



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

矿山电气设备使用技术

(第 2 版)

主 编 魏 良



煤炭工业出版社

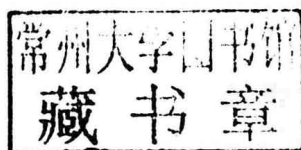
中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

矿山电气设备使用技术

(第 2 版)

主 编 魏 良

副主编 王瑞捧 孟建兴



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山电气设备使用技术/魏良主编. -- 2 版. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2014

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4436 - 7

I. ①矿… II. ①魏… III. ①矿用电气设备—使用方法—
中等专业学校—教材 IV. ①TD605

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 026683 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京玥实印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 11³/₄ 插页 2
字数 268 千字 印数 1—3 000
2014 年 6 月第 2 版 2014 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 7268 定价 24.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

内 容 提 要

本书共分五章，主要介绍电路的基本概念、矿山供电系统及设备、启动设备、电动机的选择及使用、用电安全技术等内容。另外，本书增加了实验课内容，以加强学生动手能力的培养。本书可作为采矿技术专业的教学用书，也可供从事有关工作的工程技术人员参考。

井 矿 工 业 工 业 出 版 社

北 京

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，以满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

修 订 说 明

为贯彻教育部办公厅、国家安全生产监督管理总局办公厅、中国煤炭工业协会《关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》、教育部《关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》《关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》精神，加快煤炭行业专业技能型人才培养培训工程建设，培养煤矿生产一线需要、具有与本专业岗位群相适应的文化水平和良好职业道德、了解矿山企业生产全过程、掌握本专业基本专业知识和技术的技能型人才，我们对2005年出版的采矿技术专业中等职业教育国家规划教材《矿山电气设备使用技术》进行了修订完善。

教材修订过程中严格按照《煤矿安全规程》等最新颁布的法律法规、规章制度进行，增加了电气设备的额定值、数字万用表、钳形电流表、DQZBH-300/1140型真空磁力起动器等内容，调整了三相异步电动机的工作原理、电动机的选择、漏电保护及检漏继电器、矿用隔爆型照明信号综合保护装置、矿用隔爆型低压馈电开关等内容，删除了矿用隔爆干式变压器等内容。从而使学生在牢固掌握采矿技术专业所必需的文化基础知识和专业知识基础上，具有综合技能和全面素质，具有继续学习的能力和创新创业能力。

本次教材修订由魏良组织，其编写了第一章和第五章，王瑞捧编写了第二章和第三章，孟建兴编写了第四章，附录部分由魏良、王瑞捧、孟建兴共同编写。

由于作者水平有限，书中可能有错误之处，敬请批评指正。

作 者

2014年4月

前 言

本套教材是中国煤炭教育协会和煤炭工业出版社受教育部职业与成人教育司委托,根据2000年教育部《面向21世纪职业教育课程改革和教材建设规划》采矿技术专业教学指导方案,组织部分职业院校的教师编写的。教材编审委员会于2004年11月在北京召开了教材编写大纲审定会议,于2005年3月在无锡召开了审稿会,会后各书主编根据提出的意见进行修改与完善。各书主审人员对书稿进行了认真的审阅。

采矿技术专业中等职业教育国家规划教材全套书共12本,可作为中等专业学校、技工学校和职业中学采矿技术专业及相关专业的通用教材,可作为企业在职人员的培训教材,也可作为从事矿井开拓、采煤(矿)、掘进、运输、通风与安全、矿井地质勘探与测量的技术人员以及生产组织管理者的参考用书。

本教材力求内容先进性、实用性和系统性的统一,同时考虑中等职业教育的特点、人才培养的基本规格和知识、能力、素质结构的要求,着重学生生产实践能力培养。使学生在牢固掌握采矿技术专业必需的文化基础知识和专业知识的基础上,具有综合职业技能和全面素质,具有继续学习的能力、创业创新能力。

《矿山电气设备使用技术》一书是采矿技术专业中等职业教育国家规划教材中的一本,石家庄工程技术学校魏良编写了绪论、第一章、第五章,石家庄工程技术学校王瑞捧编写了第二章、第三章,河南理工大学高职学院孟建兴编写了第四章,实验实训由魏良、王瑞捧、孟建兴共同编写;山西雁北煤炭工业学校郭雨担任本书主审。在此,对本教材成书过程中提供帮助的人士表示感谢。

