

电弧在狭缝中的运动

〔苏联〕H·A·巴巴科夫著

科学技术出版社

电弧在狭缝中的运动

〔蘇聯〕 H·A·巴巴科夫著
胡 汝 鼎 沈 越 昭譯

科学技術出版社

內 容 提 要

本書是記述在電器的分離着的觸頭間的空間內電弧吹消問題。

根據了實驗以及理論計算，求出規律性，並指出改進電器的途徑。

本書可供在生產部門中工作的工程師以及使用低壓電器的工程師及電工技術人員之用。

电 弧 在 狭 縫 中 的 运 動

ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В УЗКИХ ПЩЕЛЯХ

原 著 者 [蘇聯] Н. А. Бабаков

原出版者 Госэпергоиздат

譯 者 胡 汝 鼎 沈 越 昭

*

科学技術出版社出版

(上海建國西路 336 弄 1 號)

上海市書刊出版業營業許可證出〇七九號

上海市印刷四廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書号: 15119 · 188

(原電世界版印 1,500 冊)

開本 787 × 1092 耗 1/32 · 2 11/16 印張 · 61,000 字

一九五六年五月新一版

一九五六年五月第一次印刷 · 印數 1—1,520

定价: (10) 三角六分

序 言

目前，沒有一個工業部門不推廣電力驅動和生產過程的自動化，因此，生產低電壓高度精密的電器是具有重大的國民經濟意義。

各種不同種類的電器結構必須遵守某些物理過程的指定條件，其中電弧熄滅占有首要地位之一；這種必要性就決定了各式各樣電器的結構。

簡單型式的電弧熄滅方式，已經不足以滿足近代電器製造，而它却要求着：在較小的體積中，在較小的光效應與聲效應下，在短促的時間裏，在電器部件上只有極小限度的損傷的情況下，來實現這種電弧熄滅。

極大多數低壓開關設備的接觸裝置與滅弧裝置中，必須涉及兩平行金屬片之間電弧橫向狹縫內的運動。例如，在排成兩行金屬片之間的、在接觸器①或自動斷路器分離中的觸頭間的滅弧柵內，電弧就是在橫向狹縫中運動着。

在以上所舉的和其它許多例子裏，爲了正確設計開關設備起見，必須認識電弧運動的規律。大家知道，當電弧支撐點沿着電極而迅速運動的時候，電極發生微熱。我們可以選擇這樣的電弧運動速度，使支撐點

① 接觸器 KII-3裏，在 500 伏斷路 500 安的時候，觸頭上電弧的出現是等於 $\approx 1.5 \cdot 10^{-3}$ 秒。在這一段時間裏，觸頭來得及分開到大約 2.5 公厘的開擋（距離）。

附近的金屬在這速度之下不致於熔化，而且在電極上的損傷將不會很顯著或者在極小限度內。因此，滅弧柵的損傷，觸頭的損傷，弧角的損傷以及開關設備的其它許多另件的損傷，都是直接取決於電弧運動的速度。

因此，本書對於電弧在狹縫中運動的特點作了詳細的研討，在一系列情況中提出了以前所不知道的規律性。

本書指出以前所不知道的或者是很少知道的情況如下：

1. 當觸頭間的開擋增值時，電弧移動的各項條件實質上是起了變化，就是：

a) 在開擋到了 $1/3$ 公厘時（電流 100—400 安），隨伴着觸頭表面的熔融，發生了由熔化金屬所形成的橋的緩慢移動（在 2—5 公尺/秒的範圍中）。

6) 當開擋增至 1 公厘時，電弧速度的迅速增加。在開擋為 1—2 公厘時，速度達到了極大。這極大值是與磁場以及電流有關，在實驗中發現這值達到 100 公尺/秒（ $I = 400$ 安， $H = 930$ 奧）。

