5.5　for 语句

while 和 do-while 语句往往用在循环次数未知的情况下。当循环次数确定的时候，可以使用 for 语句。

5.5.1　for 语句的语法

for 循环仍然是一种当型循环，其语法如下：

```
for (初始化表达式; 条件表达式; 增量表达式)
{
    循环体
}
```

其中

- 初始化表达式：一般为赋值表达式，为循环控制变量赋初值。初始化表达式只被计算一次。
- 条件表达式：一般为关系表达式或逻辑表达式，作为控制循环测试条件。当结果为真时，循环继续，否则，表达式循环终止。
- 增量表达式：一般为赋值表达式或自增、自减表达式，为循环变量增量或减量。增/减量值一般称为“**步长**”。

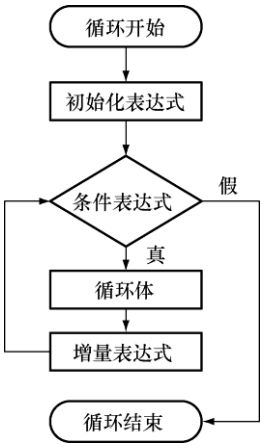


图 5-6　for 语句的流程图

for 语句的流程图 5-6 所示。

对例 5-1，使用 for 语句可以使程序更加简洁：

```
int i,sum=0;
for (i = 1; i <= 10000; ++i) sum += i;
```

或者：

```
int i, sum;
for (i = 1, sum = 0; i <= 10000; ++i) sum += i; //初始化表达式是一个逗号表达式
```

5.5.2　for 语句的变体形式

for 语句的使用非常灵活，其中的 3 个表达式根据实际情况都是可以省略的，但每一个“;”都不能省略。省略了表达式的 for 语句有以下几种变体形式：

（1）省略初始化表达式。如果在 for 语句前面给循环控制变量赋了初始值，那么初始化表达式可以省略。例如：

```
i=1;
for (;i<=10000;++i) sum += i;
```

（2）省略增量表达式。如果 for 语句的循环体中有改变循环控制变量的操作，那么增量表达是也可以省略。例如：

```
for (i=1;i<=10000;)
{
    sum +=i;
    ++i;
}
```

需要提醒读者，遗忘改变循环控制变量可能造成死循环。

（3）省略条件表达式。如果循环体中包含有测试循环是否结束的代码，那么条件表达式可以省略。此时，测试条件为永真。例如：

```
for (i = 1;; ++i) //相当于 for(i= 1; 1; ++i)
{
   if (i<=10000) //这个测试保证了循环可以在有限次数后结束
```

```
            sum += i;
      else
            break;    //break 是强制退出循环语句，后面进一步讲(5.7.1)。
}
```

此例还演示了在循环语句中嵌入 if 语句的情况。可以看到，整条 if 语句都嵌入到 for 语句当中而不能交错。

（4）省略所有 3 个表达式。例如：

```
for (;;) …
```

不看循环体，那么这就是一个死循环。因此，必须保证在循环体内有退出循环的机制。

5.5.3 穷举法

在前面的章节中介绍了迭代法。但这种方法不能解决所有的循环问题。请看下面的例子。

【例 5-5】从键盘输入一个任意正整数，编程判断它是否是质数。若是，输出“Yes”，否则输出“No”。

【解题思路】在前面的章节里已经详细探讨过判断素数的方法，这里再来复习一下设计好的算法。

（1）给定数 p，令 $q=\sqrt{p}$；

（2）令 i=2。

（3）令 r = p%i。

（4）如果 r == 0，则表明 p 不是质数，转到第 7 步；否则，++i。

（5）如果 i<=q，那么转向第 3 步。

（6）否则，p 一定是质数，输出“Yes”，转到第 8 步。

（7）输出“No”。

（8）结束。

可以看到，这类算法与迭代法不同。迭代法试图找出级数中的递推关系，而这类算法试图在一定范围内将所有的可能都测试一遍，直到找到正确答案，或者发现无解为止。这种循环的模式称为“**穷举法**”（*enumerative method*），也是一种常用的解决方案。

