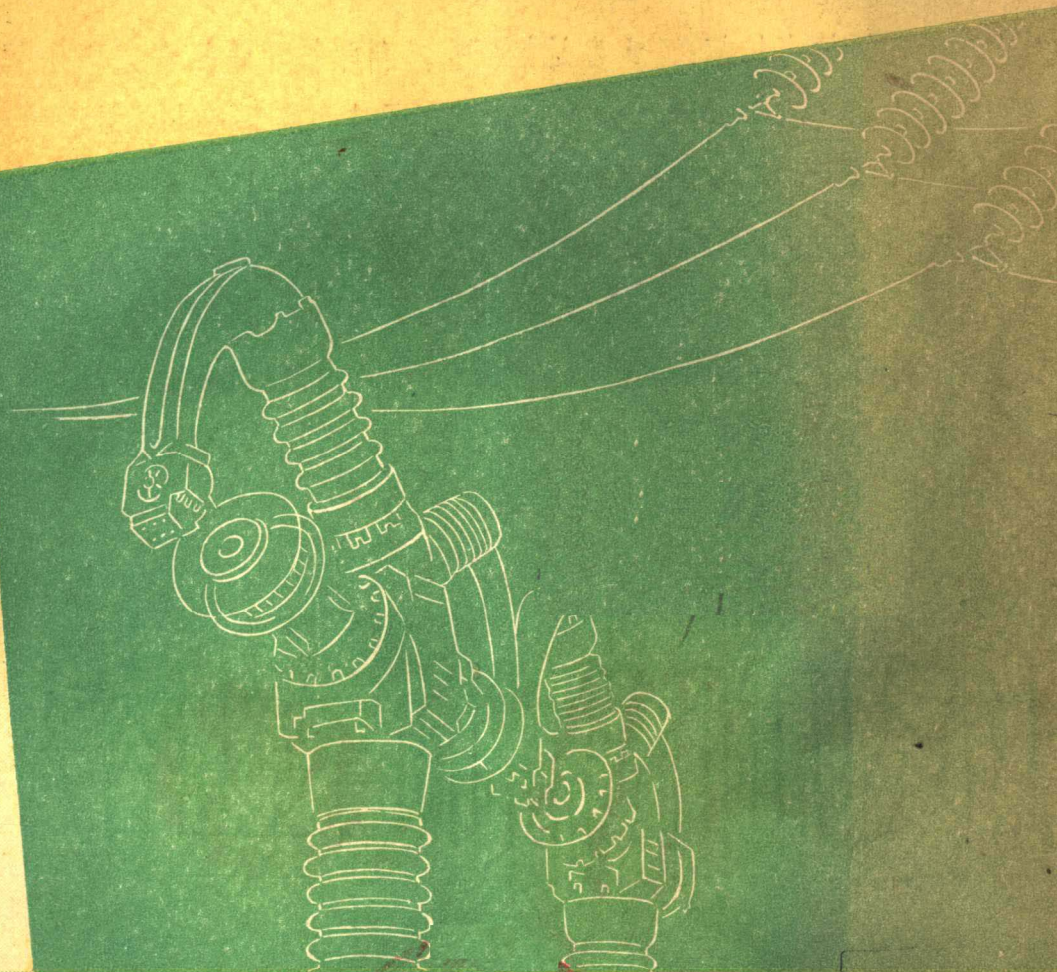


大容量空气断路器新的试验方法



8263
52.F47
6464

3
中國科學技術情報研究所



大容量空气断路器新的試驗方法

中國科學技術情報研究所出版
(北京朝內大街117号)

中國科學技術情報研究所印刷厂印刷
全國各地新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{16}$ 1°/16 印張 17,000字

1959年12月北京第1版

印数1—1,600

科研版—00385

定价0.23元

編譯者按語： 本書是根据全苏科学技术情报研究所所出版的莫茨古斯（И.Б.Моцкус）著“大容量空气断路器新的試驗方法”（Новый метод испытания воздушных выключателей большой мощности）所編譯的。

本冊子較詳細的介紹了苏联科学院动力研究室气体高压放电試驗室所研究的一种新的試驗空气断路器的方法。 在設計新型断路器和改善已有的結構时可以参考这种方法， 本冊子对高压工程和电器專業的科研人員很有实际的参考价值

1959.8.

序 言

苏联科学院动力研究所气体高压放电实验室拟定了一种新的試驗空气断路器的方法，在制定新的断路器結構和改善已有的結構时可以利用这种方法。

当拟定空气断路器的实际結構中，確定滅弧室的参数就成为其主要任务，这些参数要能保証断开短路的最大想象电流。在寻求最有效地解决这个任务时試驗性地研究滅弧机械起了很大作用。现在为了進行这种研究广泛地利用特种設備，該設備是按断开自然功率設計的（冲击發电机，振盪迴路，綜合綫路）。

当正确地考慮到主要的有效因素时，可以在容量有限的裝置中進行燃弧和滅弧过程的研究。为此最好的是采用高列夫迴路；它的主要优点是能获得非常大的电流（当并联电容組的容量有限时，同时当工作电流頻率大大提高时）。当工頻时，在符合于進行自然容量試驗的条件下可以把滅弧室的工作和这二个因素的作用相比，这二个因素加重了滅弧室的工作条件。

考慮到对滅弧过程有影响的主要因数后，就可在容量受限制的裝置上（尺寸小的滅弧室）進行試驗，并且把獲得的結果折算到实际尺寸的滅弧室实际的功率上去。因此必須知道滅弧室的比較条件。

以前認為〔1, 2〕当电流頻率不同时，假若其他参数是常数的話，作为滅弧室比較条件是：

$$If_1 = \text{常数} \dots \dots \dots$$

但当噴嘴截面不变时，以符合方程式（1）來保証滅弧的等效条件还是不够的。

虽然 If_1 是常数，制动效应还是随着电流增加而增强的〔3〕，这样相反地影响到滅弧室的断开能力。制动效应实际上和已確定的电流頻率无关。根据滅弧室不同的工作状态所進行的試驗数据（图1），在噴嘴各点所测量的空气参数在电流頻頻率很大的範圍內（由100到700週波）几乎是不变的。

