

數值天氣預報在軍事行動上的應用

潘大綱
空軍氣象中心

摘要

不同的氣象條件及變動的大氣環境，對高科技武器裝備、作戰人員、作戰行動乃至整個作戰進程都有不同程度的影響，深入研究其影響，無論是積極地創造或消極地運用「利於我而不利於敵」之時機有十分重要的意義。狹義而言，氣象因素直接地影響各式武器系統之效能，從確保各類軍事行動之安全、裝備妥善與維保，到研析是否因大氣乃至海洋因素變動而導致攻守利弊情勢互異，都足以影響戰爭勝負之契機。廣義而言，由於受到氣象因素之限制，戰略、戰鬥及戰法上之運用亦得因之制宜，以為戰爭求勝謀取最大公算，是故無論是戰略佈署、戰鬥時機乃至作戰思想與戰法之運用均間接地受到大氣環境因素所約制。

數值天氣預報不僅定量、客觀地提供在未來時段內氣象參數之變化，亦為各項裝具、武器、設備因受大氣變動影響而在軍事行動中之效能提供了定量之估擬，這對現代化氣象作業有效且成功地支援各類軍事行動是十分重要的。國軍應在現有之基礎上構建一個專責之數值天氣預報單位，有效發揮支援作戰任務，並研擬戰時氣象情資封鎖下應有的相關作為，凡此種種皆是值得重視與亟待共同努力的目標。

一、前言

技術決定戰術，科技發展之進程與應用決定了戰爭的型態與方式。隨著各種科技之研發和應用，今日戰爭的型態、方式、節奏等都明顯地異於往昔，這種轉變同時意味著戰力的提升，要成功地達成這一轉變實有賴於高投資、高科技、高整合之應用外，更須配合高素質的

人員方得有效地發揮。

近二十年來，戰爭已趨向於大量使用科技武器裝備，藉以全面奪取戰略主動和戰爭勝利，這是現代戰爭中十分顯著的特點；往昔傳統式的線性戰場和接觸式戰鬥，受到高科技武器及裝備的影響，已使戰場不再僅僅侷限於兩軍交接處；前方和後方的界線模糊，癱瘓及破

壞可以經由制導武器長趨直入對重要據點施予「點穴」作為，是故戰場已擴張變成了非線性戰場，戰爭也延展成為非接觸式的戰鬥；另因指、管、通、情、偵、監系統之日益靈活及機動，加上各式裝備受限程度降低，使得作戰行動不再「晝夜不眠」，逕而向全天候發展；波灣戰爭之經驗顯示出戰爭初期之海空優勢對戰爭全程扮演著關鍵性的角色；聯合與協同作戰的運用雖然可有效地推昇作戰成效進而擴大戰果，然而如何善用環境因素以發揮聯合、協同作戰之整體功效卻成爲一個相當複雜的問題；電戰與反電戰不僅可以有效地為攻防創造有利的時機，還可以加快戰爭的進程，它使制空權與制海權緊密地和電磁權相結合，沒有電磁權就很難掌握現代戰爭的主動權。由於戰場的指揮控制週期在各式現代科技應用下嚴重地壓縮，廣泛使用「自動化」、「資訊化」的各種裝備，儼然已成爲未來軍事行動中創勢機先的重要工具。

二、氣象因素對現代戰爭之影響

現代戰爭大縱深、立體化、快節奏的特點，造成了作戰地域和作戰環境條件的不確定性。無論是平原還是山地，叢林還是沙漠，陸地還是海洋，高空還是地面，都有不同的氣象特徵與氣候特點，更時時經歷著變動性的氣象因子。不同的氣候條件及變動的大氣環境，對高科技武器裝備、作戰人員、作戰行動乃至整個作戰進程都有不同程度的影響，深入研究其影響，無論是積極地創造或消極地運用戰爭有利於我之時機有十分重要的意義。事實上，任何一種武器系統或裝備都是依據一定的大氣環境條件而設計的，是故其最大效能也就只有在

一定的大氣環境條件下才能發揮至極。雖然高科技武器與裝備無論在性能和精準度上都明顯的提高，然其所應用之科技與原理卻受大氣環境變化之影響反而更加敏感。因此任何一種高科技武器裝備，無論其技術多先進，性能多優越，都無法超脫氣象因素對它的限制和影響。

狹義而言，氣象因素直接地影響各式武器系統之效能，從確保各類軍事行動之安全，裝備妥善與維保，到研析是否因大氣乃至海洋因素變動而導致攻守利弊情勢互異，都足以影響戰爭勝負之契機。廣義而言，由於受到氣象因素之限制，戰略、戰鬥及戰法上之運用亦得因之制宜，以為戰爭求勝謀取最大公算，是故，無論是戰略佈署、戰鬥時機乃至作戰思想與戰法之運用間接地亦受到大氣環境因素所約制。