读者应该已经确定，上述算法的实现肯定要用到循环语句。但现在的问题是：步骤 6 和步骤 7 都是循环语句之后的步骤，并且只有一步能被执行。如何保证做到这一点呢？一个常用的技巧就是在得到结论后，先不急着输出，而是用一个指示变量来保存结论的指示结果，然后在循环之外对这个指示变量进行测试，最后再输出结论。图 5-7 是本例的流程图。

```c
//5-5.c
#include <stdio.h>
#include <math.h>

int main()
{
    int p, i, isPrime = 1;   //isPrime 指示变量

    printf("请输出一个正整数:");
    scanf("%d", &p);
    for (i = 2; i<= sqrt(p); ++i)
      {
        if (p % i == 0)
        {
            isPrime = 0;  //肯定不是质数
            break;
        }
      }
    printf("%s", isPrime == 1 ? "Yes" : "No");

    return 0;
}
```

运行结果如下。

```
请输入一个正整数:17↙
Yes
```

另一次运行结果为：

```
请输入一个正整数:24↙
No
```

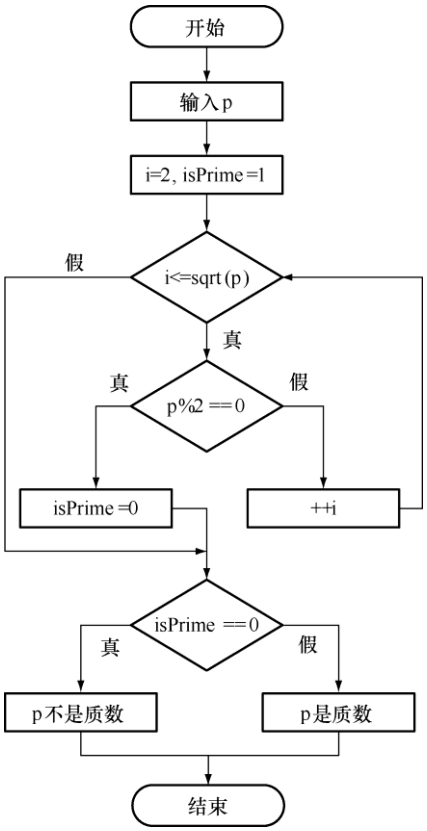


图 5-7 【例 5-5】的流程图

1. 初学者在使用 for 语句时也容易犯“分号病”。例如：

```c
for (sum = 0, i = 0; i< 10000; ++i); //请注意这个分号的存在
    sum += i;
```

最终的结果是 sum = 10001。原因很简单：for 语句后面的空语句将 sum += i; 这条语句排除在 for 循环的循环体之外，因此 for 语句白白做了 10000 次循环，循环结束后 i = 10001；而 sum += i 只执行了一次，因此 sum 的值就是 10001。

2. 多次修改循环控制变量。例如：

```c
for (i = 0; i< 10; ++i) { …; ++i; }
```

每一次循环都会使 i 加 2，因此实际的循环次数没有到 10 次。

【例 5-6】求 1～10000 之内所有奇数之和。

【解题思路】在范围内最大的奇数是 9999，那么累加数可以从这个数开始。由于累加数是奇数，因此每一次的累加数都可以由上一次的数减 2 得到。在判断循环继续条件时，只要累加数不是负数就继续，否则就结束循环。

```c
//5-6.c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int sum = 0;
    int odd;

    for (odd = 9999; odd > 0; odd -= 2)
        sum += odd;

    printf("sum=%d", sum);
```

```
    return 0;
}
```

程序的运行结果是：

```
sum=25000000
```

本例示意了两种情形：

（1）循环计数变量可以从大到小递减；

（2）循环控制变量的步长可以是能满足需要的任意值，不必总是 1。

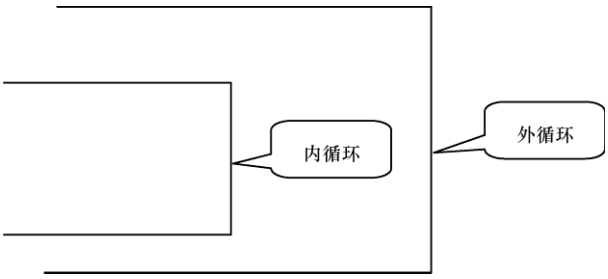
习题 5-3　请编程实现从键盘输入一个正整数，然后输出这个数的所有因子。

5.6　循环嵌套

一个循环语句的内部可以包含另一个循环语句，这样的结构称为“**循环的嵌套**”。while、do-while 和 for 这 3 种循环均可相互嵌套，即在它们的循环体内都可以再使用上述任一种循环结构。循环嵌套常用于解决矩阵运算、报表打印这类问题。

