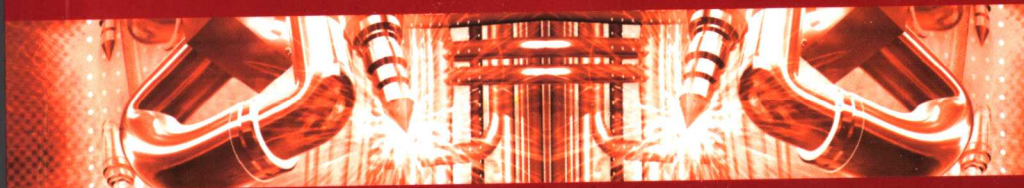


DIANDI HUOZAI

电气火灾

预防检测技术



● ● ● 刘鸿国 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TM08

2

电气火灾 预防检测技术

● ● ● 刘鸿国 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是介绍电气火灾预防检测技术的专业用书,是根据近年来电气防火检测的实践经验、历届培训教学成果以及电气防火的有关论文,并经过分析总结和理论提升后编写而成的。

本书共分八章,内容包括:实用基础理论,10kV及以下变配电设备、低压配电系统、一般用电设备、电气防火基础知识、检测仪器配置及其技术性能要求、电气火灾隐患的检测和诊断方法以及检测项目和技术要求等。

本书可作为电气防火检测工程师和检测员的培训教材,也可供设计、施工、维护、消防技术人员以及大专院校有关消防专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气火灾预防检测技术/刘鸿国编著. —北京:中国
电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-3716-6

I. 电... II. 刘... III. 电气设备-防火-检测
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 135177 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

冶林印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

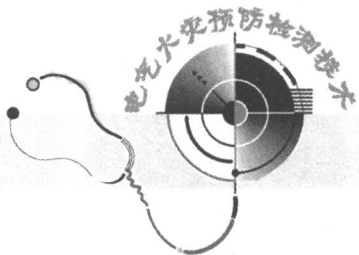
2006 年 3 月第一版 2006 年 3 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 12.125 印张 320 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



前言

为了适应当前电气防火检测工作迅速发展的需要,提高广大检测技术人员的技术素质是十分迫切和重要的问题。只有保证电气防火检测技术水准,准确地诊断电气火灾隐患,才能有效地防止和减少电气火灾的发生,从而避免和减少人员的伤亡和财产的巨大损失。

编著者根据近十年来的电气防火检测的实践经验、历届培训教学成果及电气防火的有关论文,经过分析总结和理论提升后编写成本书。

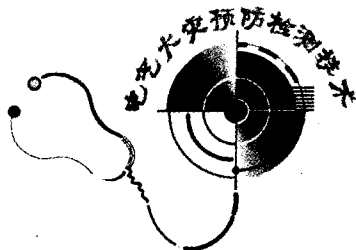
本书编写过程中,首先,在符合现行技术标准规范的前提下自成体系,突出了系统性、实用性,并深入浅出地论述了实用基础理论,从而用来分析和解决电气防火检测中的各种实际技术问题。其次,本书还简明扼要地介绍了各种电气线路和电气设备的工作原理、基本结构、特性参数以及发生火灾的危险性,用以明确检测的对象和隐患部位。同时,比较深入地介绍电气防火基础知识,从而进一步了解电气火灾产生原因、造成危害及相应的防护措施。最后,为了有效地实施电气防火检测,发现电气火灾隐患,提出了满足现场检测需要的检测仪器配置及其技术性能要求、电气火灾隐患的检测和诊断方法以及检测项目和技术要求等。

本书编写过程中,得到有关消防部门领导和技术人员的热情关心和大力支持,得到有关消防检测公司的密切配合和真诚帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编著者水平有限,书中难免会有不当和错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2005年8月

