

实用度量学

黄清渠 編



北京科学教育編輯室

1962年5月

實用度量學

編輯者：哈爾濱工業大學黃清渠

出版者：北京科學教育編輯室

印刷者：哈爾濱工業大學印刷廠

1962年5月第一版第一次印刷

印數1—800冊

工本費2.94元

目 录

第一章 緒論.....	(1)
§ 1—1 測量技術在科學技術與生產中的意義和作用.....	(1)
§ 1—2 測量的基本概念.....	(1)
§ 1—3 實用度量學的任务.....	(8)
第二章 技術測量精度可靠的保證——度量的統一.....	(9)
§ 2—1 國民經濟中度量統一的意義.....	(9)
§ 2—2 長度度量的系統.....	(9)
§ 2—3 尺寸傳遞的道路和方法.....	(10)
§ 2—4 工廠企業中的中央計量室.....	(12)
第三章 誤差理論.....	(14)
§ 3—1 誤差理論的任务及誤差的分類.....	(14)
§ 3—2 偶然性誤差.....	(16)
§ 3—3 規律性誤差.....	(27)
§ 3—4 疏忽誤差和大誤差.....	(39)
§ 3—5 直接測量系列的測量結果的處理方法.....	(42)
§ 3—6 間接測量系列的測量結果的處理方法.....	(44)
§ 3—7 微小誤差的取捨.....	(49)
§ 3—8 誤差理論的第二個課題.....	(49)
§ 3—9 誤差理論的第三個課題.....	(53)
§ 3—10 整理運算結果的准則.....	(53)
§ 3—11 不等精度測量.....	(55)
§ 3—12 最小二乘法.....	(58)
§ 3—13 物理量之間的研究.....	(61)
§ 3—14 誤差理論具體運用舉例.....	(69)
第四章 測量方法的正確選擇及其誤差的分析計算.....	(76)
§ 4—1 測量方法的總誤差.....	(76)
§ 4—2 測量器具的選擇.....	(79)
§ 4—3 被測量工件的精度特性對測量結果的影響.....	(88)
§ 4—4 測量基面的選擇原則和定位誤差.....	(90)

§ 4—5	标准件的精度特性对测量结果的影响	(99)
§ 4—6	接触式测量中测量力和触点性质对测量结果的影响	(102)
§ 4—7	非接触式测量中各种方法的特点和对测量结果的影响	(111)
§ 4—8	客观条件中各因素对测量结果的影响	(116)
§ 4—9	主观条件对测量结果的影响	(126)
§ 4—10	测量方法总误差的计算举例	(129)
第五章	长度块规的检定	(133)
§ 5—1	长度块规的简述	(133)
§ 5—2	光波干涉的原理	(134)
§ 5—3	技术光波干涉法	(138)
§ 5—4	相对光波干涉法	(144)
§ 5—5	绝对光波干涉法	(147)
第六章	圆柱形尺寸的测量	(156)
§ 6—1	接触式测量圆柱形尺寸的基本方法及其误差分析	(156)
§ 6—2	小孔测量	(164)
§ 6—3	大尺寸测量	(172)
第七章	几何形状偏差的测量	(187)
§ 7—1	圆柱表面的几何形状偏差	(187)
§ 7—2	圆柱表面的几何形状偏差的个别测量	(187)
§ 7—3	圆柱表面的几何形状偏差的综合测量	(194)
§ 7—4	综合误差的分析方法——谐波法	(195)
§ 7—5	平面的平面性和直线性偏差的测量	(197)
第八章	相互位置尺寸及其偏差的测量	(200)
§ 8—1	相互位置尺寸的分类	(200)
§ 8—2	坐标尺寸的基本测量方法	(200)
§ 8—3	封闭的、均匀对称分布的坐标尺寸的测量	(203)
§ 8—4	封闭的、非均匀对称分布的坐标尺寸的测量	(206)
§ 8—5	非封闭的、均匀对称分布的坐标尺寸的测量	(207)
§ 8—6	非封闭的、非均匀对称分布的坐标尺寸的测量	(209)
§ 8—7	空间坐标尺寸的测量	(211)
§ 8—8	相互位置偏差的分类	(212)
§ 8—9	不同心度的测量	(213)
§ 8—10	径向振摆的测量	(218)
§ 8—11	不平行性的测量	(219)
§ 8—12	不垂直度的测量	(220)
§ 8—13	不重合度的测量	(223)
§ 8—14	不对称性的测量	(223)
第九章	角度测量	(225)

§ 9—1	角度块規的測量.....	(225)
§ 9—2	用正弦規測量角度的方法.....	(228)
§ 9—3	用滾柱或鋼球等間接測量角度的方法.....	(231)
§ 9—4	工具顯微鏡測量角度的方法.....	(233)
§ 9—5	多邊形角度的測量方法	(234)
§ 9—6	其他測量方法.....	(235)
參考資料.....		(236)

第一章 緒 論

§ 1—1 測量技術在科學技術與生產中的意義和作用

科學和技術的進步是和測量的方法、技巧的完善程度緊密相連系的。德·依·門德列也夫說過：“科學，只有當人類懂得測量時才開始的”。由於世界是物質的，而一定的質又是由一定的量來決定。因此要想掌握物質的自然規律，必須知道這些構成某一物質的量的規律，而要想知道這些規律只有通過測量才能實現。因此測量是人類認識自然的主要武器。借助於測量，人們才可能發現許多自然中的規律，並且利用這些規律來為人類服務，來改造自然世界。例如門德列也夫的元素周期表、人們對電磁場的認識，以及現在的对宇宙的探索都充分的說明了這一點，沒有測量和相應的儀器是什麼也實現不了的。

