

高等学校教材

# 简明工程化学

CONCISE ENGINEERING CHEMISTRY

谢飞 主编

赵炯鹏 柳凤钢 朱连杰 参编



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

高等学校教材

# 简明工程化学

CONCISE ENGINEERING CHEMISTRY

谢 飞 主编

赵炯鹏 柳凤钢 朱连杰 参编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

本书以原国家教委工科化学教学指导委员会制定的《普通化学课程教学基本要求(少学时)》为依据,突破原有普通化学课程体系,结合少学时课程的特点编写而成。全书分为上篇(工程化学)和下篇(工程化学实验)两部分,以物质结构、化学反应中的能量变化为主线,以各类化学反应的原理及应用和材料、环境保护、能源开发利用等领域中的化学问题为内容展开。教学内容在具有一定广度和深度的前提下,做到少而精、简而明,强化化学基本原理在工程技术中的实际应用;实验内容面向实际,注重基本操作的训练和常用仪器的使用。

本书适合工科高等院校非化工类专业少学时(30~40学时)的基础化学课程教学使用。



主编:赵炯鹏,柳凤钢,朱连  
参编:天津:天津大学出版社,2015.7

ISBN 978-7-5618-5361-0

I. ①简… II. ①谢… ②赵… ③柳… ④朱… III.  
①工程化学-高等学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 158333 号

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| 出版发行 | 天津大学出版社                     |
| 地 址  | 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072) |
| 电 话  | 发行部:022-27403647            |
| 网 址  | publish.tju.edu.cn          |
| 印 刷  | 廊坊市海涛印刷有限公司                 |
| 经 销  | 全国各地新华书店                    |
| 开 本  | 148mm×210mm                 |
| 印 张  | 9.375+1 彩页                  |
| 字 数  | 281 千                       |
| 版 次  | 2015 年 7 月第 1 版             |
| 印 次  | 2015 年 7 月第 1 次             |
| 定 价  | 29.00 元                     |

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

# 序 言

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的基础自然科学,工程化学课程是工科高等院校工程技术专业必修的一门基础课,是联系化学学科和工程技术的桥梁,是合格的、全面发展的跨世纪工程技术人才知识结构的重要组成部分。

当今科学技术飞速发展,化学已渗透到工程技术的各个领域,而工程技术在其发展过程中也不可避免地遇到这样或那样的化学问题。因此,工科高等院校各有关专业的学生具备较高层次的化学知识是非常必要的。但是,对非化工类专业的学生来说,学习化学的目的并不在于专门从事化学研究,他们关注更多的是化学科学在工程技术中的应用。因此,工程化学的教学目标应是培养学生用化学基本原理观察、分析、解决工程技术实际中有关问题的能力。简言之就是立足化学,面向实际,强调应用。

鉴于当前各高校基础化学课程学时缩减的实际情况,我们编写了《简明工程化学》这本教材,适用于学时在 30 ~ 40 (包括实验课) 的基础化学课程。本教材以原国家教委工科化学教学指导委员会制定的《普通化学课程教学基本要求(少学时)》为依据,但是突破了原有普通化学教材的课程体系和模式,力图将化学基本原理与它们在工程技术中的实际应用更紧密地结合在一起进行讲授。在教材内容的安排上力求做到少而精、简而明,在教材内容的处理上力求做到理论和实际密切结合,使学生对化学基本理论的概貌有较为清晰的了解,对化学在工程技术中的实际应用有较为宽广的认识。教材内容通俗易懂而又具有一定的深度和广度,既利于教师的课堂教学,又利于学生的课外自学。

鉴于本教材适用于非化工类专业基础化学课程的特点,以物质变化和能量变化的关系组织教学内容,以物质结构、化学反应中的能量变化为主线,以各类化学反应的原理及应用为基本内容展开,注重基本概

念的理解和应用,注重培养学生用化学的观点思考、解决问题的能力。本教材对于机械、材料、自动化、电子等专业普遍涉及的诸如材料的选择和使用、材料的保护和加工、环境的污染和治理、能源的开发和利用等方面常见的化学问题较为广泛地展开讨论,但是只限于原理的阐述而不深入具体的制备工艺和实施工艺。在化学与工程技术实际的联系上力图做到题材广泛、内容翔实,使学生得到较多的启发。

本教材将工程化学和工程化学实验合璧于一册,使教师和学生使用起来更加方便。编入本教材的实验都有一定的理论性、实践性,注重基本操作的训练和常用仪器的使用;实验内容面向实际,适用性强,并有一定的趣味性。

