

热处理 工程师手册

中国机械工程学会热处理分会 编

机械工业出版社

1615-62

F-253

热处理工程师手册

中国机械工程学会热处理分会 编

主编 樊东黎

编者 樊东黎 徐跃明 佟晓辉

赵慧敏 杜秀轩 罗晨光



机械工业出版社

为了方便生产、教学、科研第一线读者的携带和使用,由中国机械工程学会热处理分会编写了这本篇幅小、内容新、技术全面、数据信息量大、便于生产现场使用的工具书。

本书共分三个主要部分:热处理基础、典型零件热处理和热处理的质量检验和控制。在热处理基础部分列述了热处理基本原理、基本工艺、加热和冷却、钢的淬透性、表面热处理、化学热处理、冷处理和深冷处理、硬质膜的表面沉积、铸铁和非铁金属合金的热处理等,并附有钢、铸铁和非铁合金的牌号、化学成分、力学性能、钢加热冷却的等温转变和连续冷却转变曲线、淬透性曲线、热处理基本工艺规范、各种热处理后的材料力学性能的数据。在典型零件热处理部分列述了齿轮、滚动轴承、弹簧、紧固件、汽车零件、拖拉机零件、柴油机零件、切削机床零件、大型锻件、轧辊、工具、模具、量具、液压元件、自行车零件、手表零件的热处理。在质量检验和控制部分列述了材料化学成分的各种检验方法、材料的宏观和微观组织检验、力学性能试验、无损探伤和无损质量检测技术、内应力测定、腐蚀试验以及质量控制等方法。

本书的读者对象主要是从事热处理第一线生产的热处理工程师、技师。对于在科研、设计、教学岗位上工作的工程师、教师也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

热处理工程师手册/中国机械工程学会热处理分会主编. —北京:机械工业出版社, 1999. 6

ISBN 7-111-07019-4

I. 热… II. 樊… III. 热处理-工程技术人员-手册 IV. TG15-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03709 号

出 版 人: 马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 韩会民 版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 姚 毅 责任印制: 何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32·27.25 印张·2 插页·772 千字

0 001—4000 册

定价: 56.00 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)68993821、68326677-2527

前 言

四卷本的大型《热处理手册》第1版出版至今已有15年了,修订后的第2版出版也将近十年了。这部手册的问世为我国热处理行业的生产技术进步、人才培养起到了很大的推动作用,在我国热处理行业发展史上写上了光辉的一页。

为了方便生产、教学、科研第一线读者的携带和使用,由中国机械工程学会热处理分会编辑出版委员会组织编写了这本篇幅小、内容新、技术全面、数据信息量大、便于生产现场使用的工具书,作为大型手册的一种辅助和补充读物。

本书共分三个主要部分:热处理基础、典型零件热处理和热处理的质量检验和控制。

在热处理基础部分列述了热处理基本原理、基本工艺、加热和冷却、钢的淬透性、表面热处理、化学热处理、冷处理和深冷处理、硬质膜的表面沉积。铸铁和非铁金属合金的热处理等,并附有钢、铸铁和非铁合金的牌号、化学成分、力学性能、钢加热冷却的等温转变和连续冷却转变曲线、淬透性曲线、热处理基本工艺规范、各种热处理后的材料力学性能的数据。

在典型零件热处理部分列述了齿轮、滚动轴承、弹簧,紧固件、汽车零件、拖拉机零件、柴油机零件、大型锻件、轧辊、切削机床零件、模具、量具、轻工机械零件等的失效机制、选材,推荐的热处理工艺、质量检验和热处理注意事项等,对从事各种产品生产的中、小型企业的热处理生产具有直接的指导作用。

在质量检验和控制部分列述了材料化学成分的各种检验方法、材料的宏观和微观组织检验、力学性能试验、无损探伤和无损质量检测技术、内应力测定、腐蚀试验以及质量管理与控制方法等。这些都是中小企业热处理工程师、技师和从事质量检查与质量管理人员必备的实用知识。

1999.5

本书热处理基础部分由樊东黎、罗晨光编写。典型零件热处理部分由徐跃明、赵慧敏编写。质量检验与控制部分由佟晓辉、杜秀轩编写。作者们在编写过程中力求以最丰富的内容、最新的科技成就、最精练的文字和最大量的数据图表列出生产、科研和教学中最适用的内容，并浓缩于尽可能小的篇幅之中。

