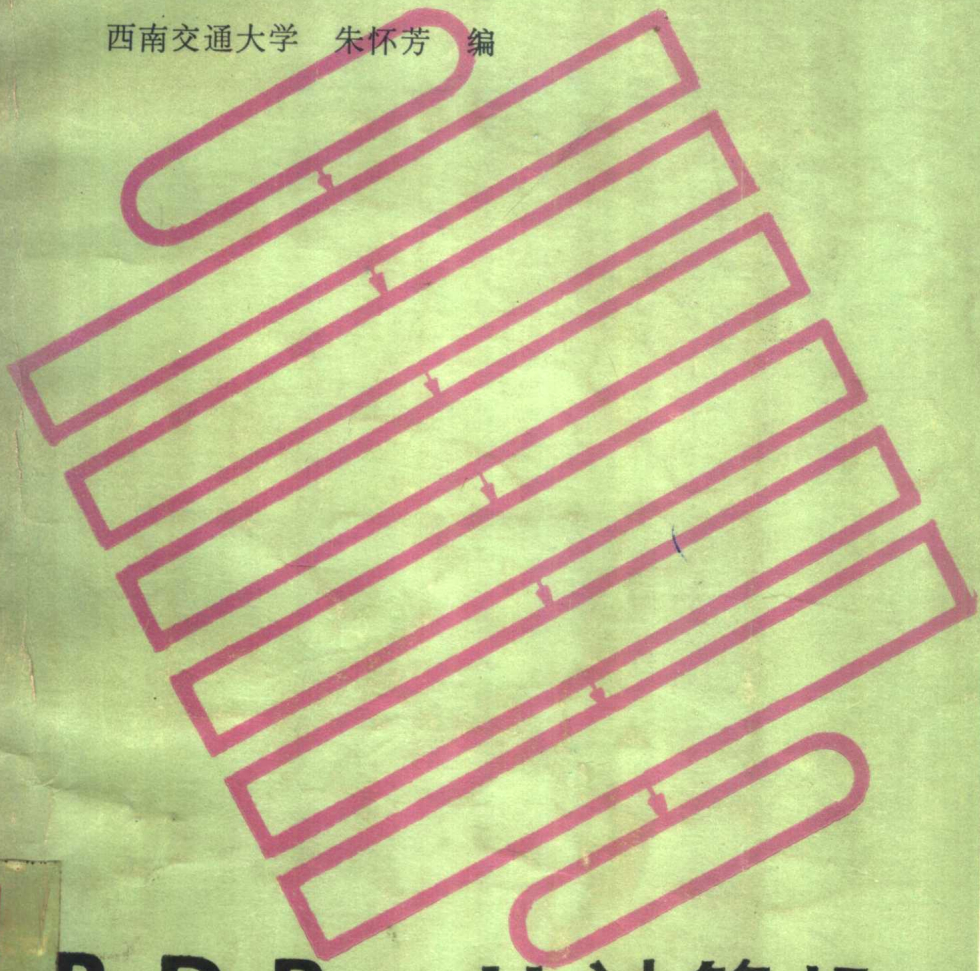


11
高等学校试用教材

西南交通大学 朱怀芳 编



82
**PDP-11 计算机
汇编语言程序设计**

中国铁道出版社

高等学校试用教材

PDP-11 计算机 汇编语言程序设计

西南交通大学 朱怀芳 编

中国铁道出版社

1985年·北京

TP316

内 容 简 介

本书介绍 PDP-11 计算机汇编语言程序设计的方法和技巧。全书共分九章，主要内容有：程序设计的基础；简单的程序设计；循环程序设计；子程序设计；PDP-11 计算机程序设计的一些技巧；输入/输出程序设计；联机的程序设计；用汇编语言对数据结构的操作；汇编程序和宏汇编语言。全书的叙述由浅入深，适合自学。主要章节后附有习题。