不僅在科學上是如此，在生產技術中也是如此。在黨的鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社會主義的總路綫指導下，我們已經提前完成了第二個五年計劃的主要指標。今年在黨的“調整、鞏固、充實、提高”的八字方針下，在工業生產中努力提高產品質量，增加必需的產品品種是這方針中的一個主要內容。而這些都是和測量技術（計量）完全分不開的，沒有測量工作，想要提高產品的質量，增加產品的品種，那是不可能的。準確的測量才能保證生產的正常進行；提高勞動生產率；保證產品的質量，保證新產品的試制，並且達到最低的廢品率。我們知道，近代的機器製造業所以能大規模和高速度的進行生產，是由於對機器中的零件實行標準化的結果。零件的標準化，保證了它的互換性，因此就有可能精細的分工、進行流水生產和自動化生產。這樣它就能夠大大地提高產品的質量、節約原材料、降低成本、提高勞動生產率，更迅速的滿足經濟建設不斷高漲的需要和提高工業生產的水平。這就是互換性生產的優越性。但是，零件的標準化、零件的互換性，除了制定標準外，更重要的是需要可靠和精密的測量（計量）工作才能實現。沒有它，互換性生產的一切優點都是無法實現的。

因此，測量工作是衡量一個國家經濟和科學技術發展水平的重要尺度之一。測量的精度和水平愈高，也就標誌着一個國家的生產技術和科學的水平愈高。但是正如毛主席說的：“馬克思主義者認為人類的生產活動是最基本的實踐活動，是決定其他一切活動的東西”。也就是說生產和科學技術的發展是推動測量工作的決定因素。生產和科學技術的發展，推進了測量技術的發展；反過來，由於測量技術的向前發展，又促進了生產和科學技術的向前發展。也就是說它們的發展是互相影響的，它們之間的關係是互相制約的辯證統一。

由上說明：測量與生產、科學技術之間的關係，以及它的重要性。因此對於從事測量技術的工作者必需牢固的樹立為生產服務的观点，一切脫離生產實際的做法都將是錯誤的。

§ 1—2 測量的基本概念

世界上有着各種各樣的物體，這些物體都具有不同的大小、形狀、狀態與運動等性

質。這些性質的量在科學中通常稱它為物理量。而測量一般都是指對物理量的測量。這門課主要是研究機器、儀器製造業中的尺寸、角度等物理量的測量。

所謂測量：就是用一个做為測量單位的量和某一物體的物理量進行比較，確定它是測量單位的若干倍或幾分之幾。

譬如：在測量中採用 E 做為測量單位，並設所測的物理量為 Q ，這樣測量的結果 n 根據測量的定義可寫成下式：

$$n = \frac{Q}{E} \quad (1-1)$$

這公式的物理意義說明了測量結果（ n ）完全決定於測量單位（ E ）的大小。對同一物理量 Q 而言，採用小的測量單位所得到的測量結果，要比採用較大的測量單位所得的結果來得大。

將（1—1）式移項後可得：

$$Q = nE \quad (1-2)$$

式（1—2）稱為最基本的測量方程式，公式說明所測之物理量等於選用的測量單位與用它進行比較後所得測量結果的相乘積。

如果對同一物理量 Q 用不同的測量單位 E_1 和 E_2 進行比較，那麼根據（1—2）式可得二方程式：

$$Q = n_1 E_1 \quad (a)$$

$$Q = n_2 E_2 \quad (b)$$

既然同一的物理量，則由（a）和（b）式可得：

$$n_1 E_1 = n_2 E_2$$

移項後得

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_1}{E_2} \quad (c)$$

$\frac{E_1}{E_2} = K$ ——稱它為轉換係數。

則（c）式又可改寫成：

$$n_2 = K n_1 \quad (1-3)$$

這式說明了用不同的測量單位所得的測量結果之間的關係，因此如已知用 E_1 ，所得測量結果為 n_1 ，而想求用另一測量單位 E_2 所得之測量結果時，只要將轉換係數（ K ）上原來的測量結果（ n_1 ）便可。

由上可知：測量過程是一個物理實驗的過程。測量包括了四方面的因素，一、測量對象；二、測量的單位；三、測量的方法；四、測量的精度。

測量的對象 在機器製造業中可能有各種不同的長度與角度的參數。例如：圓柱尺寸、幾何形狀偏差、相互位置及其偏差、螺紋、齒輪以及表面光潔度等等。

測量單位 在機器製造和儀器製造業中採用公制單位。長度中通常以毫米（ mm ）為本單位。在精密測量中也常用微米（ μ ）為單位。在角度中所採用的為度、分和秒為單。舊制的角度單位之間的關係：1周=360°，1°=60′，1′=60″。在運算和使用中均不便。最近有些國家已採用新制，新制中：

$$\begin{aligned} 1\text{周} &= 400g \text{ (度)}; & \text{直角} &= 100g; \\ 1g &= 100^{\circ} \text{ (分)}; & 1^{\circ} &= 100^{\circ\circ} \text{ (秒)}. \end{aligned}$$

