

电 镀 工 作 常 用 計 算

謝 榮 增 編 著



机械工业出版社

內容提要 本書講解電鍍工作中的常用計算，較有系統地介紹了電學、電化學、零件表面積、電流強度、鍍層厚度、電鍍時間等計算。除實例豐富外，還附有一些現場實用資料。可供四級以上電鍍工作為學習材料。

編著者：謝榮增

NO. 1833

1958年7月第一版 1958年7月第一版第一次印刷
787×1092¹/₃₂ 字數40千字 印張1³/₄ 0,001—15,100冊
機械工業出版社(北京東交民巷27號)出版
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第008號

統一書號T15033·1014
定 價 (9) 0.22 元

目 次

一	电解和电镀	2
二	电学计算	4
三	电化学计算	16
四	零件表面面积和电流强度的计算	25
五	镀层厚度和电镀时间的计算	32
六	沉积速率的计算	36
七	设备生产能力的计算	39
八	溶液配制校正的计算	43
九	材料消耗和车间动力的计算	51

一、电解和电镀

假如在任何电解质的溶液里插入两根互不连接的金屬棒，把直流电源跟这两根金屬棒联接起来，电流就会从溶液通过，并且在金屬棒面上产生化学变化，这种现象叫做电解。

跟直流电的正極相联的金屬棒，叫做电解时的陽極；跟直流电負極联接的金屬棒，就叫做陰極。电解质（溶液）里运输电流的东西叫做离子。走向陽極的叫做陰离子；走向陰極的叫做陽离子。由于直流电的作用，作为陽極的金屬棒上的电子被不断移出經過電池而流向作为陰極的金屬棒。結果使陽極上的电子不足而本身变为帶有正电性，陰極上就相反地因此积聚着过多的电子而变为帶有負电性。溶液里帶正电的陽离子，为帶正电性的陽極所排斥，同时为帶負电性的陰極所吸引而向陰極移动。溶液里帶負电的陰离子，由于相似的道理，而向陽極移动（圖1）。移向陰極的陽离子在陰極表面上和多余的电子結合而本身变为中性的原子；移向陽極的陰离子就把本身的电子給予陽極而本身也化为中性的原子。在直流电的作用下，这些离子在两个電極上的去电变化繼續不断地进行。这就是电解最概括的概念。

由于陽离子和陰离子分別在電極上去电，所以發生了化学变化。但是这些化学变化只發生在两个電極和溶液的交界部分，并不在溶液的其他部分發生。如浸在淡硫酸溶液里的兩片鉑片分別作为陰極和陽極而进行电解，可以观察到在兩片鉑片表面都有气体發生。在陰極上产生的气体是氫气，在陽極上产生的是氧气，可以用玻璃筒收集檢驗証明（圖2）。

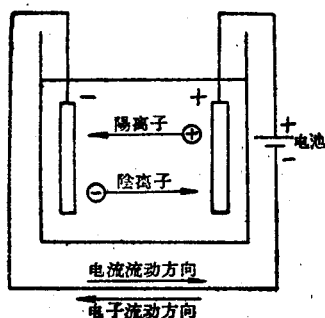


圖 1 电解示意图。

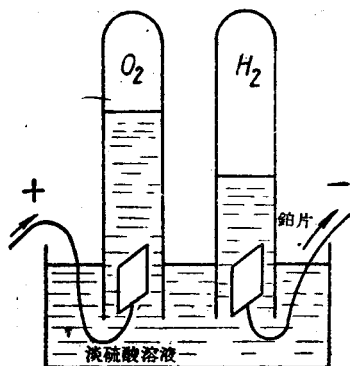


圖 2 簡單的电解試驗。

在陰極上的反应为: $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$
 氫离子 电子 氫气
 (陽离子)

在陽極上的反应为: $2\text{OH}^- - 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$
 氫氧根 电子 水 氧氣
 离子
 (陰离子)

