

金屬電火花加工

И. А. 伊里科、В. К. 涅維仁 著



國防工業出版社

金屬的電火花加工

И·А·伊里科、В·К·涅維仁 著

韓廣武 譯 孫榮科 校



國防工業出版社

內 容 介 紹

本書是供工人掌握金屬電火花加工方法的參考讀物。在書中敘述了電火花加工的要點，說明了工藝規程和進行電火花加工所使用的設備。

在敘述工藝規程時，指出了進行各種電火花加工的可能性和合理性。

爲了很好地了解電火花加工的原理和正確使用電火花加工設備，在第一章中簡要地介紹了必要的電工知識。

在書後，列有用電火花裝置工作時的臨時安全技術須知。

И.А.илик В.К.невежин
ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ СПОСОБ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Государственное
издательство оборонной промышленности
Москва 1952

本書係根據蘇聯國防工業出版社
一九五二年莫斯科版譯出

金 屬 的 電 火 花 加 工

[蘇]伊里科、涅維仁 著

韓 廣 武 譯

孫 榮 科 校

*

國防工業出版社出版

北京市書刊業營業許可證出字第 074 號

北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

*

書號：0028 • 850×1168 耗 1/32 • 5³/₁₆ 印張 • 138,600 字

一九五五年十二月第一版

一九五五年十二月北京第一次印刷

印數：1—2,000 冊 定價：0.98 元

前 言

本書是金屬電火花加工工人的參考讀物。

書中列有進行電火花加工的物理過程的基本概念、基本工藝規程和爲了解電火花加工過程所必需的簡要電工知識。

第二、三兩章、第四章的第一、二節、第五章第三節和第六章是И·А·伊里科寫的；第一章、第四章的第三節、第五章的第一、二節和附錄是В·К·涅維仁寫的。全書經過兩位作者共同的修改。

在這種新的金屬加工方法方面，爲工人寫參考讀物還是第一次，可能有很多缺點。所有在工作中發現的缺點請寄至蘇聯國防工業出版社（莫斯科51區，別特洛夫卡大街24號）。

引 言

我國技術的蓬勃發展，要求採用機械性能和熱處理性能很高的特殊鋼與合金，但這種鋼的加工很難，在某種情況下實際上甚至完全不可能用切削的方法進行機械加工。於是就有必要探討新的金屬加工方法。

斯大林獎金獲得者，技術科學博士B·P·拉察連柯和工程師H·И·拉察連柯所研究出的金屬電火花加工法為擴大和發展我國金屬加工工業的範圍提供了可能性。用電火花方法可以加工各種具有導電性的金屬和合金。這種方法不受工件硬度和熱處理的限制。用這種方法加工工件與切削加工不同，即工具與工件是不直接接觸的。

在運用蘇維埃學者所研究出的金屬電火花加工方面我國佔有優先地位。在這種加工方法的發展方面我國已遠遠超過其他國家。

除了電火花加工外，在我國工業中還應用着金屬的陽極機械加工法。

金屬電火花加工中央科學研究室 (ЦНИИ-Электром) 所進行的深入研究，使我們明確地認識到這兩種方法都是以兩個電極在沖擊放電作用下將金屬破壞為基礎的。

在我國工業中，應用金屬電火花加工的範圍正逐日擴大，所以要相應地培養大量工人幹部。

本書就是培養工人掌握金屬電火花加工的教學參考讀物。它的任務是介紹電火花加工方面的實際和原理、操縱電火花裝置的必要知識、電火花加工的設備和這種加工方法的工藝規程等。

