

李祖培編著

礦井采區
380伏和660伏
電纜網路的計算與研究

煤炭工業出版社



数据加载失败，请稍后重试！

內 容 提 要

本書是東北工學院李祖培同志根據他自己的一篇科學報告“采煤區電纜網路的計算”和其他有關材料寫成的；主要內容為礦井采區380伏和660伏電壓電纜網路的計算。書中論述了計算的理論和方法；此外，對井下採用660伏電壓的必要性也做了較詳細的說明。此書與其他論述電纜網路計算的書籍不同之點在於，計算電纜時，不僅考慮到電阻，還考慮到電感與電容。

本書可供煤礦機電技術人員參考。

738

礦井采區 380 伏和 660 伏電纜網路的計算與研究

李 祖 培 編 著

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印張 $2\frac{1}{16}$ 插頁10 字數55,000

1958年9月北京第1版 1958年9月北京第1次印刷

統一書號：15035·466 印數：0,001—3,000冊 定價：0.53元

0172.22/L957



C00175185

目

緒 論	3
第一章 380 伏电压電纜網路的計算	6
第 1 节 計算时考虑的必要参数	6
第 2 节 根据电压損失計算電纜網路的基本要求	8
第 3 节 計算的理論和方法	9
第 4 节 应用的价值	26
第二章 380 伏电压電纜網路的图解法	33
第 1 节 繪制图表的根据	33
第 2 节 图解法的特点与使用	38
第 3 节 示例	40
第三章 井下采用 660 伏电压供电的必要性及其有利 条件	42
第 1 节 采用 660 伏电压供电的必要性	42
第 2 节 采用 660 伏电压供电的有利条件	43
第四章 660 伏电压采区的布置及其保护装置	47
第 1 节 采区变电所的布置及其保护装置	47
第 2 节 采区的布置及其保护装置	53
第五章 660 伏電纜網路的計算与图解法	57
第 1 节 660 伏電纜網路的計算	57
第 2 节 660 伏電纜網路的图解法	64
第 3 节 示例	75
第六章 380 伏与 660 伏电压電網在技术上和 經濟上的比較	83
第 1 节 利用 660 伏供电的优越性	83
第 2 节 利用 660 伏供电的經濟效果	85
主要参考文献	90
附 图: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X。	

緒 論

電纜是井下供電系統中最主要的設備之一，也是供電系統的所有設備中比較薄弱的一環；因而對於礦用電纜的敷設、安裝和維護等方面在規程上都有嚴格、明確的規定。此外，設計時正確選擇合理的電纜截面也是非常重要的。

電纜芯綫截面選擇過小，在正常工作時將會產生長期的過負荷。過負荷將引起溫升提高，致使電纜的絕緣性能減退或破壞（容易造成短路故障），減少電纜的使用年限，同時由於截面過小，綫路電阻增大，綫路上電壓損失增加，電動機的端鈕電壓降低，因而正常工作時的運轉速度減小，降低了機械的工作效率，也就是降低了生產率；另一方面由於電動機的速度減小，轉差率增加，電動機的定子與轉子中的電流增加，減少了電動機的使用年限。在起動時由於綫路上電壓損失的增加將會使較遠的大容量負荷起動困難。

電纜芯綫截面選擇過大，除了安裝和維護困難外，也不合乎經濟原則。

目前計算采區 380 伏電壓電纜網路的主要方法有以下四種。

1. 電壓損失法：最常用的一種計算低壓鎧裝電纜的方法。計算的原則是根據綫路上和變壓器中允許的全部電壓損失 39 伏或 59 伏減去已經計算出來的最大最遠負荷橡膠電

纜的电压損失与变压器中的电压損失的代数和，得出鎧装電纜中的允許电压損，然后决定鎧装電纜芯綫截面。这种計算方法因为仅仅考虑了電纜綫路上的电阻引起的电压損失，忽略了由于电感抗引起的电压損失，所以計算截面超过50平方公厘的電纜芯綫时，将会产生較大的誤差。

2. 温升法：根据電纜中的工作电流选择相应的電纜芯綫截面，使其温升在允許范围內。这种計算方法用以計算較长的低压鎧装電纜芯綫截面将产生較大誤差，并且供电綫路愈长，誤差也愈大；因此一般計算由采区变电所至工作面配电点的低压鎧装電纜不宜应用此法。

