

工人技术教育读本

电 工

(试用本)

上海市第一机电工业局工会编



机械工业出版社

本书主要包括：**1.交直流电路、电磁的基本概念与计算；2.交直流电动机、变压器和常用电表的结构、原理和使用知识；3.常用机床电器的结构原理和简单的机床电气控制线路分析；4.以晶体管为主的工业电子学基础知识。**

本书可作为机电类工人业余学校电工教学用书，亦可供技工学校有关电工专业教学参考用。

电 工

(试 用 本)

上海市第一机电工业局工会编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张11 10/16·字数246千字
1973年10月北京第一版·1981年2月北京第五次印刷
印数1,836,001—1,968,000·定价0.75元

*

统一书号：15033·4187

说 明

这套书初步定为 12 本，共分两类。一是基础课，共三本：机电数学、机械制图、机械基础；二是专业课，共九本：车工、钳工、刨工、铣工、磨工、铸工、锻工、电工、热处理。

这套书可供机械制造工厂（或工种）举办的业余技术教育和技工学校教学参考使用。

由于我们水平较低，经验不够，这套书定会有不少缺点和问题，欢迎各单位提出批评和修改意见。

上海市第一机电工业局工会

目 次

第一章 直流电路	1
第一节 电的基本概念	1
第二节 导体、电阻和绝缘体	5
第三节 欧姆定律	10
第四节 电路的串联与并联	13
第五节 电功与电功率	18
第六节 电流的热效应、导线选择和熔丝	20
第七节 电容及其充放电	27
第二章 电磁现象与磁路	33
第一节 电磁的基本知识	33
第二节 铁磁材料	37
第三节 磁路欧姆定律	42
第四节 在磁场中的通电导线与直流磁电式仪表	46
第五节 导线切割磁力线产生感应电动势与兆欧计	52
第三章 交流电路	56
第一节 概述	56
第二节 正弦交变电动势的产生	58
第三节 正弦交流电的有效值及其旋转矢量表示法	61
第四节 电阻电路	63
第五节 电感电路	65
第六节 电阻、电感的串联电路	70
第七节 电容电路	72
第八节 电阻、电感与电容的串联电路	75
第九节 电阻、电感与电容的并联电路	77
第十节 提高功率因数的方法和意义	79

第十一节	涡流及其利弊	79
第十二节	趋肤效应	83
第十三节	交流电磁铁	84
第十四节	交流电的测量	86
第十五节	三相交流电源	90
第十六节	负载的星形联接	93
第十七节	负载的三角形联接	96
第四章	变压器和输配电介绍	101
第一节	概 述	101
第二节	单相变压器的工作原理	102
第三节	三相变压器	105
第四节	变压器的构造	107
第五节	自耦变压器、多绕组变压器和电焊变压器	113
第六节	互感器	115
第七节	小型变压器的计算	119
第八节	输配电介绍	128
第九节	车间照明	134
第十节	安全用电	141
第五章	交流电动机	145
第一节	三相异步电动机的构造	145
第二节	异步电动机的工作原理	148
第三节	异步电动机的工作特性	153
第四节	异步电动机的起动	158
第五节	异步电动机的调速	163
第六节	单相异步电动机	165
第七节	异步电动机的铭牌介绍与常见故障分析	168
第八节	交流特种电机简介	171
第六章	直流电动机	174
第一节	直流电动机的工作原理	174

第二节	直流电动机的构造	176
第三节	直流电动机的机械特性	185
第四节	直流电动机的起动	189
第五节	直流电动机的调速和反转	192
第六节	直流电动机的铭牌、使用和维护	194
第七节	直流特种电机简介	199
第七章	电力拖动	202
第一节	三相异步电动机的正转控制线路	202
第二节	三相异步电动机的正反转控制线路	222
第三节	三相异步电动机的降压起动线路	231
第四节	三相异步电动机的制动控制线路	250
第五节	生产机械的限位控制线路	262
第六节	两台电动机的联动控制线路	267
第七节	几种常见的电气自动控制线路的分析	268
第八章	工业电子学	289
第一节	晶体二极管	289
第二节	硅整流电路	296
第三节	晶体三极管	309
第四节	晶体管放大电路	320
第五节	晶体管多级放大电路	331
第六节	晶体管放大电路应用实例	335
第七节	电子二极管及其整流线路	344
第八节	电子管放大器	349
第九节	可控硅一般知识	356