高等学校试用教材

PDP-11 计算机

汇编语言程序设计

西南交通大学 朱怀芳 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 崔滨九 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：7.5 字数：195 千

1985 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数：0001—7,000 册 定价：1.70 元

序 言

程序设计是给计算机准备一个有序的指令集合的过程，而这个有序的指令集合是为完成某特定任务所必需的。换言之，程序设计就是把人们需要计算机所做的工作编写成一种计算机所能理解的“指示书”（程序）。计算机根据这个“指示书”进行工作，以完成一定的任务。

一个程序设计得好，不仅使得计算机给出正确的结果，而且工作周期短，所占内存贮器的空间少。一个程序设计得不好，往往包含着这样或那样的错误，修改不方便，操作繁琐，工作周期长。程序设计已成为一门学科。它研究的课题是如何正确地、科学地、经济地准备一个有序的指令集合。

随着程序设计学科的发展，编写程序所用的语言从简单到复杂，从低级到高级。所谓低级语言是指机器语言和汇编语言，它们是与具体所用的计算机指令系统密切相关的。所谓高级语言是指FORTRAN、BASIC、ALGOL、COBOL、PASCAL、PL/1等程序语言，它们的用法与具体的计算机指令系统无关。本书叙述的问题，不是用高级语言来进行程序设计的方法，而是用汇编语言编制程序的基本方法和技巧。

应该指出，用机器语言和汇编语言编制程序乃是设计计算机软件的基础。由应用程序和系统程序所构成的计算机软件中，面向用户的应用程序，为了便于编制、修改以及交流，都是利用接近于人们的自然语言的高级语言编写的；而代替人对计算机进行监督与管理的系统程序，目前大都采用机器语言和汇编语言编写。因此，对于计算机系统程序设计和维护人员来说，必须掌握用机器语言和汇编语言编制程序的基本方法和技巧，只有这样，才能进一步学习比较复杂的程序系统，才能继续研究、探索和创

造出各种功能强而有效的系统程序，使计算机内在的巨大潜力得到充分地发挥。

鉴于机器语言和汇编语言是与具体计算机型号有关的，因此，叙述时不得不选定某个计算机型号为对象。本书所选定的具体计算机是美国数字设备公司（DEC）的PDP-11型系列机，与此型号对应的我国生产的计算机是DJS-180系列机，其他如罗马尼亚生产的I-100计算机也属于此类计算机。根据某一特定的计算机来研究程序设计的方法是否会失去一般性呢？就程序设计的基本方法和技巧来说是有共性的，而且计算机的功能设计也是大同小异的，所以，了解某一种计算机上的汇编语言程序设计方法，对其它计算机的汇编语言程序设计也可参考。更主要的是，上述的计算机型号，在我国引进较多，因此，选择这个机型来叙述程序设计的基本方法和技巧，给使用部门和教学单位提供一本适宜的教材，是十分必要的。

为了能够较顺利地学习本书的内容，要求有以下的知识：

1. 具有存贮程序式数字计算机怎样进行工作的某些知识，但不必是电路方面的，而只须知道指令是如何保留在机器的存贮器中，并依次被执行的。当然，对机器语言和汇编语言要预先初步了解。

2. 能把问题的解法表达成计算机能够“理解”的一种明显形式，即算法。

3. 具有最基本的计算技术的某些知识，例如循环（重复地执行一组指令）、子程序的用法以及变址寄存器的用法等。

4. 具有普通计算机专业术语方面的少量知识，例如“存贮器”、“寄存器”、“位”、“溢出”、“字”和“字节”等。

编写本书的目的是为高等院校电子计算机专业提供一本教学用书，也可供计算机科技人员参考。汇编语言程序设计是电子计算机专业学生必修课程之一，它对于训练学生掌握程序设计技巧、学习汇编语言的使用、了解计算机系统程序的结构都起到重要作用。

