

全国中等职业技术学校机械类教材

电工学机械应用实例

王炳大 朱自振 阙梅生 编著

中国劳动社会保障出版社

版权所有

翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

电工学机械应用实例 王炳大主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2002
ISBN 7 - 5045 - 3487 - 0

. 电 ...

. 王 ...

. 电工学 - 应用 - 机械工业

. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 035694 号

中国劳动社会保障出版社出版发行
(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

印刷厂印刷 新华书店经销

787 毫米 × 1 092 毫米 16 开本 8.5 印张 207 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印数: 册

定价: 30.00 元

读者服务部电话: 64929211

发行部电话: 64911190

出版社网址: [http:// www .class .com .cn](http://www.class.com.cn)

内 容 简 介

《电工学机械应用实例》采用全国中等职业技术学校机械类专业基础课程教材《电工学》（第三版）的内容为理论框架，以大量的金属切削、焊接、热处理、电化学加工等工艺，工程机械以及电测技术中的实例，说明电工学的原理及概念在机械工程实际中的广泛应用。全书共九章。内容包括：直流电路、磁与电磁、正弦交流电路、工作机械的基本电气控制线路、照明电路及安全用电、常用半导体器件、放大电路基础、直流稳压电源、常用集成电路等章节的应用实例。

本书有机械应用实例 107 个，实例的内容来自机械工程的实际问题及生产实践中的技术革新。

本书为课堂教学提供了大量的应用实例，不仅适用于中、高等职业技术教育和普通高等教育的机械类专业的师生，也可作为在职培训和职工自学教材。

说 明

电工学是一门专业基础课程。它的基本概念、原理与方法，在金属切削、焊接、热处理、电化学加工以及电测技术中，有着广泛的应用。为了解决电工学课程教学中理论与实际结合问题，让教师和学生手边有一本常可翻阅的参考书，我们继《工程力学机械应用实例》教材后，经过大量资料的搜集、整理和编著，终于完成了《电工学机械应用实例》教材。

《电工学机械应用实例》采用全国中等职业技术学校机械类教材《电工学》（第三版）的理论框架，每章包括理论知识提要、机械应用实例两部分内容。理论知识提要中的基本概念、定律的提法与电工学教材基本一致；机械应用的107个实例，大多选自国内各种机械杂志，实例的内容来自机械工程的实际问题及生产实践中的技术革新。每个实例直接或间接地说明基本概念和定律的应用，有些实例起到了综合教学的作用。各实例既讲述了电工学的基本知识，又对所涉及的相关内容作了简要的说明。凡有*的实例，读者可有针对性地选学。

为了使学生在校期间获取更多的电工学应用知识，建议在理论教学的同时，每堂课向学生介绍1~2个实例，达到学懂基本概念、定律的目的，同时又能提高学生分析和解决实际问题的能力。

本书第一至第三章由常州技术师范学院阙梅生撰写，第四至第九章由常州信息职业技术学院朱自振撰写，全书由宝钢集团常州冶金机械厂技校王炳大提供实例并担任主编，常州长江客车集团工矿车辆有限公司黄冠群审稿。

由于经验与水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者提出批评和建议。

目 录

| | |
|-------------------------------------|--------|
| 第一章 直流电路..... | (1) |
| 理论知识提要..... | (1) |
| 机械应用实例..... | (3) |
| 一、电路及基本物理量..... | (3) |
| 例 1—1 电接触电阻加热切削 | (4) |
| 例 1—2 电解加工 | (4) |
| 例 1—3 刷镀新技术及其应用 | (5) |
| 例 1—4 硬质合金机夹刀片的电解烙印 | (6) |
| 例 1—5 通断电路法测量长导轨弯曲度 | (6) |
| 例 1—6 金属镜面电解研磨 | (7) |
| 例 1—7 电阻焊及其电路 | (8) |
| 例 1—8 电阻应变仪的惠斯登电路 | (10) |
| 二、欧姆定律、电阻的串联、并联及其应用..... | (11) |
| 例 1—9 焊接电缆线对焊接的干扰 (例一) | (11) |
| 例 1—10 电镀槽中的漏电电阻 | (12) |
| 例 1—11 用万用电表诊断电动机轴承损坏的方法 | (13) |
| 例 1—12 电阻式传感器——位移计 | (13) |
| 例 1—13 MF50 型万用表测量原理 * | (14) |
| 例 1—14 用 MF50 万用表测量电阻 * | (17) |
| 三、电功与电功率..... | (18) |
| 例 1—15 电接触淬硬 | (18) |
| 例 1—16 节电的铝阴极板 | (19) |
| 例 1—17 点焊焊接区的析热量 | (19) |
| 四、基尔霍夫定律..... | (20) |
| 例 1—18 惠斯登电桥电路分析及其应用 * | (20) |
| 第二章 磁与电磁..... | (23) |
| 理论知识提要..... | (23) |
| 机械应用实例..... | (25) |
| 一、电流的磁场及磁场对电流的作用..... | (25) |
| 例 2—1 利用电流的磁效应检测异步电机笼型转子的制造质量 | (25) |
| 例 2—2 带磁磨削新工艺 | (25) |
| 例 2—3 电磁无心夹具的应用 | (26) |

