



职业技术·职业资格培训教材

化学分析工

HUAXUE FENXIGONG

四级 第2版

人力资源和社会保障部教材办公室
中国就业培训技术指导中心上海分中心 组织编写
上海市职业技能鉴定中心



中国劳动社会保障出版社



职业技术·职业资格培训教材

化学分析工

HUAXUE FENXIGONG

四级 第2版

主 编 张永清
编 者 张永清
黄 虹
主 审 盛晓东

翁宇静 陈兴利 范学超
张卫群



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

化学分析工. 四级/上海市职业技能鉴定中心组织编写. —2 版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2013

1+X 职业技术·职业资格培训教材

ISBN 978-7-5167-0684-8

I. ①化… II. ①上… III. ①化学分析-技术培训-教材 IV. ①065

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 272411 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)

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 478 千字

2013 年 11 月第 2 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

定价: 59.00 元

读者服务部电话: (010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话: (010) 64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 80497374

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者重奖。

举报电话: (010) 64954652

内 容 简 介

本教材由人力资源和社会保障部教材办公室、中国就业培训技术指导中心上海分中心、上海市职业技能鉴定中心依据上海 1+X 化学分析工（四级）职业技能鉴定考核细目组织编写。教材从强化培养操作技能，掌握实用技术的角度出发，较好地体现了当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握中级化学分析工的核心知识与技能有很好的帮助和指导作用。

本教材在编写中根据本职业的工作特点，以能力培养为根本出发点，采用模块化的编写方式。全书内容共分为 8 章，主要内容包括化学基础知识、物理常数的测定、滴定分析法、重量法、分光光度法、色谱分析法、电化学分析法、政策法规。每一章着重介绍相关专业理论知识与专业操作技能，使理论与实践得到有机的结合。

为方便读者掌握所学知识 with 技能，每章后附有单元测试题及答案，全书最后附有知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷，供巩固、检验学习效果时参考使用。

本教材可作为化学分析工（四级）职业技能培训与鉴定教材，也可供全国中、高等职业院校相关专业师生，以及相关从业人员参加职业培训、岗位培训、就业培训使用。

改版说明

1+X 职业技术·职业资格培训教材《化学分析工（中级）》自 2006 年出版以来深受从业人员的欢迎，经过多次重印，在化学分析工（四级）职业资格鉴定、职业技能培训和岗位培训中发挥了很大的作用。

随着我国科技进步、产业结构调整、市场经济的不断发展，新的国家和行业标准的相继颁布和实施，对四级化学分析工的职业技能提出了新的要求。为此，人力资源和社会保障部教材办公室、中国就业培训技术指导中心上海分中心、上海市职业技能鉴定中心联合组织了有关方面的专家和技术人员，按照新的四级化学分析工职业技能鉴定目录对教材进行了改版，使其更适应社会发展和行业需要，更好地为从业人员和社会广大读者服务。

为保持本套教材的延续性，顾及原有读者的层次，本次修订围绕化学分析工四级应知应会培训大纲和职业标准要求，根据教学和技能培训的实践以及化学分析工四级鉴定细目表，在原教材基础上进行了修改。新版教材在结构安排上作了调整，对旧标准、鉴定细目表和相关的技术内容进行了修订。在政策法规中新增了安全生产法、环境保护法、食品安全法方面的内容，并单列为第 8 章。在第 2 章的物理常数的测定的第 7 节技能训练中新增了沸点、比旋光度和黏度的内容。将第 1 版第四单元沉淀重量法改为第 4 章重量法，同时增加了挥发法和电重量法的内容，将教材的第五单元第二节原子吸收分光光度法删去，放入化学分析工三级的教材中。在技能训练中增加了重量法测定硫酸铵中水含量的内容，在第 7 章电化学分析法中增加了新设备的介绍。知识考核模拟试卷和操作技能训练题根据新题库作了适当调整，使教材内容更广，更具有实用性。教材编写内容涵盖教学实训和化工分析实践的重点、难点，对化学分析工操作技能的学习和鉴定更具有针对性。

本教材第 1 章由张永清、翁宇静、陈兴利编写，第 2 章由黄虹编写，第 3 章由张永清编写，第 4 章由张卫群编写，第 5 章、第 7 章由陈兴利编写，第 6 章由范学超、陈兴利编写，第 8 章由张卫群编写，全书由主编统稿。在编写过程中得到有关组织和领导的支持与



