

研究金属和 整理实验数据的方法

M. E. 布 兰 契 尔 著
歐 阳 可 强 譯

冶 金 工 业 出 版 社

73.2
155
77

研究金屬和整理實驗数据的方法

M E. 布蘭契尔著

欧陽可强譯

冶金工業出版社

М. Е. Блантер
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ
И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ
Металлургиздат Москва-1952
研究金屬和整理實驗数据的方法 歐陽可強 譯

— * —

冶金工業出版社出版(北京市灯市口甲45号)
北京市書刊出版業營業許可證出字第093号
中央民族印刷厂印 新华書店發行

— * —

1959年8月第一版
1959年8月北京第一次印刷
印数 4,010册
开本 850×1168·1/32·260,000字·印张 14张·插页 6·

— * —

統一書号 15062·1654 定价 1.80元

書中敘述主要研究方案的选择、計算儀器的精確度、試樣的尺寸和形狀以及研究的總精確度的方法。探討在金屬學中應用的現有的個別研究方法。指出整理試驗數據的方法：結果的圖示法和數學表示。敘述新的研究方法（統計法），其中包括定量金相分析。闡明同時應用許多方法進行綜合研究的基礎。

本書對象是冶金工廠和機器製造工廠的試驗室中的工程師，科學研究所的研究人員，也可供高等冶金學校的學生閱讀。

序 言

科学的方法与内容的統一昭然貫徹在由于苏联学者和工程师們的卓越工作而产生并且达到高度發展水平的金屬学的历史中。偉大的俄罗斯冶金学家 П. П. 安諾索夫的發現是和他所創造的新的研究方法，特別是显微鏡分析有关联的。金相学之父 Д. К. 契尔諾夫的工作和热分析研究的發現及应用有关。Н. С. 庫尔納可夫創立并發展了新的研究領域即物理化学研究領域，其結果使金屬科学的宝庫为極其重要的金屬合金柘朴学的部份所丰富。

И. В. 斯大林同志在他的天才著作《苏联社会主义經濟問題》中曾經指出，社会主义基本經濟法則是《……用在高度技术基础上使社会主义生产不断增長和不断完善的方法，来保証最大限度地滿足整个社会經常增長的物質和文化的需要》^①。

关于金屬的科学——金屬学——在苏联的技术發展上起的作用很大。

由于一貫地运用了馬列主义的原則，在斯大林五年計劃的年代，在社会主义建設时代特別是苏联正在經歷着逐步过渡到共产主义的时期中，由于生产力的巨大增長所引起的苏联科学，其中也包括金屬学才有可能获得蓬勃的發展。

目前，苏联的金屬学已确实在世界科学中居首位。А. А. 博奇瓦尔，Г. В. 庫尔久莫夫和 С. Т. 康諾別耶夫斯基的学派和許多其他科学团体的著名的金屬学方面的广泛研究工作已确定了俄罗斯研究工作者們所奠定的苏联科学的优越地位。

① И. В. 斯大林：“苏联社会主义經濟問題”，人民出版社 1953 年版，36 頁。

苏联的金属学在理论和工艺领域中的卓越成就和新的研究方法的發展有着密切联系。突出的是这种情况——当用相分析和定量显微分析研究合金的最新方法在苏联的許多金属学家們的許多著作中已經获得充分表达时，在国外的技术文献中却只是在偶然遇到解决一些局部問題时的零星的不完整的尝试。最迫切的任务之一是使苏联的研究工作者們精通这些研究合金的新方法。同时，对于应用从一定立場看来仍然是好的旧有方法的科学观点問題也有很大的重要性。最后，以数表、圖形或是数学形式把实验数据正确地加以綜合的方法是在研究金属时作出最終結論的基础。在这本书中試圖总结金属学問題的研究方法和整理附录中实验数据的方法。

解决金属学的实际与理論問題的基础是广泛地应用各种試驗研究方法。在各种專業書籍、手冊和許多雜誌的論文中均有关于这些方法以及个别設備、仪器和試驗技术的敘述。这些知識給研究人員提供了应用所敘述的經過驗證的实验方案解决类似問題的可能性。有时，某种設備或是仪器的选择主要还决定于有关在类似条件下利用它們的資料。

