout << p->num << " " << p->score << endl;
        p=p->next;
    } while(p!=NULL);
}
```

a	2000 2011	?	?
---	--------------	---	---

(结点)

b	3000 3011	?	?
---	--------------	---	---

(结点)

c	2500 2511	?	?
---	--------------	---	---

(结点)

head	2100 2103	?
------	--------------	---

p	2200 2203	?
---	--------------	---



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {
    long num;
    float score;
    struct student *next;
};

int main()
{
    student a, b, c, *head, *p;
    a.num = 31001; a.score=89.5;
    b.num = 31003; b.score=90;
    c.num = 31007; c.score=85;
    head = &a;   a.next = &b;   b.next = &c;   c.next = NULL;
    p=head;
    do {
        cout << p->num << " " << p->score << endl;
        p=p->next;
    } while(p!=NULL);
}
```

a	2000 2011	31001 89.5	?
---	--------------	---------------	---

(结点)

b	3000 3011	31003 90	?
---	--------------	-------------	---

(结点)

c	2500 2511	31007 85	?
---	--------------	-------------	---

(结点)

head	2100 2103	?
------	--------------	---

p	2200 2203	?
---	--------------	---



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};  
  
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;  
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;  
    p=head;  
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```

a	2000	31001	3000
	2011	89.5	

(结点)

b	3000	31003	2500
	3011	90	

(结点)

c	2500	31007	NULL
	2511	85	

(结点)

head	2100	2000
	2103	

p	2200	?
	2203	





例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};  
  
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;  
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;  
    p=head;  
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```

a	2000 2011	31001 89.5	3000
---	--------------	---------------	------

(结点)

b	3000 3011	31003 90	2500
---	--------------	-------------	------

(结点)

c	2500 2511	31007 85	NULL
---	--------------	-------------	------

(结点)

head	2100 2103	2000
------	--------------	------

p	2200 2203	?
---	--------------	---



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

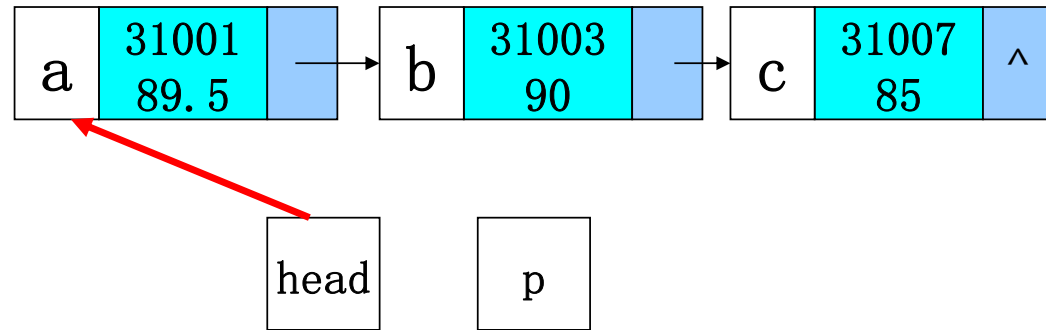
```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};
```

```
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;
```

```
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;
```

```
    p=head;
```

```
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```

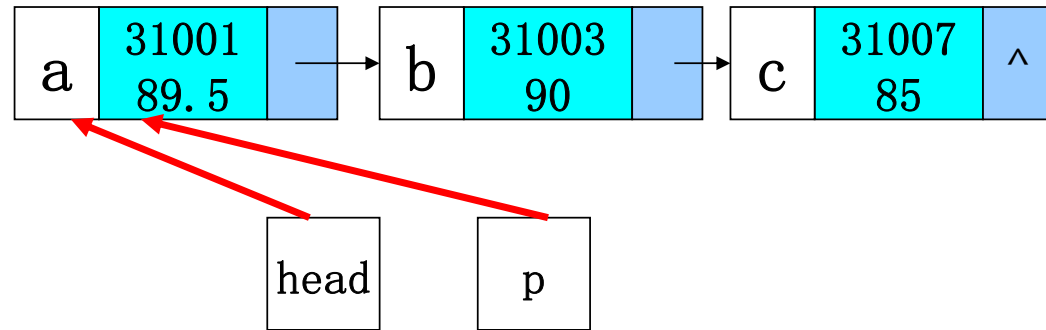




例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};
```

```
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;  
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;  
    p=head;  
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```

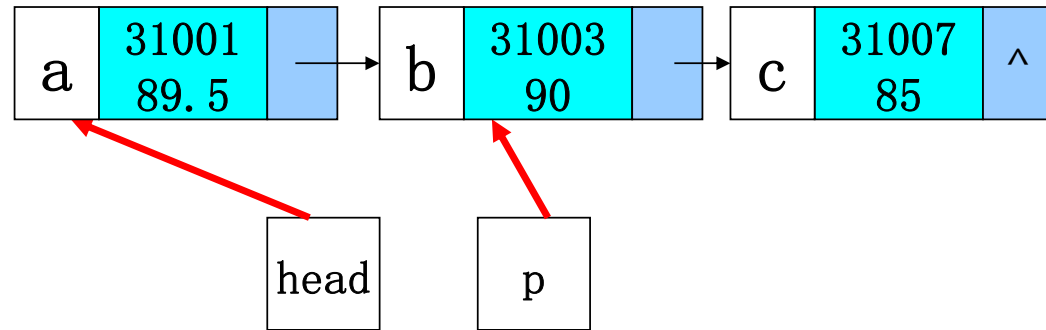




例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};
```

```
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;  
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;  
    p=head;  
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```



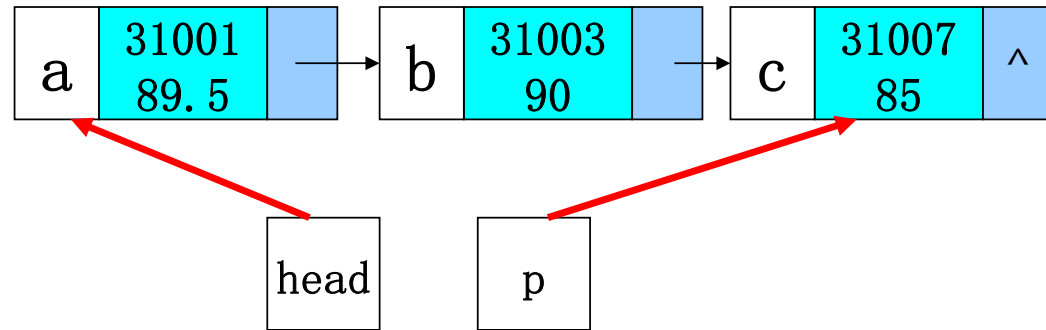
31001 89.5



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};
```

```
int main()  
{  
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;  
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;  
    p=head;  
    do {  
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;  
    } while(p!=NULL);  
}
```



```
31001 89.5  
31003 90
```



例：一个简单的静态方式链表(非链表的常规用法)

```
struct student {  
    long num;  
    float score;  
    struct student *next;  
};
```

```
int main()  
{
```

```
    student a,b,c, *head, *p;  
    a.num = 31001; a.score=89.5;  
    b.num = 31003; b.score=90;  
    c.num = 31007; c.score=85;
```

```
    head = &a;    a.next = &b;    b.next = &c;    c.next = NULL;
```

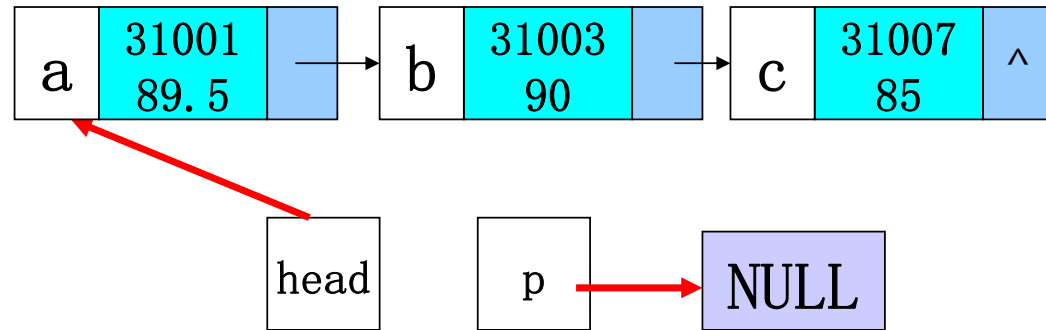
```
    p=head;
```

```
    do {
```

```
        cout << p->num << " " << p->score << endl;  
        p=p->next;
```

```
    } while(p!=NULL);
```

```
}
```



```
31001 89.5  
31003 90  
31007 85
```



## § 13. 动态内存申请

### 2. 指向结构体变量的指针与链表

#### 2. 1. 链式结构的基本概念

#### 2. 2. 链表与数组的比较

数组	链表
大小在声明时固定	大小不固定
处理的数据个数有差异时，须按最大值声明	根据需要随时增加/减少结点
内存地址连续，可直接计算得到某个元素的地址	内存地址不连续，必须依次查找
逻辑上连续，物理上连续	逻辑上连续，物理上不连续



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### 3.1. C中的相关函数

- ★ `void *malloc(unsigned size);`
  - 申请size字节的连续内存空间, 返回该空间首地址, 对申请到的空间不做初始化操作
  - 如果申请不到空间, 返回NULL
- ★ `void *calloc(unsigned n, unsigned size);`
  - 申请n\*size字节的连续内存空间, 返回该空间首地址, 对申请到的空间做初始化为0 (\0)
  - 如果申请不到空间, 返回NULL
- ★ `void *realloc(void *ptr, unsigned newsize);`
  - 稍后见专题讨论
- ★ `void free(void *p);`  
释放p所指的内存空间 (p必须是malloc/calloc/realloc返回的首地址)

- 因为是系统库函数, 需要包含头文件 (VS系列可不要)

`#include <stdlib.h> //C方式`

`#include <cstdlib> //C++方式`

#### 3.2. C++中的相关运算符

- ★ 用 `new` 运算符申请空间 (如果申请不到空间, `new`缺省会抛出`bad_alloc`异常, 需要使用try-catch方式处理异常; 也可以在new时加`nothrow`来强制禁用抛出异常并返回NULL)
  - try-throw-catch称为C++的异常处理机制, 后面再专题介绍
- ★ 用 `delete` 运算符释放空间
- 因为是运算符, 不需要包含头文件

★ 用malloc/calloc等申请的空间, 用free释放, 用new申请的空间, 用delete释放





## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

申请对象	C的函数方式	C++的运算符
普通变量	形式1: 先定义指针变量, 再申请 <pre>int *p; p = (int *)malloc(sizeof(int)); p = (int *)calloc(1, sizeof(int));</pre>	形式1: 先定义指针变量, 再申请 <pre>int *p; p = new int;</pre>
	形式2: 定义指针变量的同时申请 <pre>int *p = (int *)malloc(sizeof(int)); int *p = (int *)calloc(1, sizeof(int));</pre>	形式2: 定义指针变量的同时申请 <pre>int *p = new int;</pre>
	说明: 虽然初次申请时也可以用 <pre>p = (int *)realloc(NULL, sizeof(int));</pre> 但一般不用	形式3: 申请空间时赋初值 <pre>int *p;      或   int *p=new int(10); p=new int(10);</pre>



