

高等學校交流講義

無線電量計

清華大學無線電工程教研組譯

(內部交流 * 僅供參考)

4
78

— 中華人民共和國高等教育部教材編審處

目 錄

第一編	無線電量測的一般問題	1
題1.	緒論	1
1.1.	無線電量測的任務	1
1.2.	祖國在無線電量測領域內的工作	1
1.3.	對無線電量測方法有影響的無線電工程特性	5
1.4.	量級、倍數、分數和對數的單位	9
題2.	量測誤差及其計算方法	12
2.1.	系統誤差	12
2.2.	偶然誤差	13
2.3.	間接量測的誤差	20
題3.	在無線電量測技術中應用電工量測儀器的可能性	23
3.1.	電能量及線路的參量	23
3.2.	對無線電量測儀器的基本技術要求	25
3.3.	在無線電量測技術中應用電工量測儀器的可能性	26
第二編	電能量的量測	30
題4.	變能元件特性對於量測能量數值的影響	30
題5.	電流的量測	43
5.1.	在不同頻率時、訊號電源——負載系統各量的量測	43
5.2.	熱電系統安培計	44
5.3.	熱系統安培計	55
5.4.	檢波式安培計	57
題6.	電壓的量測	62
6.1.	熱電式伏特計	63

6.2. 檢波式伏特計 (用固體整流器)-----	63
6.3. 電子管伏特計-----	67
6.3.1. 檢波器的特性曲線-----	68
6.3.2. 檢波器特性曲線對於被量電壓數值的 類別的影響-----	71
6.3.3. 二極管檢波器-----	73
6.3.4. 特性曲線有固定工作段的伏特計-----	76
6.3.5. 雙二極管伏特計-----	88
6.3.6. 板極檢波伏特計-----	92
6.3.7. BKC-7 型電子管伏特計-----	96
6.3.8. 擴大量測範圍的電子管伏特計-----	98
6.4. 超短波範圍內電壓的量測-----	100
6.4.1. 微波範圍內電壓的量測-----	100
6.4.2. CИ 納傑涅科方法量測超短波電壓-----	103
題7. 功率的量測-----	108
7.1. 相角量測-----	108
7.2. 用陰極示波器量測功率-----	110
7.3. 微波波段內功率的量測-----	111
7.3.1. 定出負載接受的功率的相對比值-----	112
7.3.2. 負載所接受的功率的絕對數值的量測-----	115
7.3.3. 通過功率的量測-----	130
參攷文獻-----	133

第一編 無線電量測的一般問題

題1. 緒論

1.1. 無線電量測的任務

(第一段略)

不僅在無線電設備過程中要利用到無線電量測儀器，就是在設計新電台時亦得注意到檢查性質的量測之必要性及怎樣擬訂基本的試驗方法。遠在無線電設備按裝以前，為了使量測結果與計算數據，用調整無線電線路的方法獲得一致，就完全有必要在設備的各部份進行許多次的量測，製成設備的調整與調諧亦得藉助於無線電量測儀器，訂貨者在驗收製成品時亦應當知道製成品的參量是否與所要求的技術特性一致，如果沒有適當的無線電量測儀器，此項工作亦是不能完成的。

這樣，每一個與無線電設備之設計、製造、驗收或運用有關的工程師應該很好地熟悉於現有的無線電量測儀器及其應用。

現代無線電量測儀器的種類和型式是非常多的，這點完全可用無線電各種量之衆多性及需要量測範圍之寬廣性來說明，實用頻率範圍向更高頻率的擴展（微波波段的掌握），已往在偉大的衛國戰爭年代裡成功地實現後這就要求在無線電量測技術領域內作新的研究，可以毫不誇大的說，任何一門技術的發展在一定程度上決定於是否具有專門的量測儀器及所製定的量測方法。

這一事實在無線電工程一例上已獲得了無可置辯的證明，同時在建立現代標準無線電量測儀器的事業中光輝的功勳是屬於祖國的學者和工程師。

1.2. 祖國在無線電量測領域內之工作

在現今，都認為俄羅斯是無線電工程的發源地，無線電工程基礎

的奠基者是天才的俄國學者和工程師亞歷山大·斯捷潘諾維奇·波波夫。波波夫所製造的世界上第一架接收設備（電暴指示器）曾用來作為記錄大氣放電，但在最初的實驗中是用來作為「捕捉」火花發射機所發出的訊號，亦就是用來作為遠距離通訊的。波波夫為了改善自己的接收設備曾利用過輔助的無線電量測儀器，在改善過程裡，波波夫在索具與天線相互間存在有一電容量的條件下必須建立兵艦上接收天線的可能性。雖然波波夫自己是天線的發明人，全時天線工作原理尚未被足夠瞭解，但在當時關於天線工作情况曾是一個特別有興趣的問題。