第一章 直流电路

第一节 电的基本概念

在日常生活与生产中，几乎到处都要用到电。象电灯通电会发光，电动机通电会旋转。电究竟是怎么一回事呢？在电线里有什么东西通到电灯、电动机里去？下面就来说明这个问题。

一、电是什么？

毛主席教导我们：“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。”要了解物体带电的根本原因，首先必须了解物体的内部结构。

自然界的一切物质都是由分子组成的，而分子又是由原子组成。每一个原子，都是由一个带正电荷的原子核和一定数量带负电荷的电子所组成。这些电子，分层围绕原子核作高速旋转。正电荷与负电荷有同性相斥、异性相吸的特性，物质中的正电与负电，就是一对矛盾。不同的物质有不同的原子，它们所具有的电子数目也是不一样的。例如铜原子有 29 个电子，铝原子有 13 个电子。图 1-1 是铝原子结构图。

在通常情况下，原子核所带的正电荷和电子所带的负电荷在数量上相等，所以物体就不显示带电现象。

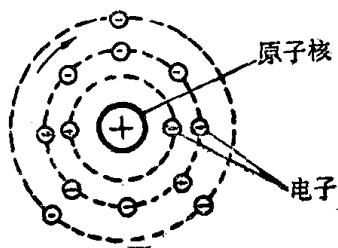


图1-1 铝原子结构图

原子核吸引电子的吸力大小与距离平方成反比。如果由于某种外力的作用，使离原子核较远的外层电子摆脱原子核的束缚，从一个物体跑到另一个物体，这样就使物体带电，失去电子的物体带正电，获得电子的物体带负电。

一个带电体所带电荷的多少可以用电子数目来表示，不过在实用上这个单位太小，我们常以“库伦”作为电量的单位。

1 库伦 = 6.24×10^{13} 个电子电荷

电量的符号用 Q 表示。当电荷积聚不动时，这种电荷称为静电，如果电荷处在运动状态，就称为动电。

二、什么叫电流？

现在我们来分析电荷是怎样沿着导线流动的。

按照图 1-2 所示，把电珠用导线和电池的两极连起来，电珠就会发光，这就组成最简单的电路。

要产生电一定要有电源，这里的电源就是电池。电池是利用化学的方法，

强迫原子中的部分电子与原子分离，使电子积聚在一端，由于电子带负电荷，所以称为电源的负极，用符号“-”表示，电池的负极，就是外壳；失去部分电子的原子积聚在另一端，它们带正电荷，所以称为电源的正极，用符号“+”表示，电池的正极，就是中间的碳棒。已经积聚在电源两极的正负电荷，由于电荷同性相斥的特性，阻碍电荷再进一步积聚。当电池正负极用导线与电珠接成闭合电路后，电源负极上积聚的电子就会在金属导线中移动，经过电珠的钨丝与

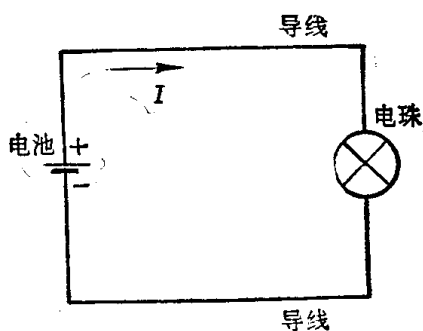


图1-2 简单电路

电池正极板失去部分电子的原子结合，成为不带电的原子，这种现象称为中和。当电源正负两极板上积聚的电荷一减少，阻碍电荷向两极板继续积聚的阻力因而也减少，电池通过化学力的作用又不断地使部分电子与原子分离，补充两极板上电荷的减少。这样，当电路接成闭合回路时，导线与电珠中就不断有电子移动。我们把电荷沿着电路作定向流动称为电流。电珠发光，就是因为电珠钨丝中有电流流过的缘故。

