

低壓變電站的設計及運行



民智書店出版

PDF

序 言

變壓是低壓配電工程系統中的第一步工作；用電容量較小者，可由一只獨立變壓器來完成，一般均由電力供應部門負責裝設於適中的電桿上；用電容量超過 100 仟瓦者，則須由用戶自行設備低壓變電站，作為降壓及管理的中心，以求達到安全適用的目的。由於祖國正在有計劃的進行大規模經濟建設，面積龐大的工業及民用建築即將大量出現於全國各個地區，是項建築中的用電容量一般均在 100 仟瓦以上，故低壓變電站的應用亦將隨而日趨繁廣。對於是項變電站的結構形式及裝配方法等，迄無專門書籍進行論述，以致一部分已建成的變電站，其構造內容多不相同。本書以經濟、適用、安全、美觀四項條件為原則，結合電工學有關理論，訂出比較適宜的設計方案，並對各種不同做法的優缺點作出具體而明確的說明以供比較。本書對於整個變電設備的線路結構，裝配方法等均有詳明而具體的解說和例圖；對於整個組織系統中各部分設備的構造原理，一般規格及其應用目的等均有簡要的說明；對於設計應該如何結合我國目前工業產品情況及未來發展方向等亦均有必要的提示；這些，均將有助於設計工作及裝配工作的實施與發展。至於運行方面應行注意的有關事項，本書亦均作出簡要的規定，使管理人員能夠領會設計者的意圖，進行合理的運用，發揮全部設備的最高效能，達到用電合理化的最終目的。

這本書是根據作者在北京市建築專科學校任教時編寫的講義，經過適當的補充整理而付印的，由於參考資料比較缺乏，寫出時間又

很匆促，缺點當然很多，錯誤亦所難免，深望專家讀者隨時賜予指正，以便逐步改進。

由於各種國產電工器材的製造標準，目前尚未完全統一，產品型式很不一致。因而本書只能就其一般性的情況作為論據，對於各種應用器材的具體型號尚不能作出明確的建議。故在設計工作進行當中，設計工作者還必須隨時根據各製造工廠的產品目錄適當選用之。茲特作出如上的說明，提請讀者加以注意。

黃守訓，序於 1953 年 11 月

目 錄

第一章 緒論	1
1. 電力的應用.....	1
2. 電力的供用系統.....	1
3. 電力供用系統聯繫圖解.....	2
4. 低壓變電站的應用.....	2
第二章 變電設備容量的計算	4
1. 電氣負載的種類.....	4
2. 負載的特性.....	8
3. 變電設備容量的決定.....	11
4. 變壓器的選擇.....	12
第三章 變壓器的構造及其特性	15
1. 變壓器的構造原理.....	15
2. 變壓器的變比.....	15
3. 變壓器的效率.....	16
4. 電壓調變率.....	16
5. 變壓器標準特性表.....	17
6. 變壓器油.....	18
7. 分線頭.....	19
8. 出線頭裝置方法.....	20
9. 附屬另件.....	20
10. 低壓變電站常用變壓器的容量及電壓.....	21

11. 配電變壓器的尺寸及重量	22
12. 變壓器的並聯運用	23
第四章 線路連接圖的設計	30
1. 應用電線的種類及其安全載流量	32
2. 線路電流的計算及導線的選定	33
3. 中性線的選定	35
4. 饋電線路的規劃	35
5. 接地做法及地線的選定	36
6. 電線顏色的塗刷	37
7. 變壓器連接的理相法	37
第五章 保安設備	38
1. 帶電雲層與大地的關係	38
2. 保安設備的構造及其應用	39
第六章 控電設備	42
1. 開關器	42
2. 熔斷器	48
3. 斷路器	54
4. 繼電器	59
第七章 指示儀器	68
1. 儀表	68
2. 儀用互感器	75
3. 指示燈	80
第八章 司路屏	82
1. 配電盤的分類	82
2. 配電盤的構造	83

3. 配電盤的排列	84
4. 配電盤構造例圖	86
5. 柵門及柵欄構造圖	90
第九章 架線裝置	91
1. 地上線架	91
2. 牆上線架	91
3. 鐵管	92
4. 地溝	92
5. 架線裝置構造例圖	93
第十章 裝配圖的設計	98
第十一章 建築面積及站址選擇	106
1. 建築構造	106
2. 建築面積	106
3. 室內高度	107
4. 變電站站址的選擇	107
第十二章 施工說明書	109
1. 總則	109
2. 器材規範	109
3. 特殊器材的應有性能	109
4. 油飾	110
5. 做法說明	110
6. 施工管理	111
第十三章 工程預算	112
第十四章 低壓變電站的運行	114
1. 操作程序	114

