

低壓導線和電纜 截面的選擇

蘇聯 弗·弗·伏隆佐夫著
張 蓋 楚譯
何 志 方校

燃料工業出版社

PDG

目 錄

原作者的話.....	2
第一節 為什麼要計算導線及電纜的截面.....	4
第二節 用電設備及其工作條件.....	7
第三節 線路的電力負荷之計算.....	10
第四節 根據溫昇選擇導線及電纜截面.....	21
第五節 導線及電纜的電阻線路中的電壓損失.....	29
第六節 根據直流及單相交流線路中的電壓損失 計算導線截面.....	36
第七節 三相交流線路中的導體截面之確定.....	47
第八節 根據電壓損失計算導線及電纜截面的簡 化方法.....	54
第九節 根據電壓損失選擇鋼（鐵）導線截面.....	57
第十節 允許電壓損失值的選擇.....	60
第十一節 選擇導線及電纜截面的實際指示.....	62
第十二節 線路計算示例.....	63
附 錄.....	70

原作者的話

本書以生產企業、住宅及小型市鎮的電工為對象。

編撰本書的目的，在於使電工能在技術上正確地計算普通電氣線路導線和電纜的截面，首先是計算簡單的屋內及屋外線路。

對於在工廠藝徒學校以及初等技術學校中受過理論教育的電工來說，掌握書中所敘述的計算方法是毫無困難的。同樣，對於學過相當於基礎技術班程度的電工學理論基礎^①以及很好地掌握初等代數學^②的電工——實際工作者，本書也是適用的。

根據上述目的，作者寫本書時力求其簡明易懂，但盡可能不降低理論水平。

本書第二版（本版）與第一版相比，有較大的修改，而且某些部分是重新寫過的。

目前，當在蘇聯正建設共產主義社會、消滅體力勞動和腦力勞動間的差異的時期，蘇聯的電工們，無論是城市或鄉村的電工，均應不斷地提高自己的技術水平，掌握技術知識。

在蘇聯，正在廣泛地展開使集體農莊和國營農場電氣化的工作。許多加盟共和國和省區的農業已經達到了全部電氣化的水平。但是，在蘇聯電氣工作者面前還擺着使農業進一步電氣化的巨大任務。在伏爾加河上所建設的巨大水力發電站——容量為2 000 000瓩的古比雪夫水力發電站和容量為1 700 000瓩的斯大林格勒水力發電站，每年將供給農業

5 000 000 000 度的電力。此外，容量為 250 000 瓩的卡霍夫卡水力發電站以及其他正在建設中的發電站亦將以大量的電力供給農業。至於每年由集體農莊自行增建的巨型水力發電站（容量達 10 000 瓩）所發出的電力，還未包括在內。