| | | |
|------------------------|-------------------------|--------|
| 例 2—4 | 回转磁盘 | (27) |
| 例 2—5 | 电磁铁式磁化器电路 | (27) |
| 例 2—6 | DZM 系列干式多片电磁制动器 | (28) |
| 例 2—7 | 电磁吸盘的工作原理 | (29) |
| 例 2—8 | 电磁振荡小型油泵 | (29) |
| 例 2—9 | 电磁式激振器和振动台 * | (30) |
| 二、磁化与磁性材料..... | | (31) |
| 例 2—10 | 刀具的磁化处理机理 | (31) |
| 例 2—11 | 巧除小盲孔中铁屑的方法 | (32) |
| 例 2—12 | 磁性防漆端盖 | (33) |
| 例 2—13 | 磁性垫块找正工件 | (33) |
| 例 2—14 | 内螺纹对刀样板磁力座 | (33) |
| 例 2—15 | 磁性钻模 | (33) |
| 例 2—16 | 铜铁屑分离机 | (34) |
| 三、电磁感应定律..... | | (35) |
| 例 2—17 | 燃气点火装置 | (35) |
| 例 2—18 | 机械振动测量的电磁感应式速度传感器 * | (35) |
| 第三章 正弦交流电路..... | | (38) |
| 理论知识提要..... | | (38) |
| 机械应用实例..... | | (40) |
| 一、单相交流电路..... | | (40) |
| 例 3—1 | 电容式传感器——非接触式位移传感器 | (40) |
| 例 3—2 | 气隙式电感传感器 | (41) |
| 例 3—3 | 焊接电缆线对焊接的干扰 (例二) | (42) |
| 例 3—4 | 点焊机中的焊接回路 | (43) |
| 二、涡流与集肤效应..... | | (44) |
| 例 3—5 | 涡流在设备维修中的应用 | (44) |
| 例 3—6 | 高频热点校直法 | (45) |
| 例 3—7 | 涡流型非接触式位移传感器 * | (45) |
| 三、变压器..... | | (47) |
| 例 3—8 | 用钳形电流表检修机器 | (47) |
| 例 3—9 | 中温插入式盐浴炉改成埋入式盐浴炉 | (48) |
| 例 3—10 | 差动变压器位移计 | (49) |
| 例 3—11 | 弧焊变压器 | (50) |
| 例 3—12 | 阻焊变压器 | (51) |
| 例 3—13 | 二进制变压器 * | (53) |
| 第四章 工作机械的基本电气控制线路..... | | (56) |
| 理论知识提要..... | | (56) |
| 机械应用实例..... | | (57) |

| | |
|---|--------|
| 一、三相笼型异步电动机..... | (57) |
| 例 4—1 机械零件磨削后的旋转磁场退磁法 | (57) |
| 例 4—2 SD120F 电动磨头 (电主轴) | (58) |
| 例 4—3 异步电动机 / Y 换接节电原理及其换接器 | (58) |
| 例 4—4 合理选取异步电动机的功率 | (60) |
| 二、常用低压电器..... | (61) |
| 例 4—5 简单实用的电阻炉熔断器熔断报警电路 | (61) |
| 例 4—6 机床照明电路的热继电器保护 | (62) |
| 例 4—7 机床行程开关控制电路的改进 | (62) |
| 例 4—8 磨床工件退磁电路的时间继电器控制电路 | (63) |
| 例 4—9 交流电接触表面淬硬工艺及其电路图 | (64) |
| 例 4—10 丝锥润滑供油装置的时间继电器控制电路 | (65) |
| 例 4—11 控制电动平口钳夹紧力的过电流继电器保护电路 | (65) |
| 三、三相笼型异步电动机的启动控制线路..... | (66) |
| 例 4—12 三相笼型异步电动机的 Y— 启动法及其控制线路 | (66) |
| 四、三相笼型异步电动机的正反转控制线路..... | (67) |
| 例 4—13 台式钻床可逆控制电路的改进 | (67) |
| 例 4—14 新型攻丝器的正反转控制线路 | (68) |
| 例 4—15 SSX— 型线切割机床卷丝电机控制电路的改进 | (69) |
| 例 4—16 块规研磨机正反转自控装置 | (69) |
| 五、三相笼型异步电动机的制动控制线路..... | (70) |
| 例 4—17 C616 型车床机械制动装置及其延时控制电路 | (70) |
| 例 4—18 C616 型车床加装能耗制动装置 | (71) |
| 六、工作台的限位和自动往返控制线路..... | (72) |
| 例 4—19 防止机械动力滑台失控的“或”路电气控制线路 | (72) |
| 七、几种工作机械的电气控制线路简介..... | (73) |
| 例 4—20 JC23—6 型冲床实现点动 (单次动作) 控制线路 | (73) |
| 八、常见故障及简易处理方法..... | (74) |
| 例 4—21 机床电气故障分析及检修技巧 | (74) |
| 第五章 输配电、照明电路及安全用电..... | (76) |
| 理论知识提要..... | (76) |
| 机械应用实例..... | (77) |
| 一、常用照明电路..... | (77) |
| 例 5—1 照明灯的多地控制 | (77) |
| 例 5—2 路灯自动合闸装置 | (77) |
| 二、安全用电..... | (79) |
| 例 5—3 照明变压器绕组保护装置 | (79) |
| 例 5—4 触电保安器 | (80) |
| 例 5—5 手持电动工具安全保护装置 | (81) |