假如我們在上述的淡硫酸溶液里溶入硫酸銅的結晶后再行电解，那末电解开始后不久我們就可以看到陰極变为紅色（銅鍍上去了），而氫气几乎完全停止發生。以后繼續不断进行着銅的沉积来代替發生氫气，在陽極上則仍然进行着氧气的發生。所以电解溶液的成分，对电解时發生的化学变化起着决定性的影响。

假如我們把作为陽極的鉑片移去，換上一片銅片作为陽極再进行电解。我們就可以看到在陽極上氧气的發生也同样停止，銅片开始溶解而越变越薄，这时銅陽極本身以变为銅离子而在陽極上留剩兩個电子的反应，来代替原来的陰离子去电化为中性原子的反应，所以不同的電極材料，特别是作为陽極的，对电解时發

生的化学变化种类，也起着决定性的影响。

我們应用电解的原理来电鍍各种金屬，例如鋼鉄做的零件放在硫酸鋅的溶液里作为陰極而电解，鋅就不断地在零件表面进行沉积。到一定的時間取出后，零件表面上已經鍍有一層鋅，这層鋅便能起防銹作用。極大部分的陽極是用被鍍上去的金屬同样的材料，那末鍍上去多少鋅，从陽極也溶解下来多少鋅，使得溶液的成分能够長期保持稳定。这一种工艺便叫做「电鍍」。在机械制造工厂里，电鍍应用得非常广泛，通常專門設有电鍍車間进行这类工艺。在电鍍車間里除了把零件鍍上各种金屬，例如鋅、銅、鎳、鉻、錫等等以及各种合金来防銹或改变零件的表面性質之外，还广泛地利用电解原理来进行金屬的去油、去銹、拋光等工序。

由于在电鍍时应用直流电来产生化学反应，所以同时牽涉到电学、电化学和普通化学等課程，在工作中所遇到的計算工作都很繁复，而且种类很多。下面將依次叙述跟电鍍有关的电学、电化学、电鍍時間、电鍍層厚度、零件表面积、电鍍設備生产能力、溶液配制校正、材料消耗和車間动力等各方面的計算方法。

二 电学計算

电鍍所用的电源是低压直流电；它的特点是：电压低（普通为6~12伏特），电流較大（在生产中需要几十个到几千个安培），并且要求电压穩定，否則就不容易控制。最初是用化学方法来得到低压而穩定的直流电，用鋅片和銅片浸在硫酸溶液里面，再在这兩片金屬片上各联上銅絲，便成为直流电源（圖3）。

但是由这样产生的电流非常不經濟，因此使电鍍在工業上不能發展；在直流發電机發明以后，才具备在工業上大規模采用电

鍍的条件。目前大部分的电源是由特制的低压大电流直流发电机供应，由交流电动机带动。有时也使用硒或氧化铜的整流器，首先使交流电降低电压，再整流而得到低压大电流的直流电。如果所需要的电流不大，例如小規模地鍍金或鍍銀，也可用蓄電池作为电源。

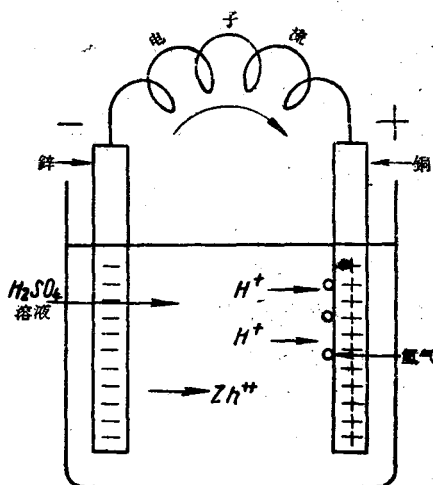


圖3 用化学的方法得到的直流电。

如果把直流电源的兩端用导体連接，那么电流

就会从正極流向負極，而电子从負極流向正極。电流在电路中的流过，会产生热、磁效应和化学反应。如果把磁針移近这导綫就会使磁針偏斜(圖4)；导綫的温度也会升高；如果把导綫割断再把兩头插入电解質溶液，便会在兩極产生化学反应，产生气体或沉积金屬，这一点已在前一章叙述过了(圖5)。

