

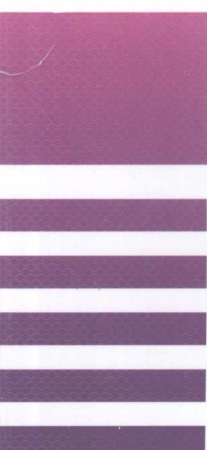
DONGWU YIYONG HUAXUE



高职高专“十一五”规划教材

# 动物医用化学

李蓉 朱丽霞 主编



化学工业出版社

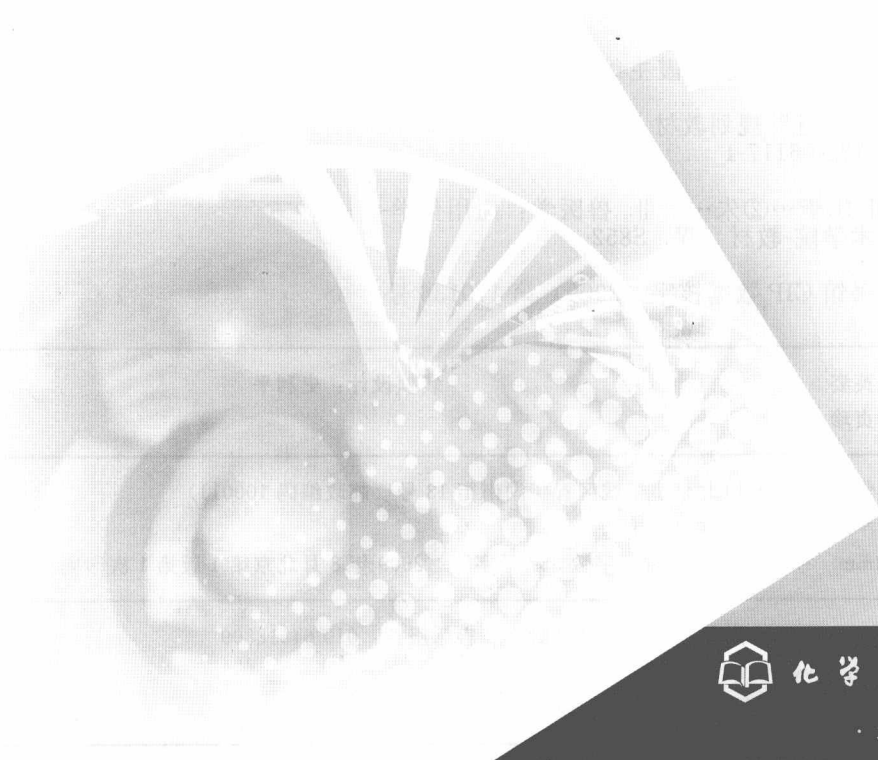
DONGWU YIYONG HUAXUE

高职高专“十一五”规划教材

# 动物医用化学

李 蓉 朱丽霞 主 编

邢晓玲 王帅兵 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书理论部分包括无机及分析化学、有机化学、物质代谢三部分,共十五章。实验实训部分共二十四个实验项目。其中,无机及分析化学部分主要介绍了化学理论基础、定量分析技术、溶液、电解质溶液和缓冲溶液。有机化学部分打破了常规的体系,将有机化学分为有机化合物的基本类型、有机化合物的命名和重要有机化合物的性质,同时融入了生物体中的重要反应、生物氧化的基本知识、三大营养物的结构和性质以及与动物医学专业相关的重要有机物。物质代谢部分主要介绍了动物体内的糖、脂类和蛋白质三大代谢、核酸与蛋白质的生物合成以及肝脏的生物化学。

本书适用于三年制高职高专动物医学、动物药学等相关专业,也可供畜牧、兽医类从业人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

动物医用化学/李蓉,朱丽霞主编. —北京:化学工业出版社,2009.8  
高职高专“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-122-06117-1

I. 动… II. ①李…②朱… III. 兽医学:医用化学-高等学校:技术学院-教材 IV. S852

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第110136号

---

责任编辑:旷英姿  
责任校对:徐贞珍

装帧设计:史利平

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装:化学工业出版社印刷厂  
787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数357千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

随着高职高专教育的蓬勃发展，课程改革的不断深入，课程的综合化已势在必行。为此，我们结合动物医学专业的需要，将无机化学、分析化学、有机化学、动物生物化学四门课程精简并有机融合，使四门课程的相关知识更加紧凑和连贯，避免了单独成书时一些内容不必要的重复，使学生在有限时间内能学到“必需、够用”的知识，掌握必要的技能。全书理论部分包括无机及分析化学、有机化学、物质代谢三部分，共十五章。第四部分是实验实训，共二十四个实验项目。无机及分析化学部分主要介绍化学理论基础、定量分析技术、溶液、电解质溶液和缓冲溶液。在电解质一章中，融入了动物体内，水和无机盐的代谢；在缓冲溶液一章中，衔接了动物体内的酸碱平衡及调节。有机化学部分打破了常规的体系，在讲授有机化合物的基本类型、有机化合物的命名和重要有机化合物的性质的基础上，融入了生物体中的重要反应、生物氧化、三大营养物质的结构和性质，以及与动物医学专业有关的重要有机物等相关知识。营养物质代谢部分主要介绍了动物体内的糖、脂类和蛋白质三大代谢、核酸与蛋白质的生物合成以及肝脏的生物化学。本教材适用于三年制高职高专动物医学、动物药学及相关专业，也可供畜牧、兽医类从业人员参考。

在编写教材时，我们力求简明扼要，实用够用，尽可能体现高职高专教育人才培养目标和课程目标，满足高职高专教学的实际需要。编写中，针对重要的知识点，按章配备了相应的习题，以强化学生对这些知识点的理解和掌握。

本书由江苏畜牧兽医职业技术学院李蓉、朱丽霞任主编，邢晓玲、王帅兵任副主编。参加编写的人员还有陈晓兰、洪伟鸣、吉华、王一萍、王莹。全书由李蓉、朱丽霞统稿。

由于编者水平有限，加之时间紧迫，教材中的缺点和不足之处在所难免，敬请广大师生及读者批评指正。

编 者  
2009 年 4 月

# 目 录

|                 |   |                     |   |
|-----------------|---|---------------------|---|
| 绪论 .....        | 1 | 三、化学与动物医学的关系 .....  | 1 |
| 一、化学的研究对象 ..... | 1 | 四、动物医用化学的主要内容 ..... | 2 |
| 二、化学的研究范围 ..... | 1 |                     |   |