| | |
|-------------------------------------|---------|
| 例 5—6 家用电器漏电保安插座 | (82) |
| 第六章 常用半导体器件..... | (84) |
| 理论知识提要..... | (84) |
| 机械应用实例..... | (86) |
| 一、半导体二极管和三极管..... | (86) |
| 例 6—1 延长行车指示灯的使用寿命 | (86) |
| 例 6—2 延长机床指示灯的使用寿命 | (86) |
| 例 6—3 电热毯温度控制电路 | (87) |
| 例 6—4 电磁摆 | (87) |
| 例 6—5 冲床光电安全保护装置 | (88) |
| 二、晶闸管..... | (89) |
| 例 6—6 晶闸管用于家用调光台灯电路 | (89) |
| 例 6—7 简易多地控制开关 | (90) |
| 例 6—8 晶闸管电抗式矩形波交流弧焊电源 * | (90) |
| 第七章 放大电路基础..... | (92) |
| 理论知识提要..... | (92) |
| 机械应用实例..... | (94) |
| 例 7—1 晶体管化汽车点火系统 | (94) |
| 例 7—2 光电控制的塑料拉丝机断丝自动停车装置 | (95) |
| 例 7—3 印刷机传送带纸张折角的自动检测装置 | (96) |
| 例 7—4 水箱水位控制装置 | (96) |
| 例 7—5 半导体扩音器前置放大级基本电路 | (97) |
| 例 7—6 电机轴承侦听器 | (98) |
| 例 7—7 C1318 型单轴六角车床紧急自动停车装置电路 | (99) |
| 例 7—8 锭子测振仪 | (99) |
| 第八章 直流稳压电源..... | (101) |
| 理论知识提要..... | (101) |
| 机械应用实例..... | (105) |
| 一、整流电路和滤波电路..... | (105) |
| 例 8—1 刀具脉冲磁化机 | (105) |
| 例 8—2 M7120 型平面磨床电磁工作台电气线路 | (105) |
| 例 8—3 局部镀镍修复磨损的机械零件 | (106) |
| 例 8—4 电焊机在电火花加工中的应用 | (106) |
| 例 8—5 B208J 型刨床刀架自动抬刀控制线路..... | (107) |
| 例 8—6 小型电火花机 | (108) |
| 例 8—7 弧焊变压器遥控装置 | (110) |
| 二、稳压电路..... | (110) |
| 例 8—8 弧焊电源的防电击节电装置 | (110) |
| 例 8—9 金属表面电火花强化及其电源 | (111) |

| | |
|-------------------------------|-------|
| 第九章 常用集成电路* | (114) |
| 理论知识提要 | (114) |
| 机械应用实例 | (117) |
| 例 9—1 用三种基本逻辑门电路组成的全加器 | (117) |
| 例 9—2 焊接模拟器 | (118) |
| 例 9—3 555 时基电路构成的水平监视仪——地震监测仪 | (120) |
| 例 9—4 铣床靠模杆 555 定时器警报电路 | (120) |
| 例 9—5 甬道照明灯定时控制电路 | (121) |
| 例 9—6 绝缘检测器在龙门刨床上的应用 | (122) |
| 主要参考文献 | (124) |

第一章 直流电路

理论知识提要

1. 基本概念

电路 电流流经的路径称为电路。一般电路由电源、负载、开关和连接导线组成。

通路 电路构成闭合回路，有电流通过。

开路 电路断开，电路中无电流通过。开路也称断路。

短路 电源未经负载而直接由导体构成闭合回路。一般不允许短路。

负载 把电能转换成其他形式能量的装置。如电灯、电热丝和电动机等。

2. 基本物理量

电流 I 单位时间内通过导体横截面的电荷量，称为电流。其表达式：

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

式中 I —— 电流 (A);

Q —— 电荷量 (C);

t —— 时间 (s)。

电流密度 J 导体单位横截面上的电流。其表达式：

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-2)$$

式中 J —— 电流密度 (A/mm^2);

I —— 电流 (A);

S —— 导体横截面积 (mm^2)。

电压 U_{AB} (又称电位差

C 的电荷从点 A 移到点 B 所做的功。其表达式：

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-3)$$

式中 U_{AB} —— 电压 (V);

W_{AB} —— 电场力从 A 点到 B 点所做的功 (J);

Q —— 电荷量 (C)。

电动势 E 在电源内部非电场力将单位正电荷从电源的负极移动到电源正极所做的功。其表达式：

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

式中 E —— 电动势 (V);

W —— 电场功 (J);

Q ——电荷量 (C)。

电位 U_A 电路中某点 A 与参考点之间的电压。通常把参考点的电位规定为零电位。电位的单位：伏，以符号 V 表示。

电阻 R 表示物体对电流阻碍作用大小的物理量。其单位：欧，以符号 Ω 表示。导体的电阻大小与材料性质、几何尺寸和温度有关。其计算表达式：

$$R = \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中 L ——导体的长度 (m)；

S ——导体的横截面积 (m^2)；

ρ ——电阻率，电阻率是长度为 1 m、截面积为 1 mm^2 的导体的电阻值，它是与材料性质有关的物理量 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