一般说来，嵌套循环中涉及几个循环结构就称之为几重循环。下例示意了 for 和 while 嵌套形成的二（双）重循环：

```
for (i=1;i<10;++i)
{
    while (j<10)
      {
        …
        ++j;
      }
}
```



使用循环嵌套需要注意以下问题：

（1）尽量使用复合语句（即多用花括号）以保证逻辑上的正确性；

（2）内外层的循环变量名应不同，以避免造成阅读困扰；

（3）不允许循环交叉，即内循环必须完全包含于外循环内；

（4）建议采用缩进的书写格式，使得层次清晰，易于检查。

【例 5-7】编程实现九九乘法表的计算和打印。

【解题思路】九九表是一张有 9 行 9 列的表格，其中第 i 行是 i 分别与 1~9 相乘的结果。据此可以发现，打印 9 行需要一个循环，而打印某一行的 9 列也需要一个循环。因此采用双重循环来实现计算和打印。为了保证打印的结果美观整齐，还需要考虑如下情况。

（1）输出的结果有 1 位数，也有 2 位数。如果仅用空格分开各项，那么肯定会出现数据不能对齐的情况。使用输出域宽控制可以很好地解决这个问题。

（2）当每打印完一行数据后，如果没有特别处理，那么后续的输出将会在同一行上继续，从而不能形成一张表格。因此，需要在完成一行的输出后额外打印一个换行。

以下是程序编码。

```
//5-7.c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int row, col;

    for (row = 1; row < 10; ++row)          //外循环表示行
       {
           for (col = 1; col < 10; ++col)    //内循环表示列
```

```
            printf("%4d", row * col);      //%4d 的宽度为了统一对齐
        putchar('\n');                      //输出一行后换行
    }

    return 0;
}
```

运行结果如下：

```
   1   2   3   4   5   6   7   8   9
   2   4   6   8  10  12  14  16  18
   3   6   9  12  15  18  21  24  27
   4   8  12  16  20  24  28  32  36
   5  10  15  20  25  30  35  40  45
   6  12  18  24  30  36  42  48  54
   7  14  21  28  35  42  49  56  63
   8  16  24  32  40  48  56  64  72
   9  18  27  36  45  54  63  72  81
```

这里分析一下外循环（简称 row 循环）和内循环（简称 col 循环）的执行情况。

（1）row 循环的 for 语句执行 1 次，其循环体中的 col 循环的 for 语句和 putchar()都要执行 9 次。

（2）每一次 row 循环中，col 循环的 for 语句执行 1 次，其循环体中的 printf()要执行 9 次。那么，9 次 row 循环后，printf()共要执行 9*9=81 次。

（3）在每一次 row 循环中，循环控制变量 row 保持不变；而 col 循环的控制变量 col 要从 1 计数到 9。表 5-1 就说明了这种情况。

表 5-1　　双重循环中循环控制变量 row 和 col 的变化规律

外循环序号	row 的值	col 的计数规律	row * col 的变化规律
1	1	1, 2, 3, …9	1*1, 1*2, 1*3…1*9
2	2	1, 2, 3, …9	2*1, 2*2, 2*3…2*9
…	…	…	…
9	9	1, 2, 3, …9	9*1, 9*2, 9*3…9*9

【例 5-8】示意了内层循环的循环次数是固定的情形。而有些双重循环的内层循环次数是不固定的，并且会依赖于外层循环的循环控制变量的当前值。【例 5-8】示意了这种情况。

【例 5-9】打印如图 5-8 所示的由“*”组成的三角形。

【解题思路】凡是涉及行列的问题一般都会用到双重循环，此例也不例外。通过观察题目给出的三角形图案，可以得出：第 i 行（i 从 1 开始计）有 i 个“*”号。假设外层循环控制变量为 k，从 1 计数到 7；内层循环控制变量为 j，那么它的计数范围就应该是从 1 到 k。

```
//5-8.c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int k=1,j;

    while (k<=7)
    {
        for (j=1; j<=k; ++j) //每行输出 k 个“*”
            putchar('*');

        putchar('\n');
        ++k; //这一行很重要!
    }
    return 0;
}
```

```
*
**
***
****
*****
******
*******
```

