

路綫電力問題

設計與敷設問題

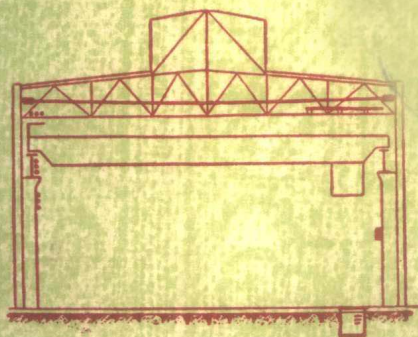
Г. М. 康諾林 M. K. 夏傑夫

原著

林啓榮 林啓華

章長東 樓朝城 徐蘊璋

合譯



中國文化·作者·長城·電科·實電·合併組織

上海機電南書出版社

路 線 電 力 車 間

設 計 與 敷 設 問 題

Г. М. 康 諾 林
М. К. 夏 傑 夫
原 著

林 啓 榮 林 啓 華
章 長 東 樓 朝 城 徐 蘊 璋
合 譯

上 海 機 電 南 書 出 版 社

一 九 五 四 年 四 月 • 上 海

車間電力線路設計與敷設問題

定價：18,000

原 著 者：Г. М. 康 諾 林
M. K. 夏 傑 夫

譯 者：林 啓 榮 林 啓 華
章長東 樓朝城 徐蘊璋

出 版 者：上海松電商書出版社
上海中山東二路九號四四室

印 刷 者：文 明 印 刷 廠

裝 釘 者：北 中 興 裝 釘 所

發 行 者：上海松電商書出版社
上海中山東二路九號四四室

書號：3-020

25開本·76頁·112千字

印數：1-2,000

1954年4月初版

上海市書刊出版業營業許可證出073號

本書係根據蘇聯國立動力出版社(ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО)出版的康諾林(Г. М. КНОРРИНГ)與夏傑夫(М. К. ХАРЧЕВ)所合著的“車間電力線路設計與敷設問題”(ЦЕХОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ)一書譯出。本書對車間電力線路的設計與敷設中的關鍵問題,都有比較詳盡的敘述,並且指出這些問題的近代趨勢和將來可能的發展方向,特別是有關於負載的計算,無效負載的補償,以及經濟的電流密度等問題。

譯 序

在工業企業的整體設計中，供電設計是不可分離而又相當重要的一部份。

工業企業內車間電力及照明線路的設計，是整個供電設計中重要環節之一。車間線路設計及敷設的不當，不但會直接造成國民經濟資財的浪費，並且還會影響到將來的生產及其擴展；同時，正因為工業企業是發電廠的大用戶，企業內車間負載的計算、無效負載的補償以及線路的損耗等都會反映到發電廠的設備容量及其發電量上。

這本書對車間電力線路的設計與敷設中的關鍵問題，都有比較詳盡的敘述，並且指出這些問題的近代趨勢和將來可能的發展方向，特別是有關於負載的計算、無效負載的補償以及經濟的電流密度等問題。

這本書的寫作不但處處注意到如何來減少導電金屬的消耗、電能的損耗以及全年的運用費用，同時也考慮到如何使按裝工作簡化和工業化，這些觀點在我國進行大規模經濟建設的今天，更其切合需要。因此，這本書可以說是工業企業供電的技術人員和學生們的良好讀物。

本書初譯稿早在去年即已寫就，但因反覆校譯，延至今日始行付印，其中疏誤處仍所難免，希望讀者隨時指出。

譯 者 一九五四年三月·上海

原 序

近年來，車間電力線路的設計方法與敷設技術曾有重大的變化。工程技術在這方面的活動是探索新的解決方法，使其儘量滿足對於現代化車間線路所提出的要求，那就是可靠、靈活、經濟以及可能用工業化方法來敷設。電源電壓及容量的選擇、負載的確定方法、樹幹式系統的應用和母導線的利用等問題就因這種緣故提出而解決的。

所有這些問題在目前仍然還是急待解決的，再者，如果所提出的某些解決方法已在某種程度上成為通用的話，可是另一些則相反地仍舊帶有值得討論的性質，例如究竟要按經濟的電流密度來選擇導線呢，還是要採用“統一式線路”。

本書著者——在車間線路合理建造的技術探討方面是目睹者，而且有些還是直接參與者——認為使廣大的電工技術員熟悉探討的基本方法和結果是有益的。同時，著者並不想編著車間線路設計及敷設方法的完備指南，而把自己的任務局限於研究許多個別的問題，雖則這些問題彼此間都因命題及目的統一而密切連系着的。

