

電気雷管に関する研究

(昭和23年9月30日受理)

岡崎 一 正*

(第I報)

綿薬を点火薬とする白熱 電気雷管の安全度に就て

I. 緒 言

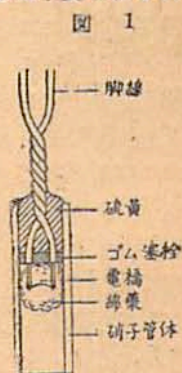
電気雷管に関して、種々の実験並びに理論的研究が Dortmund-Derne 試験坑道に於ける研究室で K. Drekopf 氏により行はれてゐる。其の研究の対象は獨逸で一般に使用せられてゐる点火玉式の電気雷管を主としてゐるが、此の研究の結果を参考にして先づ我國に於ける繊維状の綿薬を点火薬とする白熱電気雷管の諸性能に就て、基礎的に検討する目的で実験を始めた。

白熱電気雷管の迷走電流等に對する安全度を吟味するには其の耐え得る最大の電流を測ることが至当であると考へられる。以下此の電流を最大不点火電流と呼ぶことにする。著者は電橋の種類を異にする数種の模擬試料に就き直流を連續して通じた場合の最大不点火電流を測定した。

II. 試料及び実験方法

此の実験では雷管の部分は不要であるので

図1の如き点火部のみの模擬試料を作製した。外部から点火の状況を直ちに觀察出来る様に管体を硝子管体にした。電橋の材料としては数種類の金属線を選んだ。此等の線及び使用した脚線の直径、電気抵抗等の測定値を一括して表1に示す。



点火薬たる綿薬は煮沸後更にアルコールにて精製したもので、窒素量 13.08%、油浴法による發火点 186°C である。

電橋と脚線との接着には特に注意し、ハンダによる電橋の電気抵抗及び電流を通じた場合の熱損失に對する影響を出来るだけ避けるために圖2の下に示す如く脚線端を壓扁切開し、切開部に電橋を挿入壓着して外側からハンダ付にした。

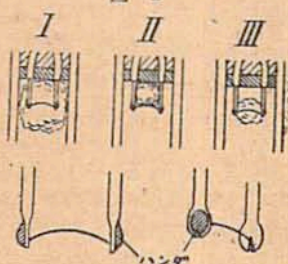
表 1

種 類	直 径 (mm)	電気抵抗 (Ω /mm)	比抵抗 $\times 10^6$ (Ω -cm)	測定温度 ($^{\circ}$ C)	試料の記号
白金-イリヂウム線 (P90, I10%)	0.030	0.341	24.1	12.0	No. 1
＃	0.050	0.128	25.1	12.5	No. 2
白金線	0.025	0.216	10.6	12.7	No. 3
＃	0.030	0.148	10.5	10.8	No. 4
マンガン線	0.060	0.164	46.4	12.8	No. 5
ニクロム線	0.030	1.316	93.0	13.0	No. 6
(脚線一銅線 (綿糸、麻糸二重被覆線引))	0.55	$\frac{\Omega}{\text{cm}}$ 0.00072	1.71	13.3	

* 東京大学第一工学部火薬教室昭和23年5月16日講演

最大不点火電流の値は電橋の抵抗、従つて電橋の材質、直径及び長さに関係することは勿論、点火部に於ける綿薬の装填状態によつても左右されると考へられるので、綿薬の装填状態を圖2上に示す如く三種類に區分して実験を行った。

圖 2



同図のIは綿薬を電橋の周圍全体に比較的密に装した場合、

($d=1.5$)、IIは電橋と塞栓との間にだけ挿入した場合 ($d=1.0$)、IIIは極めて緩く装した場合 ($d=0.002 \sim 0.005$) を示す。此の各場合に就て更に電橋の長さを変へて電橋の長さとの関係を求めた。