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

申请对象	C的函数方式	C++的运算符
一维数组	形式1: 先定义指针变量, 再申请 <pre>int *p; p = (int *)malloc(10*sizeof(int)); p = (int *)calloc(10, sizeof(int));</pre>	形式1: 先定义指针变量, 再申请 <pre>int *p; p = new int[10]; //申请10个int型空间</pre>
	形式2: 定义指针变量的同时申请空间 <pre>char *name = (char *)malloc(10*sizeof(char)); char *name = (char *)calloc(10, sizeof(char));</pre>	形式2: 定义指针变量的同时申请空间 <pre>char *name = new char[10]; //申请10个char</pre>
	<p>说明:</p> <p>虽然初次申请时也可以用</p> <pre>p = (int *)realloc(NULL, 10*sizeof(int));</pre> <p>但一般不用</p>	<p>形式3: 申请空间时赋初值</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● 动态申请的一维数组可以在申请时赋初值, 方法为后面跟 {}, {} 前不要加=, 且[]内必须有数, 其余规则同一维数组定义时初始化</li><li>● 对于字符类型, Dev/Linux不支持字符串方式初始化</li></ul> <p>例:</p> <pre>int *p; p = new int[5] {1, 2, 3, 4, 5}; //正确 p = new int[5] {1, 2, 3, 4, 5, 6}; //错误 p = new int[5] {1, 2}; //后面自动为0 p = new int[5]={1, 2, 3, 4, 5}; //错误 p = new int[] {1, 2, 3, 4, 5}; //VS正确+Dev/Linux错误</pre> <pre>char *s; s = new char[5] {'H', 'e', 'l', 'l', 'o'}; //正确 s = new char[5] {"Hello"}; //错误 s = new char[6] {"Hello"}; //VS正确+Dev/Linux错误</pre>



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

申请对象	C的函数方式	C++的运算符
二维数组	形式1: 先定义指针变量, 再申请 <pre>int (*p)[4]; p = (int (*)[4])malloc(3*4*sizeof(int)); p = (int (*)[4])calloc(3*4, sizeof(int));</pre>	形式1: 先定义指针变量, 再申请 <pre>int *p; p = new int[3][4]; //申请3行4列, 错!!! int (*p)[4]; p = new int[3][4]; //申请3行4列, 对!!!</pre>
	形式2: 定义指针变量的同时申请空间 <pre>int (*p)[4] = (int (*)[4])malloc(3*4*sizeof(int)); int (*p)[4] = (int (*)[4])calloc(3*4, sizeof(int));</pre>	形式2: 定义指针变量的同时申请空间 <pre>float (*f)[4]=new float[3][4];</pre>
	说明: 虽然初次申请时也可以用 <pre>p = (int (*)[4])realloc(NULL, 3*4*sizeof(int));</pre> 但一般不用	形式3: 申请空间时赋初值 ● 动态申请的二维数组可以在申请时赋初值, 方法为后面跟 <b>双层{} </b> , <b>{}前不要加=, 且[]内必须有数</b> , 其余规则同二维数组定义时初始化 ● 对于字符类型, Dev/Linux不支持字符串方式初始化  例: <pre>int (*p)[3]; p = new int[2][3] {1, 2, 3, 4, 5, 6}; //VS正确+Dev/Linux错误 p = new int[2][3] {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}}; //正确 p = new int[2][3] {{1, 2}, {3, 4, 5, 6}}; //错误 p = new int[2][3] {1, 4}; //VS正确+Dev/Linux错误 p = new int[2][3] {{1}, {4}}; //正确</pre> 例: <pre>char (*p)[6]; p = new char[2][6] {'A', 'B', 'C'}; //VS正确+Dev/Linux错误 p = new char[2][6] {{'A'}, {'B', 'C'}}; //正确 p = new char[2][6] {"Hello", "China"}; //VS正确+Dev/Linux错误 p = new char[2][6] {"Hello1", "China"}; //错误</pre> 注: 字符型在使用字符串方式初始化时, VS允许一层{}



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

释放对象	C的函数方式	C++的运算符
普通变量	<pre>int *p = (int *)malloc(sizeof(int)); int *p = (int *)calloc(1, sizeof(int)); free(p);</pre>	<pre>int *p = new int; delete p;</pre>
一维数组	<pre>int *p = (int *)malloc(10*sizeof(int)); int *p = (int *)calloc(10, sizeof(int)); free(p);</pre>	<pre>int *p = new int[10]; delete []p;</pre> <ul style="list-style-type: none"><li>● 某些资料上说可以 <code>delete name</code>, 因为一维数组地址可理解为首元素地址, 不加[] (<b>说法不准确, 必须加</b>)</li><li>● 对于int/char等基本类型的数组, 加不加均正确; 但对于用户自定义的class, 则必须加, <b>错误例子见后</b></li></ul>
二维数组	<pre>int (*p)[4] = (int (*)[4])malloc(3*4*sizeof(int)); int (*p)[4] = (int (*)[4])calloc(3*4, sizeof(int)); free(p);</pre>	<pre>int (*p)[4] = new int[3][4]; delete []p;</pre> <ul style="list-style-type: none"><li>● 二维以上必须加一个[], 否则编译警告</li></ul>



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

释放对象	C++的运算符
一维数组	<pre>int *p = new int[10]; delete []p;</pre> <ul style="list-style-type: none"><li>● 某些资料上说可以 <code>delete name</code>, 因为一维数组地址可理解为 首元素地址, 不加[] (<b>说法不准确, 必须加</b>)</li><li>● 对于int/char等基本类型的数组, 加不加均正确; 但对于用户自定义的class, 则必须加, <b>错误例子见后</b></li></ul>

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

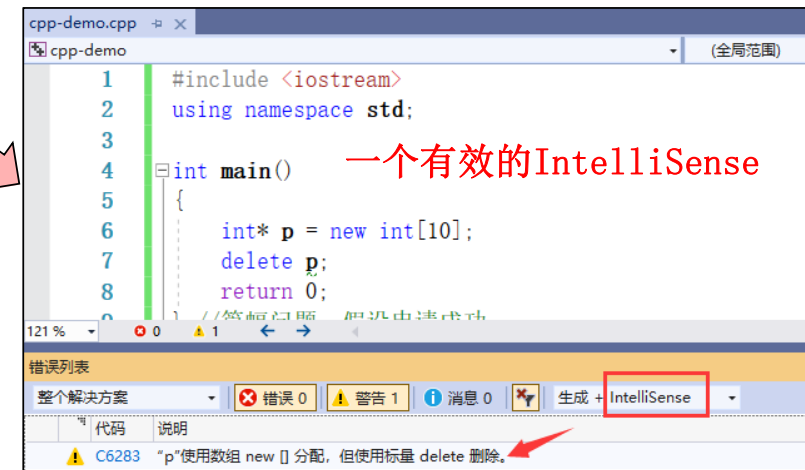
int main()
{
    int *p = new int[10];
    delete []p;

    return 0;
}
//篇幅问题, 假设申请成功
```

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

int main()
{
    int *p = new int[10];
    delete p;

    return 0;
}
//篇幅问题, 假设申请成功
```



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

释放对象	C++的运算符
一维数组	<pre>int *p = new int[10]; delete []p;</pre> <ul style="list-style-type: none"><li>● 某些资料上说可以 <code>delete name</code>, 因为一维数组地址可理解为首元素地址, 不加[] (说法不准确, 必须加)</li><li>● 对于int/char等基本类型的数组, 加不加均正确; 但对于用户自定义的class, 则必须加, 错误例子见后</li></ul>

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

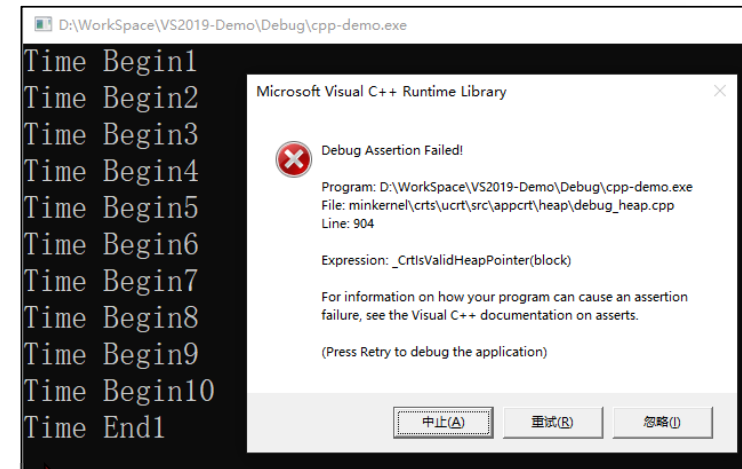
class Time {
private:
    int hour, minute, second;
public:
    Time(int h=0, int m=0, int s=0);
    ~Time();
};

Time::Time(int h, int m, int s)
{
    hour = h;
    minute = m;
    second = s;
    cout << "Time Begin" << hour << endl;
}

Time::~Time()
{
    cout << "Time End" << hour << endl;
}
```

```
int main()
{
    Time *t1 = new Time[10] {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
    delete t1;
    return 0;
} //篇幅问题, 假设申请成功
```

```
int main()
{
    Time *t1 = new Time[10] {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
    delete []t1;
    return 0;
} //篇幅问题, 假设申请成功
```



```
Time Begin1
Time Begin2
Time Begin3
Time Begin4
Time Begin5
Time Begin6
Time Begin7
Time Begin8
Time Begin9
Time Begin10
Time End10
Time End9
Time End8
Time End7
Time End6
Time End5
Time End4
Time End3
Time End2
Time End1
```



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C : 可通过强制类型转换将void型的指针转为其它类型

★ C++ : 申请时自动确定类型

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{   int *p;
    p = (int *)malloc(10*sizeof(int));
    if (p==NULL) {
        cout << "No Memory" << endl;
        return -1;
    }
    cout << *p << endl; //观察运行结果, 是否进行了初始化
    free(p);
    return 0;
}
```

强制类型转换

申请10个int型的变量  
空间可以直接写成  
malloc(40), 但不建议,  
因为适应型差

```
int main()
{   int *p;
    p = new(nothrow) int[10];
    if (p==NULL) {
        cout << "No Memory" << endl;
        return 0;
    }

    ...
    delete p;
    ...
    return 0;
}
```