在某些討論的問題上，著者也表示過私人的意見，有關這些每次都有適當的說明，而相反的，對於技術文獻已經廣泛闡述的問題，例如關於車間線路的計算問題，即使相當重要，也不加以討論。

在編著本書時，著者曾經利用到 Г. М. 卡耶洛夫、С. М. 利夫希茨、Д. С. 利夫希茨、В. А. 波利亞可夫、М. С. 利亞波夫、Н. А. 洛夫芝柯等人的著作。

在研究統一式線路、分級截面線路以及照明負載的供應諸問題時，
O. B. 德摩霍夫斯卡亞曾經參加過工作。

著 者

目 錄

譯 序

原 序

第 一 章	電氣負載.....	1
第 二 章	車間線路的電壓.....	23
第 三 章	車間變電所.....	29
第 四 章	車間電力線路結線的方式.....	45
第 五 章	照明負載的供電.....	60
第 六 章	變壓器的並聯運用.....	69
第 七 章	無效負載的補償.....	78
第 八 章	經濟電流密度.....	94
第 九 章	統一式線路.....	104
第 十 章	分級截面的線路.....	116
第十一章	車間線路按裝工作的工業化.....	127
第十二章	車間線路的結構.....	131

第一章 電氣負載

近代的工業企業裝置有特性迥異、運用情況各不相同的設備。在這種情況下，每組線路的電氣負載係由數目或多或少、變化規則不同的變動負載的總和來確定的。在大多數情況下，負載變化的規則不可能用算式表出。情況較好時，各別受電設備的負載曲線和電能消耗率係屬已知。這時，負載總和問題也祇能藉或然率理論和數學統計法求得近似的解答。

類似的解答常常用分析長期觀察到的各組線路的負載曲線並在相似的情況下選擇某種確定負載的經驗公式來代替。這時，引起的問題不但是如何決定計算負載的大小，並且是應該怎樣去了解“計算負載”。

的確，一方面我們必須決定在任何情況下線路中所不能容許超過的最大電壓損失；另一方面還要尋求負載的數值，使和車間或工段的運轉時數相乘後能得到負載所消耗的電能；第三方面是決定全年線路中所損耗的能量；而最後第四方面，亦即最普通的情況，應該選擇導線的截面，以防止不容許的過熱。正因選擇電源、線路形式以及導線與電纜的截面和負載的大小有關，確定計算負載更具有重大的意義。計算負載估計過低可能使設備元件損壞加速、有過熱危險以及損耗過量電能；而估計過高又必然造成國民經濟資財的浪費。

以下我們簡略地談到近代確定負載的方法，並提及解決這個問題的新的可能性，以便從發熱情況來計算車間線路的導線和電纜的載流容量，以及計算線路中的電能損耗等。

必須指出，在企圖建立確定負載的統一方法時，我們必須考慮到不同生產部門的特徵。例如，在造紙和紡織工業中，各別機器的負載曲線便以比較穩定和均勻著稱。此外，在這種類型的工業中，也有電能消耗率的定額，這使確定負載的工作容易得多。

金屬加工和相類似的車間的情況便比較繁複。這裏，首先我們有特性極不相同的受電設備：長時運用的電阻爐和通風機，反覆短時運轉的起重機電動機和弧焊機，特性曲線極不相同的單獨傳動金屬切削機床用的電動機等；其次，甚至對於個別即使是十分典型的機床，也很難說出肯定的負載曲線或電能消耗率，因為不管是那一種，不但都和機床的型式有關，也和時常變動的生產部門的特徵有關。

確定工業企業負載的問題，很早就引起蘇維埃科學家和工程師們的注意，很多著作討論到這個問題，這些著作大半刊登在雜誌上*。

確定金屬加工和相類似的車間的負載比較繁複，並且這類車間在工業上的比重較大，因而已有著作的極大部份都可應用到金屬加工車間。

最近幾年來，負載計算方法的進一步研究和深入以及工業企業的調查工作都有很大程度的發展，其目的在要明瞭負載的實在數值。

在實際計算車間線路的導線和電纜的載流容量時，曾有幾種確定計算負載的方法，這些方法大多數係根據受電設備的設備容量和它們需要係數的對應值

$$k_c = \frac{P_p}{P_n}, \quad (1)$$

式中：

P_p ——最大的計算負載，瓩；

P_n ——受電設備的設備（額定）容量，瓩。

* 應當指出，有關這一問題的國外文獻非常貧乏。

在這些方法中，最常用的是藉二項式的經驗公式來確定負載的方法，該方法早在 1937 年已由 Д. С. 利夫希茨提出，當時只用於金屬切削機床的電動機，其後又推廣到其他許多種的受電設備上（起重機電動機，泵和通風機電動機等）。