実験方法は先づ圖3に示す回路に於て開閉器Sを閉ぢて試料Bに電流を流し可變

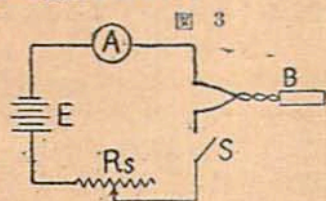


圖 3

抵抗 R_s を調節して電流の強さを次第に増して行き、終に試料が發火した時の電流の値を電流計Aで讀む。此の豫備實驗で得られた電流の値は其の試料に對する最小点火電流よりも若干大なるものと見做されるので、次に抵抗の略等しい同一種類の試料と取換へ之にそれより僅かに小さい電流が流れる様に調節する。此の調節の際には試料に綿薬を装さない。然る後に電橋の冷却するを待つて綿薬を装し上記の電流を通ずる。試料の不發火、發火に従ひ更に次の試料と取換へて電流の強さを $0.01A$ 宛増減して同様な操作を順次に繰返して行き最大不点火電流を求めた。電流の流通時間は1分間とした。

III. 實驗結果

試料 No. 1 に就ての電橋の長さ l と最大不点火電流 I_m との關係を圖4の曲線で示す。圖に於て曲線I、II、IIIは夫々圖2に於ける状態I、II、IIIに對應するものである。之により綿薬の装填を密にする程其の熱傳導率が大きくなり綿薬中へ失はれる熱量が多くなるこ

圖 4

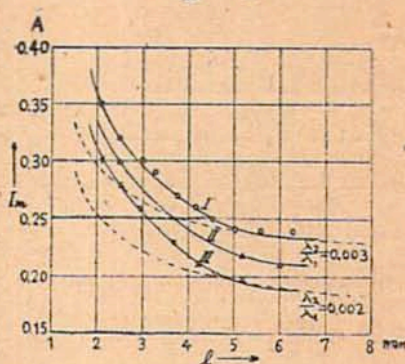
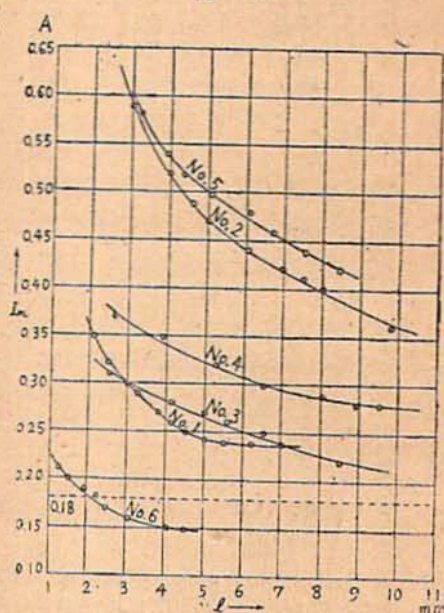


圖 5



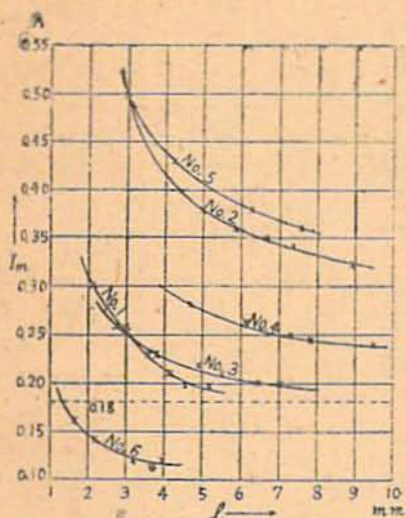
とが認められる。

他種電橋の場合にも之と略同様な關係が得られた。状態I及びIIIの場合に於ける各種類に對する $l-I_m$ 曲線を一括して圖5及び圖6に示す。

電流の $0.01A$ 宛の比較的微小な増減でも測定はさほど困難ではなく、電橋の長さの等しい同一種類の試料數發に於て、電橋の極端に短い場合(測定した範圍内では各種類に就き l の最小値附近)を除き、測定値に $0.02A$ 以上の差異は生じなかつた。此等各曲線は各々の最低値を連ねたものである。