2. 進行檢修工作應注意事項	115
3. 變壓器滿載電流表	115
4. 負載特性曲線的繪製	117
5. 負載的平衡	117
6. 電壓的調整	118
7. 繼電器的校準	118
8. 變壓器的維護	119
9. 管理人員守則	119
10. 備份器材	119

第一章 緒 論

1. 電力的應用——因為電能可以經過某種電具設備改變為機械能、化學能、熱能及光能，以供應人類日常生活的需要，由於社會的發展，人類的生活逐步提高，電力的應用亦隨而日趨繁廣。欲求供電無間，質量充足，則供電部門須在發電、輸電及配電等方面合理供應。用電方面則應該做到，設備適宜，使用合理，消除無原則的浪費。要想達到這一目的，就必須設法提高設備的效能，減少供電系統上可能避免的耗損。這個原則將成為今後用電設備上的重要問題。也就是說應該設法做到用電合理化。

2. 電力的供用系統——交流電力的供用系統可分成發電、輸電、配電及用電四個步驟，分述於下：

(1) 發電——利用機械設備，把天然能，如水力、風力等，轉變為電能者，謂之水力發電和風力發電。把火力轉變為電能者，謂之火力發電。

(2) 輸電——由於發電廠的廠址，一般須選在靠近水源及煤源的地方，而用電中心則大多數為都市及工業地區等。兩者的距離常常很遠，規模較大的發電廠，供電範圍往往包括許多城市及鄉村，它們彼此間的距離有遠達數百里者。發電廠及用電區的聯繫須賴輸電設備來完成。因為輸送同等電力所需的輸電設備費用，大約和所用導線的橫截面成正比例，而導線的截面則與其所帶載的電流成正比例，與輸電的電壓成反比例，故為達到輸電設備經濟起見，輸電必須用高電壓。一般由 33,000 伏至 110,000 伏，最高者目前為 220,000

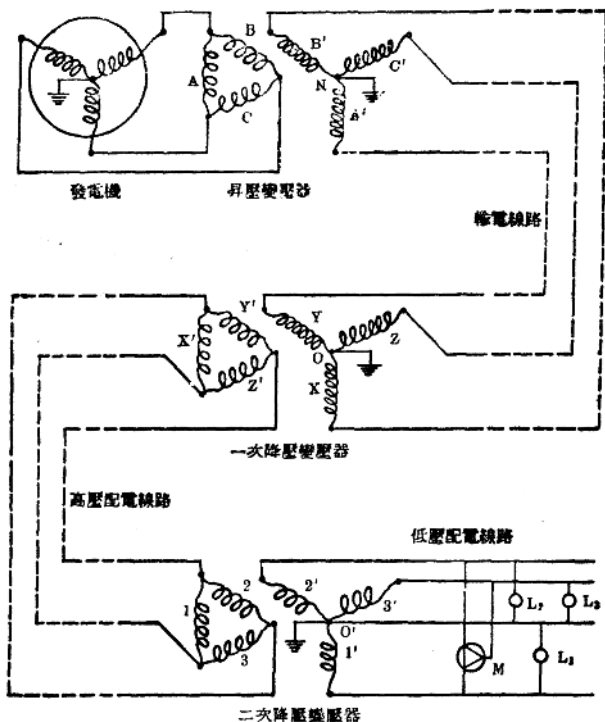
伏。超過上述定額的更高電壓，正在蘇聯建設中，不久當可問世。這種高電壓是經過設置在發電廠的升壓變壓器組來完成的，它把發電機所產生的電壓變成輸電需要的定額。這段全部高壓送電設備系統稱為“輸電”。

(3) 配電——上述高壓電送到用電地區後尚不能直接應用，須在適當地點設置降壓變電站，把電壓變成次一級的高壓，一般為2300、4000及6600伏，還有其他的定額，可向當地供電部門詢問之。是項降壓變電站由供電部門設置管理，並按市區的需要佈成供電網路，配送各區。在適中地點的電桿上裝設第二次降壓變壓器，把電壓變成220伏(單相電壓)及380伏(三相電壓)，然後供應附近地區用戶需要。這段供電設備系統稱為“配電”。

(4) 用電——裝設各種電具設備把電能轉變為機械能、化學能、熱能及光能，供一般工業需要及人生日常需要者稱為“用電”。

3. 電力供用系統聯繫圖解——由於交流三相電路是電力輸配系統中最經濟最適用的一種結構，為全世電氣事業界所公認，故除特殊需要者以外，一般供電系統，均採三相制。因為三相發電機和變壓器都有兩種連結方法；即星形(Y形)接法及三角形(Δ 形)接法，均應根據實際情況選訂之，並無硬件規定，茲就一般常見的聯繫方法，繪出一種典型圖解，如圖-1所示，供作參考。

