砲架之理論及設計

呂則仁 編

兵工學校印刷所印製

砲架之理論及設計

第一章　緒　論

各種砲架之構造已於構造通論內述其大概，因其設計目的之不同，式樣甚多，茲綜括述之如下：

砲架之任務為規定砲身射擊時之位置及承受射擊時之後座能，砲身之位置可分析為仰角及方向角，故必需具有高低及方向照準機，為承受後座能乃裝有駐退復進機。砲身，駐退復進機，高低及方向照準機等無論係永久裝於一處，或隨時可以移動，必需裝於另一架或座子上，如機器下部之機身。各種砲架之構造不過為此數種機構之互相排列，使適應各種特殊用途，他如瞄準具，平衡機，防盾，軸鞍等等皆為附屬設備，視實際之需要，予以適當之設計。

一般砲架之排列為駐退機——高低照準機——方向照準機——下砲架，（其他構造，可視為例外，如方向射界甚小之單腿砲架，方向機在高低機之上，實際上已漸淘汰。）瞄準具及平衡機多裝於高低照準機上，防盾裝於方向照準機上。

砲架之設計一如普通機器之設計，惟其條件往往十分嚴格，因而更覺困難。近來戰事大量使用火砲，故消耗量極大，欲求補充較易，必需能大量製造。而砲身及砲架之設計即大有變動，尤以野戰砲為甚。砲架另件儘量利用普通工業標準品，如鋼管，鋼板及各種型鐵，電銲術之進步更促進此趨勢，曾見德國之10,5 cm 榴彈砲，大架之轉盤座及軸鞍，裝置之曲臂皆為大鋼管銲成，各處之軸承皆厚鐵板彎成，極為簡易。砲身單層，無螺絲，全部為車工工作，平衡機只有一個，一反普通舊有習用之原則。重量為1,8 t，較一般同口徑砲重，故砲架之設計當隨時代而改進，不能墨守成規。惟已往之經驗數字，必需重視，非有確實理由，不可加以重大之更改，“[illegible]少設計”為一般之原則，不可違背。

使用時之環境，設計時當先假定。氣候，及地面情況，對設計之影響甚大，例

如野戰砲之車輪，沙漠，沼澤地帶之設計不宜於山地之使用。曾在特殊環境中使用之舊火砲為最好之參考材料，軍事人員之要求尤當尊重，設計必需適應環境方能發揮最大效能。

製造技術設計時必需顧及，以本國在戰時不致發生困難為原則。我國工業落後，製造技術尤為幼稚，戰後各方面將急起直追，迎頭趕上。惟特殊困難之技術有非短時間所能學成者，設計時當避免使用。原料問題尤關重要，缺乏合金鋼之國家，宜多用普通碳素鋼，即火砲性能因而稍差，亦所不惜。火砲之製造在平時僅能在少數廠家，戰時方動員全國工業，傾力以赴，故以少用特殊工作機或工作方法為佳，且宜儘量利用民間通用之工作方法，否則平時之優良設計，戰時即不合用。

堅固，確實方能耐戰場上粗暴之使用，各大小另件之尺寸，必需參考原有他種優良設計慎重決定，不可死信力學計算結果，以致尺寸過弱。計算結果僅示吾人以最小尺寸，並不能担保使用，或運輸時之意外大力。惟此種意外力量自有一般限制，實用上大至如何程度，難以確實表示，以研究原有優良設計，比較決定為妥。

砲架因火砲之多方使用，常有新設計出現，戰時因敵方之武器而發生新的要求，尤多改變，吾人僅能就一般原理加以研究。計算方法除駐退復進機而外，大部份皆為普通力學，無異於機械設計。野戰砲架，條件最苛，安定性問題亦有連帶關係，當特加敘述。

砲架設計之計算方法，實只能認為估計，且第一次之設計各種重量及重心位置皆為估算之結果，故不必在公式上太加考究。決定某一重要尺寸，必需顧及全砲架之利益，不可單為某一部份打算。往往某部份有利之結構害及全體，困難層出不窮。各部份之佈置，甚為重要，有關成敗。小部分之錯誤在所難免，且易改良，整個之錯誤無法補救。故平時研究各種砲架之結構佈置，實為設計之基礎。

設計，試造，試驗，失敗，為成功必然之步驟。一份圖樣往往要經多次試造更改方能認為妥當，各方參考愈多，考慮愈週到，次數得以減少，若閉門造車必敗無疑。

第二章 射擊時作用於砲架之外力

I. 作用於後退體之外力

射擊時砲身及一部份駐退復進機另件，受膛內壓力向後運動，總名之曰後退體，其所受之外力如下：

第一圖

1. P 作用於膛內砲閂前面之總壓力，此力於砲彈出砲口後即漸消滅。
2. G_r 爲作用於後退體重心之後退體全重。

   d 爲後退體重心至砲身軸之距離。
3. B 爲駐退復進機作用於後退體之阻力。

   c 爲此阻力與後退體重心之距離。
4. N_1，N_2 爲後退體導面作用之垂直壓力。
5. $\mu \cdot N_1 = R_1$；$\mu \cdot N_2 = R_2$ 爲後退磨擦力。

   μ 爲磨擦係數。

式 $\frac{G_r}{g}\cdot\frac{dv}{dt}$ 為與上述力平衡之後退體慣性力 (Trägheitskraft)。

v 為後退速度。

N_1 及 N_2 可由下列條件計算之：

垂直於運動方向之分力和為 0

$$N_2 - G_r \cdot \cos\Sigma - N_1 = 0 \qquad (1)$$

對重心之力矩和為 0

$$P\cdot d + B\cdot c + \mu\cdot N_2\cdot\gamma_2 - \mu\cdot N_1\cdot\gamma_1 - N_2\cdot Z - N_1\, y = 0 \qquad (2)$$

由此二式可得

$$N_1 = \frac{B\cdot c + P\cdot d - G_r \cos\Sigma\,(Z - \mu\cdot\gamma_2)}{a - \mu\,(\gamma_2 - \gamma_1)} \qquad (3)$$

$$N_2 = \frac{B\cdot c + P\cdot d + G_r \cos\Sigma\,(y + \mu\cdot\gamma_1)}{a - \mu\,(\gamma_2 - \gamma_1)} \qquad (4)$$

總摩擦力 R

$$R = \mu\,(N_1 + N_2) = \mu\cdot\frac{Z(B\cdot c + P\cdot d) + G_r \cos\Sigma\,[y - Z + \mu(\gamma_1 + \gamma_2)]}{a - \mu\,(\gamma_2 - \gamma_1)} \qquad (5)$$

在第一圖中：SS 為後退體重心之運動直線。

若 N_1 在 SS 下方，γ_1 之值為負。

若 M_2 在 SS 上方，γ_2 之值為負。

若重心位置在 N_1 前方，y 之值為負。

若重心位置在 N_2 後方，Z 之值為負。

若重心位置在砲身軸之上方，d 之值為負。

若 B 之作用線在 SS 上方，c 之值為負。

第 二 圖

第二圖爲常見之設計，……

第二圖中之後導內常分爲兩件：中導與後導，則當後導脫離開搖架導面時之值突然減小，N_2 之作用點跳至中導鉤上。

II. 作用於全砲架之外力

設想砲架如第三圖所示：後端 c 與地面連接，僅可轉動；前端則置於地面上。

第三圖

c 點之作用力可分爲水平力 T 及垂直力 N_c。前端則僅壓力 N_d。

G_a 爲砲架全重（砲全重減後退體重）。

S_a 爲砲架重心。

S_r 爲後退體重心。

平衡條件如下：

1. $T = B\cos\Sigma + \mu\cdot(N_1+N_2)\cos\Sigma + (N_1-N_2)\sin\Sigma$ (6)

2. $N_d + N_c = G_a + B\sin\Sigma + (N_2-N_1)\cos\Sigma + \mu(N_1+N_2)\sin\Sigma$ (7)

3. $N_d\cdot n + B\cdot e + N_1\cdot n_1 - N_2 n_2 + \mu\cdot N_1\cdot\xi_1 + \mu\cdot N_2\cdot\xi_2 - G_a\cdot s_a$

將 (1) (2) (5) 式代入，解之得：

$$T = (B+R)\cos\Sigma - G_r\sin\Sigma\cos\Sigma$$

$N_d + N_c = G - (B+R)\sin\Sigma + G_r \cos^2\Sigma$，[illegible](10)式

$$N_d = \frac{G \cdot s - P \cdot d - (B+R-G_r \cdot \sin\Sigma) \cdot h}{n} \qquad (11)$$

$G = G_r + G_l$ 爲砲全重，

s 爲全砲重心至 C 之水平距離。

T 之值 $\Sigma = 0$ 之時爲最大。

N_d 之值爲正，若：

$$G\,s > P\,d + (B+R-G_r\sin\Sigma)\,h \qquad (12)$$

或 $$G_s\,s_s\,P\,d + (B+R-G_r\sin\Sigma)\,h - G_r\,s_r \qquad (13)$$

此時 N_d 爲壓力，砲架不能離開地面，故此條件稱爲安定性。

若 N_d 之值爲負則前端亦需固連於地面，以免向後翻轉或向上跳起。

N_d 之值當 Σ 最大時爲最大，此時 h 最小或爲負值。

第四圖　　　　　　　　　　第五圖

由 (10) 及 (11)

$$N_c = G\left(1 - \frac{s}{n}\right) - G_r\left(\sin^2\Sigma + \sin\Sigma \cdot \frac{h}{n}\right) + (B+R)\left(\sin\Sigma + \frac{h}{n}\right) + P\frac{d}{n}$$

由第六圖

代入得

$$\left.\begin{aligned} N_c = G\left(1-\frac{s}{n}\right) + G_r\left[\sin^2\Sigma\cdot\frac{n-s_r}{n} + \frac{\eta_r}{n}\cdot\sin\Sigma\cdot\cos\Sigma\right] \\ + (B+R)\left[\sin\Sigma\cdot\frac{n-s_r}{n} + \frac{\eta}{n}\cdot\cos\Sigma\right] + P\cdot\frac{d}{n} \end{aligned}\right\} \quad (14)$$

野戰砲架 $\frac{n-s_r}{n}$ 一般之値甚小，含此値之項可以略去，若再略去 $\frac{\eta}{n}\sin\Sigma\cdot\cos\Sigma$ 之項則

$$\therefore N_c = G\left(1-\frac{s}{n}\right) + P\cdot\frac{d}{n} + (B+R)\frac{\eta}{n}\cos\Sigma \qquad (15)$$

$\Sigma=0$ 時其値爲最大，此時 $\eta=h$

野戰砲架一般之安定性値在 $\Sigma=0$ 時甚近於 0

由 (12)

$$Pd + (B+R)\,h - G\,s = 0$$

故 N_c 之最大値近於

$$N_{c\max} = G \qquad (16)$$

(21) 第三章 駐退力及後退長之計算

一、加速期之後退速度及後退距離

後退體之運動可分加速期及減速期。加速期中砲管內之壓力使後退體加速向後運動。減速期中，砲管內之壓力已消滅，後退體僅受駐退力之作用而減速。(詳第五章)

若加速期中若有駐退力作用，則最大後退速度較小。茲分述如下：

1. 加速期中無駐退力作用

V_o 砲彈出砲口時後退體之速度 m/s

v_o 砲彈初速 m/s

L 發射藥重量 kg

G_g 砲彈重量 kg

G_r 後退體重 kg

$$V_o=\frac{v_o\,(G_g+0{,}5\,L)}{G_r} \tag{17}$$

砲彈出口後，砲口壓力尚未消滅，仍作用于後退體上，後退速度繼續增加至 V_{max}。此項作用簡稱為後效。

後效作用理論上極為複雜，發表者甚多，實際上僅能用實驗公式估算之。

$$V_{max}=\frac{v_o\,(G_g+\beta\,L)}{G_r}=\frac{v_o\,G_g}{G_r}\left(1+\beta\,\frac{L}{G_g}\right) \tag{18}$$

此式與 (17) 形式全同，β 為實驗係數，其值為 1.6~3. 中等初速之火砲可用 2,5。

據近年 Füsgen 發表 Rheinmetall 廠試驗結果，

$$V_{max}=\frac{v_o\,G_g}{G_r}\sqrt{1+\frac{v_o}{k}} \tag{19}$$

$k = 750 \sim 950\ m/s$ 平均可用 $850\ m/s$。

(19) 及 (18) 數值變化範圍為小，惟此種實驗式其實驗常數之選擇，必須根據經驗方能確實。[illegible]較為妥當，設計時為確當計 V_{max} 之值宜選稍大者。

以下用及內彈道數字，若無精確計算或實驗，則可用 Luduc-Bollé 法計算之（與原 Luduc 法稍有不同）。

v_0 為初速 m/s

p_{max} 為最大膛壓 kg/cm²　　p 為膛內壓力

x 為膛內行程 m　　x_{max} 為最大膛壓之行程

q 為膛內斷面積 cm²　　t 為行至 x 之時間 sec

G_g 為彈重 kg　　$m = \frac{G}{9,81}$

$$v = \frac{a\,x}{b+x} \tag{20}$$

$$p_{max} = \frac{4}{27} \cdot \frac{m}{q} \cdot \frac{a^2}{b} \tag{21}$$

$$p = \frac{m}{q} \cdot a^2 b \cdot \frac{x}{(b+x)^3} \tag{22}$$

$$t = \frac{b}{a}\left[3,1742 + \frac{x}{b} + \frac{\log\left(\frac{x}{b}\right)}{0,4343}\right] \tag{23}$$

已知 q，G_g，v_0，p_{max} 及最大行程 s 則由 (20)(21) 可求出 a 及 b。砲口壓力 P_e 及膛內時間 t_e 可用 (22) 及 (23) 將 a，b 及 s 代入算出。