自然，不能否認在一定的实验範圍內应有計算的必要性，但是我們認為应当強調指出，在提出新的研究时，簡單「抄襲」以前試驗过的方法是不正确的。应当在試驗前，用評定將要进行的实验的精确度的方法客觀地决定所确定的实验方案，具体設備和仪器以及固定形狀和尺寸的試样等的适用性。按照一定法則計算取决于部份誤差^①的总和的实验精确度，因而可以确切地分別評定組成实验的个别部份所引起的誤差。誤差的定量評定給研究人員指明誤差的可能来源，因而可以用改变实验的

① 在后面，部份条件和誤差应了解为某复杂研究方案的具体因素所固有的条件和誤差。

主要方案，提高所使用的儀器的精確度或是控制熱-機械制度和試樣尺寸的精確度的方法使這些誤差減小。本書的前兩章論述實驗精確度的分析和從這一觀點評價研究金屬與合金的方法。

得到一定精確度的數據是試驗研究的第一個階段。然後，根據以圖形形式表示的或是借選擇的經驗公式作出數學描述的試驗結果的討論即可作出關於所研究的規律性的結論。因此，在第三章將敘述實驗數據的圖形表示問題。除去數據的初步整理（作表）和作圖方法的問題以外，在這章還將研究圖解微分法和圖解積分法以及用計算圖表示許多變量之間的關係的方法。

第四章講解實驗數據的數學表述。這章的前三節敘述選擇經驗公式類型的方法，第四節敘述確定公式的系數的方法。對於鑑定合金結構而言，統計研究法（定量顯微分析）的應用很廣。第五章研究描述在磨光平面和體積中看到的金屬組織的方法。

最後的第六章的第一節講述關於研究金屬合金的一般方法問題。在同一章還敘述了為較充分地查明現象的實質而用幾種方法同時進行研究合金中的結構（相分析）和轉變的方法。研究人員應用第六章即有可能論證為解決一定問題的某種方法和個別物理-化學分析特性的選擇。

考慮到各方面的工作人員（工程師、研究生等）在做試驗工作時都有應用本書作為實用指南的可能，我們的敘述方式如下：概括地說明每種方法（不做出理論結論），隨後使之適合於研究金屬的個別情況而達到說明應用此種方法的技术操作的目的。

據我們所知，直到現在還沒有見過如同在這本書的綱要中

所写的研究金屬和整理实验数据的方法方面的書（个别涉及的問題可參看在最后面援引的各种文献）。因此，我們不可能用比較的方法来修正本書的內容。無疑地，这本引起金屬学家們注意的書需要进一步补充和修正。我們預先对讀者對本書的批評意見和願望表示感謝并要求把它們寄到出版社。

作者对参与写作本書第二章的技术科学通訊院士 A. A. 格里坚貝尔格表示真誠的感謝。作者还对在評閱和准备付印时提出宝贵意見的技术科学博士 A. П. 古里亞叶夫教授，Я. И. 魯柯姆斯基教授和技术科学通訊院士 A. Г. 拉赫施塔特表示感謝。

目 录

序 言	3
第一章 实验的精确度	1
1. 实验误差的分类和来源	4
2. 误差的基本理论基础	13
3. 按照实验数据评定精确度	26
4. 实验的计算误差和实际误差	29
第二章 研究金属的个别方法的精确度的评定	31
1. 硬度法	32
2. 磁性法	46
3. 测量电阻法 (测阻法)	61
4. 热分析法	71
5. 膨胀分析法	78
第三章 实验结果的图示法	86
1. 数据的初步整理 (制表)	86
2. 作图的方法	103
3. 图解微分法和图解积分法	134
4. 应用列线图解的图示法	151
第四章 实验结果的数学表示	179
1. 按照实验曲线的形式确定经验公式的类型	180
2. 以幂级数的形式表示实验关系	215
3. 理论方程式的应用 (经验公式的选择)	223
4. 确定经验公式的系数的方法	237
第五章 研究合金组织的统计法 (定量显微分析)	259
1. 一些数学统计的概念和定义	262
2. 研究磨片平面中的组织的方法	270
3. 研究合金的立体组织的方法	289
4. 组织的定量特性与合金性质的关系的几个例子	313
第六章 合金的综合研究法	317
1. 进行科学研究和编写报告的一般方法	317
2. 合金结构的综合研究 (相分析)	320
3. 用各种物理-化学方法综合研究转变	339