1905年波波夫製造了一架專門的量測微量電容的微分電橋，用此電橋曾量測過索具對於兵艦上天線工作的影響。

不久齊克林斯基（Н.Н.Циклинский），費多爾斯基（В.К.Витторский）和克揚斯基（Г.А.Кьянский）發明了量測電容的新的電路（微分電容電橋），徹底地（實用上）解決量測量電容這一任務是由蘇維埃工程師費多爾斯基（В.К.Витторский）解決了的，他在1925年提出應用能够記錄 10^{-4} 厘米電容量變化的線路（文獻4）。

克揚斯基（Г.А.Кьянский）（文獻10）指出了利用發光壓電晶體諧振器（СВЕТЯЩИЙСЯ ПЬЕЗОКВАРЦЕВЫЙ РЕЗОНАТОР）是提高量測電容正確度非常有效的方法，此種發光電壓石英諧振器是一種非常正確的諧振指示器。

天線中工程量測之開端是由院士叔列金（М.Б.Шуликин）所奠定的，同時第一次天線方面的計算亦是由叔列金完成的。

最完善的天線量測及試驗方法是由蘇維埃無線電工程師所擬訂的，在此領域內達達里諾夫（В.В.Таталинов）教授的貢獻是非常巨大的，他與兒童村實驗無線電台工作人員小組在一起共同研究了試驗性的和理論性的許多實際的天線設備實驗問題，其中達達里諾夫教授還倡議了量測天線阻抗的簡單方法。

蘇維埃工程師華爾佐爾脫（А.Д.Вольцорт）在高頻量測（其

中自天線量測)的領域內做了很多工作,他所創議的圖解法在無線電量測及高頻波導管的和電線幹線的設計方面正在廣泛的應用着。

在當代無線電量測的技術中用示波器方法佔有顯著的地位,因為此種方法能在研究電路的過程中給出實際的瞬時和明顯的概念,其中亦包括極短時的過程,在研究示波儀器方面祖國專家的功勳是難以一一估計的,在現代示波中所廣泛應用的直線性電掃描的第一個線路圖及其用作為時間比例尺的原理是由院士門及爾希塔姆(А.И. Манчешта́м)所發明的,羅尚斯基(Р.Н. Рощанский)對這一問題亦作了相當的研究,斯捷可爾尼科夫(И.С. Стекольников)的示波器是現代示波器的範典,用此示波器第一次完全順利地解決了用非慣性系統觀察快速過程的問題。後來,當同時觀察各種電路內的一些過程成為必要時,俄國工程師拉多金(Р.А. Ладыхин)和極尼沙夫(В.Г. Шенцов)製造了世界上第一架電子整流器(Электронный Коммутатор),用此整流器順利地解決了當時所提出的問題(文獻9)

目前拉多金和極尼沙夫的電子整流器已鞏固地成為了無線電實驗室量測儀器中的基本儀器了。

祖國無線電工程師在無線電通訊機件的量測和試驗方面,貢獻亦是非常偉大的,最完善的無線電接收儀器試驗方法是由蘇維埃工程師當今技術科學博士莫莫脫(Е.Т. Момот)所製訂的,他在接收幹線中無線電量測問題方面的工作在目前說來亦是基本的工作。

我們的工程師在研究用作檢查發送設備工作量測和試驗儀器中亦獲得了巨大的成績,孟極爾希塔姆,巴巴立克西(Н.В. Палаксы)明次(А.П. Минц)奧高諾夫(Н.М. Оганов)的典型的量測調幅度用的線路以及古略企也夫(В.П. Курячев)的線路圖已為眾所周知了,而古略企也夫線路業已成為我國廣泛應用的量測調幅度的儀器(ИМ-6)的基礎了。蘇維埃無線電工程師在無線電發送設備試驗和量測方面的經驗,由希爾科夫(В.В. Ширков)“無線電發射試驗

