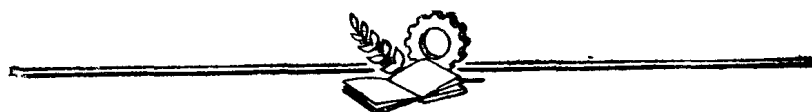


高等学校教学用书



# 有色冶金原理

中南矿冶学院冶金原理教研组编

中国工业出版社

本书系根据1959年冶金工业部教育司制定的高等专业学校指导性教育计划的要求，以中南矿冶学院冶金系原用的冶金原理讲义为蓝本而编写的。全书内容分为三篇十二章，对有色冶金中重要的冶金过程的基本原理作了系统的论述，适合于高等学校五年制有色金属冶炼专业作为试用教本。

参加本书编写工作的有傅崇説（精言、一、二、六、十二章）、曾庆衡（三、四、五章）、任鸿九（七、九、十章）、辛先讚（八章）和陈贞怀（十一章）等，全书最后由傅崇説总审核。

## 有色冶金原理

中南矿冶学院冶金原理教研组编

\*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行，各地新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张  $12 \frac{1}{4}$  · 字数 273,000

1961年9月北京第一版 · 1961年9月北京第一次印刷

印数 0001—2,337 · 定价（10—6）1.50元

统一书号：15165·90（冶金—19）

## 绪 言

在过去相当长的时期内，冶金一直停留在工艺阶段，局限于应用单纯由经验得来的实际操作方法，缺乏系统的总结和理论研究。

近几十年来，随着生产的发展、社会的需要以及科学技术的进步，对金属的质和量都有着新的要求，要求寻找出新的愈益完善的冶金方法。于是冶金便逐渐由单纯依靠经验的工艺阶段发展成为一门科学，而冶金原理为其理论基础。按研究对象及科学范围来说，冶金原理的主要内容是：（1）研究冶金过程的方向和平衡，以确定反应进行的可能性及其进行时最有利的条件；（2）研究冶金过程的速度和机理，以分析影响反应进行的因素和探索提高反应速度的途径。

在具体研究冶金过程中各种现象的内在联系和它们的共同规律时，通常是应用化学热力学和化学动力学的方法，有时采用流体力学的方法（如研究沸腾层现象）。借助于所得到的研究成果，使得我们有可能找出最适当的冶金条件，并在科学的基础上制定合理的工艺流程和合格产品的新的操作方法和技术规程。

本书将就上述主要内容，按照冶金过程的特点分成三篇叙述：第一篇为火法冶金的物理过程；第二篇为火法冶金的化学过程；第三篇为湿法冶金过程。

# 目 录

緒言	7
----	---

## 第一篇 火法冶金物理过程

<b>第一章 火法冶金中的熔化和凝固过程</b>	8
§ 1—1 固态金属的熔化过程	8
一、过程的热力学基础	8
二、固态中的晶型转变过程	11
三、熔化过程的热消耗	12
§ 1—2 液态金属的凝固过程	12
§ 1—3 金属的凝析精炼过程	14
一、合金结晶过程的某些特点	14
二、金属的凝析精炼	14
<b>第二章 火法冶金中的蒸发升华和凝結过程</b>	17
§ 2—1 火法冶金中的挥发现象	17
§ 2—2 蒸发和升华的热力学	17
一、金属的蒸气压	17
二、金属的蒸发等压位	20
三、外压力对饱和蒸气压的影响	21
四、蒸发热和蒸发熵	23
五、蒸发过程的热消耗	24
六、二元合金的蒸气压	24
七、二元合金溶液的蒸气組成	33
八、金属的蒸餾过程	34
§ 2—3 金属的蒸发速度	35
§ 2—4 金属蒸气的凝結过程	37
一、凝結时放出的热量及过冷却	37
二、凝結速度	39
<b>第三章 气体在金属中的溶解过程</b>	40
§ 3—1 概述	40
§ 3—2 气体与金属相互作用的热力学基本規律	40
§ 3—3 气体在金属中溶解的速度	46

