

哈爾濱工業大學講義

工 廠 供 電

輸 配 電 教 研 室
蘇文成、裴鐘棣 編譯



1954

工 廠 供 電

輸 配 電 教 研 室

蘇文成 · 裴鍾棣 編譯

哈爾濱工業大學

1954

編譯者：輸配電教研室
蘇文成·裴鍾棣

出版者：哈爾濱工業大學

印刷者：哈爾濱工業大學印刷廠

1954 年 12 月 出版

前 言

蘇聯專家、副教授、科學技術碩士、Ф. П. 拉式可夫在我校電機系任教時曾為工業企業電氣化專業四年級學生講授「工廠供電專課」，本講義係根據專家講課筆記，由輸配電教研室教師蘇文成及研究生裴鍾棣二同志共同整理編譯而成。

內容包括：工業企業的負荷及其決定；工業企業低壓網絡及其構造；工業企業中的高壓網絡及車間變電所；工業企業的變流所；工業企業中的照明線路；工業企業無功功率的補償和維持及調整工業網絡的電壓等七部分。它適用於電機系工業企業電氣化專業工業企業電力裝備組四年級。學生在學習本課前，應已具有發電廠及變電所的電氣設備、電力網絡、照明、繼電器保護及電力傳動等的基本知識。

講義完稿後專家業已回國，故未能請專家最後審閱，編譯者限於業務水平，錯誤之處在所難免，望讀者指正，以便修改。

哈爾濱工業大學輸配電教研室

1954 年 12 月

目 錄

頁數

第一章 工業企業的負荷及其決定

一、網絡中各點之負荷及設計時需求之值	1
二、決定計算負荷的方法	2
三、計算負荷的輔助辦法	8

第二章 工業企業低壓網絡及其構造

一、評價接線圖合宜與否的準則	9
二、工業企業的低壓網絡	12
三、低壓網絡的接線圖	19
四、低壓網絡的構造	21

第三章 工業企業中的高壓網絡及車間變電所

一、高壓線路所應用的電壓	24
二、車間變電所	27
三、變電所數量及變壓器容量與數量的選擇	30
四、高壓——3KV, 6KV, 10KV——網絡所採用的線路圖	32
五、高壓——35KV——網絡所採用的線路圖	39
六、高壓網絡的構造	40
七、高壓網絡的計算	41

第四章 工業企業中的變流所

一、直流及高頻率的用電設備	42
二、變流設備	43
三、變頻設備	46

第五章 工業企業中的照明線路

一、照明設備	47
--------	----

二、照明系統.....	47
-------------	----

第六章 工業企業無功功率的補償（提高功率因數）

一、問題之實質及解決的基本原則.....	48
二、提高功率因數的可能辦法.....	50
三、無功功率發生器與線路連接的基本方式.....	54

第七章 維持及調整工業網絡的電壓

一、維持電壓水平的意義.....	55
二、在工業企業中電壓損失的允許範圍及可能的調壓辦法.....	56

第一章 工業企業的負荷及其決定

在進行工業企業供電的設計時，首先便是計算負荷，但是由於現代工業企業中裝備有不同性質的設備，其工作情況也各不相同，此負荷的決定甚為困難和複雜。

負荷之決定對於電器及載流部分的選擇有極大的意義。欲計算負荷，在設計時必需首先考慮負荷的目的及用途。

負荷之計算，必須使其：

- 1) 持續的通過載流部份及電器，使其發熱不超過容許的溫度；
- 2) 保持受電器端電壓在一定的水平。

一、網絡中各點之負荷及設計時需求之值

圖 1—1 為工業企業網絡之示理圖。由幹線供給不同容量及不同距離之電動機，並由車間變壓器供給照明負荷。但應指出有時為了使照明負荷不受電動機起動時負荷增大所引起的電壓偏移的影響，可用另一單獨的變壓器供給照明負荷。

