

研究金属和 整理实验数据的方法

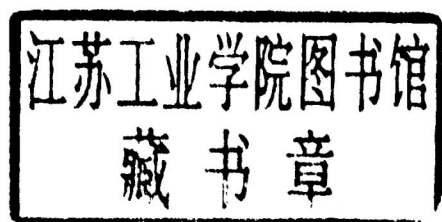
〔苏联〕M.E. 布兰契尔 著
欧阳可强 译

中国工业出版社

研究金属和 整理实验数据的方法

〔苏联〕M.E. 布兰契尔著

欧 阳 可 强 译



中国工业出版社

书中叙述主要研究方案的选择、计算仪器的精确度、试样的尺寸和形状以及研究的总精确度的方法。探讨在金属学中应用的现有的个别研究方法。指出整理试验数据的方法：结果的图示法和数学表示。叙述新的研究方法（统计法），其中包括定量金相分析。阐明同时应用许多方法进行综合研究的基础。

本书对象是冶金工厂和机器制造工厂的试验室中的工程师，科学研究所的研究人员，也可供高等冶金学校的学生阅读。

М. Е. Блангер
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ
И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ
Металлургиздат Москва-1952

* * *
研究金属和整理实验数据的方法

欧 阳 可 强 译

（根据冶金工业出版社重印）

*
冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑
（北京灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路西10号）

北京市书刊出版业营业许可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $14^{1/16}$ ·插页2·字数260,000

1959年8月北京第一版

1963年12月北京新版·1965年3月北京第二次印刷

印数851—4,900·定价（科六）1.80元

*
统一书号：15165·2979（冶金-495）

序 言

伟大的俄罗斯冶金学家 П.П. 安諾索夫的发现是和他所創造的新的研究方法，特别是显微镜分析有关联的。金相学之父 Д.К. 契尔諾夫的工作和热分析研究的发现及应用有关。Н.С. 庫尔納可夫創立并发展了新的研究领域即物理化学研究领域，其結果使金属科学的宝庫为极其重要的金属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长和不断完善的方法，来保証最大限度地滿足整个社会經常增长的物质和文化的需要》^①。

关于金属的科学——金属学——在苏联的技术发展上起的作用很大。

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别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长所引起的苏联科学，其中也包括金属学才有可能获得蓬勃的发展。

目前，苏联的金属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属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，35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、手冊和許多杂志的論文中均有关于这些方法以及个别設備、仪器和試驗技术的叙述。这些知識給研究人員提供了应用所叙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（个别涉及的問題可参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内容。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。我們預先对讀者对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. 格里堅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 實驗的精确度

金屬與合金的相變規律性或它們的物理-化學性質和機械性能的試驗研究均以在一定條件下得到原始實驗數據為基礎。這時，任何測定的精确度均取決於所選擇的總的主要方案和個別研究條件的總和。後者包括在試驗設備中採用的儀器的精确度和靈敏度，試樣的形狀、尺寸和製備精确度，加熱過程的控制精确度等。測定部份誤差並且隨後把這些誤差按照一定的法則加以綜合即可確定出實驗的最大可能誤差。

但是測定實驗精确度不僅僅是事實的消極確定，它還給科學研究人員提供參與科學研究過程的積極武器。單獨研究誤差的個別來源的原則有極重大的意義。它使我們有可能預先確定導致實驗總誤差的最大組成的因素，從而對在準備實驗設備的過程和研究過程中的主要誤差來源特別注意，也就是，使研究的精确度提高^①。讓我們用以下實例來說明這個總的情況。

研究元素在鐵的合金中的擴散現象時，等溫保持過程（溫度和時間的因素），為作化學分析用的試樣層的連續取樣和每層中所研究的元素含量的化學測定都是實驗誤差的來源。

在一般的實驗條件下得知， $\pm 5^\circ$ 的控制和測量溫度的精确度在 1000° 時將使誤差達到 $\pm 6\%$ 。以約 10 分鐘精确度測定等溫保持時間將導致 $\pm 0.7\%$ 的誤差。2.5 微米的取樣層的精确度平均得出 $\pm 0.7\%$ 的誤差。最後，0.02% 的擴散元素（碳）

① 在實驗的精确度，差誤（погрешность）和誤差（ошибка）之間有以下關係：實驗的精确度取決於測量值與真正值的偏差，也就是取決於實驗的誤差（差誤）。

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斷裂負荷作為表徵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，曾經查明斷裂負荷從 $19,000$ 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。但是如果測量斷裂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 $17,100 \sim 20,900$ 公斤和 $18,900 \sim 23,100$ 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。