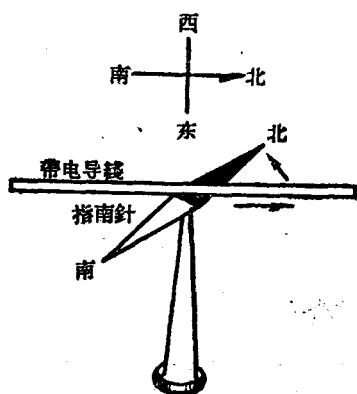


圖4 磁針移近帶电导綫时的偏斜。

在电路里电流流过的量根据下列两个因素而定。第一个因素是电源使电流流过的电压。第二个因素是电路本身阻碍电流通过的阻力——电阻。

大多数金属都是电的良好导体，当电流流过时只对它产生很小的阻力。银是金属中最好的导体，而铜和铝则只比银略差一些；电流在金属导体中的流动是依靠自由电子的传递。

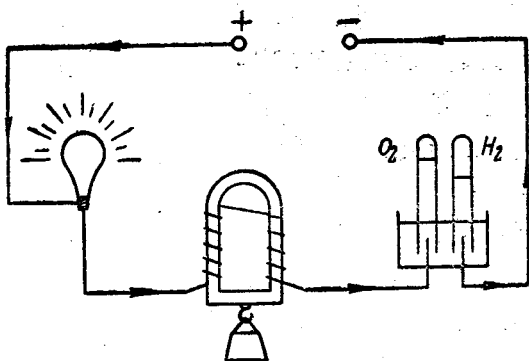


圖 5 割断的导线两头插入电解液中两极产生化学反应的示意图。

木、纸、玻璃、橡

胶等材料很少有自由电子，所以对电流的通过产生极大的阻力，一般就把它叫做非导体或绝缘体。物体对于阻碍电流流过的性质叫做电阻。各种物体的电阻根据几个因素而定，包括物体本身的特性、截面积、长度、温度等。

测量电阻的单位是欧姆。在 0°C 时的长 106.300 公分，截面积为 1 公厘²，重量为 14.4521 克的水银柱，对电流流过时产生的电阻叫做 1 欧姆 (Ω)。

测量电流的单位是安培，每秒钟能从硝酸银溶液中沉积出 0.0011182 克银的电流，叫做 1 安培 (A)。

电量的单位是库仑；当电流为 1 安培，时间是 1 秒钟，那么所通过的电量便叫做 1 库仑。

电压的单位用伏特来测量，当电路中的电阻是 1 欧姆，这时能使 1 安培的电流通过，在电路两端的电压（或电动势）是 1 伏特 (V)。

1 欧姆定律 欧姆定律是电学计算最基本的定律。在任何电

路里面，电流跟电压成正比，而跟电阻成反比。那就是說，电压越大，流过的电流也就越大；相反地，电阻越大，就阻碍了电流的通过，因而减少了电流的流过。欧姆定律可以用下式来表示：

$$\text{电流} \propto \frac{\text{电压}}{\text{电阻}},$$

或
$$I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

式中 I = 电流 (安培);

E = 电压 (伏特);

