

新世代空對地攻擊武器——JDAM (F)

· 魏楊傑 ·

摘要

在一九六〇年代的越戰中，美國爲了讓戰機躲避北越米格機和俄製防空飛彈的攻擊，降低人員及戰機的傷亡，開始發展精確導引炸彈，但由於造價昂貴，只能少量使用，使得戰場的整體攻擊效果很不理想。針對此項缺點，美國國防部由一九九〇年代開始發展低成本炸彈導引組件，使三軍庫存的傳統炸彈具備精確導引的能力，其成果就是促使俄國重新正視衛星定位系統的軍事應用、使中共與歐盟毅然決定發展衛星定位系統，也是讓美國在最近幾次對外衝突中，大放異彩的聯合導引攻擊炸彈——JDAM。

聯合導引攻擊炸彈 (Joint Direct Attack Munition，以下簡稱JDAM) 的首次出現，是在一九九九年五月美國率領北約盟邦的「聯軍作戰」(Operation Allied Force) 一役中，美國空軍六架B-2A隱匿轟炸機，各攜帶十六枚由慣性／全球定位系統 (Global Positioning System，以下簡稱GPS) 導航的GBU-31 JDAM，從美國本土密蘇里州懷特曼 (Whiteman) 空軍基地起飛，藉由數次的空中加油來回直飛三十三小時，空襲南斯拉夫的科索沃省 (Kosovo)。這場戰役中投擲的炸彈超過兩萬五千枚，其中精確導引攻擊炸彈約八千五百枚，占總數的三分之一。當時只有B-2A具備投擲JDAM的能力，因此該次戰役中僅投下六百五十六枚JDAM，只占總投彈數的百分之三，雖然天候不佳，但其中百分之九十的彈著點誤差都在十二公尺之內，摧毀了近九成的預訂目標。

二〇〇一年底，美國對阿富汗塔里班 (Taliban) 政權及蓋達 (al-Qaeda) 恐怖組織進行大規模的軍事打擊，戰場指揮官法蘭克將軍 (Tommy Franks) 二〇〇二年二月在美國空軍協會 (Air Force Association) 的一場研討會中提到，這場「持久自由」(Enduring

Freedom) 的反恐戰爭攻擊行動中，美國空軍共投擲了一萬八千枚空對地炸彈，其中一萬枚是精確導引攻擊炸彈，內含五千枚JDAM。

根據美國空軍對一九九一年初「沙漠風暴」(Desert Storm) 和二〇〇三年初「伊拉克自由」(Iraqi Freedom) 兩次戰爭的統計數字，「沙漠風暴」投擲了近二十三萬枚炸彈，其中二十一萬枚是非導引炸彈，其餘近兩萬枚的導引炸彈中，又以雷射導引炸彈的九千兩百餘枚最多；「伊拉克自由」投擲近三萬枚炸彈，其中約兩萬枚的導引炸彈中，有六千五百枚是JDAM。

法蘭克將軍比對了一九九一年「沙漠風暴」和二〇〇一年的「持久自由」戰爭，指出在「沙漠風暴」高峰時，美軍戰機每天出動三千架次，而「持久自由」因爲使用精確導引攻擊炸彈的緣故，每天僅需派出兩百架次戰機，就能得到以前三千架次相同的攻擊效果。當年以十架戰機攻擊一個目標，現在一架戰機便能同時攻擊兩個目標。

由這些戰役中精確導引攻擊炸彈使用比例的逐漸增加，顯示導引炸彈將成爲美軍轟炸戰場的重要武器，而隨著科技的不斷進步，精準度高、

造價相對低廉的JDAM已成爲戰場的轟炸主力，被倚重的程度也越來越深。

歷史緣由

JDAM起源於一九六〇年代越戰時期，當時由於美軍戰機在越南戰場上損失慘重，爲了在轟炸時躲避北越防空系統的攻擊，並獲得有效的轟炸成果，因而急迫需求精確炸彈。早期開發的GBU-8電視導引炸彈仍需載機引導飛向目標，無法降低載機暴露於北越防空火網的機會，後期的GBU-12雷射導引炸彈可讓載機「打了就跑」，稍稍降低了這種危險性。

