

中等專業學校教學用書

# 電磁測量儀表的 計算與結構

上 冊

阿盧邱諾夫著



機械工業出版社

中等專業學校教學用書



# 電磁測量儀表的計算與結構

上 冊

阿 盧 邱 諾 夫 著

費 正 生、史 乃 合 譯



機 械 工 業 出 版 社

1954



## 出版者的話

本書係根據蘇聯動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版、阿盧邱諾夫 (В. О. Аругюнов) 著“電磁測量儀表的計算與結構” (Расчет и конструкции электроизмерительных приборов) 一書 1949 年版譯出。原書經蘇聯電氣工業部教育局審定為中等技術學校教科書。

本書論述儀表的一般特性、誤差、普通元件的結構和計算以及磁電式、電動式、電磁式、感應式、靜電式等儀表和流比計的結構和計算；也簡單地論述了自動記錄儀表和電阻器。本書除供動力和電器方面的中等技術學校作教科書或教學參考書外，同時也可用作工程技術人員的參考書。

譯本分上下二冊出版，上冊包括第一章至第五章，下冊包括第六章至第十三章。

本書上冊由哈爾濱電器製造學校史乃(第一章、第二章及第 59、60 節)和費正生(第三、四章及第 54~158、61、62 節)二同志譯出初稿，最後由費正生同志整理校訂。

書號 0615

1954 年 11 月第一版第一次印刷 0,001—4,700 冊 787×1092<sup>1/16</sup> 209 千字 9<sup>2</sup>/<sub>9</sub> 印張

機械工業出版社(北京盛甲廠 17 號)出版 機械工業出版社印刷廠印刷

新 華 書 店 發 行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價 16,200 元(甲)

中等專業學校教學用書



# 電磁測量儀表的計算與結構

上 冊

阿 盧 邱 諾 夫 著

費 正 生、史 乃 合 譯



機 械 工 業 出 版 社

1954



## 出版者的話

本書係根據蘇聯動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版、阿盧邱諾夫 (В. О. Аругюнов) 著“電磁測量儀表的計算與結構”(Расчет и конструкции электроизмерительных приборов) 一書 1949 年版譯出。原書經蘇聯電氣工業部教育局審定為中等技術學校教科書。

本書論述儀表的一般特性、誤差、普通元件的結構和計算以及磁電式、電動式、電磁式、感應式、靜電式等儀表和流比計的結構和計算；也簡單地論述了自動記錄儀表和電阻器。本書除供動力和電器方面的中等技術學校作教科書或教學參考書外，同時也可用作工程技術人員的參考書。

譯本分上下二冊出版，上冊包括第一章至第五章，下冊包括第六章至第十三章。

本書上冊由哈爾濱電器製造學校史乃(第一章、第二章及第 59、60 節)和費正生(第三、四章及第 54~158、61、62 節)二同志譯出初稿，最後由費正生同志整理校訂。

書號 0615

1954 年 11 月第一版第一次印刷 0,001—4,700 冊 787×1092<sup>1/16</sup> 209 千字 9<sup>2/9</sup> 印張

機械工業出版社(北京盛甲廠 17 號)出版 機械工業出版社印刷廠印刷

新 華 書 店 發 行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價 16,200 元(甲)

# 目 次

原序	5
緒論	7

## 第一章 電磁測量儀表的一般性能

1 穩定偏轉狀態	10	2 不穩定偏轉狀態	28
1 測量機構和測量線路	10	11 活動部分的運動性能	28
2 穩定偏轉	11	12 在沒有摩擦的情況下受不變的轉動力矩作用的活動部分的運動	29
3 定位力矩	13	13 阻尼時間	32
4 力矩曲線的試驗求法	14	14 共振外受變動力矩作用的活動部分的運動	34
5 標度尺的特性	15	15 共振條件下受變動力矩作用的活動部分的運動	37
6 摩擦力矩	17	16 受隨偏轉角而變的力矩作用的活動部分的運動	40
7 垂直軸摩擦	18		
8 水平軸摩擦	20		
9 品質係數	23		
10 儀表對顛簸和振動的穩定性	25		

## 第二章 電磁測量儀表的誤差

1 基本誤差及其形成	41	2 外界因素的影響	54
17 基本誤差和附加誤差	41	26 概論	54
18 摩擦誤差	42	27 外界因素的影響引起的測量線路誤差的計算	54
19 傾側誤差	43	28 在某些個別情況下外界因素的影響引起的儀表誤差	58
20 不完全平衡誤差	44	29 周圍環境的溫度對測量儀表示數的影響	60
21 標度尺的刻度和裝置不正確的誤差	47	30 頻率對測量儀表示數的影響	63
22 調整不夠準確的誤差	49	31 外界磁場的影響	63
23 彈簧永久變形的誤差	50	32 外界電場的影響	66
24 讀數誤差	50		
25 內部電磁場誤差	53		

## 第三章 電磁測量儀表普通元件的結構和計算

1 電磁機構元件	67	2 光學裝置	101
33 外殼	67	41 概論	101
34 指示器和標度尺	73	42 光的大小和單位	102
35 彈簧、懸絲和拉絲	75	43 光的反射和折射	104
36 平衡錘的計算	76	44 光學裝置的元件	105
37 阻尼器	79	45 光學裝置中光的損耗	112
38 磁鐵	83	46 發光指示器的結構和光學線路	113
39 分流器	89	47 帶有內部發光指示器的儀表的光學裝置計算舉例	115
40 附加電阻	95		