R = 电阻 (欧姆)。

这一公式經移項后化为另两种形式，用来計算电压和电阻。

$$E = I \times R \quad (2)$$

$$R = \frac{E}{I} \quad (3)$$

例 某电镀用的發电机發出的直流电电压是 6 伏特，如跟它相連的电路中的电阻是 0.03 欧姆，試求出通过的电流大小。

〔解〕 电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{6}{0.03} = 200$ 安培。

例 假如 1500 安培的电流通过某一段母綫，母綫的电阻是 0.0002 欧姆，求流过这段母綫所發生的电压降。

〔解〕 电压降 $E = I \times R = 1500 \times 0.0002 = 0.3$ 伏特。

例 假如 25 安培的电流流过电流表所發生的电压降是 0.05 伏特，求該电流表的电阻是多少。

〔解〕 电阻 $R = \frac{E}{I} = \frac{0.05}{25} = 0.002$ 欧姆。

2 电流和电量 电流和电量之間的不同点，必需清楚地区别， 电流是指在單位時間內所通过的电荷，例如我們所称的 1 安培，即指在 1 秒鐘內流过 6×10^{18} 个电子。而电量却指在一定時間里通过的电荷总量，实用的計量單位是庫侖。如电流为 1 安培，通过的時間为一秒，則通过的电量为 1 庫侖。

即, $q = I \times t'$. (4)

式中 q = 电量 (庫倫);

I = 电流 (安培);

t' = 時間 (秒)。

例 在电路中的电流是 5 安培, 通过的時間は 10 分鐘, 問通过的电量是多少?

〔解〕 通过的电量 $q = I \times t' = 5 \times 10 \times 60 = 3000$ 庫倫。

例 要求通过电量 4800 庫倫, 采用的电流是 2 安培, 問需要時間多少?

〔解〕 時間 $t' = \frac{q}{I} = \frac{4800}{2} = 2400$ 秒
 $= \frac{2400}{60} = 40$ 分。

3 电流的測量 电流的大小, 一般都用电流表(也叫安培表)来測量。电流表只有很小的电阻, 使电流流过时不致显著地降低电压。电流表的联接法是把它串联在电路里面(圖 6), 表上标出 (+) 号的一端和来自电源正極的导綫相联接; 而电流表上的另一端 (-) 跟来自电源負極的导綫联接。容量較大的电流表, 分流器都附在外面, 只有極小部分电流才通过电流表本身。需要非常注意的, 电流表必需和鍍槽或其他电阻 串联使用, 絕对不能兩端同时和电源接触, 否則必定会燒毀电表。在使用电流表时并需注意表的容

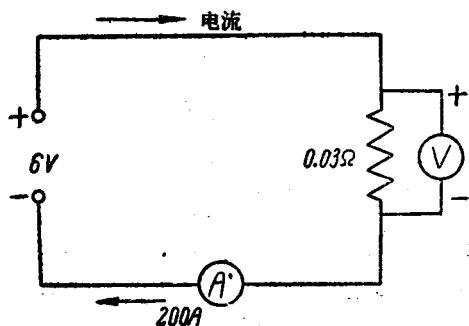


圖 6 电流表和电压表在电路中的联接法。

量是否过小，正負極是否有接反，以避免可能發生的損害。

电压表用来测量电路止任何兩点之間的电压，有人也叫伏特表。电压表本身具有很高的电阻，因之使电流不能大量通过，一般它都跟鍍槽兩端联接（并联），以便讀出鍍槽兩端的电压。标出（+）的一端跟来自电源正極的导綫相联，而另一端（-）跟来自电源負極的导綫联接（圖 6）。