3. 全电阻法：实質是按照温升选出变压器的容量和電纜的截面，然后将供电綫路上的各主要元件如变压器，電纜和負荷均以等效电阻来代替，然后繪制出一个計算用的系統图，其次再将此系統图換算成为一全电阻，并註明电阻的电动势。最后再計算出該系統的实际电流，各个元件的电压損失和各个电动机的端鈕电压。这种方法比較准确，既考虑了电阻也考虑了电感抗，并考虑了由于額定电流产生的温升而增加的綫路各个元件的电阻。但由于手續过于麻煩，故实际应用价值不大。

4. 图解法：实質上是根据电压損失法的原則制定的图表。这种方法实用价值較高，应用也很方便；由于不考虑电感抗等的影响，誤差仍是較大。

因此，目前对于采区380伏低压電纜網路的計算是缺乏既准确又簡便的方法。1955年苏联技术科学付博士B. II. 姆拉沃耶夫提出考虑电感抗引起的电压損失的低压電網計

算方法，給研究電纜網路的計算提供了有利條件。這種新的計算方法精確度是與全電阻法一樣，但計算方法上仍須要进一步簡化，特別是需要一種切合實際而誤差較小的圖解法。

由於采煤工業不斷發展，目前迫切要求增加工作面電動機的台數和功率。在蘇聯各礦井中採用的“頓巴斯-2”、“頓巴斯-4”、“頓巴斯-6”型康拜因，每台康拜因的各個電動機同時工作的總功率已達到 165 瓩，對於其他的工作面機械如運輸機的功率也要相應的增加。這樣一來一個工作面內電動機的全部設備容量將增加到 250 瓩以上。

在工作面電動機的數量和功率增加的情況下，井下 380 伏電壓的電網電纜截面在經濟上和技术上都合乎要求是很困難的；在多數情況下是不能保證的。在 380 伏電壓情況下康拜因對於硬質煤層，粘質煤層，以及在深的截槽下是不能充分發揮效率的。因此，目前井下供電系統正擬採用 660 伏電網對大容量的工作面機械進行供電。

1953 年蘇聯馬克耶夫卡煤礦安全科學研究院及其他研究單位和有關廠礦，開始解決 660 伏電壓供電的主要障礙：即創造可靠的保護裝置和必要的電氣設備。1954 年 6 月在庫科夫礦務局第 24 號井建立了蘇聯第一個採用 660 伏電壓試驗采區。這一工作是由馬克耶夫卡煤礦安全科學研究院來領導的。此後，由於這一試驗采區的成功，蘇聯煤炭工業部通過決議，由 1956 年開始在生產中推行採用 660 伏電壓向井下機械設備的電動機供電。1956 年蘇聯也開始為我國設計了井下採用 660 伏電壓供電的新礦井。

由于井下采用 660 伏电压供电在技术上和经济上具有較高的优越性，我国矿井井下也将要由 380 伏电压向 660 伏电压过渡；因而計算 660 伏电纜網路迫切需要有既准确又簡便的計算方法。

第一章 380 伏电压电纜網路的計算

第 1 节 計算時考慮的必要参数

任何供电綫路通以电流，則在整个供电綫路内部或附近的介質中将普遍产生热、电場、磁場的效应，因此分析和計算綫路时必须考虑到綫路参数 R (电阻)， L (电感)， C (电容)。

在煤矿采区供电方面，目前我国多采用 380 伏电压 50 赫芝电纜網路；对于这一低压电纜網路的計算，目前尚缺乏既准确又簡便的方法。普通常用的电压損失法虽然簡便，但准确性很差。因为計算时仅仅考虑到电阻而忽略了电感和电容。忽略了电容是可以的，但忽略电感会引起比較大的誤差。

对于电路有影响的电容有两种：一种是工作电容 (C_p)；一种是对地电容 ($C_{\text{жo}}$)。

C_p 产生的电容抗 x_{cp} 引起电容电流 I_c 。

电容电流

$$I_c = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} x_{cp}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \frac{1}{C_p \omega}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} C_p \omega \times 10^{-6}, a/kM \quad (1)$$

式中 U_{π} 为线电压，伏。 ω 为角速度， $\omega=2\pi f$ ， f 为频率，赫芝。

而 $C_{\text{ж}0}$ 产生的电容抗 $x_{\text{сж}0}$ 引起接地电流 I_3 。

接地电流

$$I_3 = 3 \left(\frac{U_{\pi}}{\sqrt{3} x_{\text{сж}0}} \right) = \sqrt{3} U_{\pi} C_{\text{ж}0} \times \omega \times 10^{-6} \text{ a/км.} \quad (2)$$

