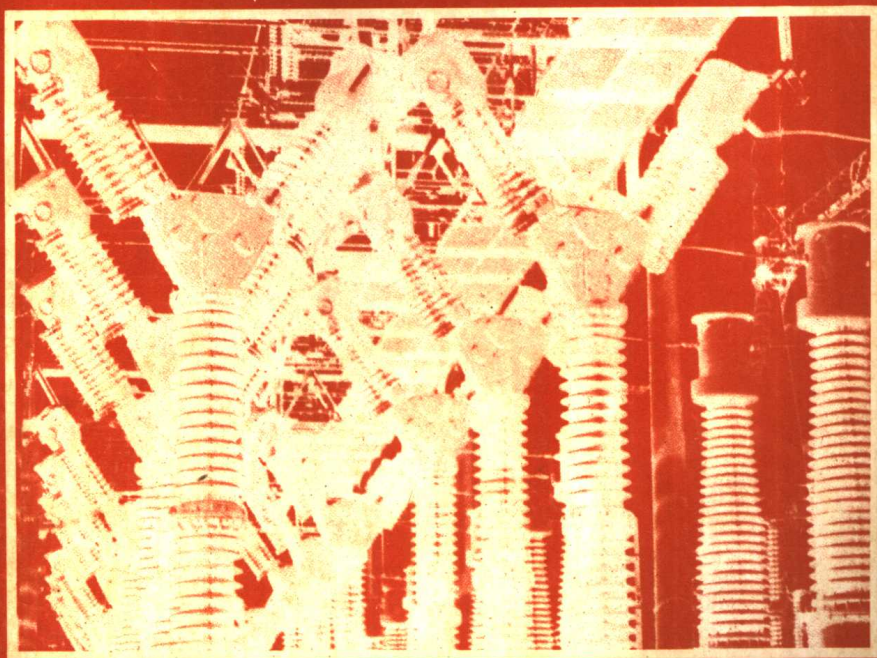


輸配電學

(上册：輸電學)



目 錄

序 言

第一章 輸配電簡介

- 第一節 電力系統…………… 1
- 第二節 電力輸送的方式…………… 6
- 第三節 輸電系統…………… 13
- 第四節 配電系統…………… 20

第二章 導線的性質、種類及其電阻

- 第一節 概論…………… 22
- 第二節 導體之電流容量的因素…………… 23
- 第三節 導線材料及性質…………… 24
- 第四節 導線的種類…………… 26
- 第五節 線規及線號…………… 30
- 第六節 線路常數…………… 35
- 第七節 導線的電阻…………… 37
- 第八節 集膚效應…………… 40

第三章 輸電線的電感

- 第一節 概論…………… 45
- 第二節 單圓直導線的電感…………… 46
- 第三節 單相雙線路的電感…………… 49

- 第四節 單相線迴路電感的一般公式…………… 52
- 第五節 三相之線式線路之電感…………… 59
- 第六節 三相雙路式線路的電感…………… 62

第四章 輸電線的電容

- 第一節 概論…………… 67
- 第二節 單相雙線路的電容…………… 68
- 第三節 三相線路的電容…………… 72
- 第四節 三相雙路式線路的電容…………… 78
- 第五節 大地對輸電線路電容的效應…………… 81
- 第六節 地線對輸電線路電容的效應…………… 85

第五章 輸電線路上電流與電壓的關係

- 第一節 四端網路…………… 87
- 第二節 通用線路常數之間的關係…………… 89
- 第三節 簡單網路的通用線路常數…………… 91

第四節	短程輸電線路	92
第五節	中程輸電線路	92
第六節	長程輸電線路	96
第七節	等值電路	103
第八節	通用線路常數之測定	105
第九節	綜合網路的通用線路常數	114

第六章 電壓調整及功率因數的改善

第一節	電壓調整	124
第二節	電壓的圓線圖	126
第三節	電壓調整率的圓線圖	127
第四節	無效功率的圓線圖	129
第五節	電壓調整用調相機的容量	130
第六節	改善功率因數用調相機的容量	132
第七節	輸電效率	133

第七章 功率圓線圖

第一節	受電端之功率圓線圖	138
第二節	送電端功率圓線圖	141
第三節	送、受電端之聯合功率圓圖	143
第四節	電力損失圓線圖	143
第五節	通用功率圓圖	144
第六節	功率與轉矩角	147

第八章 網路簡化

第一節	電力系統的單線圖	154
第二節	阻抗與電抗圖	155
第三節	阻抗之化簡	157
第四節	共同電壓基準法	159
第五節	百分率法及標么法	160
第六節	電力系統演算	165

第九章 對稱分量與序阻抗

第一節	對稱分量	175
第二節	序阻抗	177
第三節	同步機之序阻抗	178
第四節	輸電線路的序阻抗	180
第五節	變壓器的序阻抗	180
第六節	負載與三相變壓器的零序迴路	181
第七節	序網路	185

第十章 故障電流之計算

第一節	概論	196
第二節	平衡三相系統的故障計算	201
第三節	三相短路故障	213
第四節	單線觸地故障	214
第五節	兩線相碰的故障	216
第六節	雙線觸地的故障	217
第七節	接地故障中和器	224
第八節	互聯序網路以表故障	226
第九節	經阻抗的故障	235
第十節	開路故障	239

