

# 工程材料基础

[美] P.A.Thornton V.J.Colangelo 著

王运炎 徐 强 等译

上册



宁夏人民出版社

TB3  
13:1

# 工程材料基础

[美] P.A.桑顿 著  
V.J.科兰吉洛

王运炎 徐强 等译

(上册)

|       |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         |        |         |        |         |        |         |        |         |
|-------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 过渡族元素 |         |         |         |         |        |         |         |         |         | 过渡族元素   |         |        |         |        |         |        |         |        |         |
| 原子序数  | 50      | 51      | 52      | 53      | 54     | 55      | 56      | 57      | 58      | 59      | 60      | 61     | 62      | 63     | 64      | 65     | 66      | 67     | 68      |
| 元素符号  | Sn      | Sb      | Te      | I       | Xe     | Ba      | La      | Ce      | Pr      | Nd      | Pm      | Sm     | Eu      | Gd     | Tb      | Dy     | Ho      | Er     | Tm      |
| 原子量   | 118.710 | 121.757 | 127.603 | 126.905 | 131.29 | 137.327 | 138.905 | 140.127 | 140.908 | 144.242 | 144.913 | 150.36 | 151.964 | 157.25 | 158.925 | 162.50 | 164.930 | 167.26 | 168.934 |
| 电子层数  | 5       | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       | 6      | 6       | 6      | 6       | 6      | 6       | 6      | 6       |
| 氧化态   | +2, +4  | +3, +5  | +4, +6  | +5, +7  |        | +2      | +3      | +3      | +3      | +3      | +3      | +2, +3 | +2, +3  | +2, +3 | +3      | +3     | +3      | +3     | +3      |

141971

宁夏人民出版社

ISBN 7-227-00294-X/1B·1  
1990年2月第1版第1次印刷  
印张: 4.000  
定价: 10.00元

本书由美国P.A.桑顿、V.J.科兰吉洛著，王运炎、徐强等译。本书是《工程材料基础》一书的上册，主要介绍金属材料的基础知识。本书可作为高等院校材料专业及相关专业的教材，也可供从事材料工作的工程技术人员参考。

# Fundamentals of Engineering Materials

Peter A. Thornton Vito J. Colangelo

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs

1985

## 工 程 材 料 基 础

[美] P.A. 桑 顿 著  
V.J. 科兰吉洛

王运炎 徐 强 等译

## 工 程 材 料 基 础

[美] P.A. 桑 顿 著  
V.J. 科兰吉洛

王运炎 徐 强 等译

宁夏人民出版社出版发行

常熟市教育印刷二厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 29.5 字数: 755千 插页2

1990年5月第1版第1次印刷

印数: 4,000册

ISBN7-227-00564-X/TB·1

定价: 10.00元

# 化学元素周期表

[illegible]

