

第三章 CHAMP、GRACE 任務簡介

求定地球重力場與確定地球形狀一直是大地測量學者重視的課題，以往只能利用地表所蒐集資料求定，誤差難免較大。拜太空科技的長足進步，目前的全球重力場則是除了收集近幾十年來地面重力資料外，還增加太空重力資料而導得的，所得成果大幅精進，然而，由於資料包括設於地面和太空中的衛星追蹤資料（如 SLR, DORIS, PRARE, GPS）、傳統的陸地重力測量及海洋的衛星測高、船測重力等，重力資料的品質和來源皆不同，且缺乏涵蓋全球精度一致的重力資料，降低了全球重力場之精度，致使全球重力場隨時間變化現象僅能顯現於長波長部分，因此研究地球的科學領域如大地測量（Geodesy）、海洋學（Oceanography）、水文學（Hydrology）、冰河學（Glaciology）、固態地球科學（Solid Earth Science）等，都強烈需求一高解析度及精度均勻且涵蓋全球的重力資料來改進其研究領域的應用，太空重力資料將對此有極大貢獻。

目前進行的衛星任務中，CHAMP 及 GRACE 的主要任務是推求全球重力場且均載有 GPS 接收器及加速度儀，可測得衛星運行中的加速度及非引力造成的加速度，扣除日、月引力及海潮、固體潮等，可精確得到純由地球重力場所造成的擾動加速度，藉由衛星擾動加速度與重力場的關係，回復衛星所感受到的地球擾動重力場，且經由長期的觀測，探求地球重力場隨時間的變化。而我國福爾摩沙衛星三號所負的科學任務中，亦有推定地球重力場一項，且三項衛星任務均載有 GPS 接收儀，均屬衛星追蹤衛星（SST）技術之應用，並利用 GNSS（Global Navigation Satellite System）衛星進行追蹤定位，故在本研究中，先行簡介 CHAMP、GRACE 及福衛三號衛星。

3.1 CHAMP（CHALLENGING Minisatellite Payload）簡介

CHAMP（CHALLENGING Minisatellite Payload）衛星是德國為研究地球科學和大氣科學及其相關應用所發射的微衛星，是一個以德國 GeoForschungsZentrum Potsdam（GFZ）及 Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V.（DLR）為主、多個組織合作的國際性任務，主要機構有德國的 GFZ、DLR，美國的 NASA、AFRL（Air Force Research Laboratories）、JPL，法國的 CNES 及歐洲 ESA 等，由德國 GFZ 負責管理、操作，衛星上裝載有高精度、多功能的輔助儀器，包括磁力儀（Magnetometer）、加速度儀（Accelerometer）、GPS 接收儀（12 channels

)、雷射反射稜鏡 (Laser Retro Reflector, LRR)、數位離子飄移計 (Digital Ion Drift Meter)。由於 CHAMP 衛星低軌、近極、長期之軌道特性，CHAMP 將第一次同時進行高精度重力場和磁力場之觀測，且長達五年，可以偵測到這兩種觀測量隨時空的變化，記錄重力及磁力之時變。

CHAMP 衛星任務使得地球重力場研究開創一個新紀元，也將對地球重力場貢獻極大。除此之外，利用接收 GPS 的資料進行掩星觀測，可用於大氣中電離層之研究，以及用於天氣預測和太空天氣監測。

3.1.1 任務歷程

自從二十世紀 70 年代後期，許多學者針對當時衛星系統、觀測方法及分析技術限制了地球重力場及地球磁力場模型的精度和解析度提出報告和建議，計畫發展新的觀測技術，直到德國 GFZ 的科學家建議發展微衛星計畫，該衛星攜帶科學儀器，具備良好軌道特徵，同時觀測並改善地球重力場及磁力場，這就是 CHAMP 衛星任務。CHAMP 衛星任務於 1994 年開始，歷經可行性研究、前期設計、最後設計、計畫實施、測試，於 2000 年 7 月 15 日發射，預計使用至 2005 年，其歷程如圖 3-1[GFZ homepage]。

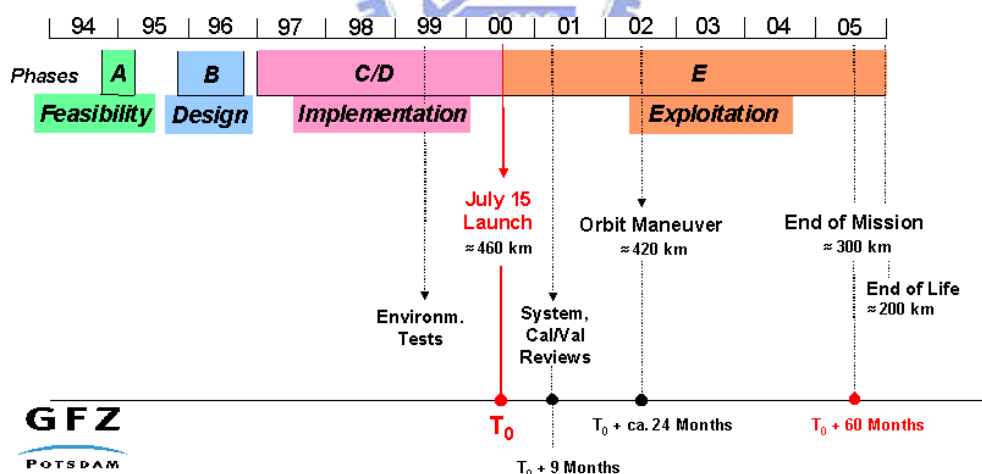


圖 3-1 CHAMP 衛星任務發展歷程[GFZ homepage]

