

第2版

热处理技术 数据手册

Rechuli Jishu Shuju Shouce

樊东黎 徐跃明 佟晓辉 主编



热处理技术数据手册

第2版

樊东黎 徐跃明 佟晓辉 主编



机械工业出版社

本书的内容是与热处理有关的技术数据。其中包括基础,国内外金属和合金的命名法,金属材料的化学成分,热处理工艺规范,热处理后的力学性能,加热和冷却方式,各种热处理和化学热处理原理与工艺,表面沉积涂层技术,量大、面广机器零件、制品的热处理工艺及效果,质量检测和控制技术,计量单位和换算、热处理标准等。

本手册可供热处理生产第一线的工程师、技师、质检人员在优选工艺、预见性能、完善管理工作中使用,也可供科研设计人员在零件失效分析、产品开发设计、技术创新中应用,以及高校、职高、中专和技校师生在教学、科研中参考。

图书在版编目(CIP)数据

热处理技术数据手册/樊东黎等主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2006.4
ISBN 7-111-18547-1

I. 热… II. 樊… III. 热处理—数据—手册 IV. TG15-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第011618号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:张秀恩 王兴垣 责任编辑:王兴垣 版式设计:冉晓华
责任校对:李秋荣 封面设计:张静 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷
2006年4月第2版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·72.75印张·2插页·1901千字
0 001—4 000册
定价:118.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294
编辑热线(010)68351729
封面无防伪标均为盗版

第2版前言

《热处理技术数据手册》第一版出版至今已经有5年了。尽管因编写仓促，有不少缺陷、遗漏和差错，但仍受到读者青睐，多次印刷，顷刻销售罄尽。鉴于科技进步日新月异，对外交流日益频繁，为弥补第1版手册的不足、修正编写、选材和印刷错误，增添先进工业国家最新图表数据，应出版社要求，原版编者对一版手册进行了补充修订。

第2版手册的重要改动和增补是：

1. 把“钢铁热处理基础”一章分为“材料化学成分”、“基础”和“数据”三章，便于读者查找。

2. 增加“金属和合金材料牌号表示方法”一章。除国产材料外，尚引有英、美、日、德、法、俄、韩等国和国际标准化组织的材料牌号表示方法以及中外牌号对照，以满足日益增长的对外交流的需要。

3. 在“钢热处理基本数据”一章中增添了“钢淬火回火后的力学性能”一节。本节对于钢常规热处理效果和根据零件性能要求选择钢材和制订热处理规范至关重要。

4. 在“金属热处理的加热和冷却”一章中补充了“在气氛和真空中加热”两部分，这是近代热处理技术不可或缺的部分。

5. 在附录的“通用数据中补充了国内外学术团体、标准化组织、专业、环境、安保、国家管理部门名称缩写的含义，计量单位和换算，特别是列入了材料各种缺口试样冲击功和冲击韧度的换算。这在过去被认为是根本不可能或不推荐的事。

6. 在各种材料成分、热处理工艺和各类零件热处理各章中也都适当补充了不少近代热处理新技术数据，体现了热处理技术的增新和进步。

负责组织和参与本书修订的是樊东黎、徐跃明和佟晓辉，参加数据搜集、整理、审核的有吴颖思、王德文、曹敏达、李福臣、周莉、贾洪艳、邵周俊、马兰、刘西鹰、葛京晶、杜秀轩、赵慧敏、罗晨光、樊尔青、哈红、郑仲瑜、崔敬丽、胡小丽、李爱国、李俏等。

出版社责任编辑王兴垣同志在书稿编辑、审理、校样、编排，特别在材料化学成分、性能要求的新标准查找核对上下了功夫，做了大量工作。此外尚有多人参加了本书的誊写、打印、描图等工作、编者在此一并致谢。

在2版修订过程中，编者虽力求改正第1版中的错误，但难免还有遗漏，在补充的内容和数据中有可能再次出错，欢迎读者批评指正。

编者

目 录

第 2 版前言

第 1 章 元素的物理化学性质 1

- 1.1 化学元素周期表 1
- 1.2 化学元素的物理化学性质 4
- 1.3 常见无机化合物的物理化学性质 8
- 1.4 常见有机化合物的物理化学性质 11

第 2 章 钢铁热处理基础 12

- 2.1 Fe-C、Fe-Fe₃C 合金相图 12
- 2.2 合金元素对 Fe-Fe₃C 合金相图的影响 17
- 2.3 钢中碳化物结构和性质 22
- 2.4 合金元素对钢组织、热处理工艺、力学性能、物理性能、化学性能和加工工艺性能的影响 23
- 2.5 钢在加热过程中的转变 28
- 2.6 钢的过冷奥氏体等温转变和连续冷却转变类型 36
- 2.7 淬火钢在回火过程中的转变 38
- 2.8 钢的淬透性 41

第 3 章 金属和合金材料牌号表示方法及世界主要国家常用钢和合金牌号相似对照 52

- 3.1 国产钢号命名法 52
- 3.2 国产铸铁牌号表示方法 56
- 3.3 国产非铁金属和合金的代号及表示方法 58
- 3.4 国家名称代号和标准名称代号 60
- 3.5 法国 NF 标准钢号表示方法 61
- 3.6 德国 DIN 标准钢号表示方法 64
- 3.7 美国 AISI 和 SAE 标准钢号表示方法 67
- 3.8 日本 JIS 标准钢号表示方法 70
- 3.9 俄罗斯 ГОСТ 标准钢号表示方法 76
- 3.10 国际标准化组织 (ISO) 钢号表示

方法 78

- 3.11 英国 BS 标准钢号表示方法 81
- 3.12 韩国 KS 标准钢号表示方法 83
- 3.13 世界主要国家铸铁牌号表示方法 84
- 3.14 中国和世界主要国家常用钢和合金牌号相似对照 87

