

7143

劳动保护丛书

用电安全技术



化学工业出版社

278
24A-43

71.298
(-1)

劳动保护丛书

用电安全技术

杨有启 编

化学工业出版社

本书着重从保障人身安全的角度出发，叙述各种防止触电事故的安全措施；同时，还介绍了防止雷电危害的基本要求；分析和介绍了配电线路、变配电设备和用电设备运行中的不安全因素和安全要求。

本书可作为电工及安技人员的安全学习材料，并可供有关技术人员及其他人员参考。

本书为《劳动保护丛书》。

劳动保护丛书
用电安全技术
杨有启 编

化学工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)

顺义县燕华营印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本 787×1092^{1/32} 印张 6 字数 181 千字 印数 33,521-55,040

1980 年 6 月北京第 1 版 1985 年 11 月北京第 2 次印刷

书号 15063·3203 定价 0.72 元

(根据石油化学工业出版社纸型重印)

出版说明

建国三十年来，我国的劳动保护工作取得了很大成绩。企业里劳动条件有了很大的改善，职工伤亡事故、职业病和职业中毒显著下降，从而保障了广大职工在生产中的安全与健康，促进了我国社会主义建设的发展。这充分显示了我国社会主义制度的无比优越性。

1975年全国安全生产会议纪要中指出：为了搞好安全生产，作好劳动保护工作，对职工群众要加强安全教育，“对特殊工种工人，要进行专业安全技术训练”。为了适应这一需要，我们着手出版一套《劳动保护丛书》，这套丛书包括《用电安全技术》、《起重机及其安全技术》、《工业锅炉安全技术》、《焊接安全防护技术》、《工业噪声控制》、《通风除尘》、《工业防毒技术》、《压力容器安全技术》、《静电安全技术》。

《丛书》可作为生产工人和技安人员的安全培训教材。也可供其他工作人员参考。

化学工业出版社

一九八〇年六月

再 版 前 言

本书是《劳动保护丛书》之一。主要介绍用电工作中的安全技术知识。

本书再版时,吸取了各方面的意见,根据我国现行规程,参考国外资料,对第二章第四节等几处作了较大修改,对静电安全和漏电保护装置作了少许补充。

用电安全技术是随着科学和生产的发展而发展的。接地、绝缘、间隔等都是传统的有效的用电安全措施。同时,随着现代技术的发展,又出现了新的安全技术措施。例如:由于自动化元件和电子元件的广泛应用而出现的漏电保护装置,为防止触电及其他电气事故提供了新的途径,现代化仪器的应用为电气安全的自动检测和自动报警技术提供了很大的方便等,这些内容有待今后进行补充。

本书编写过程中,承北京内燃机总厂安技科大力支持,并蒙该厂电工和技术人员提供第七章和第八章部分素材;本书原稿承已故贾铭金总工程师审阅和批改,对保证本书质量起了重要作用,这里一并致谢。

编 者

1980年3月

目 录

第一章 电和用电安全的几个基本概念	1
第一节 电流、电压、电阻、功率	1
第二节 直流电和交流电、频率	3
第三节 单相电和三相电	5
第四节 火线和零线	8
第五节 接地电阻、对地电压、接触电压和跨步电压	9
第二章 触电、防止触电的基本方法和触电急救	13
第一节 触电事故的规律	13
第二节 电流对人体的伤害	15
第三节 触电急救	18
第四节 防止触电的技术措施	26
第三章 保护接零	28
第一节 保护接零的原理和实施范围	28
第二节 接零系统的保护接地——重复接地	32
第三节 保护接零同线路和保护装置之间的关系	39
第四节 采用保护接零应当注意的几个问题	46
第五节 接地装置简介	52
第六节 保护接零的检查	60
第四章 保护接地	68
第一节 保护接地的原理和应用范围	68
第二节 接地电阻的确定和应注意的问题	70
第三节 保护接地系统的特殊安全措施	72
第四节 漏电切断器	77
第五章 防雷保护	81