这由試驗所証实（图2），根据这些試驗可得出，当减小电流頻率时，断开电流的增長比方程式（1）所推荐的要慢得多。因此，实际上要得到能非常精確地将模拟工作情况和在实际条件下滅弧室的工作情况相比較的比較条件，只能在下述情况才能獲得，假若能找到說明影响整个滅弧过程的因数分析关系的話。这个問題可分为二个階段來解决。

1. 简化滅弧室断开容量的計算。这就有可能得到一部份方程式，这部份方程式能考慮到滅弧过程的两个基本方面的比較条件，即確定空气的制动效应和电弧残余通道的机械断弧。

2. 用列入附加方程式的方法來更精確的確定比較条件，这些附加方程式已考慮到其他因数对滅弧过程的影响（当电流为零时，电弧残余电阻*，电流頻率 f_1 及其他等）。

以前推荐了各种計算空气断路器断开电流的方法。这些方法中最有名的是采罗夫〔3, 4〕，

* 在电流經過零点情况下，正弦电流經過零点的过渡時間降低，而正弦电流没有电弧的变形影响。

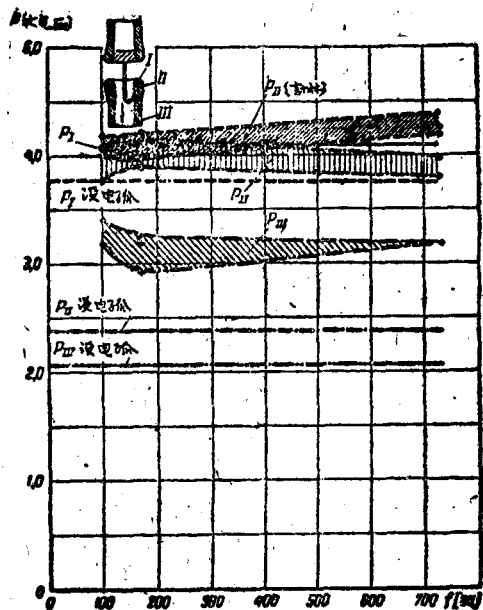


圖 1: 当断开近于極限值的电流时
($I_M=1000$ 安; 單边吹弧)
滅弧室內空气压力和电流頻
率的关系。

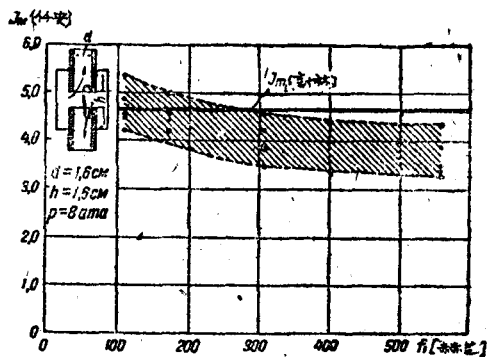


圖 2: 当恢复电压固有频率为 $f_a=4.0$ 仟赫芝
和迴路波阻抗 $Z=11$ 欧姆时断开电流
和工作电流频率的关系 (圓柱形噴嘴
的双边吹弧室; 儲气空气压力 $P_0=8$
絕對大气压力; 噴嘴直徑 $d=1.6$ 公分;
電極間距离 $h=1.6$ 公分; 根据
公式 (20) 算出

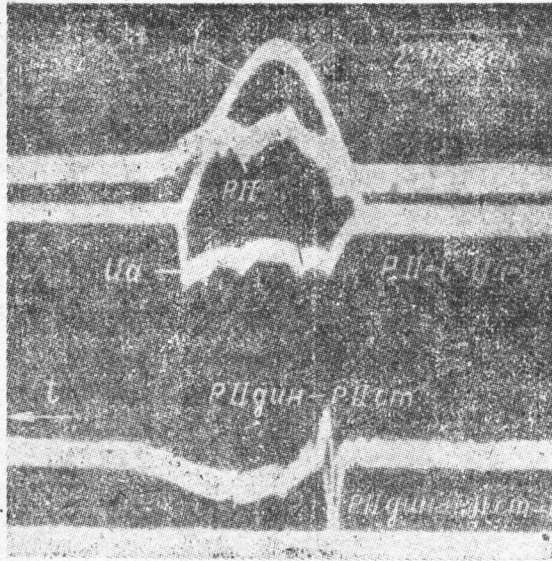
庫凱科夫 [5] 和古德松 [6] 公式。

在上述所指出的作者中对確定滅弧开始的主要因數方面, 并没有一个統一的意見, 他們的主要的注意力不是放在电弧作用下空气流量的降低方面(古德松), 就是放在空气的压力, 温度和速度方面 (采罗夫), 或是放在空气电气强度方面 (庫凱科夫)。除此, 上述的公式沒, 考慮到恢复电压頻率的影响。因此, 在推導滅弧过程的相似方程式时不能用这些公式。为了解决这个問題, 就需要同时考慮到影响滅弧过程的全部主要因數。

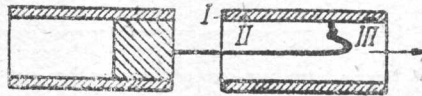
断开容量的图解分析 法

用比較恢复电压和电气强度增長曲綫的方法來確定断开容量的方法人們早已熟悉 [7]。但在試探采用这个方法时, 并没有得到良好的效果, 看来, 因为在作电气强度增長曲綫时假設当电流为零时滅弧室噴嘴內空气速度为声速。事实上, 正象試驗所指出, 当时間在零点瞬間由于在上述电流的影响下, 因为空气流量有慣性, 空气速度比声速低很多 (图3)。这就大大地延緩了电气强度的增長。

空气速度的数量数据是在利用热噴嘴 [8] 方法时獲得的, 热噴嘴考慮到空气流量慣性的影响 (图4)。把計算数据和实验相比較 (图5, 6, 7), 就証实了計算方法的可能性, 这个計算方法用作計算当电流为零值和最大值时空气的速度和空气的压力。实验是在作者所叙述的



