

高等學校教學用書

架空線路機械部分 計算的幾個問題

蘇聯 格·姆·羅扎諾夫著

電力工業出版社

高等學校教學用書

架空線路機械部分 計算的幾個問題

蘇聯 格·姆·羅扎諾夫著

倪保珊譯



電力工業出版社

內 容 提 要

本書論述：架空線路導線的特殊工作情況，導線運行安全係數的定義和公式，在不等高度懸掛時的導線計算。並說明：線路經過大通航河流及其他目標物時的跨越問題，在不均勻覆冰荷重時導線的工作。

此外，也引述屋外變電所中的導線計算、木桿的計算、鐵塔的計算和基礎計算的基本原理，以及勘测線路路線和沿路線佈置桿塔等問題。

本書可作為高等技術學校電力工程系學生的教材參考書，對於從事於電力網設計方面的工程師和技術員也是有用的。

Г. М. РОЗАНОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

根據蘇聯國立動力出版社1954年莫斯科版翻譯

架空線路機械部分計算的幾個問題

倪 保 珊譯

*

182D26

電力工業出版社出版(北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業證可證出字第082號

北京市印刷一廠排印

新華書店發行

*

編輯：韓維 顧維瀛

校對：余國芳

787×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 10 $\frac{1}{2}$ 印張 * 255千字 * 定價1.39元

1955年5月北京第1版

1956年8月北京第2次印刷(3,101—5,130冊)

原 序

榮膺列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院的電力工程系專業於電力網絡方面的學生，除了學習電力網絡的普通課程外，還學習很多涉及電力網絡電氣部分和機械部分的補充課程。

作者多年來一直講授涉及架空輸電線路機械部分計算的幾個問題的補充課程。由於缺乏總括這些問題的教本，使學生很難精通這門課程，因而促使作者編寫本書。

本書中列舉的資料和附帶的數字例題，可以對學生瞭解架空輸電線路機械部分計算的幾個問題有所幫助，並可以使電力網絡的特殊設計容易一些。

本書的篇幅，使作者不能包羅所有的問題，也不能說明線路的運行問題。

爲了便於使用起見，在本書的附錄中列入了從電力網絡普通課程中摘錄下來的一些公式，並安插了一些參考性的材料。

作者對工學博士 A. A. 格拉茹諾夫教授在工作中經常給與的幫助，特別在作者編寫本書時所給予的意見和幫助，表示衷心的感謝。

作者懇請把所有對本書的批評和建議惠寄至下列地址：莫斯科國立動力出版社。

作 者

譯 者 的 話

一、本書可以作為「發電廠配電網及聯合輸電系統專業」、「配電網及聯合輸電系統專門化」有關「電力網絡專門課程」教材的一部分內容。也可以作為從事於設計及建設架空輸電線路方面的工程師和技術員的參考書。

二、本書譯文中所用的術語名詞曾力求與普通課程及基礎課程教材中所用的術語名詞相同，並力求符合電業單位的現場用語，因為這些術語目前尚無統一的譯法，譯者在書末附有名詞對照表，表中列有很多術語名詞的各種可能的譯法，以資參考；但在本文中僅採用一種或兩種譯者認為較合宜的譯名。

三、本書中附有很多「譯者註」，或指出原書上的錯誤，或表明譯者的意見，因均未經原著者的同意，故一切譯註上的錯誤，均由譯者負責。譯者認為這是翻譯工作者的應有責任。

四、本書中所用單位均未譯出。書中所用單位有「 $M, C.M, M.M, K.M, \mu, \mu\Omega, m, CEN$ 」及它們的誘導單位，這些單位可譯為「公尺(米)，公分(厘米)，公厘(毫米)，公里(千米)，公分(克)，公斤(千克)，公噸，秒」，至於誘導單位的譯法與此類同。

