

电气化铁路的 经营管理

技術科学副博士 Б·Э·彼依沙赫仲 著

人民铁道出版社

目 錄

前 言

緒 言

第一章 貨物列車重量和行車速度選定的技術經濟依據	4
1. 基本原理.....	4
2. 貨物列車的重量和行車速度 與年度費用間關係的確定.....	7
3. 確定列車重量及行車速度最合適值的方法.....	29
4. 單綫和雙綫綫路車列重量最合適值的選定.....	42
5. 在已知車列重量的條件下 最合適的行車速度的選定.....	46
6. 確定列車重量和行車速度最合適值的近似法.....	52
第二章 幹綫類型的電氣機車最合適參數的選擇	62
1. 基本原理.....	62
2. 限制上坡道上速度的選定.....	63
3. 電氣機車的粘著重量和功率的選擇.....	70
第三章 電氣機車交路長度及服務方式的選擇	78
1. 電氣化綫路機車交路長度的選定.....	78
2. 乘務組為電氣機車服務方法的比較.....	83
第四章 單綫及雙綫電氣化綫路區間長度的選擇	89
1. 基本原理.....	89
2. 行車電力消耗的分析.....	90
3. 通過能力因素的分析.....	91
4. 商務速度基本因素的分析.....	102
5. 建築——運營業費用的分析.....	104
6. 電氣化綫路上區間長度的選擇.....	105

第五章 对电气化线路上分界点的借集閉 (CUB)

设备及配綫的要求.....107

1. 基本原理.....107

2. 列車不停車会让与越行的組織.....108

3. 縮短車站間隔時間的效果.....116

第六章 电气化綫路的輸送能力.....117

1. 單綫綫路的輸送能力.....117

2. 双綫綫路的輸送能力.....122

第七章 具有幹綫意义的电气化

綫路上的行車指揮及运行圖的制訂.....124

1. 基本原理.....124

2. 具有幹綫意义的电气化綫路上行車制度的确定.....124

3. 电气化綫路上調度調整行車的特点.....133

4. 电气化綫路上运行圖繪制和行車組織的特点.....134

結 束 語

主要符号表

前 言

电气铁路运营问题的研究，由于广泛地实施铁路运输电气化而具有特别的迫切性。

在Б·Э·彼依沙赫仲的论文内，研讨了与电气化铁路设计和运营有关的列车重量和行车速度、电气机车参数、交路长度等的最适合值的选定问题。

由于论文中所阐述的许多问题尚系初次进行探讨，还不能把它当作最后的结论。对这些问题的批评和全面的讨论，将有助于电气化铁路运营问题理论的进一步发展。

研究院请求读者把对本论文的批评和愿望寄给：莫斯科 164 区格拉夫胡同11号交通部科学研究院。

院長

И. А. 伊凡諾夫

铁道运营課主任

А. И. 普拉托諾夫

緒 言

我國國民經濟各个部門的电气化，包括鐵路運輸在內，是在列寧、斯大林关于作为共產主义物質技術基礎的电气化学說的基礎上實現的。

还在苏維埃政权建立的最初几年，B·И·列寧就已提出了“共產主义——就是苏維埃政权加上全國电气化”的不朽的公式。

鐵路幹綫改变为电气牽引，这是在列寧喻为“党的第二綱領”的著名的全俄电气化委员会計劃中早就規定了的。

由于社会主义計劃經濟的优越性，我國电气化的發展正以資本主义經濟所远不能达到的速度進展着。

斯大林五年計劃實現的結果，还在偉大的衛國战争之前，苏联發電量就已超过了1913年發電量的24倍，并且在电力生產方面苏联在歐洲已居第一位。

虽然战争使我國國民經濟遭受了巨大的損失，但是在战后的斯大林五年計劃中，不僅已完全恢复了主要的电力基地，而且發電站的發電能力也已獲得了很大的增長。發電量在1951年是1040億瓩-时，超过了英、法兩國电力生產的总和。改变为电气牽引的鐵路綫長度是大大地增加了。