指导。在此，对给予帮助和支持的单位和个人表示衷心的感谢。

因编者水平和时间所限，教材中恐有不足甚至错误之处，欢迎读者及同行批评指正。

编 者
2013年8月

前 言

职业培训制度的积极推进,尤其是职业资格证书制度的推行,为广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能,提高就业能力、工作能力和职业转换能力提供了可能,同时也为企业选择适应生产需要的合格劳动者提供了依据。

随着我国科学技术的飞速发展和产业结构的不断调整,各种新兴职业应运而生,传统职业中也愈来愈多、愈来愈快地融进了各种新知识、新技术和新工艺。因此,加快培养合格的、适应现代化建设要求的高技能人才就显得尤为迫切。近年来,上海市在加快高技能人才建设方面进行了有益的探索,积累了丰富而宝贵的经验。为优化人力资源结构,加快高技能人才队伍建设,上海市人力资源和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面做了积极的探索和尝试,推出了1+X培训与鉴定模式。1+X中的1代表国家职业标准,X是为适应上海市经济发展的需要,对职业的部分知识和技能要求进行的扩充和更新。随着经济发展和技术进步,X将不断被赋予新的内涵,不断得到深化和提升。

上海市1+X培训与鉴定模式,得到了国家人力资源和社会保障部的支持和肯定。为配合上海市开展的1+X培训与鉴定的需要,人力资源和社会保障部教材办公室、中国就业培训技术指导中心上海分中心、上海市职业技能鉴定中心联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照1+X鉴定考核细目进行编写,教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的核心知识与技能,较好地体现了适用性、先进性与前瞻性。聘请编写1+X鉴定考核细目的专家,以及相关行业的专家参与教材的编审工作,保证了教材内容的科学性及与鉴定考核细目以及题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色,使读者通

过学习与培训，不仅有助于通过鉴定考核，而且能够有针对性地进行系统学习，真正掌握本职业的核心技术与操作技能，从而实现从懂得了什么到会做什么的飞跃。

职业技术·职业资格培训教材立足于国家职业标准，也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核，以及高技能人才培养提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作，由于时间紧迫，不足之处在所难免，欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

人力资源和社会保障部教材办公室
中国就业培训技术指导中心上海分中心
上海市职业技能鉴定中心

目 录

● 第1章 化学基础知识

第1节 无机化学基础知识	2
第2节 有机化学基础知识	35
第3节 分析数据的处理及其误差	88
单元测试题	99
单元测试题答案	105

● 第2章 物理常数的测定

第1节 熔点和凝固点的测定	110
第2节 沸点和沸程的测定	115
第3节 密度与相对密度的测定	120
第4节 折射率的测定	125
第5节 比旋光度的测定	128
第6节 黏度的测定	132
第7节 操作技能训练	136
单元测试题	145
单元测试题答案	147

● 第3章 滴定分析法

第1节 酸碱滴定	150
第2节 氧化还原滴定法	157
第3节 配位滴定法	173
第4节 沉淀滴定法	191
第5节 操作技能训练	196
单元测试题	206
单元测试题答案	208



● 第4章 重量法

第1节 概述	212
第2节 挥发法	212
第3节 沉淀重量法	213
第4节 电重量法	225
第5节 操作技能训练	230
单元测试题	233
单元测试题答案	235

● 第5章 分光光度法

第1节 可见—紫外分光光度法	238
第2节 操作技能训练	251
单元测试题	253
单元测试题答案	255

● 第6章 色谱分析法

第1节 气相色谱法	258
第2节 高效液相色谱法	278
第3节 操作技能训练	295
单元测试题	298
单元测试题答案	301

● 第7章 电化学分析法

第1节 电化学分析法概述	304
第2节 电导分析法	307
第3节 直接电位法	320
第4节 电位滴定法	328



第5节 操作技能训练	333
单元测试题	337
单元测试题答案	339

● 第8章 政策法规

第1节 《中华人民共和国安全生产法》	342
第2节 《中华人民共和国产品质量法》	345
第3节 《中华人民共和国计量法》	347
第4节 《中华人民共和国标准化法》	348
第5节 《中华人民共和国环境保护法》	350
第6节 《中华人民共和国食品安全法》	353
单元测试题	359
单元测试题答案	362
知识考核模拟试卷（一）	363
知识考核模拟试卷（二）	369
知识考核模拟试卷（一）答案	375
知识考核模拟试卷（二）答案	376
技能考核模拟试卷（一）	377
技能考核模拟试卷（二）	385

