

第二章 CHAMP 衛星

2-1 衛星對衛星的追蹤技術

衛星對衛星追蹤技術(Satellite to Satellite Tracking, SST)為測定 2 顆衛星間的距離變化，一般分為高低衛星追蹤(Hight-Low Satellite Tracking, 圖 2-1)和低低衛星追蹤(Low-Low Satellite Tracking, 圖 2-2)。前一類是高軌衛星(如 GPS 衛星)追蹤低軌衛星或空間飛行器(Spacecraft, S/C)，後一類是處於同一低軌道上的 2 顆衛星之間的追蹤，2 顆衛星間可以相距數百千米，這兩類 SST 技術都將 LEO 衛星作為地球重力場的感測器，以衛星間單向或雙向的微波測距系統測定衛星間的相對速度及其變率如 GRACE(CSR Home Page)。

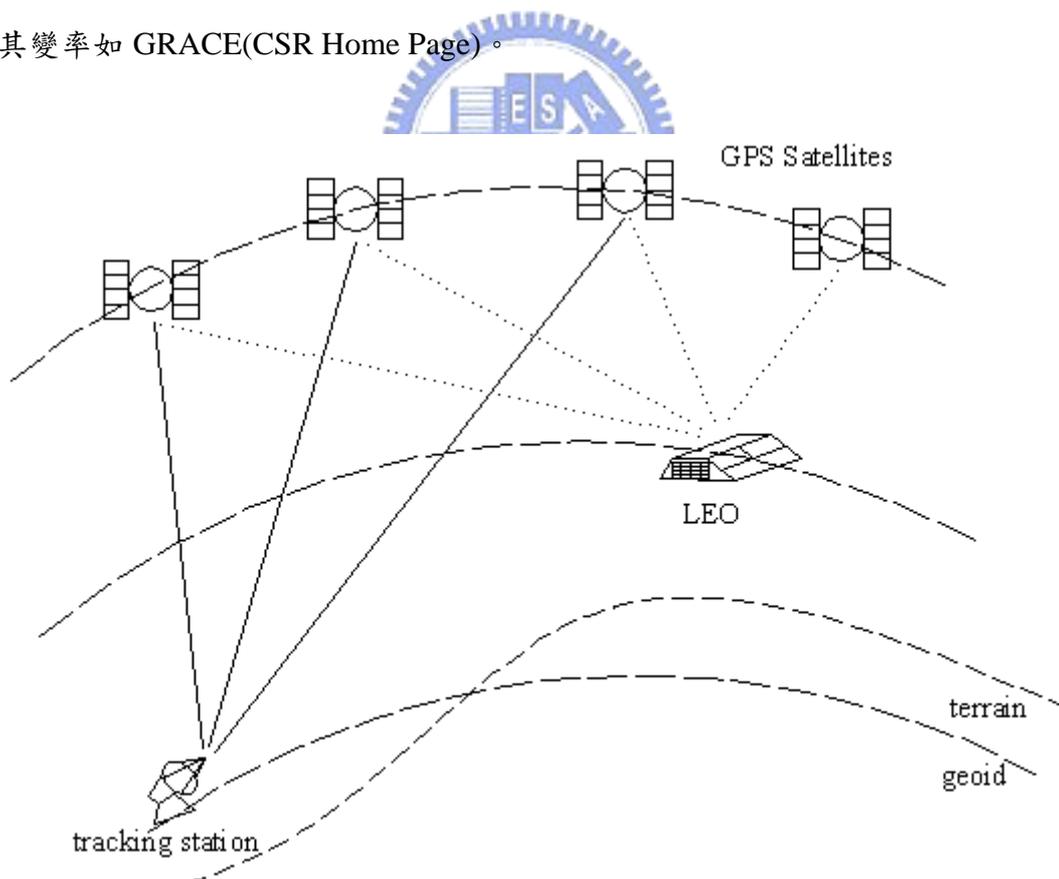


圖 2-1 衛星對衛星追蹤-高低(High-Low)衛星追蹤模式

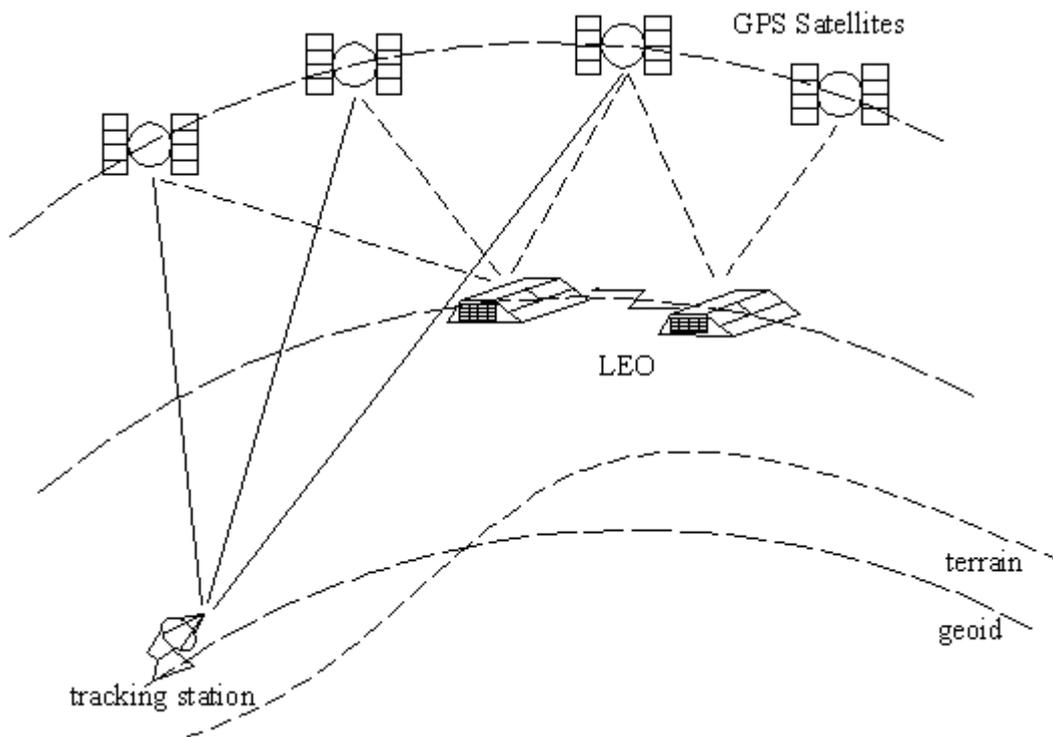


圖 2-2 衛星對衛星追蹤-低低(Low-Low)衛星追蹤模式

SST 技術在 1991 年，美國太空總署(NASA Goddard Space Flight Center)利用 GPS 衛星作高軌衛星進行了試驗，用 LANDSAT 作為低軌衛星，在該衛星上裝置 GPS 接收機，進行定軌和測定高低衛星間距離及其變率的試驗，後來在 T/P (TOPEX/POSEIDON)海洋測高衛星上也作過類似試驗，但由於測定距離及其變率的解析度和精度不高，而沒有令人滿意的結果。

