

輸電線路設計計算

熊正美編譯



首都出版社出版

輸電線路設計計算

熊正美編譯



首都出版社出版

輸電線路設計計算

開本：787×1092公厘¹/₂₅ 印張：17³/₂₅ 字數：310千

編譯者	熊	正	美
出版者	首	都	出 版 社
	北京市書刊出版業營業許可證出字第〇三三號		
印刷者	慈	成	印 刷 廠
	北京宣外上斜街西口 電話(三)二七九五號		
發行者	首	都	出 版 社
	北京石驢馬後宅甲36號 電話(二)〇二一八號		

1955年4月第一版——第一次印刷

1—800冊

定價新幣2元9角

序 言

今日我國的電氣工作者，深感到蘇聯技術的先進，在做設計時，無不想儘量採用蘇聯的設計標準及計算方法。關於輸電線的設計標準，已有蘇聯電氣安裝規程及各種導則可資利用。至於設計的計算方法，則散見於蘇聯的各種技術書中，目前尚未見到一本有系統的專門講輸電設計計算方法的書籍供我們應用，加以文字的阻隔，也還不能每個人都可以直接閱讀原文書籍。因此，特將我在工作時已用到的一些有關輸電線路設計計算方法及理論加以整理，編成這本“輸電線路設計計算”，旨在介紹輸電線路設計計算的一些具體方法，其取材大致根據下列各項參考書籍。

這本書的編寫目的，一方面希望能幫助設計工作者解決設計計算中的一些具體問題，並供大學及工業技術學校電機系同學參考，以求理論和實際得以結合；另一方面亦可說是拋磚引玉，希望我國對於設計有精深造詣的先進人士儘量把自己的經驗介紹出來，對從事輸電工程的同志作一些有益的幫助。

我的學識和經驗都很淺陋，錯誤之處自所難免，希望讀者及先進人士多提意見，指正本書的缺點，以便再版時修正，是為至幸！

熊正美

主 要 參 考 書

- 1 Передача электрической энергии. Залеский.
- 2 Атмосферное перенапряжение и грозозащита высоковольтных установок. М. В. Костенков.
- 3 Устойчивость электрических систем. П. С. Ждаков.
- 4 Сеть электрических систем. А. А. Глазунов.
- 5 Сеть электрических систем. Рябов.
- 6 Справочник по электрификации сельского хозяйства. Отва.
- 7 Электрооборудование электростанции и подстанции. Л. И. Вапиданов.
- 8 Грозозащита.
- 9 Ток в землю.
- 10 Электричество.
- 11 Электро-технический справочник.
- 12 Правило устройства электротехнических установок.
- 13 Расчет и конструирование высоковольтной аппаратуры.
В. В. Михайлов.
- 14 Principles of electric power transmission L. F. Woodruff
- 15 Electrical transmission & distribution reference book.
- 16 The principles of electricity page & Adams.
- 17 A. L. E. E.
- 18 電氣班講義.
- 19 清華大學高壓輸電工程講義.