第十一章 絕緣設計及絕緣器

- 第一節 設計概論…………… 246
- 第二節 磚子連之絕緣間隙… 246
- 第三節 不平衡之絕緣………… 248
- 第四節 磚子絕緣之係數………… 249
- 第五節 絕緣設計之實例………… 252
- 第六節 懸式絕緣器串接個數
的決定…………… 255
- 第七節 遮蔽環與弧角………… 261
- 第八節 絕緣器的性質………… 261
- 第九節 絕緣器的種類………… 265
- 第十節 絕緣器的電壓分布… 266
- 第十一節 絕緣器的檢查………… 272
- 第十二節 絕緣器劣化的原因
…………… 274
- 第十三節 絕緣器的試驗………… 275

第十二章 電暈及異常電壓

- 第一節 電暈的形成…………… 277
- 第二節 電暈的經驗公式………… 279
- 第三節 電暈的影響…………… 284
- 第四節 雷電的性質…………… 287
- 第五節 異常電壓產生的原因
…………… 288

第十三章 異常電壓的防護設備

- 第一節 異常電壓之防護………… 300
- 第二節 架空接地線…………… 301
- 第三節 抗流線圈…………… 302
- 第四節 突波吸收器…………… 303
- 第五節 避雷器…………… 303
- 第六節 多尖點避雷裝置………… 311
- 第七節 保護管…………… 2

第十四章 電力系

- 第一節 穩定性的重要…
- 第二節 無限母線和同步機
間的功率傳輸…………… 315
- 第三節 定態穩定度…………… 317
- 第四節 暫態穩定度…………… 320
- 第五節 擺動方程式…………… 320
- 第六節 等面積測定律…………… 322
- 第七節 暫態失步之原因………… 326
- 第八節 系統故障與臨界清除
角…………… 326
- 第九節 暫態穩定度之改善… 332

附 錄…………… 335

第一章 輸配電簡介

第一節 電力系統

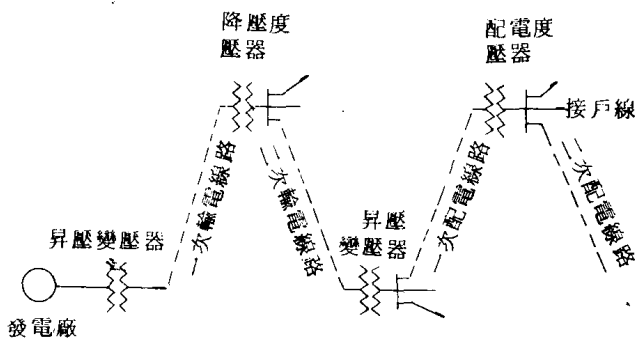
1.1 系統的認識

早期電力為直流電，於 1885 年美國斯坦萊 (William Stanley) 先生完成第一個交流配電系統，供電 150 盞電燈。第一條交流輸電線路美國於 1890 年完成，將 12 哩外的水力發電的電力，輸送到奧力岡的波特蘭城 (Portland, Oregon)。且第一條輸電線為單相供給電燈之用電，至 1894 年美國完成了三相交流發電廠，而現在幾乎全部為三相輸電。

全世界發電的容量，每年大致增加率約在 7%，亦即每 10 年增加一倍，尤以火力發電量現在約佔 75%，且此比例似一年一年的增加中。電力大量由發電廠輸送至負載中心，原則上電源最好靠近負載，並分佈在整個供電區域，但受水資源及火力發電廠的廠址所限制，而有賴輸電線的輸送。

電力系統之電源須充足，不但能滿足用戶電力之需求，且能獲致優良之供電品質。由於電力系統係若干發電廠，變電所經輸配電線路聯絡所構成，其運轉為一整體。因此，電力需藉發電廠的發電，輸電線路的傳輸，變電所的電壓轉換，與配電線路的供應，始能送達用戶，如上述任何結構遭受天然災害或設備劣化，而發生異常狀態時，必將招致局部區域電力的不足，甚至限制全系統的用電。

為維持系統電力供求，系統之頻率須正常



，與電壓要穩定，及電源不致隨頻率與電壓之變動而減少出力，避免造成電力不足之惡性循環的現象。電力輸配系統並無一定之連結方式，而使電壓變換成爲一標準，則完全視用電情形來決定。茲將電力輸配系統之結構如圖示。

1.2 電力系統之演變

1.2.1 單獨分立系統 近五十年初期，用電限於人煙稠密之都市，多於附近興建發電所直接供電，供電範圍由輸電線短而狹窄，負載單獨之技術運用簡易，當時常用之輸電電壓多爲 11 KV 至 66 KV 之間。

