第23讲：编译和链接

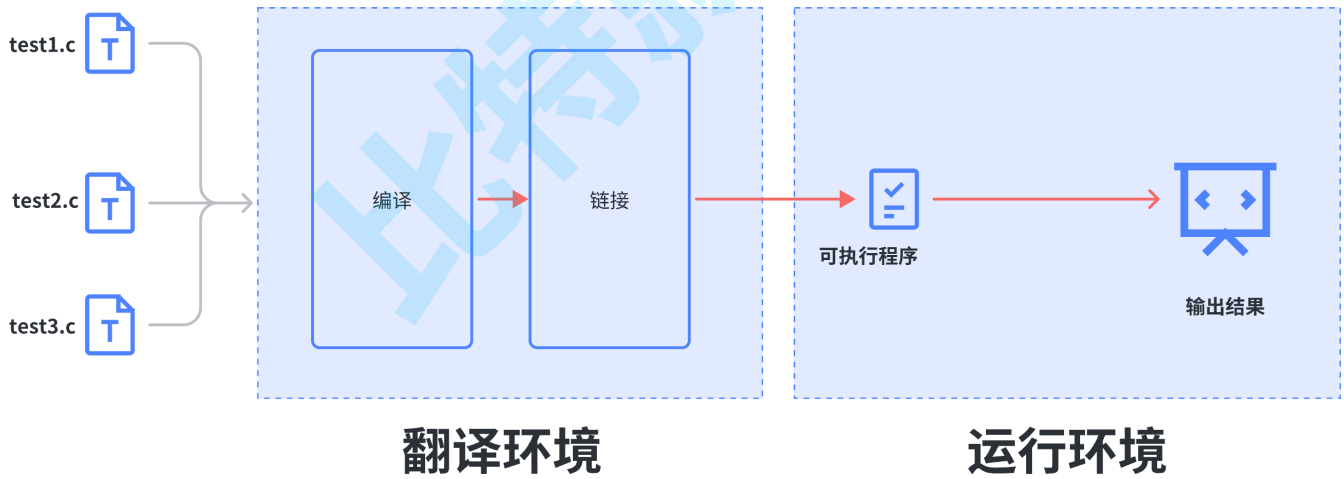
目录

正文开始

1. 翻译环境和运行环境

在ANSI C的任何一种实现中，存在两个不同的环境。