目 錄

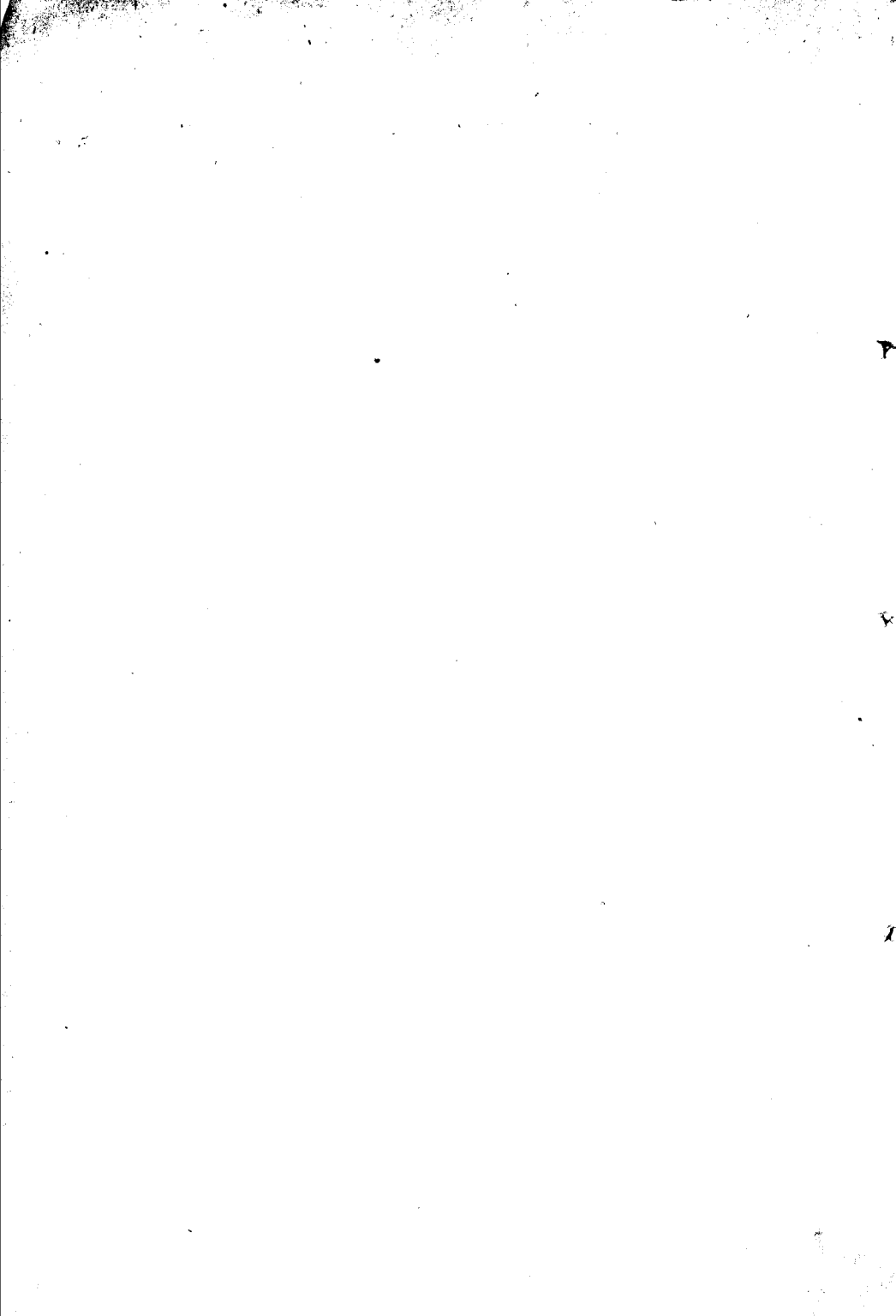
第一篇 電氣部份

第一章 輸電線的幾個重要規範.....	3
1.1 電壓的選擇.....	3
1.2 導線截面積之選擇.....	4
1.3 線間距離之確定.....	20
1.4 換位計算.....	23
第二章 常數計算.....	26
2.1 求電感之理論.....	26
2.2 幾何均距之求法.....	29
2.3 導線感抗求法之舉例.....	35
2.4 電容求法之理論.....	38
2.5 線路常數表.....	44
2.6 電阻計算.....	46
第三章 送受兩端之計算.....	56
3.1 長線路方程式.....	56
3.2 變壓器之常數求法.....	61
3.3 網路常數的合併.....	64
3.4 長線路方程式化到標么值之形式.....	77
3.5 計算中可能遇到的問題.....	79
3.6 調相機容量之選定.....	102
3.7 圓線圖的作法.....	115
第四章 短路計算.....	133
4.1 化簡網絡的公式.....	133
4.2 回路中之阻抗化爲標么值.....	143

