

砲彈增程技術發展之研析

作者 呂致中 中校

提要

- 一、火砲的射程越遠，對敵方的威懾力量就越大，是放諸四海皆準的概念，因此各國的火砲設計師都在設法提高火砲的最大射程。但是，火砲砲管長度的增加也將帶來重量大、機動性差、砲管燒蝕嚴重、砲管撓曲和抖動而降低射擊精度、最小射程不穩定且小號裝藥初速偏差過大等缺點，52 倍徑有可能成為榴砲砲管極限長度。
- 二、當榴砲砲管的發展到達極限時，射程的提升將取決於砲彈、拋射藥的綜合表現；相較兩者之中，砲彈彈體的改進空間最大，變化也更多，在提高射程方面之效果也最為顯著。
- 三、綜合國內外彈上增程方法，榴彈增程的技術可概括為三類：減阻法增程技術、添質加能增程技術及複合增程技術。
- 四、為了適應現代化戰爭的需要，彈藥正在朝著遠程化、精準化、殺傷破壞效能高和多用途等方向快速地發展。
- 五、隨著這些精準導引砲彈與增程砲彈的研製成功和陸續服役，傳統火砲也將具備遠程精準打擊能力。

壹、前言

火炮的射程越遠，對敵方的威懾力量就越大，是放諸四海皆準的概念，因此各國的火炮設計師都在設法提高火炮的最大射程。為了增大射程，火炮砲管長度不斷增加，由 39 倍徑增加到 45 倍，目前又增加到 52 倍。

綜觀各國現役和正在研製的榴砲，155 公厘 52 倍徑榴砲已成為各國陸軍管式火炮發展的主流。如德國 PzH2000 和韓國 K9 履帶式自走砲、法國“凱撒”輪式自走砲、南非 GS/2000 牽引榴砲和 G6-52 輪式自走砲等，都採用了 155 公厘 52 倍徑的砲管。而英國也計畫用 52 倍徑的砲管來改裝 AS-90 自走砲，法國則計畫使用 52 倍徑砲管將其裝備的一部分 AUF1 自走砲改進成 AUF2 型。根據印度陸軍規畫，除山地部隊和傘降部隊裝備的 105 公厘輕型榴砲外，其現役所有火炮都將被逐步更換成 155 公厘 52 倍徑砲管。

但是，火炮砲管長度的增加也將帶來重量大、機動性差、砲管燒蝕嚴重、砲管撓曲和抖動而降低射擊精度、最小射程不穩定且小號裝藥初速偏差過大等缺點¹。52 倍徑有可能成為榴砲砲管極限長度，用以射擊普通砲彈，射程是有限的，就口徑最大的砲彈的射程也不過 40 公里左右，今後增大射程應該在彈藥等其他方面著墨。

貳、增程技術之發展

由於現代戰爭中戰場的縱深明顯加大，為了滿足遠距離打擊目標，要求火炮具有較遠大的射程，方能對敵縱深重要目標(指揮所、集結地區、交通樞紐等)進行射擊。榴砲砲管的發展，52 倍徑可能是極限長度，故射程的提升將取決於砲彈、拋射藥的綜合表現；相較兩者之中，砲彈彈體的改進空間最大，變化也更多，在提高射程方面之效果也最為顯著。

然而增加砲彈射程有三種途徑：一、增加火炮射擊初速；二、提升砲彈飛行速度；三、減少砲彈飛行阻力。

從60年代開始，世界各國軍事技術部門一直都在研究增大射程的方法，而增程彈的射程以每10年增加25%~30%的速度在增加²。80年代以來，增程彈的射程又有明顯提高，新一代中大口徑增程彈業已研製成功，正逐步裝備部隊。

參、增程彈種類

綜合國內外彈上增程方法，榴彈增程的技術可概括為三類，分述如后：

¹ “戰爭之神” 走向何方——國外砲兵武器裝備發展趨勢，現代兵器，2006 年第 09 期，<<http://www.cngc.com.cn>> (2008 年 8 月 11 日)。

² 李臣明，「發射武器增程技術概述」，<<http://www.qikan.com.cn>> (2008 年 8 月 11 日)。

一、減阻法增程技術——包括：彈形減阻技術、減小空氣阻力加速度技術與姿態減阻技術等。

(一)彈形減阻技術：彈形減阻是其他增程技術應用的前提，主要是藉由改變砲彈長徑比、彈頭部長占砲彈全長的比例、彈頭部弧形部半徑、彈尾長度、船尾角等參數，減小砲彈空氣阻力，達到增程目的。

彈形減阻的關鍵是減小震波阻力和渦流阻力。對震波阻力影響最大的因素是砲彈的全長和彈頭部長占全彈長的比例。影響渦流阻力最大的因素是尾錐長度及船尾角度。

為了減小阻力增大射程，近十幾年，增程彈的彈長及彈頭部長占全彈長的比例發生很大變化，老式榴彈彈長只有4.5倍彈徑左右，增程彈彈長超過6倍彈徑，使阻力減小30%以上。從增程彈的發展過程考慮，根據彈長與阻力的關係，可把增程彈分為：底凹圓柱彈和低阻增程彈。

1.底凹榴彈：底凹榴彈由美國在60年代初最先開始研製，它因在砲彈底部採用底凹結構而得名。底凹榴彈的主體外形與平底榴彈相似，目前已逐漸代替平底榴彈。具備以下幾個主要特點：

(1)底凹的深度影響彈渦流阻力：底凹結構呈圓柱形，底凹與彈體為一個整體時即為整體式底凹彈，與彈體螺接時即為螺接式底凹彈。底凹結構凹窩的深度若取0.2~0.4倍彈徑，即為淺底凹，如圖1所示。凹窩的深度若取0.9~1.0倍彈徑，即為深底凹，如圖2所示。底凹深度的設計取決於砲彈的飛行速度，據風洞實驗表明，在次音速和穿音速範圍內，底凹結構可使彈底低壓渦流強度減弱，局部真空區域被空氣填充，從而提高了彈底部的壓強，使底部阻力減小。底凹深度以取0.5倍彈徑為宜，而在超音速範圍內，底凹深度與底壓的關係不大。

(2)易於增加彈體強度：採用底凹結構，可以將彈帶設置在彈體與底凹之間的隔板處，提高了彈體強度。

(3)提高威力：由於砲彈的增長，雖有底凹部分，但炸藥藥室的長度並未減短，同時由於彈帶設置在彈體與底凹之間的隔板處，使彈體強度得到改善，可使彈壁減薄，從而炸藥藥量增加，提高了砲彈的威力。

(4)砲彈細長且飛行穩定性提高：採用底凹結構後彈頭部形狀尖銳，彈底前移，全彈長可超過旋轉穩定式平底榴彈。由於砲彈的增長，彈帶又靠近彈底面，從而增長了導引部，提高了砲彈膛內運動的正確性，有利於提高外彈道性能。

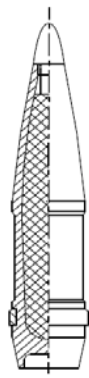


圖1 淺底凹榴彈

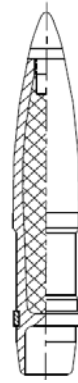


圖2 深底凹榴彈

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論(北京：國防工業出版社，2004年)，31頁。)

底凹結構使整個砲彈的重心前移，壓力中心後移，又使飛行中翻轉力矩減小，這些都有利於砲彈的飛行穩定性，使空氣阻力減小，且砲彈的散佈也得到改善。

2.低阻增程彈：低阻增程彈依砲彈直徑與火砲口徑相比來看，有兩種發展形式：一是全口徑低阻增程彈，砲彈直徑的名義尺寸與火砲口徑相同；二是次口徑低阻增程彈，砲彈直徑的名義尺寸比火砲口徑略小。次口徑低阻增程彈是在全口徑低阻增程彈基礎上發展起來的，其射程可進一步增加，除了彈形可進一步改善外，在相同條件下，次口徑低阻增程彈可獲得比全口徑低阻增程彈略大的初速。加拿大 70 年代研製成功的 155 公厘全口徑低阻增程彈結構如圖 3 所示。