第 4 章 金属和合金材料的化学成分和性能 96

- 4.1 国产常用钢种化学成分 96
- 4.2 国产钢材物理化学性质 115
- 4.3 常用钢临界温度、锻造温度、热处理工艺参数 117
- 4.4 常用钢力学性能技术要求 123
- 4.5 非铁金属和合金的化学成分 126
- 4.6 功能合金的化学成分 139
- 4.7 各国特殊用途合金相似对照 148

第 5 章 钢热处理基本数据 152

- 5.1 钢的过冷奥氏体等温转变图 152
- 5.2 钢的过冷奥氏体连续冷却转变图 166
- 5.3 常用钢的淬透性曲线 175
- 5.4 淬火、回火钢的力学性能 198

第 6 章 金属的加热和冷却 237

- 6.1 加热方式 237
- 6.2 加热计算 237
- 6.3 金属在盐浴中的加热 241
- 6.4 金属在流态炉中的加热 248
- 6.5 金属在可控气氛中的加热 249
- 6.6 金属在真空中的加热 251
- 6.7 加热工艺和设备的节能途径 253
- 6.8 氧化与脱碳 254
- 6.9 淬火冷却过程 262
- 6.10 淬火冷却介质 266
- 6.11 畸变与开裂 288

第 7 章 钢的常规热处理 293

- 7.1 钢的退火和正火工艺规范及性能 293

7.2 钢的淬火和回火工艺规范及性能	313	12.4 碳氮共渗工艺及性能	636
7.3 钢的冷处理工艺及效果	337	12.5 渗硼工艺及性能	650
第 8 章 铸铁的热处理	341	12.6 渗硫与硫氮共渗工艺及性能	662
8.1 铸铁牌号命名法	341	12.7 氮碳共渗工艺及性能	668
8.2 灰铸铁成分、热处理工艺和性能	342	12.8 渗金属工艺及性能	682
8.3 可锻铸铁成分、热处理工艺和性能	355	第 13 章 气相沉积技术	695
8.4 球墨铸铁成分、热处理工艺和性能	364	13.1 典型涂层的特性	695
8.5 铸铁件热处理质量检验、缺陷分析与防止	378	13.2 化学气相沉积工艺及性能	696
第 9 章 非铁金属和合金的热处理	391	13.3 物理气相沉积工艺及性能	699
9.1 铜和铜合金的热处理及性能	391	第 14 章 可控气氛	704
9.2 铝和铝合金的热处理及性能	415	14.1 金属在加热过程中气体的反应	704
9.3 钛合金的热处理及性能	441	14.2 可控气氛的类型、制备方法和应用范围	712
9.4 镁合金的热处理及性能	448	14.3 炉气碳势控制	730
9.5 镍和镍合金的性能	458	第 15 章 粉末冶金件的热处理	740
9.6 锌合金的热处理和性能	460	15.1 铁基粉末冶金件的热处理工艺及性能	740
9.7 铸造轴承合金的性能	461	15.2 钢结硬质合金的热处理工艺及性能	751
9.8 铅合金的性能	463	15.3 硬质合金热处理工艺及性能	758
9.9 钨、钼、钽、铌及其合金的性能	464	第 16 章 工模具、量具的热处理	760
9.10 非铁金属和合金的热物理性质	466	16.1 工模具、量具钢的化学成分和物理化学性能	760
第 10 章 功能合金的热处理	470	16.2 工具的热处理	773
10.1 磁性合金的热处理	470	16.3 量具的热处理	803
10.2 膨胀合金的热处理	479	16.4 模具的热处理	808
10.3 弹性合金的热处理	484	16.5 国外工模具钢钢号近似对照及热处理	845
第 11 章 钢的表面热处理	495	第 17 章 弹簧的热处理	884
11.1 感应加热热处理工艺规范及性能	495	17.1 弹簧钢的化学成分和物理化学性能	884
11.2 火焰加热热处理工艺规范及性能	536	17.2 弹簧的热处理工艺和性能	889
11.3 激光电子束表面相变硬化工艺规范及性能	544	17.3 弹簧的特殊热处理	901
11.4 离子注入处理工艺规范及效果	553	第 18 章 滚动轴承的热处理	903
第 12 章 化学热处理	557	18.1 轴承钢的化学成分、物理化学性能	903
12.1 铁和化学元素的二元、三元相图	557	18.2 轴承热处理工艺和性能	908
12.2 渗碳工艺及性能	562		
12.3 渗氮工艺及性能	598		

第 19 章 大型零件热处理 939

19.1 大型铸锻件化学成分、热处理工艺和性能 939

19.2 电站设备大件用钢化学成分、热处理工艺和性能 986

19.3 大型冷轧辊用钢化学成分、热处理工艺和性能 1005

第 20 章 农机具及日用五金件热处理 1011

20.1 农机具的热处理 1011

20.2 日用五金件的热处理 1016

第 21 章 热处理的质量控制 1019

21.1 热处理技术标准和热处理工艺

守则 1019

21.2 热处理的质量控制体系 1020

21.3 热处理质量统计分析图表 1038

21.4 测温元件与仪表 1042

第 22 章 热处理的质量检验 1061

22.1 热处理质量检验标准 1061

22.2 硬度检验方法和换算 1061

22.3 金相组织检验 1079

22.4 金属和合金性能的测试 1086

22.5 无损探伤和内应力测试 1089

22.6 耐腐蚀性能 1115

附录 通用数据和换算 1116**参考文献** 1155

第1章 元素的物理化学性质

1.1 化学元素周期表(图 1-1 及表 1-1 和表 1-2)

