

王英杰

电 工 安全技术 知 识

第二版

水利电力
出版社

内 容 提 要

本书是为普及安全用电技术知识而编写的。全书以通俗的语言讲解了安全用电必备的知识：安全用电的意义和有关基本概念，绝缘和绝缘材料，安全距离，接地装置，保护接地和保护接零，电工安全用具和常用工具、仪表，对特殊电气设备的安全要求，架空和电缆线路的一般知识，安装和维修中应注意的几个问题，防雷和防火，保证用电安全的组织措施，书后还附有七个表供查用。

本书供具有初中以上文化程度的电工阅读，也可作为专、兼职安全技术工作人员对电工进行安全用电教育的教学参考书。

电工安全技术知识

第 二 版

王 英 杰

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.75印张 170千字

1982年11月第一版

1987年12月第二版 1987年12月北京第二次印刷

印数95111-124210册

ISBN 7-120-00083-7/TM·62

15143·6546 定价 1.70 元

第二版前言

本书是为具有初中文化程度的二级以上电工编写的安全技术学习读物，也是为专、兼职安全技术工作人员编写的对电工进行安全技术教育的参考书。

本书的第一版是1982年11月出版的，因印数较少，很多同志没有买到。几年来，不少单位和个人来信要求再版，而且希望能再增加、补充一些内容。因为工作比较忙，所以一直拖到现在。这次的修订版，在原有的基础上又增加了几个章节，对第一版中个别不太确切的地方又进行了一些修改。即使这样，可能仍满足不了一些同志的要求，请原谅。今天，修订版和大家见面了，还是那句老话：水平有限，错误难免，欢迎大家批评指正。

最后，借此机会向关心本书的广大读者，表示感谢。

编 者

1987年4月

目 录

第二版前言

第一章 概论	1
1-1 安全用电的重要意义	1
1-2 电的基本概念	2
1-3 电流对人体的伤害	8
1-4 防止触电的主要措施	12
1-5 不同场所对电气设备的要求	14
第二章 绝缘和绝缘材料	19
2-1 绝缘材料的分类及性能	19
2-2 常用的绝缘材料	22
2-3 绝缘电阻的规定	26
2-4 绝缘损坏	30
2-5 耐压试验	33
第三章 安全距离	39
3-1 变配电设备的安全距离	39
3-2 架空线路的安全距离	43
3-3 电缆线路的安全距离	47
3-4 室内外配线的安全距离	50
3-5 其它安全距离	53
第四章 接地装置	56
4-1 与接地有关的一些基本概念	56
4-2 尽量利用自然条件构成接地装置	60
4-3 人工接地装置及其安全要求	62
4-4 接地电阻的计算和测量	68

4-5 降低接地电阻的措施	75
第五章 保护接地和保护接零	78
5-1 保护接地和接零的应用范围	78
5-2 电气设备的保护接地	80
5-3 电气设备的保护接零	86
5-4 在同一系统中接地和接零不能混用	92
5-5 接地和接零系统中的特殊安全措施	93
第六章 电工安全用具和常用工具、仪表	100
6-1 安全用具的作用和分类	100
6-2 安全用具的检查和试验	106
6-3 电工常用工具及使用注意事项	108
6-4 电工常用仪表及使用注意事项	117
第七章 对特殊电气设备的安全要求	130
7-1 交、直流弧焊机	130
7-2 高频设备	134
7-3 炼钢电弧炉	137
7-4 电动起重设备	139
7-5 自耦变压器	142
7-6 电力电容器	144
7-7 表用互感器	146
第八章 架空线路和电缆线路的一般知识	149
8-1 架空线路的一般知识	149
8-2 电缆线路的一般知识	163
8-3 关于两线一地制线路	173
第九章 安装和维修中应注意的几个问题	175
9-1 临时线问题	175
9-2 设备电气线路的改动	178
9-3 带电作业	179
9-4 停电作业	181

