

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

電力網絡

下 冊

A. A. ГЛАЗУНОВ 著

清華大學發電輸配電教研組
天津大學發電廠電力網教研組 譯



龍 門 聯 合 書 局

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



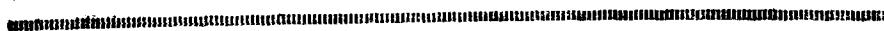
電力網絡

下冊

A. A. 格拉茹諾夫著

清華大學發電輸配電教研組
天津大學發電廠電力網教研組 合譯

龍門聯合書局



本書係根據蘇聯國立動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的格拉茹諾夫教授 (А.А. Глазунов) 所著“電力網絡” (Сети электрических систем) 1947 年初版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等動力學校及高等電工學校教科書。亦可供工程師及技術員在網絡的設計裝備及運行方面參考。

本書俄文原版包括三大部份：一、電力網絡的裝備；二、電力網絡的計算；三、架空線機械部份的計算。中譯本分上下兩冊出版。本書係下冊，包括架空線機械部份的計算。

本書第十二章和第十三章由清華大學發電輸配電教研組孫紹先、張實霖同志翻譯，第十四章由天津大學發電廠電力網教研組徐慶春、吳詠詩、鄒斯勤、賀家李同志翻譯。

電 力 網 絡

下 冊

СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. А. ГЛАЗУНОВ 著

清華大學發電輸配電教研組
天津大學發電廠電力網教研組 合譯

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上海南京東路 61 號 101 室

新華書店華東總分店總經售

上海南京西路 1 號

華 文 印 刷 局 印 刷

上海濟寧路 143 弄 4 號

1954 年 3 月初版 印數 0001—5000 冊

定價 5,500

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：「蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯系實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。」我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將陸續向全國推薦，作為現階段我國高等學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對課本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

目 錄

第三篇 架空線路的機械部份的計算

第十二章 正常工作情況下導線 及接地線的計算

104. 總論.....	1
105. 架空線路導線及接地線的機械負荷.....	4
106. 導線懸垂曲線.....	8
107. 導線各點的拉力.....	12
108. 導線的拉力與弛垂	14
109. 在變更氣候條件下、導線的弛垂與應力.....	17
110. 臨界跨距	19
111. 臨界溫度	21
112. 在不變更氣候條件下、組合導線的應力與弛垂.....	25
113. 在變更氣候條件下、組合導線的應力與弛垂.....	28
114. 組合導線的臨界跨距	29

第十三章 在導線折斷時架空線路的運行

115. 總論.....	36
--------------	----

116. 支柱的彎曲係數.....	38
117. 懸式絕緣子鏈的平衡條件.....	40
118. 支柱主桿間的力的分佈.....	41
119. 架空線路導線的折斷.....	43
120. 沿導線拉力與折斷地方、支柱型式及線路電壓的關係.....	52
121. 在應用釋放或滑動線鉗情形下導線一部份折斷時的沿導 線拉力.....	55
122. 導線一部份折斷時在錨式支柱上的力的確定.....	57

第十四章 架空線支柱的計算

123. 總論.....	58
124. 架空線導線間的距離.....	60
125. 架空線支柱的高度.....	66
126. 木質直線支柱的計算.....	71
127. 正常類型木質分段支柱的計算.....	99

附 錄

XV. 架空輸電線及電訊線路的木材.....	116
XVI. 木支柱材料的許可應力; 表 1, 表 2.....	117
XVII. 支柱的穩定安全係數及計算基礎的補助表; 表 1, 表 2, 表 3, 表 4.....	118

第三篇 架空線路的機械部份的計算

第十二章 正常工作情況下

導線及接地線的計算

104. 總論⁽¹⁾

如第十節所述，電力架空線可分為三類。供給廣大地區及強大負荷的第一類線路，為了保證用戶供電的可靠性，對其機械部份有最嚴格的要求。

導線及接地線的材料應力，在計算時不應超過某種極限值。按蘇聯架空線路敷設規則，凡線路通過無居民地方，跨越封凍及不通航的河川和運河及第二級公路等，導線及接地線在按裝時，需具有正常拉力，其對應的強度安全係數為：

