

科技用書

輸配電學

羅登壽 編著

復文書局

目 錄

第一章 概論	1
1-1 電力系統之概況	1
1-1-1 電力輸送的方式	8
1-1-2 輸電與配電	10
1-2 經濟效率	11
習題一	14
綜合測驗	14
第二章 架空輸電線路	17
2-1 支架之種類及構造、性質	17
2-1-1 概述	17
2-1-2 支架之種類	17
2-1-3 支架之構造	18
2-1-4 支架之性質	25
2-2 導線之種類及構造、性質	37
2-2-1 概述	37
2-2-2 導線之種類	38
2-2-3 導線之構造	45
2-2-4 導線之性質	48
2-3 碍子之種類及構造、性質	56
2-3-1 碍子之種類	56
2-3-2 碍子之構造	57

2-3-3 磚子之性質	63
習題二	76
綜合測驗	77

第三章 輸電線路之特性 81

3-1 線路常數	81
3-1-1 概說	81
3-1-2 電阻及漏洩電阻	82
3-1-3 單圓直導線產生之磁場及電場	82
3-1-4 二平行導線回路之電感	86
3-1-5 三相三線式回路之電感	89
3-1-6 三相雙路式之電感	95
3-1-7 二平行導線回路之電容	100
3-1-8 三相三線式回路之電容	103
3-1-9 三相雙路式之電容	109
3-1-10 大地對輸電線路電容之影響	112
3-2 輸電特性	115
3-2-1 概說	115
3-2-2 短程輸電線路	118
3-2-3 中程輸電線路	124
3-2-4 長程輸電線路	129
3-2-5 等值 T 及 π 型電路	130
3-2-6 傅倫等效應	133
習題三	134
綜合測驗	137

第四章 架空配電線路之特性 141

4-1	配電與供電	141
4-2	配電線路之構成	142
4-2-1	配電方式之概述	142
4-2-2	串聯與並聯式配電	144
4-2-3	直流與單相交流配電	149
4-2-4	三相交流配電	157
4-2-5	高壓配電系統	162
4-2-6	低壓配電系統	166
4-3	配電線路之電壓降	170
4-3-1	電壓降下率及調整率	170
4-3-2	直流配電線路電壓降下之計算	171
4-3-3	單相交流配電線路電壓降下之計算	179
4-3-4	三相交流配電線路電壓降下之計算	182
4-4	配電線路之電壓調整及電力損失	186
4-4-1	配電線路之電壓調整	186
4-4-2	電壓變動的原因及影響	186
4-4-3	電壓調整的方法及其利益	188
4-4-4	電壓調整用調相機的容量	191
4-4-5	配電線路之電力損失	195
4-5	負載功率因數之改善	196
4-5-1	改善功率因數之方法	196
4-5-2	改善功率因數用調相機的容量	198
4-5-3	提高功率因數之利益	202
習題四		202
綜合測驗		205

5-1	地下線路之特性	209
5-2	電纜之種類及其構造	211
5-3	地下電纜之裝設方式	221
5-3-1	人工孔	226
5-3-2	電纜之裝設	229
5-3-3	地下電纜之故障及故障檢查方法	232
5-4	電力電纜之特性	238
	習題五	244
	綜合測驗	246
	附錄	249
附錄一	線規表 (B&S)	249
附錄二	各種電線號碼比較表	250
附錄三	各種裸電線之物理特性表	251
附錄四	架空輸電線路用硬抽銅絞線表	252
附錄五	鋼心鋁絞線 (A.C.S.R.) 表	253
附錄六	裸硬銅絞線之靜電容量表 ($10^{-3} \mu F / Km$)	254
附錄七	裸硬銅絞線之電感係數表 (mH / Km 線)	255
附錄八	常用對數表	256
附錄九	三角函數、雙曲線函數、指數函數表	258
附錄十	導線特性表	265

