

54547  
高等學校教學用書

# 通訊電纜原理

B. H. КУЛЕШОВ 著

呂惠民 白其章 譯  
趙辰 劉澤民

高等教育出版社

高等學校教學用書



通 訊 電 纜 原 理

B. H. 庫列蕭夫著  
呂惠民白劉其章譯  
趙辰劉澤民

高 等 教 育 出 版 社

本書係根據蘇聯國立電訊書籍出版社（Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио）出版的庫列蕭夫（В. Н. Кулешов）著的“通訊電纜原理”（Теория кабелей связи）1950年版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為電工高等學校教學參考書。

本書論述各類電纜的結構；參數與傳輸的計算；參數及故障的測量方法；電纜的載波通訊，特殊應用；以及串音，防蝕與高電壓的影響等。

本書是由郵電部設計局呂惠民、白其章，郵電學院籌備處趙辰、劉澤民四人合譯的。其中前言，引言，第6,7,8,9,12章由呂惠民譯，劉澤民校。第1,10,11章及附錄由白其章譯，趙辰校。第2,3,4,5章由趙辰譯，呂惠民校。第13,14,15,16章由劉澤民譯，白其章校。

## 通 訊 電 纜 原 理

書號253（課231）

庫 列 蕭 夫 著

呂 惠 民 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 珠 瑛 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）

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上 海 天 通 港 路 一 九 〇 號

開本850×1168 1/32 印張13 10/16 字數 333,000

一九五五年三月上海第一版

印數 1—2,500

一九五五年三月上海第一次印刷

定價二元二角五分

## 序

本書是爲了電工學院的學生和爲了那些想要提高和擴大自己在通訊電纜理論方面的知識的通訊工程技術工作人員而編著的。在書中包含有一切爲了瞭解在電纜線路中傳輸電訊訊號時所發生的電氣現象所必需的理論。

第一章是引論，其中有電工學和有線傳輸原理的基本知識。這些知識對許多讀者會是很有用的，因爲它們能使進一步研讀本書時方便一些。

有幾章是專門來研究通訊訊號在各種型式電纜中的傳輸理論的。這些問題中有一些是作者在 1932 至 1940 年這期間就已經研究出來的。在這些章節中的材料有一部分已經在刊物中發表過了。

在通訊電纜相互串音影響的理論方面編寫有三章。這些問題中，有一些是作者在 1940 至 1949 年這一時期間進行研究的。在這些問題方面的材料基本上是初次發表的。

關於在建造或運用電纜幹線時，通訊電纜發生故障的情況下，電纜的測試問題的有兩章。在這兩章中寫的主要是確定通訊電纜故障地點的最新的方法。

最後兩章專門來研究通訊電纜對腐蝕和過電壓的防護問題。這兩章中的材料是技術科學博士 M. II. 米哈依洛夫寫的。

作者已經力圖儘可能的以必要的數學推演來對理論問題作完整的敘述，但是在某些情況下爲了減小本書的篇幅就不得不以引用最後的理論結果爲限。

在敘述理論材料時必須要用到偏微分方程式，偏微分方程式的解答是用  $n$  階貝塞爾變形函數來表示的。在本書的末尾附有一些公式，來使那些對這一方面的數學不熟悉的讀者易於了解書中所作的數學推

論。

書中只是很簡略地研究了一下實際問題，因為關於這些問題有專門的書刊討論。

所有對本書的意見務請寄到莫斯科，中心區，基洛夫街 40 號，國立電訊書籍出版社(Москва, центр, ул, Кирова, 40, Связьиздат)。