電台”具體的圖解法中總結起來了，希爾科夫教授倡議了並合理化了許多無線電量測線路，在1929年希爾科夫教授同時亦為可明節爾無線電台製訂了狹波段檢查用波長計，希爾科夫是教學方面最完善的“基本無線電量測課程”的創始人，這訓練班曾培養了並至今培養着我國的無線電工程師。

蘇維埃學者及工程師在研究量測電磁振盪頻率（波長）方面亦有顯著的成就，利用壓電石英振盪器將電子管振盪器分度的方法是高別爾（B.C. Гасеиб）所擬訂的，此種方法能保證到非常高度的準確性。

格拉果立夫——阿爾加其也夫（А.А. Глаголев—В.К. Аркагель）所進行的量測微波波長的試驗是具有極大意義的。他同時亦發明了可用作微波電源的所謂 L 7. (Массовый излучатель)

為此目的（此目的的通報曾在1924年公佈）而設計的干擾裝置保證了量測波長的令人滿意的準確度，天才的俄國物理家和無可比擬的實驗家立別極夫（П.Н. Лебедев）曾研究了波長為7毫米的電磁波，阿爾加其也夫在1912年到1913年間研究了在分米波和厘米波段內（ $\lambda_{\min}$ 達1.27cm）鉄質導線的磁性，而後格拉果立夫——阿爾加其也夫所做的工作無可置辯地奠定了祖國在研究微波技術與理論方面的優先地位和莫大的功績。

在絕大情況下我們工程師所創造的原理圖已成為了祖國無線電量測儀器的基礎，由於我國無線電量測技術不斷的完善，在目前我們擁有一切必須的頭等的儀器，這些儀器在許多情況下都遠遠超過了外國的。

國產的無論是用作音頻和高頻工作的量測振盪器，示波器和其各種附件，波長計及其他無線電量測儀器都合乎現代要求的水平。

在我國無線電工業和無線電通訊工具已獲得大規模發展的條件下，大量的生產無線電量測儀器就具有巨大的意義了，由於斯大林五年計劃的結果，大量地生產各種無線電量測儀器這一問題已基本解決，我

們親眼看到了我們國產無線電儀器的質量不斷上升，同時我們無線電工廠所出產的無線電儀器的目錄單亦在很快的增加。

最近，在研究微波段無線電量測儀器方面我們亦有着巨大的成就，這種儀器在實驗室裡的出現保證了微波技術能獲得進一步的發展，因為微波技術在目前是一個特別有意義的問題，何況微波技術的可能性尚大可發掘呢。

這樣蘇維埃專家們是擁有了所有必須的無線電量測儀器，而這裡的任務就是在於充分地掌握這種儀器的應用，這樣就必須遵照預先擬訂好了的方法來進行量測，此種量測方法應該對被試驗電台的特點和無線電量測儀器的能力以及無線電工程的特性都要考慮到。

1.3. 對無線電量測方法有影響的 無線電工程特性

無線電工程基本上與週期的現象有關，或與至少一級近似週期有關，因此對於無線電量測這一名詞我們將論為是在交流電流下對於電能量和線路參量之量測。註(1)

應該把頻率的重覆認為週期現象的基本特性，但是在無線電工程中各種波段之命名通常與電磁波波長的觀念有關的，讓我們來溫習一下各頻率波段的範圍（表 1.1.）

表 1.1.

序號	波段名稱	波長邊界值(米)	頻率邊界值(仟赫)
1	長波	長於 3000 米	低於 10^2
2	中波	3000 — 200	10^2 — 1.5×10^3
3	中短波	200 — 50	1.5×10^3 — 6×10^3
4	短波	50 — 10	6×10^3 — 3×10^4
5	超短波	10 — 10^{-3}	3×10^4 — 3×10^8

譯註(1) L電能量 原文為 энергетические величины，
為與普通的能量區別，暫譯為 L電能量。

超短波之波段，其本身的分法如下（表 1.2.）

表 1.2.