电流的方向，习惯上规定是由电源的正极经用电设备流回负极为正方向，也就是和电子运动的方向相反。这种运动方向不变的电流称为直流电。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度在数值上等于一秒钟内通过导线横截面的电量的大小。通常所说电流大小，就是指电流强度的大小。电流用 I 表示，单位用安培（A），简称安，时间用 t 表示。

$$I = \frac{Q}{t}$$

1 安培电流，表示每秒钟通过导线任一截面的电量是 1 库伦。在有些电路中流过的电流很小，常用毫安、微安来计量。

1 安培 = 1000 毫安（mA）

1 毫安 = 1000 微安（ μ A）

电路中电流的大小可用电流表来测量。测量时，断开电路，把直流电流表接在被测电路里，如图 1-3 所示，电流表指示的读数，即为电路电流的大小。测量直流电流时，必须注意仪表正负极性，

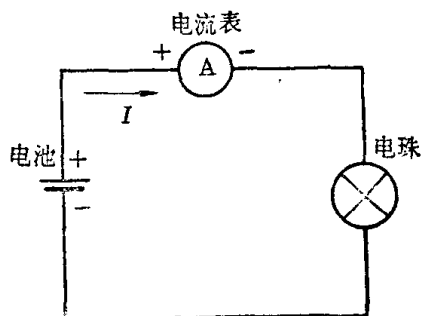


图1-3 直流电流的测量

电流必须从接线柱正端流入，还要注意测量范围。一般万用表拨至直流电流挡也可以测量直流小电流。

三、什么叫电压？

为了便于理解，我们把电路比作水路，水管好比导线，水流好比电流，电源就相当于水泵。水在水管里能够继续不断地流动，就因为水泵把水升高到水塔里，产生水位差，水才能受重力作用，由水塔的高水位点经水管向下流动到低水位点。同样道理，电路中要有电流也必须先产生电位差，电流才能从电路里的高电位点流向低电位点。电路中的电源，就是起升高电位的作用，或者说产生电位差。电源的正极电位高，负极电位低，所以电路接通后，电流从电源正极流出，经过用电器流回电源负极。在水路中，水位差也称水压，水压愈大，水流愈急，每秒钟流过水管截面的水量愈多。在电路中，任意两点之间的电位差称为这两点的电压，电压愈大，电流也愈大。电压用符号“ U ”来表示。

电位与电压是有区别的。电位的数值与高度一样，是一个相对的概念，它与零电位（接地点电位）的选择有关，电压则是电路中两点的电位差，与零电位的选择无关。

电位有正电位和负电位，根据在电路中选择哪一点为零电位来决定。在图 1-4 中，如假定 B 点的电位为零，则 A 点的电位比 B 点升高 U 值，为 $+U$ 。如假定 A 点电位为零，则 B 点电位比 A 点降低 U 值，为 $-U$ 。电位正、负的概念，在分析电子线路时很有用。

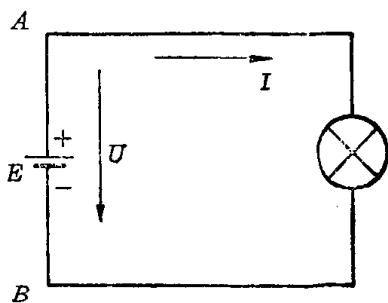


图1-4

由于外力的作用，在电源两端产生的电位差，称为电源的电动势，用符号“ E ”表示。电动势在电路里，通常理解为电压升。在整个循环水路中，水位升高的数值必然等于水位降落的数值；在电路里也一样，电位升高的数值（即电动势的大小），必然等于电路中电压降落的数值，这是一个很重要的概念。

电动势、电压、电位的单位都是伏特，简称伏（V），高电压可用千伏（kV）表示，小电压可用毫伏（mV）表示。

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 1000 \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 伏 (V)} = 1000 \text{ 毫伏 (mV)}$$

电动势与电压的大小可用电压表来测量，测量的方法与用电流表测量不同，是把电压表跨接到电路中要测量的两点上去，如图 1-5 所示。电表的读数就是 A、B 两点之间的电压值。测量直流电压时，也要注意“+”“-”极性（正端接高电位点，负端接低电位点）与测量范围。