9-5 高空作业	184
9-6 导线的选择	186
9-7 铝导线的连接	190
9-8 常用低压交流电器的选择	192
第十章 防雷和防火	197
10-1 雷电的形成和危害	197
10-2 雷电活动的规律	198
10-3 一般防雷装置	200
10-4 常用避雷器	205
10-5 各类建筑物的防雷措施	211
10-6 电气火灾和预防	213
10-7 灭火器材的应用	215
第十一章 保证用电安全的组织措施	218
11-1 组织措施的主要内容	218
11-2 工作票和操作票制度	221
11-3 加强电气装置的维修工作	224
11-4 认真贯彻安全操作规程	229
附表	233
附表 1 土壤和水的电阻系数参考值	233
附表 2 几种接地装置的工频接地电阻估算式	234
附表 3 登高、起重工具试验标准表	236
附表 4 第一种工作票(停电工作票)	237
附表 5 第二种工作票	238
附表 6 倒闸操作票	239
附表 7 工程图中常用电气装置的部分文字符号	240

第一章 概 论

1-1 安全用电的重要意义

客观世界的不少事物常具有两重性：既存在有利于人的一面，也存在着不利于人的一面。关键所在，是看能否充分认识和掌握它的规律。

“电”也是这样。要是掌握了它的客观规律，它就能驯服地为人们服务。未认识和掌握它的规律，或虽已认识和掌握了而仍麻痹大意，草率从事，不认真对待，那就不仅会使国家财产受到严重损失，还会有因触电而丧失生命的危险。

解放后，党和政府非常重视安全生产，制定了安全生产的方针、政策，颁发了不少关于安全生产的文件、通知，对安全用电提出了明确要求。此外，各地用电管理和生产管理部门，也都根据各自的实际情况，制定了一些具体规定。总的来说，情况是好的。但在十年浩劫中，不少规章制度遭到破坏，用电管理也是如此。要彻底改变这种状况，不是一件容易的事。

当前，在“四化”建设中，随着我国工农业生产的迅速发展，发电和用电量日益增加。在用电过程中，如何保证人身安全，防止触电事故，已成为一项十分重要的工作。

触电伤亡事故的多少，是衡量一个国家安全用电水平高低的主要标志。我国目前的安全用电水平与先进的工业国家相比是相当低的，特别是农村就更低。从十幾年来的统计资

料看在全国触电死亡总人数中，工业和城市居民死亡占15%，农业死亡占85%。这说明农村用电管理水平和安全用电知识的普及是个薄弱环节。

另外，根据浙江、辽宁、上海、北京等四个省市近年来触电死亡事故的综合分析，高压触电死亡只占12.5%，而380伏以下的低压触电死亡人数却占87.5%。可见，只重视高压而忽视低压安全用电的现象，也是应该扭转的。

我国近年来虽加强了用电管理工作，采取了一些防止触电事故的措施，取得了一定的成效，触电事故逐年都有下降，但伤亡数字还很大。通过对触电伤亡事故的统计分析表明：用电设备质量或安装质量不好、规章制度不健全或有章不循、没有采取触电保护措施或措施不力、缺乏必要的安全用电知识等，仍然是造成触电伤亡事故的主要因素。为了加速我国的社会主义建设，早日实现四个现代化，在用电方面有针对性地进行安全技术教育，已是当务之急。

鉴于搞好安全用电，满足生产需要，保障人民生命和国家财产的安全，不仅是当前实际情况的需要，更主要的它也是我国社会主义制度优越性在一个方面的具体体现。所以，应该引起每一个同志的重视。

1-2 电 的 基 本 概 念

随着我国工农业生产的迅速发展，用电范围日益扩大，由生产到生活，几乎到处都离不开电。电动机通电会旋转，电灯通电会发光，人们已不再怀疑和好奇了。但对电究竟是怎么回事，对一些常用电工名词和术语，如非带电体与带电体、导体与绝缘体、电流、电压、电阻、电容以及直流电和

交流电的含意，有些人还搞不清楚。所以，在学习安全用电知识之前，很有必要对这些名词和术语作一简单介绍。

一、非带电体与带电体

自然界的一切物体都是由分子组成的，而分子又是由原子组成的。每一个原子是由一个带正电荷的原子核和一定数量的带负电荷的电子组成的。这些电子分层围绕着原子核作高速旋转。因为正电荷与负电荷有同性相斥、异性相吸的特性，所以正常情况下它们不会分离。