《热处理工程师手册》一书的读者对象顾名思义，主要是从事第一线生产的热处理工程师。当然，对于在科研、设计、教学岗位上工作的工程师、技师、教师都有重要参考价值，因而具有广泛的适用性。

尽管作者们作了最大的努力，但在编写过程中难免有些失误和不足之处，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

1 热处理基本数据	1
1.1 化学元素和金属元素的物理化学性质	1
1.2 各种常见化合物的物理化学性质	1
1.3 热处理术语	1
1.4 热处理专业现行标准	29
1.5 钢号表示方法	31
1.6 常用钢的化学成分	35
1.7 常用钢的力学性能	72
1.8 钢铁材料的物理性质	77
1.9 世界各国钢号对照	81
1.10 铸铁的分类、代号、化学成分和性能	94
1.11 非铁金属和合金的分类、代号、化学成分和性能	99
1.12 钢的过冷奥氏体等温转变曲线	122
1.13 钢的奥氏体连续冷却转变曲线	158
1.14 钢的改型连续冷却转变曲线	184
1.15 钢的淬透性曲线	228
1.16 淬火钢在不同温度回火后的力学性能曲线	290
2 热处理基本原理	360
2.1 Fe-Fe ₃ C 合金相图及其应用	360
2.2 合金元素对钢铁组织和性能的影响	366
2.2.1 Fe-C 相图与热处理温度的关系	367
2.2.2 合金元素的影响	367
2.3 钢在各种状态下的组织	378
2.3.1 奥氏体	378
2.3.2 铁素体	379

2.3.3 珠光体	379
2.3.4 贝氏体	380
2.3.5 先共析铁素体和渗碳体	381
2.3.6 马氏体	381
2.3.7 回火马氏体和马氏体回火转变	382
2.4 钢的过冷奥氏体转变	382
2.4.1 过冷奥氏体等温转变图	382
2.4.2 奥氏体连续冷却转变图	385
2.4.3 钢的淬透性和奥氏体连续冷却转变图的关系	385
2.5 钢的热处理基本工艺	389
2.5.1 退火	389
2.5.2 正火	389
2.5.3 淬火	390
2.5.4 回火	397
2.6 表面热处理	398
2.6.1 感应加热表面热处理	398
2.6.2 火焰加热表面淬火	400
2.7 钢的化学热处理	404
2.7.1 渗碳	404
2.7.2 渗氮	404
2.7.3 碳氮共渗	404
2.7.4 氮碳共渗	404
2.7.5 渗硫、硫氮共渗和硫碳氮共渗	405
2.7.6 渗硼和碳氮硼共渗	405
2.7.7 渗金属	406
2.8 离子热处理	413
2.8.1 离子渗氮	413
2.8.2 离子渗碳	415
2.9 超硬化合物层的离子沉积法	415
2.9.1 真空溅射法	415
2.9.2 离子镀渗法	416
2.9.3 其它镀渗法	416
2.10 高密度能加热表面热处理	417

2.10.1	高频脉冲加热淬火	417
2.10.2	激光热处理	417
2.10.3	电子束热处理	418
2.10.4	离子注入合金化	418
2.11	铸铁固态相变特征和常温下的组织	419
2.11.1	固态相变特征	419
2.11.2	铸铁显微组织	422
2.12	铸铁热处理基本工艺	423
2.12.1	灰铸铁的热处理	423
2.12.2	可锻铸铁的热处理	424
2.12.3	球墨铸铁的热处理	424
2.13	非铁合金的热处理	426
2.13.1	铜和铜合金的热处理	426
2.13.2	铝和铝合金的热处理	427
2.13.3	钛合金的热处理	431
2.13.4	镁合金的热处理	463
2.13.5	镍和镍合金的热处理	472
3	典型零件的热处理	478
3.1	齿轮的热处理	478
3.1.1	齿轮用钢及技术要求	478
3.1.2	齿轮的调质热处理	483
3.1.3	齿轮的表面淬火	484
3.1.4	齿轮的渗碳和碳氮共渗	494
3.1.5	齿轮的渗氮和氮碳共渗	502
3.2	滚动轴承零件的热处理	508
3.2.1	铬钢轴承零件的热处理	508
3.2.2	渗碳钢制轴承零件的热处理	522
3.2.3	中碳合金钢轴承零件的热处理	524
3.2.4	微型轴承零件热处理	524
3.2.5	耐腐蚀轴承零件的热处理	527
3.2.6	耐高温轴承零件的热处理	528
3.2.7	08、10 钢冲压成形轴承零件的热处理	528
3.3	弹簧的热处理	531