1.2.2 互聯系統 1920 年至 1950 年間，各電力系統日漸擴大，各系統範圍乃漸次廣濶，各系統輸電線路之距離接近，爲增加相互間之通融電力，而互聯送電。

系統之裝置容量與高壓輸電線路均須增大，並以互聯環路方式送電，可避免各電力系統不急需之投資及減低各互聯單位之發電成本，其效益爲：

1. 改善系統負載分散率。
2. 減少系統備用運轉容量。
3. 減低發電成本。
4. 水火力可作協調運轉。
5. 機組維護計劃易於安排。
6. 可靠電力得以儘量利用。

互聯系統雖有上述優點，然系統互聯後，電源阻抗減少，短路電流增加，保護設備的啓斷容量增加，而使價格增高，又系統的供電區域增加，區域內發生故障時，有時會擾亂整個電力系統。

1.2.3 自動化系統 大型電力系統互聯送電，使系統更形龐大，系統運用的目的在經濟與可靠；各發電所總出力與各機組出力之分配，系統電壓與週波之控制，維持可靠之供電等。各項技術問題非人力所能完滿操縱，於是運用自動化之系統。

1.3 電源運用

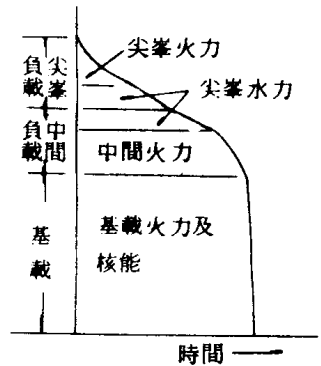
供電之可靠須規定系統的可靠電力，作爲電能供應之準繩。爲求系統尖峰負載之供應，在考慮機組之維護，後備運轉容量的條件，而決定可靠尖峰供電之能力。由於用電使系統峰谷曲線間的尖峰與離峰陡峭，而使電力調度困擾。

1.3.1 火力系統 各工業先進國，多採用中間尖峰專火力機組，其運轉

可分常用，補給及後備三類：

1. 常用基載經年運轉之機組。
2. 補給枯水或重負荷之機組。
3. 後備電源故障電力不足之機組。

以負載變化狀況分為基載，中間負載及尖峯負載，如負荷持續曲線所示。



一般應付負載變化，運用大容量高效率火力機組為基載，配以水力或舊機作尖峯運轉；由於大容量火力及核能機組之固定經費高，若降低負荷運轉而不經濟。中間負荷火力機組，通常其利用率較低之機組，或中容量之機組，且在設計上具有特殊之特性；因啟動停機頻繁，須注意溫度變化之熱應力，及因起動停機之損失。尖峯負荷火力機組以較舊者，老機組的容量小，效率低，運轉費高，但可節省建設費，再尖峯專用火力機組，採取較低壓低溫蒸汽，並簡化循環及機件之設計，因建設費低廉，故可抵償低效率之燃料費的增加。

1.3.2 水力系統 電力出力視流量而定，運用較複雜，一般而論在電能方面選擇一枯水年流量定水庫運用曲線，應使水量充分，供應尖峯負載儘量利用調整池式，揚水式及水庫式電廠，相互協助擔負。且水庫式兼作防洪灌溉之用。

1.3.3 機組之投資與發電成本，及電力結構。

⊖投資與發電成本：

⊖電源結構：

①水力發電：

Ⓐ自流式。

Ⓑ調整池式。

Ⓒ貯水池式(包括抽蓄水力)

②熱力發電：

Ⓐ尖峯火力：Ⓐ氣渦輪機組

Ⓑ尖峯汽力

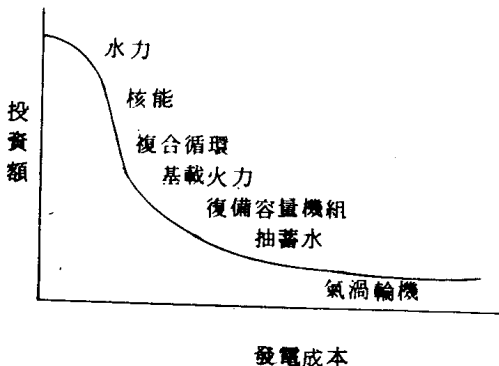
Ⓑ中間火力——汽力

Ⓒ基載汽力：Ⓐ核能機組

Ⓑ亞臨界壓力火力

Ⓒ超臨界壓力火力

Ⓓ地熱



臺灣的水力資源開發有限，目前大量擴充大容量核能機組，以負擔日後之基載，同時也擴充水力及籌建抽蓄水力作為尖峯電源，而以專用火力機組用以中間及尖峯運轉，務使電力調度與發電結構可靠，且有效運用。

1.3.4 供電之能源 能源不外水力，化石燃料，核燃料及利用太陽能，風力，潮力，地熱等之能源。水力能源具有經濟價值多已開發殆盡，尚待開發之水力資源大都遠離人口集中地區，而輸電費用高昂，故不能減輕能源長期性之不足，且估計水力發電將僅本世紀末所需總能量尚不到百分之五。其他能源由於投資成本過於昂貴，如太陽能適合大量發電之廠址難覓，及潮力與地熱在總能量的需求上微不足道，因此將來不足能量僅靠化石燃料及核料。