第一节	雷电及雷电的危害	81
第二节	防雷措施	83
第三节	防雷装置的安全要求	92
第四节	防雷装置的检查	95
第六章	电器装置的安全要求	97
第一节	配电线路的安全要求	97
第二节	变配电设备的安全要求	110
第三节	车间电器设备的安全要求	123
第四节	特殊电器设备的安全要求	147
第七章	电工安全用具	160
第一节	安全用具的种类和一般问题	160
第二节	几种主要的安全用具	161
第三节	安全用具的试验	165
第八章	用电安全组织措施	168
第一节	组织措施的主要内容	168
第二节	安全系统管理	171
第三节	检修工作中的安全措施	173
附 录		
附录一	电流对人体的作用	177
附录二	土壤电阻系数	178
附录三	接地电阻的计算	180
附录四	接地体利用系数	183
附录五	接地电阻允许值	185
附录六	主要参考资料	187

第一章 电和用电安全的 几个基本概念

本章简略地介绍几个必须的基本概念。

第一节 电流、电压、电阻、功率

电子在导线中移动就形成电流。电流以安培作单位，简称安。

为了方便起见，我们把电路和水路作比较来说明问题。图1左边是一简单的水路。水路由水泵1、阀门2、管道3和蛇形管4组成。图1右边是一简单电路。电路由电池组1、开关2、线路3和灯泡4组成。在水路中，水泵转动时，如果打开阀门，管道里将有水流动。同样，在电路中，接上电池后，如果接通开关，线路里将有电流通过。水流过管道会

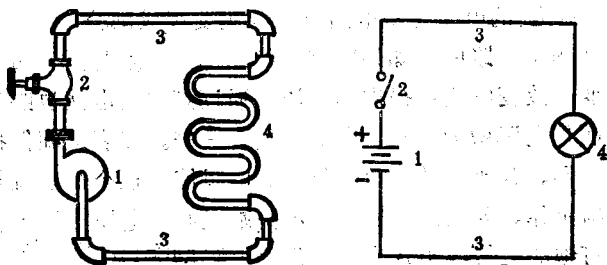


图1 水路和电路的比较

遇到阻力，电通过线路也会遇到阻力，这就是线路的电阻。电阻用欧姆作单位，简称欧。

可以认为，单位时间内流过管道水的多少，也就是通常所指的流量取决于水泵进、出口之间的水压差。水压差愈大，流量愈大。在电路中也有类似的情况：即通过线路电流的大小取决于电池组正、负两端之间的电压差。电压差愈大，电流也愈大。这个电压差就是电池组正、负两端之间的电压。电压用伏特作单位，简称伏。

线路的电阻除了取决于导线的长度和截面积之外，还取决于所采用的材料。材料的导电性能用电阻系数来衡量。所谓电阻系数就是长度为1米、截面积为1平方毫米的导线的电阻值。如果用 ρ 表示导线材料的电阻系数，则长度为1米、截面积为 S 平方毫米的导线的电阻 R 可由下式求出：

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

显然，电阻系数愈小，材料导电性能愈好。温度 20°C 时，常用导电材料铜的电阻系数为 0.0172 欧·毫米²/米，铝为 0.0283 欧·毫米²/米，铁为 0.15 欧·毫米²/米左右。一般情况下，线路本身的电阻总是比较小的。而负载部分(如图1中的灯泡)的电阻是全电路电阻的主要组成部分。

在图1电路中，如果固定灯泡不变，也就是固定负载电阻不变，改变电池组提供的电压，通过灯泡的电流也跟着改变。而且电压增加一倍，电流也增加一倍。二者之间保持着正比关系。其比值就是负载灯泡的电阻值。这个规律就是所谓欧姆定律。如果用 U 表示灯泡两端之间的电压，用 I 表示流过灯泡的电流，用 R 表示灯泡的电阻(见图2)，则欧姆定律可以写成如下形式：

$$\frac{U}{I} = R \text{ 或 } U = RI$$

上述电路中，灯泡是要消耗能量的，这个能量由电功(或电能)转化而来。在单位时间，即一秒钟内所作的电功，叫做电功率，或简称功率。功率通常用字母 P 表示。功率和电压之间、功率和电流之间都保持正比关系，并且等于电压和电流的乘积。即

$$P = UI$$

如果电压用伏作单位，电流用安作单位，得出功率的单位是瓦特，简称瓦。在实用上，瓦是比较小的单位，为了方便，经常采用千瓦作单位。千瓦也写成瓩，用字母 KW 表示。生产机械的功率多用马力表示。马力分公制、英制两种，它们与千瓦之间的关系是：

$$1 \text{ 千瓦} = 1.36 \text{ 公制马力}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 1.34 \text{ 英制马力}$$