圖4に於ける二本の点線の曲線は Dreko-

図 6



pf 氏の理論式¹⁾ $I_m = \sqrt{\frac{T\lambda_1}{r}} f\left(\frac{\pi R}{l}, \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)$ に

於て、T を油浴法による綿薬の發火温度から室温を減じた温度、 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ を夫々 0.003 及び 0.002 と假定して計算により求めた曲線である。但し上式中 r: 電橋の單位長についての電気抵抗、R: 電橋の半径、l: 電橋の長さ、 λ_1 : 電橋の熱傳導率、 λ_2 : 点火薬の熱傳導率である。此の理論曲線に對して實測曲線はかなりの偏差があるが、それは此の式を導出した根本假定から考へれば当然であらう。

最大不点火電流に關係する要素としては電橋の比抵抗、熱傳導率、直徑及び長さ、点火薬の發火温度及び熱傳導率等が考へられる。電橋の比抵抗は大体に於て其の熱傳導率に逆比例し、相互に關連して最大不点火電流に影響するので、比抵抗のみの關係を定量的に簡單に表はすことは出来ない。最大不点火電流は上記理論式で比抵抗のみに着目するならばその平方根に逆比例の關係にあるが、図 6 及び図 7 に於て曲線 No. 1、No. 4、No. 6 を比較すると略比抵抗の平方根乃至立方根に逆比例した關係が得られる。電橋直徑の影響の大なることは曲線 No. 1 と No. 2、No. 3 と No. 4 とを比較すれば明瞭である。No. 5 は比抵抗大なるに拘らず直徑が大きいのでその曲線は最上位である。電橋の長さによる變化は各曲線の示す如くであり電橋の短い程其の變化率が大きい。点火薬の熱傳導率は其の裝填状態に關

係し夫々曲線 I、II、III が得られたが、此の場合にも綿薬の熱傳導率を實測し得なかつたので定量的に關係を論ずることは出来ない。

電橋の種類及び長さが同一であり綿薬の裝填状態が同じであつても最大不点火電流の測定値に僅か乍ら差異の生ずることは、綿薬を電橋の周圍に常に粗密の度を一定に挿入することは至難であり、このことが大きな原因であらう。又綿薬の發火温度の均齊度も一因をなすと考へられるが、此の實驗に於ては綿薬の發火点に關する渡邊貞良氏の論文にある様な發火區域 I、II (發火區域 I は 177~187°C、II は 130~150°C) の差異の生否は他の因子の影響が共存するので確認し得ない。然し若し綿薬の發火温度が此の兩域に互つてゐるとし、且つ前記理論式を適用するならば、綿薬の發火温度の差單獨にて最大不点火電流の測定値に 0.02A 以上の差異が現はれるであらうから、綿薬の發火温度は發火區域 I 内の微小變化に止つてゐるものと思はれる。

IV 總括

直流を連続して通じた場合の最大不点火電流に對する電橋の比抵抗、直徑の影響の大なることは自明の事柄であるが、綿薬の裝填状態即ち電橋と綿薬との接觸状態の影響もかなり著しいことが分つた。電橋の長さによる影響は電橋の短い場合に顯著なことが認められた。獨逸の規定によれば迷走電流に對する安全限界を 0.18A と定めてある²⁾が、現在我國で採用されてゐるものと同種類の電橋を有する試料 No. 1 は状態 III の場合に於ても此の限界を超えた安全區域にある。獨り No. 6 の示す曲線のみ此の限界以下の區域に入つてゐるが、電橋を 1mm 程度に短くすれば安全區域に入り得る。然し此の程度に短くすると長さの僅かの變化で最大不点火電流の變動が大なることに注意を要する。