平时，一切物体它们的原子核所带的正电荷总是与它们的电子所带的负电荷在数量上相等，所以对外不呈现电性。这种物体，称为非带电体。

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成为自由电子，从一个物体跑到另一个物体；这时物体就带电了，变成了带电体。失去电子的物体带正电，得到电子的物体带负电。

一个带电体所带电荷的多少可以用电子电量表示，不过在实用上这个单位太小，所以常以“库仑”作为电量的单位。

$$1 \text{ 库仑} = 6.25 \times 10^{18} \text{ 个电子电量}$$

电量的符号用 Q 表示。当电荷积聚不动时，称为静电。

二、导体与绝缘体

我们把内部有大量自由电子，因而善于传导电流的物体叫做导体。所有的金属都是导体。因铜、铝、钢导电性能较好，所以导线的芯线多用铜、铝、钢制成。此外，大地、人体、石墨以及酸、碱、盐溶液等也都是导体。

在通常情况下内部电子很少，导电能力非常差，电流几乎不能通过的物体，称为绝缘体。橡胶、塑料、虫胶、玻

璃、云母、棉纱、石棉、纸以及干燥的木材等都是绝缘体。常用的绝缘材料都是用绝缘体加工而成的。如导线的外皮就是用橡胶、塑料等绝缘材料制成的。

介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体。如锗、硅、硒以及金属的氧化物、硫化物等。

在实用中，导体除易受腐蚀性气体影响外，还存在一个锈蚀和氧化问题。绝缘材料使用时间久了就会老化，温度太高或湿度增大时，绝缘性能要变差，我们常见的电气设备的漏电现象就是绝缘性能下降所造成的。有时绝缘材料可能突然失去绝缘能力而导电，我们把这种现象称为击穿或者绝缘损坏。

三、电流、电压、电阻和电容

1. 电流 电荷的定向移动称为电流。电流的正方向规定为正电荷移动的方向。而在金属导体中只有带负电荷的电子可以做定向移动，所以规定的电流方向和实际电流方向是相反的。

电流的大小可以用电流强度 I 来表示。我们把单位时间内通过导体横截面的电量，叫做电流强度。电流强度的单位是安培，用符号 A 表示。如果 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库仑，那么电流强度就是 1 安培。比安培小的单位还有毫安和微安，分别用 mA 和 μA 表示。

$$1 \text{ 安培 (A)} = 1000 \text{ 毫安 (mA)};$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1000 \text{ 微安 (\mu A)}.$$

2. 电压 在电路中，任意两点之间的电位差，被称为这两点之间的电压。因为各种发电机、电池、温差电偶等电源都具有一种把正电荷从低电位推动到高电位，使电源正、负极之间保持一定的电位差的本领。所以，电路中只要有电源

便会有电压存在。如用金属导线把电源和用电器连接起来，那么在电压的作用下，电荷便从高电位流向低电位，在电路里形成电流。总之，对金属来说，自由电子的存在是形成电流的内因，电压则是形成电流的外因。

电压常用符号 U 来表示。电压的单位是伏，用 V 表示。此外，还有千伏、毫伏、微伏，分别用 kV 、 mV 、 μV 表示。

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

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

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 1000 \text{ 微伏 (\mu V)}。$$

3. 电阻 由于自由电子在金属导体中作定向运动时，会与金属中的其它电子和原子核发生碰撞，所以要受到一定的阻力。我们通常把这种对电流所表现的阻力，称为导体的电阻。电阻的代表符号是 R 。单位是欧姆，简称欧，用 Ω 表示。此外，还有千欧、兆欧，用 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 表示。