1

第 1 章

化学基础知识

第 1 节	无机化学基础知识	/2
第 2 节	有机化学基础知识	/35
第 3 节	分析数据的处理及其误差	/88



学习目标

了解原子结构和分子的结构、分子之间的作用力。

掌握化学反应速率和各类化学反应平衡及其计算。

了解有机化合物中的脂环烃、含氧、氮、硫有机物的命名、物理性质和化学性质，以及糖类、氨基酸与蛋白质的主要性质。

了解分析测试误差的传递规律和 t 检验、 F 检验以及回归分析法等数据处理的方法及应用。

第1节 无机化学基础知识

一、原子结构

1. 原子的组成

原子虽是化学变化中不可分的微粒，但原子是由更小的微粒——原子核和核外电子构成的。原子核位于原子的中心，它是由带正电荷的质子和不带电荷的中子组成。中子和质子的质量近似相等，绝对质量约为 $1.7 \times 10^{-24} \text{ g}$ 。原子核几乎集中了原子的全部质量。每个质子带一份正电荷，它的电量约为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。核外电子围绕着原子核不断地做高速运动，每个电子带一份负电荷。在原子中，核外电子数和原子核内的质子数相等，所以整个原子是呈电中性的。电子的质量约为质子或中子质量的 $1/1840$ ，所以可忽略不计。原子核虽然几乎集中了原子的全部质量，但从体积上看，原子核只占整个原子体积的极小一部分。

2. 原子核外电子的运动

电子的运动极为复杂，它在一个极小的空间（一个原子内）做高速运动。这种运动和普通物体的运动不同，有其特殊规律。

当一颗炮弹射出去，或人造卫星在天上运行时都可以根据一定的数据计算出在某一时刻它所在的位置及运动的速度，并描绘出它的运动轨迹。但核外电子的运动，有时离核近，有时离核远，不能确定它在某一时刻所在的位置，也无法描绘出运动的轨迹。只能指出它在原子核外空间某处出现的概率是多少。围绕着原子核做高速运动的电子，在核外各处出现的概率看起来就好像一团云。一般将这样的一团云称为电子云。电子云在离核近的地方颜色深一些，表示电子出现的概率大一些；在离核远的地方颜色浅一些，表示电子出