在現代武器系統及裝備大量運用高科技的情況下，現代化之軍事氣象服務在質與量上提昇之需求也相應日殷，綜合而言，這些需求主要表現在：

- (一)氣象預報準確度要求提高；
- (二)預報內容多樣且包括海、陸、空等各項氣象及水文因子；
- (三)預報產品必須清楚明白，易於瞭解及運用；
- (四)預報製作、分發一元化；
- (五)情報傳遞保密配合以自動化、資訊化諸般作為；

這些原則具體地呈現在現代化戰爭中，以波灣戰爭為例，美軍及多國部隊之軍事氣象支援，基本上即是環繞上述五大原則以橫互整個戰場。

三、使用數值天氣預報之必要

大氣是流體的一種；此一流體行爲的變化及

演變基本上均依循一定的物理法則來進行(諸如：能量守恆、質量守恆等等)，然而大氣中水的三態變化、太陽短波輻射及地表長波輻射，地球地型海陸分布不均勻以及地表性質之差異(如冰、雪、沙漠、森林、草原、岩地等)都使得預測此一流體行為之過程參入諸多不可精確量化之變數；雖然不同原因所造成之影響程度亦有不同。但是窮究其對大氣之影響卻是不變的。

理論上而言，大氣的行為在物理與數學的進似下，可以運用一組方程式來表達，由這些物理定理因而可以計算出大氣未來的特徵(如溫度、濕度、風向和風速等)，這種透過數學、物理方程組以現有大氣情況為基礎以求取未來大氣情況之過程，就是俗謂的數值天氣預報。雖然從氣象要素(氣象參數，如溫度、濕度、風向、風速等)推衍到天氣(陰、晴、雷雨、冰雹等)預報，其中又包含了其他的概念認知假設，推論及經驗近似等，但是數值天氣預報的初步成就已使氣象人員得以從主觀地天氣圖判讀，進展到客觀地天氣型態預測。

雖然、利用數學求解以瞭解大氣未來狀況，似乎是十分圓滿的解決辦法，然而，這組表示物理的數學方程組相當複雜，數學上並無完全正確的解以供我們對未來大氣行為的描述，因此，我們只能透過數值模式來獲得近似解，而電腦即是用來協助我們用一組有限的數值解來代表大氣已知情況，進而計算出大氣未來的狀態。如果代表大氣情況的數值解的空間解析度愈低那麼所得到的大氣未來情況就愈粗略，相對的對天氣預報的應用或幫助就愈小；反之，若數值解的空間解析度愈高，則所得之大氣未來狀態就愈詳細，對天氣預報之助益就愈大；但是其對電腦資源的需求也就相應的昇高許

多；事實上許多先進的國家在電腦資源使用最大的兩支，其一為國防另一支則為氣象。

如何使資料、資源及數值天氣預報能達到一均衡齊量的狀況是十分技術性及專業性的課題，在此就不多贅述，總之數值天氣預報之過程需求多種功能之整合性以達成，諸如各種不同種類之氣象觀測、數值方法之選取、電腦資源之應用、分析應用等不同階段；維持及(或)改善數值天氣預報作業則是另一個十分複雜的課題，絕非僅憑移植或引進現有之流程即可達成的。

近年來，數值方法及計算機硬、軟體發展突飛猛進，資訊工業之蓬勃帶領了資訊科技廣泛應用在各行各業，這個趨勢也為數值天氣預報創造了有利的客觀環境。數值天氣預報是透過數值求解的過程，將控制大氣運動的基本方程組加以求解，經由時間積分的步驟獲得在未來不同時段內氣象要素於空間之分布，進而製作成未來的天氣系統型態，配合各項資料與概念模式綜合研析又可得天氣現象預報。

基本上，它實現了「客觀」及「資訊」的兩大要求，從「客觀」的角度而言，數值天氣預報的結果可以不因人而有差異，換言之，過去以經驗掛帥的情況，不再因失去某一位成熟的預報員而失去天氣預報的準確率使之一落千丈；反之，只要是熟悉如何妥善並最佳地使用數值預測結果，它不僅具體化了天氣系統未來之演變概念與推論的過程，更將物理及數學(科學的基礎)直接應用在天氣預報過程之中；就「資訊」的角度來看，為使各種數值預報結果便於在資訊網路上傳遞、運用，其資料格式亦應結合資訊時代對「資料」之要求；亦即「數據化」、「數位化」，如此格式的資訊不僅便於傳

遞、複製、整合及運用，亦便於儲存。

就空間尺度而言，數值預報不僅可作一個地區或國家的預報，也能作半球或全球的預報；就時間尺度而言，它不僅可做短時預報亦可作為中、長期或展期天氣預報的工具。基本上數值預報同時具有客觀化、定量化與自動化的優點。為兼顧空間與時間可解析度，或為選取精確迅速數值方法及善用傳統與非傳統各類觀測資料等因素，因而依需求不同而發展出所謂全球數值預報模式，有限區域數值預報模式，中尺度數值預報模式等等。