## 第四章 電磁測量儀表的普通計算法

- |                                 |     |                                    |     |
|---------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 48 運用上和生產上的要求的規定和<br>型式的選擇..... | 119 | 51 在具有活動框架的儀表中獲得最<br>大品質係數的條件..... | 124 |
| 49 儀表基本尺寸的決定.....               | 121 | 52 在沒有活動框架的儀表中獲得最<br>大品質係數的條件..... | 126 |
| 50 作為測量機構計算基礎的最大品<br>質係數.....   | 122 | 53 計算測量線路的主要先決條件.....              | 128 |

## 第五章 磁電式儀表

- |                      |     |                       |     |
|----------------------|-----|-----------------------|-----|
| 54 測量機構的結構.....      | 130 | 59 溫度補償的串並聯線路的計算..... | 147 |
| 55 伏特計和安培計的簡單線路..... | 134 | 60 磁電式歐姆計.....        | 149 |
| 56 溫度補償線路.....       | 138 | 61 磁電式電流計.....        | 158 |
| 57 多量程儀表的線路.....     | 141 | 62 磁電式振動器.....        | 163 |
| 58 磁電式儀表的計算.....     | 144 |                       |     |

## 原 序

到目前為止，在所出版的教科書和教學參考書中，關於電磁測量儀表的理論、計算和結構設計等問題，還沒有應有的反映。根據電磁測量普通教程的需要而編寫的教學參考書，主要只包括敘述性的材料，至於原理，僅以研究任何一類電磁測量儀表的普通性能和特徵所需要者為限。波諾馬列夫(Н. Н. Пономарев)教授主編，很多作者集體執筆的兩部著作<sup>①</sup>却屬為例外，他們在著作中第一次嘗試綜合了很多主要是蘇聯在電磁測量儀表方面的理論、計算和結構設計的方法等問題。按問題的複雜而言，該書是世界上技術文獻中首創的綜合性著作；現在它還是這樣，因為國外至今還未出版類似的作品。

可惜此書的印數非常少，至今幾乎成為圖書目錄中的珍品。此外，在該書編出以後，我們的電磁測量技術也有了進步，在電磁測量儀表的理論和計算方法方面出現了新的著作，工業發展了，新的學校也建立起來了。

因此，不論大學或中等技術學校，對電磁測量儀表的理論、計算和結構設計一課的教學參考書的需要顯得更為迫切了。本書可作為動力和電工中等技術學校的參考書。它包括電磁測量儀表的理論和計算的基本問題，在結構方面，也有相當多的材料。它不僅以作者個人的經驗，而特別是以許多蘇維埃學者和工程師的著作為基礎。

作者研究了動力和電工中等技術學校的普通技術課(數學、物理、普通電工學和電工學的理論基礎等)的教學大綱，得出這樣的結論：專業課(電機、電磁測量等)並未完全利用中等技術學校的學生在前二學年中所獲得的在一定程度上相當廣泛的知識。這些專業課太簡單了，它們一點也不接觸到高等數學初步，也避免利用綜合法或矢量法等等。據我們的意見，這種辦法一點也不幫助鞏固學生的知識，以及促使學生在把前幾個學年的基本原理運用到研究專業課問題時得到熟練。相反，在這樣的情況下，學生在學校的學習快要結束時，很可能把他在第一學年所學習的東西忘了很多。

據以上所述，作者認為，在本書中運用高等數學初步、綜合法、矢量法以及交流電理論和電工學理論基礎的定律，只要在這些課程的教學大綱範圍內，是可以的。

本書內容基本上符合蘇聯電氣工業部教育局所批准的同一課程的教學大綱。

在說明教材時，作者採用非循環制方程式和CGS<sub>μ<sub>0</sub></sub>單位制。書末(附錄四)附有MKSM制和CGS<sub>μ<sub>0</sub></sub>制的對照表。

