

X线摄影感光化学 及显像过程

李浴中 编著

人民军医出版社

DF42/08
X线摄影感光化学

及显像过程

XXIAN SHEYING GAN
GUANGHUAXUE JI
XIANXIANG GUOCHENG

李浴中 编著

陈玉人 审校

人民军医出版社

1992·北京

内 容 提 要

本书系统阐述了感光材料的各种化学过程和成像机理,详细介绍了X线胶片的各种性能,对X线胶片的洗像技术从理论到实践作了充分论述。为便于初学者学习和掌握X线摄影感光化学及暗室技术,本书还简要复习了无机和有机化学的有关基础理论,并对常用摄影药品作了介绍。本书可供从事X线摄影、普通摄影及化工技术人员参考,尤其适合作为大专院校放射技术专业的教学参考书。

责任编辑 曾 星

X线摄影感光化学及显像过程

李浴中 编著

人民军医出版社出版

(北京复兴路22号甲3号)

(邮政编码: 100842)

北京孙中印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本: $787 \times 1092 \text{ mm}^1/32$ · 印张: 10.25 · 字数: 230千字

1992年3月第1版 1992年3月(北京)第1次印刷

印数: 1-1500 定价: 6.50元

ISBN 7-80020-296-8/R · 252

〔科技新书目: 261—239④〕

编写说明

医用X线摄影是临床放射诊断的重要手段，它包括X线投照和暗室操作两部分，在X线成像过程中，两者都是重要的环节，缺一不可。

过去，在放射专业书刊中，所见的暗室化学和暗室技术都是附属在X线投照技术书中，只作一些概要介绍，没有把它作为一门独立的学科加以系统研究和探讨。1981年版的《X线照相化学》才开始在这方面作了一点初步尝试。近年来，感光化学的基础理论又有了新的发展，暗室操作技术更加先进，因而作者在原书的基础上，又收集和参考了近年来国内外有关X线摄影感光化学和暗室技术的资料，结合实践经验，又编写了这本《X线摄影感光化学及显像过程》，供从事X线诊断、X线摄影和放射教学等方面的人员参考。

由于编者的水平所限，参考的资料也不够全面，书中仍会有不妥、错误和欠严谨之处，敬请读者批评指正。

本书在编写过程中承蒙陈玉人教授给予指导和审校，在此谨致谢意。

编者

目 录

第一章 基础化学理论概述	(1)
一、分子及分子的形成	(1)
二、原子及原子结构	(4)
三、元素周期律及周期表	(11)
四、化学反应与化学平衡	(13)
五、溶液	(16)
六、电解质溶液及酸、碱、盐和氧化物	(18)
七、氧化还原反应	(23)
八、有机化学的基础理论	(25)
第二章 摄影及感光材料	(41)
一、普通摄影与X线摄影	(41)
二、感光材料	(45)
三、各种感光材料的构造	(49)
四、摄影用明胶	(52)
五、卤化银	(59)
六、X线胶片感光乳剂的制备及其配方	(61)
第三章 潜影的性质及其形成机理	(80)
一、潜影的概念及其性质	(80)
二、潜影的形成机理	(84)
第四章 摄影感光材料的特性曲线及其有关性质	(103)
一、感光测定的意义	(103)
二、感光测定中的一些基本概念	(104)
三、感光材料的特性曲线	(106)

四、感光材料的各种性能	(110)
第五章 几种X线胶片的感光性能和投照技术	(147)
一、几种X线胶片的感光特点	(147)
二、几种常用X线胶片照射条件	(149)
三、特殊情况下的X线照射条件	(152)
四、影响X线照片质量的因素及质量控制	(153)
五、X线照片的质量评价	(167)
第六章 显影化学及显影技术	(171)
一、显影原理	(171)
二、显影种类	(182)
三、显影剂的分类、结构及其特性	(186)
四、X线胶片用显影液的组成和配方及配制法	(195)
五、显影液及其显影过程对显影效果的影响	(223)
第七章 定影	(232)
一、漂洗或停显	(232)
二、定影的目的及定影剂的选择	(232)
三、定影原理	(233)
四、定影液的成分及其配制	(236)
五、影响定影速度的因素	(247)
六、定影操作技术	(250)
七、陈旧定影液的提银和再生	(250)
第八章 照片的冲洗与干燥	(255)
一、照片的冲洗	(255)
二、照片的干燥	(264)
第九章 X线胶片自动化洗片技术	(267)
一、自动洗片技术的特点	(267)
二、自动洗片机的主要结构	(268)
三、自动洗片机的规格和性能	(271)
四、操作洗片机前的准备工作和维修	(272)
第十章 照片加工的辅助技术	(274)