3. 基本电路定律

部分电路欧姆定律
$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中 I ——导体中的电流；

U ——导体两端的电压；

R ——导体的电阻。

全电路欧姆定律
$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-7)$$

式中 E ——电源电动势；

R ——负载的电阻；

r ——电源内电阻；

I ——电路中的电流。

基尔霍夫第一定律 (节点电流定律)
节点的电流之和，即

$$I_{\text{进}} = I_{\text{出}} \quad (1-8)$$

基尔霍夫第二定律 (回路电压定律) ，各段电路上电压降的代数和恒等于零，即

$$U = 0$$

或
$$E = IR \quad (1-9)$$

4. 电阻的串联、并联和混联

串联 两个或两个以上电阻依次连接的连接方式。

并联 两个或两个以上电阻接在电路中相同的两点之间，承受同一电压的连接方式。

混联 既有电阻串联又有电阻并联的电路。

串联电路的性质

$$\begin{aligned} I &= I_1 = I_2 = \dots = I_n \\ R &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \\ U &= U_1 + U_2 + \dots + U_n \end{aligned} \quad (1-10)$$

并联电路的性质

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-11)$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

5. 电功、电功率和焦耳—楞次定律

电功 电流流过负载所做的功。其表达式：

$$W = UQ = IUt = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R} \quad (1-12)$$

式中，电功的单位：焦，以符号 J 表示。

电功率 电流在单位时间内所做的功。其表达式：

$$P = \frac{W}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-13)$$

式中，电功率的单位：瓦，以符号 W 表示。

电能 衡量电气设备用电量的物理量，可用电能表计量。其常用单位：千瓦时（俗称度），以符号 kW·h 表示。度与焦的换算关系为

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦} \cdot \text{时} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

电流的热效应 电流流过导体使导体发热的现象，称为电流的热效应。

焦耳—楞次定律

$$Q = I^2 R t \quad (1-14)$$

式中 Q ——产生的热量，J；

I ——电流，A；

R ——电阻， Ω ；

t ——时间，s。

6. 电路中正方向的规定

电路中的电流、电压和电动势都是既有大小，又有方向的量。

电流的方向 正电荷移动的方向。

电压的方向 由高电位指向低电位。

电动势方向 在电源内部由低电位指向高电位，即由负极指向正极。

在分析电路或解题时，常常是事先不知道电流、电压的实际方向，可先任意假定它们的方向（即规定正方向、参考方向），列方程求解。若解得结果为正值，则说明实际方向与假定方向一致；若解得结果为负值，则说明实际方向与假定方向相反。

7. 求解复杂直流电路的一般方法——支路电流法

所谓支路电流法是以各支路电流为未知数，利用基尔霍夫第一、第二定律列出电路方程组，并求解方程组的方法。

* * * * *

机械应用实例

一、电路及基本物理量

在金属切削、焊接、热处理、电化学加工以及电测试中广泛应用的供电装置、变压器、

放大电路、整流器、控制电路、集成电路以及电测仪器等，构成了各式各样简单或者复杂的电路。本节介绍一些工程中应用的简单电路实例。通过实例，正确理解电路中基本物理量的概念，初步了解如何从实际问题中抽象出电路并画成电路图。

例 1—1 电接触电阻加热切削

根据电流的热效应，采用对工件切削区局部加热进行加工的方法，称为电接触电阻加工方法，该方法应用在某些材料的加工中取得了较好的效果。

电接触电阻加热切削的工作原理：如图 1—1a 所示，在特制的车床加长法兰盘上，镶有可导电的铜环，它和引入电流的碳刷 1 滑动接触，刀具 3 由环氧树脂板与机床绝缘。降压变压器 4 的作用是使回路获得一个低电压大电流。当电流流经碳刷 1、工件 2 和刀具 3 时，因工件与刀尖接触区的面积小，接触电阻 R 较大，大电流流过此接触电阻时的热效应使接触微区得到局部加热，工件材料硬度降低。电流表 6 用以指示加热电流的大小。调压器 5 可改变加热电压和电流的大小，从而控制切削区的温度。电接触电阻加热切削的电路图如图 1—1b 所示，图中 R 为工件与刀具刀尖的接触电阻。

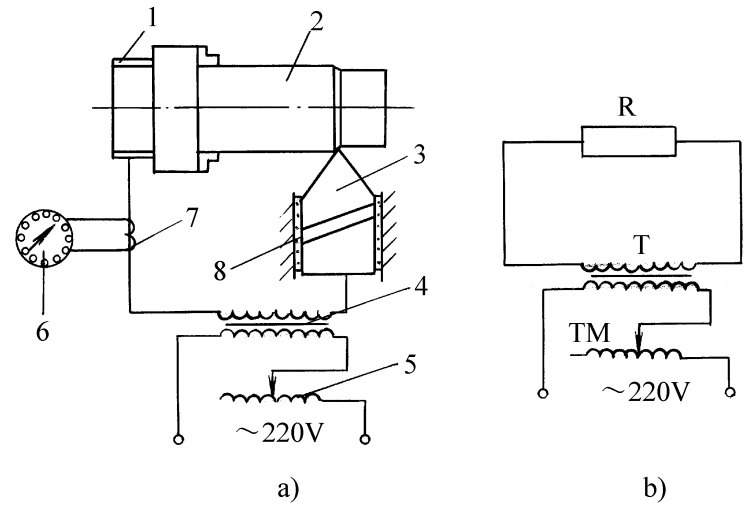


图 1—1 电接触电阻加热切削的工作原理
1—碳刷 2—工件 3—刀具 4—降压变压器
5—调压器 6—电流表 7—电流互感器 8—绝缘材料

电接触电阻加热切削的电路图如图 1—1b 所示，图中 R 为工件与刀具刀尖的接触电阻。

电接触电阻加热具有设备简单、造价低、通用性好、调节操作方便、热量集中能量消耗少、效率高、无光 and 高温辐射危害以及热变形影响小等优点。但此方法不宜作断续表面和非导体的加工。

