

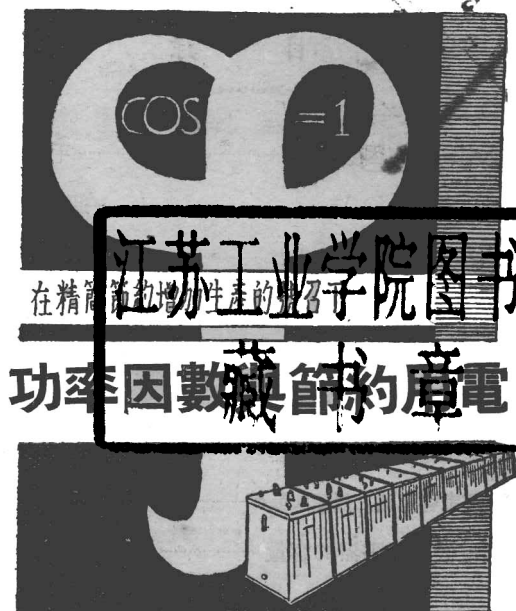
電 世 界 叢 書 第 六 種

---

# 功率因數 與 節約用電

電 世 界 社 出 版

電世界社叢書第六種



在精簡節約增加生產的號召下

江苏工业学院图书馆

功率因數與節約電

毛啟爽主編

電 世 界 出 版 社

# 功率因數與節約用電

## 目 錄

|                           |            |    |
|---------------------------|------------|----|
| 電能、電功率和功率因數.....          | 毛 啟 爽..... | 1  |
| 談功率因數和電力節約.....           | 許 萃 羣..... | 8  |
| 第一部 功率因數的意義及影響.....       |            | 8  |
| 第二部 量度功率因數的方法.....        |            | 16 |
| 第三部 用同步電機改進功率因數.....      |            | 24 |
| 第四部 用靜電容電器改進功率因數.....     |            | 33 |
| 第五部 感應電動機專用容電器.....       |            | 47 |
| 第六部 靜電容電器之規範與裝置.....      |            | 57 |
| 用圖表求容電機或容電器的容量.....       | 楊 時 榮..... | 71 |
| 量度平均功率因數.....             | 朱 之 育..... | 76 |
| 附錄一、二瓦特表量三相功率因數之證明.....   |            | 81 |
| 附錄二、用二具仟瓦小時計量三相的無功電能..... |            | 84 |
| 附錄三、用三相三線電度表量三相的無功電能..... |            | 85 |
| 附錄四、用三相四線電度表量三相的無功電能..... |            | 86 |
| 附錄五、求靜電容電器的容量.....        |            | 87 |
| 附錄六、裝置容電器後對電廠的利益.....     |            | 95 |
| 附錄七、一個計算的例子.....          |            | 99 |

# 電能電功率和功率因數

毛 啓 爽

## (一)前 奏

我們的家裏天天在用電燈，時常用電熨斗和無線電收音機，有時用電爐或電扇，還有許多人家用電竈來烹飪的。工廠裏面，還要用電動機（馬達），變壓器（方棚）之類。每個月有電力公司的人員來抄「火表」，我們都根據「火表」上紀錄的度數，來計算每個月應付的電費。我們在買電燈電熨斗時，都問是多少瓦特的，我們購買電動機，要看是多少馬力。我們時常聽到電力公司的發電或供電容量是多少仟瓦，或者一部發電機或變壓器容量是多少仟伏安。我們日常接觸這種一連串量電單位的名詞，會感到紛亂嗎？

我們買布是認長短的尺寸來計算布價的，我們買肉認重量的斤兩來計算肉價的，我們購買地產是認面積的畝數來計算地價的。我們買電是認着什麼標準，用什麼單位來計算電價呢？

更有使用熒光燈，電動機，或變壓器的時候，會遇到一種叫做「功率因數」的名詞，我們會感覺生疏而費解嗎？諸位如讀了這篇文章，再參考電學或物理學書籍，至少對於電學一部份名詞以致電工的應用，有一個初步的瞭解了。