測量方法 是指在进行測量时所采用的測量器具和測量条件的总和，这总和所指的是：

- 1) 具有一定的度量特性的測量器具（包括量具和測量儀器）；
- 2) 被测工件的精度特性；
- 3) 标准器具或做为标准件的零件的精度特性；
- 4) 測量基面及其定位；
- 5) 接触測量的触点性質和測量力；
- 6) 非接触測量的特性；
- 7) 測量的溫度条件；
- 8) 測量的其他客观条件（湿度、振動等）；
- 9) 在被測物表面上进行測量的点或者綫段的数量及其分布情况；
- 10) 讀数时的条件；

11) 获得測量結果的方式。譬如：是絕對測量或比較測量，是直接測量或間直測量，是測出其真實值或限制在允許的極限值內，是用眼讀出測量結果或是用机械的方法得到測量結果等等。

因此，在对被測物的某一参数进行測量以前，首先的任务：就应考虑它所有的要求。如：它的性質、参数以及檢驗它的条件等来选择正确的測量方法。測量者或設計者应提出：用怎样的方法来实现这工件的檢驗？此时可以用怎样的測量器具？它的檢驗生产率怎样？測量誤差又有多大等等。經過这一系列的分析以后，測量者才可能开始进行測量，如需专用測量器具就必须根据分析的结果进行設計。

在实际中往往并不是以这总和（广义的）来了解測量方法，而只是用它的局部内容來說明它。也就是狭义的測量方法，即单纯从获得測量結果的方式来理解測量方法。例如：間接測量或直接測量等等。

現在詳細的对获得測量結果的方式的类型进行討論：

一、从一般获得測量結果的观点，所有的測量可以分为直接的、間接的两种：

直接測量 是这样的一种測量，它的測量的結果可直接由儀器的刻度上得到，例如用卡尺、測长仪等等。

間接測量 是其測量結果是用間接測量其它的量来获得的，而这些量与所求值之間有一定函数关系，故可根据这关系式計算出所求之值。其函数用一般的公式表示如下：

$$y = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

式中： y ——所求之值；

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ——各独立的測量值。

由此可知：間接測量的特点是：所求之值是各独立測量值的函数。例如用正弦棒測量錐度量規的角度可以根据下式求得：

$$\sin \alpha = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

式中: h_1, h_2 ——块規之組合尺寸;

L ——正弦棒二滾珠中心的距离。

显然, 由上可知: 直接测量的主要优点为可直接将被测之值测出, 因而测量的过程显得简单, 而且方便。但是这样的結論是有条件的。例如在测量10米的大直径时, 如仍用直接测量(如用大卡尺或鋼尺)那么它的上述优点就体现不出来, 反而由于测量器具的过于沉重, 需借助于吊車或数人同时进行测量。这样就会感到非常的不方便, 而势必想采用另外的一些使人感到方便的方法。例如采用一些以小测大的方法(弓高弦长法、經緯仪法等等), 这实际上就是間接测量。实际中还有一些参数例如不整形的圓弧半徑样板、凹凸鏡、平面与空間的座标尺寸和圆柱形尺寸的相互位置偏差等, 不用間接测量的方法也无法进行测量。从整个来看, 它还是占大多数的。

直接测量和間接测量的精度高低是应该具体情况具体分析的, 在某些条件下, 間接测量会比直接测量来得精确。在其他相同的条件下应该考虑下面的一些情况:

1) 如果所求的值是由很多独立的变数决定, 那么这种間接测量的精度就要低些。也就是說需要直接测量的参数越多, 則它的精度越低。

2) 如果所求值与被测值之間的函数关系不稳定, 就会降低間接测量的精度。譬如用弧长法来求大的直径, 它的几何形状的偏差会使得其函数关系变得不稳定, 从而会大大降低了测量的精确性。

3) 被测值和所求值的放大比越大, 那么間接测量的精度就越高。

举上述的正弦規测量角度为例。角度 α 是 h (即 $h_1 - h_2$) 和 L 的函数, 用这种方法在测量 $\alpha < 15^\circ$ 时, $L = 100$ 毫米, 其誤差仅为 $\pm 5''$ 。而絕對法的角度規的誤差是 $\pm 2'$ 。若此时长度 L 为 200 毫米, 則其誤差为 $\pm 3''$ 。由此也可知: 其放大比愈大, 則誤差也愈小。但是当测量較大的角度值 ($\alpha \rightarrow 90^\circ$) 时, 其誤差就很大(可达 $1'$)。而所有这些, 都是由函数本身的規律来决定的。因此研究它們的規律, 以及誤差的規律就是以后將講到的誤差理論中最主要的任务之一。

二、从获得测量結果的形式来看, 所有的测量又可分成絕對和相对(比較)的两种:

