

高等学校教学用书



電 磁 測 量 學
普 通 教 程

A. B. 福萊姆坎主編
供 効 訓 譯

高等教育出版社

本書原來是根據蘇聯國立動力出版社(Государственное энергетическое издательство) 1950年出版的、福萊姆坎(А. В. Фремке)主編的“電磁測量學,普通教程”(Электрические измерения, общий курс)第一版譯出的,現經原譯者北京工業學院洪効訓根據1954年原書第二版加以修訂。原書編者除福萊姆坎外,有巴依達(Л. Н. Байда)、多勃羅特沃爾斯基(Н. С. Добровольский)、奧爾享斯基(Д. Л. Оршанский)、帕切林斯卡婭(С. Н. Печинская)、拉茲莫夫斯基(П. П. Разумовский)和已故教授斯維爾斯基(В. А. Сви́рский)。原書第二版經蘇聯高等教育部高等工業學校和高等機器製造學校總管理局審定為動力及電工高等學校和動力及電工系的教科書。

本書敘述了各式電磁測量儀表的結構、作用原理和應用,說明了電氣量值測量方法的理論,以及關於電磁測量專門化範圍——磁的測量,用電的方法測量非電量和遠距離測量——的基本知識。材料敘述時採用了電磁學的合理化方程式和 MKSA 單位制。

本書舊版中譯本由商務印書館出版,修訂版改由本社出版。

電 磁 測 量 學

普 通 教 程

福萊姆坎主編

洪効訓譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

目 錄

序.....	7
緒論.....	9

(A. B. 福萊姆坎, H. H. 拉森莫夫斯基)

第一篇 電磁測量儀表

第一章 關於電磁測量儀表的一般知識

(§ 1—4, A. B. 福萊姆坎)

§ 1. 定義和分類	17
§ 2. 直讀電磁測量儀表的一般理論基礎	20
§ 3. 對電磁測量儀表的一般要求以及儀表的特性	30
§ 4. 關於直接測量電流和電壓的一般知識	40

第二章 電磁測量儀表的各種直讀型式

(§ 5—18, 29—31, C. H. 帕切林斯卡婭; § 19—28, H. C. 多勃羅特沃爾斯基)

I. 磁電式	46
§ 5. 測量機構的結構和作用原理	46
§ 6. 理論	48
§ 7. 安培表, 伏特表和歐姆表	50
§ 8. 磁電式流比計	54
§ 9. 誤差及特性	57
II. 附有變換器的磁電式儀表	59
§ 10. 整流式儀表	59
§ 11. 熱電式儀表	67
§ 12. 電子管式儀表	72
III. 電磁式儀表	78
§ 13. 測量機構的結構和作用原理	78
§ 14. 理論	80
§ 15. 安培表和伏特表	81
§ 16. 電磁式流比計	82
§ 17. 諧振式儀表(頻率表)	86
§ 18. 誤差及特性	87
IV. 電動式儀表	88
§ 19. 測量機構的結構和作用原理	88
§ 20. 理論	91

§ 21. 伏特表、安培表和瓦特表	93
§ 22. 瓦特表的極性、發電機端和常數	98
§ 23. 流比計	100
§ 24. 誤差及特性	106
V. 感應式儀表	110
§ 25. 測量機構的結構及作用原理	110
§ 26. 理論	115
§ 27. 瓦特表	119
§ 28. 誤差和特性	124
VI. 靜電式儀表	125
§ 29. 測量機構的結構及作用原理	125
§ 30. 理論	126
§ 31. 伏特表、誤差和特性	127

第三章 電流計

(§ 32—37, A. B. 福萊姆坎; § 38, J. H. 巴依達和 A. B. 福萊姆坎)

§ 32. 用途、結構和讀數方法	131
§ 33. 活動部分的運動理論	136
§ 34. 對電流和對電壓的靈敏度	150
§ 35. 電流計在衝擊狀況中的工作	155
§ 36. 電流計的分流	157
§ 37. 振動式電流計	164
§ 38. 電子管式電流計	164

第四章 電度表

(§ 39—43, H. C. 多勃羅特沃爾斯基)

§ 39. 一般概念	170
§ 40. 單相感應式電度表	173
§ 41. 三相電度表和無功電度表的概念	183
§ 42. 電動式電度表	186
§ 43. 電量電度表	190