b) 當觸頭開擋繼續增大時，電弧速度的下降，這是由於電弧的分裂和它的渦流，使阻力增大的緣故。

研究觸頭開擋與電弧運動有關的各項現象的必要性，規定了本書的內容。

除此之外，本書包括在狹縫中使電弧運動的力的數學分析，並指出從觸頭中部消除電弧的途徑。

本書中的基本原理可以應用於電器工業中，因為，這些基本原理解答了設計低壓電器時所能遇到的某些本質問題。

本書中的說明計分三章。

第一章敘述在狹縫中電弧運動速度的研究。

首先敘述了實驗研究的方法，然後，介紹了確立電弧運動速度和各種量，如電流、磁場強度、電弧長度等的關係的研究結果，並從近代物理概念出發作了說明。

按照所得結果，作出結論。

在第二章中分析了作用於橫向狹縫中電弧上的電磁力。解決了複雜的數學課題，這數學課題考慮了由於沿着金屬片的電流分佈而產生的磁場。歸結到空間表示系統問題的數學解釋，是由求得電弧運動的行道和實際結論來完成的。

第三章詳述了接觸器和自動斷路器的各種切口觸頭的新結構，這是數學分析的直接成果。

敘述了新型觸頭的實驗，並證明了它們的實際價值。

在本書中所敘述的研究工作，是根據以斯大林命名的哈爾科夫機電工廠的課題，由作者在哈爾科夫電工學院電器實驗室中進行的。

在這裏，我對我這著作的導師布朗教授（Проф. О. Б. Брон）和法舒爾教授（Проф. Б. Ф. Вашур）表示感謝，我認為這是自己的愉快義務。

布德凱維奇教授（Проф. Ю. В. Буткевич）、彼得羅夫教授（Проф. К. Н. Петров）和切爾尼奇金教授（Проф. Д. С. Черничкин）對本書作了許多寶貴的指示以及進行工作中的協助，為此表示感謝。

Н. А. 巴巴科夫。

目 錄

序言	1
第一章 電弧在狹縫中的運動速度	1
1. 研究的課題	1
2. 研究的方式	3
a) 研究裝置總述	3
б) 裝置的元件	6
в) 對電弧作用的磁場	15
г) 觀察誤差的影響	16
3. 研究的結果	19
a) 弧速與縫值的關係	19
б) 弧速與磁場強度的關係	33
в) 弧速與斷路電流值的關係	37
г) 電弧在狹縫中運動時所遇到的阻力	40
4. 結論	45
第二章 使電弧在狹縫中運動的力的數學分析	48
1. 研究的課題	48
2. 在有限厚度的金屬片之間縫隙的對稱軸上的電弧	50
3. 在有限厚度的銅片之間從縫隙對稱軸移動的電弧	52
4. 在狹縫中電弧運動的行道	63
5. 結論	68

第 三 章 關於低壓開關設備觸頭的結構問題.....	69
1. 研究的課題.....	69
2. 具有切口的觸頭.....	71
3. 無切口觸頭和有切口觸頭的比較試驗.....	73
4. 結論.....	76
參考文獻	77
附錄	78

第一章

電弧在狹縫中的運動速度

1. 研究的課題

在研究有關電弧在磁場中運動的各項著作〔文獻 2—11〕時，我們注意到下列情況。

第一，沒有一種著作曾經考慮到靠近電弧支撐點所發生的各種現象。他們把動力，也像對阻力一樣，都用了單位弧長來表示，彷彿電弧具有無限的長度，同時也忽略了電極附近的各種現象。

第二，大多數作者把電弧當作氣柱來研究。而這種氣柱是順着支撐點之間最短距離的方向移動的

第三，有些作者在分析電弧在磁場中運動的時候，認為：這種運動相仿於固體圓柱通過靜止氣體的運動。

根據這些假設和理由，有些作者在他們的著作裏明確了：電弧運動的速度與電弧長度無關。

由於所有過去的作者都研究了電流小或電極距離相對大的各種情況，所以他們祇考慮了外磁場。

儘管電弧在磁場裏的運動，從 1821 年^①起就不止一次的列為研究的課題，可是所有從這些著作裏得出來的一些結論，意見上都是不一致

註① 在 1821 年磁場對電弧的作用這一問題已經予說明。參考〔文獻 4〕。

的，而從理論和實際的觀點來看，這個重要現象的某些方面也完全沒有闡明。

本著作應當指出這一點，並且對沒有研究過的電弧在狹縫中運動的問題，應當予以解答。

布朗教授所發表的著作[文獻 1]，在所有分析研究電弧在磁場裏運動的著作中，是佔有特殊地位的。在那一本著作裏，最完整地考慮到了各項因數。

可是，在那一本著作裏，弧速是在電極間距離不小於 1.5 公厘的情況下確定的。電極距離較小的情況下，這樣的距離主要出現在接觸電器斷路和合路的時候，在這情況下的電弧運動却完全沒有研究^①。