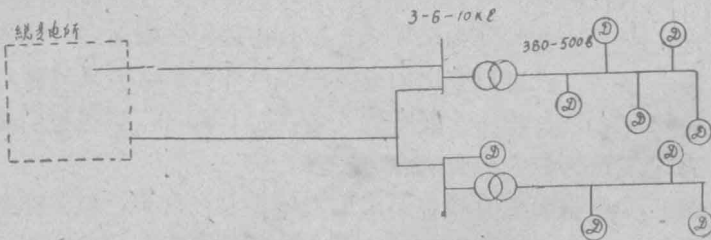


圖 1—1 工業企業網絡示理圖

如圖所示，下列各值必須在設計時加以計算：

- 1) 由幹線引出之分支線；
- 2) 照明及動力幹線；
- 3) 車間變壓器；
- 4) 高壓電路；
- 5) 全廠總變電所之變壓器。

但因工業企業之負荷隨時在擺動（Колебаться），尤其是在金屬加工企業中，由於其生產的特點，這種擺動尤其劇烈。欲求低壓端計算負荷——即根據溫昇採用的最大假想負荷——按照經驗一般是採用十分鐘負荷。高壓端因為電動機負荷並不會同時在最大負荷下工作，所以線路及變壓器的負荷計算時間為 30 分鐘，（對變壓器來說，變壓器油也有一定的冷卻作用，）故相對的容許過熱的時間長些。下表為全蘇電工研究院所公佈的導線溫昇的時間常數：

導線溫昇時間常數（分）

表 1-1

截面 mm^2	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
在管內敷設三根導線時	1.5	3	5	7	11	15	19	23	28	32	36	40
戶外敷設導線	1	2	3	4	6	7	9	12	12	18	21	21

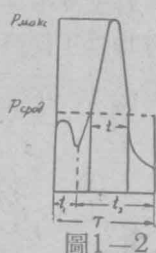


圖 1-2

$T=10$ 分鐘 $t_1=3$ 分鐘 $t_2=7$ 分鐘 $t=5$ 分鐘

按照負荷曲線決定 10 分鐘平均負荷，

以此平均負荷選擇相當的截面。

如負荷擺動愈大則平均負荷愈小，導線截面愈小；

如時間如上所示，按負荷選出之截面為 10mm^2 ，則由表可以查出如導線設於戶外，相當於此截面之導線溫昇時間常數僅為 4 分，而 $t=5$ 分。這樣會引起導線的

過熱，故需要選擇較大截面的導線。

由表可知小截面之導線不適用於擺動甚大之負荷，但工業企業的導線一般來說均不很小，所以利用 10 分鐘作為計算負荷的時間是比較適合的。

對照明負荷而言，因考慮到電壓降落程度對照明度的影響，一般應考慮到電動機的起動負荷——即具有最大電壓損耗及處於最繁重工作情況下的負荷。

二、決定計算負荷的方法

1) 圖解法——用負荷曲線求

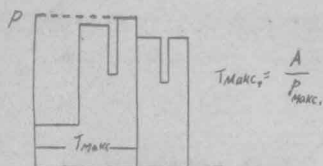


圖1—3按照負荷對時間
變化所繪的負荷曲線

圖中： $T_{\max}$ год (сут) 年 (日) 最大負荷利用時間
 A год (сут) 年 (日) 消耗能量
 $P_{\max}$ 年 (日) 最大負荷

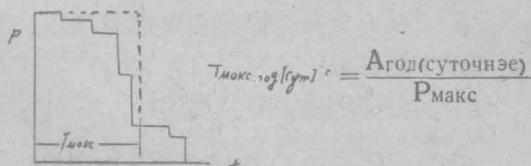


圖1—4按照負荷使用時間
所繪的負荷曲線

如已知某一受電器——電動機——的負荷曲線，則甚易得到其計算負荷。

但因負荷曲線決定負荷是很少採用的，原因是如受電器很多且工作情况互不相同時，將使負荷之計算甚為複雜。

2) 分析法

а) 照明負荷：當所需之照明度為已知，決定計算負荷並不困難，但因考慮所有照明受電器（主要是白熾燈）並非在同一時間內投入，故計算負荷與設備負荷間有一係數稱為同時利用係數，此係數可以下式表示：

$$K_{\text{одн}} = \frac{P_{\text{расч}} \cdots \text{計算負荷}}{P_{\text{уст}} \cdots \text{設備容量}}$$

根據經驗及統計得知，同時利用係數在以下各具體情況下之近似值

表 1—2

種	類	$K_{\text{одн}}$
對獨立的、大而集中的生產場所		1—0.95
對於小而分散的生產場所		0.9
辦公室、實驗室等場所		0.8
倉庫		0.5
戶外照明		1

6) 動力負荷: 根據多年來的經驗, 對電動機組計算負荷的決定, 需要以下的係數:

$$\text{如 } P_{\text{прис}} = \frac{P_{\text{уст}}}{\eta_{\text{лв}}}$$

式中: $P_{\text{прис}}$ ——連接功率, 即電動機需要網路上供給的功率;