## 第二篇 火法冶金的化学过程

<b>第四章 碳酸盐的焙解过程</b>	48
§ 4—1 概述	48
§ 4—2 离解过程的热力学基本規律	48
一、离解压	48

二、热力学位变化	52
三、相变的影响	53
四、结晶相分散性的影响	55
§ 4—3 碳酸盐的焙解	55
<b>第五章 氧化物离解及金属氧化的过程</b>	58
√ § 5—1 氧化物离解及生成反应的热力学	58
一、氧化物的离解压	58
二、氧化物离解——生成反应的阶段	60
三、溶液中的离解——生成反应	61
§ 5—2 金属—氧系的热力学分析	66
一、铁—氧系	66
二、铜—氧系	75
三、铝—氧系	80
§ 5—3 金属氧化过程的动力学	82
一、固体金属的氧化	82
二、液体金属的氧化	88
<b>第六章 金属氧化物的还原过程</b>	89
§ 6—1 概述	89
§ 6—2 金属热还原过程	91
一、金属热还原的种类及其一般特点	91
二、氧化物的金属热还原过程	92
三、在真空中用铝和硅还原氧化钙	96
§ 6—3 用碳及一氧化碳还原的过程	100
一、碳的燃烧反应	100
二、铁的氧化物借一氧化碳及固体碳的还原	104
三、氧化锌借一氧化碳的还原	108
四、氧化铅借一氧化碳的还原	109
五、铜的氧化物被一氧化碳的还原	110
§ 6—4 用氢还原的过程	110
一、用氢还原的一般特点	110
二、三氧化锡借氢还原的过程	112
§ 6—5 金属氧化物借气体还原剂还原的动力学	113
<b>第七章 硫化和造锍过程</b>	116
§ 7—1 概述	115
§ 7—2 金属对硫的亲合力	116
§ 7—3 硫化过程	118
一、金属的硫化精炼过程	118
二、硫化矿的置换硫化熔炼	120
§ 7—4 造锍过程	121

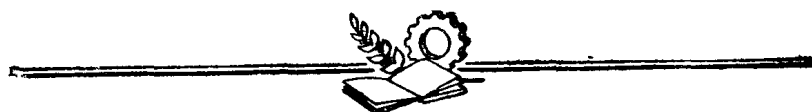
一、概述.....	121
二、銅鏡的熔度图.....	121
三、銅鏡的結構及其热力学性质.....	124
四、造鏡反应.....	125
✓ 第八章 硫化物的氧化过程.....	126
§ 8—1 概述.....	126
§ 8—2 硫化物的焙燒.....	126
一、焙燒反应的热力学以及氧化焙燒和硫酸化焙燒.....	126
二、焙燒过程的动力学.....	131
§ 8—3 金属硫化物氧化得到金属的反应.....	134
第九章 造渣过程.....	136
§ 9—1 概述.....	136
§ 9—2 炉渣的結構.....	137
一、概述.....	137
二、炉渣結構的分子理論.....	139
三、炉渣結構的离子理論.....	141
§ 9—3 熔融炉渣的导电度.....	143
§ 9—4 熔融炉渣的粘度.....	145
一、組成对粘度的影响.....	146
二、溫度对粘度的影响.....	147
§ 9—5 炉渣的热性质.....	148
§ 9—6 炉渣的比重.....	150
§ 9—7 炉渣中的化学反应.....	150
一、炉渣与金属之間的相互反应与平衡.....	150
二、鏡与炉渣之間的相互反应与平衡.....	152
三、炉渣中某一氧化物被另一氧化物从其化合物中置换出来的反应.....	153
✓ 第十章 火法冶金中的氯化过程.....	154
§ 10—1 概述.....	154
§ 10—2 氯化过程的基本原理.....	155
一、金属对氯的化学亲和力.....	155
二、氧化物的氯化.....	155