低阻增程彈具備以下幾個主要特點：

- (1)低阻增程彈結構設計的最大特點是除去了圓柱部，整個彈體由約為4.8倍彈徑長的弧形部和約為1.4倍彈徑長的彈底部所組成。
- (2)利用砲彈弧形部上安裝的4片定心塊和位於砲彈最大直徑處的彈帶來解決全口徑低阻增程彈在膛內發射時的定心問題。
- (3)低阻增程彈的長徑比較大，一般都在6倍彈徑以上，彈頭長為全彈長的80%。在目前各類榴彈中，低阻增程彈的阻力係數最小，阻力比老式圓柱榴彈減少25%~30%。
- (4)在結構設計上低阻增程彈一般均同時採用底凹結構。

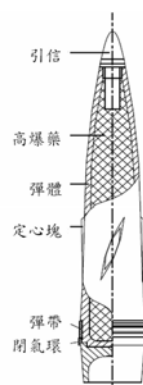


圖3 全口徑低阻增程彈結構示意圖

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，32頁。)

(二)姿態減阻技術--滑翔增程彈：滑翔增程彈是彈體上裝有翼面的砲彈，如圖4所示。其增程原理是：砲彈在以一定速度飛行、保持一定攻角的情況下，能依靠彈翼產生向上的升力，使砲彈的滑降速度減慢，從而飛行較遠的距離、達到增大射程的目的。國外已有的滑翔增程彈有 M982 式 155 公厘複合增程彈等。具備以下幾個主要特點：

- 1.砲彈飛行至彈道頂點附近，慣性導引滑翔增程裝置彈出。
- 2.在彈道降弧階段，藉由陀螺儀產生慣性定位指令，驅動舵片提升砲彈飛行升力，並使升力與砲彈本身重力達成平衡。
- 3.滑翔控制系統利用實際飛行姿態與理想飛行姿態行程之角度誤差，控制舵片偏角，產生控制力矩修正砲彈飛行姿態，使砲彈延平直彈道滑翔飛行，提升射程。



圖4 滑翔增程彈示意圖

(資料來源：李臣明，「發射武器增程技術概述」，< <http://www.qikan.com.cn> > (2008年8月11日).)

二、添質加能增程技術——底排減阻增程技術、火箭助推增程技術、衝壓增程技術等。

(一)底排減阻增程榴彈：底排榴彈首先是瑞典於 60 年代中期開始研製的。許多國家和地區都採用底排增程技術，底排增程率在 25%~30%，到 21 世紀其增程率可望提高到 40%~50%。

- 1.底排減阻增程原理：對於圓柱形砲彈，如圖 5 所示，在彈尾部形成低壓區，產生底部阻力。在超音速條件下，對於一般圓柱形砲彈，渦流阻力

占總阻 30%左右。對於低阻遠程彈，渦流阻力占總阻的 50%~60%。如果想辦法向尾部低壓區排放氣體，提高底壓，就可以減小渦流阻力，增大射程。

如果把尾部低壓區考慮成周圍被氣體邊界包圍的一定空間，根據氣體熱力學原理，向這一空間排入品質或向這一區域排放熱量(相當增加能量)，都可提高這一空間的壓力，使砲彈渦流阻力減小，從而增加射程，這就是底排增程的基本原理。

從這一原理可以看出，底排增程與火箭增程雖然都是向尾部區域排氣，但是二者有本質的區別。前者是提高底壓減小渦流阻力，屬於減阻增程，後者是利用動量原理，提高砲彈的速度。底排的作用效果由三方面因素組成，即加入品質的效果，加入能量的作用效果和動量變化的作用效果。

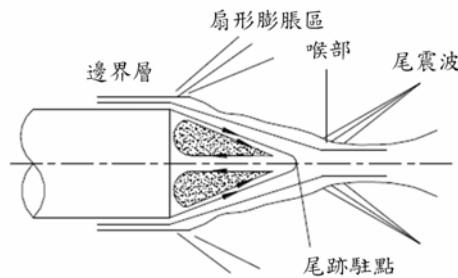


圖5 尾流區的流動示意圖

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，33頁。)

2.結構組成：底排榴彈都是旋轉穩定砲彈，在外形設計上主要有圓柱形和低阻形兩種形式。圖 6 和圖 7 分別給出了圓柱形和低阻形兩種形式的底排榴彈結構示意圖。圓柱形底排榴彈由蛋形部、圓柱部、彈底部、定心部、彈帶和底排裝置組成。低阻形底排榴彈由蛋形部、彈底部、定心部、彈帶和底排裝置組成。底排榴彈 25%~30%的增程率主要由減小渦流阻力貢獻得到，所以其外形結構設計必須以提高渦流阻力占總阻的比例份額為目標。一般通過增加砲彈總長、增加蛋形部的曲率半徑和長度、縮短圓柱部長度、增加彈底部長度、減小彈底部船尾角度等措施來實現。同時底排增程效果又與砲彈飛行馬赫數有極大的關係，希望在底排裝置工作期間砲彈飛行馬赫數大於 2.5，這就要求底排榴彈的初速不低於 2.5 馬赫數。

在超音速條件下，對於一般圓柱形砲彈，渦流阻力占總阻的30%左右。對於低阻增程砲彈，渦流阻力占總阻的50%~60%(由於低阻增程彈

型對砲彈威力發展限制較大以及瘤翼加工技術複雜等原因，該彈型不太常用)。對於圓柱形遠程彈，通常渦流阻力占總阻的40%~45%。PL59-1式130公厘底排榴彈的總長達到了6.25倍彈徑，其蛋形部的曲率半徑為25倍彈徑，蛋形部的長度為3.65 倍彈徑，圓柱部長度為2.01 倍彈徑，彈底部長度為0.59 倍彈徑，船尾角度為3°。該彈在底排裝置不作用時，渦流阻力占總阻約45%。當以初速947m/s和45°射角發射時最大射程達到37.5公里，其中底排減阻和外形優化雙方面的綜合表現增程率達到了39%，而底排減阻增程率達到了30%，是目前圓柱形增程彈中增程效果十分顯著的設計典範。

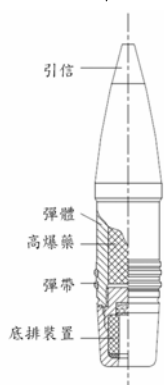


圖6 圓柱形底排彈結構示意圖

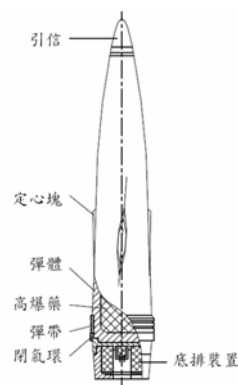


圖7 低阻底排彈結構示意圖

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，33頁。)

3.底排裝置的組成及其作用分析：圖8和圖9分別給出了採用複合藥劑和煙火藥劑的底排裝置結構示意圖。

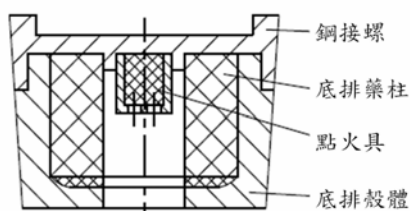


圖8 複合藥劑底排裝置結構示意圖

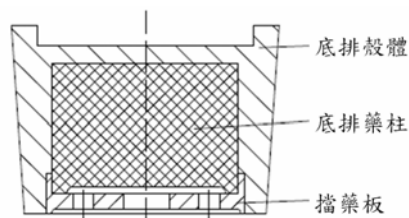


圖9 煙火藥劑底排裝置結構示意圖

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，34頁。)