3.3.1	弹簧的一般热处理	531
3.3.2	弹簧的其它强化处理	540
3.3.3	弹簧的稳定化处理	540
3.3.4	耐热弹簧的热处理	541
3.4	紧固件的热处理	542
3.4.1	螺纹紧固件的热处理	542
3.4.2	弹簧垫圈和销的热处理	546
3.5	汽车、拖拉机及柴油机零件的热处理	550
3.5.1	活塞环的热处理	550
3.5.2	活塞销的热处理	553
3.5.3	连杆的热处理	555
3.5.4	曲轴的热处理	558
3.5.5	凸轮轴的热处理	562
3.5.6	气门挺杆的热处理	565
3.5.7	排气阀的热处理	569
3.5.8	半轴的热处理	571
3.5.9	油泵柱塞副和喷油嘴偶件的热处理	575
3.5.10	履带板的热处理	577
3.6	金属切削机床零件的热处理	578
3.6.1	机床导轨的热处理	578
3.6.2	机床主轴的热处理	583
3.6.3	机床丝杠的热处理	583
3.6.4	机床铸件稳定化处理	588
3.6.5	其他机床零件的热处理	589
3.7	大型锻件的热处理	594
3.7.1	大型锻件的锻后热处理	594
3.7.2	大型锻件的最终热处理	598
3.7.3	大型锻件的其他热处理工艺	611
3.8	轧辊的热处理	611
3.8.1	热轧辊的热处理	611
3.8.2	冷轧工作辊的热处理	612
3.8.3	支承辊的热处理	618
3.9	工具的热处理	624

3.9.1 工具用钢	624
3.9.2 碳钢、合金钢工具的热处理	625
3.9.3 高速钢工具的热处理	630
3.9.4 工具热处理举例	636
3.10 模具的热处理	642
3.10.1 冷作模具的热处理	642
3.10.2 热作模具的热处理	650
3.10.3 成型模具的热处理	656
3.10.4 模具的热处理变形	658
3.10.5 模具热处理常见缺陷、产生的原因及防止措施	661
3.10.6 模具的强韧化处理和表面强化	665
3.11 量具的热处理	665
3.11.1 量具用钢及要求	665
3.11.2 量具的热处理工艺	667
3.11.3 量具的热处理举例	675
3.12 液压元件的零件热处理	675
3.13 自行车零件热处理	681
3.14 手表零件的热处理	684
4 热处理质量检测与质量控制	689
4.1 零件材料的化学成分分析	689
4.1.1 化学分析法	689
4.1.2 火花鉴别法	699
4.1.3 光谱分析法	705
4.1.4 看谱镜法	706
4.2 原材料缺陷的低倍检验	711
4.2.1 常见的低倍缺陷特征	711
4.2.2 低倍检验的一般方法	713
4.2.3 硫、磷元素偏析的检验方法	714
4.3 断口分析	715
4.3.1 断口分析的用途	715
4.3.2 断口样品的切取和制备	716
4.3.3 常用的断口分析方法	717
4.3.4 典型断口形貌特征	718

4.4 显微组织检验	721
4.4.1 光学显微镜分析方法	722
4.4.2 定量金相分析方法	731
4.4.3 晶粒度测定方法	735
4.4.4 高温和低温金相分析方法	737
4.4.5 电子显微镜分析方法	740
4.4.6 钢铁零件典型热处理显微组织与缺陷的金相特征	742
4.5 力学性能测试方法	747
4.5.1 硬度	747
4.5.2 拉伸	778
4.5.3 压缩、弯曲和扭转	782
4.5.4 冲击	784
4.5.5 疲劳	787
4.5.6 断裂韧性	789
4.6 热处理质量的无损检测	793
4.6.1 磁粉探伤	793
4.6.2 涡流探伤	801
4.6.3 渗透法探伤	802
4.6.4 超声波探伤	811
4.6.5 X射线探伤	819
4.7 内应力测定	829
4.7.1 应力释放法	829
4.7.2 X射线法	829
4.7.3 磁性法	830
4.7.4 深层应力分布测量	834
4.8 耐腐蚀性能测试	834
4.8.1 工程上常见的腐蚀类型	834
4.8.2 腐蚀速率评定方法	834
4.8.3 均匀腐蚀试验	836
4.8.4 点腐蚀	837
4.8.5 晶间腐蚀	839
4.8.6 缝隙腐蚀	840
4.8.7 应力腐蚀开裂	841

