

# 第一章 前言

## 1-1 研究動機

近幾年，低軌衛星探求重力場任務十分熱門，應用所得之重力場時間序列可初步分析其變化機制，有助於瞭解全球氣候、海水位、環流系統等變遷，變遷週期從數月到數十年都有可能（黃金維，2003）。預計於 2005 年秋天發射升空的中華衛星三號(ROCSAT-3/COMIC)，即把重力場模型求定規劃為重要任務之一(太空計畫室，2004)，而由衛星探求重力場是利用低軌衛星(Low-Earth Orbit，LEO)精密軌道運動資料，因此在解算重力場模型前必需先行精密定軌，本論文即針對上述課題做一研究。

顧及衛星資料取得的難易度，於是選擇 CHAMP 衛星數據做為本文之應用，CHAMP(CHALLENGING Minisatellite Payload)為德國主導之衛星任務，其載具設備除了其本身專屬的酬載外，衛星上還裝有 GPS(Global Positioning System)雙頻接收儀，用於低軌衛星的連續跟蹤，對軌道擾動進行準確、連續地監測，該接收儀提供高精度、無遮蔽的 GPS 相位及碼資料(CHAMP-ISDC Home Page)。CHAMP 衛星所提供各類資訊，只需於 CHAMP 網站 <http://op.gfz-potsdam.de/champ.html> 進行註冊，即可獲得最新之 CHAMP 資料。

## 1-2 文獻回顧-衛星軌道運動

在空中圍繞地球運行的衛星受到各種擾動力的影響，使得衛星運行軌道變得很複雜，以致六個軌道參數不再是理想的二體問題情況下的常數，而是時間的複雜函數。所包含的擾動力有地球非球體引力擾動、多體擾動、固體潮擾動、海潮擾動、大氣阻力擾動、太陽輻壓擾動、地球輻射壓擾動和其他的非保守力的擾動

(Montenbruck and Gill, 2001) (圖 1-1) (圖 1-2)，作用於軌道的各種擾動力中，以地球引力場的影響最大，關於地球引力場和其它擾動力對軌道之影響量級見表 1-1(Reigber, 1989)。上述之擾動力會使衛星產生擾動加速度偏離二體軌道，因此對於精密軌道的定軌皆要加入考慮，故衛星運動加速度方程應表達為：

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\frac{GM}{r^3}\mathbf{r} + \mathbf{a}_{ng} + \mathbf{a}_{nb} + \mathbf{a}_{et} + \mathbf{a}_{ot} + \mathbf{a}_{ge} + \mathbf{a}_{drag} + \mathbf{a}_{srp} + \mathbf{a}_{erp} + \mathbf{a}_{other} \quad (1-1)$$

式中

$\mathbf{a}_{ng}$ ：地球引力位引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{nb}$ ：多體引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{et}$ ：固體潮引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{ot}$ ：海潮引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{ge}$ ：相對論效應引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{drag}$ ：大氣阻力引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{srp}$ ：太陽輻射壓引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{erp}$ ：地球輻射壓引起之擾動加速度

$\mathbf{a}_{other}$ ：其他所有較小引起之擾動加速度

地球引力位引起之擾動加速度是由於地球形狀不規則、質量分佈不均勻；固體潮引起之擾動加速度是因地球為具有彈性的星體，受日月引力的影響會造成地球形狀改變，相對地球引力位也發生變化；海體潮引起之擾動加速度為海洋受日月引力影響產生潮汐變化，也會造成地球位能的改變。根據地位理論，衛星在地球重力場中的引力位可表達為式 1-2(McCarthy, 1993)，而固體潮、海潮引起之擾動位亦可用式 1-2 表示，不同處在於所使用之球諧係數，固體潮引起之擾動位

使用之球諧係數是固體潮引起相對於平均地球之變化；海潮引起之擾動位使用之球諧係數是海潮引起之變化，再對公式 1-2 取梯度，就可得地球引力位引起之擾動加速度  $a_{ng}$ 、固體潮引起之擾動加速度  $a_{et}$ 、海潮引起之擾動加速度  $a_{ot}$ 。

$$V = \frac{GM_e}{r} + \frac{GM_e}{r} \left[ \sum_{n=2}^{N_{\max}} \left( \frac{a_e}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \phi) \right] \quad (1-2)$$

式中

$r$ 、 $\phi$ 、 $\lambda$ ：衛星於地固座標系之距離、地心緯度及地心經度

$M_e$ 、 $a_e$ ：地球質量及地球參考橢球長軸半徑

$N_{\max}$ ：展開之最大階數

$\bar{C}_{nm}$ 、 $\bar{S}_{nm}$ ：正規化球諧係數

$\bar{P}_{nm}$ ：完全正規化 associated Legendre function

衛星繞地球運行時，除受地球引力影響外，同樣也受其它星體的引力影響，即為多體擾動，多體引起之擾動加速度  $\mathbf{a}_{nb}$  可表示為(McCarthy, 1993)：

$$\mathbf{a}_{nb} = \sum_{i=1}^n GM_i \left( -\frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3} - \frac{\mathbf{r}_i}{r^3} \right) \quad (1-3)$$

