



普通高等教育电气信息类规划教材

# 电工工艺实训基础

主编 张志义 肖鹏



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

信息类规划教材

# 电工工艺实训基础

主 编 张志义 肖 鹏  
副主编 王运先 贺 伟



机械工业出版社

本书详细介绍了电工工艺方面的相关内容,突出了电工工艺的实践性和应用性。全书理论联系实际,突出实际应用能力的培养。

本书共9章,内容包括安全用电、常用电工工具、电力线路、室内配线、照明装置、低压电器、电气制图规则和表示法、低压成套配电装置的制作以及导线。

本书可作为应用型电气类、机械类相关专业本科教材,也可供从事电工工艺的相关技术人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工工艺实训基础/张志义,肖鹏主编. —北京:机械工业出版社,2019.6  
普通高等教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-62828-6

I. ①电… II. ①张… ②肖… III. ①电工技术-高等学校-教材 IV.  
①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 099701 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:汤枫 责任编辑:汤枫

责任校对:张艳霞 责任印制:张博

三河市骏杰印刷有限公司印刷

2019年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·9.5印张·232千字

0001-2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-62828-6

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

客服电话:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

010-88379833

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-68326294

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

# 前 言

随着电工技术的发展，为培养工程类本科电工技术应用型人才，除了让学生学习必要的理论知识之外，还要有针对性地设置电工工艺方面的课程。通过学习电工工艺方面的课程，使学生具备“设计、制作、安装、调试、技术管理”的能力。本书是为工科院校学生参加电工工艺实训而编写的教程。它既是教学参考书，又是指导实践的实用资料；既是基本技能与工艺知识的入门向导，又是创新实践的启蒙。

本书特点如下：

介绍了电工工艺的主要知识。包括：安全用电；常用电工工具；电力线路；室内配线；照明装置；低压电器；电气图制图规则和表示法；低压成套配电装置的制作；导线。

实用性强。通过对配电照明柜及配电控制柜的装配实习，学生应掌握以下实用技术：了解常用低压元器件的特点并正确选用；电气原理图的读图；导线连接技术；槽板配线技术；控制柜的配线、调试与故障检修方法。

本书第1、2、5、6章由张志义编写，第7、8、9章由肖鹏编写，第3、4章由王运先编写；贺伟、张秀菊参与书中图片的编辑及电气原理图的实验验证工作；张志义拟定编写提纲，并负责全书定稿工作。

本书在编写过程中参阅了国内外的教材和文献，在此谨表谢意！

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

第 1 章 安全用电 .....	1
1.1 安全用电和安全作业规程 .....	1
1.1.1 安全用电知识 .....	1
1.1.2 安全操作知识 .....	2
1.1.3 安全操作要求 .....	3
1.2 人体触电的方式与急救 .....	4
1.2.1 人体触电的方式 .....	4
1.2.2 触电急救 .....	5
1.3 接地及常见接地系统 .....	11
1.3.1 接地 .....	11
1.3.2 接地的种类 .....	12
1.3.3 接地装置 .....	12
1.3.4 系统接地的几种形式 .....	13
1.3.5 接地安全 .....	15
第 2 章 常用电工工具 .....	17
2.1 电工常用工具 .....	17
2.1.1 通用工具 .....	17
2.1.2 辅助工具 .....	22
2.1.3 登高工具 .....	23
2.2 施工常用的绳及绳扣的结法 .....	24
2.2.1 麻绳 .....	24
2.2.2 钢丝绳 .....	24
2.2.3 常用的几种绳扣 .....	25
第 3 章 电力线路 .....	26