4 串联电路

如果几个电阻首尾相接地串联在一起，而电流只能从一条路綫流过，那么像这样的电路便称为串联电路（圖 7）。由于电流只能

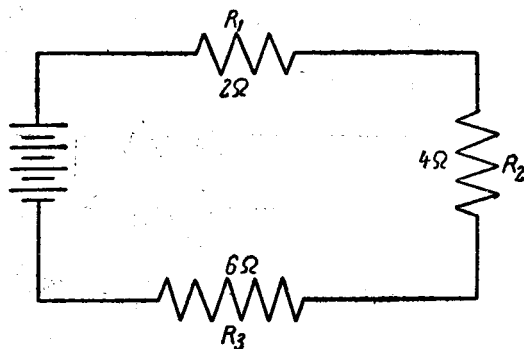


圖 7 串联电路。

从唯一的路綫流过，因而把电流表接在任何部位上，它的讀数都是相同的（圖 8）。在串联电路上，总电阻是所有电阻的和。

即，
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (5)$$

式中 R = 串联电路中的总电阻（欧姆）；

$R_1, R_2, R_3, \dots$ = 各分电阻（欧姆）。

因之在圖 8 中， $R = 2 + 4 + 6 = 12$ 欧姆。

如果电源电压是 6 伏特，則

$$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{12} = 0.5 \text{ 安培。}$$

把电流表接入电路的任何部分，讀出的数值都是 0.5 安培。

在每个电阻兩端的电压降，也可以依賴欧姆定律来計算，而总的电压降必定等于电源所供应的电压。

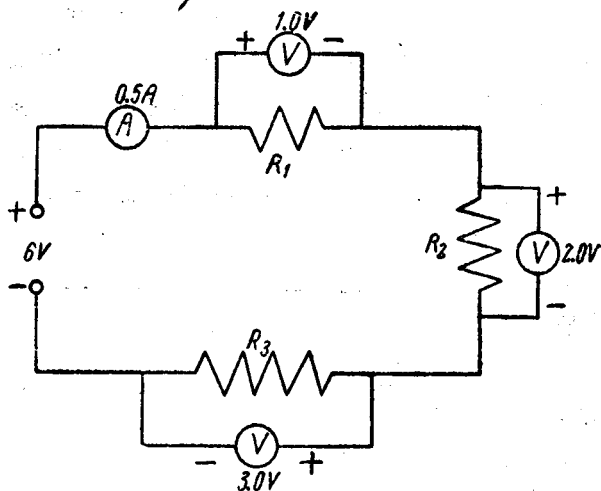


圖 8 电流表接在串联电路中任何部位的讀数都相同。

$$R_1: \quad E = I \times R_1 = 0.5 \times 2 = 1 \text{ 伏特}$$

$$R_2: \quad E = I \times R_2 = 0.5 \times 4 = 2 \text{ 伏特}$$

$$R_3: \quad E = I \times R_3 = 0.5 \times 6 = 3 \text{ 伏特}$$

共計 6 伏特

从电压表的讀数，可以証明計算是完全正确的。

5. 并联电路 在并联电路里面，电流能不止一条路地由陽極通向陰極。在各条支路中通过电流的多少，則根据各支路中的电阻来决定。如果有兩根导綫，照圖 9 联接而作为并联电路的两个支路；其中一根的电阻是 2 欧姆 (R_1)，另一根为 8 欧姆 (R_2)；則流过低电阻导綫的电流 (I_1)，將比流过高电阻导綫的电流 (I_2) 来得大。流过整个电路的总电流，等于每根导綫中流过的电流之和。