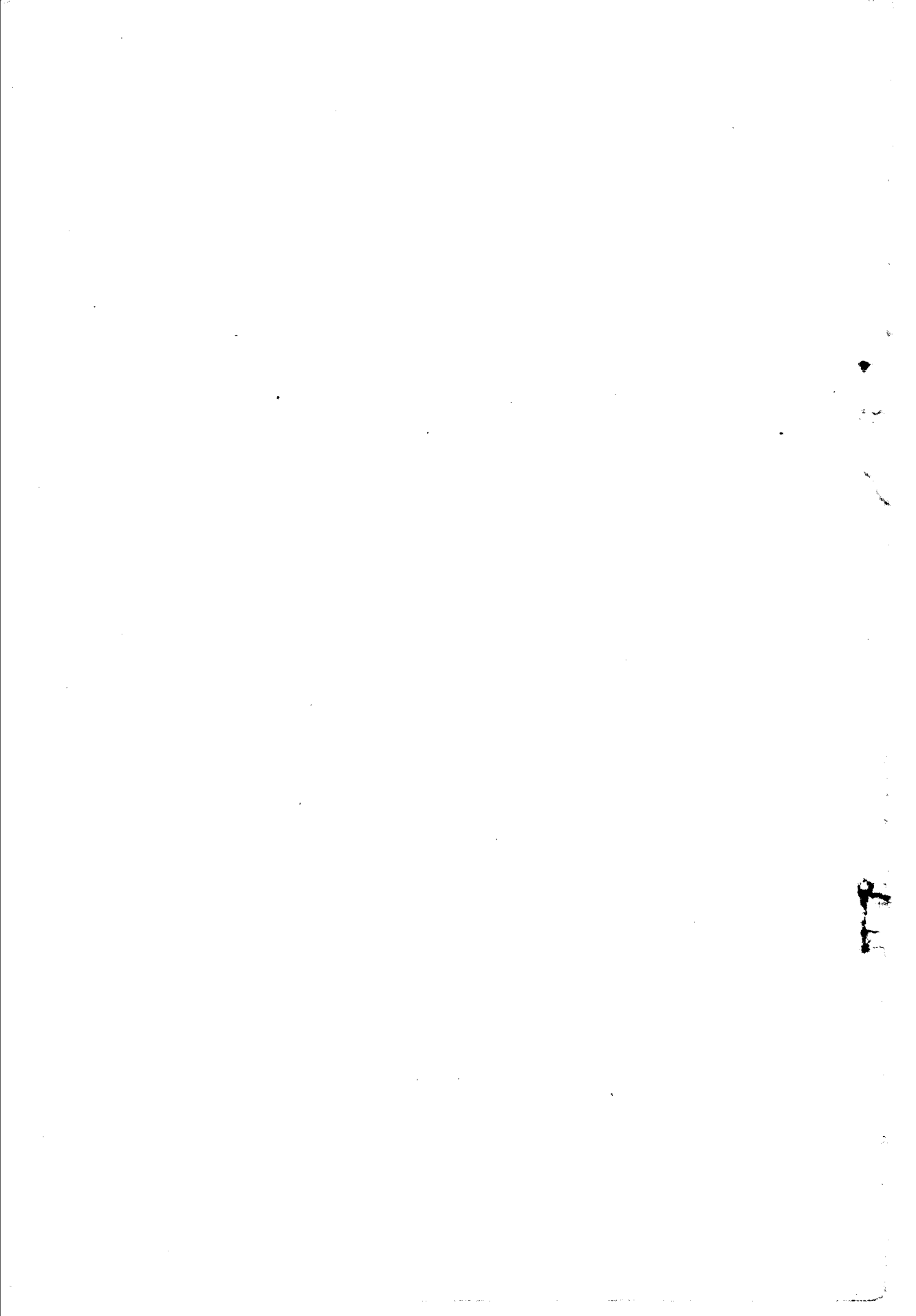
雖然本書的使命是作為中等技術學校學生的教學參考書，可是，作者希望它對工業方面的工程技術人員在創製新的更完美的電磁測量儀表結構的實際工作中也有所幫助。

最後，作者對批評家達姆斯基(А. М. Дамский)和編輯奧爾廂斯基(Д. Л. Оршанский)所提的寶貴意見致以謝意，同時對負責繪製插圖的列克(П. Т. Лек)、審查稿子的彼庚(С. М. Пигин)和謝里維爾斯托夫(И. Н. Селиверстов)表示感謝。

作 者

① “Конструкции электроизмерительных приборов”, Л.—М., 1935 和 “Теория, расчет и конструирование электроизмерительных приборов”, Л. 1943.





## 緒 論

自然界現象的研究，各種現象所服從的規律的發現，最後一定歸終於研究現象的本質，以及決定與所研究的現象有關的各物理量之間的數量上的相互關係；這種研究是與測量方法緊密地聯繫着的。

在研究過程中所用的測量儀表愈是完善和精確，則任何現象、任何規律就會研究得愈是深刻、徹底而準確。較為完善的測量儀器往往促成新現象和新規律的發現。例如，重量測量準確度和天平精密度之增大，導致了氫氣的發現。顯微鏡在實驗工作中的引用完全開闢了研究微生物學無上的可能性，並引致科學各獨立部門的興起（例如微生物學、金相學）。

另一方面，在任何理論和技術知識領域內的新發現，也促進測量儀表今後的改善，並且將是製造完全新的測量儀表的基礎。如二個電荷相互作用這一現象的發現使有可能構成驗電器，而用了驗電器，首先得以確定在這種現象中準確的量的相互關係，此即有名的庫倫定律。電子學說的發展引導我們創造了電子顯微鏡，它使所觀察的物件放大了50000倍以上。

這樣一來，測量方法和測量儀表發展的歷史大體上是和科學發展的歷史緊密相關而不可分的；特別是電磁測量技術的發展是在與物理學和電工學的發展密切地相互作用中推進的。

電工學發展的所有主要階段是和俄羅斯學者們的名字分不開的，從前一世紀開始，他們相繼有了發現，並確定了電磁學的主要定律。

第一個電磁測量儀表——帶有標度尺的驗電器——是羅蒙諾索夫（М. В. Ломоносов）的共事者、俄國科學院院士黎赫曼（Г. В. Рихман）在1751年所創製的，它早已含有構成測量儀表的基本原理，即二個力的相互作用、二個力矩的相互作用，其中之一為待測量的函數，另一個為儀表活動部分位置的函數。這個原理是所有現代的直讀儀表的基礎。