3.1	架空线路 .....	26
3.1.1	架空线路的结构 .....	26
3.1.2	架空线路的敷设 .....	27
3.2	电缆线路 .....	32
3.2.1	电缆的结构、种类及选用 .....	33
3.2.2	电缆的敷设 .....	33
3.2.3	电缆终端头的制作 .....	34
<b>第4章</b>	<b>室内配线 .....</b>	<b>42</b>
4.1	室内配线的基础知识 .....	42
4.1.1	室内配线的类型和敷设方式 .....	42
4.1.2	室内配线的技术要求 .....	43
4.1.3	室内布线的主要工序 .....	43
4.2	槽板配线 .....	43
4.2.1	槽板配线的准备 .....	44
4.2.2	槽板的安装 .....	44
4.2.3	敷设导线、固定盖板和配线要求 .....	46
4.2.4	槽板配线操作练习 .....	47
4.3	护套线的敷设 .....	47
4.3.1	准备工作 .....	47
4.3.2	固定铝线卡 .....	48
4.3.3	导线的敷设和要求 .....	48
4.4	线管配线 .....	49
4.4.1	线管的敷设 .....	50
4.4.2	其他敷设要求 .....	51
<b>第5章</b>	<b>照明装置 .....</b>	<b>52</b>
5.1	照明装置的基本知识 .....	52
5.1.1	电光源的分类 .....	52
5.1.2	照明的分类 .....	53
5.2	照明用具的选择与安装 .....	53
5.2.1	照明用具的选择 .....	53
5.2.2	照明用具的安装 .....	55
<b>第6章</b>	<b>低压电器 .....</b>	<b>63</b>
6.1	低压电器概述 .....	63

6.1.1	低压电器的定义及分类 .....	63
6.1.2	低压电器的正确选用 .....	64
6.2	低压配电电器 .....	64
6.2.1	刀开关及负荷开关 .....	64
6.2.2	熔断器 .....	66
6.2.3	断路器 .....	68
6.3	低压控制电器 .....	70
6.3.1	接触器 .....	70
6.3.2	继电器 .....	73
6.3.3	变频器 .....	75
6.4	主令电器 .....	79
6.4.1	按钮 .....	79
6.4.2	指示灯 .....	80
6.4.3	转换开关 .....	80
6.4.4	万能转换开关 .....	81
6.5	测量仪表 .....	81
6.5.1	电流互感器 .....	81
6.5.2	电流表 .....	84
6.5.3	电压表 .....	84
6.5.4	电能表 .....	85
<b>第7章</b>	<b>电气图制图规则和表示法 .....</b>	<b>88</b>
7.1	电气图的分类及特点 .....	88
7.1.1	电气图的分类 .....	88
7.1.2	电气图的特点 .....	93
7.2	电气图的基本表示方法 .....	94
7.2.1	线路的表示方法 .....	94
7.2.2	电气元件的表示方法 .....	96
7.2.3	元器件触点和工作状态的表示方法 .....	98
7.3	电气图中连接线的表示方法 .....	99
7.3.1	连接线一般表示法 .....	99
7.3.2	连接线的连续表示法和中断表示法 .....	101
<b>第8章</b>	<b>低压成套配电装置的制作 .....</b>	<b>103</b>
8.1	低压成套配电装置 .....	103

8.1.1	低压配电柜 .....	103
8.1.2	动力和照明配电箱 .....	104
8.1.3	终端组合电器 .....	104
8.2	电气传动控制柜的制作 .....	104
8.2.1	熟悉电气原理 .....	108
8.2.2	绘制安装接线图 .....	109
8.2.3	检查电气元件 .....	110
8.2.4	照图接线 .....	110
8.2.5	检查线路 .....	111
8.2.6	试车与调试 .....	112
8.3	照明动力配电柜的制作 .....	112
8.3.1	制作照明动力配电柜的电路图 .....	112
8.3.2	绘制安装接线图 .....	115
8.3.3	照图接线 .....	115
8.3.4	检查线路 .....	116
8.4	变频控制柜的制作 .....	116
8.4.1	变频器的控制原理接线图及基本调试 .....	118
8.4.2	变频器的保护功能 .....	121
8.4.3	变频器的抗干扰措施 .....	123
8.4.4	变频控制柜的应用范例 .....	124
<b>第9章</b>	<b>导线 .....</b>	<b>138</b>
9.1	导线的选用 .....	138
9.1.1	导线选用的一般原则 .....	138
9.1.2	常用电线类型的选用 .....	138
9.2	导线截面的选择及计算 .....	139
9.2.1	按机械强度选择导线截面 .....	139
9.2.2	根据允许的持续电流选择导线截面 .....	140
9.2.3	根据电压损失选择导线截面 .....	141
9.3	照明线路的保护 .....	142
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>144</b>

