

部定大學用書

電磁測驗

國立編譯館大學用書編審委員會主編

(全一冊)

周達如編著

國立編譯館出版
正中書局印行

部 定 大 學 用 書

電 磁 測 驗

國立編譯館大學用書編審委員會主編

周 達 如 編 著

國 立 編 譯 館 出 版

正 中 書 局 印 行



版權所有

翻印必究

中華民國五十五年十二月臺初版

中華民國六十五年三月臺五版

部定大學
用書 電 磁 測 驗

全一冊 基本定價四元三角五分

(外埠酌加運費滙費)

主 編 者	國 立 大 學	編 譯	館
	大 學 用 書	編 審 委 員	會
編 著 者	周 達		如
出 版 者	國 立	編 譯	館
發 行 人	黎 元		譽
發 行 印 刷	正 中 書		局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

暫遷臺北市泰安街一巷三號

海外總經銷 集 成 圖 書 公 司

(香港九龍油麻地北海街七號)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

東 海 書 店

(日本京都市左京區田中門前町九八番地)

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第〇一九九號(5060)申
(500)

序

電磁測驗包含之範圍極廣。尤以近年來電磁方面之研究突飛猛晉；且測量儀器之製造技術亦有相當之改善，以致該科內容更趨繁複。早日電磁測驗有關之書籍，雖不乏內容完整且組織極有系統之佳作，但均未免過於陳舊。近來出版之新書中，在國外因受出版法、篇幅，與銷路等之限制，取材多不能達到完整之程度，閱後難免使人有蒼海遺珠之感。著者有感於此，特將二十年來在大專院校講授電磁測驗之講義加以整理，編成斯篇，於去年脫稿；復蒙國立編譯館與正中書局各位先生協助，本書遂得以出版。

本書上半部主要對直流測量之原理、儀器、及測法加以闡述，下半部始及交流測量之範圍。全篇除對電磁各量之測量詳加敘述外，其中尚觸及若干由電磁測量以測定其他非電磁性數量之方法。例如第七章所述熱體溫度與光源亮度之測量、第五章所述機械應變之測量、第十三章所述轉速之測量、第十四章所述振動與音波之測量、第十五章與第十六章所述機械變位之測量均屬之。至於第六、七兩章所述電勢與電位差之測量，則可供電氣化學方面之參考。近年來因微波技術、自動控制、與太空測量之高度發展，故本書亦曾於第十七章對高週率測量儀器作簡單介紹。不過於測量週率極高時，電路內所用之阻體、感體、容體等均須高度準確，否則測量時將引起可觀之誤差。故本書曾於第十二章對於高週率測量所用電路元件之剩餘量誤差詳加研討，以便讀者可由此熟悉高週率測量之特點。最後並編入遙控計測系統一章，以便讀者多少可由此修得若干與自動控制及遠距離測量有關之基本概念。

教育部於五十四年修訂大學課程標準時，曾將電磁測驗一科目改用電儀表學之名稱，藉以加重測量儀器構造及用法方面之份量。本書針對此目的，特對該方面之材料（尤對新式儀器），多方搜羅，並附有各種儀器之攝影數十幅。本書經教育部審定為部定大學用書。如用

作我國大專學院電儀表或電磁測驗課程之教本時，備有充分資料足供教師之選擇；同時著者對於各章節內與測量有關基本原理之說明特別詳盡，稍具電磁學基本知識之讀者，自修時即可了解。一方面可以節省大專教師之講授時間；另一方面本書亦可供高職畢業同學以及若干電工、電化等從業人員之參考。