羅蒙諾索夫在研究電的現象時還確定了‘電量是可以度量的’，並從而預示了在以後幾十年中利用電流的相互作用力這個觀念來製造電磁測量儀表。

上世紀初，俄國學者楞茨（Э. Х. Ленц）和雅柯比（Б. С. Якоби）發展了電磁感應的學說，並推動了以後電磁測量技術的發展。楞茨在1832~1833年所闡明的發電機的可逆性原理是所有現今電磁測量儀表的基礎。1834年，雅柯比發明了第一個有旋轉電磁鐵的電動機，其中已直接利用了旋轉運動。在這個電動機中已奠定了換向器的觀念，沒有換向器，電機運轉是不可思議的，因而直流瓦時計的運轉也是不可思議的。楞茨和雅柯比在1838年第一次闡明了標準電阻這個觀念，並製成了標準電阻——校正過的一定長度的金屬線。

在1881年於巴黎召開的第一次電氣會議上，研究了確定測量電和磁的單位制這個問題。在這次會議上，由於斯托列托夫(A. Г. Столетов)的堅持，採用了絕對電磁單位制和靜電單位制。他還堅持了保留電阻的絕對單位——歐姆，而認為約在那時所提出的水銀定準器在一定程度上接近電阻的絕對單位。這些，確定了今天實現從實用國際單位過渡到絕對單位的原則上的可能性。斯托列托夫曾懷着滿意的心情指出過，在這次會議中所採用的決議完全是建築在他的提議的基礎上的。

十九世紀九十年代初，俄國卓越的工程師陀里伏-陀勃羅伏里斯基(М. О. Доливодобровольский)在發展了他所提議的運用三相電流這個觀念的同時，擬製了許多新的電磁測量儀表，特別是以旋轉磁場理論為基礎的第一個相位計(1894年)。他還提供了現在的具有鐵芯被吸入線圈的電磁式儀表的原型。1913年，陀里伏-陀勃羅伏里斯基根據斯托列托夫關於鐵的磁化的卓越著作，第一次擬製了鐵磁電動式儀表，現在，它得到了廣泛的應用。當時，他還闡明了類似儀表的構造原理。直到現在，這些原理還是沒有變。

由於自己的工作而舉世聞名的俄國發明家還有雅勃洛赤柯夫(П. Н. Яблочков)、烏薩庚(И. Ф. Усагин)、洛德庚(А. Н. Лодыгин)和波波夫(А. С. Попов)等等。特別值得提出的是雅勃洛赤柯夫，他是俄國第一座電機製造廠的首創人，該工廠也製造了他於1880年在世界第一次專門電工展覽會上公開實驗過的電磁測量儀表。

在俄國，電工學和電磁測量方面的理論和實驗工作都集中在高等學校——大學裏，集中在工藝學院和晚校的電工學院中。這裏必須指出至今還健在的年老的俄國電工學家、蘇聯科學院通訊院士沙捷連(М. А. Шателен)在俄國高等技術教育機構的事業中所起的卓越作用。特別是第一本俄語的電磁測量的教材是他寫的(1899年)。

可是，具有世界意義的天才的俄國發明家和學者的事業，在沙皇俄國未曾得到重視；他們的發明也沒有得到應有的應用。阻礙俄國學者的發明和思想實現的，不僅是由於俄國工業發展的水平低，也與當時俄國的小工廠和作坊都按外國大公司的圖紙和手冊來工作有關係。

偉大的十月社會主義革命在推翻了技術落後的古老俄國後，為開始迅速地發展祖國的電氣動力工業和電機工業開闢了道路。1920年，偉大的列寧的俄羅斯電氣化計劃——ГОЭЛРО(國家電氣化計劃)擬製了。這個計劃在我國實現的過程中，不僅興建了新的巨大的電力站，還建立了自己強大的電機工業。

在斯大林五年計劃執行的年代裏，我們的電氣工業獲得了巨大的成就。同時，儀表製造工業也隨着發展並鞏固了。這期間，巨大的生產電磁測量儀表的工廠，力量雄厚的試驗-設計局都建立起來了，許多培養儀表製造專家的高等學校也開辦起來了。

在這個時期，電磁測量的技術有了長足的進步。現在，建立絕對的電和磁的單位的定準器的一系列工作已告結束。蘇聯度量衡研究院(ВНИИМ)在雅諾夫斯基(В. М. Яновский)教授和西拉姆柯夫(Е. Г. Шрамков)教授領導下創製成了電流定準器——電流天平，其複製的電流絕對單位具有 $3 \times 10^{-5}$ 安培的精確度。在世界上，西拉姆柯

夫教授和雅諾夫斯基教授第一次創製了磁場強度的定準器。馬里柯夫(М. Ф. Маликов)教授、柯洛索夫(А. К. Колосов)教授等在創製電動勢定準器方面的工作獲得了輝煌的成就:各國的定準器對比的結果,蘇聯的定準值僅與平均值相差2微伏,而其他各國的定準器就相差很大,個別的竟達20微伏。