式中

$N$ 、 $M_i$ ：擾動星體個數及  $i$  個擾動星體質量

$G$ ：牛頓萬有引力常數

$\mathbf{r}$ 、 $\mathbf{r}_i$ ：分別為衛星及第  $i$  個擾動星體在慣性座標系的位置

大氣阻力擾動是衛星在太空中運行時，受到大氣層的阻力作用產生擾動加速度  $\mathbf{a}_{drag}$ ，其可表示為(Seeber, 1993)：

$$\mathbf{a}_{drag} = -\frac{1}{2} C_D \rho \frac{A}{m} (\dot{\mathbf{r}} - \dot{\mathbf{r}}_d) |\dot{\mathbf{r}} - \dot{\mathbf{r}}_d| \quad (1-4)$$

式中

$C_d$  : 空氣阻力係數

$\rho$  : 大氣層密度

$A$  : 衛星有效橫截面積

$m$  : 衛星質量

$\dot{\mathbf{r}}$ 、 $\dot{\mathbf{r}}_d$  : 衛星及大氣速度向量

衛星因太陽光的照射會產生壓力，稱太陽輻射擾動，其與太陽輻射的強度、衛星表面積、衛星表面的反射特性有關，太陽輻射壓引起之擾動加速度  $\mathbf{a}_{srp}$  為 (Seeber, 1993) :

$$\mathbf{a}_{srp} = \nu P_s C_r \frac{A}{m} (au)^2 \frac{\bar{\mathbf{r}} - \bar{\mathbf{r}}_s}{|\bar{\mathbf{r}} - \bar{\mathbf{r}}_s|^3} \quad (1-5)$$

式中

$\nu$  : 地球陰影函數

$\nu=0$  , 衛星位於地球陰影區

$\nu=1$  , 衛星位於陽光照射區

$0 < \nu < 1$  , 衛星位於半陰影區

$au$  : 天文單位 ( $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ )

$P_s$  : 一天文單位距離的太陽輻射壓

$C_r$  : 衛星表面積的反射係數

$A$  : 衛星有效橫截面積

$m$  : 衛星質量

$\bar{\mathbf{r}}$ 、 $\bar{\mathbf{r}}_s$  : 衛星及太陽位置向量

太陽照射地表後反射回衛星所引起之擾動，稱之地球輻射壓擾動，而地球輻射壓引起之擾動加速度  $\mathbf{a}_{erp}$  可表示為 (Seeber, 1993) :

$$\mathbf{a}_{ep} = \nu P_e C_r \frac{A(\bar{\mathbf{r}})}{m |\bar{\mathbf{r}}|} \quad (1-6)$$

式中  $\nu$ 、 $C_r$ 、 $A$ 、 $m$  同式 1-5，但陰影函數計算方法與太陽輻壓之陰影函數不同， $P_e$  為一天文單位距離的太陽反射輻射壓。

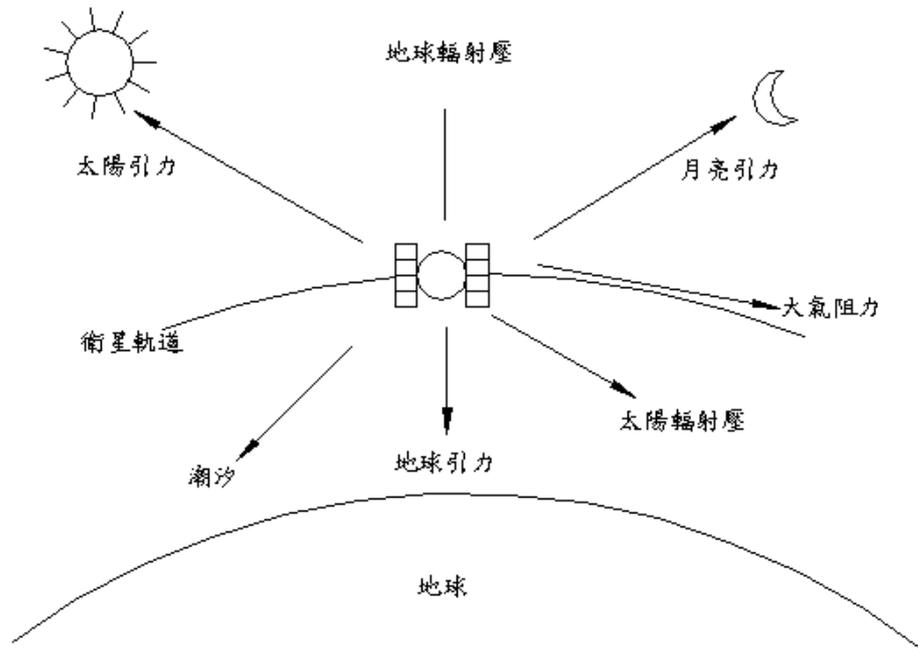


圖 1-1 作用於衛星的擾動力(Montenbruck and Gill, 2001)