单边吹弧
 $f_1 = 100$ 赫兹



a

圖3：噴嘴首端的動壓力和靜壓力差 ($P_{II动} - P_{II静}$)，以及工作間隙內和噴嘴末端壓力差的波形圖(單邊吹弧； $P_r = 5$ 絕對大氣壓； $d = 3$ 公分； $h = 3$ 公分； i —電流； U_A —電弧電壓)；

a——滅弧室圖

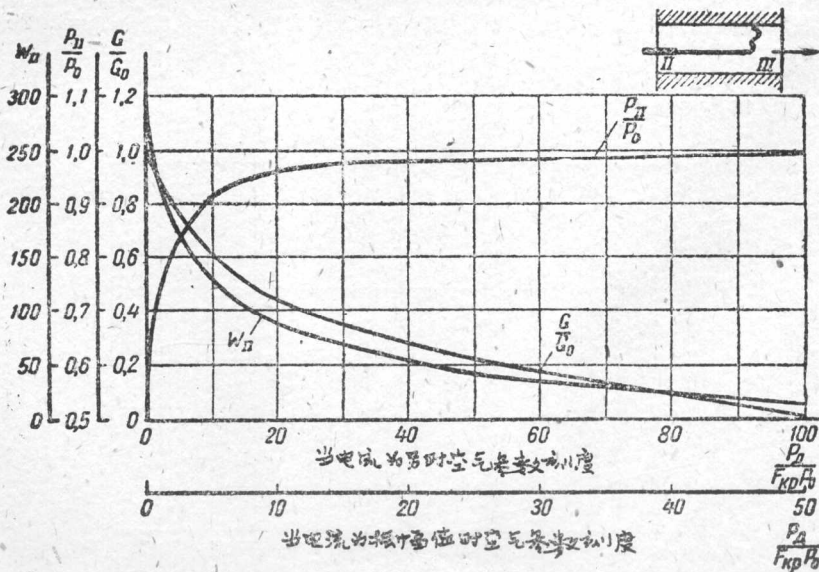


圖4：圓柱形噴嘴內空氣參數和滅弧室負載的計算關係 ($U_A I_A / F_{kp} P_0$ (伏安/公分²絕對大氣壓)，式中 F_{kp} ——噴嘴的極限截面； P_0 ——滅弧室內最初壓力； G_0 ——無電弧時空氣的流量)。

裝置上進行的〔9〕。

当計算电气强度恢复曲綫时，它的恢复过程分为两个階段。第一階段电气强度的恢复基本上是由于电弧残余通道內温度的下降。电气强度的增長不僅是靠电弧残余通道中空气强度的增長（根据巴申原理），还靠通道电阻的增加。

在利用能量平衡方程式和巴申原理后，就可獲得計算間隙电气强度的公式：

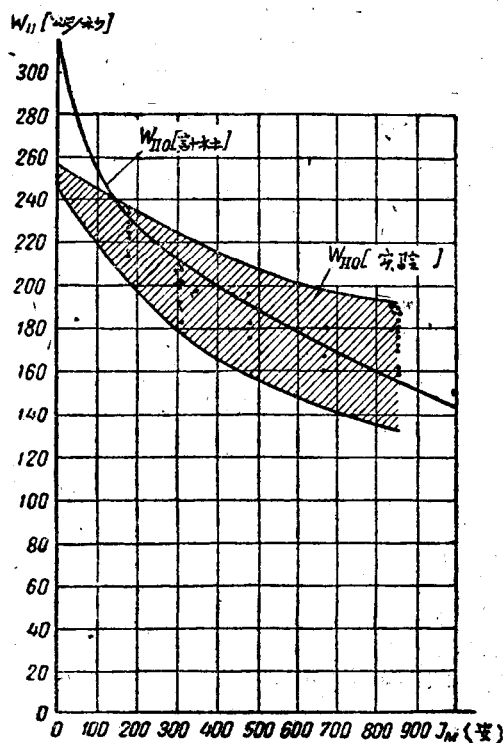


圖 5：在滅弧瞬間噴嘴首端的空气速度（單边吹弧， $P_p=5$ 絕對大気压， $d=3.0$ 公分， $h=3.0$ 公分， $U_A=250$ 伏）

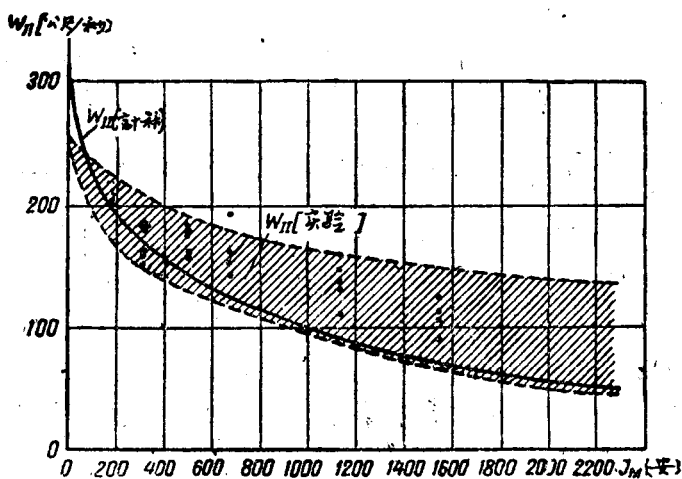


圖 6：当电流为最大值时，噴嘴首端的空气速度（單边吹弧， $P_p=5$ 絕對大気压， $d=3.0$ 公分， $h=3.0$ 公分， $U_A=250$ 伏）。

$$U_{np} = U_{np.0} \cdot e^{-\frac{t}{3\theta}} \quad (2)$$

式中 $U_{np.0}$ ——电流为零时的电气强度； θ ——电弧时间常数，该常数等于电弧比含热量与分散到单位容积中的功率之比。电弧时间常数是随着空气速度的增加而降低的。

图9所示是公式(2)的实验性校正。可以看出，根据这公式计算的结果与时间在电流经过零点后10—20微秒范围内间隙的实际电气强度相符合。这个时间过后就开始电气强度恢复的第二阶段。