電磁測量儀表的計算,結構設計和研究等問題方面的許多工作,高深的科學研究的改進,大量的科學論文,高等電工學校和科學機關的著作,許多基本理論的研究等,都反映了主要的原理,蘇聯科學中電磁測量部門所進行的研究都引用這些原理。這裏必須指出:波諾馬列夫(Н. Н. Пономарев)教授和他的同事達姆斯基(А. М. Дамский)、拉楚莫夫斯基(Н. Н. Разумовский)、阿盧邱諾夫(В. О. Арутюнов)、阿維爾布赫(Я. С. Авербух)等在電磁測量儀表的理論和計算方面的工作;西拉姆柯夫在磁的測量方面和建立電磁測量技術的科學基礎方面的工作;康托爾(А. С. Кантор)和拉楚莫夫斯基在永久磁鐵的計算方面的工作;舒米洛夫斯基(Н. Н. Шумиловский)、卡薩脫庚(А. С. Касаткин)、郭留諾夫(П. Н. Горюнов)、拉夫盧亨(М. А. Лаврухин)、布里(Б. К. Буль)、郭爾巴采維赤(С. В. Горбачевич)等在測量功率和能量方面的工作;富列姆蓋(А. В. Фремке)、楚克蓋爾曼(М. Л. Цукерман)、米哈伊洛夫(А. В. Михайлов)、阿盧邱諾夫、日丹諾夫(Г. М. Жданов)、柯娃列夫斯卡婭(В. В. Ковалевская)等在發展新的電磁測量技術方面——遠距離測量的工作;聶斯捷連柯(А. Д. Нестеренко)教授在較差-零值儀表和儀用互感器方面的工作;克羅托娃婭(В. И. Кротова)、克拉丕文斯基(Л. Л. Крапивенский)、希羅柯夫(К. П. Широков)、克羅脫柯夫(И. Н. Кротков)、列文(М. И. Левин)等在研究測量的補償方法和電橋線路方面的工作。

蘇維埃的學者和工程師們根據作用和結構的原理擬製了很多獨創的電磁測量儀表,如向量計、整流式和真空管式伏特計、儀用互感器、流比計、示波器等[古金馬海爾(Л. И. Кутенмахер)、卡蘭捷也夫(К. Б. Карандеев)、聶伊曼(Л. Р. Лейман)、馬拉姑林娜(К. П. Маракулино)、塔里茨基(А. В. Талицкий)、斯捷柯里尼柯夫(И. С. Стекольников)、達姆斯基、謝里別爾(Б. А. Селибер)、阿盧邱諾夫等]。

戰後斯大林五年計劃規定電磁測量儀表工業有巨大的發展。這個發展是建築在掌握電磁測量方面的理論和技術思想的最新成就的基礎上的,它將使蘇聯的動力工程和各種工業部門裝置起新的、完善的電磁測量儀器。電磁測量技術的進步也將促進我們偉大的社會主義祖國的全民經濟的普遍的技術上的進步。

# 第一章 電磁測量儀表的一般性能

## 1 穩定偏轉狀態

**1 測量機構和測量線路** 本書所研究的主要是代表儀表最多數類型的、用於測量電和磁的直讀電磁測量儀表的理論、計算和結構方面的問題。這類儀表最主要的型式為磁電式、電磁式、電動式、感應式和靜電式。這些型式的儀表是屬於電氣機械類儀表的。

每一種電氣機械類的電磁測量儀表包括二個主要部分：測量機構和測量線路。測量線路用於改變待測量 $X$ （如電壓、電流、功率、頻率等）為另一個直接被測量機構所接受的電氣量 $Y$ 。這個過渡量 $Y$ 在測量機構中產生一種使測量機構的活動部分移動的機械力。根據活動部分的移動，觀察者就可藉指示器來判斷待測量 $X$ 值的大小。

儀表測量機構的活動部分通常是設計成這樣的：它圍繞着軸作旋轉運動，並備有指針-指示器，供讀取旋轉角之用。活動部分的旋轉角叫偏轉角，或簡稱偏轉。活動部分的偏轉是由電氣量 $Y$ 作用在測量機構上而產生的。幾乎在所有的電磁測量儀表中，這種量是電流、二個電流的乘積（如瓦特計）或電壓（在靜電式儀表中）。要測量其他的電氣量也得預先把它們改變為直接作用於測量機構的過渡量 $Y$ 。顯然，要是在這種情況下，待測量就是 $Y$ 量本身（如安培計中的電流），這種改變就不必要了，而測量機構之外的測量線路或者沒有，或者起着別的輔助作用，例如擴大量程、誤差補償等等。

因為指示式電磁測量儀表的標度尺直接用待測量 $X$ 的單位來刻度，所以在偏轉角 $\alpha$ 和待測量 $X$ 之間存在着一定的關係，這個關係一方面決定於 $Y$ 量和 $X$ 量之間的關係，即：