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

$$1 \text{ 兆欧 (M}\Omega\text{)} = 1000 \text{ 千欧 (k}\Omega\text{)}。$$

实验证明，在一定的温度下，导体的电阻除与材料有关外，与导体的截面积成反比，与导体的长度成正比，即

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

式中 ρ ——导体的电阻系数（欧姆·平方毫米/米）；

l ——导体的长度（米）；

S ——导体的横截面积（平方毫米）。

从上式可以看出，1平方毫米粗、1米长的导体在一定温度下的电阻数值即为该导体的电阻系数。铜在 20°C 时的电阻系数为0.017，铝为0.029。

4. 电容 将两片金属叠在一起，中间用绝缘材料隔开，

就组成了一个电容器。电容器是电路中用以储存电荷的基本元件。电容器储存电荷的能力叫电容量，简称电容，用符号 C 表示。电容的大小用电容器储存的电荷量 Q 与两极极间电压 U 的比值表示，即

$$C = \frac{Q}{U}$$

若在 1 伏电压作用下，电容器储存的电荷量为 1 库仑，电容就是 1 法拉。法拉的代表符号是 F 。因法拉较大，常用的单位是微法 (μF) 和皮法 (pF)。

$$1 \text{ 微法 } (\mu F) = 10^{-6} \text{ 法拉 } (F);$$

$$1 \text{ 皮法 } (pF) = 10^{-6} \text{ 微法 } (\mu F)。$$

四、直流电和交流电

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时的大小和方向不随时间而变化，如图1-1 (a) 所示。而交流电流是大小和方向都随时间做周期性变化的电流，如图1-1 (b) 所示。我国通常应用的工频交流电每秒钟变化50次，即每秒钟有50个周期，其频率为50赫。

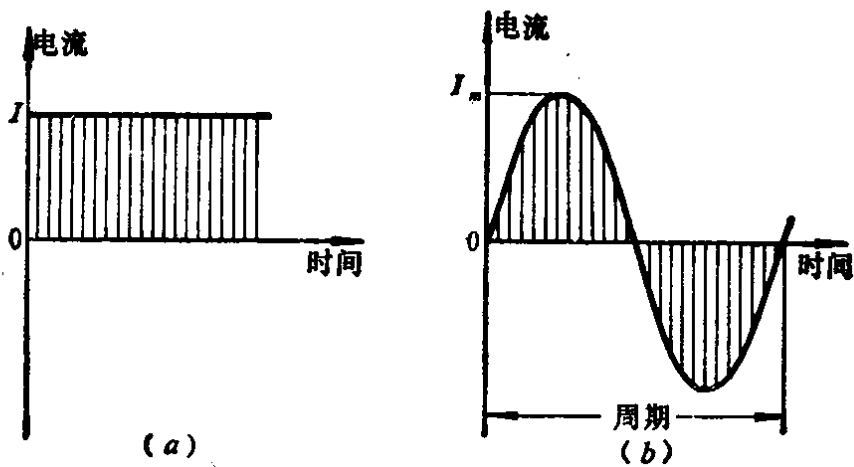


图 1-1 电流变化曲线
(a)直流电；(b)交流电

在直流电路中，电源内电阻如忽略不计，则通过电路的电流 I 等于电路两端的电压 U 除以电路的电阻 R ，即

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

而交流电路中，除考虑电阻 R 外，还要考虑电感和电容引起的感抗 X_L 和容抗 X_C 。这时通过电路的电流有效值 I 等于电路两端的电压有效值 U 除以电路的阻抗 Z ，即

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

式中的 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 。

直流电的功率 P ，是指单位时间电流所做的功，等于电压乘以电流，即 $P = UI$ 。功率 P 的单位是瓦 (W)、千瓦 (kW)。

交流电的功率有有功功率、无功功率和视在功率之分，其有功功率表达式为 $P = UI \cos \varphi$ 。 $\cos \varphi$ 叫功率因数。功率因数等于 1 时有功功率最大。一般情况功率因数是小于 1 的。功率因数取决于线路的总电抗，电抗越大，功率因数越低。

直流电无所谓几相，把电源的两根线接到负载上就行了。常用的 50 赫正弦交流电则有单相和三相之分。

五、单相交流电和三相交流电

最常用的工频交流电有单相和三相两种。通常发电机发出来的都是三相交流电，经变压器输出的也多是三相交流电。三相之间互差 $1/3$ 周期的关系，在电工学上叫互差 120° 电角度。