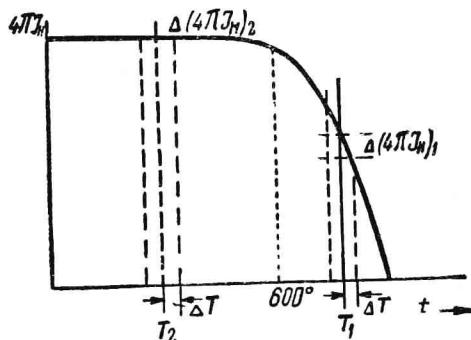


圖 1 磁化强度与温度的关系（图解）

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 $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 時轉變產物的显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檢流計的指針不在零點。這樣，在讀數時即將產生系統誤差。當用此種標度的檢流計並且指針偏离零點 0.2 毫伏時，此檢流計在指 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

實驗結果中的系統誤差。同時，應當指出，不可能用實驗誤差的一般數學理論計算系統誤差。如果不知道相應的修正值而在一系列測量中得到這種誤差，那麼就必須在修正過的條件下完全重複實驗。在這種情況下，實驗約系統誤差是研究人員的粗心或質量不夠高的標誌。

與系統誤差不同，偶然誤差不能從實驗中消除。但是它可以被發現和定量；這些誤差決定着實驗的精確度。實驗的偶然誤差是由於所選擇的主要方案和已知的具體研究條件的總體所固有的一切因素引起的。

為了說明預先分析為選擇研究方案所引起的偶然誤差的重要意義，我們來討論借測量電阻率(ρ)或用膨脹法研究相變的例子。

假設所研究的是在共析鋼中奧氏體的等溫轉變過程。

圖 2 所示為珠光體與奧氏體的電阻率與溫度的關係。奧氏體的電阻率呈綫性變化；珠光體的這種性質的特徵是在靠近臨界點處急劇增加。在研究溫度為 T ，奧氏體轉變為珠光體時，最初的電阻率（奧氏體的）由點 1 決定而最終的電阻率（珠光體的）則由點 2 決定。因此，在轉變過程中，整個電阻變化是由點 1 和點 2 之間的綫段的長短來決定的。假設在研究過程中，測量和控制溫度的精確度等於 $\pm \Delta T$ 。在這種情況下，觀測的電阻變化可能比平均變化約小 $\frac{1}{2}$ （綫段 $1'' \sim 2''$ ）或是大 $\frac{1}{3}$ （綫段 $1' \sim 2'$ ）。在這種條件下，重複測量將導致不同的結果，如圖 3 中的曲綫所表示。中部的實綫曲綫表示在溫度 T 保持不變的理想條件下，當奧氏體轉變為珠光體時，電阻的等溫變化曲綫（圖 2， ρ 從點 1 變化到點 2）。在最大正溫度偏差時（ $+\Delta T$ ）則變為上面的虛綫所表示（圖 2， ρ 從點 $1'$ 變到點 $2'$ ）；在極限負偏差時（ $-\Delta T$ ）則變為下面的虛綫所表示（圖 2， ρ 從點

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内的任何形状。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($\pm \Delta T$)來說, 上述实验誤差的出現十分有規律。这些誤差属于偶然誤差, 它們是不可能被消除的, 但是可以足够精确地計算它們的数值, 并且可以在分析研究結果时加以考虑。

在同样条件下的膨脹研究是以比容的变化, 即在溫度 T

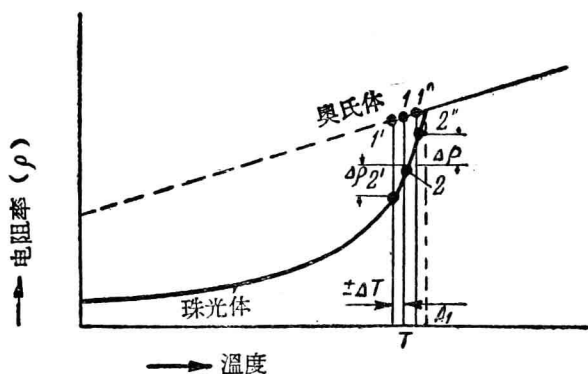


圖 2 珠光体和奥氏体的电阻率与溫度的关系 (圖解)

