

表面处理技术丛书

# 电 镀 基 础

袁诗璞 黄渭澄 刘其则 等编

四川科学技术出版社

一九八七年·成都

# 序

科学技术是生产力。科学技术要与经济、社会协调发展，并把促进经济发展作为首要任务，这是我国科学技术发展的方针。在贯彻执行这条方针中，推广和发展新技术、新工艺是一个重要的方面。现在摆在我们面前的这一套《表面处理技术丛书》，正是介绍和推广表面处理技术的好书，我非常乐意向读者推荐。因为，我相信在贯彻科学技术发展方针的过程中，它定将发挥其应有的作用。

这套丛书以介绍各种电镀技术为主，兼顾涂装及其它表面处理技术。我们知道，电镀已有一百多年的历史。近代已从金属的表面处理，发展到能在非金属如塑料表面镀上金属涂层。同时，还可提高金属表面的光洁度、光亮度，获得有保护作用的氧化层，赋予制件表面高的硬度、耐磨性、反光性、消光性及美丽的外观，用电沉积方法制造工件，等等。现在，电解沉积已由沉积金属发展到沉积金属与非金属的复合层，其含义也在不断地发展和延伸。涂装是一门有悠久历史的技术。我国古代劳动人民就已作出了许多精美的油漆制品。近代科学技术的发展更给油漆技术增添了不少新的内容，其要求日渐提高，品种不断发展，工艺更加先进完善。表面处理广泛应用于机械、电子、仪器仪表、轻工、交通运输和国防工业等各生产部门，与人们的日常生活也有十分密切的关系。

表面处理技术涉及到物理、化学、机械、电工等多种学科，本身又包含一系列的工艺过程。同时，表面处理又是产生有害废水、废气和废渣的工业生产，对环境产生严重的污染。因此，一方面需要不断提高表面处理质量，另一方面又要保护环境，给予子孙后代造福。这对从事表面处理工作的人员提出了愈来愈高的要求，要求他们不断提高技术水平，不断革新技术、推广采用先进

技术，消除污染，减轻劳动强度，提高劳动生产率。因此，普及和提高表面处理知识，是有重大的现实意义的。

为了推广电镀技术，1973年在成都市科学技术委员会的领导下，由成都地区电镀技术协作组（现名成都表面处理研究会），组织15个单位的几十名科技人员、大专院校教师和工人，编写并由四川人民出版社出版了《电镀技术》一书。这本书总结了从事电镀技术职工几十年的经验，介绍了先进的无氰、低铬电镀新工艺，内容较全面，文字通俗易懂，颇受读者欢迎。1982年又进行了部分修订再版。这是《表面处理技术丛书》的第一本。以后相继编写出版了《高速电镀技术》、《塑料电镀技术》、《电镀三废处理》、《商标铭牌设计与制作》、《化学镀技术》、《金属防腐蚀技术》（译文）。这套《表面处理技术丛书》已经出版的，受到读者欢迎，并已作为短期培训班教材。

四川科学技术出版社决定编辑的这套《表面处理技术丛书》暂定十八本。除了上述七本外，还有：《电镀基础》、《电镀设备》、《电铸技术》、《彩色电镀技术》（即出）、《干法镀技术》、《铝及铝合金表面处理》、《电镀溶液性能测试》、《电镀层性能测试》、《实用电镀分析》、《涂料配制技术及工艺》、《实用涂漆工艺》。这套丛书的作者们，都是从事表面处理生产和教学科研多年的教师和工程技术人员。他们在生产、科研和教学任务繁忙的情况下，挤出时间，把自己的经验知识写成书，无保留贡献出来，适应当前培训表面处理人员的需要，为四化建设服务；四川科学技术出版社的编辑同志为这套丛书的出版花了不少心血，做了大量工作，我在这里深致谢意。