参加编写的有:赵炯鹏(第一章)、柳凤钢(第二章)、谢飞(序言、第三、四、五、六章)、朱连杰(工程化学实验)。附录由谢飞编制。

本书部分内容参考了浙江大学陈林根先生编著的《工程化学》以及其他有关教材,在此谨致深切的谢意。

编者

2015 年 5 月

# 元素周期表

| 族<br>周期 |         | 元素周期表                                   |                                        |                                                       |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        | 0 18                                                   | 电子层                                                    |                                                      |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
|---------|---------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------|
| 1       | IA<br>1 | 1 H<br>氢<br>1s <sup>1</sup><br>1.008    |                                        |                                                       |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        | 2 He<br>氦<br>1s <sup>2</sup><br>4.003                  | K                                                    |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
|         |         | IIA<br>2                                |                                        |                                                       |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                      |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
| 2       |         | 3 Li<br>锂<br>2s <sup>1</sup><br>6.941   | 4 Be<br>铍<br>2s <sup>2</sup><br>9.012  |                                                       |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        | 5 B<br>硼<br>2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup><br>10.81 | 6 C<br>碳<br>2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup><br>12.01 | 7 N<br>氮<br>2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup><br>14.01   | 8 O<br>氧<br>2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup><br>16.00   | 9 F<br>氟<br>2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup><br>19.00  | 10 Ne<br>氖<br>2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup><br>20.18 | L<br>K                                                 |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
|         |         | III B<br>3                              | IV B<br>4                              | V B<br>5                                              | VIB<br>6                                                    | VII B<br>7                                                  | VIII B<br>8 9 10                                            |                                                             | IB<br>11                                                    | II B<br>12                                                  | 13 Al<br>铝<br>3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup><br>26.98 | 14 Si<br>硅<br>3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup><br>28.09  | 15 P<br>磷<br>3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup><br>30.97   | 16 S<br>硫<br>3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup><br>32.07  | 17 Cl<br>氯<br>3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup><br>35.45 | 18 Ar<br>氩<br>3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup><br>39.95 | M<br>L<br>K                                            |                                                        |                                                        |                                                      |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
| 3       |         | 11 Na<br>钠<br>3s <sup>1</sup><br>22.99  | 12 Mg<br>镁<br>3s <sup>2</sup><br>24.31 |                                                       |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                             |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        | 19 K<br>钾<br>4s <sup>1</sup><br>39.10                | 20 Ca<br>钙<br>4s <sup>2</sup><br>40.08               | 21 Sc<br>钪<br>3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup><br>44.96 | 22 Ti<br>钛<br>3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup><br>47.87 | 23 V<br>钒<br>3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup><br>50.94 | 24 Cr<br>铬<br>3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup><br>52.00 | 25 Mn<br>锰<br>3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup><br>54.94 | 26 Fe<br>铁<br>3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup><br>55.85 | 27 Co<br>钴<br>3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup><br>58.93 | 28 Ni<br>镍<br>3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup><br>58.69 | 29 Cu<br>铜<br>3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup><br>63.55 | 30 Zn<br>锌<br>3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup><br>65.41 | 31 Ga<br>镓<br>4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup><br>69.72 | 32 Ge<br>锗<br>4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup><br>72.64 | 33 As<br>砷<br>4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup><br>74.92 | 34 Se<br>硒<br>4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup><br>78.96 | 35 Br<br>溴<br>4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup><br>79.90 | 36 Kr<br>氪<br>4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup><br>83.80 | N<br>M<br>L<br>K |