## 第一部分 无机及分析化学

|                          |    |                         |    |
|--------------------------|----|-------------------------|----|
| 第一章 物质的结构及变化 .....       | 3  | 三、比色法及分光光度法 .....       | 21 |
| 第一节 原子的组成和同位素 .....      | 3  | 四、分光光度计 .....           | 23 |
| 一、原子的组成 .....            | 3  | 五、吸光光度法在生物学中的应用实例 ..... | 23 |
| 二、同位素 .....              | 4  | 习题 .....                | 24 |
| 三、原子核外电子的排布 .....        | 4  | 第三章 溶液 .....            | 26 |
| 第二节 元素周期律和元素周期表 .....    | 5  | 第一节 分散系 .....           | 26 |
| 一、元素周期律 .....            | 5  | 一、分子或离子分散系 .....        | 26 |
| 二、元素周期表 .....            | 5  | 二、胶体分散系 .....           | 26 |
| 第三节 化学键和分子间作用力 .....     | 6  | 三、粗分散系 .....            | 26 |
| 一、化学键 .....              | 6  | 第二节 溶液的配制 .....         | 27 |
| 二、分子间的作用力和氢键 .....       | 7  | 一、溶液浓度的表示方法 .....       | 27 |
| 第四节 配位化合物 .....          | 8  | 二、一定浓度溶液的配制 .....       | 28 |
| 一、配合物的基本概念 .....         | 8  | 第三节 溶液的渗透压 .....        | 30 |
| 二、配合物的组成 .....           | 9  | 一、渗透现象和渗透压 .....        | 30 |
| 三、配合物的命名 .....           | 9  | 二、渗透压与溶液浓度的关系 .....     | 31 |
| 四、配合物在医学药学中的应用 .....     | 10 | 三、渗透压在医学上的意义 .....      | 31 |
| 第五节 氧化还原反应 .....         | 10 | 第四节 胶体溶液和高分子化合物溶液 ..... | 32 |
| 一、氧化还原反应的基本概念 .....      | 10 | 一、胶体溶液 .....            | 32 |
| 二、氧化剂和还原剂 .....          | 11 | 二、高分子化合物溶液 .....        | 33 |
| 三、与医学、药学有关的氧化剂和还原剂 ..... | 11 | 习题 .....                | 33 |
| 习题 .....                 | 12 | 第四章 电解质溶液与水盐代谢 .....    | 35 |
| 第二章 定量分析技术 .....         | 13 | 第一节 化学平衡 .....          | 35 |
| 第一节 误差及数据处理 .....        | 13 | 一、化学反应速率 .....          | 35 |
| 一、误差 .....               | 13 | 二、可逆反应和化学平衡 .....       | 36 |
| 二、误差的表示方法 .....          | 14 | 三、化学平衡的移动 .....         | 37 |
| 三、有效数字及其运算规则 .....       | 16 | 四、标准平衡常数 .....          | 38 |
| 第二节 滴定分析法概述 .....        | 17 | 第二节 弱电质的解离平衡 .....      | 39 |
| 一、滴定分析的基本概念 .....        | 17 | 一、强电解质和弱电解质 .....       | 39 |
| 二、滴定分析方法 .....           | 18 | 二、弱酸、弱碱的解离平衡 .....      | 39 |
| 三、滴定分析法应用实例 .....        | 18 | 三、水的解离平衡 .....          | 40 |
| 第三节 吸光光度法 .....          | 19 | 第三节 溶液的酸碱性和 pH .....    | 41 |
| 一、吸光光度法的基本原理 .....       | 19 | 一、溶液的酸碱性 .....          | 41 |
| 二、光吸收曲线 .....            | 21 | 二、溶液的 pH .....          | 41 |
|                          |    | 三、酸碱指示剂 .....           | 42 |

|                      |    |                     |    |
|----------------------|----|---------------------|----|
| 第四节 盐类的水解 .....      | 43 | 第一节 酸碱质子理论 .....    | 54 |
| 一、离子反应 .....         | 43 | 一、酸碱质子理论的概念 .....   | 54 |
| 二、盐类的水解 .....        | 43 | 二、共轭酸碱的强弱 .....     | 55 |
| 第五节 沉淀溶解平衡 .....     | 45 | 第二节 缓冲溶液 .....      | 55 |
| 一、沉淀溶解平衡 .....       | 45 | 一、缓冲溶液的概念 .....     | 55 |
| 二、溶度积规则 .....        | 46 | 二、缓冲溶液的组成 .....     | 55 |
| 第六节 动物体内的水、盐代谢 ..... | 46 | 三、缓冲作用的原理 .....     | 55 |
| 一、体液 .....           | 46 | 四、缓冲溶液的 pH .....    | 56 |
| 二、水平衡 .....          | 47 | 五、缓冲溶液的配制 .....     | 56 |
| 三、电解质平衡 .....        | 48 | 第三节 酸碱平衡 .....      | 57 |
| 四、微量元素 .....         | 51 | 一、体内酸碱性质物质的来源 ..... | 57 |
| 习题 .....             | 52 | 二、酸碱平衡的调节 .....     | 57 |
| 第五章 缓冲溶液和酸碱平衡 .....  | 54 | 习题 .....            | 60 |