根据斯大林同志的倡議，已經开始和正在伏尔加河上建設中的世界最大的古比雪夫和斯大林格勒水电站、德涅伯河上的卡霍夫克水电站和土庫曼大运河水电站都为鐵路運輸电气化开拓了寬廣的可能性，并为鐵路網最重要幹綫方向采用电气牽引創造着必要的物質技術底前提。

就这些任务而言，具有特別迫切意义的是确定电气化綫路最有利的运营条件。

在这种情况下，如果由于蒸汽牵引和电气牵引的綫路上运轉組織原則完全相同，而簡單地將电气牵引加到現有綫路上去，那就錯了。

改变为电气牵引并不意味着簡單地以一种牵引來代替另一种牵引，而应理解为与鉄路綫运营有关的所有綜合的問題，如列車重量及行車速度、机車主要参数及交路長度的擇定，信集閉(CUE)設備、車站配綫、动力供应能力要求的确定等等，因而要求建立另一种运轉形式。

本論文的任务是要确定具有幹綫意义的各电气鉄路最有利的运营条件。

这个任务的解决，关系到選擇列車重量和行車速度（决定对电气机車的参数、动力供应設備的能力和机务段車站布置的要求的主要因素）的最適當数值和尋求电气牵引綫路上最合理的行車組織方法等問題。

論文中所作的全部計算，系按照直流电电压为3300伏的电气鉄路進行的。但是研究的方法也可以用來作尋求交流电的电气化鉄路的最有利的运营条件。

在論文中引用了苏联的学者——А.Б.符里夫，А.Б.列別杰夫，В.А.謝瓦林，Н.Н.柯斯特罗米京，В.Е.罗津費尔特，К.Е.馬尔克伐尔特教授等研究牵引理論和电气化鉄路电力供应基本問題的著作。

第一章 貨物列車重量和行車速度 選定的技術經濟依据

1. 基本原 理

貨物列車的重量和行車速度，是決定鐵路綫路通過能力和輸送能力、機車車輛投資規模和貨運運營費的主要因素。

機車的主要參數——粘着重量和功率，是根據列車的重量和行車速度決定的。

在選擇列車的車列重量和行車速度時，必須考慮到電氣機車牽引所固有的特性。

首先，電氣機車與蒸汽機車不同，它沒有動力發動機，為保證所選定的行車制度而需要的電力都由接觸網供給。

牽引電動機的迴轉速度是大到這樣的程度，就是在鐵路上運行中要利用它時，必須裝設能相對減少車輪迴轉次數，並保證行車速度不超過制動器、綫路構造和電氣機車本身所允許範圍的特种傳動器。

電動機的原動軸與動軸之間傳力系數比率的变化，可以給予走行速度可能变化的很大的範圍，因而，有廣泛的可能選擇必要的行車速度。

採用電氣機車牽引時，由於工作狀況的可能改變（磁場最大或磁場衰減行駛），調節行車速度是很容易的。在保持規定的限界時，在一定的範圍內改為功率較高的發動機，原則上也是可能的。

車列重量的選擇，也有很大的差別。

如所周知，在蒸汽牽引的情況下，車列重量的增大是與一個車架上聯動軸數超過 5 個的蒸汽機車設計的困難，以及軸重增加時綫路上部建築投資的大量增加是有關的。然而在電氣化綫路上，由於能廣泛應用多單位制的多機牽引，及電氣機車功率很大而它的構造重量卻比較小，實際上就取消了車列重量的選定取決於機車的限制。因而在提高行車速度的同時，可以大大地增加車列的重量。

在蒸汽牽引的情況下，改為雙聯式的蒸汽機車與機務設備的補加投資、檢修費用的增高、燃料消耗的增加等有關。但聯動軸為 6、8 及 8 個以上的雙聯電氣機車的設計，則不致引起額外的支出。