3.1.2 合作組織

CHAMP 衛星任務合作組織包括德國的 GFZ、DLR，美國的 NASA、AFRL、JPL，法國的 CNES 及歐洲 ESA 等 (如圖 3-2)。

CHAMP Partners

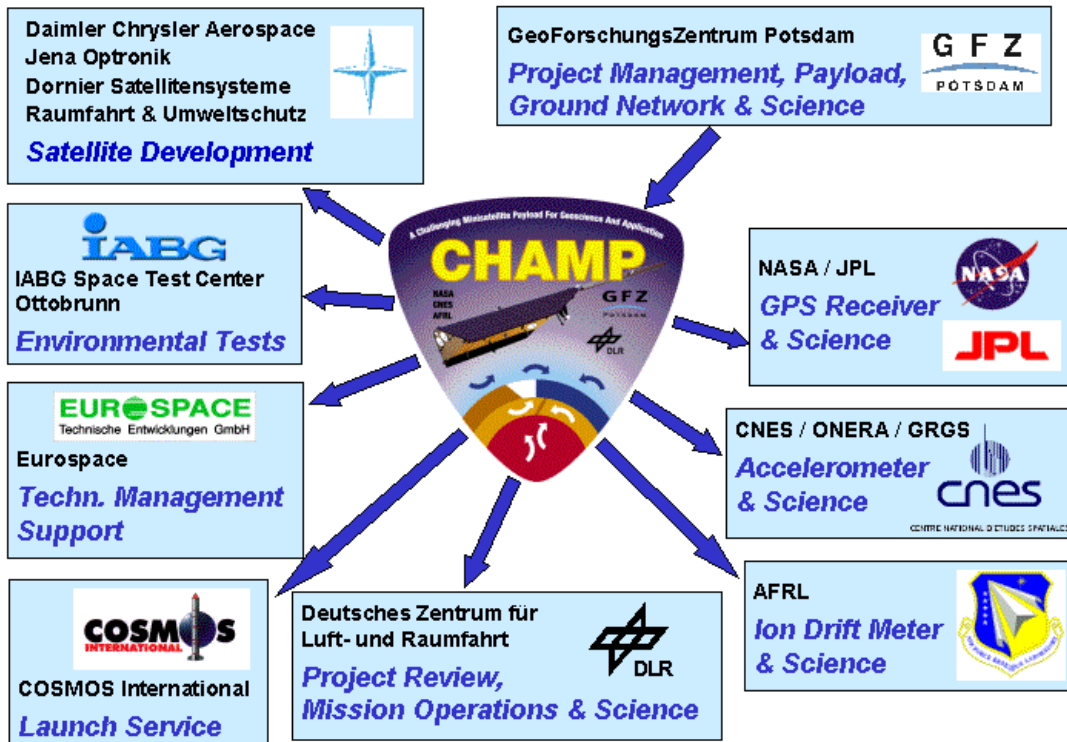


圖 3-2 CHAMP 衛星任務合作組織[GFZ homepage]

3.1.3 衛星特性

CHAMP 衛星於 2000 年 7 月 15 日 11 時 59 分 59.628 秒 (UTC)，由俄羅斯 COSMOS 火箭於莫斯科東北方 800 km 處的 Plesetsk 衛星發射基地發射升空，送入預定的近極、近圓形軌道，起始軌道高度約為 454 km，設計壽命為 5 年。由於大氣阻力等非保守力的作用，每月軌道高度下降約 1.5 km。

1. CHAMP 衛星之重量：522 kg

2. CHAMP 衛星之尺寸：

高度：750 mm

長度：8333 mm (其中吊桿長 4044 mm，寬 224 mm，高 224 mm)

寬度：1621 mm

3. 設計壽命：5 年

4. CHAMP衛星之面積質量比 (Area to Mass Ratio) : $0.00138 \text{ m}^2/\text{kg}$

5. CHAMP 衛星之軌道參數如下 (在 GPS 時 2000 年 08 月 01 日 00:00:00) :

長半徑 (Semi-major Axis) : 6823.287 km

偏心率 (Eccentricity) : 0.004001

軌道傾角 (Inclination) : 87.277°

近地點幅角 (Argument of Perigee) : 257.706°

升交點赤經 (Right Ascension of the Ascending Node) : 144.210°

平近點角 (Mean Anomaly) : 63.816°

6. CHAMP 衛星軌道周期特性如下 :

繞地球一周的時間 (True Period) : 93.55 分

每天周數 (rev/day) : 15.40 周

節點周期 (Nodal Period) : 966 天

近地點周期 (Perigee Period) : 93 天

7. 軌道高度 : 454 km

8. CHAMP 衛星之外觀前視、後視、主體及酬載儀器配置如圖 3-3、3-4、3-5。

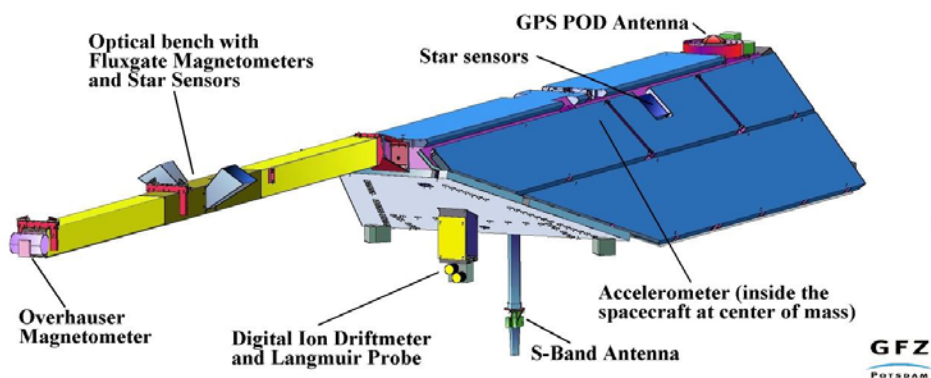


圖 3-3 CHAMP 衛星前視圖 (含酬載儀器) [GFZ homepage]

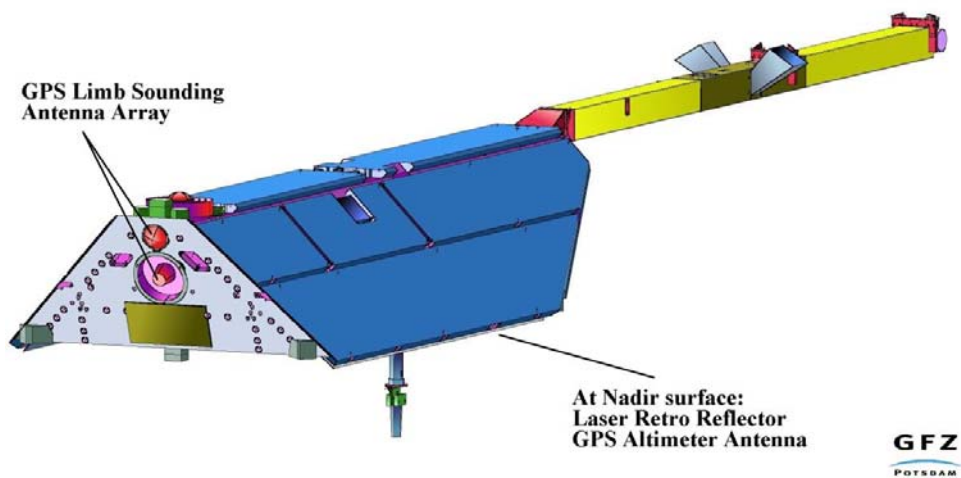


圖 3-4、CHAMP 衛星後視圖 (含酬載儀器) [GFZ homepage]