## 第二部分 有机化学

|                      |    |                      |    |
|----------------------|----|----------------------|----|
| 第六章 有机化合物的基本类型 ..... | 62 | 的命名 .....            | 75 |
| 第一节 有机化合物概述 .....    | 62 | 三、含单个主体官能团的脂肪族化合物    |    |
| 一、有机化合物的特性 .....     | 62 | 的命名 .....            | 75 |
| 二、有机化合物的结构 .....     | 63 | 四、含多个主体官能团的脂肪族化合物    |    |
| 三、有机化合物的表示方法 .....   | 63 | 的命名 .....            | 76 |
| 四、有机化合物的分类 .....     | 64 | 第四节 芳香族化合物的命名 .....  | 77 |
| 第二节 烃 .....          | 64 | 一、只含取代基官能团的芳香族化合物    |    |
| 一、饱和链烃 .....         | 64 | 的命名 .....            | 77 |
| 二、不饱和链烃 .....        | 65 | 二、含主体官能团的芳香族化合物的     |    |
| 三、芳香烃 .....          | 65 | 命名 .....             | 78 |
| 第三节 烃的衍生物 .....      | 66 | 第五节 杂环化合物的命名 .....   | 78 |
| 一、醇、酚、醚 .....        | 66 | 习题 .....             | 80 |
| 二、醛、酮 .....          | 66 | 第八章 重要有机化合物的性质 ..... | 82 |
| 三、羧酸、酯 .....         | 67 | 第一节 重要的有机反应 .....    | 82 |
| 四、胺和酰胺 .....         | 67 | 一、取代反应 .....         | 82 |
| 五、杂环化合物 .....        | 68 | 二、加成反应 .....         | 83 |
| 第四节 有机化合物的同分异构 ..... | 68 | 三、氧化还原和生物氧化 .....    | 85 |
| 一、构造异构 .....         | 68 | 四、脱羧反应 生物氧化中二氧化碳的    |    |
| 二、构型异构 .....         | 69 | 生成 .....             | 87 |
| 习题 .....             | 71 | 五、分子内脱水（消除反应） .....  | 88 |
| 第七章 有机化合物的命名 .....   | 72 | 六、分子间脱水缩合 .....      | 88 |
| 第一节 烷烃的命名 .....      | 72 | 七、酸碱性 .....          | 90 |
| 一、烷烃的普通命名法 .....     | 72 | 八、水解反应 .....         | 91 |
| 二、烷烃的系统命名法 .....     | 72 | 九、重氮化反应 .....        | 92 |
| 第二节 苯的同系物的命名 .....   | 74 | 十、显色反应 .....         | 92 |
| 一、简单苯的同系物的命名 .....   | 74 | 第二节 重要的有机化合物 .....   | 92 |
| 二、复杂苯的同系物的命名 .....   | 74 | 一、重要的烃 .....         | 92 |
| 第三节 脂肪族化合物的命名 .....  | 74 | 二、重要的醇、酚、醚 .....     | 92 |
| 一、主体官能团和取代基官能团 ..... | 74 | 三、重要的醛、酮 .....       | 94 |
| 二、只含取代基官能团的脂肪族化合物    |    | 四、重要的有机酸及其衍生物 .....  | 94 |

|                         |     |                       |     |
|-------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 五、重要的胺及其衍生物 .....       | 96  | 第三节 脂类 .....          | 109 |
| 六、重要的杂环化合物 .....        | 96  | 一、油脂 .....            | 109 |
| 习题 .....                | 98  | 二、类脂 .....            | 110 |
| <b>第九章 三大营养物质</b> ..... | 100 | 习题 .....              | 111 |
| 第一节 糖类 .....            | 100 | <b>第十章 酶与辅酶</b> ..... | 113 |
| 一、单糖 .....              | 100 | 第一节 酶 .....           | 113 |
| 二、二糖 .....              | 102 | 一、概述 .....            | 113 |
| 三、多糖 .....              | 102 | 二、酶的结构特点和催化机制 .....   | 114 |
| 四、糖类的生理功能 .....         | 103 | 三、影响酶促反应速率的因素 .....   | 116 |
| 第二节 蛋白质 .....           | 104 | 第二节 维生素与辅酶 .....      | 118 |
| 一、蛋白质的分子组成 .....        | 104 | 一、水溶性维生素 .....        | 118 |
| 二、蛋白质的分子结构 .....        | 105 | 二、脂溶性维生素 .....        | 119 |
| 三、蛋白质的重要性质 .....        | 107 | 习题 .....              | 119 |
| 四、蛋白质的生理功能 .....        | 109 |                       |     |

### 第三部分 物质代谢

|                        |     |                               |     |
|------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| <b>第十一章 糖代谢</b> .....  | 120 | 第一节 概述 .....                  | 141 |
| 第一节 糖的分解代谢 .....       | 120 | 一、蛋白质的消化、吸收与腐败 .....          | 141 |
| 一、糖的无氧分解 .....         | 120 | 二、氮平衡 .....                   | 142 |
| 二、糖的有氧分解 .....         | 124 | 第二节 氨基酸的分解代谢 .....            | 142 |
| 三、磷酸戊糖途径 .....         | 127 | 一、氨基酸代谢的概况 .....              | 142 |
| 第二节 糖异生作用 .....        | 128 | 二、氨基酸的一般分解代谢 .....            | 143 |
| 一、糖异生作用的过程 .....       | 128 | 三、氨基酸分解产物的代谢 .....            | 144 |
| 二、糖异生作用的生理意义 .....     | 129 | 第三节 某些氨基酸的特殊代谢 .....          | 147 |
| 第三节 糖原的合成与分解 .....     | 129 | 一、一碳单位的代谢 .....               | 147 |
| 一、糖原的合成 .....          | 129 | 二、含硫氨基酸的代谢 .....              | 148 |
| 二、糖原的分解 .....          | 129 | 三、芳香族氨基酸的代谢 .....             | 148 |
| 第四节 血糖及其调节 .....       | 130 | 第四节 糖、脂类和蛋白质代谢之间              |     |
| 一、血糖的来源和去路 .....       | 130 | 的关系 .....                     | 149 |
| 二、激素对血糖浓度的调节 .....     | 130 | 一、相互关系 .....                  | 149 |
| 习题 .....               | 130 | 二、相互影响 .....                  | 149 |
| <b>第十二章 脂类代谢</b> ..... | 131 | 习题 .....                      | 150 |
| 第一节 概述 .....           | 131 | <b>第十四章 核酸与蛋白质的生物合成</b> ..... | 152 |
| 一、脂肪贮存 .....           | 131 | 第一节 概述 .....                  | 152 |
| 二、脂肪动员 .....           | 131 | 一、核酸的化学组成 .....               | 152 |
| 三、脂类的运输 .....          | 131 | 二、DNA 的分子结构 .....             | 154 |
| 第二节 脂肪代谢 .....         | 132 | 第二节 核酸的生物合成 .....             | 155 |
| 一、脂肪的分解代谢 .....        | 132 | 一、DNA 指导下的 DNA 生物合成——         |     |
| 二、脂肪的合成代谢 .....        | 135 | 复制 .....                      | 155 |
| 第三节 类脂代谢 .....         | 138 | 二、RNA 指导下 DNA 的生物合成——         |     |
| 一、磷脂代谢 .....           | 138 | 逆转录 .....                     | 157 |
| 二、胆固醇代谢 .....          | 138 | 三、DNA 指导下 RNA 的生物合成——         |     |
| 习题 .....               | 139 | 转录 .....                      | 158 |
| <b>第十三章 蛋白质的酶促降解和</b>  |     | 四、RNA 指导下的 RNA 合成——           |     |
| <b>氨基酸代谢</b> .....     | 141 | RNA 的自我复制 .....               | 160 |