第五章 記錄儀表和觀察速變之量用的儀器

(§ 44—47, 49, H. C. 多勃羅特沃爾斯基; § 48, A. B. 福萊姆坎;

§ 50—52, J. H. 巴依達)

§ 44. 用途和分類	195
I. 自錄儀表	197
§ 45. 連續記錄的自錄儀表	197
§ 46. 斷點記錄的自錄儀表	200
II. 振動式示波器	203
§ 47. 用途和結構	208

§ 49. МПО-2 型示波器	209
III. 電子式示波器	212
§ 50. 電子束管	212
§ 51. 電子式示波器的結構	223
§ 52. 電子式示波器的應用	233

第六章 測量用電流互感器和電壓互感器

(§ 53—57, H. C. 多勃羅特沃爾斯基; § 58, A. B. 福萊姆坎)

§ 53. 關於應用測量用互感器的一般理由	239
§ 54. 電流互感器, 矢量圖和誤差	244
§ 55. 電流互感器, 結構概念	251
§ 56. 電壓互感器	259
§ 57. 儀表通過測量用互感器的接法和守則	265
§ 58. 測量直流用的互感器	268

第二篇 電磁測量法和較量儀器

第七章 測量方法分類, 範型度量器和測量誤差

(§ 59—61, A. B. 福萊姆坎)

§ 59. 測量方法分類	273
§ 60. 標準器與範型度量器	276
§ 61. 測量誤差概念及其計算方法	289

第八章 用直讀儀表測量電數量

(§ 62, 64—67, H. C. 多勃羅特沃爾斯基; § 63, A. B. 福萊姆坎)

§ 62. 用安培表和伏特表測量直流電阻	296
§ 63. 測量極高電阻的特殊方法	298
§ 64. 用交流安培表、伏特表和瓦特表測量電阻、電感和電容	300
§ 65. 在直流和單相交流電路裏測量功率	304
§ 66. 在三相電路裏測量有功功率和有功能量	312
§ 67. 在單相和三相電路裏測量無功功率和無功能量	322

第九章 用比較測量法測量電數量

(§ 68—73, C. H. 帕切林斯卡婭; § 74—77, A. B. 福萊姆坎;

§ 78—80, H. C. 多勃羅特沃爾斯基)

I. 電橋	334
§ 68. 直流電橋的一般概念和理論	334
§ 69. 直流電橋的型式	338
§ 70. 雙電橋	341
§ 71. 交流電橋的一般理論	345
§ 72. 測量電容和損耗角用的電橋	349
§ 73. 測量電感和互感用的電橋	354

§ 74. 自動平衡電橋	360
II. 補償器	361
§ 75. 直流補償器的作用原理	361
§ 76. 直流補償器的結構	365
§ 77. 自動平衡補償器	371
§ 78. 交流補償器的作用原理	374
§ 79. 交流補償器的結構	379
§ 80. 校準電流互感器用的儀器	382

第十章 磁的測量

(§ 81—92, H. H. 拉蘇莫夫斯基)

§ 81. 概述	387
I. 磁通、磁場強度和磁位差的測量	388
§ 82. 測量磁通的方法	388
§ 83. 磁場強度和磁位差的測量	394
II. 磁化曲線與磁滯迴線的獲得	399
§ 84. 磁滯圖	399
§ 85. 衝擊法	402
§ 86. 電動法	412
§ 87. 感應法	412
III. 鋼內磁滯損耗和渦流損耗的測量	419
§ 88. 概述	419
§ 89. 測量損耗的瓦特表法	420
§ 90. 測定損耗的差值法	425
§ 91. 測量損耗用的電橋	427
§ 92. 用補償器測量損耗	429

第十一章 用電的方法測量非電數量

(§ 93—96, Л. Л. 奧爾亨斯基)

§ 93. 概述	431
§ 94. 測量非電數量用的電磁儀器的特徵	433
§ 95. 測量用變換器	435
§ 96. 測量非電數量用的儀器和裝置舉例	448

第十二章 遠距離測量

(§ 97—100, A. B. 福萊姆坎)

