

取自 ref.3

火星專題·系列之一  
**火星軌道運動**

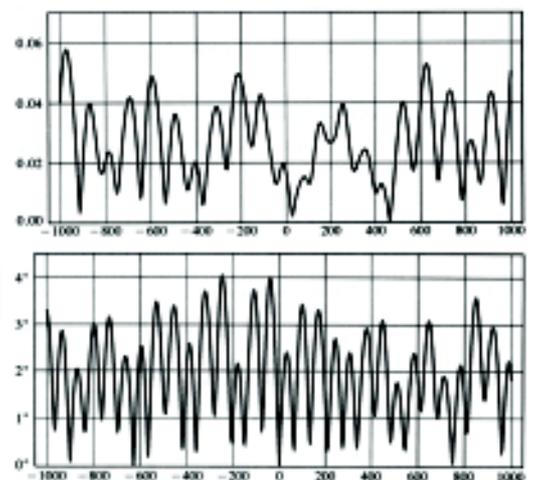
# 七萬三千年以來的**火星大接近**

文 / 張桂蘭

**火**星每兩年會接近地球一次，每 15 - 17 年為大接近，而 2003 年 8 月底更為 73000 年以來最接近地球之時；下次要比今年更接近必須要等到西元 2287 年。究竟是什麼原因，讓火星有這樣的情況呢？

## 從地球談起

地球繞太陽公轉的軌道不是正圓而是橢圓，太陽並不在地球公轉軌道的中心點上，而是在偏一邊的焦點上。這使得地球公轉時，離太陽時近時遠。最接近太陽的位置稱為「近日點」，約在一月初；最遠之處為「遠日點」，一般在七月初。近日點和遠日點的連線稱為長軸，與長軸垂直的軸線便稱為短軸。



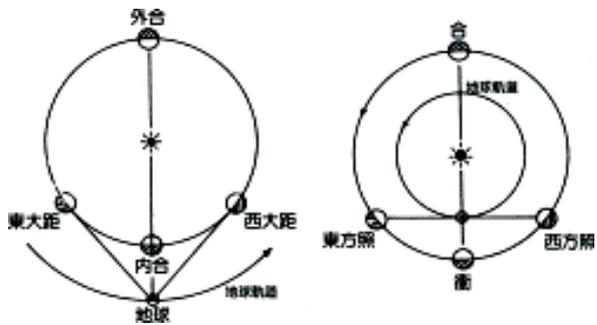
圖一：地球軌道的離心率（上）和軌道平面（下）的變動情況。橫軸代表時間，單位為「千年」，故每一格代表 20 萬年。橫軸 0 的位置代表西元 1850.0 年。取自 ref.2。

天文學家判別天體運轉的軌道形狀，通常是用離心率 $e$ 。 $e$ 愈大，代表軌道愈橢圓，遠日點和近日點的距離相差愈大；反之， $e$ 愈小，軌道愈近於圓，當 $e = 0$ 時，軌道便是正圓形，此時便無近日點和遠日點的區別了。

實際上，地球繞日公轉的軌道並非亙古不變。受到太陽、月球、其他行星的引力影響，地球的 $e$ 值會隨時間逐漸改變。現今的 $e = 0.0167$ 。比利時天文計算專家Jean Meeus計算西元1850年前後共2百萬年的地球軌道，發現目前 $e$ 值正減少中，在29500年之後 $e$ 將小至0.0023，而在465000年之後小至0.0006，幾乎接近正圓。但在這2百萬年的歷史中， $e$ 曾大至0.06。（圖一上）

除了 $e$ 會變動之外，地球軌道面在太空當中也非固定不變。Meeus等人以1850.0年時的軌道面為標準面，同樣計算前後2百萬年間的情況，發現軌道面傾角 $i$ 會有4度的變化。（圖一下）