1) 多股導線及地線——2

2) 單股導線——2.5

由於單股導線的機械性質遜於多股導線，故其強度安全係數，取用較大。

如果架空線路通過居民區域，且在線路跨距中，跨越公路、電訊線路、經常利用的鐵路及其他電力線路等，則導線及接地線在按裝時，需

(1)關於架空線路機械部份的詳細敘述，參閱 проф. А. А. Глазун "輸電線路" 1928 年 МВТУ 出版及 "電力架空線機械部份的計算" 1934 年 Энергиздат 出版。

具有減弱拉力,其對應的強度安全係數為:

1)多股導線及接地線——3

2)單股導線——3.75

架空線路通過居民區域,跨越公路等,如果導線折斷,落於地上,對人類生命將有很大危險,故必須增加導線及接地線的安全係數,因此採取減弱拉力。

除特別情形外,安全係數均依導線拉力的最低點計算。

爲了保證必需的機械強度,架空線路敷設規則對於各種線路並確定了導線及接地線底最小截面及直徑(表 32)。

表 23

導線及接地線的最小直徑及截面

導線及接地線的結構及材料		架空線路的種類		
		I	II	III
單股	銅	不許採用	10mm ²	6mm ²
	銅(鐵)、青銅	不許採用	Ø4mm	Ø2.75mm
	鋁及其合金	不許採用	不許採用	不許採用
多股	銅、青銅	16mm ²	10mm ²	
	銅(鐵)	16mm ²	10mm ²	
	鋁及其合金	25mm ²	16mm ²	

如果架空線路跨越鐵路、通航河流和運河、公路、電訊線路等,或通過居民地方,採用鋁線敷設時,其截面應當不少於 35 mm²;採用他種金屬敷設時,其截面不可小於 16 mm²。在居民地方和跨越主要建築時,爲了提高線路運行的可靠性,此種規定,實屬必需。

導線和接地線外面,常覆以較厚冰層。由於對空氣溫度、風速、冰層強度和比重作了相當長期的觀察,架空線路的計算條件,是依最壞的

外方負荷及實在的溫度二者組合決定⁽¹⁾。

所有在五年內最少重覆一次的負荷及溫度的組合都取為不利的組合。

在某些區域，如果它的實際溫度、風速和冰層與第 24 表內所列各值沒

表 24

計算氣候條件

計 算 條 件			氣 候 條 件 區 域			
			I	II	III	IV
空 氣 溫 度 °C	最 高 溫 度		+40°C			
	最 低 溫 度		-40 °C			
	無冰的導線及接地線		- 5 °C			
	覆冰的導線及接地線		- 5°C			
	根據過電壓條件決定導線及接地線間距離		+15°C			
	校驗架空線路元件的架設條件		-15°C			
風 速 (2) 米/秒	正常情況	無冰的導線及接地線	25 米/秒			
		覆冰的導線及接地線	10 米/秒 15 米/秒			
	障故情況	覆冰的導線及接地線	0 米/秒			
	週圍空氣溫度為 +40 °C 及 -40 °C		0 米/秒			
	校驗架空線路元件的架設條件		10 米/秒			
	決定導線與 支架間距離 (導線無冰)	根據操作過電壓條件	15 米/秒			
		根據大氣過電壓條件	10 米/秒			
	冰 層	冰 層 厚 度 厘米		0.5	1.0	1.5
比 重		0.9				

(1)關於作用在架空線上的冰層和風，參閱第 11 節。

(2)關於置於封閉處所的架空線，如果週圍建築平均高度不小於支架高度的 $\frac{2}{3}$ 時，

則計算風速可減少 20%。

有較大出入時，則無論架空線路的種類如何，它的機械部份的計算均應按上表所給數據進行。

由此表可見按電力網架空線路的氣候條件，根據蘇聯規則定為四區。它們彼此之間，是由於導線及接地線的外表所形成的冰層厚度和有冰層出現時的風速不同而劃出區分。

在第 I 區內，冰層厚度只有 0.5 cm，是冰層形成嚴重性最小的區域。在第 II 區內，冰層形成的嚴重性為中等，冰層厚度等於 1 cm，而在第 III 區內，冰層形成的嚴重性在增加，為 1.5 cm，至於冰層厚度為 2 cm 的區域，即認為最利害的覆冰區域。