§ 97. 概述	464
§ 98. 遠距離測量系統分類	468
§ 99. 遠距離測量系統舉例	472
§ 100. 相加測量法	478

主要參考書	482
-------------	-----

高等学校教学用书



電 磁 測 量 學
普 通 教 程

A. B. 福萊姆坎主編
供 効 訓 譯

高等教育出版社

本書原來是根據蘇聯國立動力出版社(Государственное энергетическое издательство) 1950年出版的、福萊姆坎(А. В. Фремке)主編的“電磁測量學,普通教程”(Электрические измерения, общий курс)第一版譯出的,現經原譯者北京工業學院洪効訓根據1954年原書第二版加以修訂。原書編者除福萊姆坎外,有巴依達(Л. Н. Байда)、多勃羅特沃爾斯基(Н. С. Добровольский)、奧爾享斯基(Д. Л. Оршанский)、帕切林斯卡婭(С. Н. Печинская)、拉茲莫夫斯基(П. П. Разумовский)和已故教授斯維爾斯基(В. А. Сви́рский)。原書第二版經蘇聯高等教育部高等工業學校和高等機器製造學校總管理局審定為動力及電工高等學校和動力及電工系的教科書。

本書敘述了各式電磁測量儀表的結構、作用原理和應用,說明了電氣量值測量方法的理論,以及關於電磁測量專門化範圍——磁的測量,用電的方法測量非電量和遠距離測量——的基本知識。材料敘述時採用了電磁學的合理化方程式和 MKSA 單位制。

本書舊版中譯本由商務印書館出版,修訂版改由本社出版。

電 磁 測 量 學

普 通 教 程

福萊姆坎主編

洪効訓譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

目 錄

序.....	7
緒論.....	9

(A. B. 福萊姆坎, H. H. 拉森莫夫斯基)

第一篇 電磁測量儀表

第一章 關於電磁測量儀表的一般知識

(§ 1—4, A. B. 福萊姆坎)

§ 1. 定義和分類	17
§ 2. 直讀電磁測量儀表的一般理論基礎	20
§ 3. 對電磁測量儀表的一般要求以及儀表的特性	30
§ 4. 關於直接測量電流和電壓的一般知識	40

第二章 電磁測量儀表的各種直讀型式

(§ 5—18, 29—31, C. H. 帕切林斯卡婭; § 19—28, H. C. 多勃羅特沃爾斯基)

I. 磁電式	46
§ 5. 測量機構的結構和作用原理	46
§ 6. 理論	48
§ 7. 安培表, 伏特表和歐姆表	50
§ 8. 磁電式流比計	54
§ 9. 誤差及特性	57
II. 附有變換器的磁電式儀表	59
§ 10. 整流式儀表	59
§ 11. 熱電式儀表	67
§ 12. 電子管式儀表	72
III. 電磁式儀表	78
§ 13. 測量機構的結構和作用原理	78
§ 14. 理論	80
§ 15. 安培表和伏特表	81
§ 16. 電磁式流比計	82
§ 17. 諧振式儀表(頻率表)	86
§ 18. 誤差及特性	87
IV. 電動式儀表	88
§ 19. 測量機構的結構和作用原理	88
§ 20. 理論	91

§ 21. 伏特表、安培表和瓦特表	93
§ 22. 瓦特表的極性、發電機端和常數	98
§ 23. 流比計	100
§ 24. 誤差及特性	106
V. 感應式儀表	110
§ 25. 測量機構的結構及作用原理	110
§ 26. 理論	115
§ 27. 瓦特表	119
§ 28. 誤差和特性	124
VI. 靜電式儀表	125
§ 29. 測量機構的結構及作用原理	125
§ 30. 理論	126
§ 31. 伏特表、誤差和特性	127

第三章 電流計

(§ 32—37, A. B. 福萊姆坎; § 38, Л. И. 巴依達和 A. B. 福萊姆坎)

§ 32. 用途、結構和讀數方法	131
§ 33. 活動部分的運動理論	136
§ 34. 對電流和對電壓的靈敏度	150
§ 35. 電流計在衝擊狀況中的工作	155
§ 36. 電流計的分流	157
§ 37. 振動式電流計	164
§ 38. 電子管式電流計	164

第四章 電度表

(§ 39—43, H. C. 多勃羅特沃爾斯基)

§ 39. 一般概念	170
§ 40. 單相感應式電度表	173
§ 41. 三相電度表和無功電度表的概念	183
§ 42. 電動式電度表	186
§ 43. 電量電度表	190