电接触电阻加热切削冷硬铸铁工件时，切屑挤裂成带状，切削明显轻快且不易产生振动，表面粗糙度有所改善，刀具寿命明显提高。YT15 硬质合金刀具切削时效果最好，刀具寿命提高了许多倍。

例 1—2 电解加工

电解加工又称为电化学加工，它是利用金属在电解液中受到电化学腐蚀，更确切地说是靠电化学阳极溶解的作用将工件加工成形的加工方法。图 1—2a 所示是电解加工过程示意图。加工时，工件接在直流电源的正极，称为阳极；工具接直流电源的负极，称为阴极。两极之间的电压通常为 $6 \sim 24 \text{ V}$ ，两极之间保持一定的距离，称为加工间隙（一般为 $0.1 \sim 1 \text{ mm}$ ）。含有带电粒子的电解液以很高的速度（ $5 \sim 60 \text{ m/s}$ ）从两极之间流过，形成液态电流通路，在电源电压的作用下两极之间产生电流。由于电流的作用，工件 3（阳极）表面金属，就按工具阴极 2 的形状不断地产生电化学反应，而溶解到电解液中去，即产生电化学阳极溶解。电解的产物随即被高速流动的电解液带走。这样，工具阴极不断地向工件进给，工件表面金属不断地溶入电解液，直到工件的加工尺寸和形状符合要求为止。电解加工的电路可抽象为图 1—2c 所示的电路图。图中， $R_{液}$ 为电解液的电阻，即电路的负载电阻。

在加工间隙内金属溶解的速度，与单位时间内通过进给方向横截面上（加工间隙）的带电粒子（电量）多少有关，即与液态电流通路的电流密度有关。

电解加工成形的原理：如图 1—2b 所示，在加工刚开始时，工件毛坯的形状和阴极是很

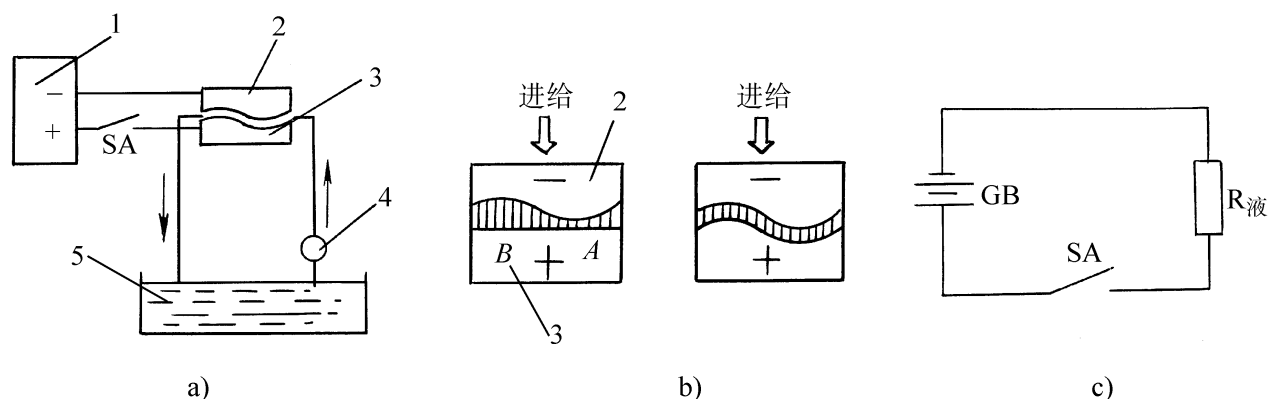


图 1—2 电解加工及其电路图

a) 电解加工过程示意图 b) 电解加工成形原理图 c) 电路图

1—直流电源 2—工具阴极 3—工件阳极 4—电解液泵 5—电解液

不一致的（图 1—2b 左图）。根据流体力学的伯努利定理，间隙截面小处电解液流速大，而间隙截面大处电解液流速小。在间隙截面小处，单位时间内与流速相垂直的截面上通过的带电粒子多，两极间电流密度大。所以，在两极间隙小的 A 处，电流密度大，金属溶解速度快；在两极间隙大的 B 处，电流密度小，金属溶解速度慢。由于工具阴极不断进给，工件阳极形状就逐渐地趋向于和阴极表面形状相似（图 1—2b 右图）。

工具阴极和工件阳极之间的间隙是液体电流的通道，如果间隙为零，就会形成电流短路，造成电源损坏，这是不允许的。

例 1—3 刷镀新技术及其应用

刷镀新技术可用来修复机械零件，具有设备简单、工艺灵便、镀积速度快、镀层种类多、结合强度高、镀层一般不需机械加工、对环境污染小和节水省电等优点，因而应用范围广，经济效益高，尤其对于大型机械设备不能解体的局部修理或野外抢修更有实用价值。

刷镀的工作原理如图 1—3a 所示。

刷镀与一般电镀不同，不用镀槽，它是用石墨作为阳极，石墨外面包上棉花和涤棉套构成镀笔。镀笔 4 接电源正极，工件 1 接电源负极。刷镀时，靠浸满刷镀溶液的镀笔在工件需要镀层的表面上，以一定的相对运动速度刷抹而获得镀层。镀层的形成，在本质上和槽镀相同，就是镀液中的金属离子在电场力作用下向阴极（工件）