图 1-2 所示，是三相交流电的星形接法。 $A-A'$ 、 $B-B'$ 、 $C-C'$ 是三条相线，又叫火线。 $O-O'$ 是由三相绕组的公共点，即中性点引出的中性线。如果发电机或变压器的中性点接

地，则中性点将和零电位的大地电位一样，两者之间的电位都是零，这时的中性线可称为零线。如引出一根相线和一根零线做为某一设备的电源，那么这个电源就叫单相交流电源。

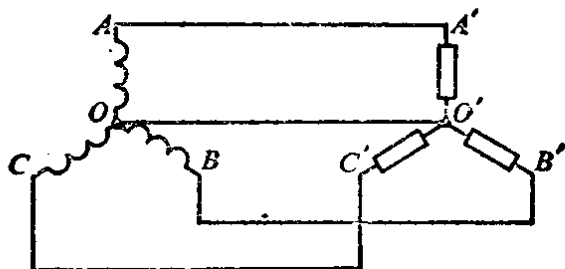


图 1-2 三相交流电的星形接法

三相交流电路的电压有相电压和线电压之分。相电压是指每一相绕组或负载上的电压；线电压是指两相线路之间的电压。在三相平衡时，线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即 1.73 倍。如相电压是 220 伏，则线电压为 $1.73 \times 220 = 380$ 伏。

现在采用的 380/220 伏低压系统，一般都从变压器引出四根线，其中三根是相线，一根是零线。动力多用三根相线，称为三相；照明用的是单相，即一根相线和一根共用零线。

三相交流电的功率为三相功率之和。如果各相功率相等，则三相功率为一相功率的三倍。

1-3 电流对人体的伤害

电流对人体的伤害是个很复杂的问题。到目前为止，对这个问题还没有十分肯定的结论。

一、关于触电方式和电流对人体伤害的类型

1. 触电方式 触电方式主要分单相触电、两相触电、跨

步电压触电等三种。

图 1-3 所示是在变压器中性点直接接地的三相系统中的单相触电。单相触电，是指人在地面或其它接地体上，人体的某一部分触及一相带电体时的触电。图中，电流通过人体和地而成回路，人体承受的电压取决于人体电阻和变压器接地电阻的大小，可能接近于相电压。

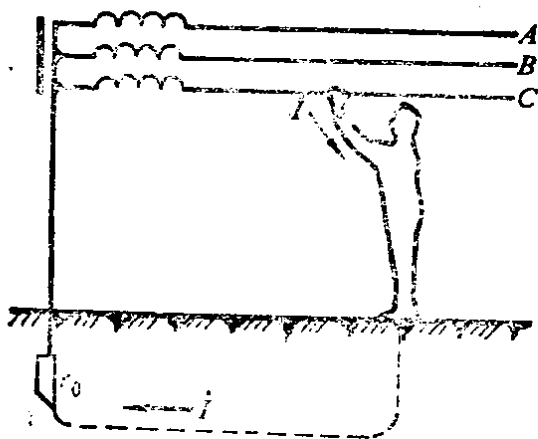


图 1-3 单相触电

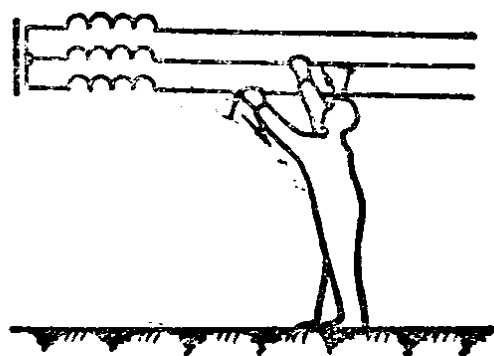


图 1-4 两相触电

图 1-4 所示是两相触电。所谓两相触电，是指人体两处同时触及两相带电体时的触电。这时，人体把两相带电体短路了，电流直接通过人体成回路，人体承受的电压为两相之间的电压。因为相和相之间的电压比较高，所以，通过人体的电流比较大，故两相触电比单相触电更危险。