本書初次出版，編校雖力求完善，謬誤仍當難免。敬希各界指正！

著 者 謹 識

目 次

第一章 測量及誤差	1
1— 1. 測量之目的	1
1— 2. 單位	2
1— 3. 測量方法	10
1— 4. 誤差之分類	12
1— 5. 誤差之統計分析法	15
1— 6. 準確度與精密度	19
第二章 永久磁鐵直流電錶	24
2— 1. 永久磁鐵可動線圈式指示電錶	24
2— 2. D'Arsonval 式電錶之磁路	26
2— 3. D'Arsonval 式電錶之若干重要零件	29
2— 4. 幾種不同之 D'Arsonval 式電錶	33
2— 5. 懸掛式 D'Arsonval 微流計	36
2— 6. D'Arsonval 微流計可動部分之擺動	41
2— 7. D'Arsonval 微流計之阻尼	44
2— 8. 幾種不同之 D'Arsonval 微流計	48
2— 9. 微流計分流器	53
2— 10. 微流計使用上之注意	57
第三章 普通電阻之測量	61
3— 1. 電阻標準器	61
3— 2. D'Arsonval 式歐計	64
3— 3. 交叉線圈式歐計——比率計	70
3— 4. 電阻測量之伏計安計法	74
3— 5. Wheatstone 電橋	76

3— 6. 幾種不同之 Wheatstone 電橋	82
3— 7. Wheatstone 電橋使用上之注意	87
3— 8. 電阻之精密比較法	91
3— 9. 電阻之限度測量法	93
3—10. 電阻之絕對測量法	94

第四章 低電阻與高電阻之測量 97

4— 1. Kelvin電橋	97
4— 2. 幾種不同之 Kelvin 電橋	101
4— 3. Kelvin 電橋使用上之注意	106
4— 4. 由歐計測量低電阻	129
4— 5. 高電阻之測量	110
4— 6. 由直接偏轉法測量絕緣電阻	113
4— 7. 由損失電荷法測量絕緣電阻	118
4— 8. Megger 絕緣試驗器	123
4— 9. 幾種使用真空管伏計之高電阻測量儀器	125

第五章 特殊電阻之測量 131

5— 1. 液體電阻之測量	131
5— 2. 接地電阻之測量	134
5— 3. 電池內阻之測量	137
5— 4. 微流計電阻之測量	141
5— 5. 鐵軌聯接電阻之測量	144
5— 6. 電路障礙檢出法	145
5— 7. Murray 環路試驗	148
5— 8. Varley 環路試驗	150
5— 9. 斷路障礙點之檢出	153
5—10. L&N 障礙檢出試驗器組	154
5—11. 電阻溫度計	158

5—12. 幾種不同之金屬電阻溫度計電橋	160
5—13. 由金屬電阻溫度計測量溫度	165
5—14. 電阻線應變規	167

第六章 電勢與電位差之測量 175

6— 1. 電池之電勢	175
6— 2. 電池之極化	178
6— 3. 標準電池	180
6— 4. 電勢與電位差之直接測量法	184
6— 5. 直流電位計	185
6— 6. 幾種不同之直流電位計	190
6— 7. 電位計使用時之注意	199
6— 8. 直流指示電錶之校準	203
6— 9. 使用電位計之電錶校準法	205
6—10. 使用偏轉電位計之電錶校準法	208

第七章 低伏數與高伏數之測量 212

7— 1. 電極電位順序	212
7— 2. 接觸電位與化學電勢	216
7— 3. 標準電極電位之測量	218
7— 4. pH 標度與 pH 計	221
7— 5. 熱電勢與熱電偶	226
7— 6. 使用毫伏計之熱電勢之測量	231
7— 7. 使用電位計之熱電勢之測量	233
7— 8. 幾種不同之熱電偶電位計	234
7— 9. 光高溫計與輻射高溫計	240
7—10. 自己平衡電位計	243
7—11. 標準電池之精密比較法	246
7—12. 直流高伏數之測量	248

第八章 D'Arsonval 衝擊微流計..... 251

- 8— 1. D'Arsonval 衝擊微流計之理論..... 251
- 8— 2. 衝擊微流計之阻尼..... 255
- 8— 3. 臨界阻尼衝擊微流計..... 261
- 8— 4. 衝擊微流計分流器之應用..... 265
- 8— 5. 衝擊微流計之刻度..... 268
- 8— 6. 欠阻尼微流計週期及對數衰減率之測量..... 272
- 8— 7. 磁通計..... 275
- 8— 8. 幾種不同之磁通計..... 280