S_e　氣體後效完畢時後退體之後退距離

S_o　砲彈出砲口時後退體之後退距離

S_Δ　自砲彈出砲口至後效完畢之後退距離

s　為砲彈在膛內之總行程

$$S_e = \frac{s \cdot (G_r + 0.5L)}{G_r + G_L} \qquad (24)$$

……之假設……彈出口後其消滅情形如下：

$$p = p_e\left(1 - \frac{t}{t_\Delta}\right)$$

p_e 為砲口壓力

t_Δ 為自砲彈出口後至彈效完畢之時間

第六圖

(t_Δ)之求法如下：

d 為砲膛直徑

(22)
P_e 為砲口總壓力 $= p_e \frac{\pi d^2}{4}$

$$(23) \qquad \frac{G_r}{g}\,\frac{dv}{dt} = P\,\frac{\pi d^2}{4} = p_e\left(1 - \frac{t}{t_\Delta}\right)\frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{\pi d^2}{4}\, p_e \int_{t=0}^{t=t_\Delta}\left(1 - \frac{t}{t_\Delta}\right) dt = \frac{G_r}{g}\int_{V=V_e}^{V=V_{max}} dv$$

$$t_\Delta = \frac{2}{p_e} \cdot \frac{G_r}{g}\left(V_{max} - V_e\right)$$

$$= 2\frac{L}{g} \cdot \frac{v_e(\beta - \ldots)}{p_e} \qquad (25)$$

S_Δ之求法如下：

$$\frac{G_r}{g}\cdot dv = P_o\left(1-\frac{t}{t_\Delta}\right)dt$$

$$V=\frac{P_o\cdot g}{G_r}\left(t-\frac{t^2}{2t_\Delta}\right)+C_1$$

因 t＝o 時 $V=V_o$ 故 $C_1=V_o$

$$\frac{dx}{dt}=V=\frac{P_o}{G_r}g\left(t-\frac{t^2}{2t_\Delta}\right)+V_o$$

$$x=\frac{P_o}{G_r}\cdot g\left(\frac{t^2}{2}-\frac{t^3}{6t_\Delta}\right)+V_o t+C_2$$

因 t＝o 時 x＝o 故 $C_2=o$

$t=t_\Delta$ 時 $x=S_\Delta$

$$S_\Delta=\frac{P_o}{G_r}\cdot g\cdot\frac{t_\Delta^2}{3}+V_o t_\Delta \tag{26}$$

$$S_e=S_o+S_\Delta=\frac{s(G_g+0.5L)}{G_r+G_g+L}+V_o t_\Delta+\frac{P_o}{G_r}g\frac{t_\Delta^2}{3} \tag{27}$$

2. 加速期中已有駐退力 K 之作用

V_o' 砲彈出砲口時之後退體速度

V_e' 後效完畢時之後退體速度

S_o' 砲彈出砲口時之後退距離

S_e' 砲膛內壓力作用期中之後退總距離

t_o 為砲彈在膛內行進之時間

$$V_o'=V_o-\frac{K}{\frac{G_r}{g}}\cdot t_o \tag{28}$$

設砲彈出口後氣體後效作用於砲身之平均力為$\frac{P_o}{2}$則

$$V_e' = V_e + \frac{P_o}{\frac{2G_r}{g}} \cdot t_\Delta - \frac{K}{\frac{G_r}{g}} t_\Delta$$

$$= V_o + \frac{P_o}{\frac{2G_r}{g}} \cdot t_\Delta - \frac{K}{\frac{G_r}{g}} (t_\Delta + t_o) \tag{29}$$

$$S_e = S_o - \frac{1}{2} \cdot \frac{K}{\frac{G_r}{g}} \cdot t_o^2 = s \cdot \frac{G_g + 0.5L}{(G_r + G_g + L)} - \frac{K}{\frac{2G_r}{g}} t_o^2 \tag{30}$$

$$S_e' = S_e - \frac{K}{\frac{2G_r}{g}} (t_o + t_\Delta)^2 \tag{31}$$

或

$$= -\frac{s(G_g + 0,5L)}{G_r + G_g + L} + V_o t_\Delta + \frac{P_o}{\frac{G_r}{g}} \cdot \frac{t_\Delta^2}{3} - \frac{K}{\frac{2G_r}{g}} (t_o + t_\Delta)^2 \tag{32}$$

上述計算方法，因砲彈出砲口後之後效作用不甚明瞭，故結果不甚可靠，僅可視爲估計，試造時應以實驗求得 $p=f(t)$ 曲線，推算出確實數值，惟以砲口制退機之作用不易估計，一般約計之如下：

E_{op}　有砲口制退機之後退能

E_o　無砲口制退機之後退能

V_{maxm}　有砲口制退機之最大後退速度

V_{maxo}　無砲口制退機之最大後退速度

$$\eta = \frac{E_o - E_m}{E_o} = \frac{V^2_{maxo} - V^2_{maxm}}{V^2_{maxo}} \tag{33}$$

或

$$V_{maxm} = \frac{v_o(G_g + \beta L)}{G_r} \sqrt{1 - \eta}$$

例如某 76,2mm 口徑 L/50 高射砲

$G_g = 6,5$ kg，

$v_o = 750$ m/s

射擊試驗結果：

$E = 3770\ \text{kg m}$

$E_m = 2900\ \text{kg m}$

$$\eta = \frac{3770-2900}{3770} = \frac{870}{3770} = 23\%$$

此為該砲口制退機之效能，若用於相近之火砲可用此 η 之值代入(34)式求出。

II. 固定砲架之駐退力及後退長之計算

固定砲架多用於要塞砲海軍砲等，其下砲架係固定於地面或其他大基礎上，野戰高射砲及戰車砲等亦屬之。此類砲架之設計條件僅為強度，故駐退力以常數為最好，因地位之限制其後退長往往較小，約為口徑之 2～3 倍。

1. 加速期中無駐退力作用

$$E = \frac{G_r}{2g} \cdot V^2_{max} = \frac{v_o^2}{2} \frac{(G_g+\beta L)^2}{g\, G_r} \tag{35}$$

設 ξ 為後退長，則此後退能 E 須在 $\xi - S_m$ 之距離內用駐退力 B+R 消滅之，若砲身與水平線成 Σ 之仰角，則能量尚須增加 $G_r \cdot \sin\Sigma \cdot \xi$，故

$$E + G_r \cdot \xi \cdot \sin\Sigma = \int_{x=S_e}^{x=\xi} (B+R)\,dx \tag{36}$$

若 B+R 為常數，則

$$B+R = \frac{E + G_r \cdot \xi \cdot \sin\Sigma}{\xi - S_e} \tag{37}$$

2. 加速期中已有常數駐退力 B+R 作用

設 $K = B+R-G_r \cdot \sin\Sigma$ 為有效常數駐退力。

後退體之最大能量 $\frac{G_r}{g} \cdot \frac{V_e^2}{2}$ 須在 $\xi - S_e$ 之距離內消滅之

$$K(\xi - S_e) = \frac{G_r}{2g} \cdot V_e^2$$

將 (29)，(32) 及 (25)，(17) 式代入，且略去 G_r 中之 G_g+L 可得下列各式：

$$K=\frac{}{2\xi\cdot\frac{G_r}{g}-Z+2Y(t_e+t_\Delta)} \tag{38}$$

$$Y=v_e\frac{(G_g+\beta L)}{g} \tag{39}$$

$$Z=\frac{2G_g+L}{g}S+v_e\left[2G_g+L\frac{(1+4\beta)}{8}\right]\frac{t_\Delta}{g} \tag{40}$$

設：

$d=17$ cm

$v_e=900$ m/s

$G_r=11000$ kg

$G_g=54$ kg

$L=20$ kg

$\sigma=3200$ kg/cm²　726000 kg

$p_e=1350$ kg/cm²　$P_e=330000$ kg

$S=5$ m

$\xi=0,36$ m

$t_e=0,0151$ sec

$$t_\Delta=2\frac{L}{g}\cdot\frac{v_e(\beta-\frac{1}{2})}{P_e}=2\frac{20}{9,81}\cdot\frac{900\cdot 2}{330000}=0,0218 \text{ sec}$$

$$Y=\frac{v_e(G_g+\beta L)}{g}=\frac{900(54+2,5\cdot 20)}{9,81}=9360$$

$$Z=\frac{2\cdot 54+20}{9,81}\cdot 5+900\left[2\cdot 54+\frac{20(1+4\cdot 2,5)}{8}\right]\frac{0,0218}{9,81}=420$$

$$K=\frac{[illegible]\,9360^2\,[illegible]}{2\cdot 0{,}36\cdot\frac{11000}{9{,}81}-420+2\cdot 9360\cdot(0{,}0218+0{,}0151)}=\underline{82500\ \mathrm{kg}}$$

若加速期中無常數駐退力作用則

$$V_{max}=\frac{900(54+2{,}5\cdot 20)}{11000}=8{,}5\ \mathrm{m/s}$$

又 $V_e=\frac{900(54+0{,}5\cdot 20)}{11000}=5{,}23\ \mathrm{m/s}$

$$E=\frac{8{,}5^2\cdot 11000}{2\cdot 9{,}81}=39700\ \mathrm{m\,kg}$$

$$S_e=\frac{5\cdot(54+0{,}5\cdot 20)}{11074}+5{,}23\cdot 0{,}0218+\frac{330000}{11000}\cdot 9{,}81\cdot\frac{0{,}0218^2}{3}=0{,}19\ \mathrm{m}$$

$$K=\frac{39700}{0{,}36-0{,}19}=\underline{234000\ \mathrm{kg}}$$

由此例可見高初速短後退長之火砲加速期中加常數駐退力之利益甚大。

III. 野戰砲砲架之駐退力及後退長之計算

野戰砲砲架一般如下圖：

此時砲架於發射時係以 c 點之駐鋤阻止其運動，故車輪必需緊壓於地面，即

$$G_o\cdot S_o > P\cdot d + (B+R-G_r\cdot\sin\Sigma)\cdot h + G_r\cdot S_r$$

式中之 s_r 於後退期中向前移動，與後退距離 x 之關係如下：

$$S_r = S_{ro} - x\cdot\cos\Sigma$$

代入上式，並以 $K_x = B+R-G_r\cdot\sin\Sigma$ 及 $G_o\cdot S_o + G_r\cdot S_{ro} = G\cdot S_o$ 代入

$$G\cdot S_o > P\cdot d + K_x\cdot h + G_r\cdot\cos\Sigma\cdot x \tag{41}$$

式中 P·e 僅在最初期中作用，暫置勿論，且於減速期中

$$K_x \leq \frac{G\cdot S_o - G_r\cdot x\cdot\cos\Sigma}{h} \tag{42}$$

但此有效駐退力 K_x 必須在一定之距離內消滅後退能 E

$$\int_{x=S_s}^{x=\xi} K_x\cdot dx = E$$

由此可見高後退長之大砲，加速期中 ... S_s ...大。

若加速期中 ... 以 S_s 代之。爲預防意外設計時 E 之數值應稍爲增加，或以 $\left(1+\frac{n}{100}\right)E$ 代E，n 爲增加之百分數。

上式可變爲

$$\frac{1}{h}\int_{x=S_s}^{x=\xi}(G\cdot S_o - G_r\cdot x\cdot\cos\Sigma)\,dx = E\left(1+\frac{n}{100}\right) \tag{43}$$

欲求砲架於後退期中安定，此條件必須滿足。

將上式積分後，稍加變化得

$$\xi^2 - \frac{2G\cdot S_o\cdot\xi}{G_r\cdot\cos\Sigma} + 2\,\frac{\left(1+\frac{n}{100}\right)E\cdot h + G\cdot S_o\cdot S_s - G_r\cdot\frac{S_s^2}{2}\cdot\cos\Sigma}{G_r\cdot\cos\Sigma} = 0 \tag{44}$$

或
$$\xi=\frac{1}{G_r\cdot\cos\Sigma}\left[G\cdot S_e-\sqrt{(G\cdot S_e)^2-2G_r\cdot\cos\Sigma\left[\left(1+\frac{n}{100}\right)\left(E\cdot h+G\cdot S_e\cdot S_e-G_r\frac{S_e^2}{2}\cdot\cos\Sigma\right)\right]}\right]\qquad(45)$$

ξ 本可有二根，若 $\sqrt{Q}$ 前取正號則

$$K_x h=G\cdot S_e-G_r\cdot\xi\cdot\cos\Sigma=-\sqrt{Q}$$

而 K_x 為負值故無意義，算由 (44)

$$n=\frac{100}{E\cdot h}\left[G_r\cdot S_o(\xi-S_e)-\frac{G_r\cdot\cos\Sigma}{2}(\xi^2-S_e^2)\right]-100\qquad(46)$$

已完成之設計可用此式算出 n。

若加速期中已有駐退力作用則 (45) (46) 之 E 及 S_e 當以 E' 及 S_e' 代之。

因砲之安定性隨射角 Σ 之增加而急速增加，故大射角時可縮短其後退長度，以免砲身觸及地面。

後退長一般有相當限制，過長使用不便，或增加重量，榴彈砲近來多使用變裝藥量，為增加威力，最大裝藥僅要求在某射角上有安定性，0° 射角之安定性須於二號或三號裝藥具有之，惟射表上特別注明，以免誤用。

開脚式砲架之安定性，極易證明於 $\Sigma=0°$ 砲身位置在正中時為最差，仍可用以上諸式計算，惟 C 點不在駐鋤上，而為駐鋤在正中垂直面上之投影。

以上所述 C 及 D 皆在一水平面上，設駐鋤 C 高於車輪則 h 減小，S_e 增大，安定性加大，反之減小。

以上所述可以圖表示之：

第 七 圖

CF 線之方程式為 $y=\frac{G\cdot S_o}{h}-\frac{G_r\cdot x\cdot \cos\Sigma}{h}$

$$y_o=\frac{G\cdot S_o}{h}\;;\;EF=\frac{G\cdot S_o}{h}-\frac{G_r\cdot\xi\cdot\cos\Sigma}{h}$$

此線為安定性界限線，將算出之 ξ，S_e 及 S_i 繪於圖上，則 CDEF 之面積代表 $\left(1+\frac{n}{100}\right)E$。設後退期中各點安定性多餘之百分數相同，則 GH 為一直線，$GD=\frac{100}{100+n}CD$；$EH=\frac{100}{100+n}EF$。GH 線各點之縱坐標即為駐退力 K_x。

在加速期中尚有 P·d 作用，因距離甚短，可簡單求出如下：

$$IM=\frac{P_{max}\cdot d}{h}$$

$$LN=\frac{[illegible]}{h}$$

連接 MNG 之曲線，其縱坐標即表示在此期中 K_x 之可能最大值。

設於此期中即加以駐退力，為方便計由圖中估計平均之 K_m 計算 S_e', S_o', E' 及 ξ。再繪出 M′N G′ 曲線。一般此曲線 MNG 與曲線相差無幾。由此可見後座甚大之火砲，加速期中加駐退力效力甚微。

因　$K_x=B_x+R_x-G_r\cdot\sin\Sigma$

而　$B_x=F_x+H_x$

F_x 為復進機壓力

H_x 為液體駐退機壓力

R_x 可由（5）式計算之，惟式中之 $B=H_x+F_x$ 須先估計代入。

由橫坐標軸 AE 向下繪 VW 其距離為 $G_r\cdot\sin\Sigma$；由 VW 向上繪 R_x 得 RST 曲線。再由 RST 向上繪 F_x 得 PQ 曲線，則 MNGH 及 PQ 間之縱坐標距即示各點之液體駐退機壓力 H_x。