世界上主要化石能源，以固體燃料煤炭，及液體燃料石油與天然氣，但煤炭開採深受地域及技術限制，增產率難望與石油天然氣般迅速。2000年代，由於世界經濟的急速發展，以及技術革新，能源的需要日增，能源消費的型態將以煤炭轉為石油與天然氣為主。據估計石油可經濟開採，僅能維持三十年的需要，同時由於世界石油供給來源中，東半球國家佔85%以上，而中東，近東等地，各國政治的不安，直接影響世界石油之供給甚大。又因各國為防止空氣污染，對含低硫量之燃料需要增加，使低硫石油的需要有供不應求之勢。天然氣能源在本世紀之內仍佔重要地位，且日漸加倍開採，但在下一世紀即將匱乏。

能源的缺乏各國對新能源的開發不遺餘力，核能發電由於開發價值甚高，同時更因運轉中的核能電廠安全可靠，故在此短短十餘年中，核能發電突飛猛進，使核能在能量供需擔任一重要的角色。

核能發電成本將達低於燃油火力，且遠較燃油火力為安定，且核能發電的過程中沒有化學上的燃燒作用，因而不發生空氣污染的問題。在可預見的將來，核能發電仍為慣常火力的唯一交替能源；因就資源基礎，技術進展與經濟競爭性而言，至今日已有的智識範圍內，還找不到對慣常火力更佳交替能源。

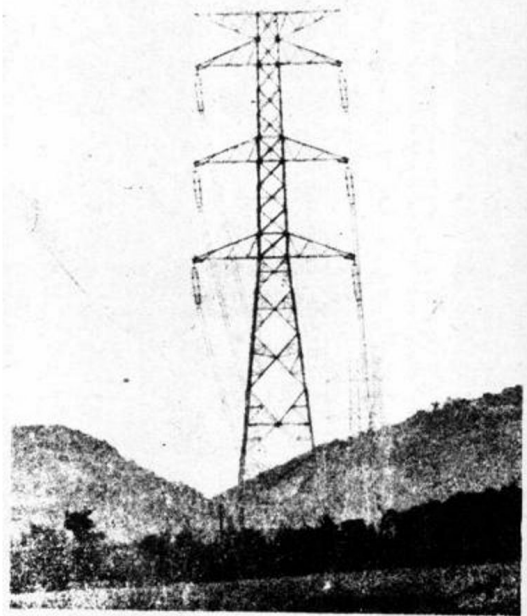
1.3.5 系統之運用 電力系統正常穩定狀態下，電廠適當地點輸出最經濟的電力，配送至負載需要，且輸電線之電壓與頻率變化維持於容許之範圍內。因負載時常的變動，而極為複雜。

欲求合理解答有賴於系統之負載研究。負載研究係在一電力系統之各點，按現存或未來發展計劃於正常運用之狀態時，而作之電壓，電流，電力，功率因數或無效電力等之統計。因發展計劃應先知與他系統交聯之後果，新供之負載，新建之電廠及輸電線之效益等，方可使系統能完善的運用。

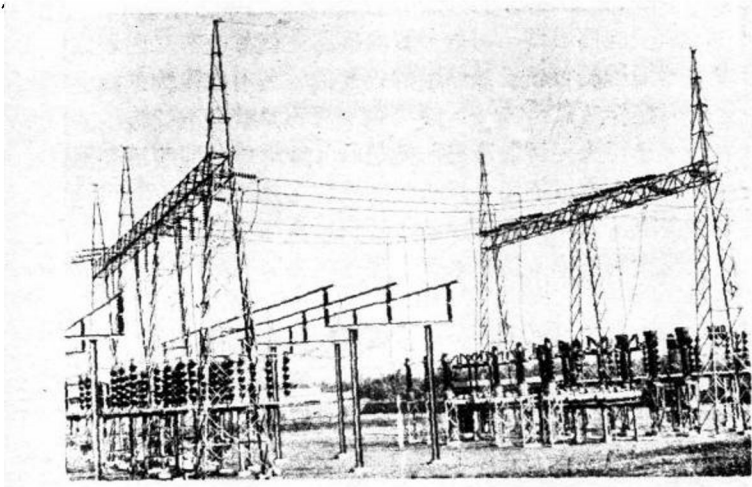
負載研究以交流線路計算盤，計算盤係系統之單相縮型，可將電源與電路之元件聯成一線路模型，而代替實際網路。例如改善功因與電壓的調整率，須將電容器並聯於負載或線路中的適當處；若有一電力系統之某點之電壓過低，以計算盤作負載研究後，即可決定電容器最經濟之大小，和其最適當之安置地點，亦可決定新設電廠，變電所，輸電線及同步電容器等裝設之最經濟容量與地點，所以不僅可以決定某系統之擴展計劃，且可決定現有系統之最佳運用步驟。負載變動須調度何時何地發電可供應負載，方為最經濟且可得最佳之電壓調整率，及某系統因事故失去若干電廠或輸電線之後，亦可得最佳使用方案。