$$Y = f_Y(X), \quad (1)$$

另一方面決定於偏轉角 $\alpha$ 和 $Y$ 的關係，即：

$$\alpha = f_\alpha(Y)。 \quad (2)$$

第一式與測量線路有關，它決定於線路的性質和參數，第二式與測量機構有關，它決定於測量機構的性質和參數。

從以上二式中消去 $Y$ 量，可得待測量 $X$ 和偏轉 $\alpha$ 之間的關係：

$$\alpha = f_\alpha[f_Y(X)] = F(X)。 \quad (3)$$

在外界條件一定的情况下，與每一個待測量 $X$ 的大小相應的有一個，而且也只能有一個一定的偏轉角 $\alpha$ 。否則，儀表的示數將是不正確的。為此，必須：

1) 二個函數是單值的；

2) 在溫度、周圍環境的濕度和壓力、待測量的頻率等等的變化下產生的線路和測量機構參數的變化，其所引起的儀表示數的變化要儘可能小些，也就是誤差要小些。

儀表的測量機構和線路應計算和設計得使這些誤差不超過預定的一定值，這也是設計者的主要任務之一。

由於外界條件變化以及測量機構本身特性的變化而引起的示數容許變化範圍，或者說容許誤差，規定在蘇聯國家標準 ГOCT 1845-42 ‘電磁測量儀表的一般技術條件’中。根據 ГOCT，所有的電磁測量儀表按儀表的基本誤差的容許值（見第 17 節）分為以下幾級：0.2；0.5；1.0；1.5；2.5。表示儀表等級的數字相當於儀表測量範圍內容許誤差的百分率。

**2 穩定偏轉** 在測量機構中，由於電氣量  $Y$  的作用而產生轉動力矩，它力圖使活動部分離開原來的位置——零標，而向着示數增長的方面偏轉。儀表的型式不同，這種轉動力矩產生的方法也不同，如在磁電式儀表中，轉動力矩是由活動框架中的電流和永久磁鐵的磁通相互作用而產生的，而在電磁式儀表中，則是由固定線圈的磁通和鐵磁性材料製的活動鐵芯相互作用而產生的等等。

表 1 列舉了電氣機械類電磁測量儀表五種主要型式的轉矩式。由那些式子中可見，參與產生轉動力矩的  $Y$  量隨型式的不同而互異；其一，轉矩式中的  $Y$  為一次冪，而另一個則為二次冪。除此之外，從表內還可看出，大多數型式的轉矩在活動部分位置改變（偏轉角  $\alpha$  的改變）的範圍內並不是一定的，如在同一個  $Y$  量的情況下，力矩是根據活動部分對固定部分所佔的相對位置而變化的。這種對於位置的關係決定於隨  $\alpha$  變化的電感  $L$ 、互感  $M_{12}$  或電容  $C$  的變化速度。只有在磁電式、感應式和鐵磁電動式儀表<sup>●</sup>中，轉動力矩不隨活動部分的位置而變。所以，在一般的情況下，轉動力矩可以寫成：

$$M = Y^n f(\alpha) \quad (4)$$

表 1

次序	儀表型式	過渡量	轉動力矩	附註
1	磁電式	電流 $I$	$\Psi I = Y k_1$	$\Psi$ —與框架相鏈的總磁通
2	電磁式	電流 $I$	$\frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} = \frac{1}{2} Y^2 f_2(\alpha)$	$L$ —線圈的電感
3	電動式	電流乘積 $I_1 I_2$	$I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = Y f_3(\alpha)$	$M_{12}$ —相互不串聯的固定線圈和活動線圈間的電感
4	電動式	電流 $I$	$I^2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = Y f_4(\alpha)$	固定線圈和活動線圈是互相串聯的
5	感應式	電流乘積 $I_1 I_2$	$I_1 I_2 \frac{dM_{1,20}}{d\alpha} + I_2 I_1 \frac{dM_{2,10}}{d\alpha} = k_5 I_1 I_2 = Y k_5$	$I_{10}, J_{20}$ —由電流 $I_1, I_2$ 所產生的磁通相應地在圓盤中所感應的電流 $M_{1,20}, M_{2,10}$ —相應的電流迴路間的互感
6	靜電式	電壓 $U$	$\frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha} = \frac{1}{2} Y f_6(\alpha)$	$C$ —電極間的電容

圖 1 中所畫的是各種型式的電磁測量儀表的典型曲線。

● 流比計和用特別方法特地產生轉動力矩和偏轉角的一定關係的儀表除外。

表內沒有列出熱效式和電化式儀表，它們不屬於電氣機械類儀表。大家知道，熱效式儀表利用電流的熱效應，而電化式儀表則利用電解質電解時出現的電流的化學效應，對這二種型式的儀表而言，在電流作用之下並不直接引起轉動力矩。在熱效式儀表中，轉動力矩由彈簧產生，而彈簧的張力則是由被加熱的金屬絲的膨脹來控制的；而在電化式儀表中，待測量並不是根據指示器的移動來判斷，而是根據任何電解物質中所析出的量來判斷的。因此，這兩種儀表應特別地加以研究。現在，由於熱效式儀表已為熱電式儀表所代替（見第 63 節），而電化式儀表在運用方面所受的限制比較多，故本書對這兩種型式不加以研究。

假如在電磁測量儀表中只有轉動力矩，則活動部分就會不管待測量多大而會偏轉到盡頭。為了使每一個待測量有相應的一定偏轉，必須要有一種力矩來平衡待測量所產生的轉動力矩，該力矩與轉動力矩方向相反而與偏轉角有關。這種反作用力矩通常由螺旋彈簧所產生，並按偏轉角增大的程度而增大。有時也用重力或磁力來產生反作用力矩。