## (二)功,能和功率

載着三噸重貨物的汽車,由中山公園開到北火車站,這輛車子是作了功(work),使得汽車能够作功的,是汽油所供給的能(energy)。「能」是作功的本領,在物理學方面和「功」性質相同,也用一樣的單位。

「能」可以不同的方式表現出來,我們所常見的有光能、熱能、機械能、化學能和電能,更有現在所常聽到的原子能。能也可由一種方式轉變為另一種方式。拿電能來說,以電燃燈,是由電能轉變為光能。電爐電竈電熨斗將電能轉變為熱能。以電能輸入於電動機,所得到的的是機械能,這電動機可以推動其他機器或車輛船舶,因機械動作而作功。以電能送入電解或電鍍的電池裏,電就藉化學作用轉變而為化學能。用蒸汽機拖動發電機而發電,能的來源是煤的化學能,一變而為蒸汽的熱能,再變而為蒸汽機的機械能,最後經發電機轉變為電能。

同一樣三噸重的貨物,運送同樣的距離,一部汽車甲以一小時運到,另一部汽車乙以半小時運到。它們所作的功是一樣的,但是它們作功的快慢是不同的。換一句話說,它們每小時所作的功是不同的,乙車每小時所做的功,等於甲車每小時所做的功的兩倍。於是有「功率」(power)的問題。功率就是做功的快慢,即作功的率,也就是每單位時間所做的功。拿上一個例子說,乙車的功率是甲車的功率的二倍。在數學方面,

$$\text{功率} = \text{功} \div \text{時間}, \quad \text{功率} = \text{能} \div \text{時間}.$$

反過來說,有不同功率的兩部機器,在同一時間所作的功是不同的。因乙車的功率二倍於甲車的,在一小時內乙車所做的功,也必二倍於甲車。就是說乙車在一小時內可載着三噸貨物,運送二倍於甲車所能運送的距離。在數學方面,

功 = 功率 × 時間,      能 = 功率 × 時間。

在機工方面, 能的單位是呎磅, (foot-pound) 即將一磅重的物體舉高一呎所作的功。功率的單位是馬力 (horsepower), 每秒能作 550 呎磅的功的機器, 它的功率是一馬力。

### (三) 電能和電功率

在我們沒有講到電能和電功率之前, 我們先談一談電能表現的過程。無論是電燈、電爐、或電動機, 必須接到一個電源上, 這電源具有電壓 (electric potential), 就是能促使電流流過電器的原動勢, 它的單位是伏特 (volt)。在上海的人都知道, 祇有法商電燈公司所用的電壓是 110 伏, 其他公司都用 220 伏。

有了電壓, 就發生電流, 好比三層樓上的水桶有水壓促使水經水管向下流的一樣。電流的單位是安培 (ampere)。水流有速率, 電流也有速率。十加侖的水是水的量, 水管裏每秒鐘流過兩加侖, 水流就是 2 加侖/秒。同理, 一安培的電流, 代表每秒鐘有一庫侖 (coulomb) 的電在流過。

拿電壓乘電流就得到電功率, 單位是瓦特 (watt)。一伏特電壓乘一安培電流, 得到一瓦特電功率, 1000 瓦特叫做仟瓦 (kilowatt)。例如一個 500 瓦特的電熨斗插在 220 伏電源上, 就有  $500 \div 220 = 2.27$  安培的電流流過。再如一只電爐在 110 伏電路裏, 取用 20 安電流, 它的電功率就是  $110 \times 20 = 2,200$  瓦特, 或 2.2 仟瓦, 所以

電功率 (瓦特) = 電壓 (伏特) × 電流 (安培)

由電功率計算電能, 須乘上使用的時間。在實用方面, 若是電功率以仟瓦為單位, 時間以小時為單位, 相乘所得的電能, 叫做仟瓦小時 (kilowatthour), 這就是我們普通所謂「火表」上的一「度」。