中等职业学校“采矿技术专业”

教材编审委员会

2005年6月

目次

第一章 电路的基本概念	1
第一节 电路的基本概念与物理量	1
第二节 电磁	8
第三节 正弦交流电路	13
第四节 常用电工仪表的使用	18
第二章 矿山供电系统及设备	26
第一节 矿山供电系统简介	26
第二节 矿山井下常用电气设备	39
第三节 变压器	50
第四节 矿用电缆	58
第五节 综采工作面供电系统及设备布置	72
第三章 启动设备	81
第一节 直接启动设备	81
第二节 降压启动设备	94
第三节 变频启动	104
第四章 电动机的选择及使用	109
第一节 三相异步电动机的类型	109
第二节 电动机的结构	110
第三节 三相异步电动机的工作原理	116
第四节 电动机的选择	121
第五章 用电安全技术	125
第一节 触电的危险及预防措施	125
第二节 井下漏电保护装置	128
第三节 保护接地系统	130
第四节 过电流及其保护	134
第五节 照明信号、煤电钻综合保护装置	138
第六节 插销、接线盒、煤电钻	149

附录 实验..... 159

 实验一 供电系统参观..... 160

 实验二 拆装矿用高、低压隔爆馈电开关..... 161

 实验三 电缆的连接与敷设..... 164

 实验四 QJZ-300/1140 型真空磁力起动器控制电路安装、维修技能训练 166

 实验五 电动机的拆装..... 169

 实验六 接地装置的制作、安装和检修..... 170

 实验七 煤电钻变压器综合保护装置的性能试验..... 173

参考文献..... 176

1 煤矿安全规程..... 176

2 煤矿安全培训教材..... 176

3 煤矿安全规程..... 176

4 煤矿安全规程..... 176

5 煤矿安全规程..... 176

6 煤矿安全规程..... 176

7 煤矿安全规程..... 176

8 煤矿安全规程..... 176

9 煤矿安全规程..... 176

10 煤矿安全规程..... 176

11 煤矿安全规程..... 176

12 煤矿安全规程..... 176

13 煤矿安全规程..... 176

14 煤矿安全规程..... 176

15 煤矿安全规程..... 176

16 煤矿安全规程..... 176

17 煤矿安全规程..... 176

18 煤矿安全规程..... 176

19 煤矿安全规程..... 176

20 煤矿安全规程..... 176

21 煤矿安全规程..... 176

22 煤矿安全规程..... 176

23 煤矿安全规程..... 176

24 煤矿安全规程..... 176

25 煤矿安全规程..... 176

26 煤矿安全规程..... 176

27 煤矿安全规程..... 176

28 煤矿安全规程..... 176

29 煤矿安全规程..... 176

30 煤矿安全规程..... 176

31 煤矿安全规程..... 176

32 煤矿安全规程..... 176

33 煤矿安全规程..... 176

34 煤矿安全规程..... 176

35 煤矿安全规程..... 176

36 煤矿安全规程..... 176

37 煤矿安全规程..... 176

38 煤矿安全规程..... 176

39 煤矿安全规程..... 176

40 煤矿安全规程..... 176

41 煤矿安全规程..... 176

42 煤矿安全规程..... 176

43 煤矿安全规程..... 176

44 煤矿安全规程..... 176

45 煤矿安全规程..... 176

46 煤矿安全规程..... 176

47 煤矿安全规程..... 176

48 煤矿安全规程..... 176

49 煤矿安全规程..... 176

50 煤矿安全规程..... 176

51 煤矿安全规程..... 176

52 煤矿安全规程..... 176

53 煤矿安全规程..... 176

54 煤矿安全规程..... 176

55 煤矿安全规程..... 176

56 煤矿安全规程..... 176

57 煤矿安全规程..... 176

58 煤矿安全规程..... 176

59 煤矿安全规程..... 176

60 煤矿安全规程..... 176

61 煤矿安全规程..... 176

62 煤矿安全规程..... 176

63 煤矿安全规程..... 176