### 第三篇 湿法冶金过程

第十一章 浸出过程.....	160
§ 11—1 概述.....	160
§ 11—2 浸出过程的基本理論.....	161
一、矿物的特性及其粒度.....	162
二、矿粒表面飽和溶液的扩散.....	163
三、过程的溫度对溶解速度的影响.....	165

四、矿浆的搅拌对溶解速度的影响·····	167
五、溶剂的浓度的影响·····	163
六、其他因素的影响·····	169
§ 11—3 高压浸出过程·····	170
<b>第十二章 沉积过程</b> ·····	<b>174</b>
§ 12—1 概述·····	174
§ 12—2 金属从溶液中的置换沉积·····	174
§ 12—3 高压氢还原过程·····	179
§ 12—4 金属从溶液中的电解沉积·····	183
一、概述·····	183
二、电解沉积的电极过程·····	184
§ 12—5 阴极沉积物的生成机理及其结构·····	190
一、概述·····	190
二、晶体的生成·····	190
三、晶体的成长与沉积物的结构·····	190
主要参考文献·····	192
附录·····	194

高等学校教学用书



# 有色冶金原理

中南矿冶学院冶金原理教研组编

中国工业出版社



本书系根据 1959 年冶金工业部教育司制定的高等专业学校指导性教育计划的要求，以中南矿冶学院冶金系原用的冶金原理讲义为蓝本而编写的。全书内容分为三篇十二章，对有色冶金中重要的冶金过程的基本原理作了系统的论述，适合于高等学校五年制有色金属冶炼专业作为试用教本。

参加本书编写工作的有傅崇説（精言、一、二、六、十二章）、曾庆衡（三、四、五章）、任鸿九（七、九、十章）、辛先谱（八章）和陈贞怀（十一章）等，全书最后由傅崇説总审核。

## 有色冶金原理

中南矿冶学院冶金原理教研组编

\*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行，各地新华书店经售

\*

开本 787 × 1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> · 印张 12<sup>1</sup>/<sub>4</sub> · 字数 273,000

1961年9月北京第一版 · 1961年9月北京第一次印刷

印数 0001—2,337 · 定价（10—6）1.50元

统一书号：15165·90（冶金—19）

# 目 录

緒言	7
----	---

## 第一篇 火法冶金的物理过程

<b>第一章 火法冶金中的熔化和凝固过程</b>	8
§ 1—1 固态金属的熔化过程	8
一、过程的热力学基础	8
二、固态中的晶型转变过程	11
三、熔化过程的热消耗	12
§ 1—2 液态金属的凝固过程	12
§ 1—3 金属的凝析精炼过程	14
一、合金结晶过程的某些特点	14
二、金属的凝析精炼	14
<b>第二章 火法冶金中的蒸发升华和凝結过程</b>	17
§ 2—1 火法冶金中的挥发现象	17
§ 2—2 蒸发和升华的热力学	17
一、金属的蒸气压	17
二、金属的蒸发等压位	20
三、外压力对饱和蒸气压的影响	21
四、蒸发热和蒸发熵	23
五、蒸发过程的热消耗	24
六、二元合金的蒸气压	24
七、二元合金溶液的蒸气組成	33
八、金属的蒸餾过程	34
§ 2—3 金属的蒸发速度	35
§ 2—4 金属蒸气的凝結过程	37
一、凝結时放出的热量及过冷却	37
二、凝結速度	39
<b>第三章 气体在金属中的溶解过程</b>	40
§ 3—1 概述	40
§ 3—2 气体与金属相互作用的热力学基本規律	40
§ 3—3 气体在金属中溶解的速度	46