第一章 实验的精确度

金属与合金的相变规律性或它们的物理-化学性质和机械性能的试验研究均以在一定条件下得到原始实验数据为基础。这时，任何测定的精确度均取决于所选择的总的主要方案和个别研究条件的总和。后者包括在试验设备中采用的仪器的精确度和灵敏度，试样的形状、尺寸和制备精确度，加热过程的控制精确度等。测定部份误差并且随后把这些误差按照一定的法则加以综合即可确定出实验的最大可能误差。

但是测定实验精确度不仅仅是事实的消极确定，它还给科学研究人员提供参与科学研究过程的积极武器。单独研究误差的个别来源的原则有极重大的意义。它使我们有可能预先确定导致实验总误差的最大组成的因素，从而对在准备实验设备的过程和研究过程中的主要误差来源特别注意，也就是，使研究的精确度提高^①。让我们用以下实例来说明这个总的情况。

研究元素在铁的合金中的扩散现象时，等温停留过程（温度和时间因素），为作化学分析用的试样层的连续取样和每层中所研究的元素含量的化学测定都是实验误差的来源。

在一般的实验条件下得知， $\pm 5^\circ$ 的控制和测量温度的精确度在 1000° 时将使误差达到 $\pm 6\%$ 。以约10分钟精确度测定等温停留时间将导致 $\pm 0.7\%$ 的误差。2.5微米的取样层的精确度平均得出 $\pm 0.7\%$ 的误差。最后，0.02%的扩散元素（碳）

① 在实验的精确度，差误（погрешность）和误差（ошибка）之间有以下关系：实验的精确度取决于测量值与真正值的偏差，也就是取决于实验的误差（差误）。

濃度的化學測定精確度為 $\pm 6.7\%$ 的誤差。在這些條件下所產生的實驗誤差因而等於 $\pm 13.7\%$ 。換句話說，可以確信在這些試驗條件下所確定的每一個數值的精確度是 $\pm 13.7\%$ 。研究實驗的最大可能誤差的組成證明，在總值中引起最大部份可能誤差的是控制與測量溫度的精確度（ 6% ）和化學分析的精確度（ 6.7% ），而同時，測定時間和取樣層厚度的精確度則一共产生等於測量值的 1% 的誤差。詳盡的單獨分析實驗誤差的來源使得研究人員有可能查明具有決定性意義的實驗部份，因而對它們特別注意。

在上述情況下，控制和測量溫度的精確度增高到 $\pm 2^\circ\text{C}$ （代替 5°C ），而化學分析的精確度增高到 $\pm 0.01\%$ （代替 0.02% ）。即可使實驗的總誤差中的這兩個部份相應地減少到 $\pm 2.4\%$ 和 $\pm 3.35\%$ 。根據這點，實驗結果的總精確度幾乎提高一倍：從以前的 $\pm 13.7\%$ 變到 $\pm 6.75\%$ 。

研究金屬的人每天都必定要把用實驗方法得到的數值的可靠性加以客觀評定。例如，最近時常利用在彎曲下的裂斷負荷作為表明高強度結構鋼對於刻槽的靈敏度的特性。假定，在研究加熱制度對於這個指數的影響時，曾經查明裂斷負荷從19,000公斤（第一種加熱制度）變為21,000公斤（第二種加熱制度）。驟然看來，第二種加熱溫度的優點是無疑的。因為通過它得到的精確度較高。但是如果測量裂斷負荷的精確度的計算給我們帶來 $\pm 10\%$ 的最大可能實驗誤差，那麼這就表示，按照第一種和第二種加熱制度把試樣處理以後的裂斷負荷分別等於17,100~20,900公斤和18,900~23,100公斤。用這種方法求得的兩個數值中的每一個真正值均在上述局部相互交錯的範圍以內；因此，不可以得出第二種加熱制度比第一種加熱制度有着無疑的優點的結論。