(1)複合藥劑底排裝置：一般由鋼接螺、底排藥柱、點火具和底排殼體等組成。鋼接螺的作用是將砲彈戰鬥部殼體與底排殼體相聯接，並固定點火具。底排殼體的作用是將底排藥柱徑向與軸向固定，提供藥劑燃燒的空間，並通過其底端的排氣孔控制藥劑的燃燒規律與燃氣的排出流率。根據底排彈總體結構設計的需要，通常底排殼體材料採用硬質鋁合金。底排藥柱的作用是按預先設計的燃燒面維持一定時間、一定燃燒規律的燃氣生成。

複合型底排藥劑燃速較低、密度較小，通常需要獨立的點火具，這些特點對減阻效果和總體結構匹配設計都不太有利，但複合型藥柱通常設計為中空多瓣結構，發射時高溫高壓燃氣充滿底排裝置，使其具有很好的抗高超載能力，採用中孔面和縫隙面燃燒方式。

複合型底排藥劑在火砲膛內由發射藥的高溫高壓氣體點燃，但在砲口附近卸壓時會出現被抽滅的現象，故為了確保底排彈的最大射程密集度，需要點火具提供持續的燃氣維持底排藥柱的持續燃燒。點火具的作用是在火砲膛內和砲口附近維持一定時間的持續燃燒，其燃氣確保底排藥柱全面可靠的點燃。點火具內裝有由鋅粉、鎂粉和黑火藥等混合而成的點火藥劑，一經火砲發射時發射藥的高溫高壓氣體點燃後，就能維持一定時間的持續燃燒，在砲口卸壓時也不會被抽滅，從而可以提供持續的燃氣維持底排藥柱的持續燃燒。

對於複合型底排藥劑目前正在研製煙火藥劑遞進式點火方式。煙火藥劑遞進式點火方式利用發射時高溫高壓燃氣直接同時點燃藥劑的所有可燃面，由煙火藥劑提供持續的燃氣。經多型底排彈多次射擊試驗的考核，這種點火方式可以較好滿足複合型底排藥劑的砲膛內外點火的持續性要求。

(2)煙火藥劑底排裝置：一般由底排藥柱、檔藥板和底排殼體等組成。煙火型底排藥劑燃速高、排氣流量大、密度大，不需要獨立的點火具，這些特點對減阻效果和總體結構匹配設計都是有利的，但為了滿足發射時抗高超載的強度要求其藥柱通常設計為實心整體結構，並採用端面燃燒方式。煙火藥劑底排裝置通常需要獨立的檔藥板，該檔藥板採用多孔結構形式，既能有效支撐煙火藥劑，又能提供較大的通氣面積。

4.底排榴彈的底排裝置設計是至關重要的，底排裝置的設計要素：

(1)底排藥劑的性能：底排藥劑配方影響底排藥柱的力學性能、彈道性能、生產工藝性能和勤務使用性能。在底部排氣彈研製過程中的大量試驗證明，不同藥劑配方對底排減阻效果影響較大。

(2)排流參量和工作時間：底排工作時的排流參量應控制在一定的範圍。底排作用時間不宜過長，約為砲彈全彈道飛行時間的四分之一。

(3)船尾長與船尾角的選取：船尾角和船尾長直接影響尾流區的流動狀態，也就是對底壓或渦流阻力產生影響，同時影響渦流阻力占總阻

的比例。在這種情況下，底部排氣的減阻效果一定受到影響。理論計算和試驗證明，在一定的初速、射角、排氣參數的條件下，存在減阻最大的最佳船尾角，一般為 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ；在船尾角減小的同時改善了彈尾部的機械強度，也提高了砲彈的穩定性。

- (4)底排彈底板結構參數：底部排氣彈底板結構參數包括：排氣孔面積比、排氣孔形狀與位置、燃燒面積與排氣孔面積比...等。排氣孔面積與彈底面之比稱為排氣面積比。在冷排氣的條件下，它對減阻效果影響較明顯，但是在實際藥劑工作條件下，影響不大；排氣孔的形狀與位置對點火過程有一定影響；藥柱燃燒面與排氣面積之比，有一極限數值，小於這一極限值，對減阻有一定影響。

在底排擋板排氣孔結構的設計上，通常設計為中心排氣結構。這主要是針對複合劑燃燒時要求具有較高的環境壓力。但是當排出氣體的分動量較大時，採用這種結構會使氣體產生較強的引射作用，帶走一部分氣體，出現旋渦，使底壓降低，降低底排裝置的減阻效果。而煙火劑的燃燒機理與複合劑不同，不要求較高的環境壓力，所以在設計底排擋板的時候，可以增加排氣孔面積，將其設計為底部均勻排氣結構。兩種排氣結構的燃氣流場如圖10所示。

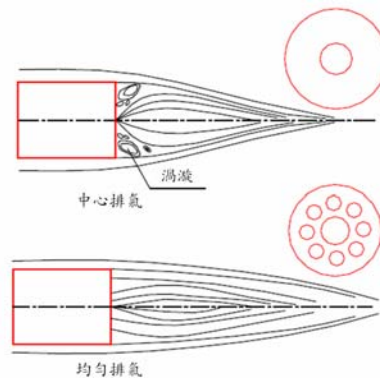


圖10 兩種排氣結構的燃氣流場示意圖

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，36頁。)

5.底排彈的優點：

- (1)相對其他遠程彈來講，底排彈的結構簡單，只要在砲彈底部加裝排氣裝置即可。
- (2)基本上不減少砲彈的有效載荷(戰鬥部品質)，因而不會使威力降低。
- (3)由於空氣阻力的減小，從而增大了射程。
- (4)由於底排裝置的燃燒室工作壓力低，因而對裝置殼體的要求低。可以利用原來的底凹彈加裝底排裝置來實現增程，而不必要採取特殊的

措施提高強度。

(二)火箭增程彈：其增程原理就是利用二次點火，提供加速動力的砲彈。它是在普通砲彈的砲彈底部開設了一個能裝推進劑的發動機室。當砲彈飛離砲口之後，發動機室內的推進劑被點燃，向後噴出高速氣流，並與空氣產生反作用力，從而推動砲彈加速飛行，提高火砲的射程。

火箭增程彈問世最早，發展歷史也最長。早在20世紀60年代，美國就將它研製成功並分別配備了105公厘、127公厘、155公厘和203公厘口徑的4種火砲。因為它在不改變發射條件的情況下，就可把射程提高25～30%，並且對於發掘老式火砲的潛力、充分利用現有裝備，有著積極的作用。所以，繼美國之後的很短一段時間內，蘇聯及西方一些國家也都裝備了這種彈。然而，由於它砲彈尾部原來裝藥的地方被發動機室占去了一部分，這就減少了砲彈炸藥的裝填量，因而也降低了砲彈的威力。並且，推進劑的燃燒要在飛行中進行，其工作狀況受很多因素的影響，以致射擊精度也變差，加上它內部結構複雜，生產成本較高，所以把它當作輔助的彈種。

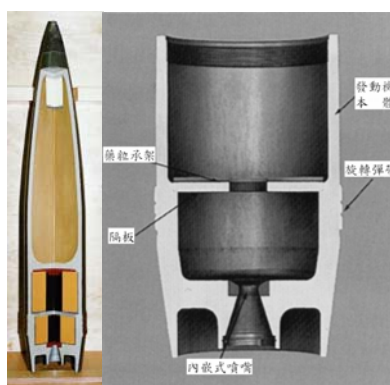


圖11 M549A1式155公厘火箭增程高爆榴彈

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_0453.htm>(2008年8月11日))

(三)衝壓增程彈：衝壓發動機，即係利用特殊組件與設計，吸入高速氣流，以取代燃氣渦輪發動機的壓縮器與渦輪，提供較高動力。相較於火箭推進系統，由於衝壓燃燒不需要另行攜帶氧氣，因此本身重量可大幅降低，進而增加載具酬載能力；或在同樣酬載下，縮小載具外形。

衝壓發動機需要砲彈高速飛行以點燃，僅藉由火砲發射獲得引擎點火速度，但是不像飛彈需要由另外的火箭推進器提升速度。固體燃料衝壓發動機具備結構複雜性低、並提供良好的推進表現，藉由火砲發射過程，使它成為眾家矚目的推進系統。

