

工業企業供電

徐開源編

上海科學技術出版社

工業企業供電

徐 開 源 編

上海科學技術出版社

內 容 提 要

本書系討論工業企業中的供電問題，其內容乃按高教部批准的工業企業電氣化專業教學計劃中的“工業企業供電”課程教學大綱而編著。舉凡負荷計算、變電所、電力網、結綫系統及保護裝置等均有詳細的闡明；并於工業企業功率因數的改善問題及供電系統自動化措施均闡專章討論。故本書不但可作高等工業學校的教科書，并可為從事工業企業供電設計人員的參考。

簡 裝 本 說 明

本書原以 850×1168 1/32 開本排印，為了節約用紙，暫以 787×1092 1/32 開本印刷，定價相應減少，希鑒諒。

工 業 企 業 供 電

徐 井 源 編

上海科學技術出版社出版

(上海瑞金二路 450 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

新華書店上海發行所發行 各地新華書店經售

上海市印刷三廠印刷

開本 787×1092 1/32 印張 12 4/32 字數 297,000

1961 年 8 月第 1 版 1961 年 8 月第 1 次印刷

印數 1—1,650

統一書號：15119·1617

定 價：(十) 1.15 元

序 言

祖國大規模經濟建設正在迈步前進，新建和改建的新型企業蓬勃增長，因此在工業企業的設計中無分軒輊地就提出了工業企業供電的問題。由於電力的供應，不僅關係着企業的生產和過程，且對企業本身的資金周轉和將來的發展，也起着決定性作用；而況對於整個國家財富的累積與經濟建設的發展，也具有重要作用。故工業企業供電在經濟建設中所占的地位和所起作用的重要性，無待贅言。高等工業學校中之所以設立“工業企業供電”課程，授予學生對此方面的專門知識是有其重要性，也全屬正確。

本書主要側重於負荷計算、供電和配電系統與主變電所和車間變電所，無論關於理論、計算、選擇和比較，均有務求詳盡敘述的企圖，致占全書的較多篇幅。書中旁及短路電流的計算、供電系統的保护裝置、功率因數的改善問題，以及工業企業供電的自動化措施與集中調度等，所以使學生能正確掌握選擇和利用電氣設備，並指示工業企業供電的新趨勢；而不敘及接地裝置，此由於在“保安防火”課程中已有詳盡的闡明。

由於工業企業供電的問題，在一般技術書籍中，雖有涉及，而未有系統性的總結，致難窺其全豹；唯有蘇聯對此問題系作為實用電工學的一個獨立科目來加以有系統性的研究，無論在理論上和實際上均起着先進作用。故本書廣泛利用蘇聯文獻，而結合高教部批准的教學大綱和在蘇聯專家的指導和幫助下，曾數度授課，並迭次修改講稿，編成是書。但取材和編纂是否適當，猶祈讀者提出批評和指正，以匡不逮。

末了，本人謹向校閱本書原稿並提出許多寶貴意見的交通大

學發電廠設備教研組單基乾主任，工業企業電氣化教研組沈尚賢主任，裘益鍾副教授和雷新陶，沙雋劭，戴景宸，沈贊助，楊冠城，吳際舜，廖培鴻諸同志表示衷心感謝。

編者謹識

1956年2月于上海

目 錄

序 言

第一章 緒論	1
1-1 工業企業供電的發展情況和對國民經濟的重要意義	1
1-2 發電廠和動力系統的簡單概念	3
1-3 蘇聯動力和工業企業供電事業的發展情況及蘇聯學者對 此方面的貢獻	10
1-4 我國解放後動力和工業企業供電方面的發展情況	14
第二章 負荷計算	18
2-1 計算負荷的理論	18
2-2 用電設備的分類	19
2-3 按負荷曲綫確定計算負荷	21
2-4 按需要系數法確定計算負荷	22
2-5 用二項式法確定計算負荷	25
2-6 照明的計算負荷的確定	28
2-7 車間有效、無效及視在負荷的確定	29
2-8 工業企業總負荷的確定	30
2-9 功率損耗及其計算	34
2-10 用電設備電能的確定	36
2-11 電能損耗的計算	38
2-12 負荷圖	39
第三章 短路電流	42
3-1 短路對電力系統運行情況的影響	42
3-2 計算短路電流的目的及其假定條件	43
3-3 短路電路中各元件電抗的計算	44