第二阶段的主要影响是用压缩空气使残余电弧机械断开。电压经过零点瞬间是这种断弧出现的最有利条件(如图9所示是电压经过零点落后电流零点)。

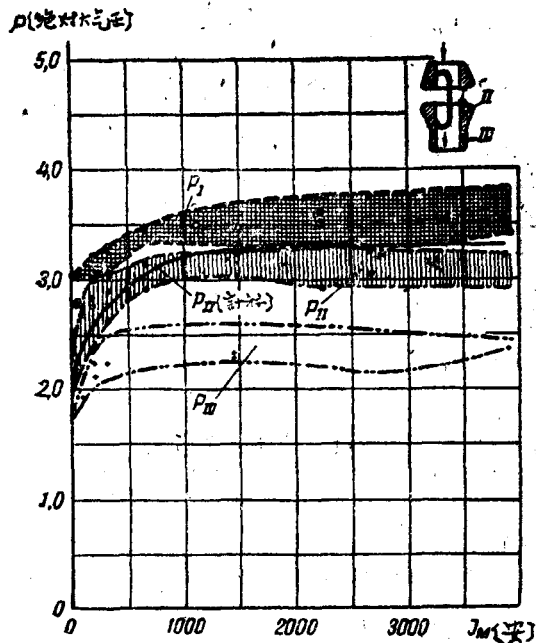


图7：当电流为最大值时空气压力和电流的关系
($P_p=5$ 绝对大气压； $d=3$ 公分； $h=3$ 公分)

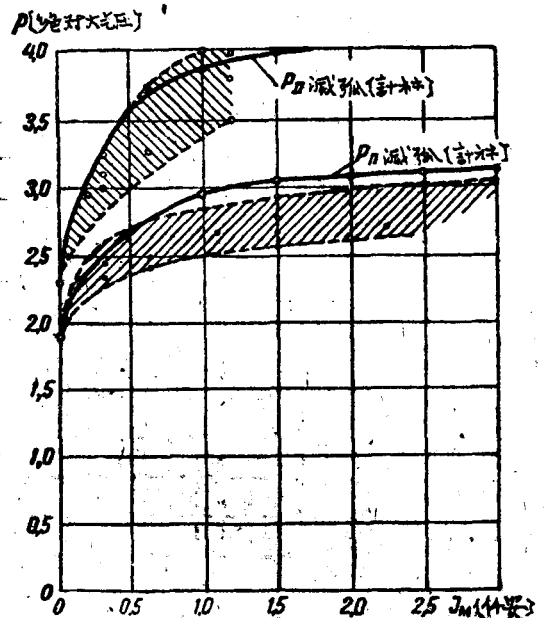


图8：灭弧瞬间喷嘴首端的空气压力 ($P_p=5$ 绝对大气压； $d=3.0$ 公分； $h=3.0$ 公分；上面的曲线是单边吹弧 $U_n=250$ 伏；下面的曲线是双边吹弧 $U_n=355$ 伏)

在这种情况下间隙电气强度是以公式(3)来确定的。

$$U_{np.m} = KW_0 t, \quad (3)$$

式中 W_0 ——电流为零瞬间的空气速度；

K ——计算值，该值与流动空气的电气强度，灭弧室结构有关。

在单边吹弧情况下 K 值等于击穿梯度 E_{np} 。当双边吹弧时由于电弧往两边走散， K 值等于空气的双重电气强度，即 $2E_{np}$ 。空气电气强度 E_{np} 在整个断开过程中不是不变的；电气强度随空气压力改变。但当计算时由于没有很准确的数据，只好采取下述空气电气强度的平均数值[11]。

双边吹弧灭弧室 $E_{np}=50$ 千伏/公分，

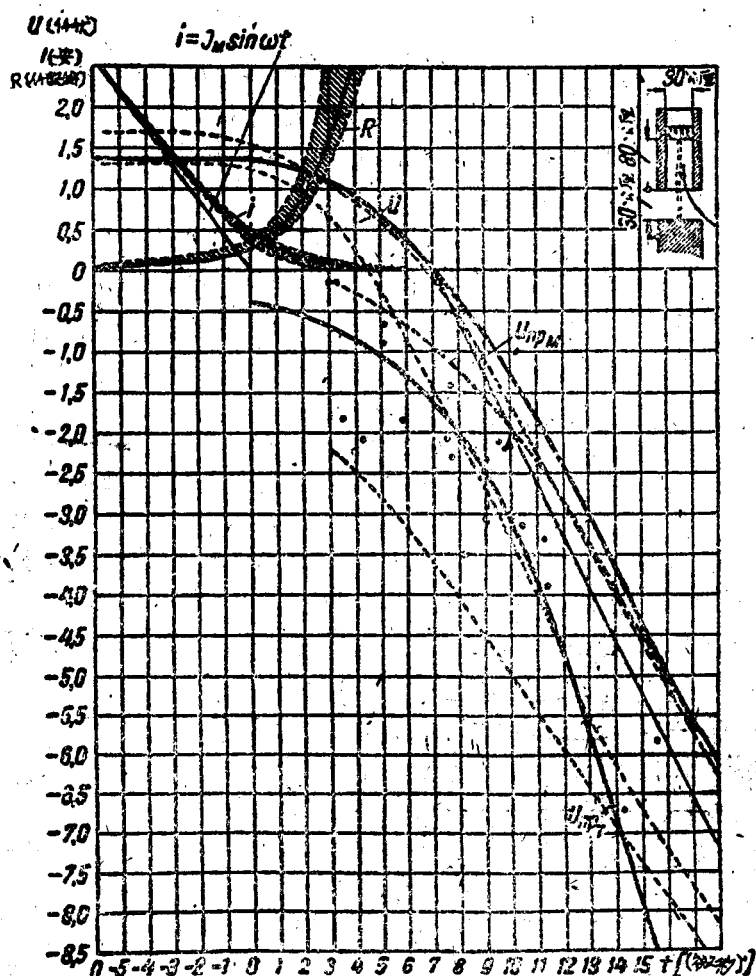


圖9：在电流为零的范围内，电流、电压和电弧电阻，以及間隙电气强度的变化表（断开接近極限的电流——臨界状态）； $P_p=5$ 绝对大气压； $d=3.0$ 公分； $h=3.0$ 公分；滅弧瞬間冷空气速度 $W_0=164$ 公尺/秒。虛綫所示为实验点分散范围区。实綫所示是計算結果。R——电弧电阻；U——間隙上电压； U_{qp} ——根据公式（2）計算出的电气强度，公式（2）考虑了电弧残余通道中热过程； U_{npM} ——根据公式（3）計算的間隙电气强度。