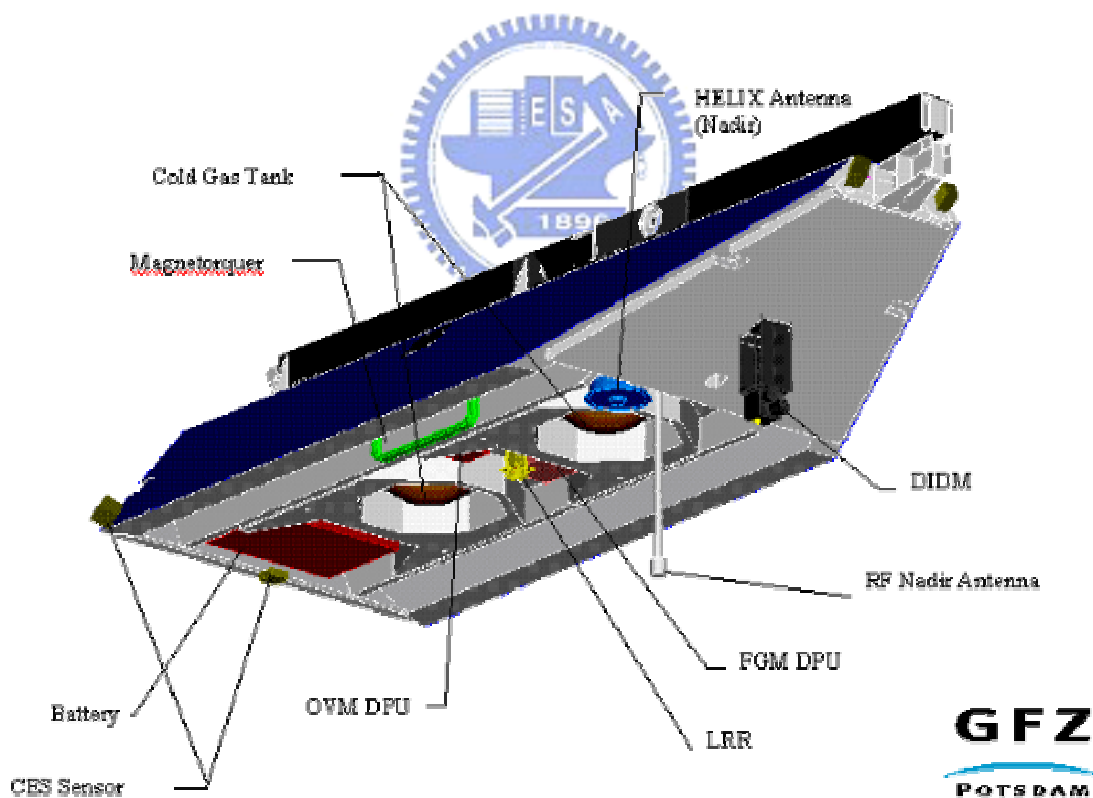


圖 3-5 CHAMP 衛星主體結構及儀器配置[GFZ homepage]

3.1.4 酬載儀器

CHAMP 衛星之酬載儀器有[GFZ homepage]：

1. STAR Accelerometer (微加速度儀)：用於測定大氣阻力和太陽輻射壓等引起的非保守力加速度，其設計採用靜電懸浮加速度測量原理，為法國CNES之產品。預期精度為 $1 \times 10^{-9} \text{ ms}^{-2}$ ，有效頻率範圍為 $2 \times 10^{-4} \text{ Hz}$ 至 0.1 Hz ，測量範圍為 10^{-3} ms^{-2} 。
2. GPS Receiver TRSR-2 (衛星接收儀)：接收 GPS 衛星訊號，最多可同時接收 12 顆 GPS 衛星訊號，用於精密定軌及利用掩星技術獲取水氣含量截面、確定單位體積內的總電子含量 (Total Electron Content, TEC)。

CHAMP 任務是採用 GPS 追蹤低軌衛星探測重力場、電離層和對流層以及電磁場的衛星，利用 CHAMP 所載 GPS 衛星接收儀連續地獲取高-低衛星追蹤衛星 (HL-SST) 觀測量，可達到下列優點：

- (1) 衛星之間可連續追蹤，避免地面追蹤不連續的困擾。
 - (2) 可避免對流層折射的影響。
 - (3) 衛星間的距離變化率直接感應到地球重力場的細微變化。
 - (4) 衛星間可以保持良好的圖形結構。
3. Laser Retro Reflector (雷射反射稜鏡)：用於反射 SLR 地面追蹤站所發射雷射脈衝，可以直接測定地面 SLR 追蹤站至反射稜鏡間之距離，精度可達 1~2 cm，資料用於精密定軌並結合 GPS 資料推算地球重力場，並可作為 GPS 校正之用。
 4. Fluxgate Magnetometer (磁力儀)：Fluxgate 磁力儀可以測量周圍磁場的三個分量。
 5. Overhauser Magnetometer (磁力儀)：Overhauser 磁力儀作為磁場參考。
 6. Advanced Stellar Compass (星載照相組合)：測定衛星運行姿態資料。
 7. Digital Ion Drift Meter (數位離子飄移計)：量測太空中電場資料。

3.1.5 產品資訊

CHAMP 的 1 至 4 級資料產品，是由 GFZ 科學資料系統透過軌道和重力場產品生產系統、磁場和電場產品生產系統及大氣層產品生產系統，以及 DLR-DFD 的電離層產品產生系統等系統產生。產品的管理則由 GFZ 的 CHAMP 資料中心（CHAMP Information System and Data Centre, ISDC）負責。