# 第1章 安全用电

本章主要介绍安全用电的基本知识。电气事故是现代社会的不可忽视的灾害之一，安全用电涉及广泛，本章只针对最基本、最常见的用电安全问题进行讨论。

## 1.1 安全用电和安全作业规程

### 1.1.1 安全用电知识

#### 1. 安全电压

作为安全交流电压，在任何情况下有效值不得超过 50 V，我国 GB/T 3805—2008 标准规定的安全电压系列有 36 V、24 V、12 V 等。安全电压是对人体皮肤干燥时而言的。因为通过人体电流的大小，主要取决于施加于人体的电压和人体本身的电阻。人体电阻包括皮肤电阻和体内电阻，其中皮肤电阻随外界条件不同有较大变化，一般干燥的皮肤电阻约为 2 k $\Omega$ ，但随着皮肤的潮湿度加大，电阻会减小，有可能减小到 1 k $\Omega$  以下。所以，倘若人体出汗，又用湿手接触 36V 的电压时，同样会受到电击，此时安全电压也不安全了。

#### 2. 安全距离

为保证电工在电气设备运行操作、维护检修时不致误碰带电体，《电业安全工作规程》（以下简称《规程》）中规定了工作人员离带电体的安全距离；为保证电气设备在正常运行时不出现击穿短路事故，《规程》中还规定了带电体离附近接地导体和不同相带电体之间的最小距离。

安全距离主要有以下几个方面。

1) 设备带电体到各种遮栏间的安全距离，见表 1-1。

表 1-1 设备带电体到各种遮栏间的安全距离

设备的额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110*	220*	330*	500*
带电部分到遮栏间的安全距离/mm	屋内	825	850	875	1050	1300	1600	—	—	—
	屋外	950	950	950	1150	1350	1650	2550	3350	4500

(续)

设备的额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110*	220*	330*	500*
带电部分到网状遮栏间的安全距离/mm	屋内	175	200	225	400	650	950	—	—	—
	屋外	300	300	300	500	700	1000	1900	2700	5000
带电部分到板状遮栏间的安全距离/mm	屋内	105	130	155	330	580	880	—	—	—

注：\*表示中性点直接接地系统。

2) 无遮栏裸导体到地面间的安全距离，见表 1-2。

表 1-2 无遮栏裸导体到地面间的安全距离

设备的额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110*	220*	330*	500*
无遮栏裸导体到地面间的安全距离/mm	屋内	2375	2400	2425	2600	2850	3150	—	—	—
	屋外	2700	2700	2700	2900	3100	3400	4300	5100	7500

注：\*表示中性点直接接地系统。

## 1.1.2 安全操作知识

### 1. 对电工的基本要求

- 1) 安装电工必须经医师诊定，确无妨碍工作的病症，精神正常，身体健康。
- 2) 电工应具备必要的电气知识，按其工种熟悉《电业安全工作规程》的有关部分。
- 3) 电工应熟练掌握紧急救护法，特别要学会触电急救。
- 4) 新参加工作或新调入的人员，在独立承担工作以前，必须经过安全技术教育，并在熟练的工作人员指导下进行工作。