單边吹弧滅弧室 $E_{np}=50$ 仟伏/公分。

从图10中可看出公式（3）的計算数据是符合于电流經過零点和間隙电气强度完全恢复后的時間間隔20微秒內的实验結果。

恢复电压曲綫和間隙强度受到了电弧电阻的某些影响。很明顯，这种影响是在接近于电流零点时發生的。

假設电弧体積冷却的优点是根据能量热平衡方程式而定的話，那接近于电流零点时的电弧电阻可寫成下述式：

$$R_0 = \frac{\sqrt{2} U_{d.0}}{2\pi I_m f_1 \theta} \quad (4)$$

式中 $U_{d.0}$ ——当电流为零时电弧上的电压。

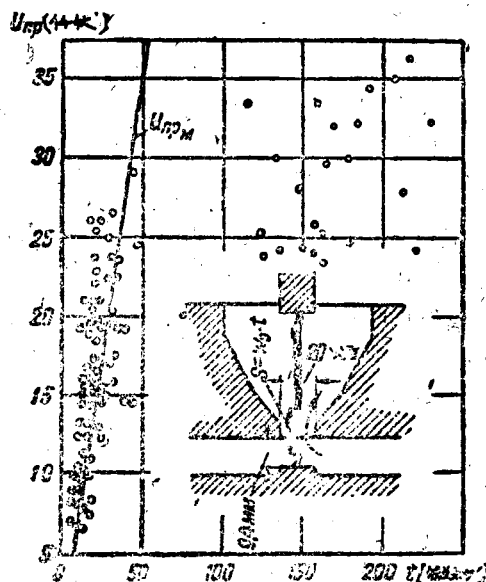


圖10: 間隙电气强度的恢复 (試驗点(7) $I=1200$ 安;
 $P_p=3.8$ 絕對大气压; $d=2.0$ 公分; $h=0.94$ 公分。根据公式(3)確定 U_{apm} 計算曲綫。圖中是实验滅弧室的草圖)。

由所得的电气强度增長曲綫和电压恢复曲綫的比較, 可以計算滅弧过程的开始和極限断开电流。

曲綫的分佈很緊凑是適合于滅弧室工作的臨界状态, 当由于电弧电气特性的分散[1] 时电弧有可能順利的熄滅, 也可能在熄弧时不能熄滅电弧。

圖9中表示出电压恢复曲綫和間隙电气强度增長曲綫相靠近的一个例子。在所研究的情况下約30%的試驗是由于重复燃弧而結束的, 在其他情况下所發生的滅弧是符合于計算結果的。

在計算过程中, 根据实验確定电弧時間常数 θ 和接近于电流零点时电弧上的电压 $U_{A.0.}$ 。这些值的分析計算方面因沒有可靠的数据就給实际采用推荐的滅弧室断开容量的計算造成困难。在这种情况下計算可能有利于說明个别因素对滅弧室滅弧性能的影响。

滅 弧 室 的 簡 化 計 算

当拟定和比較各种結構的空气断路器时, 如有一些公式能用來在滅弧室的各种工作条件下大約地估計出滅弧室的断开容量, 則很方便了。可以采用某些假設來解决这种問題, 这些假設符合于上述滅弧过程的特点。假定电气强度是隨电弧机械断开而增長的。在这种情况下滅弧室的極限負載滿是下述条件时才达到:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dU_{np}}{dt} \quad (5)$$

$\frac{dU}{dt}$ ——电压恢复速度；

$\frac{dU_{np}}{dt}$ ——在間隙的整个長度上电气强度增長速度。

为了确定电压恢复速度可利用下述公式〔12〕：

$$\frac{dU}{dt} = 4U_m f_2, \quad (6)$$

式中 U_m ——恢复电压振幅值；

f_2 ——恢复电压頻率。

根据方程式 (3) 和 (6) 寫出

$$4\pi U_m f_2 = KW_0, \quad (7)$$

式中 W_0 ——电流接近于零点的空气速度。

根据热噴嘴方法〔8〕确定空气参数的計算方程式对实际計算电流近于零点时的空气速度來說是很复杂的。假若，考慮到在同一条件下所獲得的空气参数的实验点是顯著地分散的話（看图 5, 6, 7, 8），那就能明顯地看出，簡化計算公式是有必要的，尽管計算的準確性和精確性会降低些。

可以用以下方式來闡述簡化的計算方法。審查一下电流接近零点时的空气压力和速度。当計算时不考慮空气气流弯曲，摩擦及其他的影响。取噴嘴首端的空气温度約等于滅弧室的温度，即冷空气温度。

为了說明所采用假設的可能性，進行了專門的試驗。用金屬棒使电弧处于噴嘴內腔（图 11），这样，就把滅弧室变成單流式滅弧室。把这些試驗結果和一般滅弧室內的試驗比較时，就可確定，当电弧容量不变时在工作間隙或在噴嘴首端的空气参数实际都一样。因此可以不考慮滅弧室区域的空气气流弯曲影响。在这种情况下在工作間隙任何地方的空气平均速度和噴嘴首端的速度有关，并根据連續定理很容易確定（图 13）。

假若噴嘴的入口截面比間隙內的截面小（一般在实际滅弧室內是这种情况，通常， $d \leq 2h$ ）噴嘴入口附近的空气速度比間隙內的速度高。所以在这样的滅弧室中，最强的去游离作用以及电弧残余間隙的净化作用在噴嘴的首端進行。