五、本書一部分原稿蒙本校發電廠輸配電教研組戴熙傑，韓禎祥兩同志仔細閱讀，並提出許多寶貴意見，譯者深致謝意。

六、本書是譯者在教學工作之暇譯成，誤譯或不能暢達原意之處在所難免，尚祈讀者提出，並請惠寄至「北京東長安街燃料工業出版社」，俾能在再版時修正。

倪保珊

一九五四年十一月

於杭州浙江大學

目 錄

原 序

譯者的話

第 一 章 導線的運行安全係數	7
1-1. 導線運行安全係數的定義	7
1-2. 計算公式的推導	9
1-3. 檔距、導線材料、導線截面積、氣候條件與額定安全係數對運行安全係數的影響	12
1-4. 增大導線的運行安全係數的方法	14
第 二 章 懸點高度不等時導線的計算	17
2-1. 總論	17
2-2. 近似計算法	17
2-3. 精確計算法	19
第 三 章 經過大的通航河流、鐵路及其他目標物的線路跨越	30
3-1. 經過大的通航河流的線路跨越	30
3-2. 設計大的通航河流跨越的基本原理	31
a) 跨越地點的選擇	31
б) 跨越的方案圖	32
в) 氣候條件	33
г) 尺寸	35
д) 跨越的導線	35
е) 跨越的絕緣和金具	38
ж) 跨越的桿塔	41
3-3. 經過鐵路的線路跨越	43
a) 跨越地點	43
б) 跨越中的線路尺寸	43
в) 跨越的導線	43
г) 絕緣子和金具	45

n) 跨越的桿塔	45
第四章 不均勻覆冰荷重時的導線工作	47
4-1. 導線的不均勻覆冰荷重及導線應力和弧垂的確定	47
4-2. 考慮導線的不均勻荷重時導線間垂直距離的確定	53
4-3. 應用滑動線夾時的不均勻荷重	60
第五章 釋放線夾	64
5-1. 覆冰區域中釋放線夾的應用(參考文獻11)	64
5-2. 導線在不均勻覆冰荷重時, 確定絕緣子串偏移的圖解 分析法	65
5-3. 在覆冰區域中220kV線路上應用釋放線夾的可能性的研究	68
第六章 分相導線在它折斷時的工作(參考文獻12)	74
第七章 屋外變電所導線的機械計算	82
7-1. 總論	82
7-2. 導線的計算	84
第八章 木桿	92
8-1. 基本規則	92
8-2. 單桿的計算	93
8-3. Π 形中間桿的計算(參考文獻16)	95
8-4. 有拉櫈的木桿的計算概念	105
a) 具有撐木的單桿	105
b) 具有拉線的單桿	106
b) 具有 X 字形拉櫈的木桿	107
8-5. $\Delta\Pi$ 形承力桿的計算(參考文獻17)	110
第九章 鐵塔	140
9-1. 總論	140
9-2. 鐵塔的計算	143
a) 平面桁架桿件中力的確定	143
b) 四邊形鐵塔主材中力的確定	145
b) 扭轉時作用在每邊平面中的力的確定	146
9-3. 壓縮桿件截面的選擇	148
a) 主材用角鋼截面的選擇	148
b) 格子用角鋼截面的選擇	149

9-4. 銲接縫.....	150
第十章 桿塔在土壤中的固定	160
10-1. 總論.....	160
10-2. 在基礎底部的應力分佈.....	161
10-3. 安息角.....	163
10-4. 土壤的被動壓力.....	163
10-5. 突起稜形柱中摩擦力的影響.....	165
10-6. 基礎的計算.....	166
a) 在水平力作用下稜形基礎的計算.....	167
b) 木桿的穩定計算.....	170
10-7. 新的基礎型式.....	174
第十一章 桿塔的起立.....	180
11-1. 總論.....	180
11-2. 桿塔的起立.....	180
a) АП 形木桿的起立.....	180
b) 鐵塔的起立.....	183
b) 藉起重機起立桿塔.....	183
11-3. 用倒落式把桿起立桿塔時的索具設備.....	184
a) 曳引機械.....	184
b) 鋼索.....	184
b) 複滑輪.....	185
11-4. 起立桿塔時力的決定.....	183
a) 倒落式木把桿的計算.....	188
b) 起立木桿主柱的計算.....	190
第十二章 線路路線的勘測和桿塔沿路線的佈置.....	201
12-1. 線路路線的勘測(參考文獻31.32).....	201
a) 初步資料.....	201
b) 定線和路線的水平測量.....	202
b) 氣象和土壤.....	206
r) 勘測資料的室內整理和協議.....	206
d) 定位標樁作業.....	207
12-2. 沿線路路線斷面圖佈置桿塔(參考文獻32.33).....	208

12-3. 安裝表和安裝曲線	215
附 錄 基本公式和參考材料	217
附錄 I 導線計算的基本公式	217
附錄 II 線路的等級	223
附錄 III 導線、架空地線、氣候條件	227
附錄 IV 架空線路導線間的距離和線路尺寸。桿塔上導線間的 距離	237
附錄 V 木桿	241
附錄 VI 鐵塔	243
附錄 VII 桿塔在土壤中的固定 (1933 年標準)	245
參考文獻	249
中俄名詞對照表	252