F_x 與 H_x 之計算法將於下二章詳述之。

第四章 復進器

砲身於後退能完全消滅後須立即復進至原位，俾能作復二次射擊，復進器即爲完成此作用而設，普通有二種；爲彈簧及壓縮空氣，其原理相同，即於後退期中貯蓄一部分後退能，於後退完畢後利用之將砲身復進，復進器之主要條件爲：

1. 其初壓力須能於最大射角時阻止砲身後退，且於砲身因震動，或其他原因稍有後退時仍能復進至原位。

初壓 $F_v = G_r(\sin \Sigma_{max} + \nu \cdot \mu \cdot \cos \Sigma_{max})$

$\nu > 1$ 一般 $\nu \cdot \mu = 0,3 \sim 0,5$

2. 貯蓄之後退能，需足夠將砲身在最大射角時復進至原位，爲避免於小射角復進到位時之衝擊，一般皆另設緩衝器。

I. 復進彈簧之設計

在最大射角 Σ_{max} 後退體復進所須最小工作爲：

$$A_\xi = G_r \xi \sin \Sigma_{max} + \int_{x=0}^{x=\xi} R_x dx$$

復進間之阻力 R_x 雖非常數，然其主要原因爲後退體在搖架上之壓力，故其平均值可假定爲 $\mu \cdot G_r \cdot \cos \Sigma_{max}$，故

(74)

$$A_\xi \geqq G_r \cdot \xi(\sin \Sigma_{max} + \mu \cos \Sigma_{max})$$

(84)

μ 之值因後退導面之污穢可能增大，估計算時 μ 之值最大可爲 0.3。

設 a 爲初壓縮長

(94)

F_v 爲初壓力

ξ' 爲容許之最大後退長度，較大於後退長 ξ。

F_e 爲最大壓力，其壓縮長度爲 $a + \xi'$

由上圖 $F_v:(E_e-F_v)=a:\xi'$

$$F_e=F_v\left(1+\frac{\xi'}{a}\right)$$

彈簧壓縮 $a+\xi'$ 所需之工作為

$$A=\frac{F_e}{2}(a+\xi')=\frac{F_v}{2}\left(1+\frac{\xi'}{a}\right)(a+\xi')$$

$$=\frac{F_v}{2}\left(a+2\xi'+\frac{\xi'^2}{a}\right)=\frac{F_v}{2}\xi'\left(\frac{a}{\xi'}+2+\frac{\xi'}{a}\right)$$

令 $\frac{a}{\xi'}=\delta$ 代 (47)

$$A=\frac{F_v}{2}\xi'\left(\delta+2+\frac{1}{\delta}\right) \tag{48}$$

又 $F_e=F_v\left(1+\frac{1}{\delta}\right)$ (49)

設 $\frac{dA}{da}=\frac{F_v}{2}\cdot\frac{d\left(a+2\xi'+\frac{\xi'^2}{a}\right)}{da}$

則 $1-\frac{\xi^2}{a^2}$

或 $a=\xi'$

$\delta=1$

故一定之 [illegible] 及後退長，於 $a=\xi'$ 或 $\delta=1$ 時，彈簧所受之總工作最小，因而簧之總重亦必為最小。

壓縮 ξ' 所需之工作為

$$A_\xi=\frac{F_v+F_e}{2}\cdot\xi'=\frac{F_v}{2}\left(2+\frac{\xi'}{a}\right)\xi' \tag{50}$$

若以 $a=\xi'$ 代入則

$$A_\xi=1{,}5\,F_v\cdot\xi'=1{,}5\,\xi'\cdot G_r\,(\sin\Sigma_{max}+\mu\nu\cos\Sigma_{max}) \tag{51}$$

將此式改寫為

$$A_\xi=\xi'\cdot G_r\,[(\sin\Sigma_{max}+\mu\cdot\cos\Sigma_{max})+0{,}5\sin\Sigma_{max}+\mu\cos\Sigma_{max}\,(1{,}5\,\nu-1)]$$

而復進所需工作為

$$A_\xi\geqq\xi\cdot G_r\,(\sin\Sigma_{max}+\mu\cos\Sigma_{max})$$

故若 $0{,}5\sin\Sigma_{max}+\mu\cos\Sigma_{max}\,(1{,}5\,\nu-1)\geqq 0$

$a=\xi'$ 之復進簧足以完成此工作。

設 F_v 式中之 $\nu\cdot\mu\geqq 0{,}3$ 及 $\mu<{,}3$；則初壓為 F_v 及 $a=\xi'$ 之彈簧能完成各種射角之復進工作。

若 $a<\xi'$，則相同之 F_v 其 F_e 之值較大，故 ξ' 壓縮長中之工作亦較大。

設彈簧之裝安長度為 l，則 $l-\xi'$ 為壓緊長度，

$$\lambda=\frac{l-\xi'}{\xi}=\frac{l}{\xi'}-1 \tag{52}$$

λ 為壓緊長度與裝安長之比

II. 彈簧計算法（柱形螺旋彈簧）

1. 圓形斷面

d 圓形斷面鋼條之直徑 cm

r 簧圈半中徑 cm

τ 容許內力 kg/cm²

G 剪彈性率 kg/cm²

n 簧圈數

A 壓至最大壓力 F_e 之總工作 cm kg

$$F_e = \frac{\pi}{16}\cdot\frac{d^3}{r\cdot\kappa\left(\frac{r}{d}\right)}\cdot\tau \qquad (53)$$

$$f = a + \xi' = \frac{64\,n\,r^3}{d^4}\cdot\frac{F_e}{G} \qquad (54)$$

$\kappa\left(\frac{r}{d}\right)$ 之值可自下曲線圖求得：

第十圖

由上二式得

$$d = \sqrt[3]{\frac{r\cdot F_e\cdot\kappa\left(\frac{r}{d}\right)}{0,19635\cdot\tau}} = 1,72\sqrt[3]{\frac{r}{\tau}\cdot F_e\cdot\kappa\left(\frac{r}{d}\right)} \qquad (55)$$

$$n=\frac{d\cdot G\cdot(a+\xi')\,\kappa\left(\frac{r}{d}\right)}{4\pi r^{2}\,\tau}=\frac{1-\xi'}{d} \tag{56}$$

$$1-\xi=\xi\lambda=nd=\frac{r^{-\frac{2}{3}}F_{e}^{-\frac{2}{3}}\kappa^{-\frac{2}{3}}\left(\frac{r}{d}\right)}{0,19685^{\frac{2}{3}}\,\tau^{-\frac{2}{3}}}\cdot\frac{G(a+\xi')\cdot\kappa\left(\frac{r}{d}\right)}{4\pi r^{2}\tau} \tag{57}$$

故 $$r=\sqrt[4]{\frac{(a+\xi')^{3}F_{e}^{2}G^{3}\cdot\kappa^{5}\left(\frac{r}{d}\right)}{\xi'^{3}\cdot\lambda^{3}\cdot\tau^{5}\cdot 76,81}}$$

$$\frac{(a+\xi')^{3}}{\xi'^{3}}=\left(\frac{a}{\xi'}+1\right)^{3}=(1-\delta)^{3}$$

又 $$F_{e}=F_{v}\left(1+\frac{1}{\delta}\right)$$

故 $$r=\sqrt[4]{F_{v}^{2}\left(\frac{G}{\lambda}\right)^{3}\cdot\frac{1}{\tau^{5}}\cdot\frac{1}{76,81}(1+\delta)^{3}\cdot\left(1+\frac{1}{\delta}\right)^{2}\cdot\kappa^{5}\left(\frac{r}{d}\right)}$$

設 $$\sqrt[4]{\frac{1}{8}(1+\delta)^{3}\left(1+\frac{1}{\delta}\right)^{2}}=\sqrt[4]{\frac{1}{8}\cdot\frac{(1+\delta)^{5}}{\delta^{2}}}=\theta \tag{58}$$

$$\sqrt[4]{\frac{100000^{4}}{\tau^{5}}}=\alpha \tag{59}$$

$$\sqrt[4]{\frac{1}{9,58375}}=0,5687$$

$$\sqrt[4]{\kappa^{5}\left(\frac{r}{d}\right)}=\sigma\left(\frac{r}{d}\right) \tag{60}$$

$$r=\frac{0,5687\cdot\theta\cdot\alpha}{100000}\cdot\sigma\left(\frac{r}{d}\right)\cdot\sqrt[4]{F_{v}^{2}\left(\frac{G}{\lambda}\right)^{3}} \tag{61}$$

δ, a, 及 $\sigma\left(\frac{r}{d}\right)$ 可由下表及圖求得之：

(33)

$$\theta=\sqrt[4]{\frac{1}{\delta}\cdot\frac{(1+\delta)^5}{\delta^2}} \qquad a=100000\sqrt[4]{\frac{1}{\tau^5}}$$

$\delta=\frac{a}{\xi}$	θ	lg θ	τ kg/cm²	a	lg a
1,5	1,526	0,18361	5000	2,378	0,3763
1,25	1,466	0,16600	5500	2,111	0,3246
1	1,414	0,15052	6000	1,894	0,2773
			6500	1,718	0,2338
2/3	1,379	0,13958	7000	1,562	0,1936
			7500	1,433	0,1562
			8000	1,322	0,1211
			8500	1,225	0,0882
			9000	1,141	0,0572
			9500	1,066	0,0279
			10000	1	0
			10500	0,9408	$\bar{1}$,9735
			11000	0,8877	$\bar{1}$,9483
			11500	0,8397	$\bar{1}$,9241
			12000	0,7962	$\bar{1}$,9010
			12500	0,7566	$\bar{1}$,8789
			13000	0,7204	$\bar{1}$,8576

第十一圖

計算時 F_r, I, ξ, G 及 τ 為已知，故 $\lambda=\frac{I}{\xi}-1$ 為已知，假定 δ 之值，並估計 $\frac{r}{d}$。由表及圖求出 θ, a 及 $\sigma\left(\frac{r}{d}\right)$ 代入 (61) 算出 r，再由 (55) 算出 d，以此算出之 r/d 求 $\sigma\left(\frac{r}{d}\right)$ 覆算至前後符合為止。由 (56) 算出 n。

若 I 為未知，而已知 r 則可由 (55) 式算出 d，復算數次後得準確之 d，再由 (56) 式

$$n=\frac{d\cdot G\cdot\xi'(\delta+1)\,\kappa\left(\frac{r}{d}\right)}{4\pi r^2\tau}$$

求出 n　　$l=nP+\xi'$

2. 長方形斷面

長方形斷面柱形螺旋彈簧之內力甚為複雜，近年之研究結果，一般可用下兩式計算之：

$$F_e=\frac{b\cdot h\sqrt{bh}}{2r\,\psi\left(\frac{h}{b}\right)}\cdot\tau \tag{62}$$

$$a+\xi'=\frac{8F_e r^3 n}{h\;b^2 G}\cdot\varphi\left(\frac{h}{b}\right) \tag{63}$$

$$\frac{h}{b}=\gamma>1$$

本章所討論者如下圖所示，小邊平行於彈簧軸。

第十二圖

$\psi\left(\frac{h}{b}\right)$ 及 $\varphi\left(\frac{h}{b}\right)$ 之值由附圖 (13) 及 (14) 求之，其值與 $\frac{r}{h}$ 亦有關係。

彈簧壓縮至 F_e 之變工作 $A=\frac{F_e}{2}\cdot(a+\xi)$；由 (62` (63)

$$A=\frac{b\,h\,r\,n\,\tau^2}{G}\cdot\frac{\varphi\left(\frac{h}{b}\right)}{\psi^2\left(\frac{h}{b}\right)} \tag{64}$$

又由 (62) 以 γ 代 $\frac{h}{b}$ 得

$$h=\sqrt{\gamma}\,\sqrt[3]{\frac{F_e\cdot 2r\cdot\psi(\gamma)}{\tau}}$$

以 $\Phi(\gamma)=\sqrt[3]{2}\,\sqrt{\gamma}\,\sqrt[3]{\psi(\gamma)}$ 代入

$$h=\Phi(\gamma)\sqrt[3]{\frac{F_e\cdot r}{\tau}}=\Phi(\gamma)\sqrt[3]{\frac{r}{\tau}\cdot F_v\left(1+\frac{1}{\delta}\right)} \qquad (65)$$

$\Phi(\gamma)$ 可由附圖 (15) 求得之。

又由 (64) 以 $b\,n=l-\xi=\xi'\cdot\lambda$ 代入

$$A=\tau^2\cdot\frac{h\,r\,\xi\,\lambda}{G}\cdot\frac{\psi(\gamma)}{\psi^2(\gamma)}$$

$\Psi(\gamma)=\frac{\psi^2(\gamma)}{\psi(\gamma)}$ 代入

$$h=\Psi(\gamma)\frac{G\,A}{r\,\tau^2\,\lambda\,\xi'} \qquad (66)$$

由 (65) 以 (66)，

$$r^4=\frac{\Psi^3(\gamma)}{\Phi^3(\gamma)}\left(\frac{G\,A}{\lambda\,\xi'}\right)^3\cdot\frac{1}{F_e}\cdot\frac{1}{\tau^5}$$

以 $\sqrt[4]{\left[\frac{\Psi(\gamma)}{\Phi(\gamma)}\right]^3}=\kappa(\gamma)$

[illegible] $A=\xi'\cdot\frac{F_v}{2}\left(\delta+2+\frac{1}{\delta}\right)$

$F_e=F_v\left(1+\frac{1}{\delta}\right)$ 代入

$$(67)\qquad r=\kappa(\gamma)\sqrt[4]{\left(\frac{G}{\lambda}\right)^3\frac{F_v^2}{8}\cdot\frac{\left(\delta+2+\frac{1}{\delta}\right)^3}{\left(1+\frac{1}{\delta}\right)}\cdot\frac{1}{\tau^5}}$$

因 $$\sqrt[4]{\frac{1}{8}\cdot\frac{\left(\delta+2+\frac{1}{\delta}\right)^{5}}{\left(1+\frac{1}{\delta}\right)}}=\sqrt[4]{\frac{1}{8}\cdot\frac{(\delta+1)^{5}}{\delta^{2}}}=\theta$$

$$\sqrt[4]{\frac{100000^{4}}{\tau^{5}}}=\alpha$$

$$r=\frac{\chi(\gamma)\,\theta\,\alpha}{100000}\cdot\sqrt[4]{F_{v}^{2}\left(\frac{G}{\lambda}\right)^{3}} \tag{67}$$