根據上述情況，在本書中所討論的是下述電氣線路的計算部分，它的導線和電纜截面的選擇基本上由電壓損失或溫昇來確定。

書中所列舉線路的計算實例，是關於小型住宅、生產企業的屋內及屋外線路以及對小型市鎮供電的電氣線路的。

書中所列資料，符合「電氣設備安裝規程」^①的要求，以下爲了節省篇幅起見，簡稱「規程」。

遵守「規程」中的規定，是每個電氣工作者的職責。

在本書中，以必要的篇幅來介紹「規程」中的有關章節，其目的在於向讀者介紹「規程」的主要條文。此外，當讀者手旁無「規程」時，亦能瞭解其內容。

本書對於非電氣的技術人員以及工廠中的電氣機械人員（實際工作者）也有參考價值。

對審閱本書時提出許多寶貴意見和指示的科學技術碩士、本書第二版編輯 M.C. 梁博夫，作者謹致以極大的謝意。

讀者對本書的一切要求和意見請投函莫斯科水閘河岸街 10 號國立動力出版社。

作者

① 最適宜的教科書爲：B.Ю. 羅蒙諾索夫及 K.M. 波利凡諾夫所著「電工學」（基本知識），1949 年國立動力出版社出版。

② 例如，參閱 A.H. 巴爾蘇科夫所著「代數學」，1947 年國立技術理論書籍出版社出版。

③ 1950 年蘇聯國立動力出版社出版。

第一節 為什麼要計算導線及電纜的截面

任何電氣線路，無論是屋內線路（建築物內）或屋外線路（露天），均應滿足下述要求：

（1）線路無着火危險，不致引起人身事故及不影響人的健康；

（2）線路應充分可靠，不致妨礙用戶的供電；

（3）線路應能供應用戶必要質量的電力；

（4）線路配線應經濟，即其費用應盡可能低廉。

對這些要求，我們將在下面詳細地加以討論。

配線的安全性

如果線路敷設得不正確或應用時不小心，即可能引起火災。

大家知道，一定截面導線芯的溫昇大小，是隨通過它的電流大小而定的。當流過的電流極大時，例如，絕緣導線中有大量電流流過時，其絕緣就可能起火，因而引起火災。

因此，導線中僅允許流過使導線溫昇不超過一定允許溫度的電流。

流過線路某一段的電流值，通常是預先規定或計算出來的。知道了電流值，便能選擇導線或電纜的必需截面。

為了不使導線中的電流顯著增加，線路的每一段應採用經特別選擇的可熔保險器（或自動開關）保護。

在使用中熔斷了的保險絲，應以同樣的保險絲來換裝。關於線路的保護，我們將在第四節中敘述。

至於電流對人身的危險，在正常使用條件下，只有當線路損壞或線路的敷設在技術上不正確時，才有可能發生。例如，導線的絕緣被電流流過導線所產生的高溫破壞時，即可能發生危險。對於安全技術的要求，無論在安裝時或使用中均應嚴格遵守。必須特別指出的是：不允許帶電工作，即工作地點的線路上必須停電。關於佈線的技術規程，在專門的參考書籍中已有指示^①。關於按照溫昇來計算線路的方法，將在本書以後各節中敘述。

線路工作的可靠性

線路不應因本身發生事故而中止對用電設備（照明器具、電動機等）供電。因此，線路不但要正確地進行敷設，而且還應正確地加以計算。例如，不正確選擇保險器的結果，將使保險絲在鼠籠型電動機起動時常常燒斷。這就將引起生產機械工作停頓，並降低勞動生產率等。

保險器雖然要保護線路的過電流，但在電動機起動時則不應當被燒斷。

要達到上述要求，必須進行計算。關於這一點，我們將在第四節中敘述。

電力的質量

線路應按各種用電設備正常運行所必需的電力質量供電。我們在這裏所談的電力質量，應理解為電壓的高低。引

^① 參閱П.Ф.沙洛費也夫所著「照明和動力設備的安裝」（1946年國立動力出版社）及「電纜與架空送電線的照明和動力設備的安裝」（1948年國立動力出版社出版）。

至用電設備的電壓與額定電壓（用電設備所採用的電壓及製造時所規定的電壓）相差愈小，則電力的質量愈高。

電燈不能達到規定的熾熱度或者過熱，便是電力質量不良的例子。

電燈不能達到規定的熾熱度，將減少生產廠房的照度，降低企業的勞動生產率，出現廢品以及損害工作人員的視力等。電燈過熱將大大地縮短其使用時間。這不僅對用戶，而且對整個國民經濟來說都是一種損失。

送至用電設備的電力質量低劣的原因，往往是由於電氣線路本身不良。因此，在敷設線路時，必須計算電壓損失。關於這一點，我們將在第六、第七等節中詳細敘述。

線路結構的經濟性

線路結構的種類很多，在線路中可以耗用較大量或較小量的有色金屬（銅、鋁）、鋼（鐵）以及絕緣材料等。敷設線路同樣也有着不同的方法：電力幹線（線路）既可用裸導線架在支架（電桿）上，也可採用埋在地下的昂貴電纜，很明顯，如果在敷設線路時所花費的材料和勞動力愈多，則線路的建造費用也愈高。