|        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |   |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| • 錒系元素 |                        | -N-O-P-                |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |   |
| 58     | $^{238}_{88}\text{Ce}$ | $^{239}_{89}\text{Pr}$ | $^{240}_{90}\text{Nd}$ | $^{241}_{91}\text{Pm}$ | $^{242}_{92}\text{Sm}$ | $^{243}_{93}\text{Eu}$ | $^{244}_{94}\text{Gd}$ | $^{245}_{95}\text{Tb}$ | $^{246}_{96}\text{Dy}$ | $^{247}_{97}\text{Ho}$ | $^{248}_{98}\text{Er}$ | $^{249}_{99}\text{Tm}$ | $^{250}_{100}\text{Yb}$ | $^{251}_{101}\text{Lu}$ | $^{252}_{102}\text{Hf}$ | $^{253}_{103}\text{Ta}$ | $^{254}_{104}\text{W}$ | $^{255}_{105}\text{Re}$ | $^{256}_{106}\text{Os}$ | $^{257}_{107}\text{Ir}$ | $^{258}_{108}\text{Pt}$ | $^{259}_{109}\text{Au}$ | $^{260}_{110}\text{Hg}$ | $^{261}_{111}\text{Ag}$ | $^{262}_{112}\text{Cd}$ | $^{263}_{113}\text{In}$ | $^{264}_{114}\text{Sn}$ | $^{265}_{115}\text{Sb}$ | $^{266}_{116}\text{Te}$ | $^{267}_{117}\text{I}$ | $^{268}_{118}\text{Xe}$ | $^{269}_{119}\text{Ba}$ | $^{270}_{120}\text{La}$ | $^{271}_{121}\text{Ce}$ | $^{272}_{122}\text{Pr}$ | $^{273}_{123}\text{Nd}$ | $^{274}_{124}\text{Pm}$ | $^{275}_{125}\text{Sm}$ | $^{276}_{126}\text{Eu}$ | $^{277}_{127}\text{Gd}$ | $^{278}_{128}\text{Tb}$ | $^{279}_{129}\text{Dy}$ | $^{280}_{130}\text{Ho}$ | $^{281}_{131}\text{Er}$ | $^{282}_{132}\text{Tm}$ | $^{283}_{133}\text{Yb}$ | $^{284}_{134}\text{Lu}$ | $^{285}_{135}\text{Hf}$ | $^{286}_{136}\text{Ta}$ | $^{287}_{137}\text{W}$ | $^{288}_{138}\text{Re}$ | $^{289}_{139}\text{Os}$ | $^{290}_{140}\text{Ir}$ | $^{291}_{141}\text{Pt}$ | $^{292}_{142}\text{Au}$ | $^{293}_{143}\text{Ag}$ | $^{294}_{144}\text{Cd}$ | $^{295}_{145}\text{In}$ | $^{296}_{146}\text{Sn}$ | $^{297}_{147}\text{Sb}$ | $^{298}_{148}\text{Te}$ | $^{299}_{149}\text{I}$ | $^{300}_{150}\text{Xe}$ | $^{301}_{151}\text{Ba}$ | $^{302}_{152}\text{La}$ | $^{303}_{153}\text{Ce}$ | $^{304}_{154}\text{Pr}$ | $^{305}_{155}\text{Nd}$ | $^{306}_{156}\text{Pm}$ | $^{307}_{157}\text{Sm}$ | $^{308}_{158}\text{Eu}$ | $^{309}_{159}\text{Gd}$ | $^{310}_{160}\text{Tb}$ | $^{311}_{161}\text{Dy}$ | $^{312}_{162}\text{Ho}$ | $^{313}_{163}\text{Er}$ | $^{314}_{164}\text{Tm}$ | $^{315}_{165}\text{Yb}$ | $^{316}_{166}\text{Lu}$ | $^{317}_{167}\text{Hf}$ | $^{318}_{168}\text{Ta}$ | $^{319}_{169}\text{W}$ | $^{320}_{170}\text{Re}$ | $^{321}_{171}\text{Os}$ | $^{322}_{172}\text{Ir}$ | $^{323}_{173}\text{Pt}$ | $^{324}_{174}\text{Au}$ | $^{325}_{175}\text{Ag}$ | $^{326}_{176}\text{Cd}$ | $^{327}_{177}\text{In}$ | $^{328}_{178}\text{Sn}$ | $^{329}_{179}\text{Sb}$ | $^{330}_{180}\text{Te}$ | $^{331}_{181}\text{I}$ | $^{332}_{182}\text{Xe}$ | $^{333}_{183}\text{Ba}$ | $^{334}_{184}\text{La}$ | $^{335}_{185}\text{Ce}$ | $^{336}_{186}\text{Pr}$ | $^{337}_{187}\text{Nd}$ | $^{338}_{188}\text{Pm}$ | $^{339}_{189}\text{Sm}$ | $^{340}_{190}\text{Eu}$ | $^{341}_{191}\text{Gd}$ | $^{342}_{192}\text{Tb}$ | $^{343}_{193}\text{Dy}$ | $^{344}_{194}\text{Ho}$ | $^{345}_{195}\text{Er}$ | $^{346}_{196}\text{Tm}$ | $^{347}_{197}\text{Yb}$ | $^{348}_{198}\text{Lu}$ | $^{349}_{199}\text{Hf}$ | $^{350}_{200}\text{Ta}$ | $^{351}_{201}\text{W}$ | $^{352}_{202}\text{Re}$ | $^{353}_{203}\text{Os}$ | $^{354}_{204}\text{Ir}$ | $^{355}_{205}\text{Pt}$ | $^{356}_{206}\text{Au}$ | $^{357}_{207}\text{Ag}$ | $^{358}_{208}\text{Cd}$ | $^{359}_{209}\text{In}$ | $^{360}_{210}\text{Sn}$ | $^{361}_{211}\text{Sb}$ | $^{362}_{212}\text{Te}$ | $^{363}_{213}\text{I}$ | $^{364}_{214}\text{Xe}$ | $^{365}_{215}\text{Ba}$ | $^{366}_{216}\text{La}$ | $^{367}_{217}\text{Ce}$ | $^{368}_{218}\text{Pr}$ | $^{369}_{219}\text{Nd}$ | $^{370}_{220}\text{Pm}$ | $^{371}_{221}\text{Sm}$ | $^{372}_{222}\text{Eu}$ | $^{373}_{223}\text{Gd}$ | $^{374}_{224}\text{Tb}$ | $^{375}_{225}\text{Dy}$ | $^{376}_{226}\text{Ho}$ | $^{377}_{227}\text{Er}$ | $^{378}_{228}\text{Tm}$ | $^{379}_{229}\text{Yb}$ | $^{380}_{230}\text{Lu}$ | $^{381}_{231}\text{Hf}$ | $^{382}_{232}\text{Ta}$ | $^{383}_{233}\text{W}$ | $^{384}_{234}\text{Re}$ | $^{385}_{235}\text{Os}$ | $^{386}_{236}\text{Ir}$ | $^{387}_{237}\text{Pt}$ | $^{388}_{238}\text{Au}$ | $^{389}_{239}\text{Ag}$ | $^{390}_{240}\text{Cd}$ | $^{391}_{241}\text{In}$ | $^{392}_{242}\text{Sn}$ | $^{393}_{243}\text{Sb}$ | $^{394}_{244}\text{Te}$ | $^{395}_{245}\text{I}$ | $^{396}_{246}\text{Xe}$ | $^{397}_{247}\text{Ba}$ | $^{398}_{248}\text{La}$ | $^{399}_{249}\text{Ce}$ | $^{400}_{250}\text{Pr}$ | $^{401}_{251}\text{Nd}$ | $^{402}_{252}\text{Pm}$ | $^{403}_{253}\text{Sm}$ | $^{404}_{254}\text{Eu}$ | $^{405}_{255}\text{Gd}$ | $^{406}_{256}\text{Tb}$ | $^{407}_{257}\text{Dy}$ | $^{408}_{258}\text{Ho}$ | $^{409}_{259}\text{Er}$ | $^{410}_{260}\text{Tm}$ | $^{411}_{261}\text{Yb}$ | $^{412}_{262}\text{Lu}$ | $^{413}_{263}\text{Hf}$ | $^{414}_{264}\text{Ta}$ | $^{415}_{265}\text{W}$ | $^{416}_{266}\text{Re}$ | $^{417}_{267}\text{Os}$ | $^{418}_{268}\text{Ir}$ | $^{419}_{269}\text{Pt}$ | $^{420}_{270}\text{Au}$ | $^{421}_{271}\text{Ag}$ | $^{422}_{272}\text{Cd}$ | $^{423}_{273}\text{In}$ | $^{424}_{274}\text{Sn}$ | $^{425}_{275}\text{Sb}$ | $^{426}_{276}\text{Te}$ | $^{427}_{277}\text{I}$ | $^{428}_{278}\text{Xe}$ | $^{429}_{279}\text{Ba}$ | $^{430}_{280}\text{La}$ | $^{431}_{281}\text{Ce}$ | $^{432}_{282}\text{Pr}$ | $^{433}_{283}\text{Nd}$ | $^{434}_{284}\text{Pm}$ | $^{435}_{285}\text{Sm}$ | $^{436}_{286}\text{Eu}$ | $^{437}_{287}\text{Gd}$ | $^{438}_{288}\text{Tb}$ | $^{439}_{289}\text{Dy}$ | $^{440}_{290}\text{Ho}$ | $^{441}_{291}\text{Er}$ | $^{442}_{292}\text{Tm}$ | $^{443}_{293}\text{Yb}$ | $^{444}_{294}\text{Lu}$ | $^{445}_{295}\text{Hf}$ | $^{446}_{296}\text{Ta}$ | $^{447}_{297}\text{W}$ | $^{448}_{298}\text{Re}$ | $^{449}_{299}\text{Os}$ | $^{450}_{300}\text{Ir}$ | $^{451}_{301}\text{Pt}$ | $^{452}_{302}\text{Au}$ | $^{453}_{303}\text{Ag}$ | $^{454}_{304}\text{Cd}$ | $^{455}_{305}\text{In}$ | $^{456}_{306}\text{Sn}$ | $^{457}_{307}\text{Sb}$ | $^{458}_{308}\text{Te}$ | $^{459}_{309}\text{I}$ | $^{460}_{310}\text{Xe}$ | $^{461}_{311}\text{Ba}$ | $^{462}_{312}\text{La}$ | $^{463}_{313}\text{Ce}$ | $^{464}_{314}\text{Pr}$ | $^{465}_{315}\text{Nd}$ | $^{466}_{316}\text{Pm}$ | $^{467}_{317}\text{Sm}$ | $^{468}_{318}\text{Eu}$ | $^{469}_{319}\text{Gd}$ | $^{470}_{320}\text{Tb}$ | $^{471}_{321}\text{Dy}$ | $^{472}_{322}\text{Ho}$ | $^{473}_{323}\text{Er}$ | $^{474}_{324}\text{Tm}$ | $^{475}_{325}\text{Yb}$ | $^{476}_{326}\text{Lu}$ | $^{477}_{327}\text{Hf}$ | $^{478}_{328}\text{Ta}$ | $^{479}_{329}\text{W}$ | $^{480}_{330}\text{Re}$ | $^{481}_{331}\text{Os}$ | $^{482}_{332}\text{Ir}$ | $^{483}_{333}\text{Pt}$ | $^{484}_{334}\text{Au}$ | $^{485}_{335}\text{Ag}$ | $^{486}_{336}\text{Cd}$ | $^{487}_{337}\text{In}$ | $^{488}_{338}\text{Sn}$ | $^{489}_{339}\text{Sb}$ | $^{490}_{340}\text{Te}$ | $^{491}_{341}\text{I}$ | $^{492}_{342}\text{Xe}$ | $^{493}_{343}\text{Ba}$ | $^{494}_{344}\text{La}$ | $^{495}_{345}\text{Ce}$ | $^{496}_{346}\text{Pr}$ | $^{497}_{347}\text{Nd}$ | $^{498}_{348}\text{Pm}$ | $^{499}_{349}\text{Sm}$ | $^{500}_{350}\text{Eu}$ | $^{501}_{351}\text{Gd}$ | $^{502}_{352}\text{Tb}$ | $^{503}_{353}\text{Dy}$ | $^{504}_{354}\text{Ho}$ | $^{505}_{355}\text{Er}$ | $^{506}_{356}\text{Tm}$ | $^{507}_{357}\text{Yb}$ | $^{508}_{358}\text{Lu}$ | $^{509}_{359}\text{Hf}$ | $^{510}_{360}\text{Ta}$ | $^{511}_{361}\text{W}$ | $^{512}_{362}\text{Re}$ | $^{513}_{363}\text{Os}$ | $^{514}_{364}\text{Ir}$ | $^{515}_{365}\text{Pt}$ | $^{516}_{366}\text{Au}$ | $^{517}_{367}\text{Ag}$ | $^{518}_{368}\text{Cd}$ | $^{519}_{369}\text{In}$ | $^{520}_{370}\text{Sn}$ | $^{521}_{371}\text{Sb}$ | $^{522}_{372}\text{Te}$ | $^{523}_{373}\text{I}$ | $^{524}_{374}\text{Xe}$ | $^{525}_{375}\text{Ba}$ | $^{526}_{376}\text{La}$ | $^{527}_{377}\text{Ce}$ | $^{528}_{378}\text{Pr}$ | $^{529}_{379}\text{Nd}$ | $^{530}_{380}\text{Pm}$ | $^{531}_{381}\text{Sm}$ | $^{532}_{382}\text{Eu}$ | $^{533}_{383}\text{Gd}$ | $^{534}_{384}\text{Tb}$ | $^{535}_{385}\text{Dy}$ | $^{536}_{386}\text{Ho}$ | $^{537}_{387}\text{Er}$ | $^{538}_{388}\text{Tm}$ | $^{539}_{389}\text{Yb}$ | $^{540}_{390}\text{Lu}$ | $^{541}_{391}\text{Hf}$ | $^{542}_{392}\text{Ta}$ | $^{543}_{393}\text{W}$ | $^{544}_{394}\text{Re}$ | $^{545}_{395}\text{Os}$ | $^{546}_{396}\text{Ir}$ | $^{547}_{397}\text{Pt}$ | $^{548}_{398}\text{Au}$ | $^{549}_{399}\text{Ag}$ | $^{550}_{400}\text{Cd}$ | $^{551}_{401}\text{In}$ | $^{552}_{402}\text{Sn}$ | $^{553}_{403}\text{Sb}$ | $^{554}_{404}\text{Te}$ | $^{555}_{405}\text{I}$ | $^{556}_{406}\text{Xe}$ | $^{557}_{407}\text{Ba}$ | $^{558}_{408}\text{La}$ | $^{559}_{409}\text{Ce}$ | $^{560}_{410}\text{Pr}$ | $^{561}_{411}\text{Nd}$ | $^{562}_{412}\text{Pm}$ | $^{563}_{413}\text{Sm}$ | $^{564}_{414}\text{Eu}$ | $^{565}_{415}\text{Gd}$ | $^{566}_{416}\text{Tb}$ | $^{567}_{417}\text{Dy}$ | $^{568}_{418}\text{Ho}$ | $^{569}_{419}\text{Er}$ | $^{570}_{420}\text{Tm}$ | $^{571}_{421}\text{Yb}$ | $^{572}_{422}\text{Lu}$ | $^{573}_{423}\text{Hf}$ | $^{574}_{424}\text{Ta}$ | $^{575}_{425}\text{W}$ | $^{576}_{426}\text{Re}$ | $^{577}_{427}\text{Os}$ | $^{578}_{428}\text{Ir}$ | $^{579}_{429}\text{Pt}$ | $^{580}_{430}\text{Au}$ | $^{581}_{431}\text{Ag}$ | $^{582}_{432}\text{Cd}$ | $^{583}_{433}\text{In}$ | $^{584}_{434}\text{Sn}$ | $^{585}_{435}\text{Sb}$ | $^{586}_{436}\text{Te}$ | $^{587}_{437}\text{I}$ | $^{588}_{438}\text{Xe}$ | $^{589}_{439}\text{Ba}$ | $^{590}_{440}\text{La}$ | $^{591}_{441}\text{Ce}$ | $^{592}_{442}\text{Pr}$ | $^{593}_{443}\text{Nd}$ | $^{594}_{444}\text{Pm}$ | $^{595}_{445}\text{Sm}$ | $^{596}_{446}\text{Eu}$ | $^{597}_{447}\text{Gd}$ | $^{598}_{448}\text{Tb}$ | $^{599}_{449}\text{Dy}$ | $^{600}_{450}\text{Ho}$ | $^{601}_{451}\text{Er}$ | $^{602}_{452}\text{Tm}$ | $^{603}_{453}\text{Yb}$ | $^{604}_{454}\text{Lu}$ | $^{605}_{455}\text{Hf}$ | $^{606}_{456}\text{Ta}$ | $^{607}_{457}\text{W}$ | $^{608}_{458}\text{Re}$ | $^{609}_{459}\text{Os}$ | $^{610}_{460}\text{Ir}$ | $^{611}_{461}\text{Pt}$ | $^{612}_{462}\text{Au}$ | $^{613}_{463}\text{Ag}$ | $^{614}_{464}\text{Cd}$ | $^{615}_{465}\text{In}$ | $^{616}_{466}\text{Sn}$ | $^{617}_{467}\text{Sb}$ | $^{618}_{468}\text{Te}$ | $^{619}_{469}\text{I}$ | $^{620}_{470}\text{Xe}$ | $^{621}_{471}\text{Ba}$ | $^{622}_{472}\text{La}$ | $^{623}_{473}\text{Ce}$ | $^{624}_{474}\text{Pr}$ | $^{625}_{475}\text{Nd}$ | $^{626}_{476}\text{Pm}$ | $^{627}_{477}\text{Sm}$ | $^{628}_{478}\text{Eu}$ | $^{629}_{479}\text{Gd}$ | $^{630}_{480}\text{Tb}$ | $^{631}_{481}\text{Dy}$ | $^{632}_{482}\text{Ho}$ | $^{633}_{483}\text{Er}$ | $^{634}_{484}\text{Tm}$ | $^{635}_{485}\text{Yb}$ | $^{636}_{486}\text{Lu}$ | $^{637}_{487}\text{Hf}$ | $^{638}_{488}\text{Ta}$ | $^{639}_{489}\text{W}$ | $^{640}_{490}\text{Re}$ | $^{641}_{491}\text{Os}$ | $^{642}_{492}\text{Ir}$ | $^{643}_{493}\text{Pt}$ | $^{644}_{494}\text{Au}$ | $^{645}_{495}\text{Ag}$ | $^{646}_{496}\text{Cd}$ | $^{647}_{497}\text{In}$ | $^{648}_{498}\text{Sn}$ | $^{649}_{499}\text{Sb}$ | $^{650}_{500}\text{Te}$ | $^{651}_{501}\text{I}$ | $^{652}_{502}\text{Xe}$ | $^{653}_{503}\text{Ba}$ | $^{654}_{504}\text{La}$ | $^{655}_{505}\text{Ce}$ | $^{656}_{506}\text{Pr}$ | $^{657}_{507}\text{Nd}$ | $^{658}_{508}\text{Pm}$ | $^{659}_{509}\text{Sm}$ | $^{660}_{510}\text{Eu}$ | $^{661}_{511}\text{Gd}$ | $^{662}_{512}\text{Tb}$ | $^{663}_{513}\text{Dy}$ | $^{664}_{514}\text{Ho}$ | $^{665}_{515}\text{Er}$ | $^{666}_{516}\text{Tm}$ | $^{667}_{517}\text{Yb}$ | $^{668}_{518}\text{Lu}$ | $^{669}_{519}\text{Hf}$ | $^{670}_{520}\text{Ta}$ | $^{671}_{521}\text{W}$ | $^{672}_{522}\text{Re}$ | $^{673}_{523}\text{Os}$ | $^{674}_{524}\text{Ir}$ | $^{675}_{525}\text{Pt}$ | $^{676}_{526}\text{Au}$ | $^{677}_{527}\text{Ag}$ | $^{678}_{528}\text{Cd}$ | $^{679}_{529}\text{In}$ | $^{680}_{530}\text{Sn}$ | $^{681}_{531}\text{Sb}$ | $^{682}_{532}\text{Te}$ | $^{683}_{533}\text{I}$ | $^{684}_{534}\text{Xe}$ | $^{685}_{535}\text{Ba}$ | $^{686}_{536}\text{La}$ | $^{687}_{537}\text{Ce}$ | $^{688}_{538}\text{Pr}$ | $^{689}_{539}\text{Nd}$ | $^{690}_{540}\text{Pm}$ | $^{691}_{541}\text{Sm}$ | $^{692}_{542}\text{Eu}$ | $^{693}_{543}\text{Gd}$ | $^{694}_{544}\text{Tb}$ | $^{695}_{545}\text{Dy}$ | $^{696}_{546}\text{Ho}$ | $^{697}_{547}\text{Er}$ | $^{698}_{548}\text{Tm}$ | $^{699}_{549}\text{Yb}$ | $^{700}_{550}\text{Lu}$ | $^{701}_{551}\text{Hf}$ | $^{702}_{552}\text{Ta}$ | $^{703}_{553}\text{W}$ | $^{704}_{554}\text{Re}$ | $^{705}_{555}\text{Os}$ | $^{706}_{556}\text{Ir}$ | $^{707}_{557}\text{Pt}$ | $^{708}_{558}\text{Au}$ | $^{709}_{559}\text{Ag}$ | $^{710}_{560}\text{Cd}$ | $^{711}_{561}\text{In}$ | $^{712}_{562}\text{Sn}$ | $^{713}_{563}\text{Sb}$ | $^{714}_{564}\text{Te}$ | $^{715}_{565}\text{I}$ | $^{716}_{566}\text{Xe}$ | $^{717}_{567}\text{Ba}$ | $^{718}_{568}\text{La}$ | $^{719}_{569}\text{Ce}$ | $^{720}_{570}\text{Pr}$ | $^{721}_{571}\text{Nd}$ | $^{722}_{572}\text{Pm}$ | $^{723}_{573}\text{Sm}$ | $^{724}_{574}\text{Eu}$ | $^{725}_{575}\text{Gd}$ | $^{726}_{576}\text{Tb}$ | $^{727}_{577}\text{Dy}$ | $^{728}_{578}\text{Ho}$ | $^{729}_{579}\text{Er}$ | $^{730}_{580}\text{Tm}$ | $^{731}_{581}\text{Yb}$ | $^{732}_{582}\text{Lu}$ | $^{733}_{583}\text{Hf}$ | $^{734}_{584}\text{Ta}$ | $^{735}_{585}\text{W}$ | $^{736}_{586}\text{Re}$ | $^{737}_{587}\text{Os}$ | $^{738}_{588}\text{Ir}$ | $^{739}_{589}\text{Pt}$ | $^{740}_{590}\text{Au}$ | $^{741}_{591}\text{Ag}$ | $^{742}_{592}\text{Cd}$ | $^{743}_{593}\text{In}$ | $^{744}_{594}\text{Sn}$ | $^{745}_{595}\text{Sb}$ | $^{746}_{596}\text{Te}$ | $^{747}_{597}\text{I}$ | $^{748}_{598}\text{Xe}$ | $^{749}_{599}\text{Ba}$ | $^{750}_{600}\text{La}$ | $^{751}_{601}\text{Ce}$ | $^{752}_{602}\text{Pr}$ | $^{753}_{603}\text{Nd}$ | $^{754}_{604}\text{Pm}$ | $^{755}_{605}\text{Sm}$ | $^{756}_{606}\text{Eu}$ | $^{757}_{607}\text{Gd}$ | $^{758}_{608}\text{Tb}$ | $^{759}_{609}\text{Dy}$ | $^{760}_{610}\text{Ho}$ | $^{761}_{611}\text{Er}$ | $^{762}_{612}\text{Tm}$ | $^{763}_{613}\text{Yb}$ | $^{764}_{614}\text{Lu}$ | $^{765}_{615}\text{Hf}$ | $^{766}_{616}\text{Ta}$ | $^{767}_{617}\text{W}$ | $^{768}_{618}\text{Re}$ | $^{769}_{619}\text{Os}$ | $^{770}_{620}\text{Ir}$ | $^{771}_{621}\text{Pt}$ | $^{772}_{622}\text{Au}$ | $^{773}_{623}\text{Ag}$ | $^{774}_{624}\text{Cd}$ | $^{775}_{625}\text{In}$ | $^{776}_{626}\text{Sn}$ | $^{777}_{627}\text{Sb}$ | $^{778}_{628}\text{Te}$ | $^{779}_{629}\text{I}$ | $^{780}_{630}\text{Xe}$ | $^{781}_{631}\text{Ba}$ | $^{782}_{632}\text{La}$ | $^{783}_{633}\text{Ce}$ | $^{784}_{634}\text{Pr}$ | $^{785}_{635}\text{Nd}$ | $^{786}_{636}\text{Pm}$ | $^{787}_{637}\text{Sm}$ | $^{788}_{638}\text{Eu}$ | $^{789}_{639}\text{Gd}$ | $^{790}_{640}\text{Tb}$ | $^{791}_{641}\text{Dy}$ | $^{792}_{642}\text{Ho}$ | $^{793}_{643}\text{Er}$ | $^{794}_{644}\text{Tm}$ | $^{795}_{645}\text{Yb}$ | $^{796}_{646}\text{Lu}$ | $^{797}_{647}\text{Hf}$ | $^{798}_{648}\text{Ta}$ | $^{799}_{649}\text{W}$ | $^{800}_{650}\text{Re}$ | $^{801}_{651}\text{Os}$ | $^{802}_{652}\text{Ir}$ | $^{803}_{653}\text{Pt}$ | $^{804}_{654}\text{Au}$ | $^{805}_{655}\text{Ag}$ | $^{806}_{656}\text{Cd}$ | $^{807}_{657}\text{In}$ | $^{808}_{658}\text{Sn}$ | $^{809}_{659}\text{Sb}$ | $^{810}_{660}\text{Te}$ | $^{811}_{661}\text{I}$ | $^{812}_{662}\text{Xe}$ | $^{813}_{663}\text{Ba}$ | $^{814}_{664}\text{La}$ | $^{815}_{665}\text{Ce}$ | $^{816}_{666}\text{Pr}$ | $^{817}_{667}\text{Nd}$ | $^{818}_{668}\text{Pm}$ | $^{819}_{669}\text{Sm}$ | $^{820}_{670}\text{Eu}$ | < |