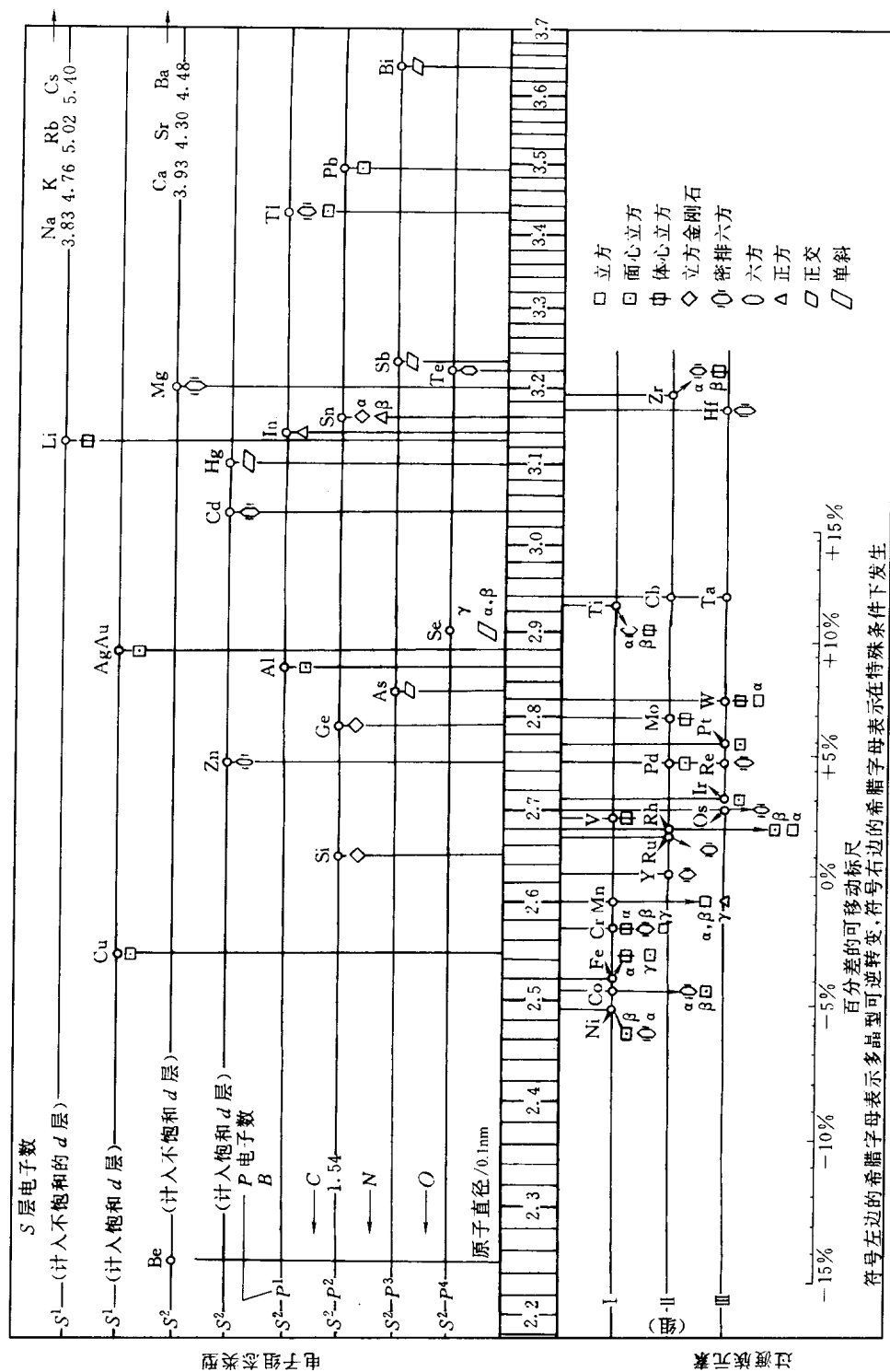


图 1-1 金属元素的原子直径

表 1-1 化学元素周期表

[illegible]

表 1-2 金属晶体原子位置、原型、结构符号、空间群标记和点阵参数

在括号内的原子尺寸因子是75°F时小于 - 或大于 (+, γ-Fe (FCC) 的%。
考虑点阵配位数 (CN), 除了间隙原子 H, B, C, N 和 O 为 6 外, 其余 CN 为 12。
VI, VIIb, VII 和 VIIIb 族与金属形成离子化合物。

	IV	V	VI	VII
C-6	▲ (-34) ⊗ XX	N-7 ▲ (-36) ⊗ XX	0-8 ▲ (-33) ⊗ XX	F-9
Si-14	● (+7) XX	P-15 ● (+2) XX	S-16 ● (+1) XX	Cl-17 XX

