

物理金属学

中 册

〔英〕 R. W. 卡恩 主编

科学出版社

物理金属学

中 册

〔英〕R. W. 卡恩 主编

北京钢铁学院金属物理教研室 译

马如璋 等 校

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书根据 R. W. 卡恩主编的《物理金属学》第二版译出。全书共有二十二章，分上、中、下三册出版。这是中册，共有八章，内容为冶金热力学、相图及其测定、扩散、凝固、相变、钢的物理金属学、金相学原理、微观结构。

本书可作为高等院校、金属物理、金属学、材料科学与工程等专业的教学参考书，也可供从事这方面工作的科技工作者参考。

Edited by R. W. Cahn
PHYSICAL METALLURGY
North-Holland, 1970

物 理 金 属 学

中 册

〔英〕R. W. 卡恩 主编

北京钢铁学院金属物理教研室 译

马如璋 等 校

责任编辑 顾锦梗 宋义荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年8月第一版	开本：787×1092 1/32
1985年8月第一次印刷	印张：18 3/4
印数：0001—4,250	字数：428,000

统一书号：15031·662

本社书号：4268·15—2

定价：4.40元

目 录

第六章 冶金热力学P. G. Shewmon	
褚幼义译 吴兵校	325
引 言	325
§ 1 热力学第一定律.....	325
§ 2 熵和第二定律.....	327
§ 3 平衡条件.....	329
§ 4 相图.....	331
§ 5 化学势.....	333
§ 6 吉布斯相律.....	336
§ 7 混合熵.....	337
§ 8 溶解度.....	341
§ 9 平衡常数.....	345
§ 10 表面效应	351
参考文献	354
第七章 相图及其测定G. V. Raynor	
吴兵译 杨顺华校	356
§ 1 引言.....	356
§ 2 用自由能原理推导某些简单类型的相图.....	358
2.1 完全互溶.....	358
2.2 有限固溶度.....	362
2.3 包含有中间相的系统.....	367
2.4 有固态反应的系统.....	370
§ 3 三元系.....	373
3.1 表示方法.....	373
3.2 应用于三元系的自由能原理.....	375

§ 4 相律.....	381
§ 5 与建立平衡图有关的一些规则.....	382
§ 6 四元系.....	386
§ 7 热分析在测定液-固平衡中的应用	387
7.1 液相线.....	388
7.2 固相线.....	396
§ 8 测定液相线的偏析法.....	398
§ 9 退火淬火法在液-固平衡中的应用	401
§ 10 退火淬火法在固态平衡中的应用	403
10.1 引言	403
10.2 固溶度及固态中的均匀区	404
10.3 金相法的定量方面	408
10.4 退火淬火法的局限性	409
§ 11 X射线法在平衡图研究中的应用	410
11.1 引言	410
11.2 二元系中相界线的确定	411
11.3 定量X射线法在三元系中的应用	414
11.4 X射线法的定性应用	417
11.5 高温X射线法	418
§ 12 电阻法	419
§ 13 膨胀法	424
§ 14 其它方法	426
14.1 概述	426
14.2 磁性法	426
14.3 硬度法	428
14.4 热电势法	428
§ 15 特殊方法	429
15.1 概述	429
15.2 由区域熔炼技术发展而来的方法	429
§ 16 有序-无序转变的研究.....	430
16.1 概述	430

16.2 比热法	432
16.3 X射线法	434
16.4 电阻法	436
16.5 热分析法	437
§ 17 结论	438
参考文献	439

第八章 扩散..... P. G. Shewmon

杜国维译 马如璋校 441

引 言	441
§ 1 菲克 (Fick) 扩散定律	442
§ 2 扩散方程的解	444
§ 3 原子运动和扩散系数 D	449
§ 4 跳跃频率 Γ 的计算	451
§ 5 空位机制	453
§ 6 置换式合金中的扩散	455
§ 7 沿晶粒间界和位错的扩散	458
§ 8 非平衡缺陷浓度	461