鑒於上述情況，在 1994 年前東德空間局 DARA(Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten)開始執行東德空間工業特別計劃。隨後，德國 GFZ(GeoForschungsZentrum)的科學家們建議發展小衛星計劃即稱為 CHAMP，該衛星攜帶科學儀器，具有良好的軌道特徵，能夠同時觀測和改善地球重力場和磁場模型，這次歐空局(European Space Agency, ESA)在德國 GFZ 主持下所發射的 CHAMP 衛星，在今後 10 年中將專門進行 SST 和衛星重力梯度測量的試驗。

2-2 CHAMP 衛星

2-2-1 任務介紹

以德國 GFZ 和 DLR(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.r.) 爲主所發展的 CHAMP 是用於地球科學(Geoscience)和大氣研究(Atmosphere)及其應用的德國小衛星任務，下列做一概略之介紹，詳細內容可參考 GFZ 網頁。在計劃發展過程前期，參與的機構有 NASA、CENS(Centre National des Études Spatiales)、AFRL，其間陸續有許多的機構加入研發，至後期共同參與的主要機構有 GFZ，德國；DLR，德國；NASA，美國；CNES，法國；AFRL(Air Force Research Laboratories)，美國；JPL(Jet Propulsion Laboratory)，美國；ESA，歐洲(圖 2-3)。