CHAMP 的標準科學產品依對於原始資料所加處理步驟數區分為等級 0 至等級 4，等級 0 是原始資料；等級 1 資料是等級 0 資料解碼結果，包括地面站的 GPS 及雷射測距資料，並轉為應用軟體可直接讀取格式；等級 2 資料是補上必要的衛星管理資料的經過預處理的、編修過的、率定的實驗資料，且安排於每日檔案內；等級 3 資料包含快速產品及仔細處理、編修、率定的實驗資料；等級 4 資料則是由 CHAMP 實驗資料和外加的模型及觀測資料分析求得的地球科學模型，目前已有 EIGEN-1S、EIGEN-2、EIGEN-3p 及 EIGEN-CHAMP03S 等重力場模型[GFZ homepage]。

3.1.6 科學任務

CHAMP 衛星的快速軌道資料（Rapid Science Orbit, RSO）是目前可以直接於網路取得的 CHAMP 位置資料，GFZ 和 JPL 幾乎同時發布 CHAMP 的 RSO 資料，提供全球科學家進行軌道、地球重力場、磁場及大氣研究。CHAMP 衛星資料已公布，其科學任務主要有三方面，包括[GFZ homepage]：

1. 評估高精度全球靜態重力場的長波長資訊及地球重力場的時變資訊

地球重力場的低階地位係數反應出重力場的長波長及中波長，自人造衛星成功發射，其資訊經由空間技術應用於地球科學研究上，就展現出無窮潛力，尤其是有關重力場的研究方面。CHAMP 任務係利用高軌的 GPS 衛星追蹤低軌的 CHAMP 衛星，為高-低衛星追蹤衛星測量，CHAMP 衛星充當地球重力場感應器的角色。

由於 CHAMP 衛星所載 GPS 衛星接收儀可以高頻率接收 GPS 衛星訊號，再加上地面追蹤站網的資料，可以高精度進行 CHAMP 衛星的定軌，同時藉由加速度儀觀測資料及恒星敏感器資料的處理，將非保守力的影響分離，可由 CHAMP 衛星 SST-h1 的觀測量確定地球重力場長波長地位係數。且由於

CHAMP 衛星軌道為近極、低軌、近圓形軌道，對於地球重力場敏感程度頗高，且全球覆蓋率很高，又因為設計壽命長達五年，可以較佳的空間及時間解析度評估地球重力場及其時變。

2. 評估全球磁場的空間分布及時變資訊

由於地球近極、低軌衛星有稠密且均勻的觀測資料，是解決傳統地面觀測或高軌衛星無法建立全球磁場模型要求的最佳方法。CHAMP 衛星軌道傾角約 87° ，保證它能夠很好的覆蓋所有當地時間，且其五年壽命的設計，將為研究磁場時變提供有效資料，同時其 454 km 的低軌、近圓形軌道和先進的磁力觀測儀器，將可提供高質量的全球磁場分布圖等磁場科學資料產品。

3. 利用全球性的、大量的由大氣和電離層、對流層所產生 GPS 折射訊號資料，研究溫度、水氣和總電子含量 (TEC)

利用 GPS 高軌衛星與 CHAMP 低軌衛星所載 GPS 接收儀構成 GPS 掩星觀測技術，由於其覆蓋面大，垂直解析度高，穩定性好，全天候適用等優點，對於提高天氣預報精準度及天氣系統的研究提供很大助益。由該技術獲取高精度、高垂直解析度的對流層溫度剖面提供對整個對流層溫度梯度作更詳盡研究的資料，從而提供未來全球大氣幅射變化資訊，以監測氣候變化的趨勢[羅佳，2003]。

3.2 GRACE (Gravity-Recovery and Climate Experiment) 簡介

GRACE 為美 (NASA)、德 (DLR) 兩個單位聯合發射的衛星任務，已於 2002 年 3 月 17 日於莫斯科東北方 800 km 處的 Plesetsk 衛星發射基地發射升空，同時發射二顆衛星 (GRACE-A、GRACE-B)，相距約 200 公里，同處於一軌道面，離地面 485 公里，為近極近圓形軌道衛星，屬低衛星追蹤低衛星任務 (LL-SST)。此任務主要觀測量為兩衛星間的距離及距離變化率 (Range Rate)，精度分別可達 $10 \mu\text{m}$ 及 $1 \mu\text{m}/\text{s}$ ，且各衛星上裝設有加速度儀，測定衛星受到的非引力部分 (如空氣阻力、太陽輻射壓、地球輻射壓等)，並各裝設一 GPS 接收儀，測定衛星之位置及速度，而 GRACE 衛星於太空中執行任務的示意圖如圖 3-6 所示[GFZ homepage]。

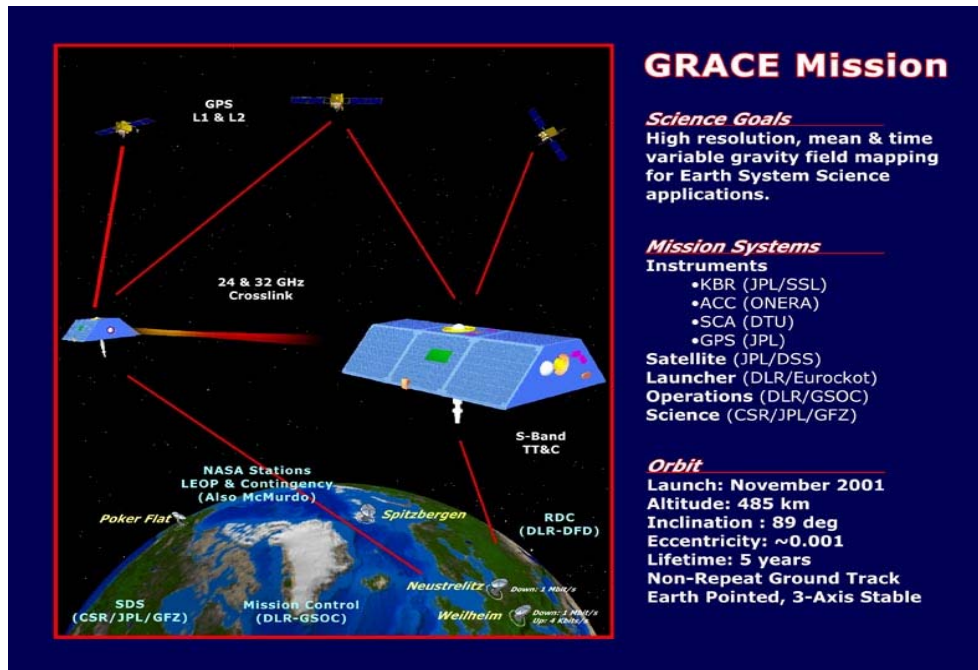


圖 3-6 GRACE 衛星於太空中執行任務示意圖[GFZ homepage]