4.8.8 大气腐蚀与高温氧化	843
4.9 热处理质量控制	844
4.9.1 热处理质量控制的目的及主要内容	844
4.9.2 热处理质量控制体系	844
4.9.3 产品设计中的热处理质量控制	845
4.9.4 工艺设计中的热处理质量控制	848
4.9.5 原材料质量控制	853
4.9.6 热处理工序的过程质量控制	853
4.9.7 热处理质量检验控制	854
4.9.8 操作者技能和责任质量控制	854
4.9.9 统计技术在热处理质量控制中的应用	854
参考文献	858

1 热处理基本数据

1.1 化学元素和金属元素的物理化学性质

图 1.1-1 所示为化学元素周期表。各种化学元素的物理化学性质列于表 1.1-1。图 1.1-2 所示为钢铁冶金用元素周期表。各种金属元素的原子直径见图 1.1-3。

1.2 各种常见化合物的物理化学性质

常见碳化物和金属间化合物点阵结构列于表 1.2-1。表 1.2-2 所列为常用无机化合物的物理化学性质。常用有机化合物的物理化学性质列于表 1.2-3。

1.3 热处理术语

1. 整体热处理 bulk heat treatment

对金属材料或工件进行穿透加热的热处理工艺。

2. 局部热处理 local heat treatment

仅对工件的某一部位或几个部位进行热处理的工艺。

3. 表面热处理 surface heat treatment

仅对工件表层进行热处理以改变其组织和性能的工艺。

4. 化学热处理 thermo-chemical treatment

把金属材料或工件放在适当的活性介质中加热、保持，使一种或几种化学元素渗入其表层，以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺。