当电缆芯线截面 $q=95 \text{ мм}^2$ ，电压为 1000 伏，而频率为 50 赫芝时， $C_p=0.90 \text{ μf/км}$ ； $C_{\text{ж}0}=\frac{1}{2}C_p$ 。代入 (1)；

(2) 式中

$$I_c = \frac{1000}{\sqrt{3}} \times 0.90 \times 2\pi 50 \times 10^{-6} = 0.164 \text{ a/км,}$$

$$I_3 = \sqrt{3} \times 1000 \times \frac{1}{2} \times 0.90 \times 2\pi 50 \times 10^{-6} = 0.244 \text{ a/км.}$$

由上式可见， I_c ， I_3 数值较小，因此忽略影响不大。

在电缆芯线截面 q 小于 50 мм^2 时， L 所引起的电压损失比较小。 $\frac{x_L}{R} < 17\%$ 时，是允许忽略的。当 q 超过 50 мм^2 以后，则 L 随着 q 的增加而增加。当 $q=95 \text{ мм}^2$ ， $t=20^\circ\text{C}$ ， $\gamma=54.3$ 时， $\frac{x_L}{R}=31.7\%$ ；显然， x_L 所引起的电压损失占电阻引起的电压损失的 $\frac{1}{3}$ 弱。如果慎重的选择电缆截面或详细的计算受电设备端钮电压时，忽略 L 是不够合理的。

由于采区电缆芯线截面规程规定小于 120 мм^2 ，可以

忽略由于交流电流的趋表效应的影响。此外，由于起动时時間較短且溫升速度不大（一般为 $5-7^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ），因而可不必考虑起动时由于溫升而造成的增加电阻。

第2节 根据电压損失計算電纜網路的基本要求

根据电压損失計算電纜網路时，須考虑到下列几点基本要求：

1. 保証正常工作时負荷端鈕有足够的电压；因此計算網路时，除了考虑电阻引起的电压損失以外，尚需考虑电感抗引起的电压損失；

2. 保証起动时受电設備端鈕电压变化不大；因此除了根据正常情况計算外，尚需作起动驗算；

3. 保証在各种运行方式下，電纜芯綫溫升小于容許的最高溫度；因此須作过負荷和短路电流的热效应驗算。

选择電纜芯綫截面时除了要求技术上合理外，必須使其合乎經濟原則。

根据短路电流的热态稳定性，校驗電纜芯綫所需最小截面 q_{min} 时可应用下式，因热能量 $A = I_{\infty}^2 t_{\phi}$ ，

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{A}}{B} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_{\phi}}}{B} \quad (3)$$

式中 I_{∞} ——稳定短路电流，安培。

t_{ϕ} ——假定短路時間，秒。无衰减过程， t_{ϕ} = 实际時間。

B ：常数。 B 决定于電纜芯綫的材料，電纜芯綫在短路时的允許溫度和起始溫度。对于銅母綫 $B = 165$ ，鋁母綫 $B = 88$ ，鋼母綫 $B = 70$ 。

在3000伏以下的鎧裝電纜和1000伏以下的橡膠電纜， $B = 145$ 。在10千伏及6千伏以下的鎧裝電纜 $B = 160$ 。在30千伏及20千伏以下的鎧裝電纜 $B = 110$ 。

根据过負荷允許的数值校驗 10000 伏以下的電纜芯綫截面时可应用表 1。

10千伏以下電纜允許的过負荷 表 1

電纜芯綫 截面 q (mm^2)	原來的負荷		在过負荷前 5 小时內的为			
	0		額定負荷的0.5倍		額定負荷的0.7倍	
	負荷持續時間		負荷持續時間		負荷持續時間	
	30分	1 小时	30分	1 小时	30分	1 小时
50—95	1.15	—	1.10	—	1.05	—
120—240	1.25	1.10	1.20	1.05	1.15	1.05
240以上	1.45	1.20	1.40	1.15	1.30	1.10

第 3 节 計算的理論和方法

根据电压損失（考虑到电阻与电感抗）計算正常工作情况下的電纜網路，然后根据起动条件进行驗算。計算由采区变电所至某一配电点間 380 伏电压鎧裝電纜芯綫的截面。如图 1 所示：