系統發生故障時之保護，選定斷路器須就對稱與非對稱的故障，及對短路電流與電壓之分布作一精密之研究始可決定。同時斷路器之斷弧容量與限流電抗器之額量，亦可隨之而定。簡單系統之故障電流計算可用解析法，複雜系統須用計算盤，設解答不需過於精確。則系統可視為由純電感抗，或由相位略同之阻抗所組成，以電阻代替電感抗，而應用價廉之直流計算盤。用對稱部份分析法，使非對稱故障之計算，如三相故障一般之簡易。所以故障計算無論採取解析法，抑用計算盤，但對稱部份法仍最為實用。

兩電廠以上聯接成的電力系統，其電力有一極限，若系統突然故障，發電機之轉部將生機電振盪，電力若超過限度或振盪過度，均可使電廠間失去同步，系統之運用遂於停頓，因而引起系統穩定度之問題，穩定度改善之方法，必須求得定態和暫態下穩定運用之極限。以二機系統作穩定度之研究較多機系統簡單，且若干改善穩定度之方法得以求得，利用系統線路計算盤，可簡易得



四塔體輸電線路 (345KV)



變電所 (161 KV)

一複雜系統之穩定極限，並可衡量以何法改善穩定度為最佳。

絕緣程度須以過壓之情況決定，不可以正常電壓為準。如接地故障之長線，或使用過而無載之長線，均可產生60HZ之過壓。無阻尼繞之凸極同步機所供電的長輸電線，在不平衡短路時。可產生諧波過壓。系統受雷擊，或行開關採作時，可生暫態過壓。115KV以上之高壓輸電線，其故障多因雷擊後，發生絕緣器之閃絡。線路設計絕緣程度皆須與過壓作適當的配合，而線路可藉架空地線，消弧管等裝置，尚須顧及發電機與變壓器中性點接地的方法。

電力系統由輸電線與配電線所組成，研究系統問題，應就各別之線路為基礎；應付短時斷電之緊急步驟，後備容量之決定，未來擴展之許可範圍，不影響系統運用原則下設備修護之伸縮性等。

第二節 電力輸送的方式

2.1 概 論

電力從遠方輸送須經濟且效率高，以交流電輸送優於直流電，而直流電僅在適合人口較密集之區域。直流電路無電感及電容之作用，及電纜中并無渦流損失，甚至於更適合電化工業，電車，及機械迴轉的速度之調整，且在

同有效電壓情形，直流電之線路損失也較小，及設備的絕緣低（交流之最大值為有效值之 $\sqrt{2}$ 倍）等優點，但因其電壓不能隨意昇降，而以較低電壓傳輸電能，使線路損失增多，而太不合算，故交流電適於長距離的電力輸送。

交流以三相輸電方式，用三條電線而與三個單相的電路有相同之功效為三相三線式。設單相與三相送電方式的電壓 E ，功率因數 $\cos\theta$ ，輸送功率 P ，與距離均相同，而比較其優劣點為：

2.1.1 電線之粗細相同

$$\text{單相 } I = \frac{P}{E \cos\theta}, \quad \text{損失} = \left(\frac{P}{E \cos\theta}\right)^2 2\gamma$$

$$\text{三相 } I = \frac{P}{\sqrt{3} E \cos\theta}, \quad \text{損失} = \frac{P^2 \gamma}{E^2 \cos^2\theta}$$

此時單相式之電力損失為三相式之2倍，三相式所用電線之重量則為單相之1.5倍。

2.1.2 電線之總重量若相同，單相電路每條電線之電阻為 γ ，則三相電路每條之電阻為 $\frac{3\gamma}{2}$ 。

$$\text{單相損失} = \left(\frac{P}{E \cos\theta}\right)^2 2\gamma$$

$$\text{三相損失} = \left(\frac{P}{\sqrt{3} \cos\theta}\right)^2 \left(\frac{3}{2} \times 3\gamma\right) = \frac{3}{4} \left(\frac{P}{E \cos\theta}\right)^2 2\gamma$$

此時三相三線式之電力損失為單相二線式之 $\frac{3}{4}$ 倍。

2.1.3 線路之電力損失若相同，設單相每條線之電阻為 γ_1 ，三相每條之電阻為 γ_3 。

$$\left(\frac{P}{E \cos\theta}\right)^2 2\gamma_1 = \left(\frac{P}{\sqrt{3} E \cos\theta}\right)^2 3\gamma_3, \quad \therefore \frac{\gamma_3}{\gamma_1} = 2$$

此時三相三線式所用電線之總重量，只為單相二線式之半，因此三相式的電線之總重量，只為單相式之 $\frac{3}{4}$ 倍。

輸送一定電力於一定距離，若僅以導線之歐姆損失而言，其電壓若提高10倍，則電流為 $\frac{1}{10}$ ，線路損失變成 $\frac{1}{100} I^2 R \ell$ 瓦，故線路損失減少為原來之 $\frac{1}{100}$ 。設其截面積較原導線小10倍。則損失減為原損失之 $\frac{1}{10}$ ，故線路電

壓愈高，線路之損失愈小，惟電壓升高也會遭致下述的結果：

1. 絕緣設備之費用增加。
2. 線間距離加大，因而支持物亦需增加高度和寬度。
3. 防止電暈損失，須用較粗之導線。
4. 變壓器及油斷路等設備費用亦增加。

輸電額量，距離，及功率損失若不變，輸電線之重量與電壓之平方成反比，即電線費用與輸電電壓之平方成反比，如圖示之最低點為經濟而合宜之輸電電壓值，所以電壓選擇以經濟為考慮之首要的因素。