0	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIII				Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb
								Co-27	Ni-28	Cu-29	Zn-30							
Ar-18	K-19 ⊗ (+86) BCC	Ca-20 ⊗ (+56) FCC* BCC	Sc-21 ⊗ (+29) HCP* BCC	Ti-22 ⊗ (+16) HCP* BCC	V-23 ● (+6) BCC	Cr-24 ● (+1) BCC	Mn-25 ● (+1) XX* FCC †	Fe-26 ● (0) BCC* FCC	Ru-44 ● (+6) HCP	Rh-45 ● (+6) FCC	Pd-46 ● (+9) FCC	Ag-47 ● (+14) FCC	Cd-48 ⊗ (+20) HCP	In-49 ⊗ (+25) XX	Sn-50 ⊗ (+23) XX	As-33 ● (+11) XX	Ge-32 ● (+9) XX	Br-35 XX
Kr-36	Rb-37 ⊗ (+97) BCC	Sr-38 ⊗ (+71) FCC* HCP †	Y-39 ⊗ (+42) HCP* BCC	Zr-40 ⊗ (+27) HCP* BCC	Nb-41 ● (+15) BCC	Mo-42 ● (+10) BCC	Tc-43 ● (+8) HCP	Ru-44 ● (+6) HCP	Rh-45 ● (+6) FCC	Pd-46 ● (+9) FCC	Ag-47 ● (+14) FCC	Au-79 ● (+14) FCC	Hg-80 ⊗ (+25) XX	Cd-48 ⊗ (+20) HCP	Sn-50 ⊗ (+23) XX	Sn-51 ⊗ (+27) XX	Te-52 ⊗ (+27) XX	I-53 XX
Xe-54	Cs-55 ⊗ (+112) BCC	Ba-56 ⊗ (+76) BCC	La-57 ⊗ (+48) HCP* FCC †	Hf-72 ⊗ (+26) HCP* BCC	Ta-73 ● (+16) BCC	W-74 ● (+11) BCC	Re-75 ● (+9) HCP	Os-76 ● (+7) HCP	Ir-77 ● (+8) FCC	Pt-78 ● (+10) FCC	Au-79 ● (+14) FCC	Hg-80 ⊗ (+25) XX	Tl-81 ⊗ (+36) HCP* BCC	Pb-82 ⊗ (+39) FCC	Pb-82 ⊗ (+39) FCC	Bi-83 ⊗ (+35) XX	Po-84 ⊗ (+40) XX	At-85

注1: 镧系 ~ 71 和镧系 (90 ~ 103) 稀土元素省略。
注2: C 化合价是 4, N 和 P 是 3。
注3: (2) 和 (1) 不是合金化合价。

合金	1	2	3	4	5	6	6	6	6	5.56	4.56	3.56	2.56 注2	1.56 注2	(2) 注3	(1) 注3
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------	------	------	------------	------------	-----------	-----------

置换式固溶体

● 有利的尺寸因子: $0 \sim \pm 13\%$
 ○ 边界的尺寸因子: $\pm 14\% \sim \pm 16\%$
 ⊗ 不利的尺寸因子: $> \pm 16\%$

间隙式固体

▲ 有利的尺寸因子: $> -40\%$
 ▲ 边界的尺寸因子: $-30\% \sim -40\%$
 ▲ 不利的尺寸因子: $< -30\%$

结构

BCC—体心立方
FCC—面心立方
HCP—密排六方
××—非体心，非面心或密排六方，
通常是更复杂的结构
* 在23.89°C(75°F)时的结构
† —也是FCC † —也是BCC

与铁合金化形成的 γ -Fe(FCC)相区的类型

- 形成 γ 相圈, 例如Cr
- 形成有限 γ 相圈, 例如B
- 扩大 γ 区, 例如Ni
- ◆ 缩小 γ 区, 例如C

1.2 化学元素的物理化学性质(表1-3)

表 1-3 化学元素的物理化学性质

元素 符号	元素 名称	原子 序数	密度 (20℃) /t·m ⁻³	熔点 /℃	沸点 /℃	比热容 (20℃) /×4.1868 kJ· (kg·K) ⁻¹	溶解热 /×4.1868 kJ·kg ⁻¹	热导率 /×418.68W ·(m·K) ⁻¹	线胀系数 (0~100℃) /×10 ⁻⁶ ·℃ ⁻¹	电阻系数 (0℃) /×10 ⁻⁸ Ω·m	电阻温度 系数 (0℃) /×10 ⁻³ ·℃ ⁻¹	磁化率 (18℃) 10 ⁻⁶	弹性模量 /MPa
Ac	锕	89	10.07	1050	3200	—	—	—	—	—	4.23	—	—
Ag	银	47	10.49	960.8	2210	0.0559	25	1.0	19.7	1.5	4.29	-0.1813	70000~82000
Al	铝	13	2.6984	660.1	2500	0.215	94.6	0.53	23.6	2.655	4.23	+0.62	69000~72000
Am	镅	95	11.7	≈1200	≈500	—	—	—	50.8	145	—	—	—
Ar	氩	18	1.784×10 ⁻³	-189.2	-185.7	0.125	6.7	0.406×10 ⁻⁴	—	—	—	-0.45	—
As	砷	33	5.73	814(36atm)	613(升华)	0.082	88.5	—	4.7	35.0	3.9	-0.31	7900
Au	金	79	19.32	1063	2966	0.0312	16.1	0.71	14.2	2.065	3.5	-0.142	79000~80000
B	硼	5	2.34	2300	3675	0.309	—	—	8.3(40℃)	1.8×10 ¹²	—	-0.63	—
Ba	钡	56	3.5	710	1640	0.068	—	—	19.0	50	—	+0.9	12900
Be	铍	4	1.84	1283	2970	0.45	260	0.35	11.6	6.6	6.7	-1.00 [*]	315000~289800
Bi	铋	83	9.80	271.2	1420	0.0294	12.5	0.020	13.4	106.8	4.2	-1.35	32340
Br	溴	35	3.12(液态)	-7.1	58.4	0.070	16.2	—	—	6.7×10 ⁷	—	-0.39	—
C	碳	6	2.25(石墨)	3727	4830	0.165	—	0.057	0.6~4.3	1375	0.6~1.2	-0.49	4900
Ca	钙	20	1.55	850	1440	0.155	52	0.3	22.3	3.6	3.33	+1.1	20000~26000
Cd	镉	48	8.65	321.03	765	0.055	13.2	0.22	31.0	7.51	4.24	-0.182	53500
Ce	铈	58	6.90	804	3468	0.042	8.5	0.026	8.0	75.3(25℃)	0.87	+17.5	30600
Cl	氯	17	3.214×10 ⁻³	-101	-33.9	0.116	21.6	0.172×10 ⁻⁴	—	10×10 ⁹	—	-0.57	—
Co	钴	27	8.9	1492	2870	0.099	58.4	0.165	12.4	5.06(α)	6.6	铁磁性(α)	214000
Cr	铬	24	7.19	1903	2642	0.11	96	0.16	6.2	12.9	2.5	+2.65	259000
Cs	铯	55	1.90	28.6	685	0.052	3.8	—	97	19.0	4.96	+0.1	—
Cu	铜	29	8.96	1083	2580	0.092	50.6	0.94	17.0	1.67~1.68 (20℃)	4.3	-0.086	117000~126500
Dy	镝	66	8.56	1407	2300	0.041	25.2	0.024	7.7	56.0	1.19	铁磁性	64350
Er	铒	68	9.16	1500	≈2600	0.04	24.5	0.023	10.0	107	2.01	低温时为铁磁性	74750
Eu	铕	63	5.30	≈830	≈1430	0.039	16.5	—	—	81.3	4.30	—	—
F	氟	9	1.696×10 ⁻³	-219.6	-188.2	0.18	10.1	—	—	—	—	—	—