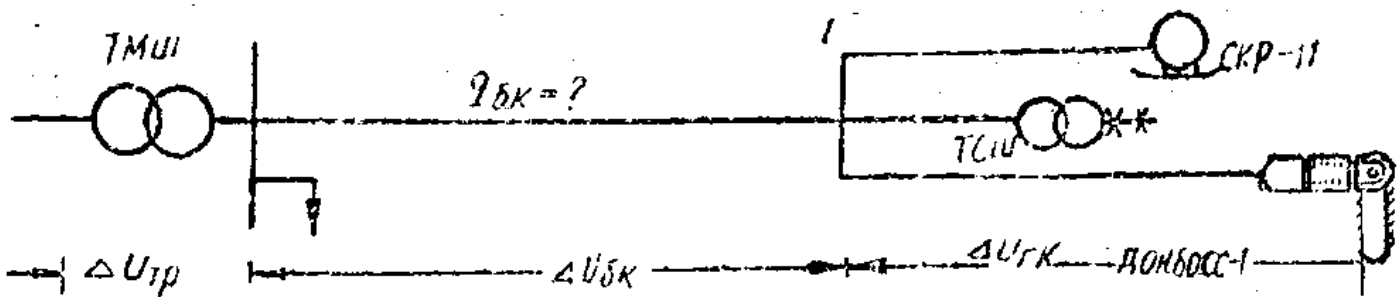


图 1 由采区变电所至某一配电点供电系統

1. 基本条件:

(1) 确定最大最远负荷: 因为只有根据最大容量最远负荷的橡胶电缆电压损失计算得出的铠装电缆芯线截面 $q_{\text{бк}}$ 才能满足其他负荷的需要。在煤矿中一般最大最远的负荷为截煤机和康拜因。在金属矿中如果最远负荷容量不是最大而容量最大的负荷距离又较近时必须根据负载力矩决定, 负载力矩 $= P_{\text{уст}} \cdot L_{\text{гк}}$, 决定时取负载力矩较大者。其中 $P_{\text{уст}}$ ——电动机的设备容量, 瓩。

$L_{\text{гк}}$ ——橡胶电缆长度, 公尺。

(2) 电压损失的限度:

根据规程上的规定, 线路上允许的电压损失不得超过额定电压的 5%, 即 $380 \times 5\% = 19$ 伏。因此电动机端钮上电压不得低于 $380 - 19 = 361$ 伏。而线路上与变压器中全部允许的电压损失

$$\Sigma \Delta U_{\text{л}} = \Delta U_{\text{тп}} + \Delta U_{\text{бк}} + \Delta U_{\text{гк}} = U_{20} - 361 \text{ 伏.}$$

式中 $\Delta U_{\text{тп}}$ ——变压器全部压损, 伏。

$\Delta U_{\text{бк}}$ ——铠装电缆的电压损失, 伏。

$\Delta U_{\text{гк}}$ ——橡胶电缆的电压损失, 伏。

U_{20} ——变压器二次侧空载电压, 伏。

当 $U_{20} = 400$ 伏时,

$$\Sigma \Delta U_{\text{л}} = \Delta U_{\text{тп}} + \Delta U_{\text{бк}} + \Delta U_{\text{гк}} = 400 - 361 = 39 \text{ 伏. (4)}$$

在供电系统较稳定的条件下且照明系统单独供电时, 允许使变压器一次侧绕组抽头接在 - 5% 的端子上, 而二次侧空载电压提高 $400 \times 5\% = 20$ 伏则 $U_{20} = 420$ 伏。

当 $U_{20} = 420$ 伏时,

$$\Sigma \Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{TP} + \Delta U_{6K} + \Delta U_{TK} = 420 - 361 = 59 \text{ 伏} \quad (5)$$

在 660 伏電纜網路中 $U_{20} = 693$ 伏时

$$\Sigma \Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{TP} + \Delta U_{6K} + \Delta U_{TK} = 693 - (660 - 660 \times 5\%)$$

$$\Sigma \Delta U_{\Sigma} = 693 - 627 = 66 \text{ 伏}. \quad (6)$$

2. 計算方法:

(1) 求 ΔU_{TK} : 图 2 示由配电点 1 至康拜因主电动机端子 2 的供电系統。其向量图如图 3 所示。

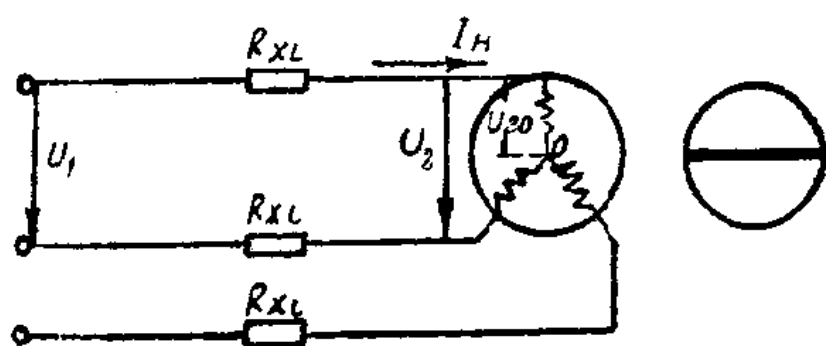


图 2 由配电点对于頓巴斯-1型康拜因供电

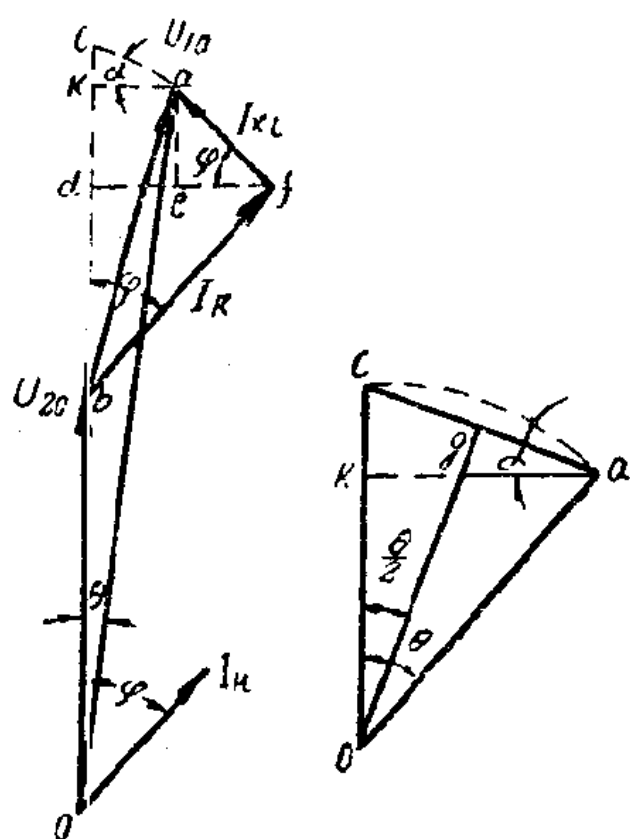


图 3 对于頓巴斯-1型康拜因供电的向量图

$$\Delta U_{TK} = U_1 - U_2 = \sqrt{3} (U_{10} - U_{20})$$

图 3 中

$$U_{10} - U_{20} = oa - ob = oc - ob = bd + dk + kc$$

$$bd = IR \cos \varphi, \quad dk = I_{xL} \sin \varphi.$$

直角三角形 $\triangle ack$ 中 $\alpha = \frac{\theta}{2}$ ($\angle oca$ 是 $\triangle ack$ 与 $\triangle ocg$

的公用余角) $\tan \alpha = \tan \frac{\theta}{2} = \frac{ck}{ak}$

$$ck = ak \tan \frac{\theta}{2} = ak \frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta}$$

$$\text{因 } \sin \theta = \frac{ak}{oa}, \cos \theta = \frac{ok}{oa}。$$

$$ck = ak \frac{\frac{ak}{oa}}{1 + \frac{ok}{oa}} = ak \frac{ak}{oa + ok} = \frac{ak^2}{oa + ok}$$

$$\text{而 } ak = cd = fd - fe = IR \sin \varphi - Ix_L \cos \varphi$$

$$oa = U_{10}$$

$$ok = ob + bd + dk$$

$$= U_{20} + IR \cos \varphi + Ix_L \sin \varphi$$

$$\therefore ck = \frac{(IR \sin \varphi - Ix_L \cos \varphi)^2}{U_{10} + U_{20} + IR \cos \varphi + Ix_L \sin \varphi}$$

$$\therefore U_{10} - U_{20} = IR \cos \varphi + Ix_L \sin \varphi$$

$$+ \frac{(IR \sin \varphi - Ix_L \cos \varphi)^2}{U_{10} + U_{20} + IR \cos \varphi + Ix_L \sin \varphi}$$