第一章 概論

1-1 電力系統之概況

電為近代科技進步之產物，亦為現代工業社會中人類從事各項活動及日常生活上不可或缺者。電力系統主要是用來傳輸電能，使電不僅為工業生產、交通運輸之原動力，且為供應家庭照明、冷暖氣機、炊煮、電梯及其他電氣用具之熱動能。因此，電力系統的開發與充分供應電力，對促進國家經濟之發展，工商業之繁榮，及改善人民之工作環境與提高人民之生活水準等均有重大貢獻。

發電乃是利用天然的能源轉變為電能。利用水的位能推動水輪機，再以水輪機帶動發電機者稱為水力發電；以蒸汽的能量推動汽輪機而帶動發電機者稱為火力發電；利用核分裂或核融合產生原子能發電者稱為核能發電。

電力系統係由發電廠一直到用戶所形成一連貫供電系統。如圖 1-1 及 1-2 所示。由於發電廠大多設在山區或海邊，如水力、火力、核能等，距離負載中心甚遠，長距離輸電又有電壓降下及線路損失，故需提高電壓，降低輸送電流，以達經濟與安全的要求。

電力系統包括三個主要部份：發電廠、輸電系統及配電系統。

1. 發電廠：依發電之方式有水力、火力、核能等三種。發電廠直接發電出來的電壓有 3.3 kv、6.6 kv 及 13.8 kv，經昇壓變壓器將電壓提高至

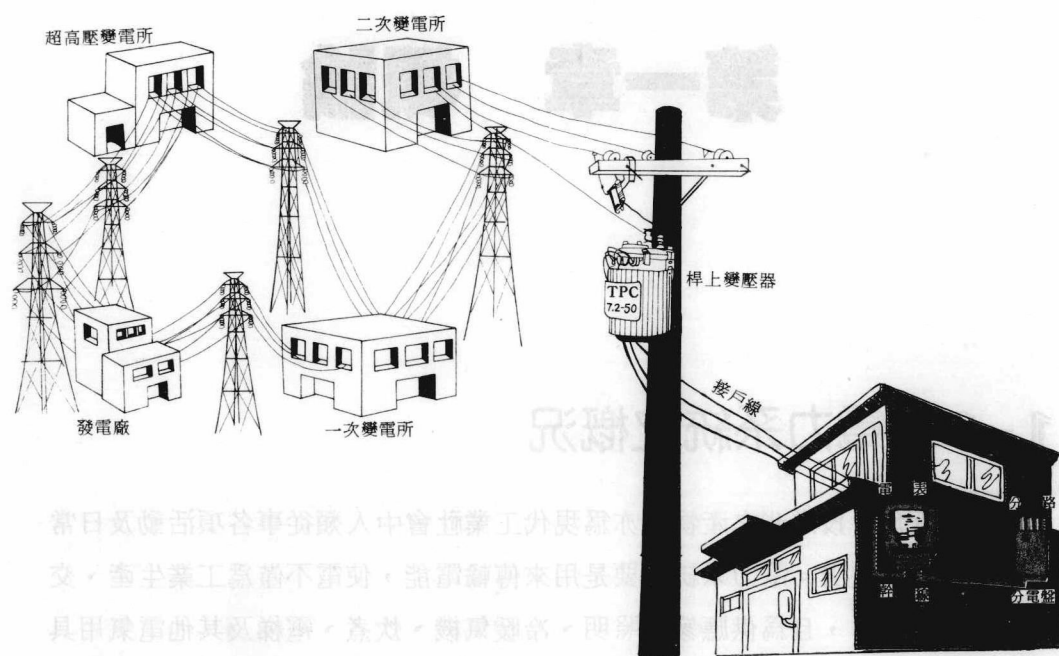


圖 1-1 電力系統結構圖

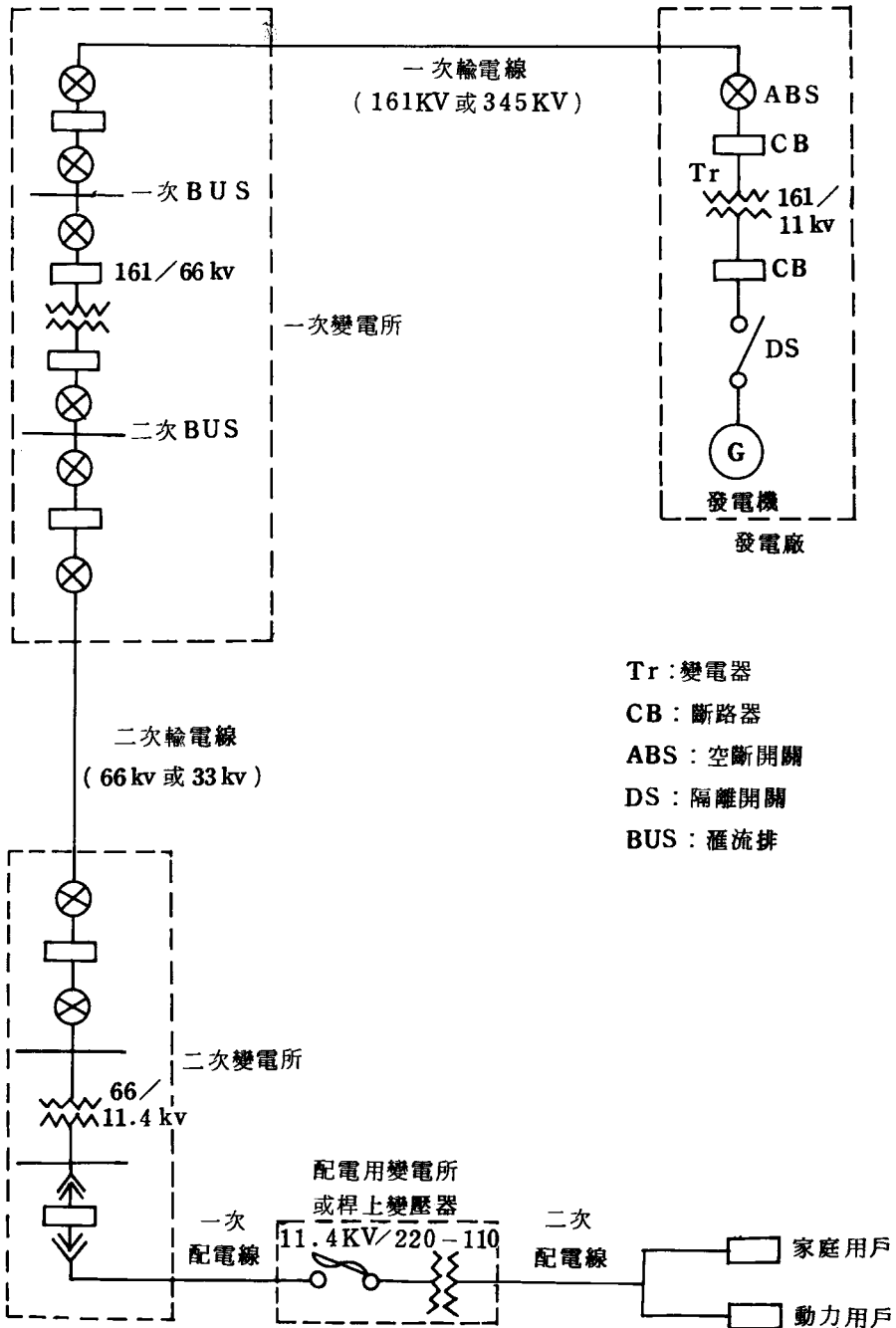


圖 1 - 2 電力系統圖

4 輸配電學

161 kv 或 345 kv，然後由一次輸電線送至一次變電所。

2. 輸電系統：由發電廠至變電所間之線路稱為輸電線路。

(1) 一次輸電線：由發電廠輸送電壓 161 kv 或 345 kv 至一次變電所之輸電線路。