因此，反作用力矩可以寫成：

$$M_a = f_M(\alpha) \quad (5)$$

對於在電磁測量儀表中採用最多的螺旋彈簧以及對於懸絲和拉絲而言，反作用力矩是和它們的扭轉角（即偏轉角）成正比例增長的，所以：

$$f_M(\alpha) = W\alpha$$

彈簧的特性用產生單位偏轉角的力矩（即反作用力矩係數）來說明，對彈簧、懸絲和拉絲而言，它等於：

$$\frac{dM_a}{d\alpha} = W \quad (6)$$

而與偏轉角無關。

以後我們將會到處碰到  $f_M(\alpha) = W\alpha$  這種形式，在其他特殊情況下則另外說明。

在轉動力矩作用之下，活動部分開始偏轉，並扭緊（或拉鬆）螺旋彈簧，直至反作用力矩與轉動力矩相等為止，於是，活動部分得到一偏轉角  $\alpha_c$ ，這稱作穩定偏轉。因而，活動部分的平衡位置或穩定偏轉決定於作用在活動部分上的總力矩為零時的位置。故：

$$M - M_a = 0,$$

或

$$Y^n f(\alpha_c) = f_M(\alpha_c), \quad (7)$$

式中  $\alpha_c$  穩定偏轉角。從上式中解得  $\alpha_c$ ，就找到  $\alpha_c$  和  $Y$  的關係〔即(2)式〕。

平衡位置也可用構成力矩曲線的圖解法來決定。如圖 2 所示，不論轉動力矩或反作用力矩都放在第一象限內，可是，它們的符號是相反的。二力矩曲線的交點  $A$  給出

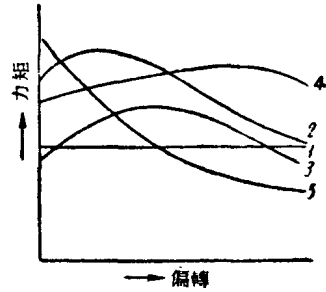


圖 1 不同型式儀表的轉動力矩的典型曲線

1—磁電式、感應式和鐵磁電動式儀表； 2—電磁式； 3—電動式伏特計； 4—電動式瓦特計； 5—靜電式伏特計

穩定偏轉角  $\alpha_c$ ，因為在這一點，轉動力矩和反作用力矩是相等的。

**3 定位力矩** 假如用機械的方法使活動部分離開平衡位置  $\alpha_c$  成某一角度  $\Delta\alpha$  (圖 2)，則力矩差  $M - M_a$  將作用到活動部分，它力圖使活動部分回到原來的平衡位置。

在平衡破壞的情況下所引起的力矩差叫做**定位力矩**，用字母  $M_c$  來表示。定位力矩應該總是處於反對偏轉角  $\alpha_c$  改變的方向，否則，活動部分是不穩定的。由此可見，當活動部分離開平衡位置向左偏移時，轉動力矩將大於反作用力矩，而定位力矩力求使活動部分回到右邊。反之，當它離平衡位置向右偏移時，轉動力矩將小於反作用力矩，而活動部分力圖回到左邊，即又回到穩定偏轉方面。

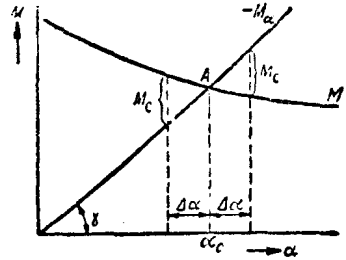


圖 2 穩定偏轉的圖解法

這樣，活動部分在  $M - M_a$  (即定位力矩  $M_c$ ) 作用的平衡範圍內是穩定的。定位力矩應該相當大，以便克服如像軸承內的那種摩擦，使儀表示數精確。同一個  $\Delta\alpha$  角所有的定位力矩愈大，則活動部分所穩定的平衡位置愈準確。

活動部分離開平衡位置的  $\Delta\alpha$  單位角的定位力矩  $M_c$  叫做**定位力矩係數**，以字母  $M'_c$  表示。因而定位力矩係數為：

$$M'_c = \frac{dM_c}{d\alpha} = \frac{dM}{d\alpha} - \frac{dM_a}{d\alpha} \quad (8)$$

假如已知轉動力矩和反作用力矩的解析式，則只要對力矩差  $M - M_a$  微分便可得到定位力矩係數。例如，在這種情況下，假如  $M = \text{常數}$  (如在磁電式儀表中)，而反作用力矩由彈簧產生，則得：

$$\frac{dM}{d\alpha} = 0 \quad \text{和} \quad \frac{dM_a}{d\alpha} = W,$$

以及

$$M'_c = -W,$$

即磁電式儀表的定位力矩係數等於反作用力矩係數，並且在儀表整個標度尺的各處它總是常數。

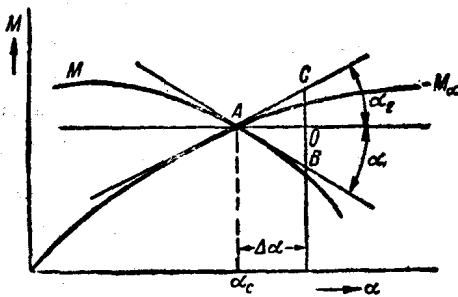


圖 3 定位力矩係數的圖解法

假如轉動力矩和反作用力矩已知如圖示的曲線形式，則同樣可用如圖 3 所示的圖解法求得  $M_c$  的大小。在力矩曲線的交點對力矩曲線引二切線  $AB$  和  $AC$ 。反作用力矩係數在數量上將等於切線  $AB$  和  $AC$  與水平線之間的夾角  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的正切之總和<sup>●</sup>。假如在離平衡位置  $\Delta\alpha$  處引一條與橫軸垂直的直線，則線段  $OB$  和  $OC$  將與  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  角的正切成正比。因此，定位力矩係數將為：