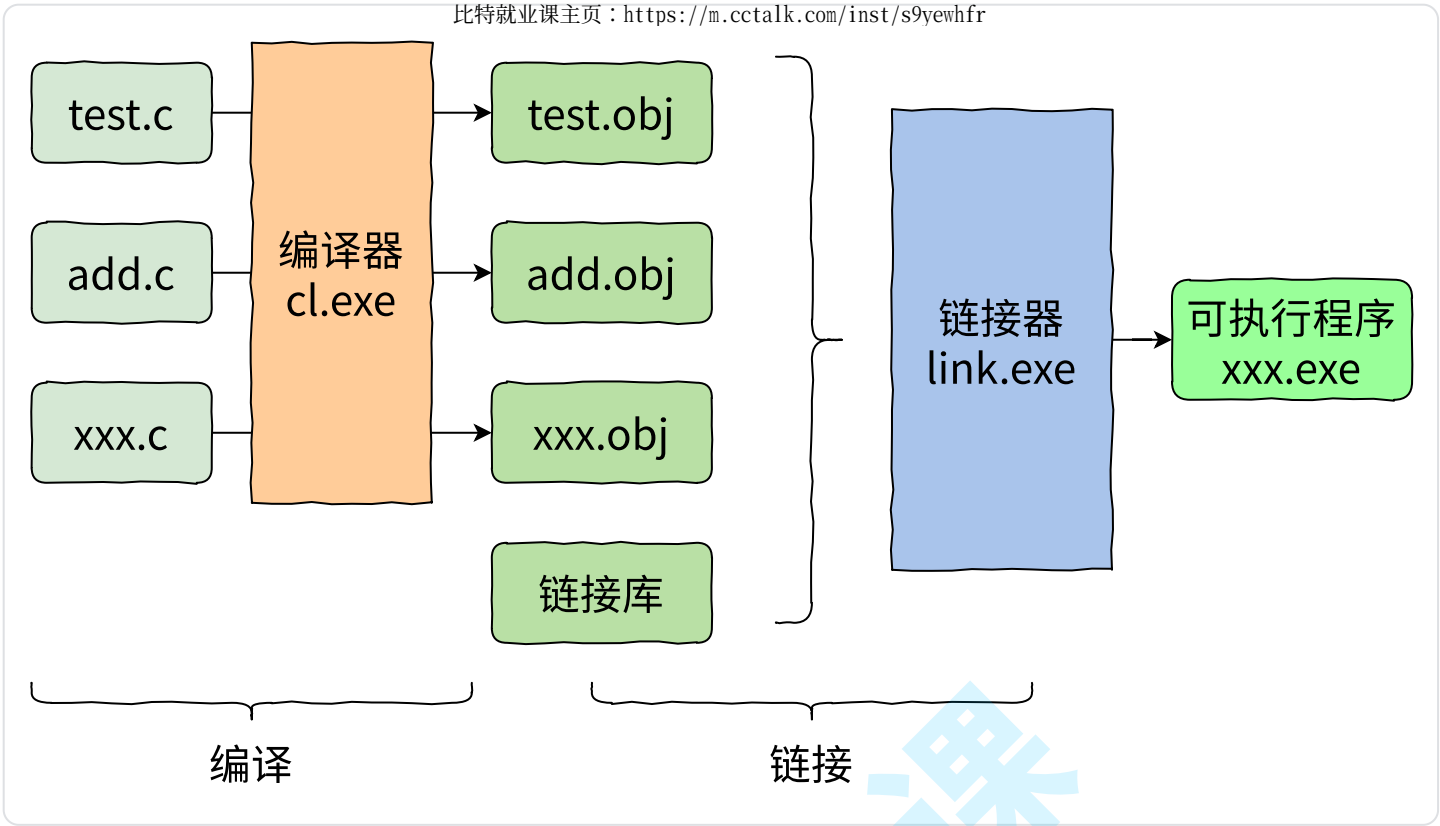
> 第1种是翻译环境，在这个环境中源代码被转换为可执行的机器指令。
>
> 第2种是执行环境，它用于实际执行代码。