絕對測量 是这样的测量: 被测尺寸的絕對数值可以直接的从仪器的讀数装置或刻度盘上得到, 例如用卡尺、測长仪等等。

相對測量 是从仪器的讀数装置上所直接得的数值并不是被测尺寸的絕對值, 而是对于标准件的偏差值。也就是說对于长度测量而言, 如图(1-1)。軸徑 D 可由标准件——块規的尺寸 A 和仪表所得的偏差 Δ 所組成, 即:

$$D = A + \Delta L$$

当然这种相对测量的形式是各种各样的, 但是它最基本的就是用一个和被测参数相同形式的, 但做为标准的值来和被测工件相比較。例如上述的长度测量是以块規或标准圆柱做为标准件来与被测軸徑相比較; 此外也可以用一标准平板做为基准和被测平板比較其不平面性; 也可以用一标准立柱做为基准和被测方箱比較其

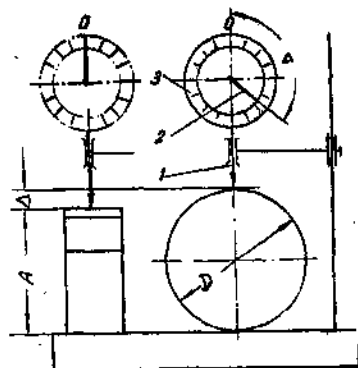


图 1-1

不垂直度等；更复杂的可以一标准的运动和实际的运动相比较（例如：齿轮的综合测量，丝杆螺距的连续测量等等）。实际的应用中往往用两种形式将标准件和被测工件进行比较。一种是直接进行比较，例如借助于刀刃角尺根据其隙缝大小用眼或塞尺等来判断其垂直差；另一种是借助于仪表而将其偏差值测出。而在后一种情况下，标准件实际上只是起使仪表对零位的作用。

相对测量的出现，在整个测量技术的领域中是一个飞跃。各种原理高精度相对测量的仪器在块规出现以后，如雨后春笋般地出现，就生动有力的说明了这点。它所以能获得如此迅速的发展和广泛的应用，主要是由它的突出优点所决定：

1) 由于仪器的示值范围大为减小，因此仪器的结构的复杂程度、轮廓尺寸都比绝对测量的仪器来得低和小。

2) 由于位移较小，因此可以利用各种不同的放大原理以获得更高的精度，例如机械的杠杆放大、气动、电动等等。

3) 测量的条件不需要那么严格。由于多了标准件，它可以互相补偿一部分的误差。例如温度的变化、测量力、安置不正确等而引起的误差。

4) 相对测量的仪器的使用较容易掌握，也就是说对于检验人员的熟练程度和技术水平的要求可低些。测量的过程一般也可以简化些。

5) 在大量和小批生产中的工序检验中更适合采用相对测量，因为工人所关心的只是偏差值。而且在这种情况下，由于擦净标准件和组合块规等的辅助时间也可以减少到最小。

相对测量的优点是较多的，但是应该注意的是，相对测量的精度主要的决定于标准件，而标准件的精度归根到底还是决定于绝对测量的精度。这说明它们的依赖关系，此外，这种分类也不是绝对的。例如在绝对式测长仪上可以进行相对测量，目的是消除刻度尺的误差，但是做为相对测量的测微仪等又可以对小轴，薄板进行绝对测量。

三、根据仪表的触端和工件表面相对的位置情况，所有的测量也可以分为接触的和接触的两种：

接触式测量 的特点是仪表的触点直接与工件表面机械接触。

非接触式测量 是二者没有直接的机械接触。而是光（光学法、投影法）、气流（气动法）等与工件接触。这种方法不存在测量力对测量结果的影响。

接触式测量虽然将由于测量力和触点性质而引起误差，但是它仍然被广泛的应用着。这是因为：

1) 由于仪表的触头是直接地与被测工件表面接触下测量，也就是说，测量的条件和工件装配在部件中的情况是一致的。因此，由于它的如实反映，保证了测量精度和更高的互换性。这样的优点在需要确切的反映出被测工件的表面质量时，更为突出。例如表面光洁度的测量。并且它还可能通过杠杆机构将其曲线记录下来，这更是一大优点。

2) 一般说接触测量的生产率要比非接触式的来得高。

对于非接触测量来说，最大的优点是不会有测力而引起的接触误差，但是工件的毛刺、倒角、灰尘等脏物也将引另外一种形式的接触误差。此外用气动测量表面光滑

度时，只可能得到綜合值，并不可能反映出过大的个别偏差值。

四、此外，所有的測量又可分为个别的和綜合的两种：

個別測量 是彼此沒有关系的个别測量各参数，例如单独測量螺紋的中徑、半角或螺距等。

綜合測量 不是单独測量各参数的值，而是将各个有連系的参数折合到一个主要的参数上，然后綜合的測量这折合的参数值（即綜合誤差）。例如螺紋的折合中徑是由中徑本身的值 and 螺距与半角的补偿值来考虑的，因此当用过端量規能旋入时，即說明其有旋入的互換性，也意味着各参数是合格的。因此这种測量对于在一工件上同时具有許多有連系的参数时，是很有意义的。因为只要綜合測量合格，那么也等于各有連系的参数也是合格（但是此时各参数的絕對值如何？却是不得而知）。因此在終結檢驗中大量的采用綜合測量（例如齒輪等）这主要是它和工作条件一样，因此可以更好反映其实际的工作情况；而且又具有很高的生产率。