3-4 短路电路总阻抗的确定.....	48
3-5 短路电流的变动过程.....	50
3-6 计算时短路点的选择及短路电流值的计算.....	59
3-7 用运算表计算短路电流值.....	60
3-8 短路电流计算示例.....	62
3-9 低压网络短路电流的计算特征.....	64
3-10 1000 伏以下电气装置的短路电流计算示例.....	69
3-11 短路电流的效应及对其限制方法.....	73
第四章 供电系统的保护装置.....	83
4-1 供电系统保护的目地.....	83
4-2 熔断器保护.....	83
4-3 自动开关.....	87
4-4 继电器保护及对其要求.....	88
4-5 继电器的分类.....	90
4-6 保护系统的操作电源.....	90
4-7 继电器保护所用互感器的接线图.....	91
4-8 供电系统的过载及短路保护.....	96
4-9 欠电压保护.....	103
4-10 变压器保护.....	105
4-11 电动机等用电设备的保护.....	108
4-12 接地短路的保护装置.....	111
第五章 工业企业变电所.....	114
5-1 变电所的任务.....	114
5-2 车间变电所的构造型式.....	114
5-3 变电所位置和数量的选择.....	115
5-4 变电所及变压器容量的选择.....	116
5-5 变电所的接线系统.....	124
5-6 电工量计及控制仪表.....	133
5-7 变电所中的操作盘.....	138
5-8 变电所的結構.....	137

5-9 变电所中的设备选择	148
5-10 变流所	180
5-11 过电压保护	185
5-12 变电所的运行	197
第六章 电力网	203
6-1 工业企业电力网的概念	203
6-2 供电电流种类的选择	208
6-3 直流电网电压的选择	209
6-4 低压交流电网电压的选择	210
6-5 高压电网的电压选择	211
6-6 按发热情况选择导线、电缆和母线的截面	214
6-7 按温升条件选择熔断器及导线和电缆的截面	218
6-8 按经济电流密度选择导线、电缆和母线的截面	221
6-9 电力网中电压损耗的计算	224
6-10 按电压损耗选求导线或电缆的截面	242
6-11 变压器的电压损耗	246
6-12 电压调整的目的和方法	247
6-13 低压电力网接线图	252
6-14 照明装置的接线图	255
6-15 高压电力网接线图	261
6-16 低压车间线路的结构	271
6-17 配电箱和配电盘	282
6-18 高低压架空线路的结构	284
6-19 高低压电缆线路的结构	291
6-20 确定电缆故障的性质和地点的方法	296
第七章 电能的节约	304
7-1 节约电能与国民经济的关系	304
7-2 无效功率的影响和补偿	305
7-3 工业企业的自然功率因数和总功率因数	307
7-4 提高自然功率因数的方法	311

7-5 提高功率因数的人工补偿方法	319
7-6 补偿装置的容量选择	320
7-7 静电电容器的安装地点	326
第八章 工業企業供电的自动措施和調度	331
8-1 供电自动化的目的及其在經濟上的意义	331
8-2 自动合閘装置动作的基本条件	332
8-3 自动合閘装置的組成部分与操作电流	334
8-4 备用綫路的自动合閘装置	334
8-5 备用变压器的自动合閘	336
8-6 分段用遮断器的自动合閘	337
8-7 防止自动合閘装置誤动作的連鎖装置	338
8-8 自动重合閘	339
8-9 供电系統集中調度的基本概念	341
附錄 (附表 1-34)	344
参考文献	380

第一章

緒論

1-1 工業企業供電的發展情況和對國民經濟的重要意義

十九世紀末葉，工業發展以蒸汽機和水力發動機為動力基礎。此種動力機械常借既重且貴的皮帶或繩索將運動傳至機械工具。隨以生產方式的改變和出現大規模的工業企業，能量需要日益增多，舊式能量供應方式顯已不能滿足新工業的要求。於是尋求在技術上和經濟上更稱完善的動力機械；並為適應大工業和生活上的需要，必需有更為完善的照明方式。

試觀過去的科學和技術的發展，顯見唯有電動機可能成為更完善的動力，唯有電照可能成為更完善的照明。進言之，現代的工業和生活中如無電能，則社會的經濟和文化甚難獲得發展。可見建立發電廠和廣泛採用電力拖動裝置以作各種機械的原動力，及供應采光的需要，以創立大量生產工業產品的基礎，促進社會生產力的發展和提高人民物質和文化福利的水平，自屬無可置疑。但與此同時，亦提出工業企業供電的任務。