第九章 磁的測量..... 287

- 9— 1. 磁測量之形式..... 287
- 9— 2. 由磁強計測量磁場強度..... 289
- 9— 3. 由衝擊微流計測量磁場強度..... 292
- 9— 4. 使用鉍螺線測量磁場強度..... 294
- 9— 5. 使用高計測量磁場強度..... 296
- 9— 6. 去磁之理論與實驗..... 296
- 9— 7. 由圓環試驗之正規磁化曲線之作法..... 300
- 9— 8. 由圓環試驗之磁滯環線之測定..... 305
- 9— 9. 由軛鐵法或磁導計之磁測量..... 308
- 9— 10. 幾種不同之磁導計..... 310
- 9— 11. 應用 HALL 效應之磁測量法..... 318
- 9— 12. 鐵心損失之測量..... 319

第十章 交流電錶..... 327

- 10— 1. 交流電錶分類..... 327
- 10— 2. 動力計式電錶之測量原理..... 328
- 10— 3. 幾種不同之動力計式電錶..... 331
- 10— 4. 動力計式微流計..... 337

10— 5. 振動微流計.....	342
10— 6. 鐵片式電錶.....	347
10— 7. 靜電式電錶.....	353
10— 8. 熱電偶式電錶.....	356
10— 9. 整流器式電錶.....	360
10—10. 真空管伏計.....	364

10— 5.	振動微流計·····	342
10— 6.	鐵片式電錶·····	347
10— 7.	靜電式電錶·····	353
10— 8.	熱電偶式電錶·····	356
10— 9.	整流器式電錶·····	360
10—10.	真空管伏計·····	364

第十一章 交流電橋

11— 1.	交流電橋之原理·····	367
11— 2.	交流電橋之分類·····	370
11— 3.	交流電橋之電源·····	374
11— 4.	交流電橋之檢驗器·····	377
11— 5.	幾種不同之放大器檢驗裝置·····	381
11— 6.	交流用阻體之剩餘電感與電容·····	384
11— 7.	交流用感體之剩餘電阻與電容·····	388
11— 8.	交流用容體之剩餘電阻與電感·····	392
11— 9.	交流電橋之屏蔽與接地·····	395
11—10.	交流電橋之平衡收斂·····	400
11—11.	阻抗電橋之向量圖·····	404

第十二章 交流測量用電路元件及附件

12— 1.	交流阻體·····	407
12— 2.	交流容體·····	410
12— 3.	交流感體·····	415
12— 4.	交流衰減器·····	418
12— 5.	雙重屏蔽比率臂及屏蔽變壓器·····	424
12— 6.	儀器變壓器·····	427
12— 7.	電流變壓器之試驗·····	435
12— 8.	電位變壓器之試驗·····	442
12— 9.	熱換流器·····	445

第十三章 週率、相角及轉速之測量

13— 1. 時間之標準	447
13— 2. 週率標準器	452
13— 3. 週率之直接測量法	455
13— 4. 週率之測量—混頻法	462
13— 5. 週率之測量—電橋法	468
13— 6. 陰極線示波器	470
13— 7. 使用陰極線示波器週率之測量	474
13— 8. 使用陰極線示波器相角之測量	477
13— 9. 使用陰極線示波器時區間之測量	479
13— 10. 同步指示器	480
13— 11. 轉速計	483

第十四章 波形之分析及測量

14— 1. 波形測量之理論	487
14— 2. 電磁示波器之原理	491
14— 3. G—E 電磁示波器	496
14— 4. 陰極線示波器於波形測量之應用	499
14— 5. 波形畸變之測量	502
14— 6. 波形分析與波形分析器	506
14— 7. G—R 波形分析器	510
14— 8. G—R 音波及振動分析器	514
14— 9. 使用陰極線示波器圖形面積之測量	520