括号内数字为元素的最稳定同位素的质量数

出處 *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 48th ed., CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1968.

|                        |                                                                                                   |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原子质量单位 (amu)           | $1.66 \times 10^{-24} \text{g}$                                                                   |
| 阿伏伽德罗常数 ( $A_0$ )      | $6.02 \times 10^{23} \text{amu/g}$                                                                |
| 玻耳兹曼常数 (k)             | $86.1 \times 10^{-6} \text{eV/}^\circ\text{K}$<br>$13.8 \times 10^{-24} \text{J/}^\circ\text{K}$  |
| 波尔磁子                   | $9.27 \times 10^{-24} \text{A}\cdot\text{m}^2$                                                    |
| 水的比重                   | $1 \text{g/cm}^3$<br>$62.4 \text{lb/ft}^3$                                                        |
| 电子电荷(q)                | $1.60 \times 10^{-19} \text{C}$                                                                   |
| 电子质量(m <sub>0</sub> )  | $9.11 \times 10^{-28} \text{g}$                                                                   |
| 电子伏特(eV)               | $1.60 \times 10^{-19} \text{J}$                                                                   |
| 法拉第                    | $96.5 \times 10^3 \text{C}$                                                                       |
| 气体常数(R)                | $1.987 \text{cal/mol}\cdot^\circ\text{K}$<br>$8.314 \text{J/mol}\cdot^\circ\text{K}$              |
| 重力加速度g                 | $9.80 \text{m/sec}^2$                                                                             |
| 真空磁导率( $\mu_0$ )       | $4\pi \times 10^{-7} \text{Wb/A}\cdot\text{m}$                                                    |
| ( $4\pi\mu_0$ )        | $1.23 \times 10^{-5} \text{N}\cdot\text{m/C}^2$                                                   |
| 真空介电系数( $\epsilon_0$ ) | $8.9 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$                                          |
| ( $1/4\pi\epsilon_0$ ) | $9.0 \times 10^9 \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$                                              |
| 普朗克常数(h)               | $6.62 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{sec}$<br>$4.14 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{sec}$ |
| 质子质量(mp)               | $1.672 \times 10^{-24} \text{g}$                                                                  |
| 光速(c)                  | $3 \times 10^{10} \text{cm/sec}$                                                                  |
| 1-eV质子的波长( $\lambda$ ) | $12300 \text{\AA}$                                                                                |

国际单位制的单位字头

| 乘数或约数      | 字头    | 符号    |
|------------|-------|-------|
| $10^{18}$  | exa   | E     |
| $10^{15}$  | peta  | P     |
| $10^{12}$  | tera  | T     |
| $10^9$     | giga  | G     |
| $10^6$     | mega  | M     |
| $10^3$     | kilo  | k     |
| $10^2$     | hecto | h     |
| 10         | deka  | da    |
| $10^{-1}$  | deci  | d     |
| $10^{-2}$  | centi | c     |
| $10^{-3}$  | milli | m     |
| $10^{-6}$  | micro | $\mu$ |
| $10^{-9}$  | nano  | n     |
| $10^{-12}$ | pico  | p     |
| $10^{-15}$ | femto | f     |
| $10^{-18}$ | atto  | a     |

部分数学关系式

自然对数底 ( $e$ ) = 2.718

$$\ln e^x = x$$

$$\ln x = 2.3 \log_{10} x$$

|        |        |
|--------|--------|
| 晶界六方   | ( 37 ) |
| 多晶形晶体  | ( 39 ) |
| 对密度的影响 | ( 40 ) |
| 晶面     | ( 41 ) |
| 面的标志   | ( 42 ) |

## 译者的话

本书是由美国Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 于1985年出版的大学教材。它从原子理论和分子结构出发, 在必要的金属学理论基础上, 综合分析了各类工程材料的内部结构、性能以及应用。是一本理论与实际相结合的基础教材。

本书是美国最新出版的教材, 充分反映了当前美国的新材料、新工艺、新技术, 並配有丰富的实例说明。本书体系新颖, 资料丰富, 插图清晰, 注意理论联系实际。此外, 全书还有81例紧密结合教材内容的例题; 在每章后面附有结合实际应用、培养读者分析、解决问题能力的习题共411题。因此是我国各类高等学校及中等专业学校的一本较好的教学参考书, 同时也可供有关科学研究人员和工程技术人员参考。

本书由上海机械专科学校王运炎副教授主持翻译, 参加翻译工作的有: 徐强(前言、第1、2、3章)、张葛玲(第4、5、6章)、王运炎(第7、8、12、13、15章)、周荣德(第9、10、11章)、张汉梅(第14、17章)、朱莉(第16章)。译稿经相互校阅后, 由王运炎副教授进行最终审校。在本书的编辑和出版工作中曾得到本书责任编辑张葛玲同志和上海高机书店孙已德同志的热心帮助与支持, 在此一并致以谢意。

由于我们水平有限, 译文中难免存在缺点与错误, 恳切希望广大读者批评指正。

1990年4月

|        |                  |        |
|--------|------------------|--------|
| ( 11 ) | 小结               | ( 35 ) |
| ( 14 ) | 面缺陷              | ( 65 ) |
| ( 14 ) | 晶界               | ( 68 ) |
| ( 21 ) | 孪晶层错             | ( 68 ) |
| ( 18 ) | 其他面缺陷            | ( 69 ) |
| ( 18 ) | 小结               | ( 69 ) |
| ( 01 ) | 第五章 固态工程材料中的扩散现象 | ( 71 ) |
| ( 01 ) | 扩散机理             | ( 73 ) |
| ( 03 ) | 空位机理             | ( 73 ) |
| ( 13 ) | 间隙机理             | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 环形扩散             | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 自扩散              | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 扩散的数学分析          | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 稳态扩散             | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 非稳态扩散            | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 扩散系数             | ( 73 ) |
| ( 03 ) | 晶界扩散             | ( 73 ) |
| ( 03 ) | 晶界自扩散            | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 溶质在晶界的扩散         | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 晶界迁移             | ( 73 ) |
| ( 33 ) | 晶界迁移中的扩散         | ( 73 ) |

## 绪 言

在过去的十年中,材料科学和材料工程在社会中所起的作用在不断地扩展。这种扩展是由于新材料的出现和现有材料的改进在创制现代化设备中所起的重要作用正在进一步体现出来。如果没有新的工程材料,近年来的一些技术进步如人造心脏、宇宙飞船和专用计算机等都根本不可能取得。与此相应,材料的范围也有了显著的扩大。从来没有像现在这样面临如此多的复杂问题和挑战。各个学科前沿出现的工艺技术问题,要求解决新材料以及制造新材料的方法。要使这些材料和设备能有效地起作用,必然需要有受过设计和使用这些先进材料教育的工程师和科学家。