参考文献	462
------------	-----

第九章 凝固..... W. A. Tiller

杜国维译 马如璋校 463

引 言	463
§ 1 基本理论	463
1.1 均匀形核	463
1.2 非均匀形核	467
1.3 物理作用	471
§ 2 原子动力学	472
§ 3 溶质控制	474
3.1 正常凝固	478
3.2 区域熔化	481
3.3 V L S (汽-液-固) 机构	486

§ 4 固-液界面的形态	487
4.1 概述	487
4.2 胞状组织的形成	491
4.3 枝晶生长	499
4.4 共晶	504
§ 5 缺陷	510
引 言	510
5.1 化学不均匀性	510
5.2 位错	511
5.3 空洞的形成	519
5.4 分散晶体的形成	521
§ 6 应用	522
6.1 相图研究	522
§ 7 铸锭凝固	528
7.1 结构控制	529
7.2 偏析	534
7.3 夹杂物形成	536
参考文献	539

第十章 相变

J. W. Christian

朱逢吾译 王佩璇校 542

§ 1 相变总论	542
1.1 初始态的稳定性	542
1.2 生长过程	544
1.3 相界面: 点阵之间的关系	546
§ 2 形核过程	551
2.1 经典形核理论	551
2.2 非均匀形核	555
2.3 随时间变化的形核速率	560
2.4 沉淀反应中的形核	561
2.5 失稳分解	570

§ 3 生长过程的理论	575
3.1 由界面处的原子过程控制的生长	575
3.2 扩散控制的生长	578
3.3 层状混合物的生长 (胞状沉淀)	590
§ 4 形核与长大类型相变动力学的表象理论	595
4.1 等温相变曲线	595
4.2 具有抛物线生长定律的相变	602
4.3 反应动力学随温度的变化	606
§ 5 成分保持不变的相变	609
5.1 多形性转变	609
5.2 块型相变	611
5.3 有序-无序转变	613
§ 6 过饱和固溶体的沉淀	616
6.1 连续沉淀	618
6.2 不连续沉淀	622
6.3 预沉淀现象和时效硬化	625
§ 7 共析相变	635
§ 8 马氏体相变	639
8.1 点阵形变与形状形变	640
8.2 晶体学的表象理论	646
8.3 马氏体相变的实验观察	651
8.4 马氏体的精细结构	659
8.5 马氏体相变的形核问题	665
8.6 其它具有形状变化的相变	670
§ 9 第十章所用的符号	674
参考文献	679

第十一章 钢的物理金属学 E. Hornbogen

高佩钰译 田中卓校 685

§ 1 铁和钢	685
1.1 引言	685

1.2 纯铁的一些特性	687
§ 2 铁的合金	690
2.1 间隙合金	690
2.2 置换合金	696
2.3 间隙加置换合金	699
§ 3 相变反应	702
3.1 珠光体	702
3.2 马氏体	706
3.3 贝氏体	710
3.4 时间-温度-转变图	714
3.5 马氏体回火	716
§ 4 形变和再结晶	718
4.1 形变钢的显微组织	718
4.2 回复和再结晶	721
§ 5 力学性能	723
5.1 铁素体的强度	723
5.2 铁素体-珠光体钢的强度	729
5.3 马氏体的强度	732
5.4 回火马氏体的强度和延性	734
5.5 沉淀硬化铁素体钢	735
5.6 马氏体时效钢	737
5.7 热机械处理	739
5.8 高速钢	741
5.9 奥氏体钢	742
5.10 低温钢	743
5.11 钢的异常脆性	745
§ 6 其它物理性能	748
6.1 吸收体钢	748
6.2 变压器用钢	749
6.3 因瓦合金	750
§ 7 凝固	750

