

机械工人职业技能培训教材

电工基础

(高级工适用)

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社

机械工人职业技能培训教材

电 工 基 础

(高级工适用)

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



机械工业出版社

本书的主要内容有：集成运算放大器及其应用，数字电路基础，基本数字部件，常用电子测量仪器和微机原理及应用等。

本书内容紧扣考核大纲，以基本概念和原理为主，加强电路的分析，注重实际能力的培养，语言简练，通俗易懂，具有工人培训教材的特色。本书可作为电工类高级工的培训教材，也可供相关专业人员自学。

电 工 基 础

（高级工适用）

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

*

责任编辑：郑文斌 版式设计：张世琴

封面设计：姚 毅 责任校对：程俊巧

责任印制：何全君

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街 22 号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850mm×1168mm^{1/32}·印张 6.625·字数 171 千字

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 0 001—6 000·定价：12.00 元

*

ISBN 7-111-01930-X/TM·784

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

机械工人职业技能培训教材与试题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发	(常务)
委	于新民	田力飞	田永康	关连英
员	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	李廷法			
参编	周志德	刘咏春	许弋	
副主编	郭再泉			
本书主审	彭罗良			

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备和成龙

11267/04

配套等特点,受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来,我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》,逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求,进一步提高机械行业技术工人队伍的素质,实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标,我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》,使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时,又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核题库》,共87种,以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的,包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”(主要是“专业知识”部分)和“技能要求”分三册编写,适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用;对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等,另编写了公共教材,以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点,采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语;各工种教材则更加突出了理论和实践的结合,将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体,形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此,谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!教材中难免存在不足和错误,诚恳希望专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 集成运算放大器及其应用	1
第一节 差动放大电路	1
第二节 集成运算放大器	7
第三节 放大电路中的负反馈	11
第四节 线性集成运算放大电路	22
第五节 集成运放的非线性应用	32
第六节 集成运放应用中的一些问题	36
第七节 识图练习	38
复习思考题	42
第二章 数字电路基础	45
第一节 数字电路概述	45
第二节 逻辑门电路	46
第三节 数字集成电路及其使用常识	48
第四节 触发器	61
第五节 集成 555 定时器	71
复习思考题	78
第三章 基本数字部件	81
第一节 数的表示方法	81
第二节 计数器	85
第三节 寄存器	96
第四节 数字译码和显示电路	100
第五节 计数、译码、显示电路	109
复习思考题	115
第四章 常用电子测量仪器	118
第一节 信号发生器	118
第二节 晶体管毫伏表	122

第三节 通用示波器	126
第四节 晶体管特性图示仪	142
第五节 电子测量仪器的维护与保养	153
复习思考题	154
第五章 微机原理及其应用	157
第一节 微机的基本知识	157
第二节 MCS-51 单片机的组成	170
第三节 MCS-51 单片机的指令系统简介	179
第四节 单片机控制步进电动机的接口技术	190
复习思考题	194
附录	197
附录 A 半导体集成电路型号命名方法 (GB3430-89)	197
附录 B 部分集成运算放大器的参数	198
附录 C TTL 器件的典型特性	199
附录 D 部分 TTL 器件的电特性	200
附录 E 部分 CC4000 系列器件的电特性 ($T_A=25^{\circ}\text{C}$)	201
参考文献	202

第一章 集成运算放大器及其应用

培训要求 熟悉集成运放的参数。能分析负反馈电路、线性和非线性运放电路。掌握基本运放电路的特点。

集成电路是 60 年代发展起来的新型电子器件,它应用半导体制造工艺,将晶体管、二极管、电阻等元件以及联接导线都集中制造在一块半导体基片上,所以称为集成电路。

集成电路按其功能,可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类,其中集成运算放大器(简称集成运放或运放)是属于模拟集成电路的一种。由于它早期是作数学运算和放大使用的,所以取名为运算放大器。由于它通用性强,目前已广泛应用于控制、检测、仪表和通信等许多技术领域。而且已普遍取代了晶体三极管。有“万用半导体器件”之称。

集成运放实际上是一个高增益的多级直接耦合放大器。它的主要组成部分之一是差动放大电路。

第一节 差动放大电路

一、直接耦合放大电路的零点漂移

集成运放采用直接耦合方式,直接耦合的主要问题就是存在零点漂移。

1. 零点漂移 在图 1-1a 所示的直接耦合放大电路中,如果将输入端短路,即输入信号 u_i 为零时,其输出端会有偏离正常值,而缓慢变化的输出电压(漂移电压),这种现象称为零点漂移现象,简称为零漂。如图 1-1b 所示。