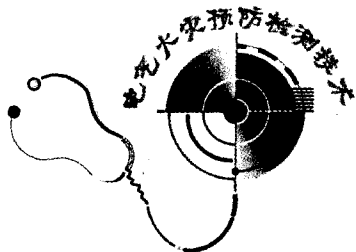


目 录

前言

第一章 实用基础理论	1
第一节 电路基础知识	1
第二节 电路中基本电磁现象	13
第三节 单相正弦交流电路	18
第四节 三相正弦交流电路	34
第五节 电磁波与红外线	53
第六节 电工材料性能	61
第七节 热力学基础知识	73
第二章 10kV 及以下变配电设备	78
第一节 变压器及互感器	78
第二节 高压电器及其成套配电装置	111
第三节 低压电器及其成套配电装置	130
第三章 低压配电系统	176
第一节 低压配电系统的组成及其功能	176
第二节 绝缘导线和电缆	183
第三节 保护接地系统	204
第四节 低压配电线路故障防护	223
第五节 低压配电线路的火灾危险性	242
第四章 一般用电设备	245
第一节 电气照明装置	245
第二节 中小型电动机	262
第三节 家用电器	280

第五章 电气防火基础知识	285
第一节 物质燃烧和火灾	285
第二节 电气火灾形成机理	291
第三节 电气火灾及其隐患	296
第四节 用电安全技术	300
第六章 检测仪器的配置和技术性能要求	306
第一节 概述	306
第二节 检测仪器配置的技术依据	306
第三节 检测仪器误差和精确度	308
第四节 红外测温的基础知识	310
第五节 红外测温仪	311
第六节 红外热像仪	318
第七节 红外热电视	324
第八节 超声波探测器	329
第九节 真有效值钳形电流表	331
第十节 绝缘导体性能测试	333
第十一节 钳式接地电阻测试仪	336
第七章 电气火灾隐患检测和诊断方法	343
第一节 危险温度测量——红外测温法	343
第二节 放电型火灾隐患超声波探测判定法	349
第三节 交流电流有效值和交流电压有效值的测量	349
第四节 漏电电流的测量	351
第五节 绝缘电阻的测量	353
第六节 接地电阻的测量	354
第八章 检测项目和技术要求	355
第一节 概述	355
第二节 10kV 及以下变配电设备	356
第三节 室内低压配电线路	367
第四节 一般用电设备	373
参考文献	379



第一章

实用基础理论

第一节 电路基础知识



一、电路及其组成、电路模型

所谓电路就是由导体构成的导电通路。一般电路是由电源 G 、负载 R 、连接导线和开关 S 四部分组成，如图 1-1 所示。电路的作用主要是用于电能的传输和分配，也用于对信号的传输和处理。

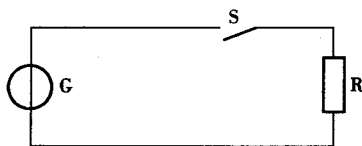


图 1-1 电路及其组成

电源是电路的能量。它是由其他各种形式的能源转化而来的。例如发电机是热能、水能、核能和风能转化成电能；蓄电池是由化学能转化成电能等。

负载就是各种用电设备，是将电能转化为其他形式的能量。例如照明装置、电动机和电热器具等。

连接导线是将电源和负载连接起来的导电通路。开关是控制电路完成接通和开断的任务，例如刀型开关，低压断路器等。

电路模型是由理想电源、理想电路元件和理想连接导线构成。所谓理想电源，如电源内阻为零的电压源；理想电路元件是反映实际电路中主要物理过程中的电阻、电感和电容的效应以集中参数表示，理想连接导线，即不含电阻、电感和电容的连接导线。



电路模型是分析和计算实际电路的理想化模型。分析和计算电路模型结果，能够反映实际电路的实际工作状态。

二、电路的基本物理量

1. 电动势和电压及其参考方向

电动势，即单位正电荷由低电位移向高电位时由外电场所作的功，称为电动势。单位为伏特，用字母“V”表示。

电压，即单位正电荷由高电位移向低电位时由电场力所作的功，称为电压。单位为伏特，简称伏，用字母“V”表示。

电动势（或电压）的实际方向只有两个取向。在分析电路时，人为地约定一个方向为参考方向（又称为正方向），这样当实际方向与参考方向一致时，则电动势（或电压）为正值；否则，实际方向与参考方向相反时则电动势（或电压）为负值。因此，可以说离开参考方向电动势（或电压）的正值和负值是毫无意义的。