单独研究实验误差的来源使得有可能选择最合理的研究方法及主要方案。假定我们必须研究在上临界温度区域（珠光体转变区域）中奥氏体的等温转变。在已知的试验室条件下，可以用磁性测量法或是金相分析法进行这项研究。在这种情况下，任何主要研究方案的选择都应当取决于在所研究的温度范围（ $550^{\circ}\sim 700^{\circ}\text{C}$ ）以内，磁化强度，硬度和显微组织的数量变化的特性。

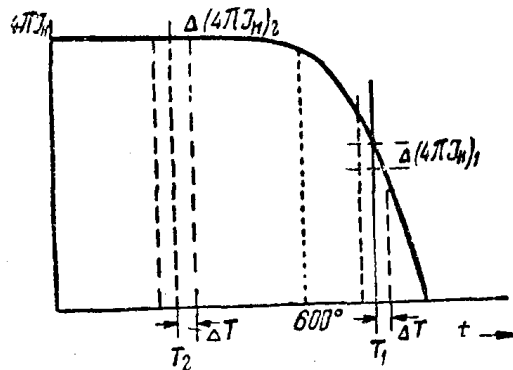


圖 1 磁化强度与温度的关系（图解）

圖 1 所示为磁化值的变化与温度的关系。温度 T_1 是可以作为所研究的范围的特征的温度。在这种情况下，如果作等温研究时，控制温度的精确度是 ΔT ，那么，由于曲线的急剧下降，在这温度范围以内测定磁化值的误差相当大且等于 $\Delta(4\pi I_H)_1$ 。在这个范围以内应用磁性研究法将导致结果的不易再现和相当大的实验误差。从另一方面看来，这种温度波动对硬度和显微组织的变化影响却很小。因此，在这种情况下，应当无条件地偏重于应用金相研究法。

相反，在磁化值随温度而变化极少的较低的温度范围（圖 1 上的 T_2 ）内，在测定所研究的特性时这种温度波动（ $\pm \Delta T$ ）引起的误差 $\Delta(4\pi I_H)_2$ 极小。同时，当淬火状态固定以后，硬

度將在很小的範圍內變化：在 $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 時轉變產物的顯微組織可能和馬氏體相差不多。所以，在低於 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 的範圍內，應當無條件的偏重於應用磁性研究法。

因此，可以在預先研究誤差來源並且在數量上評定每一個變量因素給實驗帶來的差誤大小的基礎上選擇研究方法和主要方案，綜合實驗條件並評定所研究的數值的測定精確度。在每一個別情況下，均可以借實驗誤差的基本理論進行類似的分析。

1. 實驗誤差的分類和來源

實驗的可能誤差有兩個基本分類：**系統誤差和偶然誤差。**

不正確的分度或是儀器沒有調整在零點都可以作為系統誤差來源的例子。假定在實驗開始以前，為進行研究而選用的電流計的指針不在零點。這樣，在讀數時即將產生系統誤差。當用此種標度的電流計並且指針偏离零點 0.2 毫伏時，此電流計在指 1.2 毫伏時則為 1 毫伏；指 8.4 毫伏時即為 8.2 毫伏，如此類推。在研究人員足夠謹慎的條件下，很容易在試驗開始以前把類似的誤差消除。分度的誤差較難消除；為了查明分度的誤差，建議在實驗開始以前按照幾個檢查點分別進行標度的查驗。

系統誤差的第二個例子，是在精密地測量試樣長度時，由於在不同的日子和季節中進行測量的試驗室中溫度的變化而產生的偏差。這時，在這種溫度下，在固定的日子裡完成的測量將由於試樣和測量儀器部份的熱膨脹或收縮而產生系統誤差。這些誤差都可以在測量結果中引用以計算法確定的溫度修正消除之。

因此，在實驗開始以前，謹慎地查驗方法，試驗設備和儀器的系統並且對得到的數據加以特殊修正即可預先防止或消除

实验结果中的系统误差。同时，应当指出，不可能用实验误差的一般数学理论计算系统误差。如果不知道相应的修正值而在一系列测量中得到这种误差，那么就必须在修正过的条件下完全重复实验。在这种情况下，实验的系统误差是研究人员的粗心或质量不够高的标志。

