

【陸軍】現代穿甲彈原理簡介

2018-08-15 08:59:00

原文網址：<http://blog.udn.com/MengyuanWang/114181102>

一年前我發表了《現代坦克裝甲原理簡介》，照理說就應該也討論穿甲彈的原理。但是我找不到任何有關共軍的最新所謂“三期彈”技術的公開資料，所以就擱著，希望未來會有所發現。

現在忽然決定寫這篇文章，倒不是因為發現了相關的新資料，而是由於《觀察者網》的軍事評論員席亞洲的一篇文章（參見《尾翼穩定脫殼穿甲彈不會跳彈？CCTV居然來打臉了》，<https://user.guancha.cn/main/content?id=32309>）討論了這個問題，卻有明顯的謬誤，所以在此提供我的所知。

席亞洲對軍事很有熱情，一般也願意追根究底，把議題的來龍去脈搞清楚。我很喜歡讀他的文章，尤其是他和共軍內部人員有交往，也經常閱讀日本的軍迷文獻，所以是很好的中方和日方消息來源。但是他文章寫得多了，難免會有對共軍朋友的隻字片語做出誤解的案例。上個月他在一篇文章中說15式坦克的105毫米炮與共軍其它105毫米坦克炮的彈藥不能通用，顯然違反常理，就應該是一個這樣的例子；這次似乎也是如此。

言歸正傳，現代的穿甲彈都是“次口徑”彈藥（Sub-Projectile），也就是彈丸本身直徑比發射炮的口徑小得多。我在前文《談超音速彈丸》裏已經解釋過，這是為了減小超音速飛行時的阻力：一根細長尖銳的鉛筆形狀，是Mach 5時阻力最小的外形。我多次提過的APFSDS（Armor Piercing穿甲，Fin Stabilized翼穩，Discarding Sabot脫殼），早已與HEAT（High Explosive Anti-Tank）破甲彈並列為各國坦克的標準配備。

APFSDS最早是二戰前的法國軍工人員發明的，當時還沒有尾翼，只叫做APDS。1940年，德軍閃電戰在六周內擊垮法國，APDS還沒有定型，項目人員隨即逃往英國，繼續他們的研究，一直到1944年初才量產，主要配備給英軍的6磅炮和17磅炮。其中的後者是英軍在二戰後期最重要的反坦克炮，能夠在1500米外擊穿Tiger的正面裝甲，APDS居功甚偉。英軍還把17磅炮硬是裝上了美國援助的Sherman（必須特別修改，並且倒轉90°，才裝得進Sherman的炮塔），成為所謂Firefly（螢火蟲坦克，這是因為17磅炮的炮口火焰極為明亮，遠處看來像螢火蟲）。

在冷戰期間，APDS從二戰期間的多種穿甲彈設計脫穎而出（Pun Intended，亦即這裏的一語雙關是有意的），逐步把其它的穿甲彈種淘汰掉。由於新的主戰坦克的交戰距離，由二戰時的1500米漸漸延長到4000米，而次口徑彈丸的長徑比高，自旋穩定的效果不佳，不能保證4000米射程時的精度，於是加上了尾翼，變成了純靠翼穩的APFSDS。既然無須自旋穩定，那麼膛綫就徒然增加內彈道阻力、減低炮管壽命，因此蘇聯首先改用滑膛坦克炮，其他各國隨即跟進，只有英軍固守成規，仍然沿用膛綫坦克炮至今。另一個受APFSDS影響的，是炮口制退器（Muzzle Brake）：不論研究人員如何努力，炮口制退器總是會影響彈托在出了炮口後的分離過程，從而降低射擊精度。因此在APFSDS普及之後，坦克炮的制退器就全被取消了。

與此同時，APFSDS的材質也從原本的鋼進化到鎢或者貧鈾（Depleted Uranium，DU）。我常常看到中文軍事論壇有評論說DU穿甲彈遺留在戰場上有嚴重的放射性毒害，只有全沒良心的美帝才會大量裝備使用，其實這是沒有科學常識的胡扯。貧鈾的半衰期極長、放射性極低，除非被成塊吞食，否則沒有顯著高於天然背景的放射性危險。貧鈾在環境中的毒性主要來自化學方面，但是

比起鉛來，鈾的化學毒性還稍低一點；既然鉛在軍民各種應用極多，那麼只對貧鈾歇斯底裏，就不太理性。中、俄、英、法、德等國寧可用鎢而不用貧鈾的真正原因，有些是因為沒有穩定廉價的來源（如德國），有些則是因為貧鈾的晶體結構不穩定，十年左右就必須翻新，所以只適合財大氣粗並且窮兵黷武（在保證期內就會用掉）的軍隊。