|                           |     |                      |     |
|---------------------------|-----|----------------------|-----|
| 第三节 蛋白质的生物合成 .....        | 160 | 二、肝脏在脂类代谢中的作用 .....  | 167 |
| 一、RNA 在蛋白质生物合成中的作用 .....  | 161 | 三、肝脏在蛋白质代谢中的作用 ..... | 168 |
| 二、蛋白质的生物合成过程 .....        | 163 | 四、肝脏在维生素代谢中的作用 ..... | 168 |
| 三、多肽链合成后的加工修饰 .....       | 164 | 五、肝脏在激素代谢中的作用 .....  | 168 |
| 习题 .....                  | 165 | 第三节 肝脏的生物转化作用 .....  | 169 |
| <b>第十五章 肝脏的生物化学</b> ..... | 166 | 一、概述 .....           | 169 |
| 第一节 肝脏的结构特点和化学组成 .....    | 166 | 二、生物转化的反应类型 .....    | 169 |
| 一、肝脏的结构特点 .....           | 166 | 第四节 肝脏的分泌排泄作用 .....  | 172 |
| 二、肝脏的化学组成 .....           | 167 | 一、胆汁与胆汁酸的代谢 .....    | 172 |
| 第二节 肝脏在代谢中的作用 .....       | 167 | 二、胆色素的代谢 .....       | 173 |
| 一、肝脏在糖代谢中的作用 .....        | 167 | 习题 .....             | 173 |

## 第四部分 实验实训

|                            |     |                      |     |
|----------------------------|-----|----------------------|-----|
| 实验室规则 .....                | 175 | 实验十四 旋光度的测定技术 .....  | 199 |
| 实验一 一般溶液的配制 .....          | 175 | 实验十五 重要有机化合物的性质      |     |
| 实验二 重铬酸钾标准溶液的配制和           |     | (一) .....            | 200 |
| 稀释 .....                   | 177 | 实验十六 重要有机化合物的性质      |     |
| 实验三 滴定分析基本操作 .....         | 180 | (二) .....            | 202 |
| 实验四 盐酸标准溶液的配制和标定 .....     | 184 | 实验十七 糖类、蛋白质的性质 ..... | 203 |
| 实验五 食醋总酸量测定 .....          | 185 | 实验十八 蛋白质含量的测定 .....  | 204 |
| 实验六 维生素 C 的定量测定 .....      | 186 | 实验十九 影响酶活性的因素 .....  | 206 |
| 实验七 血清钙的含量测定 .....         | 188 | 实验二十 血液生化样品的制备 ..... | 208 |
| 实验八 生理盐水中 NaCl 的含量测定 ..... | 189 | 实验二十一 血糖含量的测定 .....  | 211 |
| 实验九 溶液酸碱性的测定 .....         | 189 | 实验二十二 酮体的生成和利用 ..... | 213 |
| 实验十 电解质和缓冲溶液 .....         | 191 | 实验二十三 血清蛋白醋酸纤维薄膜     |     |
| 实验十一 氧化还原和配位化合物 .....      | 193 | 电泳 .....             | 214 |
| 实验十二 萃取分离技术 .....          | 195 | 实验二十四 动物组织中核酸的提取与    |     |
| 实验十三 蒸馏操作技术 .....          | 197 | 鉴定 .....             | 215 |
| <b>参考文献</b> .....          | 218 |                      |     |



# 绪 论

## 一、化学的研究对象

化学是以物质为研究对象，在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的一门基础科学。

## 二、化学的研究范围

化学的研究范围非常广泛，其中与生物体关系密切的有无机化学、分析化学、有机化学和生物化学。无机化学研究元素和无机化合物性质、结构及其变化规律；分析化学研究物质化学组成的鉴定和测定的方法及有关原理；有机化学研究有机化合物的组成、结构、性质、变化规律及有关理论；生物化学以生物体为研究对象，运用化学的原理及方法研究生物体内物质的化学组成、生命活动过程中物质的化学变化规律，以及化学变化与生理功能的关系，从而阐明生命现象的化学本质。

以动物体为研究对象的生物化学称为动物生物化学。动物在生命活动过程中，不断地与外界环境进行物质交换，即机体从外界摄取营养物质，这些营养物质在体内的合成反应中作为原料，使机体的各种组织结构能够生长、发育、繁殖和修复；而在分解反应中主要作为能源物质，经生物氧化作用释放出能量，供各种生命活动所需，同时产生的代谢废物经机体排泄器官排出体外，又回到外界环境。机体与外界环境的这种物质交换过程，称为新陈代谢或物质代谢。动物生物化学的研究内容包括组成动物体的各种物质的结构、性质、结构和功能的关系、物质代谢及代谢调节、遗传信息的传递和调控等。无机、有机和分析化学主要是为动物生物化学奠定基础的。动物生物化学研究糖类、脂肪、蛋白质、核酸、无机盐及水在生物体内的代谢，就必须首先了解这些物质的结构及性质的相关知识。

## 三、化学与动物医学的关系

化学尤其是动物生物化学与动物医学专业有着密切的联系。例如许多疾病的发病机制、诊断和治疗均需利用生物化学的理论和技術，临床上的生化诊断在今天已成为一种不可缺少的诊断方法。

化学作为动物医学专业的一门重要的专业基础课，与其他专业课程也有一定关系。如生理学中的消化吸收；药理学中药物的结构、性质及在体内的转变；医学检验中的血液、尿液、粪便的检验理论及技術等都涉及化学知识；临床护理中酒精的消毒作用和降温作用、药物的配制、药物浓度的计算等也都直接运用到化学知识；生物化学起源于有机化学和生理学，在内容上仍和这两门学科有着密切联系；微生物和免疫学研究病原微生物的代谢及防治要应用生物化学的知识和技術；细胞生物学是研究生物体细胞的形态、成分、结构和功能的学科，它的研究也需要生物化学的知识；现代药理学也离不开生物化学，往往以酶的活性、激素作用及代谢途径的研究为其发展的依据；动物生物化学研究的是正常动物体的物质代谢过程，有了正常代谢的知识，就能鉴别异常时的代谢紊乱，因此也为病理学及兽医临床的学习奠定了基础。