我相信，这套丛书的出版，一定会对表面处理技术的推广应用、对职工的技术培训，为四化建设作出应有的贡献。

四川省科普创作协会理事长 周孟璞

一九八六年五月于成都

# 目 录

## 第一章 化学知识

|      |                |         |
|------|----------------|---------|
| 第一节  | 物质及其变化         | ( 1 )   |
| 第二节  | 原子、分子和元素符号     | ( 2 )   |
| 第三节  | 原子量、分子式、分子量、摩尔 | ( 3 )   |
| 第四节  | 原子结构和化合价       | ( 6 )   |
| 第五节  | 元素周期律与元素周期表    | ( 17 )  |
| 第六节  | 化学反应的基本定律和类型   | ( 22 )  |
| 第七节  | 氧化还原反应         | ( 28 )  |
| 第八节  | 氧化物、酸、碱、盐      | ( 34 )  |
| 第九节  | 溶液             | ( 51 )  |
| 第十节  | 化学反应速度与化学平衡    | ( 78 )  |
| 第十一节 | 有机化学           | ( 85 )  |
| 第十二节 | 络合物简介          | ( 120 ) |
| 第十三节 | 表面活性剂简介        | ( 133 ) |

## 第二章 电工学知识

|     |               |       |
|-----|---------------|-------|
| 第一节 | 导体、绝缘体和半导体    | (143) |
| 第二节 | 电场与电路         | (146) |
| 第三节 | 电流            | (151) |
| 第四节 | 电阻            | (156) |
| 第五节 | 欧姆定律          | (163) |
| 第六节 | 电功、电功率及电流的热效应 | (166) |
| 第七节 | 电容器           | (171) |
| 第八节 | 交流电的概念        | (176) |

|     |           |       |
|-----|-----------|-------|
| 第九节 | 电镀中部分常用电路 | (187) |
| 第十节 | 安全用电常识    | (194) |

### 第三章 电化学知识

|      |                |       |
|------|----------------|-------|
| 第一节  | 电解质在溶液中的电离     | (199) |
| 第二节  | 电离度及电离平衡常数     | (201) |
| 第三节  | 酸、碱、盐的电离       | (203) |
| 第四节  | 水的离子积和溶液的 pH 值 | (207) |
| 第五节  | 同离子效应和缓冲溶液     | (210) |
| 第六节  | 溶度积原理          | (211) |
| 第七节  | 离子反应方程式        | (215) |
| 第八节  | 电解定律           | (217) |
| 第九节  | 电镀溶液的电导        | (225) |
| 第十节  | 电极电位与原电池       | (237) |
| 第十一节 | 极化作用           | (269) |
| 第十二节 | 电镀中的一些电化学现象    | (287) |

### 第四章 机械基础

|     |             |       |
|-----|-------------|-------|
| 第一节 | 识图          | (304) |
| 第二节 | 金属材料        | (313) |
| 第三节 | 量具          | (318) |
| 第四节 | 常用计算及工程计量单位 | (322) |

### 第五章 电镀知识

|     |           |       |
|-----|-----------|-------|
| 第一节 | 电镀及其分类    | (336) |
| 第二节 | 镀层在镀件上的分布 | (337) |
| 第三节 | 镀层结构      | (347) |
| 第四节 | 故障及其排除    | (356) |

# 第一章 化学知识

## 第一节 物质及其变化

### 一、物 质

物质是客观存在的，自然界的一切都由物质构成。在日常生活和生产劳动中，我们经常碰到许许多多的东西，如水、空气、食盐、电镀零件等等都称为物质。化学所研究的物质都是实物，实物是人眼可见的或感觉得到的东西，也有人眼观察不到的原子、分子、电子等微小粒子。前者称宏观物体，后者称微观物体。

### 二、物质的变化

一切物质均处于不断运动中，运动是物质存在的基本形式。

物质不能被创生，也不能被消灭，只能在一定条件下由一种形式转变为另一种形式，由一种物质转变成另一种物质。

水在一个大气压下，加热到 $100^{\circ}\text{C}$ ，能沸腾变成水蒸汽，冷到 $0^{\circ}\text{C}$ ，能冻结成冰。水、水蒸汽、冰，实质上是同一种物质，只是形态不同而已。铸锻件可加工成各种零件，形状不同，性质一样。金属铝加工的铝制品也是如此。这类物质的变化只是改变了外表形态，本性未变。这类变化叫物理变化。

物质还有一类变化，如铁在潮湿空气中生锈，碳燃烧生成二氧化碳，电镀酸洗去锈，镀锌件钝化处理等等。不仅外表形态变了，物质的本性也发生了改变（生成了新物质），这类变化叫化