θ, α 見前表；$\psi(\gamma)$ 及 $\chi(\gamma)$ 見圖 16 17。r 求出後由 (66) 求 h。圈數

$$n=\frac{l-\xi}{b}$$

計算時先選定 $\gamma=\frac{h}{b}$，估計 $\frac{r}{h}$ 求出 χ 及 ψ，算出 r 及 h。再復算至前後符合為止。其他如圓形斷面算法。

若算出之彈簧不甚適合，則需另假定 γ，求出合用之尺寸。

若已知 r 則可由 (66) 求出 h，由假定之 γ 求出 b，再由 (67) 求出 λ，算出 l。

3. 彈簧之重量

彈簧之重量 G_f 可以所能受之最大工作 A 表示之。

a. 圓形斷面：

$$G_f=2r\pi\cdot\frac{d^{2}\pi}{4}\cdot n\gamma \tag{68}$$

γ 彈簧材料之比重。

$$A=\frac{1}{2}(a+\xi')\cdot F_e=\frac{\pi^{2}}{8}\cdot\frac{n\,r\,d^{2}\,\tau^{2}}{G\kappa^{2}\left(\frac{r}{d}\right)} \tag{69}$$

故 $$G_f=4\cdot\kappa^{2}\left(\frac{r}{d}\right)\frac{G\,A}{\tau^{2}}\cdot\gamma \tag{70}$$

b. 長方形斷面：

$$G_f = 2r\cdot\pi\cdot h\cdot b\cdot n\cdot\gamma = 2r\cdot\pi\cdot h\cdot\lambda\cdot\xi\cdot\gamma =$$

$$= 2\pi\cdot\psi\left(\frac{h}{b}\right)\cdot\frac{G\cdot A}{\tau^2}\cdot\gamma \tag{71}$$

由(70) 及 (71) 可知同樣條件下，圓形斷面之彈簧重量較長方形斷面者輕。τ 之影響甚大，故材料之選擇尤當注意。以 $\tau = 10000\ kg/cm^2$ 之簧重 G_{fo} 比較如下：

$\tau=$	10000	9000	8000	7000	6000	5000
$\frac{G_f}{G_{fo}}=$	1	1,235	1,56	2,04	2,78	4,00

4. 彈簧中徑之討論

彈簧之外徑與搖架尺寸有直接關係，卽與搖架及小架之重量發生關係，故其尺寸宜盡量求其小，茲將有關各點討論如下：

圓形斷面 $$r = \frac{0.5687\cdot\theta\cdot a}{100000}\cdot\varphi\left(\frac{r}{d}\right)\cdot\sqrt[4]{F_v^2\left(\frac{G}{\lambda}\right)^3}$$

長方形斷面 $$r = \frac{\psi\left(\frac{h}{b}\right)\theta\cdot a}{100000}\cdot\sqrt[4]{F_v^2\left(\frac{G}{\lambda}\right)^3}$$

a. 預壓長 a 及後退長 ξ' 之關係：

$\frac{a}{\xi'} = \delta$，上二式中之 θ

$$\theta = \sqrt[4]{\frac{1}{8}\cdot\frac{(\delta+1)^5}{\delta^2}}$$

θ 為最小若 $$\frac{d\left[\frac{(\delta+1)^5}{\delta^2}\right]}{d\,\delta} = 0$$

$$\delta = \frac{2}{3}$$

故 $\delta=\frac{2}{3}$ 時 r 為最小，設此為 r_{min}，以比較其他 δ 值之 r，則如

$$\delta = \quad \tfrac{1}{2} \quad \tfrac{2}{3} \quad \text{[illegible]}$$

(17)

$\frac{r}{r_{m}}=$	1,012	1	1,003	1,026	1,107

二者 δ 在 $\frac{2}{3}$~1 為宜，重量方面 δ=1 為最好，故 δ=1 為最好。

b. 裝安長度 l 及後退長 ξ' 之關係：

$\lambda=\frac{l}{\xi'}-1$，故 $\frac{l}{\xi'}$ 之值宜大。茲以 λ=1 入之中半徑 r_0 為標準比較如下：

λ	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
$\frac{r}{r_0}$	1,99	1,47	1,18	1	0,872	0,778

ξ' 入之值為已知，故 l 之值若設計許可，以大為宜。

c. h/b=γ 之關係：

由 κ(γ) 曲線可見 γ=1 時 r 為最大，故方形斷面不甚適宜，彈簧外徑為 2r+h，r 縮小較 h 增為速，故 h/b 宜盡量選大。

d. τ 之關係：

$a=\sqrt[4]{\frac{1000000^4}{\tau^5}}$ 茲以 τ=5000 kg/cm² 之 r_0 比較如下：

τ	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000
$\frac{r}{r_0}$	1	0,8	0,657	0,556	0,482	0,422	0,374	0,336	0,304

故 τ 之影響甚大，彈簧材料必需選擇較好者。

5. 單獨彈簧之設計總結

$$F_v=G_r(\sin\Sigma_{max}+\nu\cdot\mu\cdot\cos\Sigma_{max});$$

$\nu\cdot\mu=0,3\sim0,5$。

$$\lambda=\frac{l}{\xi'}-1$$

λ 之值宜大，至少 $>0,4$

$$\delta=\frac{a}{\xi'}=1\sim 3/2$$

若有特殊原因 δ 可大於 1。

圓形斷面：

$$\begin{cases} \tau=\dfrac{0.5687\,\rho\,a}{100000}\cdot\sigma\left(\dfrac{r}{d}\right)\cdot\sqrt[4]{F_v^2\left(\dfrac{G}{\lambda}\right)^3} \\[2ex] d=1,72\sqrt[3]{\dfrac{r}{\tau}\cdot F_v\left(1+\dfrac{1}{\delta}\right)\cdot\kappa\left(\dfrac{r}{d}\right)} \end{cases}$$

長方形斷面：

$$\begin{cases} \tau=\dfrac{\chi(\gamma)\,\theta\cdot a}{100000}\sqrt[4]{F_v^2\left(\dfrac{G}{\lambda}\right)^3} \\[2ex] h=\psi(\delta)\,\dfrac{G\,A}{r\,\tau^2\,\lambda\,\xi'} \\[2ex] \gamma=\dfrac{h}{b} \end{cases}$$

圈數 $n=\dfrac{\xi\cdot\lambda}{b}$

所有長度單位皆為 cm。

τ 為材料容許內力，可於鋼料說明書上查出，估算可用 7000 kg/cm²。

G 一般為 8300 kg/cm²。

III. 複套彈簧之設計

單獨彈簧之尺寸，在復退猛衝力大時，即成其外徑太大，故有採用複套彈簧之必要，常用之複套彈簧有二種：即伸縮管式及套疊式 (Teleskopfedern)，二種皆為不同中徑之數彈簧互套而成。惟前者構造簡單，所有彈簧之前端，或後端皆頂於同一座上。而後者各簧間加以間隔管，各簧之後端間接壓於其外簧之前端。

詳圖：

第十八圖

1. 等壓縮長式複套彈簧

爲實用上方便計各簧之預壓長相等，總長亦相等。各簧之材料相同，故各簧之最大內力應相等。

由 (61) 及 (67)，設 r_1，r_2，r_3……爲自外至內各簧之半中徑，則

$$r_1 : r_2 : r_3 \cdots\cdots = \sqrt{F_1} : \sqrt{F_2} : \sqrt{F_3} \qquad (72)$$

F_1，F_2，F_3 爲各簧之預壓力。假定各簧之斷面形狀相似。(實際上常用圓形或正方形之斷面。) 即

$$h_1 : h_2 : h_3 \cdots\cdots\cdots = \sqrt{F_1} : \sqrt{F_2} : \sqrt{F_3} \qquad (73)$$

因自 (65)

$$\frac{h_1}{h_2} = \sqrt[3]{\frac{r_1 F_1}{r_2 F_2}} = \sqrt[3]{\frac{F_1 F_1^{1/2}}{F_2 F_2^{1/2}}} = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}$$

又自 (65) 式

$$\frac{h_1}{r_1} = \Phi(\gamma)\sqrt[3]{\frac{F_1(1+1/\delta)}{\tau\, r_1^2}}$$

$$= \Phi(\gamma)\sqrt[3]{\left(\frac{1+1/\delta}{\tau} \cdot \frac{1}{\left[\chi^4(\gamma)\theta^4 \cdot \left(\frac{G}{\lambda}\right)^3 \cdot \frac{1}{\tau^5}\right]^{1/2}}\right)}$$

將 (58) 之 θ 代入得

$$\frac{h_1}{r_1}=\Phi(\gamma)\sqrt{\frac{2}{\delta+1}\cdot\frac{\lambda\cdot\tau}{G}}\cdot\sqrt[3]{\frac{1}{\chi^2(\gamma)}}=\alpha\sqrt{\frac{\tau\cdot\lambda}{G}} \quad (74)$$

$$\alpha=\Phi(\gamma)\sqrt{\frac{2}{\delta+1}}\cdot\sqrt[3]{\frac{1}{\chi^2(\gamma)}} \quad (75)$$

設各簧之斷面相似卽 $\gamma=\frac{h}{b}$ 相等，預壓長相等，則 δ 相等。

$$\frac{h_1}{r_1}=\frac{h_2}{r_2}=\frac{h_3}{r_3}\cdots\cdots=\alpha\sqrt{\frac{\tau\cdot\lambda}{G}} \quad (76)$$

圓形斷面由 (55) 及 (61) 可得

$$\frac{d_1}{r_1}=\alpha\sqrt{\frac{\tau\cdot\lambda}{G}} \quad (77)$$

$$\alpha=1{,}72\sqrt[3]{\frac{\tau}{K}}\sqrt{\frac{2}{\delta+1}}\sqrt[3]{\frac{1}{\left[0{,}5687\,\sigma\left(\frac{r}{d}\right)\right]^2}} \quad (78)$$

設 $\tau'\cdot h_2$ 爲第二及第三簧之間隙，τ' 之值可定爲 0,2～0,3 由下圖

第十九圖

$$r_3+\frac{h_3}{2}+h_2(\tau'+0{,}5)=r_2 \quad (79)$$

將 (76) 代入得

$$r_2\frac{h_3}{h_2}+\frac{1}{2}\left(r_2\frac{h_3}{h_2}\right)\cdot\omega\sqrt{\frac{\tau\lambda}{G}}+r_2\,\omega\sqrt{\frac{\tau\lambda}{G}}\,(\tau'+0{,}5)=r_2$$

令 $$\omega\sqrt{\frac{\tau\lambda}{G}}=Y \qquad (80)$$

$$\sqrt{\frac{F_3}{F_2}}\left(1+\frac{Y}{2}\right)=1-Y\,(\tau'+0{,}5) \qquad (81)$$

令 $$\sqrt{\frac{F_3}{F_2}}=\sqrt{\frac{F_2}{F_1}}=\cdots\cdots=Z \qquad (82)$$

則 $$Z=\frac{1-Y\,(\tau'+0{,}5)}{1+\frac{Y}{2}} \qquad (83)$$

$$F_v=F_1+F_2+F_3+\cdots\cdots=F_1(1+Z^2+Z^4+Z^6+\cdots\cdots) \qquad (84)$$

四重複套簧 $F_1=\dfrac{F_v}{1+Z^2+Z^4+Z^6}$

三重複套簧 $F_1=\dfrac{F_v}{1+Z^2+Z^4}$

二複重套簧 $F_1=\dfrac{F_v}{1+Z^2}$

$$\left.\begin{array}{l} F_2=Z^2F_1 \\ F_3=Z^2F_3 \\ F_4=Z^2F_3 \\ F_v=F_1+F_2+F_3+\cdots\cdots \end{array}\right\}$$

計算時可由 (80) 及 (83) 求出 Y 及 Z，再由上式求 F_1，F_2……，各簧之預壓力求出後，即可用 II 節算各簧之尺寸。

2. 等壓力式複套彈簧

此種複套彈簧各簧之預壓力相等皆為 F_v，惟各簧之壓縮長度 ξ_1，ξ_2，ξ_3 不等，總 $\xi_1+\xi_2+\xi_3+\cdots\cdots=\xi$，在設計時各簧之最大內力自應求其相同。

因理論上不能求得合用之算式，設計時可如下計算之：

假定最內層彈簧之半中徑 r_3，長方形斷面

$$r_3=\frac{\theta\cdot\varkappa(\gamma)\cdot\alpha_3}{100000}\sqrt[4]{\frac{F_v^2\cdot G^3}{\lambda_3^3}}$$

$$\lambda_3=\frac{1}{\xi_3}-1=\sqrt[3]{\frac{F_v^2}{r_3^4}\left(\frac{\theta\cdot\varkappa(\gamma)\cdot\alpha_3}{100000}\right)^4\cdot G^3}$$

$$\xi_3=\frac{1}{1+\sqrt[3]{\frac{F_v^2}{r_3^4}\left(\frac{\theta\cdot\varkappa(\gamma)\cdot\alpha_3}{100000}\right)^4 G^3}}\text{。} \qquad (85)$$

圓形斷面：

$$\xi_3=\frac{1}{1+\sqrt[3]{\frac{F_v^2}{r_3^4}\left(\frac{0,5687\,\theta\cdot\sigma\left(\frac{r}{d}\right)\cdot\alpha_3}{100000}\right)^4\cdot G^3}} \qquad (86)$$

假定 r_3 與 α_3 之值，即可算出 ξ_3 及 h_3 或 d_3。

假定第二層簧之強度相同，$\alpha_2=\alpha_3$，就需要之實際估算 r_2 與前同樣可求出：

長方形斷面

$$\xi_2=\frac{1}{1+\sqrt[3]{\frac{F_v^2}{r_2^4}\left(\frac{\theta\cdot\varkappa(\gamma)\cdot\alpha_3}{100000}\right)^4\cdot G^3}}$$

圓形斷面

$$\xi_2=\frac{1}{1+\sqrt[3]{\frac{F_v^2}{r_2^4}\left(\frac{0,5687\,\theta\cdot\sigma\left(\frac{r}{d}\right)\cdot\alpha_3}{100000}\right)^4 G^3}}$$

h_2 自易求出。

最外層簧之 $\xi_1=\xi-\xi_3-\xi_2$，算出 λ_1，則—

長方形斷面

$$r_1=\frac{\theta\cdot\varkappa(\gamma)\cdot\alpha_1}{100000}\sqrt[4]{\frac{F_v^2\cdot G^3}{\lambda_1^3}}$$