電能 (仟瓦小時) = 電功率 (仟瓦) × 時間 (小時)。



例如，我們家裏有40 瓦特電燈 5 只，500 瓦特電熨斗一只，倘若同時開用，總電功率是  $40 \times 5 + 500 = 700$  瓦特或 0.7 仟瓦。如果同時使用 3 小時，所消耗的電能是  $3 \times 0.7 = 2.1$  仟瓦小時。我們向電力公司繳納電費，不是照瓦特計算的，因為瓦特是電功率，不能表示我們所用的電能。唯有電能纔值錢的。同一樣 5 只 40 瓦特的電燈，用一小時祇有 0.2 仟瓦小時的電能，用 5 小時就有 1 仟瓦小時的電能，用 5 小時當然要比用 1 小時多出錢。

電功率的瓦特數可以折合到機械功率的馬力數，一馬力合到 746 瓦特，或約近  $\frac{3}{4}$  仟瓦。例如一只 5 馬力的電動機假定因為機內的損失，輸出的機械功率是輸入電功率的百分之 80，那麼電功率輸入就是  $(5 \times 746) \div \frac{80}{100} = 4660$  瓦或 4.66 仟瓦，開用 8 小時就用  $4.66 \times 8 = 37.28$  仟瓦小時的電能。

#### (四)交流電路裏的電功率

在交流電路裏電功率的計算手續，和直流電路稍有不同，伏特乘安培並不一定得到瓦特。因為直流電路裏的電流和電壓，有恒定不變的方向和大小的。但是交流電路裏的電壓和電流的方向固刻刻變更，而其瞬間值（即在某一瞬時的大小），也是刻刻在變化的，於是發生一個時相（phase）的問題。

兩輛汽車以同一速率向同一方向行駛，可以自同一起點同時出發，這兩輛車子就並肩齊行，在任何時間都在同一相互位置。也可以不同的時間出發，例如甲車先行 2 分鐘，大家以每時 15 哩的速率前進，無論在任何瞬間，甲車在乙車之前半哩， $(15 \times \frac{2}{60} = 0.5)$ 。換一句話說，甲車經過某地時，乙車須於 2 分鐘後經過該地，而乙車到達該地時，甲車早在半哩之外了。

同樣，交流電路裏的電壓和電流。可以同一頻率 (frequency, 例如每秒 50 週) 而變化, 但是可以自同一瞬間開始變化, 這叫做同相 (in-phase)。也可以自不同的瞬間開始變化, 例如電壓較電流超前一週的  $1/6$ , 或電流較電壓落後一週的  $1/6$  之類, 這兩者叫做異相 (out-of-phase)。

在祇有電阻的電路裏, 如電燈、電熨斗、電爐之類, 電流和電壓是同相的。計算電功率的方法和直流電路相同。就是說, 伏特乘安培等於瓦特。

但是在有電阻又有電感 (如變壓器裏的線圈) 或又有電容 (如容器) 的電路裏, 因電抗的關係, 電流和電壓不是同相。凡是在電壓和電流異相的電路裏, 一部份電能是用來克制電抗, 一部份電能用來克制電阻。克制電抗的一部份能量仍舊回輸到電源去。克制電阻的一部份電能, 被電阻消耗掉變為熱能, 祇有這一部份電能纔是該電路裏的實在電能。

因此, 在交流電路裏, 電壓 (伏特) 和電流 (安培) 的乘積, 不是真正的電功率。因為在表面上看起來好像是電功率, 我們將它叫做表觀電功率 (apparent power), 用伏安做單位。唯有實在電功率 (true power) 纔用瓦特做單位, 纔能算得出電能。實在電功率與表觀電功率之比, 叫做功率因數。用數學來表示,

$$\text{功率因數} = \frac{\text{實在電功率}}{\text{表觀電功率}} = \frac{\text{瓦特}}{\text{伏安}}$$

反過來說, 由伏特與安培的乘積必須再乘以功率因數, 纔得到實在功率的瓦特數。

例如一具變壓器接在 220 伏電路上, 輸入電流是 50 安。功率因數是 0.84, 它的輸入電功率就是  $220 \times 50 \times 0.84$  等於 9,240 瓦特。以 220