序號	分波段之命名	波段邊界值(米)	頻率邊界值(兆赫)
1	米波	10 — 1	30 — 300
2	微波	1 — 10 ⁻³	3×10 ² — 3×10 ⁵
2.1	分米波	1 — 10 ⁻¹	3×10 ² — 3×10 ³
2.2	厘米波	10 ⁻¹ — 10 ⁻²	3×10 ³ — 3×10 ⁴
2.3	毫米波	10 ⁻² — 10 ⁻³	3×10 ⁴ — 3×10 ⁵

在進行任何無線電量測時，為了避免重大的試驗錯誤，試驗者不應忽視無線電工程之特點，作為此種特點來講，首先必須指出下面二個：

1. 在無線電工程中所應用的高頻電磁振盪。
2. 在規定訊道外的電磁能的傳播。

下面就要看一下此二特點對於無線電量測的影響。

A. 頻率的影響

無論是高頻（無線電頻，例如載波頻率）或低頻（音頻，例如調制的頻率）在無線電工程裡都要接觸到，因此必須具備試驗和量測儀器，此種量測儀器能在非常寬廣的頻率範圍內工作——由幾個赫，至數萬兆赫，因為構成無線電線路中的各元件與其所考慮的頻率有着密切的關係，故雖然量測儀器設計的基礎是能普遍地用於無線電線路的所有頻率，但這種儀器的設計種類仍然是異常眾多的。

由於趨膚效應及必須考慮到的一些寄生作用而引起損耗數值顯著的增加，使無線電頻率中頻率與阻抗的關係就變得複雜化了。

下列公式適用於計算由趨膚效應所引起損耗的變化：

$$R_f = R_0 \frac{\pi \cdot d}{2} \sqrt{\frac{f}{\rho}}, \quad (1.1)$$

- 式中 R_0 —— 直流電阻 (歐姆)
 R_f —— 頻率為 f 時的電阻 (歐姆)
 d —— 導線的直徑 (厘米)
 P —— 電阻係數 (CGSM 單位 銅的 $\rho_{cu} = 1750$ CGSM 單位 $[\rho] = \frac{\text{厘米}^2}{\text{秒}}$)
 f —— 頻率 (赫芝)

由關係式 (1.1) 可得出下列不等式的條件：

$$d\sqrt{f} > a$$

這裡的 a 為一常數，其數值與導線的材料有關，銅的 $a_{cu} = 50$ ，至於電抗性元件，則其阻抗是頻率的已知的函數，但是在計算阻抗時，常常是不能只局限於考慮它為無線電線路中一個顯著的電抗性參量。這樣，當頻率不是很高時，線圈的阻抗中電感成份佔着優勢，而當頻率變到較高的頻率——超短波範圍時，它就可以變成另一種情況了。所以，當決定線圈的阻抗時，就應該考慮到線圈各圈間電容的影響（如果線圈有好幾圈的話，因為當波長足夠短時線圈就會變成一個圈或者是一個圈的一部份。）線圈對於其外罩的電容量及由於趨膚效應而增加了損耗電阻，這樣，在超短波波段內應將線圈看作自成一個振盪迴路，而此振盪迴路具有電抗 Z ，諧振頻率 f_0 和衰減量 d ，當頻率 $f > f_0$ 時，線圈就失掉了電感作用而開始具有電容的特性，在高頻時的電容器，特別是用箔及石臘紙所製的筒形紙電容器，亦具有諧振的特性，這樣的電容器在超過諧振頻率時就會具有感性阻抗。

從這裡可知，量測方法與所量測的頻率範圍有關，這樣，如果在長波和中波時我們用橋式線路或諧振方法來量測阻抗，那麼在超短波時就必須要應用專門的能夠量出阻抗的電抗與電阻成份的量測線了。

實際上在無線電量測裡通常利用諧振現象，因此，在高頻時只要無線電線路中參量的一點小變化，例如由於試驗員之接近而產生電容量之增加，就可能引起讀數的劇烈變化，甚至會造成儀器的損壞。

應經常注意，當儀器放置位置不適當和進行實驗不仔細時，那時你就非但是以實驗員的身份參加實驗，而且你本身亦會變成線路參量之一了，在高頻時關於這點應特別注意。

這樣，必須預計到（關於這點所有無線電量測經驗都會證明）隨着頻率之增加而引起的量測誤差的相應增加，在表 1-3 中表出了對於各級量測儀器在額定頻率範圍內頻率變化時所允許的誤差的增加。

表 1-3

儀器等級	在儀器一定讀數時所允許的讀數变化的百分數
0.2	± 0.2
0.5	± 0.5
1.0	± 1.0
1.5	± 1.5
2.5	± 2.5

在量測條件有可能的情況下，應該認為低頻的量測是比較準確的，像法則一樣，低頻量測儀器較高頻量測儀器可以受得了相當大的過負載，這一點亦同樣地証明了上面的看法，但是許多無線電量測主要是應在高頻時進行（在超短波範圍內），同時工作波段的上限亦在年復一年地提高着，因此對於高頻，特別是微波段的量測問題是一個最迫切的問題。