3.2.1 任務歷程

GRACE 是美國 NASA 和德國 DLR 的聯合研究專案，早在 1996 年，該專案即由美國 JPL、德州大學太空研究中心（University of Texas at Austin, Center for Space Research, CSR）、德國 GFZ、太空系統 Loral 公司（Space Systems/Loral Inc., SSL）及 DLR 聯合提出，於 1997 年選定為 NASA 地球系統科學探險者專案（ESSP）的第二飛行計畫。GRACE 於 2002 年 3 月 17 日於莫斯科東北方 800 km 處的 Plesetsk 衛星發射基地發射升空，同時發射二顆衛星（GRACE-A、GRACE-B），預計使用至 2007 年[GFZ homepage]。

3.2.2 合作組織

GRACE 衛星任務合作組織包括美國 NASA、JPL、CSR、德國 DLR、GFZ、Eurokot 公司、Loral 公司、IABG（Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH）、法國 Astrium 公司等[GFZ homepage]。

3.2.3 衛星特性

GRACE 為近極近圓形軌道衛星，其特性如下：

1. 設計壽命：5 年

2. 衛星軌道初始參數：

GRACE-A

- 長半徑 (Semi-major Axis) : 6876.4816 km
- 偏心率 (Eccentricity) : 0.0040989
- 軌道傾角 (Inclination) : 89.025446°
- 近地點幅角 (Argument of Perigee) : 302.414244°
- 昇交點赤經 (Right Ascension of the Ascending Node) : 354.447149°
- 平近點角 (Mean Anomaly) : 80.713591°

GRACE-B

- 長半徑 (Semi-major Axis) : 6876.9926 km
- 偏心率 (Eccentricity) : 0.00049787
- 軌道傾角 (Inclination) : 89.024592°
- 近地點幅角 (Argument of Perigee) : 316.073923°
- 昇交點赤經 (Right Ascension of the Ascending Node) : 354.442784°
- 平近點角 (Mean Anomaly) : 67.044158°

3. 軌道周期：94 分/周

4. 軌道高度：500 km

5. GRACE 每一衛星之內部構造、底部結構及頂部結構 (含酬載儀器配置) 如

圖 3-7、圖 3-8、圖 3-9。

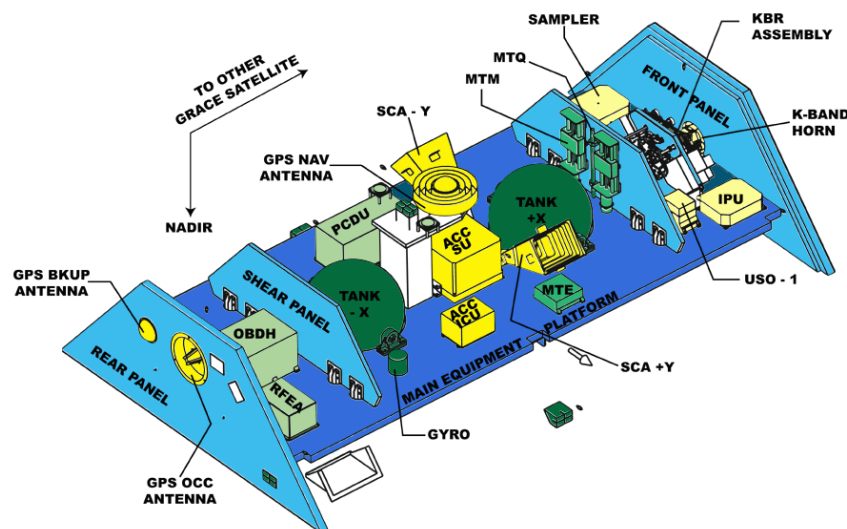


圖 3-7 GRACE 衛星內部構造[GFZ homepage]

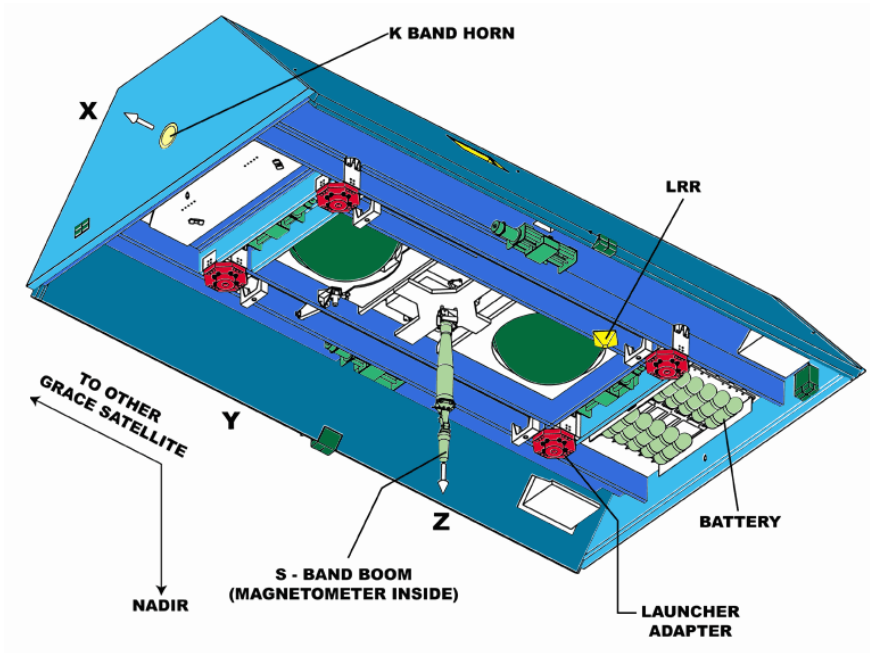


圖 3-8 GRACE 衛星底部結構[GFZ homepage]