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{   int *p;
    p = (int *)calloc(10, sizeof(int));
    if (p==NULL) {
        cout << "No Memory" << endl;
        return -1;
    }
    cout << *p << endl; //观察运行结果, 是否进行了初始化
    free(p);
    return 0;
}
```

强制类型转换

申请10个int型的变量  
空间可以直接写成  
calloc(10, 4), 但不建  
议, 因为适应型差

malloc(10\*sizeof(int))  
calloc(10, sizeof(int))  
realloc(NULL, 10\*sizeof(int))  
都表示申请连续的40字节空间,  
结果一样, 只是表示方式有差别  
以及是否初始化有差别



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ 静态数据区、动态数据区、动态内存分配区(称为堆空间)的地址各不相同

例：观察下列程序的输出

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
using namespace std;
int a;
int main()
{
    int b;
    int *c;
    c = (int *)malloc(sizeof(int)); //一个int
    if (c==NULL) {
        cout << "申请int失败" << endl;
        return -1;
    }
    cout << &a <<endl;
    cout << &b <<endl;
    cout << &c << ' ' << c <<endl;
    free(c);

    return 0;
}
```

问：静态数据区/动态数据区/  
堆空间的大小如何？如何  
验证？





## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ 打开Windows的任务管理器，观察下列程序的运行结果，理解“动态申请与释放”的概念

例：观察下列程序的输出

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

int main()
{
    char *p;
    p = (char *)malloc(100 * 1024 * 1024 * sizeof(char)); //100MB
    if (p==NULL) {
        cout << "申请空间失败，请减少申请值后重试" << endl;
        return -1;
    }
    cout << "申请完成，请在任务管理器中观察内存占用" << endl;
    getchar(); //暂停，不释放内存

    free(p);
    cout << "释放完成，请在任务管理器中观察占用" << endl;
    getchar(); //暂停，不退出程序
    return 0;
}
```

如果是Linux下测试，则使用  
top命令观察内存占用，具体  
请自行查阅资料



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C/C++ : 动态申请返回的指针可以进行指针运算, 但释放时必须给出申请返回时的首地址, 否则释放时会出错

(以下几种情况均是编译不错执行错, 用多编译器观察运行结果)

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

```
int main()
{
    int i, *p;
    p = &i;
    free(p);
    return 0;
}
```

//p不是动态申请的空间

```
#include <iostream>
//不需要包含头文件stdlib
using namespace std;
```

```
int main()
{
    int i, *p;
    p = &i;
    delete p;
    return 0;
}
```

//p不是动态申请的空间

```
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
using namespace std;
```

```
int main()
{
    int *p;
    p=(int*)malloc(sizeof(int)); //未判断
    p++;
    free(p);
    return 0;
}
```

//p已不指向动态申请的空间

```
#include <iostream>
//不需要包含头文件stdlib
using namespace std;
```

```
int main()
{
    int *p;
    p = new(nothrow) int; //未判断
    p++;
    delete p;
    return 0;
}
```

//p已不指向动态申请的空间

#### 特别说明:

- 1、虽然申请一个int空间不可能申请失败, 但从程序规范角度出发, 要求每次申请后均需要判断申请是否成功
- 2、本例及后续课件中, 为了节约空间, 部分示例程序省略了是否成功的判断, 特此说明



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C/C++ : 动态内存申请的空间若不释放, 则会造成内存泄露, 这种情况不会导致即时错误, 但最终会耗尽内存

```
#include <iostream>
#include <cstdlib> //malloc系列函数用
using namespace std;
int main()
{
    char *p;
    int num = 0;
    while(1) {
        p = (char *)malloc(1024*1024*sizeof(char));
        if (p==NULL)
            break;
        num ++;
    }
    cout << num << " MB" << endl;
    return 0;
}
```

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

int main()
{
    char *p;
    int num = 0;
    while(1) {
        p = new(nothrow) char[1024*1024];
        if (p==NULL)
            break;
        num ++;
    }
    cout << num << " MB" << endl;
    return 0;
}
```

耗尽内存的例子:

- 1、每次申请1MB空间
- 2、申请完成后不释放, 且p不再指向, 导致内存泄露
- 3、循环1-2至内存耗尽



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C/C++ : 动态内存申请的空间若不释放, 则会造成**内存泄露**, 这种情况不会导致即时错误, 但最终会**耗尽内存**

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char *p;
    int count = 0;
    while (1) {
        try {
            p = new char[1024 * 1024];
        }
        catch (const bad_alloc &mem_fail) {
            cout << mem_fail.what() << endl; //打印原因
            break;
        }
        count++;
    }
    cout << count << " MB" << endl;
    return 0;
}
```

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char *p;
    int count = 0;
    try {
        while (1) {
            p = new char[1024 * 1024];
            count++;
        }
    }
    catch (const bad_alloc &mem_fail) {
        cout << mem_fail.what() << endl; //打印原因
    }
    cout << count << " MB" << endl;
    return 0;
}
```

耗尽内存的例子:

- 1、每次申请1MB空间
- 2、申请完成后不释放, 且p不再指向, 导致内存泄露
- 3、循环1-2至内存耗尽

在新版C++标准中, new申请失败会抛出异常bad\_alloc, 需要使用try-catch来处理异常



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C/C++ : 动态内存申请的空间若不释放, 则会造成内存泄露, 这种情况不会导致即时错误, 但最终会耗尽内存  
(坚决反对此种用法, 且不是所有的操作系统都支持)

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

```
int main()
{
    int *p;
    p=(int *)malloc(...);
    ...;
    return 0;
}
```



p所申请的空间在程序运行结束后由操作系统回收

```
#include <iostream>
//不需要包含头文件stdlib
using namespace std;
```

```
int main()
{
    int *p;
    p = new ...;
    ...;
    return 0;
}
```



p所申请的空间在程序运行结束后由操作系统回收

```
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
using namespace std;
```

```
int main()
{
    int *p;
    /* 假设ATM机取款 */
    for(;;) {
        ...; //等待用户刷卡
        p=(int*)malloc(...);
        ...;
    }
    return 0;
}
```



会逐渐耗尽内存

```
#include <iostream>
//不需要包含头文件stdlib
using namespace std;
```

```
int main()
{
    int *p;
    /* 假设ATM机取款 */
    for(;;) {
        ...; //等待用户刷卡
        p = new ...;
        ...;
    }
    return 0;
}
```



会逐渐耗尽内存



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C : 对简单变量、一维/多维数组没有分别, 只算总大小

★ C++ : 不同情况申请方法不同

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

int main()
{
    int *p;
    p = (int *)malloc(sizeof(int)); //未判断
    *p = 10;
    cout << *p << endl;
    free(p); //记得释放
    return 0;
}
```

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

int main()
{
    int *p;
    p = new(nothrow) int; //未判断
    *p = 10;
    cout << *p << endl;
    delete p; //记得释放
    return 0;
}
```

申请一个int型空间



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C : 对简单变量、一维/多维数组没有分别, 只算总大小

★ C++ : 不同情况申请方法不同

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

int main()
{
    int i, *p;
    p = (int *)malloc(10*sizeof(int));
    for(i=0; i<10; i++)
        p[i] = (i+1)*(i+1); //赋初值
    for(i=0; i<10; i++)
        cout << *(p+i) << endl; //打印
    free(p); //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```

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

int main()
{
    int i, *p;
    p = new(nothrow) int[10];
    for(i=0; i<10; i++)
        p[i] = (i+1)*(i+1); //赋初值
    for(i=0; i<10; i++)
        cout << *(p+i) << endl; //打印
    delete []p; //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```

申请10个int型空间,  
当一维数组用  
指针法/下标法均可



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C : 对简单变量、一维/多维数组没有分别, 只算总大小

★ C++ : 不同情况申请方法不同

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

int main()
{
    int i, *p, *head;
    p = (int *)malloc(10*sizeof(int));
    head = p;
    for(i=0; i<10; i++)
        *p++ = (i+1)*(i+1); //赋初值
    for(p=head; p-head<10; p++)
        cout << *p << endl; //打印
    free(head); //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```

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

int main()
{
    int i, *p, *head;
    p = new(nothrow) int[10];
    head = p;
    for(i=0; i<10; i++)
        *p++ = (i+1)*(i+1); //赋初值
    for(p=head; p-head<10; p++)
        cout << *p << endl; //打印
    delete []head; //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```

申请10个int当一维数组用  
用head记住申请的首地址,  
便于复位和释放, p可++/--





## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C : 对简单变量、一维/多维数组没有分别, 只算总大小

★ C++ : 不同情况申请方法不同

申请12个int型空间  
当做二维数组使用  
指针法/下标法均可

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

int main()
{
    int i, j, (*p)[4];
    p=(int (*)[4]) malloc(3*4*sizeof(int));
    for(i=0; i<3; i++)
        for(j=0; j<4; j++)
            p[i][j] = i*4+j; //赋初值
    for(i=0; i<3; i++) {
        for(j=0; j<4; j++)
            cout << *((p+i)+j) << ' ';
        cout << endl; //每行加回车
    }
    free(p); //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```

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

int main()
{
    int i, j, (*p)[4];
    p = new(nothrow) int[3][4];
    for(i=0; i<3; i++)
        for(j=0; j<4; j++)
            p[i][j] = i*4+j; //赋初值
    for(i=0; i<3; i++) {
        for(j=0; j<4; j++)
            cout << *((p+i)+j) << ' ';
        cout << endl; //每行加回车
    }
    delete []p; //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C : 对简单变量、一维/多维数组没有分别, 只算总大小

★ C++ : 不同情况申请方法不同

申请12个int当二维使用  
p为行指针, p\_element为  
元素指针, head记住首址

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

int main()
{
    int i, j, (*p)[4], (*head)[4], *p_element;
    head = p = (int (*)[4]) malloc(3*4*sizeof(int));
    for(i=0; i<3; i++)
        for(j=0; j<4; j++)
            p[i][j] = i*4+j; //赋初值
    for(p=head; p-head<3; p++) {
        for(p_element=*p; p_element-*p<4; p_element++)
            cout << *p_element << ' ';
        cout << endl; //每行加回车
    }
    free(head); //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```

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

int main()
{
    int i, j, (*p)[4], (*head)[4], *p_element;
    head = p = new(nothrow) int[3][4];
    for(i=0; i<3; i++)
        for(j=0; j<4; j++)
            p[i][j] = i*4+j; //赋初值
    for(p=head; p-head<3; p++) {
        for(p_element=*p; p_element-*p<4; p_element++)
            cout << *p_element << ' ';
        cout << endl; //每行加回车
    }
    delete []head; //记得释放
    return 0;
} //未判断申请是否成功
```



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C/C++ : 动态申请的内存, 只能通过首指针释放一次, 若重复释放, 则会导致运行出错

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

int main()
{
    int *p;
    p = (int *)malloc(sizeof(int)); //未判断
    *p = 10;
    cout << *p << endl;
    free(p); //释放
    free(p); //再次释放, 致运行出错

    return 0;
}
```

```
#include <iostream>

using namespace std;

int main()
{
    int *p;
    p = new(nothrow) int; //未判断
    *p = 10;
    cout << *p << endl;
    delete p; //释放
    delete p; //再次释放, 致运行出错

    return 0;
}
```