与系统误差不同，偶然误差不能从实验中消除。但是它可以被发现和定量；这些误差决定着实验的精确度。实验的偶然误差是由于所选择的主要方案和已知的具体研究条件的总体所固有的一切因素引起的。

为了说明预先分析为选择研究方案所引起的偶然误差的重要意义，我们来讨论借测量电阻率(ρ)或用膨胀法研究相变的例子。

假设所研究的是在共析钢中奥氏体的等温转变过程。

图2所示为珠光体与奥氏体的电阻率与温度的关系。奥氏体的电阻率呈线性变化；珠光体的这种性质的特征是在靠近临界点处急剧增加。在研究温度为 T' ，奥氏体转变为珠光体时，最初的电阻率（奥氏体的）由点1决定而最终的电阻率（珠光体的）则由点2决定。因此，在转变过程中，整个电阻变化是由点1和点2之间的线段的长短来决定的。假设在研究过程中，测量和控制温度的精确度等于 $\pm \Delta T'$ 。在这种情况下，观测的电阻变化可能比平均变化约小一倍（线段 $1'' \sim 2''$ ）或是大 $\frac{1}{3}$ （线段 $1' \sim 2'$ ）。在这种条件下，重复测量将导致不同的结果，如图3中的曲线所表示。中部的实线曲线表示在温度 T 保持不变的理想条件下，当奥氏体转变为珠光体时，电阻的等温变化曲线（图2， ρ 从点1变化到点2）。在最大正温度偏差时（ $+\Delta T'$ ）则变为上面的虚线所表示（图2， ρ 从点 $1''$ 变到点 $2''$ ）；在极限负偏差时（ $-\Delta T'$ ）则变为下面的虚线所表示（图2， ρ 从点

1'变化到点2')。在这种实验条件下, 实验曲线可能具有在圖3上划影綫的临界区域以內的任何形状。由于保持恒温的不精确而产生的極大偏差 ρ 可以从溫度关系曲线的行程上(急剧上昇)得到解釋。对于所选择的主要研究方案和所确定的溫度波动($\pm\Delta T$)来说, 上述实验误差的出现十分有规律。这些误差属于偶然误差, 它们是不可能被消除的, 但是可以足够精确地計算它们的数值, 并且可以在分析研究結果时加以考虑。

在同样条件下的膨胀研究是以比容的变化, 即在溫度 T

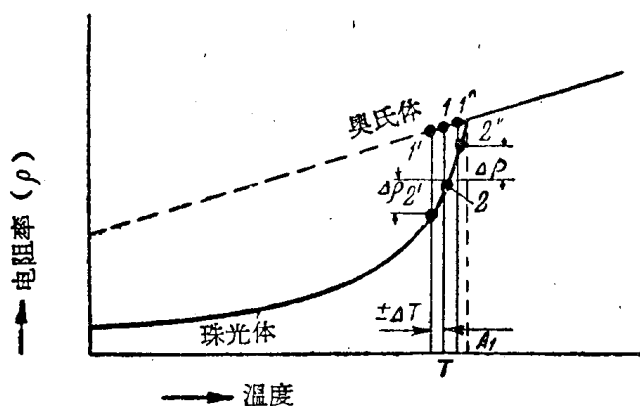


圖 2 珠光体和奥氏体的电阻率与溫度的关系 (圖解)