按工業企業供電發展的情況觀之，初則一般工業用的發電廠系建立於工廠內。繼以 1880 年俄國學者 Д. А. 拉契諾夫 (Д. А. Лацинов) 創說電力遠距離輸送的理論，1891 年 М. О. 多利伏-多布羅伏利斯基 (М. О. Доливо-Добровольский) 創造三相配電系統的技術，因此發電廠的建立，再不受限於工業企業的所在地。發電廠與工業企業供電的連系，乃利用較高電壓的輸電綫。因

而電能非但可自發電廠被送至遙遠的用电區域，且發電廠可建立在產煤區或有水能利用的區域，從而獲得廉價的電能。

在工業企業中，有因建立該工業企業的當時，電力網極不發達，或廠址距電力網甚遠，或需要蒸汽與采暖以適應技術生產及為保證供電的可靠性而需備用電源，仍有自建發電廠的情況。但我國不久的將來，電力網將滿布全國各區域。工業企業的供電即可自35、110和220千伏電力網中取得電能。同時，由於電力網容量的增長，電價降低，電能質量和供電的可靠性亦得到保證。如為技術生產與采暖而需熱能、蒸汽或熱水，亦可建立地區熱電廠而獲得。此種類型的热電廠蘇聯乃居世界第一位，而我國太原、武漢新建的热電廠實為我國建立此種類型電廠的開始。再則建立臨時性發電廠以保證工業企業建設時期中對其施工裝置的用电設備供電；或在興建工業企業同時，建立小型或中型水力發電廠均稱有利，而在技術經濟指標上亦屬合理。由於臨時性發電廠可以拆卸而移動以適應需要，及水力發電廠發出的電能成本低廉，對於目前我國正在從事社會主義工業化的大規模經濟建設，電力網尚未發達之時，甚為方便而適宜。

目前新建的工業企業，其技術生產過程趨向自動化。以自動裝置保證機器的操縱，可不需人參加；和對於不能直接由人控制進行速度和性質的過程，探求並制定遙遠操縱的方法，以免除執行生產任務時可能發生的不準確性和危險性，及減輕勞動或代替人工作以保護工作人員的健康，並提高勞動生產率和降低產品的成本。在供電系統中採用自動化措施，例如架空供電綫自動重合閘，備用電源自動合閘，重要機械的自啟動等，以縮小故障的範圍，保證供電的可靠性和提高電能質量；另一方面亦可節省人力，以供國民經濟其他部門的需要。

誠如前述，電力的供應，在工業企業中，是生產的主要動力。但其在產品成本中所占的比重，除電化工業等外，仍屬有限。例如在

機械製造工業中，僅占產品成本的2~3%而已。再從企業的總投資額觀之，以蘇聯著名的高爾基城汽車工廠的幾個大型車間的投資額為例，電氣設備上的投資，僅占整個投資額的5%。故電力本身在一般企業中的重要性，反不在於其在產品成本中或在投資額中所占的比重，而在於當供電中斷時破壞企業正常生產的問題上。由於有種工業企業，供電的可靠性是絕對的要求，即使極短時間的斷電，即釀成不堪設想的後果。例如造成生產上的巨大損失、發生人身事故或機械損壞而難以恢復等，使國民經濟遭受莫大的物質損害。復就良好的照明對工廠而言，依蘇聯依凡諾夫勞動保護研究院的研究：如果紡織廠中，將照度增加1~1.5倍，能使最重要操作時間縮短8~25%；并使勞動生產率增加4~5%；且減少廢品，改進產品質量，減少事故及改善工人身心的健康。再則由於供電系統的採用自動措施以保證供電的繼續性，和生產過程的自動化，以加速產量和提高質量，對於企業本身的資金周轉率和將來的發展，自起決定性的作用；而況對於整個國家財富的累積與經濟建設的發展，亦有其一定的作用。故工業企業供電固直接關係於企業的生產和過程，為企業組成部分的一個重要因素，而對於國民經濟中所占的地位，自有無可置辯的重要。現夫蘇聯電氣事業的統計，全國所發出的全部電力，約有70%供給工業企業應用，可見工業供電問題在大規模生產中所起重要作用的一斑。