#### 四、动物医用化学的主要内容

动物医用化学是一门为高职高专动物医学专业开设的一门基础化学课程，综合了与动物医学专业相关的无机、分析、有机和动物生物化学等课程的基本理论、基本知识及基本技能。这四部分在学习上的侧重点是不同的。无机化学部分的重点是物质结构、化学平衡、电解质溶液、渗透压、氧化还原、配位化合物，以及水盐代谢、酸碱平衡等与医药专业密切相关的知识；分析化学部分的重点是滴定分析和光度分析的基本知识和基本操作技能；有机化学部分的重点是有机物的结构特点、命名和主要理化性质；生物化学部分的重点是体内各种无机物和有机物的存在形式、功能、结构与功能的关系，体内物质代谢过程、意义、代谢调节以及遗传信息传递的基本过程。学生在学习过程中要目标明确，把握重点，做到预习、听课、复习三步到位，才能对所学内容融会贯通，真正领会其精髓。

# 第一部分 无机及分析化学

## 第一章 物质的结构及变化

### 本章学习目标

- ★ 了解原子的组成、同位素及其应用。
- ★ 认识元素周期表的结构，理解周期表中元素性质的递变规律。
- ★ 理解离子键和共价键的形成，了解分子间作用力和氢键及其与物质性质的关系。
- ★ 认识配合物的组成、性质和命名。
- ★ 认识氧化还原反应的实质，熟悉医学上常用的氧化剂和还原剂。

物质结构是研究物质的微机结构及结构与性能关系的一门学科。认识和了解物质的结构是掌握物质化学性质和化学变化规律的基础。原子结构是物质内部结构的基础，研究物质及其变化的规律，首先要认识原子的内部结构。

### 第一节 原子的组成和同位素

#### 一、原子的组成

原子是组成物质的基本粒子，是元素化学性质的最小单位。原子是由居于原子中心的带正电荷的原子核和核外带负电荷的电子构成的。由于原子核所带的电量与核外电子的电量相等而电性相反，因此，整个原子不显电性。

原子很小，原子核更小，原子核的半径约为原子半径的几万分之一，其体积只占原子体积的几百万亿分之一。

原子核虽小，但由质子和中子两种粒子构成，每个质子带一个单位的正电荷，中子不带电。因此，在原子中，质子数决定原子核所带的正电荷数即核电荷数。按核电荷数由小到大的顺序给元素编号，所得的序号称为该元素的原子序数。

$$\text{原子序数} = \text{核电荷数} = \text{核内质子数} = \text{核外电子数}$$

原子的质量很小，常用相对原子质量表示。而电子的质量更小，约为质子质量的 $1/1836$ ，故一般可以忽略。因此，原子的质量主要集中在原子核上。将原子核内所有质子和中子的相对质量取近似的整数值加起来，所得的数值叫做质量数。质量数用符号  $A$  表示，中子数用符号  $N$  表示，质子数用符号  $Z$  表示，则它们的关系为

$$\text{质量数}(A) = \text{质子数}(Z) + \text{中子数}(N)$$

如以 ${}^A_Z\text{X}$ 代表一个质量数为  $A$ 、质子数为  $Z$  的原子，那么，组成原子的粒子间关系可表示如下。

$$\text{原子} \left( {}^A_Z\text{X} \right) \left\{ \begin{array}{l} \text{原子核} \left\{ \begin{array}{l} \text{质子 } Z \text{ 个} \\ \text{中子 } (A-Z) \text{ 个} \end{array} \right. \\ \text{核外电子 } Z \text{ 个} \end{array} \right.$$

二、同位素

具有相同质子数和不同中子数的同种元素的不同原子互称为同位素。大多数元素都有同位素。氢元素有 $^1_1\text{H}$ (H、氕)、 $^2_1\text{H}$ (D、氘)、 $^3_1\text{H}$ (T、氚)三种同位素；碘元素有 $^{127}_{53}\text{I}$ 、 $^{131}_{53}\text{I}$ 等同位素；钴元素有 $^{50}_{27}\text{Co}$ 、 $^{60}_{27}\text{Co}$ 等同位素；碳元素有 $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{13}_6\text{C}$ 、 $^{14}_6\text{C}$ 等同位素。天然存在的某种元素的各种同位素的质量数不同，但它们的化学性质几乎完全相同。

同位素可以分成两类，一类是稳定同位素，其原子核不会自发地发生变化，另一类是放射性同位素，其原子核会自发地发生变化，并同时放射出肉眼看不见的高能射线，然后变成另一种稳定的同位素。同位素技术已广泛应用在农业、工业、医学、地质及考古等领域。目前在世界上已经有 100 多种放射性同位素用在医学诊断上，其中最常用的为 $^{131}_{53}\text{I}$ 、 $^{32}_{15}\text{P}$ 、 $^{60}_{27}\text{Co}$ 、 $^{198}_{79}\text{Au}$ 、 $^{51}_{24}\text{Cr}$ 、 $^{59}_{26}\text{Fe}$ 等。

三、原子核外电子的排布

原子很小，原子核更小，原子内部绝大部分是空的，电子在带正电荷的原子核外直径约 0.2~0.3nm 的球形空间范围内作高速运动，其运动状态非常复杂，但也有一定规律。

科学研究证明，在含有多电子的原子中，电子的能量并不相同，能量低的通常在离核较近的区域内运动，能量高的通常在离核较远的区域内运动。根据电子的能量差异和通常运动区域离核远近的不同，可将核外电子的运动区域分为不同的电子层，即第一电子层 (K)、第二电子层 (L)、第三电子层 (M)、第四电子层 (N)、第五电子层 (O)、第六电子层 (P)、第七电子层 (Q)。其中，第一电子层离核最近、能量最低；第七电子层离核最远、能量最高。