CHAMP 具有高精度、多功能、完全星載的設備，衛星外形和攜帶的儀器設備參考圖 2-4，2-5 和 2-6，特點是近似圓形的軌道、低軌和長週期性(圖 2-7)，同時產生高精度之重力場和磁場，偵測兩場間隨時間改變的空間變化，且同時探測它們的時空變化。另外，隨著星載無線電掩星觀測和地面設施的發展，可進行大氣和電離層研究，並可應用於天氣預報和空間氣象監測(CHAMP-ISDC Home Page)。

低軌衛星 CHAMP 主要裝載的儀器有：

- 星載 GPS 接收機和高精度三軸加速度計：GPS 接收機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；三軸加速度計用於測量表面力加速度。主要用於地球重力場模型解算。
- 高性能的 Fluxgate 磁力計、天體照相機和 Overhauser 標量磁力計：Fluxgate 磁力計可以測量周圍磁場的三個分量；天體照相機與磁力計框架相聯，用於確定磁力計相對主框架的姿態；Overhauser 作為磁場參考。主要用於地球磁場研究。

上述用於地球重力場和磁場研究的儀器還可觀測到與中性大氣和電離層狀態特徵和動力學相關的許多參數。利用 GPS 無線電掩星觀測量，進行溫度和水氣探測；用數位離子漂移計觀測電場；由 GPS 無線信號確定電子濃度；用加速度計高解析度的觀測量估計中性大氣密度。

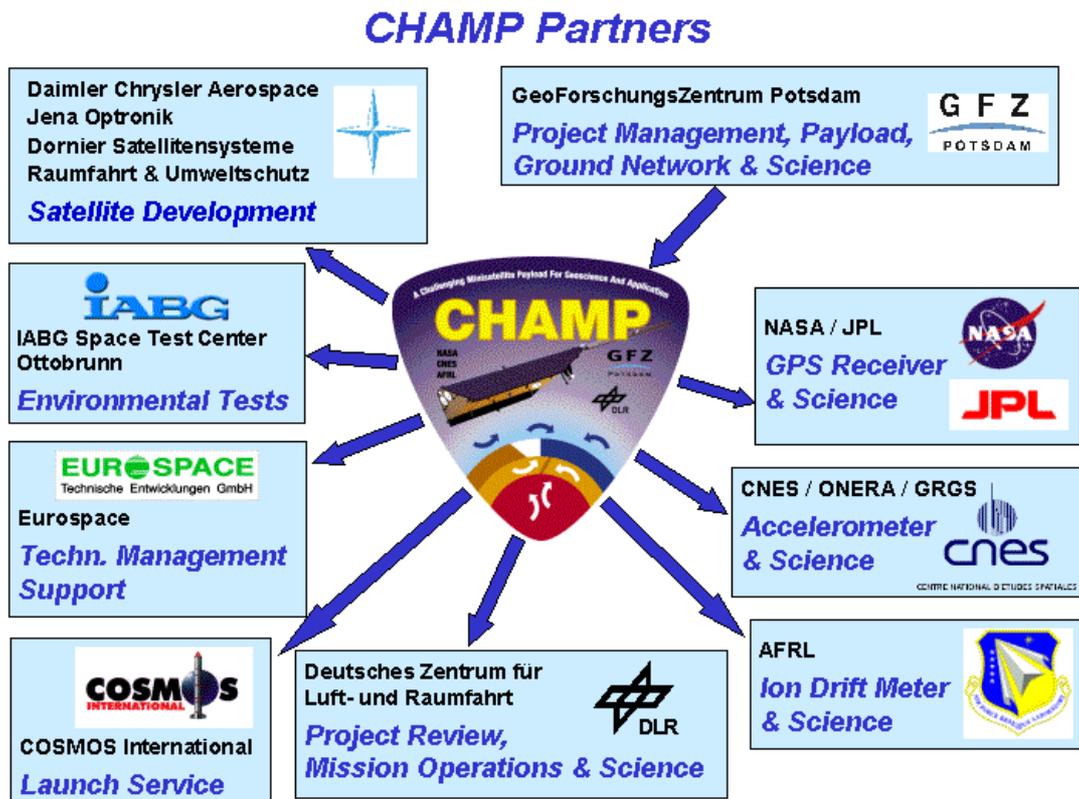


圖 2-3 CHAMP 計畫的主要機構(GFZ)