7.1 沸腾钢, 镇静钢.....	750
7.2 铸铁.....	752
参考文献	755

第十二章 金相学原理 W. D. Biggs

李万通译 盛世雄校 759

§ 1 样品制备.....	759
1.1 机械抛光.....	759
1.2 电解抛光.....	760
1.3 浸蚀.....	763
§ 2 光学显微镜.....	767
2.1 概述.....	767
2.2 显微镜物镜.....	769
2.3 显微镜目镜.....	770
2.4 反射显微镜.....	770
§ 3 特殊光学技术.....	771
3.1 偏振光.....	771
3.2 相衬显微术.....	774
3.3 光阑衬度显微术.....	777
3.4 双束干涉量度学.....	778
3.5 多光束干涉量度学.....	781
3.6 飞点扫描显微镜.....	786
§ 4 电子显微学.....	787
4.1 概述.....	787
4.2 电子光学.....	789
4.3 样品制备.....	792
4.4 扫描电子显微术.....	797
§ 5 X射线显微术和微量分析.....	801
5.1 概述.....	801
5.2 接触显微射线照相术.....	802
5.3 投影显微射线照相术.....	804

5.4 前反射射线照相·····	805
5.5 吸收微量分析·····	807
5.6 电子探针显微分析·····	808
§ 6 场离子显微术·····	812
参考文献·····	815
第十三章 微观结构 ····· H. J. Rack R. W. Newman	
董克柱译 吴杏芳校	821
§ 1 引言·····	821
§ 2 微观结构的几何特征·····	822
2.1 点形貌·····	822
2.2 线形貌·····	824
2.3 面形貌·····	828
2.4 体形貌·····	850
§ 3 定量金相技术·····	865
3.1 基本术语·····	866
3.2 基本方程式·····	867
3.3 各向异性效应·····	878
3.4 误差分析·····	885
3.5 定量金相技术的应用·····	888
参考文献·····	907

第六章 冶金热力学

P. G. Shewmon

引言

在热力学里，少数几个关于热、热流和功的经验定律，结合数学分析，给出了一系列有用的公式。这些公式的显著特点是，在导出它们时并没有对材料的性质或者过程所牵涉的原子机构作任何假设。因此，热力学提供了分析问题的非常普遍和强有力的工具。有二个与此有关的困难，来源于这种普遍性。首先，因为所用的论据与原子模型无关，所以热力学本身不能用来建立人们心目中易于提出的力学模型。其次，由于没有一定的模型，学生不得不主要涉及抽象的量，常常给学生增加困难。

在物理冶金中，热力学的主要用途是预言某个系统是否处于平衡，或者某个反应是否会发生。这是非常有效的工具；但这仅仅是第一步，因为它不能回答反应过程如何进行以及反应过程的速度有多快的问题。这样在以后各章里，热力学的实际用途，取决于讨论主要是涉及可能性还是涉及机构或动力学的问题。

§1 热力学第一定律

热力学中的大部分是以两个定律为基础的。第一个定律通常用能量守恒的叙述来概括。例如，考虑某个恒量物质，

我们称它为系统，这个系统的能量可以通过对它做功或者对它加热而增加。它的能量可以通过系统对环境做功或由系统中取出热量而减少。这样对于恒质量的系统，第一定律可以用描述某个过程中系统内能变化 (ΔE) 的公式来表达

$$\Delta E = Q - W \quad (1)$$

这里 Q 是加给系统的热， W 是系统所作的功。

功可以转化为热的实验结果，是公式 (1) 的主要经验事实，所以对它的发现历史或证明就不讨论了。但是有必要详述另外一个问题，就是在热力学中所应用的内能概念的性质问题；即内能只是系统的“状态”函数。例如，倘若一块质量 m 的金属放在地板上，取它能量为零；那么这块东西放在离地板 h 英寸的桌子上，它的能量就是 mgh 。在这种情况下，经验表明，系统（金属块）的能量仅由 h 来决定。因此，如果把这块东西升高、降低，然后回到与原来桌子的相同高度上，对于这种循环或者变化系列， ΔE 是零。这证明了状态函数的基本性质，即它的数值只取决于系统的状态（在这个情况下，只由 h 来规定），而与达到这个给定状态所经历的路径无关。如果现在把这块金属放在加热器上，那么热量就要流进去，它的温度就要升高，同样地增加这块金属的能量。显而易见，我们要满意地说明系统的能量，必须把它的高度和温度都确定下来。例如，可以把 $h = 0$ 和 $T =$ 室温时的能量取为零。