## 第二篇 火法冶金的化学过程

<b>第四章 碳酸盐的焙解过程</b>	48
§ 4—1 概述	48
§ 4—2 离解过程的热力学基本規律	48
一、离解压	48

二、热力学位变化	52
三、相变的影响	53
四、结晶相分散性的影响	55
§ 4—3 碳酸盐的焙解	55
<b>第五章 氧化物离解及金属氧化的过程</b>	<b>58</b>
√ § 5—1 氧化物离解及生成反应的热力学	58
一、氧化物的离解压	58
二、氧化物离解——生成反应的阶段	60
三、溶液中的离解——生成反应	61
§ 5—2 金属—氧系的热力学分析	66
一、铁—氧系	66
二、铜—氧系	75
三、铝—氧系	80
§ 5—3 金属氧化过程的动力学	82
一、固体金属的氧化	82
二、液体金属的氧化	88
<b>第六章 金属氧化物的还原过程</b>	<b>89</b>
§ 6—1 概述	89
§ 6—2 金属热还原过程	91
一、金属热还原的种类及其一般特点	91
二、氧化物的金属热还原过程	92
三、在真空中用铝和硅还原氧化钙	96
§ 6—3 用碳及一氧化碳还原的过程	100
一、碳的燃烧反应	100
二、铁的氧化物借一氧化碳及固体碳的还原	104
三、氧化锌借一氧化碳的还原	108
四、氧化铅借一氧化碳的还原	109
五、铜的氧化物被一氧化碳的还原	110
§ 6—4 用氢还原的过程	110
一、用氢还原的一般特点	110
二、三氧化锡借氢还原的过程	112
§ 6—5 金属氧化物借气体还原剂还原的动力学	113
<b>第七章 硫化和造锍过程</b>	<b>116</b>
§ 7—1 概述	115
§ 7—2 金属对硫的亲合力	116
§ 7—3 硫化过程	118
一、金属的硫化精炼过程	118
二、硫化矿的置换硫化熔炼	120
§ 7—4 造锍过程	121

一、概述.....	121
二、銅鏡的熔度图.....	121
三、銅鏡的結構及其热力学性质.....	124
四、造鏡反应.....	125
✓ 第八章 硫化物的氧化过程.....	126
§ 8—1 概述.....	126
§ 8—2 硫化物的焙燒.....	126
一、焙燒反应的热力学以及氧化焙燒和硫酸化焙燒.....	126
二、焙燒过程的动力学.....	131
§ 8—3 金属硫化物氧化得到金属的反应.....	134
第九章 造渣过程.....	136
§ 9—1 概述.....	136
§ 9—2 炉渣的結構.....	137
一、概述.....	137
二、炉渣結構的分子理論.....	139
三、炉渣結構的离子理論.....	141
§ 9—3 熔融炉渣的导电度.....	143
§ 9—4 熔融炉渣的粘度.....	145
一、組成对粘度的影响.....	146
二、溫度对粘度的影响.....	147
§ 9—5 炉渣的热性质.....	148
§ 9—6 炉渣的比重.....	150
§ 9—7 炉渣中的化学反应.....	150
一、炉渣与金属之間的相互反应与平衡.....	150
二、鏡与炉渣之間的相互反应与平衡.....	152
三、炉渣中某一氧化物被另一氧化物从其化合物中置换出来的反应.....	153
✓ 第十章 火法冶金中的氯化过程.....	154
§ 10—1 概述.....	154
§ 10—2 氯化过程的基本原理.....	155
一、金属对氯的化学亲和力.....	155
二、氧化物的氯化.....	155

### 第三篇 湿法冶金过程

第十一章 浸出过程.....	160
§ 11—1 概述.....	160
§ 11—2 浸出过程的基本理論.....	161
一、矿物的特性及其粒度.....	162
二、矿粒表面飽和溶液的扩散.....	163
三、过程的溫度对溶解速度的影响.....	165

四、矿浆的搅拌对溶解速度的影响·····	167
五、溶剂的浓度的影响·····	163
六、其他因素的影响·····	169
§ 11—3 高压浸出过程·····	170
<b>第十二章 沉积过程</b> ·····	<b>174</b>
§ 12—1 概述·····	174
§ 12—2 金属从溶液中的置换沉积·····	174
§ 12—3 高压氢还原过程·····	179
§ 12—4 金属从溶液中的电解沉积·····	183
一、概述·····	183
二、电解沉积的电极过程·····	184
§ 12—5 阴极沉积物的生成机理及其结构·····	190
一、概述·····	190
二、晶体的生成·····	190
三、晶体的成长与沉积物的结构·····	190
主要参考文献·····	192
附录·····	194

