

計算解題裝置

[苏联] Я.В. 諾沃謝里采夫 著
A.H. 列別杰夫

上海科

內 容 提 要

本書敘述了供再現加法、減法、乘法、除法、微分、積分以及再現複雜、圖表和三角函數用的電氣計算裝置和機械計算裝置之原理與計算。

書中也研究了裝置的機械和電路簡圖，裝置的輔助元件(機件)以及將給數引入裝置的各種方法。

本書是中等技術學校儀器製造專業“計算裝置”課程的教科書，並對高等工業學校的相當專業的学生以及從事於計算、設計、製造和試驗計算裝置和自動裝置的工程技術人員們也有幫助。

計 算 解 題 裝 置 СЧЕТНО-РЕШАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

原 著 者 (蘇聯) Н. В. Новосельцев
А. Н. Лебелен

原出版者 МАШГИЗ 1954 年版

譯 者 吳 震 亮 陸 仲 申

*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

新華書店上海發行所發行 各地新華書店經售

上海市印刷五廠印刷

*

開本 850×1168 1/32 印張 12 28/32 字數 317,000

(原科技版印2,500冊 1957年3月第1版)

1958年9月第1版 1960年4月第3次印刷

印數 2,001—3,700

統一書號: 15119 · 482

定 價: (十二)1.75元

原 序

在最近 15~20 年來，計算技術在極其廣大的科學領域中得到了發展。在它的發展過程中，曾創造過優良型式的計算裝置及其系統的蘇聯學者和工程師們起了巨大的作用。可以不加誇大地說，現時蘇聯的計算技術在世界上占着領導地位。

在最近幾年內，計算裝置很快的被應用於各種不同的技術領域中：自動控制，遙遠控制，電工測量技術，測量實地工作及地球物理實地工作等等。

對闡明計算裝置的理論與實踐方面現狀的技術書籍，感到有很大的缺陷。自然，這本中等技術學校儀器製造專業所用的教科書是不可能完全的補足技術書籍中所存在的缺陷。

顧到中等技術學校學生們數學修養的水平；書中，各章節的數學分析頗為簡單，而在某些場合下甚至完全省略。

在很長的一段時間內，計算裝置主要是在機械計算裝置的基礎上發展起來的。以此為基礎，H. И. 彼契爾尼柯夫，A. A. 比爾斯嘉，C. O. 陀勃洛古斯基和其他的作者們都曾寫作了教科書和教學參考書。

在最近十年來，電氣計算裝置得到了非常蓬勃的發展。關於它的理論，在技術書籍中還敘述得遠不夠詳盡。

在本書中，介紹二種類型的計算裝置。書中的每一章各敘述一種計算裝置（例如，計和裝置，乘法裝置等）的原理。每一章中又分為二節：在第一節中研究機械計算裝置，而在第二節中研究電氣計算裝置。

作者認為，本書不僅可用作為中等技術學校學生們的教科書，

而且也將有益于相当專業的高等學校的學生們以及儀器製造工業和其他一些工業部門中的工程技術人員。

本書是幾個人集體勞動的結果：III, IV, V, VI, VII 章是由技術科學候補博士 Я. Б. 諾沃謝里采夫寫作的；I, II, VIII 章是由技術科學候補博士 А. Н. 列別杰夫寫作的；以及技術科學候補博士 В. Б. 斯莫列夫寫了“函數的近似再現”一節和技術科學候補博士 Г. И. 塔哈瓦諾夫寫了“放大器”一節。