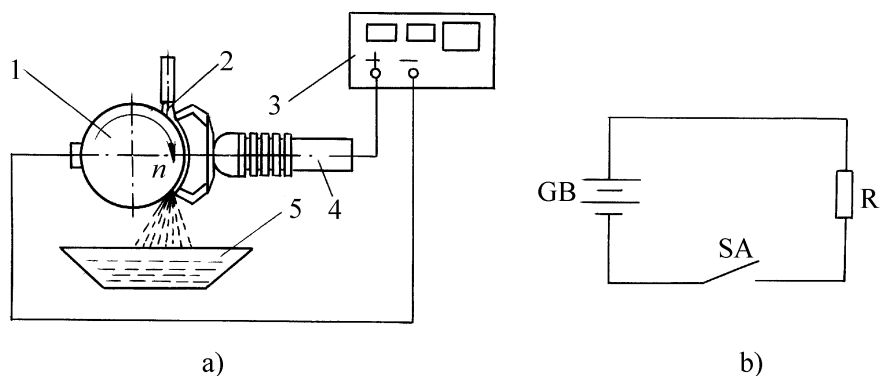


图 1—3 刷镀工作原理

a) 刷镀工作原理图 b) 电路图

1—工件 2—镀液 3—电源 4—镀笔 5—盘子

运动，在阴极上得到电子还原成原子，并按一定的顺序结晶的过程。但在刷镀时，由于镀笔和工件有相对运动，因此，零件被镀表面不是同时发生金属离子的还原结晶，而仅仅是在镀笔和工件相接触的部位发生瞬时放电结晶。这样就克服了槽镀过程中阴极区金属离子贫乏现象，氢气也容易逸出。

刷镀比槽镀的电流密度大十几倍到几十倍，金属离子浓度大十倍到二十倍，使刷镀的刷积速度比槽镀快五倍到五十倍，且镀层均匀、致密、结合良好。刷镀层厚度可以由 $1\ \mu\text{m}$ 到 $1\ \text{mm}$ ，修复划伤时，镀层可达 $2\sim 3\ \text{mm}$ 。

刷镀的电路图如图 1—3b 所示。读者可以思考一下，该电路图中负载 R 是什么？能量

主要消耗在什么地方？

例 1—4 硬质合金机夹刀片的电解烙印

对硬质合金材料制作的机夹刀片进行刻印，由于它的硬度高，一般金属的刻印方法并不适用。若采用电解烙印方法，就能使之字迹清晰美观，且加工效率高。

电解烙印属电化学加工，其特点：

- (1) 通用性好，能导电的各种金属几乎都能电解烙印；
- (2) 烙印硬度高又能耐腐蚀的零件；
- (3) 烙印时无冲击力、挤压力和高温损害；
- (4) 烙印深度可控制在 0.005 ~ 0.05 mm 范围内；
- (5) 使用设备简单、操作方便。

电解烙印的原理：如图 1—4a 所示，电解烙印是在工件需要印字之处被电化学腐蚀而显现字迹的方法。使用直流电或交流电均可（直流电效果更好些）。工件 2 接正极，石墨导电轮 4（外层包吸有电解液的泡沫层）接负极。工件与石墨导电轮之间隔有蜡纸印字板 3，能低压绝缘。烙印时，低压电流从正极经金属导电板 1、工件 2、印字板 3（其印字处可穿透），通过石墨导轮至负极，构成闭合回路。当导轮 4 在印字板上滚动时，电解液及低压电流流经印字板穿透的刻字部分，可对工件电化学腐蚀烙字，一瞬间即可将刀片按字迹腐蚀 0.005 ~ 0.05 mm 深。

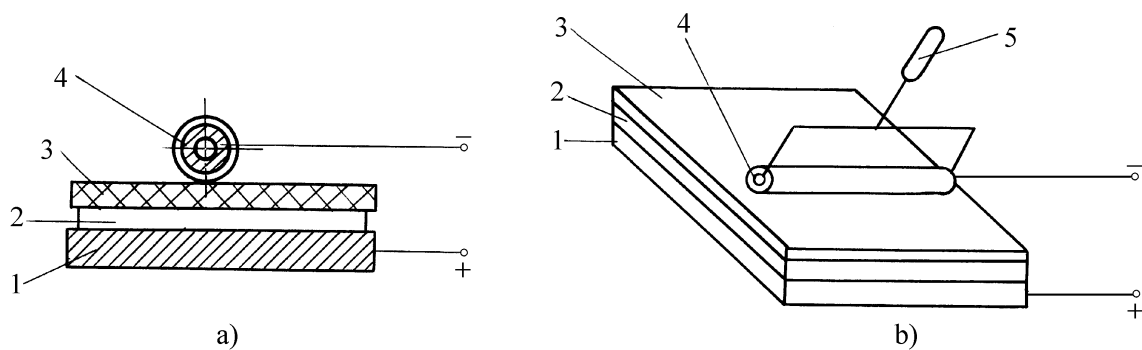


图 1—4 电解烙印的原理

1—金属导电板 2—工件（刀片）

电解烙印机结构简单，可用旧油印机改制，如图 1—4b 所示。将油印机的玻璃板改换成表面镀铬的平直钢板（能导电、耐腐蚀、粗糙度低于 $R_a0.8$ 的金属导电板），钢板经导线接电源正极。蜡纸框架不必改动，印字板被压在细丝网下面。原油墨滚轮改成石墨导电滚轮（泡沫层，用布包缝几层）经导线接电源负极。请读者画出电解烙印的电路图，并指出它的负载电阻 R 是什么。