這種確定計算負載的方法〔參看文獻 1〕係根據下列的公式：

$$P_p = aP_{n_x} + bP_{n-n_x},$$

$$\text{或} \quad P_p = cP_{n_x} + bP_n, \quad (2)$$

式中：

a, b 和 c ——係數，對運轉狀態相同的任何受電設備組都是常數；

P_{n_x} ——該組中容量最大的 n_x 部電動機的設備容量總和；

P_n ——該組全部受電設備的設備容量總和。

已經說過，利夫希茨公式係經驗公式，不能用分析法來求得，但其中所包含的係數，却都具有一定的物理意義。

對一組具有 n 部容量相同的受電設備，從公式 (2) 可以求得需要係數 k_c 的公式：

$$k_c = b + \frac{n_x c}{n}, \quad (3)$$

而對於一組 n 部容量不同的受電設備，

$$k_c = b + \frac{n_x c}{n_j}, \quad (4)$$

式中，

n_j ——該組受電設備的有效數目（化為最大受電設備的平均容量），約等於 $\frac{P_{n_x} n_x}{P_n}$ 。

公式 (3) 和 (4) 係等軸雙曲線的等式。按照這些等式，在 n 趨向 ∞ 時，需要係數接近於係數 b 的數值；因此，係數 b 可看作某一定運轉狀

態下受電設備數目極多時的需要係數，並且它的數值接近於設備容量的利用率

$$k_u = \frac{P_{cp}}{P_n}, \quad (5)$$

式中，

P_{cp} ——在負載最大班次中的平均負載。

這是係數 b 的物理意義。

在某一受電設備組中，所採用的受電設備數 n_x 愈多， k_c 曲線的斜度也愈大。

二項式中係數 a 、 b 和 c 的數值係根據對運轉狀態相同的任一受電設備組的調查數據來確定的，確定時應使按照長期容許負載等於計算負載所選擇的導線不至

於過熱而超過所容許的溫度，除開因短時過載所生的不大過熱以外。

因此，決定最大計算負載的問題變成爲尋求計算“熱度”極限的問題。爲此目的，把電氣按裝總局系統內所進行關於工業企業負載調查的相當多資料整理如下。

對運轉狀態相同的任一受電設備組，從電度表每隔十分鐘的記錄數字，繪出在最大負載班次中每十分鐘平均負載的梯級形負載曲線，按照該曲線以及根據所觀察的功率因數的加權平均值 $\cos \varphi_{op.ave}$ 和預先

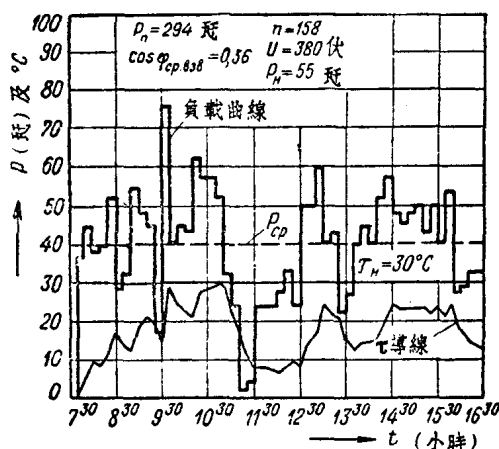


圖1. 機床電動機組的負載曲線

選好與導線截面積及種類相對應的發熱時間常數，可以確定出導線的發熱曲線。圖 1 所示的便是根據調查材料用類似方法所繪得的三相線路負載曲線的一例；該線路供給工具車間傳動機床所用的電動機，其功率因數的加權平均值等於 0.56。在同一圖形中繪出根據下式所得到的 380 伏供電線路導線的發熱曲線，該導線為絕緣導線，截面積 50 平方公厘，並且安放在煤氣管中（發熱時間常數 $T=23.5$ 分）。

$$\tau = \tau_s \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}},$$

式中：

$e=2.718\cdots$ （自然對數的底）；

τ_0 = 最初的過熱度^{*}；

τ_s = 對某一負載下的穩定過熱度。

對任一負載 P 的穩定過熱度 τ_s ，可由下式求得：

$$\tau_s = \tau_n \frac{P^2}{P_n^2},$$

式中， τ_n —— 當功率因數值已知時，所給導線在長期容許負載 P_n 下的穩定過熱度（例如當周圍溫度為 25°C 時， $\tau_n=30^\circ\text{C}$ ）。