作 者

# 目 錄

序.....	1
緒論.....	1
第一章 電工學的基本知識.....	3
§ 1. 電場.....	3
§ 2. 直流電流.....	8
§ 3. 交流電流.....	12
§ 4. 電磁場.....	18
§ 5. 電能沿導線的傳輸.....	23
§ 6. 回路間的電磁影響.....	27
第二章 電報電纜.....	37
§ 7. 電報電纜的結構.....	37
§ 8. 電報電纜的電氣參數.....	40
§ 9. 短節電纜上電報傳輸的計算.....	49
§ 10. 海底電纜上電報傳輸的計算.....	52
第三章 同心電纜.....	59
§ 11. 同心電纜的結構.....	59
§ 12. 同心電纜的參數的計算.....	63
§ 13. 同心電纜上的傳輸計算.....	68
§ 14. 同心電纜參數的測量.....	73
§ 15. 同心電纜的多路應用.....	80
§ 16. 同心電纜的構造不均勻的影響.....	86
第四章 音頻不加感電纜.....	89
§ 17. 音頻電話電纜的構造.....	89
§ 18. 電話電纜的一次參數的計算.....	94
§ 19. 電話電纜上的傳輸計算.....	102
§ 20. 脈衝電流在自動電話網電纜中的傳輸.....	106
第五章 高頻不加感電纜.....	113
§ 21. 高頻不加感電纜的結構.....	113

§ 22.	高頻電纜的一次參數的計算	116
§ 23.	不加感高頻電纜上的傳輸計算	125
§ 24.	不加感電纜參數之測量	127
§ 25.	電纜的電氣特性與溫度的關係	130
§ 26.	不加感電纜的多路應用	134
<b>第六章</b>	<b>音頻集總加感電纜</b>	<b>141</b>
§ 27.	音頻集總加感電纜的種類	141
§ 28.	音頻加感線圈	142
§ 29.	集總加感電纜二次參數的計算	147
§ 30.	幻路的參數	151
§ 31.	集總加感制	153
§ 32.	集總加感電纜的特性阻抗和加感節距中的不均勻的關係	158
§ 33.	音頻集總加感電纜傳輸計算的主要指示	162
<b>第七章</b>	<b>高頻集總加感電纜</b>	<b>164</b>
§ 34.	高頻集總加感電纜的種類	164
§ 35.	高頻加感線圈的構造	166
§ 36.	高頻集總加感電纜參數的計算	166
§ 37.	高頻集總加感電纜傳輸計算的基本指示	168
§ 38.	消除加感節距中的不均勻的方法	169
§ 39.	集總加感電纜的多路應用的概念	171
<b>第八章</b>	<b>均勻分佈加感電纜</b>	<b>172</b>
§ 40.	克拉魯普電纜的構造	172
§ 41.	雙金屬心線電纜	173
§ 42.	鋼心線覆有磁介質的電纜	175
§ 43.	心線具有磁性或磁介質外皮的電纜之一次參數的計算	178
§ 44.	海底電纜	184
<b>第九章</b>	<b>架空線路中的介入電纜</b>	<b>187</b>
§ 45.	介入電纜和架空線路的配合	187
§ 46.	耦合裝置	189
§ 47.	阻抗配合自耦變量器	191
§ 48.	集總加感介入電纜	194
§ 49.	心線覆有磁介質的介入電纜	200
<b>第十章</b>	<b>通訊電纜中的相互影響</b>	<b>203</b>

§ 50.	不對稱電纜的影響參數	203
§ 51.	對稱電纜的影響參數	212
§ 52.	電纜絞距的計算方法	227
§ 53.	電纜回路間的直接影響	231
§ 54.	由於反射而引起的串音影響	234
§ 55.	經由第三回路的串音影響	239
§ 56.	總的串音防衛度	243
<b>第十一章</b>	<b>屏蔽電纜</b>	<b>246</b>
§ 57.	屏蔽電纜的構造	246
§ 58.	計算屏蔽電纜的一次參數的方法	247
§ 59.	影響參數	255
§ 60.	多層屏蔽體	258
<b>第十二章</b>	<b>電纜的平衡</b>	<b>263</b>
§ 61.	音頻電纜的平衡	263
§ 62.	高頻電纜的平衡	276
§ 63.	補償偶合的圖解計算法	284
§ 64.	補償元件的頻率特性	287
§ 65.	用互感線圈來補償電纜中的偶合	291
<b>第十三章</b>	<b>用直流電測定電纜的故障處</b>	<b>295</b>
§ 66.	採用直流電橋的測定方法	295
§ 67.	以測量電流為基礎的方法	302
§ 68.	電壓降法	307
§ 69.	兩邊測量電阻法	309
§ 70.	電橋雙平衡法	313
§ 71.	雙臂電橋法	316
<b>第十四章</b>	<b>用交流電來測定電纜的故障處</b>	<b>321</b>
§ 72.	用交流電測定故障處的方法的一般原理	321
§ 73.	以測量線路輸入阻抗為基礎的方法	322
§ 74.	以測量電磁耦合為基礎的方法	330
§ 75.	庫列蕭夫和什華爾茨芒法	335
§ 76.	脈衝法	340
§ 77.	心線錯誤交叉處的測定	343
<b>第十五章</b>	<b>電纜的防蝕</b>	<b>351</b>