圓形斷面

$$\tau_1 = \frac{0.5687\,\theta\cdot\sigma\left(\frac{r}{d}\right)\alpha_1}{100000}\sqrt[4]{F_v^2\frac{G^3}{\lambda_1^3}}$$

如 r_2 估算需要之 r_1，代入上式算出 α_1，及 τ_1。此 τ_1 之值最好與 τ_3 相近。若 τ_1 小於或大於 τ_3，則必需再假定較小或較大之 τ_3 覆算。

若初壓力相同，裝安長度相等，內外徑之限制相同，則此式彈簧受內力最小，或內力相等則裝安長度可爲最小。故等壓力式複套彈簧，爲常用之良好設計。

IV. 氣體復進器

氣體復進器之一般原理，爲以壓縮空氣或其他氣體代替彈簧。定量之氣體貯於一容器內，用隨砲身後退之活塞，直接或間接壓縮之。爲易於氣密及設計上之方便，活塞與氣體每不直接接觸，而以液體爲傳達壓力之中間物。此液體亦有與氣體直接接觸或隔以浮塞者。惟計算方法完全相同。下爲復進器之簡圖。

第二十圖

V_0 爲砲身在射擊位置時之氣體容積 m^3

q_0 壓縮氣體活塞之面積 m^2

ξ_1 活塞於砲身後退完畢之行程 m

F_{v1} 爲氣體之總初壓力

砲身後退完畢時之氣體容積爲

$$V_\xi = V_0 - q_0 \cdot \xi_1$$

砲身後退長爲 ξ，故 ξ_1/ξ 爲游塞與連於砲身之活塞之行程比，故

$$F_{v1}=\frac{\xi}{\xi_1}\cdot F_v$$

氣體之壓縮及膨脹之時間甚短，故近於斷熱變化。空氣之斷熱變化式爲

$$V^{1.41}\,p=K$$

等溫變化式爲

$$V\,p=K$$

實際應用之式爲

$$V^{1.3}\,p=K \tag{87}$$

一般此式可書爲

$$\left(\frac{V_\xi}{V_o}\right)^{\kappa}=\frac{p_o}{p_\xi}=\frac{1}{m}$$

或 $$V_\xi=\frac{V_o}{m^{\frac{1}{\kappa}}}$$

m 爲空氣之終壓及初壓比，κ 之值可以 1,41，1。1,3 及 1,25 代入。上式可化爲

$$V_o=\frac{q_e\cdot\xi_1}{1-m^{-\frac{1}{\kappa}}} \tag{88}$$

因 $q_e\cdot p_o=F_{v1}$

$$V_o=\frac{F_{v1}\cdot\xi_1}{p_o\left(1-\frac{1}{m^{\frac{1}{\kappa}}}\right)} \tag{89}$$

命 $$\Delta=\frac{1}{1-\frac{1}{m^{\frac{1}{\kappa}}}}=\frac{m^{\frac{1}{\kappa}}}{m^{\frac{1}{\kappa}}-1} \tag{90}$$

m之值如下表：

m	$\kappa=1.41$	$\kappa=1.3$	$\kappa=1.25$	$\kappa=1$
1,5	4,02	3,73	3,62	3
2	2,58	2,42	2,35	2
3	1,85	1,75	1,71	1,5
4	1,6	1,52	1,49	1,33
5	1,47	1,41	1,38	1,25
6	1,39	1,34	1,31	1,2
7	1,33	1,29	1,27	1,167
8	1,3	1,25	1,23	1,143

$$V_o=\frac{\Delta\cdot F_{v1}\cdot\xi_1}{p_o}=\frac{\Delta\cdot F_v\cdot\xi}{p_o} \tag{91}$$

單位： V_o 為 m^3 ， p_o 為 kg/m^1 ， ξ 為 m ， F_v 為kg

砲身復進所需工作為

$$A\xi=G_r\cdot(\sin\Sigma_{max}+\mu\ \mathrm{con}\,\Sigma_{max})\cdot\xi=F_1\,\xi \tag{92}$$

空氣於壓縮時所貯之工作，斷熱變化時為

$$A=\frac{p\xi\cdot V\xi-p_o\cdot V_o}{\kappa-1}=\frac{p_oV_o}{\kappa-1}\left[m^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}-1\right]\ (m\ kg) \tag{93}$$

故 $$V_o=\frac{A}{p_o}\cdot\frac{\kappa-1}{m^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}-1}\ (m^3) \tag{94}$$

等溫變化時為

$$A=p_o\cdot V_o\ln\frac{p\xi}{p_o} \tag{95}$$

$$V_0 = \frac{A}{p_0} \cdot \frac{1}{\ln \frac{p_\xi}{p_0}} \tag{96}$$

由初壓力 F_v 之條件求得之 V_0 爲 (91) 式，代入

斷熱變化

$$\frac{A\xi}{p_0} \cdot \frac{\kappa-1}{m^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}-1} = \Delta \cdot \frac{F_v \cdot \xi}{p_0} \tag{97}$$

等溫變化

$$\frac{A\xi}{p_0} \cdot \frac{1}{\ln \frac{p_\xi}{p_0}} = \Delta \cdot \frac{F_v \cdot \xi}{p_0} \tag{98}$$

以 $A\xi = F_m \cdot \xi$ 代入得

等熱變化

$$\frac{F_m}{F_v} = \Delta \frac{m^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}-1}{\kappa-1} = \beta_a \tag{99}$$

等溫變化

$$\frac{F_m}{F_v} = \Delta \cdot \ln m = \beta_i \tag{100}$$

β_a 及 β_i 可列表如下：

$m=$	1,5	2	3	4	5	6	7	8
$\beta_a=$	1,228	1,4	1,70	1,94	2,14	2,32	2,47	2,64
$\beta_i=$	1,217	1,39	1,65	1,85	2,01	2,15	2,27	2,33

由必需之初壓 F_v (91) 及復進工作 F_m 由 (92) 二條件，復進氣體之終壓及初壓比 m 至少要滿足 (99) 或 (100) 式，若 m 過大則復進工作可有餘剩。

下圖 abce 之面積與 $F_m \cdot \xi$ 相等

第廿一圖

$$\frac{p_\xi}{p_o} = m = \frac{bc}{ad}$$

此 m 之值可滿足 $\frac{F_m}{F_v} = \beta$。

若 p_ξ 較高則 $m = \frac{bc'}{ad}$ 較大，abc'd 之面積卻大於 $F_m \cdot \xi$，工作即有餘剩。

因 $F_v = G_r(\sin\Sigma_{max} + \nu \cdot \mu \cdot \cos\Sigma_{max})$ 而 $F_m \cdot \xi = A\xi = G_r(\sin\Sigma_{max} + \mu\cos\Sigma_{max}) \cdot \xi$

故 $F_v > F_m \qquad (\nu > 1)$

即實際上 $ac > F_m$ 如上圖，其此初壓之壓縮空氣其貯存之工作足復進砲身而有餘，斜線所示之面積即為多餘之工作。故 m 之值不受限制。m 之值大則 V_o 可較小，惟終壓不能太高，故 m 之值一般為 2～3。

m 之值若太大，除終壓太高外，溫度亦太高，例如 m=8

$$\left(\frac{p_\xi}{p_o}\right)^{\frac{K-1}{K}} = m^{0.29} = 8^{0.29} = \frac{T_\xi}{T_o}$$

$$T_\xi = 1.83\ T_o$$

若 $T_o = 273° + 17° = 290$ 則 $T_\xi = 531° = 273° + 258°$ 即 258°C。m = 2 則為 83°C。

空氣砲之壓力受設計上之限制不能太高，固定砲架之能常加檢查者可用 $p_o = 50 \sim 100\ kg/cm^2$，移動砲架如野戰砲等 $p_o = 15 \sim 30\ kg/cm^2$，為安全計此數值甚妥。

靠用手搖打氣機較易工作。

氣體復進器設計總括如下:

$$F_v = G_r\,(\sin\Sigma_{max} + \nu\cdot\mu\cdot\cos\Sigma_{max}) \cdot \quad \nu\cdot\mu > 0,3$$

固定砲架

$$p_o = 500000 \sim 1000000\ kg/m^2$$

移動砲架

$$p_o = 150000 \sim 300000\ kg/m^2$$

$$V_o = \Delta \cdot \frac{F_v \cdot \xi}{p_o}\ m^3 \qquad (\xi\ m)$$

$m = 2 \sim 3$ 則 $\Delta = 2.42 \sim 1,75$

$$p_x = p_o \left(\frac{V_o}{V_x}\right)^{1.3}$$

$$V_x = V_o - x\,q = V_o - x\,\frac{F_v}{p_o}$$

$$p_x = \left(\frac{\Delta\cdot\xi}{\Delta\cdot\xi - x}\right)^{1.3} \cdot p_o \qquad (101)$$

$$F_x = \left(\frac{\Delta\cdot\xi}{\Delta\cdot\xi - x}\right)^{1.3} \cdot F_v \qquad (102)$$

$\kappa = 1,3$, x 為後退距離 m。

第五章 駐退機

現代火砲所用之駐退機皆為液出式液體駐退機，主要原理為在一充滿液體之圓筒內置一個可動之活塞，此二件一為定於砲架，他則連於砲身，但活塞上備有漏口，俾活塞移動時液體能自活塞之一邊經漏口達于他邊。當液體被迫以高速度經過漏口時，活塞之一邊必需有高壓力存在，方能予靜止之液體以加速度，此壓力即作用於後退之砲身，使其後退運動受阻。活塞及密閉等亦有相當之摩擦力，但一般比較甚小，可略去不計。

砲身後退時因加速液體而消失其後退能，以高速度通過漏口之液體則擊於筒壁及已在之液體而喪失其速度，其動能全變為熱，故駐退機之溫度昇高。

駐退筒壁除受壓力外，尚有由漏口射出液體之衝擊力，此液體之速度往往在100 m/s 以上，故設計時當加注意。

當活塞桿向筒外抽出時，筒內之體積加大，故活塞後方可有真空，其體積與抽出部分之體積相等，液體之加速力因而稍低，同時活塞只係一方受大氣壓力，故駐退力稍增。惟二者之影響甚微可略去不計。

如欲後退體之重量宜大，故一般宜將駐退筒連於砲身，固定砲架則不必考慮此點。

I. 液體之駐退力 H_x 及漏口面積 q_{rx}

活塞之速度為 V_x，其有效面積為 Q_r，若移動距離為 dx 則壓出漏口之液體容積為 $Q_r\,dx$。設 γ 為液體比重則其質量為

$$\frac{Q_r\cdot dx\cdot\gamma}{g}$$

設 q_{rx} 為漏口總面積則液體經過漏口之速度為

$$v_x = V_x\cdot\frac{Q_r}{q_{rx}}$$

液體之速度由 0 增至 v_x 增加之動能為

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{Q_r\cdot dx\cdot\gamma}{g}\cdot\left(V_x\cdot\frac{Q_r}{q_{rx}}\right)^2$$

此動能必與液體壓力 H_x 在 dx 距離之工作相等，故

$$H_x\,dx=\frac{Q_r\cdot\gamma\cdot dx}{2g}\cdot\frac{Q_r^2}{q_{rx}^2}\cdot V_x^2$$

$$H_x=\frac{Q_r^3\cdot\gamma}{2g}\cdot\frac{V_x^2}{q_{xx}^2}$$

但液體以高速度噴出，必發生收縮現象，故實際之漏口面積應為 $\alpha\cdot q_{rx}$，$\alpha<1$，再 $H_x\cdot dx$ 之工作亦須完全用於加速液體，其一甚小部分，[illegible]用於抵消漏口中之液體摩擦力，此摩擦力可認定與 H_x 成比例，設 f 為一較小於 1 之數則摩擦工作為

將此二者計入則

$$H_x\,dx=\frac{Q_r^3\cdot\gamma}{2g}\cdot\frac{V_x^2}{\alpha^2\cdot q_{rx}^2}$$

$$H_x=\frac{Q_r^3\cdot\gamma}{2g}\cdot\frac{V_x^2}{q_{rx}^2\cdot f^2\alpha^2}$$

令 $f\cdot\alpha=\mu$

$$H_x=\frac{Q_r^3\cdot\gamma}{2\cdot g\cdot\mu^2}\cdot\frac{V_x^2}{q_{rx}^2} \qquad (103)$$

以常用單位代入即 Q_r，q_{rx} (cm²)；γ (g/cm²)，g (m/sec²) V_x (m/sec)

則

$$H_x=\frac{Q_r^3\cdot\gamma}{20\cdot g\cdot\mu^2}\cdot\frac{V_x^2}{q_{rx}^2}\,kg$$

[illegible]流出係數 μ 之[illegible]而其值變化甚大，[illegible]與液體之[illegible]速度有關[illegible]同一漏口[illegible]計算之主要原因[illegible]

時必需慎重選擇其數值，且必需留修整之餘地。

漏口流出方之形狀影響及 μ 之值，銳角之出口其 μ 值較圓角者為小。若液體經過漏口最小面積之前需改變其流向，則 μ 之值亦減小。

故 μ^2 之值最好就已有之同式設計經驗而得之平均數選擇之，例如管壁刻槽式之 μ^2 約為 0.65。環狀漏口，液體之流向不變，漏口出入口皆為圓角者 μ^2 之值可大至 0.9，若液體經過之路彎曲過多則可小至 0.4。

設計時 μ 之值宜稍大。若發射架試驗時發現後退長較短，或壓力太高，可稍大漏口以補救之。

由 (104) 式可見後退距離將完之際，因 V_x 逐漸減至 0，H_x 亦隨而急劇減低。又若 H_x 為常數，則漏口面積 q_{rx} 亦漸減至 0。改寫 (104) 式得

$$q_{rx}=\sqrt{\frac{Q_r^2\gamma}{20\,g\cdot\mu^2}\cdot\frac{V_x^2}{H_x}}\ \mathrm{cm}^2 \qquad (105)$$

單位同 (104) 式。

若 V_x 及 H_x 為已知，即可由 (105) 式求 q_{rx}。

駐退液之漏口面積隨後退距離而變化，其設計方式甚多，最常用之原理略述如下：

a. 駐退筒內壁刻等寬度而不等深度之槽溝，或等深度而不等寬度者。

第廿二圖 I　　第廿二圖 II

b. 活塞上開漏口，其內伸入一或二等寬度而變高度之調節桿，以變化其漏口面積。

c. 調節桿伸入空活塞頭及空活塞桿中，駐退液由高壓方經多數圓孔進入空活塞頭，然大部分液體復經調節桿及活塞頭間之環形漏口逸出活塞頭後方，一部分之

液體則進入空活塞桿內，調節桿之直徑各處不同，故漏口面積亦變化，近代之野戰砲駐退機多由此原理演變而成。(第 23 圖)