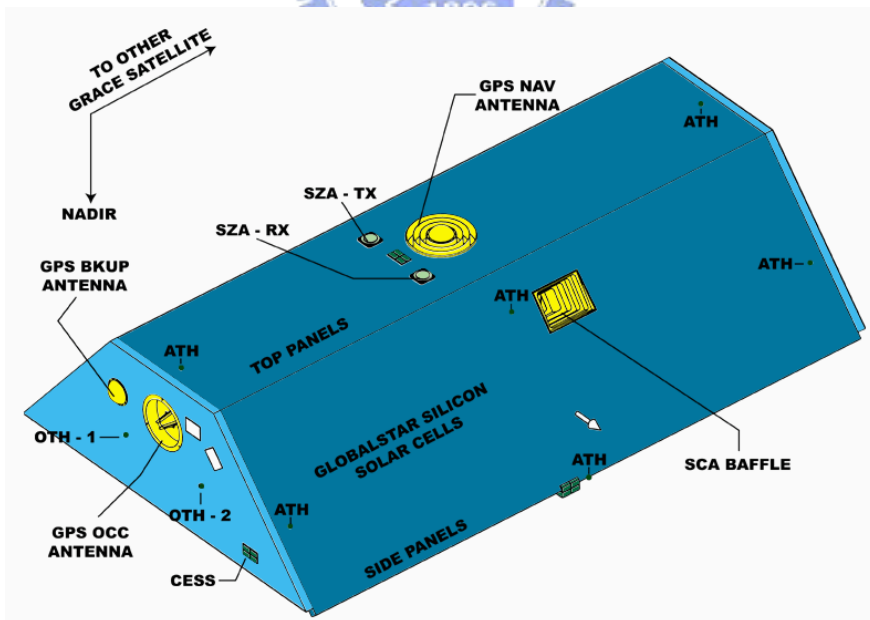


圖 3-9 GRACE 衛星頂部結構[GFZ homepage]

3.2.4 酬載儀器

GRACE 每一顆衛星酬載之儀器有：

1. K-Band Ranging System (K 波段測距系統, KBR)：是 GRACE 的關鍵系統，兩顆衛星均有，用來測定兩顆衛星間雙向之單程距離變化率，其距離變化率量測精度約為 $1 \mu\text{m}/\text{s}$ 。KBR 系統測量相位變化的採樣率為 10 Hz，量測距離變化率的採樣率為 0.1~0.0001 Hz。KBR 包括 K 波段 24 GHz、Ka 波段 32 GHz 的雙頻率微波訊號發生器及相位處理系統，以便有效消除電離層延遲的影響。兩個 KBR 系統僅頻率互差 500 KHz，其餘完全相同。頻率差是為了確保傳輸與接收微波訊號不會互相干擾。
2. SuperSTAR Accelerometer (超星加速度儀, ACC)：用於測定大氣阻力和太陽輻射壓等引起的非保守力加速度，其設計與 CHAMP 所用同樣採用靜電懸浮加速度測量原理，同為法國 CNES 之產品。由於 GRACE 衛星的低振盪設計及溫度調控穩定度高，用於 GRACE 衛星的超星加速度儀的量測精度可望達到 $\pm 5 \times 10^{-2} \text{ms}^{-2}$ ，加上其他改進措施，其精度可達到 10^{-10}ms^{-2} 。
3. GPS Space Receiver (衛星接收儀, GPS)：每一衛星所載 GPS 衛星接收儀配有三個天線，一個為備用天線，另二個天線用於精密定軌及利用掩星技術獲取水氣含量截面、確定單位體積內的總電子含量 (TEC)。
4. Laser Retro-Reflector (雷射反射稜鏡, LRR)：用於反射 SLR 地面追蹤站所發射雷射脈衝，可以直接測定地面 SLR 追蹤站至反射稜鏡間之距離，精度可答 1~2 cm，資料用於精密定軌並結合 GPS 資料推算地球重力場，並可作為 GPS 校正之用。
5. Star Camera Assembly (恆星敏感器, SCA)：在衛星姿態和軌道控制系統 (ACOS) 中，用於衛星的精密定向及觀測值的正確歸算，將觀測值從加速度儀的固定坐標系正確歸算到慣性坐標系，其衛星姿態量測精度優於 0.3 mard，期望精度能達到優於 0.1 mard。
6. Coarse Earth and Sun Sensor (日地感應器, CES)：GRACE 衛星的 ACOS 系統利用日地感應器獲取初始資料和安全模式，CES 提供的定向精度為：衛

星 Z 軸（指向天球）的地球定向及衛星 Y 軸相對於太陽的偏航角度均優於 15 度。

7. Ultra Stable Oscillator（超穩定振盪器，USO）：為 KBR 的頻率發生器，運行 30 天後，每天的長期穩定度優於 1×10^{-10} 。
8. Center of Mass Trim Assembly（質心調整器，CMT）：衛星的質量中心與加速度儀檢測質量中心間的偏移量必須精確測定，在三軸上的定位精度須小於 $50 \mu\text{m}$ ，CMT 可以在每軸 $\pm 2 \text{ mm}$ 的範圍內，以等於或小於 $10 \mu\text{m}$ 為單位調整質心位置。

3.2.5 產品資訊

GRACE 資料產品分為等級 0 至等級 2，等級 0 是位於德國 Neustrelitz 的任務管制中心 (Mission Operation System, MOS) 的資料中心 (Raw Data Center, RDC) 所收集彙整的資料；等級 1 資料包括 KBR、ACC、SCA 及 GPS 經過預處理、時間連續的資料；等級 2 資料是等級 1 資料經過率定、校正後資料所求得的重力場模型，包括短天期 (30 天) 的重力場和平均重力場，包括已於 2003 年 7 月 25 日公布的 EIGEN-GRACE01S 模型，2004 年 2 月 13 日提供 GRACE 科學團隊、2004 年 8 月 9 日公布的 EIGEN-GRACE02S 模型，於 2004 年 10 月 29 日公布 EIGEN-CG01C 模型等。GRACE 資料處理流程及 GRACE 團隊資料處理分工如圖 3-10、圖 3-11。