§ 78.	腐蝕的種類	351
§ 79.	位在漏洩電流區內的電纜外殼的電位	353
§ 80.	電纜對土壤腐蝕的防護方法	358
§ 81.	電纜外殼對電蝕的防護	360
<b>第十六章</b>	<b>電纜對危險電壓和干擾電壓的防護</b>	<b>367</b>
§ 82.	危險電壓及干擾電壓的基本概念和來源	367
§ 83.	高壓電力輸電線的感應影響	367
§ 84.	交流電氣鐵道饋電滑接網的感應影響	377
§ 85.	直流電氣鐵道饋電滑接網的感應影響	386
§ 86.	落地雷擊對長途地下電纜的影響	389
§ 87.	無線電台的影響	391
§ 88.	在有磁影響的情況下電纜外殼的防衛作用	393
<b>附錄 1</b>	<b>偏微分方程式的解法</b>	<b>397</b>
<b>附錄 2</b>	<b>貝氏函數</b>	<b>401</b>
<b>附錄 3</b>	<b>變質貝氏函數表</b>	<b>405</b>
	<b>中俄譯名對照表</b>	<b>420</b>

## 緒 論

電纜在它發展的初期是由一根絕緣導體所組成的。第一根絕緣導體是俄羅斯科學家 П. Л. 施令格在 1812 年發明的，它被用來使水雷爆炸。1832 年在彼得堡進行通電報的實驗時，施令格採用了絕緣導線，這導線敷設在地下木槽中。

用馬來膠絕緣的長途電纜是在 1851 年（和建設鐵路同時）敷設來構成莫斯科和彼得堡之間的地下電報線路的。後來它被架空線路代替了。

隨後，電纜技術主要地是向着下面兩個方向發展的：改良空氣-紙絕緣電纜的生產和把電纜主要應用在市內電話網中。

發展的後一階段以這樣的發明為特徵，這發明的目的是用人為增大電纜電感的方法來增大電纜中的電話通訊距離。在 1900 年有人提出了在電纜中串聯電感線圈來增大線路電感的辦法。

這方法的應用使得電纜可以用來作長途電話通訊用。再過了一些時間後，為增大電話通訊距離，電子管得到了廣泛的應用。在這一方面，蘇聯科學院通訊院士科瓦林柯夫有着特殊的貢獻，他研究出許多電子管電話增音機線路圖，這解決了實際上在任何距離間組織通訊的問題。

現在，電纜技術的發展的特徵是廣泛地利用載波通訊的方法，來在具有一般構造的不加感電纜中，在有特殊構造的電纜中，或在適於高達幾百萬赫芝的頻帶內通載波的同軸電纜中組織通訊。

在偉大的十月社會主義革命前，俄羅斯的電纜工業控制在外國資本家手中，他們對在俄羅斯發展國產電纜的生產並不感興趣。因此電纜的生產還是處於萌芽狀態中。但是，即使在這時候，在俄羅斯已經有過一些專家研究解決了許多和電纜技術有關的實際的和理論的問題。

譬如在第十九世紀末葉，俄羅斯工程師康斯坦丁諾夫和皮薩烈夫斯基在他們的著作中就曾指出，絕緣導線應該怎麼樣去敷設和用電流來測試。И. Д. 沃依納羅夫斯基在 1912 年研究出了同心電纜的理論。

在偉大的十月社會主義革命以後，所有的大工業，包括電纜工業在內，都轉到了國家的手中。蘇聯的電纜工業開始有計劃地發展了。

在幾個斯大林五年計劃的年代裏，電纜技術得到了尤為急劇的發展。已經建設了巨大的電纜工廠，並能出產自己設計的通訊電纜，包括繩捻絕緣的和同心的電纜在內。在蘇聯各城市中已敷設有幾千公里的由祖國工廠自製的電話電纜。

