

美國高層飛彈防禦系統之發展

林宗達

提 要

彈道飛彈的研製始於1950年代末，其具有快速突防、機動部署、定點打擊與難以反制等諸多優越作戰能力，是令許多國家相當頭痛的一項武器^①。然而早期所發展的飛彈均以液態燃料火箭（liquid fuel rocket）作為推進器，但是現今在美國和俄羅斯已經將全部彈道飛彈全部更換為固態燃料之際，世界上的彈道飛彈，將隨著美俄兩國的腳步和對手防禦能力提升，逐步邁向固態燃料火箭（solid fuel rocket）推進器、機動化、小型化和智能化^②。然如此的趨勢，卻會使得反彈道彈之防禦，更加困難。相形之下，反彈道飛彈即成了空防上的重要任務了。

前 言

美國對於彈道飛彈的防禦是從1951年即已開始，當時陸軍稱此為「柏拉圖」計畫（Plato Project），它是世界上第一個專門研究防禦戰術彈道飛彈武器系統的計畫，但是此計畫於1958年已胎死腹中^③。六〇年代，美蘇兩國重點轉向研究用核子飛彈來攔截帶有核彈頭的戰略彈道飛彈，同時亦進行研究

各種非核子飛彈的反彈道飛彈武器系統，直至八〇年代以後，由於戰術彈道飛彈的威脅日益擴大和非核子反彈道飛彈的技術日漸成熟，美蘇兩國隨即將發展反戰術彈道飛彈的技術置於第一位^④。

1991年波斯灣戰爭爆發，美國的愛國者二型（Patriot Advanced Capability -2, PAC-2），成功地攔截到伊拉克所發射的飛雲飛彈（Scud-B），但是其攔截的實際功效，

註① Willis Stanley and Keith Payne, "Missile Proliferation : Threat and U.S. Response" , Comparative Strategy, Vol.16 No. 2 (1997 (Special Issue)) , p.135.

註② 鄭軍，「靈活機動、便捷高效的固體彈導彈」，兵器知識（北京），144期（1999年10月），頁31。

註③ 溫德義，「防禦戰術彈道導彈的武器系統技術」，現代軍事（北京），182期（1992年3月），頁22。

註④ 同上，頁22-3。

卻一直受到外界的懷疑和爭議^⑤，鑑此，美國和以色列乃更積極的研究新型的反彈道飛彈武器^⑥，而這二者的發展計畫，均是現今美國「國家飛彈防禦」（National Missile Defense, NMD）計畫的其中之一。

當前反彈道飛彈的主要措施有^⑦：其一，加強偽裝、機動疏散的消極防禦措施；其二，是加強預警偵測，改善和發展C3I系統；其三，則是發展反彈道飛彈的中高空飛彈防禦系統。

對於第一種消極措施，即是本來軍事防衛和攻擊為避免讓敵人發現所應做的；第二也是飛彈防禦的附從必備要項；至於第三項則是飛彈防禦中，技術最難突破和難有進展者。蓋以飛彈去反制彈道飛彈確有其困境之處，但此亦是現今研究發展的重點所在，因為美國的愛國者三型飛彈（Patriot Advanced Capability -3, PAC-3）和「戰區高空區域防禦」（Theatre High Altitude Area Defense, THAAD）之飛彈系統，均是以飛彈來反制彈

道飛彈或者是巡弋飛彈之武器，亦是美國柯林頓政府之前較可能進行有限部署或進入實際作戰測試的「國家飛彈防禦」之陸基反彈飛彈武器系統。

在柯林頓政府時代的國家飛彈防禦，為求能有效反制彈道飛彈之威脅，在作戰系統方面，美國即已著手較為完善和先進的飛彈防禦相關作戰系統之規劃與整合。其整體之基本共同組成架構為^⑧：

1. 既有的早期預警系統（衛星和雷達），並進行必要的性能提升；
2. 新型的陸基雷達（Ground-based Radars, GBRs）和太空與飛彈追蹤系統；
3. 「動能殺傷飛行器」（Kinetic Kill Vehicle, KKV）彈頭，此是為陸基攔截器（Ground-based Interceptors, GBIs）用來擊毀敵人在太空中的飛彈而設計的；
4. 對於協調聯合作戰的指揮管制系統。因為這些共通部分為各種系統的必要配備，故在此處將會著重於各個飛彈系統的主體上

註^⑤ 依照美國陸軍的說法是，其在沙烏地阿拉伯成功地攔截到80%的飛雲飛彈，而在以色列則是超過50%。但是，以色列在戰後的研究中指出，美軍在攔截飛向以色列的飛雲飛彈的彈頭之比率不到20%，其宣稱尚有12次愛國者二型已經攔截到飛雲飛彈，但卻未能將其彈頭摧毀。黃大舟，「波斯灣戰爭反彈道飛彈作戰之檢討」，全球防衛雜誌，第96期（1992年8月），50-4。

註^⑥ 基於波斯戰爭中反彈道飛彈之經驗，美國計畫進行以愛國者飛彈為基礎的反彈道飛彈武器系統之研究，其新型的愛國者飛彈的防衛範圍將增大四倍，接戰高度也可望增加二倍。此外，以色列亦在研製「箭式」（Arrow）反彈道飛彈系統，最初之期望是能夠攔截到38公里高空的彈道飛彈。參閱黃大舟，前揭文，頁59。

註^⑦ 劉發來，「反戰術導彈是現代防空的重要任務」，現代軍事，第184期（1992年5月），頁43-4。

註^⑧ K. Scott McMahon, "Star Wars comes down to earth", Jane's International Defence Review, Vol.No.30 (August 1997), p.25.