4. 低壓變電站的應用——配電系統的分佈已如上述，但用電容量超過100仟瓦以上者，則因供電範圍較廣，線路過多，為增加設備的安全，適應管理的需要，故須有變電站的設置。變電站的房屋須儘可能用鋼筋混凝土等項堅固並具有防火性能的材料來建成。全部變電所需設備，均應適宜分佈裝配於是項房屋內。變電設備中，除必需的降壓用變壓器外，並應斟酌需要情況裝設必要的保安、指示及控制等



M = 三相電動機 L_1, L_2, L_3 = 照明用電燈

圖—1. 電力供用系統聯繫圖

項附屬設備，以求達到安全與適用的目的。本書探討的範圍，主要是如何進行這一類變電站全部設備的有關計算及其裝配設計。對於各部分設備的構造原理及運用性能等均有簡要的說明，至於運行管理方面應行注意的事項亦附有必要的說明。由於大規模的經濟建設正在展開，用電容量超過 100 仟瓦以上的民用建築和工業建築即將大量出現於全國各各地區，故低壓變電站的應用亦將隨而日趨繁廣。

第二章 變電設備容量的計算

設計一個變電站，第一步需要決定的就是容量應該是多少的問題，這個決定直接影響整個設備的經濟及適用條件。如果容量定的太小，則有供電不足之虞，如果定的太大，則將造成設備上的浪費，增加了電力的耗損，故須特別審慎。茲將計算方面有關因素及決定方法分述於下：

1. 電氣負載的種類——將電能轉變為其他能量以供各種需要的用電設備，統稱發電機的負載，以下簡稱“負載”。交流電路上常見的負載，按其性質約可分為下列三大類：

(1) 電燈——用作照明的電具設備統稱“電燈”，它的用途最廣，是日常生活所必須的一種電氣設備。依其構造及性能分析之，約可分為下列三種：

甲、鎢絲燈——是最普通而應用亦最廣的電燈，其主要構成元件包括金屬插頭，鎢製燈絲及玻璃燈泡三部分，電流通過燈絲使之熱到白熾而發光，是項燈泡稱為“鎢絲燈泡”，有定壓及定流兩種。前者的電壓通常為 110 伏及 220 伏，我國標準為 220 伏，若干燈並聯運用於單相電路的兩線之間，其容量大小以瓦計，常用者為 15, 20, 40, 60, 100 瓦等，特殊者可製成 500 瓦及 1000 瓦，後者的電流分為 4.0, 5.5, 6.6 及 7.5 安數種，而以 6.6 安為最普通，若干燈串聯於單相電路上，其大小以發光的流明數計算，分為 400, 600, 800, 1000, 2000, 4000, 6000 流明等，最高者亦有 10,000 及 15,000 流明者，須用 15 或 20 安之較高電流。是項負載的電力率(或稱功率因數)為 100%。

乙、霓虹燈——是廣告用的一種照明設備，其構造形式根據需要製成之，係以細長玻璃管內裝氬氣，兩端裝金屬電極，接以高壓電源，使電流通過氣體而發光，電壓高低依玻璃管長短而定，普通管長約為 1 至 6 公尺，管之直徑約為 10 至 20 公厘，每公尺所需電壓約在 800—1600 伏，是項高電壓係由一隻特殊設計的自耦變壓器來變成，一次電壓為 110 或 220 伏，二次電壓為所需定額。下面是一個某種霓虹燈的實際情形。

燈管長度	18 公尺
燈管直徑	15 公厘
電流	0.025 安
燈端電壓	15,000 伏
電力率	40—60%
每瓦發出光通量	24 流明
壽命	約 10,000—15,000 小時

丙、日光燈亦稱螢光燈——它的簡要構造是一隻玻璃燈管，裏面充有氬氣和少許的汞。管的兩端有兩個金屬絲極，絲上面塗有鋇或鈹的化合物，這兩個絲極交替作為陽極和陰極。燈管內的汞汽化後，發生電弧，就發出輻射波，其中大部分是紫外波，一部分是光波。燈管的內面塗有螢光質，紫外波射到螢光質後，一部分又變成光波，所以這種燈的發光效率，比鎢絲燈約大 2 倍。例如：100 瓦鎢絲燈所發的光波能量僅為總功率的 10% 弱，而螢光燈所發的光波能量則將近總功率的 20%，並可發出和太陽光一樣的顏色，因此日光燈的應用日廣。由於啓弧及限流的需要，日光燈均附有串聯的電感性“鎮流線卷”，故其電力率很低，可由一隻容電器與鎮流線卷及燈體相並聯以提高之。若干燈並聯運用於同一線路者，亦可共用一隻大小適宜的