目 錄

前 言	3
引 言	4
第一章 電工的簡要基本知識	1
第二章 金屬電火花加工的實質	19
第三章 可用電火花方法完成的工序和電火花設備的分類	25
第四章 高壓電火花加工	29
§ 1. 用電火花方法加工大孔	29
A. 用機械加工機床改裝成電火花裝置	29
B. 電火花加工大孔的工藝規程	48
§ 2. 用電火花方法製造小孔和彫刻	56
A. 製造小孔用的電火花裝置的結構	56
B. 製造小孔的工藝資料	65
B. 電火花彫刻	68
§ 3. 金屬表面的電火花鍍蓋和強化	71
A. 用電火花方法強化金屬表面的實質	72
B. 設 備	74
B. 工藝資料	85
第五章 低壓的電火花加工	89
§ 1. 金屬的電火花切割	89
A. 裝置的結構	90
B. 工藝資料	101
B. 實際工作注意事項	110
§ 2. 硬質合金工具的電火花刃磨	112
A. 設 備	113

B. 工藝資料	117
§ 3. 金屬的電火花磨削	118
A. 設 備	119
B. 工藝資料	128
B. 實際工作注意事項和舉例	130
第六章 在電火花裝置上工作時的安全技術	134
附錄 1. 導線和可熔保險絲截面的選用	136
附錄 2. 變阻器的選用	137
參考文獻	152

第一章 電工的簡要基本知識

電路中的電流、電壓和電阻

如果電源與電路如圖 1 所示綫路接通，則關上閘刀開關時在電路中就有電流流過。

當有電源時，電路的接通是電流通的 必要條件，如果電路斷開，則電流立即停止。

每秒鐘流過導體的電量叫做電流強度。

電流強度用字母 I 表示，單位以安培 (a) 計。

電流的呈現和保持，決定於電路中是否有電壓存在。在無負荷的電路中，電源電壓叫作電動勢。

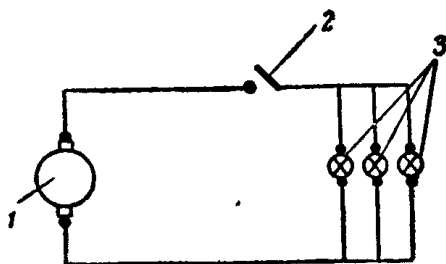


圖 1. 電路圖

1—電源； 2—閘刀開關；
3—負荷（燈泡）。

電壓用字母 U 表示，單位以伏特 (B) 計。高電壓以千伏特表示；
 $1 \text{ KB} = 1000 \text{ B}$ 。

電 阻

不同的材料所通過的電流不同。爲了表明材料的導電性能，須先瞭解材料的電阻。

電阻的測量單位是歐姆。當電壓爲 1 伏特時，能通過 1 安培電流的導體所具有的電阻爲 1 歐姆。

長度爲 1 公尺、截面面積爲 1 平方公厘的導體，在溫度爲 20°C 時，所具有電阻的歐姆數叫作材料的電阻係數。

表 1 中所列即爲一部分金屬的電阻係數。

部分金屬的電阻係數

表 1

材 料	電 阻 係 數 (歐 姆 平方公厘/公尺)	材 料	電 阻 係 數 (歐 姆 平方公厘/公尺)
銅	0.0172	錳	0.43
黃 銅	0.07	德銀 (銅鎳鋅合金)	0.3
鐵	0.13	鎳	0.4
銀	0.016	銅鎳鋅錳合金 (有時含鐵)	0.45
鋁	0.0283		
鎢	0.055	鎳 鉻 合 金	1.1
銅鎳合金 (康銅)	0.5	高 阻 合 金	1.3

電阻與導體的電阻係數和長度成正比，與橫截面面積成反比，即：

$$R = \rho \frac{l}{S} ,$$

式中 ρ ——電阻係數；

l ——導體長度（公尺）；

S ——橫截面面積（平方公厘）。

在電路中，電壓、電阻和電流強度之間有一定的關係。

導體中的電流強度與電壓成正比，與電阻成反比，即：

$$I = \frac{U}{R} ,$$

式中 I ——電流強度（安培）；

U ——電壓（伏特）；

R ——電阻（歐姆）。

電路中某一段的電阻也可按此公式計算：

$$R = \frac{U}{I} .$$

當電路某一段上的電壓為 120 伏特，電流為 1 安培時，此段的電阻等於：

$$R = \frac{120}{1} = 120 \text{ 歐姆} .$$

電容和電容器

在電工技術中，爲了積蓄電能而採用具有相當電容量的裝置叫作電容器。

計量電容器的電容量所採用的單位叫作法拉，因爲這個單位很大，故一般在計量時均採用微法拉（MKΦ），1微法拉等於百萬分之一法拉；或採用微微法拉（MKMΦ），1微微法拉等於百萬分之一微法拉。