輸電電壓與距離及輸送額量有關，依據 Still 氏經濟公式為：

$$\text{輸電電壓 (KV)} = 7 \sqrt{\frac{\text{輸電距離 (KM)}}{\text{輸送功率 (KW)}} + \frac{\text{輸送功率 (KW)}}{500}}$$

上式為輸電距離在 30 KM 以上的近似估計值，而此值應合 IEC 所規定之標稱電壓值，而將電壓提高或降低。例如輸電距離為 100 KM，電力為

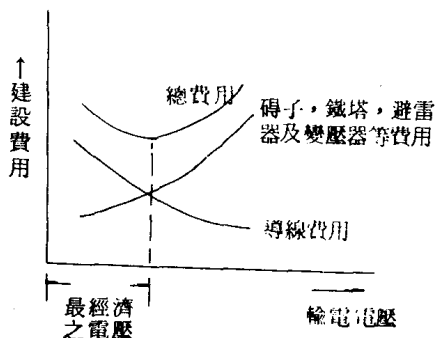
15,000 KW 時，由上式得輸電電壓為 80 KV。但為求機械，絕緣物，及鐵塔等器材標準化，應統一規定標準之電壓。國際電工技術委員會 (International Electrotechnical Commission) 簡稱 IEC 規定之標稱電壓值 (KV) 為：

10, 20, 30, 60, 70, 100, 140, 200, 250, 300.

標準電壓乃指滿載時，在受電端之線

間電壓，因輸電線之電壓降不得超過 10%，故實際輸電電壓應比上值須增加 10-15%，故通常所稱之輸電電壓，係指送電端之線間電壓。例運轉電壓 500 KV，欲維持此 500 KV 之最高電壓，須設調整電壓幅度 ± 5% 之設備。在輻射狀輸電線。送電端電壓不至於超過 525 KV，這為運轉電壓之最高值，而作為機器絕緣設計的依據。

輸電系統擴充達某一種程度後，對於電壓降及穩定度之要求，均應考慮提高電壓，或再建更高電壓與現輸電電壓系統相重疊，以增加輸電能力。電壓的選擇一般先採用 1:2 即升高二倍，然後再將中間一級廢棄。且須顧及互聯運轉，當不同電壓基準需要耦合變壓器時，則增加電力轉換之限制。茲

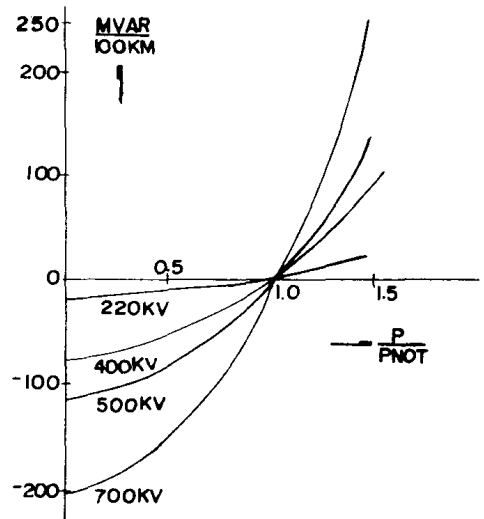


將輸電電壓選定須考慮的因素為：

1. 輸送距離。
2. 負載容量。
3. 將來可能發展之情況。
4. 與其他系統之連繫。
5. 經濟問題。

2.2 負載流量之研究

高壓線路需要供應或消耗大量的無效電力，其電容量視系統特性而定。圖示：在一定電壓時每100公里的線路之無效功率與負載量之關係。當無載或輕載時電容量最大，因電壓升高之故，為抵消電容或



所謂供給電容量，係靠發電機以低激磁及並聯電抗器補償。在供求觀點，運用高壓線路的電容，以抵消或補充系統之無效電力為最低的投資，但在輸電線路跳脫時將感供應不足，導致系統電壓太低而以電容來補償系統之無效電力。在地下電纜衆多之系統（不問高中低壓）將電感容量供應過多，因此對無效電力之供應，在複雜的電力系統中，多數以並聯電抗器補償。若負載大過自然負載時，無效電力之需求隨負載之增加而急劇上升，此時系統以電容量來補償。

2.2.1 線路補償，輸電線路補償，可增加傳輸功率之能力或可將一定功率輸送至更長之距離，其補償準則：

1. 補償設備應使系統之電壓，不至超過公稱電壓值之 5%。
2. 線路兩端電壓之相角差，應不超過 30°（包括自耦變壓器）。
3. 在線路充電情況之輕載或無載，開路電壓應不超過公稱電壓之 10%。