前面的討論似乎暗示著貧鈾應用在APFSDS的性能要優於鎢，然而事實上這個比較是很複雜的。這兩種金屬的密度差不多，但是鎢的強度要遠高於貧鈾，所以使用後者的APFSDS長徑比不能超過30，否則容易折斷，而理論上長徑比越高、穿甲性能就越好。但是貧鈾有一個特性叫做Frangibility（和前面所提的晶體結構不穩定有關），在應力作用下會自行碎裂成銳利的破片，所以一般被中文媒體稱為自銳效應。相對的，鎢彈丸在高速碰撞之後會形成蘑菇頭，結果穿甲的有效直徑會大幅增加。既然打的洞變寬了，消耗了額外的能量，穿甲深度就受影響。

總體來說，APFSDS用鎢或者貧鈾的理論穿甲極限，大致是相當的，但是貧鈾彈的最佳穿甲速度（太高容易折斷，太低則容易跳彈，而且能量也低）在Mach 5左右，而鎢彈的最佳速度則在Mach 6。目前世界最先進的120毫米和125毫米坦克炮發射10千克級別的APFSDS彈丸，初速在Mach 5和6之間。我在前文《談超音速彈丸》中提過，M829的速度衰減率是每公里Mach 0.13，最新的APFSDS長徑比更高，阻力更小，所以衰減率也更低，大約在每公里Mach 0.12左右。那麼在4000米的射程上，終端速度就在Mach 4.5左右。這對貧鈾彈不成問題，但是對鎢彈來說，就太低了。

正因為美軍是唯一大量裝備了貧鈾穿甲彈的軍隊，所以對進一步提高坦克炮的初速特別沒有熱情。M1A1和M1A2用的都是1980年代從德國引進的Rheinmetall 120毫米炮，但是德國的Leopard 2坦克在2000年代從L/44（即炮管長徑比為44）升級到L/55，從而把初速增加了Mach 0.5，而美國人卻不覺得有需要。後來Rheinmetall設計了全新的130毫米炮，有更高的初速和炮口動能（號稱動能增加50%），共軍也試驗了140毫米炮，美軍仍然不動如山，主要就是因為貧鈾彈所需的速度低於鎢彈（次要原因是M829A3和A4有其他優於德製彈藥的特點，參見下文）。國軍現在正計劃引進M1A1或M1A2，那麼不但裝甲極可能會是簡配版（即取消貧鈾裝甲板），如果得不到M829A2（我的印象是連日本也沒買到M829A2；A3和E4則被美國國會明文禁止出口），穿甲能力也要大打折扣，結果只怕連共軍的經濟型96A式坦克都能輕鬆擊敗猴版的M1。



由左至右分別是美國陸軍的M1A2，美國海軍陸戰隊的M1A1，和國軍可能獲得的M1版本

現實中，德國最新銳的DM53和DM63（基本和DM53相同，只是換用了對溫度不敏感的發射藥）APFSDS彈丸，即使由長管120毫米炮發射，頂多也只能和美軍1990年代就裝備的M829A2

相提並論。M829A2雖然還沒有解密，畢竟服役了20多年，有關的公開資料還是足夠的。它的核心是一段貧鈾長杆，直徑22毫米，長度約680毫米。長杆後方是標準的尾翼和曳光藥，外圍是用很輕的合成材料（碳纖維？）製成的Sabot（彈托）（這是從M829A1進化到M829A2的最大改進，我個人猜測足以使炮口初速增加到接近Mach 5），前方則沿用一個尖銳的氣動外罩用來減低外彈道阻力；這是因為貧鈾長杆本身必須是鈍頭的，以減低彈著點的側向應力。

席亞洲的分析就錯在這裏：他說M829A3和共軍的“三期彈”都取消了氣動外罩，改用新的尖銳彈頭，是中美獨有的秘方（原文是“如何解决这个容易跳弹的问题，又增加穿杆长度，那是目前只有中美两国在最新型穿甲弹上用了的技术”）。其實中美的APFSDS設計原理完全不同（部分是因為裝甲的設計原理也不同，參見前文《現代坦克裝甲原理簡介》），所以雖然我對“三期彈”一無所知，但是仍然可以確定中美的實心彈尖（如果“三期彈”真的改用了實心彈尖）只是外表相似，其設計細節和考慮都必然不同，不能混為一談。