與其發展之過程，而以相關作戰系統為輔，進而作為後續評估發展進程之用。

在小布希（George W. Bush）政府時代，上述之發展或已有所精進和突破。而其中陸基的飛彈防禦系統，則是國家飛彈防禦體系中，較為成熟者。即使是陸基防禦系統中最為先進的「戰區高空區域防禦」（THAAD）系統，其在攔截飛彈測試上，曾獲成功的驗證，並且美國計劃將於2007年時進行部署^⑨。此外，已經部署的陸基飛行中途防禦系統（Ground-Based Midcourse Defense, GMD）亦是美國國家飛彈防禦體系甚為重要的一環，並且是當前美國攔截中長程彈道飛彈（medium and long ballistic missiles）的主力。THAAD和GMD構成了美國陸基飛彈防禦體系中之高層飛彈防禦的兩道反制彈道飛彈的防線，這兩套飛彈防禦系統之相關發展，亦是現最受世界所矚目者。

戰區高空區域防禦（THAAD）系統

美國高空區域防禦（以下均簡稱為THAAD）系統為美國陸基高層飛彈防禦之一部分，然其為車載之機動式的飛彈防禦系

統。以下將就其發展、測試與部署而論之。

一、發展

THAAD飛彈防禦系統之研究工作始於1990年，其是為求攔截戰術／戰區彈道飛彈（Tactical/Theatre Ballistic Missile, TBM）或者是長程彈道飛彈重返大氣層載具（Re-entry Vehicles, RVs）而設計者，其主要是用來防護涵蓋戰區部隊與區域安全的飛彈防禦系統^⑩。在美國國家飛彈防禦與戰區飛彈防禦中，THAAD飛彈防禦系統與PAC-3飛彈防禦系統均為地面機動式的飛彈防禦系統，只不過PAC-3飛彈防禦系統是專責於彈道飛彈終端飛行階段（flight of terminal phase）之低空威脅（low-tier threats）攔截任務，而THAAD飛彈防禦系統則是負擔高空威脅（high-tier threats）攔截的工作^⑪。

1992年9月，由洛克西德馬丁飛彈與航太公司（Lockheed Martin Missile and Space Company）與美國陸軍簽約，領導整個研究發展計畫，而雷神（Raytheon）公司則負責「戰區飛彈防禦」（TMD）地面雷達的聯結系統整合，此一契約高達美金6億8,900萬元^⑫。

THAAD飛彈系統是由陸基雷達、戰管

註⑨ “The US Bush Administration Picks Up the Piece on Strategic Missile Defense”, Defense & Foreign Strategic Policy, Vol. XXIX No. 3 (March 2001), p.14.

註⑩ “USA : Defensive Weapon : Theatre High Altitude Area Defense”, Jane's Strategic Weapon System 1997-98, JSWS-ISSUE 24.

註⑪ Wade Boese, “Pentagon Report Highlights Hurdles for Missile Defense,” Arms Control Today, Vol. 31 No. 3 (April 2001), p.24.

註⑫ “Static and Toward Surface-to-Air Missile System/USA : Lockheed Martin Army Theatre High Altitude Area Defense missile (THAAD) system”, Jane's Land-Based Air Defence 1997-98, p.301.

暨指揮管制通情工作站（BM/C3I）、飛彈本體、發射系統和支援裝備等5個次系統所組成，各次系統都能利用車輛搭載或牽引，亦能利用美國空軍C-130、C-141、C-17、C-5等運輸機進行空運¹³。

全套THAAD可完成對彈道飛彈的偵測、識別、標定並且發動數波的飛彈攔截接戰，目前運作中的操縱評估系統是由2座相位陣列陸基雷達、2座戰管暨指揮管制通情站、四輛THAAD飛彈機動發射車所組成¹⁴。

值得注意的是，THAAD所使用的X波段雷達是一種極為先進的雷達系統，該雷達系統雖然主要是為反彈道飛彈設計之用，但也用於對彈道飛彈的預警監測能力，是一種拖曳式的機動雷達。該雷達由雷神公司承造，是一種主動式相位陣列雷達（phased array radar）。其10平方公尺大小的單面式天線上，裝有25,344個主動發射／接收單元，最大偵測距離為1,000公里，使用X波段操作，每套雷達系統價值大約3億8,570萬美元¹⁵。

THAAD系統的攔截飛彈之彈長約6.17公

尺，彈徑0.34-0.37公尺，發射重量約為800公斤，採用慣性或全球衛星定位導航，使用固體燃料火箭推進器，最初的保守估計此系統的攔截飛彈之射程約150公里，有效的攔截高度約在100公里以上，此系統配備的地面搜索雷達，其搜索範圍可遠及1,000公里¹⁶。中共方面的報導則是此系統的攔截飛彈之作戰高度在40-150公里範圍之內，而射程至少在200公里以上¹⁷。而實際上，在歷經十餘年的發展之後，美國飛彈防禦署（MDA）已經將此系統定位於可以在大氣層內與大氣層外，進行攔截低於5,500公里射程的彈道飛彈作飛彈防禦任務¹⁸。

THAAD飛彈防禦系統的攔截程序，是先以陸基雷達在遠距離搜索目標，一旦搜索到目標，即行跟蹤，並把追蹤數據傳送給作戰管理與C3I（Command, Control, Communication and Intelligence, C3I）系統，作戰管理與C3I系統把目標數據傳送至飛彈上，再下達發射命令¹⁹。在飛彈發射後的飛行途中，此型飛彈可以一次或多次目標修正

註¹³ 粵儒，「終極截殺一戰區彈道飛彈反制：Part I」，全球防衛雜誌，第174期（1999年2月），頁86。

註¹⁴ 同上。

註¹⁵ 張明德，「由安邦預警雷達評估案看台灣彈道飛彈預警系統的建立（下）：附錄3：我國早期預警雷達可考慮的其他選項」，尖端科技，第210期（2002年2月），頁24。

註¹⁶ "USA: Defensive Weapon: Theatre High Altitude Area Defense", Jane's Strategic Weapon System 1997-98, JSWS-ISSUE 24.

註¹⁷ 「美THAAD可攔截射程3,500公里彈道飛彈」，中國評論新聞網，2009年10月12日，〈<http://www.chinareviewnews.com/doc/1011/0/1/1/101101196.html?coluid=7&kindid=0&docid=101101196>〉。

註¹⁸ Wade Boese, "Short-Range Missile Defense Show Progress," Arms Control Today, Vol. 38 No. 6 (July/August 2008), p.45.