(续)

元素 符号	元素 名称	原子 序数	密度 (20℃) $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	熔点 /℃	沸点 /℃	比热容 (20℃) $\text{J} \times 4.1868$ $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$	熔解热 $\text{J} \times 4.1868$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	热导率 $\text{J} \times 418.68 \text{W}$ $\cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$	线胀系数 (0~100℃) $\text{J} \times 10^{-6}$ $\cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	电阻系数 (0℃) $\text{J} \times 10^{-8}$ $\Omega \cdot \text{m}$	电阻温度 系数 (0℃) $\text{J} \times 10^{-3}$ $\cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	磁化率 (18℃) 10^{-6}	弹性模量 /MPa
Fe	铁	26	7.87	1537	2930	0.11	65.5	0.18	11.76	9.7(20℃)	6.0	铁磁性	200000 ~ 215500
Ga	镓	31	5.91	29.8	2260	0.079	19.16	0.07	18.3	13.7	3.9	-0.225	—
Gd	钆	64	7.87	1312	≈2700	0.0574	23.5	0.021	0.0~10.0	134.5	1.76	铁磁性	67300
Ge	锗	32	5.323	958	2880	0.073	7.3	0.14	5.92	0.86×10^6 $\sim 52 \times 10^6$	1.4	-0.12	—
H	氢	1	0.0899×10^{-3}	-259.04	-252.61	3.45	15.0	4.06×10^{-4}	—	—	—	-1.97	—
He	氦	2	0.1785×10^{-3}	-269.5 (103.3atm)	-268.9	1.25	0.825	3.32×10^{-4}	—	—	10^{21} (20℃)	-0.47	—
Hf	铪	72	13.28	2225	5400	0.0351	—	0.223	5.9	32.7~43.9	4.43	—	98000 ~ 140600
Hg	汞	80	13.546 (液态)	-38.87	356.58	0.033	2.8	0.0196	182	94.07	0.99	-0.17	—
Ho	钬	67	8.8	1461	≈2300	0.039	24.9	—	—	87.0	1.71	—	68400
I	碘	53	4.93	113.8	183	0.052	14.2	10.4×10^{-4}	93	1.3×10^{15}	—	-0.36	—
In	铟	49	7.31	156.61	2050	0.057	6.8	0.057	33.0	8.2	4.9	-0.11	10700 ~ 11250
Ir	铱	77	22.4	2443	5300	0.0323	—	0.14	6.5	4.85	4.1	+0.133	525000 ~ 53220
K	钾	19	0.87	63.2	765	0.177	14.5	0.24	83	6.55	5.4	+0.455 (30℃)	—
Kr	氪	36	3.743×10^{-8}	-157.1	-153.25	—	—	0.21×10^{-4}	—	—	-0.39	—	—
La	镧	57	6.18	920	3470	0.048	17.3	0.033	5.1	56.8(20℃)	2.18	+1.04	38200 ~ 39200
Li	锂	3	0.531	180	1347	0.79	104.2	0.17	56	8.55	4.6	+0.50	5000
Lu	镥	71	9.74	1730	1930	0.037	26.29	—	—	79.0	2.40	—	—
Mg	镁	12	1.74	650	1108	0.245	88±2	0.367	24.3	4.47	4.1	+0.49	45700
Mn	锰	25	7.43	1244	2150	0.115	63.7	0.0119 (-192℃)	37	185(20℃)	1.7	+9.9	201600
Mo	钼	42	10.22	2625	4800	0.66	~69.8	0.34	4.9	5.17	4.71	+0.04	322000 ~ 350000
N	氮	7	1.25×10^{-3}	-210	-195.8	0.247	6.2	6×10^{-5}	—	—	—	+0.8	—
Na	钠	11	0.9712	97.8	892	0.295	27.5	0.32	71	4.27	5.47	+0.51 ~ +0.66	—
Nb	铌	41	8.57	2468	5130	0.065	69	0.125 ~ 0.13	7.1	13.1~15.22	3.95	+1.5 ~ +2.28	87200
Ni	镍	60	7.00	1024	3180	0.045	11.78	0.031	7.4	64.3(25℃)	1.64	+36	38650

(续)