(第 2 報) 蓄電器の放電電流による 点火力積の測定

I. 緒言

点火力積 $K = \int_0^t I^2 dt$ の大小は瞬間電流による点火の難易、即ち電気雷管の感度を示すものとされてゐる。電橋中央部に於ける熱損失を無視すれば

$$\int_0^t I^2 dt = J \frac{T_0 c \gamma s^2}{\rho} \quad (1)$$

なる関係が導かれる。こゝに I : 電流、 t : 点火時間、 J : 仕事の熱当量、 T : 点火薬の發火温度、 c, γ, s, ρ は夫々電橋の比熱、比重、斷面積、比抵抗である。然し實際は此の短時間内にも電橋中央部に於て点火薬への熱傳導による熱損失があり、且つ T は t によりその値を變ずるので

$$K = \alpha \cdot J \cdot \frac{T_0 c \gamma s^2}{\rho} \quad (2)$$

にて 1 より大なる係數 α が常に存在する。但し T_0 は点火薬の最低發火温度とする。故に α が確定すれば (2) 式により K を算出することが出来るが、 α は普遍的恒數とはなり得ない。然し機構の同様な電氣雷管に就ては其の大略の値が実測値から求められ、点火玉式電氣雷管では $\alpha \approx 1.5$ なる値が得られてゐる。

實際に K の値を求めるには点火時間 t を知る必要があるが、 $C-R$ 直流回路に於て点火時間内に蓄電器の放電が略完了するものと見做せば

$$K = \frac{CE_0^2}{2R} \quad (3)$$

から C, E_0, R の値により K を求めることが出来る。但し C は蓄電器の容量、 E_0 は充電電圧、 R は回路の全抵抗 (電橋の抵抗をも含む) である。

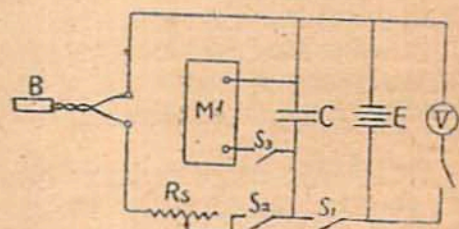
著者は前報に於けると全く同様な試料に就き $C-R$ 直流回路に於て K を測定し各々の感度を比較すると共に此等に就ての α の値を求めた。尙前報に於ける最大不点火電流の大小は連続電流による点火の難易を示すもので

あり、之は電橋の長さに関係したが、点火力積は (2) 式によれば電橋の長さに関係ない。但し電橋の極端に短い場合にはハンダ及び脚線への熱傳導による電橋中央部の熱損失が考へられるので (2) 式は成立しない。此の限界は電橋の長さ約 1mm とされてゐるので此の限界以上の長さに於て K の値が電橋の長さに関係ないや否やをも確かめた。

II) 實驗方法

図7の放電回路に試料 B を挿入し、閉閉器 S_2 及び S_3 を閉じて此の回路の全抵抗を抵抗測定器 M で測定し、可變抵抗 R_s を調節して全抵抗 R を所望の大きさにする。次に S_2, S_3 を開き S_1 を閉じて蓄電器 C を充電し、 S_1 を開くと同時に S_2 を閉じて B に蓄電器

図 7



の放電電流を流す。此の様に同一全抵抗に於て5發宛試験し、1發以上發火し始める抵抗と5發全部發火するに至る抵抗とを求め前者に對する点火力積を此種試料の点火力積の最小値、後者に對するものをその最大値とした。

III. 實驗結果

各種試料に就ての測定値及び計算値を纏めて表2に示す。

表 2

$E_0 = 160V$; $C = 10\mu F$; 室温 = $16^\circ C$

種類	全抵抗 (Ω)		点火力積 (mWs/ Ω)			$K' = J \cdot \frac{T_0 c \gamma s^2}{\rho}$ (mWs/ Ω)	$\alpha = \frac{K}{K'}$	
	最大値 R_1	最小値 R_2	最小値 K_1	最大値 K_2	平均値 K			
No. 1	(I)	24	20	5.33	6.40	5.87	1.03	5.70
	(II)	28	23	4.57	5.57	5.07		4.92
	(III)	32	27	4.00	4.75	4.37		4.24
No. 2	(II)	4.5	4.0	28.5	32.0	30.25	7.32	4.13
No. 3	(II)	35	30	3.66	4.27	3.97	1.10	3.60
No. 4	(II)	20	15	6.41	8.55	7.48	2.31	3.24
No. 5	(II)	2.8	2.0	45.7	64.0	54.85	10.13	5.41
No. 6	(II)	65	55	1.97	2.33	2.15	0.42	5.11