● 是和，不是差，因為反作用力矩曲線和轉動力矩曲線在同一個象限內，而它們的符號是相反的。



$$M'_c = \frac{OB}{\Delta\alpha} + \frac{OC}{\Delta\alpha} = tg\alpha_1 + tg\alpha_2。$$

線段  $OB$  和  $OC$  應該用力矩單位來表示, 如用達因公分, 則角度用度或弧度來表示。於是  $M'_c$  將用單位弧度或度的達因公分來表示。

4 力矩曲線的試驗求法 爲了用試驗法確定力矩曲線, 通常採用下列方法之一:

a) 測力計法 用作測量力的儀表叫做測力計, 它通常運用將待測力與測力計內彈簧所產生的另一種力相比較的方法。在電磁測量儀表中, 這種測力計也可用來測量力矩。

圖 4 所示爲測力計的裝置, 它專用來測量力矩。圖中, 在軸 1 上固定着標準螺旋彈簧 2, 彈簧的外部末端用支持器 3 與塞栓 4 相聯繫。在塞栓上固定着標度尺 5, 通過塞栓頭 6 可使標度尺繞着軸旋轉。在軸 1 上還配置着有延長桿 8 的指針 7 和在永久磁鐵  $N-S$  極間移動的阻尼器的扇翼 9。尖端 10 是軸 1 的幾何延續部分, 它用來使測力計的軸和待測測量儀表的軸對準。

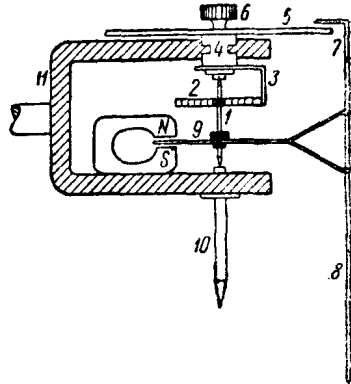


圖 4 電磁測量儀表中用來測量力矩的測力計的結構

測量是這樣來進行的。先把測力計框 11 裝在三腳架上, 要裝得使尖端 10 是儀表軸的延長部分, 然後, 由桿 8 來帶動儀表的指針, 扭轉塞栓頭 6, 使待測儀表的指針偏轉到所要測量力矩的那個角度。此時, 測力計的指針 7 指示出彈簧 2 的扭轉角  $\alpha_0$ , 而彈簧的反作用力矩係數  $W_0$  應該是已知的。於是未知力矩  $M_x$  爲:

$$M_x = W_0 \alpha_0。$$

假如要求得儀表的轉動力矩曲線, 即要測量儀表在各個偏轉角  $\alpha$  時的力矩, 則被試驗儀表中的彈簧鉚接端應該拆下來。可惜, 這種做法只適用於彈簧僅用來產生反作用力矩而並不用來引導電流到活動部分去的儀表, 如電磁式和感應式儀表。在其餘的場合下(如在磁電式和電動式儀表中), 彈簧拆下來後, 應該用無力矩導流片來替代, 以便引導電流。如果因爲某種緣故而做不到這一點時, 可以用下面的測量方法, 它用不着把彈簧的鉚接端拆下來。

一開始, 在儀表斷路的情況下, 用測力計測量出被試儀表的彈簧的力矩, 並求得儀表彈簧的反作用力矩係數  $W$ , 或者繪出反作用力矩的全部曲線。然後接通儀表, 使它達到全偏轉, 再用測力計把儀表的指針引到標度尺上要測量轉動力矩的標度處。該標度處的轉動力矩是測力計的示數和反作用力矩示數之和。

6) 平衡錘法 在某種偏轉的情況下, 儀表的力矩也可以用通常裝在被試儀表的指針桿上的平衡錘來測量。平衡錘通常是用摺成雙層的、預先稱得很精確的細金屬線做成的。把平衡錘裝在指針桿上, 並把儀表放置得使它的軸處於水平位置, 然後沿指針桿移動平衡錘, 直到由平衡錘的重力所引起的力矩與待測力矩相平衡爲止, 而指針就停留在儀表力矩要測量的那個位置。此時, 使儀表圍繞着軸轉動, 直到指針處於水平爲止。假如平衡錘的重量爲  $G$ , 而當平衡錘離儀表軸  $l$  時已達平衡, 則未知力矩爲:

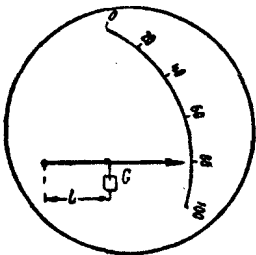


圖 5 用平衡錘來測量力矩

$$M_x = Gl。 \quad (9)$$

圖 5 所示爲當指針在 80 分格時力矩的測量。在別的偏轉情況下來測量力矩時, 每一次都應該把儀表轉動得使指針總是停留在水平位置。

也可以用這個方法來決定測力計的常數, 即彈簧 2 (圖 4) 的反作用力矩係數  $W_0$ 。