根据欧姆定律，电阻 2 欧姆的导綫中流过的电流为：

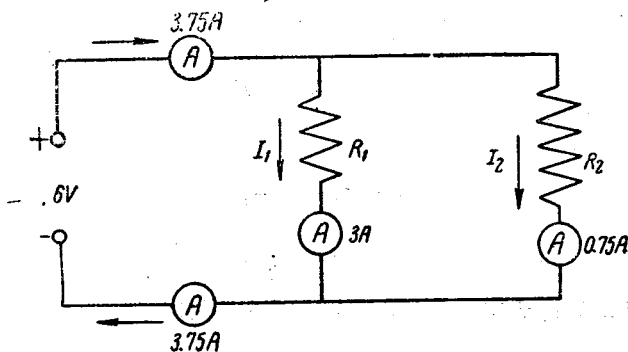


圖 9 并联电路。

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{6}{2} = 3 \text{ 安培。}$$

而电阻 8 欧姆的导线中流过的电流为：

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6}{8} = 0.75 \text{ 安培。}$$

总电流为： $I = I_1 + I_2 = 3 + 0.75 = 3.75$ 安培。

并联电路中每支路所發生的电压降为：

$$E_1 = I_1 \times R_1 = 3 \times 2 = 6 \text{ 伏特，}$$

$$E_2 = I_2 \times R_2 = 0.75 \times 8 = 6 \text{ 伏特。}$$

因此，在每个支路中所發生的电位降，跟进入整个电路的电源电压相等。

并联电路的总电阻可以由欧姆定律引导出来，因为 $I = \frac{E}{R}$ ，所以

$$R(\text{总电阻}) = \frac{E(\text{电源电压})}{I(\text{总电流})} = \frac{6}{3.75} = 1.6 \text{ 欧姆。}$$

由上面的例子可以看出，并联电路的总电阻比任何一个支路电阻都来得小，这是由于电流能够从不止一条的路綫通过的緣故。計算并联电路总电阻，也可以直接由各支路电阻計算：

由于 $I_1 = \frac{E}{R_1}$; $I_2 = \frac{E}{R_2}$ 。

所以 $I = I_1 + I_2 = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}$ 。

由于总电流 $I = \frac{E}{R}$,

代入, 得 $\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}$ 。

消去 E , 得 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 。

在上面的例子中, $R_1 = 2$ 欧姆, $R_2 = 8$ 欧姆。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{8} = \frac{4+1}{8} = \frac{5}{8}$$

或 $R = \frac{8}{5} = 1.6$ 欧姆。

所以并联电路的总电阻可以有两种方法来计算; 第一种方法是由电源电压除以通过的总电流得到, 另一个方法是利用上面所引导出来的公式, 假如支路不止两个, 则公式成为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (6)$$

式中 R = 总电阻 (欧姆);

$R_1, R_2, R_3, \dots$ = 各支路电阻 (欧姆)。

在并联电路里有两条规律:

一、总电流等于各支路电流之和

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

式中 I = 总电流 (安培);

$I_1, I_2, I_3, \dots$ = 各支路电流 (安培)。

二、在并联电路中通过各个电阻所发生的电压降相同。

6 电镀槽电路 在电镀工作中, 需要了解电镀槽中通过总电流 (电流强度) 的大小, 电压的高低, 并且应该有调整电流强度的控制设备。

一般在電鍍槽的附近，都設有配電板，上面裝有電流表和電壓表，直接讀出電流強度和鍍槽的兩端電壓。至於要控制通過電流的大小，有下列兩種方法：

一、調整電源的電壓：電源電壓越大，那麼電鍍槽中通過的電流也越大；電源電壓越小，通過的電流也越小。電源電壓可以用調整發電機激磁電流的方法來控制，但這一類的控制方法，只適宜於電鍍槽有它自己單獨用的發電機時。如果一個發電機同時供給幾個電鍍槽，那末調整電流電壓，勢必影響全體。調整電源電壓的方法在鍍鉻槽是常常應用的，因為鍍鉻槽需要的電流非常大，往往都有自己單獨的發電機。如果使用整流器，也可用調整交流電源電壓的方式來改變直流電的電壓。這方法的最大優點是控制靈活，節約電力。

二、在電鍍槽的電路中串聯一個變阻器也可以調節通過電鍍槽的總電流。電源電壓並不改變，只是用變阻器來調整槽的兩端電壓。變阻器使電源電壓降低，是歐姆定律在實際中應用的例子。這一類的方法應用較為普遍，在一機多槽的情況大多採用。它的缺點是損耗電力較多，發出的直流電在變阻器中化為熱能而消耗一大部分。