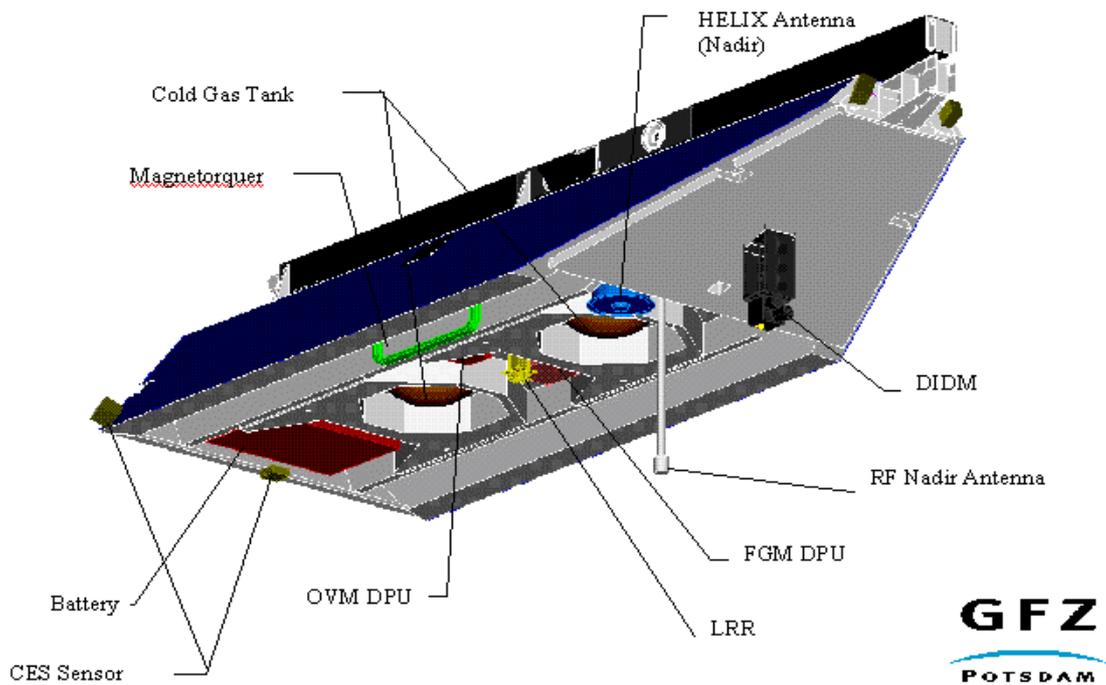


圖 2-4 CHAMP 衛星構造和攜帶的儀器設備(GFZ)