1-2 發電廠和動力系統的簡單概念

• 盡人皆知，電能在國民經濟各部門與日常生活之所以廣被應用，乃由其具有獨特優點所致。如經濟地輸送至遙遠地區，轉變他種能的方法既稱簡單，又便於分配等。至言電能的產生，乃是發電廠利用自然界的能變換而來。自然界的能計有六種：

- (1) 燃料的熱能——無煙煤、泥煤、木炭、石油、天然氣等；
- (2) 水能——水位落差所得的勢能，有“白煤”之稱；

(3) 風能——空氣流動所得的動能，有“藍煤”之稱；

(4) 太陽能——太陽輻射出來的能；

(5) 原子能——是由鈾及鈾等原子分裂所發出的能；

(6) 地下熱能——是由地球內部深處放射性物質發生原子分裂和其他原因而產生的地下熱水和熱氣。

先進國家的發電廠中，有利用工業製造過程中的副產品發電者，例如利用由煤提煉焦炭所得的瓦斯，大鋸木廠的木屑，采礦所得的黑油、瓦斯，煉鐵爐所產生的瓦斯，煉焦炭所得的泥炭、半焦炭等。但在我國此種電廠猶屬稀少。

上述(3)(4)類的發電廠已有設立或在試驗中，但其容量均較小。原子能發電廠在1954年蘇聯已有一5,000仟瓦容量發電廠出現，且目前正在設計發電能力5萬到10萬仟瓦以及10萬仟瓦以上的原子能發電廠。地下熱能發電站已有兩個正在蘇聯科學院科學家的指導下開始鑽井而建立。故借原子能或利用地下熱能以發電的建設事業正方興未艾，但在目前發電多數仍是借火力和水力。

在火力發電廠中，轉動發電機的原動機為：(1)汽輪機，(2)蒸汽機，(3)內燃機，(4)燃氣輪機。後數種有者缺點較多，輸出功率小，效率低或受燃料限制，應用不廣；有者建造問題猶在研究和探索階段，故不擬陳述，現簡述多數採用的汽輪機發電廠。圖1-1所示為利用煤粉的凝氣式發電廠的生產過程的大概情形。塊煤借運輸設備自煤場輸入碎煤設備，經壓碎機，而成碎塊，再運入煤粉製造設備，予以烘乾并磨成粉狀。煤粉借高速空氣流的吹送，經噴煤嘴被送入爐膛，而在高溫之下燃燒。鼓風機供應煤粉燃燒時所必需的空氣而鼓進爐膛，排氣機則將燃燒後的產物吸引，經鍋爐的氣道，與空氣預熱器的受熱面相接觸，由煙囪排入大氣中。水在鍋爐內受熱變成蒸汽沿蒸汽管進入汽輪機，擊動汽輪機的動葉片，使機軸旋轉以帶動裝於同一軸上的發電機，而使機械能變為電能。

從汽輪機排出的蒸汽進入凝汽器內，由於冷的循環水流過凝

汽器的管路，使蒸汽冷却重新凝結为水，由凝結水泵压入給水箱，再与業經化学处理后的补充原水一并由給水泵道經給水預热器而压入鍋爐。当排汽凝結为水时，自有大量的热被循环水所吸收而未被利用。故蒸汽在中等汽压和温度(40 大气压和 450°C) 之下，此种发电厂的效率約为 27~28%；若將蒸汽的汽压和温度增高至 100 大气压和 510°C ，則可使效率达 30~32%；進一步提高蒸汽参数 (170~225 大气压和 550°C)，可使效率提高到 34~37%。