晚近我們對大氣中雲物理過程的研究與瞭解，數值技術之研究與發展，以及在數值預報模式執行中引入非傳統型觀測資料，藉以調校模式表現與實際大氣演變更趨一致之技術等等，這些發展與應用都使得近年來數值天氣預報的準確率有明顯的提昇。在許多科技先進的國家，過去主導天氣預報所使用的主觀天氣預報方法，如今已轉型成客觀之數值天氣預報；最近的研究分析更顯示在 24 ~ 72 小時內之預報，數值天氣預報已顯著地優於主觀天氣預報，有時天氣系統型態及趨勢預報在綜觀尺度範疇，其準確度甚至可以長達兩週；配合各種統計方法、物理原理與必要的一些近似和簡化、天氣系統概念模式之應用等，數值預報中被預報之氣象因子，也可合理的被推衍成天氣現象預報或其他氣象要素預報，這對提供不同層級軍事作為所需之氣象情報有著十分關鍵性的影響。

雖然數值方法中存有截斷誤差，各種參數化措施亦無法避免因太過簡化部分物理過程而有瑕疵，次網格之影響以及未盡真實的邊界條件等等，這些因素都直接影響到數值天氣預報

之可預測度(predicability)，即使如此，由於數值天氣預報可以提供特定軍事行動所需之定量資訊，因此構建一個表現穩定、各種物理過程描述週延、解析度高之數值天氣預報模式對不同層級之軍事作為而言是絕對有其必要性的。

四、模式輸出在軍事上之應用

各種軍事武器系統，航空、航電器材，射控元件以及電子戰裝備受到大氣環境因素改變而影響其效能，主要是透過電磁波和光電輻射在大氣中衰減和干擾而達成。基本上，大氣對電磁波和光電輻射之衰減是隨波長之減小而增大；以下例舉武器系統與裝備因應用不同技術而受到大氣影響之主要與次要因子，如表一所示。

雖然模式輸出對於泰半之天氣現象並不能直接預報，目前仍須透過一定規則之推演而得，但其對天氣系統影響之趨勢及變化，卻提供了十分珍貴的參考；另者由於各種氣象參數資料在特定時空之獲得，各類武器系統之限制及效能都因之而可予以定量估擬，兩軍交戰因大自然所造成之客觀形式孰利孰不利亦藉此亦可以先期定量地評估。

雖然數值天氣預報在軍事作為之不同範疇內提供了諸多可定量應用的有利條件，但是由於數值天氣預報本身就是一門極複雜之學門與技術，從模式及數值方法之決定，各種參數化的過程，邊界之處理，初始值之引入與模式表現之評估與改進，在在都顯示出數值天氣預報

是一個集氣象、物理、數值方法、電算機技術等各種學門為一體的綜合應用，然而軍事作為中最強調的首推耐戰性，試想平時之數值天氣

預報之機制與功能若無法在戰時充分發揮，如此並不能滿足實戰之需求。是故應用於軍事作為之數值天氣預報模式之選擇與發展實在應審慎評估，並配賦予以足夠之財力及人力，藉諸現有之成果進而研整出適合國軍需求之數值天氣預報模式及作業機制；如此國軍不僅可參用現有之各項技術與成果，尚可研擬在戰時氣象情資封鎖下，如何為保障數值天氣預報正常服務以支援各類軍事行動應有之必要作為。

五、結論

美軍在波灣戰爭行動裏其行動綱領中明白標示出了氣象對於先進武器系統裝備，人員及指揮管制之重要性；它不僅清楚地指出氣象條件是指揮與決策必須考慮之首要因素，並要求
(一) 指揮官應採各種必措施，以獲取整個戰

區內之氣象資料；(二) 指揮及參謀人員均須瞭解並運用氣象條件所提供之機會進行作戰指揮；(三) 指揮及參謀人員必須盡量減少氣象條件對己方部隊作戰行動造成的不利影響；(四) 指揮官必須瞭解作戰地域季節性氣候對作戰全局之影響。

在今日「有效嚇阻，防衛固守」的戰略指導下，我們軍事氣象單位之建軍備戰亦應有所因應，除有效提昇人員素質、熟練精練各項工作內容，尤須落實訓練結合敵情，使各項訓練達成「為戰而訓、戰訓而一」之要求，期使國軍氣象部隊亦能成為一支「量小、質精、反應快、戰力強」之勁旅，在未來保國衛民聖戰中發揮最大之功效。

表一：影響高科技武器系統與裝備之主要與次要氣象因子

武器系統與裝備 (應用之技術)	主要影響之氣象因子	次要影響之氣象因子
短波雷達、短波通訊設備、電子對抗設備 (短波)	大氣折射、電離層、太陽黑子活動、雷電(雷雨)	雲、霧、各種型態之降水
微波通訊設備，微波射控、制導武器 (微波)波長愈短則次要影響因子亦可成為主要影響因子	劇烈降水(雷雨)、大範圍降水、塵(沙)暴	雲、霧、溫度、濕度
紅外線、可見光及雷射技術	雲、霧、各種型式之降水、沙(塵)暴(大氣亂流對雷射亦有顯著影響)	大氣懸浮粒子濃度、霾