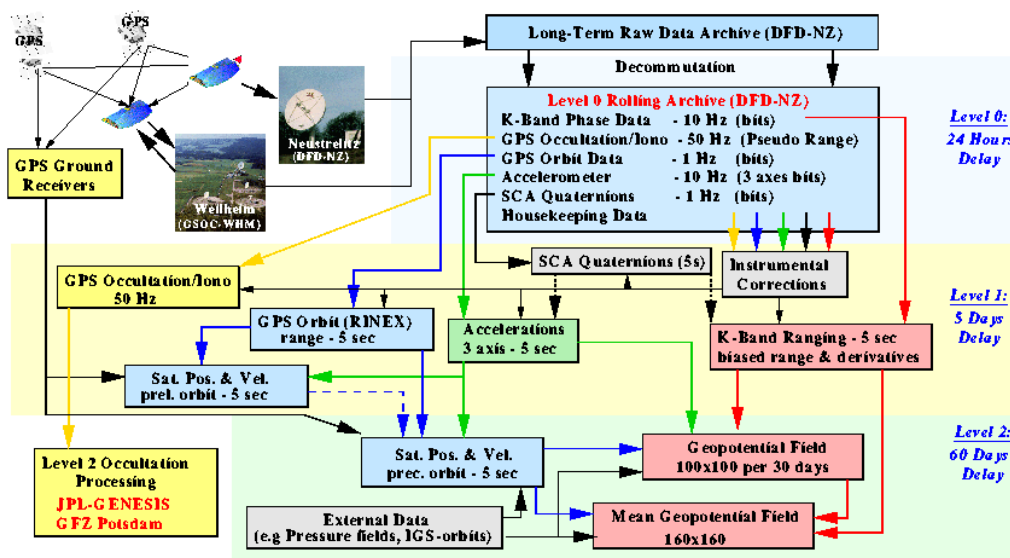


圖 3-10 GRACE 資料處理流程[GFZ homepage]

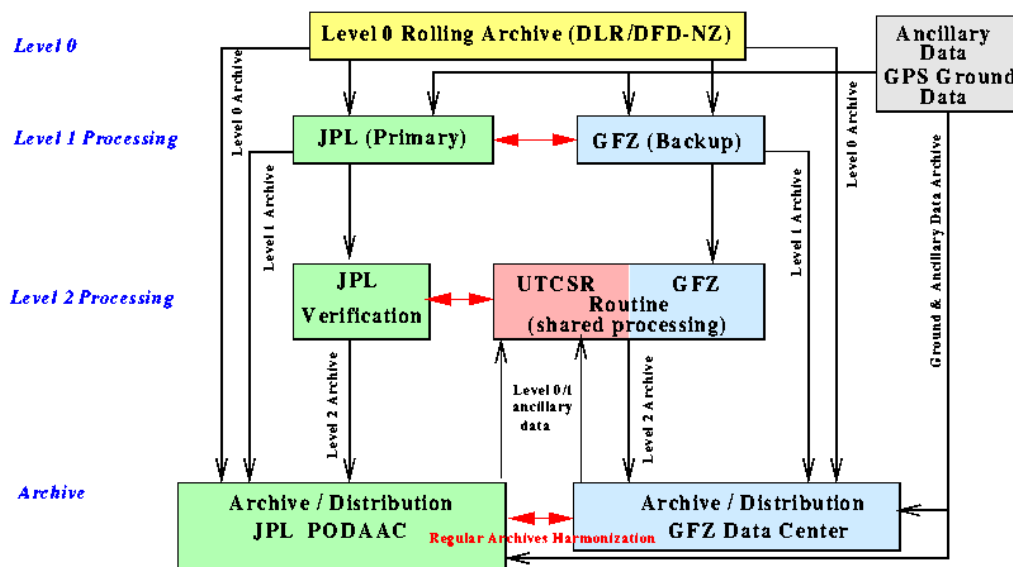


圖 3-11 GRACE 團隊資料處理分工[GFZ homepage]

3.2.6 科學任務

GRACE 任務主要目標是提供長達 5 年的全球高解析度、高精度的地球重力場，連續長時間的重力場測定將可產生平均地球重力場及其時間的變化，在這方面，GRACE 將繼續 CHAMP 衛星任務，而精度的提昇將可預期。GRACE 任務另一目標是每天提供數百個利用 GPS 觀測量經電離層及大氣效應延遲及彎曲角度所得剖面圖，以供探求電離層的總電子含量 (TEC) 和對流層的折射率。

GRACE 衛星任務的應用有大地水準面認知的提昇，再結合衛星測高和地面資料，使我們在海洋學、大地測量、或固體地球科學的研究有更大的改進與助益，如海洋熱流量、長期的平均海水面變化、海洋上之熱含量、地轉流、精密定位、定軌及水準測量等。而隨時間變化之地球重力場將有助於吾人對於海洋、水文、冰河及固體地球科學隨時間變化有更多的了解，如深海中海流的變化、大規模的蒸發量、土壤濕度的變化、冰山及冰河的質量平衡、陸地上地下水及雪含量之變化、岩石及地幔密度的變化、冰原期後的復原及固體地球的均衡，除此之外酬載 GPS 接收儀，有 3 個全方位之天線，皆有 16 個頻道，其中 12 個頻道用以精密定軌，另外 4 個頻道用以進行掩星測量，這些觀測量可推求溫度及水氣，有助於氣候變化研究，亦可進一步了解電離層內部的構造[GFZ homepage]。

3.2.7 GOCE 衛星任務

GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) 是由 ESA 地球科學顧問委員會 (Earth Sciences Advisory Committee, ESAC) 建議的地球探測計畫之一[ESA, 1999]。ESA 經過 10 多年研究，確定 GOCE 為探測高精度、高解析度地球重力場和靜態洋流的衛星計畫，計畫於 2006 年發射，大約在 CHAMP 計畫結束前後。

GOCE 的目的就是經由衛星重力梯度 (SGG) 測量技術和 SSTI (Satellite-to-Satellite Tracking Instrument) 的 HL-SST 技術運用，獲得高精度、高解析度的全球的及區域的地球重力場模型和大地水準面及參考等位面。

GOCE 任務將持續 20 個月，包括 2 個月的移交期，2 個以 6 個月為周期的觀測採集期，中間有 5 個月的休眠期。GOCE 飛行軌道為近圓形，其偏心率總小於 0.0045，軌道高度為 250 km，軌道傾角 96.5° 的太陽同步軌道，衛星上裝配有無阻力及高度控制系統 (Drag-Free and Attitude-Control System, DFACS)，可以減少大部分非保守力的影響，並允許 GOCE 衛星在近圓形軌道上飛行。為了保證高密度的地面跟蹤，獲得高解析度的重力場採樣，軌道重復周期為 2 個月或稍長一點。