本书拟作为一本工程材料的初级教程,以使初学者认识到材料的使用实质上是涉及各门学科的。在许多工程和科学领域中,现代材料的技术知识都是必需的。对大多数学生来说,本课程是他们初次接触材料的性质和作用。所以,本教程准备用和各学科联系的方法使学生对材料有个最基本的认识。对另一些学生来说,这可能只是深入了解工程材料性能的一系列课程中的第一门课程。

本书的主要目的是在不忽视基本科学原理的基础上简明易懂地介绍工程材料的各个基本方面。为了阐明大量的科学知识,我们对材料的理论 and 应用两方面采取比较合适的比例,同时用恰当的例子来提高学生的兴趣。通过有用的实例、例题和各章后大量注重工程应用的习题来达到所要求的目的。

除了大多数材料导论书中都有的传统的工程材料各章节外,本书还包含了现有同类书中所未涉及的许多重要的领域。属于这些领域的特殊章节有:

断裂韧性和疲劳

复合材料

腐蚀的混合电位理论

非平衡凝固(快速凝固技术)

定向凝固的共晶体

超导性

生物医药材料

高温合金

建筑结构材料

读者将会发现,快速凝固材料和定向凝固共晶等章节特别有意义,因为它们证实了以可控方式进行凝固时的一些优点。

首先,本书是作为一本教材来安排写作的。因此,书中的内容已经在三年以上学制的学生中进行过试用,并采纳了他们的中肯建议。采用了传统教材的版式并加进了合适的例子贯穿全文以说明和扩展教材内容。各章后的习题供学生训练其分析能力,并用以证明课文内容中的一些重要关系。有许多习题是基于工程实际情况设计的,由此来激励和鞭策学生。

国际单位(SI)和英制单位在书中交替使用。应该承认,我们还处于过渡的阶段。在未来的许多年里,毫无疑问,工程师和科学家们必须同时熟悉这两种体系。除了封面、封底、内页

所列举的换算表和部分性能数据以外，在正文中，我们还列举了大量的有关材料的参考数据表格。当学生们成为实际的工程师和科学家时，这些表格和数据将是非常有用的。

最后要感谢给予作者帮助的许多朋友，他们是：E. Nippes, H. Frenkel和M. Tomozowa (Rensselaer Polytechnic Institute); J. Passmore (Jefferson College); R. Chait (U. S. Military Academy, West Point); J. Underwood, (Benét Laboratory); J. V. Lindyberg (General Electric Co); D. L. Batey (Babcock and Wilcox); M. T. Gallivan (D. D. S.); R. L. Kennard (Air Force Wright Aeronautical Laboratories); D. G. Baldrey (Hudson Valley College)。此外，还要感谢为本书提供了许多宝贵的见解、建议和例题材料的朋友和同事们，也感谢 Ellen Thornton和Betty Ann Melius为本书手稿打字付出了辛勤的劳动。最后，真诚地感激我们的家属对本书编写所给予的支持和理解。

Peter A. Thornton

Vico J. Carangelo

# 目 录

原子质量单位 (amu)

阿伏伽德罗常数 (A)

普朗克常数 (h)

译者的话

绪言

## 第一章 材料在工程中的作用

工程材料成为一门现代科学的原因

工程材料的类型

金属

陶瓷

聚合物

复合材料

结构对性能的影响

材料的使用

## 第二章 原子理论和分子结构复习

原子结构

周期表

电子构型

价电子

能带理论

原子间力

原子力的平衡

键能

原子间的键合

离子键

共价键

金属键

范德瓦耳斯力

小结

分子结构

分子

分子键合

分子排列

## 第三章 晶体结构基础

晶体结构的形式

简单立方

体心立方

面心立方

|         |                               |        |
|---------|-------------------------------|--------|
| ( 88 )  | 密排六方.....                     | ( 37 ) |
| ( 98 )  | 多晶形晶体.....                    | ( 39 ) |
|         | 对密度的影响.....                   | ( 40 ) |
| ( 38 )  | 晶面.....                       | ( 41 ) |
| ( 38 )  | 面的标志.....                     | ( 42 ) |
| ( 38 )  | 晶面和变形.....                    | ( 45 ) |
| ( 38 )  | 晶向.....                       | ( 45 ) |
| ( 001 ) | 晶面间关系.....                    | ( 47 ) |
| ( 100 ) | 布喇格定律.....                    | ( 47 ) |
| ( 101 ) | 两面间距离.....                    | ( 48 ) |
| ( 501 ) | 小结.....                       | ( 50 ) |
|         | <b>第四章 晶体材料中的缺陷</b> .....     |        |
| ( 101 ) | 点缺陷.....                      | ( 54 ) |
| ( 106 ) | 空位.....                       | ( 54 ) |
| ( 101 ) | 间隙式杂质原子.....                  | ( 57 ) |
| ( 101 ) | 置换式杂质原子.....                  | ( 58 ) |
| ( 101 ) | 线缺陷.....                      | ( 58 ) |
| ( 111 ) | 位错.....                       | ( 58 ) |
| ( 113 ) | 位错和变形.....                    | ( 60 ) |
|         | 小结.....                       | ( 65 ) |
| ( 118 ) | 面缺陷.....                      | ( 65 ) |
| ( 118 ) | 晶界.....                       | ( 66 ) |
| ( 118 ) | 堆垛层错.....                     | ( 68 ) |
| ( 118 ) | 其他面缺陷.....                    | ( 69 ) |
| ( 131 ) | 小结.....                       | ( 69 ) |
|         | <b>第五章 固态工程材料中的物质扩散</b> ..... |        |
| ( 131 ) | 扩散机理.....                     | ( 73 ) |
| ( 131 ) | 空位机理.....                     | ( 73 ) |
| ( 131 ) | 间隙机理.....                     | ( 75 ) |
| ( 131 ) | 环形扩散.....                     | ( 76 ) |
| ( 131 ) | 自扩散.....                      | ( 77 ) |
| ( 131 ) | 扩散的数学分析.....                  | ( 77 ) |
| ( 131 ) | 稳态扩散.....                     | ( 78 ) |
| ( 131 ) | 非稳态扩散.....                    | ( 81 ) |
| ( 140 ) | 扩散系数.....                     | ( 82 ) |
| ( 140 ) | 晶界扩散.....                     | ( 85 ) |
| ( 141 ) | 晶界自扩散.....                    | ( 85 ) |
| ( 141 ) | 溶质沿晶界的扩散.....                 | ( 86 ) |
| ( 141 ) | 晶界迁移.....                     | ( 87 ) |
| ( 141 ) | 非金属固态中的扩散.....                | ( 88 ) |