在近似計算曲綫后，得到当噴嘴首端时电流接近于另时空气迅速 W_{II} 和滅弧室負載的关系。

$$W_0 = \left(315 - 113 \sqrt{\frac{U_n i_0}{F_{kp} P_0}} \right) K_\Phi, \quad (8)$$

式中 K_Φ ——噴嘴形狀系数；

U_n ——电弧电压；

F_{kp} ——噴嘴的臨界截面。

相应于实际电流經過零点时空气参数的电流 i_0 条件值，此条件值用公式表示

$$i_0 = K_T I_m$$

对所研究的条件來說残余制动系数 K_T 近似等于 0.5 ($K_T = 0.5$)， K_T 基本上是相应于与

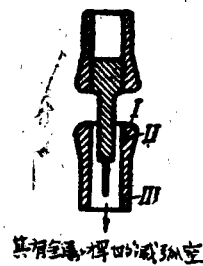
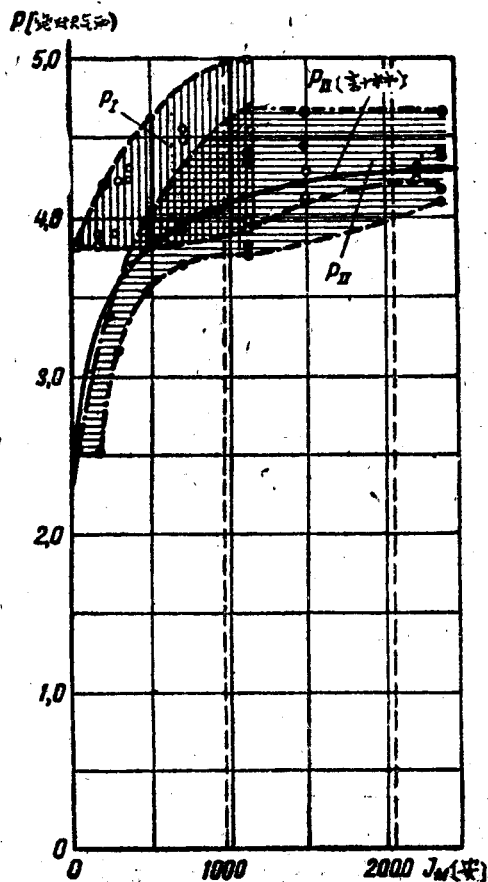


圖11: 空气压力和电流的关系 (單邊吹弧, 用金屬桿將电弧引入噴嘴的內腔; $P_p=5$ 絕對大氣壓; $h=3.0$ 公分)

电流变化有关的空气参数改变滞后系数 β : 当频率为100週、 $\beta=0.8$ 毫秒时 (見圖3')。

把 i_0 数值代入方程式(8)內, 可得到下述式:

$$W_0 = \left(315 - 94 \sqrt{\frac{U_{\pi} I_M}{F_{kp} P_0}} \right) K_{\Phi} \quad (9)$$

对于縮小型噴嘴來說 K_{Φ} 可用下述公式表示:

$$K_{\Phi} = \frac{F_1 p}{F}$$

式中 F ——电弧燃燒区域噴嘴截面 (圖14)。

当擴張型噴嘴时必須考慮到在电弧热影响下在噴嘴的一个很大的範圍內臨界截面突出的可能性。

根据Л. А. 傅利斯所作出的相应公式指出, 在噴嘴的很大範圍內移动臨界截面在理論上是可能的, 如果,

$$\frac{d_2}{d_1} \leq K.$$

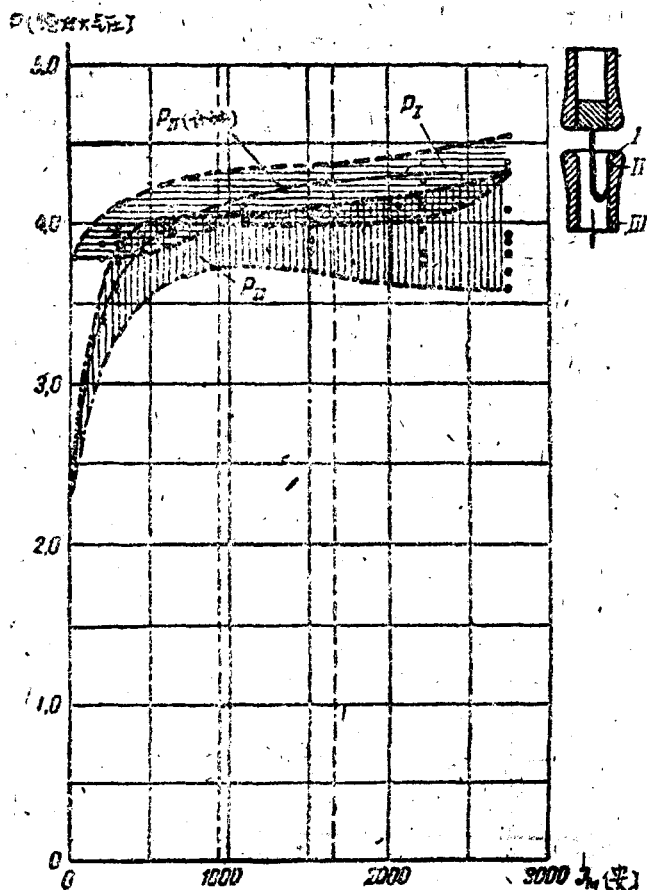


圖12: 空气压力和电流值的关系 (单边吹弧; $P = 5$ 绝对大气压; $h = 3.0$ 公分)

式中 d_1 ——喷嘴的入口直径;

d_2 ——电能供给末端地区的喷嘴直径;

K ——系数, 该系数和灭弧室的实际负载有关, 其变化范围是1.3—1.6。

当 $\frac{d_2}{d_1} > K$ 时, 在灭弧室内产生的气体动力过程可认为灭弧室具有非常短的喷嘴。

当计算间隙电气强度时确定在电极间空气压力是有意义的。间隙内的截面一般比喷嘴入口截面大; 相对来说此处空气速度很小, 所以它在工作间隙处压力等于灭弧室的压力。

灭弧室的压力同样可以根据简化公式计算

$$P_0 = K_{\Pi} P_p,$$

式中 K_{Π} ——空气导管中压力损耗的系数;