(2) 一次變電所：可利用降壓變壓器將電壓 161 kv 或 345 kv 降低為 66 kv 或 33 kv 之變電所。

(3) 二次輸電線：由一次變電所輸送電壓 66 kv 或 33 kv 至二次變電所之輸電線路。

(4) 二次變電所：可利用降壓變壓器將電壓 66 kv 或 33 kv 降低至 11.4 kv 或 3.3 kv 之變電所。

3. 配電系統：由二次變電所至用戶間之線路稱為配電線路。

(1) 一次配電線：由二次變電所配送 11.4 kv 或 3.3 kv 至用戶的配電線路。

(2) 配電變壓器：由一次配電線經變壓器降為 440 v，380 v，220 v，110 v 之變壓器稱之為配電變壓器。有桿上變壓器及用戶自備配電變壓器。

(3) 二次配電線：經桿上配電變壓器降壓後之低壓配電線路，稱之為二次配電線路。

臺灣現有電力系統

臺灣電力系統，如圖 1-3 所示。迄民國 74 年 12 月底止，全系統總裝置容量為 15,970 千瓩，其中

核能發電廠	3 所	5,144 千瓩	佔 32.2%
火力發電廠	17 所	8,337 千瓩	佔 52.2%
水力發電廠	33 所	2,489 千瓩	佔 15.6%
合 計	53 所	15,970 千瓩	

1. 水力發電廠

台電系統之水力電廠，已完成而在運轉中者可分抽蓄式、水庫式、調整池式及川流式等四大類。

電力系統 TAIWAN POWER SYSTEM

民國七十四年十二月底裝置容量15,970千瓩

預計民國八十四年底可達21,459千瓩

Total Capacity 15,970MW(Dec.1985)

Estimated Total 21,459MW(Dec.1995)