电功(或电能)通常用度电来表示。每 1 度电等于 1 千瓦的设备工作 1 小时所消耗的电能，即 1 千瓦小时。例如，10 个 500 瓦的灯泡，亦即 5 千瓦的灯泡每工作 1 小时，消耗 5 度电，工作两小时则消耗 10 度电，等等。

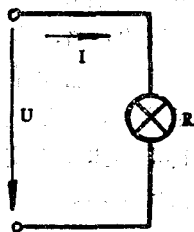


图 2 欧姆定律示意图

第二节 直流电和交流电、频率

按电流的特征，可分为直流电和交流电。直流电流在导线中流动的方向是始终不变的，而交流电流在导线中流动的方向是来回交变的，并且，电流的大小也随着方向的变化而

周期性地变化着。这也可以通过和水路的比较加以说明。图 3 左边的水路，当轮子转动时，活塞上下运动，管路里的水来回流动。图 3 右边的交流电路也有类似的情况。发电机好比活塞泵，当发电机转动时，发电机的两端产生交变电压，使得电路里出现交变电流，这就是交流电流。相应的电压就是交流电压。

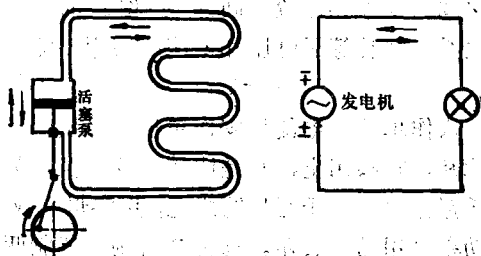


图 3 水路和交流电路的比较

交流电便于远距离输送，升高电压和降低电压都很方便，而且交流电机结构简单，运行可靠。因此，交流电广泛用于工农业生产。只有一些特殊场合，如电镀、某些重要的电力拖动系统、车辆电器等，要采用直流电源。

交流电流和交流电压的方向和大小都是按照一定的规律周期性地变化的。每秒钟交变的次数叫做频率。我国通常应用的交流电每秒钟交变 50 次，即重复 50 个周期。其频率即为 50 周/秒或 50 赫。

一般交流电流和交流电压都是按正弦规律变化的。在图 4 中，如果通过灯泡的是正弦交流电流，则它必须符合图 4 右边曲线所表示的规律：从电流通过某一零点开始，电流向

上逐渐增大, 至 t_1 时电流达到最大值。然后逐渐减小, 至 t_2 时电流为零。以后, 电流向下逐渐增大, 至 t_3 时达到最大值。然后逐渐减小, 至 t_4 时又为零值。至此, 完成了—个周期的变化。对于频率为 50 赫

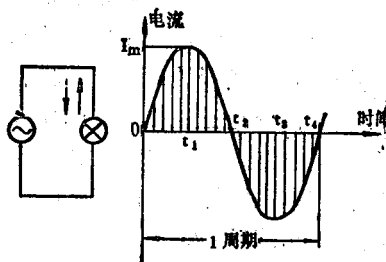


图 4 交流电的正弦曲线

的交流电, 每周期所用的时间, 即 $0 \sim t_4$ 的时间为 $\frac{1}{50}$ 秒。

用普通的交流电表测量得到的交流电压或交流电流都是交流电的有效值。有效值小于最大值, 仅为最大值的 0.707 或 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍。

交流电路和直流电路的负载有很大的区别。在直流电路中只考虑电阻; 而在交流电路中, 除考虑电阻外, 还要考虑由电感和电容引起的电抗——感抗和容抗。

交流电的功率除了取决于电压和电流之外, 还取决于电压和电流在时间上的重合与否。其功率表达式为

$$P = UI \cos \varphi$$

式中, $\cos \varphi$ 反映电压与电流在时间上的参差给功率带来的影响, 叫做功率因数。如果二者在时间上完全重合, 则 $\cos \varphi = 1$, 此时功率最大。—般情况功率因数总是小于 1 的。功率因数决定于线路中的电抗。电抗愈大, 功率因数愈低。