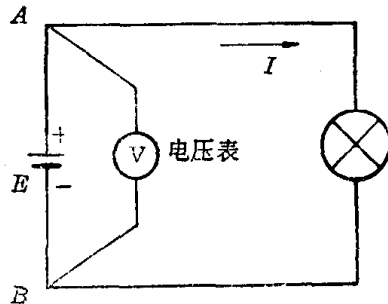


图1-5

第二节 导体、电阻和绝缘体

一、什么叫导体？

比较容易传导电流的物体叫做导体。常见的导体是金属，如铜、铝、银、铁等。金属为什么能很好传导电流呢？因为在金属原子中，最外层的电子与原子核的结合比较松散，因此这部分电子很容易脱离自己的原子，在组成金属的

各原子中间运动，这样的电子，称为自由电子。在平常情况下，金属中虽有大量的自由电子，但他们只作无规则的热运动，不会产生电流。当接上电源并且电路成通路时，金属导体中的自由电子在电源电动势的作用下，作定向运动，形成电流。所有金属（包括水银）以及合金都是导体。除此以外，大地、人体、石墨以及酸、碱、盐溶液也都是导体。

二、什么叫电阻？

由于自由电子在金属导体中作定向运动时，会对金属中其他电子与原子核发生碰撞，所以电流在导体中流动要受到一定的阻力。有的导体对电流的阻力小，我们说导电能力好；有的导体对电流的阻力大，我们说导电能力差。这种对于通电所表现的阻力，称为导体的电阻。电阻用符号“ R ”表示，单位是欧姆，简称欧（ Ω ），测量大电阻值可用千欧（ $k\Omega$ ）或兆欧（ $M\Omega$ ）。

$$1 \text{ 千欧 (k}\Omega\text{)} = 1000 \text{ 欧 (}\Omega\text{)}$$

$$1 \text{ 兆欧 (M}\Omega\text{)} = 1000000 \text{ 欧 (}\Omega\text{)}$$

导体电阻的大小和哪些因素有关呢？任何导体都有电阻，就象水管对水流总有阻力一样。水管对水流的阻力与水管的粗细、长短以及水管内壁粗糙程度有关。实验表明，在一定温度下，导体的电阻与导体截面成反比，与导体长度成正比，还与导体的材料有关。用公式表示如下：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 l —— 导体长度（米）；

S —— 导体截面积（毫米²）；

ρ —— 电阻系数，决定于材料性质（欧·毫米²/米）。

从上式可以看出，1平方毫米粗、1米长导体的电阻数值即为电阻系数值。

表 1-1 是常用金属材料在温度 20°C 时的电阻系数值。银、铜、铝的电阻系数较小，所以常用铜、铝作为导电材料。近几年来，广泛采用铝线、铝排，虽然铝的导电能力不及铜，但比铜轻，并且价格便宜，来源丰富。以铝代铜对我国电气工业发展有重大意义。

表1-1 常用金属的电阻系数(20°C)

材 料	电阻系数(欧·毫米 ² /米)
银	0.016
电线铜	0.017
铝	0.029
铸铁	0.5
黄铜(铜锌合金)	0.065
康铜(铜镍合金)	0.5
镍铬合金	1.1

【例】一条铝电线，长 100 米，截面积为 10 平方毫米，求电线电阻。

$$\begin{aligned}
 \text{〔解〕 } R &= \rho \frac{l}{S} \\
 &= 0.029 \times \frac{100}{10} = 0.29 \text{ 欧}
 \end{aligned}$$

由此例可见，任何导线都是有电阻的，不过数值较小，在通常计算时忽略不计了。

镍铬合金耐温可达 1100°C ，通常做电炉的电热丝。

导体的电阻与温度有关，一般的金属导体，温度升高时其电阻值也增大。这是因为由于温度升高，金属内部的原子核与电子运动加剧，自由电子流动时阻力增大。普通的铜导线当环境温度增加 10°C 时，电阻值要增加 4%，所以在准确测量或计算电阻值时，必须要考虑温度的影响。用康铜、锰铜等材料做成的电阻受温度变化的影响很小，可用在要求电

阻数值变化不大的地方。

工厂中常用万用电表来测量电阻值。在测量电阻时必须注意：1) 测量前电路必须断开电源；2) 测量前必须先调节零位。数值很小的电阻或要求测量电阻正确值的地方，可用电桥来测量。