電氣線路的建造費用和有色金屬的消耗量是敷設線路的主要經濟指標。

因此，在敷設電氣線路時，應盡量節省費用和材料。但同時還要使線路在技術上完善合理，即應嚴格遵守上述的一切技術要求。

通常，線路的結構可根據敷線地點的條件決定，不必經過特別計算即行選定。

敷設線路時，主要的計算是根據溫昇及電壓損失計算導線或電纜的截面，這就是我們在下面將要加以討論的。

第二節 用電設備及其工作條件

接在線路上的用電設備可分為下述各類：

(1) 照明燈具——白熾燈和熒光燈；

(2) 生活用電氣器具——電熱裝置（電爐）、電熨斗、電氣吸塵器等；

(3) 電動機。

大家知道，要使用電設備正常工作，其受電電壓必須與其額定電壓相差不大，此額定電壓通常由製造工廠標明在用電設備外殼的銘牌上。

如果引至用電設備的電壓等於其額定電壓，則用電設備將正常地進行工作。就是說，該用電設備的工作能力與製造工廠所規定的能力相同。例如，電燈發出規定的光通量，電動機達到規定的必需出力和轉數等。此時，用電設備自線路中獲得了額定的電流和功率，即獲得了製造時所規定的及銘牌上所標明的電流和功率。在這樣的條件下，用電設備的使用時間（損壞時間）亦將與工廠製造時所規定的時間相同。

現在，我們來討論電壓不準對用電設備工作的影響。

電 燈

電燈有許多技術數據（容量、電壓等）。為了計算導線，我們首先必須知道電燈的額定電壓及容量（列於附錄2的表1中）。

在下表中，我們列出了各種數字，以說明所用電壓高於或低於額定電壓時白熾燈^①的各主要技術數據所起的變化。

引至電燈的電壓 (佔額定電壓的 百分數)	電燈所需的功率 (佔額定功率的 百分數)	電燈的光通量 (%)	電燈的使用時間 (%)
90	85	70	320
95	93	84	160
100	100	100	100
105	110	130	50
110	117	140	33

從本表中可以清楚地看出，隨着引至電燈的電壓之降低，大大地減小了電燈的光通量。但與此同時，電燈所需功率的降低百分數則較小。實際上，當電壓僅降低5%時，電燈的光通量便降低了16%。這就說明，電燈工作的經濟效果降低。而當電壓增加10%時，白熾燈的使用時間減少 $\frac{2}{3}$ ，即不是照規定的時間燃點1000小時，僅燃點300—350小時。

線路中電壓的波動同樣也嚴重地影響著熒光燈^②的工作。

熒光燈中的電壓減低至94—93%時，將減少光通量，破壞燃點特性和縮短其使用時間。如果電壓顯着增高，在熒光

① 白熾燈是俄國學者亞歷山大·尼可萊也維奇·羅底根(1847—1933年)所發明的。

② 關於熒光燈的參考書有：Б. И. 魯戈夫斯科依所著《建築物的熒光燈照明》(1950年國立動力出版社出版)；P. A. 尼林吉爾所著《熒光燈及其應用》(1948年國立動力出版社出版)及C. O. 瑪依節里教授所著《新的光源》(1947年《真理報》出版社出版)。

燈的工作中將產生許多缺點（例如輔助設備過熱等）。

由於電壓對光源有着嚴重的影響，所以「規程」^①規定敷設電氣線路時須遵守下述條件：屋內電燈的電壓不得低於額定電壓的97.5%；屋外電燈的電壓不得低於額定電壓的94%。

在某些情況下，這一條件在技術上是不能達到的，例如，當「光」及「力」^②均由共用幹線供電時即不能滿足這一條件。對於這些情況，「規程」允許視為例外，電壓可以更多地降低，但不得低於電燈額定電壓的94%。在此種情況下，當計算照明時，必須考慮到上述電壓降低值。