|         |         | 37 Rb<br>铷<br>5s <sup>1</sup><br>85.47  | 38 Sr<br>锶<br>5s <sup>2</sup><br>87.62 | 39 Y<br>钇<br>4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup><br>88.91 | 40 Zr<br>锆<br>4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup><br>91.22      | 41 Nb<br>铌<br>4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup><br>92.91      | 42 Mo<br>钼<br>4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup><br>95.94      | 43 Tc<br>锝<br>4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup><br>97.91      | 44 Ru<br>钌<br>4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup><br>101.1      | 45 Rh<br>铑<br>4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup><br>102.9      | 46 Pd<br>钯<br>4d <sup>10</sup><br>106.4                | 47 Ag<br>银<br>4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup><br>107.9 | 48 Cd<br>镉<br>4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup><br>112.4 | 49 In<br>铟<br>5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup><br>114.8 | 50 Sn<br>锡<br>5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup><br>118.7 | 51 Sb<br>锑<br>5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup><br>121.8 | 52 Te<br>碲<br>5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup><br>127.6 | 53 I<br>碘<br>5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup><br>126.9  | 54 Xe<br>氙<br>5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup><br>131.3 | O<br>N<br>M<br>L<br>K                                |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
| 4       |         | 55 Cs<br>铯<br>6s <sup>1</sup><br>132.9  | 56 Ba<br>钡<br>6s <sup>2</sup><br>137.3 | 57~71<br>La~Lu<br>镧系                                  | 72 Hf<br>铪<br>5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup><br>178.5      | 73 Ta<br>钽<br>5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup><br>180.9      | 74 W<br>钨<br>5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup><br>183.8       | 75 Re<br>铼<br>5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup><br>186.2      | 76 Os<br>锇<br>5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup><br>190.2      | 77 Ir<br>铱<br>5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup><br>192.2      | 78 Pt<br>铂<br>5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup><br>195.1 | 79 Au<br>金<br>5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup><br>197.0 | 80 Hg<br>汞<br>5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup><br>200.6 | 81 Tl<br>铊<br>6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup><br>204.4 | 82 Pb<br>铅<br>6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup><br>207.2 | 83 Bi<br>铋<br>6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup><br>209.0 | 84 Po<br>钋<br>6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup><br>209.0 | 85 At<br>砹<br>6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup><br>210.0 | 86 Rn<br>氡<br>6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup><br>222.0 | P<br>O<br>N<br>M<br>L<br>K                           |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |
|         |         | 87 Fr<br>钫*<br>7s <sup>1</sup><br>223.0 | 88 Ra<br>镭<br>7s <sup>2</sup><br>226.0 | 89~103<br>Ac~Lr<br>锕系                                 | 104 Rf<br>𬬻*<br>(6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>261.1 | 105 Db<br>𬬺*<br>(6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>262.1 | 106 Sg<br>𬬻*<br>(6d <sup>4</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>263.1 | 107 Bh<br>𬬾*<br>(6d <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>264.1 | 108 Hs<br>𬬽*<br>(6d <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>265.1 | 109 Mt<br>𬬼*<br>(6d <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>266.1 | 110 Ds<br>𬬻*<br>[269]                                  | 111 Rg<br>𬬾*<br>[272]                                   | 112 Uub<br>𬬽*<br>[277]                                  | 113 Uut<br>*<br>[278]                                  | 114 Uuq<br>*<br>[289]                                  | 115 Uup<br>*<br>[288]                                  | 116 Uuk<br>*<br>[289]                                  |                                                        | 118 Uuo<br>*<br>[294]                                  | O<br>P<br>O<br>N<br>M<br>L<br>K                      |                                                      |                                                        |                                                        |                                                       |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                         |                                                         |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |                  |