圖2所示是最簡單的電容器原理綫路圖。電容器是由兩片金屬片A和B及中間的非導電材料B組成。

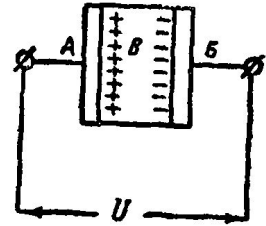


圖2. 電容器的綫路圖

電容器的金屬片叫作導電板，一般是用鋁、黃銅或錫箔製成。作爲絕緣介質的有空氣、石蠟、雲母、紙、油等（關於絕緣介質詳見下述）。

A, B—金屬片；B—介質； U —金屬片的電壓。

另外還有一種特形電容器——電解電容器。這種電容器尺寸較小，但具有很大的電容量。它的缺點是必須嚴格保持接通方向，負極

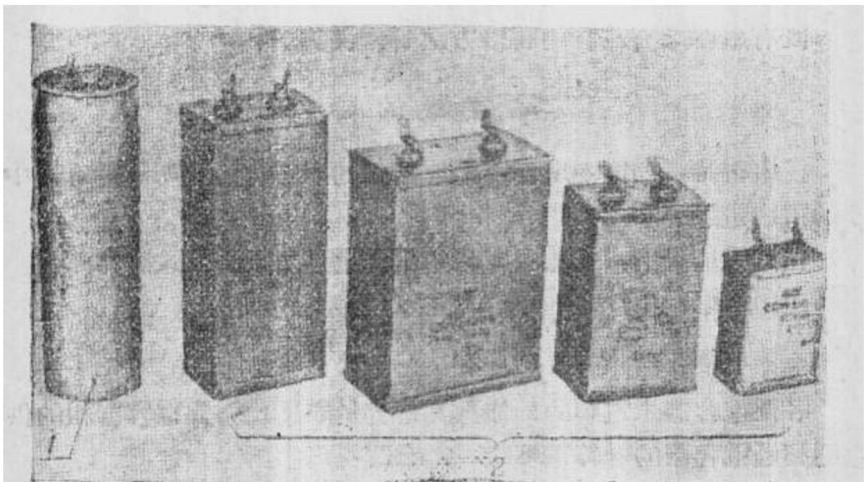


圖3. 電容器的外觀

1—電解電容器；2—紙電容器。

必須接地，而正極必須接到電容器的引綫上。當極性接錯時，電解電容器便會燒壞。此型電容器只適用於直流電路中。

爲了在電容器中蓄電，必須將金屬片的引綫與電源接通，此時電容器金屬片會充上符號相反的電荷。

金屬片面積越大，金屬片間絕緣介質越薄，電容器的電容量就越大。電容量還決定於介質的絕緣性能。電容器一般只能用於一定的電壓，如果電容器所接的電壓過高，則介質即會被燒毀，電容器的金屬片間短路，或像一般所說的將電容器“擊穿”。

電容器擊穿後便不能再使用，因此在裝配時應特別注意製造廠寫在電容器上的工作電壓值。在電容器上還標有電容器的試驗電壓，而電容器的負荷應當在工作電壓以下。圖 3 所示爲常用的幾種電容器。

電容器和電阻的串聯、並聯與混聯

電容器和電阻在電路中有三種聯接方法：串聯、並聯和混聯。

當電容器或電阻以首尾啣接，即第一個的尾端接着第二個的首端的方法依次聯起時，叫作串聯。

當首尾兩端各聯在共同一點上時，叫作並聯。

既有串聯又有並聯的聯接方法叫作混聯。

電 容 器 的 聯 接

在串聯時，如圖 4 所示，電容器組的總電容量比所有電容器中最小的電容量還要小。

在這種情況下，一組電容器的電容量可按下列公式計算：

$$\frac{1}{C_{\text{總的}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \cdots + \frac{1}{C_n}。$$