註¹⁹ 溫德義，「美國戰區高空區域防禦系統簡介」，現代軍事，219期（1995年4月），頁38。

數據，而在接近目標之時，動能殺傷飛行器會與彈體分離，朝向目標位置，然後其能自主尋標飛行，透過直接碰撞以達攔截並摧毀目標，如果第一枚飛彈未能擊中目標，即發射第2枚，若是仍未能擊中，則就將目標轉交與「愛國者三型」（PAC-3）進行第3次攔截²⁰。

THAAD之攔截飛彈為了有效擊毀來襲之飛彈，亦採用了多個如「愛國者三型」飛彈中「動能殺傷飛行器」（Kinetic Kill Vehicle, KKV）或「外大氣層殺傷飛行器」（Exoatmospheric Kill Vehicle, EKV）。前者殺傷飛行器長約2.32公尺，彈徑0.37公尺，這些飛行器均使用一個液體燃料推進器的偏向和高度控制系統，可作為攔截目標攻擊修正方位高度之用，而在動能殺傷飛行器從「戰區高空區域防禦」飛彈發射之前，飛彈會給予預期和目標攔截點的途徑，以期達到攔截之功效²¹。至於後者，在最近由波音公司獲得發展此項武器的契約，其總金額高達16億美元，而預計其後的總價值將會超過50億美元²²。

事實上美國的THAAD反彈道飛彈系統是一項相當昂貴的研究和發展計劃。1990年

代末期，美國單就THAAD飛彈系統之初步之研發與部署之經費，其估算就要耗費90億美元，而相關的陸基雷達之研發與購置之經費亦需要54億美元，合計THAAD之攔截飛彈和雷達系統的研發和購置，就需要144億美元²³。

儘管研發與部署費用均甚為高昂，但是美國飛彈防禦署仍將THAAD飛彈防禦系統視為國家飛彈防禦的重點，且為了加強陸基之機動式飛彈防禦系統與其他空防系統（C-RAM系統）的整合，並於2007年1月開始著手規劃所謂的「整合空中和飛彈防禦戰鬥指揮系統」（Integrated air-and missile-defense Battle Command System, IBCS）。

二、測試

THAAD飛彈防禦系統在1995年-1999年之間，已歷經六次直接攔截的失敗經驗，因而飛彈防禦署即規劃1999年時進行兩次連續性的攔截測試²⁴。

2002年3月15日，美國國防飛彈防禦署（Missile Defense Agency, MDA）曾經在太平洋外海進行這種「外大氣層殺傷飛行器」（EKV）的測試，結果攜帶這種「外大氣層殺傷飛行器」（EKV）的攔截器成功地在南

註²⁰ 溫德義，前揭文，頁38。

註²¹ “USA : Defensive Weapon Theatre High Altitude Area Defense”，Jane's Strategic Weapon System 1997-98, JSWS-ISSUE 24.

註²² “Boeing win \$ 5b deal to develop NMD system”，Jane's Defense Weekly, Vol. 29 No. 18.（6 May1998），p.3.

註²³ Static and Toward Surface-to-Air Missile System/USA : Lockheed Martin Army Theatre High Altitude Area Defense missile（THAAD）system”，Jane's Land-Based Air Defense 1997-98, p.301.

註²⁴ Wade Boese, “Pentagon Report Highlights Hurdles for Missile Defense,” Arms Control Today, p.24.

太平洋攔截到一顆從飛行了1,400公里之彈道飛彈脫離出的彈頭²⁵。然而最初導引「外大氣層殺傷飛行器」則是陸基的X波段的雷達，然後才是由攔截器本身的兩具紅外線和視覺導引器²⁶。在此值得一提的是這先進的陸基X波段雷達，已經準備在阿拉斯加的謝米亞島（Shemya）部署，如果需要的話，2005年時，即可進入實戰的作戰序列運作之中²⁷。

目前美國國防部的飛彈防禦署（Missile Defense Agency, MDA）正聯合美國陸軍尋求發展一種具有低價的小型截殺飛行器（Miniature Kill Vehicle, MKV），以提昇強化飛彈攔截器在對抗彈道飛彈時的防禦效力²⁸。在國防部的多重小型飛行截殺器（Multiple Miniature Kill Vehicle, MMKV）概念發展下，一個攔截助推器將會攜帶一個能夠含括20-30個小型截殺飛行器（MKV）的整合截殺飛行器去迎擊來襲的彈道飛彈，而每個小型的截殺飛行器理想重量將被設定在不能超過1公斤。這種攔截飛行器主要是被用來

攔截擊毀正在進行彈道中途飛行階段的彈道飛彈，但也可運用於截殺助推階段（Boost-phase）的彈道飛彈之防禦（ballistic missile defense, BMD）²⁹。

國防部的飛彈防禦署（MDA）將以2,450萬美元的經費發展這種截殺飛行器，並在2005年年初展示這項科技，而進一步的飛行測試將會較為晚些。美國國防部希望能將此項科技運用於現今正在發展的PAC-3飛彈和THAAD飛彈的攔截器上³⁰。

1998年5月12日THAAD飛彈進行測試，但飛彈並沒有擊中目標，研究人員歸納其原因是在於不同的錯誤功能所致，而其中包括電子短路、不良的尋標攔截器和軟體處置錯誤等，均是致使飛彈測試失敗之原因³¹。

1999年3月29日，THAAD續在美國白沙飛彈試射場，進行飛彈攔截測試，其原本之要求是THAAD飛彈必須要能接近來襲的飛彈之10-30公尺內，將其擊毀。但是非常明顯的是此次試驗，仍舊是功敗垂成³²。而此一試射失敗，導致原本美國五角大廈於2000年6

註²⁵ Robert Wall, "Missile Defense's New Look To Emerge This Summer", Aviation Week & Space Technology, Vol. 156 No. 12 (25 March 2002), p.28.

註²⁶ Robert Wall, op. cit., p. 28.

註²⁷ "August 2000 Pentagon on NMD Technology", Arms Control Today, Vol. 31 No. 6 (July/August 2001), p.32.

註²⁸ Michael Sirak, "USA explore miniature kill vehicles for missile defense", Jane's Defense Weekly, Vol. 37 No. 7 (13 February 2002), p.6.