图 5-8　*组成的三角形

习题 5-4　将【例 5-4】扩展成:找出指定范围内的所有质数。指定范围由用户输入。

5.7　break 和 continue 语句

循环的定义是只要条件满足，循环体就会反复不停地执行，直到条件不满足为止。到目前为止，能终止循环的情况只有一种，即条件表达式值为 0（假）。但在解决某些问题时，需要在条件表达式还未达到假之前提前结束循环。这就需要执行无条件转移控制语句break或continue。

5.7.1　break 语句

在前面的讲述中我们已经知道，break 可以终止 switch 语句中某个 case 标号的执行。此外，break 也可用于循环语句中，用以提前终止循环。例如：

```
while (…)
{
     …
     break; //直接终止循环
     a = 0; //这条语句及其后的循环体内的语句永远不会被执行
   …
}
```

在实际应用中，break 语句常常被放在一条 if 语句当中。例如，要求输入一串字符，长度不超过 50，或者‘*’时提前结束，其编码如下。

```
count=0;
while (count<50)
{
     c=getchar();
     if (c==‘*’) break;
     ++count;
}
```

在上例中，即使没有输入到 50 个字符，只要遇到‘*’，循环也会提前终止。

break 语句虽然具有终止循环的功能，但却只能终止直接包含它的那条循环语句。如果包含break 的循环是个内层循环，那么该 break 不能终止外层循环。例如：

```
for (i=0;…)
     for (j=0;…)
          if (…) break; //只能终止 j 循环。此后返回到 i 循环处继续执行。
```

如果要从嵌套很深的多重循环中直接跳出来,那么必须使用一些技巧,或者使用 goto 语句。由于 goto 语句的争议较大，因此这里就不再讨论了。

5.7.2　continue 语句

另一种终止循环的语句是 continue 语句。不过,它不是终止整个循环,而是终止本次循环,即不执行 continue 后面的语句，直接进入该循环结构的下一次循环操作。执行流程如下。

```
while (…)
{
     …
     continue; //本次循环在这里终止。流程返回到循环测试部分，准备进入下次循环
     ++a; //这条语句及其后的代码永远不会被执行
}
```

> 在 for 语句中，continue 会立即转向计算增量表达式，以改变循环变量，然后再判定条件表达式，以确定循环是否继续。

同样地，continue 语句一般也被包含在一条 if 语句中。

【例 5-10】输入一行字符，统计字符的个数，如果有同一个字符连续输入几次，则只统计一次。

【解题思路】如何判断本次输入的字符与上次输入的相同呢？这肯定需要保存上次输入的结果，然后将本次输入与暂存的上次结果进行比较，如果相同则不需要计数；否则，增加计数值，同时用本次输入替换上次暂存结果。

```
//5-9.c
#include <stdio.h>

int main()
{
    char ch_old,ch_new;

    int count=0;
    ch_old='\n';
    do
    {
        ch_new=getchar();
        if (ch_old==ch_new)
            continue;
        ch_old=ch_new;
        ++count;
    } while (ch_new!='\n');

    printf("共%d 种字符\n", count-1);   // 最后一个回车符需从 count 中减去

    return 0;
}
```