原子序数 — 92 U — 元素符号, 红色  
指放射性元素

元素名称  
注\*的是  
人造元素

铀  
5f<sup>6</sup>6d<sup>3</sup>7s<sup>2</sup>  
238.0

外围电子层排布 (外加括号  
指可能的电子层排布)  
相对原子质量 (取四位有效数  
字, 加方括号的数据为该放射  
性元素半衰期最长同位素的质量数)

非金属

金属

过渡元素

未知元素

|    |                                                        |                                                                        |                                                                        |                                                                       |                                                                        |                                                        |                                                         |                                                                         |                                                         |                                                          |                                                          |                                                           |                                                              |                                                              |                                                                              |
|----|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 镧系 | 57 La<br>镧<br>5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup><br>138.9 | 58 Ce<br>铈<br>4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup><br>140.1 | 59 Pr<br>镨<br>4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup><br>140.9                 | 60 Nd<br>钕<br>4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup><br>144.2                | 61 Pm<br>钷*<br>4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup><br>144.9                | 62 Sm<br>钐<br>4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup><br>150.4 | 63 Eu<br>铕<br>4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup><br>152.0  | 64 Gd<br>钆<br>4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup><br>157.3  | 65 Tb<br>铽<br>4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup><br>158.9  | 66 Dy<br>镝<br>4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup><br>162.5  | 67 Ho<br>钬<br>4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup><br>164.9  | 68 Er<br>铒<br>4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup><br>167.3   | 69 Tm<br>铥<br>4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup><br>168.9      | 70 Yb<br>镱<br>4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>173.0      | 71 Lu<br>镥<br>4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup><br>175.0      |
| 锕系 | 89 Ac<br>锕<br>6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup><br>227.0 | 90 Th<br>钍<br>6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup><br>232.0                 | 91 Pa<br>镤<br>5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup><br>231.0 | 92 U<br>铀<br>5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup><br>238.0 | 93 Np<br>镎<br>5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup><br>237.0 | 94 Pu<br>钚<br>5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup><br>244.1 | 95 Am<br>镅*<br>5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup><br>243.1 | 96 Cm<br>锔*<br>5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup><br>247.1 | 97 Bk<br>锫*<br>5f <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup><br>247.1 | 98 Cf<br>锿*<br>5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup><br>251.1 | 99 Es<br>镅*<br>5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup><br>252.1 | 100 Fm<br>镆*<br>5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup><br>257.1 | 101 Md<br>钎*<br>(5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>258.1 | 102 No<br>镎*<br>(5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>259.1 | 103 Lr<br>铹*<br>(5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> )<br>260.1 |

## 目 录

## 上篇 工程化学

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 第一章 物质的结构和聚集状态 .....          | (3)  |
| 第一节 原子结构和元素的金属性与非金属性 .....    | (3)  |
| 一、原子核外电子的运动状态 .....           | (3)  |
| 二、原子核外电子的排布和元素的金属性与非金属性 ..... | (9)  |
| 思考和练习 .....                   | (18) |
| 第二节 分子结构与晶体结构及其对物质性质的影响 ..... | (19) |
| 一、共价键 .....                   | (20) |
| 二、共价分子的空间几何构型和极性 .....        | (21) |
| 三、配位键和配位化合物 .....             | (26) |
| 四、离子键和离子晶体 .....              | (29) |
| 五、分子间力(及氢键)和分子晶体 .....        | (30) |
| 六、共价键和原子晶体 .....              | (31) |
| 七、混合型晶体 .....                 | (32) |
| 思考和练习 .....                   | (32) |
| 第三节 物质的聚集状态和相 .....           | (33) |
| 一、粒子间作用力对物质聚集状态的影响 .....      | (33) |
| 二、理想气体的状态方程式和分压定律 .....       | (34) |
| 三、相与相变 .....                  | (36) |
| 四、液体 .....                    | (37) |
| 思考和练习 .....                   | (43) |
| 第二章 化学反应中的能量变化及其应用 .....      | (45) |
| 第一节 化学反应中的化学计量数和反应进度 .....    | (45) |
| 一、化学计量数 .....                 | (45) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 二、反应进度 .....                  | (46)  |
| 思考和练习 .....                   | (48)  |
| 第二节 化学反应中的焓变和熵变 .....         | (49)  |
| 一、化学反应的热效应 .....              | (49)  |
| 二、化学反应中的熵变 .....              | (55)  |
| 思考和练习 .....                   | (59)  |
| 第三节 吉布斯自由能的变化对化学反应方向的判据 ..... | (60)  |
| 一、吉布斯自由能及其变化 .....            | (60)  |
| 二、吉布斯自由能变化对化学反应方向的判据 .....    | (61)  |
| 三、标准吉布斯自由能变化的计算 .....         | (63)  |
| 思考和练习 .....                   | (66)  |
| 第四节 化学平衡状态和化学平衡移动 .....       | (67)  |
| 一、标准平衡常数 .....                | (67)  |
| 二、化学平衡移动 .....                | (73)  |
| 思考和练习 .....                   | (78)  |
| 第五节 活化能和化学反应速率 .....          | (79)  |
| 一、影响化学反应速率的因素 .....           | (80)  |
| 二、链式反应 .....                  | (86)  |
| 思考和练习 .....                   | (89)  |
| 第三章 各类化学反应的原理及应用 .....        | (91)  |
| 第一节 酸碱中和反应和水溶液的 pH 值控制 .....  | (91)  |
| 一、酸和碱的概念 .....                | (91)  |
| 二、水的酸度和碱度及其测定 .....           | (94)  |
| 三、缓冲溶液及其对 pH 值的控制 .....       | (95)  |
| 思考和练习 .....                   | (102) |
| 第二节 沉淀反应和水溶液中有害离子的去除 .....    | (103) |
| 一、难溶电解质沉淀的生成、溶解和转化 .....      | (104) |
| 二、水溶液中有害离子的去除 .....           | (110) |
| 思考和练习 .....                   | (114) |
| 第三节 配合反应和配离子的掩蔽作用 .....       | (115) |

