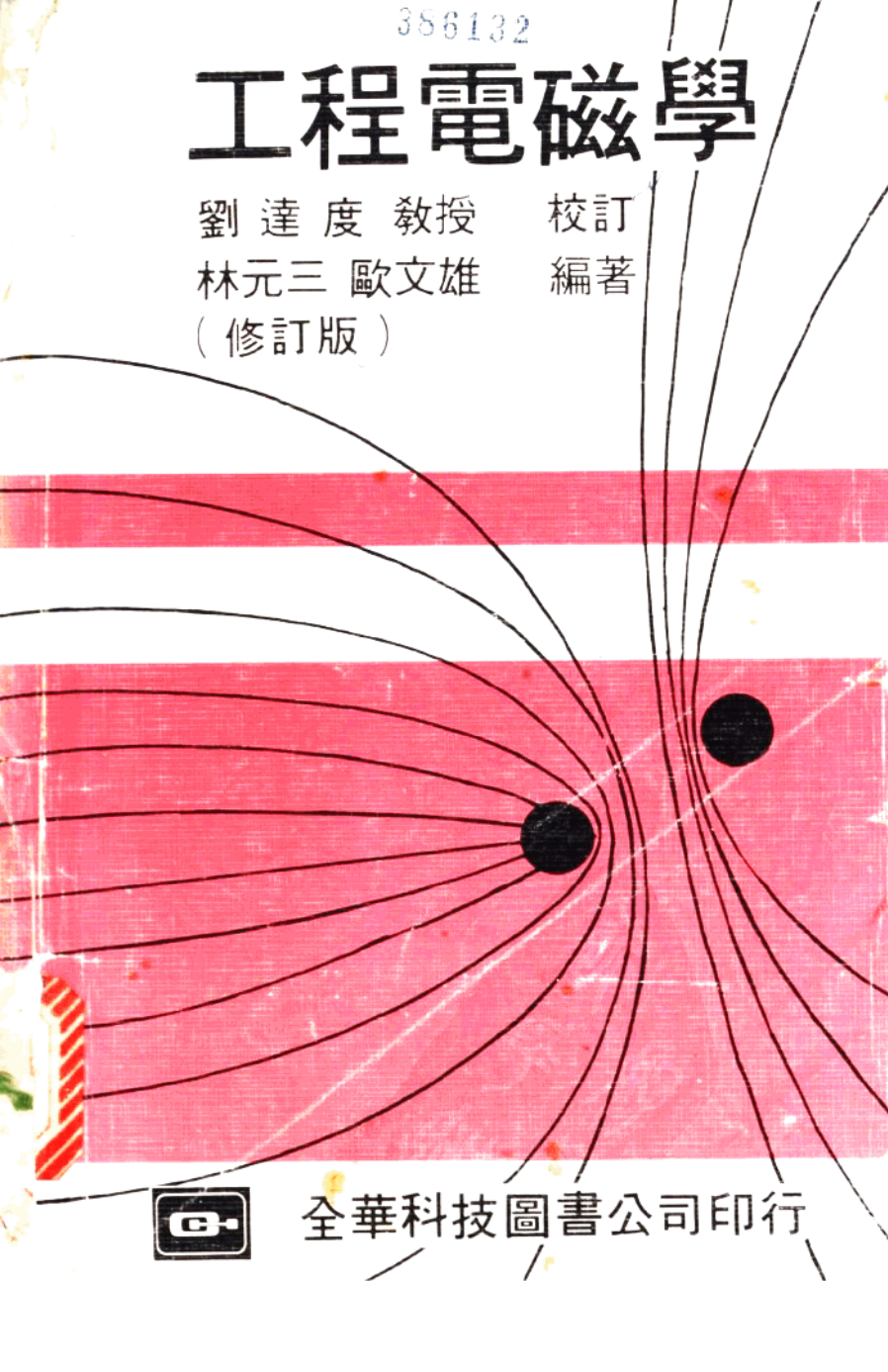


386132

工程電磁學

劉達度 教授 校訂
林元三 歐文雄 編著
(修訂版)



全華科技圖書公司印行

工程電磁學

劉達度 教授 校訂
林元三 歐文雄 編著
(修訂版)