### 2. 施工现场的安全措施

- 1) 现场作业应集中精力，坚守工作岗位。
- 2) 在上下交叉作业有危险的出入口，要有防护栏或其他隔离设施。
- 3) 进入施工现场必须戴安全帽，穿工作服和绝缘鞋。高空、悬崖和陡坡施工时必须系好安全带。
- 4) 高空作业衣着要灵便，禁止穿硬底和带钉易滑的鞋。
- 5) 高空作业所用的材料要堆放平稳，工具应随手放入工具袋，上下传递物件要用绳系牢，禁止抛掷。
- 6) 恶劣气候禁止露天高空作业。
- 7) 梯子不得缺档，不得垫高使用，使用时上端要牢靠，下端应采取防滑措施，单面梯与地面夹角以 60°~70°为宜，禁止两人同时梯上作业。人字梯底角要拉牢。在通道上使用梯子时应有人监护。

- 8) 禁止带电作业，禁止带负荷通电或断电。
- 9) 现场施工用电气设备及线路，应按施工设计和有关电气安全技术规程安装、架设。
- 10) 有人触电时应立即切断电源，进行急救。

### 3. 预防人身触电的安全措施

- 1) 绝缘导线连接处可用胶布包扎。
- 2) 用屏障或围栏防护，以防止触及带电体。
- 3) 对易于接近的带电体，应保持其在手臂所能触及的范围之外。
- 4) 剩余电流保护动作电流不宜超过 30mA。
- 5) 相应场合相应等级安全电压：手持的行灯或高度不足 2.5 m 的照明装置，其安全电压为 36 V。若相对湿度过高，则金属容器内的手持照明灯安全电压应降为 12 V。

## 1.1.3 安全操作要求

### 1. 停电操作

1) 检查是否断开所有的电源。在停电操作（作业）时，为保证安全，应切断电源，使电源至作业的设备或线路有两个以上的明显断开点。对于多回路的用电设备或线路，还要注意从低压侧向被作业设备倒送电的问题。

2) 进行操作前的验电。操作前，用电压等级合适的验电器（笔）对被操作的电气设备或线路进出线两侧分别验电。验电时，手不得触及验电器（笔）的金属带电部分。确认无电后，方可进行作业。

3) 悬挂警告牌。在断开的开关或刀开关操作手柄上悬挂“禁止合闸、有人工作”的警告牌，必要时加锁固定。对于多回路的线路，更要防止突然来电。切断电源时，应先断开负荷侧开关，再断开电源侧开关；合上电源时，应先合电源侧开关，再合负荷侧开关。

4) 装接接地线。在检修交流线路中的设备或部分线路时，对于可能送电的地方都要装接携带型临时接地线。装接接地线时，必须做到“先接接地端，后接设备或线路导体端，接触必须良好”。拆卸接地线与装接接地线的顺序相反。临时接地线应采用多股软裸铜导线，其截面积不小于  $25\text{mm}^2$ 。

### 2. 带电操作

- 1) 在电气设备或线路上带电工作时，应由有经验的电工专人监护。
- 2) 电工作业时，应穿长袖工作服，戴安全帽、防护手套，并使用与工作内容相应的防护用品。
- 3) 使用绝缘安全用具操作。在移动带电设备上操作时，应先接负载后接电源，拆线时

顺序相反。

4) 电工带电操作时间不宜过长, 以免因疲劳过度、注意力分散而发生事故。

## 1.2 人体触电的方式与急救

### 1.2.1 人体触电的方式

人体触电的方式一般分为直接接触触电和间接接触触电两种方式。

#### 1. 直接接触触电

直接接触触电是指人体直接接触及或过分靠近电气设备及线路的带电导体而发生的触电现象。直接接触触电又分为单相触电、两相触电、电弧触电及接触电压触电等。

##### (1) 单相触电

人体的某一部分触及带电设备或线路的一相带电体的同时, 另一部分又与大地或中性线相接, 电流从带电体经人体到大地(或中性线)形成回路而发生的触电现象称为单相触电。

1) 中性线接地的单相触电如图 1-1 所示。此时加在人体的电压几乎等于相电压, 通过人体的电流远大于安全电流 30 mA。

2) 无中性线或中性线不接地的单相触电如图 1-2 所示。电流从电源相线经人体、其他两相的对地阻抗(由线路的绝缘电阻和对地电容构成)回到电源的中性点形成回路, 当绝缘不良或对地电容较大时构成触电。