一、照片的减薄	(274)
二、照片的加厚	(279)
三、影像的反转与X线照片的复制	(285)
第十一章 X线照片上出现的缺陷分析	(290)
一、投照条件的因素	(290)
二、显影技术因素	(291)
三、定影技术因素	(293)
四、冲洗与干燥过程的因素	(294)
五、其它方面的缺陷及其产生因素	(295)
附录 摄影专业常用药品	(297)

第一章 基础化学理论概述

一、分子及分子的形成

(一) 分子

分子是由原子构成的一种微粒，也是物质能独立存在并保持其原有性质的最小结构单位。同种物质的分子其重量、大小和其它性质完全相同，不同种物质的分子其重量、大小和其它性质都不相同。分子与分子之间具有间隔，一切分子都是处于不停的运动状态。总之，分子是保持物质理化性质的最小微粒。原子是参加化学反应的最小微粒。在物理变化中，由于构成物质的分子是不变的，所以物质的性质保持不变。在化学反应里，由于物质的分子发生了变化，即原子重新结合，因而生成了新物质。化学所研究的对象就是一些物质变成另一些物质的变化，以及伴随这些变化所发生的各种现象。

(二) 单质、化合物和混合物

由同种元素的原子组成的物质叫做单质。例如氢气、氧气、氮气、铁、铜、铝、硫等都是单质。由不同种元素的原子组成的物质叫做化合物。例如水、酒精、氧化镁、碳酸钠、硫酸钠、溴化钾、苯、氢氧化钠等都是化合物。

单质可分为金属和非金属两大类。由金属元素的原子结合而成的单质是金属，因此，铁、铜、镁、铝等都是金属。

由非金属元素的原子结合而成的单质是非金属，因此，氢气、氧气、氮气、硫、碳等都是非金属。

单质与元素虽然有联系，但也有区别，不可混淆。元素有不同的存在形式，或呈游离状态，或呈化合状态。只有当元素呈游离状态时，才称其为单质。单质只是元素存在的形式之一，如氢气和氧气是两种单质，但它们可化合生成水。我们说水分子是由氢原子和氧原子组成的，水中含有氢和氧两种元素，而不能说水中含有氢和氧两种单质。

化合物与混合物有着本质上的区别。由不同种元素的原子按一定的比例结合而生成物质叫化合物。由不同种的单质或化合物以任意的比例混杂在一起形成的物质叫混合物。组成混合物的各种物质在混合时不发生化学反应，仍保持着它们各自原有的性质。

(三) 分子式和分子量

1. 分子式 用元素符号来表示物质分子组成的式子叫做分子式。分子式代表物质的一个分子，它表明分子中所含元素的种类及其原子数目；表明组成物质的各元素之重量比；也表明物质的分子量。

分子式是国际通用的，有一定的书写规则。写单质的分子式，应先将元素符号写出，然后在元素符号的右下角用较小的字体写上数字，其表示该单质的一个分子里所含有的原子数目。例如 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 等。写化合物的分子式时，如果是金属元素与非金属元素化合而生成化合物，通常是将金属元素的符号写在前面，非金属元素写在后面，并在各元素符号的右下角分别标上字体较小的数字。例如溴化钠 NaBr 、氯化锌 ZnCl_2 等。如果是书写非金属元素与氧元素所生成的化合物时，通常是将非金属元素符号写在前面，氧元素符号

写在后面，并在右下角标上相应的数字。例如二氧化碳 CO_2 。在书写非金属元素与氢元素所生成的化合物的分子式时，如果是B、C、N、P、Si、As诸元素，则将氢元素符号写在后面，并标上各元素的原子数。例如甲烷 CH_4 、磷化氢 PH_3 等。而对于其它非金属元素则将氢元素符号写在前面，再标上各元素的原子数。例如，硫化氢 H_2S 、溴化氢 HBr 等。