重复释放导致错误



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ C/C++ : 如果出现需要嵌套进行动态内存申请的情况, 则按从外到内的顺序进行申请, **反序**进行释放

嵌套申请 先student变量, 再name成员
<pre>#include &lt;iostream&gt; #include &lt;cstdlib&gt; using namespace std;  struct student {     int num;     char *name; };  int main() {     student *s1;     s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节     s1-&gt;name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节     s1-&gt;num = 1001;     strcpy(s1-&gt;name, "zhang");     cout &lt;&lt; s1-&gt;num &lt;&lt; ":" &lt;&lt; s1-&gt;name &lt;&lt; endl;     free(s1-&gt;name); //释放6字节     free(s1); //释放8字节     return 0; } //为节约篇幅, 未判断申请是否成功</pre>

嵌套申请 先student变量, 再name成员
<pre>#include &lt;iostream&gt; using namespace std;  struct student {     int num;     char *name; };  int main() {     student *s1;     s1 = new(nothrow) student; //申请8字节     s1-&gt;name = new(nothrow) char[6]; //申请6字节     s1-&gt;num = 1001;     strcpy(s1-&gt;name, "zhang");     cout &lt;&lt; s1-&gt;num &lt;&lt; ":" &lt;&lt; s1-&gt;name &lt;&lt; endl;     delete []s1-&gt;name; //释放6字节     delete s1; //释放8字节     return 0; } //为节约篇幅, 未判断申请是否成功</pre>



## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};  
  
int main()  
{  
    student *s1;  
    s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节  
    s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节  
    s1->num = 1001;  
    strcpy(s1->name, "zhang");  
    cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;  
    free(s1->name); //释放6字节  
    free(s1); //释放8字节  
    return 0;  
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```



## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};
```

s1	2000 2003	???
----	--------------	-----

```
int main()  
{ student *s1;  
  s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节  
  s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节  
  s1->num = 1001;  
  strcpy(s1->name, "zhang");  
  cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;  
  free(s1->name); //释放6字节  
  free(s1); //释放8字节  
  return 0;  
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```



## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {
```

```
    int num;
```

```
    char *name;
```

```
};
```

```
int main()
```

```
{    student *s1;
```

```
    s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节
```

```
    s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节
```

```
    s1->num = 1001;
```

```
    strcpy(s1->name, "zhang");
```

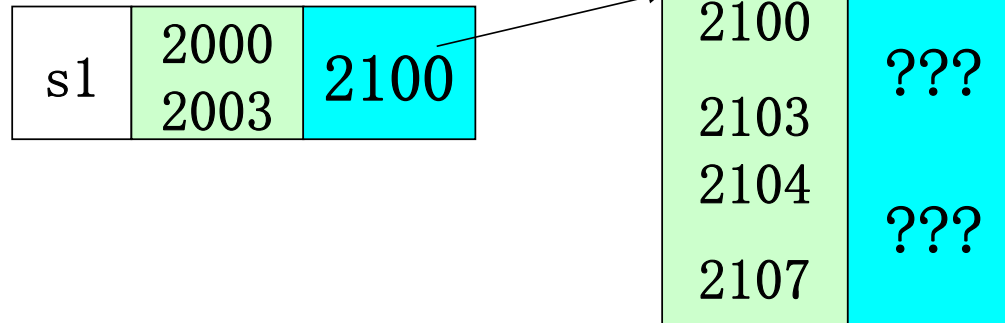
```
    cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;
```

```
    free(s1->name); //释放6字节
```

```
    free(s1); //释放8字节
```

```
    return 0;
```

```
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```





## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};
```

```
int main()
```

```
{ student *s1;
```

```
  s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节
```

```
  s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节
```

```
  s1->num = 1001;
```

```
  strcpy(s1->name, "zhang");
```

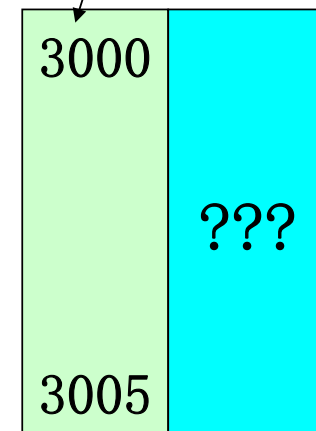
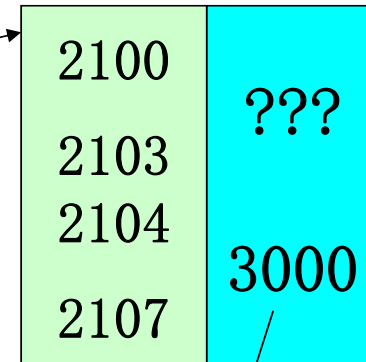
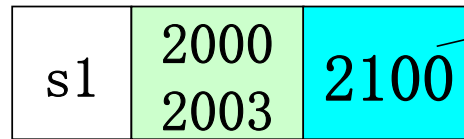
```
  cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;
```

```
  free(s1->name); //释放6字节
```

```
  free(s1); //释放8字节
```

```
  return 0;
```

```
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```







## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {
```

```
    int num;
```

```
    char *name;
```

```
};
```

```
int main()
```

```
{    student *s1;
```

```
    s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节
```

```
    s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节
```

```
    s1->num = 1001;
```

```
    strcpy(s1->name, "zhang");
```

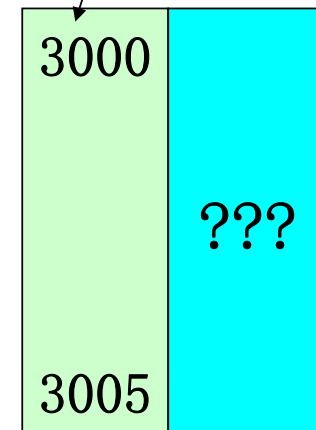
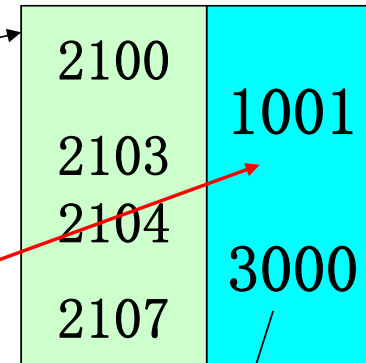
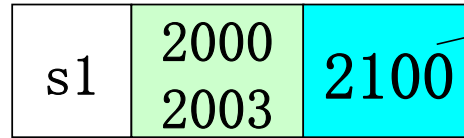
```
    cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;
```

```
    free(s1->name); //释放6字节
```

```
    free(s1); //释放8字节
```

```
    return 0;
```

```
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```





## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};
```

```
int main()
```

```
{ student *s1;
```

```
s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节
```

```
s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节
```

```
s1->num = 1001;
```

```
strcpy(s1->name, "zhang");
```

```
cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;
```

```
free(s1->name); //释放6字节
```

```
free(s1); //释放8字节
```

```
return 0;
```

```
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```

s1	2000 2003	2100
----	--------------	------

2100	1001
2103	
2104	
2107	3000

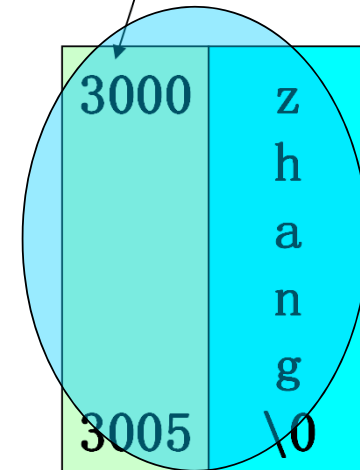
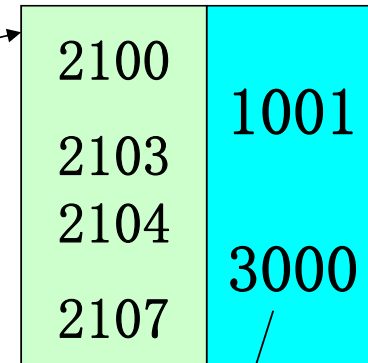
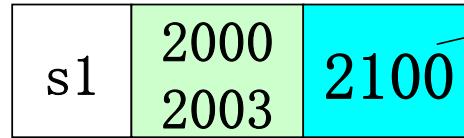
3000	z
	h
	a
	n
	g
3005	\0



## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};
```

```
int main()  
{  
    student *s1;  
    s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节  
    s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节  
    s1->num = 1001;  
    strcpy(s1->name, "zhang");  
    cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;  
    free(s1->name); //释放6字节  
    free(s1); //释放8字节  
    return 0;  
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```

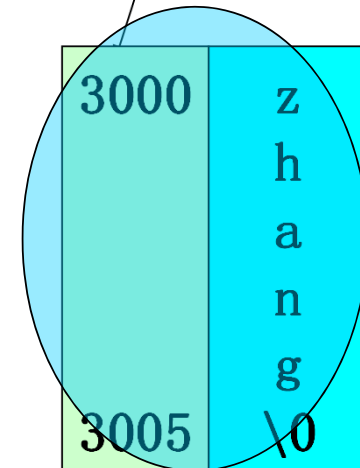
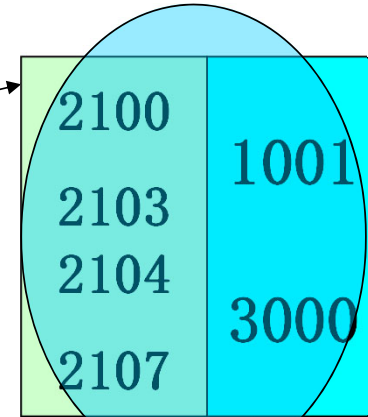
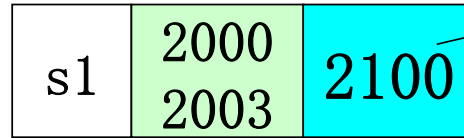




## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};
```

```
int main()  
{  
    student *s1;  
    s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节  
    s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节  
    s1->num = 1001;  
    strcpy(s1->name, "zhang");  
    cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;  
    free(s1->name); //释放6字节  
    free(s1); //释放8字节  
    return 0;  
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```





## ★ 嵌套申请时，按定义顺序进行申请，反序进行释放

```
struct student {  
    int num;  
    char *name;  
};
```

```
int main()  
{ student *s1;
```

s1自身所占4字节  
由操作系统回收

```
s1 = (student *)malloc(sizeof(student)); //申请8字节
```

```
s1->name = (char *)malloc(6*sizeof(char)); //申请6字节
```

```
s1->num = 1001;
```

```
strcpy(s1->name, "zhang");
```

```
cout << s1->num << ":" << s1->name << endl;
```