在工序間一般是采用个别測量，这时候通过某一参数的測量，除了判断其合格性外，还可以通过它来找出各工艺因素对于加工精度的影响，并寻找措施消除它。

除此之外，还可以有各种的分类，这里不拟一一加以叙述。

上述各种分类的目的，主要是为了了解各种获得測量結果的方式的特点，以便在选择具体的測量方法中可以充分的利用各种方式的优点以得到最完善的測量方法。例如同位素測量厚度的补偿法既充分体现相对測量的优点又用絕對測量弥补了其不足，也就是說它是集两种方法的优点的大成。实际上对于某一个具体的測量方法而言，它也是由各种方式所組合起来的，例如光較仪法，它既是相对的、又是間接的、接触式的几种方式的組成，其所以用这样或那样的形式，都是根据具体的情况具体分析来确定的。例如做为絕對測量的測长仪可以做为相对測量，目的是为了更进一步提高其精度。這說明充分的掌握各种方式的特点对正确的选择測量方法以保証測量精度是非常有意义的。

測量的精度 是指測得的数值的可靠程度，既使应用最精密的仪器和最可靠的測量方法仔細的进行測量，也是会有錯誤与誤差的。换言之，在任何的測量过程中，都是有測量誤差存在。因此測量的精度可以用測量的誤差來說明。对于任何的測量器具來說，測量誤差就是它主要的度量指标。

測量誤差产生的原因可能是：測量器具的缺点；观察者感官的缺陷；測量条件的不稳定；对于所观察的現象的所有情况了解不全面；观察者不正确的操作以及其他原因等等。

由于有誤差存在，被测值可靠的有效数值就受限制，因此測量結果常常是用近似的数值来表示。

所謂誤差可了解为正确的和錯誤的値之間的差，用公式表示之：

$$\text{誤差} = \text{錯誤的} - \text{正确的} \quad (1-4)$$

这式称为邏輯方程式。对于任何的値都具有这两个参数，根据这方程式，我們在技術測量中所指的測量誤差就是測得的値（如尺寸値）和被測参数的真實値之間的差。如以 L 表示被测物的真實尺寸，而 l 为測得的尺寸，那么它的測量誤差 δ 将等于：

$$\text{測量誤差} = \text{測得之値} - \text{真實之値}$$

或

$$\delta = |l - L| \quad (1-5)$$

这种测量误差常称为绝对误差。由式中可知：绝对误差可以是正值，也可以是负值，它的正负值完全决定于 l 之值大于或小于 L 之值。

因此公式 (1-5) 可写成：

$$L = l \pm \delta$$

从这公式说明测量误差绝对值的大小决定了测量的精度。绝对值愈大，说明测量的精度愈低；反之，绝对值愈小，它的精度就愈高。因此只要用各种方法来减少测量的误差，就可以提高测量的精度。

显然由于 L 本身是未知数，因此绝对误差 δ 之值是完全假想的数。在许多情况下，它是不能求出的。即使能求出，那只是近似值而已。因此就有所谓最大的绝对误差。它是一个尽可能小的数，它可以使得近似值的绝对误差不会超过它。例如用刻度值为毫米的钢尺去测某一工件的长度，如它可以准确到 0.5 毫米，测得之长度 $L = 34$ 毫米。那么实际之长度必介于 34.5 和 33.5 之间。这样该工件之实际长度与其近似值之差不会超过 0.5 毫米，这即称为最大的绝对误差。

如用某测角仪可以准确到 $5''$ ，则 $5''$ 称为它的最大绝对误差。

最大绝对误差只有当测量同一尺寸时，才可以用它来判断测量的精度。如果不同尺寸时，它就很难反映出度量工作的质量。例如：在大地测量中，误差可达 1 米，但这样大的误差对于机械加工而言，就不堪想象了。此外，绝对误差是用名数来表示，即它是测量的结果与所用的单位的乘积，因而单位不同，其误差的数值也会不同。因此常用相对误差来表示测量所得近似值的准确度。

相对误差 是绝对误差和测得值（近似值）的比值：

$$f = \frac{\delta}{l} \approx \frac{\delta}{L} \quad (1-6)$$

式中： f 为相对误差。它是抽象的数，是没有单位的。不论用什么单位去测量某一长度，如准确度相同，则其相对误差总相同。它通常以百分数 (%) 表示。

在实际应用中也常用最大的相对误差。它也是尽可能小的量，它可以使得相对误差不会超过它。

举例：用某一种测量方法测量 100 毫米长的尺寸，其误差为 ± 10 微米，而用另一种测量方法同样测量 100 毫米长的尺寸，其误差为 ± 5 微米，这样根据其误差的绝对值的大小，即可确定后者的测量精度要比前者来得高。但如果后者测量的长度不是 100 毫米而是 10 毫米，那么根据相对误差的公式 (1-6) 计算：

对于前一种测量方法其相对误差为：

$$f_1 = \frac{\delta_1}{L_1} = \frac{10\mu}{100mm} = \frac{10}{100000} = \frac{1}{10000}$$

对于后一种为：

$$f_2 = \frac{\delta_2}{L_2} = \frac{5\mu}{10mm} = \frac{5}{10000} = \frac{1}{2000}$$