2. 电流强度及其参考方向

电荷有规则的运动称为电流。而单位时间内穿过导体横截面的电量称为电流强度（习惯上简称电流）。以字母 I 表示，单位为安培，用字母“A”表示。

电流强度是表示电流大小的物理量。电流的实际方向只有两个取向。人为地约定一个方向为参考方向，这样当实际方向与参考方向一致时，则电流为正值；否则当实际方向与参考方向相反时，则电流为负值。当电流的参考方向从电路元件上电压正极流向负极时，则称电压和电流为关联参考方向。

3. 电流密度

电流密度，即通过导线单位横截面的电流，以字母 δ 表示。在工程上单位为 A/mm^2 。

$$\delta = \frac{I}{S} \quad (A/mm^2) \quad (1-1)$$

式中 S ——导线横截面 (mm^2)；

I ——导线中的电流 (A)。



一般情况下，电路变量是指电路中的电压和电流。此处引入电流密度是从工程设计运行等方面的需要考虑的。

三、导体的电阻和电导

1. 导体的电阻

衡量电荷在导体中移动时，导体阻碍电荷移动的能力，称为电阻。以字母 r 表示。电阻的大小与导体的长度成正比与导体截面积成反比，此外还与导体材料种类有关。电阻 r 的表达式为

$$r = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega) \quad (1-2)$$

式中 l ——导体的长度 (m)；

S ——导体的截面积 (m^2)，工程上常用 mm^2 ；

ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)，又称电阻系数。

不同的材料有不同的电阻率，在相同的长度和截面的条件下，导体的电阻率越大，电阻也越大；反之导体的电阻率越小，电阻也越小。

导体的电阻率 ρ 是指温度为 20°C 时，长度为 1m ，截面为 1mm^2 的导体的电阻值。

常用材料的电阻率 ρ 如表 1-1 所示。

表 1-1 常用材料的电阻率

材 料 名 称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)
银	0.0160×10^{-6}
铜	0.01673×10^{-6}
铝	0.0269×10^{-6}
铁	0.0971×10^{-6}
黄铜	0.0800×10^{-6}
钨	0.0550×10^{-6}
电线的铜芯线	0.0184×10^{-6}
铜圆线、扁线、母线，其中：	
硬线	$(0.0179 \sim 0.0184) \times 10^{-6}$
软线	0.01754×10^{-6}



续表

材 料 名 称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)
电线的铝芯线	0.0310×10^{-6}
铝圆线、扁线、母线	0.0295×10^{-6}
聚苯乙烯	$10^{21} \times 10^{-6}$
硬橡胶	$10^{22} \times 10^{-6}$

其他材料的电阻率，可以从有关电工手册上查得。

2. 导体的电阻与导体温度的关系

实验表明：一般金属材料的电阻是随温度的升高而增加的；但是电解液的电阻却随温度的升高而降低。

考虑温度对导体电阻的影响，可以用下式加以表示，即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-3)$$

式中 α ——导体材料的温度系数，即温度每升高 1°C 时，导体电阻的变化值与原电阻值的比值；

R_1 ——温度为 t_1 时电阻值 (Ω)；

R_2 ——温度升为 t_2 时电阻值 (Ω)。

对于所有纯金属的温度系数取 $\alpha \approx 0.004$ 。

3. 导体的电导

衡量导体传导电流能力，称为电导。电导和电阻互为倒数关系。

电导用字用 g 表示，单位为西门子，用字母“S”表示。

根据电导和电阻为互为倒数的关系，则有

$$g = \frac{1}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{S}{l} = r \frac{S}{l} \quad (\text{S}) \quad (1-4)$$