学变化。在化学变化过程中，常伴随有放热、发光、变色、逸出气体等现象发生。

物质发生不同变化，是由物质本身的性质决定的。

物质的性质，有的要在物质发生变化时才表现出来，如生锈、燃烧等。这类性质叫化学性质。物质的另一类性质，例如状态、颜色、气味、比重、沸点、熔点、金属的导电性能等，并不需要使物质本性改变就可表现出来，这类性质叫物理性质。

在一般情况下，我们所遇到的物质的变化，包括物理变化和化学变化两类，物质所表现出来的性质，也包括物理性质和化学性质两类。

## 第 二 节 原子、分子和元素符号

### 一、原子和分子

通过长期的生产和科学实践，总结出了原子分子学说，基本内容如下：

(1) 物质都是由分子组成，分子是维持物质的化学性质的最小微粒。

(2) 物质分子间有作用力（吸引力、排斥力），各物质分子间的作用力不相同，以固体为最大，液体次之，气体最小。

(3) 物质分子间具有空隙，分子间的空隙决定着物质的体积。

(4) 分子由原子组成，原子是物质在化学反应中不能再分的最小微粒。

(5) 物质的分子和原子都处于不停的运动中。

### 二、元素符号

具有相同化学性质的同一种原子，即具有相同核电荷数的原

子，称为化学元素。如氢、碳、氧、硫等，不管它们出现在任何分子中，都分别称为氢元素、碳元素、氧元素、硫元素等。

到目前为止，已发现的化学元素有107个，根据主要性质的不同，可分为金属元素、非金属元素及惰性气体元素等三大类。当然，有时它们间的界限是很难划分的。

所有元素中，有一部分是人工制得的放射性元素。

不同元素的原子，其重量、体积、性质都不相同，为了区分它们，常用一定的符号来表示，这就是化学元素符号。规定用元素的拉丁名称的第一个字母的大写或前两个字母来表示。如铁元素表示为“Fe”，氧元素表示为“O”，锌元素表示为“Zn”，碳元素表示为“C”。

元素符号代表一种元素的一个原子和它的原子量。

原子是由原子核和核外电子所组成，原子核带正电荷，电子带负电荷，而原子核又是带正电的质子和不带电的中子组成，故原子由质子、电子、中子所组成。任何原子内电子所带负电荷数必然与质子所带正电荷数目相等。

同一元素的原子，若其质子数相同，中子数不同，则互称为同位素。同位素的化学性质几乎相同，它们的元素符号也是相同的，只是标明所含的中子数不同而已。如 $^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 为碳的两个同位素，中子数分别为12、13。 $^1\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 、 $^3\text{H}$ 为氢的三个同位素，中子数分别为1、2、3；它们又称为氢、氘、氚。

### 第 三 节 原子量、分子式、分子 量、摩尔

原子的重量很小，一个碳原子重为 $1.994 \times 10^{-23}$ 克。这样小

的重量使用起来很不方便，为了方便起见，用专用的单位表示原子的重量。现在国际上采用碳单位来表示：一个碳单位等于碳原子重量的十二分之一。用碳单位表示一个原子的重量叫原子量，它是元素的相对质量。例如，在碳单位表示下，氢原子量为1.0079，氧的原子量为15.9994。用元素符号来表示物质分子组成的式子叫分子式，如氧分子是由两个氧原子组成，用“ $O_2$ ”表示；二氧化碳由一个碳原子和两个氧原子组成，用“ $CO_2$ ”表示。分子式有以下几种含意：

- (1) 代表物质的一个分子。
- (2) 表示组成物质的各种元素。
- (3) 表示物质分子中各元素的原子个数。
- (4) 表示组成物质的各种元素的重量比。
- (5) 表示物质的分子量。

当物质的分子由同种元素的原子组成时，这种物质叫单质。有的单质由分子构成，如氧气( $O_2$ )、氢气( $H_2$ )，有的单质由原子构成，如铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)。