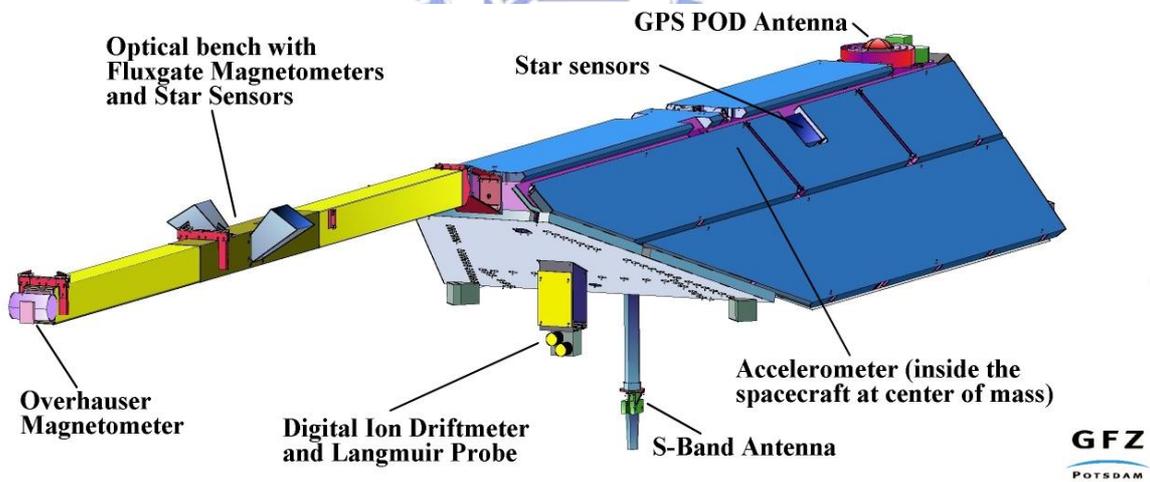


圖 2-5 CHAMP 衛星前視圖(GFZ)

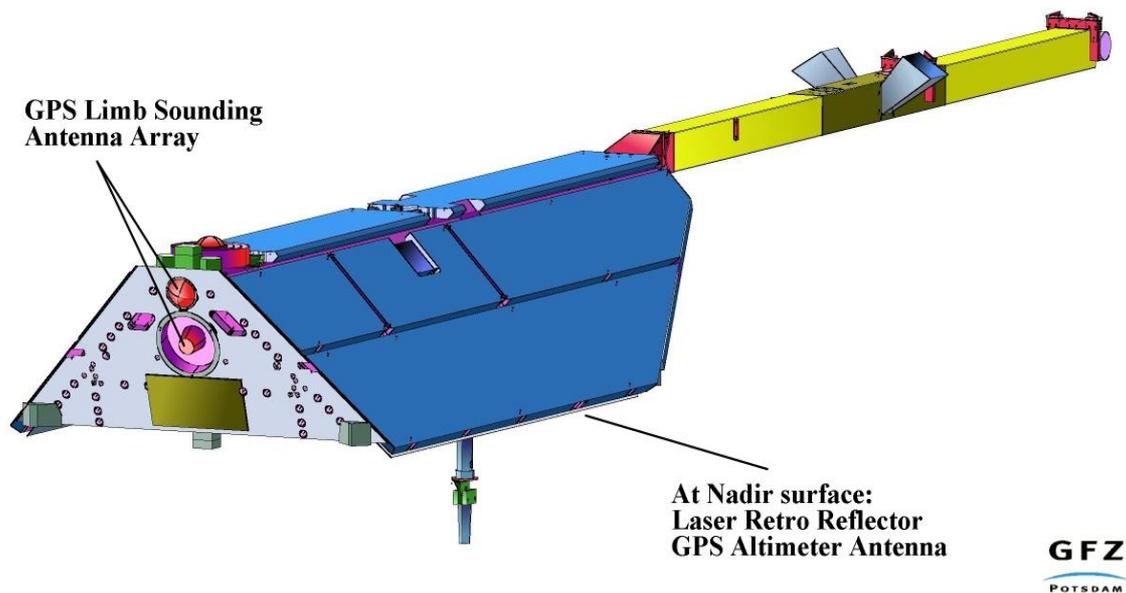


圖 2-6 CHAMP 衛星後視圖(GFZ)

CHAMP 任務有三個主要目的：

- 高精度地確定全球靜態地球重力場長波長特徵和重力場隨時變化。
- 估計地球主體和地殼的磁場及其各分量的時空變化。
- 利用全球分佈的、大量的由大氣和電離層引起的 GPS 信號折射資料，研究溫度、水氣和電子。

將 CHAMP 計劃發展過程分成不同階段，由圖 2-6 可知各時期的階段性任務與歷程，並於表 2-1 中說明之。

表 2-1 CHAMP 計畫各階段任務內容(GFZ)

階段 A	時間 1994 年 10 月-1995 年 3 月，進行可行性研究和先期設計
階段 B	時間 1995 年 11 月-1996 年 10 月，最後設計和詳細規劃
階段 C/D	時間 1997 年 1 月-2000 年 7 月，計劃實施和測試
階段 E	時間 2000 年 7 月- 2005/2006 年，衛星升空和計劃利用