## 绪 言

在过去相当长的时期内，冶金一直停留在工艺阶段，局限于应用单纯由经验得来的实际操作方法，缺乏系统的总结和理论研究。

近几十年来，随着生产的发展、社会的需要以及科学技术的进步，对金属的质和量都有着新的要求，要求寻找出新的愈益完善的冶金方法。于是冶金便逐渐由单纯依靠经验的工艺阶段发展成为一门科学，而冶金原理为其理论基础。按研究对象及科学范围来说，冶金原理的主要内容是：（1）研究冶金过程的方向和平衡，以确定反应进行的可能性及其进行时最有利的条件；（2）研究冶金过程的速度和机理，以分析影响反应进行的因素和探索提高反应速度的途径。

在具体研究冶金过程中各种现象的内在联系和它们的共同规律时，通常是应用化学热力学和化学动力学的方法，有时采用流体力学的方法（如研究沸腾层现象）。借助于所得到的研究成果，使得我们有可能找出最适当的冶金条件，并在科学的基础上制定合理的工艺流程和合格产品的新的操作方法和技术规程。

本书将就上述主要内容，按照冶金过程的特点分成三篇叙述：第一篇为火法冶金的物理过程；第二篇为火法冶金的化学过程；第三篇为湿法冶金过程。

# 第一篇 火法冶金物理过程

## 第一章 火法冶金中的熔化和凝固过程

### § 1-1 固态金属的熔化过程

#### 一、过程的热力学基础

在火法冶金中，除了少数如钨、钼等高熔点的金属系呈固态粉末生产以外，其他许多金属都是呈液体状态产出，然后通过浇铸而凝固成各种需要形状的金属锭。因此，金属的熔化和凝固无论是对金属的冶炼或是对其浇铸来说，都是基本的过程。

金属的熔化过程，实质上乃是原子从排列规则并在构成晶体点阵的平衡位置作振动的结晶状态，转变到排列规则性完全消失并具有显著流动性的非晶状态的一种转变过程。

如上所述，固态中的原子不断地在自己的平衡位置附近振动。当固体受热时，原子的动能增大，于是温度升高（图 1-1）。当固体的温度达到熔化温度  $T_{\text{熔}}$  时，必须继续吸收热量，固体才能熔化。此热量全都消耗在破坏结晶点阵时反抗原子间相互作用力所做的功上，也就是说，此热量是用来改变金属的状态而不能增大原子的动能，因此，金属的温度停止上升，如图 1-1 加热曲线上 ab 一段水平部分所示。这一现象将继续下去，直至全部金属都变成液体时为止。及达 b 点，在继续加热的条件下，原子（液体的）的动能又开始增大，也就是说，液体的温度又继续升高。

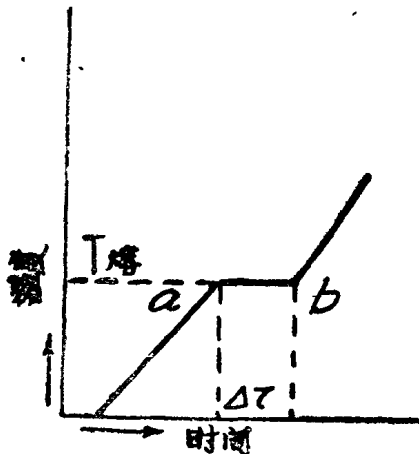


图 1-1 纯金属的熔化曲线

图 1-1 所示， $\Delta\tau$  一段时间的长短与固态金属的数量成正比，金属在这段时间内由固态转变为液态所必须吸收的热量，叫做该金属的熔化热。

在熔化温度下，因为熔化等压位  $\Delta Z_{\text{熔}}$  等于零，所以得到：

$$\text{Me (固)} = \text{Me (液)}; \Delta H_{\text{熔}} = T_{\text{熔}} \cdot \Delta S_{\text{熔}} \quad (1-1)$$