容電器。下面舉一個通常的例子說明日光燈的大概情形。

瓦數	40 瓦
燈管長度	1.2 公尺
燈管直徑	40 公厘
電流	0.41 安
管端電壓	108 伏
線路電壓	110—220 伏
電力率(無容電氣裝置)	45—50%
電力率(有容電氣裝置)	90—95%
壽命	2500 時

表內功率瓦數未包括附件內所需的電功率，一般約為 5—15 瓦，隨燈管的瓦數和線路電壓而定。

關於各種電燈的詳細構造及其特性，可參閱電照學，本書不予贅述。

(2) 電熱——將電能轉變為熱能的電具設備統稱“電熱器”，其發熱元件由鎳、鉻、銅、鐵與錳的合金製成，能耐高溫，一般常用電熱電具列如下表：

電具名稱	容量(瓦)
電熨斗	300, 500, 850
電爐	500, 1000, 2000, 3000
電灶	600, 3000, 4000, 5000
醫療用 X 光機	5000, 10000
醫療及映照用電弧燈	300—10000

各種電熱負載的電力率均為 100%，與鎢絲電燈同。一般容量較小者均在屋內適宜地方或壁面上裝設插肖座（習慣稱為電熱插

座)，於使用時將電具臨時插接於電路上，容量較大者則專設控制裝置。特殊電熱器如工業用電焊機等，其電力率有低至 70% 者，一般應用並聯容電器以提高之。

(3) 電力——將電能轉變為機械能的用電設備稱為“電力負載”，名為電動機，俗稱馬達，應用很廣，在低壓交流電路上應用者為單相及三相兩種；前者的容量一般由 $\frac{1}{2}$ 仟瓦至 3 仟瓦，電壓為 220 伏；後者的容量由 1 仟瓦至數十及數百仟瓦，電壓為 380 伏。依構造理論的不同，三相馬達大致又可分為感應式及同步式兩大類。感應電動機的構造比較簡單，故應用最廣，因其構造形式略有不同，又可分為鼠籠式及滑圈式兩種。100 仟瓦以上或特種需要的地方採用同步電動機的也很多。

感應電動機的電力率，一般在半載時由 50%—70%，滿載時由 80% 至 90%。而同步電動機的電力率，在勵磁電流調節適當的情況下可達 100%，為其主要優點。

因為電動機的開動電流一般都很高，感應電動機通常可達滿載電流的 5 至 6 倍，同步電動機約為滿載電流的 4 至 5 倍。這樣就會影響同一電路上其他用電設備的正常運用，故一般規定，10 仟瓦以上的電動機必須附設開動器，限制開動電流於滿載值的 2 倍（50 仟瓦以上的電動機）至 3 倍（50 仟瓦以下的電動機）之間。

尚有一點須加注意，就是電動機的功率定額，過去的一般習慣多以其功率輸出為標準，通常以馬力表示之，如 10 馬力、20 馬力等。這是機械功率的計算標準，可是在配電系統的容量計算上所需要的，却是電動機的功率輸入定額，一般用仟瓦或瓦數來表示。這種換算關係可由下式表明之。

$$\text{電動機的輸入功率仟瓦數} = \frac{\text{電動機輸出功率馬力數}}{\text{電動機的滿載效率}} \times \frac{3}{4}$$

今舉例說明如下：

設一電動機的輸出功率 = 10 馬力

滿載效率 = 90%

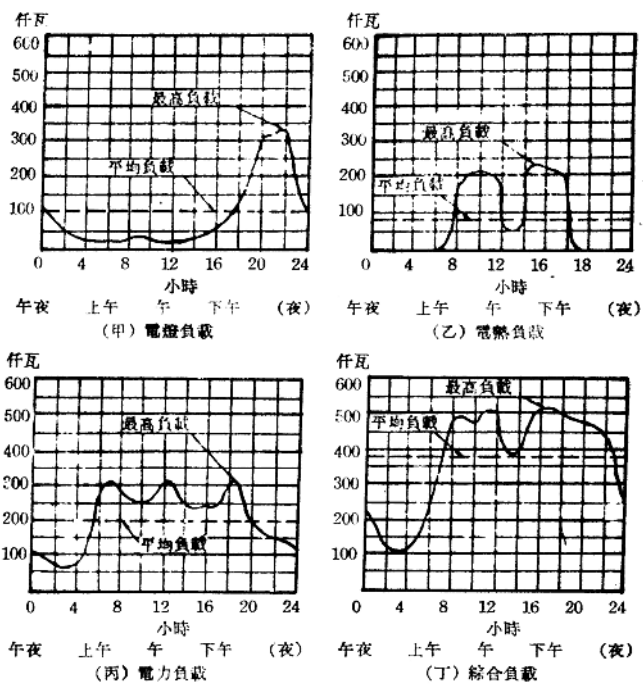
則此電動機的輸入功率 = $\frac{10}{0.9} \times \frac{3}{4} = 8.33$ 仟瓦