P_p ——储气室压力。

在一般的情况下系数 K_{Π} 和空气导管表面的粗糙程度及尺寸有关, 同样也和空气速度有关。根据预先的试验数据 (看图 1、7、8) 第一次近似的取 $K_{\Pi} = 0.7$ 。在这种情况下,

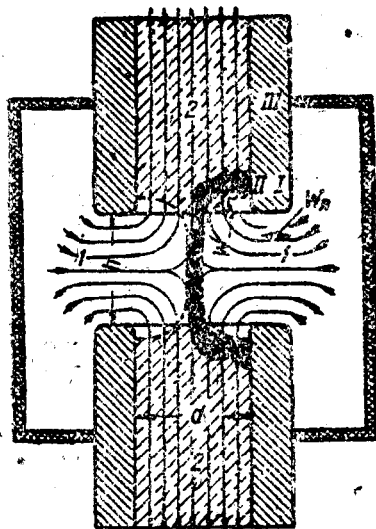


圖13: 在滅弧室內空氣參數的假設分佈:
1. — 冷空氣地區; 2. — 熱空氣地區。

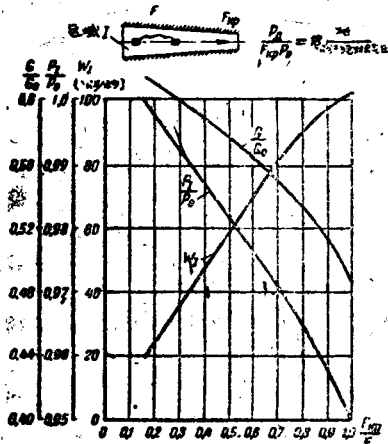
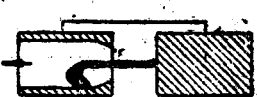
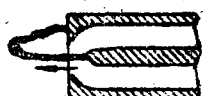
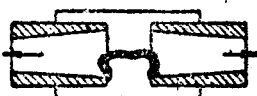


圖14: 電流為另瞬間, 在圓錐形噴嘴內冷空氣的參數。

表 1

吹 弧 方 法	噴 嘴 型 式	在電流為假極值時 為了確定電弧上電 壓的計算公式	滅弧室線路圖 (草圖)
單 邊	縮 小 型	hE_d	
單 邊	圓 柱 型	hE_d	
單 邊	擴 張 型	$2hE_d$	
單 邊	短 型 (自由氣流室)	hE_d	
雙 邊	縮 小 型	hE_d	
雙 邊	圓 柱 型	hE_d	
雙 邊	擴 張 型	$2hE_d$	

$$P_1 = P_0 = 0.7 P_p \quad (10)$$

依据方程式 (7) 和 (9) 可寫成

$$4U_M f_2 = 315K - 94K \sqrt[4]{\frac{U_d I_M}{F_{kp} P_0}} \quad (11)$$

为了確定滅弧室断开电流，方程式 (11) 可很方便的寫成下述公式

$$I_M = \left(\frac{3.15K - 0.40U_M f_2}{0.94K} \right)^4 \frac{F_{kp} P_0}{U_d} \quad (12)$$

式中 I_M —用仟安表示； K —仟伏/公分； U_M —仟伏； U_d —伏； F_{kp} —平方公分； P_0 —絕對大气压； f_2 —仟週。

公式 (12) 用于滅弧室噴嘴臨界截面計算时改用下述形式：

$$F_{kp} = \frac{I_M U_d}{P_0} \left(\frac{0.94K}{3.15K - 0.40U_M f_2} \right)^4 \quad (13)$$

为了計算 U_d 值利用表 1 內的公式，这些公式是根据預先試驗所得的結果和下述物理概念作成。假設，在不同結構的滅弧室內 U_d 值是用接近于电流振幅的电弧不同長度 F_2 來確定。

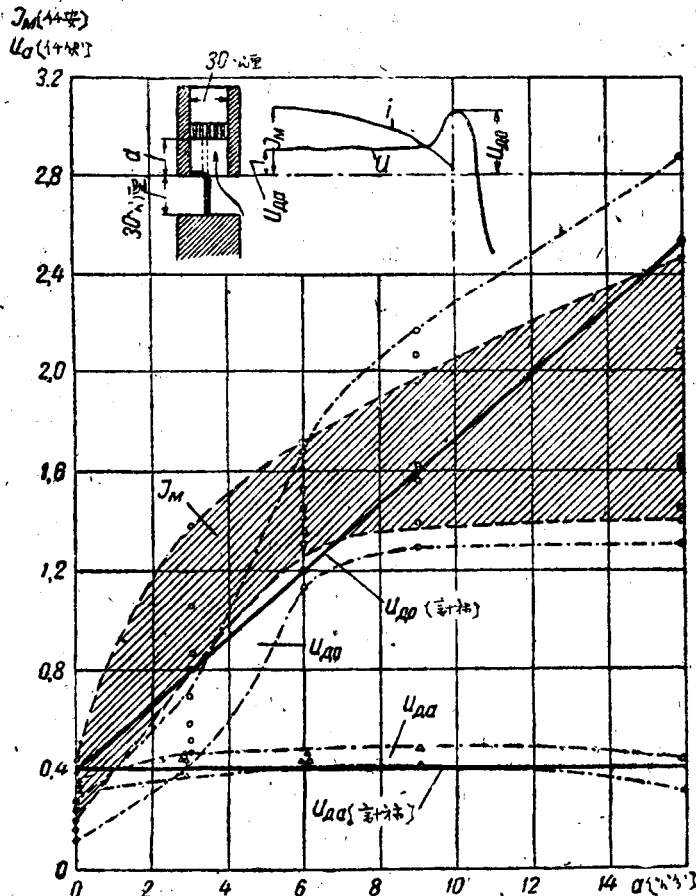


圖15：在电流另点和最大瞬間电弧上的电压和距离a的关系：

$U_{\pi a}$ —当电流为振幅值时电弧上的电压;