2. 零漂的产生和危害 产生零漂的原因很多。如电源电压波动、元器件参数的变化等,引起各级静态工作点变化,将产生零漂。其中由于环境温度变化,引起各级静态工作点的变化,是产

生零漂（称为温漂）的主要原因。在阻容耦合放大电路中，这种缓慢变化的漂移电压不会传输到下级放大，所以输出端的零漂不明显，但在直接耦合放大电路中，前级的零漂电压和有用信号混合在一起，传输到下级放大电路，经过逐级放大后，在输出端难以区分有用信号和零漂电压，使放大电路无法正常工作。其中第一级的零漂被逐级放大后，对输出端的影响最大，因此，减小第一级的零漂对减小整个放大电路的零漂最为重要。

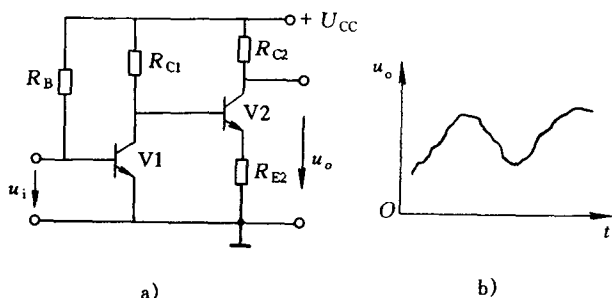


图 1-1 直接耦合的零点漂移

a) 直接耦合电路 b) 零点漂移

3. 衡量零漂的指标 为了衡量零漂的大小，可将输出端的零漂电压除以放大倍数，即折合为输入端的等效零漂电压，以便与输入信号的大小作比较。例如，因温度变化在输出端产生的零漂电压折合到输入端的等效零漂电压为 $0.5\text{mV}/^\circ\text{C}$ ，它表示温度变化 1°C 时，在放大电路输出端产生的零漂电压与输入 0.5mV 的有用信号，在输出端所产生的输出电压是一样的。这时，若输入有用信号为 0.5mV 数量级，则放大电路输出端的零漂电压与有用信号相当，就会使之无法工作。因此，对直接耦合放大电路的基本要求是具有较高的放大倍数和较低的零漂。抑制零漂的方法较多，最常用的是采用差动放大电路。

二、差动放大电路

1. 电路结构和抑制零漂的原理

(1) 典型结构 图 1-2 所示的是典型的差动放大电路。电路

由两个完全对称的共射电路组成,要求晶体管 V1 和 V2 型号和特性相同。

电源 $+U_{CC}$ 、 $-U_{EE}$ 和射极电阻 R_E 为两管共用,信号从两管基极输入,经放大后从两管集电极输出。

(2) 静态分析 静态

态时, $u_{i1}=u_{i2}=0$, 相当于两个输入端短路, 负电源 $-U_{EE}$ 经 R_B 、 R_E 向两个管子提供相等的基极电流。由于电路对称, 两管集电极电流相等, 两个集电极电位也相等, 即 $V_{C1}=V_{C2}$, 所以输出电压为零, 即

$$U_o = V_{C1} - V_{C2} = 0$$

可见, 差动放大电

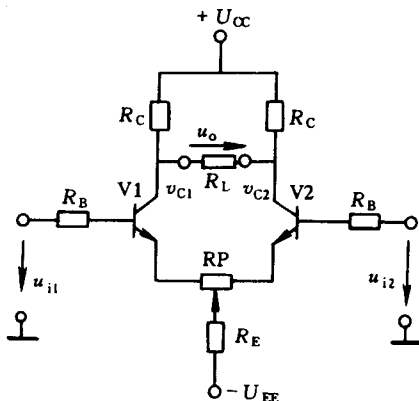


图 1-2 差动放大电路

路具有零输入——零输出特性, 这是我們所需要的。但实际上, 两边电路不可能完全对称, 所以电路中用电位器 RP 来调整对称, 使放大电路在静态时, 输出电压 U_o 为零, 所以称 RP 为调零电位器。