现的概率小一些。所以可以说电子云是对核外电子运动形象化的描述,如图 1—1 所示。另外也将电子云的形状称为电子运动的轨道。

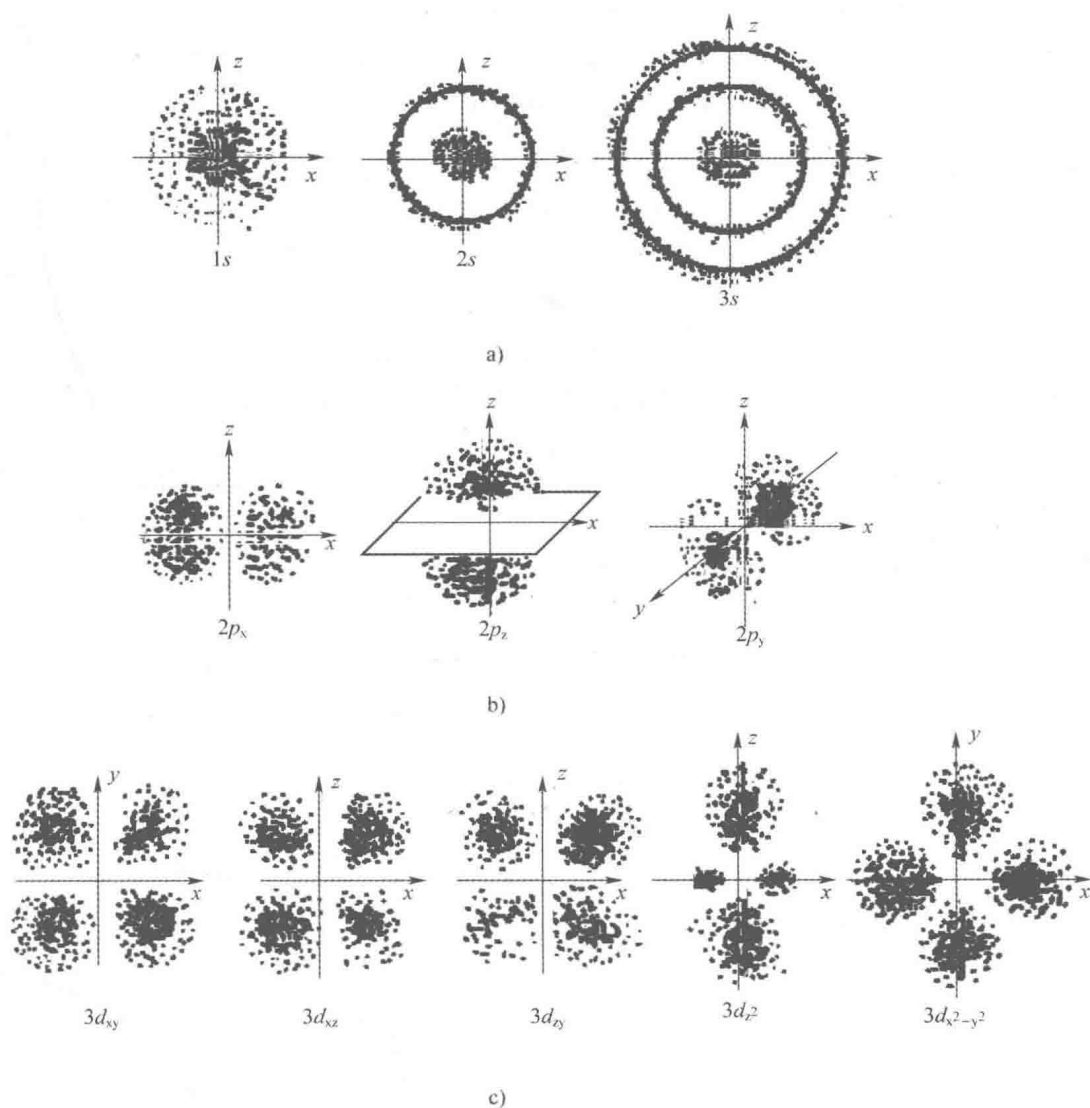


图 1—1 s、p、d 电子云空间分布示意图

a) s 电子云 b) p 电子云 c) d 电子云

二、原子核外电子的排布

1. 电子在原子内的运动

根据近代原子结构的理论,核外电子的运动状态,可用下列四个量子数来描述。

(1) 主量子数 n 。 n 的物理意义是电子层，表示电子在哪一层原子轨道中运动，表示电子离核的距离，表示电子的能量高低。离核近能量低，离核远能量高。核外电子只能在一定的能量状态下，也就是一定的电子层中运动。 n 的取值范围为正整数， $n=1, 2, 3\cdots$ 。 n 表示电子层的序数， $n=1$ ，第一层； $n=2$ ，第二层……以次类推，也可用 K, L, M, N…来表示第一、第二、第三、第四……电子层。

(2) 角量子数（副量子数） l 。 l 的物理意义是原子轨道的形状，也就是电子云的形状，也称亚层。 l 的取值范围为 $0 \leq l < n$ 的整数。例 $n=1, l=0$ ，第一电子层中只有一个亚层，只有一种形状的轨迹； $n=2, l=0$ 和 1，第二电子层中有两个亚层，有两种形状的轨道。可以推出第 n 电子层中有 n 个亚层，有 n 种形状的轨道。人们常将 $l=0$ 的轨道称为 s 轨道， $l=1$ 的轨道称为 p 轨道， $l=2$ 的轨道称为 d 轨道， $l=3$ 的轨道称为 f 轨道。 s 轨道的形状是球形的； p 轨道的形状是哑铃形的或双桃形的。原子轨道的形状都是立体的，而 d 轨道、 f 轨道的形状就很复杂了，如图 1—2 所示。