2. 翻译环境

那翻译环境是怎么将源代码转换为可执行的机器指令的呢？这里我们就得展开开讲解一下翻译环境所做的事情。

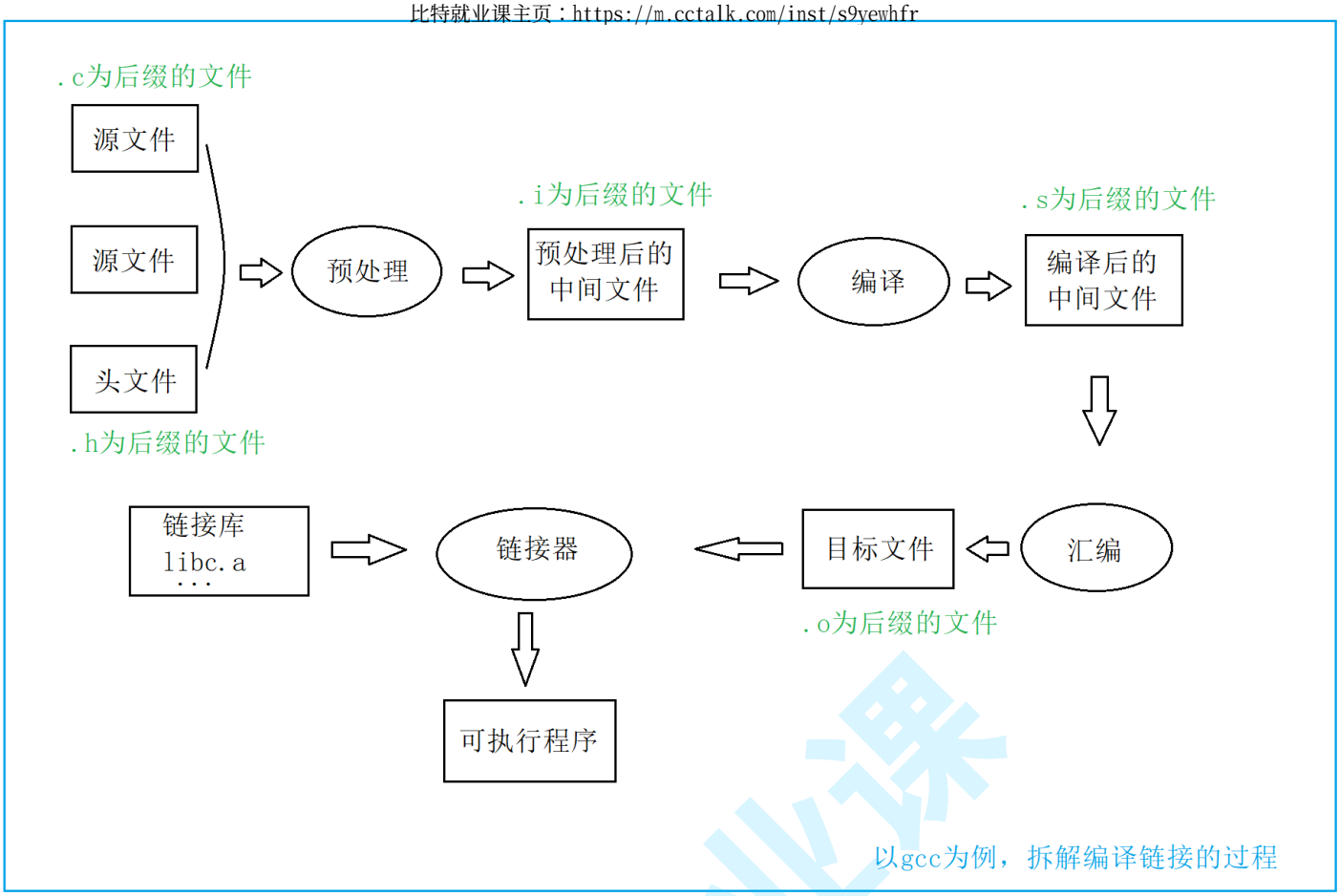
其实翻译环境是由**编译**和**链接**两个大的过程组成的，而**编译**又可以分解成：预处理（有些书也叫预编译）、编译、汇编三个过程。



一个C语言的项目中可能有多个.c文件一起构建，那多个.c文件如何生成可执行程序呢？

- 多个.c文件单独经过编译出编译处理生产对应的目标文件。
- 注：在Windows环境下的目标文件的后缀是.obj，Linux环境下目标文件的后缀是.o
- 多个目标文件和链接库一起经过链接器处理生成最终的可执行程序。
- 链接库是指运行时库(它是支持程序运行的基本函数集合)或者第三方库。

如果再把编译器展开成3个过程，那就变成了下面的过程：



2.1 预处理（预编译）

在预处理阶段，源文件和头文件会被处理成为.i为后缀的文件。

在 `gcc` 环境下想观察一下，对 `test.c` 文件预处理后的.i文件，命令如下：

```
1 gcc -E test.c -o test.i
```

预处理阶段主要处理那些源文件中#开始的预编译指令。比如：#include,#define，处理的规则如下：

- 将所有的 `#define` 删除，并展开所有的宏定义。
- 处理所有的条件编译指令，如： `#if、#ifdef、#elif、#else、#endif` 。
- 处理#include 预编译指令，将包含的头文件的内容插入到该预编译指令的位置。这个过程是递归进行的，也就是说被包含的头文件也可能包含其他文件。
- 删除所有的注释
- 添加行号和文件名标识，方便后续编译器生成调试信息等。
- 或保留所有的#pragma的编译器指令，编译器后续会使用。