(3) 抑制零漂原理 由于电路对称, 当温度变化时, 两管等值变化。例如温度 t 升高, 两管集电极电流 I_{C1} 和 I_{C2} 等值增大, 集电极电位 V_{C1} 和 V_{C2} 等值减小, 故输出电压 $U_o = V_{C1} - V_{C2} = 0$ 。上述过程可简单表示为

$$\begin{array}{c}
 t \uparrow \begin{cases} \rightarrow I_{C1} \uparrow \rightarrow V_{C1} \downarrow \\ \rightarrow I_{C2} \uparrow \rightarrow V_{C2} \downarrow \end{cases} \rightarrow U_o = V_{C1} - V_{C2} = 0
 \end{array}$$

这就是说, 温度变化时, 虽然两管出现了零漂, 但因电路对称, 在输出端相互抵消, 从而抑制了零漂。

另外, 我们在分压式偏置电路中分析过, 发射极电阻 R_E 能稳

定静态工作点,所以 R_E 也能减小两管 V_{C1} 和 V_{C2} 的漂移,使电路总的零漂进一步得到抑制。 R_E 越大,静态工作点越稳定,即抑制零漂作用越强。

2. 动态分析 差动放大电路两个输入端的信号为 u_{i1} 和 u_{i2} , 根据它们的大小和极性不同有以下几种情况。

(1) 差模输入 两个输入端的电压大小相等、极性相反,即

$$u_{i1} = -u_{i2} \quad (1-1)$$

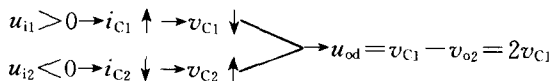
这样一对输入电压的形式称为差模输入。两个输入端的电压之差,称为差模输入电压,用 u_{id} 表示,即

$$u_{id} = u_{i1} - u_{i2} = 2u_{i1}$$

或

$$u_{i1} = -u_{i2} = \frac{1}{2}u_{id} \quad (1-2)$$

由图 1-2 可见,在差模输入电压的作用下,两管中的电流或电压的变化必然相反,即一增一减。例如, $u_{i1} > 0$, $u_{i2} < 0$ 时,则可表示为



由于电路对称,两管集电极电位一增一减的数值相等,故差模输出电压 u_{od} 是单管集电极电位(单边输出电压)的两倍,即

$$u_{od} = v_{C1} - v_{C2} = 2v_{C1}$$

由以上分析可见,差动放大电路对差模输入电压有放大作用,其差模电压放大倍数 A_{ud} 为

$$A_{ud} = \frac{u_{od}}{u_{id}} = \frac{2v_{C1}}{2v_{i1}} = A_1 \quad (1-3)$$

式中 A_1 为单边电路的电压放大倍数。式 (1-3) 表明,由两个集电极输出(称双端输出)的差动放大电路的差模电压放大倍数与单管共射电路的电压放大倍数相等。

需要注意的是,射极公共电阻 R_E 对差模电压放大没有影响,这是因为差模输入信号使一管电流增加,另一管电流会等量减小,

R_E 上的电压不变, 所以 R_E 对差模信号相当于短路。

(2) 共模输入 两个输入端的电压大小相等, 极性相同, 即

$$u_{i1} = u_{i2} = u_{ic} \quad (1-4)$$

这样一对输入电压的形式, 称为共模输入, 用 u_{ic} 表示。

由图 1-2 可见, 在共模输入电压作用下, 两管中的电流或电压的变化必然相同, 即两管都增或都减。由于电路对称, 两管集电极电位相等, 即 $v_{c1} = v_{c2}$, 因此, 两个集电极的共模输出电压 u_{oc} 为

$$u_{oc} = v_{c1} - v_{c2} = 0$$

由此可见, 差动放大电路在共模输入电压作用下, 共模输出电压 u_{oc} 为零, 则共模电压放大倍数 A_{uc} 为零, 即

$$A_{uc} = \frac{u_{oc}}{u_{ic}} = 0 \quad (1-5)$$

如果电路不完全对称, 在输入共模电压时, 仍有一定的共模输出电压 u_{oc} , 这时 $A_{uc} \neq 0$ 。

差动放大电路两个输出端的零漂电压是相同的, 将它们折合到两个输入端后, 其输入等效零漂电压就相当于共模输入电压。因此, 共模电压放大倍数为零, 表明差动放大电路的零漂为零。 A_{uc} 越小, 零漂也越小。