$U_{\pi 0}$ —当电流在零点时电弧上的电压; I —断开电流; a —以电极边到栅子的距离, 栅子限制电弧长度 ($P_p = 5$ 绝对大气压; $d = 3.0$ 公分; $h = 3.0$ 公分)。

当缩小和圆柱形喷嘴时 (在单边吹弧室中) 电弧的长度 $2a$ 相应于电极间最小距离 (图 15)。在扩张型喷嘴内, 当电流为振幅值时和圆柱形喷嘴比较时见到电弧上电压大约增长二倍。这就说明电弧的伸长, 在扩张型喷嘴内空气流量会使电弧伸长。

在自由气流室内 (短喷嘴灭弧室) 只是处在喷嘴内部的那部份电弧对空气速度有影响。所以在计算电弧对空气流量热影响的计算中, 最好认为 U_{π} 值等于电弧电压梯度与在喷嘴内部的电弧长度的乘积: 这个长度就认为等于电极间的距离。

在电弧上电压梯度的值 E_{π} (图 16) (此梯度包括在表 1 计算公式内) 可如参考文献 [15] 指出的方式计算。在这工作中所进行的计算取下述值:

当 $P_p = 5$ 绝对大气压时	$E_{\pi} = 130$ 伏/公分
当 $P_p = 9$ 绝对大气压时	$E_{\pi} = 160$ 伏/公分
当 $P_p = 20$ 绝对大气压时	$E_{\pi} = 260$ 伏/公分

电极间的距离可根据间隙的电气强度合理地选择, 即由下列公式取之:

$$h = \frac{U_{\text{макс}}}{E_{\pi}} \quad (14)$$

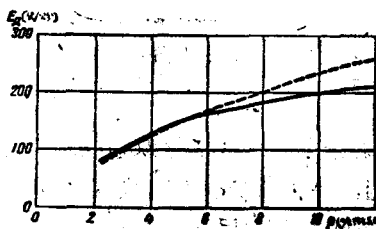


图 16: 当不同空气压力时电弧电压梯度 (实线是当电流为 1000 安时由实验所获得的, 虚线是根据最小原则用计算获得的)。

$U_{\text{макс}}$ 值等于电压的二个极大值

$$U_{\text{макс}} = 2\sqrt{2} U$$

式中 U ——在一个间隙上的有效电压。

假若断路器由几个间隙组成, 那电压等于

$$U = \frac{U_H}{n} \quad (15)$$

式中 U_H ——断路器额定电压;

n ——间隙数。

h 距离的增长超过了公式 (14) 所获得的数值是不合适, 因为在这种情况下电弧容量和空气的制动效应也会增加。

高压断路器一般由若干个灭弧室组成全苏电工研究所 (ВЭИ) 400 千伏的断路器由 8 元件组成, “布朗—包维利”公司 330 千伏的断路器由 10 个元件组成等等)。可制造这种参数的

断路器，它有較大的或者較小的間隙數。例如，減少間隙數目，相應的增加滅弧室的尺寸，可得到断路器規定的斷開容量。

產生了一個問題，断路器間隙數目在多少時才能認為是最好呢！很明顯，在其他一條條件相同的情況下空氣的總流量是主要的因數，該因數確定了断路器的經濟性（空氣的總流量與噴嘴的總截面成正比）。

$$F_{\text{сум}} = F_{\text{кп}} n. \quad (16)$$

在表1內的公式和方程式(14)，(15)和(16)的基礎上，方程式(13)用于圓柱形噴嘴時，可得下述方式：

$$F_{\text{сум}} = \frac{4 U_{\text{н}} I E_{\text{н}}}{P_0 E_{\text{нп}}} \left(\frac{0.94 K}{3.15 K - 0.565 f_2 \frac{U_{\text{н}}}{n}} \right)^4. \quad (17)$$

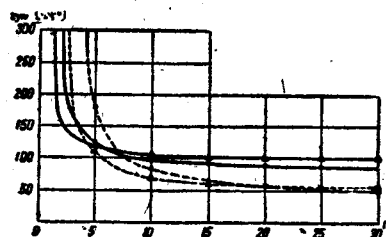


圖17：當電壓為400仟伏時，考慮到20仟安的斷開電流的空氣断路器噴嘴的總截面和間隙數的關係（實線是當負載為100%恢復電壓頻率 $f_2=0.4$ 仟週時計算數據；虛線是當負載為50%頻率 $f_2=1.3$ 仟週時；圓點是屬於單邊吹弧的，三角是屬於雙邊吹弧的）

圖17是按公式(17)計算的結果。研究了單雙邊吹弧滅弧室400仟伏断路器。當100%的負載時恢復電壓頻率是0.4仟週，當負載為50%時恢復電壓頻率為1.3仟週。

圖17的曲線指出，在高压断路器中利用為數很少的間隙來開斷確定的容量時，則要求的空氣流量很大。在這種情況下當頻率為 $f_2=1.3$ 仟週時斷開50%負載是断路器最困難的工作狀態。隨著間隙數的增加，空氣的總消耗急劇下降，而當頻率為 $f_2=0.4$ 仟週時斷開100%負載就成為最困難的狀態了。但是空氣消耗的急劇下降只在某些範圍內見到。雙邊吹弧間隙數超過6個時單邊吹弧數超過8個時對空氣流量影響很少。當有6個和更多間隙時，對於兩種型式的滅弧室來說斷開已知容量大致需要同樣的空氣消耗量。假如間隙數小於6時，那採用雙邊吹弧室就更有利些。

在滅弧室的試驗中常採用根據高列夫迴路原則之繞路圖。

計算滅弧室斷開電流的公式適合於高列夫迴路時（圖18），這些公式變換成下述方式：

$$U = I \sqrt{\frac{L}{C_1}} \quad (18)$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_2}} \quad (19)$$

式中 L ——電感；
 C_1 ——電容器組的電容；
 C_2 ——分路間隙電容。