因此，核外电子的运动是在不同电子层上的分层运动。核外电子的分层运动又称为核外电子的分层排布。1~20 号元素原子的核外电子排布情况见表 1-1。

表 1-1 1~20 号元素原子的核外电子排布

| 原子序数 | 元素名称 | 元素符号 | 各电子层的电子数 |   |   |   |
|------|------|------|----------|---|---|---|
|      |      |      | K        | L | M | N |
| 1    | 氢    | H    | 1        |   |   |   |
| 2    | 氦    | He   | 2        |   |   |   |
| 3    | 锂    | Li   | 2        | 1 |   |   |
| 4    | 铍    | Be   | 2        | 2 |   |   |
| 5    | 硼    | B    | 2        | 3 |   |   |
| 6    | 碳    | C    | 2        | 4 |   |   |
| 7    | 氮    | N    | 2        | 5 |   |   |
| 8    | 氧    | O    | 2        | 6 |   |   |
| 9    | 氟    | F    | 2        | 7 |   |   |
| 10   | 氖    | Ne   | 2        | 8 |   |   |
| 11   | 钠    | Na   | 2        | 8 | 1 |   |
| 12   | 镁    | Mg   | 2        | 8 | 2 |   |
| 13   | 铝    | Al   | 2        | 8 | 3 |   |
| 14   | 硅    | Si   | 2        | 8 | 4 |   |
| 15   | 磷    | P    | 2        | 8 | 5 |   |
| 16   | 硫    | S    | 2        | 8 | 6 |   |
| 17   | 氯    | Cl   | 2        | 8 | 7 |   |
| 18   | 氩    | Ar   | 2        | 8 | 8 |   |
| 19   | 钾    | K    | 2        | 8 | 8 | 1 |
| 20   | 钙    | Ca   | 2        | 8 | 8 | 2 |

从表 1-1 可以看出,原子核外电子的分层排布有如下规律。

- ① 各电子层最多容纳的电子数是  $2n^2$  个( $n$  为电子层数)。
- ② 通常情况下,核外电子总是尽先排布在能量最低的电子层里,然后由里往外,依次排布在能量逐步升高的电子层里,即排满了 K 层才排 L 层,排满了 L 层才排 M 层。
- ③ 最外层电子数不超过 8 个(K 层 2 个),次外层不超过 18 个,倒数第三层不超过 32 个。
- ④ 稀有气体元素原子的最外层为 8 电子稳定结构(氦除外);金属元素原子的最外层电子数一般少于 4 个,非金属元素原子的最外层电子数一般多于 4 个。

需要注意的是,以上规律是互相联系的,不可孤立地理解。如当 M 层不是最外层时,最多可以排 18 个电子,而当它是最外层时,则最多只能排 8 个电子。

## 第二节 元素周期律和元素周期表

### 一、元素周期律

按核电荷数的递增把所有元素排列起来,结果发现,元素的性质如核外电子的排布、原子的半径、元素的主要化合价、金属性和非金属性等呈现周期性的变化。元素的性质随着元素原子序数的递增而呈现周期性变化的规律叫做元素周期律。元素周期律是由俄国化学家门捷列夫于 1869 年提出的,它将化学变成一门系统的科学,是化学发展史上的一个里程碑。

### 二、元素周期表

根据元素周期律,把已知的 112 种元素中电子层数相同的各种元素按原子序数递增顺序从左到右排成横行,再把不同横行中最外层电子数相同、性质相似的元素按电子层数递增顺序由上而下排成纵行,这样就得到了元素周期表。

#### (一) 周期表的结构

##### 1. 周期

到目前为止,已经发现的一百多种元素在周期表中共排列成七个横行,每一个横行称为一个周期。各周期元素的数目分别是:第一周期 2 种,第二、第三周期各有 8 种,第四、第五周期各有 18 种,第六周期有 32 种,第七周期尚未填满(填满有 32 种)。第一、第二、第三周期称为短周期;第四、第五、第六周期称为长周期;第七周期称为不完全周期。周期表中的周期数等于该元素原子核外电子层数。

##### 2. 族

元素周期表中共有 18 个纵行,16 个族。除第 8、第 9、第 10 三个纵行统称为第ⅧB 族外,其余 15 个纵行,每个纵行为一个族。由短周期元素和长周期元素共同构成的族为主族,共 8 个主族,分别用ⅠA、ⅡA、ⅢA、ⅣA、ⅤA、ⅥA、ⅦA 和ⅧA 表示;完全由长周期元素构成的族称为副族,共 8 个副族,分别用ⅠB、ⅡB、ⅢB、ⅣB、ⅤB、ⅥB、ⅦB 和ⅧB 表示。

对于主族元素而言,族序数等于原子的最外层电子数;各族元素的最高正价等于该元素原子最外层电子数,而最低负价等于最高化合价-8。如氧族(ⅥA)最高化合价等于+6,最低负价等于-2。

副族元素较复杂,ⅠB、ⅡB 副族与主族相似,族序数等于最外层电子数。其他副族(ⅢB~ⅦB)上述关系不一定成立。

## (二) 周期表中元素性质的递变规律

### 1. 元素的性质

(1) 元素的金属性和非金属性 原子失去电子成为阳离子的能力称为元素的金属性。原子越容易失去电子,则生成的阳离子越稳定,该元素的金属性就越强。

原子得到电子成为阴离子的能力称为元素的非金属性。原子越容易得到电子,则生成的阴离子越稳定,该元素的非金属性就越强。

(2) 电离能 基态的气态原子失去一个电子形成+1价气态阳离子时所需能量称为元素的第一电离能( $I_1$ )。从+1价气态阳离子失去一个电子形成+2价气态阳离子时所需能量称为元素的第二电离能( $I_2$ )。第三、第四电离能依此类推,并且 $I_1 < I_2 < I_3 < \dots$ 。

电离能的大小可以衡量元素原子失电子的能力,即可以衡量元素金属性的相对强弱。 $I_1$ 越小,越易失电子,金属性越强,反之,金属性越弱。

(3) 电负性 元素的电负性是用来度量原子在分子中吸引成键电子能力的相对大小。元素的电负性愈大,吸引电子的倾向愈大,非金属性也愈强。

### 2. 周期表中主族元素性质的递变规律

(1) 同周期中主族元素性质的递变规律 同一周期中,各元素原子核外电子层数相同,从左往右,核电荷数依次增加,原子半径逐渐减小,核对外层电子吸引能力逐渐增强,失电子能力逐渐减弱,得电子能力逐渐增强,第一电离能和电负性均逐渐增大,元素的金属性逐渐减弱,非金属性逐渐增强。