当物质的分子由两种或两种以上元素的原子或离子组成时，这种物质叫化合物。如硫酸( $H_2SO_4$ )是由氢、氧、硫三种元素组成，如水( $H_2O$ )是由氢和氧两种元素组成。每种化合物具有一定的特性，且组成稳定，不同于混合物。

混合物是由不同种类的分子所构成的，组成可以改变，且可以用物理方法将其分开。

一个分子中，各原子的原子量的总和就是分子量，它也是用碳单位表示的一个分子的重量，如水( $H_2O$ )的分子量是 $1 \times 2 + 16 = 18$ 碳单位。

表示物质质量的单位是摩尔。任何物质如果含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个微粒（称阿佛加得罗常数，用N表示），则此物质的量叫一摩尔或简称一摩。

一摩尔物质的质量通常叫该物质的摩尔质量。摩尔质量的单位是克/摩。一摩尔原子的质量就是以克为单位，在数值上等于原子量的量。一摩尔分子的质量是以克为单位，数值上等于分子量的量。如一摩尔氢原子 ( $6.02 \times 10^{23}$  个氢原子) 的质量为一克；一摩尔氢气 ( $6.02 \times 10^{23}$  个氢分子) 的质量为2克。一摩尔水 ( $6.02 \times 10^{23}$  个水分子) 的质量为18克。

物质的量可按下列式计算：

$$\text{物质的量 (摩尔)} = \frac{\text{物质的质量 (克)}}{\text{摩尔质量 (克/摩)}}$$

习惯上将物质的量叫物质的摩尔数。

在化学反应中，计量气体，常用体积表示，但是气体的体积是与温度、压强等外界条件有关的，要比较一定量气体体积的大小，必须在同温同压条件下进行，通常采用的条件是0℃、1大气压，物质处于这种条件下的状况称标准状况。

大量实验的测定和计算表明，在标准状况下，一摩尔的任何气体所占的体积都是22.4升。这个体积叫气体的摩尔体积，单位是升/摩尔。

标准状况下气体体积可按下列式计算：

$$V (\text{升}) = \frac{\text{气体的质量 (克)}}{\text{气体的摩尔质量 (克/摩尔)}} \times 22.4 (\text{升/摩})$$

若气体的质量为M (克)，摩尔质量为n (克/摩)，当它在一定的状态下，其压力 (P)、体积 (V)、温度 (T) 之间满足下列式时：

$$P V = \frac{M}{n} R T \quad \dots\dots (1-1)$$

称此气体为理想气体。

式中R为普适气体常数，在国际单位制中，R为8.31焦耳/摩尔， $\frac{M}{n}$ 为摩尔数，T为绝对温度， $T = 273.16 + t$  (t为摄氏温度)。

(1-1)式称为理想气体方程式。由此式很容易计算： $P=1$ 大气压， $T=273.16$ (即 $0^{\circ}\text{C}$ )， $\frac{M}{n}=1$ 摩尔数时，任何理想气体所占的体积为： $V=22.4$ 升/摩。

## 第 四 节 原子结构和化合价

### 一、原子结构

所有元素的原子都是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子所组成。由于正负电荷相等，所以在常态下，原子不显电性。电子以很高的速度围绕原子核运动，电子的质量很小，只有中子或质子质量的 $1/1800$ 。可以认为，原子质量主要集中在原子核上。高速运动的电子在原子范围内的运动是微观物体的运动，与宏观物体运动有所区别。

人造地球卫星在空间的运动，有确定的轨道。在确定的时间可以观察卫星的位置。而电子在原子核外运动时，有其特殊性：它们的运动状态，在确定的时间内难以准确确定，只能指出它在原子核外各处出现的机会是不同的。有的地方出现的机会多，有的地方出现的机会少。电子在原子核外空间各处出现，好象“带负电荷的云雾”笼罩周围。人们形象地称它为“电子云”，如图 1—1。