在所有各區中，冰層比重，均取為等於 0.9。因為冰層的形成，發生在溫度 0°C 附近，故導線及接地線覆冰的溫度取為 $t = -5^{\circ}\text{C}$ 。

最後再說明一次，如果在某區中，事實上觀察得到的冰層及風速等較上列數據為大時，則架空線路的計算，必須根據實際的氣候條件進行。

105. 架空線路導線及接地線的機械負荷

架空線路的導線和接地線，週期的遭受外部負荷（冰、風）的作用和它們同時的作用，因此在導線和接地線⁽¹⁾內產生了不同的拉力。外部負荷，並不是嚴格的沿着導線均勻分佈的，因為這種的不均勻性不大，而且也無法計算它們，故導線的計算，除特別情形外，均將假定外部負荷均勻分佈。

在導線計算中，表示負荷最合適的公式是比載，即導線的每單位截面 (1 mm^2) 及單位長度 (1 m) 的負荷 (kG)。

吾人將導出決定比載的公式

1 自重 自重的比載 g_1 與導線材料和它的結構有關。對於單股導

(1) 此後為簡單起見，只說導線。所有關於導線的論述，均可用於接地線。

錄，它等於截面為 1 mm^2 長度為 1 m 的導線重量 kG 。多股導線是由多股扭絞而成，每股長度較導線軸心長度增大 $2-3\%$ ，故其自重比載按下列公式求出：

$$g_1 = (1.02-1.03) \frac{\gamma}{1000s} kG/m\text{-mm}^2, \quad (105.1)$$

上式內： γ —導線材料比重，可由附錄 IV 的表內求得。

至於組合導線，例如鋼心鋁錄，其自重的比載，依下列方法求得。

設 g_{1a} 代表截面 1 mm^2 長度 1 m 的鋁部比載， g_{1c} 為鋼心比載。如果導線鋁部的截面為 s_a ，鋼部為 s_c ，總截面 $s = s_a + s_c$ ，則可寫成：

$$g'_1 \cdot s = g_{1a} \cdot s_a + g_{1c} \cdot s_c,$$

上式中 g'_1 —組合導線的自重比載，忽略旋繞。

校正旋繞，且以導線材料的比重 γ_a 及 γ_c 表出 g_{1a} 及 g_{1c} 得：

$$g_1 = (1.02-1.03) \frac{\gamma_a \cdot s_a + \gamma_c \cdot s_c}{1000s} kG/m\text{-mm}^2 \quad (105.2)$$

在計算絕緣導線的自重比載時，絕緣材料的重量，也必須計算在內。

2. 冰層 在計算冰載的時候，假定沿導線全長，覆以一層厚薄均勻的冰層。

導線外面的冰層比載，依冰層重量計算。且冰層為圍繞導線的空心圓柱形式。引入下列符號： d ——導線外直徑， mm ； b ——冰層厚度， mm ； g_0 ——冰層體積重量 kG/cm^3 ； g_2 ——冰層的比載，可寫成：

$$g_2 = \frac{\left[\frac{\pi(d+2b)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right] g_0}{s}.$$

根據線路設備規則⁽¹⁾，可取 $g_0 = 0.0009 kG/\text{cm}^3$ ，變換上式，得：

(1)“電力技術設備建設規則電力傳輸架空線路(機械部份)”，動力出版社，(打字印刷)，此後將簡稱爲“規則”。

$$g_2 = 0.0009 \pi \frac{b(d+b)}{s} = 0.00283 \frac{b(d+b)}{s} \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.3)$$

3. 自重及冰層的總比載 自重和冰層的比載，因為它們是垂直方向的，等於：

$$g_3 = g_1 + g_2 \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.4)$$

4. 導線風壓的比載 無冰導線每米的風壓力可按(11.2)公式求出，且等於：

$$p = \alpha \cdot k \cdot q \cdot F = \frac{\alpha \cdot k \cdot q \cdot d}{1000} \text{ kG/m}.$$