经过预处理后的.i文件中不再包含宏定义，因为宏已经被展开。并且包含的头文件都被插入到.i文件中。所以当我们无法知道宏定义或者头文件是否包含正确的时候，可以查看预处理后的.i文件来确认。

2.2 编译

编译过程就是将预处理后的文件进行一系列的：词法分析、语法分析、语义分析及优化，生成相应的汇编代码文件。

编译过程的命令如下：

```
1 gcc -S test.i -o test.s
```

对下面代码进行编译的时候，会怎么做呢？假设有下面的代码

```
1  array[index] = (index+4)*(2+6);
```

2.2.1 词法分析：

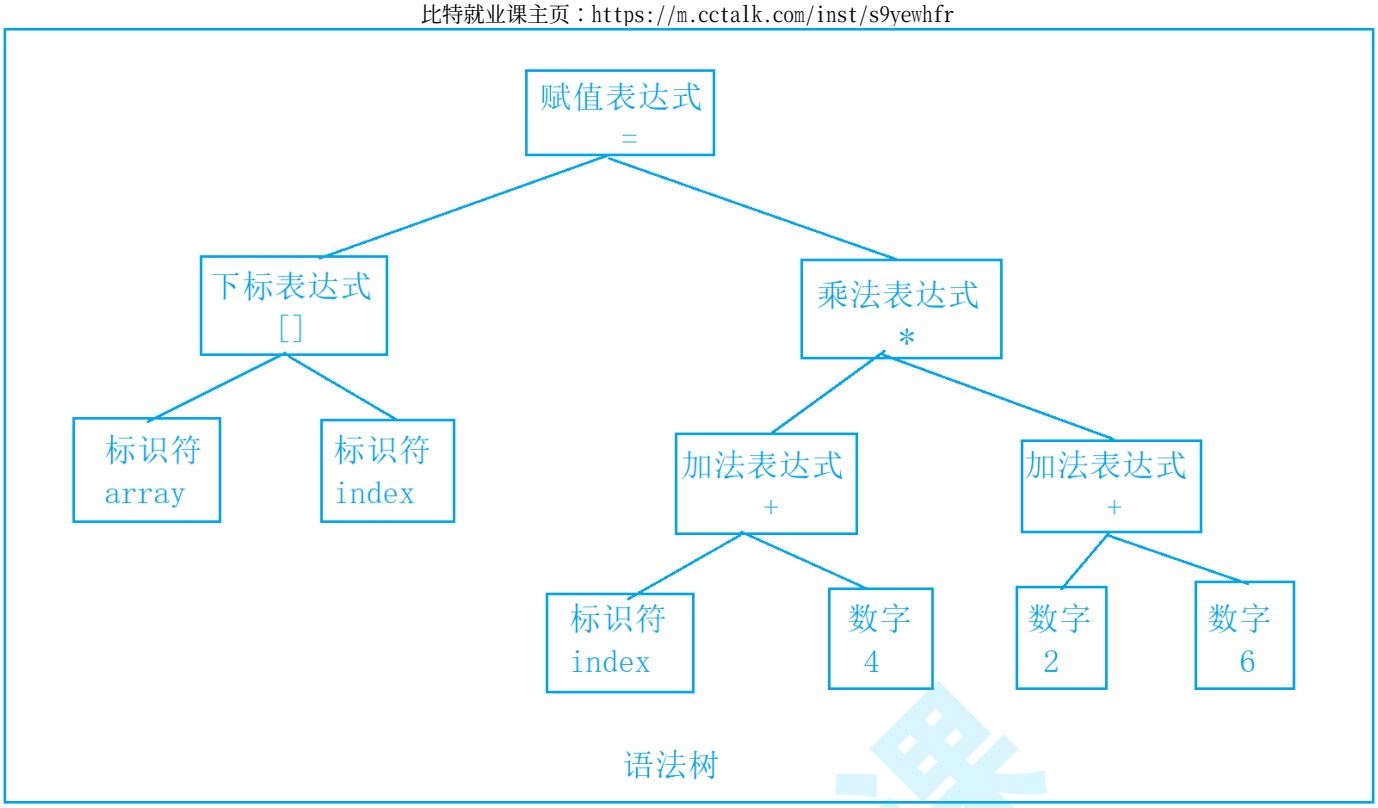
将源代码程序被输入扫描器，扫描器的任务就是简单的进行词法分析，把代码中的字符分割成一系列的记号（关键字、标识符、字面量、特殊字符等）。