雷射導引炸彈的構造相當簡單：流線型的頂罩內有個尋標器，導向裝置感應到由目標反射回來的雷射光後，將彈尾的飛行控制翼面鎖在定中，或者打到最大角度的位置，追尋反射的雷射光直奔目標。雖然這種炸彈精確度極佳，最大圓形公算誤差 (circular error probable) 只有三公尺，但卻有先天的限制：在炸彈拋投後約三十秒的飛行時間內，必需有

JDAM是一具長1.5公尺，配有四片飛行控制翼面，內有導向控制系統的不鏽鋼筆型組件，可替換傳統空用炸彈的尾錐。

美國空軍F-16機翼派龍掛載的JDAM炸彈，彈體腹部安裝了可增長炸彈飛行距離的鑽石背 (Diamond Back) 折疊翼。



個靠近目標的另一架飛機或是地面前進部隊當「第三者」，不停地以雷射光照射目標，直到目標被摧毀為止，這使「第三者」成為敵人的殲滅對象，處境相當危險；若雷射光斷線，或是目標物被水氣、雲霧、灰塵所遮蔽，尋標器就成了「盲人」，沒有任何導向的功能，炸彈只能依循彈道軌跡自由掉落；另外雷射導向炸彈價格昂貴，一枚造價五十萬美元（約合新臺幣一千五百萬元），限制了它的大量使用。

一九八〇年代中期，美國空軍在慣性導向科技驗證（Inertial Guidance Technology Demonstration，簡稱IGTD）計畫下，對慣性導向炸彈展開了廣泛的研究，當時所開發的慣性導向系統是在投擲炸彈前，先將目標的座標資料輸入炸彈內，炸彈根據彈體內置的慣性量測單元（inertial measurement unit）所提供的資訊，自動飛向目標。此系統使用微處理器及卡門（Kalman）數位濾波運算，有非常優異的自動導向飛行能力，例如：它能依據最遠航程、最大撞擊速度、最大撞擊角度……等不同的需求來調整炸彈的航道。慣性量測單元不怕電子干擾，不受天候影響，只是要達到所需的精準度會所費不貲，因此

慣性導向炸彈從未生產。

讓慣性導向炸彈起死回生的是GPS，以GPS輔助慣性量測單元，限制它所產生的累積誤差，兩者相輔相成之下，便能以更低的花費獲得純粹慣性量測單元所能達到的精準度，甚至更好。

首枚實際生產並服役的GPS輔助慣性導向炸彈，是諾斯洛普飛機製造公司（Northrop）在一九九四年開發的九百公斤級GBU-36/B，部署於該公司所製造的B-2A隱形轟炸機上。B-2A在丟擲慣性導向炸彈之前，先輸入一份GPS衛星名單，炸彈只接收這些衛星的訊號，不理會其他衛星，再配合使用差分（differential）定位技術，多次飛試驗證顯示命中誤差半徑小於六公尺，已經可以和雷射導向炸彈的精準度相媲美。這型炸彈雖然於一九九七年進入美國空軍服役，但純粹是JDAM問世前的過渡性產品，因此已不再出現，不過它證明了用GPS來達到精準轟炸的觀念是可行的，也驗證了差分定位技術的價值。

同時期的美國海軍，也為它的先進禁制武器系統（Advanced Interdiction Weapon System，簡稱AIWS）多用途滑翔炸彈選用了類似的導向系統，且多加了一部GPS接收機，這並沒有增加多少的系統成本，不過對精準度也沒有什麼幫助，尤其是在長距離投擲的時候。

一九八〇年代晚期，美國海、空軍聯合進行先進炸彈家族（Advanced Bomb Family，簡稱ABF）研究計畫，目標是開發出一種既便宜、又能更精準投擲多種傳統炸彈的新投彈器。一九九〇到一九九一年間的第一次波灣戰爭後，上述的三項計畫——IGTD、AIWS以及ABF進行重整，AIWS成為聯合遠距炸彈（Joint stand-Off Weapon），而IGTD和ABF則合併成為美國海、空軍聯合發展，但由空軍主導的JDAM。