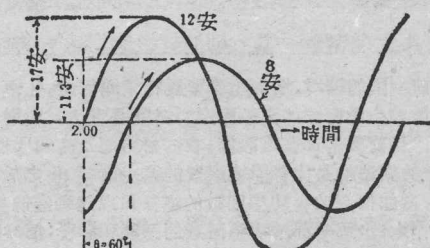
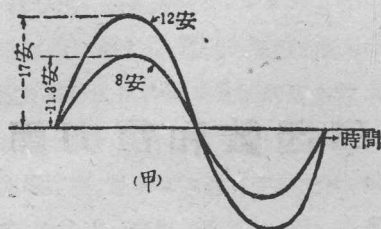


和 50 相乘得到 11,000 伏安，或 11 仟伏安，是該變壓器的表觀電功率。

我們去買一只發電機或一只變壓器，製造廠家不知道這部機器將來係用在那一種電路裏，功率因數會是多少。他祇能告訴你這部機器可用於多少伏特的電壓和多少安培的電流，在銘牌上祇寫出仟伏安數。例如某變壓器的銘牌上寫着 2200 伏，15 仟伏安，可以供給約 7 安的電流。如果你所接上的負荷的功率因數是百分之一百，你可以得到 15 仟瓦的電功率；如果功率因數是百分之 80，你得到 12 仟瓦；如果功率因數是百分之 10，你祇得到 1.5 仟瓦。你可以從這部機器得到由零至 15 仟瓦間任何仟瓦數的電功率，要看你用於那一種功率因數的負荷而定了。

在用電的一方面，用戶付出電費是照仟瓦小時計算的，而仟瓦小時是根據實在電功率的，功率因數的好壞對於付出電費，照一般情形說來是沒有影響的。可是電力公司一方面呢，這就大大的不同了。它供給你同樣的 5 個仟瓦的電功率，在百分之十功率因數下，它須準備 50 仟伏安；而在百分之一百的功率因數下，它祇須準備 5 仟伏安。你所繳納的電費是一樣的，但是在功率因數小到百分之十的情形時，電力公司須準備容量較大十倍的發電機器，並設置能載十倍大的電流的輸電線路，而担负線路上較大一百倍的功率損失，這種投資和經常的損失，將何所取償呢？唯一的解答是限制用戶的功率因數不可低於某一個數字（大概是百分之 80），而對於功率因數低於限度的用戶加重收費。

讓我們再來一個比喻，你打電話通知某地毯公司，送四條地毯來讓你選購。它送來四條，而你選購一條，付了一條的貨價，在購者是交易而退。可是地毯公司除掉用車子裝運四條送到府上以外，還要運回去三條。如果你關照地毯公司送一條來你就買下，你付同樣的貨款，地毯公司祇負担一條地毯的運費，祇須用一部小車子運送。現在地毯公司不但須用一部足容四條地毯的車子，而且要担负運來四條和運回三條的費用，它



圖甲示 12 安電流與 8 安電流同相變化，二者以同一瞬間經過零值增加，以同一瞬間達最大值。雖然兩電流的大小是不同的，但其變化是刻刻同步的。

圖乙示 8 安電流與 12 安電流為異相，8 安電流較 12 安電流落後  $60^\circ$  即落後  $1/6$  週。反之 12 安電流較 8 安超前  $60^\circ$ 。當 12 安電流由零向正方面增加時，8 安電流仍在負的部份向零值增加，在  $60^\circ$  後即  $1/6$  週後，8 安纔經過零值開始向正的方面增加。

做到同樣一筆生意，它的擔負就兩樣了。這雖然是一個不十分確切的例子，但是可以反映在低功率因數時電能回輸的影響。

假使你是地毯公司的經理的話，你希望顧客全部選購呢，還是大量的退回呢？同樣，你是電力公司的經理的話，你希望你的用戶的功率因數是百分之一百呢？還是百分之十呢？

本篇參考書籍：電工技術叢書；裘維裕編譯——電學與磁學，交流電學。

(原載電世界月刊第一卷第二期)