2. 分子量 某物质一个分子的重量用“碳单位”来表示，则称其为该物质的分子量。单质或化合物的分子量等于组成分子中各原子的原子量之和。分子量用 M 表示，例如 $M_{\text{H}_2\text{O}}=18$ ， $M_{\text{O}_2}=32$ 。

(四) 摩尔

摩尔也是计量物质质量的一种单位。它可以作为计量原子、分子、离子、电子数量的单位。

国际制中明确规定，物质体系所包含的结构粒子数目与0.012千克 ^{12}C 中的原子数目相等时，则这个体系的物质的量叫做1摩尔。因为0.012千克 ^{12}C 所含的碳原子数目是 6.022×10^{23} 个原子，所以1摩尔含有 6.022×10^{23} 个物质微粒。因此， 6.022×10^{23} 个溴原子，叫做1摩尔溴原子； 6.022×10^{23} 个 NaCl 分子，叫做1摩尔 NaCl 分子； 6.022×10^{23} 个 H 离子，叫做1摩尔 H 离子； 6.022×10^{23} 个电子，叫做1摩尔电子。

(五) 元素的化合价

化合价亦称原子价。在化学反应中，一种元素的原子能与一定数目的其它元素的原子相结合，这种性质叫做元素的化合价。

元素的化合价，就是根据在化合物里这种元素的一个原

注： ^{12}C ——指碳十二同位素。

子能与几个氢原子相结合来决定的。例如，在水分子 H_2O 中，氧原子能与两个氢原子结合，氧的化合价就等于2。在溴化氢 HBr 和氯化氢 HCl 等化合物里，氯和溴都是一价。化合物里元素的化合价，可以分为正价和负价。例如，在水这个化合物里，氢元素是正价，氧元素是负价。在多种元素的化合物里，正化合价数等于负化合价数，即其代数和为零。一般金属元素是正价；非金属元素与氢化合时是负价，与氧化合时是正价。两种元素组成的化合物里，一种元素的正化合价的总数一定等于另一种元素的负化合价的总数。大多数元素可具有一种以上的化合价，例如铁可有正二价和正三价，锡有正二价和正四价等。化合价又可按原子间化学键的性质而分类，在“离子键”中的称为电价，在“共价键”中的称为共价。

二、原子及原子结构

(一) 原子和元素

1. 原子 物质由元素组成，是就物质的化学成分而言。但任何一种元素都是以它的原子形式存在的。原子是参加化学反应的最小微粒。例如氢是由两个氢原子自身结合而成，氧由两个氧原子自身结合而成，溴化钾由溴原子和钾原子相互结合而成等等。

2. 元素 物质都是由各类元素组成的。例如氢气由氢元素组成，氧气由氧元素组成，氯化钠由氯和钠两种元素组成等。相同元素组成单质，不同元素相互结合生成化合物。

(二) 原子量

用“碳单位”来表示的原子的重量叫做原子量。各种元

素精确的原子量可在元素周期表中查得。

(三) 原子的结构

1. 原子的组成 原子是由一个原子核和若干个核外电子组成。原子核位于原子的中心，带正电荷。原子核的质量较重，但在整个原子中，它所占的体积却很小。围绕原子核旋转的电子带负电荷。一切原子核所带的正电荷数量与核外全部电子所带的负电荷数量相等，所以整个原子不显电性。原子核外的全部电子都是围绕着原子核不停地迅速旋转，正像行星围绕太阳运转一样。因而，即使原子核带正电，电子带负电，电子也不会因异性相吸而被原子核吸引落到核上去。

在科学上将1个电子所带的负电荷定为1个单位电荷，即 $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 。它是电量的最小单位，1个电子带有1个单位负电荷。在原子中，原子核所带的正电荷数与核外全部电子的负电荷数相等。由于1个电子带1个负电荷，所以核外的电子数等于原子核的正电荷数。每种元素的原子核所带的正电荷，在数值上等于该元素在元素周期表中的原子序数。所以每种元素的原子所含的电子数，也等于这种元素的原子序数。元素的原子序数是元素的基本特征，原子序数等于原子核内的质子数，由于质子数的不同，便形成了各种不同的元素。例如，氢的原子序数等于1，它的原子核里只有一个质子，带有1个单位正电荷，同时核外有1个电子绕核运转；氦的原子序数为2，核电荷为2，核外有2个电子运行等等。原子序数用符号 Z 表示。