上式內 d —導線外直徑(mm)。

導線的風力不均係數，可取之等於 0.85，而空氣動力係數， $k=1.2$ 。將此值代入式內，得：

$$p = \frac{(0.85)(1.2)q \cdot d}{1000} = 0.00102 q \cdot d \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.4)$$

因此，無冰導線的風壓比載為：

$$g_{4(v)} = \frac{(0.00102) q_{(v)} \cdot d}{s} \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.5)$$

在 g_4 和 q 內，下標 (v) 表示比載是由多大的風速求出的。例如風速為 25 米/秒時，則 $v=25$ 。

至於導線覆冰時，風壓的表面變大，故在此情形下的風壓比載，可依下式求出：

$$g_{5(v)} = \frac{0.00102 q_{(v)}(d+2b)}{s} \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.6)$$

凡支柱高度在 30 m 以下時，24 表所列風速數據，均可應用。在拔海高度較大處，風速較大，則風壓比載，可按[規則]內特別公式計算。

5. 導線的總和比載 導線的總和比載是由垂直比載(自重、冰層)

及水平比載(風壓)相加而成,因此必須按幾何加法求得。

因此導線自重及導線無冰時的風壓的總和比載等於:

$$g_{6(v)} = \sqrt{g_1^2 + g_{4(v)}^2} \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.7)$$

導線自重、冰重和風壓有冰時的總和比載為:

$$g_{7(v)} = \sqrt{g_3^2 + g_{5(v)}^2} \text{ kG/m-mm}^2. \quad (105.8)$$

依上列各種的比載,可以進行在設計中常遇的各種情形的導線及地線的計算。

例 34. 試求同等線 M-25 和鋼心鋁線 AC-120 的比載。可假定導線係架設在第 II 區的氣候條件的地方。

鋼 導 線

額定導線截面——25 mm²

鋼比重——8.9

導線外直徑——6.3 mm

鋼 心 鋁 線

額定鋁部截面——120 mm²

鋁比重——2.7

額定鋼部截面——22 mm²

鋼比重——7.85

額定導線總截面——142 mm²

導線外直徑——15.3 mm

(1) 導線自重比載 利用公式 (105.1) 及 (105.2) 求出:

$$\begin{aligned} g_1 &= 1.025 \frac{\gamma}{1000} = 1.025 \frac{8.9}{1000} \\ &= 0.00912 \text{ kG/m-mm}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_1 &= 1.025 \frac{\gamma_a \cdot s_a + \gamma_c \cdot s_c}{1000s} \\ &= 1.025 \frac{(2.7)(120) + (7.85)(22)}{(1000)(142)} \\ &= 0.00345 \text{ kG/m, mm}^2 \end{aligned}$$

(2) 冰層比載 冰層厚度為 10 mm, 冰比重為 0.9

$$g_2 = 0.00283 \frac{b(d+b)}{s}.$$

$$\begin{aligned} g_2 &= \frac{(0.00283)(10)(6.3+10)}{25} \\ &= 0.01845 \text{ kG/m-mm}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_2 &= \frac{0.00283(10)(15.3+10)}{142} \\ &= 0.00517 \text{ kG/m-mm}^2. \end{aligned}$$

(3) 導線自重及冰層的比載

$$g_3 = g_1 + g_2.$$

$$\begin{aligned} g_3 &= 0.00912 + 0.01845 \\ &= 0.02757 \text{ kG/m-mm}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_3 &= 0.00345 + 0.00517 \\ &= 0.00862 \text{ kG/m-mm}^2. \end{aligned}$$