$P_{\text{уст}}$ ——電動機的設備功率, 即電動機軸上能够帶動之功率;

$\eta_{\text{ов}}$ ——電動機的效率。

如電動機距幹線甚遠, 尚須計及線路上損失之功率, 即

$$P_{\text{потреб}} = \frac{P_{\text{прис}}}{\eta_{\text{сеть}}}$$

如電動機非在滿負荷下運轉, 且一系列電動機也非同時使用則

$$P_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot K_0 \cdot K_3}{\eta_{\text{лв}} \cdot \eta_{\text{сеть}}} \quad K_0 \text{——同時利用係數 } K_3 \text{——負荷係數}$$

$$\frac{K_0 K_3}{\eta_{\text{лв}} \cdot \eta_{\text{сеть}}} = K_c \text{——需要係數}$$

要決定大量係數是非常困難的, 因為輔助因數無法確定, 因此一般以從經驗中得來之 K_c 決定計算負荷。

具有代表性的負荷其需要係數範圍

表1-3

類別		K_c	$\cos\varphi$
用單獨傳動裝置 之金屬加工工廠	熱加工車間(流水作業)	0.27	0.65
	冷加工車間(流水作業)	0.2	0.65
	冷加工車間(單一作業)	0.18	0.65
通風設備		0.7—0.65	0.8
經常運轉之運輸機		0.5—0.65	0.75
電阻加熱爐		0.8	0.95
電鐸機		0.35—0.9	0.35—0.6
生產車間照明		0.8	1

對整個企業而言的需要係數範圍

表1—4

企 業 別	K _c		年最大利用小時數 T _{max}
	平均值	範 圍	
重型機械製造工廠	0.25	—	—
機床製造工廠	0.13	0.12—0.16	3820
儀表製造工廠	0.18	0.17—0.18	—
工具製造工廠	0.2	0.18—0.26	3520
電機工廠	0.23	0.17—0.28	4980
金屬切削工廠 平均值	0.2	0.12—0.28	4380
化工廠	0.28	0.17—0.38	5800
鋸木工廠	0.19	0.14—0.30	2440
製鞋工廠	0.43	0.4 —0.52	3150
糖果工廠	0.33	0.22—0.41	4400
絲織工廠	0.44	0.39—0.51	4240
毛織工廠	0.48	0.37—0.56	5470
紡棉工廠	0.5	0.43—0.6	4500

由上表可以得出以下的結論：

(1) 如已知設備容量則甚易求得計算負荷；

(2) K_c 的範圍很大，故求得之計算負荷並不準確，應以其他方法加以校驗；

(3) K_c 值甚低，過去曾有的設計師不管這一點，因為他不相信計算負荷會這樣低，因此設了較實際容量需要大得多的設備以致形成浪費。K_c 低的另一方面表示電氣自動化的程度高，例如一個機床上有一百

多個電動機決不可能同時開動的。

在企業中決定動力負荷時，考慮到計算負荷與動力負荷（電動機台數）的關係，可知：

(1) 如電動機之台數甚多，則計算負荷之變動可以認為較少；

(2) 如電動機中有數台較大容量的電動機，則他們工作情況的變化與計算負荷關係很大。

根據此一觀點出發，計算負荷可以下列二項式求得：

$$P_{\text{расч}} = aP_5 + bP_{\Pi-5}$$

式中 a, b與生產特性有關之係數；

P_5五台容量最大的電動機的總容量；

$P_{\Pi-5}$其他電動機的總容量。

於是 $P_{\text{расч}} = aP_5 + b(P_{\Pi} - P_5) = (a-b)P_5 + bP_{\Pi} = cP_5 + bP_{\Pi}$ 。

$$K_c = \frac{P_{\text{расч}}}{P_y} = \frac{P_{\text{расч}}}{P_{\Pi}} = c \frac{P_5}{P_{\Pi}} + b。$$

採用五台容量最大的電動機，並不是對所有用電設備都是適宜的，故上式可改寫為

$$P_{\text{расч}} = cP_x + bP_{\Pi} \quad \text{及} \quad K_c = c \frac{P_x}{P_{\Pi}} + b。$$