註²⁹ Michael Sirak, op. cit., p.6.

註³⁰ Michael Sirak, op. cit., p.6.

註³¹ Bryan Bender, "Troubled THAAD tests reviewed next week", Jane's Defense Weekly, Vol.29 No.23 (10 June 1999), p.6.

註³² Robert Wall, "Thaad Missile Target Again : Telemetry Loss Hinder Analysis", Aviation Week & Space Technology, Vol.150 No.14 (5 April 1999), p.62.

月將選擇陸基的THAAD或海軍的「海軍全戰區」(Navy Theatre-wide)系統，作為高層的防禦系統，勢必要延後至2007年³³。

THAAD飛彈系統從原先設計的發展之初至20世紀末，其研發和測試的進程當中，一直都不是很順利，而計畫的執行太過快速，以致於既存的問題無法妥善處理是一大原因。1998年10月12日是THAAD第5次的測試，蓋自從1995年起此5次測試均告失敗，國防部的官員認為太過急速的發展進程與急切的部署時間表，即是失敗的主因³⁴。但在北韓試射飛彈之時，美國國防部認為對於部署THAAD飛彈系統，應力求謹慎，而且應該延緩部署時間，以求改善當前飛彈測試之問題，確保其反彈道飛彈之能力³⁵。

美國雖然經過多次試射的失敗，但相信這些單一技術的問題，一定可以克服修正的，而且期望能在未來的測試之中，THAAD飛彈能在來襲飛彈的10公尺範圍引爆將其擊毀³⁶。

在經歷多次失敗之後，THAAD終在1999

年6月10日，新墨西哥州的白沙飛彈試射場之測試中，成功地以每秒1.6公里的速度，在96公里以下的高空，成功地擊中來襲的彈道飛彈。美國期望能以此成功之基礎，再進行10次以上的試驗，並且將高度提升至100公里以上³⁷。

根據學者柯倚(Philip Coyle)的研究，美國陸軍的「戰區高空區域防禦」飛彈系統，從1995年至1999年11月間，共進行了8次的飛行測試，其中最初的6次飛行攔截測試均告失敗，使此一計劃幾遭受到被迫取消的威脅。但在1999年的最後2次測試中，則獲得成功³⁸。

現今THAAD飛彈在測試期間，已經能夠同時在一次試驗中，在大氣層內擊毀來襲的彈道飛彈和另一個重返大氣層載具的攔截目標，而在未來仍將有35-40次的飛行測試³⁹。THAAD系統中的飛彈攔截目標與後續的改良原是期望能以約每秒2.5公里的速度對抗射程約500公里射程的來襲飛彈，但近來則期望能以每秒6.5-7公里的速度，迎擊來襲射程

註³³ Grege Seigle, "THAAD misses the target again", Jane's Defense Weekly, Vol.31 No.14 (7 April 1999), p.6.

註³⁴ "US work to fix THAAD problems enters overdrive", Jane's Defense Weekly, Vol. 30 No.15 (14 October 1998), p.4.

註³⁵ "US work to fix THAAD problems enters overdrive", Jane's Defense Weekly, p.4.

註³⁶ Grege Seigle, "US Army homing in on causes of THAAD failures", Jane's Defense Weekly, Vol.31 No.18 (5 May 1999), p.10.

註³⁷ "THAAD finally hits its target", Jane's Defense Weekly, Vol.31 No.24 (16 June 1999), p.3.; "World News Roundup", Aviation Week & Space Technology, Vol.150 No.24 (14 June 1999), p.56. & "Thaad Seeker Views Her a Target Before Hit-to-Kill Intercept", Aviation Week & Space Technology, Vol.150 No.26 (28 June 1999), p.42..

註³⁸ Philip Coyle, "Rhetoric or Reality? Missile Defense Under Bush", Arms Control Today, p.4.

註³⁹ "THAAD will take fast-track route to development", Jane's Defense Weekly, Vol.32 No.8 (25 August 1999), p.4.

約3,500公里的飛彈，而此更新之計畫，預定能在2003年左右進行測試⁴⁰。另外從2004年起，THAAD系統每兩年會進行性能提昇（如block 2004、2006和2008），俾將以前之作戰系統改善至能與最新的系統可以相互整合，而達到該系統運作的所能接受的標準，來配合以往所生產系統作有效之維修與戰力⁴¹。

2007年10月27日，美國對THAAD飛彈防禦系統進行一項更為新穎的測試，在這項測試中，美國嘗試以艦載和發射飛毛腿(Scud)短程彈道飛彈之方式，來測試THAAD對於來自海上目標的偵測和截擊能力。結果THAAD系統的X波段雷達偵測到目標，爾後該系統導引飛彈成功地進行攔截任務⁴²。2009年3月，THAAD飛彈防禦系統首次進行以兩枚群攻之發射(salvo)方式，來反制「高空短程」('high-end short-range')彈道飛彈目標之測試，在此測試中，THAAD系統發射攔截飛彈，當第二枚朝向來襲飛彈進行攔截之際，第一枚飛彈已經成功地攔截目標⁴³。在此成功測試

之後，飛彈防禦署(MDA)規劃在2009年7月至2010年1月，會進行攔截中、長程飛彈的測試，以及再從兩個不同方位發射反彈道飛彈之攔截測試⁴⁴。

三、部署

受到飛彈測試成功的影響，美國國會於國防部1999年度預算中，預計在2001年以8億2,200萬美元作為發展研究此型飛彈之用，並確認再延後2年，或可進行此型飛彈系統的先前部署計畫⁴⁵。然國防部在1990年代末期的這種樂觀預估，卻因更高層次的攔截測試受挫之後，而無法如願。柯倚指出因THAAD飛彈防禦系統擔任美國戰區飛彈防禦中的高空攔截飛彈的任務，是美國國家飛彈防禦的相當重要部分，故未來此型飛彈防禦系統的測試工作將會較以前飛彈防禦系統所沒有的，更困難、更具可靠性和高攔截效率的測試計畫。全面生產的時間應該會是在2007年或2008年，但可能因為在2000年和2001年並未排定新突破性的測試計畫，也會使此一進程

註⁴⁰ Michael A. Dornheim, "Though Tests for Thaad Are Several Years Off", Aviation Week & Space Technology, Vol.151 No.7 (16 August 1999), p.70.