本研究課題裏，將闡明由兩條平行電極所形成的狹縫中直流電弧運動的特點，並且首先要研究電弧運動速度的各種關係。

必需研究下列關係：

1. 在不同的電流和磁場強度 H 之下，電弧運動速度與電極間淨距離的關係：

$$v_n = f(a), \quad H = \text{常數}$$

$$I = \text{常數}。$$

此時， a 從 0.1 變化到 10 公厘。

2. 在不同的電流和極距 a 之下，弧速與磁場強度 H 的關係：

$$v_n = f(H); \quad I = \text{常數}$$

$$a = \text{常數}。$$

① [專題研究電弧在狹縫中運動的特點，以及闡明狹縫中氣動阻力的特性和數值，是有必要的。這應當成為獨立著作的課題][文獻 1, 第 30 頁。]

把由電極電流所產生的磁場強度估計在內，磁場強度從 100 奧改變到 1000 奧。

3. 在不同的磁場強度 H 和極距 a 之下，弧速和電弧電流的關係：

$$v_n = f(I), \quad H = \text{常數}$$

$$a = \text{常數}。$$

實驗時，採用了三個電流值：100、200 和 400 安。

上述各項關係是在網絡電壓為 220 伏的時候所求得的，這是因為從實驗明確了：在其他條件相同時，網絡電壓為 110、220、500 伏的弧速是一樣的。

對每一個 α, I, A 的值，重覆作實驗至少六次。這些觀察所得的平均值，就作為電弧運動速度的真正數值。

弧速與弧軸成垂直的方向，因此有符號 v_n 。

大電流的電弧在狹縫裏運動時，由於在電極裏的電流分佈所產生的磁場起着重要的作用。在實驗裏，必需用計算方法考慮這些磁場。

所採用的工作順序是這樣的。

在所選定的極距 a 和電流 I 的情況下，在上述範圍內改變磁場強度 H ，並對每一個 H 值求得電弧運動速度值 v_n 。

根據實驗數據，測定電弧在狹縫裏運動時所遇到的阻力。

2. 研究的方式

a) 研究裝置總述 電弧運動的研究工作是在如圖 1 所示的裝置上進行的。

聯接電極下部的細熔絲燒斷後，在兩條相互絕緣的平行電極 2 之

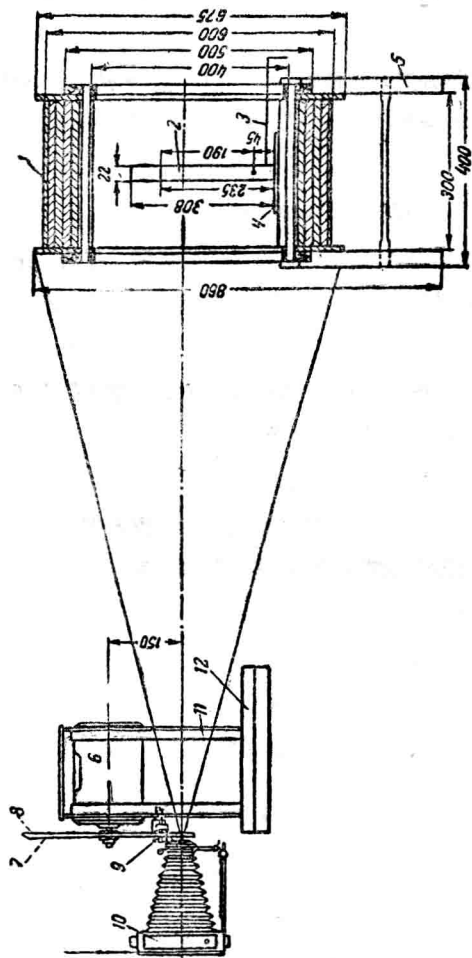


圖 1. 裝置的構造

1. 磁場繞組; 2. 電極; 3. 電纜; 4. 電極支架; 5. 繞組支架; 6. 電動機; 7. 照相機的圖盤;
8. 鉚釘; 9. 轉敗記錄器; 10. 照相機; 11. 電動機支柱; 12. 台架。