蒸汽機車的功率為傳熱面積、爐床面積所限制，且持續功率和最大功率實際上是相等的。可是需要必要數量電力的電氣機車，則並無這些限制；此外，依靠電動機的超負荷，還允許臨時提高功率達到持續功率的 50%。

當 8 軸電氣機車的功率可以達到 6000 馬力，而 10 和 12 軸的電氣機車（或者在採用多單位制的情況下）達到 8000、10000 馬力以及更多時，蒸汽機車的功率實際上卻不大於 3500~4000 馬力。

帶煤水車的蒸汽機車每噸重的單位功率不超過 10~12 馬力。

但在設計電氣機車時，在直流電的條件下，可保證獲得單位功率大約為 30 馬力；在單相電流的條件下，保證獲得單位功率大約為 80~35 馬力，這對縱斷面困難的綫路區段來說就具有特別重要的意義，因為在那里機車在整個列車中所占的比重最大。

上述電氣牽引的特性，為貨物列車行車速度和重量的最合適值的選定特別是在可以自由選定這些因素以設計運轉組織的時候，創造了非常有利的條件。

同時應該考慮到，列車重量和行車速度的改變對於鐵路工作具有重大的影響。

例如，當速度提高時，可以縮減機車車輛的需要量，減少機

車和列車乘务組的工薪費用，加速貨物的運輸，延后為發展鐵路通過能力和輸送能力所需的投資，減少機務設備（庫綫、灰坑等等）的需要量，以及節省決定于維修的單位數量（維修的工作面、段管綫長度等等）的部分維修費用。

与此同时，在行車速度提高的情況下，電力的消耗將有增加，接觸電綫網和配電所的建造成本將提高，綫路上部建築、電氣設備和機車與車輛走行部份的修理費用將增大，並且在到達一定限度時還需要改建綫路上部建築（敷設較重型的鋼軌、加固橋梁等等）。

當車列重量增加時，一方面區段上的列車數減少，因此乘务組的工薪費用縮減，需要的機車台數減少，尤其是在單綫綫路上，由於通過能力用得很少，技術和商務速度間的比值變小，使發展鐵路通過和輸送能力的投資延后等等。但另一方面，當車列重量增加時，車輛因集結停留時間將有增加，接觸電綫網和配電所的建築費用將提高，而且當達到一定限度時，到發綫的有效長度也需要延長。

因此，列車重量和行車速度對於運營費和投資數有極為重大的影響。

鐵路運輸費用收支平衡表的分析說明，差不多全部運營費的50%和用於發展鐵路通過能力和輸送能力的投資的主要部份都是與列車重量和行車速度有關的。

由於運輸費用和列車重量及行車速度之間存在着一定的關係，就可以在已知的運營條件（貨運量的大小、電力價格等等）下確定貨物列車重量和行車速度的最合適值，它可以保證鐵路運輸中的貨運支出達到最小。

同時應該指出，選定列車最合適的重量和行車速度的技術經濟的評價，只是為了解決上述具有巨大國民經濟和國防意義的問題的準繩之一。

2. 貨物列車的重量和行車速度与 年度費用間关系的确定

确定取决于列車重量和行車速度的运营費用（機車和列車乘务組的工薪、电力成本、材料費用等等）并不困难。

綜合評比列車重量和行車速度对运营費及有关鐵路設備各个不同对象投資的影响問題則比較复雜。

如所周知，目前还没有測定每年运营費和投資的公認方法。因此，随列車重量和行車速度变更的总的年度費用是按投資偿还期限由設計实际估計所需投資确定的。同时要考核投資的不同偿还期限对列車重量和行車速度最合適值的影响。