式中 $\gamma = \frac{1}{\rho}$ ——电导率，即电阻率的倒数，($1/\Omega \cdot \text{m}$)。

在讨论电路模型的时候，我们已经提及理想电路元件的问题，理想电路元件反映了实际电路中发生的主要物理过程，并以集中电路参数表示。



四、电路元件

1. 电阻元件

电阻元件是从电流流通呈现阻碍作用的实际电阻器件抽象出来的理想化模型,如图 1-2 所示。

电阻元件对外具有两个端钮,在任何时刻它的端电压与其电流关系服从欧姆定律。在其电压和电流给定的参考方向下,按欧姆定律电阻元件的电压与电流的关系为

$$u= Ri \quad (1-5)$$

式中 R ——电阻 (Ω);

i ——电流 (A);

u ——端电压 (V)。

通常还用电阻元件上电压和电流的关系曲线,即伏安特性曲线来加以表示。

当伏安特性曲线为一通过 $u-i$ 平面坐标原点的直线时,称为线性电阻,如图 1-3 所示。

又当伏安特性曲线为一条通过 $u-i$ 平面坐标原点的曲线时,称为非线性电阻,如图 1-4 所示。



图 1-2 电阻元件

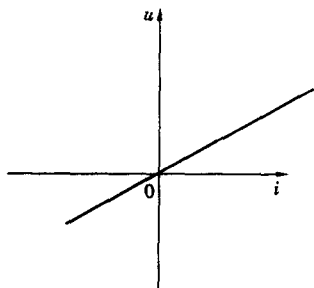


图 1-3 线性电阻

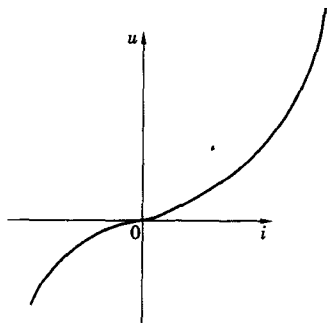


图 1-4 非线性电阻

2. 电容元件

电容元件是实际电容器的理想化模型,如图 1-5 所示。



电容器上电荷 q 与其两端的电压 u 存在以下的关系, 即

$$q = Cu \quad (1-6)$$

式中 q ——电容元件上的电荷 (C);

C ——电容元件的电容 (F);

u ——电容上的端电压 (V)。

电容元件上电荷与电压的关系, 又称库伏特性曲线, 当它是通过 $q-u$ 平面坐标原点的一条直线时, 称为线性电容, 如图 1-6 所示。

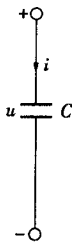


图 1-5 电容元件

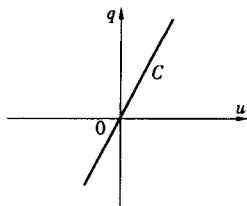


图 1-6 线性电容

同时, 当电容器上的电压变化时, 极板电荷也随着变化, 于是电容元件电路中出现电流。在给定电容器上电压和电流为关联参考方向下, 则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-7)$$

式 (1-7) 表示, 在任何时刻, 电容元件中的电流与该时刻的电压变化率成正比。

电容元件的电压与电流的关系, 在给定电压和电流关联参考方向下, 也可以表示为

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau \quad (1-8)$$

式 (1-8) 表示在任何时刻 t , 电容元件上的电压 $u(t)$ 与电压初始值 $u(0)$ 以及从 $0 \sim t$ 所有电流值有关。所以, 电容元件有时也称为记忆元件。



3. 电感元件

电感元件是实际电感线圈的理想化模型，用导线绕制的空心或具有铁芯的线圈，称为电感线圈，如图 1-7 所示。

当电感线圈通以电流 i 后，便产生磁通 ϕ ，若磁通 ϕ 与线圈的 N 匝全部交链，则磁链 $\psi = N\phi$ 。流过线圈的电流 i 方向与产生的磁链 ψ 的方向符合右手螺旋定则。当同样的电流通过不同线圈，则产生的磁链 ψ 的大小也不同。它与线圈的匝数形状及周围介质的导磁性能有关。

通常定义磁链 ψ 与电流 i 的比值称为电感元件的电感，用 L 表示，即

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1-9)$$

式中 ψ ——磁链 (Wb);

i ——电流 (A);