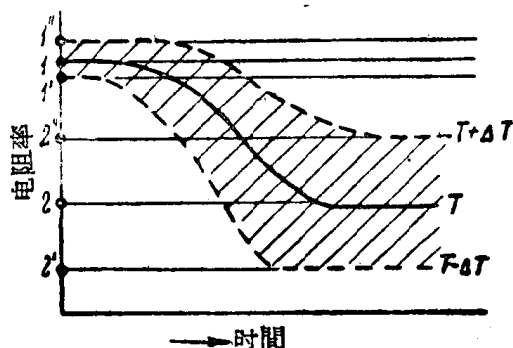


圖 3 当温度为 $T \pm \Delta T$ 时, 在奥氏体轉变为珠光体过程中电阻率的变化

时, 从点1到点2 (圖4中的圖解) 的比容变化为基础。在 $T \pm \Delta T$ 范围内的上述温度波动使比容在極限值以内从 $1'$ 变到 $2'$ (当 $T - \Delta T$ 时), 从 $1''$ 变到 $2''$ (当 $T + \Delta T$ 时)。因为比容与温度之間是綫性关系并且奥氏体和珠光体的热膨胀系数很小, 所以在上述范围以内的温度波动所引起的比容数值的变化不大 (圖4和圖5)。在該試驗条件下, 曲綫分佈在狹窄的影綫区域以内。如同在上述情况下一样, 这些波动是决定于主要

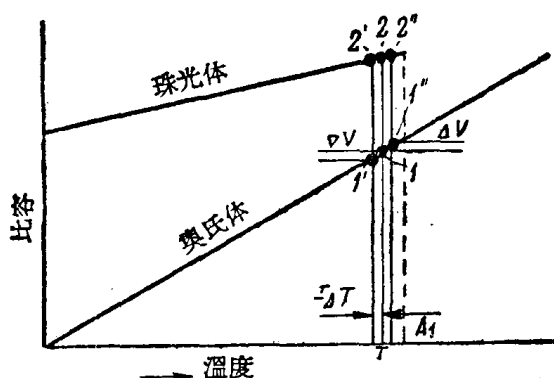


圖4 珠光体和奥氏体的比容的温度关系 (圖解)

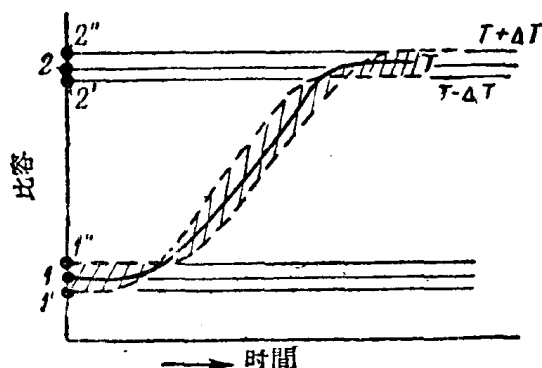


圖5 当温度为 $T \pm \Delta T$ 时, 在奥氏体转变为珠光体的过程中比容的变化

研究方案的特性和个别条件（溫度 $\pm \Delta T$ 範圍內波动）的不可能消除的實驗偶然誤差的后果。誤差要重新經過精确的計算和定量。

比較在完全相同的条件下应用兩種不同方法研究同一現象的可能結果，即可証实前面所講的关于實驗的偶然誤差的第一种来源的一般情况。誤差的大小首先取决于所选择的进行研究的主要方案。在研究奧氏体到珠光体的等溫轉變时，与測阻法相比較应当無条件地应用膨脹法。

現在我們来研究一下当采用某种（給定的或是选择的）主要研究方案时，在个别条件的总体作用下产生的偶然誤差的可能来源。

当用热电偶測量溫度时，可以用不同方法測定所产生的热电动势。我們假定，在該情况下利用分度值为 0.1 毫伏的指針式电流計，在另外一种情况下利用电位計电路。可以有把握地达到半个分度，也就是以达 0.05 毫伏的精确度測定指針式电流計讀数。設 1 毫伏相当于 100°C 溫度变化（鉑—鉑銻合金热电偶），就可以認為用指針式电流計測量时，測量溫度的最大誤差为 5°C ，在所研究的情况下应用电位計电路可以达 0.01 毫伏的精确度，也就是以达 1° 的精确度測量热电动势。

我們来研究第二个与尺寸有关的例子。依据条件的不同可以用毫米直尺，游标卡尺和千分尺測量試样的長度，用毫米直尺的測量精确度是半个分度，也就是 0.5 毫米；用游标卡尺的測量精确度是 0.1 毫米，而用千分尺的測量精确度則是 0.01 毫米。因此，以上三种測量方法的實驗偶然誤差將分別等于 0.5；0.1 和 0.01 毫米。

由此可見产生實驗誤差的第二种来源是在試驗方案中应用的仪器不精确。但是决不应当从这种情况做出这样的結論：無