M829系列的全家福；E4仍然在嚴格保密之下，美軍不願意展示剖視圖，可能是因為新的Spigot Mortar機制會被很明顯地看出

要瞭解這些論點，我們首先檢視M829A3和E4的進化過程。它們和A2的主要差別，在於彈芯以及彈托增長了大約110毫米；由於Rheinmetall的120毫米炮採用一體式裝藥，彈丸總長達到800毫米（這還不含尾翼）並不成問題。貧鈾長杆本身的直徑已知是增加到25毫米，彈尖改為實心也是被公開確認的事實，但是如果假設整個790+毫米的長杆都是貧鈾彈芯，就明顯地違反了事實和邏輯。

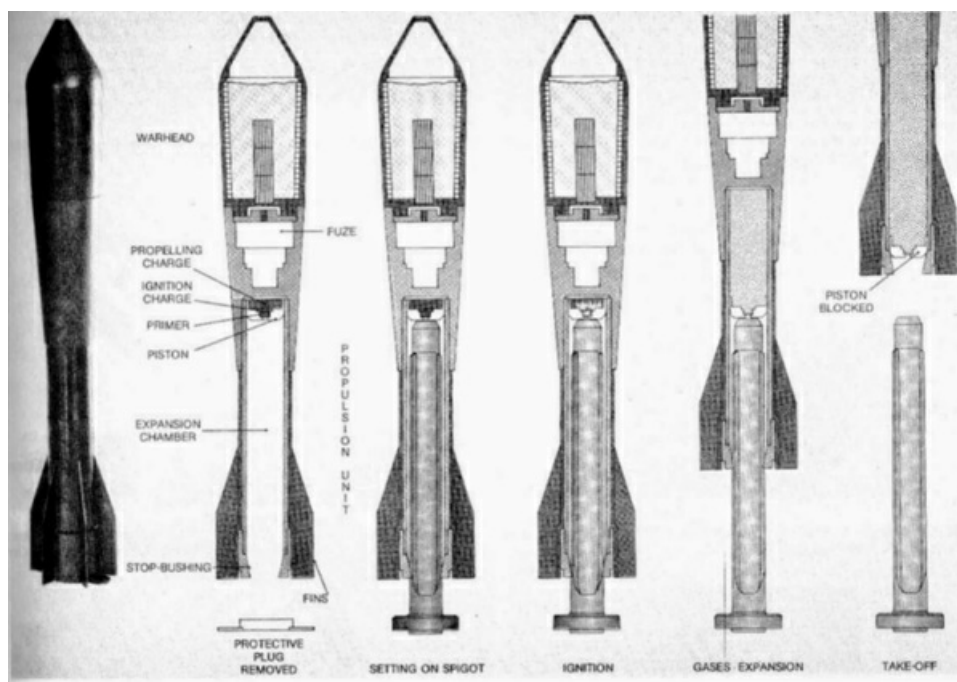
這是因為如果整個長杆都是貧鈾，那麼它的體積和質量就比A2增加了51%，再加上彈托的增長和增重，彈丸的整體質量必須大幅增加（大約40%），裝藥容積卻減少，即使改用能量密度更高的發射藥（沒聽說，但並非不可能），既然炮管沒換，最大膛壓就不能變，那麼彈丸初速必然會降到Mach 4或更低。如此一來，穿甲能力大幅降低，完全不合邏輯。事實上，廠方宣稱彈丸總重增加11%，而穿甲深度增加5%，所以顯然彈芯不全是貧鈾。

美國陸軍一再強調，M829A3和E4的設計主旨，在於擊敗新型的俄製ERA（Explosive Reactive

A armor，爆炸式反應裝甲，參見前文《現代坦克裝甲原理簡介》），例如Kontakt 5，Relikt（用在T90）和Malachit（裝備在Armata坦克上）。它們對長杆穿甲彈芯施加比以往更強的側向切力，所以貧鈾彈芯的長徑比不再能像以往一樣達到30。A3的貧鈾彈芯直徑從22毫米增加到25毫米，就是為此，所以長度當然不應該隨著增加。而且美軍APFSDS彈芯的長度，原本就不是限制穿甲深度的因素（這是和共軍彈丸的一個明顯對比，參見下文）；那麼為什麼研發單位（ARL，Army Research Laboratory，美國陸軍研究實驗室）硬是把它拉長了110+毫米呢？