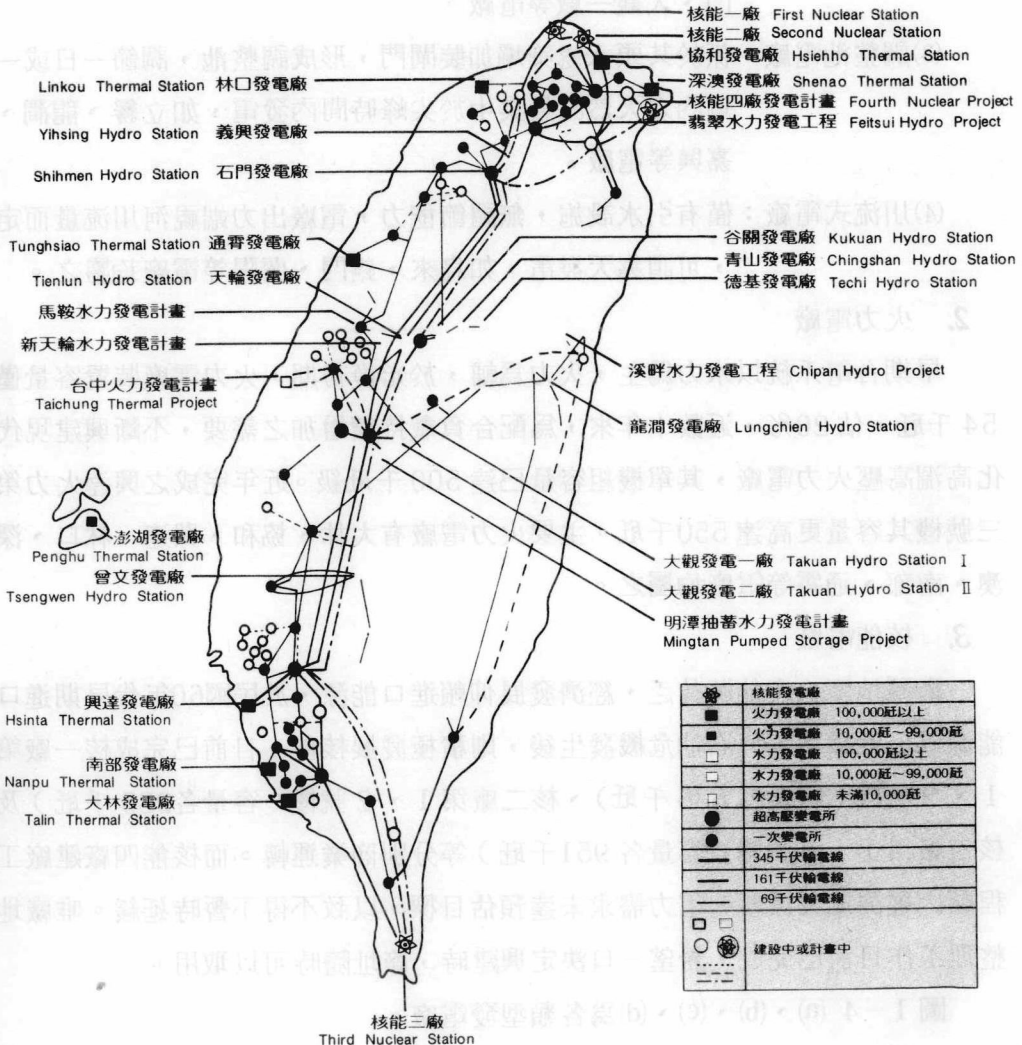


圖 1 - 3 臺灣電力系統

- (1)抽蓄式電廠：具有上下兩池，利用離峰期之剩餘電能抽水蓄存於上池，而於尖峰時間放水發電，提供系統大量尖峰電力，如明湖發電廠（大觀二廠）。
- (2)水庫式電廠：在其上游設有大型水庫，除可調供尖峰電力外，並可提高系統調度之調性，如德基、青山、谷關、天輪、曾文、石門、大觀一廠等電廠。
- (3)調整池電廠：係於其頭水處築壩加裝閘門，形成調整池，調節一日或一週內之天然流量集中於尖峰時間內發電，如立霧、龍澗、嘉興等電廠。
- (4)川流式電廠：僅有引水設施，無調節能力，電廠出力端視河川流量而定，可謂靠天發電，如烏來、銅門、蘭陽等電廠均屬之。

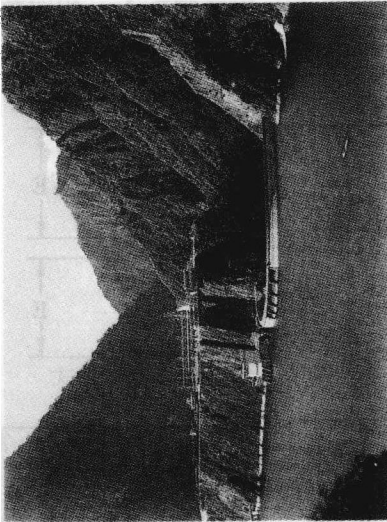
2. 火力電廠