运行结果如下：

```
abbcccdeffghiijjkk↙
共 12 种字符
```

与 break 相似，continue 只会影响到直接包含它的那条循环语句。

如果在嵌套循环中要终止内层循环而进入外层循环，应该使用 break 而不是 continue。

5.8 循环的应用

读者已经学习了 3 种循环语句，了解它们的异同，以及如何终止循环。现在再通过一些综合例子来加深印象。

5.8.1 迭代法的应用

【例 5-11】已知 Fibonacci 数列的递推关系如下：

$F_1 = F_2 = 1$

$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$（n>2）

求该数列第 20 项。

【解题思路】递推关系的存在暗示了要用到迭代来处理此类问题。但此问题的特殊之处在于：前面例子中都是单项递推，而此例却是两项递推，那么该如何处理它们的关系呢？

假设有变量 Fn、Fn1、Fn2 分别代表了 F_n、F_{n-1} 和 F_{n-2}，那么很明显地，有：

```
Fn = Fn1 + Fn2
```

此后，当前的 Fn 应该成为下一次的 Fn1，而当前的 Fn1 应该成为下一次的 Fn2。这样，可以令

```
Fn2 = Fn1
Fn1 = Fn
```

然后再重复操作就可以了。当循环结束后，Fn 就是要求的项。

```
//5-10.c
#include <stdio.h>
```

```
int main()
{
    int Fn, Fn1 = 1, Fn2 = 1;
    int i;

    for (i = 2; i<20; ++i)
    {
        Fn = Fn1 + Fn2;
        Fn2 = Fn1;
        Fn1 = Fn;
    }
    printf("F(20)=%d\n", Fn);

    return 0;
}
```

运行结果如下：

5.8.3 穷举法应用

【例 5-13】百鸡问题是中国古代一道著名的数学问题，其原文如下：今有鸡翁一，值钱伍；鸡母一，值钱三；鸡雏三，值钱一。凡百钱买鸡百只，问鸡翁、母、雏各几何？

【解题思路】解决这样的数学问题，往往需要为其找到数学模型。这道题的数学模型不难建立。假设公鸡、母鸡、小鸡分别有 x、y、z 只，那么有

```
x+y+z=100
5x+3y+z/3=100
x,y,z≥0
```

成立。这种带约束条件的不定方程组在组合数学中称为线性规划，而题目就是求这个线性规划的解。

线性规划的求解有严格的标准化过程，很适合用程序求解。但其方法过于繁复，这里用一种更加简明直观的求解方式，就是穷举法。穷举的意思是，将所有可能解列举出来，然后一个一个地去测试这些解中哪些真正地符合题目的要求。在本例中，一个解（x,y,z）由 3 个分量构成，其中每一个分量的取值范围都是从 0 到 100。因此，就从第一个可能解（0,0,0）开始，将各分量的值代入到不定方程组中，测试它们是否满足约束条件：如果满足，则这是一组解；否则，使 z 分量自增，然后再一次测试，直到 z 的值取到 100 为止。此后 z 分量归零，y 分量自增，然后再将 z 从 0 测试到 100。此后依此类推，将分量的每一种组合都测试到，直到组合达到上限（100,100,100）为止。可以看出，这在程序实现上需要用到循环，而且由于每一个分量都要用到一个循环，因此程序的主体应该由 3 重循环构成的，每一重循环的次数都是 100。以下是算法的主体部分：

```
for (x = 0; x <= 100; ++x)
for (y = 0; y <= 100; ++y)
    for (z = 0; z <=100; ++z)
        if (x + y + z == 100 && 5 * x + 3 * y + z / 3 == 100)
                输出(x, y, z);
```

算法虽然有了，但却不是最优的，有几处是可以优化的。

（1）效率问题。算法中的总循环次数是 100*100*100=100 万次，显然太多了。从题目的要求可知，因为公鸡 5 钱一只，而总共只有 100 钱，所以公鸡的最大数目是 100/5=20 只，也就说，x 的取值范围是 0~20。同样的道理，母鸡的最大数目是 100/3=33 只，小鸡的最大数目是 100 只。这样一来，循环的总次数就只有 20*33*100=66000 次，从而使优化后的算法整体运行时间是原始算法的 6.6%，效率得到了极大的提升。

（2）除法运算问题。原始算法中有 z/3 这样的表达式。大家知道，除法运算的效率比乘法要低，所以在程序中尽量避免除法运算。在本例中，这个除法运算是可以消除的。在等式的两边都乘以 3，可以将其改变为

```
15 * x + 9 * y + z == 300
```

至此，完成了算法的设计，而其正确性是可以保证的，程序设计如下。

```
//5-12.c
#include <stdio.h>

int main()
{
int x, y, z;

for (x = 0; x <= 20; ++x)
   for (y = 0; y <= 33; ++y)
     for (z = 0; z <=100; ++z)
          if (x + y + z == 100 && 15 * x + 9 * y + z == 300)
               printf("rooster = %d, hen = %d, chick = %d\n", x, y, z);

return 0;
}
```

运行结果如下：

```
rooster = 0, hen = 25, chick = 75
rooster = 4, hen = 18, chick = 78
rooster = 8, hen = 11, chick = 81
rooster = 12, hen = 4, chick = 84
```