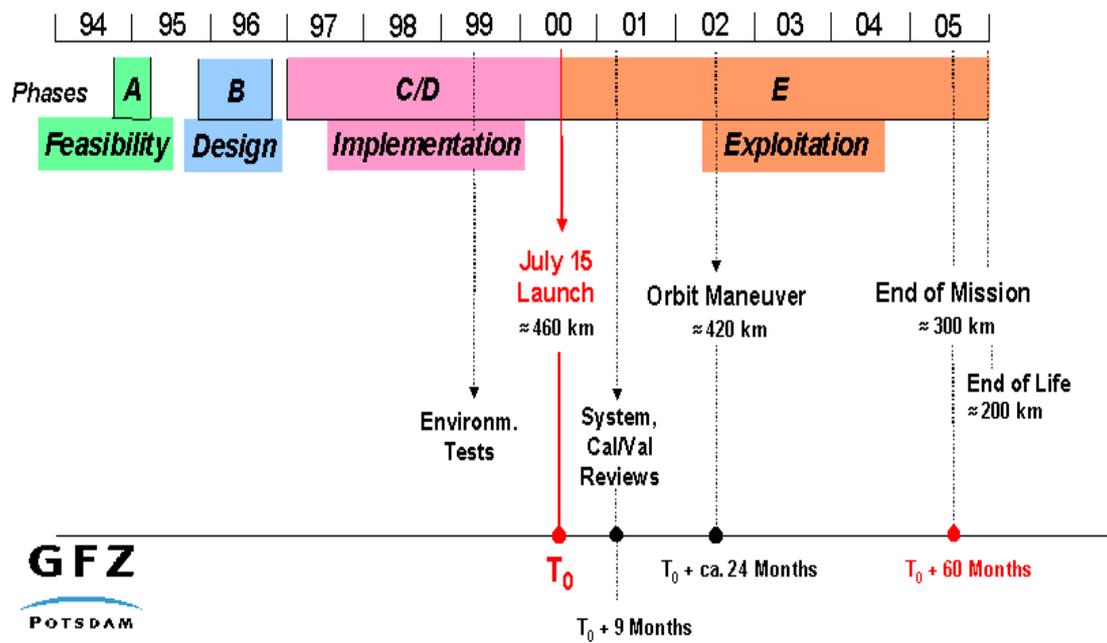


圖 2-7 CHAMP 計劃發展過程(GFZ)

2-2-2 軌道與參數

2000 年 7 月 15 日 11:59:59.628 UTC，CHAMP 衛星由俄羅斯 COSMOS 火箭發射升空，傾角為 87.275 度，初始高度為 454 km，設計衛星壽命為 5 年，軌道為接近圓形和近極，如此一來就可以獲得接近覆蓋全球的觀測，方便衛星地面跟蹤，CHAMP 衛星的物理參數為(表 2-2)：

表 2-2 CHAMP 衛星的物理參數(GFZ)

總質量 (total mass)	522 kg
高度	750 mm
長度	8333 mm (包括 Boom: 長為 4044 mm, 高為 224 mm, 寬為 224 mm)
寬度	1621 mm
面質比 (area to mass ratio)	0.00138 m ² /kg

通過地面跟蹤和星載 GPS 觀測，在曆元 2000/08/01 00:00:00 GPS，CHAMP 衛星的狀態為(表 2-3)：

表 2-3 CHAMP 衛星軌道元素(GFZ)

長半徑 (Semi-major axis)	6823.287 km
偏心率 (Eccentricity)	0.004001
傾角 (Inclination)	87.277°
近地點變角 (Argument of the Perigee)	257.706°
升交點赤經 (Right Ascension of the Ascending Node)	144.210°
平近點角 (Mean Anomaly)	63.816°

CHAMP 衛星具有以下優點：

- 最多有 12 顆 GPS 衛星同時對 CHAMP 衛星進行連續跟蹤，而由地面跟蹤只能是一維不連續跟蹤，如 SLR，DORIS，PRARE 等。
- 由於 CHAMP 衛星軌道是低軌、近圓、近極，因此幾乎覆蓋全球範圍，CHAMP 能夠採集更多的地球引力場資訊。
- 採用加速度計直接測量非保守力，實際應用中可以不採用大氣密度模型、太陽輻射壓模型、地球反照壓模型等近似或經驗模型。