例 1—5 通断电路法测量长导轨弯曲度

V 形导轨的基本精度指下列几点：(1) 垂直平面内不直度；(2) 垂直平面内不平行度；(3) 水平面内不直度（弯曲度）。前两项均可用水平仪测定，而长导轨在水平面上的弯曲度，如果在机床修理或安装过程中不做测定或测定不当，则有可能给加工质量带来严重影响。

用光学平直仪测量导轨弯曲度时，可用图 1—5a 所示的装置。先将微分读数筒 5 转到侧面，当移动装有反射镜 2 的 V 形桥板 3 时，就可进行逐段测量，其读数所反映的情况将是桥板的倾角的变化，通过一系列计算，即可测得弯曲度。某些中小厂因设备条件限制，而不能用光学平直仪测定此项精度，可采用钢丝通断电路法来测量导轨的弯曲度。

通断电路法测量装置及电路图如图 1—5b 所示。它由 V 形桥板 3、夹板 6（固定在桥板上但与桥板绝缘）、钢丝 7、百分尺 8（固定在夹板上）、电池 GB（3~4.5 V）、耳机 9（内阻 1 500 或 2 000 Ω ）与 V 形导轨 4 等组成。电路的一端接在百分尺上，另一端接在桥板上，钢丝安装在 V 形导轨的两端，钢丝与导轨不绝缘。

当移动桥板时，百分尺触头与钢丝稍有接触，电路构成闭合回路。回路有一微电流通过，耳机立即发出“啪、啪”的响声。此时即可读数，重复试验测量，读数稳定性在 0.01 mm 以内。要想进一步提高测量时的灵敏度，可在百分尺触头上加装一个铜制的刀口触头，如图 1—5c 所示。

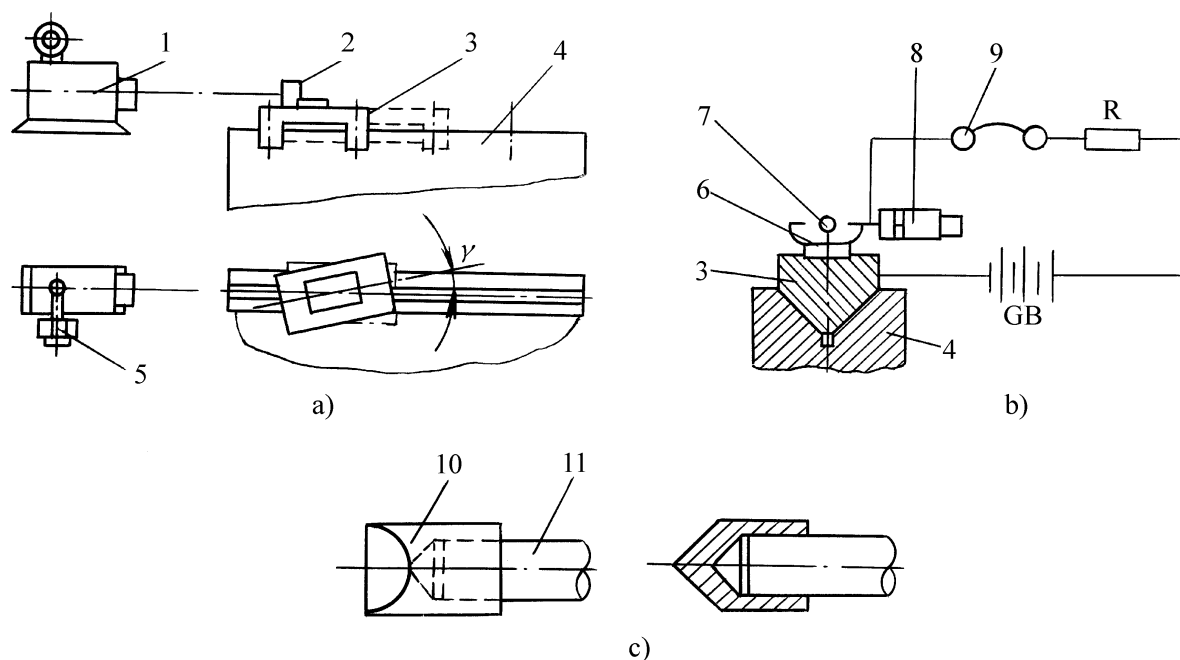


图 1—5 电路通断法测量长导轨弯曲度

a) 光学平直仪测量导轨弯曲变形 b) 通断电路法测量装置

1—光学平直仪 2—反射镜 3—V 形桥板 4—被测导轨 5—微分读数筒
6—夹板 7—钢丝 8—百分尺 9—耳机 10—刀口触头 11—百分尺杆

例 1—6 金属镜面电解研磨

金属镜面是指表面粗糙度 $Ra0.012 \sim 0.006$ 的金属零件表面，能像镜子一样，照出人像或物像。这种表面在某些零件上是必需的，例如，在零件的运动接触面上用来降低摩擦力，在要电镀的表面用来加强附着性。

金属镜面加工的传统方法，是要经过切削、粗磨削、精磨削、研磨或抛光等多道工序，工作量大、效率低、成本高，常常需要熟练的技术工人，且加工出的镜面难免有磨粒造成的条痕或点痕等微小缺陷存在。为此，开发了一种新工艺电解研磨，它已在生产中应用，取得了显著的技术经济效益。