其增程原理係藉火砲射擊，使砲彈加速到4.0馬赫(1,360 m/s)。超

音速的空氣自進氣口吸入通過內在的震波系統，壓縮且加熱成為次音速空氣流。熱的高壓空氣進入燃燒室，空氣的溫度足使燃料與空氣的混合氣點火。燃燒氣體經由噴嘴排出，氣體經噴嘴加速由次音速的到超音速，產生能抵消砲彈空氣阻力及增加速度的推進力。

當攻擊目標的時候，藉由使用固體燃料衝壓增程砲彈，提升射程、增加速度及動能(KE)，最重要的是減少了飛行的時間，後二者的改良有效增加對目標的殺傷機率。

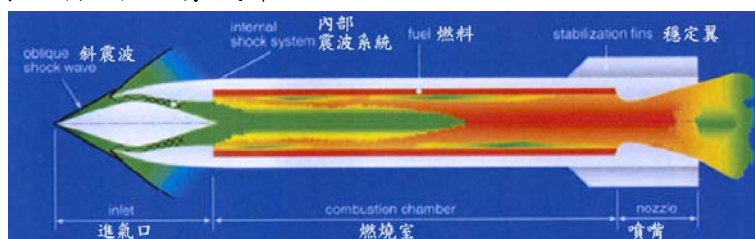


圖12 具穩定翼之固體燃料衝壓增程砲彈

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/idr2007/idr10266.htm>>(2008年8月11日))

美國已經開發一款超音速的衝壓發動機，以碳化氫做為燃料。100公厘口徑的砲彈藉由超音速衝壓發動機，以5馬赫的速度推進，在30毫秒的時間推進超過 80 m 的距離。



圖13 該砲彈於測試時以超音速衝壓發動機推進30毫秒時間

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jmr2001/jmr00423.htm>>(2008年8月11日))

三、複合增程技術——即各種方法的綜合應用，如底排與火箭複合增程與衝壓發動機複合增程等。

(一)底排——火箭複合增程榴彈：係針對砲彈飛行阻力的變化規律，綜合應用底排減阻和火箭助推兩項增程技術的新型增程途徑，採用先底排後火箭的增程方式能夠充分發揮這兩種增程技術的優勢而避免其缺點。當這種複合增程與高初速、低阻彈形技術相結合時，可使增程率達到 50%以上。

底部排氣技術和火箭助推技術是已被人們所熟知的兩種有效的增程技術，已分別在多種口徑砲彈上得以應用。然而，將兩者同時應用到同一砲彈上，卻是許多國家彈藥設計人員近十幾年來致力探索的一種使砲彈打得更遠的新型增程途徑，集兩種增程技術於一體的複合增程彈在許多方面有著不同于一般普通砲彈的特殊性。

1.複合增程原理：底排火箭複合增程基於這樣一種設計思想，如果在空氣密度較大的區域，保持低阻力，使速度損失很小，當砲彈進入空氣密度較小的區域，再加速，這樣速度損失小；砲彈在空氣密度很大的空間加速，由於速度很快增加，空氣阻力也增大很快，將損失較多速度。底排—火箭複合增程彈能夠獲得更大射程的理論依據是：砲彈出砲口後在空氣密度很大的低空飛行，空氣阻力大，渦流阻力占全部空氣阻力的比例也大，因此採用底部排氣減阻增程。當砲彈進入空氣密度小的高空時，再用火箭發動機加速，以獲得更高的增程率。

2.總體佈局形式：設計時，底排裝置總是置於砲彈的最底部，而火箭裝置可以放置於砲彈的不同部位。依據火箭裝置與底排裝置的相對位置，底排—火箭複合增程彈的總體結構佈局形式主要有如下三種基本結構形式：

(1)前後分置式：此結構即在彈體之蛋形部配置火箭裝置。圖14所示的美國155公厘M982型155公厘複合增程彈屬於此種佈局形式。由於前置火箭發動機完全依就砲彈頭弧形狀來設計，有效地利用了砲彈頭部空間，使砲彈的有效隨行載荷裝載空間不致減小太多，既可達到一定程度上的增程效果又確保了砲彈一定的威力性能。由於這種佈局形式其火箭裝置與底排裝置的排氣通道不重疊，可以實現二個裝置的非同步工作(即底排結束後火箭開始工作)或工作時段部分重疊的同步工作(即底排工作的同時火箭也工作)，但火箭點火序列設計難度較大，砲彈結構比較複雜。

(2)彈底並聯式：此結構即火箭藥柱在外圈、底排藥柱在內圈同處一個裝置內，並共用同一個排氣口。圖15所示的法國OERAP-H3型155公厘的底排—火箭複合增程彈採用的就是此種佈局形式，這種佈局結構最為簡單，也可能是威力犧牲最小的，但經計算與試驗表明其複合增程效率有限。另外火箭藥柱點火的一致性難以保證，並且只能實現先底排後火箭的非同步工作。

(3)彈底串聯式：此結構即火箭裝置與底排裝置同處彈底部，相對彈頭而言，火箭裝置在前，底排裝置在後，呈串聯方式排布。圖16所示的俄羅斯152公厘底排火箭複合增程彈就採用了此種佈局形式。目前，南非155公厘底排火箭複合增程彈也是採用了此種佈局形式。由於火箭裝置與底排裝置同居彈底，不與砲彈的傳爆序列或拋射序列發生干涉，使整個砲彈總體結構佈局相對簡單。根據火箭排氣通道的設計與安排，這種基本形式可以實現非同步工作或同步工作，從而可以演變成同系列的多種結構佈局形式。由於底排裝置與火箭裝置均占居砲彈有效的圓柱段空間，會使彈體有效攜載空間(即威力性能)大為降低。

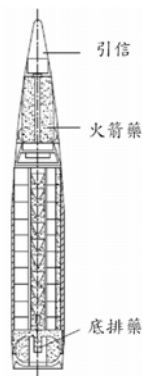


圖14 前後分置式佈局



圖15 並聯式佈局

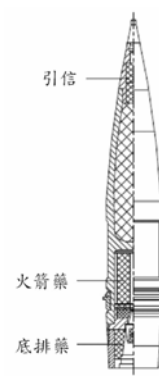


圖16 串聯式佈局

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，38頁。)

3.彈道特徵：以先底排後火箭工作時序為例，底排—火箭複合增程彈的飛行彈道分為底排減阻增程彈道(OB 段)，被動彈道 1(BR 段)，火箭增速增程彈道(RK 段)，被動彈道 2(KSC 段)，如圖 17 所示。在全彈道上存在六個特徵點，即發射起點(O)、底排工作結束點(B)、火箭點火工作點(R)、火箭工作結束點(K)、彈道頂點(S)、砲彈落點(C)。

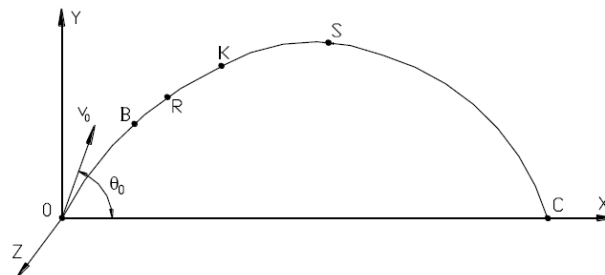


圖 17 底排—火箭複合增程彈彈道軌跡

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，38頁。)

O點：為底排藥劑的理論點火時間，但實際的底排點火時間有推後趨勢並存在一定的散佈。

B點：為底排藥劑的燃燒結束點，由底排藥劑的空中燃燒特性決定。

R點：為火箭藥劑的理論點火時間，但實際的火箭點火時間存在一定的散佈。對優化設計的複合增程彈道方案，該段彈道一般不應存在，實際的R點通常會在之前。只有當火箭實際點火時間比預先設定點火時間滯後，才会有該段彈道的存在。理論設計上R與B兩點重疊最佳。