早期台電系統以水力為主，火力為輔，於光復初期，火力電廠裝置容量僅 54 千瓩，佔 20%，近數十年來，為配合負載持續增加之需要，不斷興建現代化高溫高壓火力電廠，其單機組容量已達 500 千瓩級。近年完成之興達火力第三號機其容量更高達 550 千瓩。主要火力電廠有大林、協和、興達、林口、深澳、南部、通霄等電廠均屬之。

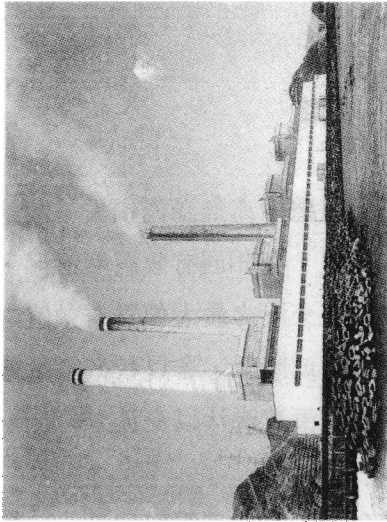
3. 核能電廠

臺灣地區自產能源貧乏，經濟發展仰賴進口能源，於民國60年代早期進口能源以石油為主，於石油危機發生後，則積極發展核能，目前已完成核一廠第 1、2 號機（容量各 636 千瓩）、核二廠第 1、2 號機（容量各 985 千瓩）及核三廠第 1、2 號機（容量各 951 千瓩）等分別商業運轉。而核能四廠建廠工程嗣因經濟成長減緩，電力需求未達預估目標，以致不得不暫時延緩。唯廠地整理工作目前已完成，希望一旦決定興建時，廠址隨時可以取用。