各個電容器上電壓的分佈與其電容量成反比。當電容器組的供電電壓超過電容器的計算電壓時，電容器可以串聯。

並聯時（圖 5），電容器組的總電容量等於各電容器電容量之和，即：

$$C_{\text{總的}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \cdots + C_n。$$

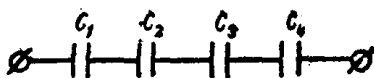


圖 4. 電容器的串聯線路圖
 C_1, C_2, C_3, C_4 —各單獨電容器的電容量。

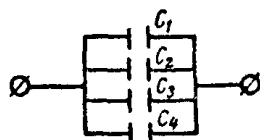


圖 5. 電容器的並聯線路圖

並聯時，各電容器金屬片上的電壓完全相同，如果一個電容器的電容量太小而需要加大時，電容器就可以並聯。

混聯時，電容器組的總電容量決定於各個並聯和串聯的電容器的電容量和數量。在計算混聯的電容器時，可先計算出並聯的電容器的電容量，然後即可將每組並聯的電容器當作一個電容器來看，如此整個電路就成爲一個串聯電路，於是再按串聯的公式計算總電容量。

電 阻 的 聯 接

當電阻串聯時，電流從全部電阻流過，沒有分路，因此在電路各段上的電流值是相同的。

圖 6 所示是電阻串聯線路。

串聯時，電路的總電阻等於各段電阻的和。圖 6 所示線路的總電阻爲：

$$R_{\text{總的}} = R_1 + R_2 + R_3。$$

電路各段上的電壓分佈與電阻成正比，電路的總電壓等於各段上電壓降的和。

$$U_{\text{總的}} = U_1 + U_2 + U_3 = IR_{\text{總的}} = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$IR_1 = U_1 ; IR_2 = U_2 ; IR_3 = U_3 ,$$

式中 U_1, U_2, U_3 ——電路各段上的電壓降。

電阻的串聯，一般用在當需要限制電路中的電流強度或用電設備的端電壓須低於電路電壓時。

電路計算方法舉例（圖 6）。假設 $U = 120$ 伏特； $R_1 = 10$ 歐姆；

$R_2 = 15$ 歐姆； $R_3 = 35$ 歐姆。電路的總電阻將為：

$$R_{\text{總的}} = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 15 + 35 = 60 \text{ 歐姆}$$

當電壓為 120 伏特時，電路中的電流強度等於：

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{總的}}} = \frac{120}{60} = 2 \text{ 安培。}$$