K點：為火箭藥劑的燃燒結束點，由火箭藥劑的空中燃燒特性決定。

在砲彈的飛行穩定性和彈道後段的大氣氣象條件相同情況下，B點與K點的彈道諸元完全確定KSC段的彈道，亦即完全確定砲彈的射程與偏航或C點的彈道諸元。

4.底排與火箭的工作時序與工作方式

由底排減阻機理及規律可知，底排裝置最佳的點火工作時機是砲彈出砲口即工作，這時砲彈空氣阻力最大，渦流阻力最大，減阻效果最好；而由火箭助推原理可知，火箭助推裝置不宜一出砲口即點火工作，其主要原因有：

(1)砲口擾動大，經火箭助推會加大橫向散佈精度。

(2)砲口附近砲彈阻力加速度最大，火箭助推能量損失大，而增速效果較差。

(3)砲口附近彈道區段是底排工作的最佳時域。

所以，底排—火箭複合增程彈正常的工作時序應該是底排在先、火箭在後。

火箭藥是高速燃燒型，其工作時間極短，一般在2秒以下，而底排藥則是緩慢燃燒型，其工作時間較長，一般在20秒左右。若採用底排—火箭同步工作方式，在火箭結束後底排還有較長一段的工作時域。可見，底排—火箭採用不同的工作方式，其彈道特性也不同。

對於底排—火箭同步工作方式，複合增程彈的飛行彈道可分為四階段：

(1)底排前期工作彈道：即砲口至火箭點火時刻，底排減渦流阻力效果最佳的工作時域。

(2)底排與火箭同時工作彈道：在該彈道段以火箭助推增程為主。當然兩者同時工作會產生一定的干擾，有可能導致底排藥劑終止燃燒或藥柱破壞甚至掉落。

(3)底排後期工作彈道：理論計算與試驗結果顯示這一階段底排效果還較明顯。

(4)砲彈自由飛行彈道。

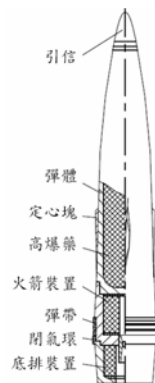


圖18 複合增程彈結構示意圖

(資料來源：李向東...等編著，彈藥概論，39頁。)

對於底排—火箭非同步工作方式，複合增程彈的飛行彈道可分為三階段：(1)底排工作彈道；(2)火箭工作彈道；(3)砲彈自由飛行彈道。

5.結構組成及其作用分析：圖 18 所示的是一種低阻型底排—火箭複合增程榴彈，該彈採用了彈底部串聯式總體佈局結構，由戰鬥部、引信、底排裝置和火箭裝置等構成。

底排裝置與火箭裝置的匹配設計是底排—火箭複合增程彈的關鍵環節之一。

(1)底排裝置：底排裝置一般由底排殼體和底排藥柱組成。底排藥柱通常採用複合型底排藥劑，為了給火箭發動機噴管留出排氣通道，底排藥柱不採用獨立的點火具，而採用目前正在研製煙火藥劑遞進式點火方式。

(2)火箭裝置：火箭裝置由箭藥燃燒室、火箭藥柱、火箭空中點火具、噴管、噴堵、堵蓋等零部件組成。火箭發動機的殼體通常上下兩端都車制螺紋，分別與戰鬥部殼體和底排裝置殼體相連接。

為了承受10000g以上火炮發射超載和膛內300MPa以上高溫高壓氣體的衝擊與燒蝕，燃燒室、噴管、噴堵、堵蓋等零件必須構成一個抗高超載與抗高速旋轉的結構元件。火箭發動機不工作時噴堵、堵蓋必須密閉噴管排氣通道，而火箭發動機開始工作時噴堵、堵蓋則必須被順利噴出，使噴管排氣通道暢通。

目前可用於砲射火箭增程彈的火箭藥主要有改性雙基型和複合型二種。由於火炮用複合增程彈的總長受到飛行穩定性的限制，彈長設計

分配的空間十分有限，希望火箭發動機占彈長的比例小些為好，這就要求火箭藥的比衝值大些為好。由於複合型火箭藥要比改性雙基型火箭藥的比衝值大，故複合型火箭藥可以作為首選。

由於火箭發動機的起始工作時刻是在飛行彈道高空，則火箭藥的點火必須採用延期點傳火方式。延期點傳火方式一般有二種：(1)火藥延期；(2)電子定時。後者在工程實現上要相對複雜許多，故一般採用火藥延期點傳火方式。

火藥延期點傳火方式的起始點火能源提供途徑一般有二種：(1)發射時的高溫高壓燃氣直接點燃火藥延期體；(2)發射時的砲彈環境力(軸向慣性力或離心慣性力)擊發火帽產生火焰點燃火藥延期體。前者是最為安全的點傳火方式。

肆、各國發展現況

一、南非--Denel 公司 Assegai 系列 155 公厘砲彈³

南非 Denel 公司成功研製符合 NATO 標準的 Assegai 系列 155 公厘全膛增程彈和雙模組裝藥系統，接到訂單後即可批量生產。為了提高精度，還將為砲彈配備彈道修正引信。該彈藥系列可供各種 155 公厘牽引和自行榴砲使用：最適合 52 倍口徑身管火砲，已在德國 PzH2000 式等 155 公厘自行榴砲上進行過試射；也可由 39 倍、45 倍和 47 倍口徑身管榴砲發射。

Assegai 系列砲彈均為長度 783 公厘(底排型-804 公厘)，重 41.4 公斤(底排型-43.4 公斤)，具備相同彈型及氣動力參數；也就是說，除 M2005 式全膛增速遠程砲彈外，它們都可以使用相同的射表實施射擊諸元計算。主要有如下彈種：

- (一)M2000 式全膛增程榴彈：彈體用鍛壓的高級鋼材製成，裝有 8.3 公斤 TNT 炸藥，可配用制式觸發引信、電子時間引信和近炸引信，爆炸破片比普通榴彈更具殺傷力，命中目標的效果有較大提高。
- (二)M2001 式全膛增程雙效子母彈：彈內裝有 42 枚殺傷/反裝甲雙效子彈。每枚子彈裝有帶自毀裝置的觸發引信，爆炸後子彈破片在 50 平方公尺的面積上散布，其聚能裝藥可穿透 120 公厘厚的鋼裝甲。
- (三)M2002 式全膛增程遮蔽發煙彈：彈內裝有 4 個各重 1 公斤的發煙罐。當彈丸飛行到目標上方 400 公尺高度時，拋射藥將發煙罐從彈體拋出，隨

³ 詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_5165.htm>(2008 年 8 月 11 日)

即產生煙雲。每個發煙罐產生的煙雲可遮蔽 60~80 平方公尺地域，並在煙雲形成後 60~90 秒時間內，使紅外和可視偵察完全失效。

(四)M2003 式全膛增程照明彈：彈內裝有一個懸掛在降落傘下面的照明炬。照明煙火劑重 2.4 公斤，由鎂、硝酸鈉和粘合劑組成。在彈丸頭部的時間引信的作用下，照明炬在目標上方 1000 公尺的高度上由拋射藥拋出，並在約 550 公尺的高度上被點燃，爾後以 4.5 公尺/秒的速度降落。照明炬可燃燒 110 秒，光強為 100 萬燭光。

(五)M2004 式全膛增程黃磷發煙彈：彈內裝有由黃磷、燃料填加劑、氧化劑和粘合劑組成的煙霧/燃燒混合劑，重 3.8 公斤。該混合劑被拋射藥拋出後，以 900℃ 的溫度燃燒 70 秒鐘，除能產生遮蔽肉眼觀察的白色煙霧外，還能點燃附近的可燃材料。

以上 5 種增程全膛彈的射程相同：用 52 倍口徑身管 155 公厘榴砲發射時，無助推的船尾型彈的射程大於 30 公里，彈底排氣彈的射程大於 40 公里。

(六)M2005 式全膛增速遠程砲彈(Velocity enhanced Long Range Projectile , V-LAP)：它結合了彈底排氣減阻與火箭增程兩種機制。發射後，底排裝置的燃氣藥柱首先點燃；在完全燃盡之後，火箭助推發動機被點燃，以產生增大射程的推力。用 52 倍口徑身管 155 公厘榴砲發射時，射程可達到 53 公里以上。