64 煤矿安全规程..... 176

65 煤矿安全规程..... 176

66 煤矿安全规程..... 176

67 煤矿安全规程..... 176

68 煤矿安全规程..... 176

69 煤矿安全规程..... 176

70 煤矿安全规程..... 176

71 煤矿安全规程..... 176

72 煤矿安全规程..... 176

73 煤矿安全规程..... 176

74 煤矿安全规程..... 176

75 煤矿安全规程..... 176

76 煤矿安全规程..... 176

77 煤矿安全规程..... 176

78 煤矿安全规程..... 176

79 煤矿安全规程..... 176

80 煤矿安全规程..... 176

81 煤矿安全规程..... 176

82 煤矿安全规程..... 176

83 煤矿安全规程..... 176

84 煤矿安全规程..... 176

85 煤矿安全规程..... 176

86 煤矿安全规程..... 176

87 煤矿安全规程..... 176

88 煤矿安全规程..... 176

89 煤矿安全规程..... 176

90 煤矿安全规程..... 176

91 煤矿安全规程..... 176

92 煤矿安全规程..... 176

93 煤矿安全规程..... 176

94 煤矿安全规程..... 176

95 煤矿安全规程..... 176

96 煤矿安全规程..... 176

97 煤矿安全规程..... 176

98 煤矿安全规程..... 176

99 煤矿安全规程..... 176

100 煤矿安全规程..... 176

第一章 电路的基本概念

第一节 电路的基本概念与物理量

一、电路的基本概念

1. 电路的基本组成

由电源、负载、开关和导线等组成的闭合回路，叫做电路。

电路用于实现电能的传输、分配和转换，电路的基本组成包括电源、负载、开关、导线 4 个部分。

(1) 电源是为电路提供电能的设备和器件（如电池、发电机等）。

(2) 负载是使用电能的设备和器件（如灯泡、电动机等）。

(3) 开关是控制电路的工作状态的设备和器件（如开关、熔断丝等）。

(4) 导线是连接电源与负载的金属线（如各种铜铝电缆线等）。

2. 电路的状态

电路的状态有通路、开路、短路 3 种。

(1) 通路（闭路）是指电路各部分连接成闭合回路，有电流通过。

(2) 开路（断路）是指电路断开，电路中没有电流通过。

(3) 短路是指电源两端的导线直接相连，这时电源输出的电流不经过负载，只经过连接导线直接流回电源。

一般情况下，短路时的大电流会损坏电源和导线，应该尽量避免。有时，为了使与调试过程无关的部分没有电流通过，在调试电子设备的过程中，将电路某一部分短路。

3. 电路图

在设计、安装或修理各种设备和用电器等的实际电路时，常要使用以规定的图形符号表示电路连接情况的图，这种图称为电路图，其图形符号要遵守国家标准。几种常用的标准图形符号，如图 1-1 所示。

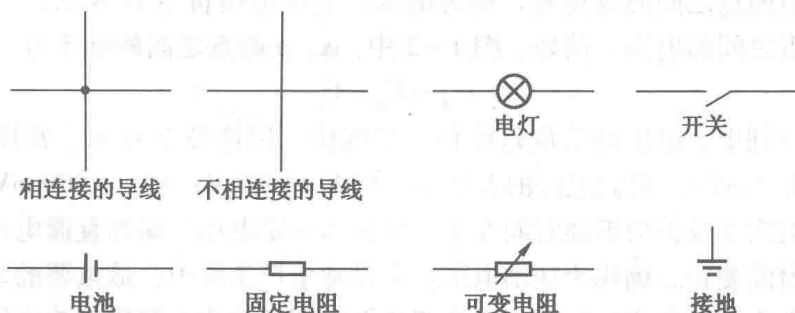


图 1-1 简单电路图及常用的几种图形符号

二、电路的基本物理量与欧姆定律

(一) 电流

电荷有规则的定向运动称为电流。

电流强度是计量电流的物理量，用符号 I 表示。其定义是 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电荷量。若时间为 t 秒 (s)，通过导体横截面的电量为 Q 库仑 (C)，则

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

在国际单位制中，电流强度的单位为安培，简称安，用符号 A 表示。1 A 等于 1 秒钟内通过导体横截面 1 库仑的电荷量。常用的电流单位还有 kA (千安)、mA (毫安) 和 μA (微安)，它们之间的关系是：1 kA = 1000 A；1 A = 1000 mA；1 mA = 1000 μA 。

如果电流的大小和方向不随时间变化，则称为直流电流，简称直流；而电流的大小和方向随时间变化，则称为变动电流。在日常生产生活中，重要的变动电流是正弦交流电流，其大小及方向均随时间按正弦规律做周期性变化，简称为交流。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的正方向，这与金属导体中自由电子定向移动的方向恰好相反。