L ——电感系数 (H)。

电感元件的磁链电流关系曲线，即韦安特性曲线。当它是通过 ψ - i 平面坐标原点的一条直线时，称为线性电感，如图 1-8 所示。

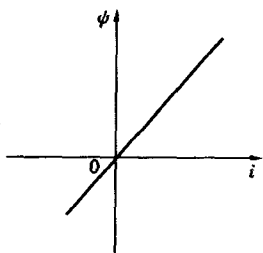


图 1-8 线性电感

当电流 i 变化时，则磁链 ψ 也随之变化，同时电感元件两端将感应出电压 u 。当给定电压和电流为关联参考方向时，则根据楞茨—法拉第定律

$$u = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-10)$$

式 (1-10) 表示在任何时刻，电感元件上电压与该时刻电流的变化率成正比。

电感元件中的电流与电压的关系，在给定的电压和电流为关联参考方向时，也可以表示为

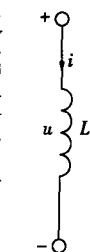


图 1-7 电感元件



$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau = i(0)t + \frac{1}{L} \int_0^t u(\tau) d\tau \quad (1-11)$$

式 (1-11) 表示在任何时刻, 电感元件 $i(t)$ 与电流初始值 $i(0)$ 以及从 $0 \sim t$ 所有电压值有关。所以电感元件有时也称为记忆元件。

4. 电压源与电流源

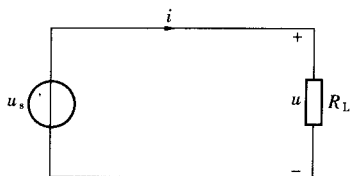


图 1-9 电压源

电源是电路中负载所需能量的提供者。通常将电源分为独立电源和受控电源两种类型, 此处我们着重讨论独立电源。而独立电源又分为电压源和电流源两种形式。

(1) 电压源。电压源是实际电源的一种理想化模型, 如图 1-9 所示。

电压源的端电压与连接负载的大小无关, 始终保持某一个恒定的数值, 如直流电源或者某一个固定的时间函数如交流电压源。而且电路中的电流大小取决于负载的大小。即

$$u = u_s, \quad i = \frac{u}{R_L}$$

但是实际电压源 (如图 1-10 所示), 总是存在一定内阻的, 因此实际电压源的端电压是随负载的大小变化而改变的。即

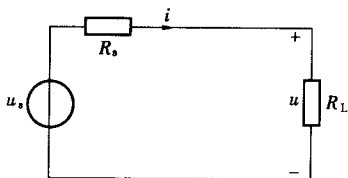


图 1-10 实际电压源

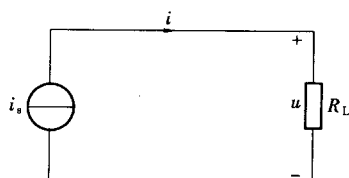


图 1-11 电流源

$$\left. \begin{aligned} u &= u_s - R_s i \\ i &= \frac{u}{R_L} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$



(2) 电流源。电流源也是实际电源的一种理想化模型, 如图 1-11 所示。

电流源的电流与负载的大小无关, 保持恒定的数值 (如直流电流) 或者固定的时间函数 (如交流电流), 而且负载上的端电压取决于负载的大小, 与电流源的电流无关。

$$\text{即} \quad i = i_s, \quad u = R_L i_s$$

但是实际电流源如图 1-12 所示, 总是存在一定的内阻。因此, 实际电流源的电流是随负载大小变化而改变的, 即

$$\left. \begin{aligned} i &= i_s - \frac{u}{R_s} \\ u &= R_L i \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

五、基尔霍夫定律

电路是由各种电路元件连接而成, 对电路元件而言, 有反映电路元件特性的伏安关系。诸如对电阻元件有 $u_R = R \cdot i$; 对电容元件有 $i_C = C \frac{du_C}{dt}$; 对电感元件有 $u_L = L \frac{di}{dt}$ 。我们把这些电路元件的电压和电流的关系称为元件约束。而在电路整体结构电压和电流所应遵循的规律称为网络约束。