此图是通常状态下氢原子电子云的示意图，它是球形对称的。图中小黑点密集的区域，表示电子出现的机会多；小黑点稀疏的区域，表示电子云出现的机会少（注意，

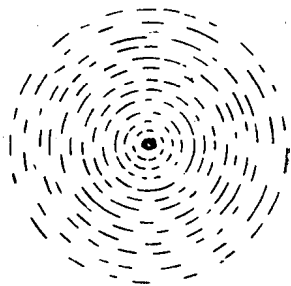


图 1—1 电子云图象

小黑点不代表电子)。

在含有多个电子的原子中，电子的能量并不相同。能量低的，通常在离核近的地区运动。为了便于说明问题，通常就用电子层来表明运动着的电子离核远近的不同。把能量最低、离核最近的叫第一层，离核较远的叫第二层，由里往外依次类推，叫三、四、五、六、七层。也可以把它们依次叫K、L、M、N、O、P、Q层，如图1—2。这样，可以把电子看作是在能量不同的电子层上运动。把运动时电子出现机会多的地区连起来，称为“轨道”，电子在不同轨道上运动，称为核外电子的分层排布。

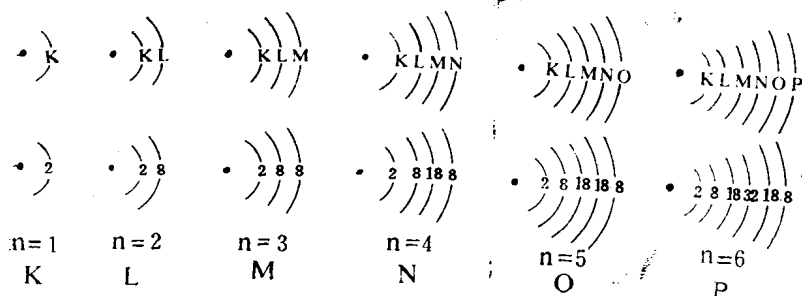


图 1—2 核外电子的分层排布

科学研究证明，电子在每一层上的分布是有严格规律的：第一层（K层）最多只能容纳两个电子，第二层（L层）最多只能容纳 8 个电子，第三层（M层）最多只能容纳 18 个电子……各层最多容纳的电子数为  $2n^2$  ( $n=1, 2, \dots$  层)，最外层电子数目不能超过 8 个（K层为最外层时不超过 2 个），次外层不超过 18 个。

在研究微观粒子运动规律的量子力学中， $n$  称为主量子数，主量子数  $n$  反映了核外电子运动时离核的距离以及电子运动能量的大小。一般说来， $n$  越大，离核越远，能量越高。由于处在内层运动的电子能量较低，它们既受到核的强烈吸引，又受到外层电子的“保护”，所以在化学反应中，一般很少起变化；而处在

外层运动的电子，电子能量较高，就容易起变化，参加化学反应。

进一步实验指出，能量的差别不仅发生在不同的电子层之间，在同一电子层上，电子的能量亦不都是等同的。这种差异仍是由于电子运动时出现最高机率的地区离核远近不同所致。但这与前者不同，这种远近的不同，可用“亚层”表示。亚层与“电子云”的形状有关，因为电子云的形状不同，伸展程度不同，电子运动的能量也肯定不同。如第二电子层，最多可容纳8个电子，其中两个电子能量较低，处在一个叫“s”的亚层上，其余6个电子能量较高，处在一个叫“p”的亚层上。每个电子层上所包含的亚层数是一定的：第一个电子层只有s亚层，第二个电子层分成s、p两个亚层，第三电子层分成s、p、d三个亚层，第四电子层有s、p、d、f亚层等等，如图1—3。因此，核外电子运动时的

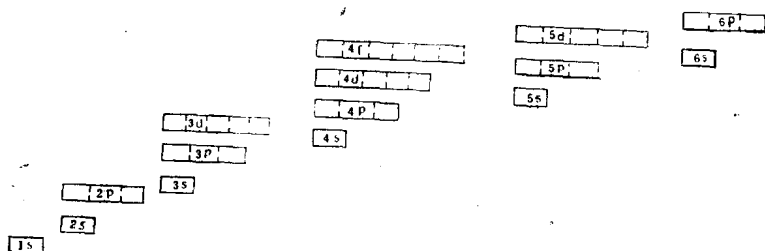


图 1—3 核外电子的亚层分布

能量高低，主要决定于主量子数 $n$ ，但也和电子云形状有关。实际表示时，经常把两方面结合起来，用 $1s$ 、 $2s$ 、 $2p$ 、 $3s$ 、 $3p$ 、 $3d$ 、 $4s$ ……表示。即使将电子所在的电子层和亚层同时表示出来： $s$ 、 $d$ 、 $d$ 表示亚层符号， $1$ 、 $2$ 、 $3$ ……表示电子层数值。如 $4p$ 表示电子处于第4电子层上的p亚层能级。