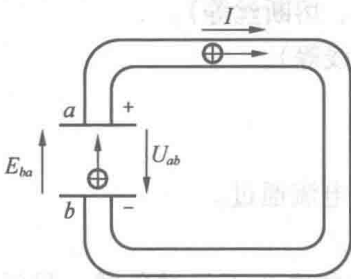


图 1-2 电荷的回路

(二) 电位与电压

在图 1-2 中， a 和 b 是两个电极， a 带正电， b 带负电，因此在两极之间产生电场 E_{ba} ，其方向由 b 指向 a 。如果用导体将两极连接起来，则在电场力作用下，正电荷从电极 a 经导线流向电极 b ，这是电场力做功使电荷移动。正电荷在电场力的作用下，从高电位移向低电位，如此进行，电极 a 的电位会逐渐降低，电极 b 的电位会逐渐升高，最终连接导体中的电流减小为零。

为了使电流在导体中的流动保持恒定值，就必须使电场力维持一个定值。若正电荷由电极 b 通过另一路径流向电极 a ，则需要克服电场力而做功，所做的功就变成了正电荷在 a 点所具有的电位能。 b 点的正电荷较 a 点的正电荷所具有的电位能低。因此，电场中某点的电位就是单位正电荷在该点所具有的电位能，即将单位正电荷从电场内某点移到该点时，克服电场力而做的功。电位的符号用 U 表示，并在符号的右下角注明是哪一点的电位，如 U_a 、 U_b 。

电场中任意两点之间的电位差，称为电压。电压也用符号 U 表示，并在符号的右下角注明是哪两点之间的电压。例如，图 1-2 中， a 、 b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-2)$$

在国际单位制中，电压的单位是伏特，简称伏，用符号 V 表示。常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)。它们之间的关系是：1 kV = 1000 V；1 V = 1000 mV。

如果电压的大小及方向不随时间变化，则称为恒定电压，简称直流电压；如果电压的大小及方向随时间变化，则称为变动电压。在日常生产生活中，最重要的变动电压是正弦交流电压，其大小及方向均随时间按正弦规律做周期性变化，简称交流电压。

电压的正方向规定为从高电位指向低电位。

(三) 导体、绝缘体和半导体

根据物质导电能力的不同,可将物质分为导体、绝缘体和半导体。

1. 导体

电荷容易流过的物体称为导体,例如金属、大地和各种水溶液。这是因为其内部有大量可以自由移动的电子或离子,表现出良好的导电性能。

虽然导体具有良好的导电性,但是导体对导体中的电流也表现出一定的阻力。这是因为导体中的自由电子或离子在导体内运动时,会与其他电子、离子、原子和分子发生碰撞。导体对电流的阻力称为导体的电阻,用符号 R 表示。电阻的单位为欧姆,用符号 Ω 表示,在实际应用中常用到的单位有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$),它们之间的关系为:
 $1\text{ k}\Omega = 10^3\Omega$; $1\text{ M}\Omega = 10^6\Omega$ 。

导体的电阻是由它本身的物理条件决定的。金属导体的电阻是由它的长短、粗细、材料的性质和温度决定的。

实验证明,在保持温度(如 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)不变的条件下,导体的电阻取决于导体材料的物理性质、几何尺寸和导体的温度等因素。对于一根材料均匀、截面为 S 、长度为 L 的导线,其电阻可用下式表示:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-3)$$

式中 R ——导体电阻, Ω ;

L ——导体长度, m ;

S ——导体截面积, m^2 ;

ρ ——导体电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

导体的电阻率越小,导电性能越好。常用的金属导体材料的电阻率见表 1-1。

表 1-1 常用金属导体材料的电阻率 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

材料名称	电阻率 $\rho / (10^{-6}\Omega \cdot \text{m})$	材料名称	电阻率 $\rho / (10^{-6}\Omega \cdot \text{m})$
银	0.0162	钨	0.049
铜	0.0175	铂	0.105
铝	0.026	钢	0.13 ~ 0.25

【例 1-1】煤矿井下用的铜芯电缆,长 1000 m ,铜芯的截面积为 35 mm^2 ,求这根电缆的电阻值。

解:由表 1-1 查得铜的电阻率 $\rho = 0.0175 \times 10^{-6}\Omega \cdot \text{m}$ 。所以

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times 10^{-6} \times \frac{1000}{35 \times 10^{-6}} = 0.5\Omega$$