式中 P_x 相當於 x 台最大容量電動機的總容量。

對金屬加工工業..... $x=5$

對反覆短時工作制的電動機..... $x=3$

對電爐..... $x=2$

對焊接設備..... $x=1$

$$K_c \text{ 又可寫為 } K_c = \frac{cP_x \cdot x}{P_{\Pi} \cdot x} + b$$

$$\text{令 } \frac{xP_{\Pi}}{P_x} = n_3 \text{.....電動機等價數目。}$$

根據上式以決定需要係數。

計算係數 b 與 c

表1-5

用 電 設 備 類 別	x	b	c	$\cos\varphi$
大批生產及流水作業的熱加工車間機床	5	0.26	0.5	0.65
大批生產的金屬冷加工車間的機床	5	0.14	0.5	0.5
同上，但為小批生產故單一生產	5	0.14	0.4	0.5
通風機、水泵和電動發電機	5	0.65	0.25	0.8
連續運輸機	5	0.4	0.4	0.75
械鍋爐房、修理車間、裝配車間和機械車間內的吊車（ ΠB 值=25%時）	3	0.06	0.2	0.5
連續工作的電氣加熱爐，附有輸送製品的自動裝置	2	0.7	0.3	0.95
同上，無輸送製品的自動裝置且週期的進行工作	1	0.5	0.5	0.95

為了計算負荷有所富裕，故計算值較之實際觀查值約大 10—15%。

此法求得之計算負荷較為精確，但總為近似值，故求得之計算負荷值，尚須以前所提及之需要係數加以校驗，如相差甚大時，則應考慮負荷的特殊性及計算的準確性。

實際經驗，金屬加工工業以上式計算 $P_{\text{расч}}$ 頗為合宜，但對於電鉗設備而言，因其負荷變化甚為複雜，一般可利用需要係數 (k_c) 值加以計算。

(3) 無功計算負荷之計算方法

以上所考慮均為有功負荷之決定方法，事實上在工業企業中也需要無功負荷，無功負荷增加了線路的電流，影響電器及電機的設備容量，故必須加以考慮。

決定無功計算負荷與決定有功計算負荷之方法相同，即圖解法及分析法。

根據已決定的有功計算負荷，假定 $\cos\varphi = \text{常數}$ ，則可求出 Q

$$Q = p \tan \varphi$$

如利用係數 b , c 時, 則

$$Q_{\text{расч}} = c P_x \tan \varphi + b P_n \tan \varphi$$

(4) 確定車間負荷

考慮到各用電設備組中的大容量電動機不會在同一時間工作的, 故

$$P_{\text{расч. сум}} = c P_x \tan \varphi = \Sigma b P_n$$

$$Q_{\text{расч. сум}} = c P_x \tan \varphi = \Sigma b P_n \tan \varphi$$

式中 $c P_x$ 各組間 $c P_x$ 的最大值。

總之, 由於目前電氣化的發達, 電動機的功率不能充分利用, 於是功率因數大為惡化, 圖 1—5 示出電動機負荷與其功率因數的關係。

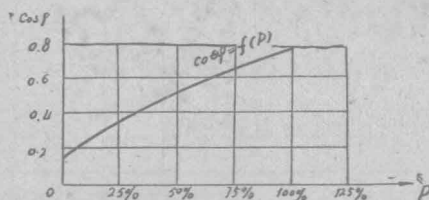


圖 1—5 電動機負荷與功率因數之關係

因此將增加電壓損耗及選擇有較大額定電流的電器等。在蘇聯要求企業將功率因數自行改善, 並給予功率因數在 0.75 以上的企業以減價而低於 0.75, 則採取多付款的辦法, 這樣, 可將功率因數提高至 0.85 左右。

根據統計結果, 工廠網路有功功率損耗不大, 約為 3%—4%, 但無功功率損失約為 11% 左右 (主要是變壓器的影響), 故應特別注意。

三、計算負荷的輔助辦法

1) 按照技術生產圖表決定計算負荷, 對於大批生產的近代化工業, 其詳細生產過程圖事先已知, 因此, 便可以繪製負荷曲線。

2) 單位產品消耗電能決定計算負荷, 下表列出若干產品每單位產量所需之電能:

紡織工廠	40千瓦小時/噸
有色金屬	
電解鋁	18000—20000千瓦小時/噸
黑銅	4000千瓦小時/噸
銅礦，生銅	35—40千瓦小時/噸
黑色金屬	
生鐵	65—150千瓦小時/噸
鐵錳合金	2000—3000千瓦小時/噸
化學—硫酸	70—120千瓦小時/噸
燃料	
無煙硬煤	16—17千瓦小時/噸
褐煤	10—12千瓦小時/噸

