

高等学校教学用书

三元系与四元系相圖

Б. Е. 伏洛維克 著
М. В. 查哈罗夫

高等教育出版社

75.17
213
C3

高等学校教学用书



三元系与四元系相图

B. E. 伏洛維克 著
M. B. 查哈罗夫

冶金工業部專家工作办公室譯
中南礦冶学院金相热处理教研組校

高等教育出版社

本書系根据苏联国立黑色与有色冶金科技書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии)出版的伏洛維克(Б. Е. Воловик)和查哈罗夫(М. В. Захаров)所著“三元系与四元系相圖”(Тройные и четверные системы)1948年版譯出。原書經苏联高等教育部审定为冶金和工艺方面的高等学校和学系用的教学参考書。

本書内容为講解三元系与四元系相圖的作圖法与分析法,为專門研究三元系与四元系相圖的参考書,供熟悉普通金屬学的工程师及冶金和工艺方面的高等学校高年級学生参考之用。

参加本書翻譯与校訂工作的有冶金工業部專家工作办公室哈弼亮、魏毅荅、王忠义三位同志及中南矿冶学院金相热处理教研組馬恒儒教授及黃澤毅同志,本書的翻譯曾得到中南矿冶学院金相热处理教研組黃健超、羅繼周、宋友仁三位同志协助。

三元系与四元系相圖

Б. Е. 伏洛維克, М. В. 查哈罗夫著
冶金工業部專家工作办公室譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号15010·267 開本850×1168¹/₃₂ 印張7 字數160,000

一九五六年十二月北京第一版

一九五六年十二月北京第一次印刷

印數0001—5,500 定價(10)¥1.10

序

最近二十年来，金相学与金属学的教科書已出版了很多。但其中大部分仅講述二元合金的状态圖，只有某些教科書曾簡短地介紹了三元系。有关四元系的教科書与教学参考書則根本沒有。

著者有見于此，特为冶金專業与工艺專業的大学生、研究生以及願意在这方面提高專業知識的工程师們編写了这本参考書。

毫無疑义，本書所介紹的有关三元及四元合金状态圖的資料，也可作为由非金属組元形成的系的研究資料。

本書共分兩編：第一編“三元系相圖”为技术科学候补博士 M. B. 查哈罗夫副教授所写；第二編“四元系相圖”为技术科学博士 B. E. 伏洛維克教授所写。

著者考虑到學習立体圖(特別是四元系立体圖)的困难，并使本書富有直觀性，特在書中插入大量的立体模型圖及其截面圖。

緒 論

目前，在工艺上应用着多种多样的金屬合金。其中大部分是三元的、四元的，但有时却是更复杂的合金。例如在一些特种鋼中，元素的数目可能达到十种。在工業用的有色重金屬与輕金屬合金中也有类似的情况。特种黃銅与青銅常常含有五种組元。至于現代的鋁鎂輕合金，許多是含有六种或六种以上的合金成分。

凡是为了确定最适宜的澆鑄溫度，解釋合金的鑄造性能，估計其流动性、偏析以及鑄件內縮孔的特性，分析合金中由于溫度关系而呈現的各种变化，都必須研究該金屬系的狀態圖。

了解狀態圖之后，我們对合金的“生成”，即由液态到固态的轉变，以及在固态中的重結晶过程，才有完整的概念。

复杂系的狀態圖，能幫助我們說明合金的結晶構造，以便对于究竟能够采用何种压力加工方法这一問題作出正确的結論。

假如合金結晶構造的基础是塑性金屬，或者是在塑性金屬的基础上形成的固溶体，則此种合金就能够經受許多种压力加工。

倘若合金的多相構造，在室溫下沒有較高的可塑性，而在相圖中可看出經過加热后能变为單一相的可塑性的成分（如某些黃銅，鋼），則此类合金最好是进行热加工。

在进行热压力加工时，常常遇到所謂“热脆”現象，在很多情況下，狀態圖可以說明这种不良現象的存在是由于在合金中有着易熔組成物的緣故。

狀態圖对于合金的热处理还有着更大的意义。在此种情況下，能确定某种合金可以采用何种热处理方法，以及何种溫度规范对它最为合理。

根据强化体本性及其能够变为固溶体的数量，有时可按照状态圖預計热处理作用的大小。

寻求新的具有我們所希望的物理机械性質的复杂的金屬合金的問題，主要是取决于我們对复杂金屬系状态圖了解的程度。

使用按方配剂的方法来为新合金选定最适宜的成分，現已不能使工程师——研究人員們滿意了。

研究复杂系的状态圖，可以为新合金选定合理成分，以及正確地了解在合金中所进行的各种过程。例如，精密地研究鋁-鎂-銅三元系后，就能較准确地說明杜拉鋁类型鋁合金在室溫下进行时效硬化时个别强化体的作用。