2. 绝缘体

电荷难以流过的物体称为绝缘体,例如橡胶、塑料、云母、陶瓷、干木材等。完全不导电的物体是没有的,只是在正常情况下有相当大的电阻,只能形成极小的电流。但当施加电压很高时,就会造成绝缘击穿,通过很大电流,以致烧坏绝缘。所施电压称为击穿电压,正常的绝缘一旦受到损伤、过热、受潮或加压超过规定,都能使绝缘性能急剧下降。

因此，对电气设备的绝缘材料必须按要求进行选择、运行和维护。

3. 半导体

导电性能介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体。常见的半导体有锗、硅、硒和半导体橡胶等。

(四) 部分电路欧姆定律

在部分电路的电阻段，通过实验可以得到下述结论：流过电阻的电流和电阻两端的电压值成正比，与电阻值成反比。这种电压、电流和电阻的关系称为欧姆定律，用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \tag{1-4}$$

式中 I ——电流，A；

U ——电压，V；

R ——电阻， Ω 。

欧姆定律是分析和计算部分电路的最基本定律，已知上式中的两个物理量，便可求出第三个量，如 $U = IR$ 或 $R = U/I$ 。

【例 1-2】一根电线，已知其两端的电压为 5 V，流过 20 A 电流，求电线的电阻值。

解：根据部分电路欧姆定律，有

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{20} = 0.25 \Omega$$

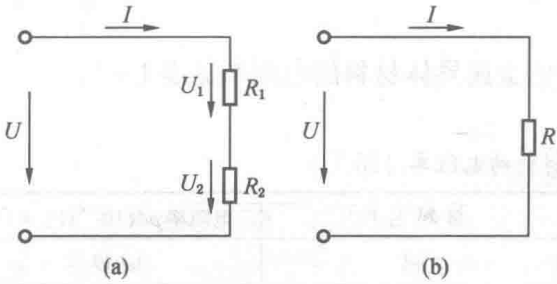


图 1-3 电阻的串联

三、电阻的串、并联电路

在电路中，电阻的连接形式有串联、并联和混联 3 种，其中最简单和最常用的是串联与并联。

(一) 串联

在电路中有两个或多个电阻依次连接起来，并且在这些电阻中通过同一电流，这样的

连接法称为电阻的串联。图 1-3 所示为两个电阻串联的电路。

串联电路的基本特点如下：①流过各电阻中的电流相等，即为同一个电流；②电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和。

1. 串联电路的总电阻

电路中的串联电阻可用一个总电阻 R 来代替，根据欧姆定律和串联电路的特点，在图 1-3 中有

$$U = RI \quad U_1 = R_1 I \quad U_2 = R_2 I$$

因为

$$U = U_1 + U_2$$

所以

$$R = R_1 + R_2$$

也就是说，串联电路中的总电阻等于各个电阻之和。

2. 串联电路的电压分配

串联电路中的电阻具有分压作用，由于

$$I = \frac{U_1}{R_1} \quad I = \frac{U_2}{R_2}$$

所以

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = I$$

也就是说，在串联电路中每个电阻所分的电压与该电阻的阻值大小成正比。

当只有两个电阻串联时，可得

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

所以

$$U_1 = R_1 I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1-5)$$

$$U_2 = R_2 I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-6)$$

这就是两个电阻串联时的分压公式。

【例 1-3】有一盏白炽灯，额定电压 $U_1 = 36 \text{ V}$ ，正常工作时通过的电流 $I = 4 \text{ A}$ ，应该如何将其连入 $U = 110 \text{ V}$ 的照明电路中？