第五章 記錄儀表和觀察速變之量用的儀器

(§ 44—47, 49, H. C. 多勃羅特沃爾斯基; § 48, A. B. 福萊姆坎;
§ 50—52, Л. И. 巴依達)

§ 44. 用途和分類	195
I. 自錄儀表	197
§ 45. 連續記錄的自錄儀表	197
§ 46. 斷點記錄的自錄儀表	200
II. 振動式示波器	203
§ 47. 用途和結構	208

§ 49. МПО-2 型示波器	209
III. 電子式示波器	212
§ 50. 電子束管	212
§ 51. 電子式示波器的結構	223
§ 52. 電子式示波器的應用	233

第六章 測量用電流互感器和電壓互感器

(§ 53—57, H. C. 多勃羅特沃爾斯基; § 58, A. B. 福萊姆坎)

§ 53. 關於應用測量用互感器的一般理由	239
§ 54. 電流互感器, 矢量圖和誤差	244
§ 55. 電流互感器, 結構概念	251
§ 56. 電壓互感器	259
§ 57. 儀表通過測量用互感器的接法和守則	265
§ 58. 測量直流用的互感器	268

第二篇 電磁測量法和較量儀器

第七章 測量方法分類, 範型度量器和測量誤差

(§ 59—61, A. B. 福萊姆坎)

§ 59. 測量方法分類	273
§ 60. 標準器與範型度量器	276
§ 61. 測量誤差概念及其計算方法	289

第八章 用直讀儀表測量電數量

(§ 62, 64—67, H. C. 多勃羅特沃爾斯基; § 63, A. B. 福萊姆坎)

§ 62. 用安培表和伏特表測量直流電阻	296
§ 63. 測量極高電阻的特殊方法	298
§ 64. 用交流安培表、伏特表和瓦特表測量電阻、電感和電容	300
§ 65. 在直流和單相交流電路裏測量功率	304
§ 66. 在三相電路裏測量有功功率和有功能量	312
§ 67. 在單相和三相電路裏測量無功功率和無功能量	322

第九章 用比較測量法測量電數量

(§ 68—73, C. H. 帕切林斯卡婭; § 74—77, A. B. 福萊姆坎;

§ 78—80, H. C. 多勃羅特沃爾斯基)

I. 電橋	334
§ 68. 直流電橋的一般概念和理論	334
§ 69. 直流電橋的型式	338
§ 70. 雙電橋	341
§ 71. 交流電橋的一般理論	345
§ 72. 測量電容和損耗角用的電橋	349
§ 73. 測量電感和互感用的電橋	354

§ 74. 自動平衡電橋	360
II. 補償器	361
§ 75. 直流補償器的作用原理	361
§ 76. 直流補償器的結構	365
§ 77. 自動平衡補償器	371
§ 78. 交流補償器的作用原理	374
§ 79. 交流補償器的結構	379
§ 80. 校準電流互感器用的儀器	382

第十章 磁的測量

(§ 81—92, H. H. 拉蘇莫夫斯基)

§ 81. 概述	387
I. 磁通、磁場強度和磁位差的測量	388
§ 82. 測量磁通的方法	388
§ 83. 磁場強度和磁位差的測量	394
II. 磁化曲線與磁滯迴線的獲得	399
§ 84. 磁滯圖	399
§ 85. 衝擊法	402
§ 86. 電動法	412
§ 87. 感應法	412
III. 鋼內磁滯損耗和渦流損耗的測量	419
§ 88. 概述	419
§ 89. 測量損耗的瓦特表法	420
§ 90. 測定損耗的差值法	425
§ 91. 測量損耗用的電橋	427
§ 92. 用補償器測量損耗	429

第十一章 用電的方法測量非電數量

(§ 93—96, Л. Л. 奧爾亨斯基)

§ 93. 概述	431
§ 94. 測量非電數量用的電磁儀器的特徵	433
§ 95. 測量用變換器	435
§ 96. 測量非電數量用的儀器和裝置舉例	448

第十二章 遠距離測量

(§ 97—100, A. B. 福萊姆坎)