發展過程

會發展JDAM的原因其實很簡單：第一次波灣戰爭時為了躲避地面砲火及肩射防空飛彈的攻擊，聯軍戰機的飛行高度得保持在四千五百公尺以上，造價高昂的雷射導向炸彈限用於



F-16戰機拋投九百公斤級JDAM炸彈的英姿。

攻擊高價值的目標，大部分目標還是得由傳統非導向炸彈負責，因此幾乎沒什麼效果可言。以美國為例：美軍在這場戰爭中所投下的炸彈，四百五十公斤及九百公斤級的非導向炸彈占了百分之九十，平均圓形公算誤差是六十公尺，因此每個目標都得丟下二、三十顆炸彈才能奏效；若想改善轟炸精確度而降低飛行高度，在伊拉克熾烈的防空砲火下，戰機就會損失慘重（美國就損失了二十七架戰機和五架直升機）。

一九九一年五月一日，美軍贏得第一次波灣戰爭六十一天後，美國空軍參謀長麥畢克將軍（Meritt McPeak）在辦公桌前閱讀戰後報告，仔細思索戰場的勝敗得失，提筆在一張便條紙上寫下：「我們需要全天候的精準導向炸彈。」這張便條紙正式開啓了JDAM發展的大門。

一九九三年八月二十日，美國空軍向業界正式提出報價邀請書（Request for Proposal），至十月十八日截止前，共有休斯（Hughes Missile Systems）、洛克希德（Lockheed Missiles & Space）、馬丁（Martin Mari-

可增加JDAM飛行距離的鑽石背折疊翼展開情形。



cta)、麥道(McDonnell Douglas)、雷神(Raytheon)、德州儀器(Texas Instruments)、以及由洛克威爾(Rockwell International)、波音(Boeing)、英國航太(British Aerospace Defense)、查理士實驗室(The Charles Stark Draper Laboratory)組成的團隊，共七家公司參與競標。

一九九四年四月，美國空軍選定洛馬(Lockheed Martin)和麥道(McDonald Douglas)，一九九七年被波音合併)進行JDAM工程製造發展(Engineering Manufacturing and Development)的競標，要求兩家公司在十八個月後，提出各自的設計草案以及製造程序。洛馬提出的設計是由一百一十公斤級的GBU-29、GBU-30，波音提出的設計是由四百五十公斤級 Mk-83 和九百公斤級 Mk-84 改裝的 GBU-31 和 GBU-32。一九九五年十月，波音贏得了為期四十個月的工程製造發展合約，以及第一批四千六百三十五件的生產採購，每件單價美金一萬八千元。(註：目前價格為兩萬兩千元)

一九九六年一月十一日，一架B-1B在兩千公尺高度、零點八五馬赫飛行速度下，投下三枚裝滿測試儀電的JDAM試驗彈，完成歷史上第一次的JDAM試投。接著在當年十一月，由F-16完成第一次的實彈導向試投，後續是B-52、B-2A、F/A-18的試投，全部飛試在一九九八年底順利完成，飛試結果顯示最大誤差半徑為九點六公尺，比規定的十三公尺更佳。上述飛試大都在中高度(六千到七千六百公尺)、中等飛行速度(零點八馬赫)下進行，不過有一次一架F-16在低高度的一千五百公尺，於爬升飛行姿態下，對距離九公里外的地面目標進行試投，彈著點誤差半徑只有七點六公尺。目前美軍全系列戰機經過飛試驗證皆可投擲JDAM，包括傳統戰機如：F-14D、F-15、F-16、F/A-18、B-1B、B-52以及匿蹤戰機B-2A、F-117、F-22。

工作規格

JDAM是一具長一點五公尺，配有四片飛行控制翼面(在成本考量下，三片固定，只有一片可動)，內有導向控制系統的不鏽鋼錐型組件，可替換傳統空用炸彈的尾錐，為傳統炸彈賦予了新的「頭