第廿三圖　　　　第廿四圖

d. 活塞體上開數口，其前方或後方裝一調節環，環上亦開有同數缺口，調節環當後退時依駐退筒內壁所刻之斜槽而轉動，漏口面積因而被遮去一部分，漸漸減小。(第 24 圖)

後退間各時之駐退力為 $K_x=H_x+E_x+R_x-G_r\cdot\sin\Sigma$。於膛內壓力作用完畢後，後退體之運動方程式為

$$\frac{G_r}{g}\cdot\frac{d^2x}{dt^2}=-K_x$$

$$\frac{d^2x}{dt^2}=V\frac{dV}{dx}$$

故 $$\frac{G_r}{g}\cdot V\cdot dV=-K_x dx$$

積分得 $$\frac{G_r}{2g}\cdot V_x^2=\frac{G_r}{2g}V_o'^2-\int_{x=S_e'}K_x\cdot dx \qquad (106)$$

K_x 用前述方法決定後由此式可求出 V_x。

II. 減速期中 V_x 之計算

由野戰砲砲架之安定性及駐退力圖 (第 22 圖) 知後退距離 x 時之後退動能 E_x 為斜線所示部分之面積故

$$E_x=(\xi-x)\cdot K\xi+\frac{1}{2}(\xi-x)\frac{\xi-x}{\xi-S_e}(K_{S_e}-K\xi)$$

$$V_x=\sqrt{\frac{2E_x}{\frac{G_r}{g}}}=\sqrt{\frac{g}{G_r}(\xi-x)\cdot\left[2K\xi+\frac{\xi-x}{\xi-S_e}(K_{S_e}-K\xi)\right]} \qquad (107)$$

第廿五圖

對此式算出各 x 之 V_x 繪於圖 E，得 V_x 曲線。

若 $K_{S_e}=K\xi$ 即 K 爲常數壓力則

$$V_x=\sqrt{\frac{2g}{G_r}K\xi(\xi-x)} \qquad (108)$$

固定砲架常用此式。

III. 加速期中 V_x 之計算（迄後效完畢）

由內彈道計算，知砲彈行程 S_x 時之時間 t_x 及速度 v_x 則後退速度 V_x 及後退距離 S_x 可如下求得之：

加速期中無駐退力

$$V_x=\frac{v_x\left(G_g+\frac{L}{2}\right)}{G_r} \qquad (109)$$

$$S_x=\frac{S_x\left(G_g+\frac{L}{2}\right)}{G_r+G_g+L} \qquad (110)$$

加速期中已有駐退力 E

$$V_x' = \frac{V_x(G_g+0.5L)}{G_r} - \frac{E}{\frac{G_r}{g}}\, t_x \tag{111}$$

$$S_x' = \frac{S_x(G_g+0.5L)}{G_r+G_g+L} - \frac{1}{2}\frac{E}{\frac{G_r}{g}} \tag{112}$$

砲彈出口後之後效期中算式自亦可用樣求出，惟實際上不必詳細計算，僅求幾主要之數點即可：

1. 砲彈離砲口時

$$S_0' = \frac{S(G_g+0.5L)}{G_r+G_g+L} - \frac{E}{\frac{2G_r}{g}}\, t_0^2 \tag{113}$$

$$V_0' = V_0 - \frac{E}{\frac{G_r}{g}} \cdot t_0 \tag{114}$$

2. 最大後退速度時

後效期中之壓力爲

$$P = P_0\left(1 - \frac{t}{t\Delta}\right)$$

當 $P=K$ 時，後退速度爲最大，因以後 $P<K$，後退速度即減小，

$$K = P_0\left(1 - \frac{t_{V'max}}{t\Delta}\right)$$

故 $$t_{V'max} = t\Delta\left(1 - \frac{K}{P_0}\right)$$

$t_{V'max}$ 爲 $P=E$ 之時間。

$$t\Delta = \frac{2L}{g}\, U_0 \frac{(\beta-\frac{1}{2})}{P_0}$$

$$V'_{max}=V_e-\frac{E}{\frac{G_r}{g}}\cdot t_o+\frac{P_o-E}{\frac{G_r}{g}}\cdot\frac{t_{vimax}}{2}\tag{115}$$

$$S_{vimax}=S_e+V_e t_{vimax}-\frac{E}{\frac{2G_r}{g}}(t_o+t_{vimax})^2+\frac{P_o}{\frac{G_r}{g}}\left(\frac{t^2_{vimax}}{2}-\frac{t^2_{vimax}}{6t\Delta}\right)\tag{116}$$

3. 後效完畢時

$$V_e'=V_o+\frac{P_o}{\frac{2G_r}{g}}\cdot t\Delta-\frac{E}{\frac{G_r}{g}}(t\Delta+t_o)$$

$$S_e'=\frac{S'(G_g+0{,}5L)}{G_r+G_g+L}+V_e t\Delta+\frac{P_o}{\frac{G_r}{g}}\cdot\frac{t\Delta^2}{3}-\frac{E}{\frac{2G_r}{g}}(t_o+t\Delta)^2$$

4. 最大膛壓時 t_{pmax} 及 U_{pmax}

$$V'_{pmax}=\frac{U_{pmax}\left(G_g+\frac{L}{2}\right)}{G_r}-\frac{E}{\frac{G_r}{g}}\cdot t_{pmax}\tag{117}$$

$$S'_{pmax}=\frac{S_{pmax}(G_g+0{,}5L)}{G_r}-\frac{E}{\frac{2G_r}{g}}\cdot t^2_{pmax}\tag{118}$$

此 S'_{pmax} 往往甚小，故可假定後退開始時之速度即為 V'_{pmax} 將此數繪於圖上如左圖，野戰砲架在加速期中可假定 S_o' 之距離內作用之平均壓力為 E_o'；計算 $S_o'V_o'$，再假定 S_e' 之距離內作用之平均壓力為 E_e' 計算 S_e' 及 V_e'。V'_{max} 可不必計算，因其與 V_e' 相差極微。

各點間可大概用曲線連接之，因後效部分不甚可靠故不必十分重視之，分，加速期為 V_{max} 以有部分，實際上 V_{max} 與 V_o 甚近，且皆在曲線之頂點附近，故一般可將 V_o 以前視為加速期，以後視為減速期，

IV 駐退力圖解法

設 $P=f(t)$ 為氣體作用于後退體之力，用實驗方法求出其曲線（後效期亦在內）圖，

$$m_r dV = p.dt$$

故 $$V_x = \frac{1}{m_x} \cdot \int P.dt$$

（若直接用實驗方法測出 V_x 曲線則可由 V_x 出發）

故將 $P=f(t)$ 曲線積分可得 $V_x=f(t)$ 曲線。

若有砲口制退機則砲彈出砲口後之後效期中同時有砲口制退機阻力在相反方向作用，故砲身後退之速度可步增加或甚而減小，故砲彈出口後 $P=f(t)$ 曲線可為負，即在橫座標軸下方，如圖（27）所示，

又砲身後退距離無駐退力時為 S_x。

$$S_x = \int V_x oer$$

即再將 $V_x=f(t)$ 曲線積分可得各時間之無駐退力後退距離：各時間之駐退力決定後繪出曲線 $K=f(t)$ 同樣積分二次可得 V_{xE} 及 S_{xE}。

將 $S_x'=S_x-S_{xE}$ 及 $V_x'=V_x-V_{xE}$ 繪出，

若所得之後退長與要求之 λ 相近，即可將 V_x 及 K 對 S_x' 之曲線繪出，由此曲線可求出 g_{rx} 如前述，

如 K 之值需漸漸減小則 $K=f(t)$ 曲線已非直線，可先假定其曲線而在 $K=S_x'$ 圖中檢視其是否合用，必要時更改 $K=f(t)$ 曲線另行覆繪，$K=f(t)$ 開始之上升部份亦需事先假定，$K=H+F+R$ 故 $K=f(t)$ 之值于有仰角時須減去後退體

量之分配也。

簡圖如下 (27)、(28)、(29)、(30) 圖，點劃線所示各線爲有砲口制退器者，故砲口制退器能縮短後退長，或同樣之後退長可減小駐退力，而減輕砲架重量。

V. 駐退機計算法總結

加速期：

1. 開始後退時（最大膛壓時）

$$V'_{pmax}=\frac{V_{pmax}\left(G_g+\frac{L}{2}\right)}{G_r}-\frac{E}{\frac{G_r}{g}}$$

2. 砲彈出砲口時

$$V_e'=V_o-\frac{E}{\frac{G_r}{g}}\cdot t_o$$

$$S_e'=\frac{s(G_g+0.5L)}{G_r+G_g+L}-\frac{E}{\frac{2G_r}{g}}t_p^2$$

$$V_o=\frac{V_o(G_g+0.5L)}{G_r}$$

野戰砲架 E 之值在用 S_o' 距離內以平均值 E_o 代之。

3. 最大後退速度

$$V'_{max}=V_e-\frac{E}{\frac{G_r}{g}}\cdot t_o+\frac{P_o-E}{\frac{G_r}{g}}\cdot\frac{t'_{vmax}}{2}$$

$$SV_{max}=S_e+V_e't'_{vmax}-\frac{E}{\frac{2G_r}{g}}(t_o+t'_{vmax})^2+\frac{P_o}{\frac{G_r}{g}}\left(\frac{t^{2\prime}_{vmax}}{2}-\frac{t^{3\prime}_{vmax}}{6t_\Delta}\right)$$

$$t_\Delta=\frac{2L(\beta-0.5)}{gP_o}\cdot V_o$$

野戰砲架此二數可不必計算，以 S_e' 及 V_e' 代之。

4. 後效完畢時：

$$V_e = V_0 + \frac{P_0}{\frac{2G_r}{g}} \cdot t\Delta - \frac{E}{\frac{G_r}{g}}(t\Delta + t_0)$$

$$S_e' = \frac{S(G_g+0,5L)}{G_r+G_g+L} + V_0 t\Delta + \frac{P_0}{\frac{G_r}{g}} \cdot t\Delta^2 - \frac{E}{\frac{2G_r}{g}}(t_0+t\Delta)^2$$

減速期：

野戰砲架

$$V_x = \sqrt{\frac{g}{G_r}(\jmath - x)\left[2E\jmath + \frac{\jmath - x}{\jmath - S_e}(ES_e - E\jmath)\right]}$$

固定砲架

$$V_x = \sqrt{\frac{2g}{G_r} \cdot E\jmath(\jmath - x)}$$

繪出 V_x 曲線

由曲線上測出之 H_x 及 V_x 算出漏口面積

$$g_{rx} = \sqrt{\frac{Q_r^3 \cdot \gamma}{2 . g . u^2} \cdot \frac{V_x^2}{H_x}}$$

Q_r 可就設計而適當假定之，

$$Q_r = \frac{H}{P}$$

P 為駐退筒內單位壓力，不可超過 300 Kqcm². 超過此壓力則塞筒之磨耗太大。

復退能在駐退機內大部變成熱能，若繼續連發較多之砲彈駐退機及駐退液之溫度可增至甚高。駐退液（50% 甘油 50% 水）之膨脹情形如下表：

溫度 °C	0°	10°	20°	40°	60°	80°
體積 cm³	10000	10034	10076	10175	10285	10404

＝，其膨脹係數較鋼為大，故駐退機高熱後，往往復進不能完全到位。為避免此弊，駐退筒內預留一部分空氣，或另設平衡室，俾液體膨脹時流出一部分至平衡室，冷却時再流回。

駐退機之容量宜大，則溫度升高較緩，故駐退液量宜多。在駐退筒或平衡室內預留之空氣與駐退液量之比宜大，則空氣之壓力增加較緩，其駐退筒內之空氣壓力，由駐退液達於活塞前後二面，其靜壓力差與前後二面之有效面積差即為活塞桿之斷面積成正比，當此總壓力超過復進器之初壓活塞即不能復進到位，故活塞桿之斷面積宜小。

駐退液之性質不可對溫度有甚大之變化，尤不能於低溫凝固。必需具有流動性，俾復進不致太緩。對金屬皮塞筒等所用材料不得有腐蝕作用。故必須中性，一般礦油可合此條件，甘油亦可，惟 Ulaco 粘性 (VoPcoaitg) 較大，肥皂水亦可用，惟較易凝固。

常用之駐退液為甘油 60% 水 40% 另加 1% 之 NaOH，比重 8～1,15 凝固點約為，−35°C，在極寒之地亦有用酒精者。

u^2 之值就原有之相似設計覆算求出之。其值宜取稍大，以便試造試驗後修整漏口。

VI 駐退力及後退速度覆算法

駐退機之漏口設計完畢後，須將各仰角之駐退力及駐退長等覆算。因運動方程式僅能於數特殊情形下解開，故實用上多用下述之近似分段算法處理之。

將後退長分成許多小段，每段假定每段之駐退壓力其值不變，此壓力可由 $H_1 = \frac{Q}{2 \cdot g \cdot u^2}, \frac{V_1^2}{g r_1^2}$ 算出。則自 1 至 2 之動能損失為此 H_1 及復進機壓力，摩擦力與後退體重分力之工作總和。故 2 點之動能 E_2 可以算出，V_2 即求出。如此將各點之 H_1, H_2, H_3 繪於圖上即得壓力曲線。分段愈多結果自愈精確。

駐退機應覆算之點如下：

(a) 固定砲架計算最大射角時之漏口，覆算 0° 之駐退壓力。

(b) 野戰砲架計算 0° 射角時之漏口，覆算最大射角時之最大壓力。因其出發點為安定性。

榴彈砲之用數種裝藥量者，最大裝藥之最小射角不必定為 0°，則以最大裝藥在規定之最小射角安定為條件。計算此射角之最大有效之漏口。

變後退長之火砲則最大初速最大射角之後退長亦為主要條件。故漏口須能隨仰角自動變化，最大初速最大射角之漏口須同時設計。並計算數射角之漏口面積，設計調節桿，及調節漏口曲線板時務使能與計算結果相近。最後加以覆算，以視相差之程度如何。

第六章　緩進機

為求復進於各種可能之意外情形下確實作用，復進器於後退期中所蓄之能量需大於理論上所需要者。若後退長一定則復進器於後進間所做之工作相等，而在各種射角所需之後進能不同，故射角愈小，多餘之工作愈大。砲身到位時即可有相當速度，致撼動砲架，或使砲架局部變形。為避免此弊另加緩進器，以吸收此多餘之工作，使變為熱。緩進器所受之工作，隨射角而不同。