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 一、配合反应的平衡常数 $K_{\text{稳}}^{\ominus}$ 和配离子的稳定性 ..... | (115) |
| 二、配离子的掩蔽性及其应用 .....                                 | (119) |
| 思考和练习 .....                                         | (120) |
| 第四节 氧化还原反应和电化学原理的应用 .....                           | (120) |
| 一、氧化还原反应和原电池 .....                                  | (120) |
| 二、电极电势和能斯特(Nernst)方程式 .....                         | (124) |
| 三、金属腐蚀的产生和腐蚀的速度 .....                               | (129) |
| 四、电解和电解加工 .....                                     | (134) |
| 思考和练习 .....                                         | (140) |
| 第四章 材料与化学 .....                                     | (143) |
| 第一节 材料的分类和各种新型材料 .....                              | (143) |
| 一、材料的分类 .....                                       | (143) |
| 二、各种新型材料 .....                                      | (143) |
| 思考和练习 .....                                         | (144) |
| 第二节 金属材料及其防护 .....                                  | (144) |
| 一、合金及其类型 .....                                      | (144) |
| 二、黑色金属材料的性能及其应用 .....                               | (146) |
| 三、有色金属材料的性能和用途 .....                                | (148) |
| 四、金属材料腐蚀的防止 .....                                   | (151) |
| 思考和练习 .....                                         | (153) |
| 第三节 硅酸盐材料及其应用 .....                                 | (154) |
| 一、天然硅酸盐材料及其晶体结构 .....                               | (154) |
| 二、陶瓷材料 .....                                        | (156) |
| 三、玻璃 .....                                          | (158) |
| 四、水泥 .....                                          | (159) |
| 思考和练习 .....                                         | (161) |
| 第四节 有机高分子材料及其防护 .....                               | (162) |
| 一、高分子化合物的合成、命名和性能 .....                             | (162) |
| 二、高分子材料的分类及应用 .....                                 | (170) |
| 三、高分子材料的老化及其防护 .....                                | (174) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 思考和练习 .....                | (176) |
| 第五节 功能材料 .....             | (177) |
| 一、无机功能材料 .....             | (177) |
| 二、功能高分子材料 .....            | (180) |
| 思考和练习 .....                | (182) |
| 第五章 环境的保护与化学 .....         | (183) |
| 第一节 大气的污染及其治理 .....        | (183) |
| 一、大气的污染及其影响 .....          | (183) |
| 二、大气污染的控制和治理 .....         | (188) |
| 思考和练习 .....                | (190) |
| 第二节 水体的污染及其治理 .....        | (191) |
| 一、水体污染的严重性 .....           | (191) |
| 二、工业废水的处理 .....            | (197) |
| 思考和练习 .....                | (201) |
| 第三节 废塑料垃圾的“白色污染”及其治理 ..... | (202) |
| 一、“白色污染”的严重危害 .....        | (202) |
| 二、“白色污染”的治理方法 .....        | (203) |
| 思考和练习 .....                | (204) |
| 第六章 能源的开发利用与化学 .....       | (205) |
| 第一节 能源的概念和分类 .....         | (205) |
| 思考和练习 .....                | (206) |
| 第二节 能源的燃烧反应 .....          | (206) |
| 一、燃烧机理 .....               | (207) |
| 二、完全燃烧 .....               | (208) |
| 思考和练习 .....                | (210) |
| 第三节 化学电源 .....             | (210) |
| 一、干电池 .....                | (210) |
| 二、蓄电池 .....                | (211) |
| 思考和练习 .....                | (213) |
| 第四节 未来的新能源——氢能源 .....      | (213) |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 一、能源危机和新能源的开发 ..... | (213) |
| 二、氢氧燃料电池 .....      | (214) |
| 三、氢能源的制备和贮存 .....   | (215) |
| 四、氢能源的利用 .....      | (217) |
| 思考和练习 .....         | (218) |