# 談功率因數和電力節約

許 萃 羣

處在目前中國的環境，增加生產要勵行精簡節約，化浪費為生產是唯一的大道。生產所需的資源除原料外就是電力，要增加生產即要增加電力。目前要增加發電設備，在器材方面及時間方面，都夠不到，所以唯一的辦法就是儘量節約浪費的電力消耗，化之於有用的生產。本文裏介紹如何用改善功率因數的辦法可以達到這個目的。

本文分作六部：第一部講功率因數的意義和影響；第二部講測量功率因數的方法；第三部講用同步電機改善功率因數；第四、五、六部講用靜電容電器改善功率因數。其中以靜電容電器改善功率因數的方法講得較詳，因此種方法最適於現在我國的經濟情況。因為功率因數的本身就是含有數學意義的，所以本文中難免有用到數學的地方，但是為顧及讀者的數學水準，已儘量減少而多用圖表來代替。

## 第一部 功率因數的意義及影響

### 一 什麼叫做功率因數？

“功率因數”這個名詞在“電世界”的讀者聽來，並不怎樣生疏吧！但是有許多書上叫做“電力因數”，也有稱做“力率”的，大概都是因原文“power factor”二字譯出的不同的譯名。至於“功率因數”的意義如何呢？在“電世界”一卷二期的講座裏已經解釋得很清楚，因為該冊雜誌現在已買不到，現在在這裏不妨引用該文的詞句再解釋一番。對於已經澈

底明瞭的讀者，就作為一次複習吧！

在直流電路裏，電功率等於電壓與電流的乘積，用單位來表示，電功率的瓦特數等於電壓的伏特數乘電流的安培數，即

電功率(瓦特) = 電壓(伏特) × 電流(安培)。

可是在交流電路裏，電功率的計算手續就稍有不同了，電壓的伏特數，乘電流的安培數並不一定等於瓦特數。因為在直流電路裏的電流和電壓，有恒定不變的方向和大小的。但是在交流電路裏的電壓和電流的方向固然刻刻變更，而其瞬間值(即在某一瞬時的大小)，也是刻刻在變化的，於是發生一個時相(phase)的問題。

例如兩輛汽車以同一速率向同一方向行駛，可以自同一起點同時出發，這兩輛車子就並肩齊行，在任何時間都在同一相互位置。也可以不同的時間出發，例如甲車先行 2 分鐘，大家以每小時 15 哩的速率前進，無論在任何瞬間，甲車在乙車之前  $(15 \div 60) \times 2 = 0.5$  哩。換一句話說，甲車經過某地時，乙車須於 2 分鐘後經過該地，而乙車到達該地時，甲車早在半哩之外了。

同樣，交流電路裏的電壓和電流，可以同一頻率(例如每秒 50 週)而變化，但是可以自同一瞬間經過零值而開始變化，這叫做同相(in-phase)；也可以自不同的瞬間經過零值而開始變化，這叫做異相(out-of-phase)。在交流電路裏，電壓與電壓之間、電流與電流之間、或電壓與電流之間的異相情形，不是用時間表示，而是用角度來表示的，這叫做相角(phase angles)。以每一週作為  $360^\circ$ ，異相  $\frac{1}{4}$  週時，其相角就是  $90^\circ$ ；異相  $\frac{1}{6}$  週時，相角就是  $60^\circ$ ，餘類推。

在祇有電阻的電路裏，如電燈、電熨斗、電爐之類，電流和電壓是同相的，計算電功率的方法和直流電路相同，就是說，伏特乘安培等於瓦特。

但是在有電阻又有電感（如電動機及變壓器的線圈）或又有電容（如容電器）的電路裏，電流因有電抗的關係和電壓不是同相。凡是在電壓和電流異相的電路裏，一部份電能是用來剋制電抗，一部份電能用來剋制電阻。剋制電抗的一部份能量仍舊回輸到電源去。剋制電阻的一部份電能，被電阻消耗掉變為熱能，祇有這一部份電能纔是該電路裏的實在電能。