解：因照明电路的电压高于白炽灯的额定电压，因此可利用一个电阻 R_2 串联到电路中，分掉多余的电压，如图 1-4 所示。

则

$$U_2 = U - U_1 = 110 - 36 = 74 \text{ V}$$

因 R_2 与白炽灯串联，故 R_2 上通过的电流也为 4 A 。

所以

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{74}{4} = 18.5 \Omega$$

(二) 并联

在电路中有两个或多个电阻并列连接起来，这样的连接方法称为电阻的并联。图 1-5 所示为两个电阻并联的电路。

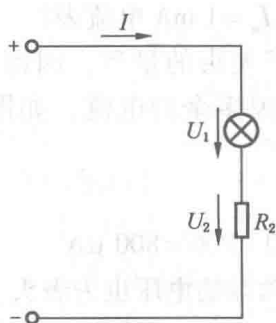


图 1-4 例 1-3 用图

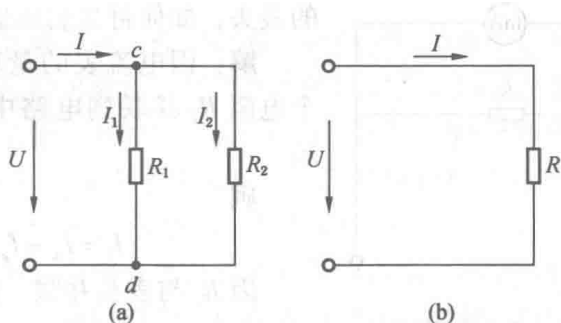


图 1-5 电阻的并联

在日常生产生活中，用电设备很多，而电源往往只有一个，多数情况下把电压相同的用电设备并联使用。

并联电路的基本特点如下：①电路中各电阻两端的电压相同；②电路中总电流等于通过各电阻的电流之和。

1. 并联电路的总电阻

电路中的并联电阻可用一个总电阻 R 来代替。根据欧姆定律和并联电路的特点，在图 1-5 中有

$$I = \frac{U}{R} \quad I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

因为

$$I = I_1 + I_2$$

所以

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

也就是说，并联电路总电阻的倒数，等于各个电阻的倒数之和。

2. 并联电路的电流分配

并联电路中的电阻具有分流作用，由于

$$U = R_1 I_1 \quad U = R_2 I_2$$

所以

$$R_1 I_1 = R_2 I_2$$

也就是说，在并联电路中每个电阻所通过的电流与该电阻的阻值大小成反比。

当只有两个电阻并联时，可得

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

所以

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R}{R_1} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1-7)$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R}{R_2} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-8)$$

以上两式就是两个电阻并联时的分流公式。

【例 1-4】现有一量程为 $I_g = 200 \mu A$ 、内阻 $R_g = 800 \Omega$ 的表头，如何将其制成量程为 $I_n = 1 \text{ mA}$ 电流表？

解：因电流表的量程高于表头的量程，因此可利用一个电阻 R_f 并联到电路中，分掉多余的电流，如图 1-6 所示。

则

$$I_f = I_n - I_g = 1000 - 200 = 800 \mu A$$

因 R_f 与表头并联，故 R_f 两端的电压也为表头上的电压。

所以

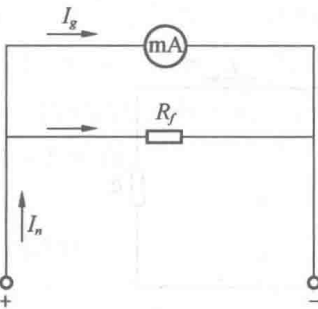


图 1-6 例 1-4 用图

$$R_f = \frac{U}{I_f} = \frac{I_g R_g}{I_f} = \frac{200 \times 800}{800} = 200 \Omega$$

四、电功和电功率

1. 电功

电流流过负载时，负载将电能转换成其他形式的能量（如热能、机械能等），这一过程称为电流做功，这种功简称电功，用字母 W 表示。电流所做的功与电压、电流和通电时间成正比。在直流电路中，如果电压 U 的单位为 V（伏特），电流 I 的单位为 A（安培），时间 t 的单位为 s（秒），电功 W 的单位为 J（焦耳），则计算电功的公式为

$$W = UIt = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R}$$

焦耳这个单位很小，用起来不方便，生活中常用“度”作电功的单位。“度”在工程技术中叫做千瓦时，符号为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ($1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$)。

2. 电功率

在相同的时间内，电流通过不同用电器所做的功，一般并不相同。我们用电功率描述电流做功的快慢，定义为电流在单位时间内所做的功叫做电功率，用 P 表示。在直流电路中， $P = W/t$ ，而 $W = UIt$ ，则

$$P = UI$$

在上式中，如果电压 U 的单位为 V（伏特），电流 I 的单位为 A（安培），电功率的单位则为 W（瓦特）。

【例 1-5】一盏电灯连在电压是 220 V 的电路中，灯泡中通过的电流是 68 mA，这个灯泡的电功率是多少瓦？一个月总共通电 100 h，电流所做的功是多少焦耳和多少千瓦时？