4.3	三相平衡短路之計算	146
4.4	不平衡短路之計算	165
第五章 電力系統的穩定		189
5.1	一端為電源,其另一端為容量為無窮大之電力系統	189
5.2	兩機系統穩定度之計算	210
5.3	複雜系統之動態穩定計算	233
第六章 防雷設計		272
6.1	衝擊常數	272
6.2	流動波之特性	282
6.3	防雷計算	290
第七章 接地電阻設計及計算		312
7.1	單個接地器之接地電阻求法	312
7.2	總接地電阻求法	313
7.3	利用係數求法	318
7.4	計算舉例	322
7.5	接地電阻之測定法	330
第八章 輸電線路絕緣配合		336
8.1	磁瓶的選擇	336
8.2	磁瓶串各片之電壓分佈	338
8.3	送電線進入變電所時所須架空線之長度	344
8.4	塔頭上間隙的決定	346
第九章 輸電線的通訊干擾		348
9.1	電磁感應計算	351
9.2	放電器接地電阻之計算	355
9.3	靜電干擾的計算	356
第二篇 機械部份		
第十章 弛度張力計算		361
10.1	氣象條件	361
10.2	氣象條件之計算	362

10.3	單位負荷之計算	346
10.4	鋼心鉛線之機械性能計算	365
10.5	擋距計算	370
10.6	弛度張力之計算	375
10.7	弛度張力曲線之計算	392
10.8	模板的製造	393
10.9	誤差曲線	395
10.10	斷線時導線中張力之計算	397
	第十一章 防震計算	403

第一篇 電氣部份



第一章 輸電線的幾個重要規範

1.1 電壓的選擇

在蘇聯輸電線之標準電壓有：

10kv, 35kv, 110kv, 154kv, 220kv。

中國之電壓標準，從前有襲用英美者，也有日本者，但最近均有趨向蘇聯之傾勢，唯在35kv及110kv之間多設一級60kv。但是有些地區，因為遷就原有系統，仍保留有22kv, 33kv及44kv者。

在設計送電線時，首先便要確定該線路之電壓。選擇電壓時，應根據以上之標準電壓，至少作出二個方案，作經濟比較。為了便於提出方案及作初步之估計，可利用下列之經驗公式計算。

電壓之經驗公式，是與送電容量及線路長度有關。其最廣用之公式為：

$$V = 4.34\sqrt{l + 0.016P} \quad kv \quad (1.1)$$

式中 l 為送電線之長度 km
 P 為送電容量 $kw/每線$

本公式是根據實際經驗得來的，雖然距今已有30年之久，但是仍為工程師們所樂意採用者。本公式對於線路長度在50—250km之間，而送電容量在5—60Mw之間，則相當有效。至於更長之線路，在

1000 公里以下者，可採用下列公式計算：

$$V = \sqrt{P(0.1 + 0.015\sqrt{l})} \quad kv \quad (1.2)$$

式中 P 送電容量 kw /每線
 l 線路長度 km

例 某送電線之送電容量為 $P = 125 Mw$ ，長度 $l = 310 km$ ，問需用多高電壓送電？

解 按公式 (1.1) 得

$$\begin{aligned} V &= 4.34\sqrt{l + 0.016P} \\ &= 4.34\sqrt{310 + 0.016 \times 125000} = 208 kv \end{aligned}$$

按公式 (1.2) 計算：

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{P(0.1 + 0.015\sqrt{l})} \\ &= \sqrt{125000(0.1 + 0.015\sqrt{310})} = 213 kv \end{aligned}$$

1.2 導線截面積之選擇

根據蘇聯電氣安裝規程規定，一般應按下列各條件計算：

(1) 知道有效負荷最大使用小時後，根據經濟電流密度來確定導線之截面積。

(2) 考慮電暈時，導線之截面積便不應小於下列數字（一般在 $35 kv$ 以下之線路，不必考慮電暈）：

60kv 線路	直徑不小於 7.5mm
110kv 線路	直徑不小於 10.6mm
154kv 線路	直徑不小於 14 mm
220kv 線路	直徑不小於 25 mm