註⁴¹ Missile Defense Agency, "Theater High Altitude Area Defense (THAAD)," MDAfacts, 30 January 2004, p.1.

註⁴² Tara Copp, "THAAD proves ready for 2008 separating target tests," Jane's Defense Weekly, Vol. 44 No. 45 (7 November 2007), p.10.

註⁴³ Danie Wasserbly, "THAAD succeeds in its first salvo test," Jane's Defense Weekly, Vol. 46 No. 12 (25 March 2009), p.6.

註⁴⁴ Daniel Wasserbly, "Lockheed Martin rolls out new THAAD systems," Jane's Defense Weekly, Vol. 46 No. 16 (22 April 2009), p.10.

註⁴⁵ "THAAD test must intercept", Jane's Defense Weekly, Vol.29 No.18 (6 May 1999), p.6.

向後延2年或更久⁴⁶。

立基於上述各項成功的測試激勵與來自於美國布希政府的迫切政治壓力，美國國防部則希望THAAD之飛彈防禦系統能夠超越原先既定的2006年服役，最好能在2004年之時，即能進入作戰部署的序列之中，其實這個日期並非是此型飛彈防禦系統理想的狀況，並且僅是有限的部署架構⁴⁷。

國防部官員原本希望能加快測試步伐，以求能在2006年時服役，並將未來部署THAAD防禦系統之攔截飛彈的總數定為1,272枚⁴⁸，但就其發展進度來看卻不如其願，故在2007年之前進行部署實無可能⁴⁹。而美國飛彈防禦署(MDA)則於2008年5月28日對外宣稱，美國陸軍將會在2009-2010年之間部署THAAD飛彈防禦系統，並且會在此之前先交付三組THAAD的飛彈發射載具與24枚攔截飛彈給予陸軍做為訓練之用⁵⁰。而《詹氏防衛週刊》(Jane's Defense Weekly)亦刊載，美國在2009年陸軍已經採購三組THAAD系統的飛彈發射載具和相對數目的攔截飛

彈、射控與通訊系統以及AN/TPY-2雷達，至於洛克希德馬丁(Lockheed Martin)的戰時用發電機組則可在2009年底交付陸軍使用。按此進度，美國國防部在2010年的會計年度預算中，即對THAAD飛彈防禦系統和海軍的標準三型(SM-3)之採購案，增編了七億美元⁵¹。

此外，值得關注的是，美國陸軍為求此行飛彈系統能符合機動作戰與快速部署之需求，整套的THAAD系統，將可因應戰場之需要，交由美國軍方的C-141運輸機運載至需要的戰場中，進行機動部署⁵²。

陸基飛行中途防禦系統(GMD)

雖言陸基飛行中途防禦系統(以下均簡稱為GMD)與THAAD都是美國規劃在高空反制彈道飛彈之陸基飛彈防禦系統，然此兩者甚為不同的是，前者是固定式之飛彈防禦系統，而後者則是機動式之飛彈防禦系統；另外，前者主要是針對彈道飛彈在外大氣層

註⁴⁶ Philip Coyle, "Rhetoric or Reality? Missile Defense Under Bush", Arms Control Today, p.4.

註⁴⁷ Michael Sirak, "America's BMD stumble", Jane's Defense Weekly, Vol. 37 No.18 (1 May 2002), p.23.

註⁴⁸ "DoD boosts THAAD development programme", Jane's Defense Week, Vol.31 No.4 (27 January 1999), p.3.

註⁴⁹ 美國的航空暨太空週刊於1999年時之評估，此型飛彈防禦系統是有可能在2005年或2006年之前進入實戰的部署作戰序列之中，但2007年則是一個較為可能部署的日期。Robert Wall, "Rumsfeld Goes Full-Bore For Ballistic Missile Defense", Aviation Week & Space Technology, Vol. 155 No. 1 (2 July 2001), pp.37-40.

註⁵⁰ Wade Boese, "Short-Range Missile Defense Show Progress," Arms Control Today, p.45.

註⁵¹ Daniel Wasserbly, "Lockheed Martin rolls out new THAAD systems," Jane's Defense Weekly, p.10.

註⁵² "The US Bush Administration Picks Up the Piece on Strategic Missile Defense", Defense & Foreign Strategic Policy, p.14.

之中途飛行進行飛彈攔截，而後者則是著重於在彈道飛彈在重返大氣層初進行飛彈攔截作戰。

關於THAAD之發展、測試與部署前已論述，故以下將針對GMD之系統規劃與發展、測試與部署而論之。

一、系統之規劃與發展

美國國家飛彈防禦之GMD的任務主要是在防衛長程飛彈對美國本土的攻擊，其乃是美國因應彈道飛彈科技和大規模毀滅性武器持續擴散之下，美國反制此威脅之必要的多層次彈道飛彈防禦系統（Ballistic Missile Defense System, BMDS）。在GMD進行攔截的期間，裝載助推器的攔截飛彈本體在朝向攔截目標之際，會先鎖定目標，並發射由地面雷達導引和自行感測裝備的「截殺器」（kill vehicle）去攔截來襲的目標⁵³。

美國彈道飛彈防禦署（MDA）的工作主要在於發展和測試彈道飛彈防禦系統（Ballistic Missile Defense System, BMDS），而在此工作則有三個彈道飛彈防衛部分，為其發展之重點，此亦即是助推階段（boost phase）、中途階段（midcourse phase）和終端階段（terminal phase）防衛，陸基戰區高空防禦與愛國者三型等兩種飛彈防禦系統，均標定於後者之終端階段的彈道飛彈攔截，

而GMD則是鎖定於攔截在飛行中途階段的彈道飛彈，並且其設計與發展都被標定於防護美國五十個州可免於遭受中程彈道飛彈（intermediate long range ballistic missile, IRBM）和長程彈道飛彈（long range ballistic missile, LRBM）之攻擊，而在來襲的中、長程彈道飛彈重返（reentry）之前，即予以擊毀⁵⁴。