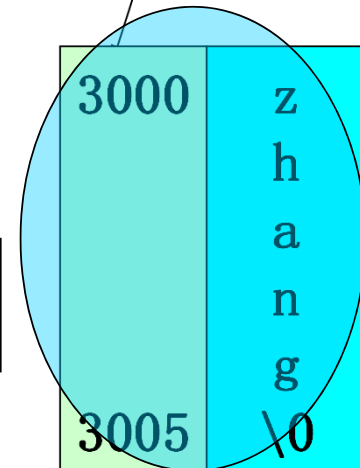
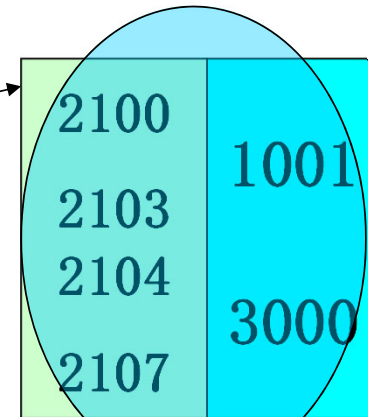
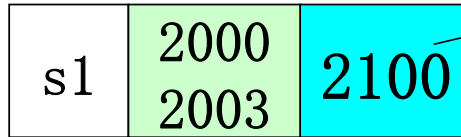
```
free(s1->name); //释放6字节
```

```
free(s1); //释放8字节
```

free的顺序不能反

```
return 0;
```

```
} //为节约篇幅，未判断申请是否成功
```





## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

函数形式:

```
void *realloc(void *ptr, unsigned newsize);
```

- 表示为指针ptr重新申请newsize大小的空间
- ptr必须是malloc/calloc/realloc返回的指针
- 如果ptr为NULL, 则等同于malloc
- 如果ptr非NULL, newsize为0, 则等同于free, 并返回NULL
- 新老空间可重合, 也可能不重合, 若不重合, 原空间原有内容会被复制到新空间, 再释放原空间
- 对申请到的空间不做初始化操作
- 若申请不到, 则返回NULL (此时已有指针ptr不释放)



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

- 如果ptr为NULL，则等同于malloc
- 对申请到的空间不做初始化操作

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

int main()
{
    int *p;
    p = (int *)realloc(NULL, 10 * sizeof(int));
    if (p==NULL) {
        cout << "No Memory" << endl;
        return -1;
    }

    for(int i=0; i<10; i++)
        cout << p[i] << endl;
    free(p);
    return 0;
}
```

强制类型转换

等价于 malloc(10 \* sizeof(int))

观察运行结果，是否进行了初始化



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

- 表示为指针ptr重新申请newsize大小的空间
- ptr必须是malloc/calloc/realloc返回的指针
- 新老空间可重合，也可能不重合，若不重合，原空间原有内容会被复制到新空间，再释放原空间

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
using namespace std;
int main()
{   int i, *p, *q;
    p = (int *)malloc(10 * sizeof(int)); //省略了是否申请成功的判断
    cout << p << endl; //地址
    for (i=0; i<10; i++)
        p[i] = i*i; //为10个数赋初值

    q = (int *)realloc(p, 20 * sizeof(int)); //省略了是否申请成功的判断
    cout << p << ' ' << q << endl; //观察地址是否相同
    for (i=0; i<20; i++)
        cout << p[i] << ' '; //观察前10个和后10个数
    cout << endl;
    free(q);
    return 0;
}
```

此处换成 ++p / p+1等形式，  
多编译器观察程序的运行结果





## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

- 新老空间可重合，也可能不重合，若不重合，原空间原有内容会被复制到新空间，再释放原空间

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

int main()
{
    int *p, *q;
    p = (int *)malloc(10 * sizeof(int)); //省略了是否申请成功的判断
    cout << p << endl;

    q = (int *)realloc(p, 20 * sizeof(int)); //省略了是否申请成功的判断
    cout << p << ' ' << q << endl;

    free(p);
    free(q);

    return 0;
}
```

- |          |                         |
|----------|-------------------------|
| free(p); | 1、多编译器观察程序的运行结果         |
| free(q); | 2、注释掉free(p)，再观察结果      |
|          | 3、此处换成5(小于原大小即可)，再重复1、2 |



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

- 如果ptr非NULL, newsize为0, 则等同于free, 并返回NULL

//先打开Windows的任务管理器, 再观察程序的运行

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

int main()
{
    char *p, *q;

    p = (char *)malloc(100 * 1024 * 1024 * sizeof(char)); //100MB, 此处要保证成功
    if (p == NULL) {
        cout << "申请空间失败, 请减少申请值后重试" << endl;
        return -1;
    }
    cout << "申请完成, 请在任务管理器中观察内存占用" << endl;
    getchar(); //暂停, 不释放内存

    q = (char *)realloc(p, 0); //0字节
    cout << (q==NULL ? "NULL" : q) << endl; //NULL不能直接打印
    cout << "realloc 0字节完成, 请在任务管理器中观察内存占用" << endl;
    getchar(); //暂停, 不退出程序

    return 0;
}
```



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

- 若申请不到，则返回NULL（此时已有指针ptr不释放）

//先打开Windows的任务管理器，再观察程序的运行

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

```
int main()
{
```

```
    char *p, *q;
```

```
    p = (char *)malloc(100 * 1024 * 1024 * sizeof(char)); //100MB，此处要保证成功
```

```
    if (p == NULL) {
        cout << "申请空间失败，请减少申请值后重试" << endl;
        return -1;
    }
```

```
    cout << "申请完成，请观察内存占用" << endl;
    getchar(); //暂停，不释放内存
```

问题：为什么加U？

```
    q = (char *)realloc(p, 2048U * 1024 * 1024 * sizeof(char)); //2GB，此处要保证失败，如果不失败，继续增大值
```

```
    if (q==NULL) //如果不提示失败，2048U继续增大
        cout << "realloc失败，请观察内存占用" << endl;
    getchar(); //暂停，不退出程序
```

```
    free(p);
    return 0;
```

```
}
```

realloc的不正确用法(网上常见):  
传入指针和返回指针用同一个时，  
一旦申请失败，原内存就丢失了!!!!



## § 13. 动态内存申请

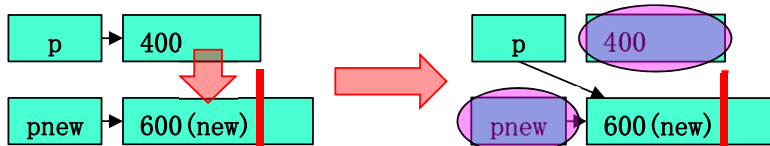
### 3. 内存的动态申请与释放

#### ★ realloc专题讨论

★ C++中没有类似于realloc的renew，如果需要扩大/缩小原动态申请空间，要自己处理

```
int *renew(int *p, int oldsize, int newsize)
{
    int *pnew;
    pnew = new(nothrow) int[newsize]; //申请新
    for(i=0; i<oldsize; i++) //原内容=>新
        pnew[i] = p[i];
    delete p; //释放原空间 (main中的new int [100])
    p = pnew; //原指针p指向新空间
    return p; //pnew已无用，但不能delete
}
```

```
main中: int *p = new int[100];
...
p = renew(p, 100, 150);
...
delete []p; //释放空间 (renew中的new int[150])
```



### 重要提示:

由renew这个例子可看出，C/C++的动态内存申请和释放，可能会在不同函数间进行；因此，在大型程序中要做到无内存泄露是一件很困难的事情，这也是C/C++相比较于其它语言的难点所在!!!

左侧是一个不完整的renew，缺以下情况：

- newsize<oldsize的情况
- 申请失败的情况
- 其它基类型的指针(可重载/模板解决)



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

★ 在C/C++的动态申请混合使用时，可能会出现问题

```
//例: C++的动态申请, 内嵌string类 (C++特有)
#include <iostream>
#include <string>    //C++特有的string类需要
using namespace std;
```

```
struct student {
    string name; //C++特有的string类
    int num;
    char sex;
};
```

```
int main()
{
    student *p;
    p = new(nothrow) student;
    if (p==NULL)    //加判断保证程序的正确性
        return -1;
    p->name = "Wang Fun";
    p->num = 10123;
    p->sex = 'm';
    cout << p->name << endl
         << p->num << endl
         << p->sex << endl;
    delete p;
    return 0;
}
```

本例运行正确

```
//思考: 下面的例子说明了什么?
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
int main()
{
    string s1;
    cout << sizeof(s1) << endl;
    s1 = "***"; //此处长度超sizeof
    cout << sizeof(s1) << endl;
    return 0;
}
```

```
//例: 变化, C方式的动态申请, 内嵌string类 (C++特有)
#include <iostream>
#include <string>    //C++特有的string类需要
#include <stdlib.h>
using namespace std;
```

```
struct student {
    string name; //C++特有的string类
    int num;
    char sex;
};
```

```
int main()
{
    student *p;
    p = (student *)malloc(sizeof(student));
    if (p==NULL)    //加判断保证程序的正确性
        return -1;
    p->name = "Wang Fun";
    p->num = 10123;
    p->sex = 'm';
    cout << p->name << endl
         << p->num << endl
         << p->sex << endl;
    free(p);
    return 0;
}
```

多编译器运行, 哪些编译器下运行错误? 表现是什么?  
为什么?  
(提示: 和左侧的思考题、下面的建议结合在一起思考)

建议:  
C++下的动态内存申请不建议  
采用C函数方式, 不要为了  
realloc的便捷性而降级



## § 13. 动态内存申请

### 3. 内存的动态申请与释放

例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表，学生的基本信息从键盘进行输入

假设键盘输入为

Zhang 1001 m

Li 1002 f

Wang 1003 m

Zhao 1004 m

Qian 1005 f

```
struct student {  
    string name;  
    int num;  
    char sex;  
    struct student *next; //指向结构体自身的指针(下个结点)  
};
```

成员类型不允许是自身的结构体类型，  
但可以是自身结构体类型的指针  
(因为指针占用空间已知)



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

初始状态

```
for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

head	2000	???
	2003	
p	2100	???
	2103	
q	2200	???
	2203	



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

*i=0的循环*

head	2000 2003	???
p	2100 2103	3000
q	2200 2203	???

3000	???
------	-----





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
      q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
      return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
      head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
      q->next = p;
```

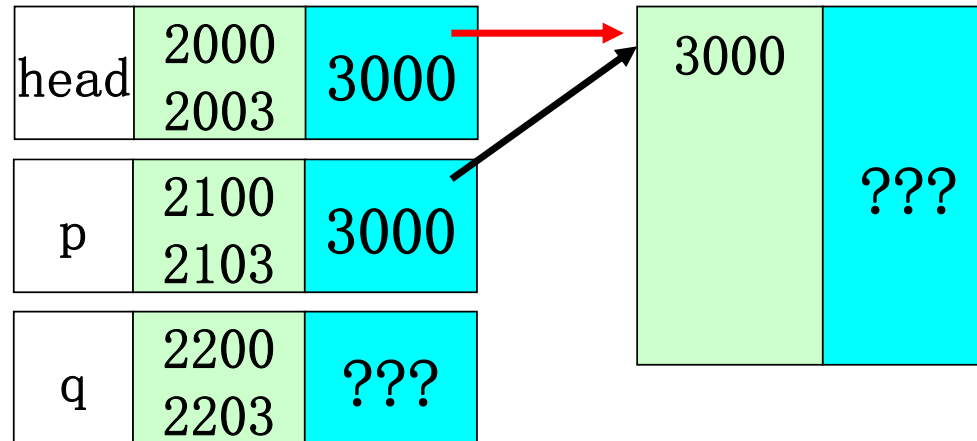
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
  }
```

i=0的循环





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
      q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
      return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
      head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
      q->next = p;
```