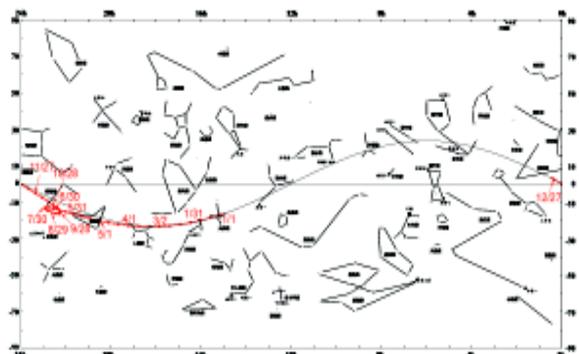
### 衝：行星的視運動



圖二：行星位置圖

行星在天球上運行時，與地球的相對位置不斷的改變；當行星運行至某些特定位置時，天文學家會給予一個特定的名稱，以資辨明與地球的位置關係。（如圖二）

合：由地球上見天體與另一天體在相同方向上，此時這兩個天體經度相同的。其中水星與金星是內行星，在地球軌道以內，故近地合日者稱為內合（或下合），遠地者合日稱為外合（或上合）。火星等外行星則只有一個合日位置。



圖三：2003年的火星在天空上運行的軌道圖

衝：外行星與太陽的經度相差180度，分別在地球兩側。水星與金星因在地球軌道以內，無衝。

大距：水星或金星與太陽間的最大角距離，在太陽東側的稱為東大距，在西側的稱為西大距。

方照：外行星、地球、太陽三者連線成直角三角形，且地球在直角點上。行星在太陽東側時稱為東方照，在西側時稱為西方照。

此外，若從地球上觀察行星，由於每一顆行星公轉速度均不同，因此會發現行星在天球上的運行不若太陽般的穩定，偶爾也會出現由東向西或靜止不動的現象。行星越接近地球，此種運動現象越容易觀察得到。

順行：行星在天球上由西向東運行（經度增加）

逆行：行星在天球上由東向西運行（經度減少）

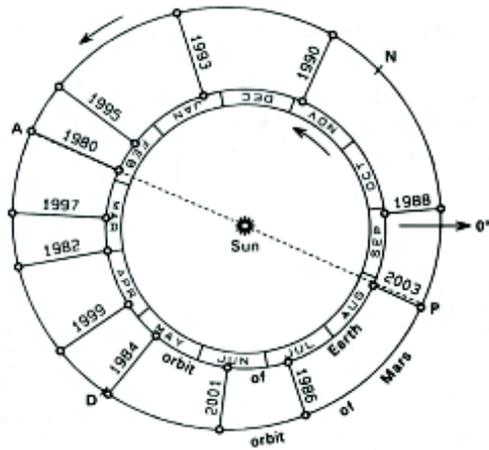
留：行星在天球上看似靜止不動，是順逆行轉變之際。

所以，從地球上見外行星在天空上的運動，在一個週期中，分別會經歷：合 順行 西方照 順行 留 逆行 衝 逆行 留 順行 東方照 順行 合。

### 火星衝：觀測火星的最佳時機

由於行星衝時，幾乎是外行星在一個會合週期中最接近地球之時，此時亮度最亮、視直徑也最大，且行星於日落後便東昇，直至日出才西沈，整夜均可見到，故為觀測外行星的最佳時機。

火星繞日公轉的週期為686.98日。但火星公轉



圖四：1980—2003年火星衝時的位置與距離示意圖。(ref.2)

的同時，地球也在公轉，從地球上觀察火星，相鄰兩次衝（或合）發生的時間稱為會合週期，約為779.94天。因此，每經過2年又49天，就會有一次火星衝。

**火星大衝：每15—17年中的最佳觀測時機**

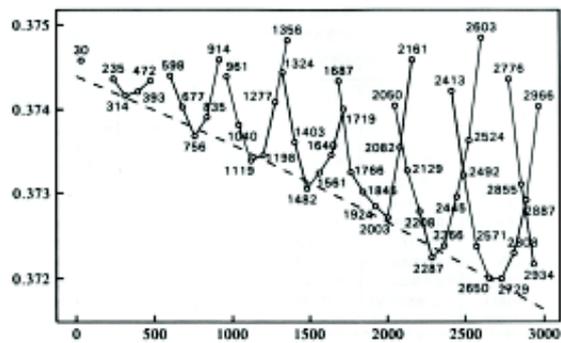
由於行星的軌道都是橢圓形，因此在每次衝時，行星和地球之間的距離都不同。行星與地球距離最小的衝稱為「大衝」。由於比平常的衝更近、更亮、更大，因此大衝更有利於外行星的觀測。