在電路各段上的電壓分佈將為：

$$U_1 = I_1 R_1 = 2 \times 10 = 20 \text{ 伏特；}$$

$$U_2 = I_1 R_2 = 2 \times 15 = 30 \text{ 伏特；}$$

$$U_3 = I_1 R_3 = 2 \times 35 = 70 \text{ 伏特。}$$

從計算中可知，串聯時電路中的電流強度是常數，而在各段上的電壓降則是按照電路各段的電阻大小分佈。

現在我們研究一下，當電路中再加上一串聯電阻 $R_4 = 60$ 歐姆時，電路中的電阻增大 1 倍，而電流即減小 1/2：

$$I_2 = \frac{U}{R_{\text{總的}}} = \frac{120}{120} = 1 \text{ 安培。}$$

在各段綫路上電壓降的分佈將變為：

$$U_1 = I_2 R_1 = 1 \times 10 = 10 \text{ 伏特；}$$

$$U_2 = I_2 R_2 = 1 \times 15 = 15 \text{ 伏特；}$$

$$U_3 = I_2 R_3 = 1 \times 35 = 35 \text{ 伏特；}$$

$$U_4 = I_2 R_4 = 1 \times 60 = 60 \text{ 伏特。}$$

總電阻的增加會減小電路中的電流強度和降低電路各段的電壓。

圖 7 所示是並聯電阻的例子。

因為電壓相同，故

$$I_1 = \frac{U}{R_1} ; I_2 = \frac{U}{R_2} ; I_3 = \frac{U}{R_3} \text{。}$$

總電流等於各支路電流的和

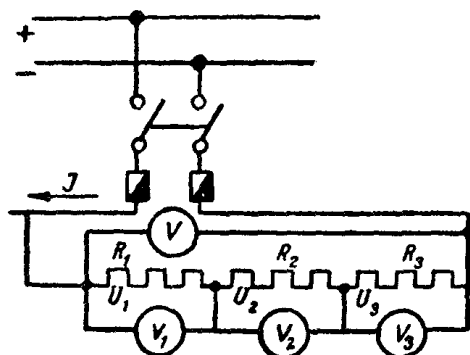


圖 6. 電阻串聯綫路圖

R_1, R_2, R_3 —電阻； V, V_1, V_2, V_3 —電壓表； U_1, U_2, U_3 —電路各段的電壓； I —電路中的電流強度。

$$I_{\text{總的}} = I_1 + I_2 + I_3 ;$$

將上述各等式的電流值代入，得

$$I_{\text{總的}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \circ$$

但是總電流等於 $I_{\text{總的}} = \frac{U}{R_{\text{總的}}}$ 。

代入上式，得

$$\frac{U}{R_{\text{總的}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} ;$$

消去 U ，則得

$$\frac{1}{R_{\text{總的}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \circ$$

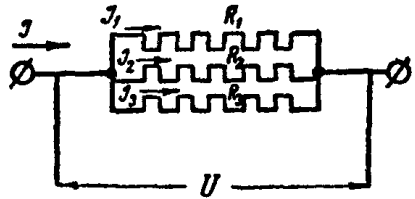


圖 7. 電阻的並聯電路圖

R_1, R_2, R_3 —電阻； U —各電阻的電壓；
 I —電路的總電流； I_1, I_2, I_3 —電路中各並聯支路的電流。

電阻並聯時，各電阻的端電壓相同；並聯電阻的總電導量（電阻的倒數）等於各電阻電導量的和。

根據上述公式可計算出總電阻值和各支路的電流強度值。電阻的並聯可用於改變電路中的電流強度，為此，可接上或斷開必要數量的電阻。

圖 7 計算舉例說明：

$U = 120$ 伏特； $R_1 = 10$ 歐姆； $R_2 = 15$ 歐姆； $R_3 = 35$ 歐姆。

電路的總電阻等於：

$$\frac{1}{R_{\text{總的}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} ; \quad \frac{1}{R_{\text{總的}}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{35} ;$$

$$\frac{1}{R_{\text{總的}}} = \frac{21 + 14 + 6}{210} ; \quad R_{\text{總的}} = 5.12 \text{ 歐姆。}$$

總電流等於：

$$I = \frac{U}{R_{\text{總的}}} = \frac{120}{5.12} = 23.43 \text{ 安培。}$$

因為各電阻上的電壓相同，所以各並聯支路的電流可按下列公式計算：

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{120}{10} = 12 \text{ 安培}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{120}{15} = 8 \text{ 安培};$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{120}{35} = 3.43 \text{ 安培};$$

$$I_{\text{總的}} = 12 + 8 + 3.43 = 23.43 \text{ 安培}。$$

因此，當並聯時可以不降低電阻上的電壓，只用接通必要數量的電阻的方法，即可調節電路中的電流強度。

在電力網中，大部分用電設備都是並聯的，因為這樣可以保持電路中的電壓不變，同時當接通其他用電設備時，並可保持電力網的功率不變，關於這一點下面將要講到。

電阻混聯時，要根據上述公式按電路各段分別加以計算。

先計算出電路總的當量電阻和電路中的總電流，然後再按照各支路詳細計算。

電流的熱效應，楞次-焦耳定律

電流通過導體時，導體發熱，於是該導體將熱傳給周圍的介質。導體發熱是由於消耗了一部分電能而變成熱能。

電熱板接通時，可以看到雖然電阻絲已燒至白熱程度，但是電熱板的聯接導線仍處在常溫狀態。由此可知，電能的放出不僅與例中所舉的電路各段保持一樣的電流強度有關，同時還與電路各段的電阻有關。在此例中電阻絲的電阻要比導線的電阻大得多。