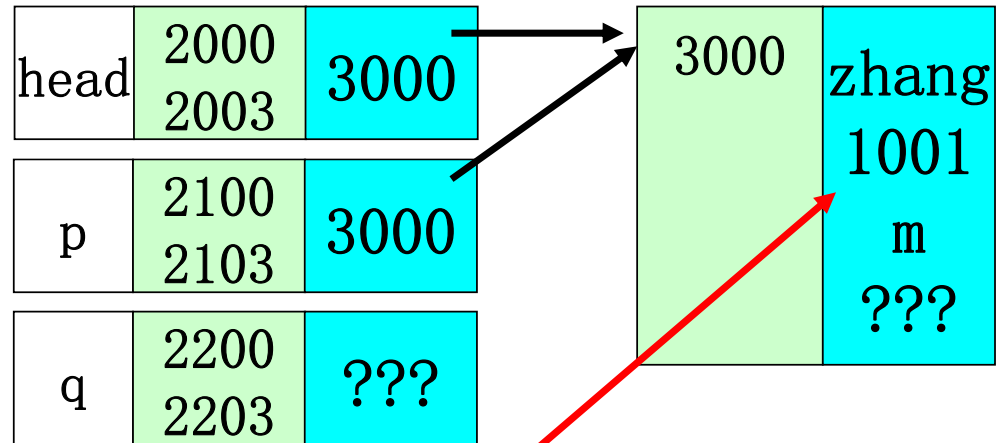
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
  }
```

i=0的循环





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
      q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
      return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
      head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
      q->next = p;
```

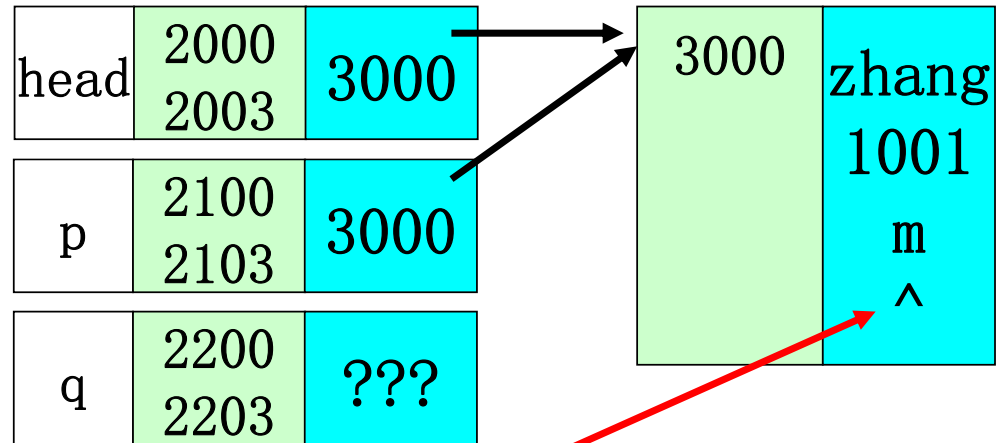
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
  }
```

i=0的循环





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

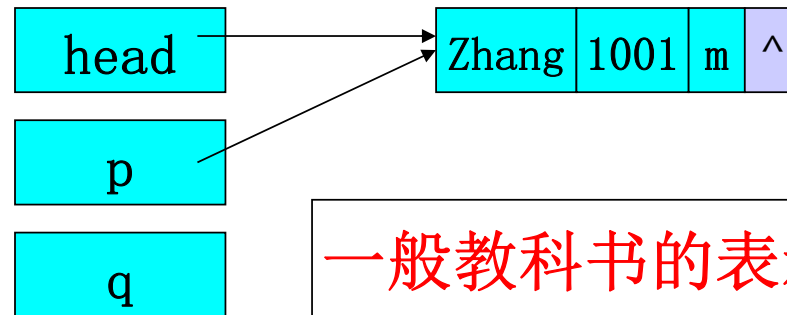
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

i=0的循环



一般教科书的表示



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
      q=p;
```

```
      p = new(nothrow) student;
```

```
      if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
      if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
      else
```

```
        q->next = p;
```

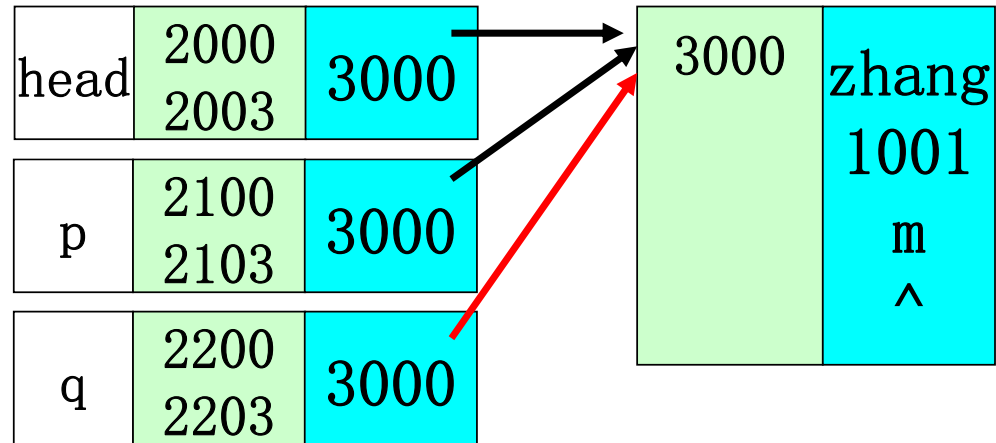
```
      cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
      cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
      p->next = NULL;
```

```
    }
```

i=1的循环





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

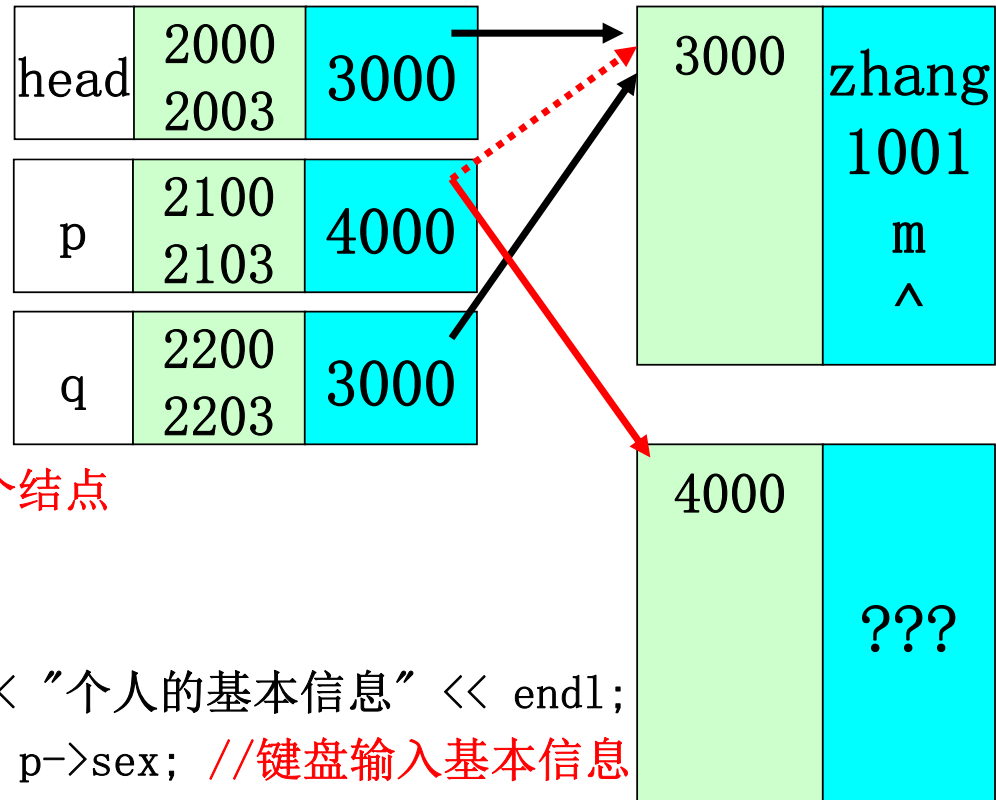
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

*i=1的循环*





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

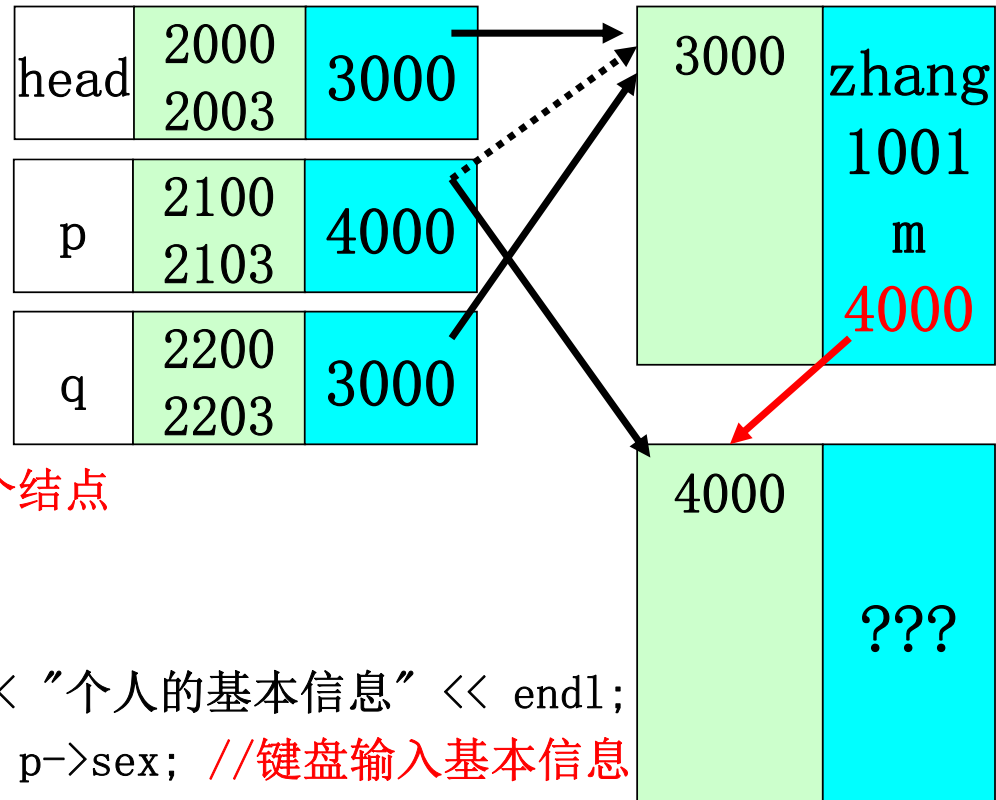
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