全華科技圖書公司印行



全華圖書 版權所有 翻印必究
局版台業字第0223號 法律顧問：陳培豪律師

工程電磁學

林元三 編著
歐文雄

出版者 全華科技圖書公司
北市禮國北路85巷9號
電話：581-1300-564-1819
郵撥帳號：100836

發行者 蕭而廊
印刷者 慶福彩色印刷廠
東南亞 港明書店
總經銷 香港九龍彌敦道500號2樓
電話：3-302846-3-309095

定價 新臺幣 150 元
海外定價 港幣 30 元
再版 中華民國69年2月

序

電學與磁學是一門很基礎的學問，不但電機電子科系把它列為必修科目。其他如物理、海洋等科系也列為主修科目之一。歐美先進國家，對於這門科學，年年都有大量的新書出版。國內出版界近年推出的新書也很多，但對電磁學的中文書籍仍屬少見。

電磁學一科是一門比較艱深的科學。學生們往往要遭遇到很多困難。由於國內電磁方面的中文書籍不多，學生們不得不乞求於外文書籍。對於純科學的研究而言，不能不說是一種阻礙。如果有足夠數量和具有水準的中文書籍，不但是學生們之福，也是提高國家學術水準方法之一。

本人執教電磁學多年，早有編寫此書的心意，但因課務羈身，迄今不能動筆。茲由林元三及歐文雄兩位先生於教課之餘，合力編成此書，際今大功告成，並求序於余，余得有先覩為快之幸，不禁大喜，且為之序。

本書以馬克斯威爾公式 (Maxwell eq.) 之散度 (Divergence) 與旋度 (Curl) 為中心；而分為靜電學與靜磁學兩部分。編排次序按照電磁之歷史發展次序，以庫倫定律為起，然後高斯定律、電位斜率、拉氏 (Laplace equation) 解析以及寫像方法等，成為一連串之方法與解析。這種寫法秩序井然，容易被接受。本書例題很多，其解法新穎，且相互對照之處甚多。為不可多觀之中文電磁書籍。

劉達度

序於台北 63.7.1.

圖書之可貴 在其量也在其質

量指圖書內容充實、質指資料新穎够水準，我們就是本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的全華圖書。

編輯大意

- 一、本書是應用向量分析來實際解析有關靜電場和靜磁場的問題以導出馬克斯威爾 (Maxwell) 方程式為其總結。本書之編寫以特注重觀念的說明和問題的分析為基礎，對於電磁波理論僅做簡單的討論。深盼讀者能夠更上層樓，涉覽更高深的電磁學讀本。
- 二、本書的第一章簡單介紹向量分析；第2章到第7章研究靜電場；第8章討論靜磁場；第9章為電磁場的總結；第10章介紹靜磁場的向量位；第11章介紹均勻平面波，適合一般教學與參考。
- 三、編者才識疏陋，遺漏之處在所難免，乞希高明予以指正，俾再版時加以修正。

林元三 歐文雄 謹識

63年2月

我們將隨時提高編輯、製作水準！

歡迎您來信指正本書的錯誤、缺點！

如果本書有缺頁、倒序、污損等情形，讓我們致歉！

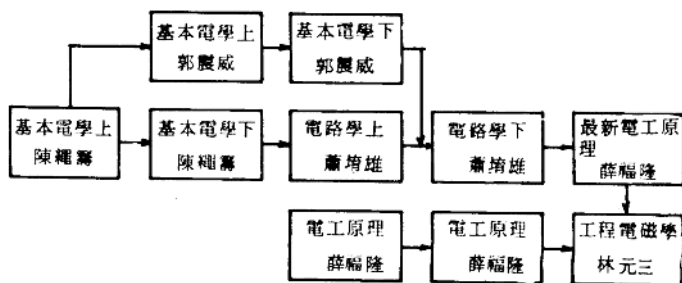
並請您將原書退回，我們將儘速給您補換，謝謝！

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所將提供給您的絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，且循序漸進。

現在，我們將這本「工程電磁學」呈獻給您，使您能正確了解到電磁學的基本觀念，做為以後各相關課程的基礎。本書以淺顯的方式來闡述各種電磁場的觀念，使讀者容易接受，毫無吃力的感覺；本書除兼顧理論的演繹與實際問題的解析外，並以甚多的例題幫助讀者了解，故本書不但可做為大專院校電磁學教本，同時還可當作高普考及各種就業考試之參考資料，實為不可多得的電磁學參考書籍。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習有關基本電學與電工原理叢書，我們將全華公司一整套基本電學與電工原理系列叢書以流程圖方式列之於後，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，並可增進您基本電學與電工原理方面完整的知識，希望您能善加利用，有關以下各書內容，如您需要更進一步資料時，歡迎來函連繫，我們將可給您滿意的答覆。