元素 符号	元素 名称	原子 序数	密度 (20℃) /t·m ⁻³	熔点 /℃	沸点 /℃	比热容 (20℃) /×4.1868 kJ· (kg·K) ⁻¹	溶解热 /×4.1868 kJ·kg ⁻¹	热导率 /×418.68W ·(m·K) ⁻¹	线胀系数 (0~100℃) /×10 ⁻⁶ ·℃ ⁻¹	电阻系数 (0℃) /×10 ⁻⁸ Ω·m	电阻温度 系数 (0℃) /×10 ⁻³ ·℃ ⁻¹	磁化率 (18℃) 10 ⁻⁶	弹性模量 /MPa
Ne	氖	10	0.8999×10 ⁻³	-248.6	-246.0	—	—	0.00011	—	—	—	+0.33	—
Ni	镍	28	8.90	1453	2732	0.105	73.8	0.22	13.4	6.84	5.0~6.0	铁磁性	197000~220000
Np	镎	93	20.25	637	—	—	—	—	50.8	145(20℃)	—	+2.6	—
O	氧	8	1.429×10 ⁻³	-218.83	-182.97	0.218	3.3	59×10 ⁻⁶	—	—	—	+106.2	—
Os	锇	76	22.5	≈3045	5500	0.031	—	—	5.7~6.57	9.66	4.2	+0.052	60000
P	磷	15	1.83	44.1	280	0.177	5.0	—	125	1×10 ¹⁷	-0.456	-0.90	—
	(白)												
Pa	镤	91	15.4	≈1230	≈4000	—	—	—	—	—	—	+2.6	—
Pb	铅	82	11.34	327.3	1750	0.0306	6.26	0.083	29.3	18.8	4.2	-0.12	16000~18280
Pd	钯	46	12.16	1552	≈3980	0.0584	3.42	0.168	11.8	9.1	3.79	+5.4	112800~123600
Pm	钷	61	—	≈1000	≈2700	—	—	—	—	—	—	—	—
Po	钋	84	9.4	254	960	—	—	—	24.4	—	—	—	—
										42±10(α)	4.6(α)	—	—
										44±10(β)	7.0(β)	—	—
Pr	镨	59	6.77	935	3020	0.045	11.71	0.028	5.4	68(25℃)	1.71	+25	35900
Pt	铂	78	21.45	1769	4530	0.0324	26.9	0.165	8.9	9.2~9.6	3.99	+1.1	154700~170000
Pu	钚	94	19.0~19.8	639.5	3235	0.032	—	0.020	50.8	145(28℃)	-0.21	+2.2~+2.52	101250
Ra	镭	88	5.0	700	1500	—	—	—	—	—	—	—	—
Rb	铷	37	1.53	38.8	680	0.080	6.5	—	90.0	11	4.81	+0.196(30℃)	—
Re	铼	75	21.03	3180	5900	0.033	—	0.17	6.7	19.5	1.73	+0.046	471000~476000
Rh	铑	45	12.44	1960	4500	0.059(0℃)	—	0.21	8.3	6.02	4.35	+1.1	280000
Rn	氡	86	9.960×10 ⁻³	71	-61.8	—	—	—	—	—	—	—	—
Ru	钌	44	12.2	2400	4900	0.057	—	—	9.1	7.157	4.49	+0.427	420000
						(20℃)	9.3	6.31×10 ⁻⁴	64	2×10 ²³	—	-0.48	—
S	硫	16	2.07	115	444.6	0.175	—	—	—	—	—	—	—
Sh	锿	51	6.68	630.5	1440	0.049	38.3	0.045	8.5~10.8	39.0	5.1	-0.736	79000
Se	硒	21	2.992	1539	2730	0.134	84.52	—	—	61(22℃)	—	+0.18	—
Se	硒	34	4.808	220	685	0.077	16.4	7~18.3 ×10 ⁻⁴	37	12	4.45	-0.32	55000

元素 符号	元素 名称	原子 序数	密度 (20℃) $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	熔点 /℃	沸点 /℃	比热容 (20℃) $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$	熔解热 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	热导率 $\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$	线胀系数 (0~100℃) $\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$	电阻系数 (0℃) $\Omega \cdot \text{m}$	电阻温度 系数 (0℃) $\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$	磁化率 (18℃) 10^{-6}	弹性模量 /MPa
Si	硅	14	2.329	1412	3310	0.162(0℃)	432	0.20	2.8~7.2	10	0.8~1.8	-0.12	115000
Sm	钐	62	7.53	1052	1630	0.042	17.29	—	—	88.0	1.48	—	34750
Sn	锡	50	7.298	231.91	2690	0.054	14.5	0.150	23	11.5	4.4	-0.40	41500~47800
Sr	锶	38	2.60	770	1460	0.176	25	—	—	30.7	3.83	-0.2	—
Ta	钽	73	16.67	2980	5400	0.034	38	0.130	6.55	13.1	3.85	+0.93	188200~192000
Tb	铽	65	8.267	1356	2530	0.044	24.54	—	—	—	—	—	58650
Tc	锝	43	11.46	≈2100	4600	—	—	—	—	—	—	—	—
Te	碲	52	6.24	450	990	0.047	32	0.014	17.0	$1 \times 10^5 \sim 2 \times 10^5$	—	-0.301	43500
Th	钍	90	11.724	1695	4200	0.034	<19.82	0.090	11.3~11.6	19.1	2.26	+0.57	74200
Ti	钛	22	4.508	1677	3530	0.124	104	0.036(α)	8.2	42.1~47.8	3.97	+3.2	78700
Tl	铊	81	11.85	≈304	1470	0.031	5.04	0.093	28.0	15~18.1	5.2	-0.215	8100
Tm	铥	69	9.325	1545	1700	0.038	26.04	—	—	79.0	1.95	—	—
U	铀	92	19.05	1132	3930	0.0275	—	0.071	6.8~14.1	29.0	2.18~2.76	+2.6	161000~168000
V	钒	23	6.1	1910	3400	0.127	—	0.074	8.3	24.8~26	2.8	+4.5	129500~147000
W	钨	74	19.3	80	5900	0.034	44	0.397	4.6(20℃)	5.1	4.82	+0.284	350000~415300
Xe	氙	54	5.495×10^{-3}	-112	-108	—	—	1.24×10^{-4}	—	—	—	—	—
Y	钇	39	4.475	1509	≈3200	0.071	46	0.035	—	—	—	+5.3	67600
Yb	镱	70	6.966	824	1530	0.035	12.71	—	25	30.3	1.30	—	18150
Zn	锌	30	7.134	419.505	907	0.0925	24.09	0.27	39.5	5.75	4.2	-0.157	94000~130000
Zr	锆	40	6.507	1852±2°	3580	0.068	~60	0.211 (25℃)	5.85	39.7~40.5	4.35	-0.45	79800~97700