(2) 同主族中元素性质的递变规律 同一主族中,各元素原子最外层电子数相同,从上往下,电子层数逐渐增多,原子半径逐渐增大,核对外层电子的吸引力逐渐减弱,得电子能力逐渐减弱,失电子能力逐渐增强,第一电离能和电负性均逐渐减小,元素的金属性逐渐增强,非金属性逐渐减弱。

## 第三节 化学键和分子间作用力

### 一、化学键

原子结合成分子,说明原子之间存在一种相互作用力,分子或晶体内相邻原子(或离子)间强烈的相互作用力称为化学键。常见化学键有离子键、共价键和金属键三种类型。

#### (一) 离子键

当活泼金属元素与活泼非金属元素化合时,比如钠原子和氯原子相互作用时,由于钠原子最外层有1个电子,很容易失去形成钠离子;氯原子最外层有7个电子,很容易得到1个电子形成氯离子。钠离子和氯离子之间通过静电作用相互吸引,同时电子与电子、原子核与原子核之间又相互排斥,当引力和斥力达到平衡时,就形成了稳定的化学键。

像氯化钠这样,由阴、阳离子间通过静电作用形成的化学键叫离子键。活泼金属元素(如钾、钠、钙等)与活泼非金属元素(如氯、溴、氧等)化合时,一般都能形成离子键。以离子键形成的化合物叫做离子化合物,如NaCl、CaF<sub>2</sub>、MgO、KI等。一般而言,离子化合物在室温下呈晶体,也称为离子晶体。离子晶体具有较高的熔点、沸点、硬而脆。在离子晶体中,阴阳离子不能自由移动所以不导电;但熔化或溶于水时,其离子能自由移动因而能导电。

#### (二) 共价键

##### 1. 共价键的形成

当两个非金属原子彼此靠近时,由于均易得电子,原子间不能以得失电子的方式形成化学键。如当两个氢原子相互靠近时,由于得失电子能力相同,电子不是从一个氢原子转移到另一个氢原子,而是为两个氢原子所共有,形成了围绕原子核运动的共用电子对。

像氢分子这样,原子间通过共用电子对所形成的化学键称为共价键。非金属元素(如氢、氧、氮等)与非金属元素化合时,一般都形成共价键。全部以共价键结合形成的化合物称为共价化合物。如  $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$  等。

化学上,通常用一根短线来表示一对共用电子对,如  $\text{H}-\text{H}$ 、 $\text{Cl}-\text{Cl}$ 、 $\text{H}-\text{Cl}$ 。这种表示的方式称为结构式。

## 2. 键参数

表示共价键性质的某些物理量称为键参数,如键长、键能、键角等。在分子中,两个成键原子核间的距离,叫做键长;拆开  $1\text{mol}$  的某化学键所需要吸收的能量叫做键能;分子间键与键之间的夹角叫做键角。一般来讲,键长越短,键能越大,表示共价键越牢固,分子就越稳定。

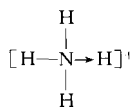
## 3. 共价键的类型

共价键有非极性共价键和极性共价键之分。同种原子间形成的共价键由于两个原子相同,共用电子对不偏向于任何原子一方,成键的原子不显电性,这样的共价键称为非极性共价键,简称非极性键。如  $\text{H}-\text{H}$ 、 $\text{Cl}-\text{Cl}$  等。不同种原子间形成的共价键,共用电子对偏向于吸引电子能力强的一方,使成键原子带上一定的正电荷或负电荷,这样的共价键称为极性共价键,简称极性键。如  $\text{H}-\text{Cl}$ 、 $\text{O}-\text{H}$ 、 $\text{H}-\text{I}$ 、 $\text{H}-\text{S}$  等。

此外,按原子轨道的重叠方式不同还可将共价键分为  $\sigma$  键和  $\pi$  键。其中  $\pi$  键不能单独存在,一般是和  $\sigma$  键同时存在。如:共价单键均为  $\sigma$  键;共价双键或三键中,只有一个  $\sigma$  键,其余的均为  $\pi$  键。与  $\pi$  键相比较, $\sigma$  键较稳定,在化学反应中首先是  $\pi$  键断裂。

## 4. 配位键

在共价键中,共用电子对是由成键原子双方各提供一个未成对电子而形成的,还有一类特殊的共价键,共用电子对是由一个原子单独提供而与另一个原子共用,这样的共价键称为配位键。配位键通常用“ $\text{A} \rightarrow \text{B}$ ”表示,其中 A 是提供孤对电子的原子,B 是能接受孤对电子的原子,如  $\text{NH}_4^+$  可表示为



# 二、分子间的作用力和氢键

## (一) 分子的极性

以非极性键形成的双原子分子,因共用电子对不偏向任何原子,整个分子不显电性,这样的分子称为非极性分子。如  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{Cl}_2$  等。

以极性键形成的双原子分子,共用电子对偏向于吸引电子能力强的原子,使整个分子电荷分布不均匀,正负电荷重心不重合,这样的分子称为极性分子。如  $\text{HF}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HBr}$  等。

由极性键形成的多原子分子,若分子的结构对称,分子正负电荷重心重合,这样的分子就是非极性分子,如  $\text{CO}_2$ (直线形)、 $\text{CH}_4$ (正四面体)、 $\text{CCl}_4$ (正四面体)等;若分子的结构不对称,分子正负电荷重心不重合,这样的分子就是极性分子,如  $\text{H}_2\text{O}$ (V形)、 $\text{SO}_2$ (V形)、 $\text{NH}_3$ (三角锥形)等。

可见,由极性键形成的多原子分子是否有极性,主要取决于分子的组成和几何构型。具

有对称结构的分子,是非极性分子,结构不对称的分子,是极性分子,

### (二) 分子间作用力

相邻原子间的强烈作用力称为化学键,通常为  $10^2 \sim 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,而在分子与分子间则有比较弱的作用力,这种作用力就称为分子间作用力,又叫范德华力,一般在  $10 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  以下。分子间作用力是由分子之间很弱的静电引力所产生,其大小又与分子的极性、相对分子质量有关。物质的许多物理性质如沸点、熔点、黏度、表面张力等都与分子间作用力有关。当分子类型相同时,相对分子质量越大,分子间作用力就越大,物质的熔点、沸点也就越高。例如卤素单质 ( $\text{F}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{I}_2$ ) 的熔沸点依次递增,甲烷、乙烷、丙烷……沸点依次递增。