i=1的循环





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

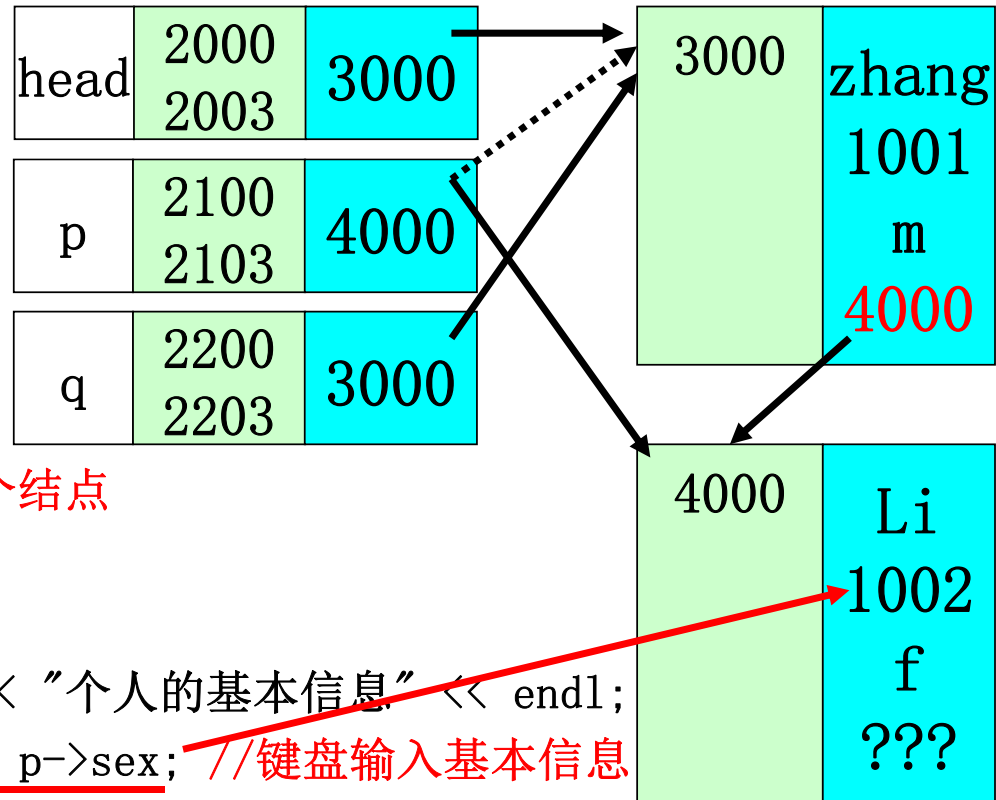
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

i=1的循环







例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
      q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
      return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
      head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
      q->next = p;
```

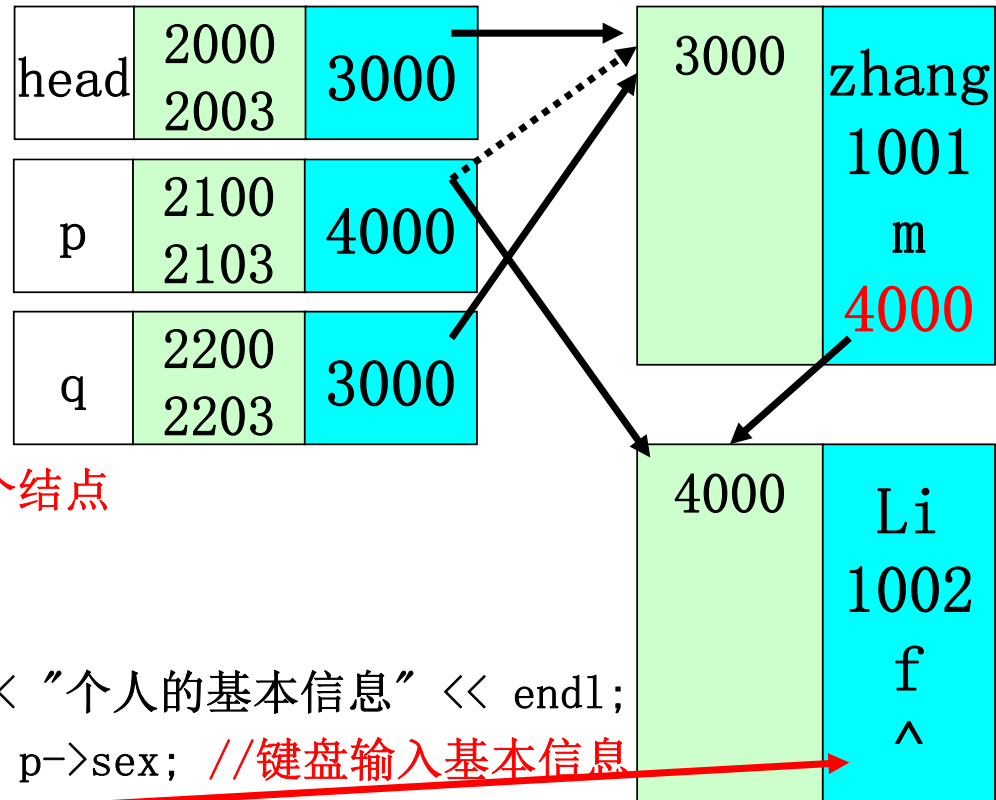
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
  }
```

i=1的循环





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

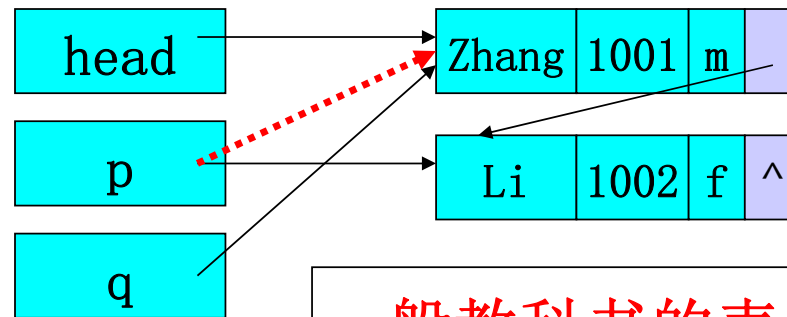
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

i=1的循环



一般教科书的表示



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

i=2-4自行画图



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
      q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
      return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
      head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
      q->next = p;
```

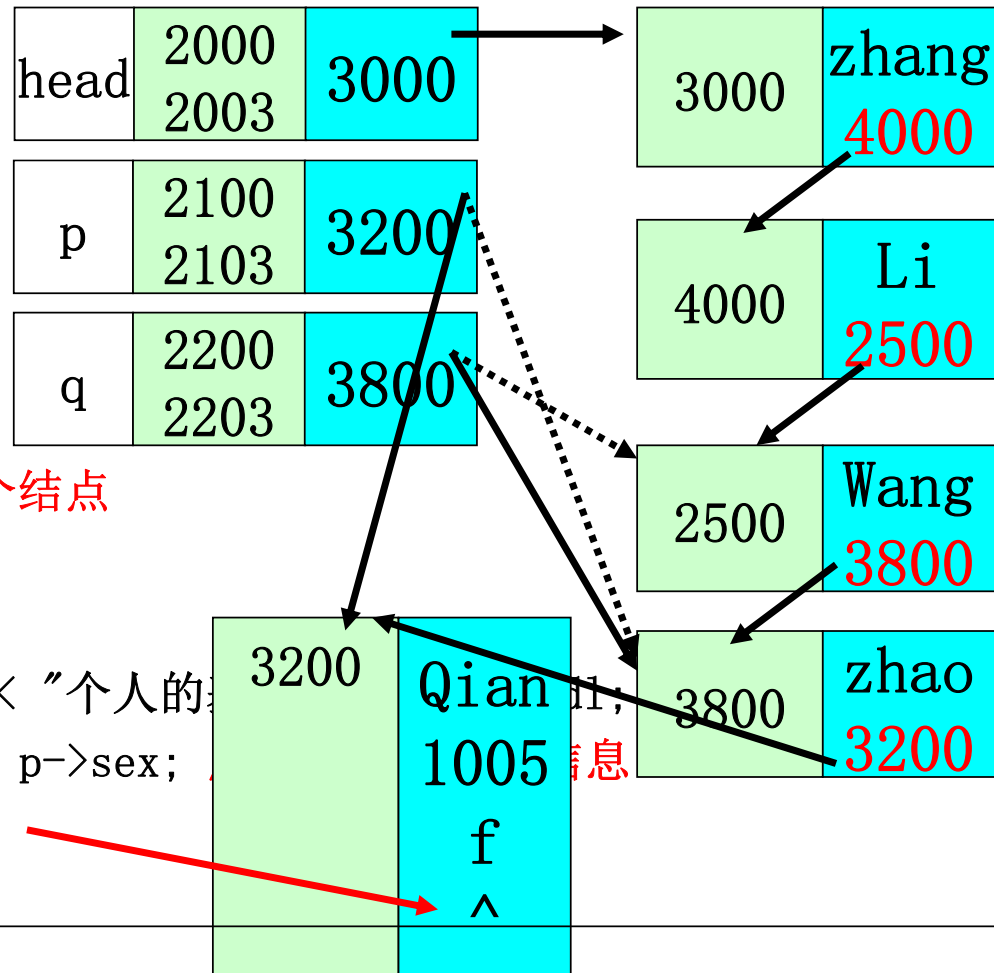
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的";
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex;
```

```
    p->next = NULL;
```

```
  }
```

i=4的循环结束





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

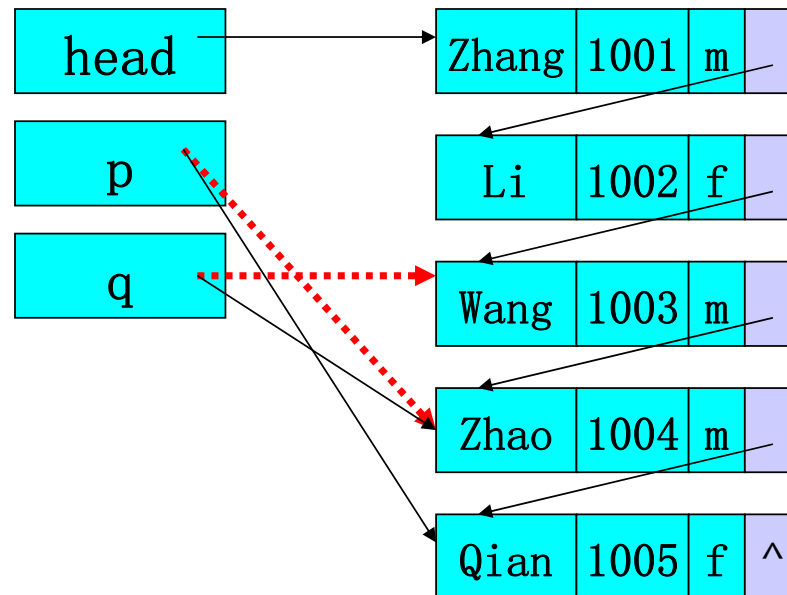
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