2. 原子核的组成和同位素 原子中极微小的原子核也具有非常复杂的结构，原子核里含有一种带正电的微粒，它带有一个单位的正电荷，其质量等于氢原子核的质量，这种微粒叫做质子。原子核里除了质子外，还有另一种微粒，该

微粒在质量上与质子大约相等，但不显电性，这种微粒叫做中子。这就是说原子核是由质子和中子组成的。原子核中质子的数目（即原子核所带的正电荷数），等于这种元素的原子序数。原子核里中子的数目，等于这种元素的原子量数值与该元素原子序数的差。

如上所述，原子核所带的正电荷数，决定于核里所含质子的数目，而原子量系决定于核里所含的质子和中子数的总和。有些元素的原子具有相等的核电荷数，但具有不同的原子量。原子核里具有相同的质子数和不同的中子数而产生的同一元素的原子的变种，叫做同位素。因为它们原子序数相同，所以在元素周期表中占有同一个位置。差不多所有的元素都有几种同位素，各元素具有同位素的数目各不相同。在天然存在的某种元素中，各种同位素所占的百分比是固定的。由此可见，通常我们所说某种元素的原子量，实际上是某种元素所含各同位素的平均原子量。

3. 原子核外电子层的结构 原子核外的电子是分层排布的，有的电子层离核近，有的电子层离核远。核外各个电子所具有的能量不同，距离原子核近的电子层能量低，距离原子核远的电子层能量高。电子层按距离原子核由近到远的顺序，以序数 $n=1、2、3、4、5\cdots$ 表示。从能量较低的开始，依次也可称为K层、L层、M层、N层和O层等。在每一层上所能容纳的电子数，不仅有一定限度，而且还有一定的规律。每层的电子数最多为 $2n^2$ 个（ n 为电子所在层数）。根据公式，K、L、M、N……电子层里能容纳电子的最大数，分别为2、8、18、32……。但最外电子层最多容8个电子，次外电子层不超过18个。元素原子的最外层电子数决定着元素的化学性质。最外层已有8个电子，也就是达到最外

层饱和状态时，原子就形成了稳定的结构，不易参加化学反应。大部分惰性气体的原子最外层电子是一种8电子的稳定结构。但根据 $2n^2$ 规律，若原子只有一层电子，那就是说第一层最多只能有2个电子，当它已满2个，亦呈饱和，亦呈稳定状态，例如氦原子就是惰性气体原子。当原子最外层电子数不满8个时，都有趋于达到8个电子的稳定结构的倾向。最外层电子数越少，同时电子层越多时，由于核对最外层电子的吸力弱，所以原子丢失电子的能力越强，显示的金属性越强。由于丢失电子后原子带正电成阳离子，所以显正价。如最外层电子数越多，同时电子层数越少时，由于核对最外层电子的吸力较强，所以原子得电子的能力就越强，则显非金属性越强。由于得电子后原子带负电成阴离子，所以显负价。如最外层电子数是4个时，该原子得电子和失电子的趋势相等，因而元素具有金属和非金属两重性。

(四) 离子的形成和分子的组成

1. 离子的形成 当原子失掉了电子或获得了多余电子，使原子核所带的正电量与电子的负电量的总和不等时，原子就变成了带电的离子。失去电子的原子成为阳离子，获得多余电子的原子变成了阴离子。原子失去电子或获得电子成为离子的现象称为电离或离子化。电解质溶解于水或受热熔化而离解为自由移动的离子，就是电离过程。

阳离子或阴离子的表示方法，是在原子符号的右上方标以“+”或“-”。该符号称作离子价。它表示在形成离子时，所失去的电子数或所获得的电子数。例如， Ag^+ 为银的阳离子，价数为1。 Br^- 表示溴的阴离子，价数为1。 Al^{3+} 表示铝的阳离子，价数为3。

分子电离成离子的过程是可逆的。也就是说，带有相反

电荷的离子相遇时，又可能重新结合成不带电的分子。则：

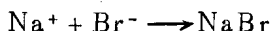


M表示电解质的分子； K^+ 和 A^- 各表示带正、负电荷的离子； $\rightleftharpoons$ 表示这种变化是可逆的。

在酸、碱、盐的溶液中，溶质分子离解成带有相反电荷的离子，例如：



带有相反电荷的离子，又可重新结合成不带电的分子，例如：



在整个溶液中并不显带电的性质，因为所生成的离子在溶液中不断地向各方面自由地运动着。带正电的离子所带正电的总量和带负电的离子所带负电的总量是相等的。

2. 分子的组成 人们很早就知道，分子是由原子组成的。同种的原子相结合，形成单质分子，不同种的原子相结合，形成化合物分子。可是关于原子结合成分子的详细而科学的解释，是在原子理论确定后才作出的。