因此，在交流電路裏，電壓（伏特）和電流（安培）的乘積，不是真正的電功率。因為在表面上看起來好像是電功率，我們將它叫做表觀電功率（apparent power），用伏安做單位，簡書  $VA$ 。唯有實在電功率（true power）纔用瓦特做單位，纔能算得出電能。實在電功率與表觀電功率之比，叫做功率因數。用數學來表示，

$$\text{功率因數} = \frac{\text{實在電功率}}{\text{表觀電功率}} = \frac{\text{瓦特}}{\text{伏安}}。$$

反過來說，由伏特與安培的乘積，須再乘以功率因數，纔得到實在功率的瓦特數。功率因數又等於相角的餘弦，即  $\cos\phi$ ，用公式表示。

電功率（瓦特）= 電壓（伏特）× 電流（安培）× 功率因數。

$$P = VI \times P.F. = VI \cos\phi。$$

附帶地要提起，以電壓和電流之乘積，再乘以相角之正弦即  $\sin\phi$ ，表示用以剋制電抗部份之功率，但也並不是真正電功率，普通叫做無功功率（reactive power），用無功伏安做單位，簡書  $VAR$ ，也稱做乏爾。這無功功率是對實在功率而言的，因為這部份功率所代表的電能，仍舊回輸到電源去，並沒有作功的，所以冠以無功字樣。

由三角法知道  $\cos^2\phi + \sin^2\phi = 1$ ，所以

$$\text{表觀電功率} = \sqrt{(\text{實在電功率})^2 + (\text{無功功率})^2}$$

$$\text{即 伏安} = \sqrt{(\text{瓦特})^2 + (\text{乏爾})^2}。$$

表一 各種電器的功率因數(以百分數表示)

| 電 器 的 種 類        |                     | 功 率 因 數                 |         |              | 容 量      |  |
|------------------|---------------------|-------------------------|---------|--------------|----------|--|
|                  |                     | 滿<br>負載                 | 半<br>負載 | 無<br>負載      |          |  |
| 電<br>燈<br>類      | 鎢絲電燈                |                         | 100     |              | 10瓦—10仟瓦 |  |
|                  | 弧光燈                 |                         | 30—70   |              | 1—3仟瓦    |  |
|                  | 霓虹燈(不裝容電器)          |                         | 40—50   |              | 30—150仟瓦 |  |
|                  | 熒光燈(不裝容電器)9吋—60吋    |                         | 45—60   |              | 6瓦—100瓦  |  |
|                  | 高壓水銀燈               |                         | 50      |              | 300瓦     |  |
|                  | 鈉氣燈                 |                         | 70      |              | 100瓦     |  |
| 電<br>機<br>類      | 三電<br>相動<br>感應<br>機 | 1馬力(低壓4極鼠籠式)            | 82      | 68           | 16       |  |
|                  |                     | 10馬力(低壓6極滑環式)           | 86      | 72           | 14       |  |
|                  |                     | 100馬力(高壓8極滑環式)          | 86      | 72           | 11       |  |
|                  |                     | 1,000馬力(高壓20極滑環式)       | 80      | 66           | 6        |  |
|                  |                     | 10,000馬力(高壓60極滑環式)      | 68      | 50           | 5        |  |
|                  | 單電<br>相動<br>感應<br>機 | $\frac{1}{8}$ 馬力(剖相開動式) | 62      | 43           | 21       |  |
|                  |                     | $\frac{1}{4}$ 馬力(推斥開動式) | 66      | 45           | 18       |  |
|                  |                     | $\frac{1}{2}$ 馬力(推斥開動式) | 72      | 54           | 17       |  |
|                  | 機<br>類              | 檯電扇                     | 65—75   |              | 40瓦      |  |
|                  |                     | 吊電扇                     | 50—70   |              | 100—150瓦 |  |
|                  |                     | 電鑽(交直流兩用)               | 90      |              | 100—800瓦 |  |
|                  |                     | 商店用電力計算機                | 95      |              | 100瓦     |  |
|                  |                     | 留聲機用電動機                 | 60      |              | 20瓦      |  |
|                  |                     | 電鐘                      | 50      |              | 2瓦       |  |
|                  |                     | 警器用電動機                  | 40      |              | 20瓦      |  |
| 電<br>熱<br>類      | 理髮用電吹風{冷風時          |                         | 85      | 50瓦          |          |  |
|                  | {熱風時                |                         | 98      | 500瓦         |          |  |
| 雜<br>類<br>電<br>器 | 普通電熱器(電熨斗、電爐、熱水器等)  |                         | 100     | 20瓦—100仟瓦    |          |  |
|                  | 感應電熱器               |                         | 85      | 1瓦—100仟瓦     |          |  |
|                  | 熱風機                 |                         | 99      | 1仟瓦          |          |  |
|                  | 交流電弧熔接器             |                         | 30—40   | 5—20仟瓦       |          |  |
|                  | 交流電阻熔接器             |                         | 65      | 1—50仟瓦       |          |  |
|                  | 電弧爐                 |                         | 85      | 100—10,000仟瓦 |          |  |
|                  | 低周率感應爐              |                         | 60—80   | 50—500仟瓦     |          |  |
|                  | 無線電收音機              |                         | 70—98   | 40—60瓦       |          |  |
|                  | 電力按摩器               |                         | 30      | 10瓦          |          |  |
|                  | 家庭用臭氣發生器            |                         | 25      | 5瓦           |          |  |
|                  | 電鈴變壓器(無負載)          |                         | 50      | 0.7瓦         |          |  |
| 柯立芝式 X-射線設備      |                     | 40—95                   | 1—10仟瓦  |              |          |  |