全书分为四个部分。内容力求由浅入深，便于自学。

第一部分（序言和第一章）是有关PDP-11计算机的指令系统和寻址方式，以及用汇编语言进行程序设计的基本过程。了解PDP-11计算机指令系统和寻址方式的读者，可以跳过这部分。在第一章中还提供了一个较详细的指令功能汇总表，供读者查阅。

第二部分（第二章至第六章）讨论分枝、循环、子例程子程序以及输入/输出等几种基本程序设计的方法和技巧。由于这部分内容是由简到繁，循序渐进写的，所以读者要逐章读下去才能深入理解。第五章中介绍了利用PDP-11计算机指令系统的特点来编写程序的技巧，掌握这些特点，可以编出较好的程序。

第三部分（第七章和第八章）是第二部分内容的引伸，它是将程序设计的基本方法应用到实际当中的例子，如外部设备与主机间数码转换程序、直流电动机速度控制的程序等，另外，还介绍了如何用汇编语言程序对数据结构进行操作。这个部分的章节内容是相对独立的，读者可以挑选其中感兴趣的部分阅读。

第四部分（第九章）是介绍宏汇编语言技术。用它编写程序，既容易又清楚，目前计算机上普遍采用此技术。

本书是根据铁道部自动化教材编审委员会制订的规划编写的。是编者根据讲授“汇编语言程序设计”课程的讲义改写而成的。铁道部自动化教材编审委员会主任、西南交通大学曹建猷教授对本书的编写给予了直接指导。主审、上海铁道学院潘高春老师对本书作了详尽的审阅，并提出许多宝贵的意见。兰州铁道学院班冀超教授、张鸿哲老师，长沙铁道学院易兴忠老师，大连铁道学院徐芳之老师和西南交通大学周志成副教授审阅了本书并提出了很好的意见。对此，表示衷心感谢。由于编者水平所限，不妥之处，请读者批评指正。

编者 1984年11月

目 录

第一章 程序设计的基础	(1)
第一节 PDP-11 计算机的体系结构.....	(1)
第二节 PDP-11 计算机指令系统.....	(5)
第三节 PDP-11 计算机编址方式.....	(17)
第四节 程序设计的基本过程.....	(28)
第五节 框图法.....	(29)
第六节 汇编语言程序和汇编程序.....	(33)
习 题.....	(37)
第二章 简单程序的设计	(42)
第一节 直接程序设计.....	(42)
第二节 分枝程序的设计.....	(45)
习 题.....	(58)
第三章 循环程序设计	(60)
第一节 循环程序的结构.....	(61)
第二节 循环程序的各种控制方法.....	(71)
习 题.....	(81)
第四章 子程序的设计	(83)
第一节 子程序的结构和堆栈概念.....	(83)
第二节 转返的链接方式.....	(86)
第三节 主程序和子程序间信息交换的几种方式.....	(92)
第四节 子程序举例.....	(96)
第五节 关于使用子程序的小结	(103)
习 题	(104)
第五章 PDP-11 计算机程序设计的一些技巧	(107)
第一节 位置无关的程序设计	(107)

II

第二节	互通程序	(114)
第三节	再入性程序	(116)
第四节	保存寄存器内容的方法	(118)
第五节	几种使用指令的技巧	(121)
习 题		(123)
第六章	输入/输出程序设计	(125)
第一节	PDP-11计算机外部设备及设备寄存器 ..	(126)
第二节	直接程序控制输入/输出的程序设计	(129)
第三节	中断控制I/O程序设计	(136)
习 题		(155)
第七章	联机的程序设计	(158)
第一节	BCD—BINARY转换	(158)
第二节	ASCII—BCD转换	(159)
第三节	BINARY—ASCII转换	(161)
第四节	GRAY—BINARY转换	(162)
第五节	电动机速度控制程序	(165)
第六节	开关算法和积分速度控制算法	(168)
第八章	用汇编语言对数据结构的操作	(173)
第一节	数组	(173)
第二节	堆栈、堆架和队列	(179)
第三节	链表	(186)
第四节	查列表技术	(191)
第九章	汇编程序和宏汇编语言	(198)
第一节	宏汇编语言技术	(199)
第二节	汇编程序的翻译思想简介	(225)
习 题		(228)
附 录		(229)
1.	七位ASCII码 (一部分)	(229)
2.	设备寄存器地址 (一部分)	(230)
3.	中断与自陷向量 (一部分)	(231)