§ 97. 概述	464
§ 98. 遠距離測量系統分類	468
§ 99. 遠距離測量系統舉例	472
§ 100. 相加測量法	478

主要參考書	482
-------------	-----

序

本書是按照電工學院和動力學院為所有專業的學生們講授的電磁測量學普通教程的教學大綱編寫的。書中研討了各式電磁測量儀表的結構和應用，闡明了電學量值測量方法的理論，介紹了電磁測量技術專門化部門——磁的測量、用電的方法測量非電量和遠距離測量——的基本知識。

本書所包含的材料——最後三章除外，在這三章所敘述的測量過程中，廣泛應用到被测之量的變換——部分按照電磁測量儀表的型式排列，部分按照電磁測量的方法排列。這是本書與過去出版的電磁測量學教科書和教學參考書不同的地方，在過去出版的書中，材料是按被测之量的原理排列的。

本書材料的排列系統對於僅僅包含電磁測量技術上最重要問題的電磁測量學普通教程的敘述是最適宜的。本書內容比課堂講授所需要的多了一些，因為估計到大學生們可能利用本書來對教學大綱上的個別章節進行獨立研究，而且也在某種程度上照顧到了實驗室的工作。

為了精通電磁測量學普通教程，也就是為了精通本書的內容，學生們必須具有電工學院和動力學院的教學大綱所規定的範圍內的物理、高等數學、理論力學和電工學理論基礎（場理論的一部分除外）這幾方面的知識。

在敘述本教材時採用了絕對實用單位制 MKSA 和電磁場方程式的循環制形式。

本書是列寧格勒 B. H. 烏里揚諾夫（列寧）電工學院電磁測量技術教研組全體教師的勞作。書中利用了這個學院在已故教授 E. A. 斯維

爾斯基寶貴的教學法指導下講授電磁測量學普通教程的多年教學經驗,而且採用了 E. A. 斯維爾斯基教授所編教本中的若干材料^①。

本書第二版考慮到了莫斯科莫洛托夫動力學院電磁儀器製造教研組同人、列寧格勒加里寧工業學院電磁測量技術與度量衡學教研組同人和許多電磁測量技術方面的專家在本書 1950 年第一版出版後對全體編者所提的意見,也考慮到了莫斯科莫洛托夫動力學院電磁儀器製造教研組教師們在評論本書第二版手稿時所提出的批評,全體編者對所有同志的指教表示感謝。

編者

^① Проф. Е. А. Свирский: Общий курс электрических и магнитных измерений, Оборонгиз, 1939 (E. A. 斯維爾斯基教授: 電磁測量學普通教程, 國防工業出版社, 1939 年版)。

緒 論

十八世紀的第四十年代，俄羅斯科學的奠基者，米哈依爾·華西列維奇·羅莫諾索夫和他的戰友 Г. В. 黎赫孟院士共同進行了空中電荷的研究工作。着手有系統地研究了電荷以後，Г. В. 黎赫孟馬上注意到測量的必要性，在剛開始用實驗方法研究電荷時，他就成功地做出了舉世第一個的電氣測量儀器——“電氣力指示器”。

這個儀器是 Г. В. 黎赫孟最初在彼得堡科學院大會上提出的，時在 1745 年 3 月 29 日。

在這時代，西歐根本還沒有電氣測量儀器，物理學家們對電的研究只是性質上的研究。傑出的實驗家 Г. В. 黎赫孟用極重要的發明充實了科學。

“電氣力指示器”(圖 1)是一條繫在金屬尺 2 上的亞麻絲 1。在尺的底板上放一木製象限儀 3，它的半徑比絲的長度略大一些。象限儀 3 的位置這樣來選擇，就是要使絲 1 的繫結點恰好是它的中心。如果有帶電物體與尺 2 相接，則因尺和絲取得了同種電荷，絲就從尺撐開去。絲的偏轉大小