综上所述, 差动放大电路的功能是放大差模电压 (有用信号), 抑制共模电压 (无用信号)。为了衡量差动放大电路放大差模信号和抑制共模信号的能力, 通常用共模抑制比 K_{CMR} 表示, 即

$$K_{CMR} = \frac{A_{ud}}{A_{uc}} \quad (1-6)$$

若用分贝 (dB) 表示, 则

$$K_{CMR}(\text{dB}) = 20 \lg K_{CMR} \quad (1-7)$$

显然, 共模抑制比越大, 说明差动放大电路性能越好。理想的差动放大电路 $A_{uc} = 0$, 则 $K_{CMR} = \infty$ 。一般差动放大电路的 K_{CMR} 为 $10^3 \sim 10^6$ 。

为了提高 K_{CMR} , 除了电路对称外, 主要是增大射极电阻 R_E 。

但在集成电路中,不宜制造大电阻,所以常用晶体三极管组成的恒流源来代替大电阻 R_E ,其符号如图 1-3 所示。由于恒流源的电阻极大,所以 K_{CMR} 可得到进一步提高。

(3) 任意输入 两个输入端电压不相等,即 $|u_{i1}| \neq |u_{i2}|$, 这种输入电压形式,称为任意输入。任意输入电压可分解成差模输入电压和共模输入电压的叠加。

例如, $u_{i1}=10\text{mV}$, $u_{i2}=6\text{mV}$, 它们可分解为

$$\begin{cases} u_{i1}=8\text{mV}+2\text{mV}=u_{ic}+\frac{u_{id}}{2} \\ u_{i2}=8\text{mV}-2\text{mV}=u_{ic}-\frac{u_{id}}{2} \end{cases}$$

其中 8mV 是共模输入电压 u_{ic} , 它是 u_{i1} 与 u_{i2} 的平均值, 是无用的电压; 2mV 是一对差模输入, 差模输入电压 $u_{id}=u_{i1}-u_{i2}=4\text{mV}$, 它是 u_{i1} 与 u_{i2} 之差, 是一个有用的电压。

由于差动放大电路对称, 理想情况下的共模电压放大倍数 $A_{uc}=0$, 所以输出的共模电压为

$$u_{oc}=A_{uc}u_{ic}=0$$

差动放大电路输出的差模电压为

$$u_{od}=A_{ud}u_{id}=A_{ud}(u_{i1}-u_{i2})$$

利用叠加原理, 可求出总的输出电压为

$$u_o=u_{od}+u_{oc}=u_{od}=A_{ud}(u_{i1}-u_{i2}) \quad (1-8)$$

即输出电压只与 u_{i1} 、 u_{i2} 的差值有关。这种电路常用于检测和自动控制系统中。

3. 差动放大电路的输入——输出方式 差动放大电路有两个输入端、两个输出端, 可根据实际工作需要来构成不同的输入——输出方式。图 1-2 所示的电路, 输入电压加在两个输入端, 输出电压取自两个输出端, 构成双端输入——双端输出的方式。这种电路的输入端和输出端都不接地, 即不用公共接地端。例如, 电路的输入端接热电偶, 输出端接电压表的检测系统中, 可采用这

种方式。

实际上，常遇到一端接地的信号源，一端接地的负载，以及输入和输出都有公共接地端的电子设备，这时差动放大电路应接成单端输入——单端输出的方式，如图 1-3 所示。图中将不接信号源的这个输入端接地，不接负载的这个输出端悬空。