例 鍍鎳槽中需要 100 安培的電流通過，鍍鎳槽這時的電阻是 0.04 歐姆，電壓是 6 伏特；問是否要調整鍍槽兩端的電壓？如何調整？

〔解〕 鍍槽兩端所需電壓為

$$E = IR = 100 \times 0.04 = 4 \text{ 伏特。}$$

因而需要把電源電壓降低 2 伏特。像這類較小的鍍槽都跟其他鍍槽合用一個發電機，一般都在電路中加入電阻，使得電流經過電阻後降低 2 伏特，而在鍍槽兩端的電壓是 4 伏特。

$$R(\text{变阻器产生的电阻}) = \frac{E}{I} = \frac{2}{100} = 0.02 \text{ 欧姆}。$$

例 假如在上述鍍槽里电鍍另外一批零件，总数只有上例的一半，所以需要电流为 50 安培，問是否需要重新調整？如何調整？

〔解〕 由于零件少了，这时电鍍槽的电阻改为 0.08 欧姆(約数)，如果仍借串联 0.02 欧姆的电阻而不加調整，那么电路中的总电阻为：

$$R = R_1 + R_2 = 0.08 + 0.02 = 0.1 \text{ 欧姆}。$$

而通过的电流为

$$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{0.1} = 60 \text{ 安培}。$$

通过的电流超过需要，所以應該調整串联着的电阻。在綫路中的总电阻應該是：

$$R = \frac{E}{I} = \frac{6}{50} = 0.12 \text{ 欧姆}。$$

而串联着的电阻應該調整为：

$$R_2 = R - R_1 = 0.12 - 0.08 = 0.04 \text{ 欧姆}。$$

由上面所举的两个例子可以看出，如果要控制在电鍍时电流强度的大小，所串联的电阻必需是可变的——即是所謂变阻器。变阻器一般分为六級（閘刀式），或十級以上（旋轉式）。每級电阻的大小，根据槽的大小和所需要的槽的兩端电压而定。在一个 200 安培，2 伏特电压降的閘刀式变阻器里，一般分为 5, 10, 20, 25, 40, 100 安培六級。当电压降为 2 伏特时，每級閘刀閉合时所通过的电流就等于額定值。每級閘刀的电阻为

$$\text{第 1 級} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{2}{5} = 0.4 \text{ 欧姆}$$

$$\text{第 2 級} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{2}{10} = 0.2 \text{ 欧姆}$$

$$\text{第 3 級} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{2}{20} = 0.1 \text{ 欧姆}$$

$$\text{第 4 級} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{2}{25} = 0.08 \text{ 欧姆}$$

$$\text{第 5 級} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{2}{40} = 0.05 \text{ 欧姆}$$

$$\text{第 6 級} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{2}{100} = 0.02 \text{ 欧姆}$$

很明显地，在例題中所舉的如需电流为 100 安培时，应合上第一級到第五級全部閘刀，或者单独合上第六級閘刀。如果所需的电流是 50 安培，那末应合上第一、第三和第四級閘刀；或者合上第二和第五級閘刀。用公式 6 計算閉合了的閘刀的总电阻，可以求得跟例題中完全一致的数字。

由于鍍槽的兩端电压，常随很多因素而改变，如溶液成分、濃度、溫度、电流密度、陰極和陽極極化、总負荷量等。所以在实际工作中一般都不作計算。只是由选定的电流密度和負荷来估計应合上那几級閘刀。閘刀合上后从电流表讀出电流的大小，再調整到所需的电流强度。

另外一种变阻器是旋轉式的，它的作用原理和閘刀式的相似。在使用整流器作为直流电源时，也可以采用这类閘刀或旋轉式的变阻器。

圖 10 是典型的鍍槽电路。鍍槽的陽極直接和电源正極相联。电源負極先經過一个总的閘刀开关，再經過变阻器和电流表的分路器，最后和鍍槽的陰極相联。总开关是用来切断或接通鍍槽电流的；变阻器則如上面所述的用来調整电流强度大小。由于在生产中所用的电流都很大，所以極大多數的电流表都另有表外分流器，使电流几乎全部从分流器中流过，仅極小一部分由电流表通过使指針旋轉而指出讀数（实际上电流表和分流器是并联电路的）