式中： $\Delta H_{\text{熔}}$ ——金属的熔化热，卡·克原子<sup>-1</sup>；

$\Delta S_{\text{熔}}$ ——金属的熔化熵，卡·度<sup>-1</sup>·克原子<sup>-1</sup>。

图 1-2 所示，为 1 克原子铈的热焓随温度变化的曲线。此金属有二个同素异晶体：六方晶型和体心立方晶型。前者在 505°K 以下稳定，图上 AB 线表示 1 克原子立方晶型的铈的热焓随温度的变化，其斜率表示热容。B 点表示立方晶体在 505°K 时的热焓，而 C 点表示体心立方晶体在同一温度下的热焓，垂直线 BC 的长表示 1 克原子铈由六方晶型转变为体心立方晶型时所吸收的热。同样地，CD 线的斜率表示体心立方晶体的热容，垂直线 DE 所表示的在熔化温度时热焓的突跃增大即为熔化热的量度。EF 线表示液态铈的热焓随温度的变化。

在冶金中，热容通常是采用等压热容 $C_p$ 。

从图 1-2 可以看出：等压热容是在等压下热焓随温度变化的曲线的斜率，也就是在等压下热焓随温度增大的变率，并可用下式表示：

$$C_p = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (1-2)$$

$C_p$  与  $T$  的关系通常用下列经验方程表示：

$$C_p = a + bT + cT^{-2} \quad (1-3)$$

各种金属的等压热容与温度的关系，可参阅附录表 1。

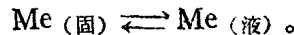
关于金属、非金属元素，化合物以及盐类等的  $C_p = \Phi(T)$  式可在有关手册中查到。

金属的熔化焓可根据方程 (1-1) 计算。表 1-1 所列为某些金属的熔化热和熔化焓。

在表 1-1 中，金属按其熔化温度时的晶体结构分成若干类。其中体心立方晶型，面心立方晶型和紧密排列六方晶型为三种典型的金属结构，这类金属的克原子熔化焓在  $1.5 \sim 2.7$  卡·度 $^{-1}$  的范围内。锡以下的各种结构与典型的金属结构有明显的不同，它们的克原子熔化焓在  $3.3 \sim 6.5$  卡·度 $^{-1}$  之间。铟的结构为面心立方晶型，但轴比接近于 1，因而与面心立方晶型区别很小。汞的简单菱形晶型可认为是沿对角线扭变的面心立方晶型。

大多数在液体状态时分子只由一个原子组成的金属，其克原子熔化焓变动范围不大，并可认为约等于  $2 \pm 0.4$  卡·度 $^{-1}$ 。

金属的熔化过程可以下式表示：



在这个单元物系中，由于组成不变，故平衡的相变参数为  $T$  及  $P$ 。 $T$  和  $P$  的关系可用克来普朗——克劳齐乌斯方程表示如下：

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T(v_{\text{液}} - v_{\text{固}})}{\Delta H_{\text{熔}}} \quad (1-4)$$

式中： $T$  和  $P$  ——平衡的相变参数；

$v_{\text{液}}$  ——金属在熔化温度呈液体状态时的克原子体积；

$v_{\text{固}}$  ——金属在熔化温度呈固体状态时的克原子体积；

$\Delta H_{\text{熔}}$  ——过程的热效应或克原子熔化热。

根据方程 (1-4)，可绘出如图 1-3 所示的金属熔化过程的压力——温度 ( $P-T$ ) 曲线。在图 1-3 中，除了熔化曲线以外，还有升华曲线和蒸发曲线，这些曲线将在第二章中叙述。