在設計電氣照明時，電燈的最高電壓允許達額定電壓的103%。

對白熾燈供電的電氣線路，亦可用以對熒光燈供電。

生活用電氣器具

生活用電氣器具的主要技術數據是額定電壓及額定容量，通常都在其銘牌上標出。

電熱器具端電壓的降低不僅將延長其加熱過程，而且也將超額消耗電力。

反之，如果增高電壓，也如同白熾燈一樣，將大大地縮短電熱器具的使用時間。

電 動 機

直流及交流電動機有許多技術數據，其中在計算導線及

① 見「照明裝置篇」§15。

② 「光」及「力」即照明燈具和電動機的簡稱。

電纜截面時所必須知道的計有下述各項：（1）額定電壓；（2）額定容量；（3）效率；（4）功率因數（指交流電動機而言）；（5）起動電流與額定電流的比值。

電動機端電壓的變動，將嚴重地影響着轉矩和電動機線捲絕緣的破損時間。例如，非同期電動機^①端電壓每降低1%，則其轉矩幾乎降低2%。

當電動機滿載時，電壓每降低10%，其線捲中的電流將增加11%。此增加之電流值使電動機絕緣物溫度升高6—7°C，其使用時間平均縮短5—7年。

當線路處於正常工作狀態時，電動機端電壓與額定電壓之差不應超過±5%（見「規程」§15的「工業企業供電篇」）。

鼠籠型電動機的構造簡單，工作可靠，操作簡便，在生產設備中獲得了極其普遍的應用。

但是這種電動機的起動電流極大，平均較額定電流大4—7倍。在計算導線及電纜截面時，必須考慮到電動機的起動電流。

現代工業設備中很少採用滑環型電動機，它的起動電流較額定電流僅大50—100%。附錄2中列有小容量電動機的技术數據表（參閱表2及表3）。

第三節 線路的電力負荷之計算

電力或電流稱為線路的負荷。為了計算線路，必須知道每段線路的負荷。

① 三相非同期電動機是著名的俄國工程師 M. O. 多利沃 多布洛沃爾斯基（1863—1919年）在1889年發明的。

線路輸送至用戶的電力，視用戶的用電設備數量及其容量而定。用戶的用電設備數量愈多，每個用電設備的容量愈大，則線路所輸送的電力也愈多。同時，當線路電壓一定時，線路中的電流可根據所輸送的電力計算。