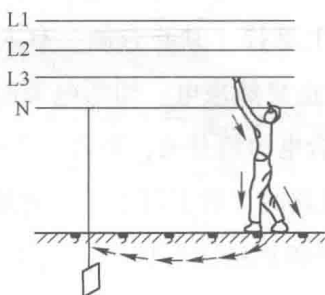


图 1-1 中性线接地的单相触电

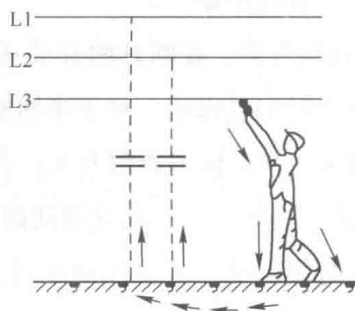


图 1-2 无中性线或中性线不接地的单相触电

3) 接触电压触电如图 1-3 所示, 人体如同电流表一样接入电路, 电流通过人体形成回路, 这是一种很危险的触电方式。

##### (2) 两相触电

两相触电为人体不同部分同时触及带电设备或线路中的两相导体造成的触电方式, 如图 1-4 所示。此时, 无论电网中性点是否接地, 人体受到的均为线电压的作用, 危险比单相触电更大。

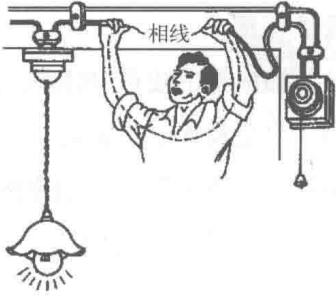


图 1-3 接触电压触电

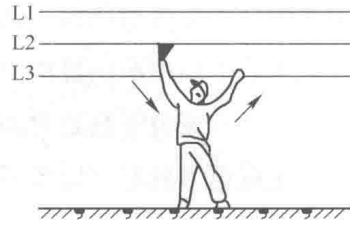


图 1-4 两相触电

## 2. 间接接触触电

### (1) 跨步电压触电

当雷电流入地或高压电线断裂到地时，在导线接地点及周围形成一个由中心逐渐向外减弱的强电场。当人进入断线着地点 8 m 以内的电场时，两脚之间出现的电位差称为跨步电压。在这种电压的作用下，电流从接触高电位的脚流进，从接触低电位的脚流出，从而形成跨步电压触电，如图 1-5 所示。

### (2) 感应电压触电

感应电压触电是指人触及带有感应电压的设备或线路时造成的触电事故。在超高压输电线路和配电装置的周围存在着强大的电场，一些不带电的设备或电路由于电场的作用会产生感应电压，当人触及这些设备或站在电场中时均会造成感应电压触电。