|        |                          |         |
|--------|--------------------------|---------|
| ( 78 ) | 玻璃中的扩散                   | ( 88 )  |
| ( 88 ) | 陶瓷中的扩散                   | ( 89 )  |
| ( 0 )  | <b>第六章 强化机理和热处理</b>      |         |
| ( 11 ) | 变形和应力的影响                 | ( 92 )  |
| ( 81 ) | 变形                       | ( 92 )  |
| ( 81 ) | 应变                       | ( 93 )  |
| ( 81 ) | 应力                       | ( 96 )  |
| ( 71 ) | 固溶强化                     | ( 100 ) |
| ( 71 ) | 置换固溶体                    | ( 100 ) |
| ( 81 ) | 间隙固溶体                    | ( 101 ) |
| ( 81 ) | 固溶强化                     | ( 102 ) |
|        | 其他强化机理                   | ( 104 ) |
| ( 12 ) | 应变硬化                     | ( 104 ) |
| ( 12 ) | 沉淀硬化                     | ( 106 ) |
| ( 72 ) | 多晶型转变                    | ( 107 ) |
| ( 82 ) | 塑性变形和退火                  | ( 108 ) |
| ( 82 ) | 塑性变形                     | ( 108 ) |
| ( 82 ) | 退火                       | ( 111 ) |
| ( 82 ) | 小结                       | ( 113 ) |
| ( )    | <b>第七章 单相和多相材料中的基本关系</b> |         |
| ( 73 ) | 合金系                      | ( 116 ) |
| ( 83 ) | 合金热力学                    | ( 118 ) |
| ( 83 ) | 自由能                      | ( 118 ) |
| ( 83 ) | 相律                       | ( 118 ) |
| ( 83 ) | 平衡相间关系                   | ( 121 ) |
|        | 相图的建立                    | ( 121 ) |
| ( 87 ) | 完全溶解的系                   | ( 123 ) |
| ( 87 ) | 共晶合金                     | ( 125 ) |
| ( 87 ) | 部分固溶度                    | ( 127 ) |
| ( 87 ) | 实际系                      | ( 131 ) |
| ( 77 ) | 原子百分数与重量百分数的关系           | ( 137 ) |
| ( 77 ) | 偏晶合金                     | ( 138 ) |
| ( 87 ) | 多元合金                     | ( 139 ) |
| ( 18 ) | 三元相图                     | ( 139 ) |
| ( 88 ) | 不平衡过程                    | ( 140 ) |
| ( 88 ) | 凝固                       | ( 140 ) |
| ( 88 ) | 溶质的重新分配                  | ( 141 ) |
| ( 88 ) | 宏观组织                     | ( 143 ) |
| ( 78 ) | 树枝状凝固                    | ( 144 ) |
| ( 88 ) | 快速凝固方法                   | ( 146 ) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 连续冷却转变.....                   | (295) |
| (148) 凝固缺陷.....               | (148) |
| (151) 沉淀硬化反应.....             | (151) |
| <b>第八章 机械试验及工程材料的选用</b> ..... |       |
| (155) 拉伸试验.....               | (155) |
| (157) 应力-应变曲线.....            | (157) |
| (159) 塑性.....                 | (159) |
| (160) 回弹性.....                | (160) |
| (161) 高温影响.....               | (161) |
| (162) 压缩试验.....               | (162) |
| (163) 扭转试验.....               | (163) |
| (164) 韧性.....                 | (164) |
| (165) 低应变速度-拉伸试验.....         | (165) |
| (165) 高应变速度-冲击试验.....         | (165) |
| (169) 硬度试验.....               | (169) |
| (169) 宏观硬度试验.....             | (169) |
| (171) 显微硬度试验.....             | (171) |
| (171) 非金属硬度试验.....            | (171) |
| (172) 硬度换算.....               | (172) |
| (172) 选择材料的要素与机械性能的应用.....    | (172) |
| (172) 各向异性.....               | (172) |
| (175) 断裂形式.....               | (175) |
| (178) 应力集中.....               | (178) |
| (180) 安全系数.....               | (180) |
| <b>第九章 工程材料的断裂韧性与疲劳</b> ..... |       |
| (184) 断裂韧性.....               | (184) |
| (184) 基础知识.....               | (184) |
| (190) 断裂韧性试验.....             | (190) |
| (194) 测试步骤.....               | (194) |
| (197) 断裂韧性与设计.....            | (197) |
| (199) 疲劳.....                 | (199) |
| (200) 循环应力.....               | (200) |
| (202) 疲劳寿命.....               | (202) |
| (206) 影响疲劳寿命的因素.....          | (206) |
| (213) 疲劳裂纹的产生.....            | (213) |
| (214) 疲劳裂纹的扩展.....            | (214) |
| (220) 疲劳形貌.....               | (220) |
| <b>第十章 工程材料的电学性能</b> .....    |       |
| (230) 电阻率.....                | (230) |
| (230) 基本关系.....               | (230) |
| (232) 影响电阻率的因素.....           | (232) |

|       |                        |       |
|-------|------------------------|-------|
| (841) | 有关电阻率的应用               | (234) |
| (121) | 电导率                    | (235) |
| 第六章   | 金属的导电性                 | (235) |
| (221) | 离子导电                   | (238) |
| (121) | 能带理论                   | (238) |
| (221) | 半导体                    | (240) |
| (001) | 半导体理论                  | (241) |
| (101) | 半导体的应用及其器件             | (246) |
| (201) | 集成电路                   | (250) |
| (201) | 电介质性能                  | (252) |
| (101) | 介电常数                   | (252) |
| (201) | 介质功率损耗                 | (255) |
| (201) | 电介质强度                  | (255) |
| (201) | 铁电特性                   | (256) |
| 第十一章  | 工程材料的磁学性能              | (260) |
| (111) | 磁性                     | (260) |
| (111) | 磁导率                    | (262) |
| (111) | 铁磁理论                   | (263) |
| (111) | 磁畴理论                   | (264) |
| (111) | 磁致伸缩                   | (265) |
| (111) | 温度对磁性的影响               | (266) |
| (111) | 各向异性                   | (266) |
| (111) | 磁性材料的种类                | (266) |
|       | 陶瓷磁性材料                 | (268) |
| (111) | 永久磁体                   | (269) |
| (111) | 超导电性                   | (270) |
| (111) | 超导材料                   | (272) |
| (111) | 超导体的应用                 | (274) |
| 第十二章  | 工程铁合金及其应用              | (278) |
| (001) | 铁-碳系                   | (278) |
| (001) | Fe-Fe <sub>3</sub> C相图 | (278) |
| (001) | 共析反应                   | (283) |
| (001) | 合金元素在钢铁中的作用            | (286) |
| (001) | 铁-合金二元系                | (286) |
| (001) | 钢的分类                   | (287) |
| (001) | 合金在钢铁中的作用              | (290) |
|       | 热处理基础                  | (290) |
| (001) | 奥氏体化条件                 | (291) |
| (001) | 等温转变                   | (291) |
| (001) | 等温转变的应用                | (294) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 连续冷却转变.....            | (295) |
| 回火.....                | (298) |
| 淬透性.....               | (300) |
| 铁合金的性能和应用.....         | (302) |
| 普通碳素钢.....             | (302) |
| 低合金钢.....              | (303) |
| 超高强度钢.....             | (303) |
| 耐蚀钢(不锈钢).....          | (304) |
| <b>第十三章 工程有色金属及其应用</b> |       |
| 铝及铝合金.....             | (312) |
| 铝-铜合金.....             | (313) |
| 铝-镁合金.....             | (315) |
| 铝-硅合金.....             | (316) |
| 铝合金的分类.....            | (317) |
| 镁及其合金.....             | (318) |
| 合金元素.....              | (318) |
| 变形镁合金与铸造镁合金的性能比较.....  | (319) |
| 铍及其合金.....             | (321) |
| 钛及其合金.....             | (322) |
| 铜及其合金.....             | (325) |
| 铜-锌合金.....             | (326) |
| 铜-锡合金.....             | (328) |
| 铜-铝合金.....             | (330) |
| 铜-硅合金.....             | (331) |
| 铜-镍合金.....             | (332) |
| 镍及其合金.....             | (333) |
| 镍-铜合金.....             | (334) |
| 镍-铁合金.....             | (334) |
| 镍基高温合金.....            | (334) |
| 铅及其合金.....             | (337) |
| 铅-钙合金.....             | (338) |
| 铅-锡合金.....             | (338) |
| 三元合金.....              | (338) |
| 贵金属.....               | (339) |
| 金.....                 | (339) |
| 银.....                 | (339) |
| 铂系金属.....              | (340) |
| 高熔点金属.....             | (340) |
| <b>第十四章 工程聚合材料及其应用</b> |       |
| 聚合物.....               | (343) |