5. 预备热处理 conditioning heat treatment

为了调整原始组织，以保证工件最终热处理或(和)切削加工性能，在最终热处理前预先进行的热处理。

6. 可控气氛热处理 heat treatment in controlled atmosphere

为达到无氧化、无脱碳、按要求增碳的目的，在成分可以控制的炉气中进行加热和冷却的热处理工艺。

7. 真空热处理 vacuum heat treatment

表 1.1-1 元素的

元素 符号	元素 名称	原子 序数	密 度 (20℃) $\rho/(10^3\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	熔点/℃	沸点/℃	比热容(20℃) $C/[4.1868 \times 10^3\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}]$	熔解热/ (4.1868 $\times 10^3\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$
Ac	锕	89	10.07	1050	3200	—	—
Ag	银	47	10.49	960.8	2210	0.0559	25
Al	铝	13	2.6984	660.1	2500	0.215	94.6
Am	镅	95	11.7	~1200	~2500	—	—
Ar	氩	18	1.784×10^{-3}	-189.2	-185.7	0.125	6.7
As	砷	33	5.73	814(36atm)	613(升华)	0.082	88.5
Au	金	79	19.32	1063	2966	0.0312	16.1
B	硼	5	2.34	2300	3675	0.309	—
Ba	钡	56	3.5	710	1640	0.068	—
Be	铍	4	1.84	1283	2970	0.45	260
Bi	铋	83	9.80	271.2	1420	0.0294	12.5
Br	溴	35	3.12(液态)	-7.1	58.4	0.070	16.2
C	碳	6	2.25(石墨)	3727	4830	0.165	—
Ca	钙	20	1.55	850	1440	0.155	52
Cd	镉	48	8.65	321.03	765	0.055	13.2
Ce	铈	58	6.90	804	3468	0.042	8.5
Cl	氯	17	3.214×10^{-3}	-101	-33.9	0.116	21.6
Co	钴	27	8.9	1492	2870	0.099	58.4
Cr	铬	24	7.19	1903	2642	0.11	96
Cs	铯	55	1.90	28.6	685	0.052	3.8
Cu	铜	29	8.96	1083	2580	0.092	50.6
Dy	镝	66	8.56	1407	2300	0.041	25.2
Er	铒	68	9.16	1500	~2600	0.04	24.5
Eu	铕	63	5.30	~830	~1430	0.039	16.5
F	氟	9	1.696×10^{-3}	-219.6	-188.2	0.18	10.1
Fe	铁	26	7.87	1537	2930	0.11	65.5
Ga	镓	31	5.91	29.8	2260	0.079	19.15
Gd	钆	64	7.87	1312	~2700	0.0574	23.5
Ge	锗	32	5.323	958	2880	0.073	7.3
H	氢	1	0.0899×10^{-3}	-259.04	-252.61	3.45	15.0
He	氦	2	0.1785×10^{-3}	-269.5(103atm)	-268.9	1.25	0.825
Hf	铪	72	13.28	2225	5400	0.0351	—
Hg	汞	80	13.546(液态)	-38.87	356.58	0.033	2.8
Ho	钬	67	8.8	1461	~2300	0.039	24.9
I	碘	53	4.93	113.8	183	0.052	14.2
In	铟	49	7.31	156.61	2050	0.057	6.8
Ir	铱	77	22.4	2443	5300	0.0323	—
K	钾	19	0.87	63.2	765	0.177	14.5
Kr	氪	36	3.743×10^{-8}	-157.1	-153.25	—	—
La	镧	57	6.18	920	3470	0.048	17.3
Li	锂	3	0.531	180	1347	0.79	104.2
Lu	镥	71	9.74	1730	1930	0.037	26.29
Mg	镁	12	1.74	650	1108	0.245	88±2
Mn	锰	25	7.43	1244	2150	0.115	63.7
Mo	钼	42	10.22	2625	4800	0.66	~69.8

物理化学性质

热导率/ [418.68W· (m·C) ⁻¹]	线胀系数 (0~100C) $\alpha_l/(10^{-6}C^{-1})$	电阻率(0C) $\rho/(10^{-8}\Omega\cdot m)$	电阻温度系 数(0C) $\alpha_r/(10^{-3}$ C ⁻¹)	磁化率 (18C) K/10 ⁻⁶	弹性模量 E/(9.807 MPa)	元素 符号
—	—	—	4.23	—	—	Ac
1.0	19.7	1.5	4.29	-0.1813	7000~8200	Ag
0.53	23.6	2.655	4.23	+0.62	6900~7200	Al
—	50.8	145	—	—	—	Am
0.406×10 ⁻⁴	—	—	—	-0.45	—	Ar
—	4.7	35.0	3.9	-0.31	790	As
0.71	14.2	2.065	3.5	-0.142	7900~8000	Au
—	8.3(40C)	1.8×10 ¹²	—	-0.63	—	B
—	19.0	50	—	+0.9	1290	Ba
0.35	11.6(20~60C)	6.6	6.7	-1.00	31500~28980	Be
0.020	13.4	106.8	4.2	-1.35	3234	Bi
—	—	6.7×10 ⁷	—	-0.39	—	Br
0.057	0.6~4.3	1375	0.6~1.2	-0.49	490	C
0.3	22.3	3.6	3.33	+1.1	2000~2600	Ca
0.22	31.0	7.51	4.24	-0.182	5350	Cd
0.026	8.0	75.3(25C)	0.87	+17.5	3060	Ce
0.172×10 ⁻⁴	—	10×10 ⁹	—	-0.57	—	Cl
0.165	12.4	5.06(α)	6.6	铁磁性(α)	21400	Co
0.16	6.2	12.9	2.5	+2.65	25900	Cr
—	97	19.0	4.96	+0.1	—	Cs
0.94	17.0	1.67~1.68(20C)	4.3	-0.086	11700~12650	Cu
0.024	7.7	56.0	1.19	铁磁性	6435	Dy
0.023	10.0	107	2.01	低温时为铁磁性	7475	Er
—	—	81.3	4.30	—	—	Eu
—	—	—	—	—	—	F
0.18	11.76	9.7(20C)	6.0	铁磁性	20000~21550	Fe
0.07	13.3	13.7	3.9	-0.225	—	Ga
0.021	0.0~10.0	134.5	1.76	铁磁性	5730	Gd
0.14	5.92	0.86×10 ⁶ ~52×10 ⁶	1.4	-0.12	—	Ge
4.06×10 ⁻⁴	—	—	—	-1.97	—	H
3.32×10 ⁻⁴	—	—	10 ²¹ (20C)	-0.47	—	He
0.225	5.9	32.7~43.9	4.43	—	9800~14060	Hf
0.0196	182	94.07	0.99	-0.177	—	Hg
—	—	87.0	1.71	—	6840	Ho
10.4×10 ⁻⁴	93	1.3×10 ¹⁵	—	-0.36	—	I
0.057	33.0	8.2	4.9	-0.11	1070~1125	In
0.14	6.5	4.85	4.1	+0.133	52500~53830	Ir
0.24	83	5.55	5.4	+0.455(30C)	—	K
0.21×10 ⁻⁴	—	—	-0.39	—	—	Kr
0.033	5.1	56.8(20C)	2.18	+1.04	3820~3920	La
0.17	56	8.55	4.6	+0.50	500	Li
—	—	79.0	2.40	—	—	Lu
0.367	24.3	4.47	4.1	+0.49	4570	Mg
0.0119(-192C)	37	185(20C)	1.7	+9.9	20160	Mn
0.34	4.9	5.17	4.71	+0.04	32200~35000	Mo