GOCE 衛星任務為達到地球物理、海洋學、大地測量方面的要求，其觀測的要求精度為[ESA, 1999][Visser et al., 2001]：

1. 量測地球重力異常的精度要優於 1-2 mGal (或 10^{-5} m/s)。
2. 大地水準面的精度優於 1 cm。
3. 空間解析度為 100 km 或更小。

GOCE 衛星於 2000 年時原規劃攜帶具有大地測量品質的 GPS-GLONASS 衛星接收儀，並定名為 GRAS 接收儀，進行雙頻觀測以便作電離層改正，但是在 2003 年時已改為攜帶 SSTI 接收儀，SSTI 接收儀包含一個雙頻 GPS 接收儀和 L 頻段天線，最多可同時接收 12 顆 GPS 衛星的載波相位和電碼訊號，作為即時的軌道導航用[ESA homepage]。

GOCE 衛星採用靜電重力梯度儀 (Electrostatic Gravity Gradiometer, EGG)，分別測定沿軌方向、軌道法向和徑向的重力梯度值，其期望的觀測精度可達到 3

mE/Hz，其中 $1E$ (Eötvös) = 10^{-9} s^{-2} [ESA homepage]。

GOCE 衛星酬載包括高質量雙頻 GPS 接收儀、靜電重力梯度儀、無阻力及高度控制系統和雷射反射稜鏡 (LRR)，同時提供 GOCE 和 GPS 衛星之間的 HL-SST 觀測量以及 EGG 三軸重力梯度觀測量。GPS 接收儀具有雙重作用，不僅保證高精度精密定軌和探測中長波地球重力場資訊，而且使梯度儀在地固參考框架中獲得高精度的 SGG 觀測量。GPS 接收儀的衛星軌道追蹤資料提供長波長部分的重力場觀測值，重力梯度儀測量中、短波長的重力場資訊，這些資訊可計算至 200 階次的重力場模型 [Klees and Koop, 1998]。

GOCE 衛星任務，在地球動力學方面的貢獻，可提高人們對地球內部的瞭解，包括與岩石圈、地幔、構造活動、冰原期後的復原及現今海平面變化等；對於海洋學方面，經由精確的大地水準面提供平均海洋潮流的瞭解，求得公分級精度的海面地形，並與衛星測高結合，改善全球洋流模型，通過改善極地冰蓋質量平衡的估計，開展氣候變化研究 [ESA homepage]。

3.2.8 福爾摩沙衛星三號簡介

「福爾摩沙衛星三號 (原名中華衛星三號) 計畫」為大型中美雙邊國際合作計畫，由雙方政府授權執行，我方為財團法人國家實驗研究院國家太空中心 (前身為國家科學委員會國家太空計畫室，NSPO)，美方為美國大學大氣研究聯盟 (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR) 代表，此計畫目的是建立全球大氣即時觀測網之先進技術，又稱為氣象、電離層及氣候之衛星星系觀測系統 (Constellation Observing System for Meteorology、Ionosphere and Climate)，簡稱 ROCSAT-3/COSMIC 計畫 [Lee, 2002]。

美國大學大氣研究聯盟於 1993 年開始一項名為全球定位系統氣象實驗 (GPS/MET) 之計畫，由美國國家科學基金會 (NSF) 提供研究資金，於 1995 年發射一枚低軌衛星以證實該實驗概念可行，以 GPS 掩星技術進行大氣探測，並於 1996 年更進一步，開始發展氣象、電離層及氣候之星系觀測系統 (COSMIC) 之概念設計，即利用全球定位系統掩星技術，經與小型電離層光度計、三頻段信標儀和微衛星系技術結合，能夠以低成本達成氣象和氣候預測與研究，以及電離層預測與研究之有效途徑。

國家太空中心依據國家科學委員會的委託和授權為執行我國太空政策，規劃

發展小型低軌衛星，經與 UCAR 初步接觸和協談後，UCAR 於 1997 年向國科會提出 COSMIC 微衛星星系之概念設計，經確定合作後，定名為中華衛星三號（ROCSAT-3/COSMIC）計畫，並於 2004 年 11 月更名為福爾摩沙衛星三號（FORMOSAT-3）。歷經可行性評估、系統規劃、衛星設計、發展、測試，國家太空中心於 2004 年 6 月開始組裝福衛三號第 2 至第 6 顆衛星(FM2~FM6)，至 2005 年 3 月已完成 FM2~FM5 的組裝，預計於 2005 秋天完成所有衛星整測工作，2005 年底或 2006 年初發射，預計使用 5 年[國家太空中心網頁]。

福衛三號貢獻於地球重力場可分為靜態重力場和重力場時變二方面。由於福衛三號有 6 顆衛星，且任務壽命長達 5 年，因此可提供較多資料反演重力場，預估在長波長部分可達 30~40 階，可改善精度一個數量級。然而，由於 CHAMP 及 GRACE 之相繼發射，更高階之球諧係數及更高之空間解析度可由這兩種衛星獲得，甚至 2006 年歐州太空總署（ESA）將發射 GOCE 衛星，可提供更高解析度之重力場，如此一來，福衛三號在靜態重力場方面就不期待扮演重要的角色，雖然如此，福衛三號在軌道調整期間可對重力時變之探討貢獻良多，因為福衛三號發射時 GRACE 任務壽命也近尾聲，剛好可填補重力場時變研究之空缺。

福衛三號之重力場精度將劣於 GRACE 約略一個數量級，主要有二大因素：一為福衛三號沒有酬載加速度儀，無法觀測非引力部分，只能以模式來修正。二為福衛三號係 GPS-LEO 追蹤，而 GRACE 為 LEO-LEO 追蹤，先天上精度就較差，另外福衛三號高度較高，空間解析度較低亦是另一缺點。然而，高度較高也就意謂所受到非引力效應較小，可降低模式不確定所造成之誤差，而且福衛三號任務期間正好是太陽黑子活動較小的時期，亦意謂著大氣阻力較低。

福衛三號除了在時間上與 GRACE 有不同時期之外，在空間覆蓋率也比 GRACE 高，因其有 6 顆衛星在不同軌道上，比起 GRACE，福衛三號另有二大優點：一為觀測量多 6 倍，二為較少的混疊誤差，這也是 GRACE 在以重力時變解釋地球物理時，遭人挑剔的弱點。福衛三號資料將有助於大地測量方面之研究，然最重要的是在重力場的時變研究，預估可貢獻至 7 階[Chao et al., 2002.]，當然這仍需進一步的努力。