由于电子云有一定形状，若不对称，在空间就有一定的伸展方向，同一亚层的几个伸展方向称为几个“轨道”，如图1—4。

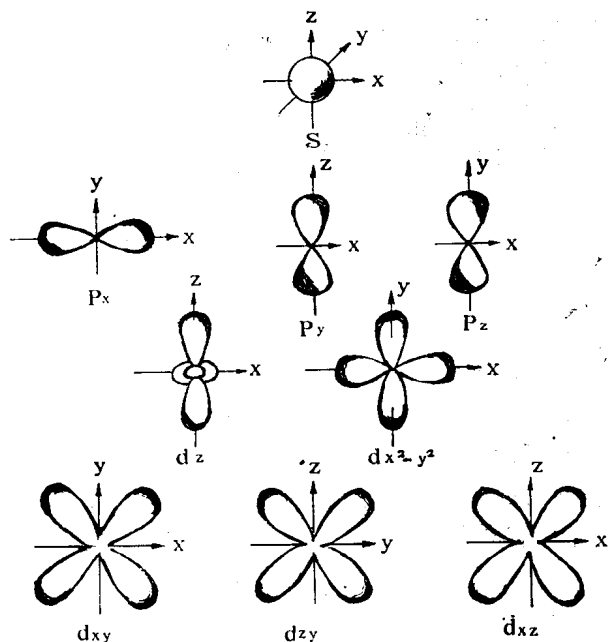


图 1—4 s.p.d轨道图

s亚层是球对称的，只有一个s轨道；p亚层是哑铃形，在空间有三个伸展方向，故有三个轨道，表示为 $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$ 。类似，d亚层有5个伸展方向，即5个d轨， $d_{xy}$ 、 $d_{yz}$ 、 $d_{xz}$ 、 $d_{z^2}$ 、 $d_{x^2-y^2}$ ，f亚层则有7个轨道。

原子核外电子不仅在绕核不停地运动着，而且电子在绕核运动的同时，本身还在不停地旋转，有点象地球既绕太阳公转，又绕自己的轴自转一样，称此为电子的自旋性质。实验证明，电子自旋有两种(两个方向)。若用 $\square$ 表示一个原子轨道，用一个 $\uparrow$ 代表一种自旋方向的一个电子，则 $\uparrow\downarrow$ 表示自旋方向相反的两个电子在同一轨道上。

所有，核外电子的运动状况要从它所处的电子层数、电子云

的形状、电子云的伸展方向及电子自旋方向这四个方面来全面反映，才能将一个电子和别的电子的运动状况区别开来。

大量事实表明，同一个原子内从未发现过这四个方面完全一致的电子。即在同一个原子内不可能同时存在两个运动状态完全相同的电子，这叫做不相容原理。

在通常情况下，原子的结构是稳定的，核外电子在依次进入原子轨道时，总是先占有能量最低的轨道，然后，才由低到高地逐个排列进去，这个规律叫能量最低原理。实验总结了原子轨道能量高低的顺序规律，也就有了核外电子依次进入各原子轨道的先后次序，如图1—5。