第十五章 電容之測量

15— 1. 電容標準器	526
15— 2. 電容之直接測量法	531
15— 3. 電容之直接偏轉法	532
15— 4. 電容之混合測量法	536

15— 5. De Sauty 電容比較法	540
15— 6. Wien 電容橋	541
15— 7. Schering 電容橋	544
15— 8. 電容之代入測量法	547
15— 9. 改良 Schering 橋	552
15—10. 幾種不同之低容量電容橋	555
15—11. 幾種不同之特殊測量線路	560
15—12. 電容之絕對測量法	566
15—13. 電容變化與變位之測量	570

第十六章 自感與互感之測量

16— 1. 電感標準器	572
16— 2. Maxwell 電感比較法	576
16— 3. Maxwell 電感橋	580
16— 4. Hay 電感橋	583
16— 5. G—R 650 式阻抗橋	586
16— 6. Owen 電感橋	589
16— 7. 增量電感之測量	592
16— 8. G—R 1632-A 式電感橋	596
16— 9. 由橋接 T 形線路電感之測量	598
16—10. Anderson, Stroude 與 Oates 電感橋	601
16—11. 諧振橋	602
16—12. 互感測量之直接偏轉法	604
16—13. 互感之比較測量法	606
16—14. 由自感或電容以測量互感	610
16—15. G—R 667-A 式電感橋	613
16—16. 電感變化與變位之測量電磁應變規	614

第十七章 阻抗之測量 交流電位計

17— 1. 阻抗測量之伏計安計法	617
-------------------	-----

17— 2. G-R 1603-A 式 Z-Y 橋	620
17— 3. Z-角度計	625
17— 4. G-R 1605-A 式阻抗比較器	627
17— 5. 雙 T 形線路或平行 T 形線路	628
17— 6. Q 計	632
17— 7. G-R 1606-A 式射電週率橋	637
17— 8. 幾種不同之特高週率橋	640
17— 9. 交流電位計	648
17—10. 由交流電位計測量阻抗	652

第十八章 功率與功率因數之測量

18— 1. 功率之測量原理	661
18— 2. 動力計式瓦計	666
18— 3. 幾種不同之動力計式瓦計	670
18— 4. 電熱式瓦計	675
18— 5. 靜電式瓦計	682
18— 6. 電子式瓦計	689
18— 7. 基於 Hall 效應之瓦計	691
18— 8. 整流器式功率指示器	693
18— 9. 功率因數計	696
18—10. 三相三線功率之測量	703
18—11. 三相四線功率之測量	709
18—12. 無效伏—安之測量	711

第十九章 能量之測量

19— 1. 能量之測量原理	714
19— 2. 感應瓦時計之原理、構造及調整	717
19— 3. 影響感應瓦時計運轉之因數	726
19— 4. 單相瓦時計與多相瓦時計	734
19— 5. 瓦時計試驗	736

19— 6. 需量計.....	741
19— 7. 無效能量及伏安時之計測.....	746
19— 8. 輻射能量之測量.....	747

第二十章 遙控計測系統

20— 1. 遙控計測系統之分析.....	755
20— 2. 幅度系統.....	758
20— 3. 週率系統.....	760
20— 4. 脈衝系統.....	763
20— 5. 圖型系統.....	768
20— 6. 串級調波系統.....	773
20— 7. 通道.....	775
20— 8. L&N 功率遙控計測之直流毫伏系統.....	780
20— 9. 幾種不同之其他直流系統.....	786
20—10. 幾種不同之脈衝系統.....	789
參 考 資 料.....	795
索 引.....	797