V-LAP 彈利用底部排氣和火箭發動機助推達到增程目的。當砲彈飛行到彈道最高點附近時，火箭發動機點火工作，通過提高彈道最高點進一步實施增程。據悉，Denel 公司正在進行一項經由使用彈道修正引信進一步提高射擊的精度和穩定性的研究。

英國《詹氏防衛週刊》2006 年 4 月 21 日刊報導，南非 G6-52L 式 155 公厘自走砲，在最新的試驗中，發射增速遠程彈(Velocity - enhanced Long range Artillery Projectile, V-LAP)時，創下了 155 公厘管式火砲射程的新紀錄，在海拔為 1000 公尺，溫度達 50℃ 的 Alkantpan 靶場進行的試驗，達到了 75 公里，射程概率誤差為 0.38%，方向概率誤差為 0.58 密位，砲彈初速為 1030 公尺/秒。



圖18 M2000式全膛增程榴彈



圖19 M2001式全膛增程雙效子母彈



圖 20 M2002 式全膛增程遮蔽發煙彈



圖 21 M2003 式全膛增程照明彈



圖22 M2004式全膛增程黃磷發煙彈



圖23 M2005式全膛增速遠程砲彈

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_5165.htm>、

<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_5163.htm>、

<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_5158.htm>、

<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_5159.htm>、

<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_5160.htm>(2008年8月11日)、

南非--Denel公司Assegai 系列155 公厘砲彈DM)

南非 Denel 公司 Assegai 系列 155 公厘砲彈性能表

(資料來源：作者繪製)

型 式	內 裝	初速壓最大射程				距離散佈 (50%命中界)	方向散佈 (50%命中界)	重 量 (不含信管)
		射擊砲管 長度(倍徑)	船尾型 底排型	船尾型 底排型	船尾型 底排型			
M2000 ERFB HE (全膛增程高爆彈)	8.3 kg TNH	52 倍徑	940 m/s	345 MPa	>30000m	<0.96%	41.8 kg / 43.4 kg	
			956 m/s	365 MPa	>40000m			
	39 倍徑	820 m/s	320 MPa	>25000m				
		840 m/s	340 MPa	>31000m				
M2001 HE/DPICM (高爆/雙效子母彈)	42 枚 雙效次子彈	52 倍徑	930 m/s	310 MPa	>30000m	<0.8 %		
			948 m/s	335 MPa	>40000m			
	39 倍徑	820 m/s	320 MPa	>25000m				
		840 m/s	340 MPa	>31000m				
M2002 ERFB screening-smoke (全膛增程煙幕彈)	4 × 1 kg 發煙罐	52 倍徑	940 m/s	345 MPa	>30000m	<2 mils		
			956 m/s	365 MPa	>40000m			
	39 倍徑	820 m/s	320 MPa	>25000m				
		840 m/s	340 MPa	>31000m				
M2003 ERFB illuminating BE (全膛增程照明彈)	2.4 kg 照明劑	52 倍徑	940 m/s	345 MPa	>30000m	<0.96%		
			956 m/s	365 MPa	>40000m			
	39 倍徑	820 m/s	320 MPa	>25000m				
		840 m/s	340 MPa	>31000m				
M2004 ERFB smoke RP BE (全膛增程黃磷煙幕彈)	3.8 kg 黃磷煙幕罐	52 倍徑	940 m/s	345 MPa	>30000m	<0.96%		
			956 m/s	365 MPa	>40000m			
	39 倍徑	820 m/s	320 MPa	>25000m				
		840 m/s	340 MPa	>31000m				
M2005 ERFB HE V-LAP (全膛增程高爆 增速遠程彈)	4.5 kg TNH	52 倍徑	956 m/s	365 MPa	>52,000 m	<1.2%	<2.5 mils	
		39 倍徑	840 m/s	340 MPa	>41,000 m			

二、美國 XM982“石中劍”GPS/慣性導航增程導引砲彈⁴

“石中劍”是一種“發射後不管”的導引砲彈，砲彈頭部引信室內封裝有抗干擾的全球定位系統接收機/慣性導航裝置感測器。砲彈在飛行過程中可連續不斷地搜索和接收 GPS 衛星資料並更新慣性導航裝置的資訊，如果發現 GPS 傳輸的資訊受到干擾，還可啟動慣性導航裝置。實彈射擊測試證明，用 M777 榴砲發射“石中劍”導引砲彈時，所發射的砲彈中有一半落在一個直徑 10 公尺的圓內，另一半砲彈落在 10 公尺圓範圍以外幾公尺遠的地方。

由於該砲彈採用了抗干擾的全球定位系統接收機和慣性導航裝置的元件，因此砲彈可不受距離限制，並能以 GPS 的精度飛行至預編程式的群射瞄準點，試驗表明，約用 16 發砲彈就足以摧毀一個標準的自走砲連。“石中

⁴ 詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_0457.htm>(2008 年 8 月 11 日)

劍”導引砲彈的另一大特點是採用非彈道式飛行路線，它甚至可以沿偏離火炮軸線 90°的方向飛行。這就使砲彈能攻擊障礙物後面或反斜面上的目標，並可以躲避反砲兵雷達的偵察，同時還可攻擊縱深目標。

“石中劍”所具有的近乎於垂直的終端彈道特性，以高射角射擊時，砲彈可垂直向下沖向目標直接攻擊其頂部，必要時還可以穿透 100-200 公厘厚的混凝土。這種彈道特性對於城市戰來說是非常理想的，因為城市建築之間的空間非常有限，如用傳統的砲彈很難準確攻擊位於某棟樓內的具體目標，但“石中劍”卻能夠很精確地將其摧毀，從而使部隊擁有了在過去城市作戰中所不具備的靈活對付各種目標的作戰能力。據稱，待到“石中劍”裝備部隊時，將具有比概率偏差 10 公尺更好的精度。

不過，裝備到美國陸軍的第一批“石中劍”將只限於配用 MACS-4 模組式砲兵裝藥系統，它的射程與如今砲彈能夠達到的最遠射程相當，但是射擊精度卻高得多。隨後 MACS-5 的射程將超過 40 公里。



圖24 XM982“石中劍”GPS/慣性導航增程導引砲彈三種模組(左起)：單一彈頭、雙效子母彈、薩達姆(SADARM)彈

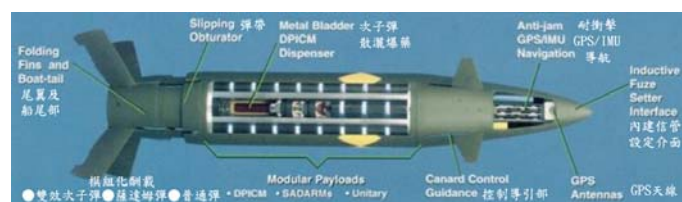


圖25 XM982“石中劍”GPS/慣性導航增程導引砲彈結構說明



圖26 M982“石中劍”GPS/慣性導航增程導引砲彈模型

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/images/p0055886.jpg>>、

<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/images/g0055885.jpg>>、

<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/images/p0059314.jpg>>(2008年8月11日))

三、塞爾維亞--增程型 155 公厘火箭助推/底排砲彈⁵

英國《詹氏年鑑》2007年9月1日報導，塞爾維亞 Yugoimport -SDPR 公司在2007年6月南斯拉夫首都貝爾格勒舉行的“合作夥伴 2007”防務展上展出了一型名為核心(Nub)的新型 155 公厘火箭助推/底排砲彈的照片。該砲彈可使 39、45 和 52 倍口徑 155 公厘火炮系統增程 10 公里。39 倍口徑火炮發射該增程全膛-底排砲彈發揮最佳效果時，其射程可達到當前 52 倍口徑火炮的射程。據該公司稱，核心砲彈將使 39 倍口徑火炮的射程達到 40.8 公里，比該火炮發射底排砲彈可達到的 30.3 公里射程提高了 33%。