常用电阻介绍：

1. 铸铁电阻。ZX 1 系列铸铁电阻（图 1-6 甲）由铸铁浇铸成曲折蜿蜒的栅形元件串联叠成。适用于交流 50 赫芝电压 500 伏及直流 440 伏的电路中，主要作为电动机的起动、制动及调速用。这种电阻一般阻值小，允许通过电流最大达 215 安。

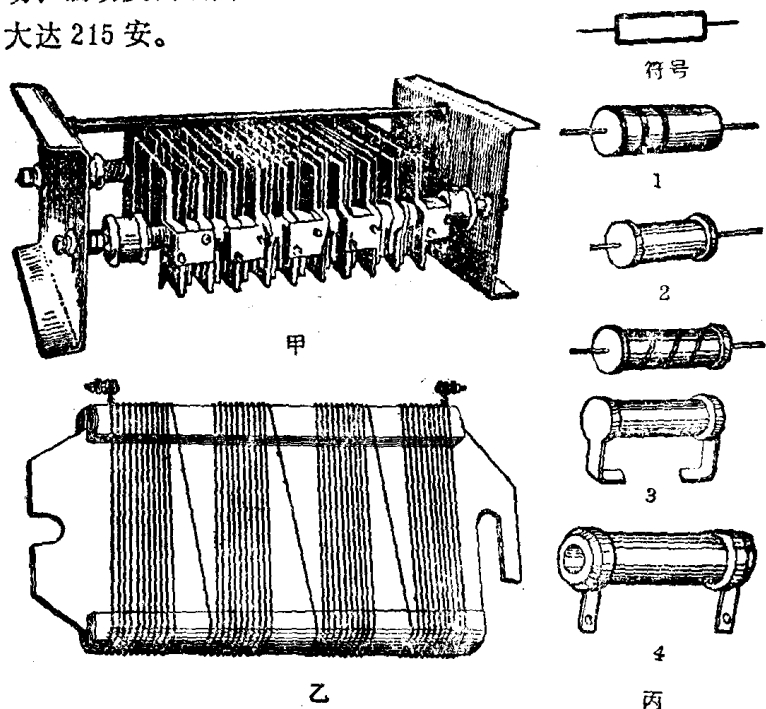


图1-6 固定电阻

2. 板形电阻。JZBY型(ZB2)板型电阻片(图1-6乙)主要作为异步电动机的起动电阻及用在鼠笼异步电机的反接制动线路来限止电流,亦可供小容量电动机调速用。板形电阻片允许通过的电流一般比铸铁电阻小。

3. 小功率电阻(图1-6丙)。用于晶体管、电子管电路中。合成炭质电阻(色环电阻,丙1)稳定性差,已逐渐淘汰。金属膜电阻(丙2)比炭膜电阻(丙3)更稳定,用于要求较高的线路中。线绕电阻(丙4)适用于功率较大的场合。

4. 滑线变阻器与电位器(图1-7)。用在电阻值要求经常变动的场合。

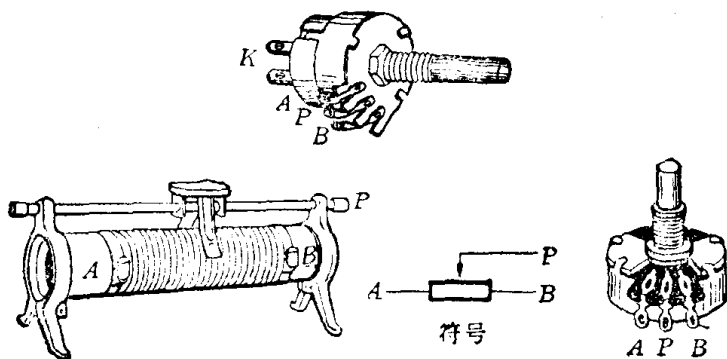


图1-7 滑线变阻器与电位器

三、什么叫绝缘体?