從所得的發熱曲線看到：導線的過熱度不應超過額定的容許溫昇，但同時又接近於該值。這樣，所選擇的導線截面積，可認為適合於已知的負載曲線，或者說適合於這種導線截面積的額定長期容許負載 $P_n=55$ 瓩——該值可認為相當於“受熱值”或計算負載的最大值。

如果所繪得的發熱曲線和所容許的過熱度數值相差過大時，必須選擇另一導線截面，並重繪發熱曲線。

按照上述方法，從受電設備組已給的負載曲線所得到的計算負載

* 按過熱度即指溫昇——譯者。

的最大值和該組的設備容量，可以求得需要係數。這樣，從同一運轉狀態而為數不同的各受電設備組的夠多調查中，確定出一系列的需要係數，這些係數和受電設備有效數目的關係，用“點”在同一圖形上表出。經過這些點繪出需要係數的曲線，並按之選擇係數 a 、 b 與 c 以及 n_x 的數值。

這種從整理調查材料所得到有關計算負載(瓩)的二項式，特別是對於小批和單獨生產的機床電動機組的二項式，如下所示：

$$P_p = 0.4P_5 + 0.14P_n,$$

式中， P_5 ——該組中五部最大機床的設備容量，瓩。

這時功率因數的計算數值採用 0.5。

如果運轉狀態不同的諸受電設備組，有類似於上式的許多二項式時，要求得供應該諸受電設備組線路元件的總計算負載，可先求有關各計算式中第二項 bP_n 的和，再加上各組中第一項 cP_{n_x} 的最大值：

$$P_n = (cP_{n_x})_{\text{最大}} + \Sigma bP_n. \quad (6)$$

上述計算負載的確定方法雖然採用頗廣，但還未能認為具有完全的理論基礎，以及可以滿足線路計算的所有實用問題。

首先，由二項式所決定的計算負載值是有條件的，它祇能根據發熱的情況來選擇線路的各元件，既未能考慮到線路中的電壓損失，又未能考慮到電能的損耗及其用量。

因之，這種負載也不能用作按經濟的電流密度（考慮到電能的損耗）來選擇導線截面的根據。此外，從調查資料來決定公式中計算係數的方法本身便沒有很大的準確度，因為它所根據的是從許多受電設備組的各別 k_0 的混合圖形所繪得的需要係數曲線，而這些受電設備組的運轉狀態即使相同，但其利用率 k_u 則完全不同。

應用曲線方法在某種程度上可以保證：當受電設備的工作情況與

調查時的情況符合時，負載不會超過計算所得的數值，但不能肯定說負載就等於計算的數值。因此，這方法基本上給出較高的負載數值。

再則，確定“受熱”限值所用的 k_c 的計算公式 (3) 與 (4) 祇能表示出 k_c 和受電設備的 $\frac{n_x}{n_3}$ 比值間的函數關係，而沒有考慮到導線發熱時間常數的變化；而該常數則決定於許多的因素：導線的材料、截面積、形狀、敷設情況和絕緣材料。

計算公式也沒有考慮到這樣的情況：即當線路的電壓不同時，同一負載下的計算電流、以及導線的截面積與其發熱時間常數也將不同。

除了上述藉二項式確定負載的方法外，B.A. 羅森柏格所建議的方法在當時也應用頗廣，該法係根據下述有關受電設備組的 k_c 的公式：

$$k_c = k_M k_u = k_M \frac{k_\theta k_3}{\eta_{cp}}, \quad (7)$$

式中：

k_M ——最大係數，等於 $\frac{P_p}{P_{op}}$ ；

k_u ——設備容量的利用率；

k_θ ——受電設備的平均接用係數；

k_3 ——受電設備的平均負載係數；

η_{cp} ——受電設備的平均效率。

根據或然率的理論，已經有最大係數 k_M 和受電設備有效數目 n_3 間的關係曲線，這些曲線係按照不同的利用率 k_u 與不同的最大計算負載數值（十分鐘、三十分鐘以及一小時的最大負載值）求得。