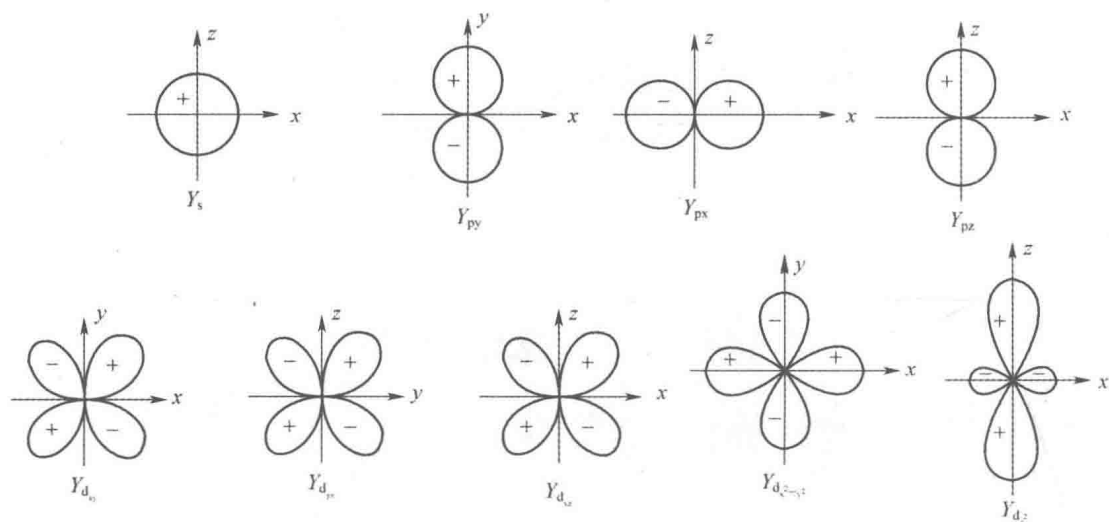


图 1—2 s 、 p 、 d 轨道角度分布图

电子在不同的亚层中运动，对单电子原子，只要电子层相同，电子运动的能量就是相同的，如 $ns, np, nd\cdots$ 原子轨道的能量是相同的。但对多电子原子，在不同亚层运动的电子能量会有所不同。因 s 电子出现在离核近的位置的概率较大， p 电子出现在离核近的位置的概率相对于 s 电子较小，所以即使在同一电子层的 s 电子和 p 电子， p 电子会受到 s 电子的屏蔽，受到核的引力较小，因而能量较高。中国学者徐光宪提出了一个原子中外层电子能量高低的经验公式，见式 (1—1)。

$$E = n + 0.7l \quad (1-1)$$

式中 E ——电子能量；

n ——电子层；

l ——电子亚层。

(3) 磁量子数 m 。 m 的物理意义是原子轨道在空间的伸展方向， $|m| \leq l$ 。即 $l=0$ ， $m=0$ ； $l=1$ ， $m=-1, 0, +1$ ，可推出在一个亚层内轨道的伸展方向数为 $2l+1$ ，即每个亚层中有 $2l+1$ 个轨道。如 $l=0$ ， s 轨道， $m=0$ ，可推出 s 轨道只有一个方向，即只有一个轨道； $l=1$ ， p 轨道， $m=-1, 0, +1$ ，表示 p 轨道有 3 个伸展方向，有三个相互垂直的轨道。以此类推， d 轨道有 5 个伸展方向， f 轨道有 7 个伸展方向。

当一个电子的 n 、 l 、 m 三个量子数决定后，一个电子的运动轨迹就确定了，并且根据 n 、 l 、 m 的取值规则，还可以推出第 n 层的电子有 n 个亚层，有 n^2 个轨道，见表 1—1。

表 1—1 n 、 l_i 、 m_i 可能组合成的轨道

主量子数 n	轨道角动量子数 l_i	磁量子数 m_i	轨道名称	n 相同的轨道总数 n^2
1	0	0	1 s	1
2	0	0	2 s	1 2^2
	1	-1, 0, +1	2 p	3
3	0	0	3 s	1
	1	-1, 0, +1	3 p	3 3^2
	2	-2, -1, 0, +1, +2	3 d	5
4	0	0	4 s	1
	1	-1, 0, +1	4 p	3 4^2
	2	-2, -1, 0, +1, +2	4 d	5
	3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	4 f	7