导电能力非常差、电流几乎不能通过的物体,称为绝缘体。对一般固体材料来说,绝缘体含有极少量的自由电子。由于这些材料电阻极大(一般是兆欧等级),当这些物体接上电源时,流过的电流极小,通常就认为它们是不导电的。常用的绝缘材料有橡胶、塑料、云母、纸、石棉、绝缘漆、干燥的木材等。不同的绝缘材料,绝缘性能有差别,在电压高或温度高的地方,应该采用陶瓷、石棉、云母等耐高压、耐高温的绝缘材料。

绝缘材料在时间长久之后会老化，温度太高或湿度增大时，绝缘性能要变差，我们常见的漏电现象就是绝缘性能下降所造成的。当绝缘材料受潮、受到过高的温度或加上过高的电压时，可能完全失去绝缘能力而导电，这种现象称为绝缘击穿或者叫绝缘损坏。例如有时发现电机、变压器等设备外壳带电，就是由于电机、变压器通电线圈的绝缘损坏，外壳与线圈直接导电所造成。这样的设备不能继续使用。

电气设备绝缘好不好用什么办法来检查呢？工厂中常用兆欧计，俗称摇表来检查。一般电器设备的绝缘电阻不得低于0.5兆欧($M\Omega$)，移动电器如手枪钻、台扇对外壳绝缘不得低于1兆欧($M\Omega$)，在潮湿地方使用的电器，如船用电器，其绝缘电阻应适当增大，以保证安全。

长期搁置的电气设备在使用前，应先用摇表检查绝缘是否良好，不可贸然使用。

安装与维修电气设备时，带电导体不允许露在外面，表面绝缘已经损坏的要调换。检查线路与电气设备有没有电，应该用测电笔、校火灯头或万用表等工具去测量，严禁用手去试！

第三节 欧姆定律

将电阻 R 用两根导线接到电源上，则在电源电压 U 的作用下，就有电流 I 通过电阻。这电阻代表用电器，如电灯或者电烙铁、电炉（图 1-8）。在一个电路里，如果电阻两端的电压变了，电流会随着改变；如果导体的电阻值变了，电流也会随着改变。那末，电流、电压、电阻三者的关系究竟怎样呢？

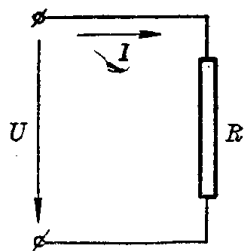


图1-8 电阻电路

通过实验发现电阻中的电流，跟电阻两端的电压值成正比，跟电阻值成反比。这是部分电路中电压、电流和电阻的关系，称为部分电路的欧姆定律，用公式

$$I = \frac{U}{R}$$

表示。式中 I 的单位为安培， U 的单位为伏特， R 的单位为欧姆。欧姆定律是电工学中最基本的定律，在生产实际中很有用。

如果用电压作为纵坐标，电流为横坐标，不同电压对应不同电流，画出一根通过原点的直线，称为电阻电路的伏安特性曲线（图 1-9）。直线的斜率

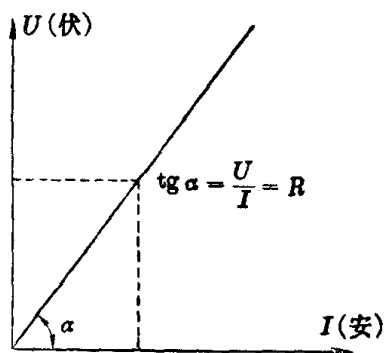


图1-9 电阻电路的伏安特性曲线

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U}{I} = R$$

因为伏安特性是直线的，所以这种电路称为线性电路。

【例】一只电炉，接到 220 伏电压上，电流为 4.54 安，求电炉电阻值。

【解】 $R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ 伏}}{4.54 \text{ 安}} \approx 48 \text{ 欧}$

【例】一条电线，电阻值为 0.3 欧，流过 20 安电流，求电线两端的电压。

【解】 $U = I \times R = 20 \times 0.3 = 6 \text{ 伏}$

下面再来分析完整电路的欧姆定律。图 1-10 甲是最简单的完整电路，由电源 E 、用电器 R 、开关 K 及导线组成。电源内部也存在电阻，称为内电阻，用 $r_{\text{内}}$ 表示。为了便于分析，将 $r_{\text{内}}$ 画在电源外面，如图 1-10 乙所示。当开关