I. 復進時駐退機之作用：

駐退機內液體於復進時以相反方向流過漏口，故仍有壓力，最先研究此作用。設

x 為復進距離，自後退最後位置算起

H'_x 為駐退筒內，於復進間之液壓，

V_v 復進速度

F_x 復進器壓力。

$$m_r = \frac{G_r}{g}$$

運動方程式為

$$m_r . V_v \cdot \frac{dV_v}{dx} = F_x - H'_x - G_r(\sin\Sigma + u\cos\Sigma)$$

$$H'_x = \frac{Q_r'^3 . \Upsilon}{2.g.u^2} \cdot \frac{V_v^2}{g_r^2 x}$$

Q'_r 為復進時之有效活塞面積。一般較大於後退時之有效面積。

令 $$C' = \frac{Q_r'^3 . \Upsilon}{2.g.u^2}$$

則 $$m_r . V_v dV_v + \left[C' \cdot \frac{A_v^2}{g_r^2 x} + G_r(\sin\Sigma + w\cos\Sigma) - F_x \right] dx = 0$$

因 F_x 及 g_{rx} 皆為已知之函數。若此式能解出，則各 x 之 V_v 皆能算出，惟除特殊情形下此式往往無法解出，或過於複雜而不合實用。故一般仍用下述近似法分段計算之。

設於某短距離內 g_{rx} 及 F_x 之變化甚少，假定如常數。且令

$$F - G_r(\sin\Sigma + n\cos\Sigma) = L$$

則 $$m_r . V_v . dV_v + \left(C' \cdot \frac{V_v^2}{q^2_r} - L \right) dx = o$$

或 $$\frac{V_v . dV_v}{C' \frac{V_v^2}{q^2_r} - L} + \frac{dx}{m_r} = o$$

解此式得

$$\ln\left(\frac{C'}{q_r^2} V_{vx}^2 - L\right) - \ln\left(\frac{C'}{q_r^2} V_{vo}^2 - L\right) = -\frac{2C'x}{q_r^2 m_r} \qquad (119)$$

或 $$\frac{C'}{q_r^2}V_{rx}^2-L=\left(\frac{C'}{q_r^2}A_{rs}^2-L\right)e-\frac{2C'x}{q_r^2m\mu} \tag{120}$$

$$V_{rx}=\sqrt{\frac{1}{\frac{2C'}{em_rq_r^2}\cdot x}\left(V_{rs}^2-\frac{L\cdot q_r^2}{C'}\right)+\frac{Lq_r^2}{C'}} \tag{121}$$

已知某點之 Y_{rs}, F_s 及 g_r 卽可求出經距離 x 後之 V_{rx}。用此式將復進向各點之 V_{rx} 逐點分段求出，則各點之 E_x' 亦可求出，而繪成曲線。分段愈多則結果愈精確。此法較駐退機復算時所用者稍煩，因 H_x' 變化較急，故不能同樣處理。

用 法計算某 7,5 cm 野砲 0° 及 20° 射角之復進壓力曲線如下圖。

第 32 33 34 圖

由上圖可見駐退機於復進有甚大之作用，惟尚不足使砲身到位時無相當之衝擊。如 0° 仰角到位時速度為 2,78m/sec 約 157mkg 在 20° 仰角時 2,16m/sec，95,5mkg。故欲使砲身到位。全無衝擊則必需另設緩進器。

緩進器本可獨立裝置，惟一般均附裝於駐退機內，以省地位。緩進器之尺寸較小。常用之設計爲緩衝對桿如圖 (35) 及 (36)

第三五圖　　　　第三六圖

緩進器可有二種方式。一種如開始復進即有作用者，另一種爲僅復進後期方有作用者。前一種緩進壓力較低，無突然之衝擊，野戰砲架宜用之。惟較後一種構造複雜。

野戰砲砲架於復進間亦有安定性之限制。如駐退間作用於砲架之外力除 N_1、N_2 及 R 而外，向前有緩進壓力 H'_x，向後則爲復進壓力 F_x，設 S_e' 及 S_r' 爲自車輪觸地點起算之砲架重心及後退體重心水平距離。同前可得。

$$G_e' S_e' + G_r' S_r' > (H'_x + R - F_x) R \tag{122}$$

或

$$G_e \cdot \frac{S_e'}{h} + G_r \frac{S_r'}{h} + F_x > H'_x + R \tag{123}$$

或

$$H'_x < G_e \cdot \frac{S_e'}{h} + G_r \cdot \frac{S_r'}{h} + F - R \tag{124}$$

S_r' 復進間漸減小。h 爲通過後退體重心與砲身軸平行之直線至車輪觸地點之距離。砲架向前翻轉時將以此點爲中心。

當砲身加速前進時 $F_x > H'_x + R$，砲架必安定。當砲身減速時 $F_x < H'_x + R$ 時

力矩使砲架有向前翻轉並向前移動之趨勢。

若砲架車輪之制動機鬆開，則砲架向前翻轉之中心移至車軸，因而較為安定。惟在軟土地面射擊時，駐鋤前面往往留有空隙，車輪若不制動，全砲易向前移動。

第三十七圖

設自橫軸向下繪 R_x 曲線，自此曲線向上繪復進器壓力 F_x，再自此曲線向上繪出：

$$\frac{G_e'S_e'}{h}+\frac{G_r'S_r'}{h}$$

曲線，則對橫坐標軸此曲線之各點縱坐標為

$$G_e\cdot\frac{S_e'}{h}+G_r\frac{S_r'}{h}+F_x-R_x$$

若緩進壓力 H_x' 曲線各點之縱坐標小於此曲線則砲架安定。（車輪已制動）。H_x' 曲線若高於 F'_x 曲線，則高出部分（為 38 圖示）即表示使砲架向前移動之力。若車輪於射擊時不制動，則此力宜甚小，以免復進時砲架前移。

II. 僅於復進後期作用之緩進器

此類緩進器約如圖 46 所示。在活塞桿內之液體於復進至其全行程移開始時，待至緩衝桿進入活塞桿內，液體復被擠出。其流口面積係由緩衝桿外徑與其內徑之差……桿

[illegible]之[illegible]面積[illegible]

因駐退機亦需在真空消滅後方開始作用。故在真空消滅前除小量之摩擦力及[illegible]退體重分力[illegible]外僅有復進機壓力作用。

活塞上附[illegible]復進調節環於復進時自動遮去大部分漏口者其作用情形亦相同。

第三十八圖

上圖設砲身仰角為 0° ，略去最初部分之摩擦力，則真空部分距離 01 僅有復進器壓力作用。在 1 點之砲身復進速度 $V_{r1}=\sqrt{\frac{2E_1}{\frac{G_r}{g}}}$。$E_1$ 為梯形 011 0' 之面積。設此時緩進器尚未開始作用，則僅駐退機內發生緩進壓力，在 1 點為 1[illegible]，至 2 點緩進器發生壓力，此點之速度 $V_2=\sqrt{\frac{2E_2}{\frac{G_r}{g}}}$，$E_2$ 為梯形 100[illegible]及 1[illegible]2[illegible]b[illegible] 二面積之差。設砲身復進到位之速度為 0，則此動能 E_2 需在復進到位時完全消滅。將此面積差分配於 2'ƒ' 上方，並使 cd 線與 2'ƒ' 間之距離儘量小，因此距離為 2'c 即示使砲架向前移動之力，此力宜小。cd 線自需在復進安定線下方。cd 線決定後。2 點以後之復進速度即易算出。駐退機之作用力 H'_x 因其漏口面積為已知，亦可算出。各圖之 [illegible]fb 曲線。則 cd 線與此曲線之坐標差即為緩進器壓力 H_{rx} 由已算出之 V_{rx} 及 H_{rx} 即可算出緩進器漏口面積

[illegible]

$$[illegible] = \sqrt{\frac{Q_r^2 \cdot \delta}{[illegible]} \cdot \frac{V_{rx}^2}{H_{rx}}}$$

[illegible]

Q_r 如緩進器之有效面積。如用空活塞桿及調節對桿者為空活塞桿內孔之除面積

因自空活塞桿擠出之液體係流入有壓力存在之空間，故 H_{rx} 應以 $H_{rx}-\frac{Q_r}{Q'_r}$ H'_x 則

$$q_{rx}=\sqrt{\frac{Q_r^3\cdot\gamma}{2\cdot g\cdot w^2}\cdot\frac{V_{rx}^2}{H_{rx}-\frac{Q_r}{Q'_r}H'_x}} \tag{125}$$

Q'_r 為除去 Q_r 之駐退活塞面積。

由圖（38）可見此種緩進器因一部分之後進程不能利用，故于真空消滅後緩進壓力較高卽使砲架向前之力較大，野戰砲架之具有此種緩進器者每于真空消滅時可見砲身突然減速之現象。

III. 全程作用之緩進器

常用之構造原理如圖 47 所示，若活塞向左運動，則活塞左邊之壓力使駐退液一部分通過活塞與駐退筒壁間之隙口（未繪出）流至右邊，同時一部分液體由孔 a,b 壓開活門轉向左流入活塞桿內。復進時，調節對桿壓空活塞桿內之液後向左流出，惟此時活門緊閉，液體乃經調節對桿上所刻之槽 c 流至活塞右方。槽 c 之斷面設計時可按計算結果做成。

第三十九圖

孔 a 及 b 必須有相當之尺寸，駐退桿之液體方能于後退向完全灌滿，同時此

孔之尺寸對駐退漏口之尺寸亦發生影響，茲研究如下：

1. 灌滿復進機之必需條件

Q_r. 後退間之有效活塞面積

q_{rx}. 後退漏口面積

Q_v. 緩進器之有效面積

qmm 進液孔 a,b 之最小面積.

V_x 活塞之後退速度

Y_x 液體流過 q_{rx} 之速度

Y_x' 液體流過 qmm 之速度

活塞向左運動所生之單位壓力為 p 則

$$h=\frac{p}{\gamma}$$

故 $$V_x=u_1\sqrt{2.g.h}=u_1\sqrt{\frac{2g}{\gamma}p} \tag{126}$$

$$V_x'=u_2\sqrt{2.g.h}=u_2\sqrt{\frac{2g}{\gamma}p} \tag{127}$$

若緩進器液體能于後退間灌滿則至少.

$$qmm\,V_x'=Q_v.V_x$$

$$qmm=\frac{Q_v.V_x}{V'_x}=\frac{Q_v V_x}{u_2\sqrt{\frac{2.g}{\gamma}p}}=\frac{1}{u_2}\sqrt{\frac{Q_v^2.V_x^2.\gamma}{2.g.p}} \tag{128}$$

因 $$p=\frac{H_x}{Q_r}$$

$$qmm=\frac{1}{u_2}\sqrt{\frac{Q_v^2.Q_r.\gamma}{2g}.\frac{V_x^2}{H_x}} \tag{129}$$

故 qmm 應為度數。

又 $$q_{rx}.V_x.\gamma t+qmm.V_x'.\gamma dt=Q_r.V_x.d$$

故 $$q_{rx} = \frac{1}{u_1}\sqrt{\frac{Q_r^3 \cdot \gamma}{2 \cdot g} \cdot \frac{V_x^2}{H_x} - q_{mm}\frac{u^2}{\cdots}} \qquad (130)$$

2. 若 qmm 為常數，q_{rx} 之計算

欲駐退機充滿液體

$$q_{mm} \leqq \left(\frac{1}{u_2}\sqrt{\frac{Q_r^2 \cdot \gamma \cdot V_x^2}{2 \cdot g \cdot p}}\right)_{max}$$

此式于 $V_x = V_{max}$ 爲最大，其時之 $p = \frac{H_{max}}{Q_r}$，

令 $$q_{mm} = \frac{1}{u_2}\sqrt{\frac{Q_r^2 \cdot Q_r \cdot \gamma}{2 \cdot g} \cdot \frac{V^2_{max}}{H_{max}}} \qquad (131)$$

此常數之過液孔面積除 V_{max} 處外對其他各距離皆大於所需要者，故通之液體較所需者爲多，故駐退機內之壓力一部分達於復進器內，流過 q_{mm} 之液體速度爲

$$V'_x = \frac{Q_r \cdot V_x}{q_{mm}}$$

所需之壓力爲 p'

$$V_x' = u_2\sqrt{2 \cdot g \cdot h'} = u_2\sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot p'}$$

$$p' = \frac{V_x'^2 \cdot \gamma}{u_2^2 \cdot 2 \cdot g} = \frac{Q_r^2 \cdot V_x^2}{u_2^2 \cdot q^2_{mm}} \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot g} \qquad (132)$$

復進器內之壓力爲

$$p - p'$$

駐退機之阻力爲

$$H_x' = Q_r p - Q_v(p - p') = p(Q_r - Q_v) + Q_v p'$$

或 $$H_x' = p(Q_r - Q_v) + \frac{Q_v^3 \cdot V_x^2}{u_2^2 \cdot q^2_{mm}} \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot g}$$

故

$$p=\frac{H'_x-\frac{Q_v^3 \cdot V_x^2}{g^2 mm}\cdot\frac{\gamma}{2 \cdot g \cdot u_2^2}}{Q_r-Q_v} \qquad (133)$$

又因

$$Q_r \cdot V_x = q_{rx} \cdot V_x + q\,mm \cdot V_x$$

及

$$q\,mm\,V_x = Q_v \cdot V_x$$

$$q_{rx}=\frac{V_x(Q_r-Q_v)}{V_x}$$

$$V_x = u_1\sqrt{\frac{2 \cdot g}{\gamma}\cdot p} = u_1\sqrt{\frac{\frac{2 \cdot g}{\gamma}H_x-\frac{Q_v^3 \cdot V_x^2}{u_2^2 \cdot g^2 mm}}{Q_r-Q_v}}$$

故

$$=\sqrt{\frac{(Q_r-Q_v)^3}{\frac{2g}{\gamma}u_1^2\frac{q_{rx}}{V_x^2}-\frac{Q_v^3}{q^2 mm}\left(\frac{u_1}{u_2}\right)^2}} \qquad (134)$$

第四十圖

緩進器於開始復進時亦可作用，惟爲減短復進時間，其初之壓力不宜太高，如上圖 假定其壓力於與坐部分依直線 01' 增加，(增加方式自可隨意選擇)則在 1 點之砲身速度 V_{v1} 可由斜線所示之三角形面積 E_1 (動能) 算出。在 1 點之駐退機力因 V_{v1} 及 q_{r1} 爲已知可算出，在 1' 上方分配面積 1'a b 1'' 其面積爲 E_1

1ab (積累) 1' 2' 之縱距差值量求其小，01'ab 曲線即示各點之緩進力。其他算法同前。(11)