2.2.2 並聯電抗器，電抗器之額定容量係以系統輕負載情況而定，如所需電抗器超過，則應用供加壓該線路的同步機以穩定之。初期系統負載，線路充電容量過多，必須以電抗器來補償，通常以電抗器的 40% 直接接於線路上。而為電壓控制的 60% 電抗器接於變壓器之次側，並用開關控制。如負載加大接近自然負載，需大部份或全部切離，此時線路所需之無效感抗電力，全由線電容所補償。無效電力供應與電壓控制有密切的關係，茲將電抗器

並聯的優點為：

1. 高壓架空線路，或地下電纜，或輕載之充電電流，而限制其電壓值。
2. 輕負載時而改善系統的穩定度。
3. 長距離輸電線路，不論是否用串聯補償，而限制沿線路各點之電壓值。

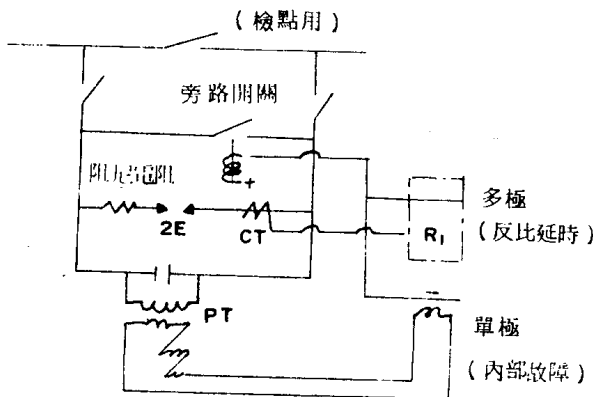
2.2.3 串聯電容器，輸電線路限制負載能力的主要因數為感抗，在線路適當地點，裝設串聯電容器可減少感抗，表示感抗減少之程度以補償分數 (Percent Compensation)，如將有效電感抗之歐姆數降為零，即為 100% 補償。

100% 補償並不經濟，一般約在 35% - 70% 之間，依電壓而定，電壓低者補償分數亦低。串聯電容器裝設數量之因素，為線路負載，電壓及線路長度。其優點為：

1. 多回輸電線路之負載能力的增加。
2. 多回線路中任何一路停用時，增加健全線路負載容量。
3. 正常負載情況下，獲致所需之負載分佈情況。
4. 由於減少線路之感抗，以改善線路之穩定度，亦即減少線路兩端電壓之相角差。

在線路適當地點裝設串聯電容器，補償在 50% 以下，可裝於線路之中間處。如補償超過 50%，則應將串聯電容器分成 $\frac{1}{4}$ 或 $\frac{1}{3}$ 等距離線路上，串聯電容器組之間的距離，應不超過 200 哩，距離短較佳。

串聯電容器因通過電流加大，而其二端電壓升高，當故障電流時，如無適當保護設備，則遭損壞其保護方法為：



1. 旁路保護間隙，短路故障情況下將串聯電容器短路，係由短路間隙，間隙之短路開關及隔離之旁路開關。此項保護設備對於線路之電驛保護亦有裨益。

2. 調整旁路保護間隙，故障時可將電容器短路。

3. 控制回路於開關

間隙短路，或在故障消除後加入線路。

2.3 超高壓交流輸電(UHV)

輸電線路之電壓若超過 230 KV 為超高壓系統。輸電電壓於 1911 年採用 90 KV，二次世界大戰時 287 KV，近日漸至 765 KV，而為戰前增高率的一倍。則電壓之提高不外乎為了輸電容量的增加，開發新電力資源，增加供電之可靠性，及減低設備投資費用等。又由輸電線路因負載增加，多設並聯線路及增加變電所，而即使線路長度縮短，因電壓若低故障電流將會大量增加。

一般故障容量限制 50 KA 為準，若超過此限值應設法改善，如故障電流採用高接地係數，需要更高之絕緣導致投資多而仍應用高電壓基準。再輸電線多為互聯線路且伸長，使線路之損失大增，所以提高電壓勢在必行。近來運轉大容量（1000MW）之汽輪機組，電廠輸出數百萬瓩之電力，使輸電線路增多，發生線路通過困難，即路權問題亦間接因素迫使輸電電壓之提高。

超高壓輸電在 1980 年將會提高為 1,000 - 1,500 KV，美國 BPA 已經開始試驗，1,100 KV 輸電，義大利 ENEL 亦準備試驗 1,050 KV。研究主要項目為可聽雜音，靜電感應及商用頻率之絕緣特性等。為解決 UHV 之困難問題，設計上可能採用多導體下側非對稱導體之配置，安裝下部接地線及採用半導體釉碍子等。

茲將技術上有關問題分述如下：

2.3.1 電暈效應的通訊干擾：高壓輸電導體表面之電場強度太高，促使附近之空氣游離的電暈放電，所引起無線電雜音的允許範圍。高壓架空線路的導體之電氣特性以選擇其面積，係由經濟線徑及電暈而定。由於電暈的損失及無線電的干擾，視導體表面之電位梯度及其臨界梯度而異。在人口密集地區顧及無線電干擾，最大之梯度應不超過 15 KV/cm 至 18 KV/cm，此值之電暈損失亦為經濟，故首要選擇導體之大小與配置。