第一章 程序设计的基础

为了学习如何编制程序,首先必须对与计算机硬件有关的问题有一简略的了解,如各种计数制及其相互转换、计算机的体系结构、指令系统等。其次,也应对如何使用汇编语言有一初步了解。

关于各种计数制及其相互转换,许多书中都有详尽的阐述,这里不再赘述。

关于计算机体系结构和汇编语言,是依计算机而异的。本书确定以PDP-11计算机为教学机,故本章将扼要介绍PDP-11计算机的体系结构和汇编语言。

第一节 PDP-11计算机的体系结构

PDP-11计算机是美国数字设备公司生产的小型计算机系列,它属于第三代计算机,主要采用中规模集成电路(MSI),部分采用小规模集成电路(SSI),并逐步采用大规模集成电路(LSI)。

PDP-11计算机系列中各种型号的机器在其系统结构及系统程序上都是向上兼容的。为了集中叙述程序设计的基本方法和技巧,我们将以PDP-11/20计算机为主要对象进行叙述。

该小型计算机的基本性能如下:字长16位;数据通路中有八个16位的通用寄存器;采用2进制补码进行运算;内存贮器采用字节编址,其直接编址范围可达 2^{18} KB;内存中可辟出堆栈(先进后出区);计算机的各部件(处理机、内存、外部设备寄存器)通过一条单总线互联。该小型计算机系统框图见图1-1。

PDP-11计算机与通常的三总线计算机系统不同,运算控制器不再是计算机系统的中心,它和计算机系统中的其它部件一样

只是单总线上的一个子系统，而且它始终接在单总线的一端。由于外部设备寄存器与主存单元统一编址，所以运控对外部设备的访问与对内存单元的访问一样方便。

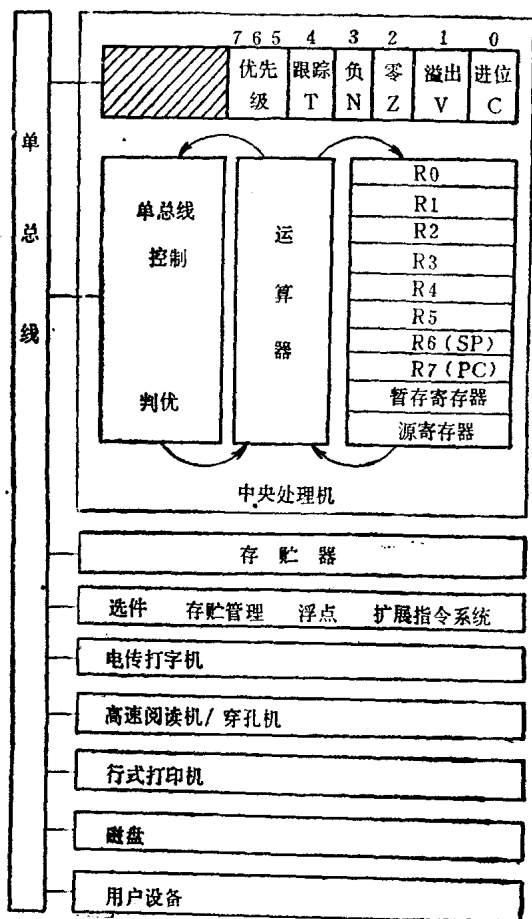


图1-1 PDP-11计算机系统框图

在PDP-11计算机中有一个非常重要的寄存器：处理机状态寄存器（PS），如图1-2所示。它包括处理机当前的优先级信息、上次操作结果的信息以及在程序调试时指示指令执行自中断的信息。