取决于車列重量和行車商务速度的年度費用 $\mathcal{O}_{\text{год}}$ 的总额，即

$$\mathcal{O}_{\text{год}} = f(Q, V_k)。$$

可以用下式表示：

$$\begin{aligned} \mathcal{O}_{\text{год}} = & \frac{2L\beta_s m n c_s p_s}{24} \left(\frac{1}{V_k} + \vartheta \right) + \frac{0.42 Q k y}{q_{sp}} (c_s p_s + p_{os} z_s q_n) + \\ & + \frac{\beta_s n c_s g p_s}{24} \left(\frac{2L_m}{V_k} - \sum t_{den} \right) + 365 n g \left[\left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{sp}^s \right) b_s + \right. \\ & \left. + \left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{sp}^n \right) b_n \right] + \sum A_r c_s + d_p L + r e + \\ & + \frac{p_{os} z_s P_{\text{год}}^{n \cdot o} l_s}{8760} \left(\frac{1}{V_k} + \vartheta_{sp} \right) + R + \frac{1}{l_o} (A_Q + A_{np}) \text{盧布/年} (1) \end{aligned}$$

上述公式內，各項被加数的意义如下：

$$\frac{2L\beta_s m n c_s p_s}{24} \left(\frac{1}{V_k} + \vartheta \right) \text{——車輛的年度費用，以盧布計，}$$

系根据車輛商务速度的大小及在上述長 L 公里电气化綫路上的技

術站和貨物站上停留的時間而定，式中 $\beta_s = \frac{r_{uns}}{r_{pas}}$ ——由運用車 r_{pas} 改變為備用車 r_{uns} 的係數； m ——列車車列，以輛計； n ——一晝夜內重車方向的列車數； c_s ——車輛製造成本，以盧布計； p_s ——依據規定的基本折舊標準和車輛投資償還期限所確定的係數； V_k ——兩方向列車運轉的平均商務速度，以公里/時計； ϑ ——列車每走行 1 公里應攤的車輛（重車和空車）在技術站和貨物站上的停留時間（不計及因集結的停留），以小時計。

$\frac{0.42 Qky}{q_{op}} (c_s p_s + p_{os} z_s q_n)$ ——車輛的年度費用和貨物成本中的年度提成，以盧布計，系根據車輛因集結而停留的長短，亦即由車列重量 Q 而定，其中 k ——據以編組重車和相反方向列車的（始發直達列車和階梯直達列車除外）去向數； y ——車列在走行 L 公里時的改編次數； p_{os} ——表示加速鐵路貨運的效率的係數； z_s ——一噸貨物的成本，以盧布計； q_n ——車輛平均載重，以噸計； q_{op} ——車輛總重，以噸計；係數 0.42 相當於 $C = 10$ 時，確定車列集結時間的數值 $\frac{C}{24}$ 。

$\frac{\beta_A m c_A g p_A}{24} \left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{den} \right)$ ——機車的年度費用，其中 $\beta_A = \frac{J_{uns}}{J_{pas}}$ ——由運用的機車台數改變為備用台數的係數； c_A ——機車製造的成本，以盧布計； p_A ——係數，根據機車台數投資的償還期限和規定的基本折舊標準確定； g ——所研究的綫路的交路數； L_m ——交路的平均長度，以公里計； $\sum t_{den}$ ——機車在折返站的總停留時間，以小時計。

將機車製造成本 c_A 劃分為機械部份的成本 c_A^{mech} 和電氣部份的成本， $c_A^{el} = y_k N_k$ ，其中 y_k ——輪周功率的單位成本，以盧布計， N_k ——電氣機車的輪周功率，以瓩計後，得：

$$\frac{\beta_A n c_A g p_A}{24} \left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{den} \right) = \left(\frac{\beta_A n c_A^{ex} g p_A}{24} + \frac{\beta_A n l_k N_k g p_A}{24} \right) \left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{den} \right)$$

$$365 \, ng \left\{ \left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{\sigma p}^A \right) b_A + \left(\frac{2L_m}{V_k} + \sum t_{\sigma p}^n \right) b_n \right\} \text{——机車}$$