5. 電場的影響

所有通過交流電流的導體都向周圍空間輻射電磁能量，被輻射功率的大小隨着頻率的增高而加大，寄生輻射的存在引起了下面一些不良的現象：

- 1) 消耗在輻射上的功率；
- 2) 由於電場而產生的線路元件的相互影響，此種影響常常會破壞線路的正常工作；

3) 對其他無線電設備會產生干擾。

寄生輻射會非常嚴重地影響量測的正確性，使之不易進行量測而有時根本就不能進行量測。

消除外界電場及寄生耦合的根本辦法就是屏蔽，大家知道，金屬屏不會允許外界電磁場進入它所限止的空間內，因為電磁場在金屬裡變成了對流電流了。

當有必要消除有害的耦合或外界電場影響時，在任何場合下應用屏蔽是有好處的，關於這點在量測高頻弱訊號時尤為重要，在最後一種情況下不僅要使儀器屏蔽，不受外界作用影響，即對實驗員本身亦然，因此此種量測要在專門屏蔽好了的室內進行。

1.4. 量級、倍數、分數和對數的單位

以頻率的例子就可以相信，無線電工程中各種量應該量測的數值範圍是非常廣的。

這一論證不單是對頻率而言的，大家都已知道，例如，現代的脈衝發射機能够在脈衝中產生大約 10^6 瓦特的功率。

同時，在決定微波接收機的靈敏度時需要量測大約 10^{-13} 瓦特功率的訊號。

所量測參量數值變化的範圍是非常廣的，所以不能不採用分數的和倍數的單位，此種單位的名稱和與主要單位之比在表 1.4. 裡可以看得非常清楚。

表1-4

序號	分數(倍數)單位的名稱	與主要單位之比	簡 寫 附 號	
			俄文寫法	拉丁(希臘)文寫法
1	微微	10^{-12}	μ	μ
2	毫微	10^{-9}	H	m
3	微	10^{-6}	MK	μ
4	毫	10^{-3}	M	ml
5	厘	10^{-2}	C	C
6	分	10^{-1}	Д	d
7	十	10	Da	da
8	百	10^2	Г	h
9	千	10^3	K	K
10	兆(百萬)	10^6	M(MP)	M
11	十億	10^9	Г	G
12	萬億	10^{12}	T	T

下列分數和倍數單位在無線電工程裡應用非常廣：微微(微微法)，微(微伏)，毫(毫安)，千(千瓦)，兆(兆歐)，十億(十億赫芝)。

在現代無線電工程裡常用的相對對數單位是：分貝，納貝爾，因為這兩單位應用於當各量之間有若干量級(порядка)之差時特別適合。

分貝(dB)：在度量功率，電場強度，放大係數等等時，分貝的應用是最廣了。

功率P相對於原來功率級(一般來說，是任意定的)的增加量可以由下式用分貝來表示：

$$N_{dB} = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad 1.3$$

這樣，增加了分貝功率就意味着此功率為其原來的功率級的两倍。

$$10 \lg \frac{P}{P_0} = 3 \quad ; \quad \frac{P}{P_0} \approx 2$$

與功率成平方關係的電場強度 E ，電流 I ，電壓 u 具有下列一些關係式：

$$\left. \begin{aligned} N_{E\delta} &= 20 \lg \frac{E}{E_0} \\ N_{I\delta} &= 20 \lg \frac{I}{I_0} \\ N_{u\delta} &= 20 \lg \frac{u}{u_0} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

從 1.3 和 1.4 關係式中可以看出以分貝表示的數值亦可以是正的，亦可以是負的，要看原始級的選擇而定，例如，如果取原始級為 1 瓦特，則 1 微瓦以貝分來表示時就等於 -60dB 。

納貝爾同樣地亦是相對對數單位，但是它與分貝的對數底是不同的，以納貝爾表示數值計算的基礎是自然對數，藉下列關係式可將電流 I ，電壓 u ，電場強度 E 用分貝來表示。

$$\left. \begin{aligned} n_I &= \ln \frac{I}{I_0} \\ n_u &= \ln \frac{u}{u_0} \\ n_E &= \ln \frac{E}{E_0} \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