因为第三项为很小的正整数，约为 0.5—1 % 故可以忽略，

$$\therefore U_{10} - U_{20} = IR \cos \varphi + Ix_L \sin \varphi \quad (7)$$

$$\Delta U_{rR} = \sqrt{3} (IR \cos \varphi + Ix_L \sin \varphi)$$

$$= \sqrt{3} IR \cos \varphi \left(1 + \frac{x_L}{R} \tan \varphi \right)$$

$$\text{令 } \frac{x_L}{R} = x\%$$

則

$$\Delta U_{\Gamma K} = \sqrt{3} I R \cos \varphi (1 + x\% \tan \varphi)$$

$$R = \frac{L_{\Gamma K}}{\gamma q_{\Gamma K}}$$

$q_{\Gamma K}$ ——橡膠電纜截面， mm^2 。

γ ——銅的電導系數，為53，54.3或57（根據溫度不同而變化；溫度愈高 γ 之值愈小，當 $t=20^\circ\text{C}$ 時， $\gamma=54.3$ ）， $\text{M}/\text{OM}-\text{mm}^2$ 。

$$\Delta U_{\Gamma K} = \frac{\sqrt{3} I L_{\Gamma K} \cos \varphi (1 + x\% \tan \varphi)}{\gamma q_{\Gamma K}}$$

$$= \frac{\sqrt{3} I U_2 L_{\Gamma K} \cos \varphi (1 + x\% \tan \varphi)}{\gamma q_{\Gamma K} \times U_2}$$

因 $P_{\text{np}} = \text{電動機的接用容量，瓩。}$

$$P_{\text{np}} = \frac{P_{\text{уст}}}{\eta_{\text{дв}}} = \sqrt{3} U_2 I \cos \varphi$$

代入則得

$$\Delta U_{\Gamma K} = \frac{P_{\text{уст}} \times L_{\Gamma K} \times 10^3}{\gamma q_{\Gamma K} \times U_2 \times \eta_{\text{дв}}} (1 + x\% \tan \varphi)$$

工作時實際上非滿載因而須要考慮上負載率 K_3 ，

$$\Delta U_{\Gamma K} = \frac{P_{\text{уст}} \times L_{\Gamma K} \times 10^3 \times K_3}{\gamma q_{\Gamma K} \times U_2 \times \eta_{\text{дв}}} (1 + x\% \tan \varphi) \text{伏。} \quad (8)$$

當 $q_{\Gamma K} < 50 \text{mm}^2$ 時 $x\% \tan \varphi$ 可以忽略。

式中 $P_{\text{уст}}$ ——电动机的设备容量，瓦。

$L_{\text{гк}}$ ——橡胶电缆长度，公尺。 $L_{\text{гк}}=1.10L$ （巷道长）。

$\eta_{\text{дв}}$ ——电动机效率。

$\tan \varphi$ —— φ 为功率因数角。

U_2 ——额定电压 380 伏。

K_3 ——截煤机和康拜因取 0.75—0.8，

运输机取 0.6—0.85，

电钻取 0.5—0.7，

其他取 0.7—0.8。

$q_{\text{гк}}$ ——橡胶电缆截面， мм^2 。可以按温升查表 5

三芯电缆 $\frac{X_{\text{г}}}{R}$ 与 q 之关系表 2①

q (мм^2)	三芯电缆 $\frac{X_{\text{г}}}{R} = X\%$			
	1кВ 以下	3кВ	6кВ	10кВ
10	4.2	4.7	5.3	3.9
16	6.1	7.1	7.1	5.9
25	8.9	10	11	9.1
35	12.	12	13	12.2
50	16.8	17	19	16.9
70	22.5	24	26	23.6
95	30	31	34	31.7
120	41	39	43	37.8

① 3кВ, 6кВ, 10кВ 的测定值系当 $t=20^\circ\text{C}$ $\gamma=53$ 时的结果；1кВ 的测定值系根据 Электрификация горных разработок—сб (第 501 页附录 29 的条件是 $t=20^\circ\text{C}$ $\gamma=54.3$)。

进行选择（亦受工作机械接入电缆标准尺寸的限制）。

康拜因：工作面超过 150 公尺时取 50мм^2 ，不足 150 公尺时取 35мм^2 。

截煤机：25, 35мм^2 ，

运输机：16, 25мм^2 。

$x\%$ ：可由下列表 2 或图 4 中求出。

图 4 中

$$x_L = (0.145 \log \frac{D}{r} + 0.0157) \text{ ом/км.} \quad (9)$$