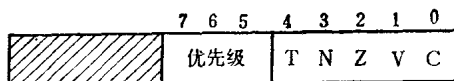


图1-2 处理机状态寄存器

处理机状态寄存器各位说明:

- 0 位——C 如上次操作（除减法性质类指令外）结果导致最高位进位时置“1”，如果无进位，则C位为“0”。
减法性质类指令则相反，操作结果导致最高位进位时，C位为“0”，如无进位时，则C位置“1”。
- 1 位——V 如指令执行过程出现算术溢出时置“1”，反之，置“0”。
- 2 位——Z 如上次操作结果为“0”时，置“1”，反之，置“0”。
- 3 位——N 如上次操作结果为负时，置“1”，反之，置“0”。
- 4 位——T 在调试硬件和软件时使此位置“1”，它用来检测一条指令执行后是否要引起自中断指令的实现。
- 5 —— 7 位 优先级。PDP-11/10计算机到PDP-11/40计算机只有四个级别的优先级。级别7、6、5、4是用置这三位为111、110、101、100方法来实现的，说明现行的处理机的优先权。

中央处理机中还装有八个一组的通用寄存器(见图1-1)，这些寄存器（通常表示为R0、R1、R2、……R7）是程序可访的。这些寄存器之所以被称为“通用”，是因为每一个都可以用来作为累加器、指示器（通用寄存器中内容为操作数或操作数的地址）、自增寄存器（通用寄存器中内容为操作数的地址，其地址

被使用后自动增加)、自减寄存器(通用寄存器中内容为操作数的地址,首先被自动减少然后才被作为地址使用)、变址寄存器(在通用寄存器中放有一个变址值,把它加到基本地址上,其结果作为操作数的地址)。

八个通用寄存器中的R6和R7具有独特的性能,应该特别注意它们的用处。

R6,用作堆栈指示器。在一个程序执行过程中,中断、陷阱、错误状态等能引起一个指令顺序改变为另一个指令顺序,而栈(具有后进先出性能的公用暂存区域)中保留一个返回到前一个指令序列的返回地址,R6是指示相应的栈的最后入口。

R7,用作中央处理机的程序计数器,它存放下一条被执行指令的地址。为了保证程序的正常执行,它是一个仅用于寻址的通用寄存器,不能用作算术操作的累加器。

中央处理机根据以下步骤来处理指令:(1)从存储器贮存的程序中取出下一条指令,(2)对指令进行译码,(3)如果需要数据,根据指令中地址码取出操作数送至运算器,(4)指定运算器执行何种运算,(5)如需要可以把运算结果存储起来。

4K		8K		12K		16K		20K		24K		28K	
0 -	4095	20000	40000	60000	80000	100000	120000	140000	160000				
376	17776	37776	57776	77776	97776	117776	137776	157776	177776				
向量字										设备地址			
存储器													

图1-3 PDP-11存储器中地址划分

PDP-11计算机基本存储块容量为4096(4K)字单元,即8192字节单元。存储器按字节编地址,寻址时,既可按字寻址,也可按字节寻址。应当指出:字的低位字节是在偶地址里,高位字节是在奇地址里。PDP-11最大能有七个基本存储块,最大存储器容