反過來，

$$\text{無功功率} = \sqrt{(\text{表觀電功率})^2 - (\text{實在電功率})^2},$$

$$\text{即 (乏爾)} = \sqrt{(\text{伏安})^2 - (\text{瓦特})^2}.$$

上面這一點關係，似乎和功率因數無關，但是在後面講到改進功率因數的數學問題時，這一點關係是非常重要的。

## 二 電廠的功率因數怎樣低劣的？

我們從表一可以見到各種電器的功率因數，尤以近代化的新感應電器最為低劣，故近代電廠功率因數低劣的主要原因可歸納如下：

(1) 感應電動機的廣泛使用——感應電動機的價格低廉製造容易，效率高，管理簡單，而且適用於一切的工業設備中，所以工業愈發達，感應電動機的使用也愈多。此種感應電動機在滿載時功率因數為80%至90%，但在非滿載時功率因數即低劣了。茲將幾種速度（60週的）小型鼠籠式感應電動機在各種負載時的功率因數列表於如下：（同時請參閱表一為在50週下的情況）

表二 鼠籠式感應電動機

| 輸出馬力          | 各種速度半載時的功率因數 |      |      | 各種速度滿載時的功率因數 |      |     |
|---------------|--------------|------|------|--------------|------|-----|
| 轉速<br>(每分鐘轉數) | 1800         | 1200 | 900  | 1800         | 1200 | 900 |
| $\frac{1}{2}$ | —            | 54   | 44   | —            | 75   | 63  |
| 1             | 60           | 55   | 44   | 80           | 75   | 67  |
| 2             | 63           | 61   | 53   | 82           | 78.5 | 71  |
| 3             | 65           | 64   | 55.5 | 82           | 80   | 74  |
| 5             | 73.5         | 67   | 55   | 87.5         | 85   | 77  |
| 10            | 81           | 0    | 64   | 90           | 89.5 | 82  |
| 20            | 83           | 81   | 73   | 91.5         | 90.5 | 85  |
| 50            | —            | 85   | 75.5 | —            | 91.5 | 88  |