以上直徑之值，適於接近海拔標高點處架設線之用；在山岳地區導線最小直徑，須根據上述海拔標高點導線直徑及設計線路各標高

點處所選擇的導線之電壓臨界電壓平均值來確定。

(3) 應根據故障時及正常時之溫昇來檢驗導線之截面積，使其最高溫度不超過 70°C 。

(4) 架空線不必驗算短路電流之影響。

(5) 再以電壓降及損失來核算導線之截面積，但如因電壓降及損失須要增加導線之截面積時，必須作一經濟比較，再行決定。

本節即以以上次序，分別敘述各種計算的方法。

(i) 根據經濟電流密度來計算導線截面積之方法很多，茲介紹蘇聯的一種最合理的計算方法。

(a) 導線本身之價值 A_1 ，可以下列公式表示之：

$$A_1 = (bq + b_1)l$$

式中 q 為導線之截面積 mm^2
 l 為導線之長度 km

b 及 b_1 為一常數，與導線之電壓、材料及結構有關，其數值由下表查出 (b_1 為常數，與截面積無關)。

表 1.1 b 之數值

導線材料	在木柱上		在鐵塔上	
	無地線	有地線	無地線	有地線
鋼心鋁線	50-60	55-92	75-90	85-110
銅線	60-80	65-95	90-120	190-145
鋼線	50-60	---	---	---

(b) 常年運轉費用 A_c ，可用下列公式表示之：

$$A_c = P \cdot n (bq + b_1)l$$

式中 n 為年數

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

此中 P_1 , P_2 及 P_3 之求法如下:

P_1 ——折舊率:

$$35kv-110kv \text{ 木桿線路 } P_1 = 5.6\%$$

$$35kv-220kv \text{ 鐵塔線路 } P_1 = 3.2\%$$

(註) 一般假設木桿線路為 15 年, 鐵塔為 25 年, 但過這些年後, 仍然有它的殘餘價值。

P_2 ——常年檢修:

$$\text{木桿爲 } P_2 = 0.027 = 2.7\%$$

$$\text{鐵塔爲 } P_2 = 0.8\%$$

P_3 ——運轉人員之工資:

$$P_3 = 4-6\%$$

(c) 能量損失之費用可由下法求出:

$$w = 3 \times 10^{-3} \int_0^T I^2 R dt = 3R \times 10^{-3} \int_0^T I^2 dt \quad \text{kwh}$$

式中

I 為以負荷曲線變化之電流

R 為每根線之電阻

T 為每年小時數

令

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt}$$

如用近似公式求 I_{ef} :

$$I_{ef} = I_m \left(0.12 + 0.1 \frac{T_c}{1000} \right) \quad (1.3)$$

式中

I_m 為最大負荷時之電流

T_c 為最大利用小時

或

$$T_c = \frac{1}{I_m} \int_0^T I dt \quad (1.4)$$

若每 1 *kwh* 值 a_1 元，故損失價值為：

$$\begin{aligned} A_p &= 3a_1 R I_{ef}^2 T \\ &= 3a_1 I_{ef}^2 T \frac{\rho l}{q} = 3a I_{ef}^2 \frac{\rho l}{q} \end{aligned}$$

式中 a 為每年 1 *kwh* 之價值 $a = a_1 T$

但在每年中負荷之伸張都不一樣，故在運轉 n 年中之損失，當然便不是上式乘 n 倍了，而須逐年加之，如下式所示：

$$A_p = 3a \frac{\rho l}{q} \sum_1^n I_{ef}^2$$

(d) 如線路上最大能量損失為 ΔP_m ，則須要增加這些發電容量。設其費用為 A_s ，則：

$$A_s = a_s \Delta P_m = 3a_s \frac{\rho l}{q} I_{efm}^2$$

式中 a_s 為每 *kwh* 容量之設備費用

故整個價值應為上述 a 、 b 、 c 、 d 四項之和。

$$A = A_l + A_c + A_p + A_s$$

$$\begin{aligned} \text{或 } A &= (bq + b_1)l + 3a_s \frac{\rho l}{q} I_{efm}^2 + P(bq + b_1)ln + \frac{3a\rho l}{q} \sum_1^n I_{ef}^2 \\ &= (1 + Pn)(bq + b_1)l + \frac{3\rho l}{q} (a_s I_{efm}^2 + a \sum_1^n I_{ef}^2) \end{aligned}$$