由戰後斯大林五年計劃所指定的全部恢復和進一步廣泛發展幹線電報電話電纜網的任務正在勝利地完成着。

在與電纜技術有關的理論的發展上，蘇聯專家已經有了很大的貢獻，這些專家的著作名稱分別列在每一章的末尾。

# 第一章 電工學的基本知識

## § 1. 電 場

量子力學是近代電學的基礎，依照這個學說，我們知道物質的原子是由極微小的、波狀運動的粒子所構成的複雜系統。但是，爲了明顯起見，我們假設原子的構造情形與行星系相類似。

在這種情況下，假定原子基本上是由原子核和一些電子所構成。原子核帶有正的電荷。電子沿閉合軌道圍繞原子核旋轉。電子本身就是元負電荷，它的質量是氫原子質量的 $\frac{1}{1848}$ 。

在物質的每一個原子內，正的電荷和負的電荷互相中和。所以在自然界中，一切物體通常都是位於電氣中和的狀態。如果由於某些原因，物體的電子較中和狀態少了或多了，那末在缺少電子的場合下物體就荷有正電，而在電子過剩的場合下物體就荷有負電。

異性電荷中間有互相吸引的力，同性的電荷中間有推斥的力。兩電荷互相作用的力決定於這兩電荷的數值，它們中間的距離和它們周圍媒質的性質。庫倫用實驗的方法確定了這個互相作用力的數量方面，即他建立了一條定律。依據這條定律，上述互相作用力可用MKSM實用合理單位制<sup>①</sup>表示如下：

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \cdot \frac{q_1q_2}{r^2}, \quad (1, 1)$$

式中， $q_1$  及  $q_2$ —電荷，以庫倫爲單位，

$r$ —兩電荷間的距離，米，

$\epsilon_r$ —媒質的相對介電係數，

$\epsilon_0$ —真空的介電係數，其值等於

---

<sup>①</sup> 米—公斤—秒—導磁係數單位(MKSM)單位制的各單位與其他單位制的各單位間的關係列於表 1.1 中。

$$\frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \frac{\text{法拉}}{\text{米}^2}$$

顯現有電氣互相作用力的空間稱做電場。造成該電場的電荷 $q$ 與置於電場內的點電荷或試驗電荷 $\Delta q$ 間互相作用的力是電場的基本特性。這個作用力 $\Delta F$ 以下式表示：

$$\Delta F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q \cdot \Delta q}{r^2}$$

電場強度由力 $\Delta F$ 與試驗電荷 $\Delta q$ 的比值的極限來決定，

$$E = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (1, 2)$$

把單位試驗電荷從電場內的一點 $A$ 移動到另一點 $B$ 時電場的力所做的功稱作電壓 $U_{AB}$ ，

$$U_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} E dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (1, 3)$$

如果把離點電荷之距離為 $r$ 的單位試驗電荷拿到這個點電荷所造成的電場範圍以外，那末電場的力在這樣移動試驗電荷時所做的功即是該點的電位數值。於是，該點電位為

$$u = \int_r^{\infty} E dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \int_r^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r} \quad (1, 4)$$

從方程式(1, 3)和(1, 4)可知， $A$ 點與 $B$ 點間的電位差等於這兩點間的電壓，即

$$U_{AB} = u_A - u_B \quad (1, 5)$$

“電壓”與“電位差”是同一意義的兩個名詞。它們的數值用伏特來度量。

電位具有這樣的一種性質，即電位 $u$ 向任何一個方向 $s$ 所取的偏微商的負值是電場強度向量 $E$ 在該方向上的投影，即

$$E_s = -\frac{\partial u}{\partial s} \quad (1, 6)$$

表 1,1 絕對電磁單位制 MKSM (實用單位) 之各單位與靜電單位制 CGS<sub>e</sub> 及電磁單位制 CGS<sub>μ</sub> 之各單位間的關係