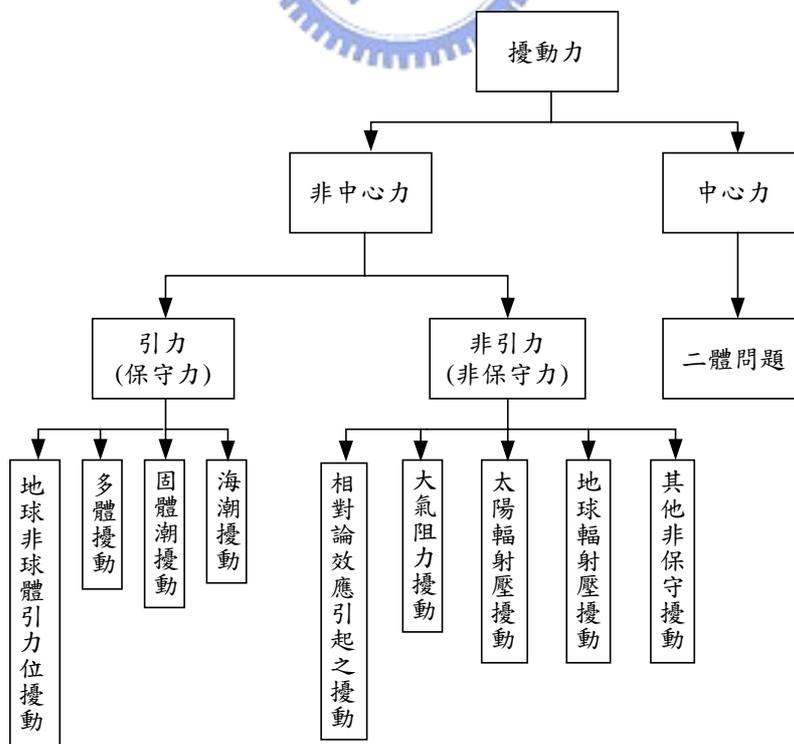


圖 1-2 擾動力的分類

表 1-1 衛星所受主要擾動及其量級(Reigber, 1989)

擾動力	各衛星及軌道長軸半徑，加速度單位： $m/s^2$			
	STARLETTE (7337km)	AJISAI (7869km)	LAGEOS (12266km)	GPS (26559km)
中心力	7.4	6.4	2.6	0.6
非球體引力場 $C_{20}$ 項	$8 * 10^{-3}$	$6 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-3}$	$5 * 10^{-5}$
非球體引力場其餘總和	$1 * 10^{-4}$	$9 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	$3 * 10^{-7}$
多體擾動	$1 * 10^{-6}$	$1 - 2 * 10^{-6}$	$2 * 10^{-6}$	$5 * 10^{-6}$
固體潮擾動	$2 * 10^{-7}$	$1 - 2 * 10^{-7}$	$3 * 10^{-8}$	$1 * 10^{-9}$
海潮擾動	$3 * 10^{-8}$	$2 * 10^{-8}$	$2 * 10^{-9}$	$1 * 10^{-10}$
大氣阻力擾動	$1 - 2 * 10^{-10}$	$1 - 2 * 10^{-10}$	$3 * 10^{-12}$	0
太陽輻射壓擾動	$5 * 10^{-9}$	$5 * 10^{-8}$	$4 * 10^{-9}$	$1 * 10^{-7}$
地球輻射壓擾動	$5 * 10^{-10}$	$8 * 10^{-9}$	$7 * 10^{-11}$	$1 * 10^{-9}$

### 1-3 研究方法



利用 CHAMP 和 IGS (International GPS Service) 追蹤站的 GPS 相位資料以決定 CHAMP 軌道，而 GPS 訊號從產生、傳送到接收充滿著許多不確定性，所以於解算衛星軌道前，需使用 GPS Prep. 軟體 (MicroCosm-Preprocessing Software Systems) (Martin, 2002) 對 GPS 觀測資料進行誤差的改正，並組成星地雙差觀測資料 (見第四章)，接續使用 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 定軌軟體 GEODYN II 求解 CHAMP 軌道。重力場模型的求解採取兩步法，以 EMG96 為初始值直接使用德國 Muenchen 技術大學所提供之 CHAMP 軌道數據 (Svehla and Rothacher, 2003) 求各階次的重力場模型，所解得之重力場模型稱為 NCTU，最後 NCTU 將與 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) 之重力場模型 GGM01S 進行比較，進行精度的評估。