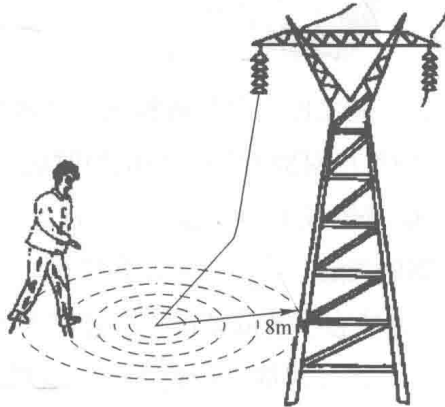


图 1-5 跨步电压触电

## 1.2.2 触电急救

人体触电事故发生后，最关键的一个环节是使触电者迅速脱离电源，然后用正确的方法进行现场救护。因为触电的时间越长，对触电者生命的危害程度就越大。

## 1. 触电者脱离电源的安全注意事项

- 1) 救护人员不得采用金属和其他潮湿的物品作为救护工具。
- 2) 在未采取任何绝缘措施前, 救护人员不得直接接触及触电者的皮肤和潮湿衣服。
- 3) 在使触电者脱离电源的过程中, 救护人员最好用一只手操作, 以防再次发生触电。
- 4) 当触电者站立或位于高处时, 应采取措施防止触电者脱离电源后摔倒或坠落。
- 5) 夜晚发生触电事故时, 应考虑切断电源后的事故照明, 以利于救护。

## 2. 触电者脱离电源的方法

### (1) 脱离低压电源的方法

- 1) 切: 一是指切断电源开关, 二是指用带绝缘柄的工具切断导线。
- 2) 挑: 用绝缘杆、棍、干燥的木棒, 挑开搭落在触电者身上的导线。
- 3) 拉: 救护者用一只手戴上手套(脚底下最好有绝缘物), 将触电者拉脱电源。
- 4) 垫: 触电者感电严重发生痉挛, 又不能立即切断电源时, 可用干燥的木板塞进触电者身下, 使其与地绝缘, 然后再设法切断电源。

### (2) 脱离高压电源的方法

- 1) 停: 以最快的速度停电, 拉开断路器或拉开跌落式熔断器。
- 2) 踢: 当在距地面小于 1 m 的场合下作业, 地面上无石块和利器的条件下, 两个人作业一人触电时, 最快的方法是未触电者跳起来将触电者踢离电源。
- 3) 短: 在保证人身安全的前提下, 救护人员可向架空线上抛掷裸金属软导体, 造成线路短路, 迫使其保护装置动作即开关跳闸而断电。

## 3. 脱离电源后的现场救护

抢救触电者使其脱离电源后, 应立即将其就近移至干燥通风的场所, 要注意切勿慌乱和围观, 并立即按不同情况进行现场对症救护。切记当时的关键是“判别情况与对症救护”, 这样方能使救护工作取得最好的效果。

### (1) 意识、呼吸与心跳情况的判定

1) 触电者若闭目不语, 出现神志不清的情况, 应让其就地仰卧躺平, 且确保气道通畅。可迅即呼叫其名字或轻拍其肩部(时间不超过 5 s), 以判断触电者是否丧失意识。但禁止摇动触电者头部进行呼叫。

2) 若触电者神志昏迷, 丧失意识, 应立即查一查是否有呼吸, 听一听是否有心跳。具体可用“看、听、试”的方法尽快(不超过 10 s)进行判定, 切勿久拖, 如图 1-6 所示。