要求最經濟之導線截面積，即將該式對 q 作微分，並令其第一次微分為零，有：

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial q} &= (1 + Pn)lb - \frac{3\rho l}{q^2} (a_s I_{efm}^2 + a \sum_1^n I_{ef}^2) = 0 \\ q_e &= \sqrt{\frac{3\rho (a_s I_{efm}^2 + a \sum_1^n I_{ef}^2)}{(1 + Pn)b}} \end{aligned} \quad (1.5)$$

式中 ρ 為導電率

$I_{efm} \approx I_{ef}$ ，由 (1.3) 式求出

a 為每 kwh 每年運轉小時之價值

n 為運轉年

P 由上所述, b 由表 1.1 求出。

a_s 定義如 (d) 中所述, 求法如下:

$$\text{水電站} \quad a_s = 400 + \frac{240}{n} + \frac{6000}{P} \quad \text{py6/kw}$$

$$\text{火電站} \quad a_s = 400 + \frac{360}{n} + \frac{7000}{P} \quad \text{py6/kw}$$

式中

n 為電機數

P 為設備容量

在具體計算時, 中國目前尚無準確之定額資料, 故可參考蘇聯之經濟電流密度來選擇導線截面積。茲將蘇聯經濟電流密度之數據列表如下:

表 1.2

有效負荷最大使用時間	3000 小時 以內	3000 至 5000 小時	5000 小時 以上
導線材料			
銅	2.50	1.75	1.25
鋁	1.50	1.00	0.75

(ii) 導線截面積根據經濟電流密度選出後, 應再根據其溫昇檢查之, 必須使其溫度最高不超過 70°C 。

導線截面積與溫昇之關係, 是根據熱平衡定律求出。

導線所產生之熱量可分兩部分: 一為損失所產生之熱量, 一為太陽之熾熱。導線所發散之熱量, 也可分兩部分: 一為幅射, 一為傳導。茲分別敘述各部熱量之求法。

由太陽之熾熱所產生之熱量, 可由下式求出:

$$P_s = 0.12c \cdot 0.9^{3.6c} \quad w/cm^2 \quad (1.6)$$

式中 c 爲導線之受熱係數，一般在 0.5—0.6 之間

φ 爲太陽之距離

其由太陽所產生之熱量，除上式所求出外，尚須加上由大氣中雲彩所射來之熱量，一般須加 20%。

輻射出去之熱量，可由 Стефана—больцмана 定律得：

$$P_r = 5.9c \left[\left(\frac{T_1}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{1000} \right)^4 \right] \quad w/cm^2 \quad (1.7)$$

式中 T 爲導線之溫度

T_0 爲四週空氣之溫度（以上均爲絕對溫度）

c 爲輻射常數，導線採用 0.5—0.6

傳導損失之熱，此值在無風的時候最小，因爲其四週之空氣將被導線溫度升高後即不動了。此值不應考慮，我們常考慮在 0.5m/sec 風速時，較爲適合。

關於這項，我們最好利用 Теории пограничного слоя。下式即示圓柱水平導線之傳導熱量：

$$P_k = \frac{2\pi r \lambda}{\ln\left(1 + \frac{2\delta}{d}\right)} \quad w/cm^2 = \frac{2\tau \lambda}{d \ln\left(1 + \frac{2\delta}{d}\right)} \quad w/cm^2 \quad (1.8)$$

式中 τ 爲柱體與四周界質之溫度差

λ 爲四周界質之熱導率 $w/cm \ 1^\circ C$

d 爲圓柱體之直徑 cm

δ 爲熱導層之等值厚度 cm

其傳導係由導線之溫度開始下降，直到與其周圍界質 δ 層溫度相等時爲止。

δ 值由下式算出：

$$\delta = Md \left(\frac{\mu}{sdv} \right)^m \quad cm \quad (1.9)$$