|                        |              |       |
|------------------------|--------------|-------|
| (343)                  | 有机和无机聚合物     | (343) |
| (343)                  | 单体、二聚物和三聚物   | (343) |
| (344)                  | 结构研究         | (344) |
| (344)                  | 基本结构         | (344) |
| (344)                  | 键角和分子长度      | (344) |
| (346)                  | 空间构形         | (346) |
| (347)                  | 反式-非对称式排列    | (347) |
| (347)                  | 共聚物          | (347) |
| (349)                  | 聚合反应         | (349) |
| (349)                  | 加成聚合反应       | (349) |
| (350)                  | 缩合反应         | (350) |
| (350)                  | 官能度          | (350) |
| (351)                  | 聚合物的结晶度      | (351) |
| (353)                  | 分子量的分布       | (353) |
| (354)                  | 聚合物的机械性能     | (354) |
| (354)                  | 粘弹特性         | (354) |
| (356)                  | 聚合物的玻璃化转变    | (356) |
| (357)                  | 使用温度与转变温度的关系 | (357) |
| (357)                  | 高弹体          | (357) |
| (358)                  | 化学稳定性        | (358) |
| (358)                  | 溶剂侵蚀         | (358) |
| (358)                  | 溶胀           | (358) |
| (358)                  | 氧化           | (358) |
| (358)                  | 紫外线照射        | (358) |
| (358)                  | 水分和湿度        | (358) |
| (364)                  | 聚合物的形状       | (364) |
| (364)                  | 纤维           | (364) |
| (365)                  | 薄膜           | (365) |
| (366)                  | 粘结剂          | (366) |
| (366)                  | 涂料           | (366) |
| (369)                  | 泡沫材料         | (369) |
| (369)                  | 添加剂          | (369) |
| (369)                  | 填充物          | (369) |
| (370)                  | 增塑剂          | (370) |
| (370)                  | 特殊用途的添加剂     | (370) |
| (370)                  | 硅氧烷聚合物       | (370) |
| <b>第十五章 工程陶瓷材料及其应用</b> |              |       |
| (374)                  | 晶体陶瓷         | (374) |
| (374)                  | 基本结构关系       | (374) |
| (376)                  | 氧化物结构        | (376) |

|                      |         |       |
|----------------------|---------|-------|
| (381)                | 硅酸盐结构   | (381) |
|                      | 同素异晶现象  | (383) |
| (385)                | 性能及用途   | (385) |
| (389)                | 玻璃      | (389) |
| (390)                | 玻璃态     | (390) |
| (391)                | 玻璃结构    | (391) |
| (393)                | 性能及用途   | (393) |
| <b>第十六章 复合材料及其应用</b> |         |       |
| (401)                | 纤维增强原理  | (401) |
| (401)                | 应力-应变关系 | (401) |
| (402)                | 体积百分数   | (402) |
| (404)                | 纤维的研究   | (404) |
| (408)                | 性能及应用   | (408) |
| (412)                | 微粒增强原理  | (412) |
| (412)                | 弥散强化    | (412) |
| (412)                | 微粒强化    | (412) |
| (413)                | 微粒增强聚合物 | (413) |
| (415)                | 基体研究    | (415) |
| (415)                | 热固性聚合物  | (415) |
| (415)                | 热塑性聚合物  | (415) |
| (416)                | 金属基体材料  | (416) |
| (416)                | 层叠复合材料  | (416) |
| (417)                | 层叠板中的应力 | (417) |
| (418)                | 层叠板的弯曲  | (418) |
| (418)                | 层叠板的应用  | (418) |
| (419)                | 定向凝固共晶体 | (419) |
| (419)                | 机械性能    | (419) |
| (420)                | 应用      | (420) |
| (421)                | 混凝土     | (421) |
| (422)                | 水泥      | (422) |
| (424)                | 骨料      | (424) |
| (425)                | 水       | (425) |
| (425)                | 混凝土配比设计 | (425) |
| (428)                | 混凝土的性能  | (428) |
| (433)                | 沥青      | (433) |
| (433)                | 沥青混凝土   | (433) |
| (434)                | 木材      | (434) |
| (434)                | 木材的类型   | (434) |
| (434)                | 结构与成分   | (434) |
| (436)                | 物理性能    | (436) |

|       |                        |       |
|-------|------------------------|-------|
| (188) | 机械性能                   | (437) |
| (188) | <b>第十七章 工程材料的腐蚀</b>    | (343) |
| (288) | 腐蚀的电化学性质               | (444) |
| (288) | 电化学半电池反应               | (444) |
| (200) | 电极的动力学                 | (446) |
| (100) | 极化强度                   | (447) |
| (200) | 混合电位                   | (448) |
|       | 腐蚀速度的预测                | (448) |
| (101) | 浓度极化                   | (448) |
| (101) | 钝化                     | (449) |
| (201) | 腐蚀的形式                  | (450) |
| (101) | 全面腐蚀                   | (450) |
| (201) | 电化学腐蚀                  | (450) |
| (211) | 裂隙腐蚀                   | (453) |
| (211) | 点蚀                     | (454) |
| (211) | 局部的溶蚀                  | (455) |
| (211) | 应力腐蚀断裂                 | (455) |
| (211) | 晶间腐蚀                   | (456) |
| (211) | 化学腐蚀性                  | (357) |
| (211) | 溶剂腐蚀                   | (358) |
| (211) | 氧化                     | (358) |
| (211) | 紫外线照射                  | (358) |
| (211) | 水分和湿度                  | (358) |
| (211) | 聚合物的形状                 | (364) |
| (211) | 纤维                     | (364) |
| (211) | 橡胶                     | (365) |
| (211) | 塑料                     | (366) |
| (211) | 涂料                     | (366) |
| (211) | 泡沫材料                   | (369) |
| (211) | 添加剂                    | (369) |
| (211) | 填充物                    | (370) |
| (211) | 增塑剂                    | (370) |
| (211) | 特殊用途的添加剂               | (370) |
| (211) | 硅氧烷化合物                 | (370) |
| (211) | <b>第十五章 工程陶瓷材料及其应用</b> | (374) |
| (211) | 晶体陶瓷                   | (374) |
| (211) | 基本结构关系                 | (374) |
| (211) | 氧化物陶瓷                  | (376) |