當電流沿導體流過時，所發出的熱量可根據俄國學者楞次和英國物理學家焦耳所發明的定律來測定。

電流沿導體流過時，所發出的熱能與電流強度的平方、導體的電阻和電流流過的時間成正比。

$$Q = k I^2 R t \quad (\text{單位以小卡計}),$$

式中 $k=0.24$ ——表示沿電阻為 1 歐姆的導體通過 1 安培的電流在 1 秒鐘內所發出熱量的常數係數； t ——表示時間，以秒計。

電熱器、白熾燈泡、保險絲等的工作，都是根據電流熱效應的原理。

電流的功和功率

電流在通過各種電器裝置時便作出了功：帶動機床運轉和熔煉金屬等等，此時所消耗的電能可用功來說明。功等於電壓、電流和電流通過的時間的乘積。功的單位為焦耳，等於1伏特的電壓、1安培的電流在1秒鐘內所作的功。

$$A = IUt,$$

式中 A ——功(焦耳)；
 I ——電流強度(安培)；
 U ——電壓(伏特)；
 t ——時間(秒)。

功率就是單位時間內所作的功，等於電流和電壓的乘積，單位以瓦特計。

$$P = UI,$$

式中 P ——功率(瓦特)；
 U ——電壓(伏特)；
 I ——電流強度(安培)。

因為 $U = IR$ ，所以

$$P = I^2 R.$$

比較大的功率單位是仟瓦(KBT)，等於1000瓦特。

例1. 電源電壓 $U = 220$ 伏特，串聯兩個電阻： $R_1 = 40$ 歐姆；
 $R_2 = 70$ 歐姆。

電路中的電流將為 $I = \frac{220}{110} = 2$ 安培。兩個電阻的功率將為：

$$P_1 = I^2 R_1 = 2^2 \times 40 = 160 \text{ 瓦特};$$

$$P_2 = I^2 R_2 = 2^2 \times 70 = 280 \text{ 瓦特}.$$

例2. 將例1中的電阻並聯。在這種情況下，電阻中的電流不同，根據歐姆定律等於：

$$I_1 = \frac{220}{40} = 5.5 \text{ 安培}; \quad I_2 = \frac{220}{70} = 3.14 \text{ 安培}.$$

功率等於：

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 5.5^2 \times 40 = 1210 \text{ 瓦特};$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = 3.14^2 \times 70 = 700 \text{ 瓦特}.$$

串聯時電阻越大，此段電路中的功率也越大。並聯時，各支路消耗的功率和支路的數目無關。總功率等於各支路功率的和。

電 容 器 的 能

在電容器中所蓄的能量（以焦耳表示）可按公式 $\frac{CU^2}{2}$ 求得，式中 C —— 電容器的電容量（法拉）； U —— 電容器的充電電壓（伏特）。電壓增加至兩倍，則電容器的能可增加到四倍。

交 流 電

在工業中，除了直流電外，還應用交流電，交流電的特點是電流值和電流方向是交變的。交流電電壓的變化每經過一定時間間隔作一次完全循環，其變化有一定規律，所得出的曲綫叫作正弦曲綫。這種電流是由交流發電機發出的。

交流電電壓每次經過正值或負值所需的時間叫作週期。週期以大寫字母 T 表示。

每秒鐘內的週期數叫做交流電的頻率。蘇聯採用的交流電標準頻率為 50 週/秒。

交流電一般是由三相發電機發出的。三相發電機的圖示方法如下：圖 8 所示是三個聯在一起的單相發電機，這三個單相發電機的電壓相同，頻率也相同，只有端電壓不是同時達到最大值，而要經過一定的時間間隔，於是就能得到四綫制的交流電源，這也就相當於星形聯接的三相發電機。

在每一對接綫柱間會有一定的電壓。從公共點（叫作零點或中立