和列車乘务組工薪的年度費用，其中 $\sum t_{\sigma p}^A$ ——机車乘务組在折返站的工作時間，以小时計； $\sum t_{\sigma p}^n$ ——列車乘务組在折返站的工作時間，以小时計； b_A ——机車乘务組一小时的工薪費用，以盧布計和 b_n ——列車乘务組一小时的工薪費用，以盧布計。

$\sum A_r c_r$ ——用于列車工作的電力的年度費用，其中 $\sum A_r$ ——用在电气机車電弓饋電器上的電力年度消耗量，以瓩-時計； c_r ——配電所交流電母綫上1瓩-时的價格，以盧布計。

$d_p L$ ——电源供应設備的年度費用（管理費用、接触電綫網、配電所的房屋和設備的建築成本的年度提成和支付損失在接触電綫網和配電所的電力費用），其中 d_p ——在綫路一公里長度上分攤的电源設備的年度費用，以盧布計。

τe ——中間分界點的年度維修費用，其中 τ ——保證綫路需要的通過能力所必需的中間分界點數（根據車列重量和速度而定）； e ——一個分界點的年度維修費用，以盧布計。

$\frac{p_{\sigma \sigma z} P_{\sigma \sigma}^n l_s}{8760} \left(\frac{1}{V_k} + \vartheta_{\sigma p} \right)$ ——根據運輸過程中貨物所占時間而定的流動資金，以盧布計，其中 z_s ——一噸貨物的成本，以盧布計； $p_{\sigma \sigma}^n$ ——电气化綫路兩方向的全年貨運量，以淨噸計； l_s ——电气化綫路貨物的平均運送距離，以公里計； $\vartheta_{\sigma p}$ ——列車每走行一公里應攤的重車在技術站和貨物站上停留的時間（不考

慮因集結的停留)，以小时計。

R ——綫路上部建筑和機車車輛維修的年度費用，以盧布計。

A_Q ——車站到發綫、機車庫設備和綫路上部建筑的投資，以盧布計。

A_{np} ——有关为適應已知运输量而發展通过能力的投資（新分界点建筑、自动閉塞裝置、复綫等等），以盧布計。

t_0 ——投資偿还的期限，以年計。

公式（1）的分析証明，为了尋求 $\mathcal{D}_{\text{сод}} = f(Q, V_{\kappa})$ 的关系，必須首先确定下列各数值的大小：

$$\sum A_r, R, d_p, \tau, A_Q \text{ 和 } A_{np}.$$

$\sum A_r$ 值的大小可以按照下式确定：

$$\sum A_r = \frac{\Delta a P_{\text{сод}}^{\delta p \cdot o} I_{pa\delta}}{1000} \text{ 瓩-时}, \quad (2)$$

或

$$\sum A_r = \frac{2.725 p_{\text{сод}}^{\delta p \cdot o} I_{pa\delta}}{1000 \eta_{\text{с.а}}} \left\{ (f + caV_{\kappa} + i_s) + \frac{4.17\beta(aV_{\kappa})^2}{l_{\text{осм}}} \right\} \text{ 瓩-时}, \quad (2a)$$

式中 $\Delta a = \frac{2.725}{\eta_{\text{с.а}}} \left\{ (f + caV_{\kappa} + i_s) + \frac{4.17\beta(aV_{\kappa})^2}{l_{\text{осм}}} \right\}$ ——电气