一般工廠中有很多的下述原因不能使感應電動機運轉於滿載，所以功率因數很低劣。有許多工廠在購買感應電動機時，常將馬力估計得

寬裕一點，所以設置後很難恰巧達到滿載的目的。又有許多工廠的負載在起動時必須用大馬力，而起動後所需的馬力又不需要這麼大了，雖然有許多起動設備可以來適應這個需要，但是終難如願，所以採用的感應電動機容量都比較大。工廠生產有旺淡之分，常使感應電動機不能達到滿載，尤其是採用集體傳動的工廠。有許多工業上的機器必須使用低速率感應電動機（俗稱慢車頭馬達），從表一及表二可知低速率感應電動機與同一輸出馬力的高速率感應電動機相比，則其功率因數較低劣。許多機械尤其是工具機械，如鉋床、衝床等均有工作循環（working cycles），在循環中之某一動作時，需要較大的馬力，而在其他動作則負載很輕，此類機器雖用飛輪來平衡負荷，但用感應電動機來傳動，其功率因數非常低劣。用集體傳動的機械，因為各機的工作時間不同，此起彼落，亦很難達到滿載的狀態。

(2)變壓器不能運用於滿載——一隻變壓器在滿載時，其功率因數與牠的效率相似，在 98% 至 99% 之間，但是變壓器的磁化電流（magnetizing current）之值（即無功電流），在任何負載的情形下差不多都是恒值，所以遇到輕負載時變壓器的功率因數就低劣了。普通在一般的初級配電線路系統（primary distribution system）中，尤其在使用裝置在電桿上的變壓器時，其初級線圈恒與線路相接，所以在白天負載輕的時候形成很低劣的功率因數。在工商業愈發達的都市中，此種配電變壓器也愈多，尤其各用戶用電時間多參差不齊，而在參差因數（diversity factor）很大的情形中，功率因數更加低劣。

（參差因數為各個用戶最高需用量之總和與合併用電之最高需用量之比。例如甲用戶自上午 11 時至下午 7 時用電最高 8 仟瓦，其他時間內用電 3 仟瓦，乙用戶自上午 3 時至 9 時用電最高 10 仟瓦，其他時間內用電 5 仟瓦。兩用戶最高需用量之和為 18 仟瓦，但實際合併

用電時最高需用量爲 13 仟瓦〔上午 11 時至下午 7 時〕其參差因數爲  $18/13=1.38$ 。)

(3)電感電器的發展——電化工業和電冶工業的發展，對於功率因數的低劣也很有關係。因爲這許多工業都需電感電器如感應電爐、電弧爐等，本身的功率因數已經很低劣了，尤其當銅、鐵在感應電爐內鎔化時，將次級線圈短路後，功率因數格外低劣。

(4)家庭用電器的發達——家庭用的電器除電熱器和白熾電燈外，其餘如電扇、電冰箱、電鐘、真空吸塵器、電唱機等等，其主要部份都是小型的單相感應電動機，此種電動機的功率因數很低劣。其他如無線電收音機、熒光燈、電鈴變壓器等等，功率因數也都很低劣。

總之，從以上各點看來，社會電業化愈發達，如果功率因數不加改善的話，則電廠的功率因數愈趨低劣，浪費的容量和電力也就愈多，所以要發展生產和精簡節約，非改善功率因數不可。

### 三 低劣功率因數對於發電廠的影響

(1)一般的影響——以同一電功率的瓦特數而言，功率因數高則所需伏安數較低；反之，功率因數低則所需伏安數較大。例如 10 仟瓦電功率在百分之 60 的功率因數下，其相當的表觀電功率爲  $10 \div 0.6 = 16.7$  仟伏安；在百分之 80 的功率因數下則爲  $10 \div 0.8 = 12.5$  仟伏安。反過來說，如果一具電機的仟伏安容量爲 1000 仟伏安，在百分之 60 的功率因數時可供給實在電功率 600 仟瓦；而在百分之 80 功率因數時，則可供給 800 仟瓦。依正常情形來說，發電廠對於功率因數較標準爲高的用戶，都有一種獎勵，對低劣功率因數用戶取費較多以示罰。

(2)對於發電設備的影響——在發電廠裏的發電機和其他附屬設備的容量都是以仟伏安爲定額的。在低功率因數時，該發電機的仟伏安