欲解決電暈及 RI 之問題，早期採用大口徑之單導體，二次大戰後方有複導體或多導體出現。

首先瑞典在 380 KV 輸電線路用複導體成功，於是世界各國互相競用，目前已有三導體與四導體。複導體輸電方式，為時不過十數年，何以能進步如此神速，而因除了線路損失外，均較單導體為優異，其特性為：

1. 導體之安全電流較大，若輸電能力相同，截面積較單導體小約四成，不但增加輸電功率，且節省導線材料之費用。

2. 導體電感較同截面積之單導體約低二成以上，可視同輸電距離的縮短。

3. 導體電容較同截面積之單導體約大二成以上，效果相同於增加受電端電容設備，在重載時可改善功率因數及電壓降。束導體的電感小電容大，兩者而相抵，法蘭第效應與單導體無異。

4. 若電暈相同時複導體斷面積比單導體小二成。最適合於超高壓輸電，可減少對電視電訊之障害。

5. 二導體輸電線路穩定度增大 20%，四導體則增加 60%。

2.3.2 突波放電對碍子發生閃絡，及輸電線應用複導線，與注意用並聯電抗器及串聯電容器等問題。

2.4 高電壓直流輸電(HVDC)

在 1951 年蘇俄揚言以兩條電纜送 200KV, 30MW，目前世界運轉中的直流輸電系統已達 11 處之多，其特質為非同步輸電，對穩定度及短路容量等少問題，且系統控制容易，其優點為：

1. 無電感，電容及集膚作用，而損失較少，可用較小導體，故成本較低。同時長距離架空線，輸電容量不受線路電抗之限制。

2. 海底或地下以直流電纜較優：因為直流電纜沒有交流頂值電壓，其絕緣設備費用較低。

3. 交流電纜一般限制在 25 哩至 35 哩，因交流電纜之充電電流已達到溫度容量限額，而直流電纜無感應損失，其輸電距離不受充電電流之限制。同時補償之並聯電抗器及調相機的容量可較小。

4. 直流輸電導體表面之電位梯度所引起之電暈及無線電干擾均為低，直流輸電分正負兩線供電，其中僅正電導體對 RI 有作用，且直流產生的 RI 大小不隨時間而變。而平穩不易被感覺。

5. 直流輸電可靠性高，導線只須二條，一線故障，另一回線可輸送一半電力，利用大地作回路，此單線輸電之性能為直流系統之特點，但可產生嚴重之電解問題，給人口密集地區之威脅大。尤在戰時可埋沒地下，即使破壞一半亦可供電。且可過載運轉。

6. 直流輸電線連接兩大系統，其一系統發生故障，將不影響他一系統，而無故障或短路電力傳輸的問題，即無穩定度的問題。

7. 直流輸電線靈活性大，換流器部份整流子故障或其他原因，直流系統之電壓減低而增加電流，只要有若干百分率之過載電流能力，就可減低同

值之電壓輸出。

8. 直流系統輸出與輸入端均設有 Smoothing Reactor，可限制故障電流。

9. 直流輸電線可連接不同頻率的電力系統，因與頻率無關，可互相交換剩餘電力。

10. 直流輸電線導體二條，鐵塔重量輕，距離愈長則費用愈經濟。且路權較易獲得，尤在都市可以地下電纜供電。

據 1931 年之報導欲得經濟之直流輸電其容量必需達到 300MW 至 400 MW，而線路距離須在 350 哩以上，故在經濟上已受到若干限制。直流高壓輸電能量傳輸代替交流傳輸，在技術上尚須改善，因直流輸電僅限於點與點之間的電力傳輸。又直流輸電當電力潮流方向改變時，其電壓極性之改變，使中間引出點之運轉更為嚴重。再直流斷路器尚缺乏應用，使中間分接的問題，與交流系統相聯時控制困難。

一般言之，直流輸電較交流輸電具有線路成本低而電廠成本高，因電源端與受電端之換流器價昂，可為交流設備價格數倍。依目前之條件地下電纜長度須大過 30 哩，架空線長度為 400 - 700 哩才合算，俄國以費用分析，認為交流與直流的輸電容量在 750 MW 可相比，瑞典認為交流若改為直流輸電，其輸電能量可能會增加三倍至四倍。根據各國之運轉實績 1968 年的平均利用率為 79.3%，至 1969 年已提高至 83.6%，因 Thyristor 整流器的使用，其可靠性大為提高。今後研究發展著重在 SF₆ 斷路器，油冷却整流器等之小型化，與直流斷路器及廉價的直流電纜的設計等項目。

第三節 輸電系統

3.1 概 論

各發電廠的電力以輸電綫送至負載中心的大變電站供應可靠的電力。為降低成本與增加供電效率，而電力系統日趨龐大，再須使電壓降落減至最少，及良好的保護與控制，而品質應優良且安全。

在低電壓方面須考慮安全電流及經濟電流密度（導綫之粗細），由送電綫皆用裸綫其安全電流不似絕緣綫有明確規定，係受最高容許溫度而決定，其與導綫之材料構造，表面狀況周圍溫度，日射狀態及風速大小等有關，主要在限制溫度不得上升，而使電綫發生退火現象，變更其機械的性質。又因