由此可知，導線及電纜截面的尺寸隨負荷的大小而定。因此，只有正確地計算負荷才有可能滿足對線路的一切要求。

在計算時，如果採用較實際負荷為大的負荷值，則將浪費地選用較大截面的導線，即浪費建設資金和有色金屬。

反之，所採用的負荷如較實際負荷為小，因而選擇了較小截面的導線，這就將降低電力的質量，並增加電力損失。

現在我們來討論怎樣計算各類線路的電力負荷。

照明類負荷

照明類的負荷容量為所有電燈額定容量之和。

例如，對容量各為200瓦的10盞燈供電的線路，應根據 $10 \times 200 = 2000$ 瓦的容量計算。

雙線制照明線路負荷的電流強度或電流 I （安培），根據線路的容量 P （瓦）及額定電壓 U （伏）計算，其公式^①如下：

$$I = \frac{P}{U}.$$

根據這個公式可以計算直流線路中的電流以及非感應負荷（白熾燈、生活用電氣器具）的單相交流線路中的電流^②。

例如，在圖1a所示的線路中，當額定電壓 $U = 220$ 伏及負荷容量 $P = 2000$ 瓦時，進線線段 oa 中的電流等於^③：

① 參閱附錄1，其中列有各種數值的代表符號和單位。

② 單相支線通常由三相交流線路引出。

③ 計算時必須捨去尾數，通常只採用2—3位數字。 $L \approx 7$ 號表示 L 約等於7的意思。

$$I = \frac{2000}{220} \approx 9 \text{ 安培.}$$

如果負荷容量以瓩為單位，則用這個公式計算電流時，容量必須乘以1000。

在圖1a上，箭頭指示各線段及支線中所通過的電流。知道了每盞燈支線中的電流強度（用上述公式極易求出^①），如有必要，可以計算出線路任一段的電流。

線路中任一線段的電流等於由該線段供電的所有用電設備的支線中之電流和。這一電流值也可根據總負荷容量確定^②。

圖16示照明線路的單線圖。這種簡圖通常用以計算線路導線及電纜截面。

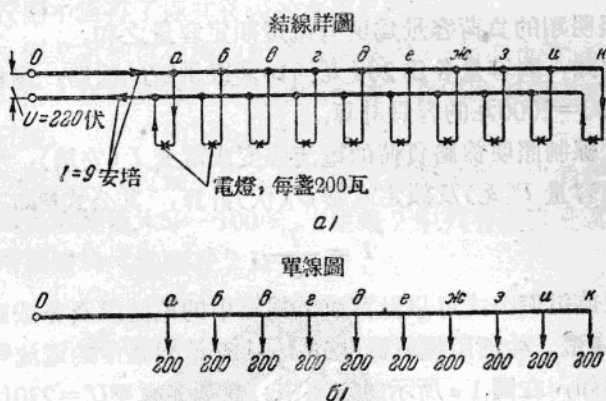


圖 1

① 白熾燈的電流列於附錄2的表1中。

② 在單相交流線路中，用箭頭表示沿導線通過的電流。在直流線路中也是如此。

〔光-生活〕類負荷

如果某類用電設備不僅僅是由照明燈具所組成，而且還有生活用電氣器具（生活用電），則在這種情況下該類用電設備的計算負荷不是用電設備的額定容量和，而是小於額定容量和的數值。

此種計算負荷的方法如下：在計算時假定只有廚房和半數房間（50%）同時使用電熱器具。例如，設某一線路有10盞燈的負荷，每盞燈的容量是40瓦，此外，還接有容量各為600瓦的五個電熱器具。此時，所有用電設備的額定容量總和為 $10 \times 40 + 5 \times 600 = 3400$ 瓦。這一容量不應當作該線路的計算容量。因為假定有四個電熱器具裝在住房中，第五個裝在廚房內，則這些電熱器具所需的電力（即計算時所考慮的容量）為 $0.5 \times 4 \times 600 + 600 = 1800$ 瓦，而不是 $5 \times 600 = 3000$ 瓦。

至於該線路的計算容量應為：

$$10 \times 40 + 1800 = 2200 \text{ 瓦，而不是 } 3400 \text{ 瓦。}$$

當線路的額定電壓 $U = 220$ 伏時，進線線段中的電流為：

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2200}{220} = 10 \text{ 安培。}$$

需要係數

上面所談到的計算容量時不應按住宅中全部電熱器具而僅需按同時接用的電熱器具的容量計算，是因為用戶電氣線路上的所有用電設備實際上永遠不會同時使用。

這一情況已從各種電氣線路的使用經驗中得到證實。

因此，用戶的設備容量與用戶實際需要的功率之間，永遠存在着差額。

這一差額可按需要係數加以計算。用我們在此處所舉的「光-生活」類負荷的例子中就可以說明這一係數的意義。現在我們以 P_{nom} 來代表所有用電設備的額定容量總和或線路上的設備容量，而最大需要功率則以 P 表示。需要係數以 k_c 代表。根據上面的計算：

$$P_{nom}=3400\text{瓦}; \text{ 而 } P=2200\text{瓦}.$$

需要係數是用戶所有用電設備的需要功率與總額定容量之比，即：

$$k_c = \frac{P}{P_{nom}}.$$

在上述例子中，

$$k_c = \frac{2200}{3400} = 0.65.$$

由此可以清楚地知道，如果我們已知用電設備的額定容量總和及表明該類用戶特性的需要係數值，就不難求出用戶所需的最大實際功率。計算時只需將總額定容量乘以需要係數即可得出實際的最大需要功率：

$$P = P_{nom} \cdot k_c.$$

在上例中， $P=3400 \times 0.65=2200\text{瓦}$ 。

由此可知，需要係數表明用戶用電設備的總額定容量中有多少同時工作。

在計算時，可以利用需要係數，其數值是根據對各種用戶（住宅、商店、工廠等）所作的多次測驗而分別確定的。

在表4（參閱附錄2）中列出了概略的需要係數值，在

沒有更準確的資料時，可以利用該表所列數值來計算線路。

在計算完全為照明負荷（無生活用電氣器具）的線路時，需要係數可以採用1（ $k_c=1$ ）。換句話說，即此類負荷的所有照明燈具均同時工作（參閱「照明類負荷」中的例子）。