目 錄

第 1 章 向量分析	1
1.1 引言	1
1.2 向量和純量	2
1.3 向量代數	2
1.4 向量的純量乘積	4
1.5 單位向量和分向量	5
1.6 向量的向量乘積	7
1.7 面向量	8
1.8 直角座標系統	9
1.9 等值向量	10
1.10 平面極座標系統	11
1.11 圓柱座標系統和球座標系統	14
1.12 總結	18
第 2 章 庫倫定律	23
2.1 電力和電荷	23
2.2 庫倫定律	24
2.3 電場強度	26
2.4 均勻分佈線電荷的電場	28
2.5 無窮大面電荷的電場	31
2.6 點電荷的場圖	34

2.7	二度空間的方向線	35
2.8	定長均勻帶電導線的場圖	37
2.9	雙線導線的電場	39
2.10	三度空間的方向線	43
2.11	總結	48
第3章	高斯定律	53
3.1	電流通	53
3.2	向量場的流通	55
3.3	高斯定律	57
3.4	高斯定律的應用	60
3.5	散度	63
3.6	直角座標中的散度	65
3.7	一般正交座標系統中的散度	67
3.8	總結	71
第4章	電位	75
4.1	功和向量的線積分	75
4.2	電位差	78
4.3	電位	82
4.4	等位面和等位圖	84
4.5	雙線導線的電位	87
4.6	積分形式的電位方程式	91
4.7	定長均勻帶電導線的電位	93
4.8	電位梯度	95
4.9	座標系統中梯度向量的分量	98

4.10	電偶的電場	101
4.11	靜電場中的能量密度	103
4.12	總結	107
第 5 章	導體和介質	111
5.1	電流和電流密度	111
5.2	電流的連續性	113
5.3	金屬導體	115
5.4	導體的性質	117
5.5	半導體	121
5.6	介質材料的性質	122
5.7	完全介質材料的邊界條件	127
5.8	電容	129
5.9	總結	132
第 6 章	映像原理	137
6.1	無窮大平面導體的映像	137
6.2	倒點的幾何定理	139
6.3	圓柱導體的映像	140
6.4	無窮大平行圓柱導體的電容	142
6.5	靠近地球表面輸送線的電場	144
6.6	均勻電場中的圓柱導體	147
6.7	總結	150
第 7 章	Poisson 與 Laplace 方程式	153
7.1	引言	153

7.2	直角座標的拉氏運算子	154
7.3	一般正交座標中的拉氏運算子	155
7.4	一元變數 Laplace 方程式的解	157
7.5	由 Laplace 方程式的解中求電容	163
7.6	Child 定律	164
7.7	直角座標 Laplace 方程式的解	168
7.8	圓柱座標 Laplace 方程式的解	172
7.9	球座標 Laplace 方程式的解	176
7.10	唯一定理	180
第 8 章	靜磁場	185
8.1	磁場	185
8.2	均勻磁場中帶電粒子的運動	186
8.3	電流元件所受的磁力	190
8.4	均勻磁場中密閉電路所受的力	192
8.5	平面密閉環路的轉矩與磁矩	193
8.6	非均勻磁場中環路的轉矩	195
8.7	電流元件產生的磁場	197
8.8	直線導體所產生的磁場	198
8.9	安培電路定律	202
8.10	同軸電纜的磁場	204
8.11	無窮大載流導面的磁場	208
8.12	無窮長螺旋管的磁場	210
8.13	磁性材料	212
8.14	安培電路定律的推論	215
8.15	總結	217

第9章 時變電場和磁場	223
9.1 向量的導數.....	223
9.2 感應電動勢.....	225
9.3 環量.....	228
9.4 直角座標中的旋度.....	231
9.5 一般正交座標中向量的旋度.....	235
9.6 有關旋度的一些定理.....	237
9.7 位移電流和連續方程式.....	239
9.8 馬克斯威爾方程式.....	243
第10章 磁向量位	247
10.1 能量函數和位能函數.....	247
10.2 靜磁向量位和磁場向量間的關係.....	249
10.3 從 Poisson 方程式求向量位.....	254
10.4 電流元件的磁向量位.....	257
10.5 磁向量位的積分公式.....	260
10.6 無窮長直線的磁向量位.....	263
10.7 兩根帶有均勻電流密度無窮長圓柱導體的磁向量位	266
10.8 微量電流環路的磁向量位.....	267
10.9 電感係數.....	271
10.10 電路截面的電感和漏磁係數.....	274
10.11 兩對平行輸送線間的互感.....	278
10.12 雙線輸送線的自感.....	282
第11章 均勻平面波	285