當利用率的數值等於二項式中的係數 b ，而受電設備的數目又相當多時，從羅森柏格方法所得的計算負載數值實際上就和二項式方法所得的相同。但在確定數目衆多、容量以及運轉狀態都不相同的受電設備的總計算負載時，它較二項式方法為繁。由於這樣，在實際確定工業

線路的計算負載時，本方法未能進一步發展以及獲得廣泛採用。

利用二項式法以及到目前為止所用的其他確定計算負載方法的缺點，很自然地會使人感到必需探求分析負載的新方法以及探求計算工業線路方法的理論根據。

近來有許多著作討論到這個問題〔參看文獻2〕，其目的在於闡明線路計算時所需的物理參數，並在實際企業中加以校核。以下簡單說明這些在確定工業線路負載的分析與理論根據的範圍內的新方法。

為了更加明瞭起見，我們必須討論到負載曲線的幾種特性，這些特性係根據近年來在電氣按裝總局組織 МСПТИ 內所進行的許多工業企業調查而發現的。

首先，這些調查的資料指示出：三相受電設備組的總負載曲線有相當穩定的功率因數值，它和負載的脈動程度無關；因之，在實用計算上，功率因數可以看作常數，而和負載無關。由於這樣，有效及無效負載（功率）曲線和負載電流的曲線彼此相似。要分析曲線，特別是要確定負載的有效電流（均方根值）和繪出導線的發熱曲線，祇要根據有效負載曲線便夠。

圖2所示的為機床製造廠機械車間內機床電動機組的有效負載特性曲線，該組的總設備容量為287瓩，機床總數為75部，而 $n_0=45$ 。該曲線祇根據日班工作時間內（不考慮午飯歇息時間）電度表每十分鐘所記錄的讀數繪出。

除開十分鐘內平均負載的最大值 P_{10} 外，圖中也表示出三十分鐘內平均負載的最大值 P_{30} 。

在該班內負載曲線的旁邊，繪出與之對應的十分鐘平均負載的連續曲線，亦即按照負載座標減小次序所整理得的曲線。

用光滑的曲線來代替梯級形的連續負載曲線時，我們看到該曲線

極近於一條直線，因而得到了一個梯形。該直線的等式可以下式表示：

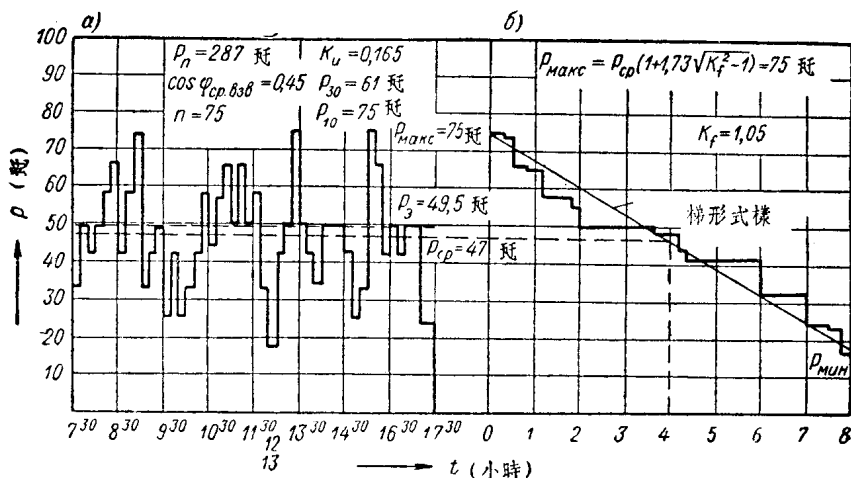


圖2. 機械車間機末電動機組的負載曲線

a—日班曲線 б—繪成連續的曲線

$$P = P_{max} - \frac{(P_{max} - P_{min})}{T_c} t, \quad (8)$$

式中, T_c ——每班所經的時間(一週期), 在我們所研究的情況中等於八小時。

因為

$$P_{cp} = \frac{P_{max} + P_{min}}{2},$$

等式(8)也就可以化成下式:

$$P = P_{max} - \frac{2(P_{cp} - P_{min})}{T_c} t. \quad (9)$$

分析許多負載曲線後得出: 這種連續曲線的相似形狀是所有運轉狀態截然不同的受電設備的總曲線的特性。這可用下述的理由來解釋: 即使為數不多的受電設備的總負載曲線一般也都沒有中斷的地方; 同