i=4的循环结束



一般教科书的表示



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {
```

```
    if (i>0)
```

```
        q=p;
```

```
    p = new(nothrow) student;
```

```
    if (p==NULL)
```

```
        return -1;
```

```
    if (i==0)
```

```
        head = p; //head指向第1个结点
```

```
    else
```

```
        q->next = p;
```

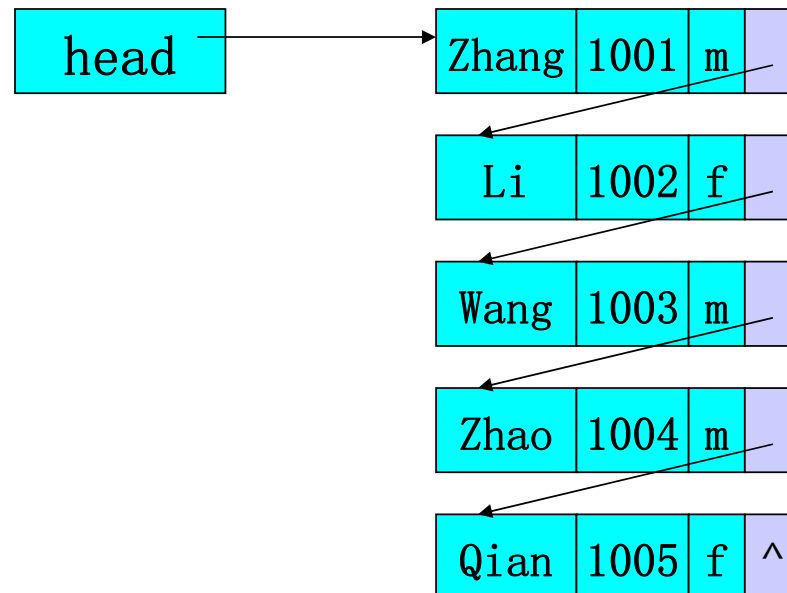
```
    cout << "请输入第" << i+1 << "个人的基本信息" << endl;
```

```
    cin >> p->name >> p->num >> p->sex; //键盘输入基本信息
```

```
    p->next = NULL;
```

```
}
```

循环完成





例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
    for(i=0; i<5; i++) {  
        }
```

刚才建立链表的循环

```
    p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
    while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
        cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
        p=p->next;
```

```
    }
```

```
    p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
    while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
        q = p->next;
```

```
        delete p;
```

```
        p = q;
```

```
    }
```

注意：不能用free

```
    return 0;
```

```
}
```

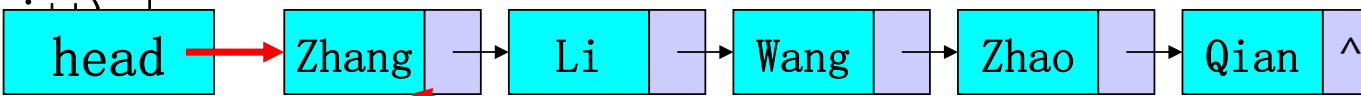


例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```



```
  }
```

```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
  }
```

```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
  }
```

```
  return 0;
```

```
}
```



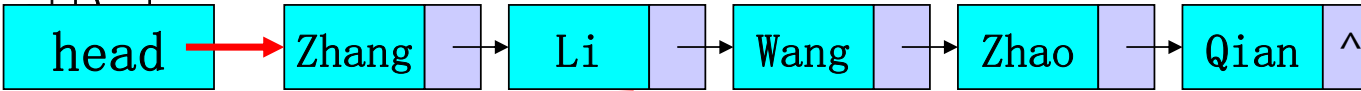


例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```



```
  }
```

```
p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
}
```

Zhang 1001 m

```
p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```

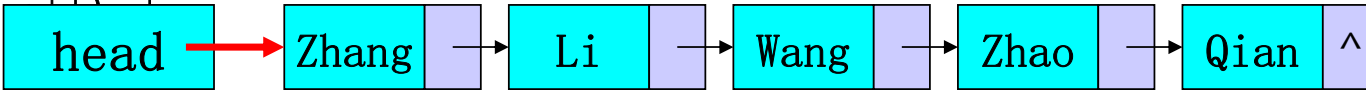


例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```



```
  }
```

```
p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
}
```

Zhang 1001 m

```
p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```

p

后续输出自行画图理解

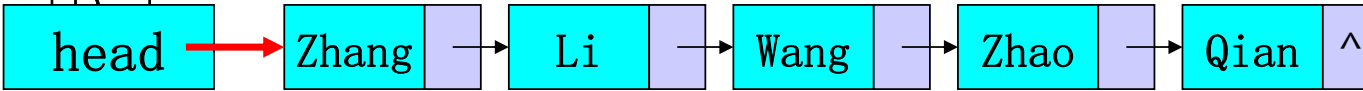


例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
for(i=0; i<5; i++) {
```



```
  }
```

```
p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
}
```

p: ^

最后一个结点输出

循环结束

Zhang 1001 m

Li 1002 f

Wang 1003 m

Zhao 1004 m

Qian 1005 f

```
p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {  
    }
```

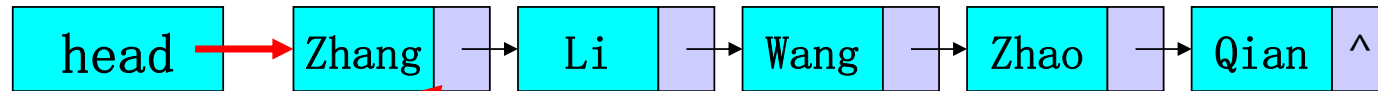
```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
  }
```



```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

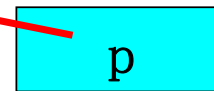
```
  while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
  }
```



```
  return 0;
```

```
}
```



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {  
    }
```

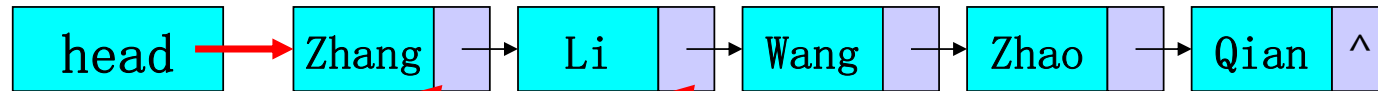
```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
  }
```



```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

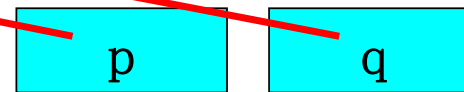
```
  while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
  }
```



```
  return 0;
```

```
}
```



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {  
    }
```

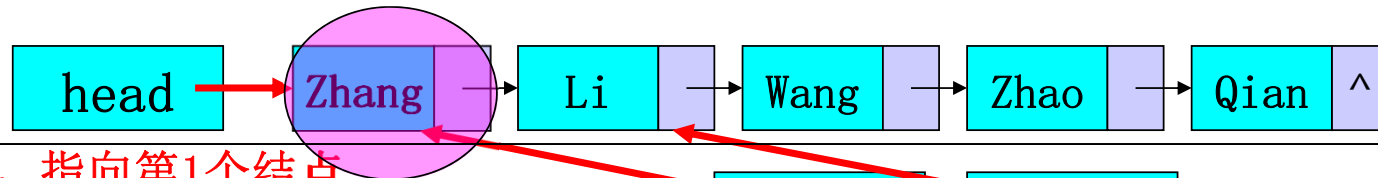
```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
  }
```



```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

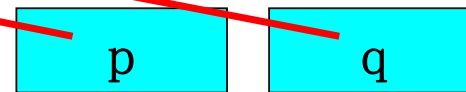
```
  while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
  }
```



```
  return 0;
```

```
}
```



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {  
    }
```

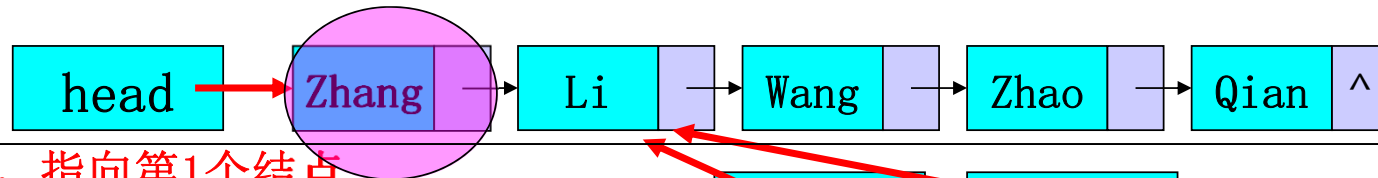
```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
  }
```



```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

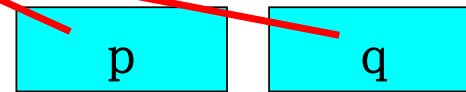
```
  while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
  }
```



后续结点释放自行画图理解

```
  return 0;
```

```
}
```



例：用动态内存申请方式建立一个有5个结点的链表

```
int main()
```

```
{  student *head=NULL, *p=NULL, *q=NULL;  int i;
```

```
  for(i=0; i<5; i++) {  
    }
```

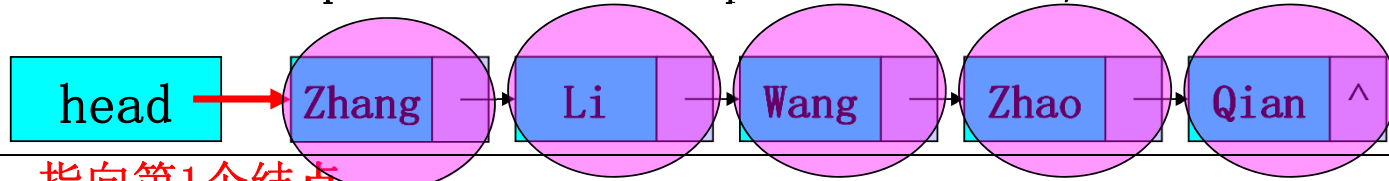
```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p!=NULL) { //循环进行输出
```

```
    cout << p->name << " " << p->num << " " << p->sex << endl;
```

```
    p=p->next;
```

```
  }
```



```
  p=head; //p复位，指向第1个结点
```

```
  while(p) { //循环进行各结点释放
```

```
    q = p->next;
```

```
    delete p;
```

```
    p = q;
```

```
  }
```

p: ^      q: ^

最后一个结点被释放后

循环结束，new申请的5个空间已被释放，指针变量head/p/q自身不是动态申请空间，由操作系统回收

```
  return 0;
```

```
}
```