固定砲架之算法相同，惟因其條件較鬆，算法可較簡。

緩進器於砲身仰角 0° 時設計完成後，可覆算各射角之緩進壓力及復進速度。

第七章 平衡器

I. 彈簧平衡器

砲身及搖架之重心本爲砲耳軸之理想位置，因旋轉軸通過重心故高低機手輪僅需極小量之力即可搖動砲身。惟此種設計於大射角時每減少後座長度。故近年之火砲其砲耳之地位皆向後移至搖架後部。而砲身及搖架重量所成之力矩則另加平衡器以抵消之。使高低機之受力值量減小。

a. 水平地面之平衡力

第四十一圖

M：砲耳中心
C：平衡器之支點(可轉動)
A 之射角搖架上平衡力作用點
A_0 之 =0 之平衡力作用點
A' Σ=Σ'；CA'+A'M 時之 A 點

S　砲身及搖架之重心。G_r 爲重量

$S_{(d\&\Sigma)}=0$ 之 S 位置

S'　$\Sigma=\Sigma'$ 之 S 位置

a＝CM 平衡器支點至砲耳之距離

b＝AM＝A_0M＝A' M 曲臂半徑

x＝CA 平衡器某位置之長度

h　平衡力之力臂

d 爲重心 S_0 及砲耳 M 之連結線與水平砲身軸之夾角，重心在砲身軸上方時爲正數

γ　CM 及 A_0M 之夾角

$\gamma=\gamma+\Sigma'$ CM 及 A'M 之夾角

Mm　爲 G_r 之最大力矩，即重心位置在通過砲耳中心之水平線上時之力矩。

Mg　Σ' 射角之力矩

Mf　理想之平衡力矩

Pg　Mg 在 CA 線上之作用力

Pf　在 CA 線上之平衡壓力。理想上 Pf＝—Pg；Pf 壓力時爲負，拉力時爲正。

$$Mg=Mm.\cos(\gamma+\Sigma)$$

$$Mf=Pf.h \text{ 故 } Mg=Pg.h$$

$$Pg=\frac{Mm.\cos(\gamma+\Sigma)}{h}$$

由圖　三角形 MAC 之面積爲

$$\frac{1}{2}\cdot x\cdot h=\frac{1}{2}a\cdot b\sin(\gamma+\Sigma)$$

$$h=\frac{a\cdot b\sin(\gamma+\Sigma)}{x}$$

$$Pg=\frac{Mm.\cos(\gamma+\Sigma)}{a.b.\sin(\gamma+\Sigma)}x$$

則 $a=\frac{b}{\cos Q}$

$$P_g=\frac{Mm\cdot\cos\theta}{b^2}\cdot\frac{\cos(\rho+\Sigma)}{\sin(\gamma+\Sigma)}x \qquad (135)$$

設 Cf 為彈簧常數

$$Pf=Cf\cdot x,$$

故若 Pf 需與 $-Pg$ 相等則

$$\frac{Mm\cdot\cos\theta}{b^2}\cdot\frac{\cos(\rho+\Sigma)}{\sin(\gamma+\Sigma)}=-Cf$$

上式中 $\frac{Mm\cdot\cos\theta}{b^2}$ 對某一設計為定數不因射角而變化故 $\frac{\cos(\rho+\Sigma)}{\sin(\gamma+\Sigma)}$ 應為常數方能合此條件。可能之情形有二 $\gamma=90°+\rho$ 或 $\gamma=270°+\rho$ 因

$$\gamma=90°+\rho;\quad \frac{\cos(\rho+\Sigma)}{\sin(\rho+90°+\Sigma)}=\frac{\cos(\rho+\Sigma)}{\cos(\rho+\Sigma)}=1$$

$$\gamma=270°+\rho;\quad \frac{\cos(\rho+\Sigma)}{\sin(\rho+270°+\Sigma)}=\frac{\cos(\rho+\Sigma)}{-\cos(\rho+\Sigma)}=$$

第四十二圖

此二情形示於左圖。當 $\gamma=90°+\rho$(點細所示位置),平衡器之壓力需與其長度成正比,事實上不能辦到。故不能應用

$\gamma=270°+p$ 時平衡器之拉力應與其長度成正比。

$$pf=+\frac{Mm\cdot\cos\theta}{b^2}\cdot x$$

而實際上仍可用壓縮彈簧代替之如圖所示。

$x=0$ 時 $Pf=0$ 故圖 (42) b 之彈簧壓力線 P_eP_vC 通過 C 點，若此平衡器僅用於 X_e 至 X_v 之範圍，設 P_e 為最大壓力則預壓應為 P_v

若 S 之位置自 S_e 轉至 S_v 轉角為 $\Sigma=(90°-\varphi)$ 則 A點亦轉同大之角度自 A_e 至 A 故砲身及搖架重量之力矩為 0 時平衡器之力矩亦為 O.

故理論上準確之平衡器之條件為

$$\gamma=270°+\varphi,\quad Pf=\frac{Mm.\cos\theta}{b^2}\cdot x$$

因 $\quad a=\dfrac{b}{\cos\theta}$

$$Pf=\frac{Mm}{a.b}\cdot x \tag{137}$$

b. 傾斜地面之平衡力

上述完全平衡之平衡器在傾斜地面不復完全平衡茲計其平衡力矩差如下：

地面傾角為 δ，在前高後低之斜面 δ 為正，反之為負。此時之重力矩

$$Mg'=Mm\cos(\varphi+\Sigma+\delta)$$

$\Delta M=Mg-Mg'=Mm[\cos(\varphi+\Sigma)-\cos(\varphi+\Sigma+\delta)]$ (138) 此力矩差需由高低機受之。

最常見之情形為 $\varphi=0$，將 ΔM 算出，而以 Mm 之百分率計之列成表。十號表示平衡力矩大於重力矩，一號表示小於重力矩。

Σ	$\frac{\Delta M}{Mm}\cdot 100$					
	$\delta=5°$	$10°$	$15°$	$-5°$	$-10°$	$-15°$
−10°	−1,9	−1,5	−1,1	+1,9	+4,5	+7,9
0°	+0,4	+1,5	+3,4	+0,4	+1,5	+3,4
+10°	1,9	4,5	7,9	−1,1	−1,5	−3,4
20°	3,4	7,4	12,1	−2,6	−4,5	−5,2
30°	4,7	10,0	15,9	−4,0	−7,4	−10,0
40°	5,9	12,3	19,2	−5,1	−10,0	−14,0
50°	6,9	14,3	22,0	−6,4	−12,3	−17,6
60°	7,7	15,8	24,1	−7,4	−14,3	−20,7
70°	8,3	16,8	25,5	−8,1	−15,8	−23,2
80°	8,7	17,4	26,1	−8,5	−16,8	−24,9
90°	8,7	17,4	25,9	−8,7	−17,9	−25,9

若 $\delta\neq 0$ 則表中之 Σ 之代表 $\delta+\Sigma$，

設高低機担負之 ΔM 僅允許為 Mm 之 5%. 則在向後傾斜 5° 之地面射角可至 40° 在向後傾斜 15° 之地面射角僅為 20° 故 δ 與地面之斜度不宜太。否則將影響高低機之動作。

此種設計需裝於砲耳後方，往往因地位關係不能得此理想之設計。而將平衡器裝於砲耳前方者只能得近似之平衡力矩。

亦有於彈簧及砲耳間另加曲線板等中間機構，使裝於砲耳前方之彈簧平衡器亦能達完全之平衡者，惟其構造較為複雜。

II. 空氣平衡器

大口徑火砲之彈簧平衡器重量甚大。於一般之野戰砲架亦不能如上節所述緊平衡器依照理想裝於砲耳後方。故近年來多改用空氣平衡器而裝於砲耳前方。

a. 理論上所需之平衡力 Pg

第四十三圖

需要平衡之力矩

$$Mg = Mm\cos(\delta + \Sigma)$$

$$Mm = Gr \cdot Ss$$

此力矩應與平衡力矩 Mg 相等：

$$Mg = Pg \cdot h$$

由上圖知前節

$$h = \frac{ab\sin(\gamma + \Sigma)}{x}$$

$$Pg = \frac{Mm}{ab} \cdot \frac{\cos(\delta + \Sigma)}{\sin(\gamma + \Sigma)} \cdot x$$

又　$$x = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(\gamma + \Sigma)} \tag{139}$$

故　$$Pg = Mm\frac{\cos(\delta + \Sigma)}{\sin(\gamma + \Sigma)} \cdot \frac{\sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(\gamma + \Sigma)}}{a.b} \tag{140}$$

假定 Mm, δ, γ, 及 a,b 爲已知則可得 $Pg = f_2(x)$ 曲線如下圖（　）

第四十四圖

各 x 之 Σ 亦繪出於圖上。 γ 之値與此曲線之性質有關若 γ=90°+ρ 時 $p_g = Mm \cdot \frac{x}{ab}$，即 p_g 將隨 x 而增加。故 γ 之値宜選擇較小之數。

b. 彈簧上之近似平衡力 Pf 之設計

觀上圖可見擡至 30° 以下部份與氣體等溫度變化曲線相近似如於 $\Sigma_0=0°$ 及 $\Sigma_{30}=30°$ 兩點完全符合，即 Pg=Pf 則

$$p_0 \cdot q_s \cdot l_0 = p_{30} \cdot q_s \cdot l_{30}$$

或 $$p_{g0} \cdot l_0 = p_{g30} \cdot l_{30}$$

設 $$l_{30} - l_0 = x_{30} - x_0 = c$$

C 爲自 0°—30° 平衡器之伸長度。上式 $l = \frac{V}{q_s}$。V 爲空氣容積，q_s 爲彈簧面積。l 稱爲換算長度常可與實際之平衡器長度不同。但伸長度 c 則相同。

由上二式可得

$$l_0 = \frac{p_{g30}(x_{30} - x_0)}{p_{g0} - p_{g30}} \tag{141}$$

$$p_0 = \frac{p_{g0}}{q_s} \tag{142}$$

各射角 Σ 之 p_f

$$p_f = p_{g0} \cdot \frac{l_0}{l_0 + (x - x_0)} \tag{143}$$

c. 大差別之修正法

一般在 45° 以下 p_f 及 p_g 之差別尙不大，實用上可無問題。惟如圖（30）所示大射角時 p_g 曲線向下彎曲，急總減低。而 p_f 曲線則仍向上凹，減低甚緩。故其差別加大，爲低消此大差別需另加裝置，空氣或彈簧均可利用。如圖（31）所示，當 x 增加時漸增抗力，使總平衡力 p_f' 與 p_g 相近。

d. 例題

已知：　$a_1 = 0,607m$　　　$S_1 = 0,741m$

$a_2 = 0,228m$　　　$S_2 = 0,133m$

$b_1 = 0,360m$　　　$G_r = 665kg$

$b_2 = 0,147m$

砲耳在砲身軸線上。

第四十五圖　　　第四十六圖

$a^2 = a_1^2 + b_1^2$　；　$a = 0,648m$

$b^2 = b_1^2 + b_2^2$　；　$b = 0,388m$

$S^2 = S_1^2 + S_2^2$　；　$S = 0,752m$

$tg\gamma_1 = \frac{0,228}{0,607} = 0,376$　　$\gamma_1 = 20,6°$

$tg\gamma_2 = \frac{0,147}{0,360} = 0,408$　　$\gamma_2 = 22,2°$

$\gamma = 42,8°$

$tg\beta = \frac{0,133}{0,741} = 0,1795$　　$\beta = 10,2°$

$Mm = G_r S = 665 \cdot 0,752 = 500mkg$

$x = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(\gamma + \beta)}$

已知：

$$Pg = Mm\frac{\cos(\delta+\Sigma)}{\sin(\gamma+\Sigma)}\cdot\frac{\sqrt{a^2+b^2-2ab\cos(\gamma+\Sigma)}}{ab}$$

$a=0.228m$ $b=0.147m$ $S=0.133m$

列表計算如下：

Σ (度)	γ+Σ (°)	cos (γ+Σ)	2ad.cos (γ+Σ)	a²+b² −2ab cos (γ+Σ)	√ (m)	sin (γ+Σ)	δ+Σ (度)	cos (δ+Σ)	Pg (kg)	Pf (kg)
−10	32,8	0,811	0,408	0,165	0,406	0,585	0,2	0,908	1370	1362
0	42,8	0,734	0,370	0,203	0,451	0,679	10,2	0,984	1290	1290
10	52,8	0,606	0,305	0,268	0,518	0,746	20,2	0,938	1210	1193
20	62,8	0,458	0,231	0,342	0,585	0,889	30,2	0,864	1130	1114
30	72,8	0,296	0,149	0,424	0,651	0,955	40,2	0,764	1040	1040
40	82,8	0,125	0,063	0,510	0,714	0,992	50,2	0,640	918	980
50	92,8 (87,2)	−0,049	−0,025	0,598	0,773	0,999	60,2	0,497	767	980
60	102,8 (77,2)	−0,221	−0,112	0,685	0,828	0,975	70,2	0,339	572	888
70	112,8 (67,2)	−0,387	−0,195	0,768	0,876	0,922	80,2	0,170	321	854
80	122,8 (57,2)	−0,542	−0,273	0,846	0,919	0,811	90,2 (89,8)	−0,003	−7	825
90	132,8 (47,2)	−0,679	−0,342	0,915	0,956	0,734	100,2 (79,8)	−0,177	−458	803

Pg 曲線如圖 (32) 所示。 Pf 曲線於 $\Sigma=0°$ 及 $\Sigma=30°$ 兩點符合則

$$l° = \frac{1040.0,200}{250} m = 0,832m$$

設平衡器有兩個直徑爲 5 em.則

$$qa = 2 \cdot \frac{\pi}{4} 5^2 = 39,2 cm^2$$

$$p_o = \frac{1290}{39,2} = 32,9\ kg/cm^2$$

若將各處之摩擦力計入則尚較高。

$$Pf = Pg_o \cdot \frac{lo}{lo+(x=x)}$$

列於上表及圖（32）虛線所示。

附加之彈簧「平衡力修正裝置」於 M=420；x=0,724m 開始作用。彈簧常數 $Cf = \frac{820}{20,5} \frac{kg}{cm} = 40\ kg/cm$ 其總平衡力 Pf' 如圖中點劃線所示與 Pg 曲線相近。彈簧之工作如圖中細線所示。

Pf 及 Pf' 爲免除高低機之遊隙，以稍大於 Pg 爲宜。即 Pf 及 Pf' 曲線較高於 Pg 曲線而盡量與之接近。則砲身之仰角不致因遊隙而發生不定向之誤差。