前述曾提及：行星軌道的橢圓程度以離心率e來看。九大行星中，離心率最大的是水星和冥王星，均在0.2以上。其次是火星，離心率为0.093。因此所有外行星中，除開冥王星不談，衝時距離變化最大的就是火星。

火星每2年49天有一次衝，因此每兩年發生衝的日期便會往後推49天，火星在軌道上的位置也會漸漸推移。每隔約15或17年左右，火星衝發生時，火星恰好位在近日點附近，此時火星位置是15或17年來最接近地球的大衝，也稱為「近日點衝」。圖四為1980年—2003年火星衝時，火星與地球的相對位置圖。其中，1980年衝幾乎在遠日點上，此時火地距離約0.67732AU；而2003年則是近日點衝，火星距離僅0.37272AU，兩者幾乎相差了兩倍。

有趣的是：每隔79年會有一次情況近似的衝發生。這79年是「15 + 15 + 15 + 17 + 17」得出的。例如1877年9月2日的火星大衝（距離0.37884AU），在歷史上很著名，因有兩項重要的火星發現是在這年進行的：發現火衛一和火衛二、火星表面「渠道」的發現與描繪等。而間隔79年之後的1956年9月7日（0.37809AU），也是一次火星大衝。這個79年重複週期的火星衝發生日期，僅僅相隔了2—5天而已。

Meeus列出了火星兩世紀內近日點衝和遠日點衝的日期，如下表，大家可以動手算算看是否符合79年的間隔週期。

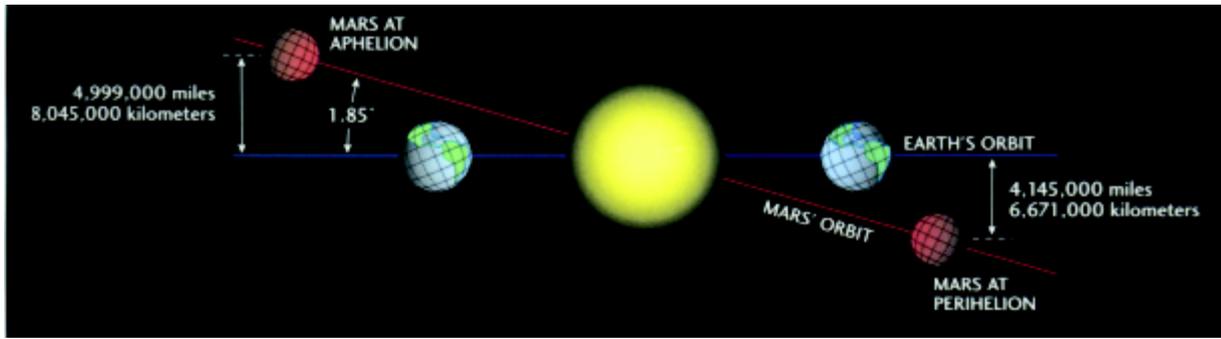


圖五：Meeus列出距離小於0.375AU的衝。實線連接了每個79年週期序列，虛線則標出火星與地球距離愈來愈近的趨勢。（取自ref.2）

近日點衝	1845.8.18	1924.8.23	2003.8.28	2082.9.01
遠日點衝	1822.2.19	1901.2.22	1980.2.25	2059.2.27

除了79年的週期外，火星衝還有一個更精確的284年重複週期，284相當於(79x3)+17+(15x2)；比284年重複週期再更精密的，還有個363年(=284+79)的重複週期。

要注意的是：火星與地球之間的最小距離，並非火星的近日點距離(1.381367AU)直接減去地球的遠日點距離(1.016710AU)所得之0.36466AU。這是因為火星的軌道長軸方向並不與地球軌道長軸方向重合，而且火星軌道面相對於黃道面有約1.85度的傾角（圖六），因此在計算距離時，都要將這