圖27 新型155公厘火箭助推/底排砲彈結構圖



圖28 塞爾維亞 Yugoimport-SDPR 公司展出新型 155 公厘火箭助推/底排砲彈

⁵詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jmr2007/jmr70642.htm>> (2008年8月11日)

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jmr2007/images/p1290433.jpg>>、

<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jmr2007/images/p1290432.jpg>> (2008 年 8 月 11 日))

在防務展上，Yugoimport-SDPR 公司展示的唯一實物是 V-LAP 增速遠程砲彈，即帶有輔助火箭發動機(6 個噴嘴以環形排列)的制式底排砲彈。該火箭發動機內裝由塞爾維亞發動機研製與生產公司研製並生產的約重 3 公斤的混合火箭推進劑。由於該砲彈的轉速為 1.6 萬轉/秒，因此，推進劑裝藥承受的超載是 17 公斤。該火箭發動機的總衝量超過了 6500 牛頓，至少產生 2170 牛頓/公斤衝力。火箭發動機點火可延時 25 ± 2 秒。由於點火延時，最大彈著散佈約為射程的 0.02%。

四、中共增程砲彈發展

(一)中國精密機械進出口公司發展的 130 公厘 RAP-130 砲彈⁶：主要針對於 Norinco 公司製造 59 和 59-1 型 130 公厘火砲而開發。RAP-130 砲彈重約 33.4 公斤，初速是 930 m/s，運用一具輔助火箭發動機實施增程，射程可達 33,450 公尺，較傳統高爆彈提升了 25%的射程。



圖 29 中國精密機械進出口公司發展的 RAP-130 式 130mm 砲彈

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2007/images/p0502873.jpg>> (2008 年 8 月 11 日))

(二)Norinco 130 公厘 ERFB-HB HE 和 ERFB-BB HE 砲彈⁷：明確設計為 59-1 型 130 公厘火砲，但是也可能從早期的野砲 M-46 型 130 公厘或 Norinco 59 型 130 公厘射擊，就外觀而言 130 公厘 ERFB-HB HE 和 ERFB-BB HE 砲彈與 155 公厘口徑同型砲彈相似，彈體外形採比例減縮。

130 公厘 ERFB HE (Nubb) 和 ERFB-B，其差異在能力中充分利用易變的 130 公厘加料系統，然而 ERFB-HB HE 和 ERFB-BB HE 正常使用全裝藥最大他們的可提高的射程運轉的利益。

⁶詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2007/jah_0418.htm> (2008 年 8 月 11 日)

⁷詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_0423.htm> (2008 年 8 月 11 日)

130 公厘 ERFB-HB HE 和 ERFB-BB HE 採全裝藥射擊可提高其增程的最大效益。ERFB-HB HE 最大初速 940 m/s，射程可達 32,000 m；ERFB HE (Nubb) 的最大初速 944 m/s 而最大射程是 32,000 m；ERFB-BB HE 的最大初速 940 m/s，最大射程可達 37,000 到 38,000 m。



圖 30 Norinco 公司研製的 130 mm ERFB HE 砲彈與藥筒

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/images/p0502368.jpg>> (2008 年 8 月 11 日))

(三)Norinco 122 公厘系列增程彈⁸：於 1994 年，中國的 Norinco 公司已經明確宣佈開發 122 公厘系列砲彈，適用於 D-30 是榴彈砲和中國現役同口徑各式火砲。新的砲彈同樣適合其他的自走式和牽引式 122 公厘火砲系統，包括 54 及 54/1(M-30) 型和 83 型的 122 公厘牽引式榴彈砲。

Norinco 122 公厘系列砲彈包含 ERFB-BB HE 及 ERFB-HB HE 砲彈，以及其他不具增程效能的砲彈載台、發煙與照明彈。因該型砲彈參數蒐集困難，僅就增程彈基本性能說明如后：

1.122 公厘 ERFB-HB 砲彈--採用底凹 (HB) 結構，內含 3.36 公斤的炸藥，最大射程 18,600 m。

2.122 公厘 ERFB-BB 砲彈--採用底排 (BB) 裝置，最大的射程 22,200 m。



圖 31 Norinco 公司研製的 122 公厘 ERFB-BB 砲彈

⁸詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2007/jah_0405.htm>(2008 年 8 月 11 日)

(資料來源：詹氏年鑑(軍網)，<<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2007/images/p0006223.jpg>> (2008 年 8 月 11 日))

(四)Norinco 公司的 155 公厘 ERFB—BB 砲彈⁹：標準的彈重 45.5 公斤，最大射程達 30 公里；底排型式彈重 48 公斤，最大射程達 39 公里，結合 M739 式 PD 引信，除了可由 WA-021 式 155 公厘牽引榴彈砲射擊外，並適用於其他的 155 公厘火砲系統。

中共近年來大幅針對 155 公厘口徑火砲進行研製，中共解放軍若以全新打造的 PLZ-05 型榴彈砲發射最新研製的火箭底排複合增程彈，其射程可達到 70 公里。

中共增程砲彈性能一覽表								
(資料來源：作者繪製)								
程 式	130 mm RAP-130	Norinco 130 mm				Norinco 122 mm		Norinco 155 mm ERFB/BB
		ERFB/HB HE	ERFB/BB HE	ERFB HE (Nubb)	ERFB-B	ERFB/HB	ERFB/BB	
彈 重	33.4 kg	32.7 kg	32.3 kg	32.41 kg		21.76 kg	22.25 kg	48 kg
彈 長		774 mm	800 mm	799 mm	774 mm	660 mm	660 mm	
初 速	930 m/s	940 m/s	947 m/s	944 m/s	940 m/s	725 m/s	730 m/s	
最 大 射 程	34,350 m	30,000 m	38,000 m	32,000 m	30,700 m	18,600 m	22,200 m	39,000 m

伍、未來趨勢

為了適應現代化戰爭的需要，彈藥正在朝著遠程化、精準化、殺傷破壞效能高和多用途等方向快速地發展。

一、利用先進增程技術大幅度提高遠程打擊能力¹⁰

在射程方面從中近程(20 公里)發展到超遠程(大於 200 公里)，中近程彈藥採用減阻及裝藥改進技術，遠程彈藥採用火箭增程技術、底排/火箭複合增程技術、衝壓發動機增程技術，超遠程彈藥採用火箭/滑翔、衝壓發動機/滑翔、渦輪噴射發動機/滑翔等複合增程技術。

就國外衝壓增程彈藥的發展現狀來看，中大口徑彈藥採用衝壓增程技術以後其射程可以達到 70 公里以上，增程率達到 100%。衝壓增程砲彈可能成為未來陸軍低成本、遠程壓制彈藥的主要彈種。

滑翔增程技術受滑翔飛機及飛航式導彈飛行原理的啟發而提出的一種彈藥增程技術。國外近年來開始研究利用固體火箭發動機與滑翔飛行原理結合的射程大於 100 公里的複合增程超遠程彈藥(火箭/滑翔複合增程彈藥)。

⁹詹氏年鑑(軍網)，<http://10.22.155.7/jdsasp/FullImg/jah2008/jah_0470.htm> (2008 年 8 月 11 日)

¹⁰李向東...等編著，彈藥概論，42-44 頁。

目前，美國正在進行射程大於 300 公里的砲射巡航飛行式超遠程彈藥技術的研究。它與火箭/滑翔複合增程彈藥的工作原理截然不同。

火箭/滑翔複合增程技術首先利用固體火箭發動機將砲彈飛行彈道高度提升到 20 公里以上高空，砲彈到達彈道頂點後，啟動滑翔飛行控制系統，砲彈進入無動力滑翔飛行，達到增程的目的，其飛行階段為彈道式飛行+無動力滑翔飛行。該技術一般可使砲彈射程達到 150 公里左右。砲射巡航飛行式超遠程彈藥技術首先用火砲將砲彈發射到 10 公里高空(彈道頂點)，控制系統啟動，同時動力裝置啟動。砲彈進入高空巡航飛行階段，該階段的飛行距離將大於 200 公里以上。動力裝置工作結束後，砲彈進入無動力滑翔飛行，達到增程目的，其飛行階段為彈道式飛行+高空巡航飛行+無動力滑翔飛行。該技術可使砲彈射程大於 300 公里。