上面程序进行词法分析后得到了16个记号：

	A	B
1	**记号**	**类型**
2	array	标识符
3	[	左方括号
4	index	标识符
5	]	右方括号
6	=	赋值
7	(	左圆括号
8	index	标识符
9	+	加号
10	4	数字
11	)	右圆括号
12	*	乘号
13	(	左圆括号
14	2	数字
15	+	加号
16	6	数字
17	)	右圆括号

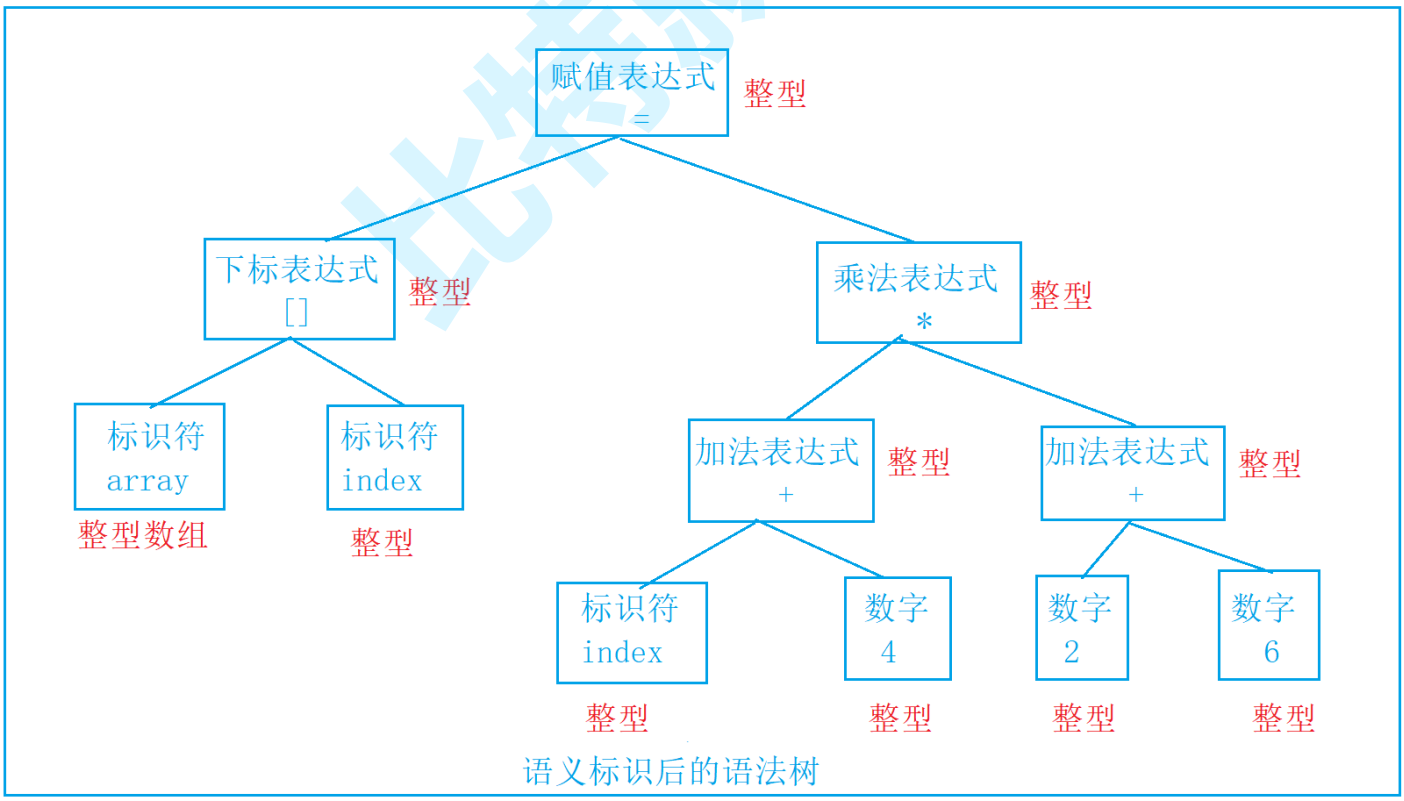
2.2.2 语法分析

接下来**语法分析器**，将对扫描产生的记号进行语法分析，从而产生语法树。这些语法树是以表达式为节点的树。



2.2.3 语义分析

由**语义分析器**来完成语义分析，即对表达式的语法层面分析。编译器所能做的分析是语义的静态分析。静态语义分析通常包括声明和类型的匹配，类型的转换等。这个阶段会报告错误的语法信息。