事實上，美國早在1980年代和1990年代之間，即針對GMD的相關科技進行研發工作，飛彈防禦署（Missile Defense Agency）亦與美國波音（Boeing）公司簽訂了金額高達16億美元的相關科學技術合同。而波音公司則將此研發技術的合同，分別發包給其他美國公司，以共同承擔GMD的各項科技研製工作⁵⁵。整體的GMD系統研發工作之分配，是由波音公司（Boeing Company）負責設計、整合、測試和維繫所有GMD系統的各個組成部分，雷神公司（Raytheon Company）專責於截殺器與雷達之研製，軌道科學公司（Orbital Science Corporation）擔當提供助推攔截器，諾斯諾普格魯曼公司（Northrop Grumman Company）為提供戰鬥管理，波音服務公司（Boeing Service Corporation, BSC）則是負責對於GMD系統進入運作後之非航空器之運作和維修，以及在GMD系統在各地運

註⁵³ Missile Defense Agency（MDA），“Ground-Based Midcourse,” MDA facts, 30 January 2004, p.1.

註⁵⁴ “EKV/GMD: Exoatmospheric Kill Vehicle/Ground-Based Midcourse Defense System,” Raytheon, February 2008, 〈<http://www.raytheon.com>〉.

註⁵⁵ “Ground-Based Midcourse Defense（GMD）,” MISSILETHREAT.com, 8 December 2009, 〈<http://www.missilethreat.com/missiledefensesystems/id.24/s>〉

作的維繫作業⁵⁶。

基本上，完整的GMD系統是由一個相當複雜的多種組件所構成者，這其中包括空軍的國防支援計畫（Defense Support Program, DSP）衛星、太空紅外線高軌道（Space Based Infrared System-High, SBIR-High）衛星、太空追蹤和監視系統（the Space Tracking and Surveillance System, STSS）、改良的早期預警雷達（Ungraded Early Warning Radars）、一組戰鬥管理、指揮、控制和通訊組件（a Battle Management, Command, Control and Communication, BMC3）、海基X波段雷達（the Sea-Based X-Band Radar, SBX）⁵⁷和地面攔截（Ground-Based Interceptor, GBI）飛彈⁵⁸。而上述GMD系統之各項重要次級系統，將列表簡述於下。

在此所進一步說明的是「表 GMD系統之各項次系統之發展簡介」中之GBI之攔截

助推器與外大氣層截殺器（以下均用EKV稱之）。

首先，就攔截助推器而言。GBI的攔截助推器是由三節具有快速飛行能力的商業用的火箭修改而來者，如此之修改是為了使其能夠攜載EKV到接近攔截預定點，才投射EKV來攔截敵人的飛彈。當攔截助推器在飛行途中，EKV會不斷地接獲來自於GMD其他次級系統所給予的敵方飛彈之位置變更和彈頭與誘導彈的訊息，且EKV會將這些訊息傳給攔截助推器⁵⁹。

其次，就EKV而論。EKV大約有63公斤（140磅）重、55英吋長與24英吋的直徑⁶⁰。其基本設計被標定於可以超過每小時24,000公里之接近目標的高速，以碰撞的方式來摧毀來襲的飛彈之彈頭⁶¹。當GBI飛彈從發射基座飛向太空約150秒後，EKV就會從攔截飛彈GBI的助推器中被發射出去，自動地進

註⁵⁶ Hans Geier, “Economic Impact of the Boeing Ground-based Midcourse Defense (GMD) Program: Alaska Operations 2007,” Boeing (Research Paper from University of Alaska Fairbank, January 2008), p.5.

註⁵⁷ 美國在2005年4月3日在德州外海建立一座海上X波段雷達，並期望未來能夠在阿拉斯加外海建立另一座X波段雷達。Wade Bose, “Missile Defense Aims to Hit Target in ‘06,” Arms Control Today, Vol. 35 No. 7 (September 2005), p.39.

註⁵⁸ Hans Geier, “Economic Impact of the Boeing Ground-based Midcourse Defense (GMD) Program: Alaska Operations 2007,” Boeing, p.5.

註⁵⁹ Rodbetn X. McCants, “Ground-Based Missile Defense (National Missile Defense) : Is It Feasible,” USAWC Strategy Research Project (U.S.: U.S. Army War College, 3 May 2004), p.3.

註⁶⁰ “EKV/GMD: Exoatmospheric Kill Vehicle/Ground-Based Midcourse Defense System,” Raytheon, February 2008, <<http://www.raytheon.com>> .

註⁶¹ Wade Boses, “Second NMD Intercept Test Fails; Readiness Review Still Planned for June,” Arms Control Today, Vol. 30 No. 1 (January/February 2000), p.21.