注: 1atm = 101325Pa。

1J = 1N·m(牛·米) = 1W·s(瓦·秒) = 239 × 10⁻⁶ kcal。

1.3 常见无机化合物的物理化学性质(表 1-4)

表 1-4 常见无机化合物物理化学性质

名称	化学式	相对 分子质量	颜色	物态	晶系	密度 /t·m ⁻³	熔点 /℃	沸点 /℃	摩尔热容 /J·(mol·K) ⁻¹	摩尔嫡	摩尔生成焓		吉布斯能
											/kJ·mol ⁻¹		
碳化硼	B ₄ C	55.29	黑	—	—	2.54	2450	> 3500	52.80	27.10			
氧化硼	B ₂ O ₃	60.64	无	玻璃状	—	1.85	577	> 1500	62.76	80.80	- 1254		
碳酸钡	BaCO ₃	197.37	白	—	正交或六角	4.29	1740	—					
氧化钡	BaO	153.36	无	—	立方或六方	5.72	1923	200	47.45	70.30	- 558.1		- 528.4
硝酸钡	Ba(NO ₃) ₂	261.38	无	—	立方	3.244	592	解	151.0	214.0	- 991.9		- 795.0
硫酸钡	BaSO ₄	233.42	无	—	正交斜方	4.499	解 1580	—	101.8	132.0	- 1465.0		- 1353.0
碳(金刚石)	C	12.01	无	—	立方	3.51	> 3500	4200	6.117	2.37	1.828		2.833
碳(石墨)	C	12.01	黑	—	六角	2.26	> 3500	4200	8.54	5.74	0		0
四氯化碳	CCl ₄	153.84	无	液体	—	1.595	- 22.6	76.8					
一氧化碳	CO	28.01	无	气体	—	0.968	- 207	- 192	29.1	197.54	- 110.52		- 137.14
二氧化碳	CO ₂	44.01	无	气体	—	1.53	- 56.6	升 - 78.5	37.11	213.68	- 393.51		- 394.38
二硫化碳	CS ₂	76.13	无	液体	—	1.261	- 108.6	46.3	75.73	151.0	88.7		64.4
氯化钙	CaCl ₂	110.99	白	—	六角	2.152	772	> 1600	72.63	113.80	- 795.0		- 750.2
硫酸钙 (无水)	CaSO ₄	136.14	无	—	正交或单斜	29.6	1450	—	99.60	106.70	- 1432.7		- 1320.3
氯化铬	CrCl ₃	158.38	紫	—	六角	2.757	—	1200, 1500	91.80	124.7	- 570.3		- 500.7
氮化铬	CrN	66.02	—	—	立方	5.8	解 1500	—	(单斜)	(单斜)	(单斜)		(单斜)
二碳化三铬	Cr ₃ C ₂	180.05	灰	—	斜方	6.68	1890	3800	56.50	52.70	- 123.4		- 103.5
铬酐 (三氧化铬)	CrO ₃	100.01	红	—	六角	2.7	解 197	—	98.44	85.41	- 79.5		- 81.2
氧化铬	Cr ₂ O ₃	152.02	深绿	—	—	5.21	1900	—	118.8	81.2	- 1140.6		- 1059.0
碳化铁	Fe ₃ C	179.56	—	—	—	7.4	1837	—	106.0	108.0			
氯化铁	FeCl ₃	162.22	暗棕	—	立方	2.804	282	315	94.93	—	- 399.4		—

(续)