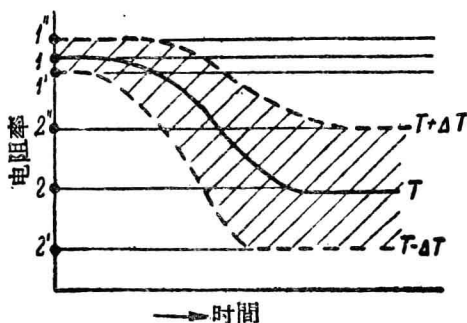


圖 3 当溫度为 $T \pm \Delta T$ 时, 在奥氏体轉变为珠光体过程中电阻率的变化

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

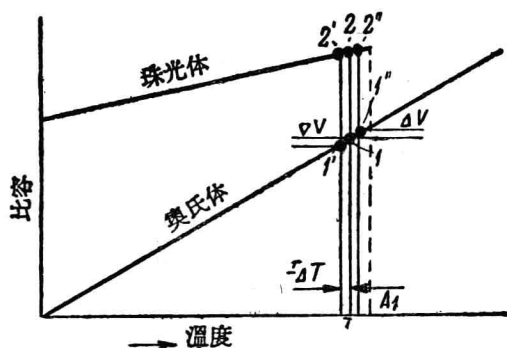


圖 4 珠光体和奥氏体的比容的温度关系 (圖解)

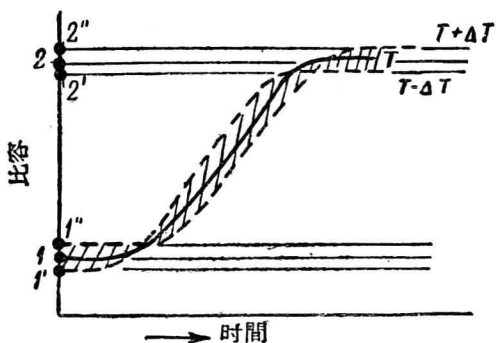


圖 5 当温度为 $T \pm \Delta T$ 时, 在奥氏体转变为珠光体的过程中比容的变化

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選擇的进行研究的主要方案。**在研究奥氏体到珠光体的等溫轉变时，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（給定的或是選擇的）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檢流計讀数。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檢流計測量时，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。但是决不当从这种情况做出这样的結論：無

限制地增高測量儀器的精確度，那麼由於測量誤差的不斷減小就可以無限制地使實驗的精確度增高。為了研究這個問題我們將敘述上述測量溫度和試樣尺寸的情況。

假定，在進行等溫試驗時，須要做上述溫度測量。這時，在第一种情況下，借變阻器用手來控制溫度。在第二種情況下，應用特殊恆溫槽來保證等溫條件。在實驗中用變阻器調節溫度時產生 $\pm 10^\circ$ 的波動；恆溫槽產生的最大偏差是 $\pm 2^\circ$ 。顯然，在用變阻器控制溫度的情況下，當溫度波動是 $\pm 10^\circ$ 時，應用電位計電路以達 1° 的精確度測量溫度將不能使實驗的總精確度顯著增高。在這種情況下，實驗的誤差決定於保持恆溫（ $\pm 10^\circ$ ）的誤差。反之，在精確度為 $\pm 2^\circ$ 的恆溫槽中自動控制溫度時，只有在應用電位計電路測量溫度的情況下才可以利用這種精確的控制。借指針式檢流計（誤差為 $\pm 5^\circ$ ）測量即不可能利用較完善控制溫度的方法所具的優點。

根據這些實例，可以確定一個总的原則：溫度的測量精確度應當與其控制精確度相適應。

分析測量尺寸的方法將得到相同的結論：假定，在一種情況下，製備試樣的精確度是 0.2 毫米，在第二種情況下是 0.01 毫米。顯然，在第一种情況下，借比例尺（以達 0.5 毫米的誤差）測量尺寸即不能利用精確度為 0.2 毫米的車床的加工精確度。借游標卡尺以 0.1 毫米的精確度測量可以使實驗誤差降低到與加工精確度相適應的極限。應用千分尺不能使試驗精確度增加，在該情況下試驗精確度決定於試樣製備精確度（0.2 毫米），而測量誤差（0.01 毫米）超過試樣的製備精確度達 20 倍。同時，對第二種以 0.01 毫米的精確度製備的試樣來說，應用千分尺才是必要的。

研究上述實例得出的結論是：實驗誤差出現的**第三種來源**