量为28K，另有一个存贮块（29到32K），用以存放设备地址。
PDP-11的存贮器地址划分如图 1—3。

第二节 PDP-11计算机指令系统

在学习编制程序之前，必须了解所使用机器的指令系统。由于有关参考书和手册中已有详细论述，在此仅作一些简要介绍。

组成程序的计算机字可以分为两种主要类型：一种是数据字或操作数，另一种是指令字。

PDP-11计算机所用的数据字形式如图 1—4。

PDP-11计算机指令字形式如图 1—5。

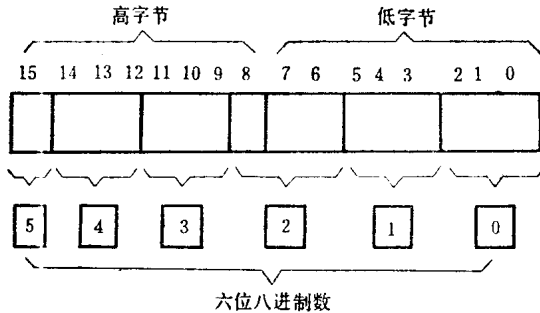


图1—4 PDP-11计算机中数据字形式

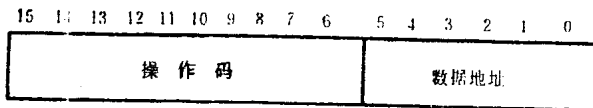


图1—5 PDP-11计算机中指令字形式

指令字虽然也是用数字表示的，却有不同含义，它通常由两部分组成，某些位代表操作码，其余位代表数据字地址。

PDP-11计算机指令系统中有两种型式的指令字用来操作数据：单操作数指令和双操作数指令，此外，还有一些程序控制

指令。

一、单操作数指令

单操作数指令（如图 1—6）意味着只有一个操作数。

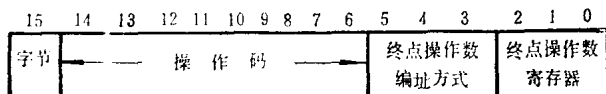


图1—6 单操作数指令格式

6～15位记载操作码，规定所要执行指令的含意。

3～5位指明编址方式，可取0到7种方式。

0～2位指明八个通用寄存器中哪一个被使用。

基本单操作数指令如表 1—1。

表 1—1

汇编语言（字）		机器语言	汇编语言（字节）		指令名称
CLR	d	b050 ar	CLRB	d	清除
COM	d	b051 ar	COMB	d	求反
INC	d	b052 ar	INCB	d	加 1
DEC	d	b053 ar	DECB	d	减 1
NEG	d	b054 ar	NEGB	d	求补
TST	d	b057 ar	TSTB	d	测试

表 1—1 中所指出的指令操作码部分 CLR, COM, INC, DEC, NEG 和 TST 是处理全字长。在这些指令机器语言中的第 15 位（b 表示）是 0，如果第 15 位是 1，那么，这些指令是字节指令，用第三列的汇编语言的操作码符号 CLRB, COMB, INCB, DECB, NEGB 和 TSTB 来表示，只处理字节。

二、双操作数指令

双操作数指令（如图 1—7）意味着有两个操作数。

12—15 位记载操作码，规定所要执行指令的含意。其中 15 位是 1 说明进行字节操作，如 15 位是 0 进行全字长操作，

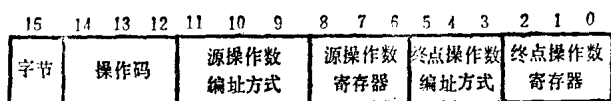


图1—7 双操作数指令格式

6 ~ 11位指明“源点操作数”的地址，其中前三位是编址方式，后三位是寄存器号。

0 ~ 5 位指明“终点操作数”的地址，其中前三位是编址方式，后三位是寄存器号。

四个常用的双操作数指令如表 1 — 2。

表 1 — 2

汇编语言 (字)	机器语言	汇编语言 (字节)	指令名称
MOV s,d	b1 ar ar	MOVB s,d	传送
CMP s,d	b2 ar ar	CMPB s,d	比较
ADD s,d	06 ar ar		加法
SUB s,d	16 ar ar		减法

注意：MOV和CMP指令都有字节的形式，而ADD和SUB指令只对字进行操作。还应该特别小心的是：减法指令是终点操作数减去源点操作数，其差放在终点操作数原来的地方，而比较指令是源点操作数减去终点操作数，源和终点操作数都不变。