第一章 導線的運行安全係數

1-1. 導線運行安全係數的定義

根據電氣設備安裝規程，導線的額定安全係數決定於製造導線所用材料的暫時抗度對這種材料在導線最低點的許可應力的比值，即

$$n_H = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_0},$$

式中 σ_θ ——導線的暫時抗度， kg/mm^2 ；

σ_0 ——在導線最低點的許可應力， kg/mm^2 。

各種結構不同的及各種工作條件不同的導線的額定安全係數的數值列於附錄Ⅲ中。

額定的係數是適當的運算數值，但額定係數並不表明運行中線路導線實際的安全係數。若增加導線的外部荷重而大於運算值，則導線的應力可能超過彈性極限。在這種情況下，導線將獲得殘餘變形，使它的弧垂增大，並將發生實際的自動減輕荷重的現象。導線工作的這種特殊現象，極如一條柔韌的線，與其他的工程建築物截然不同，因為導線應力的增加比其荷重的增大來得緩慢。當導線達到破壞荷重時，它的應力將達到暫時抗度而使導線折斷。

為了獲得導線在它運行條件下的正確的工作特性，必須將導線的實際荷重與運算的荷重聯繫起來，從而得出導線實際的安全係數。

為了估計導線的超荷重能力^①，就必須將導線的運算荷重與破壞荷重聯繫起來，或與應力達到彈性極限的荷重聯繫起來。

由此可見，導線的工作完全不用額定的安全係數來表示，而

① 此處超荷重能力的意義是指超過額定荷重的能力。——譯者

是以所謂運行的安全係數來表示的，後者以導線外部的破壞荷重對外部運算荷重的比值來決定，即

$$n_g = \frac{g_g - g_1}{g_7 - g_1}, \quad (1-1)$$

式中 g_g ——導線的破壞荷重， kl/mm^2 ；

g_7 ——導線的運算荷重， kl/mm^2 ；

g_1 ——由於導線自重所引起的荷重， kl/mm^2 。

在實際設計中，當按照破壞荷重確定運行安全係數時，將應用另一公式：

$$n'_g = \frac{g_g}{g_7}, \quad (1-2)$$

式中 g_g 及 g_7 的意義和(1-1)式中的相同。

對於載荷很重的導線，根據公式(1-1)和(1-2)所得的結果，相差不大，參閱表 1-1 內所列數據，就不難置信。

表 1-1

運 行 係 數	檔 距 長 度, m					
	100	150	200	250	300	400
n'_g	4.65	3.62	3.18	2.96	2.82	2.69
n_g	5.55	4.26	3.7	3.43	3.26	3.09

線號 AC-120 的銅心鋁線在第Ⅳ類覆冰區域的氣候條件下所計算出來的運行安全係數值 n_g 及 n'_g ，如表 1-1 所示。

運行安全係數也可以根據下式來確定：

$$n''_g = \frac{b_g}{b_7}, \quad (1-3)$$

式中 b_g ——破壞荷重時的冰層厚度， mm ；

b_7 ——運算荷重時的冰層厚度， mm 。

這一公式較不方便，並根本不適用於沒有覆冰的區域。

在確定運行安全係數時，我們曾利用過最大的破壞荷重，但

是這一係數可以在任何其他 的 實際荷重下(例如在導線的應力達到彈性極限時的荷重下)加以確定。在這種情況下，運行安全係數可以按下式確定：

$$n_g = \frac{g_y - g_1}{g_1 - g_0}, \quad (1-4)$$

式中 g_y ——導線在它的應力達到彈性極限時的荷重， kg/mm^2 ，
至於其他的數值，與公式(1-1)內的相同。

在蘇聯，運用運行安全係數的概念以計算導線，是由格拉茹諾夫(А. А. Глазунов)教授於1934年首先建議的[參考文獻2]，至於這個係數的更完整的論證，確定這個係數的公式，以及利用運行安全係數作覆冰區域內線路的運行分析，係1938年在莫斯科莫洛托夫動力學院(МЭИ)由格拉茹諾夫教授領導的科學研究工作中作出的[參考文獻3]。