作者將誠懇地感謝讀者們對本書提出的批評性的意見，以便再版時得以改正。

目 錄

原序.....	i
概論.....	1
第一章 計算裝置中數學量的引入和傳遞.....	9
§1. 比例尺和周值的概念.....	9
§2. 將給數引入計算裝置的方法.....	14
第二章 計算裝置及計算儀器的輔助元件.....	25
§3. 軸.....	25
§4. 導軌.....	30
§5. 螺旋傳動.....	42
§6. 齒輪傳動.....	49
§7. 聯軸器.....	76
§8. 制動器.....	88
§9. 讀數機構.....	91
§10. 操縱器.....	97
第三章 計和裝置.....	98
§11. 機械計和裝置.....	98
1. 直尺式計和裝置	
2. 圓形計和標度盤	
3. 螺桿式計和裝置	
4. 槓桿式計和裝置	
5. 差動器	
§12. 電的計和裝置.....	117
1. 用自整步機計和	
2. 電壓計和	
3. 電流計和	
4. 電阻計和	
5. 電的計和裝置之比 例尺的計算	
第四章 乘法裝置和除法裝置.....	131
§13. 機械乘法裝置.....	131
1. 不變比例尺乘法裝置	
2. 可變比例尺乘法裝置	
3. 常量乘數與變量的乘法	
4. 平方-除法裝置	
§14. 電的乘法裝置.....	153
1. 用電位計做乘法	
2. 用旋轉變壓器做乘法	
3. 利用橋式綫路圖的乘法 運算	
第五章 再現三角函數關係的計算裝置.....	167
§15. 再現三角函數關係的機械 裝置.....	167
1. 正弦結構器	
2. 座標器	

3. 二個分矢量的自動合成
4. 座標器矢量自動合成工作的穩定性條件
5. 正切結構器
6. 斜角三角形結構器
7. 空間結構器

- §16. 再現三角函數關係之電的裝置..... 200
1. 正弦旋轉變壓器
 2. 正弦-餘弦旋轉變壓器
 3. BT 串級綫路圖的構造
 4. 正弦-餘弦電位計
 5. 計算裝置的電-矢量解題法

第六章 再現複雜函數及圖表關係的裝置..... 221

- §17. 再現複雜函數的機械裝置..... 221
1. 機械曲綫圖
 2. 不均勻的標度器
 3. 平板凸輪
 4. 錐體凸輪
 5. 非圓形齒輪

- §18. 再現複雜函數之電的裝置..... 226
1. 函數電位計
 2. 應用綫電位計的仿型方法來再現複雜函數
 3. 複雜函數由機械模型轉為電學模型的變換
 4. 供函數作近似再現用的裝置

第七章 微分裝置和積分裝置..... 293

- §19. 機械的微分裝置和積分裝置..... 293
1. 盤形的摩擦計算器
 2. 菌形的摩擦計算器
 3. 球形的摩擦計算器
 4. 圖解速度計
 5. 平均速度計
 6. 迴轉儀式的速度計

- §20. 電的微分裝置和積分裝置..... 343
1. 直流速度計
 2. 磁鉄式速度計
 3. 微分傳動与積分傳動
 4. 電容-電阻電路
 5. 電感-電阻電路和變壓器電路
 6. 放大器

第八章 計算儀器的機械簡圖和電路簡圖..... 371

- §21. 計算裝置的簡圖..... 371

- §22. 計算裝置的標準計算..... 379

附錄..... 390

概 論

在工程上,当利用数学上的最新成就来解决各种实际问题时,往往会使数学计算复杂化,并使数学计算的分量增加。

由于有必要使计算过程简化,迅速和减少人的劳动力,促使出现了各种自动或半自动来求解各种数学问题的数学装置。利用这些装置能大大地加速运算,而这些运算可以委托技术水平较低的工作人员来完成。

只要遵守数学装置在设计上和运用上所规定的各种条件,则由这些装置所再现的任何数学结果,在实用中可以達到完全足够的準確度。

現時所采用的数学装置可以分为:

1. 数学儀器;
2. 计算机;
3. 分析计算机;
4. 数学计算机;
5. 计算装置(计算机机构和计算儀器)。

数学儀器是供在紙張上完成各种数学运算用的,属于数学儀器的有,例如,供標繪曲綫和測定已知曲綫上各點座標用的座標測繪器,供繪製所給曲綫上任何一點处之切綫用的微分儀和由描繪平面圖形的边界以確定其面積用的面積計等等。