显然 $f_2 > f_1$ ，因此前一种测量方法在这种条件下要比后者的精度来得高。

由上可知，絕對誤差和相對誤差都可用來判斷測量的精度。

總之，在精密的測量中主要的任務就是尽可能消除或減少測量誤差，從而大大地提高測量精度。

應該注意的是，除了上述要素外，尚有一起決定性作用的要素，即人的因素。常常可以看到這樣的事實，測量方法都是相同的，但是不同的人其測量的結果是不同的，而且其差別也可達到很大之值。往往一個熟練程度很高，而責任感又很強的測量者，用相當簡單的測量方法所能得到的測量結果的精度，而為一個不熟練或者責任感較差的測量者，用最好的測量設備和方法所達不到，這就是人的因素的作用。對於一個測量者，尤其是在高精度測量實驗室工作的測量者，首先要求他是熱愛這一有意義的工作，而且又是一個具有高度責任感的人，在工作中要具有特別精細的鑑別能力，工作要仔細和有耐心。除此之外，它還應該有靈敏的感覺、靈巧的雙手和銳敏的眼睛，很好的目測能力。有了這些條件和有一定理論知識，再加上刻苦的鉅研和練習，積累了一定的經驗以後，必然會成為一個很好的測量者，可以更好的發揮人的因素的作用。

§ 1--3 實用度量學的任務

度量學是研究關於測量的科學，也就是研究上一節“測量的基本概念”中所有的問題。簡單的歸納如下述幾個任務：

一、建立測量的單位，並复制成基準；

二、確定尺寸傳遞的道路及其方法，以保證在全國範圍內度量的統一；

三、研究各種參數的測量方法，以及如何借助於各種原理的儀器進行測量和探討新的測量方法（新技術的應用）；

四、分析與計算測量方法的精度，分析誤差的性質及產生的原因，並設法消除之以提高它的精度。

應注意的是，這裡所要討論的，只是機器和儀器製造業中關於尺寸和角度方面的技術測量問題。至於內容方面也是實用和技術方面的度量問題，而不是一般理論性的度量學內容。具體的說，本課程主要是對後兩個任務進行研究。也就是正確的選擇測量方法和分析它可能產生的誤差等。由於機器製造業和儀器製造業中所要測量的參數是形形色色和多種多樣的，企圖在本課內將所有這一切參數的測量方法都加以詳盡的介紹是不可能、也不現實的。因此在本課程中試圖採用共同性和特殊性相結合的方式進行討論，也就是說本課程中將着重地對研究分析誤差的理論基礎——誤差理論和測量方法中各因素所可能產生的誤差等進行綜合全面的分析研究。並在此基礎上，分門別類地對各參數（尺寸、幾何形狀偏差、相互位置尺寸及其偏差、角度）的特點和其基本測量方法，以及對典型方法可能產生的誤差進行分析研究。通過這達到能正確的選擇測量方法和具備進行誤差分析的能力。由於現實中測量技術問題的多樣性和複雜性，以及它所牽涉到的問題的廣泛性，也使得解決實際問題的困難性增大。近年來新技術的迅速發展（如放射性同位素、電視技術、脈沖計數等等）為在測量技術中尋找新的測量方法，开辟了新的廣闊的道路。顯然擺在測量技術者面前的任務是艱巨的。我們應該有自信能夠迅速的改變我國在這方面的落後狀態，迅速的趕上國際的先進水平，建立起我們祖國自己的測量技術體系。

第二章 技術測量精度可靠的 保證——度量的統一

§ 2-1 國民經濟中度量統一的意義

在機器制造业中為了要保證零件的互換性，正確的加工和測量它的尺寸參數和幾何形狀偏差等是有着很重要的意義的。所謂互換性，就是組合件或部件中的零件，在裝配或者是修理時的更換，應該保證這些零件可以不經過輔助的加工或者選擇，按照所提出的技術要求安裝它們。要實現零件的互換性，就必須根據國家的標準，定出它們的制造公差，使得在加工時它的連接尺寸不超出公差之範圍。顯然，要正確地根據已知的尺寸加工零件，只有借助於相適應的測量器具或儀器來正確的測量它們。而準確的和正確的測量零件必要的條件是保證度量的統一，保證從國家的標準到零件的度量統一。

如果破壞了度量的統一，採用了不正確的測量器具和儀器，不可避免地要降低產品的質量；破壞互換性，產生了廢品或缺陷。這樣勢必造成材料上很大的損失，甚至於在某些場合造成了人身事故等等，因此度量的統一是技術測量精度的可靠保證。

§ 2-2 長度度量的系統

度量與測量器具的發生與發展是緊密的與人類社會的物質文明相連系的，原始的人類在勞動生活中，首先就有計數以及度量周圍事物的要求，例如：農業的發展，需要學會計算與度量所耕種的土地的大小等等。這樣使得人類開始進入一個新的階段，人們開始更深刻的來研究周圍物體的性質。與此同時迫切的任務是建立起度量的單位。開始時有採用皇帝的手掌的寬度、大姆指的厚度、肘的長度等做為長度度量的單位。然而所有的這些單位都有它的缺點，因為人的手掌大小都是各不相同的。也因為這種單位是非常不統一的，在隨後的貿易與文化的連系中起了很大的阻礙作用。因此人們開始尋找另外的度量單位，企圖把單位統一起來。也就是說想尋找一種不變的單位，並在各個國家里建立起最完善的度量系統。當時有一位學者曾說過這樣的一句話：“建立起度量的系統已是我們文明時代的標誌。我們再也不能容忍以人或某些事物做為根據的單位繼續存在了，而必須建立起以不變的物質做為主要的形式，必須轉向自然界本身，從它的內部獲得度量單位的根據。”因此在十八世紀末，在法蘭西的國際會議上決定：“測量單位應是不變的，並且任何時候都可复制”。