电解研磨是利用金属的电解作用和磨料的机械摩擦作用，对工件进行加工。加工方式根据磨料是否粘固在工具上而分为固定磨料加工和游离磨料加工两大类。加工表面主要是平面、内圆面和外圆面。

下面以平面加工为例介绍电解研磨原理：图 1—6 所示为电解研磨加工系统示意图。工件 1 通过压力装置固定安装在移动的工作台 2 上，工件 1 与直流电源的正极连接，工具电极 5 安装在转动的机床主轴 10 上，工具电极 5 与直流电源的负极连接。

工具电极的形状如图 1—7 所示，其端面为金属圆盘，四个象限各固定一块扇形的粘有

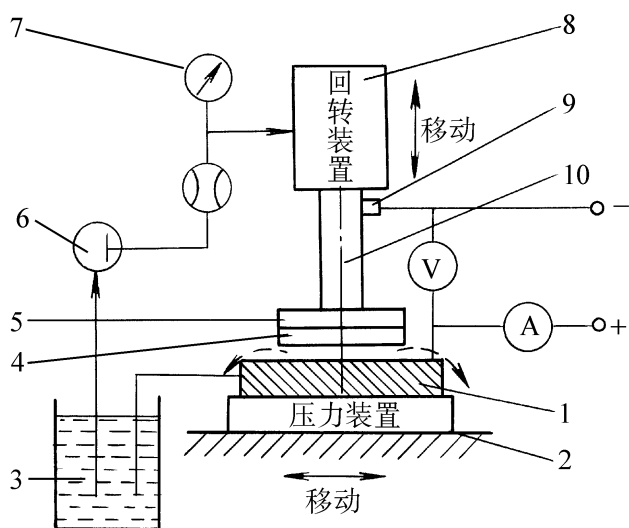


图 1—6 金属镜面电解研磨加工系统

- 1—工件 2—工作台 3—电解液
4—研磨材料 5—工具电极 6—泵 7—流量表
8—回转装置 9—电刷 10—机床主轴

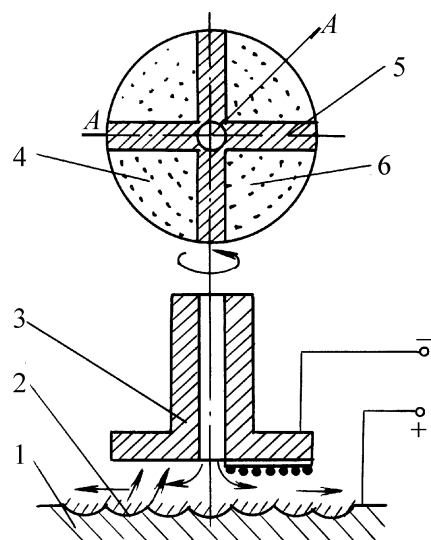


图 1—7 工具电极

- 1—工件 2—钝化膜 3—通电电极 4—工具电极
5—通电电极面 6—研磨材料

磨料的非织布（砂布）或磨石，四块研磨材料之间露出十字形的金属面作为通电电极面。电解液采用钝化性的硝酸钠水溶液，也可根据需要加入适当的添加剂。加工时，用泵将电解液从盛液槽中抽出，通过工具电极的中心孔喷出，流往工具电极与工件之间的间隙中，然后通电。硝酸钠水溶液一方面能够导电，使工件表面发生电化学溶解（电解）；另一方面，又使工件表面产生一层几乎不导电的钝化膜，在一定条件下阻止了该处表面发生电解。由于电极转动，研磨材料上的磨粒只将工件表面轮廓上凸出部分的钝化膜磨掉，仅仅使凸出部分的金属导电而进行电解，凹下部分的金属仍被钝化膜保护着，不进行电解，所以金属表面轮廓很快就变为平滑。

这种新工艺与传统的电解抛光相比较，工件都是同样的不锈钢制品，表面经过切削，粗糙度为 $R_a0.8$ ，采用新工艺仅 3 min 可将它加工到 $R_a0.012$ ，而传统的电解抛光用 7 min 只能加工到 $R_a0.4$ ，且再继续加工，也很难使表面粗糙度降低。

加工零件的内圆面或外圆面的原理与上述相同，只是加工机床和工具电极的形状有所不同。请读者画出电路图，并说明负载是什么？电源的功率主要消耗在哪里？

例 1—7 电阻焊及其电路

焊接作为一种基本加工方法，应用很广。电阻焊是由点焊、对焊和对接缝焊等组成的一类焊接方法。以点焊为例，图 1—8a 为一台通用的点焊机，它由加压机构 1、冷却系统 8 和机身 7 组成机械部分；焊接回路 2、阻焊变压器 3、主电力开关 5、功率调节机构 4 和控制系统 6 等组成电气部分。点焊机的机械装置主要是加压机构。

点焊原理：焊件 9 装配成搭接接头，并压紧在两电极 10 之间，利用电流的热效应，在电流通过接头的焊接区产生的电阻热，直至使焊件内部形成一定尺寸的熔化核心（熔核）为止；然后，切断电源、冷却、去除压力，焊件间即靠此焊点（熔核）形成牢固的接头。电阻焊曾称为接触焊。

电阻焊过程的物理本质，是利用焊接区金属本身的电阻热和大量塑性变形能量，使两个分离的金属表面的原子之间接近到晶格距离，在结合面上产生足够量的共同晶粒而得到焊点、焊缝

——机械(力)作