計數机或计算机用于对各不同数目自動的進行算術运算。

使用者通常用手按揷鍵盤,將原始數據以數字形式定在这些机器上。然後,在某一時間內,对所引入的數字完成簡單的算術运算——加法、減法、乘法和除法。

乘法運算和除法運算是通過反覆的加法運算和減法運算來完成的。

由機器所作出的結果，使用者是以數字形式來計讀的。每當進行新的算術運算時，要在機器上重新定出所有的原始數據。

我們非常熟悉的加法機，就是計算機的一個例子。

分析計算機也是供自動作出算術運算用的。它與計算機的區別是：在這些裝置中，一切運算的數字都以號碼形式記錄在所謂穿孔的卡片上，然後再使該卡片接受進一步的機械處理。

數學計算機用于求作各種常微分方程式及方程組或偏微分方程式及方程組的數值解。

計算裝置（就是本書所要敘述的裝置）用于再現下列形式的函數：

$$z = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \Phi(t).$$

計算裝置的優點是，它能根據隨間隔時間 t 而作連續變動的函數 z 之各宗數

$$x_1 = f_1(t); x_2 = f_2(t) \dots \dots; x_n = f_n(t)$$

來連續的作出函數 z 的數值。

大概在發生交易及商務資本主義開始發展的時代，當有了業務上的計算以後，就出現了各種最簡單的數學裝置。

俄國的科學技術思想很早就對數學裝置的理論及設計方面的發展予以極大的注意。如所周知，例如，早在 18 世紀俄國的力學家 T. И. 伏洛斯基 (1729~1806 年) 曾創造了能自動作出必要的計算和表示年月的天文時計。

力學家克拉西爾尼柯夫創造了許多數學儀器，其中包括有 1820 年創造的放圖器。

П. И. 扎洛賓于 1854 年研究並創造了帶有積分滾子的面積計，其式樣遠較國外的為完善。

偉大的俄國數學家兼力學家 П. Л. 切貝歇夫 (1821~1894

年)于1882年發明了新穎的連續運算的計算機,并創造了很多數學儀器,其中包括有曲率測量器。

在1890年,彼得堡國家文據印製局的工程師阿德聶爾發明了可變齒數的齒輪并創造了獨特的計算機。阿德聶爾所發明的齒輪直到現在仍被廣泛地應用着。約有40餘種型式的計算機是根據阿德聶爾機器的原理而工作的。

在1904年,A. H. 克磊洛夫院士最先研究出供四級以下微分方程式積分用的數學計算機之原理圖并作出了其設計。這種計算機的要件之一就是由A. H. 克磊洛夫所最先發明的,以定出二個相似三角形為基礎的不變比例尺乘法機構。不變比例尺乘法機構在近代仍还被廣泛地應用着。

在19世紀末與20世紀初,由于有來復綫大炮的發展和海上軍艦的航速顯著增加等原因,而出現了一些控制艦上大炮與海岸大炮的射擊的儀器。這就是最初的計算裝置。在這些最早的計算裝置類型中,由俄國發明家A. П. 達維杰夫和B. Ф. 彼德洛歇夫斯基所發明的儀器是值得注意的。

在1911年,俄國海軍艦隊的武器上曾采用過以蓋斯雷爾系統(Системы Гейслера)為名的控制軍艦大炮射擊的儀器,它是在俄國的天才設計師H. A. 費陀利茨基領導下而設計成的^①。這個系統乃是各種不同性質計算裝置的複雜的綜合,并且在當時就已超過了國外最優良的產品。

從第一次世界大戰開始起,計算裝置有着顯著的加速發展。對空射擊目標——飛機——的出現,促使產生了高射炮火控制儀器(ПУАЗО)。ПУАЗО的最初樣品之一,在1914年製造于彼得堡的愛里克孫公司。它是由服務于該公司的俄國工程師們和技術員們所設計和製造的。