新的全國統一的度量系統首先在十八世紀法國的大革命中建立起來。隨後英國、俄國也都建立起自己民族的度量系統。十九世紀以後由於國際之間的貿易與科學文化的交流的頻繁，又感到有建立起國際度量統一的必要。於是通過國際度量衡會議，確定了以米制做為國際的度量系統。最初以地球上通過巴黎的子午綫的四千萬分之一做為原始的長度單位——米，並以它复制成基準米校對各民族的基準。同時也確定了米制與非米制之間的正确比例關係。這樣在度量學的方法上開始起了深刻的變化，人們實現了自己的

愿望，通过了物理的实验，向自然获取了度量的单位，建立起度量的基准。

但是后来人们发现通过巴黎子午线的长度也是在变化的，例如，在1841年测量的结果，通过巴黎四千万分之一长的子午线为100000856米；而在1906年测量的结果为100002067米。这样也迫使人们认识到用这种“自然”的单位并不可靠，而认为用人工制成的基准做为单位比它尚好，因此国际度量衡会议决定用铂铱合金（含有铂90%，依10%）制成的原器做为国际长度的基准。它的全长为1020毫米，横截面为X形，内切于边长为20毫米的正方形内，如图（2—1a），这种横截面为X形的桿当它的重量为3.3公斤时，具有最大的抗弯曲力，而且每个X形截面的重心，都是在上平面上（刻线的平面），这对于在上刻线以确定米的长度是最适宜的位置。从材料到它的结构的考虑都可以保证它具有很高的硬度，抗腐蚀性和在较长时间内的尺寸稳定性。

X形上平面接近两端在专门抛光成椭圆形的那两段上，分别刻有三条垂直于米尺纵轴的刻线，如图（2—1b）。其中的两条主刻线之间的距离决定着米的长度，而在各主刻

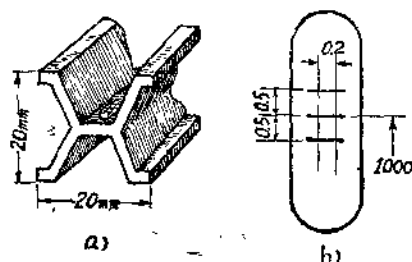


图 2—1

线的两边的刻线相距为0.5毫米。这辅助刻线是用来检验阿贝式刻度比较仪上目镜上的毫米刻线，而纵方向相距0.2毫米的双刻线是做为决定原器轴心位置的基面。

当光波干涉法迅速地发展后，还采用了红色镉光波做为自然长度的基准，在标准温度20°C，大气压力760毫米水银柱高，相对湿度相当于水蒸气压10毫米水银柱高的条件下，镉光光波的长度为：

$$\lambda_R = 0.64385033 \text{ 微米}$$

即 $1 \text{ 米} = 1553156 \lambda_R$

1948年苏联建议的镉红线波长为：

$$\lambda_R = 0.64402497 \text{ 微米}$$

即 $1 \text{ 米} = 1552734.88 \lambda_R$

（60年苏联度量衡会议确定今后的以橙黄色氪86光波做为自然长度基准）

从上的发展过程可知：整个长度度量系统建立的过程是由过去混乱、不合理、分散的到趋向于合理、统一的发展过程。这种发展过程是社会发展所决定的，是社会经济的正常发展要求所决定的。

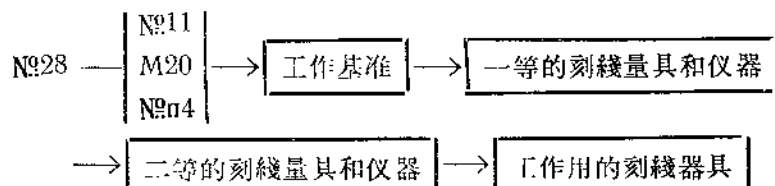
§ 2—3 尺寸的传递道路和方法

建立了度量的系统，单位和复制成基准以后，主要的任务就是：建立从基准到工件

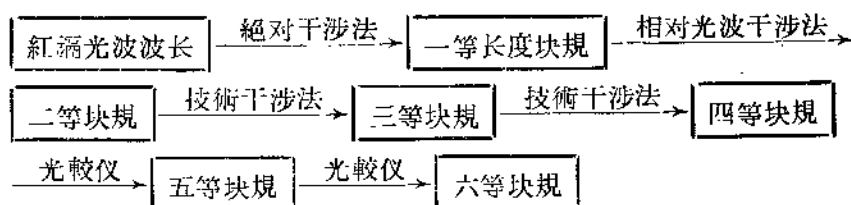
的尺寸传递道路和方法。

尺寸传递系统根据测量器具的分类基本上可分成两种：刻线的和非刻线的系统。

刻线器具的尺寸传递系统就是以米为单位复制成有刻线的原器和国家的基准传递尺寸到工作的系统。除了国际度量衡局有原器一个外，每个国家都有一个与之相同的原器做为国家的基准。当时共发出34个。以俄国为例：他们领到的是№28和№11，这即为俄国在度量工作上具有法律和科学基础的基本单位的第一等基准器。为了保持它的精度，又另备有几套付本，做为校对工作用的基准器。如№11是直接用来与国际的原器校对之用，M20是刻成毫米，专供校对毫米之用；而№n4是特殊用的。由这些基准到工件的尺寸传递系统如下所示：