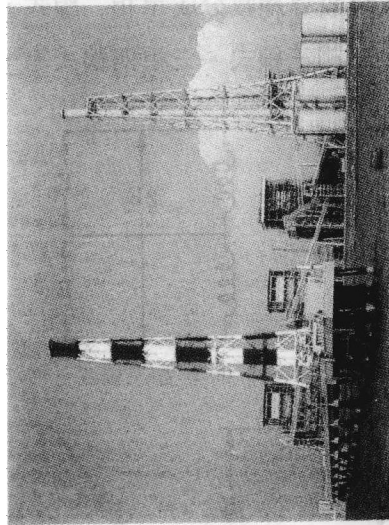
圖 1-4 (a)、(b)、(c)、(d)為各類型發電廠。



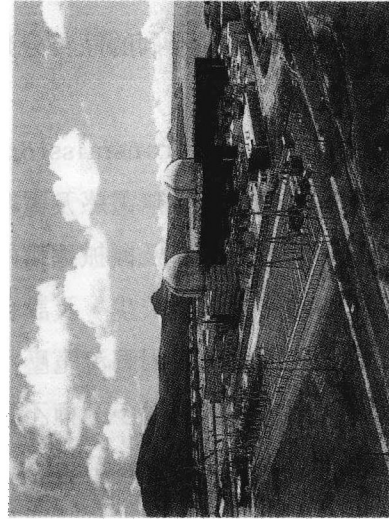
德基水庫
Tchi Reservoir



協和火力發電廠
Hsienho Thermal Power Station



興達火力發電廠
Hsinta Thermal Power Station



第三核能發電廠
The Third Nuclear Power Station

圖 1 - 4 各類型發電廠

1-1-1 電力輸送的方式

電力輸送方式依各種不同的性質分類如下：

(一) 依電流性質分

1. 直流輸電 (D.C. transmission)

直流輸電在電路中無電感及電容之作用，電纜中亦無渦流損失，故適合於電化工業、電車及機械迴轉的速度之調整。在相同有效電壓情形，直流電的線路損失也較少，及設備的絕緣低（交流之最大值為有效值之 $\sqrt{2}$ 倍）等優點。但因直流電壓不能隨意升高或降低，若以較低電壓傳輸電力，則線路損失增多，極不經濟，故已逐漸被淘汰以交流方式取代。

2. 交流輸電 (A.C. transmission)

交流電壓可以利用變壓器任意昇降，適合於大電力高電壓輸送，目前世界各國皆採用交流方式傳輸。交流電依相數可分成單相、二相及三相；依裝設導線數分成單相二線式、單相三線式、二相三線式、二相四線式、三相三線式、三相四線式等，如圖 1-5 所示。在一定功率及功率