看——仔细观看触电者的胸部和腹部是否还有起伏动作。

听——用耳朵贴近触电者的口鼻与心房处, 细听其有无微弱呼吸声和心跳声。

试——用手指或小纸条测试触电者口鼻处有无呼吸气流。再用两手指轻按触电者左侧

或右侧喉结旁凹陷处的颈动脉，试其有无搏动，以判定是否还有心跳。

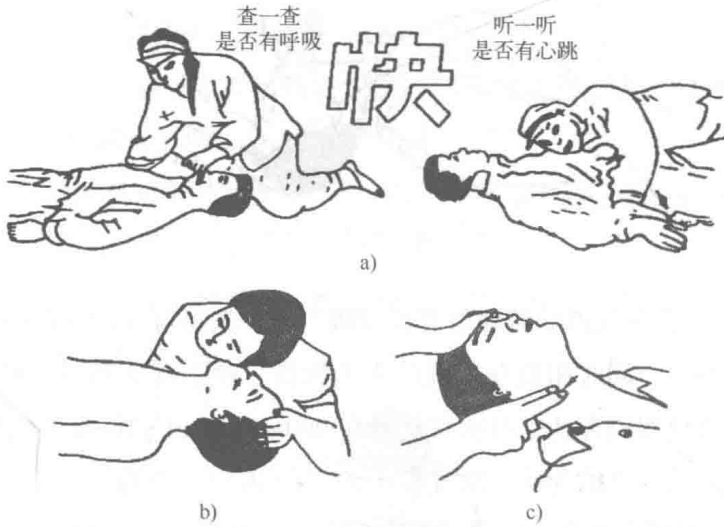


图 1-6 用“看、听、试”的方法判定是否有呼吸与心跳

## (2) 心肺脑复苏的徒手操作

一经确诊，立即清理口腔内的食物、血块及假牙等异物，如图 1-7 所示。



图 1-7 清理异物

1) 打开气道。触电者神志丧失后，全身肌肉张力下降，舌肌松弛，舌根后坠，贴在咽后壁，造成上呼吸道梗阻。所以应先打开气道，以解除上呼吸道梗阻。打开气道的方法有如下三种。

① 仰头抬颈法。救护人员跪或站在触电者头部一侧，一手放在触电者颈后，将其颈部托起，另一手下压前额即可。

② 仰头举颏法。救护人员将一手放在触电者前额下压，另一手食指、中指放在颏部并上提。如图 1-8 所示。

③ 双手拉颌法。救护人员站或跪在触电者头部，用双手固定两侧下颌角，并向上提起。此法适用于疑有颈椎损伤者。

以上三种方法均应使头部充分后仰，使下颌角与耳垂连线和地面垂直。



图 1-8 仰头举颞法

2) 口对口吹气。打开气道后若触电者无呼吸，救护人员应立即深呼吸 2~3 次后，张大嘴严密包绕触电者的嘴，同时用放在前额的手的拇指、食指捏紧其双侧鼻孔，连续向肺内吹气两次，吹后应放松双侧鼻孔，每次吹气量在 900~1100 mL，每分钟吹气 12 次。吹气和放松时应观察胸廓有无明显的起伏。吹气量小于 800 mL 时，会造成通气不足；吹气量大于 1200 mL 时，会使胃内压力增高而导致胃内容物反流，导致上呼吸道梗阻。口对口与口对鼻吹气如图 1-9、图 1-10 所示。



图 1-9 口对口吹气



图 1-10 口对鼻吹气

3) 胸外心脏按压。口对口吹气两次后，应立即检查颈动脉是否搏动，如无搏动，迅速进行胸外心脏按压。

① 按压位置。救护人员以左手食指和中指沿肋弓向中间滑移至两侧肋弓交点处，即胸骨下切迹，然后将食指和中指横放在胸骨下切迹的上方，食指上方的胸骨正中部即为按压区，将另一手的掌根紧挨食指放在患者胸骨上，再将定位之手取下，将掌根重叠放于另一

手手背上，使手指翘起脱离胸壁，也可采用两手手指交叉抬手指。位置错误可能会造成触电者肋骨骨折、肝脏破裂或胃内压力增加而导致胃内容物反流。

② 按压姿势。救护人员双手重叠，两臂伸直，肘关节不得弯曲。身体略向前倾，肩部正对胸骨，用上体的重量垂直下压胸骨。

③ 按压方式。救护人员要有节律地进行，不得中断。按压深度为 3~5 cm，每分钟 80~100 次，下压与放松时间之比为 1:1。

④ 单人抢救法。由一人完成抢救时，按压与吹气之比为 30:2，即每按压 30 次，吹气 2 次，如此循环。如图 1-11 所示。



图 1-11 单人抢救者

⑤ 双人抢救法。由两人完成抢救时，一人进行按压，另一人进行口对口吹气，按压与吹气之比为 5:1，即每按压 5 次，吹气 1 次，如此循环，如两人交换位置或换其他人时，不能打破原有的节律。必要时，按压停止时间不得大于 5 s。双人抢救法如图 1-12 所示。



图 1-12 双人抢救法