复杂系的状态圖，除了金屬学以外，对于相近的科学部門也具有很大的意义。例如，很多种矿石（包括各种工業用的矿石）、耐火材料和建筑材料、各种鹽类溶液，都是复杂的多元系。

关于表明合金的各种状态取决于溫度和成分的这种金屬系平衡圖的学說，已有相当長的历史。

許多年来，有某些学者与許多学派都在研究此类問題。尤其是以 H. C. 庫尔納可夫院士所創始的俄罗斯物理化学分析学派，对于研究多元系状态圖的問題非常注意。

許多实际的三元系，已有了充分的研究，并在生产實踐中被广泛利用。

近来，研究实际四元系的兴趣，也有显著的提高。著者有見于此，为了便利三元系及四元系状态圖的研究，特編写此書。

本書适合于具有普通金屬学一般必須知識的讀者，如果当他們研究專門的金屬学文献时，本書對他們有所帮助，則著者認為已完成了自己的任务。

目 录

序

緒論..... 5

第一編 三元系相圖

第一章	三元系的几何原理.....	7
第二章	各組元在固态及液态下具有無限溶解度的三元系.....	17
第三章	形成三元共晶的三元系.....	25
第四章	具有稳定化合物的三元系.....	40
第五章	具有由于圍晶反应而生成的化合物的三元系.....	47
第六章	各組元在固态下具有有限溶解度的三元系.....	69
第七章	各組元在液态下具有有限溶解度，并形成三元共晶的三元系.....	99
第八章	具有同素异晶变化的三元系	108

第二編 四元系相圖

第九章	四元系的几何原理	113
第十章	各組元在固态及液态下具有無限溶解度的四元系	126
第十一章	形成四元共晶的四元系	129
第十二章	具有稳定化合物的四元系和更复杂的系	153
第十三章	具有由于圍晶反应而生成的化合物的四元系	174
第十四章	各組元在固态下具有有限溶解度的四元系	195

00649

75.17
213
C3

高等学校教学用书



三元系与四元系相图

B. E. 伏洛維克 著
M. B. 查哈罗夫

冶金工業部專家工作办公室譯
中南礦冶学院金相热处理教研組校

高 等 教 育 出 版 社



本書系根据苏联国立黑色与有色冶金科技書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии)出版的伏洛維克(В. Ф. Воловик)和查哈罗夫(М. В. Захаров)所著“三元系与四元系相圖”(Тро-йные и четверные системы)1948年版譯出。原書經苏联高等教育部审定为冶金和工艺方面的高等学校和学系用的教学参考書。

本書内容为講解三元系与四元系相圖的作圖法与分析法,为專門研究三元系与四元系相圖的参考書,供熟悉普通金屬学的工程师及冶金和工艺方面的高等学校高年級学生参考之用。

参加本書翻譯与校訂工作的有冶金工業部專家工作办公室哈弼亮、魏毅苓、王忠义三位同志及中南矿冶学院金相热处理教研組馬恒儒教授及黃澤毅同志,本書的翻譯曾得到中南矿冶学院金相热处理教研組黃健超、罗繼周、宋友仁三位同志协助。

三元系与四元系相圖

В. Е. 伏洛維克, М. В. 查哈罗夫著

冶金工業部專家工作办公室譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号15010·267 開本850×1168¹/₃₂ 印張7 字數160,000

一九五六年十二月北京第一版

一九五六年十二月北京第一次印刷

印數0001—5,500 定價(10)¥1.10

目 录

序

緒論..... 5

第一編 三元系相圖

第一章	三元系的几何原理.....	7
第二章	各組元在固态及液态下具有無限溶解度的三元系.....	17
第三章	形成三元共晶的三元系.....	25
第四章	具有稳定化合物的三元系.....	40
第五章	具有由于圍晶反应而生成的化合物的三元系.....	47
第六章	各組元在固态下具有有限溶解度的三元系.....	69
第七章	各組元在液态下具有有限溶解度，并形成三元共晶的三元系.....	99
第八章	具有同素异晶变化的三元系	108