11.1 自由空間的波動方程式·····	285
11.2 坡印亭定理與電磁場中的能量關係·····	288
11.3 完全介質中的均勻平面波·····	290
11.4 正弦形式的均勻平面波·····	293
11.5 導體中的均勻平面波·····	294
11.6 非完全導體中的均勻平面波·····	296
11.7 非完全介質·····	298
11.8 非完全介質中的均勻平面波·····	299
11.9 均勻平面波的反射·····	300
11.10 駐波比·····	305
附 錄 ·····	309

向量分析

1

1.1 引言

通常我們研究物理上的問題時，喜歡把問題加以理想化而能夠利用應用數學 (Applied Mathematics)。例如在研習交流電路時，大部份的問題都是有關弦量時間函數的運算，爲了便於處理這些問題，工程師就學習應用複數函數的符號和觀念。雖然剛開始時，複數的觀念有點抽象和困難，但是到後來大多數都會覺得數學簡化了問題，而這種結果使得當初所花掉的精力不致虛擲。

同樣的，應用向量分析 (Vector Analysis) 的符號和觀念可以簡化物理學的問題。向量分析最大的特徵就是在它往往運用一兩個簡潔的符號就能夠表示一個方程式，如果這個方程式以普通的寫法來說明就可能需要整頁的說明。

學習一種新的語言時，我們先學會一些簡單的文法規則和少

許的字彙，然後漸漸的應用這種語言來說明日常生活中的一般經驗，現在我們也是要用同樣的方式來學習向量分析。我們先說明所要用的量和表示這些量所需要的符號。然後講些加、減、乘等的運算規則。要熟悉向量分析的符號和運算是要花點時間的，而且和學習其他科目一樣，熟能生巧。

1.2 向量和純量

物理上有兩種重要的量：一種就像是袋子內的橘子數，稱為常量，或是純量 (Scalar)；純量的其他例子有溫度、質量和體積等等。另一種量是具有方向性的，速度就是一種例子：我們不只要知道物體的速率，還必須曉得它往那裏動。這種具有方向性的量，叫做向量 (Vector)。向量可以用方向線段 (Directed Line Segment) 來表示，線段的長度表示大小，而箭頭為方向。向量其他的例子有動量、加速度等。

和物理量相關的空間區域稱之為場 (Field)，場也可以分成純量場和向量場兩種。盆水中任何一點的溫度和地球內任何一點的密度是為純量場。純量在既定區域中每一點的量必須是固定值，但是這個值通常是隨着位置和時間而變。地球的重力場和磁場、導線中的電位梯度和鎔鎊頭的溫度梯度等都是向量場。

本書中以粗字體來表示向量，如 \mathbf{A} 。而以斜體字表示純量。手寫時，習慣上是在向量上加一箭頭以與純量有所分別，如 \vec{A} 。

1.3 向量代數

兩個向量的和可以依“平行四邊形”法則 (Parallelogram

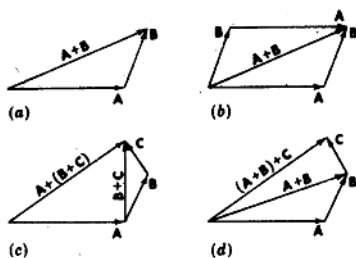


圖 1.1 向量加法 (a)和(b)說明平行四邊形法則的運算。(c)和(d)推展及三個向量的運算。

Law) 來運算。參看圖 1.1(a), A 加 B 時, 把 B 的始端放在 A 的終端, 則連接 A 的始端和 B 的終端的方向線段就是向量和 A 加 B 的大小及方向。如果運算次序顛倒的話。所得的結果也會一樣。把這兩個運算次序的圖形疊在一起, 就可以得到圖 1.1(b)的平行四邊形。

剛才所說的向量和跟運算的次序無關, 這就是加法的交換法則 (Commutative Law)。寫成方程式如下:

(1)

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$$

兩個以上向量的和可以根據平行四邊形法則依次相加, 或者是成對的相加。使用括號來表示運算的次序, 則這個原則可以寫成方程式如下, 而表示於圖 1.1 的(c)和(d)

(2)

$$\mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = (\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C}$$

這就是加法的結合法則 (Associative Law)。

向量乘以純量可以看做加法的運算。線段 10 公分長相當於 10 段 1 公分長的平行線段, 而 7 磅的力作用於一點上相當於同