(4) 導線無冰時的風壓比較 風速為 25 米/秒,

$$g_{4(25)} = \frac{0.00102 q(v) \cdot d}{s}$$

風速壓力

$$g_{(25)} = \frac{v^2}{16} = \frac{25^2}{16} = 39.1 \text{ kG.}$$

$$g_{4(25)} = \frac{0.00102(39.1)(6.3)}{25}$$

$$= 0.01064 \text{ kG/m-mm}^2;$$

$$g_{4(25)} = \frac{0.00102(39.1)(15.3)}{142}$$

$$= 0.00449 \text{ kG/m-mm}^2.$$

(5) 導線覆冰時風壓比較

$$g_{5(v)} = \frac{0.00102 q(v)(d+2b)}{s}$$

風速為 10 米/秒時, 風速壓力 $q = 6.25 \text{ kG.}$

$$g_{5(10)} = \frac{0.00102(6.25)(26.3)}{25}$$

$$= 0.0071 \text{ kG/m-mm}^2;$$

$$g_{5(10)} = \frac{0.00102(6.25)(35.3)}{142}$$

$$= 0.00165 \text{ kG/m-mm}^2.$$

(6) 導線無冰時 導線自重及風壓的總和比較

$$g_{6(v)} = \sqrt{g_1^2 + g_{4(v)}^2}.$$

$$g_{6(25)} = \sqrt{0.0089^2 + 0.01064^2}$$

$$= 0.0139 \text{ kG/m-mm}^2;$$

$$g_{6(25)} = \sqrt{0.00345^2 + 0.00449^2}$$

$$= 0.00566 \text{ kG/m-mm}^2.$$

(7) 導線覆冰時, 導線自重及風壓的總和比較

$$g_{7(v)} = \sqrt{g_3^2 + g_{5(v)}^2}.$$

$$g_{7(10)} = \sqrt{0.02757^2 + 0.0071^2}$$

$$= 0.0285 \text{ kG/m-mm}^2;$$

$$g_{7(10)} = \sqrt{0.00862^2 + 0.00165^2}$$

$$= 0.0088 \text{ kG/m-mm}^2$$

106. 導線懸垂曲線

架空線路的導線和接地線, 如果支柱懸掛點間的距離很大, 則導線材料的剛性影響較小, 因此導線即可認為是一根理想的柔軟的而且負荷均勻的線段。在此種假定原則之下, 作用在導線上的任何負荷, 將只引起導線的伸長, 且某點的沿線拉力和導線軸線方向重合。

設有導線, 懸於 A 和 B 兩點上 (圖 313), A, B 二點係在一水平直線上。1 和 2 兩點間的長度, 以 dL 表之。此線段爲了達到處於平衡

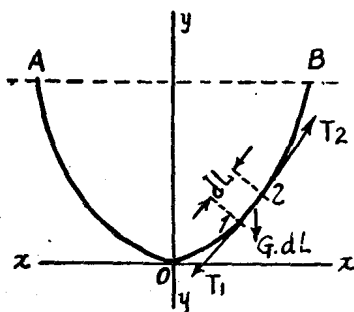


圖 133

狀態，則其兩端必須有兩個力 T_1 和 T_2 。此二力即等於在此點導線中的拉力。除 T_1 和 T_2 二力外，在 dL 段內，尚有負荷 $G \cdot dL$ 作用其於上。此處 G 表示導線單位長度的負荷。

因為線段 dL 處於平衡狀態，沿橫座標方向的各力的投影總和應等於零，即：

$$-T_1 \left(\frac{dx_1}{dL} \right) + T_2 \left(\frac{dx_2}{dL} \right) = 0, \quad (106.1)$$

$$T_1 \left(\frac{dx_1}{dL} \right) = T_2 \left(\frac{dx_2}{dL} \right) = \text{常數}. \quad (106.2)$$

方程式 (106.2) 指出導線任意點沿線拉力的水平分量保持不變。令 1 和 2 中的任一點與導線最低點 O 重合， O 點是曲線 AOB 與橫座標 $x-x_1$ 的切點，則可寫成：

$$T_1 \left(\frac{dx_1}{dL} \right) = T_2 \left(\frac{dx_2}{dL} \right) = T_0 = \text{常數}.$$