間形成了電弧。

接於獨立直流電源的線圈是用以產生磁場的，電弧在這磁場的作用下沿着電極向上移動。

電弧的運動以照相設備攝成照片，在照相設備物鏡的前面有電動機 6 轉動着邊緣有分佈均勻的孔眼的圓盤。

在攝取電弧照片的同時，電弧電流和電極上電壓波形攝取了示波圖。電氣線路是配置得使在實驗時先接通線圈 1 的電路，然後接通主電路。

圖 2 的 2a 表示實驗所得的示範波形圖和照片。



圖 2. 用複式攝影機攝得的電弧沿電極運動的照片。

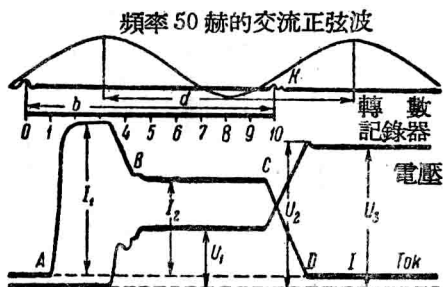


圖 2a 波形圖。

在接入之後，在如字母 A 所標誌的瞬間，電流繼續增大，達到某一值並且燃燒了熔絲。電弧出現的瞬間，以字母 B 來標誌。

電弧在電極間運動的一段時間內(時間間隔 BC)，電弧電流和電弧電壓實際上保持不變。

電弧從狹縫走出之後(瞬間 *C*), 電弧開始熄滅, 電弧的熄滅隨伴着電弧中電流的突然降低和電極間電壓的突然增長。

在各項實驗裏, 我們把從波形圖裏線段 *BC* 上的數值當作電弧的電流和電壓。

6) 裝置的元件 下面我們來說明上面曾經大略敘述過的研究設備各別組件的特性。

電極。如圖 1 (項 2) 和圖 3 所示的電極, 是兩條平直的銅版, 寬

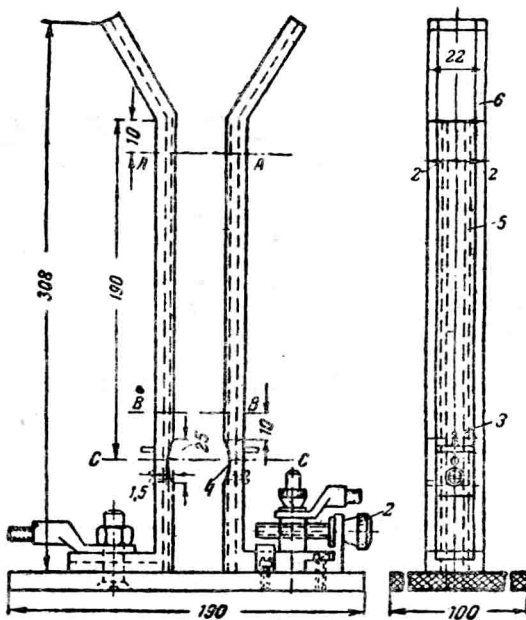


圖 3. 電極的構造。

22 公厘，厚 4 公厘，互相平行地安裝在石棉水泥板上，電極的上部向後彎曲，使電弧沿着電極運動到終端時被拉長而熄滅。電極間的距離，是藉專備螺釘 2 移動一個電極的位置的方法來加以調節的。

用了固定在電極下方的有分度的尺來測量距離。小距離用千分規來調整。

在電極的下部中間作成孔 3，裏面插入作為熔絲用的金屬線端。金屬線的直徑選用 $0.2 \div 0.3$ 公厘。在安裝金屬線的地方，電極上有凹隙 4，因此電極的距離小於固着熔絲各點間的距離 3 公厘。