用電設備距供電電源愈遠，則計算時所採用的需要係數值愈小。從表4中可以清楚地看出，如果住宅進線的 $k_c=0.8-0.9$ ，則對多數住宅供電的幹線的需要係數更小，其 $k_c=0.7-0.75$ 。主要原因是：接在線路上的用電設備數量愈多，則在同一時間內使用所有用電設備的可能性愈小。

「光-生活」類負荷的幹線

幹線的負荷按下述方法計算：首先計算接在幹線上的所有照明燈具和生活用電器具的總額定容量，然後將所求得的容量之和（總容量）乘以相應的需要係數（自表4中查得）。

上述確定負荷計算容量的步驟，對於單相線路（或直流線路）或三相交流線路都適用。

現在，我們在下面舉出幾個計算負荷的具體例子。

示 例

1 某住宅中的白熾燈及生活用電氣器具的總額定容量為1.25瓩。住宅由自低壓架空線引出的雙線支線供電。試求支線的負荷。支線的額定電壓 $U=220$ 伏。

解 住宅所需的最大功率是要計算的負荷。此負荷等於住宅所有用電設備的額定容量之和 $P_{\text{ном}}$ 乘以需要係數 k_c 。

我們已知道 $P_{\text{ном}}$ 等於1.25瓩， k_c 值自表4中查得為0.8。因此，所求支線（進線）的負荷容量為：

$$P=1.25 \times 0.8=1.0 \text{ 瓩或 } 1000 \text{ 瓦.}$$

支線的計算負荷電流爲^①爲：

$$I = \frac{1 \times 1000}{220} = 4.5 \text{ 安培.}$$

2 有一條架空幹線對由 9 棟單戶小住宅組成的建築物供電。每宅中的照明及生活用電氣器具的設備容量爲 1275 瓦，試求幹線的最大負荷。

解 9 戶所有用電設備的總額定容量爲：

$$1275 \times 9 \approx 11500 \text{ 瓦或 } 11.5 \text{ 瓩.}$$

需要係數自表 4 中查得，等於 0.75（當有大量住宅，例如 15 棟時，我們採 k_c 值作 0.7）。

現在，我們來計算 9 宅所需的功率（即幹線的負荷）：

$$P = P_{\text{НОМ}} \cdot k_c = 11.5 \times 0.75 \approx 8.6 \text{ 瓩.}$$

此一功率是最大負荷時沿幹線進線線段輸入的功率，即至第一宅前幹線線段上的負荷。

幹線進線線段的負荷電流隨配線制而變化。

第一種配線制：額定電壓 $U=220$ 伏的雙線制線路（圖 3a）。

每根導線中的電流爲：

$$I = \frac{P}{U} = \frac{8.6 \times 1000}{220} \approx 39 \text{ 安培.}$$

第二種配線制：額定電壓爲 220 伏的三相交流三線制線路（圖 3b）。

此時，每根導線中的電流爲：

$$I = \frac{P}{1.73 U} = \frac{8.6 \times 1000}{1.73 \times 220} \approx 23 \text{ 安培.}$$

注意，此處所求得電流較第一種配線制中的電流小 0.73 倍，但輸送的電力不變。

第三種配線制：額定電壓爲 380/220 伏的三相交流四線制（三相及一根中性線）線路（圖 3c）。在此種配線制中，相間電壓或線電壓，即任何兩根相線（1—2、1—3 或 2—3）間的電壓等於 380 伏。相電壓，即任何一根相線（1、2 或 3）與中性線間的電壓等於 220 伏。線電壓大於相電壓 0.73 倍。

^① 因 p 以瓩爲單位，所以分子乘以 1000。