第二編 四元系相圖

第九章	四元系的几何原理	113
第十章	各組元在固态及液态下具有無限溶解度的四元系	126
第十一章	形成四元共晶的四元系	129
第十二章	具有稳定化合物的四元系和更复杂的系	153
第十三章	具有由于圍晶反应而生成的化合物的四元系	174
第十四章	各組元在固态下具有有限溶解度的四元系	195

00649

序

最近二十年来，金相学与金属学的教科書已出版了很多。但其中大部分仅講述二元合金的状态圖，只有某些教科書曾簡短地介紹了三元系。有关四元系的教科書与教学参考書則根本沒有。

著者有見于此，特为冶金專業与工艺專業的大学生、研究生以及願意在这方面提高專業知識的工程师們編写了这本参考書。

毫無疑义，本書所介紹的有关三元及四元合金状态圖的資料，也可作为由非金属組元形成的系的研究資料。

本書共分兩編：第一編“三元系相圖”为技术科学候补博士 M. B. 查哈罗夫副教授所写；第二編“四元系相圖”为技术科学博士 B. E. 伏洛維克教授所写。

著者考虑到學習立体圖(特別是四元系立体圖)的困难，并使本書富有直觀性，特在書中插入大量的立体模型圖及其截面圖。

緒 論

目前，在工艺上应用着多种多样的金屬合金。其中大部分是三元的、四元的，但有时却是更复杂的合金。例如在一些特种鋼中，元素的数目可能达到十种。在工業用的有色重金屬与輕金屬合金中也有类似的情况。特种黃銅与青銅常常含有五种組元。至于現代的鋁鎂輕合金，許多是含有六种或六种以上的合金成分。

凡是为了确定最适宜的澆鑄溫度，解釋合金的鑄造性能，估計其流动性、偏析以及鑄件內縮孔的特性，分析合金中由于溫度关系而呈現的各种变化，都必須研究該金屬系的状态圖。

了解状态圖之后，我們对合金的“生成”，即由液态到固态的轉变，以及在固态中的重結晶过程，才有完整的概念。

复杂系的状态圖，能幫助我們說明合金的結晶構造，以便对于究竟能够采用何种压力加工方法这一問題作出正确的結論。

假如合金結晶構造的基础是塑性金屬，或者是在塑性金屬的基础上形成的固溶体，則此种合金就能够經受許多种压力加工。

倘若合金的多相構造，在室溫下沒有較高的可塑性，而在相圖中可看出經過加热后能变为單一相的可塑性的成分（如某些黃銅、鋼），則此类合金最好是进行热加工。

在进行热压力加工时，常常遇到所謂“热脆”現象，在很多情況下，状态圖可以說明这种不良現象的存在是由于在合金中有着易熔組成物的緣故。

状态圖对于合金的热处理还有着更大的意义。在此种情況下，能确定某种合金可以采用何种热处理方法，以及何种溫度规范对它最为合理。

根据强化体本性及其能够变为固溶体的数量，有时可按照状态圖預計热处理作用的大小。

寻求新的具有我們所希望的物理机械性質的复杂的金屬合金的問題，主要是取决于我們对复杂金屬系状态圖了解的程度。

使用按方配剂的方法来为新合金选定最适宜的成分，現已不能使工程师——研究人員們滿意了。

研究复杂系的状态圖，可以为新合金选定合理成分，以及正确地理解在合金中所进行的各种过程。例如，精密地研究鋁-鎂-銅三元系后，就能較准确地說明杜拉鋁类型鋁合金在室溫下进行时效硬化时个别强化体的作用。

复杂系的状态圖，除了金屬学以外，对于相近的科学部門也具有很大的意义。例如，很多种矿石（包括各种工業用的矿石）、耐火材料和建筑材料、各种鹽类溶液，都是复杂的多元系。