量	下列單位制之各度量單位間的連系		
	MKSM	CGS <sub>e</sub>	CGS <sub>μ</sub>
力(機械力).....	1 牛頓	10 <sup>5</sup> 達因	10 <sup>5</sup> 達因
電量.....	1 庫侖	3×10 <sup>9</sup>	10 <sup>-1</sup>
電場強度.....	1 $\frac{\text{伏特}}{\text{米}}$	3 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-4</sup>	10 <sup>6</sup>
電位移.....	1 $\frac{\text{庫侖}}{\text{平方米}}$	3×10 <sup>6</sup>	10 <sup>-6</sup>
電容.....	1 法拉	9×10 <sup>11</sup>	10 <sup>-9</sup>
介電係數.....	1 $\frac{\text{法拉}}{\text{米}}$	4π×9×10 <sup>9</sup>	4π×10 <sup>-11</sup>
磁場強度.....	1 $\frac{\text{安培}}{\text{米}}$	4π×3×10 <sup>7</sup>	4π×10 <sup>-3</sup> 奧斯特
磁感應(磁通密度).....	1 $\frac{\text{韋伯}}{\text{平方米}}$	3 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-6</sup>	10 <sup>4</sup> 高斯
磁通.....	1 韋伯	3 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-2</sup>	10 <sup>8</sup> 馬克司威爾
磁動勢.....	1 安培匝數	4π×3×10 <sup>9</sup>	4π×10 <sup>-1</sup> 吉伯
電感.....	1 亨利	9 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-11</sup>	10 <sup>9</sup>
互感.....	1 亨利	9 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-11</sup>	10 <sup>9</sup>
導磁係數.....	1 導磁係數單位(МАГН)	(4π) <sup>-1</sup> ×9 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-13</sup>	(4π) <sup>-1</sup> ×10 <sup>7</sup>
功.....	1 焦耳	10 <sup>7</sup> 爾格	10 <sup>7</sup> 爾格
功率.....	1 瓦特	10 <sup>7</sup> 每秒爾格	10 <sup>7</sup> 每秒爾格
電位, 電壓及電動勢.....	1 伏特	3 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-2</sup>	10 <sup>8</sup>
電流.....	1 安培	3×10 <sup>9</sup>	10 <sup>-1</sup>
電阻.....	1 歐姆	9 <sup>-1</sup> ×10 <sup>-11</sup>	10 <sup>9</sup>
電導.....	1 西門子	9×10 <sup>11</sup>	10 <sup>-9</sup>

孤立的導體上的電荷同其電位的比稱做電容，

$$C = \frac{q}{u}. \quad (1, 7)$$

電容的數值用法拉來度量。

在研究電場時，我們引用電感應(或電位移)這個概念。它是電場強度與介電係數的乘積，即

$$D = \epsilon E, \quad (1, 8)$$

式中  $\epsilon$ —媒質的介電係數，其值等於

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 = \frac{\epsilon_r}{4\pi \times 9 \times 10^9} \frac{\text{法拉}}{\text{米}}.$$

電感應  $D$  和電場強度  $E$  都是向量。它們可用假想的力線來明顯地表示出來。這些力線開始於正電荷或從無窮遠處來，而終結於負電荷或到無窮遠處去。(圖1, 1)。同時，穿過與電場方向垂直的單位面積的電力線數目應當等於電感應  $D$  向量的數字值，因而也與電場強度  $E$  成比例。

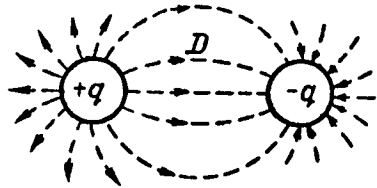


圖 1, 1. 電場的力線。

電感應向量與元表面的標量乘積的總和稱做穿通這個表面的電感應向量通量：

$$N = \int_S D dS = \int_S D dS \cos(D dS). \quad (1, 9)$$

上式內  $dS$  也是向量，它沿着表面  $dS$  法線方向。根據高斯定理知道，從閉合表面內部的點電荷  $q$  發出的電感應向量通量，或感應通量，等於這個電荷，而與包圍它的閉合表面的形狀無關：

$$N = \oint_S D dS = q. \quad (1, 10)$$

由表面  $S$  所圍住的任何體積  $V$  內所發出的電感應向量通量對這個

體積的比值，當該體積趨向於零時其所趨近的極限稱做電感應向量的散度，即

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\oint \mathbf{D} dS}{V} \quad (1, 11)$$