名称	化学式	相对 分子质量	颜色	物态	晶系	密度 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	熔点 $^{\circ}\text{C}$	沸点 $^{\circ}\text{C}$	摩尔热容 $\text{J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$	摩尔嫡	摩尔生成焓 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	
											摩尔生成焓	吉布斯能
氧化亚铁	FeO	71.85	黑	—	—	5.7	1420	—	49.42	60.75	-264.8	-244.3
四氧化三铁	Fe ₃ O ₄	231.55	黑	—	立方	5.2	1538	—	150.80	146.2	-1117.1	-1014.2
氧化铁	Fe ₂ O ₃	159.70	红或黑	—	三斜	5.12	1560	—	49.92	60.75	-264.8	-244.3
硫化亚铁	FeS	87.91	黑	—	六方	4.84	1193	—	50.54	60.29	-100.4	-100.8
二硫化铁	FeS ₂	119.98	黄	—	立方	5.0	1170	—	62.17	52.93	-163.2	-151.8
氰化氢	HCN	27.03	无	气体	—	0.697	-14	26	70.63	113.10	135 (气体)	125.5
氯化氢	HCl	36.47	无	气或液	—	1.268 (空)	-111	-85	29.13	186.80	-91.80	-94.79
水	H ₂ O	18.016	无	液体	六角	1.00	0	100	75.30	70.08	-285.83	-237.24
氰化钾	KCN	65.11	白	—	立方	1.52	634.5	—	65.06	137.03	-112.50	-103.90
硫氰化钾	KCNS	97.17	无	—	单斜	1.886	172.3	解 500	—	—	-203.4	—
碳酸钾	K ₂ CO ₃	138.20	白	—	—	2.29	891	解	115.70	156.32	-1146.1	-1059.8
氯化钾	KCl	74.56	无	—	立方	1.988	790	1500	51.29	82.56	-435.9	-408.0
氯酸钾	KClO ₃	122.56	无	—	单斜	2.32	368	解 400	100.25	142.97	-391.2	-289.9
重铬酸钾	K ₂ Cr ₂ O ₇	294.21	橙	—	单斜	2.69	398	解	219.70	291.20	-2033.0	-1866.0
氟化钾	KF	58.10	无	—	立方	2.48	880	1500	49.32	104.60	-928.45	-860.45
亚硝酸钾	KNO ₂	85.10	无	—	—	1.915	387	解 350	—	117.0	-370.30	-281.6
硝酸钾	KNO ₃	101.10	无	—	正交、六角	2.11	333	解 400	115.70	156.32	-1146.10	-1059.8
氢氧化钾	KOH	56.10	白	—	正交	2.044	380	1320	65.87	79.32	-425.8	-380.2
硫化钾	K ₂ S	110.25	无	—	立方	1.805	471	—	130.1	111.30	-428.4	-404.2
硫酸钾	K ₂ SO ₄	174.25	无	—	正交	2.662	1067	—	(β)	175.7	-1433.7	-1316.4
十水四硼酸钠 (硼砂)	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	381.43	白	—	单斜	1.73	75	—	186.8 (无水物)	189.5 (无水物)	3276.7 (无水物)	-3081.6 (无水物)
氰化钠	NaCN	49.02	无	—	立方	—	563.7	1496	—	—	-89.8	—
碳酸钠 (纯碱或苏打)	Na ₂ CO ₃	106.00	白	—	—	2.533	851	解	109.2	136.4	-1131	-1047.5
一水合碳酸钠 (苏打)	Na ₂ CO ₃ ·H ₂ O	286.16	白	—	单斜	1.46	解	—	—	—	-4083.5	-3424.3

(续)

名称	化学式	相对 分子质量	颜色	物态	晶系	密度 $\rho_t \cdot \text{m}^{-3}$	熔点 $^{\circ}\text{C}$	沸点 $^{\circ}\text{C}$	摩尔热容 $J \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$	摩尔焓	摩尔生成焓 $\Delta_f H^{\ominus} / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	
												吉布斯能
氯化钠	NaCl	58.45	无	—	立方	2.163	800.4	1413	49.71	72.12	-411.1	-384.0
碳酸氢钠 (小苏打)	NaHCO_3	84.01	白	—	单斜	2.20	解 270	—	87.61	102.0	-947.7	-851.9
亚硝酸钠	NaNO_2	69.01	浅灰	—	正交	2.168 (氧)	271	解 320	—	106.0	-359.0	-295.0
硝酸钠	NaNO_3	85.01	无	—	三斜	2.257	308	解 380	93.05	116.0	-466.7	-365.9
氢氧化钠 (烧碱或火碱)	NaOH	40.00	白	—	—	2.130	318.4	1390	59.66	64.4	-425.6	-380.7
磷酸钠	Na_3PO_4	163.97	白	—	—	2.537	1340	—	—	224.7	—	—
氧化钠	Na_2O	61.99	白	—	—	2.27	升	—	72.95	75.27	-416	-377.1
过氧化钠	Na_2O_2	77.99	浅黄	—	—	2.805	解	—	89.37	94.88	-510.4	-446.9
硫氰化铵	NH_4CNS	76.12	无	—	单斜	1.305	149.6	解 170	—	—	-82.0	—
氯化铵	NH_4Cl	53.50	白	—	立方	1.53	解 350	升 520	84.10	95.80	-314.2	-203.2
亚硝酸铵	NH_4NO_2	64.05	白(浅黄)	—	—	1.69	解	—	—	—	-256.0	—
硝酸铵	NH_4NO_3	80.05	无	—	正交或单斜	1.725	169.6	解 210	139.0	151.0	-365.4	-183.8
硫酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132.14	无	—	正交	1.769	解 513	—	187.0	220.0	-1180.0	-901.3
过二硫酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	228.20	白	—	单斜	1.98	解 120	—	—	—	-1648.0	—
重铬酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	252.10	橙	—	单斜	2.15	解 185	—	—	—	-1977.0	—
二氯化二硫	S_2Cl_2	135.03	黄红	液体	—	1.687	-80	138	124.3	321.0	-58.20	-26.9(气体)
二氧化硫	SO_2	64.06	无	气体	—	液 1.434 (氧)	-75.5	-10.0	—	—	—	—
硫化氢	H_2S	34.08	无	气体	—	2.264 (空)	-82.9	-59.6	39.9	248.1	-296.9	-300.2
硫酸	H_2SO_4	98.08	无	液体	—	1.1895 (空)	—	—	34.2	205.7	-21.0	-33.8
碳化硅 (金刚砂)	SiC	40.07	深蓝	—	立方或六方	1.834	10.49	解 340	138.9	156.9	-814.2	-690.3
四氯化硅	SiCl_4	169.89	无	液体	—	3.17	>2700	—	26.86(立方)	16.61(立方)	-66.1(立方)	-63.7(立方)
四氯化钛	TiCl_4	189.73	无	液体	—	1.50	-70	57.6	26.69(六方)	16.48(六方)	-62.8(六方)	-60.35(六方)
						1.726	-30	136.4	145.3	239.7	-657.5	-617.6
									145.2	252.4	-804.2	-737.4

注:表中的“升”表示升华,“解”表示分解之意。