关于表明合金的各种状态取决于溫度和成分的这种金屬系平衡圖的学說，已有相当長的历史。

許多年来，有某些学者与許多学派都在研究此类問題。尤其是以 H. C. 庫尔納可夫院士所創始的俄罗斯物理化学分析学派，对于研究多元系状态圖的問題非常注意。

許多实际的三元系，已有了充分的研究，并在生产實踐中被广泛利用。

近来，研究实际四元系的兴趣，也有显著的提高。著者有見于此，为了便利三元系及四元系状态圖的研究，特編写此書。

本書适合于具有普通金屬学一般必須知識的讀者，如果当他們研究專門的金屬学文献时，本書對他們有所帮助，則著者認為已完成了自己的任务。

第一編 三元系相圖

第一章 三元系的几何原理

当研究二元系状态圖——說明合金的各种状态与其成分及温度的关系的特性圖——时,一般是以合金的成分为横坐标,而以温度为縱坐标。因此,二元合金状态圖均呈一定的平面圖形,其外形則依各組元間相互关系的特点而有所不同。

三元系合金的成分不以直綫表示,而以平面表示,其状态圖本身呈一定的立体圖形——正三面棱柱体。研究三元系的几何原理無需制作整个的立体圖形,仅考查三元合金的濃度平面圖已足够了解。

§ 1. 三元合金成分表示法

三元合金成分的主要表示法有二种(参閱勞陀契尼可夫的論文[9])。第一种方法是利用直角坐标系(圖 1),在此情况下,分別以組元的濃度比 $\frac{B}{A}$ 和 $\frac{C}{A}$ 为横坐标与縱坐标,以原点表示純組元 A。由 95% A、2% B 和 3% C 組成的三元合金,在此种情况下以 M_1 点表示;合金 93-3-4 則相应地以 M 点①表示。

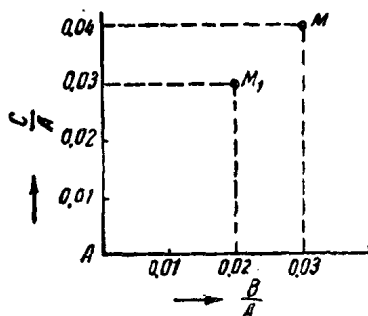


圖 1.

① 也可以在两个坐标軸上截取 B 和 C 的濃度,但此时相当于等腰直角三角形,斜边的 B-C 二元系,須采用另一种尺度。

当一种組元的含量(A)远超过其他二种組元(B 和 C),而我們又希望把它(当做溶剂)特別区分出来的时候,才用到直角坐标系。

在这种情况下,表示 B 和 C 純組元的点位于無穷远处。这种方法很少采用,在后面我們也不用它。

三元合金成分的第二种表示法是用銳角坐标系。

在該情况下,三元合金的成分表示在等边三角形的平面上,因此这种三角形通常称为濃度三角形。我們先回忆一下等边三角形的下列性質:

1. 等边三角形內任意点 M ,向三角形三边所作的三个垂綫之和,为一常数,其值恒等于三角形的高,即 $BD = Mb + Ma + Mc$ (圖 2, a)。

2. 如果通过三角形內任意点 M ,作平行于各边的直綫,則在各边上所截綫段($a, b, c,$)之和,等于三角形的一边,即 $a + b + c = AB = BC = AC$ (圖 2, b)。

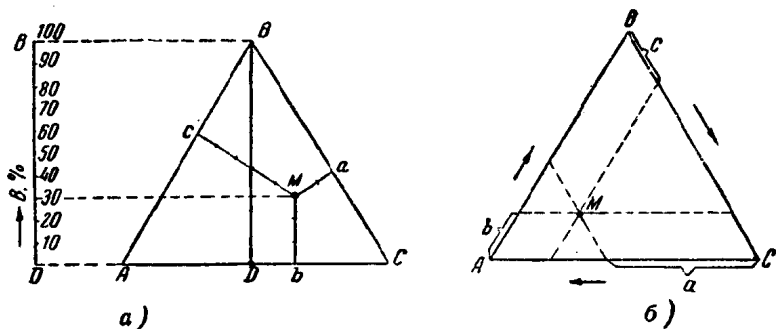


圖 2.