元素 符号	元素 名称	原子 序数	密 度 (20℃) $\rho \cdot (10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	熔点/℃	沸点/℃	比热容(20℃) $C/[4.1868 \times 10^3 \text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{C})^{-1}]$	熔解热 (4.1868 $\times 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$
N	氮	7	1.25×10^{-3}	-210	-195.8	0.247	6.2
Na	钠	11	0.9712	97.8	892	0.295	27.5
Nb	铌	41	8.57	2468	5130	0.065	69
Nd	钕	60	7.00	1024	3180	0.045	11.78
Ne	氖	10	0.8999×10^{-3}	-248.6	-245.0	—	—
Ni	镍	28	8.90	1453	2732	0.105	73.8
Np	镎	93	20.25	637	—	—	—
O	氧	8	1.429×10^{-3}	-218.83	-182.97	0.218	3.3
Os	锇	76	22.5	~3045	5500	0.031	—
P	磷(白)	15	1.83	44.1	280	0.177	5.0
Pa	镤	91	15.4	~1230	~4000	—	—
Pb	铅	82	11.34	327.3	1750	0.0306	6.26
Pd	钯	46	12.16	1552	~3980	0.0584	3.42
Pm	钷	61	—	~1000	~2700	—	—
Po	钋	84	9.4	254	960	—	—
Pr	镨	59	6.77	935	3020	0.045	11.71
Pt	铂	78	21.45	1769	4530	0.0324	26.9
Pu	钷	94	$19.0 \sim 19.8$	639.5	3235	0.032	—
Ra	镭	88	5.0	700	1500	—	—
Rb	铷	37	1.53	38.8	680	0.080	6.5
Re	铼	75	21.03	3180	5900	0.033	—
Rh	铑	45	12.44	1960	4500	0.059(0℃)	—
Rn	氡	86	9.960×10^{-3}	71	-61.8	—	—
Ru	钌	44	12.2	2400	4900	0.057(20℃)	—
S	硫	16	2.07	115	444.6	0.175	9.3
Sb	锑	51	6.68	630.5	1440	0.049	38.3
Sc	钪	21	2.992	1539	2730	0.134	84.52
Se	硒	34	4.808	220	685	0.077	16.4
Si	硅	14	2.329	1412	3310	0.162(0℃)	432
Sm	钐	62	7.53	1052	1630	0.042	17.29
Sn	锡	50	7.298	231.91	2690	0.054	14.5
Sr	锶	38	2.60	770	1460	0.176	25
Ta	钽	73	16.67	2980	5400	0.034	38
Tb	铽	65	8.267	1356	2530	0.044	24.54
Tc	锝	43	11.46	~2100	4600	—	—
Te	碲	52	6.24	450	990	0.047	32
Th	钍	90	11.724	1695	4200	0.034	<19.82
Ti	钛	22	4.508	1677	3530	0.124	104
Tl	铊	81	11.85	~304	1470	0.031	5.04
Tm	铥	69	9.325	1545	1700	0.038	26.04
U	铀	92	19.05	1132	3930	0.0275	—
V	钒	23	6.1	1910	3400	0.127	—
W	钨	74	19.3	3380	5900	0.034	44
Xe	氙	54	5.495×10^{-3}	-112	-108	—	—
Y	钇	39	4.475	1509	~3200	0.071	46
Yb	镱	70	6.966	824	1530	0.035	12.71
Zn	锌	30	7.134(25℃)	419.535	907	0.0925	24.09
Zr	锆	40	6.507	1852±2°	3580	0.068	~60