該儀器的主要設計師之一Я. Н. 彼烈彼爾金所發明的Z形

① 這一事實係由海軍少將B. A. 葉郭洛夫告知作者

乘法機構是該儀器的要素之一。Z形乘法機構在近代也还被廣泛地應用着。

在偉大的十月社會主義革命後，主要是在斯大林五年計劃時代，數學裝置在蘇聯獲得了特別巨大的發展。

在1925年，C. A. 蓋爾斯古里教授首先發明了求作偏微分方程式積分用的儀器。

在1941年，П. Г. 勃羅也維奇院士研究出了計算裝置準確度的理論基礎。

一種很感興趣的儀器——電子真空管積分儀——在最近幾年中是由斯大林獎金獲得者 Л. И. 古席馬嚇爾和 Н. В. 柯洛爾哥夫所創製的。

在計算裝置的領域中，還必須指出 С. Н. 卡拉西尼柯夫，С. А. 伊捷別克，Н. И. 彼契爾尼柯夫，Б. И. 斯大尼斯拉維斯基，Ф. В. 馬依洛夫和其他等人的工作。

從歷史上說來，計算裝置曾最先應用於軍事技術領域中。往後它們被應用得更加廣泛。各種計算機構在很早就已經成為各種自動裝置、遙控裝置和電工測量裝置的不可分割的部分了。在最近幾年來，某些計算機構曾應用於測量工作中以加速測量中的計算，以及應用於冶金工業中來迅速的計算爐料。

能將各種裝置作為計算裝置來用，是建立在相似方程式這一基礎上的，即由各該裝置的本質現象所寫成的方程式應與所欲求解的方程式有相似的性質。

同一個數學方程式組或甚至同一個數學方程式，可以描寫一些從物理上來說是完全不同的現象。

我們來研究幾個例子：

1. 質點所作的路程的改變，寫成方程式為

$$\Delta s = vt, \quad (I)$$

式中 Δs — 路程的改變；

v ——質點的運動速度；

t ——質點的運動時間。

2. 在某一電阻上的電壓降，由下列方程式決定：

$$U = ir, \quad (\text{II})$$

式中 U ——電壓降；

i ——電流；

r ——電阻。

3. 在以作出二個相似三角形為基礎的乘法機構中，從動構件的運動規律有下列形式：

$$L_3 = \frac{1}{C_n} L_1 L_2, \quad (\text{III})$$

式中 L_1 和 L_2 ——主動構件的位移；

L_3 ——從動構件的位移；

C_n ——機構的結構常數。

4. 以一個自變量 x 乘另一自變量 y ，其乘法運算的普遍形式可以表示為

$$z = xy. \quad (\text{IV})$$

所有這些方程式在形式上和結構上都是相似的。由於這一情況，使我們可以利用運動規律符合 (III) 式的機械裝置或方程式為 (II) 的電氣裝置作為自動完成各種運算的計算裝置。例如，以 v 乘 t 得出 Δs ，或者說以 x 乘 y 得出 z 值。

在第一种情形下，位移 L_1 與 L_2 必須有比例於速度 v 與時間 t 的變動；於是 L_3 將自動比例於 Δs 的移動。

方程式 (III) 所描寫的現象，同時也就是由方程式 (I) 所描寫的那種現象的數學模型。

在第二种情形下，電流 i 必須有比例於速度 v 的變動，而電阻 r 必須有比例於時間 t 的變動；於是電壓 U 將自動比例於 Δs 的移動。在此情形下，由方程式 (II) 所描寫的現象，將是由方程式

(I)所描寫的現象的模型。

以上指出的機械裝置和電氣裝置，也可以認為是一般乘法運算的模型，因為乘法運算仍然是由相似的方程式(IV)所決定。

必須指出，真實現象的模型化方法在近代应用得非常廣泛。當不論因何種原因而不可能直接去研究某一種現象時，總是採用模型法來解決的。此時，無論對從真像模仿下來的縮小對象，或者對在物理上講雖然它所表現的是另外一種現象，但描寫這種現象的方程式却與真像的相同的裝置，都同樣可以合理地進行研究。