1-2. 計算公式的推導

為了決定導線的運行安全係數，必須求得破壞荷重 g_0 ，或導線應力達到彈性極限時的荷重 g_y 。這些荷重在組成導線的狀態方程式時可以求得。

假設當溫度 $\vartheta=0$ 和應力 $\sigma=0$ 時的導線長度等於 L_0 。那末，當 $\vartheta=\vartheta_n$ 時，導線的長度將改變並等於：

$$L = L_0(1 + \alpha \vartheta_n),$$

式中 α ——溫度線膨脹係數。給導線以大於彈性極限的應力 $\sigma=\sigma_n$ ，則得導線的長度為：

$$L_n = L(1 + \beta \sigma_n) + L_0 \varepsilon_n, \quad (1-5)$$

式中 β ——伸長係數；

ε_n ——導線的塑性變形。

方程式(1-5)變換以後，則得：

$$\begin{aligned} L_n &= L_0(1 + \alpha \vartheta_n)(1 + \beta \sigma_n) + L_0 \varepsilon_n \\ &= L_0 + L_0 \beta \sigma_n + L_0 \alpha \vartheta_n + L_0 \alpha \beta \vartheta_n \sigma_n + L_0 \varepsilon_n. \end{aligned} \quad (1-6)$$

從另一方面，當檔距為 l ，比載為 g_n 時，可以將導線的長度 L_n 表

示如下：

$$L_n = l + \frac{l^3 g_n^2}{24 \sigma_n^2} \quad (1-7)$$

使方程式(1-6)和(1-7)的右邊部分相等，則得：

$$l + \frac{l^3 g_n^2}{24 \sigma_n^2} = L_0 + L_0 \beta \sigma_n + L_0 \alpha \vartheta_n + L_0 \alpha \beta \vartheta_n \sigma_n + L_0 \varepsilon_n \quad (1-8)$$

將方程式(1-8)的左右兩邊各除以 L_0 ，並假定 $l \approx L_0$ ，再忽略第二階的一項 $L_0 \alpha \vartheta_n \sigma_n$ ，則求得：

$$\frac{l^2 g_n^2}{24 \sigma_n^2} = \beta \sigma_n + \alpha \vartheta_n + \varepsilon_n \textcircled{1} \quad (1-9)$$

對於另一種條件，重複同樣的推論，也就是在溫度為 ϑ_m ，比載為 g_m 及不超過彈性極限的應力為 σ_m 時，按同理即得：

$$\frac{l^2 g_m^2}{24 \sigma_m^2} = \beta \sigma_m + \alpha \vartheta_m \quad (1-10)$$

方程式(1-9)和方程式(1-10)相減，經變化以後則得：

$$\frac{l^2 g_n^2}{24 \sigma_n^2} - \frac{l^2 g_m^2}{24 \sigma_m^2} = (\sigma_n - \sigma_m) \beta + \alpha (\vartheta_n - \vartheta_m) + \varepsilon_n \quad (1-11)$$

從方程式(1-11)的右邊部分，得到全部的相對變形，此相對變形由下列各項所構成：

彈性變形 $\varepsilon_y = (\sigma_n - \sigma_m) \beta$ ；

溫度變形 $\varepsilon_\vartheta = \alpha (\vartheta_n - \vartheta_m)$ ；

塑性變形 ε_n 。

將方程式(1-11)的全部相對變形用 ε 表示，則得：

$$\frac{l^2 g_n^2}{24 \sigma_n^2} - \frac{l^2 g_m^2}{24 \sigma_m^2} = \varepsilon_y + \varepsilon_\vartheta + \varepsilon_n = \varepsilon$$

或

$$\frac{l^2 g_n^2}{24 \sigma_n^2} = \varepsilon + \frac{l^2 g_m^2}{24 \sigma_m^2}.$$

① 見本章末第16頁的 [譯者對方程式(1-9)的意見]。

所以

$$g_n = \sigma_n \sqrt{\frac{24\varepsilon}{l^2} + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_m^2}} \quad (1-12)$$

爲了求出破壞荷重，公式(1-12)可寫成：

$$g_\theta = \sigma_\theta \sqrt{\frac{24\varepsilon}{l^2} + \frac{\sigma_\theta^2}{\sigma_7^2}} \quad (1-13)$$

式中 g_θ ——破壞荷重， kg/mm^2 ；

σ_θ ——導線的暫時抗度， kg/mm^2 ；

g_7 及 σ_7 ——運算荷重， kg/mm^2 ；以及相當於運算荷重的最大應力， kg/mm^2 。

確定 g_θ 時，通常取 $\vartheta_n = \vartheta_m$ 。根據應力 σ_θ 及 σ_7 ，從導線的伸長圖求得 $\varepsilon_\theta = \varepsilon_y + \varepsilon_{n0}$ 。