2.3 汇编

汇编器是将汇编代码转转变成机器可执行的指令，每一个汇编语句几乎都对应一条机器指令。就是根据汇编指令和机器指令的对照表一一的进行翻译，也不做指令优化。

汇编的命令如下：

```
gcc -c test.s  -o test.o
```

2.4 链接

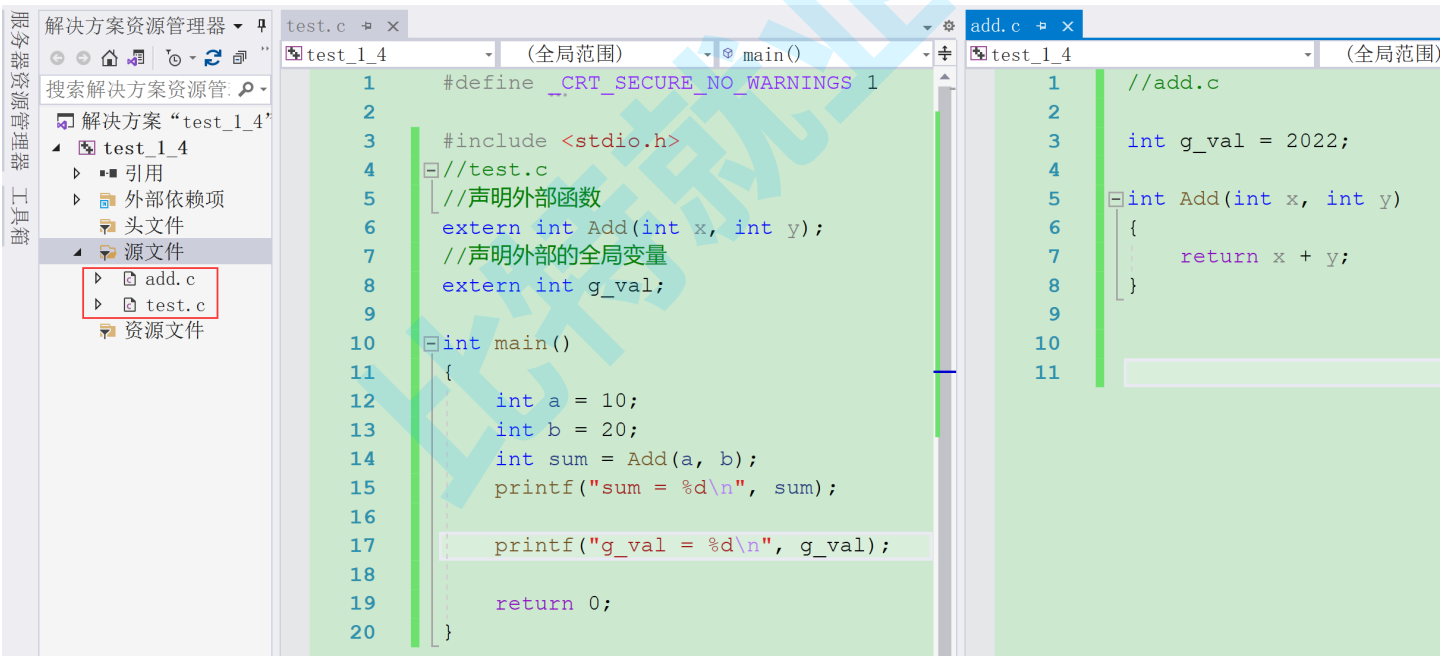
链接是一个复杂的过程，链接的时候需要把一堆文件链接在一起才生成可执行程序。

链接过程主要包括：地址和空间分配，符号决议和重定位等这些步骤。

链接解决的是一个项目中多文件、多模块之间互相调用的问题。

比如：

在一个C的项目中有2个.c文件（`test.c` 和 `add.c`），代码如下：



test.c

```c
#include <stdio.h>
//test.c
//声明外部函数
extern int Add(int x, int y);
//声明外部的全局变量
extern int g_val;

int main()
```

add.c

```c
int g_val = 2022;

int Add(int x, int y)
{
    return x+y;
}
```

```
{
    int a = 10;
    int b = 20;
    int sum = Add(a, b);
    printf("%d\n", sum);
    return 0;
}
```

我们已经知道，每个源文件都是单独经过编译器处理生成对应的目标文件。

`test.c` 经过编译器处理生成 `test.o`

`add.c` 经过编译器处理生成 `add.o`