在第一种情形中的模型化的方法稱為物理模型法。這時，二個相對現象本質相同，只在數量上有所差別而已。

在第二种情形中的模型化的方法稱為數學模型法。它的目的是求解已知方程式，而这是可以由各種不同的方法來實現的。

剛才敘述過的知識，使我們得到下述的定義：

計算機構是作出某些較簡單數學運算的數學模型，利用這種數學模型使我們能够在原始數據的變動範圍內，以自動或半自動的方法來連續地再現數學運算。

所謂最簡單的數學運算，這裏可以了解為是這樣一種運算，即它是再現某些不多于二個自變量的函數 $Z = F(x, y)$ ，例如：

$$z = x + y;$$

$$z = xy;$$

$$z = x \operatorname{tg} y;$$

$$z = x \sin y;$$

$$z = \frac{d}{dx} f(x);$$

$$z = \int_a^b f(x) dx.$$

我們稱裝在同一個機殼內具有各種輔助元件（標度盤，手柄，同步裝置和隨動系統）的一個或幾個計算機構之綜合為計算儀器。

因此，計算儀器是這樣一種裝置，它再現各種各樣的，有時是極其複雜的函數，其普遍形式為

$$z = F(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

這些儀器是以全自動化或半自動化的方式工作的。

任一計算裝置的工作，是由作為裝置基礎的物理現象的變化所決定。如果計算裝置按照這種物理現象的類別而分類，即按照動作的原理而分類，則可以將各種機構區別為：機械的、電氣的、光學的和液力的等等。必須注意，原則上任何物理的規律性，都可以認為是創造計算裝置的基礎。

根據計算裝置所再現的數學運算之性質，可以把計算裝置分為

- 1) 計和裝置；
- 2) 乘法裝置和除法裝置；
- 3) 求解三角函數問題的裝置；
- 4) 再現複雜函數和再現已知的圖表關係的裝置；
- 5) 微分裝置和積分裝置。

對計算裝置所提出的要求極其嚴格，並常常發生矛盾。主要的要求有：

1. 機器的尺寸要小，但再現的數學結果要有很高的準確度。

在上述最為重要的要求內，對於許多計算機構，特別是依據機械原理而動作的機構，包含有內在的矛盾：如以後將要解釋的，提高機構的準確度可以用減小比例尺的辦法來達到，但當減小比例尺時卻必須增大裝置的尺寸與重量。只有電氣計算裝置才能最完全地滿足這一要求。

2. 工作的可靠性。這對於任何裝置來說都是重要的。這個要求主要歸結為：對溫度，濕度，外來衝擊，震動等等的影響不敏感性。

3. 製造與使用要簡易。做到這個要求的前一部分，就能保證

儀器的廉價，而做到它的後一部分，就能使技術比較不高的人員，也能够運用它。

不难看出，在這個要求中也存在有矛盾。爲要達到使用上的簡便性，可以用自動化來充實儀器，但这就必然会引起裝置在構造上，因而在製造上的複雜化。

4. 工作時間要短。在使用計算裝置的工作時間內，应即作出數學問題的解答結果。当然，工作時間希望儘可能地縮短。電氣計算裝置能在最大程度上滿足这一要求。

5. 裝置各個部分的元件和机件要有很好的互換性。這個，在實際工作中極爲重要，因爲机件的互換性能使机件在損壞後的修復非常便利和迅速。

也应当指出計算裝置在設計上和計算上的特點，这些特點取決于裝置的特殊用途、工作條件和在各個机件上無重大的載荷等等。

在設計計算裝置時，幾乎完全沒有計算強度(彎曲、扭轉等等)的必要。但強度計算在機器製造中却是常常必要的。原則上計算裝置是根據解題準確度的給定條件來設計的。誠然，根據所作出的設計草圖要進行所謂作用力的計算，但其目的不在于了解強度而只是要確定作用在主動元件上的載荷，從而明瞭可以利用何種電動機。如果，此時在某些元件或机件上顯示有較大的載荷，例如，在軸上有較大的扭矩時，則這樣的構件就得加以驗算，照例，不是驗算強度而是驗算剛度，而算出这些構件因彈性變形而產生的誤差。通常在構造上所選用的机件尺寸總是能保證強度的。