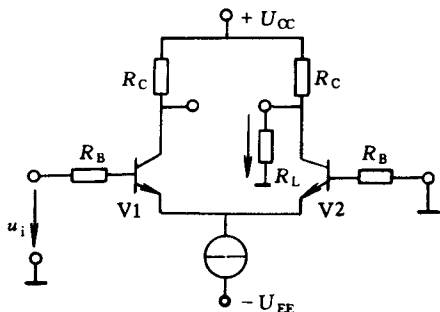


图 1-3 单端输入——单端输出恒流源差动电路

除了以上两种输入——输出方式外，还有双端输入——单端输出和单端输入——双端输出方式。

第二节 集成运算放大器

一、集成运放的特点和组成

1. 集成运放的特点 集成运放采用集成技术制造而成。由于制造工艺的限制，具有如下的结构特点：

(1) 集成电路中不适于制造电感和大电容，所以集成运放采用直接耦合方式。

(2) 因在相同条件下，在很小的硅片上制作晶体三极管等元件，所以元件参数的对称性好，适用于制造对称要求高的差动放大电路。

(3) 集成电路中的二极管，用晶体三极管的集基极联接而成。几十千欧以上的大电阻，常用晶体三极管恒流源代替或用外接电阻。

2. 集成运放的组成 集成运放的品种繁多, 内部电路也不尽一致, 但基本结构都由如下四部分组成, 其方框图如图 1-4a 所示。

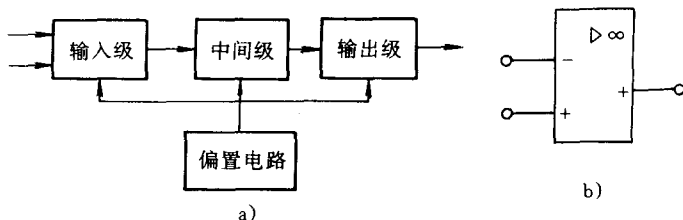


图 1-4 集成运放结构框图和符号

a) 结构框图 b) 图形符号

(1) 输入级 输入级对集成运放的性能指标起决定性的作用。它有两个输入端, 一个输出端, 几乎毫无例外地采用差动放大电路, 目的是减小零点漂移, 抑制干扰信号。通常工作在低电流状态, 以获得高输入电阻。

(2) 中间级 中间级亦称电压放大级, 其主要任务是提供很高的电压放大倍数, 通常由一级或多级共射电路组成。

(3) 输出级 输出级与负载相联, 要求能提供较大的输出功率, 具有较强的带负载能力, 所以, 通常采用射极输出器或互补对称功放电路。

(4) 偏置电路 偏置电路的作用是为各级电路提供偏置电流。常采用晶体三极管恒流源等组成。

集成运放的图形符号如图 1-4b 所示, “ $\triangleright \infty$ ”表示理想运放。运放有两个输入端; 图中“-”为反相输入端, 表示信号从这一端输入时, 输出信号与输入信号相位相反; 图中“+”为同相输入端, 表示信号从这一端输入时, 输出信号与输入信号相位相同。运放有一个输出端, 其“+”表示与输入端的极性关系。

二、集成运放的封装和外引线

集成运放常见的封装方式有圆筒式金属壳封装, 有扁平、双

列直插式塑料或陶瓷封装，其外形如图 1-5 所示。

集成运放外引线的排列顺序如图 1-5 所示。现以通用型集成运放 CF741 (F007) 为例，说明各外引线的功能和使用。

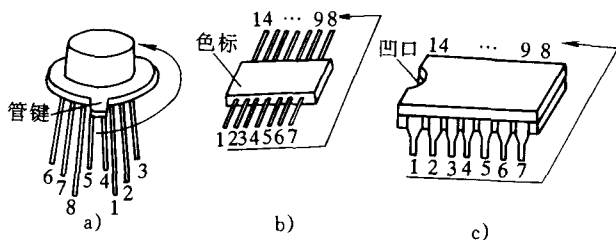


图 1-5 集成运放的外形和外引线

a) 圆筒式 b) 扁平式 c) 双列直插式

图 1-6a 是 CF741 的外引线排列，各外引线的功能是：2、3 分别为反相和同相输入端，6 为输出端，7、4 分别为正电源和负电源端，1、5 为外接调零电位器端，8 是空脚。

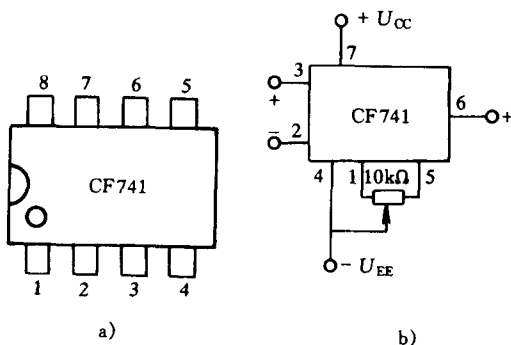


图 1-6 CF741 外引线和外引接线图

a) 外引线 b) 外引接线图

集成运放实际使用时，必须查阅半导体器件手册，按各外引线的功能，与外部元件正确联接，如图 1-6b 所示。

三、集成运放的主要参数

为了正确选用集成运放，必须了解其主要性能参数的含义。运