如已知本企業某種產品之年產量，則可算出年能量消耗 A 。

如已知企業之類別，則甚易查得本企業之 T_{max} （最大負荷利用時間），

$$\text{於是 } P_{\text{max}} = \frac{A}{T_{\text{max}}}$$

3) 一平方公尺單位生產面積所需負荷，計算照明負荷時多予採用，計算動力負荷時，因此數甚不準確，故僅可給出一個範圍而已。

第二章 工業企業低壓網絡及其構造

一、評價接線圖合宜與否的準則

接線圖之合宜與否，係根據企業之具體情況，對技術保安之要求、可靠的程度、經濟等指標而定，實際上所見到之若干規定，均既屬可靠性的要求，也為經濟性所需要。

例如橡皮絕緣導線之持續溫昇不得超過 55°C ，這樣，則一方面使線路不過熱，另一方面導線壽命得延長，故可靠性與經濟性間具有不可

分割之關係。

不得認為可靠即「堅固」，很難設想欲以巨大之投資，興建一二百年不致毀壞之供電線路，所謂「可靠」即供電之不可間斷，如敷設雙迴線路等。

蘇聯在負荷之可靠性方面分為以下幾類（係根據企業之不同要求而區別）：

A. 第 I 類負荷用戶（必需有二個獨立電源）：供電絕對不可間斷，因其中斷將引起人身事故，設備損壞、產品報廢，需很長時間才能恢復，又可分為兩類：

a. 完全不能中止供電，如高爐供冷却水；

6. 可停止數分鐘，值班人員可進行必要的事故切換（如電解鋁）。

B. 第 II 類負荷用戶：停電引起顯著減產、機器停車、工人窩工（如產量極高的紡織廠），但是否需要備用，需視具體情況而定。

B. 第 III 類負荷用戶：不屬於上述兩類者，如水泵吸水灌溉、房內通風器（不僅因為它是不主要的負荷，而且其損壞的可能性較線路更大）。

雖有以上之分類，但也應根據具體情況予以分析及考慮。

在經濟性方面，因裝置可在各種不同之組合方式下工作，因此必須選擇其適合於最經濟之條件。運轉中經濟問題很是重要，但在設計時，經濟性之要求更是重要。

設計供電系統時，經常需考慮下列各項費用：

①設備折舊費；

②修理維護費；

③工人工資；

④電能損失。

在設計時可對不同之方案進行比較。

a. 設備折舊費與材料或電器之壽命有關。例如：

絕緣子……………8—10年； 變壓器……………15—20年；

未經油浸之木塔…5—10年； 經油浸過之木塔…15—25年。

6. 修理費用係根據每年提出之計劃決定，設計時頗難計算，但可以設備費用之百分數（2%）加以估計。

B. 僅需比較不相同之項目。

關於網絡設備折舊費及常年修理費計算之數據 表2—1

設 備 名 稱	折舊費計算之百分數	常年修理費計算之百分數
處理過的木桿架空線	5.5%	3%
高壓電鑽	3.5%	2%
變壓器	3.5%	1.5%
電廠及變電所之電氣設備	7.0%	3%

此僅為近似值，但以其進行經濟比較已經可以了。

如現有兩種方案計算結果如下：

第 I 方案

第 II 方案

$K_{ел}$ （一次投資）

$K_{ел2}$

$K_{еж2}$ （年運轉費）

$K_{еж2}$

如 $K_{ел} > K_{ел2}$, $K_{еж1} > K_{еж2}$, 在相同可靠的前提下，當然無疑的選擇第二種方案。但如

$K_{л1} > K_{ел2}$ 而 $K_{лж1} < K_{еж2}$

則需以購買年數加以決定，此式乃一經驗式，並無理論根據。

$$K_{окуп}（購買年數） = \frac{K_{ел1} - K_{ел2}}{K_{еж2} - K_{еж1}}$$

此即告知在一次投資方面多花之錢可在若干年後，以運轉費之得益而收回。

如在此方案中 $K_{окуп} = 2$ 年 則採用第一種方案較合適。

$K_{окуп} = 15$ 年 則採用第二種方案較合適。

一般 $K_{окуп}$ 在五年以內採用一次投資費用大者。

在十五年以上採用年運轉費用大者。