1. 基尔霍夫电流定律

在任何时刻任一节点上, 流入的电流总和等于流出电流总和。或者说在任何时刻任一节点上流入的电流代数和恒等于零。

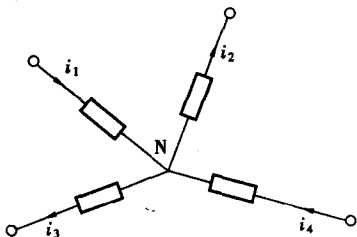


图 1-13 节点 N 及所连支路

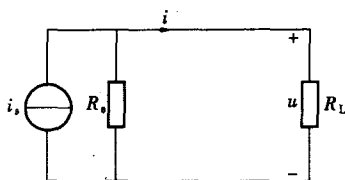


图 1-12 实际电流源

如图 1-13 所示, 给出电路上的任一节点, 各支路电流参考方向, 如图 1-13 所示。根据基尔霍夫电流定律可以



写出该节点各支路的电流关系为

$$i_1 + i_4 = i_2 + i_3$$

或

$$i_1 + i_4 - i_2 - i_3 = 0 \quad (1-14)$$

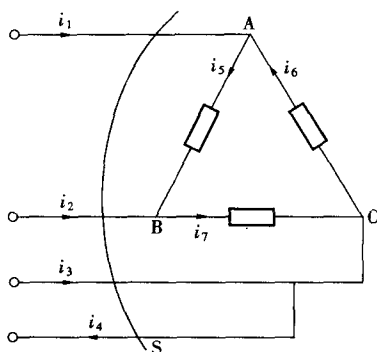


图 1-14 闭合面及其有关支路

通常我们约定流入节点的电流为正，流出节点电流为负。

基尔霍夫电流定律的一般表达式为

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad (1-15)$$

基尔霍夫电流定律在通常情况下应用于电路中的节点。但是理论证明，也可以应用于电路中任意假定的闭

合面 S，如图 1-14 所示。

根据基尔霍夫电流定律：

对节点 A $i_1 = i_5 - i_6$

对节点 B $i_2 = i_7 - i_5$

对节点 C $i_3 = i_6 - i_7 + i_4$

将以上三式相加，可得

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_4 \quad (1-16)$$

式 (1-16) 表明：对于电路中，任一闭合面流入的电流的代数和等于零。这就说明，对于基尔霍夫电流定律，不仅适用于节点，而且还适用于闭合面。

2. 基尔霍夫电压定律

在任何时刻，在电路中沿任一闭合回路电压降的代数和恒等于零。

基尔霍夫电压定律的表达式为

$$\sum_{k=1}^n u_k = 0 \quad (1-17)$$

例如如图 1-15 所示的任一闭合回路，沿顺时针方向从节点 1、



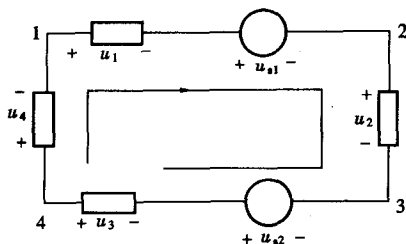


图 1-15 任一闭合回路

2、3、4 按顺序再回到 1 的循行方向，根据基尔霍夫电压定律，有

$$u_1 + u_{s1} + u_2 - u_{s2} - u_3 + u_4 = 0$$

或者

$$u_1 + u_2 - u_3 + u_4 = -u_{s1} + u_{s2}$$

即在任何时刻，在电路中沿任一闭合回路电压降的代数和等于电源电压升的代数和。

基尔霍夫电压定律的另一表达式为

$$\sum_{k=1}^n u_k = \sum_{l=1}^m u_{sl} \quad (1-18)$$

六、电路的三种工作状态

如图 1-16~图 1-18 所示的简单电路，其工作状态有三种，即负载状态，开路状态和短路状态，下面分别加以介绍。

1. 负载状态

负载状态又称有载状态，如图 1-16 所示，它是电路的正常工作状态，其电路有以下一些特点：

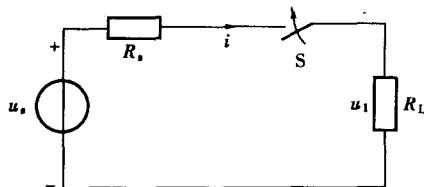


图 1-16 负载状态