图 1-3 所示为纯锰的平衡状态图。图中有三个区域，其中每一个区域相当于固态、液态和气态三种状态中的一种状态。

就每一个区域而言，根据相律  $f = K + 2 - \Phi$ ，可算出自由度  $f = 2$ ，因为各个区域是由一个组分（锰）和一个相（固相、液相或气相）组成；自由度等于 2，即说明在

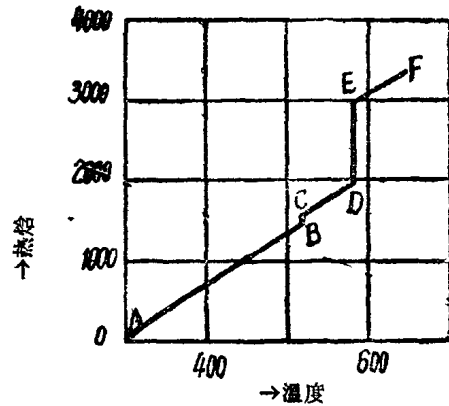


图 1-2 铟的热焓随温度变化的曲线



表 1-1 某些金属的熔化热和熔化熵  $M_e(\text{固}) = M_e(\text{液})$ 

金属	结构	$T_{\text{熔}}, ^\circ\text{K}$	$\Delta H_{\text{熔}}$		$\Delta S_{\text{熔}}$	
			卡·克原子 <sup>-1</sup>	焦尔·克原子 <sup>-1</sup>	卡·度 <sup>-1</sup> ·克原子 <sup>-1</sup>	焦尔·度 <sup>-1</sup> ·克原子 <sup>-1</sup>
Tl		576	1025	4290	1.780	7.45±0.08
Fe		1812	3630	15200	2.01	8.4±0.5
Li	体心立方晶型	452.6	690	2880	1.52	6.4±0.3
Na		371.0	622	2603	1.677	7.02±0.03
K		366.6	571	2390	1.70	7.10±0.07
Rb		311.9	525	2200	1.68	7.05±0.14
Cs		302.9	500	2090	1.65	6.91±0.14
Pb			100.5	1007	4550	1.81
Co	面心立方晶型	1768	3750	15700	2.12	8.9±0.5
Ni		1728	4220	17700	2.44	10.2±0.4
Al		932	2480	10400	2.66	11.1±0.3
Cu		1357	2840	11900	2.09	8.8±0.5
Ag		1234	2690	11300	2.18	9.1±0.3
Au		1336	3050	12800	2.28	9.5±0.6
Mg	紧密排列六方晶型	922	2070	8700	2.24	9.4±0.5
Zn		693	1740	7280	2.51	10.5±0.3
Cd		594	1503	6280	2.53	10.59±0.15
In	面心立方晶型	429.7	780	3260	1.84	7.60±0.09
Hg	菱形晶型	234.4	558	2340	2.38	9.96±0.12
Sn	体心正方晶型	505	1680	7020	3.32	13.9±0.3
Ga	斜方晶型	302.5	1336	5590	4.45	18.48±0.08
Si	金刚晶型	1713	11100	46400	6.47	27.1±1.1
Ge		1232	7300	30600	5.93	24.8±1.0
Sb	砷结构	904	4750	19900	5.25	22.0±0.4
Bi		544	2630	11000	4.83	20.2±0.4

每个区域一定范围以内可以任意改变温度和压力而锡的聚集状态不改变。

平衡曲线AE、AB和AC相当于由一个组成和两个相组成的物系，所以自由度为1。这就是说：当压力一定时，锡由一个聚集状态变到另一个聚集状态的一定温度完全符合于每一个一定压力的数值。

虚线AD有条件地表示气相和欲转变为固态的过冷液体介稳相之间的平衡。在A点，锡的固、液、气三个相成平衡。

在此情况下， $\Phi = 3$ ， $K = 1$ ， $f = 1 + 2 - 3 = 0$ 。这就是说：纯锡仅在温度为1215°C及压力为0.00085大气压时才可以同时呈固态、液态和气态存在。

图1-3中所示的AF线为纯锡熔化过程的P—T曲线；所有其它金属都有类似的曲