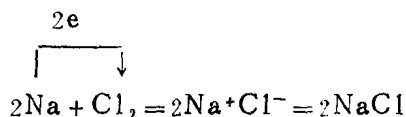
在讲原子结构的理论时已指出，大部分惰性气体元素的原子，最外层电子是一种8电子的稳定结构。因而一切惰性气体元素都不易参加化学反应。同时也指出，所有元素原子的最外电子层，都有成为稳定结构的倾向。原子相互结合而形成分子，就是由这种倾向所引起的。

由于各种原子的电子层结构各不相同，因而各原子相互结合的方式也互不一样。各种原子相互结合时，原子核并不发生变化，只是核外的电子，特别是外层的电子，在原子之间重新分布，引起原子间的相互作用，产生一种强大的结合

力，因而形成了各种分子。化学上，把分子中各直接相连接的原子间的结合力叫做化学键。化学键有多种不同的类型。如离子键、共价键、金属键等等。

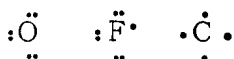
离子键：上节中已讲到，带有电荷的原子（或原子团）叫做离子。离子是由原子得到或失去电子所生成的，原子得到或失去多少个电子，离子就带有多少负电荷或正电荷。由原子得到电子而生成的离子就是阴离子，由原子失去电子而生成的离子叫做阳离子。

活泼的金属原子有放出电子的倾向，而活泼的非金属原子有结合电子的倾向。因此当活泼的金属原子碰到活泼的非金属原子的时候，金属原子最外层上的电子正好供给非金属原子。这样双方即可都变成最稳定的结构。这时金属原子是阳离子，非金属原子是阴离子。这两种带有相反电荷的离子间由于有静电引力作用的存在，阴阳离子必然互相靠近，从而形成了化合物的分子。这种阴离子和阳离子相结合起来的化学键叫做离子键（又称电价键）。由离子键结合而成的化合物叫做离子型化合物。金属原子和活泼的非金属元素生成的化合物，都是离子化合物。例如氯化钠就是一种离子化合物。如果用“+”号表示正电荷，用“-”号表示负电荷，用符号“e”来表示电子，那么氯化钠的生成就可由下列式子表示：



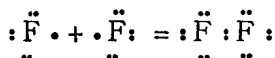
共价键：原子间通过共用电子对所形成的化学键叫做共价键又叫原子键。这一理论是为了解释一些非金属单质分子，例如 Cl_2 、 H_2 、 N_2 等和一些非金属之间的化合物分子，例如 H_2O 、 NH_3 等形成的原因而提出的。

现在让我们来认识一下另外一种表示原子结构的图式：

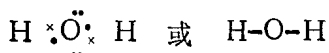


元素符号周围的小黑点是表示这个原子的最外层电子数。现在我们用氟的分子生成为例，利用上面原子结构的简便图式，来说明一下单质分子的形成过程。

氟原子的最外电子层上有7个电子，为了使这层成为8个电子的稳定电子层，还需要1个电子。当两个氟原子相遇的时候，两个核各以相等引力吸引对方的一个电子，结果，两个原子外层的各一个电子，就同时环绕两个核运转起来，这两个原来分别属于两个氟原子的电子，现在成为这两个氟原子所共有。这样，两个原子相结合成为一个整体，变成了一个分子：



下面再讨论一下水 H_2O 分子的形成。水的分子式是 H_2O ，因为氧原子的最外层有6个电子，而氢原子只有1个电子，因而一个氧原子能与两个氢原子通过共有两对电子相结合而形成水分子：



这样，氧原子满足了8电子稳态，氢原子由于只有一层电子亦满足了2电子稳态。

以上表示氟分子和水分子的那种图式叫做电子式。这种结合的方式显然与离子键是不同的，因为在生成这种化学键的时候，没有发生电子由一个原子向另一个原子转移过程，所以分子里是没有离子存在的。原子和原子通过电子对形成