機車电弓饋电器上的耗电率，以瓦-时/噸公里計；

2.725——由公斤-公尺化为瓦-时用的系数；

$P_{\text{сод}}^{\delta p \cdot o}$ ——計及機車走行公里的綫路兩方向的全年貨运量，以总噸計；

$I_{pa\delta}$ ——消耗电力的綫路縱断面工作部份（用电行駛）的長度，以公里計；

f ——僅由摩擦而定的某數型機車車輛运行的單位阻力，以公斤/噸計；

c ——表示僅由速度而定的機車車輛运行阻力的系数；

$\alpha = \frac{V_{\pi}}{V_{\kappa}}$ ——由商务速度化為走行速度用的系数 ($\alpha > 1$)；

i_s ——縱断面工作部份的當量上坡度，以%表示；

β ——考慮加速時（損失於起動電阻器）電力消耗增加的系数；

$\eta_{\text{с.к}}$ ——電動机的平均效率；

$l_{\text{о.с.м}}$ ——列車在停車的兩分界點間的走行距離，以公尺計。

當已知重車方向一年的淨貨運量 $P_{\text{зод}}^{\text{н}}$ 及反方向貨流系数 u 時，綫路兩方向的以總噸計的全年運輸量 $P_{\text{зод}}^{\delta p \cdot o}$ ，可以按下列公式確定：

$$P_{\text{зод}}^{\delta p \cdot o} = (1+z) P_{\text{зод}}^{\text{н}} \left(\frac{1+u}{\eta} + \frac{(1-u)q_m}{q_n} \right), \quad (3)$$

式中 $z = \frac{P}{Q}$ ——機車重量和車列重量的比值；

$\eta = \frac{Q_n}{Q}$ ——車列淨重 Q_n 與車列總重 Q 的比值；

$u = \frac{P_{\text{зод}}^{\text{н.о.б.р.}}}{P_{\text{зод}}^{\text{н}}}$ ——反方向的貨流系数；

q_m ——車輛自重，以噸計。

設以

$$\sigma_s = \left(\frac{1+u}{\eta} + \frac{(1-u)q_m}{q_n} \right) (1+z),$$

則得

$$P_{\text{зод}}^{\delta p \cdot o} = \sigma_s P_{\text{зод}}^{\text{н}}, \quad (3a)$$

以总噸計的綫路重車方向全年貨运量 P_{200}^{β} 按下式決定：

$$P_{200}^{\beta} = \frac{(1+z) P_{200}^n}{n}, \quad (36)$$

按照下列公式就縱断面工作部份可以決定系数 β ：

$$\beta = 1 + \frac{n_n(W_n S_n + 4.17 V_n^2)}{4.17 (\alpha V_n)^2}, \quad (4)$$

式中 n_n ——表示起動電阻器內電力損失的系数，系根据牽引类别和起動电路而定；貨运电气機車上所应用的三級起動可以采用 $k_n \approx 0.375$ ；

W_n ——电气機車在加速至出現自动調整特性前的平均單位阻力，以公斤/噸計；

$S_n = \frac{V_n^2}{2 \times 3.6^2 j}$ ——使用電阻器所行駛的距离，以公尺計；

V_n ——在出現自动調整特性时的瞬間速度，以公里/時計；

j ——平均加速度，以公尺/秒²計。

对于平均全鐵路網的条件，采用 $\frac{V_n}{\alpha V_n} = 0.7$ 和 $W_n = 2$ 公斤/噸，則得：

$$\beta = 1 + 0.375 \left(\frac{2 \times 0.49}{108 j} + 0.49 \right) = 1 + 0.375 \left(\frac{0.01}{j} + 0.49 \right)$$

对于貨运电气機車可以采用 $j = 0.1$ 公尺/秒²，因而 $\beta \approx 1.2$ 。

d_p 值按下面公式确定：

$$d_p = C_{\kappa 0} + C_{n 0} + C_{\kappa n}^{n o m} \quad \text{盧布/年-公里} \quad (5)$$