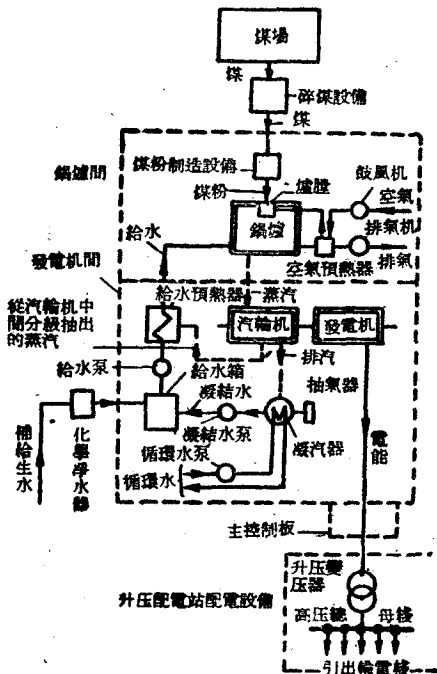


圖 1-1 利用煤粉的凝汽式汽輪機區發電廠的生產過程略圖

在汽輪機的凝汽器內，須保持一定程度的負壓力(真空)。蒸汽通过汽輪機，汽压从某种初压降至小于一个大气压(即凝汽器內所保持的压力)，如是蒸汽所作的功，將較排汽于大气中所作的功为大。但凝汽器由于不緊密而有進入空气的可能性；故利用抽气器將其抽出，以維持凝汽器內的負压力。

为提高发电厂的效率，將汽輪機所排出的蒸汽，送給工厂作生产上的应用，或將水加热，作日常生活中住宅、采暖、浴室、洗衣房等处之用。此种类型的电厂除供給用户电能外，犹能供給蒸汽或热水等热能，称热电厂。圖 1-2 是以煤粉为燃料的热电厂生产过程的情况。从供应燃料起，直至蒸汽進入汽輪機为止，与前述凝汽式發

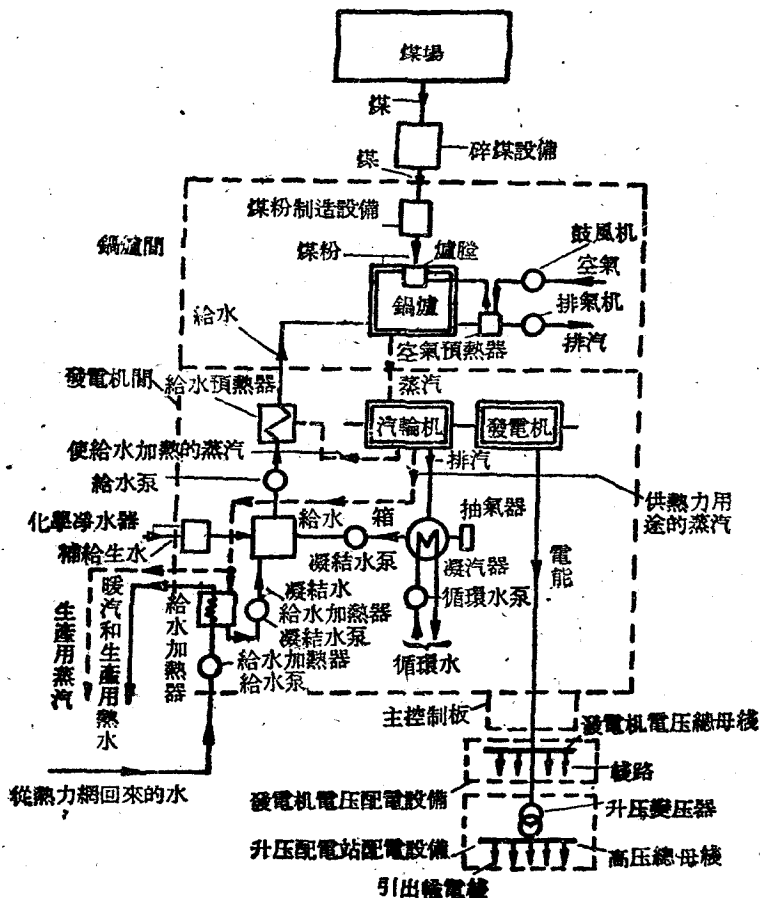


圖 1-2 利用煤粉的热电厂的生产过程略圖

电厂者相同。但進入汽輪機的蒸汽經過汽輪機的一部分分級，逐漸膨脹，作出機械功，同時蒸汽中所含熱量減少。繼將一部分蒸汽自汽輪機幾個分級中抽出，以供熱用。如送入給水加熱器與直接供應生產上的需要，也有進入給水預熱器使給水加熱後而壓入鍋爐。其餘蒸汽乃經其餘分級，排入凝汽器中，由於凝汽器中保持負壓力，亦作出機械功。