此處 T_0 —沿導線最低點的拉力，方向為水平方向。

因此，沿導線任意一點拉力的水平分量等於導線最低點的拉力。

根據上面所得結論，吾人可以肯定導線各點拉力的變化是祇由垂直負荷 ($G \cdot dL$) 的影響而產生，

現在吾人研究線段 oa (圖 314)。在 O 點，只有水平力 T_0 而且等於導線最低點的拉力。在 a 點，如果線 oa 處於平衡狀態，必須再加二力，一個水平

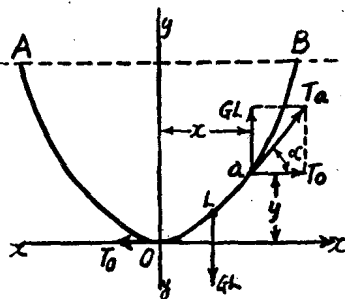


圖 314

力等於 T_0 , 另一個垂直力 $G \cdot L$, 方向向上且等於 L 長度的導線負荷。
(自 O 點至 a 點)。

由力的三角形, 有:

$$\overline{T}_a = \overline{T}_0 + \overline{G \cdot L} \quad (106.3)$$

及
$$G \cdot L = T_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (106.4)$$

後一個方程, 可以表為下式:

$$G \cdot L = T_0 \frac{dy}{dx}, \quad (106.5)$$

此式是導線懸垂曲線的微分方程式。

設 $\frac{T_0}{G} = h_0$, 且將此符號引入方程式(106.5)中, 得:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{L}{h_0}. \quad (106.6)$$

但因

$$dL^2 = dx^2 + dy^2,$$

於是

$$\left(\frac{dL}{dy}\right)^2 = \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 + 1.$$

將方程式(106.6)內 $\frac{dx}{dy}$ 之值, 代入上式, 得:

$$\left(\frac{dL}{dy}\right)^2 = \left(\frac{h_0}{L}\right)^2 + 1,$$

或

$$dy = \frac{L}{\sqrt{L^2 + h_0^2}} dL. \quad (106.7)$$

積分後, 方程式(106.7)變為下列形式:

$$y + C_1 = \sqrt{L^2 + h_0^2}.$$

積分常數 C_1 可由起始邊界條件決定: 在 $x=0$, 及 $y=0$ 時, 有 $L=0$ 及 $C_1=h_0$

因此

$$y + h_0 = \sqrt{L_0^2 + h_0^2}, \quad (106.8)$$

由此

$$L = \sqrt{y^2 + 2h_0 \cdot y}.$$

將上式代入方程式(106.6)內,得

$$dx = \frac{h_0 \cdot dy}{\sqrt{y^2 + 2h_0 \cdot y}}.$$

此式積分後得

$$x = h_0 \ln \frac{y + h_0 + \sqrt{y^2 + 2h_0 \cdot y}}{h_0} + C_2.$$

當 $x=0$ 及 $y=0$ 時,吾人得 $C_2=0$.

令 $C_2=0$ 且將所得的方程式變為指數式,得:

$$y + h_0 + \sqrt{y^2 + 2h_0 \cdot y} = h_0 \cdot e^{\frac{x}{h_0}}.$$

取消根號,則有

$$y + h_0 = \frac{h_0}{2} \left(e^{\frac{x}{h_0}} + e^{-\frac{x}{h_0}} \right). \quad (106.9)$$

將座標原點移至 O' 點(圖 315),
此點在最低點 O 下的距離是 h_0 , 上面
的方程式可以寫成下式:

$$y = \frac{h_0}{2} \left[e^{\frac{x}{h_0}} + e^{-\frac{x}{h_0}} \right] = h_0 \cosh \frac{x}{h_0}. \quad (106.10)$$

以上所得方程式是鏈形方程式。
因此理想彎曲的導線是依鏈形懸垂着。

如果座標原點在 O' 點, 方程式

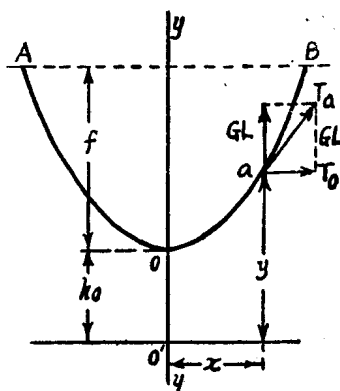


圖 315