上式中 $C_{\kappa 0}$ ——接触電綫網的年度費用，其中包括运营費，包括随建筑成本及接触電綫、綫路輸電綫及鋼索的折旧而定的費用，可按照下列公式計算：

$$C_{\kappa c} = (A_1 + aq)(1 + p_{\kappa c}) \quad \text{盧布/年·公里,} \quad (6.)$$

式中 $A_1 = \frac{B_1}{t_0}$ 和 B_1 ——接触電綫網建築成本，與其截面無關，

以盧布/公里計；

$a = \frac{a'}{t_0}$ ，同時 a' ——每1平方公厘截面上分攤的一公里接觸電

綫網的建築成本（計及隨截面而定的結

構物的成本，（以盧布/公里平方公厘計；

$p_{\kappa c}$ ——由折舊提成、經常維修費用及其他綫路設施費用所構成的接觸電綫網年度費用的提成百分率。在決定上述接觸電綫網建築成本中所占的百分率時，確定 $p_{\kappa c}$ 值應考慮到償還年限（ t_0 ）；

q ——接觸電綫網的截面積，以平方公厘計（銅的），在直流電干綫鉄路上它的最合適值可根據車列重量和速度，用下式決定：

$$q_n = \frac{3.7 I_0 n_{oym} k' l_x}{a \sqrt{\kappa}} \sqrt{\frac{c_s}{a(1 + p_{\kappa c})(24 - t)^2}} \quad \text{平方公厘,} \quad (7)$$

式中 I_0 ——平均列車電流，以定培計；

n_{oym} ——相隣配電所間接觸電綫網負荷的平均一晝夜內的列車數；

k' ——係數，表示用實驗方法或者或然率理論方法所決定的綫路功率損失與用平均分配負荷方法所確定的同一功率損失的比值；

l_x ——配電所間的平均距離，以公里計；

t ——一晝夜間由於各種時間損失（“空隙”，接觸電綫網的檢修等）而引起的非運用于運轉的小時數。

$$\text{因為 } I_0 = \frac{\Delta a a V_{\kappa} (P + Q)}{U} = \frac{\Delta a a V_{\kappa} (1 + z) Q}{U},$$

其中 U ——電氣機車電弓饋電器的電壓，以伏特計。

$$\text{于是 } q_n = \frac{3.7 \Delta a (1+z) Q n_{cym} k' l_x}{U} \sqrt{\frac{c_s}{a(1+p_{ko})(24-t)^2}} \quad \text{平方公厘, (7a)}$$

由于考虑到，当接触电綫網負荷兩方向列車時：

$$(1+z) Q n_{cym} = p_{cym}^{\delta p \cdot o}$$

$$\text{并假定 } \sigma = 3.7 \sqrt{\frac{1}{a(1+p_{ko})(24-t)^2}}$$

$$\text{則得 } q_n = \frac{\Delta a p_{cym}^{\delta p \cdot o} k' l_x \sigma \sqrt{c_s}}{U} \text{平方公厘, (7d)}$$

$$\text{或 } C_{ko} = \left(A_1 + \frac{a \Delta a p_{cym}^{\delta p \cdot o} k' l_x \sigma \sqrt{c_s}}{U} \right) (1+p_{ko}) \text{盧布/年-公里} \quad (8)$$

C_{no} ——根据牽引配电所的建筑成本及其管理费用而定的直流电干綫鉄路的牽引配电所的年度費用，由下列公式決定：

$$C_{no} = \left(\frac{A_2}{l_x} + \frac{B_2 K_{\phi} \Delta a n_{unn} (1+z) Q a V_k}{U n l_x d_{nep}} \right) \text{盧布/年-公里} \quad (9)$$

式中 A_2 ——与所裝置机械的工作功率無关的配电所年度費用，以盧布計；

B_2 ——分攤在机械的定額电流每一安培上的配电所年度費用，以盧布/安培計；

K_{ϕ} ——由平均电流变为均方电流时配电所負荷的有效系数；

Δa_n ——計及接触电綫網損失的單位耗电量，以瓦-时/噸公里計；

n_{unn} ——在运行最繁忙的小时內配电所間的列車数；

U_n ——在配电所直流电匯流排上的計算电压，以伏計。

d_{nep} ——在运行最繁忙的小时內，牽引配电所机械許可超負