我覺得遠遠最可能的解釋，是美軍在670毫米長的貧鈾彈芯（670-680毫米似乎是貧鈾彈芯的最優長度，所以M829A1和A2都採用了多年）前面，加了一段110-120毫米長的鋼芯。這段鋼芯的用途，在於引爆ERA，吸收它的側向切力。因為鋼芯和貧鈾長杆之間，沒有剛性的連接，所以後者可以不受影響地沿原彈道方向侵切主裝甲。既然這段鋼芯不是要擊穿主裝甲用的，那麼自然不需要考慮跳彈現象，也就不在乎是銳頭還是鈍頭，可以直接取消氣動外罩。鋼的密度只有鈾的42%，所以總重的增加並不多。A3的尾翼明顯增長，翼片盡量向後延申，這也和彈芯的重心後移相吻合。

至於M829E4，消息更含糊，但是據傳增加了電子元件，那麼我個人猜測極可能是在鋼芯和貧鈾長杆之間加裝了微量炸藥，利用Spigot Mortar（細杆迫擊炮）的原理，由電子定時裝置在接近目標的時候，提早引爆，把鋼芯向正前方發射出去。如此一來，鋼芯比貧鈾長杆提前幾百或上千毫米抵達彈著點，不但能更安全地引爆ERA，連主動防禦系統（Armata已裝備，共軍也有原型公開示範，目前的反應速度對APFSDS還不構成威脅，但是將來有可能改進）也有可以繞過的潛力。



Spigot Mortar原理示意圖

至於共軍的APFSDS，和美軍的有兩個很大的差別，除了用的是鎢彈芯之外，共軍的125毫米坦克炮使用俄式的兩截式彈藥，所以彈芯總長無法超過大約600毫米（含尾翼，新式俄製鎢彈芯長555毫米）。目前已知這是共軍穿甲彈性能進一步提升的最大限制因素（鎢彈芯的最優長度遠大於600毫米，例如DM63鎢彈芯總長為685毫米+60毫米尾翼）。再加上美國的M1系列並沒有採用ERA，所以犧牲寶貴的彈芯總長，來加裝美式的鋼芯前端，完全不合理。

我已經一再聲明，我對共軍的“三期彈”一無所知，但是從基本原理來推測，共軍的穿甲彈，在不增加口徑、也不改為一體化彈藥的前提下，要再提升性能，必須從減小鎢彈芯的蘑菇頭來著手。可能的手段主要是1）改用Frangible的新型鎢基合金或纖維質材料，或者2）改為多層結構。以上兩者都不能解釋為什麼彈頭尖端會被改為實心，然而我們可以確定的是，它不可能是出於與美軍

穿甲彈相同的考慮。

【後註一】“世界對白”把這篇文章轉載到《觀察者網》之後，有很多大陸讀者留言批評，大多是無知無智之輩，無須在意。但是有幾個評論有內涵，我在此回應：

首先，貧鈾的確是有些輻射性的（大約是天然鈾的40%），但是主要必須有塊狀物進入體內，才會有測量得到的輻射傷害。戰場的事後處理，可以相對簡單地將殘餘的貧鈾彈芯找出來，集中掩埋；一般工業用手套和面罩就足夠，無需專業的輻射性防護設備。戰場的諸般殘骸中，有劇毒的物質（例如使用液體燃料的火箭）很多，相對下貧鈾並不突出。我在正文中是這個意思，或許說得過於簡略了。

文中說M1不用ERA，這也是簡略的說法。精確地說，是M1的標準裝甲沒有ERA。在進行治安戰時，為了防護步兵反坦克武器，M1可以在履帶外加挂ERA，不過這些ERA沒有傾斜角，對APFSDS完全無效，只能阻擋使用HEAT彈頭的APG（反坦克火箭彈），所以和本文的討論無關。

文中最後一段，討論共軍的穿甲彈提升性能的發展方向，我沒有提增加膛壓、從而進一步增加初速的可能性，是因為這是全炮優化設計的一部分，早在多年前中方的研究人員就已經把它的潛力挖光了。就像過去20多年，Rheinmetall根本不再考慮這個方向一樣，現在討論共軍125毫米炮還炒作這點，也毫無意義。

【後註二】美軍最後決定裝備的新穿甲彈，名字從E4（Electronic）改成了A4（Advanced），而且確定不使用電子元件。所以M829A4與A3相比，只有兩個很小的改動：1）由四瓣彈托改為三瓣；2）改用與德國DM63類似的溫度不敏感發射藥。這兩個改進，只對精度有益，對穿甲能力不會有顯著的影響。

0 条留言

[返回索引页](#)