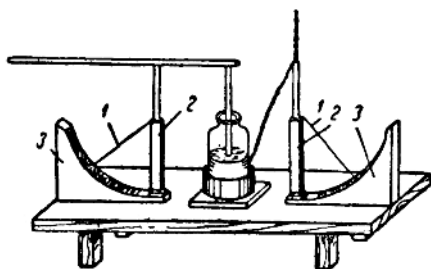


圖 1. Г. В. 黎赫孟的“電指示器”——
第一個測電計。

從木製象限儀的刻度上測出，根據這個偏轉，便可判斷“電氣力”。在羅莫諾索夫時代，電的現象是用“電氣力”來說明的。

黎赫孟所提供的這具研究空中電荷用的儀器，乃是最早出現的電測量儀器，是測電計的鼻祖。它是供測量帶電物體的電位用的，雖然“電位”這一概念在很久以後方才建立。

羅莫諾索夫在研究暴風雨的時候，提供一個極新奇的儀器，用以決定最大“電氣力”。這具儀器包含一個現代儀表也有的、十分重要的部分，這就是產生反抗力矩的彈簧。

十八世紀後半葉，靜電學方面的發現有了成就。爲了研究電現象的量方面，庫倫在羅莫諾索夫和黎赫孟之後，做成了和使用了另一種測量儀器——扭擺。

十八世紀末和十九世紀初，在研究電的歷史上發生了幾件大事。伽伐尼的試驗和伏特的研究，引導到電流的發現。俄國學者 B. B. 彼得羅夫是當時許多研究家之中佔首要地位者之一，繼研究家們這些成就之後，又發現了電流的化學效應、光效應、熱效應、帶電流迴路對磁針的影響以及帶電流導線與永久磁鐵的相互作用。對於電流理論問題的研究，引起了做出一種決定電流大小用的測量儀器的必要性，這件事歐姆是做到了。他爲了相對地決定電流的大小，利用過帶電流導線對磁針的作用。歐姆在這種儀器的幫助下，用實驗方法確定了一個有名的定律，就是用他的名字來稱呼的歐姆定律。這條定律在俄國院士 Д. X. 楞次和 B. C. 雅柯比做了很多實驗工作後，得到了普遍的承認。最後，在 1831 年，法拉第又發現了電磁感應現象。

十九世紀後半葉是一門新知識——電工學——的成長時期。電磁發電機——電能的來源——的產生及其各方面的實際應用，鼓勵了十九世紀後半葉那些最傑出的電工學家致力於電測量儀器的發明和研究，因爲沒有這種儀器，理論電工學和實用電工學便沒有進一步發展的可能。

十九世紀後半葉和二十世紀初，俄國電工學家米哈依爾·奧希伯維奇·多里奧-多布羅沃勒斯基對電測量技術的發展是有特別大的功績的，他在電工學的各個方面都有很多著作和發明。要列舉他在電工學上的全部發明和改進，不僅等於在敘述三相交流系統的起源歷史和發展歷史，而且還得牽涉到電工學歷史的最重要的事件。電工學在那個時候的迅速進展是與 M. O. 多里奧-多布羅沃勒斯基的名字分不開的。

M. O. 多里奧-多布羅沃勒斯基在電測量技術方面的活動是在若干方向上進行的。

第一，他研製了電磁安培表和電磁伏特表，發明了而且做成了具有旋轉磁場和盤狀活動部分的感應式儀表，並在這個原理上做出了瓦特表和相位表，提供了和設計了鐵磁電動式瓦特表。但是由於革命前的俄國電氣工業水平很低，他的專利權最初是在國外被人利用了。他的發明被利用得很廣泛，德國 AEG 公司所生產的儀表便是根據他的發明製造的。

第二，M. O. 多里奧-多布羅沃勒斯基有很多著作，對於電測量儀器的構造都有原理上的價值。在他的著作“論鐵在電測量儀器中的應用”中，他不僅僅提出了新的鐵磁電動式儀表，着重指出這種儀表的主要優點——轉矩較大及讀數不受外界磁場的影響，而且又發表了許多見解，都是關於如何選擇磁化安匝和氣隙大小，以期得到場強和安匝間的直線關係，並使磁滯所造成的誤差很小。

在 M. O. 多里奧-多布羅沃勒斯基的論文和報告中，用到了“轉矩”一辭，並且指出轉矩和活動部分的重量對儀表特性的意義。這在後來使“品質係數”這一概念得以建立。品質係數是電測量儀器的主要機械特性，所有現代的儀表設計和計算都以這一概念為基礎。

第三，M. O. 多里奧-多布羅沃勒斯基曾經建議和實現新的電磁測量方法。必須特別提出的，是他所建議的藉助於瓦特表來測量鐵磁材料在來復磁化時的磁滯損耗。這個方法在磁測量實踐中根深蒂固地一