根据以上所述，原子序数1~18的各元素

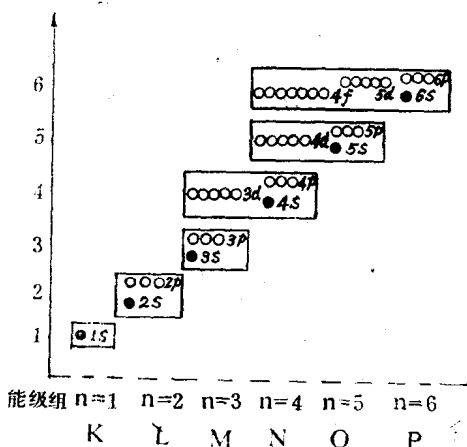
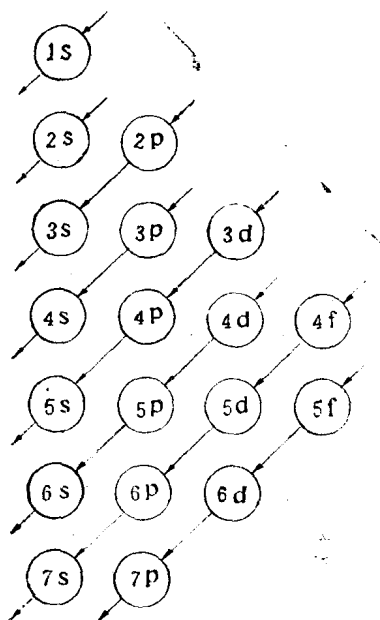


图1—5 核外电子的排布顺序及近似能级图

核外电子排布的表示列于表1—1。

表 1—1                      某些元素的核外电子排布

| 原 子 序 数 | 符 号 | 核 外 电 子 结 构                |
|---------|-----|----------------------------|
| 1       | H   | $1s^1$                     |
| 2       | He  | $1s^2$                     |
| 3       | Li  | $1s^2 2s^1$                |
| 4       | Be  | $1s^2 2s^2$                |
| 5       | B   | $1s^2 2s^2 2p^1$           |
| 6       | C   | $1s^2 2s^2 2p^2$           |
| 7       | N   | $1s^2 2s^2 2p^3$           |
| 8       | O   | $1s^2 2s^2 2p^4$           |
| 9       | F   | $1s^2 2s^2 2p^5$           |
| 10      | Ne  | $1s^2 2s^2 2p^6$           |
| 11      | Na  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$      |
| 12      | Mg  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$      |
| 13      | Al  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ |
| 14      | Si  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ |
| 15      | P   | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ |
| 16      | S   | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ |
| 17      | Cl  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ |
| 18      | Ar  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |

原子的构造常用原子结构图来表示，原子结构图的简单表示是：用一点作中心，画若干同心圆，中心当作原子核，以正号表示正电荷，以数字表示电荷数。同心圆表示电子层。图 1—6 为氢、钠、氯的原子结构图。

由图可见，氯原子是由原子核和十一个电子组成，共分三层，第一层有两个电子；第二层有8个电子；第三层有一个电子。

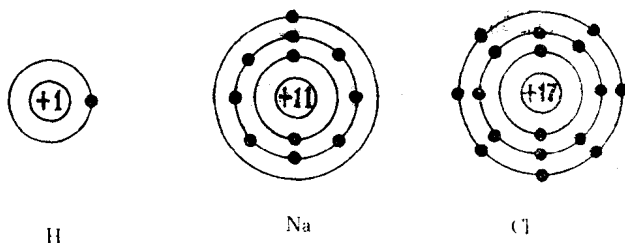


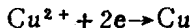
图 1—6 氢、钠、氯原子结构图

电子被原子核吸引，作围绕原子核的运动。原子核对电子的吸引力是不一样的：距离核心最远的外层电子被吸引的力最小。因此，它们容易跑出“轨道”而自由活动。一般来讲，原子都有使自己外层电子达到饱和的八个或两个电子（第一层）的稳定状态趋势。原子外层（从第二层开始）电子在四个以下的易失去电子。外层电子已达到八个或两个（第一层）都很稳定，不易参加化学反应，故称为惰性元素。

原子失去电子有过剩的正电荷，原子得到电子有过剩的负电荷，这种带电的原子就叫做离子。离子的标记符号是：用元素符号加上表明电性的“+”“-”号表示。如镀铜时阳极铜板上的铜原子失去两个电子变成铜离子时可写成：



阴极上溶液中的铜离子得到电子时，又变成铜原子，可写成：



## 二、化 合 价

前面已介绍了分子是由原子组成，但它们是如何形成的呢？在化学反应中，每一种原子只能与一定数量的其它元素的原子结合，这种性质叫做元素的化合价，又称原子价。从原子结构观点看，原子相互结合成分子时，由于原子外层电子数目不同，得失或共用电子对达到稳定态时所需电子数目也不相同，故显示出来