電感應向量散度等於該點上的電荷體積密度  $\rho$ ，若在該點沒有電荷時，則散度等於零，即

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \text{ 或 } 0. \quad (1, 12)$$

在圓柱座標系中，依下法來計算散度。 $a$  點具有座標  $r, \varphi$  及  $z$  (圖 1, 2)。於該點作一元體積，各邊長度為  $dr, r d\varphi$  及  $dz$ 。通過任何面  $dS$  的單位電感應通量等於  $D_n dS$ ,

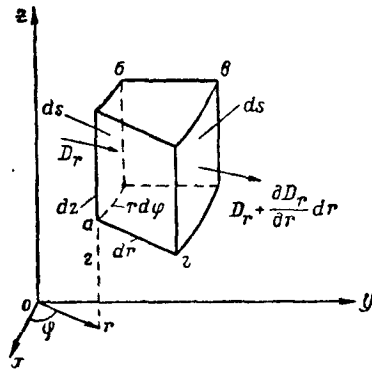


圖 1, 2. 電場內的元體積。

式中  $D_n$ —電感應向量的與面  $dS$  垂直的分量。與元體積的各面垂直的各分量是向量  $\mathbf{D}$  在各座標軸上的投影： $D_r, D_\varphi$  及  $D_z$ 。通過含有對角線  $a\delta$  的面上的通量等於

$$-(D_r) d\varphi dz,$$

而通過含有對角線  $a\epsilon$  的面上的通量等於

$$\left[ D_r r + \frac{\partial(D_r r)}{\partial r} dr \right] d\varphi dz = \left( D_r r + \frac{\partial D_r}{\partial r} r dr + D_r dr \right) d\varphi dz.$$



兩通量的和等於

$$\left(\frac{\partial D_r}{\partial r} + \frac{D_r}{r}\right) r dr d\varphi dz。$$

同理，找出通過其他兩對相對面的通量之和，可得：

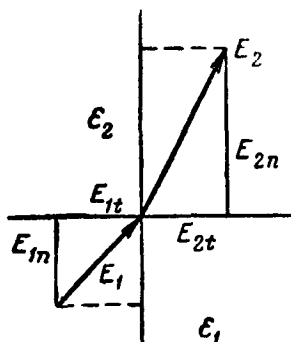
$$\oint_s \mathbf{D} d\mathbf{S} = \left(\frac{\partial D_r}{\partial r} + \frac{D_r}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial D_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial D_z}{\partial z}\right) r dr d\varphi dz。$$

把上式代入方程式 (1, 11) 中，並利用  $dV = r dr d\varphi dz$  的關係來化簡之，可得：

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \frac{\partial D_r}{\partial r} + \frac{D_r}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial D_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho \text{ 或 } 0。 \quad (1, 13)$$

在兩個媒質的分界處沒有自由電荷的情況下，從一個媒質過渡到

另一媒質去的電感應向量通量是不變的，但是電感應向量以及電場強度向量的數值和方向卻都發生變化（圖 1, 3）。這時在電場強度向量  $E_1$  及  $E_2$  的法線分量與切線分量之間有下列的關係：



$$E_{1t} = E_{2t} \text{ 及 } \epsilon_1 E_{1n} = \epsilon_2 E_{2n}。 \quad (1, 14)$$

## § 2. 直流電流

圖 1, 3. 電力線的折射。

電荷沿着任何導電媒質所做的運動叫做電流。採用安培做為度量電流的單位。

不隨時間變化的電流稱做直流電流。直流電流通常用原電池或蓄電池來獲得。這兩種電池的功能是根據化學能轉變成電能的道理而得到的。

電流通過的途徑叫做電路。

電流為  $I$  時，在時間  $t$  內通過導體的電量將等於下值：

$$q = It。 \quad (2, 1)$$

電流通過導體時，導體對電流發生阻力。導體上所加電壓與電流