2. 負載的特性——負載的種類已如上節所述，但因各種用電設備的使用情況，很少恆定不變者，一般均隨時間而變動，高低不定。其最高用電需要，謂之“最高需用”，通常以仟瓦為單位。如以日計，則為“每日最高需用”，對變電設備而言，則為“每日最高負載”。茲將各種負載的變化特性及其他有關特性分述於下。

(1) 負載特性曲線——負載的變化情形可以曲線表示之如圖一2所示，以負載的仟瓦數為縱座標，時間為橫座標，依照各時間的負載大小繪成曲線，謂之“負載曲線”，應用這種曲線可使用電情形一目了然。

一個計劃建設的變電站，尚未開始運用以前，它所供應的負載的特性曲線，尚無法根據實際情形來繪出，在這種情況下，我們可以製訂一條估計的曲線。製訂這種估計曲線所需要的一切資料，可向用電方面有關人員研究探討，根據他們提供的未來使用情況擬訂之。這種估計的曲線，雖然不能和實際情況完全吻合，但是用作設計的依據是完全可行的。由於季節的不同，用電時間也略有差異，這一點也須要一併加以考慮。

(2) 需用率——凡用電單位屋內外所裝接之一切用電設備，不論電燈、電爐或電動機等，其定額容量之總瓦數，謂之“設備容量”，此種裝接設備，甚少全部同時使用者，故一般需用，均小於其設備容量。需用的最高額，謂之“最高需用”，以最高需用與設備容量相除所得之



圖一2. 負載特性曲線

商的百分數，謂之“需用率”，即

$$\text{需用率} = \frac{\text{最高需用}}{\text{設備容量}} \times 100\%$$

故如某用電單位的全部設備容量及其需用率均為已知數。則最高需用即可算出，而變電設備的容量，即可參照是項最高需用進行擬訂之。

(3) 負載率——在一定時間內，其平均負載與最高負載相除所得之商的百分數，謂之“負載率”，即

$$\text{負載率} = \frac{\text{平均負載}}{\text{最高負載}} \times 100\%$$

$$\text{平均負載} = \frac{\text{用電度數(仟瓦一小時)}}{\text{時間(小時)}}$$

上列各數字均指同一規定時間而言，通常如以一晝夜計算，則時間為 24 小時，而計算所得之負載率即為一晝夜的負載率。由圖一 2 所示負載特性曲線可以看出：在這個示例的情況中，電燈負載的負載率最低，電熱較高，電力更高，而以綜合負載的負載率為最高。

(4) 參差率——各種負載的用電情形不同，其最高需用量高低不一，而其時間又不相同，往往前後參差，故變電設備所供給若干負載的最高需用，不必等於各種負載最高需用之總和數，而應以綜合負載的最高需用數為標準，即

$$\text{參差率} = \frac{\text{各種負載最高需用的總和}}{\text{綜合負載的最高需用}}$$

例如圖一 2 (丁) 中所示，各種負載最高需用的總和為 920 仟瓦，而綜合負載的最高需用僅為 500 仟瓦，故參差率 = 1.84，由此可見負載參差率愈高，變電設備容量愈小，而設備費用亦愈經濟。

(5) 損失率——任何負載，在一定時間內(如一日或一月)，其平均損失與其最高負載時的損失相除所得之商的百分數，謂之“損失率”，即

$$\text{損失率} = \frac{\text{每小時平均損失}}{\text{最高負載時每小時的損失}} \times 100\%$$

$$\text{每小時平均損失} = \frac{\text{損失總數(仟瓦一小時)}}{\text{時間}}$$

損失就是電力的損耗，變壓器的損失，包括銅損及鐵損兩種，前者隨負載增減而增減，後者則為定數，與負載大小無關。故欲得到最小的損失率，就必須設法消除變壓器的無載運行，減少半載運行，使