(续)

热导率 [418.68W· (m·C) ⁻¹]	线胀系数 (C~100C) $\alpha_l/(10^{-6}C^{-1})$	电阻率(CC) $\rho/(10^{-8}\Omega\cdot m)$	电阻温度系 数(CC) $\alpha/(10^{-3}C^{-1})$	磁化率 (18C) $K\cdot 10^{-6}$	弹性模量 $E/(9.807$ MPa)	元素 符号
8×10^{-5}	—	—	—	+0.8	—	N
0.32	71	4.27	5.47	+0.51~+0.66	—	Na
0.125~0.13	7.1	13.1~15.22	3.95	+1.5~+2.28	8720	Nb
0.081	7.4	64.3(25C)	1.64	+36	3865	Nd
0.00611	—	—	—	+0.33	—	Ne
0.22	13.4	6.84	5.0~6.0	铁磁性	19700~22000	Ni
—	50.8	145(20C)	—	+2.6	—	Np
59×10^{-4}	—	—	—	+106.2	—	O
—	5.7~6.57	9.66	4.2	+0.052	56000	Os
—	125	1×10^{17}	-0.456	-0.90	—	P
—	—	—	—	+2.6	—	Pa
0.083	29.3	18.8	4.2	-0.12	1600~1828	Pb
0.168	11.8	9.1	3.79	+5.4	11280~12360	Pd
—	—	—	—	—	—	Pm
—	24.4	42±10(α) 44±10(β)	4.6(α) 7.0(β)	—	—	Po
0.028	5.4	68(25C)	1.71	+25	3590	Pr
0.165	8.9	9.2~9.6	3.99	+1.1	15470~17000	Pr
0.020	50.8	145(28C)	-0.21	+2.2~+2.52	10125	Pu
—	—	—	—	—	—	Ra
—	90.0	11	4.81	+0.196(30C)	—	Rb
0.17	6.7	19.5	1.73	+0.046	47100~47600	Re
0.21	8.3	6.02	4.35	+1.1	28000	Rh
—	—	—	—	—	—	Rn
—	9.1	7.157	4.49	+0.427	42000	Ru
6.31×10^{-4}	64	$2\times 10^{23}(23C)$	—	-0.48	—	S
0.045	8.5~10.8	39.0	5.1	-0.736	7900	Sb
—	—	61(22C)	—	+0.18	—	Sc
$7\sim 18.3\times 10^{-4}$	37	12	4.45	-0.32	5500	Se
0.20	2.8~7.2	10	0.8~1.8	-0.12	11500	Si
—	—	88.0	1.48	—	3475	Sm
0.150	23	11.5	4.4	-0.40	4150~4780	Sn
—	—	30.7	3.83	-0.2	—	Sr
0.130	6.55	13.1	3.85	+0.93	18820~19200	Ta
—	—	—	—	—	5865	Tb
—	—	—	—	—	—	Tc
0.014	17.0	$1\times 10^5\sim 2\times 10^5$	—	-0.301	4350	Te
0.090	11.3~11.6	19.1	2.26	+0.57	7420	Th
0.036(α)	8.2	42.1~47.8	3.97	+3.2	7870	Ti
0.093	28.0	15~18.1	5.2	-0.215	810	Tl
—	—	79.0	1.95	—	—	Tm
0.071	6.8~14.1	22.0	2.18~2.76	+2.5	16100~16800	U
0.074	8.3	24.8~26	2.8	+4.5	12950~14700	V
0.397	4.6(20C)	5.1	4.82	+0.284	35000~41530	W
1.24×10^{-4}	—	—	—	—	—	Xe
0.035	—	—	—	+5.3	6760	Y
—	25	30.3	1.30	—	1815	Yb
0.27	39.5	5.75	4.2	-0.157	9400~13000	Zn
0.211(25C)	5.85	39.7~40.5	4.35	-0.45	7980~9770	Zr