表 GMD系統之各項次系統之發展簡介

	發 展 內 容	備 註
衛 星	國防支援計畫（DSP）衛星乃是GMD系統之衛星組件系統中的最初系統，依據美國的規劃，此衛星系統在2006年或2007年之際會被五枚裝配太空紅外線系統的高軌（SIBRS-High）衛星所取代。此外尚有太空追蹤和偵察系統（STSS）和六枚太空紅外線低軌（SIBRS-low）衛星則是被用來作為彈道飛彈和具有潛在威脅與沒有目標的全球追蹤之用，這套追求偵察系統將可以彌補涵蓋和讓攔截器及早發射的誤差。	衛星系統主要是提供GMD關於彈道飛彈發射之第一波預警與較早評估飛彈發射之預期影響位置。美國預計2007年將先發射兩枚STSS。
早 期 預 達	目前美國在全世界已經在英格蘭、丹麥的格陵蘭（Greenland）島、阿拉斯加、麻州和加州海岸各部署了一座早期預警雷達，已經由系統指揮和控制網絡來接收來自於DSP和SIBRS-High的追蹤訊息。這些使用超高頻的雷達（ultra-high radar）將會發出敵人飛彈軌道的飛行範圍（flight envelop）。	這些雷達會被定期地進行性能提升，以期能改良能提供可靠的資料給陸基攔截（GBI）飛彈攔截來襲飛彈之用。
X 波 段 雷 達	X波段雷達是一種海上浮動的大型雷達，其設計被標定於尋找、偵測和追蹤敵方飛彈，以及探知飛彈所配載的彈頭為何和誘導彈頭和太空中飛彈的殘骸、破片。目前美國至少已經擁有四座如此的雷達系統，並且未來有可能增加部署九座高頻和短波的X波段雷達系統，而在此之中，有一座將可能會建造在太平洋中間的夏威夷。	第一座X波段雷達部署於阿拉斯加外海。該計畫預算約為九億美元。未來可能部署的地方包括英國、格陵蘭和南韓。
陸 基 攔 截 器（GBI）	陸基攔截器（GBI）是由攔截助推器與外大氣層截殺器（EKV）所組成。美國計劃在GMD進行改良後的第一階段部署中，將會有大約100枚的GBI飛彈進行作戰序列。然可以確定的是，在2005年之際，美國總共部署了20枚GBI。	關於GBI部分，以下將有更為詳盡之論
戰 鬥 管 理、指 揮、控 制 與 通 訊（BMC ³ ）	BMC ³ 是國家飛彈防禦的核心，其聯結GMD的其他四個次系統，而能接收資訊、分析敵人飛彈的速度、飛行軌道和可能會受到攻擊影響的地點，並能夠計算最佳的攔截點，給予陸基攔截（GBI）飛彈指示，並且提供更新的資訊給予助推器（booster）和外大氣層截殺器（EKV）。如果攔截失敗，其亦會重複上述之過程給予一個或更多的GBI。BMC ³ 的一個重要的次級系統是經由攔截器之飛行通訊（In-flight interceptor communications, IFICS）提供給正在飛向目標物的GBI。	目前已經有五個地點被裝配六套BMC ³ ，不過，如此數量並不足夠，而未來可能會有更多的BMC ³ 被要求進入GMD的作戰序列之中。

資料來源：Rodbetn X. McCants, “Ground-Based Missile Defense (National Missile Defense) : Is It Feasible,” USAWC Strategy Research Project (U.S.: U.S. Army War College, 3 May 2004), pp.2-4.; Wade Boese, “Pentagon Opts for Sea-Based Missile Defense Radar,” Arms Control Today, Vol. 32 No. 7 (September 2002); Lisbeth Gronlund and David Wright, “The Alaska Test Bed Fallacy: Missile Defense Deployment Goes Stealth,” Arms Control Today, Vol. 31 No. 7 (September 2001), pp.3-9.; Wade Boese, “Work on Clinton Missile Defense System Scheduled to Continue,” Arms Control Today, Vol. 31 No. 2 (March 2001), p.25.; Wade Boese, “GAO Faults Missile Defense Satellite Program,” Arms Control Today, Vol. 31 No. 3 (April 2001), p.26. & Wade Boese, “GAO Fault Missile Defense Satellite Plan,” Arms Control Today, Vol. 33 No. 5 (June 2003), p.39.

行攔截來襲飛彈之任務⁶²。在EKV被攔截助推器發射出去之後，其所配備之電腦會自行處理不斷變更的敵對飛彈之位置。而EKV還裝配光學和多波段(multiple waveband)的紅外線感應器，並藉由此配備來獲取、追蹤以及判別敵人飛彈之行徑和彈頭之屬性（核子彈、傳統彈頭或是誘導彈）。為了具有快速的追蹤與擊毀敵方目標之能力，EKV有使用小型的火箭推進器(thruster)⁶³，並用此火箭推進器的動能或者是「擊毀」(hit-to-kill)⁶⁴之科技來摧毀目標。美國在1997年和1998年對EKV進行的測試中，其感應器均能成功地辨別出誘導彈，並且在1999年10月9日、2001年7月14日、2001年12月3日、2002年3月15日與2002年10月14日等五次的擊毀測試中，均已經成功地達到擊毀測試的要求⁶⁵。

二、測試與部署

事實上，在前述之2001年7月14日之測試中，GMD成功地擊毀長程飛彈的模擬彈頭(mock warhead)。在此次測試中，美國從距離

加州范登堡(Vandenberg)空軍基地之GMD的GBI飛彈發射基座(silo)7,700公里的馬歇爾島(Marshall Island)發射一枚配備模擬彈頭的改良義勇兵二型(Minuteman II)洲際彈道飛彈。在義勇兵二型飛彈發射八分鐘後，在地球大約220公里上空，EKV成功地擊毀義勇兵二型飛彈之模擬彈頭⁶⁶。並且在同年10月14日中，亦作了相同測試，EKV亦在地球上空約225公里處，成功地擊毀來襲之長程飛彈的彈頭⁶⁷。

2008年12月5日，美國飛彈防禦署(MDA)首次進行整合陸基、海基和天基三方立體的GMD偵測追蹤系統的攔截來襲飛彈測試。在此次測試中，飛彈防禦署從阿拉斯加發射一枚彈道飛彈，而使用加州范登堡(Vandenberg)空軍基地的GMD系統的GBI飛彈進行攔截，結果成功地攔截到這枚飛行3,000公里的彈道飛彈。立足於此，美國已準備進行將發射飛彈與GBI飛彈的攔截兩者之距離拉長到4,000公里之測試⁶⁸。

註⁶² Wade Boses, "Latest Ground-Based Missile Defense Test Fails," Arms Control Today, Vol. 33 No. 1 (January/February 2003), p.26.

註⁶³ Rodbetn X. McCants, "Ground-Based Missile Defense (National Missile Defense): Is It Feasible," USAWC Strategy Research Project, p.3.

註⁶⁴ 所謂EKV之「擊毀」，乃是指EKV不僅可以碰撞到來襲的敵人飛彈，並且可以將來襲飛彈的彈頭完全摧毀之。"EKV/GMD: Exoatmospheric Kill Vehicle/Ground-Based Midcourse Defense System," Raytheon, February 2008, <<http://www.raytheon.com>>.

註⁶⁵ Ibid.

註⁶⁶ Wade Boese, "Missile Defense Interceptor Hits Target, But Not All Perfect in Test," Arms Control Today, Vol. 31 No. 7 (September 2001), p.27.