第 一 章

計算裝置中數學量的引入和傳遞

§1. 比例尺和周值的概念

在計算裝置中，數學量可以通過各種不同的物理過程來再現：
機械位移，電壓和電流等等。

如果以某一物理量 N 來再現數學變量 x ，那末這就是說，在這二個量的數值上應該有精確的比例關係，即應該用下列的比例係數把它們連繫起來：

$$K_N = K_x = \frac{x}{N}. \quad (1)$$

比例係數 K_N 或 K_x 稱為 x 量或 N 量的比例尺。

從上述關係可見，比例尺乃是被再現的數學量對再現它的物理量之比值。在數量上，比例尺是以單位物理量計的數學量之單位數來表示的，該物理量通過它自己的變動來再現給定的數學量。

為了使任何計算裝置能正確的作出它所要解的數學函數，就必須保證，包含在數學函數中的所有變量和再現這些變量的所有物理量之間有成比例的關係。而首先必須對計算裝置的給數保持有這個比例關係，因為從它們被引入到裝置起，就開始進行解題的過程了。

由此得出結論：在計算裝置中，比例尺的概念具有極重要的意義，因此有必要對這個問題作更詳盡的討論。

描述須藉助計算裝置而自動再現之數學運算的公式稱為被自

動化公式,例如

$$z = x + y \text{ 或 } z = \frac{x}{y} \text{ 等等} \quad (2)$$

描述數學模型,即計算裝置的公式稱為自動公式,例如

$$L_a = L_o + L_n, \quad (3)$$

式中 L_a 、 L_o 和 L_n ——機構中某一機件之絕對位移、相對位移和牽連位移;

或

$$i = \frac{U}{r}, \quad (4)$$

式中 i ——電流;

U ——加在導體上的電壓;

r ——該導體的電阻。

當利用任何裝置作為計算裝置時所必須遵守的首要條件,在於被自動化公式要與自動公式相似或相應。

企圖利用式 $i = \frac{U}{r}$ 來自動再現 $z = x + y$ 這一形式的函數是毫無意義的,但如應用機件的運動規律符合公式(3)形式的機構來自動再現上式却是完全合理的。

在此情形下,相對位移 L_o 的變動應當比例於宗數 x ,而牽連位移 L_n 的變動應當比例於宗數 y 。顯然,只有在滿足這個條件時絕對位移 L_a 的變動才與以下數量成比例

$$z = x + y.$$

在應用自動公式(3)來再現和數 $z = x + y$ 的裝置中,具有三個比例尺:

1) 被加數 x 的比例尺(或相對位移 L_o 的比例尺):

$$K_x = \frac{x}{L_o} = \frac{x \text{ 單位}}{L_o \text{ 公厘}} \quad (5)$$

2) 被加數 y 的比例尺(或牽連位移 L_n 的比例尺):

$$K_y = \frac{y}{L_n} = \frac{y \text{ 單位}}{L_n \text{ 公厘}};$$

3) 和數 z 的比例尺(或絕對位移 L_o 的比例尺):

$$K_z = \frac{z}{L_o} = \frac{z \text{ 單位}}{L_o \text{ 公厘}}.$$

在应用自動公式 $i = \frac{U}{r}$ 來再現商 $z = \frac{x}{y}$ 的電氣裝置中,將

有下列三個比例尺:

1) 被除數 x 的比例尺(或電壓 U 的比例尺):

$$K_x = \frac{x}{U} = \frac{x \text{ 單位}}{U \text{ 伏特}};$$

2) 除數 y 的比例尺(或電阻 r 的比例尺):

$$K_y = \frac{y}{r} = \frac{y \text{ 單位}}{r \text{ 歐姆}};$$

3) 商數 z 的比例尺(或電流 i 的比例尺):

$$K_z = \frac{z}{i} = \frac{z \text{ 單位}}{i \text{ 安培}}.$$

任何計算裝置的比例尺都不可以完全任意的選定,而它应当完全滿足于各個別情形中已經確定的條件。假定我們在這裏所討論的是应用自動公式(3)來再現

$$z = x + y \quad (6)$$

的計和裝置。

則在安置 x 和 y 的數值時,我們使裝置的對應機件之相對位移和牽連位移,各與 x 和 y 的數值成比例,即

$$L_o = \frac{x}{K_x};$$

和

$$L_n = \frac{y}{K_y}.$$

此時,機件的絕對位移等于