腦」和「翅膀」。戰機有了JDAM後，不論任何時候，都能在一萬一千公尺的高空，對距離二十四公里外的目標進行轟炸，從此不再靠重力和運氣來擊中目標，也遠離了敵方防空系統的威脅。

美國空軍在開發JDAM時所制定的基本規格是：一、價格一定要便宜，單價不能超過四萬美元；二、美軍現役第一線戰機、轟炸機皆能拋投；三、它能替換 Mk-82、Mk-83、Mk-84、BLU-109/B、BLU-110/B……等傳統炸彈的尾錐；四、它不必是個圓形公算誤差只有三公尺的「精確」(precision)炸彈，但必需夠「準確」(accurate)；五、它的圓形公算誤差在GPS導航下，不能超過GPS訊號誤差的十三公尺，若是GPS因故無法發揮作用，慣性導航下的圓形公算誤差不能超過三十公尺。

JDAM所具有的「特異功能」全部來自它的導向控制組件。JDAM的心臟是漢尼威爾(Honeywell)的HG 1700環狀雷射陀螺儀(ring laser gyro)慣性量測單元，JDAM的頭腦則是導控單元(guidance and control unit)，這些全容納在一個錐型體內。

投擲JDAM前，戰機透過連接線將JDAM啟動，由JDAM進行內部自我檢測、暖機、調校慣性量測單元，一切妥當後將狀態訊息傳回戰機，然後由戰機下載GPS時序、GPS衛星位置、GPS密碼，啟動洛克威爾(Rockwell) GEM-III GPS接收機。待慣性量測單元調校完畢，GPS接收機也已經啟動，JDAM再由戰機下載目標的GPS座標、引信設定、撞擊參數……等。這些參數在投擲JDAM之前，都能隨時再度下載，而戰機的位置及飛行速度，則是在JDAM投擲前的一瞬間，才由戰機下載到JDAM。戰機起飛前需事先設定每個JDAM的攻擊目標，因此可以多個JDAM攻擊同一目標，也可以各自攻擊相異的目標。

JDAM被載機拋離後，尾翼先行鎖定一秒鐘，以防止JDAM拋離時與載機發生碰撞，然後自動解鎖，組件內的鋰熱電池(Lithium Thermal Battery)開始提供電源到引信和導向裝置，驅動電動唧筒偏轉彈尾的飛行控制翼面，調整飛行姿態。

導向裝置完全控制JDAM後，最佳化導航開始

接手，首先同時啟動GPS訊號追蹤及最佳化導航計算。為了避免GPS訊號被載機遮蔽，或是接收到載機反射回來的假訊號，JDAM脫離載機三秒鐘後才開始進行GPS訊號追蹤。追蹤開始後大約一秒鐘，接收第一枚人造衛星的訊號，再兩秒鐘後接收第二枚，再四秒鐘後接收第三枚，接著再追蹤其他的衛星訊號，以校正位置誤差並提供準確的導航。大約在拋離載機後二十七秒，產生第一個有效的導航數據，同時JDAM內的微處理器(microprocessor)接收由慣性量測單元和GPS接收機送來的的位置訊號，開始執行即時(real time)最佳化導航運算，以卡門數位濾波演算不斷計算炸彈在三度空間中最可能的位置，算出由現在位置、速度飛抵撞擊點所需的最小飛行姿態改變量，並和預先輸入炸彈內的目標GPS座標一同送給飛行控制系統。此後最佳化導航不停地運算，計算在設定之撞擊點、撞擊角度、撞擊方位下，由現在位置飛抵撞擊點之最佳飛行軌跡，若計算結果顯示無法滿足原先之攻擊設定，則導向裝置會以撞擊速度優先，其次是撞擊角度/方位，最後是撞擊點。

萬一GPS訊號錯誤、斷線、或是受到干擾，JDAM就會依據慣性量測單元的數據繼續飛向目標，當然這樣的撞擊點精確度會比較差，而且誤差量會與飛行時間的長短成正比。(待續)

二〇〇三年九月十日，美國空軍一架B-2A在飛行測試中一次投擲八十枚JDAM，成功擊中地面八十個不同的瞄準點，創下單機投擲導向炸彈的最高紀錄。