(4) 自旋量子数 m_s 。 m_s 的物理意义是电子的自旋方向。电子自旋方向只有两个：顺时针方向和逆时针方向，分别用 $+\frac{1}{2}$ 和 $-\frac{1}{2}$ 来表示，即每个轨道里的电子有两种运动状态。所以第 n 层电子中，电子的运动状态有 $2n^2$ 个。

2. 原子核外电子的排布

(1) 基态原子核外电子排布的规律。基态原子就是能量处于最低状态的原子，它的核外电子的排布有三条规律。

1) 能量最低原理。即电子进入轨道时，最先进入能量最低的轨道，当能量低的轨道充满后，再依次进入能量较高的轨道。图 1—3 所示为泡利近似能级图。

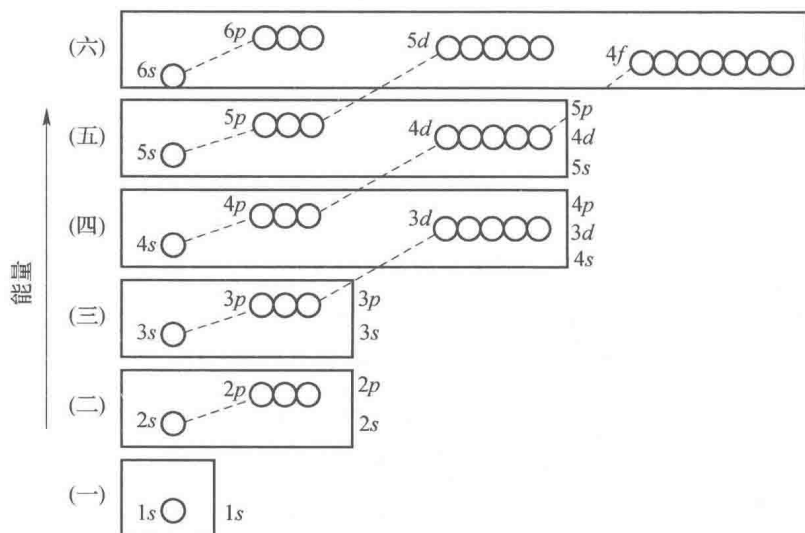


图 1—3 泡利近似能级图

2) 泡利 (Pauli) 不相容原理。在一个轨道中不能容纳两个自旋方向相同的电子, 即一个轨道只能容纳两个自旋方向相反的电子, 所以第 n 层电子中能容纳的电子数最多有 $2n^2$ 个。

3) 洪特规则。从上述讨论可知, p 轨道有三个能量相同的轨道, 电子进入 p 轨道的方式是先以自旋平行的方式分占不同的轨道。电子在轨道里分布的表示方法有电子排布式和轨道式两种。

①电子排布式。先将原子轨道按能量高低写出, 然后电子顺着轨道的能量高低依次进入轨道。例如, 氧原子核外有 8 个电子, 轨道的能量由高到低依次为 $1s$ 、 $2s$ 、 $2p$ 、 $3s$ 、 $3p$, 氧原子的 8 个电子进入轨道 $1s^2$ 、 $2s^2$ 、 $2p^4$, 表示 $1s$ 轨道 2 个电子, $2s$ 轨道 2 个电子, $2p$ 轨道 4 个电子。根据洪特规则 $2p$ 轨道的 4 个电子可写成: $2p_x^2$ 、 $2p_y^1$ 、 $2p_z^1$ 。

②轨道式。电子排布式不能很好地反映洪特规则, 洪特规则要用轨道式表示, 用圆圈或小方格表示原子轨道。如 $\square \square \square \square \square \square \square$, 例如: N 原子有 7 个核外电子, 它们进入轨道的次序是

$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\uparrow\uparrow$, $1s$ 轨道中 2 个电子, $2s$ 轨道中 2 个电子, 3 个 p 电子以自旋相同的状态分占 3 个能量相等的 $3p$ 轨道, 这就是洪特规则。

(2) 激发态。核外电子排布不符合能量最低原理。例如, 氢原子的一个电子应处于 $1s$ 轨道, 如果电子处于 $2s$ 轨道中运动, 称这种运动状态为激发态。基态原子受外界各条件 (如电火花) 激发后电子会跃迁到激发态。如 $1s^2$ 、 $2s^1$ 、 $2p^3$ 这种电子排布形式是允许存在的,