等边三角形的这两种性質,可以很有效地被用来决定三元合金的成分,因为任何三元合金組元的濃度之和,也是一个常数。实际上,若以圖 2 所示三角形 ABC 的高 BD 作为 100%,則垂綫 Ma , Mb 和 Mc 即表示三元合金 M 的每个組元的濃度。

尚待解决的仅是哪一条垂綫相应于哪个組元的问题。假如以三角形高 BD 作为 $100\% B$, 則相当于这个高的一部分的垂綫 Mb , 则表示所研究的合金 M 中組元 B 的濃度。在圖 2, a 中的情况下 B 的濃度是 30% 。

同理, 垂綫 Ma 表示組元 A 的濃度, 而垂綫 Mc 表示組元 C 的濃度, 即每一段垂綫都相应于該垂綫所垂直的一边的对頂点所表示的組元的濃度。

因而說合金 M 含 $30\% B$, $50\% C$ 和 $20\% A$, Mb 、 Mc 和 Ma 各等于三角形高的 $3/10$ 、 $5/10$ 和 $2/10$ 。

为了不使一些多余的直綫占滿濃度三角形平面而致圖形混乱, 一般不以垂綫表示三元合金的成分, 而以平行于三角形各边的直綫表示。

这样就能在三角形各边上直接讀出各組元的含量百分数。实际上, 合金 M 的成分(圖 3)不仅可以垂綫 Mb 、 Ma 和 Mc 表示, 也可以与这些垂綫成比例的綫段 Mk 、 Mh 和 Mg 表示。

但因綫段 Mk 、 Mh 和 Mg 各等于 Ad 、 Cf 和 Be , 若以三角形的一边为 100% , 則这些綫段亦可表示合金的成分。綫段 Ad 相当于組元 B 的濃度, 綫段 Be 相当于組元 C 的濃度, 而綫段 Cf 相当于組元 A 的濃度。

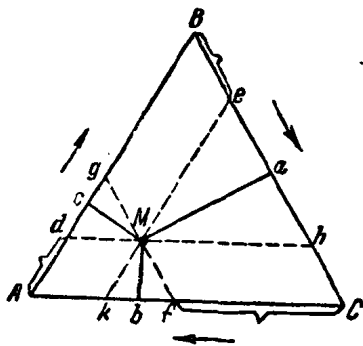


圖 3.

必須依順时針方向确定濃度的讀数, 对合金 M 来講組元 B 不仅可以綫段 Ad 表示, 也可以綫段 Ch 表示, 因为它們互等; 同理, 組元 C 的濃度可不以綫段 Be 而以綫段 Ak 来表示, 并依此类推。但在此情况下, 确定組元的濃度必須依反时針方向进行。实际上,

常依規定的成分在濃度三角形中決定三元合金的位置。例如，為了確定含 60% C ，20% A 和 20% B 的合金 N 的位置(圖 4)，應距組元 C 的對邊相當於 60% 處，作一平行綫，然後再距組元 B 的對邊相當於 20% 處，作另一平行綫。二直綫的交點即為所求合金 N 的位置。

研究濃度三角形時，不難看出，凡三元合金，如其在圖上所表示的各點均在平行於三角形一边的任何一條直綫上，則與此平行綫相對的三角形頂點所示的合金組元的含量必定不變。例如，某些合金的成分，其圖點均在平行於 AC 邊的直綫 ab 上，則組元 B 的含量不變(圖 5)，因為表示此組元含量的垂綫對所有的合金來講，其長度均相等。

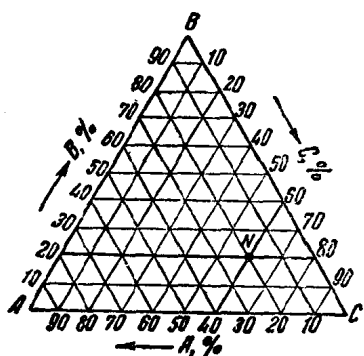


圖 4.

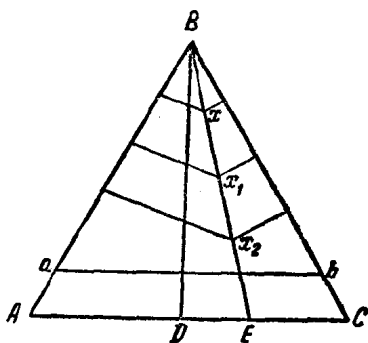


圖 5.

假若有些合金，其圖點均在通過三角形一個頂點的某一割綫上，則割綫兩邊的二個三角形頂點所表示的兩種金屬有一定的比例。例如，其圖點在 BE 割綫上的合金，其成分 A 與 C 的比是固定不變的。如果合金 x 中組元 A 與 C 的數量並不大，而在合金 x_1 和 x_2 中 A 與 C 的數量就相當大，但這兩成分的比例始終不變。

凡圖點位於三角形高上的合金，其高兩邊的兩組元的含量相