三、程序控制指令

PDP-11计算机指令系统中程序控制指令从功能和形式上可分为三组：（1）转移指令，（2）子程序控制指令，（3）自中断指令。下面分别简要说明它们的形式和功能。

1. 转移指令。其指令格式表示在图 1 — 8 中。

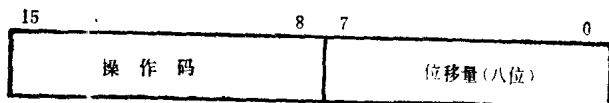


图1—8 转移指令格式

转移指令划分为两个字段：

8~15位，说明是无条件转移或是有条件转移，如果是有条件转移则说明是什么条件，这几位统称为“操作码”。

0~7位，称为“位移量”，说明在无条件转移或是在满足转移条件的转移时，程序移动的字数。这个字数即由位移量确定转移成功时应执行的指令地址与本条转移指令的距离。

想要计算应转移到的指令地址，可用以下公式：

$$\text{本转移指令地址} + 2 + (\text{位移量} \times 2)$$

指令格式中位移量的最高位，即7位是符号位。当其为“0”时，转移的方向沿程序正常执行的方向，最大可转移127个字。当其为“1”时，转移的方向逆程序正常执行的方向，此时位移量用补码表示，最大可转移128个字。

转移指令可分为：无条件转移，简单条件转移，带符号的条件转移和不带符号的条件转移。

转移指令的几个例子如表1—3。

表 1—3

汇 编 语 言	若满足条件，则转移到a
BEQ a	如果上次操作结果等于0转移。
BNE a	如果上次操作结果不等于0转移。
BPL a	如果上次操作结果大于或等于0转移。
BMI a	如果上次操作结果小于0转移。
BR a	无条件转移。

2. 子程序指令。子程序指令共两条：一条是“转子”指令，一条是“子程序返回”指令，其格式分别为：

转子指令：

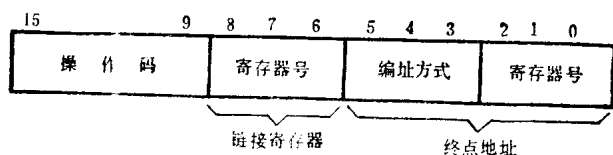


图1—9 转子指令格式

子程序返回指令:

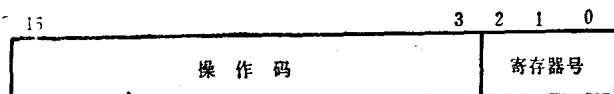


图 1—10 子程序返回指令格式

3. 自中断指令。

自中断指令以全字长作为指令的操作码。有的指令占有一定的范围，即同一类指令可有不同的指令操作码，例如：

(1) 自中断指令TRAP，其用八进制书写的操作码为：

(104400~104777)

(2) 仿真程序自中断指令EMT，其用八进制书写的操作码为：

(104000~104377)

四、其它类别的指令

PDP-11计算机还有条件码操作指令。该类指令是一种组合指令，其格式在图1—11中表示。

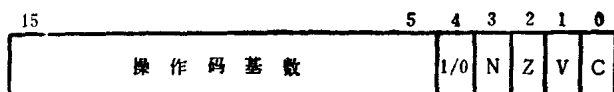


图 1—11 条件码操作指令格式

其中，第4位为“1”时，对条件码“按位置”，即相对应于指令码0—3位是“1”的条件码被置“1”，对应位是“0”的条件码不变。如第4位为“0”时，对条件码“按位清”，即相对应于指令码0—3位是“1”的条件码被置“0”，对应位是“0”的条件码不变。

PDP-11计算机指令系统中其它类别的指令还有五条：“停机”、“等待”、“复位”、“中断返回”、“跳转”。其中跳转指令格式与单操作数指令的格式一样。其余指令均以全字长为操作码。