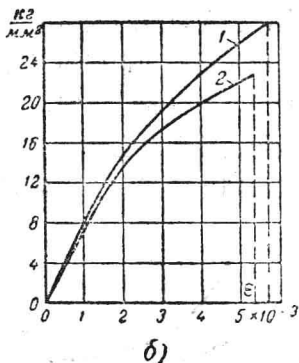
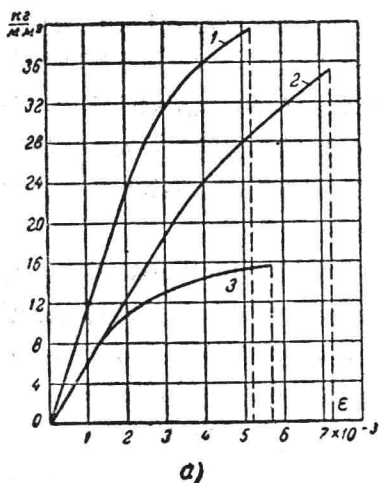


圖 1-1 導線的伸長圖

a) 1—鋼線；2—鋁鎂矽合金線。

b) 1—AC-95—AC-400 號鋼心鋁線；

2—AC-50—AC-70 號鋼心鋁線。

圖 1-1 中所示的導線伸長圖，是在列寧格勒加里寧多科性工業大學中用實驗室方法得到的[參考文獻 4]。

爲了獲得導線達到彈性極限時的荷重(g_y)，將公式(1-12)表示如下式：

$$g_y = \sigma_y \sqrt{\frac{24\varepsilon_y}{l^2} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_7^2}} \quad (1-14)$$

式中 σ_y ——彈性極限的應力， kg/mm^2 ；

ε_y ——彈性變形，可以由算式 $\varepsilon_y = (\sigma_y - \sigma_T)\beta$ 或根據應力 (σ_y 及 σ_T) 從導線的伸長圖求得。

所有其他符號的意義與公式(1-13)的相同。

1-3. 檔距、導線材料、導線截面積、氣候條件與 額定安全係數對運行安全係數的影響

分析公式(1-13)或(1-14)時，可以作出運行安全係數隨檔距、導線材料、導線截面積、氣候條件及額定安全係數的變化而變化的很多結論。

隨着導線檔距的增加，破壞荷重將急劇減小，因此運行安全係數也將急劇減小。如欲增大運行安全係數，則必須降低檔距的長度，但在以後的說明中可以看出，這種辦法是不十分合理的。

比較鋁線和銅線的運行係數時可以看出，具有較小暫時抗度的材料，所得的運行安全係數也較小。A-50 號鋁線的運行安全係數的曲線和與它導電率相當的 M-35 號銅線的運行安全係數的曲線如圖 1-2 所示。從這兩條曲線可以看出，鋁線的 n_3 比銅線的

n_3 小到什麼程度。

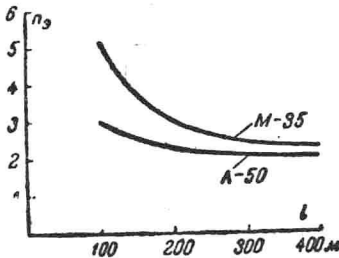


圖 1-2 線號 M-35 及 A-50 的導線的運行安全係數。第 II 類覆冰區域

截面積較小的導線，其運行安全係數值也較小。用於通過第 II 類覆冰區域的線號 AC-50 及 AC-120 的鋼心鋁線，它的係數 n_3 隨檔距長度而變化的曲線如圖 1-3 所示。