我们在 `test.c` 的文件中使用了 `add.c` 文件中的 `Add` 函数和 `g_val` 变量。

我们在 `test.c` 文件中每一次使用 `Add` 函数和 `g_val` 的时候必须确切的知道 `Add` 和 `g_val` 的地址，但是由于每个文件是单独编译的，在编译器编译 `test.c` 的时候并不知道 `Add` 函数和 `g_val` 变量的地址，所以暂时把调用 `Add` 的指令的目标地址和 `g_val` 的地址搁置。等待最后链接的时候由链接器根据引用的符号 `Add` 在其他模块中查找 `Add` 函数的地址，然后将 `test.c` 中所有引用到 `Add` 的指令重新修正，让他们的目标地址为真正的 `Add` 函数的地址，对于全局变量 `g_val` 也是类似的方法来修正地址。这个地址修正的过程也被叫做：**重定位**。

前面我们非常简洁的讲解了一个C的程序是如何编译和链接，到最终生成可执行程序的过程，其实很多内部的细节无法展开讲解。比如：目标文件的格式elf，链接底层实现中的空间与地址分配，符号解析和重定位等，如果你有兴趣，可以看**《程序的自我修养》**一书来详细了解。

3. 运行环境

1. 程序必须载入内存中。在有操作系统的环境中：一般这个由操作系统完成。在独立的环境中，程序的载入必须由手工安排，也可能是通过可执行代码置入只读内存来完成。
2. 程序的执行便开始。接着便调用main函数。
3. 开始执行程序代码。这个时候程序将使用一个运行时堆栈（stack），存储函数的局部变量和返回地址。程序同时也可以使用静态（static）内存，存储于静态内存中的变量在程序的整个执行过程一直保留他们的值。
4. 终止程序。正常终止main函数；也有可能是意外终止。

完