此處 I_0 ， u_0 ，和 E_0 是任意規定的原始級。

以納貝爾表示功率時，可用下式：

$$n = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0}$$

由公式 1.3，1.4 和公式 1.6，15 的比較應得

$$1 \text{ 納貝爾} = 8.686 \text{ 分貝}$$

$$1 \text{ 分貝} = 0.115 \text{ 納貝爾}$$

題2. 量測誤差及其計算方法

2.1. 系統誤差

沒有任何一次量測可以是絕對正確的，誤差的基本種類有兩系統誤差和偶然誤差。

量測方法誤差及儀器誤差稱為基本的系統誤差，產生基本系統誤差的一些原因如下：按簡化了的公式計算量測儀器，因為此種公式不考慮或不是完全準確地考慮決定儀器讀數的所有因素；量測儀器特性的理想化；量測儀器機械系統的不完善。

這些誤差就是量測儀器精確度分級的基礎（表2.1）

表2

儀器等級	以標度總值百分數表示的容許基本系統誤差
0.2	± 0.2
0.5	± 0.5
1.0	± 1.0
1.5	± 1.5
2.5	± 2.5

除所指出的誤差外，在量測時還必須考慮到所謂補充系統誤差，此種補充系統誤差的產生是由於外界條件和量測中不是必需考慮到的產量（如量測電壓時，頻率改變的影響，見表1.3所引起的，外界介質對量測精確度有影響的基本性質就是它的溫度。溫度的變化對於誤差數值有着重大的影響，但是此種影響並不能超出表2.2.中所示的數字。

表 2.2

儀器等級	在週圍空氣溫度對於正常溫度變化 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的情況下，以該儀器讀數百分數所表示的容許讀數變化
0.2	± 0.2
0.5	± 0.5
1.0	± 1.0
1.5	± 1.5
2.5	± 2.5

這樣如果已知儀器的等級，在每一次用該儀器量測時的系統誤差就可以計算了。

但是，偶然誤差的計算就完全是另一會事了。

2.2. 偶然誤差

如果量測儀器的靈敏度很高，那末在量測的每一步都會伴隨着偶然誤差。因此，當重覆地進行十分精密的試驗時，並且去掉系統誤差之後所得的結果是會與以前所得的結果有些出入的。

偶然誤差的原因是不可能有系統的來分析的，同時，如果不降低儀器的靈敏度，在原則上說來，偶然誤差亦是不能消除的。產生偶然誤差的基本原因是在量測儀器內缺乏完全的平衡，和周圍空間的溫度、電荷等不規則起落的不可避免性。因此，當同樣仔細地對同一數量來作一連串重覆的量測，當其所得結果有一些差別時，不能就認為是量測方法的錯誤或量測儀器不準確了。

如果偶然誤差不可能去掉的話，則就有必要估計這些偶然誤差，不言自明，當然不應該來考慮每次量測各儀器的偶然誤差。因此為了估計偶然誤差，就必須對同一量進行一系列重覆的量測。此一系列量

測所得的結果是進一步分析的材料，分析的目的就是在估計這一系列量測的偶然誤差數值大小及其限值範圍，在這範圍內就包含有真正的所量測量的數值。

當進行精密的無線電量測時。對於觀察所得結果做類似統計的工作是必須的，所以，值得我們對它來作較詳細的討論。

在完全相同條件下對同一量 a 所進行的重覆的同樣可靠的 n 次量測結果用 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 來表示之。

應該注意，所得量測數值的算時平均值。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (2.1)$$

是該量測量的最近似值，這是和實際相符的。

我們稱差別

$$\left. \begin{array}{l} A - a_1 = \alpha_1 \\ A - a_2 = \alpha_2 \\ \dots\dots\dots \\ A - a_n = \alpha_n \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

為個別量測的剩餘誤差（錯誤）

剩餘誤差表示每次量測本身的特點，而並不代表所有量測的誤差總值（Собокупностей）因為量測 n 次的誤差總和正確的關係式是：

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 0 \quad (2.3)$$

此式是從(2.2)和(2.1)式中推出來的。

量測的偶然誤差 σ_i 決定於下式

$$a - a_i = \delta_i \quad (2.4)$$

並且亦依賴於個別量測的精確度，至於對同一數值重覆量測有誤差總值（Собокупностей）習慣用均方根誤差 σ 來表示：