## 下篇 工程化学实验

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 实验目的与要求 .....                     | (221) |
| 实验室规则 .....                       | (221) |
| 化学实验安全守则 .....                    | (222) |
| 实验误差与有效数字 .....                   | (223) |
| 实验一 化学反应焓变的测定 .....               | (226) |
| 实验二 水的净化——离子交换法 .....             | (231) |
| 实验三 醋酸电离常数的测定 .....               | (239) |
| 实验四 离子平衡、配合物 .....                | (247) |
| 实验五 氧化还原反应 .....                  | (253) |
| 实验六 铁氧体法处理含铬废水 .....              | (256) |
| 实验七 d 区重要化合物的性质 .....             | (263) |
| 实验八 设计性实验——硫代硫酸钠的制备和性质 .....      | (272) |
| 实验九 高分子材料的鉴别与黏结 .....             | (273) |
| 附录 .....                          | (279) |
| 附录一 标准热力学数据(298 K) .....          | (279) |
| 附录二 一些弱电解质在水溶液中的离解常数(298 K) ..... | (283) |
| 附录三 一些难溶电解质的溶度积常数(298 K) .....    | (284) |
| 附录四 一些配离子的稳定常数 .....              | (284) |
| 附录五 一些氧化还原电对的标准电极电势 .....         | (285) |
| 附录六 法定计量单位和基本物理常数 .....           | (286) |

## 元素周期表

# 上篇 工程化学



## 第一章 物质的结构和聚集状态

物质的性质及其变化是化学研究的重要内容,而物质的各种性质——物理性质和化学性质都与物质的结构密切相关。本章介绍原子结构、分子结构、晶体结构以及物质的聚集状态和相的有关知识。

### 第一节 原子结构和元素的金属性与非金属性

物质发生化学变化的实质是电子的运动状态发生变化。因此,对原子结构的认识实际上是对原子核外电子运动状态的认识。

#### 一、原子核外电子的运动状态

##### 1. 核外电子的运动特性

电子是微观粒子,质量很小,运动速度很快,其运动不遵循经典力学的规律而具有以下三个特征。

(1) 能量的量子化。当气体或蒸气被火焰、电弧或其他方法灼烧时,受激发的原子恢复到原来的状态时就发射出光线,通过分光镜可以把这些光线分成一系列不连续的线条,这个线状光谱即原子光谱。每种元素都有自己的特征原子光谱。这一事实反映出原子内部原子核外的电子具有不连续的能量状态,称为能级。电子离原子核最近时,能量最低,称为基态;离核越远,能量越高,称为激发态。由基态到各激发态能量的变化  $\Delta E$  是基态能量的整数倍,这种能量的不连续变化称为量子化。所以原子吸收或辐射能量只能按基态能量的整数倍一份一份地进行,其最小单位称为能量子,它的能量  $E = h\nu$ , 式中的  $\nu$  为产生的光的频率,  $h$  为普朗克(Planck)常数  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 。正因为电子能量具有量子化的特性,所以原子受激发时吸收的能量是不连续的,而辐射能量产生的光谱也就是不连续的线状光谱。

(2) 波粒二象性。20 世纪初,光的本质经过长期的争论后确立为

光既具有波动性,也具有粒子性,称为波粒二象性。

1924 年法国物理学家德布罗意 (de Broglie) 提出了电子等实物微粒也有波粒二象性的大胆假设。他认为一个质量为  $m$ , 速度为  $v$ , 能量为  $E$  的自由运动的粒子相当于一个波长为  $\lambda = \frac{h}{mv}$ , 频率为  $\nu = E/h$  的

沿粒子运动方向传播的波。1927 年, 美国科学家戴维森 (Davisson) 和革末 (Germer) 的电子衍射实验直接证实了电子运动具有波动性。如图 1.1 所示, 当电子射线从 A 处射出, 穿过晶体粉末 B, 投射到屏幕 C 上时, 如同光的衍射一样, 也会出现明暗相间的衍射条纹。