第三节 单相电和三相电

工频交流电有单相电和三相电之分。—般电灯用的是单

相交流电。一般电动机用的是三相交流电。通常发电机发出的是三相交流电，经变压器输出的也多是三相交流电。三相电的三相一般叫做A相、B相和C相。

下面介绍三相交流电的原理和结线。图5左边是三个单相交流电路。A-X、B-Y、C-Z 代表三个线圈，三个线圈提供同样频率和同样大小的正弦电压，但在时间上互相错开：B相比A相落后 $1/3$ 周期，C相又比B相落后 $1/3$ 周期。图6用正弦曲线反映出A、B、C三相电压互差 $1/3$ 周期的关系。三相电流之间也有同样的关系，这里就不再介绍了。

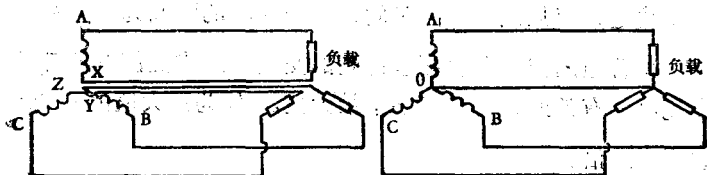


图5 三相交流电的星形接法

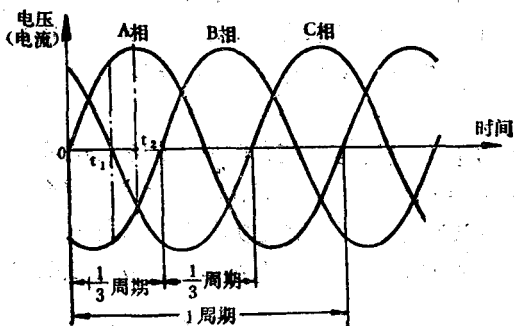


图6 三相交流电的正弦曲线

从图 6 大致可以看出, 如果三相电流大小相等, 则无论任何时刻(如图中 t_1 、 t_2 时), 三相电流之和总是等于零。这个关系是可以从理论上得到证明的。

在图 5 左边的三个单相线路中, 如果各相电流满足上述平衡关系, 则从负载末端回来的三根线上的电流之和为零。这就是说, 如果象图 5 右边那样把三根线联在一起, 合并成一根线, 这根线上是不会有电流流过的。这根线就叫做中性线或中线。当上述平衡关系破坏时, 中性线上才有电流通过。不平衡愈严重, 中性线电流愈大。

三相电流平衡与否取决于电源电压和线路上的负载。一般发电机或变压器提供的三相电压都是平衡的。一般三相用电设备(如电动机)也是平衡的。而照明、电焊等单相设备很难作到三相平衡。因此, 一般中性线上会有一定的电流流过。

如图 5 右边的结线, 三相电路的电压有相电压和线电压之分。相电压是指每一相线圈或负载上的电压; 而线电压是指每两相线路之间的电压。象图 5 右边那样的结线, 在三相平衡时, 线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 即 1.73 倍。例如, 相电压为 220 伏的三相线路, 任意两相线路之间的电压, 即线电压为 $1.73 \times 220 = 380$ 伏。

三相交流电的功率为三相功率之和。如果各相功率相等, 则三相功率为每相功率的三倍。

由上面讨论可以知道: 三个单相线路需要六条线, 而满足同样用电需要的一个三相线路只需要 3~4 条线就够了。既节省了材料, 又降低了线路上的损耗。同时, 三相电机比单相电机具有比较好的经济效果和运行性能。因此, 绝大部分都是采用三相交流电。

第四节 火线和零线

图7表示发电机或变压器的三相线圈互相联结成星形。由线圈始端引出的三条导线，即A-A、B-B、C-C线称相线。三相线圈的公共点称为中性点，由中性点引出的导线即中性线。如果发电机或变压器的中性点是接地的，则中性点和大地等电位，亦即二者之间没有电压差。因为大地是零电位的，所以这时的中性点可称为零点，中性线则称为零线。此外，相线常被称为火线。