解：灯泡的电功率为

$$P = UI = 220 \times 0.068 = 15 \text{ W}$$

电流所做的功为

$$\begin{aligned} W &= Pt = 15 \times 3.6 \times 10^5 = 5.4 \times 10^6 \text{ J} \\ &= \frac{5.4 \times 10^6}{3.6 \times 10^6} \text{ kW} \cdot \text{h} = 1.5 \text{ kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

或者

$$W = Pt = 0.015 \times 100 = 1.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

五、电气设备的额定值

在实际电路中，所有电气设备和元器件在工作时都有一定的使用限额，这种限定称为额定值。额定值是制造厂综合考虑产品的可靠性、经济性和使用寿命等因素而制定的，它是使用者使用该电气设备和元器件的依据。例如，灯泡的电压 220 V、功率 100 W 都是它的额定值。它告诉使用者，该灯泡在 220 V 电压下才能正常工作，这时消耗的功率为 100 W。通过计算还可求得该灯泡在 220 V 电压下流过的电流 $I = P/U = 100/220 = 0.455 \text{ A}$ ，这便是额定电流。如果使用值超过额定值较多，会使电气设备和元器件损伤，甚至烧毁；如果使用值低于额定值较多，则不能正常工作，有时也会造成设备的损坏。因此，电气设备和元器件在使用值等于额定值时工作最合理，既保证能可靠工作，又保证有足够的使用寿命。

额定值用带有下角标“N”的字母来表示，如额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

通常，当实际使用值等于额定值时，电气设备的工作状态称为额定状态（或满载）；当电压值等于额定值、实际功率或实际电流大于额定值时，我们就说电气设备工作在过载（或超载）状态；当电压值等于额定值、实际功率和电流比额定值小很多时，我们就说电气设备工作在轻载（或欠载）状态。

【例 1-6】某灯泡标有“220 V 60 W”字样，问：

(1) 该字样表示什么？

(2) 这个灯泡工作的功率一定是 60 W 吗？

(3) 设灯丝电阻不变，如果加在灯泡上的电压是 110 V，灯泡能正常发光吗？此时灯泡的实际功率多大？

解：(1) 它所表示的意思是：灯泡在 220 V 的电压下能正常工作（即灯泡的额定电压 $U_N = 220\text{ V}$ ），正常工作时的电功率为额定功率，即 $P_N = 60\text{ W}$ 。

(2) 这盏灯在额定电压 220 V 工作时，电功率是 60 W，当灯泡两端的实际电压高于或低于额定电压（220 V）时，其电功率均不等于 60 W。

(3) 当加在灯泡两端的电压为 110 V 时，由于灯泡的实际电压 U 小于其额定电压 U_N ，所以实际功率 P 小于额定功率 P_N ，此时灯泡不能正常发光，发光强度较暗。

由“220 V 60 W”可知，灯泡正常发光时灯丝电阻 R 为

$$R = \frac{U_N^2}{P_N} = \frac{220^2}{60} = \frac{2420}{3} \Omega$$

所以

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{110^2}{\frac{2420}{3}} = 15\text{ W}$$

【例 1-7】当用户需增加大功率用电器时，电路中只要换用较粗的熔断丝就行了，这种说法对吗？

解：每个家庭里使用的电器均有规格，在电压为额定值时，家庭电路里的导线，包括开关、电度表都有一定允许通过的最大电流，尤其是通电导线。若通过的电流过大，电线发热会烧坏绝缘皮，引起漏电或短路，甚至会发生火灾；对于开关，若电流过大也会烧毁绝缘材料、毁坏开关。熔断丝与其说是对用电器的保险，不如说是对整个电路的保险，所以不能只是更换熔断丝。因此家庭里的电器增加功率不能过大，除非更换整个导线，还有电能表等都要匹配，因此，题中的说法是错误的。

第二节 电 磁

一、磁路的基本知识

磁铁分天然磁铁和人造磁铁两类。天然磁铁在现代工业中已很少采用，常用的是用人工方法制成的各式各样的磁铁，如舌簧喇叭上的磁钢、条形磁铁、马蹄形磁铁以及磁针等。人造磁铁，如图 1-7 所示。磁铁有吸引铁、钴、镍等物质的性质称为磁铁的磁性。凡具