图 1-5 所示是跨步电压触电。所谓跨步电压触电，是指人进入接地电流的散流场时的触电。由于散流场内地面上的电位分布不均匀，人的两脚间电位不同，分别为 φ_1 和 φ_2 。这两个电位的电位差称为跨步电压。在跨步电压的作用下，电流便通过人体，造成对人体的危害。在计算跨步电压时，一般取人两脚间的跨距为 0.8 米。跨步电压的大小与接地体

的距离有关。当人的一只脚踏在接地体上时，跨步电压最大；离接地体愈远，跨步电压愈小；与接地体的距离超过20米时，跨步电压就近于零了。

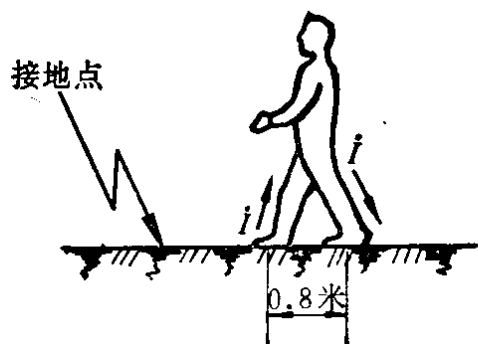


图 1-5 跨步电压触电

2. 伤害类型 电对人体的伤害，分为电击和电伤两种类型。

电击时，电流通过人体内部，造成人体内部组织的破坏，影响呼吸、心脏和神

经系统，严重的会导致死亡。

电伤主要是指电对人体外部造成的局部伤害。包括电弧烧伤、电烙印、熔化的金属微粒渗入皮肤等伤害。电伤虽能使人遭受痛苦，甚至造成失明、截肢，但一般不会死亡。

二、与触电伤害有关的几个因素

通常所说的触电事故，基本上都是指电击而言的。电击伤害的程度与通过人体电流的大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流频率以及人体的健康情况等因素有关。

1. 电流的大小 通过人体的工频交流电流不超过0.01安培，直流电流不超过0.05安培，对人体基本上是安全的。电流大于上面提到的数值，就会使人感觉麻痹或剧痛，并且呼吸困难，甚至自己不能摆脱电源，有生命危险。通过人体的电流不论是交流还是直流，大于0.1安培时，只要很短的时间就会使人呼吸窒息、心脏跳动停止，失去知觉而死亡。

通过人体电流的大小，取决于外加电压和人体的电阻。人体的电阻是因人而异的，一般为800~1000欧姆。皮肤潮

湿、有损伤、带有导电性粉尘等，都会降低电阻数值。经验证明，在一般场所，对于人体只有低于36伏的电压才是安全的。

2.持续时间 电流通过人体的持续时间愈长，人体电阻降低愈多，后果愈严重。另外，人的心脏每收缩、扩张一次，中间约有0.1秒的间歇，试验证明，这0.1秒的间歇对电流最为敏感。电流通过人体的持续时间越长，与心脏最敏感的间歇重合次数越多，所以，危险也就越大。

3.电流的途径 电流通过心脏，会引起心房震颤或心脏停止跳动，使血液循环中断，造成死亡。电流通过脊髓，会使人的肢体瘫痪。因此，电流通过人体的途径从手到脚最危险，其次是从手到手，再其次是从脚到脚。

4.电流频率 一般讲，在同样的电压下，频率40~60赫的交流电对人体是最危险的。随着频率的增高，电击伤害程度显著减小。低压交流电的频率超过500千赫时，对人体是安全的。

5.人体健康情况 凡患有心脏病、神经系统疾病和结核病的人，电击伤害程度比健康人要严重的多。

三、触电急救

万一发生触电事故，首先要切断电源。例如把距离最近的电源开关拉开，或用有绝缘手柄的工具、干燥木棒等把电源线断开。当触电者尚未脱离电源前，切不可直接与触电者接触，以免同陷危险。在切断电源时，还要防止触电者从高空摔下，造成摔伤。触电者脱离电源后，如果已经失去知觉，则必须抬至空气畅通处，解开衣服，让触电者平直仰卧，并用软衣物垫在身下，使其头部比肩稍低，以免妨碍呼吸；同时要一边通过人工呼吸等方法进行急救，一边找医生