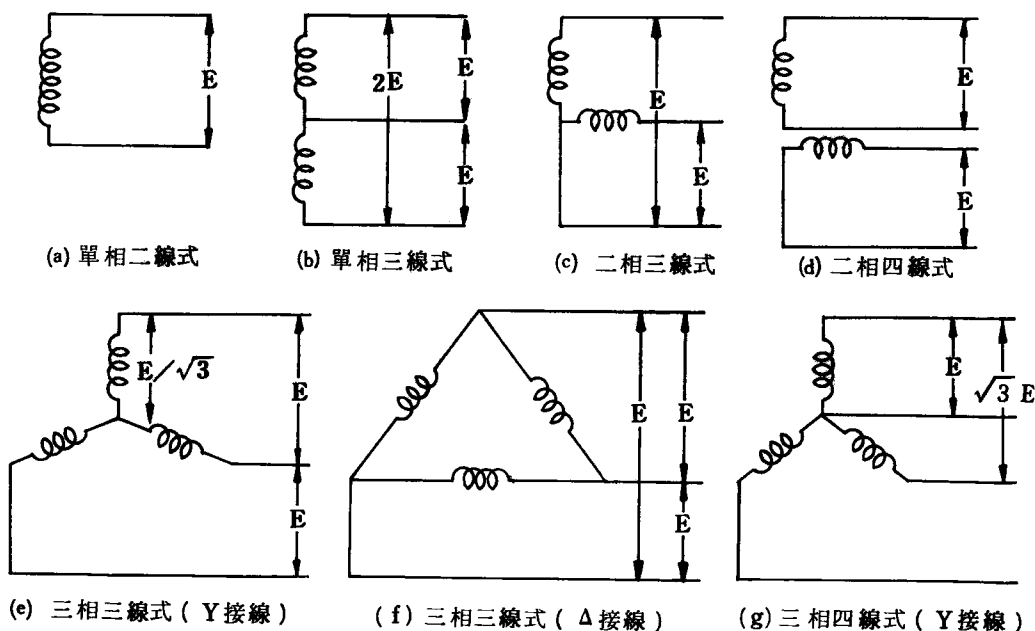


圖 1-5 各種配電方式

因數下，各種輸送方式每一導線所輸送的電力亦有異，表 1-1 列出各種方式的比較。很明顯地，三相三線式較其他任何方式每一條導線輸送電力為大，所以輸電絕大多數是採用三相三線式，但配電線路爲了配合用戶之需要亦有採用其他方式的。

表 1-1 輸送方式之比較

方 式		輸送總電力	每 條 線 輸 送 電 力		備 註
			輸 送 電 力	百 分 比 (直 流 二 線 式 爲 100)	
直流二線式		VI	$VI/2$	100	
交 流	單相二線式	$VI\cos\phi$	$VI\cos\phi/2$	100	
	單相三線式	$VI\cos\phi$	$VI\cos\phi/3$	66.6	中性線和其 他導線同大
	二相三線式	$\sqrt{2}VI\cos\phi$	$\sqrt{2}VI\cos\phi/3$	94	中性線和其 他導線同大
	二相四線式	$2VI\cos\phi$	$2VI\cos\phi/4$	100	
	三相三線式	$\sqrt{3}VI\cos\phi$	$\sqrt{3}VI\cos\phi/3$	115	
	三相四線式	$\sqrt{3}VI\cos\phi$	$\sqrt{3}VI\cos\phi/4$	87	中性線和其 他導線同大

(二) 依線路裝設方式分

1. 架空線路 (Over-head line)：係利用支持物如木桿、水泥桿、鋼桿、鐵塔等將導線支持在空中的輸送方式。
2. 地下電纜 (Under-ground Cable)：係利用直接埋設法、管路引入法、溝渠法等將電纜埋設於地下的輸送方式。

(三) 依電壓高低分

1. 低壓 (Low Voltage)：750 伏以下的電壓。
2. 高壓 (High Voltage)：超過 750 伏但未超過 15,000 伏的電壓。
3. 特高壓 (Special High Voltage)：超過 15,000 伏但未超過 250,000 伏的電壓。

4. 超高壓 (Extra High Voltage, 簡稱 EHV) : 超過 250,000 伏但未超過 500,000 伏的電壓。
5. 極高壓 (Ultra High Voltage, 簡稱 UHV) : 超過 500,000 伏以上的電壓。

1-1-2 輸電與配電

輸電和配電同是指電力的輸送，但兩者性質不同。凡將發電廠所產生之電力送達變電所，中途不接用戶者，稱為輸電 (Transmission)。若由變電所將電力降壓後，逐步分配至各用戶者，稱為配電 (Distribution)。輸電，電壓高，距離長，分佈廣泛，導線多用鐵塔支持，相鄰兩鐵塔的距離 (塔距) 較大；配電，電壓低，距離短，分佈較窄，導線概用電桿支持，相鄰兩電桿的距離 (桿距) 較小。輸電着重於電力之輸送及供電之安全，臺灣目前輸電線路電壓有 33 kv、66 kv、161 kv 及 345 kv。配電着重於供電可靠性及三相電路之平衡，目前標準配電電壓有低壓 110 v、220 v、380 v 及高壓 3300 v、5700 v 及 11,400 v 等。