上面的讨论可以更深入地进行。然而，还有一点应当是显而易见的，即为要满意地规定系统的状态，所需参数的最少数目，取决于具体的情况。在大多数我们将要应用热力学进行讨论的系统中，重力的影响可以忽略；用温度和压力或者温度和体积可以满意地描述这个系统。但是，在本章的

末尾，我们将讨论那些对表面积也应该加以规定的系统。

§2 熵和第二定律

热总是由较热的物体流向较冷的物体，从来不会发生相反的情况，这是一个经验的事实。对于我们的目的来说，这可以作为热力学第二定律。可是热力学第二定律的更经常的描述是，断言不能进行这样的过程：它的唯一的纯效果是把热从较冷的物体传到较热的物体。后面这种叙述的正确性不象前者那样明显，可是思考片刻就会知道这种叙述是正确的，因为在读者的经验里，所有的冷冻机都有外来能源，例如电。这样，除了热由较冷的物体传到较热的物体以外，还消耗了动力。

问题是如何运用第二定律来获得方程式，把它和第一定律联合起来给出有用的结果。

为此，我们用图1所示的系统。这个系统由两个金属块组成，标为1和2，它们用细丝连起来。这个系统被绝缘材料包起来，保证没有热量散失给环境。若第一块的温度 (T_1) 高于第二块

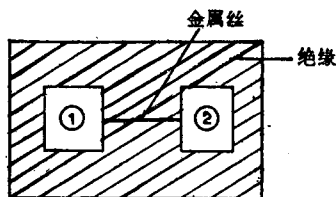


图1 用来讨论孤立系统熵变的系统的示意图，两个金属块温度分别为 T_1 和 T_2 ，用细金属丝连接起来

的温度 (T_2)，热将由1流向2；而且它是绝热系统也不受外界力的作用，这样第一块损失的热量 (Q_1) 必定等于第二块获得的热量 (Q_2)，即 $Q_1 = -Q_2$ 。但是因为 $T_1 > T_2$ ，所以得到

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = Q_2 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = Q_2 \frac{(T_1 - T_2)}{T_1 T_2} > 0 \quad (2)$$

表述公式(2)的原因是,量 (Q/T) 与非常重要的热力学状态函数,即熵 (S) ,有密切关系。系统由温度 T 的热库里以可逆的方式获取热量 Q ,它的熵的变化 (ΔS) 是

$$\Delta S = Q_r/T \quad (3)$$

这里加注下角 r 是强调可逆性的要求。当获取热量的物体的温度只比损失热量的热库的温度低无限小量时,即二个物体间的温度梯度趋近于零时,发生可逆的热传递。所述的“可逆”是这样的,在这种情况下,只要二个物体的相对温度有无限小的变化,热流的方向就能够颠倒过来。可逆的热传递是理想过程,但在概念上是可能的。这是需要的,因为只有热进行可逆的传递, S 才是状态函数,即只有这样, (Q/T) 的回路积分才等于零。

回到图1的系统,如果连接二个金属块的丝是细的,那么热的传送是慢的,在两个金属块中没有温度梯度。在这样的情况下,我们可以说两个金属块可逆地获得和丧失热量。较热的那块传走热量 Q ,熵的降低是 $-(Q/T_1)$,而较冷的那块,熵的增加是 (Q/T_2) 。因为细连接丝的每个单元,丧失的热量和获得的热量一样多,所以在传送热量 Q 时,整个系统熵的变化 (ΔS) 必然是

$$\Delta S = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} = Q \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) \quad (4)$$