表中 K' は T_0 に綿薬の發火温度から室温を減じた温度、即ち $186 - 16 = 170^\circ\text{C}$ をとり、 S 及び p は實測値により、 C 及び γ は恒數表⁶⁾ により計算した値である。此の場合に於ても点火の難易に對して綿薬の裝填状態による影響が最大不点火電流の場合と同様な關係で現はれてゐる。No. 1 に就ては状態 I, II, III 全般に亘り、No. 2 以下は状態 II に於てのみ測定した。得られた α の値は異種試料間に於ても若干の相異はあるが、之は前述の如く K' を算出するにあたり恒數表の數値を用ひたために電橋材料の純度が問題であり、其の試料に對する K' の正確な値を示し得ないことに一因があると思はれる。

電橋の長さを順次に異なる試料に就き実験した結果、点火の難易に對する電橋の長さの影響は認められなかつた。No. 1、状態 II に就き至抵抗 20Ω に於て前と同じ條件下に実験した結果を示せば表 3 の如くで、点火、不点火は電橋の長さに関係の如くである。No. 2 以下に就ても之と同様な結果が得られた。

点火力積が電橋の長さに関係なりとすれば、同一種類の試料に就て点火力積の値に差異を生ずるのは電橋の直徑、比抵抗等の不同による他に電橋と綿薬との接觸状態も大きな原因であらう。

表 3

l (電橋の長さ) (mm)	結果	l (mm)	結果	l (mm)	結果
1.8	×	3.4	×	4.2	×
2.1	×	3.4	○	4.3	○
2.4	×	3.5	×	4.4	○
2.4	○	3.5	○	4.5	×
2.6	○	3.6	×	4.6	×

2.7	○	3.7	○	5.0	○
2.8	×	3.9	×	5.2	×
3.2	×	4.0	○	5.9	×
3.3	○	4.1	×	6.1	○
3.3	×	4.1	×	6.3	×

註：○……点火、×……不点火

IV. 總 括

各種試料に就て得られた α の値が各々多少異るとは云へ桁はづれの數値はなく、此の結果より点火力積の略値を知るには (2) 式を用ひて差支ないものと認められる。但し纖維狀綿薬を点火薬とする場合には綿薬の裝填状態が点火の難易に影響することに注意を要する。電橋の長さは或限界以上の長さに於ては点火感度に関係しないと見做されるが、(2) 式からも明かな如く電橋の太さの影響は著大である。従つて瞬間的電流で直列連結にして齊發を行ふ場合に点火精度を良好にするには電橋に直徑、比抵抗の揃つた材料を用ひること、綿薬の電橋に接する部分の状態を出来るだけ一定にすることが重要である。纖維狀綿薬で最後の條件を嚴密に満足させることはなかなか困難な問題であると思はれる。

文 献

- 1) K. Drekopf : Z. S. S., 26, 300 (1931)
- 2) 渡邊貞良 : 工化, 45, 664 (1943)
- 3) Beyling-Drekopf : Sprengstoffe und Zündmittel, 204 (1935)
- 4) 同上, 187.
- 5) 同上, 196; K. Drekopf : Z. S. S., 29, 73 (1934)
- 6) Landolt-Börnstein : Physikalische-Chemische Tabellen; Hodgman : Handbook of Chemistry and Physics; 日本學術振興會編 : 金属材料, 4; 其他.

化合火薬類の發火點と發火機構 (II)

(昭和 23 年 3 月 20 日受理)

定 田 強*

III 第二法による火薬發火實驗
(1) 實驗装置及び方法

* 東京大學第一工學部火薬學教室、昭和 23 年 5 月 16 日講演