### (三) 氢键

如果从分子间作用力来分析,  $\text{H}_2\text{O}$  的沸点应该比  $\text{H}_2\text{S}$  低,可实际上却要高得多。这种反常现象说明水分子间有一种特殊的分子间作用力,这种特殊的分子间作用力就是氢键。现以水分子为例来说明氢键的形成。当氢原子与电负性很大且原子半径很小的氧原子以共价键结合时,共用电子对被强烈地引向氧的一方,而使氢带正电性,能与另一个水分子中的氧原子上的孤对电子相吸引,结果水分子间便构成氢键  $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$  而缔合在一起。 $\text{HF}$  也因氢键的形成而发生缔合现象,生成  $(\text{HF})_n$ ,  $n=2, 3, 4$  等。

氢原子只有跟电负性大的,并且其原子具有孤对电子的元素化合后,才能形成较强的氢键,这样的元素有氟、氧和氮等。即含有  $\text{H}-\text{N}$ 、 $\text{H}-\text{O}$  或  $\text{H}-\text{F}$  的分子中的  $\text{H}$  可与另一个  $\text{N}$ 、 $\text{O}$  或  $\text{F}$  之间形成氢键。

氢键既可以在分子间形成也可以在分子内形成。含分子间氢键的化合物,其熔沸点较同类化合物明显升高,有氢键的物质间互溶性增加,如乙醇与水以任意比互溶。而分子内氢键的生成,一般会使化合物的熔沸点降低。

氢键在生命活动过程中有重要作用。蛋白质分子中的氨基酸残基之间的众多氢键能使其形成稳定的空间结构,使它们具有不同的生理功能。 $\text{DNA}$  分子中的碱基依赖于氢键而配对,使其成为生命的遗传物质。

## 第四节 配位化合物

配位化合物简称配合物,是一类广泛存在、组成较为复杂、在理论和应用上都十分重要的化合物。目前对配位化合物的研究已远远超出了无机化学的范畴,它涉及有机化学、生物化学、分析化学、生物学、医药学等许多领域。

### 一、配合物的基本概念

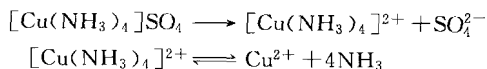
向  $\text{CuSO}_4$  稀溶液中逐滴加入氨水,开始有淡蓝色的  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  沉淀生成,继续滴加氨水,沉淀逐渐消失,最终得深蓝色透明溶液。

将此深蓝色透明溶液分成两份:一份溶液中加入少量的  $\text{BaCl}_2$  溶液,立即有白色沉淀  $\text{BaSO}_4$  生成,说明此溶液中含有  $\text{SO}_4^{2-}$ ;另一份溶液中加入少量  $\text{NaOH}$  溶液,并无蓝色的  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  沉淀生成,说明此溶液中几乎无  $\text{Cu}^{2+}$ 。

向该深蓝色透明溶液中加入乙醇溶液,便可析出深蓝色晶体  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4] \text{SO}_4$ 。 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4] \text{SO}_4$  在水溶液中可全部解离为  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ,其中  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  是由一个  $\text{Cu}^{2+}$  和 4 个  $\text{NH}_3$  分子以配位键形成的复杂离子。它在水中类似于弱电解质,只能



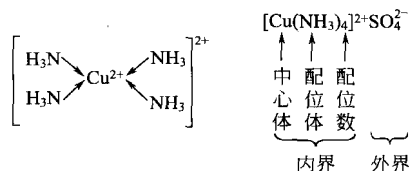
极少部分解离出  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{NH}_3$ 。



由一个金属阳离子和一定数目的中性分子或阴离子结合而成的复杂离子称为配离子，如  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 。配离子和带相反电荷的其他离子所组成的化合物称为配合物，如  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 。习惯上也常把配离子叫做配合物。

## 二、配合物的组成

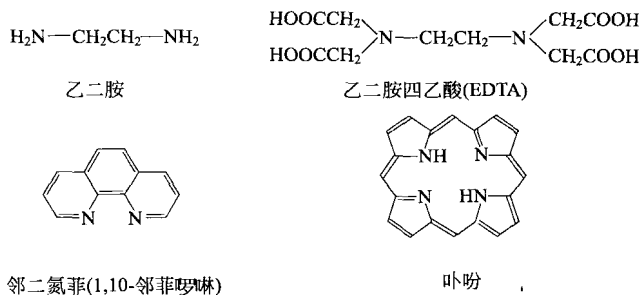
配合物的结构比较复杂，现以  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$  为例说明配合物的组成。



在  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  中的 4 个  $\text{NH}_3$  分子位于同一平面上，以正四边形的方位与  $\text{Cu}^{2+}$  结合，其中  $\text{Cu}^{2+}$  位于四边形的中心位置，提供空轨道，叫中心体。 $\text{NH}_3$  分子位于四边形的顶角，叫配位体，其中提供孤对电子直接与中心体以配位键结合的 N 原子称为配位原子。有 4 个配位原子与  $\text{Cu}^{2+}$  相配，因此  $\text{Cu}^{2+}$  的配位数为 4。整个离子叫内界，用方括号括在一起， $\text{SO}_4^{2-}$  则为外界。

配位体中只有一个配位原子的配位体称为单齿配位体。常见的单齿配位体有  $\text{X}^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CN}^-$  等。由单齿配位体与中心体形成的配合物一般比较简单，没有环状结构。

若配位体中含有两个或更多的配位原子，称为多齿配位体（螯合剂）。常见的多齿配位体有乙二胺、乙二胺四乙酸、邻二氮菲、卟吩等。



多齿配位体与中心体形成的配合物具有环状结构，称为螯合物。在螯合物的结构中，多齿配体的配位原子像螃蟹的螯一样钳住了中心体，使其稳定性大增。

## 三、配合物的命名

配合物的命名总体上符合一般无机物的命名原则，即阴离子名称在前，阳离子名称在后，阴、阳离子名称之间加“化”字或“酸”字。但配位体与中心体名称之间加“合”字相连。

配离子的命名顺序为：配位体的数目（中文数字）→配位体的名称（不同配位体之间用一圆点分开）→合→中心体→化合价（罗马数字加括号）

当有多种配位体时，名称顺序与化学式的书写顺序相同。即先无机配体后有机配体，先阴离子后中性分子，同类配体时，按配位原子元素符号的英文字母顺序排列。例如