第一章

測量及誤差

1—1 測量之目的

歷來自然學科之研究，均係由實驗方法歸納其測量之結果，以導出支配種種自然現象之定律。利用物體之彈性以測量加於彈簧或彈條上之各種力作用，早為吾人所熟悉，故 Coulomb 得以由實驗建立其電力有關之距離自乘反比定律，Faraday 亦得以由實驗建立其電磁感應定律。此等定律作為一切科學工作之領導，吾人並由此以製造工業上及家庭用種種節省勞力之機械，達到生活舒適與經濟富裕之境地。因此自然科學之發展以及人類文明之進步，均有賴於新測量方法之發現，以便吾人可揭發更多宇宙奧秘而制定更多新自然定律。此為吾人從事測量之最大目的。近三十年來關於核子科學及微波工程之突飛猛進，對於測量之進展吾人業已豎立若干新里程碑。

測量於教育方面之意義亦極為重要。第一，學生平時於各種學科方面所修得之知識，對於較為艱深之理論往往因聽課時不能徹底明瞭而有所懷疑，必須藉親歷之實驗由測量結果對理論加以確證，實驗可以說明一理論發展之程序並指示於此程序內一切可能遭遇之周折，吾人應如何對此等所遇之周折加以分析並考慮解決之方法，此有助於學生對於理論獲得更深切之了解。第二，於學生作數式計算或理論分析時，一問題往往因缺乏充分條件而無法解開。例如於吾人解一電路時若已知之條件不足，此時測量遂極為重要，吾人可能於電路內由實驗測定若干特殊支路之電阻，或測定若干特殊節點間之電位差，以獲得所需之充要條件，困難當不難迎刃而解。第三，學生由學校畢業後，於執業時難免遇有必須實行各種測量之機會，尤於參與實驗室工作或從事學術研究時為然。故測量於教育方面之目的，尚應嚴格訓練學生於實驗時養成良好之習慣，準確之觀念，以及嚴謹之態度，以應將來進入社會之所需。

目前家庭用各種小型機械漸次增多，尤以小型電氣器械之製造及應用至為發達，以致測量技術對於吾人日常生活亦不無關係。近來人工昂貴，此等小型機械之修裝及檢查，為節省費用起見，多不假手他人而由家人親自施行之。此時對於能源及機械方面之各種數據，可能須預先測定，然後從事裝修或檢查。不過此等測量之範圍雖屬廣泛，但多較為簡單，毋須專業人員，僅須稍受訓練，即由家庭主婦或在學兒童，亦當可以勝任。

吾國大學課程於物理，電機工程，電子工程等系，多列入電磁學或電磁測驗一科目。電磁測驗包括之範圍甚廣，遠非大學課程中每週二、三小時所能授畢，故於歐美各大學曾一度擬增加電磁測驗之份量，亦有分為電磁學與電磁測驗兩科目加以講授者。物理系着重於理論方面之材料，電機系着重於工程方面之材料。專就電磁測驗一科目而言，本書僅能對電磁測驗中最基本之材料加以編入。除須對電磁，及其有關各種數量之測量原理及方法加以講述外，尚須對測量儀錶之構造及用法詳加說明。同時尚須設計優良實驗，依照上述測量於教育方面之三目的，引起學生對於理論與實驗互相印證之興趣；並培養其能力使之能應用測量作為理論解法之一種輔助手段；吾人尚須對學生之測量技能嚴加訓練，以應吾國長期科學發展之需要。

1—2 單位

單位係用以表示測量數量之性質及大小。隨學術之發展，種種不同之單位系統曾由若干學者加以建立。茲就其中幾種重要單位系統分述如下。

(a) cgs 靜電單位與電磁單位。

cgs 單位系統係以厘米 (centimeter)，克 (gram)，秒 (second) 為基本單位，靜電單位係以真空內兩靜止單位電荷相隔一單位距離時作用於此兩電荷上之力為一單位電力；換言之，即由 Coulomb 定律

$$f = \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon_0 r^2} \quad (1-1)$$

以真空之介導係數 (permittivity) $\epsilon_0 = 1$ 加以制定者。電磁單位係以