燒斷熔絲時所發生的電弧，在它向上運動時，偏向板的邊緣（圖 4）。在電弧到達板的邊緣時，電弧從電極所形成的縫隙中跑出。如果沿着電弧運動的路做成溝槽，那末，當電弧到達那裏後，將沿着溝槽繼續運動，整個時間電弧留在溝槽裏。當外磁場強度小的時候，這種溝槽顯得特別重要。在電極上，沿着邊緣做成寬 2 公厘深 1.5 公厘的溝槽 5。

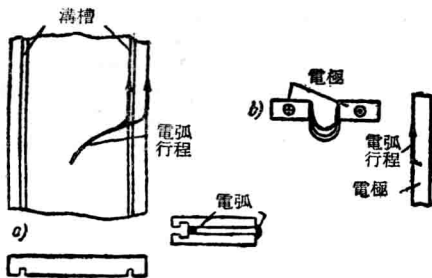


圖 4. 消除電弧從狹縫逸出的方法。

每次實驗之後，電極都加以清潔，使其表面保持不變。同時，為了使電極不彎曲，做上加固筋 6。間隙小的時候（小於 1 公厘）電極經過猛烈的燃燒，電極就必須磨過。

在進行上述工作時，曾經發生了關於電極的寬度影響到電弧在狹

縫裏運動速度的問題。在研究這一現象時，除上述電極外，還應用較寬和較狹的各種電極。寬度為 40 和 10 公厘的電極有 4 公厘的厚度；寬度為 1 公厘的電極做成三稜形，使得電弧不會從縫隙裏跑出，整個時間在縫隙裏運動着。

產生磁場的線圈。產生不同磁場強度的線圖是由鋁線製成繞在木製骨架上(圖 1 項 1)。鋁線有氧化物的絕緣。線圈由 5 個分段組成，一個分段繞在另一個分段外面，使得應用各別分段進行實驗時在線圈內部得到均一的磁場分佈。

線圈分段具有如下的繞組數據(參照表)

分段編號	分段內匝數	電阻，歐。	備註
1 (下部)	600	6,555	金屬線直徑 2.4 公厘
2	590	6,555	
3	580	6,555	
4	570	6,768	
5 (上部)	122	1,563	

分段的線端具有各別の出線頭。

把分段作不同的聯接並且改變分段內的電流，可以在廣泛的範圍內使磁場從幾個奧改變到幾千個奧。

在我們的各項實驗中應用圖 5 所示的分段聯接。

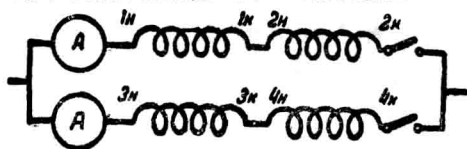


圖 5. 線圈各分段的聯接。

線圈上加上 110 伏的直流電，這直流電是從與研究設備運行無關的獨立電源供電的。

磁場強度沿着線圈的直徑截面變化的特性曲線，得如圖 6。

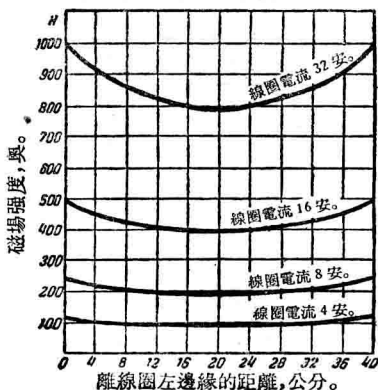


圖 6. 沿線圈直徑的磁場強度分佈情形。

在線圈內部沿着線圈直徑的磁場強度，不是恒定值，而是從一點到一點地變化着，它在線圈中心達到極小值，離開中心愈遠磁場強度愈是增大。計算時，可以採用線圈中心和線圈邊緣旁的磁場強度的平均值，即假定線圈內部任何一點的磁場強度都是均一的。這時容許誤差不超過 10% ①。

因為線圈內並不含有鐵件，因此磁通也就是磁場強度，是電流的直線函數。各種電流之下所量得的線圈中心和近邊處的磁場強度，如圖 7。

根據所得關係曲線用改變流過兩個分段的激磁電流辦法，來調整

① 在布爾哥夫 (Бургофф) [文獻 3] 的裝置裏，容許誤差較大。在個別的情形下，電極附近的磁場強度高於電極間強度值達 30—40%。