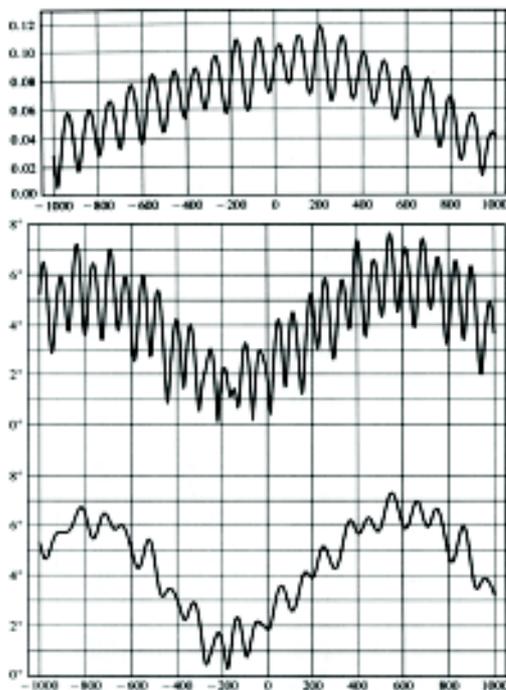
圖六：火星軌道面與地球軌道面有 1.85 的夾角。ref.3)

些三維空間的因素考慮進去。

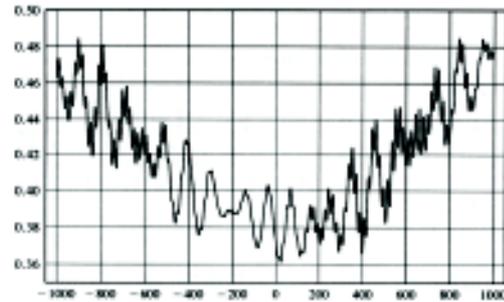
### 火星超級大衝：2003 年火星衝，73,000 年來與地球最靠近的時刻

雖然火星衝有 79 年、284 年或 363 年的重複週期，但您有無注意到：即使是 363 年的重複週期，每一次火星大衝的距離仍然不同。為什麼？

回到第一節：地球軌道的偏心率與軌道面受到日月與行星的重力影響，會隨著時間有微小的變化。與地球相同，火星軌道的偏心率與軌道面也會變化，而且變化量比地球還大！（圖七）



圖七：火星軌道偏心率（上）與相對 1850.0 年的黃道面的軌道平面變化（中）、相對於現在瞬時黃道面的軌道面變化（下）。取自 ref.2。



圖八：西元 1850.0 年（圖中橫軸的 0 點）前後共 200 萬年的火星與地球距離變化圖。取自 ref.2。

考慮所有因素之後，Meeus 畫出 1850 年前後各 1 百萬年的火星與地球最小距離變化圖（圖八）。由於火星的軌道偏心率逐漸加大，而地球的卻逐漸減小，因此將地球與火星軌道的種種變因融合之後，這 2 百萬年間火星將在西元 25000 年左右最接近地球，屆時距離僅有 0.3613AU。

此外，根據 Meeus 的計算，地火之間在 73,000 年前曾近至 0.3728AU，由此可知：2003 年的 0.37272AU 至少是 73,000 年以來最接近地球的時候！

過了 2003 年之後，下一次地火距離要打破 2003 年的紀錄，可得等到 2287 年（0.37225AU），而 2650 年的 0.37201AU、2729 年的 0.37200AU，更是在第三千禧年中之最。

參考資料：

1. Jean Meeus, 1983, *Astronomical Tables of the Sun, Moon, and Planets*, 1st edition, William-Bell Inc.
2. Jean Meeus, 2002, *More Mathematical Astronomy Morsels*, 1st edition, William-Bell Inc.
3. Paul Raeburn, 1998, *Uncovering the secrets of the red planet: Mars*, 1st edition, The National Geographic Society

作者：任職於臺北市立天文科學教育館