先進超遠程彈藥技術根據動力裝置的不同，又分為：次音速巡航飛行的超遠程彈藥(採用小型渦噴發動機)和超音速巡航飛行的超遠程彈藥(採用衝壓發動機)。前者動力系統複雜、控制系統相對容易實現並可採用火箭/滑翔複合增程彈的一些成熟技術，但砲彈的突防能力低於後者。後者動力系統簡單、控制系統相對複雜、突防能力強，是未來主要發展方向。

二、利用電子、資訊、偵察及控制等技術提高遠端精確打擊能力

在提高精度方面，中近程彈藥採用常規技術，遠程彈藥採用彈道修正、簡易控制、終端導引等技術，超遠程彈藥採用簡易控制、衛星定位加慣導，終端導引等多項複合技術。為了有效地提高壓制武器彈藥命中單一目標的精度，在突破控測及導引元器件抗高超載能力的關鍵技術以後，國外許多國家開展了終端導引壓制彈藥的研製工作。俄羅斯已服役的終端導引砲彈有 152 公厘紅土地，美國製造的 M712 式 155 公厘雷射導引砲彈。

與導彈相比，砲射制壓彈藥的特點是體積小、酬載大，要求生產成本低，因此在進行高精度壓制武器彈藥研製時，必須進行偵察、導引及控制等元器件的小型化、低成本，抗高超載等關鍵技術的研究。

微機械技術與微電子技術相結合，形成了一代全新的微機電系統，由於它的低成本、耐高酬載、高可靠性、通用性和微型化，使其在軍事中的應用有巨大的前景，正是由於它的出現，使得傳統無控砲彈逐步向導引化、靈巧化方向發展成為可能，也正是由於它的出現，使得傳統無控砲彈與導彈的界限越來越模糊。微機電系統和微型製造技術的發展推動了微慣性器件和微慣性測量組合技術的發展，導致新一代陀螺儀和加速度計的產生。包括矽微

機械加速度計、矽微機械陀螺、石英晶體微慣性儀、微型光纖陀螺等。和傳統的慣性儀相比，微機械慣性儀有體積小、重量輕、成本低、可靠性好、工耗低、易於數位化和智慧化、測量範圍大等特點。

在遠程壓制彈藥中微機電技術應用最多的是由微慣性測量組合與 GPS 接收器組合的微型導引系統，美國 EX-171 的火箭/滑翔增程砲彈就是應用了該技術。

隨著壓制武器彈藥射程的不斷提高，對彈藥的射擊及命中精度要求也愈來愈高，單靠一種技術措施已不能滿足高精度的要求。因此，國外，正在開展多模式複合導引和修正技術的研究，並在不斷探索提高射擊精度的新原理和新技術。

三、利用高效毀傷戰鬥部技術提高遠端作戰效能

在射程遠、精度高的作戰要求下，必然帶來戰鬥部有效載荷的降低。為提高增程彈的威力，採用高效毀傷戰鬥部技術提高毀傷效率，滿足不同的作戰需求。要求射程、精度和威力形成一個合理的匹配關係。

在戰鬥部威力研究方面，國內外大多側重於戰鬥部總體和破片控制技術的研究，採用各種方法和技術措施提高對目標的毀傷能力，歸納起來主要包括如下幾個方面：(一)提高破片的侵徹能力；(二)採用定向技術提高破片密度；(三)採用含能新型破片。

含能破片作為一種新型破片，對戰鬥部具有很強的引燃和引爆能力，國外在此方面已作了很深入的研究工作，研製了三種類型的含能破片：第一種破片本身採用活性材料，當戰鬥部爆炸或者撞擊目標時，材料被啟動，釋放內能，引燃、引爆戰鬥部；第二種是在破片內裝填金屬氧化物，戰鬥部爆炸時，引燃金屬氧化物，通過延時控制技術，使其侵入戰鬥部內部並引爆炸藥；第三種是在破片內裝填炸藥，並放置延時控制裝置，當破片侵入戰鬥部時，破片爆炸引爆目標戰鬥部。

含能破片能夠高效毀傷導彈目標，在國內外受到高度重視。

四、利用多功能引信技術提高遠端作戰效能

多功能引信技術指的是一種或幾種引信具有多種功能(如近發、時間、瞬發、簡易導引、彈道修正、聯合可編程等)。同時把點火與控制、彈道修正、導引與控制融為一體的引信技術。技術的成熟性將直接導致三軍種引信的種類減少到幾種或十幾種，使原有庫存彈經過多功能引信的替換可大大提高命中精度和毀傷效能。

以美國為首的北約軍事集團，為減少三軍引信的種類，在八十年代開始研究多功能引信的第一代產品，經過十年到十五年的發展，目前榴彈配有 M782 多功能引信。結合紅外線、雷射、毫米波技術與末端導引的整合，僅更換一個引信，就能使普通無控榴彈變成終端導引榴彈。

隨著 GPS 技術、MEMS 技術的成熟，捷聯式 IMO 慣導系統也可在傳統砲彈上使用，高精度的彈道修正將滿足作戰環境需求。

陸、結語

為了增大射程，大量的新式增程彈研製成功，並陸續裝備部隊。例如，德國的 PzH2000 榴砲發射普通榴彈的最大射程為 30 公里，發射底排增程彈為 40 公里，最近發射南非研製的彈底減阻和火箭推進技術的增速遠程砲彈 (Velocity-enhanced Long-range Artillery Projectile, V-LAP) 時達到 56 公里，在理想條件下發射可能超過 60 公里。南非研製的 G6-52L 輪式自走砲在最近的發射增速遠程砲彈試驗中，更是創下了管式火砲射程的新紀錄，達到了 75 公里，將作戰範圍擴展到現役多管火箭的射程。

精準打擊是陸軍在未來資訊化戰爭中立足的基礎，精準導引砲彈的發展已受到各主要國家陸軍的高度重視。例如，美國陸軍正在為 FCS“網火”系統研製精準攻擊導彈和巡弋攻擊導彈、為非直瞄火砲研製 XM982“神劍”精準導引砲彈、為非直瞄迫擊砲研製 XM395 精準導引迫擊砲彈、為多管火箭系統研製導引火箭彈和新型陸軍戰術導彈...等。隨著這些精準導引砲彈與增程砲彈的研製成功和陸續服役，未來陸軍不僅對縱深目標具備了精準打擊能力，傳統火砲也將具備遠程、精準火力支援效能。¹¹

¹¹ 「“戰爭之神” 走向何方——國外砲兵武器裝備發展趨勢」，現代兵器，2006 年第 09 期，<<http://www.cngc.com.cn>> (2008 年 8 月)。

參考資料

- 一、 「“戰爭之神”走向何方——國外砲兵武器裝備發展趨勢」，現代兵器，2006 年第 09 期，<<http://www.cngc.com.cn>> (2008 年 8 月 11 日).
- 二、 李臣明，「發射武器增程技術概述」，<<http://www.qikan.com.cn>> (2008 年 8 月 11 日).
- 三、 李向東...等編著，彈藥概論。北京：國防工業出版社，2004 年。
- 四、 詹氏年鑑，<<http://10.22.155.7/jdsasp/pass.asp?db=janes>>(2008 年 8 月 11 日).

作者基本資料

呂致中中校，學歷：陸軍官校 79 年班、野砲正規班 172 期、大同工學院機械研究所碩士班 84 級，經歷：教官、營長、砲兵組長，現任：陸軍飛彈砲兵學校兵器組／中校主任教官，通訊地址：永康郵政 90681 附 12 號信箱，連絡電話：軍線 934142。