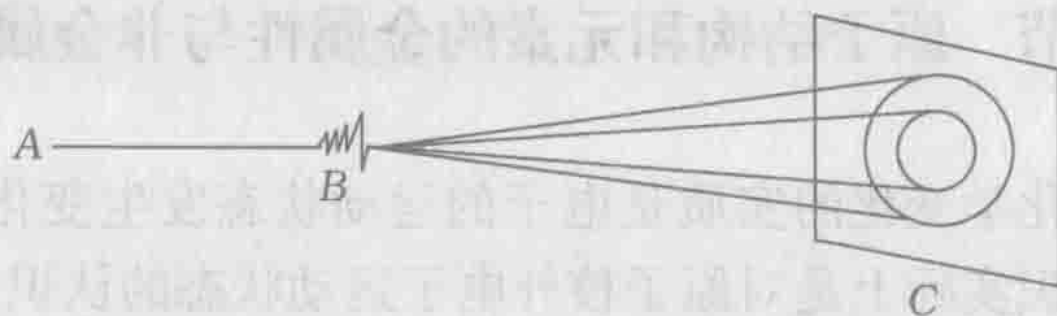


图 1.1 电子的衍射

后来用中子、原子等粒子流也同样观察到衍射现象, 充分证实了实物微粒具有波动性。

(3) 统计性。波粒二象性是电子等实物微粒运动的重要特征, 一般来说, 电子具有粒子性是可以接受的, 但电子具有波动性就不易理解了。那么实物微粒波到底是一种什么波呢? 在上述电子衍射实验中, 人们发现用较强的电子流可以在较短时间内得到电子衍射图形; 用很弱的电子流, 只要时间足够长, 也可以得到同样的衍射环纹。假若电子流小到电子是一个一个地发射出来的, 在屏幕上会出现一个一个的斑点, 显示出电子的粒子性。我们无法预言每个电子在屏幕上衍射斑点的准确位置, 但电子的每一个斑点不是都重合在一起的, 随着时间的延长, 衍射斑点的数目逐渐增多, 这些斑点在屏幕上的分布就逐渐显示出衍射图样来, 它应与较强电子流在较短时间内得到的衍射图样相同。

从波动的观点看, 衍射图样中衍射强度最大的地方波的强度最大。从大量粒子的行为看, 波强度最大的地方入射电子数最多。因此, 某一点波的强度与电子出现的概率成正比。由此可见, 实验所揭示的电子

的波动性是大量电子运动的统计结果,或者是一个电子经多次相同实验的统计结果,电子的波动性是和微粒运动的统计规律联系在一起的。

综上所述,电子等微观粒子的运动和宏观物体的运动有本质区别,其运动规律不能用经典力学定律来描述,而服从于量子力学定律。

## 2. 核外电子的运动状态

(1) 波函数与原子轨道。在量子力学中,电子的一种可能的运动状态用一个波函数  $\psi$  来描述,原子核外的电子可以处于不同的状态,因此描述它们的波函数也就各不相同,但都是通过解量子力学的基本方程得到的。

$\psi$  是空间坐标的函数,可写作  $\psi(x, y, z)$ ,但在解方程时,要把直角坐标转换为球坐标,则波函数应写成  $\psi(r, \theta, \varphi)$ ,每一个合理的  $\psi$  函数式代表一个原子轨道。必须注意,这里的原子轨道不是经典力学意义的轨道,而是一个数学函数式,代表原子中一个电子可能的空间运动状态。

原子轨道可以用图形表示出来。将  $\psi$  函数分离为径向分布部分  $R(r)$  与角度分布部分  $Y(\theta, \varphi)$ ,即  $\psi(r, \theta, \varphi) = R(r) \cdot Y(\theta, \varphi)$ ,  $r$  为一定值时  $R(r)$  为常数,将  $Y(\theta, \varphi)$  绘制成图形,称为原子轨道的角度分布图(图 1.2)。

由图 1.2 可知原子轨道有如下特征:

①原子轨道有一定的形状,如 s 轨道为球形对称, p 轨道呈哑铃形等;

②原子轨道在空间有一定的伸展方向,如  $p_z$  轨道沿  $z$  轴方向伸展;

③原子轨道在空间有正负之分,这里的正负代表角度分布部分  $Y$  的函数值的正负,并不含其他的物理意义。

(2) 概率密度和电子云。波函数的平方  $|\psi|^2$  表示电子在核外某点单位体积内出现的概率,也就是电子出现的概率密度,又叫电子云。波函数的平方  $|\psi|^2(r, \theta, \varphi) = R^2(r) \cdot Y^2(\theta, \varphi)$ ,式中  $Y^2(\theta, \varphi)$  叫电子云的角度分布部分,它随  $\theta, \varphi$  变化所得的图像称为电子云的角度分布图(图 1.3)。