輸配電系統的主要設備如下：

- (一) 變壓器 —— 送電端裝置昇壓變壓器，將電壓升高，使在同一功率下，線路電流減至最低，使線路損失及線路電壓降不致過大。在受電端裝置降壓變壓器，將輸電之高電壓降為適當的電壓，供用戶使用。
- (二) 線路 —— 分為單路式及雙路式兩種。導線常用之材料為銅及鋁，鋁可加鋼心以增加強度，導線可為實心單線或絞線。在電壓特高之線路，有時採用空心導線或其他特種導線。
- (三) 支架及絕緣器 —— 架空線路所用的支架有木桿、鋼筋混凝土桿、鋼桿及輸電鐵塔。絕緣器則懸掛在鐵塔或裝於電桿之橫擔上，用以支持及絕緣導線。
- (四) 保護設備 —— 保護設備裝置之目的，在於使線路有充分之安全。其種類甚多，較重要的設備如下：

1. 架空接地線 (Ground wire) : 架設於輸電鐵塔及電桿上，主要作用

爲防止直接雷擊或雷電感應所產生之電壓，將電荷導入地下中和。其張力亦可用以支持跨距之力，增加機械強度。

2. 避雷器 (Arrester)：裝於變壓器附近或線路上。於電壓正常或略高時爲絕緣體，但遇異常電壓時，則變成良導體而洩放線路上之異常電壓，使不至於損壞輸電系統。
3. 斷路器 (Circuit break) 或線路開關 (Circuit switch)：常與電驛 (Relay) 連用，以控制線路之開斷，當線路上發生故障時，可自動將故障部份隔離。
4. 地網 (Counterpoise) 或人工接地：於土壤導電性太差之處，深埋地下，與接地線連用，以增加接地線之功能。
5. 電壓控制設備：包括同步調相機、進相電容器、電壓調整器。
6. 其他雜項設備：爲了增進系統之穩定度如速應激磁 (Quick-response excitation) 及調速器自動調頻與通訊設備。

1-2 經濟效率

電力系統之電源須充足，不但要滿足用戶電力的需求，且能獲致優良之供電之品質。由於電力系統係由若干發電廠，變電所經輸配電線路聯絡所構成，其運轉爲一整體。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。爲維持系統電力供求，增加發電及供電的效率，並減低經濟成本；系統之頻率須正常，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現象。故電力系統設計，應優先考慮輸電及配電電壓的選定。

輸配電線路之電壓，須視輸送距離及輸送電力之多少而定。凡電力愈大，距離愈遠，所需電壓亦愈高。

(一) 電壓高之優點：

1. 減少線路損失，提高線路效率。
2. 減少線路電壓降之百分率。

3. 減少線路用銅線重量。

(二) 電壓高之缺點：

1. 絕緣設備費用增加。
2. 線間距離加大，因而支持物亦需增加高度和寬度。
3. 防止電量損失，須用較粗之導線。
4. 變壓器及斷路器等設備費用亦增加。

因此選擇適當的輸配電電壓，須考慮下列因素：

- (1) 輸送距離。
- (2) 負載容量。
- (3) 未來的發展。
- (4) 與其他系統之連繫。
- (5) 經濟問題。

若輸電額量、距離及功率損失不變，則輸電線之粗細與輸電電壓的平方成反比，即電線費用與輸電電壓之平方成反比。而保護設備、支架及絕緣設備等費用，隨電壓之增高而增加。如圖 1 - 6 所示，為輸電電壓與建設費的關係曲線，此合成曲線的最低點，即為最經濟之輸電電壓值，所以電壓選擇以經濟考慮為首要因素。

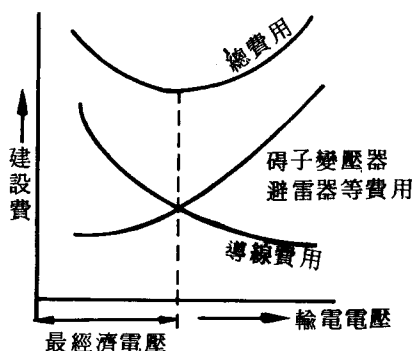


圖 1 - 6 輸電電壓與建設費用之關係