如果 $T_1 > T_2$,热就以所谓“自然的”或“自发的”过程,从金属块1流向金属块2。按照公式(4),很明显由于这个自发过程,系统的熵增加。最后这两块变到相同的温度,此时称系统处于平衡状态。在这个状态下, $T_1 = T_2$,任何热的

* 原文中误为 $\frac{Q}{T_1} - \frac{Q}{T_2}$ 。——译者注

传递均可逆地进行。公式(4)表明, 这样的传递, 系统的熵不变。

综上所述, 在热自发传递时, 系统的熵增加; 在可逆传递时, 熵保持不变。这样, 这个孤立系统的熵只能增加或保持不变。因为只有热从较冷的物体流到较热的物体才能得到 S 的减小, 所以熵的降低就要违反热力学第二定律。

对于只发生热流的任何孤立系统, 可以进行相似的分析, 也发现在热沿着温度梯度由高温流向低温的自发过程中, 系统的熵增加; 而一旦达到热平衡时, 熵不变。因为这里对热流没有很大兴趣, 所以这个结论看来对我们无关紧要。最重要的是, 正如上面所指出的, 在孤立系统中发生的任何自发过程, 熵都要增加。这样, 气体的膨胀、金属中的扩散、或者化学反应, 当这些过程自发进行时, 都使孤立系统的熵增加。确实这样的话, 那么孤立系统中所有自发过程使系统的熵增加, 而所有可逆过程(即在平衡状态下发生的过程)总是使系统的总熵不变。这样, 孤立系统的熵在平衡状态下总是最大的。这个假设, 在一百年以前由 Clausius 提出, 并被吉布斯于 1878 年用来作为他的多相平衡经典处理的出发点。它和第一定律一起, 用来作为本章其余部分的基础。值得指出的是, 吉布斯在 1878 年所导出的方程和结果, 没有一个由于以后对于物质的原子和电子结构的了解的进展而发生变化, 这可以作为热力学的威力及由此所得的结果的普遍性的标志。

§3 平衡条件

能够预言某个反应或过程是否会发生以及它进行到什么程度, 这往往是很有用的。为此, 我们对平衡的热力学条件

感到兴趣，因为知道了这些条件，我们就能够预言在任何给定的一组起始条件下，会发生什么变化。

前面我们指出，孤立系统的熵平衡时极大。虽然这作为平衡条件有一定的意义，但是实验更经常在恒温下进行。所以我们更感兴趣的是获得恒温下的平衡条件。把第一和第二定律结合起来就可以获得所需要的方程。可以通过与某个温度 T 的热库进行热交换，来使所研究的系统保持恒温。如果可逆地进行热的交换，那么系统的熵变和所吸收的热可以用公式 $\Delta S = Q/T$ 联系起来。如果系统的温度比热库的温度低（或高），那么热的传递是不可逆的， Q 、 ΔS 和 T 通过公式 $\Delta S > Q/T$ 联系起来。

因此把第一和第二定律结合起来给出方程

$$W \leq -\Delta E + T\Delta S \quad (5)$$

这个方程式给出在恒温下系统所能做功的上限。为了方便起见，把这个方程的右边与由下面公式定义的新函数联系起来。

$$F = E - TS \quad (6)$$

式中 F 称为 Helmholtz 自由能或功函数。在恒温系统里， ΔF 是可以自由作功的那部分内能的负值，这正是自由能及功函数这两个名称的来由。于是方程式 (5) 可以改写为

$$W \leq -(\Delta F)_T \quad (7)$$

式中下角 T 表明温度保持恒定。倘若系统不对外作功，则 $W = 0$ ，方程式 (7) 指出对于任何自发的变化 $\Delta F < 0$ ；对任何可逆变化 $\Delta F = 0$ 。这样在达到平衡以前 F 降低，达到平衡就不再降低了，即 F 在平衡时是极小值。所以平衡条件可以写成

$$(\delta F)_{T,W} \geq 0 \quad (8)$$