(3) 四个量子数。电子在原子内的运动状态可直接由四个量子数

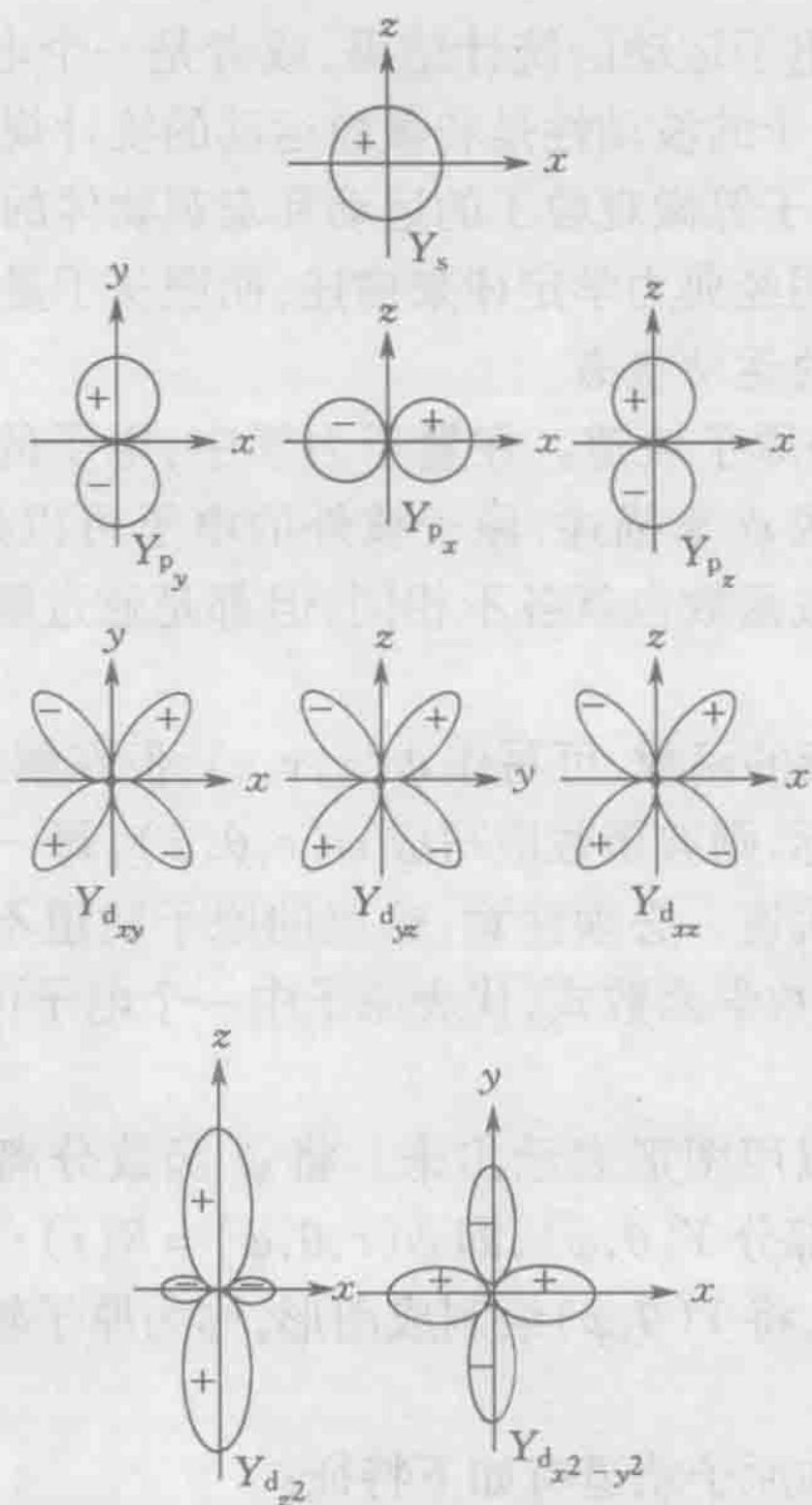


图 1.2 s、p、d 原子轨道的角度分布

来确定和表示。其中三个量子数确定原子轨道,第四个量子数确定电子的自旋状态。四个量子数有各自的物理意义和取值,相互间有一定的制约关系。

①主量子数( $n$ )。主量子数  $n$  表示电子云离核远近及能量的高低,由近到远可以用  $n=1,2,3$  等正整数来表示。 $n$  值越大,电子云离核的平均距离越大,能量越高。所有主量子数  $n$  相同的电子称为同层电子。在光谱学上用一套拉丁字母表示  $n$  不同的电子层:

|             |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 主量子数( $n$ ) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 电子层         | K | L | M | N | O | P | Q |

②角量子数( $l$ )。角量子数  $l$  表示原子轨道和电子云的形状以及