區域的氣候條件愈惡劣，則區域內導線的運行安全係數就愈小。

線號 AC-120 的導線在通過第 II 類及第 IV 類覆冰區域的線路時，它的係數 n_3 的曲線如圖 1-4 所示。

從公式(1-13)的分析中，也可以作出如下的結論：若所有其他的條件都相同時，具有較小額定安全係數的導線，其運行的安全係數將大為減小。

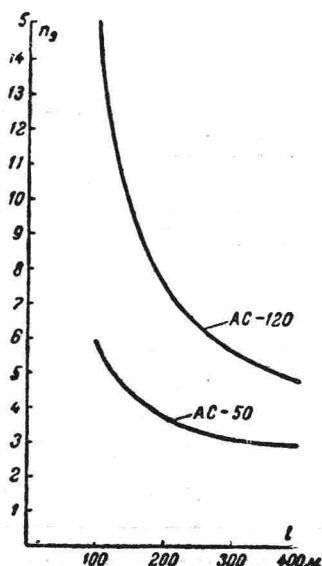


圖 1-3 線號 AC-50 及 AC-120
導線的運行安全係數。
第 II 類覆冰區域

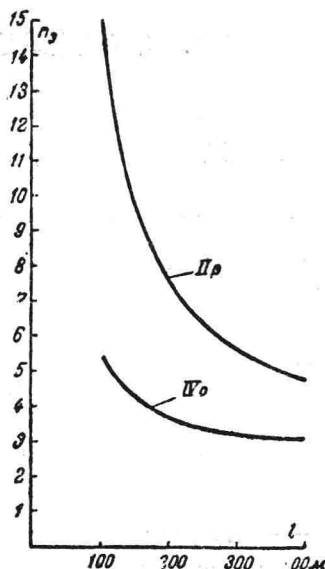


圖 1-4 線號 AC-120 導線的
運行安全係數。
第 II 及第 IV 類覆冰區域

截面積 70 mm^2 的銅線， $n_H=2$ 及 $n_H=3$ 時所得的係數 n_g 的曲線如圖 1-5 所示。在圖 1-5 中所列的所有運行安全係數的計算，都是按照公式(1-1)而得到的：

$$n_g = \frac{\varepsilon_6 - \varepsilon_1}{\varepsilon_7 - \varepsilon_1}.$$

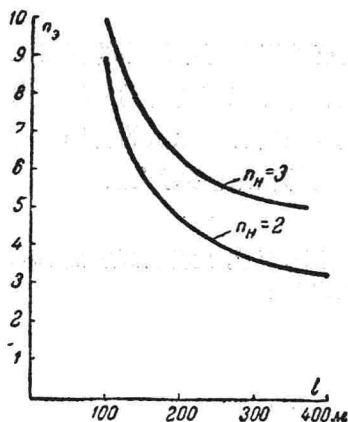


圖 1-5 $n_H=2$ 及 $n_H=3$ 時，線號
M-70 導線的運行安全係數

電氣設備安裝規程容許採用線夾，在線夾中導線的暫時抗度可能降低 10%，這一暫時抗度的降低在計算中應予考慮，並取銅線的 σ_6 為 35 kg/mm^2 ，鋁線—— 13.5 kg/mm^2 ，線號 AC-50—AC-70 的鋼心鋁線—— 21 kg/mm^2 ，線號 AC-95—AC-400 鋼心鋁線—— 25 kg/mm^2 。

1-4. 增大導線的運行安全係數的方法

表 1-2 內列有線號 M-70 的銅線及線號 AC-120 的鋼心鋁線在兩種氣候條件區域內(Ⅱ及Ⅳ)的運行安全係數的數值。

表 1-2

線 號	覆冰區域	檔 距 長 度, m					
		100	150	200	250	300	400
M-70	Ⅱ	8.96	5.73	4.64	4.0	3.65	3.25
	Ⅳ	3.39	2.72	2.45	2.33	2.23	2.18
AC-120	Ⅱ	15.1	9.85	7.46	6.31	5.6	4.79
	Ⅳ	5.55	4.26	3.70	3.43	3.26	3.09

從表中可以看出，在第Ⅳ類覆冰區域內導線的運行安全係數比在第Ⅱ類覆冰區域內的要小得多。

爲了提高運行安全係數，格拉茹諾夫教授建議[參考文獻3]，不單純地減小檔距的長度，而減小導線的計算應力，這樣若檔距減小不多時，將大大提高導線的運行安全係數。進行過的計算完全證實了這一措施的經濟合理性。

必須指出，運行安全係數正確地反映出運行中導線的實際工作情况，所以目前廣泛採用這種係數。譬如在莫斯科動力學院內所進行的鋼心鋁線中鋁和鋼的截面積的經濟合理比值的科學研究工作中，由於採用這一係數而獲得了全部結果[參考文獻5]。

下面舉一個確定運行係數的例題。

例1-1. 試計算線號 AC-120 鋼心鋁線的運行安全係數。此項導線安裝在第Ⅱ類覆冰地區內，額定的安全係數等於 2，兩個檔距長度爲：

$$l=100m \text{ 及 } l=200m.$$

AC-120 號的導線，具有下列數據：

比載：

$$g_1=3.56 \times 10^{-3} \text{ kg/m mm}^2,$$

$$g_7=8.76 \times 10^{-3} \text{ kg/m mm}^2.$$

導線的假想應力：