自汽輪機中間分級中抽出的蒸汽量，系決定于熱能用戶對於熱水和蒸汽的需要量。當抽出的蒸汽量甚多時，則進入凝汽器中的蒸汽量減少，由循環水吸去的热量亦減少，致熱損耗也不大，故現代熱電廠的效率有達60~70%之多。

由於熱能不能被送至遠距離地區，故熱電廠通常均建立於熱能用戶的附近，所產生的電能基本上是以發電機電壓（10仟伏以下）配電。為了饋電給遠地用戶，及與動力系統的電網相聯接起見，可添設電壓達35仟伏以上的升壓配電站。熱電廠之必須與動力系統并聯工作，乃為保證獲得最經濟的運行。

水力發電廠的建造地點系決定于水能最适宜的利用，故大量的水力發電廠乃距用戶甚遠。其生產過程如圖1-3所示。由堤壩1維持於高水位2的水，經水管4進入螺旋形機殼6，繼至水輪機轉子7，而後經洩水管11排洩到低於堤壩的低水位3。水自高

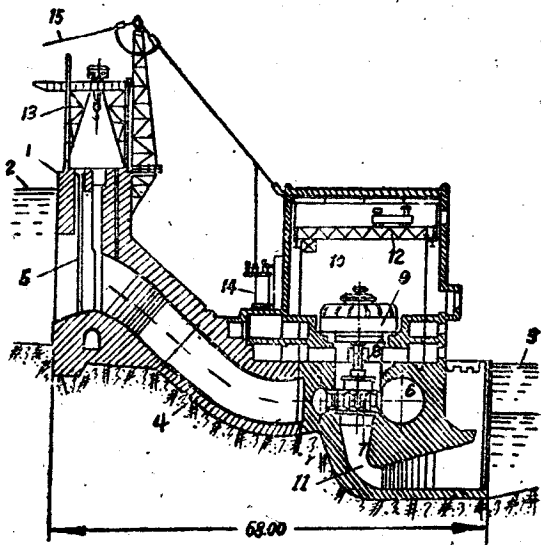


圖 1-3 水力發電廠的截面圖

水位流到低水位時，自獲得甚大的速度，並將能量傳給水輪機，而使發電機9轉動。

建造水力發電廠因土工及建筑工程範圍甚大，自較建造火力發電廠的費用為昂，投資額雖較大，但因運行費用較小，經過若干

年的使用即可被补偿，而獲得廉價電能，使國民經濟節約可觀的資金。他如因建造水力發電廠後以節省大量燃料，騰出裝載燃料的運輸工具作其他用途，改善河道航行，及有時可使乾燥地區獲得浸潤與便于灌溉，均為建立水力發電廠後獲得的後果。

發電廠的電氣部分，主要包括下列各項：

(1) 三相發電機，包括勵磁機、電壓調整器、電力變壓器、換流機以及廠用電所需的電動機。

(2) 配電裝置包括全部開關設備(隔離開關、刀閘、油遮斷器、自動開關、熔斷器)，測量用的各種儀表(安計、伏計、瓦計等)，儀用及保護用的互感器及電抗器。此種設備均為負荷而設，並與母綫相連，以便再作下一步的配電。

(3) 控制板上裝有發電機、變壓器和輸電綫的斷路控制設備，發電機、變壓器和輸電綫繼電保護裝置，全部電路的測量電計及開關設備的指示器等。

功率不大、電壓甚低的發電廠，其配電裝置與控制板合而為一稱配電板或配電盤。

准如前述，現代的工業用電，城市供電及其他電力用戶所需的電力，是由生產電能的火力和水力發電廠所供給，發電廠可處於用戶附近，也可距離很遠。電能系自發電廠經導綫傳至用戶，若用戶距發電廠甚遠，則電力的傳輸自應利用升高電壓的辦法。如是，在發電廠與用戶間，就須建立升壓和降壓配電站。

配電站的電氣部分，乃視電壓的高低而定。在大功率的高壓配電站，電壓為110~220仟伏，設備甚為複雜。主要包括電力變壓器、配電裝置和控制板。在近郊地區或鄉區，為節省建築費用，可將設備盡量裝於戶外，四周多留空地且圍以牆籬，以策安全。如在人煙稠密的區域，高壓綫路均用電纜埋置地下，其電壓以35仟伏為限。高壓電器如變壓器、油遮斷器等可能危及大眾，且防止受鄰近火災的損害，乃以採用戶內裝置，安置在特建的建築物內為宜。