与此相平行的尺寸传递系统为以红色镉光波为基础的长度块规传递系统。该系统近来在机械制造业中愈来愈获得广泛的应用。这是因为刻线的尺寸传递系统由于有很严重的缺点：主要的如应用的局限性等，而使它愈来愈不能满足机器制造业中技术测量所提出的更高的要求。而块规的系统由于它具有：①应用的万能性；②比较高的精度以及③使用和制造的精度等都比较方便和容易达到等等优点，而获得广泛的应用。它的传递系统如下所示：



显然地，不应该把这两系统看成两个互无连系，互相独立的系统。这两系统的测量单位都是相同的，而在实际的测量中，这二系统也是相互连系的。例如可用刻线比较仪的刻线米和超过100毫米的块规相比较。

下面简单的谈谈我国的情况：我国最原始的“原器”，据史载有所谓黄钟律，以黄钟的长为长度单位；以其重为重量单位。但其长度究竟多长等已无法得知了。至于单位最早的长度单位就有“丈”、“尺”、“寸”等。在清朝时的长度系统是这样：丈、尺、寸、分、厘、毫、丝、忽、微、纤、沙、尘、埃、渺、漠、模糊、逡巡、须臾、瞬息、弹指、刹那等等（均为十进位），在封建社会里由于封建君主的割据，也必然存在着各种各样的单位制，又加上后来它是一个半封建、半殖民地的国家，经济十分落后、工业不发达、经济命脉都操纵在各个帝国主义的手里，因此各种不同的单位制度也随着这种经济势力的侵略而进入我国，当时，除封建社会遗留下来的杂制外，还有国际公制，英制、日制等等测量单位。这就形成了多制并用的十分混乱的局面，计量工作得不到发展，也根本谈不上度量的统一。虽然广大的人民非常希望统一计量制度，但在腐败透顶

的反动統治之下,这些愿望根本不可能实现。解放后,随着我国国民經济的恢复和发展,特别是我国工业交通和科学技術事业的发展,在苏联的大力帮助之下,我国的計量工作已有了很大的发展,計量制度的統一工作也在积极进行,特别是在苏联帮助我国建立的大型企业中,都一律采用了国际的公制,也在統一的工作中起了很大的推进作用。各項部門也逐步的成立了各种計量組織,培养了干部,配备了各种精密的标准仪器,和建立了中央到各区域的检定机关。如:一机部的工具科学研究所到各区域(东北、西北、华北、华东等)的检定站,到了55年并成立国家計量局指导各部門,各区域的工作开展,并在苏联的帮助下,进行建立国家的基准工作。59年7月国务院为了統一我国的計量制度,和进一步开展計量工作发布了命令,确定以公制为基本計量制度,并且統一公制单位的名称(米、分米、厘米、毫米、絲米、忽米、微米)。由于公制的优点以及它为大多数的国家所采用,尤其是社会主义陣营的各国也都是采用公制,因而以它来統一我国的計量制度,不仅对国民經济的发展是有利的,而且对于和各国的經济,技術和文化的交流也是非常必要的。

我国的尺寸传递就是由国家計量局經各区域检定站将尺寸传到工厂企业、科研机关和高等学校等基层单位去,然后再由它們将尺寸传递到工件,

• 2-4 工厂企业中的中央計量室

为了保证工厂中机器中的零件能够在互换的原则下进行生产,除了必須对工艺規程各环节(机床,工具,加工时的条件及其他)进行监督外,还必须及时的对产品质量进行监督。为使能够順利完成此項任务起見,工厂企业中不仅需要有最低限度的测量器具,而且还要对它們的使用以及其监督經常进行必要的工作。此外,对它的保养以及使用情况也必须进行一定的工作。这样,各个工厂均应建立計量机构,这个机构在工厂中即为中央計量室及其所屬的检定站。——它是为提高产品的质量 and 檢驗产品而設的,因此它們求属于技術检查科,它的基本任务如下:

第一个任务——是为保证度量单位的統一和测量器具的正确性,为了保证度量单位的統一,就必须对测量器具进行检定和保养的工作,以及檢驗、調整它們的工作。

第二个任务——是对测量方法和量具选择方法的指导。

除了上述两种基本任务外,还应对测量各种产品的各种尺寸参数所用的专门设备进行准备,以及对废品产生的原因进行分析研究等。

工厂中計量机构主要的工作,是組織对测量器具进行周期的强制性检定。因为要保证度量单位的統一,是在遵守厂的检定系統的基础上实现的。检定系統是工厂企业中有關保持度量統一的正式技術文件。它詳尽的叙述了在工厂中在怎样的場合下应该用怎样的测量器具,在多少時間內和用什么方法来检定这些器具。因此:

1. 在检定系統中要包括所有的必要的测量器具(如測长度、角度、螺紋、齿輪轉动、平面、平直性等等)。

2. 它应该包括:

- 1) 工厂中基本块規組的等;

- 2) 从厂的最高精度的标准到工件的尺寸传递次序;