註⁶⁷ Wade Boese, "Ground-Based Midcourse Defense Hits Again," Arms Control Today, Vol. 32 No. 9(November 2002), p.23.

由於GMD使用多重感應器、傳訊與射控系統，以及地面攔截（GBI）飛彈，使其有能力偵測和追蹤在助推階段（boost phase）的次中程彈道飛彈（IRBM）和長程彈道飛彈（LRBM），並且經由可以「擊毀」（hit-to-kill）的科技來摧毀在中途飛行階段（midcourse phase of flight）的中、長程彈道飛彈⁶⁹。

GMD為美國飛彈防禦保護傘之彈道飛彈防禦系統（BMDS）之一，然其卻不同於愛國者三型飛彈（PAC-3）防禦系統與戰區高空防禦（THAAD）系統之機動作戰方式。GMD系統的攔截飛彈（GBI Missile）是採取固定基座（silo）的發射方式。其不僅攔截對美國本土具有攻擊威脅洲際彈道飛彈（intercontinental ballistic missile, ICBM），且是美國將來可能發展成為反衛星作戰功能的武器系統之一⁷⁰。

美國政府在2001年之際，即規劃在阿拉斯加與加州的范登堡空軍基地部署總共三十座的GMD，並且要在阿拉斯加與科羅拉多州設置GMD的射控中心⁷¹。這項可以護衛美國五十州之GMD的工作，已經在2004年9月著手部署，正式進入美國反彈道飛彈的作戰序列之中⁷²。2006年北韓進行大浦洞二型（Taepodong-2）飛彈試射的危機中，美國北方指揮部（Northern Command）即給予科羅拉多州部署GMD的第100飛彈防禦旅作因應準備的指令⁷³。目前此套系統似乎已經符合美軍在防禦彈道飛彈方面的一些要求，而國防部部長倫斯斐（Donald H. Rumsfeld）更在2006年8月巡視阿拉斯加的GMD基地之際，誇讚GMD已經越來越有能力可以應付中、長程彈道飛彈的威脅了⁷⁴。為了增強GMD的作戰能力，美國在2007年又增加在阿拉斯加GMD的GBI飛彈數量，從現在的14枚GBI飛

註⁶⁸ Doug Richardson, "US GMD interceptor hits target," Jane's Defense Weekly, Vol. 45 No. 51(17 December 2008), p.11.

註⁶⁹ Missile Defense Advocacy Alliance, "Ground-Based Midcourse Defense(GMD)," 〈<http://www.missiledefenseadvocacy.org/web/page/928/sectionid/557/pagelevel/3/interior.apx>〉.

註⁷⁰ Taylor Dinerman, "Space Weapons: the New Debate," The Space Review, 20 June 2005, 〈<http://www.thespacereview.com/article/394/1>〉.

註⁷¹ Missile Defense Advocacy Alliance, "Ground-Based Midcourse Defense (GMD)," 〈<http://www.missiledefenseadvocacy.org/web/page/928/sectionid/557/pagelevel/3/interior.apx>〉.

註⁷² "Ground-Based Midcourse Defense (GMD)," MISSILETHREAT.com, 8 December 2009, 〈<http://www.missilethreat.com/missiledefensesystems/id.24/s>〉

註⁷³ Major Laura Kenney, "Missile Defense System Goes Operational as North Korea Goes Ballistic," Air Defense Artillery, October-December 2006, pp.38-9.

註⁷⁴ Sergeant Sara Wood, "Missile Defense More Capable, Relevant," Air Defense Artillery, October-December 2006, p9.

彈提昇到21枚⁷⁵。

小 結

正當美國積極地在建構陸基飛彈防禦系統之際，並認為此對美國國家安全之防護具有相當正面和重要的作用。然在美國國內卻不乏批判之聲浪。批評者認為GMD並無法達到「1999年的國家飛彈防禦法」(the National Missile Defense of 1999)之要求，其更無法展現出可以護衛全美國領土之任務的能力。柯林頓政府時期的作戰測試與評估署長(Director of Operational Test and Evaluation) Phillip Coyle則指出，GMD只是「威嚇用的稻草人，而非防衛器」(“a scarecrow, not a defense”)。另一位飛彈防禦專家Richard Garwin則說此套飛彈防禦系統，其幾乎是完全無用的(“totally useless”)⁷⁶。

另外，反飛彈防禦成本太高亦是備受批判的主要原因。因為美國規劃部署的THAAD系統，平均每一枚THAAD攔截飛彈之價格，竟高達1,000萬美元以上(包含主要作戰系統之相關花費)，然此卻比中長程彈道飛彈要貴得多，故而美國此舉，將可能會再度陷入冷戰之武器競賽困境之中⁷⁷。蘇聯如採取部署大量的「多彈頭」戰略彈道飛彈，要比美國添

購反彈道飛彈來得便宜的多。

不過，儘管THAAD和GMD系統飽受批評，然在當前飛彈與其技術擴散日益嚴重，並且深刻地影響美國的國家安全之際，此兩套飛彈防禦系統對美國整體的國家防衛而言，還是相當重要的，至少在美國空載雷射系統(Airborne Laser, ABL)和太空飛彈防禦計畫(Space-Based Missile Defense Program, SBMDP)尚未建立之前，其在國家飛彈防禦系統之重要地位還是難以取代的。

作者簡介

林宗達先生，台灣大學政治學系博士候選人，現任職於台灣大學政治學系兼任講師。



註⁷⁵ Nathan Hodge, “US Missile Defense Agency unveils plans,” Jane's Defense Weekly, Vol. 44 No. 6 (7 February 2007), p.10.

註⁷⁶ Robert F. Gard, Jr. and John Isaacs, “Star War Turns 25 Years Old, but Effective and Capable Missile Defense Still Elusive,” The Research Paper from the Center for Arms Control and Non-proliferation, March 2008, p.3.

註⁷⁷ 郭蘅，「有限彈道飛彈防衛」，國防譯粹，第26卷第2期（1999年2月），頁23。& 林宗達，「軍備建構互動之分析」，中共與美國飛彈攻防之軍備建構(台北：晶典文化，2003)，頁260。