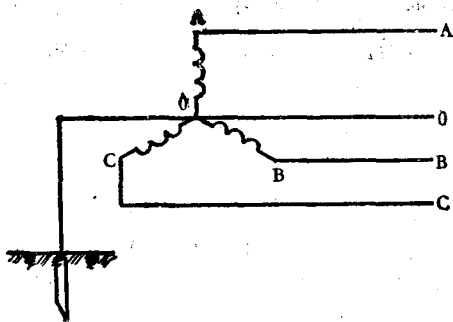


图7 火线、零线示意图

现在采用的380/220伏低压系统，一般都从变压器引出四根线，即三根相线和一根中性线。这四根线兼作动力和照明用。动力用三根相线；照明用一根相线和零线。在这样的低压系统中，考虑到在正常和故障情况下，能使电器设备运行可靠，并且有利于人身和设备的安全，一般都把系统的中性点直接接地。这就是系统的工作接地。应当指出，也有些地区根据自己的特点，低压系统采用中性点不直接接地的运

行方式，对于减少触电事故收到了好的效果。

第五节 接地电阻、对地电压、接触电压和跨步电压

除上面已经提到的工作接地外，在电力系统和电器设备中，为了安全的需要，还经常采用零线的重复接地，用电设备外壳或金属构架的保护接地、避雷器或避雷线的防雷接地等等。既是接地，当然有相应的接地装置，接地装置由埋入地下的接地体(或接地极)和与它连接的接地线组成。系统正常运行时，上述接地装置没有电流或只有少量电流通过。例如，保护接地装置和防雷接地装置可认为没有电流通过；工作接地装置和重复接地装置在三相不平衡时有少量电流通过等。当系统发生故障，如在导线接地，设备漏电或遭受雷击的情况下，接地装置将有比较大的故障电流流过。对于接地故障，1000 伏以下的低压电力系统的接地电流可达到十几到二十几安^①；1000 伏以上的高压系统的接地电流可达到数百安甚至更高一些。接地电流小于 500 安的，称小接地短路电流系统；大于 500 安的，称大接地短路电流系统^{〔5〕}。

下面讨论电流入地后的流散情况及有关问题。如图 8 所示，电流通过接地体向大地作半球形流散。因为球面积与半径的平方成正比，所以半球形的面积随着远离接地体而迅速增大。因此，与半球形面积对应的土壤电阻随着远离接地体而迅速减小，至离开接地体 20 米处，半球形面积已达 2500 平方米，土壤电阻已小到可以忽略不计。这就是说，可以认

① 系指接地电网可能出现的单相接地短路电流。

〔5〕——参阅参考材料〔5〕。下同。

为在远离接地体 20 米以外，电流不再产生电压降了。或者说，至远离接地体 20 米处，电压已降为零。电工上通常所说的“地”就是这里的地，而不是接地体周围 20 米以内的地。通常说的对地电压，即带电体同大地之间的电压差，也是指离接地体 20 米以外的大地而言的。

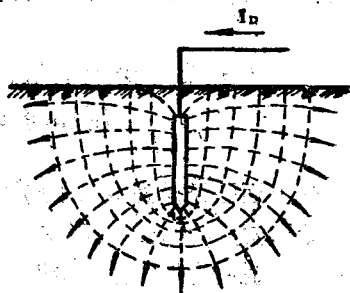


图 8 地中电流呈半球形流散

接地体周围土壤电阻的总合称为接地体的流散电阻。流散电阻加上接地线的电阻即接地装置的接地电阻。一般接地线的电阻比接地体的流散电阻小很多，可以忽略不计。

从以上讨论可以知道：当电流通过接地体流入大地时，接地体具有最高的电压。离开接地体，电压逐渐下降，至离开接地体 20 米处，电压降至零。从最高电压降至零，中间究竟是按什么规律进行的呢？我们知道，离接地体愈远半球面积愈大。因此，同样厚度（即沿电流流散方向的长度）的半球壳体离接地体愈远，其电阻愈小，其上电压降也愈小。这就是说，离开接地体后，电压降落的速度逐渐降低。

如果用曲线来表示接地体及其周围各点的对地电压，这种曲线就叫对地电压曲线。显然，随着离开接地体，土壤电阻逐渐减小，电压降落逐渐减缓，曲线逐渐变平，或者说曲线的陡度逐渐减小。根据理论分析，接地体的对地电压曲线应当具有双曲线的特点。

试验资料表明：大约 68% 的电压降在接地体 1 米以内；