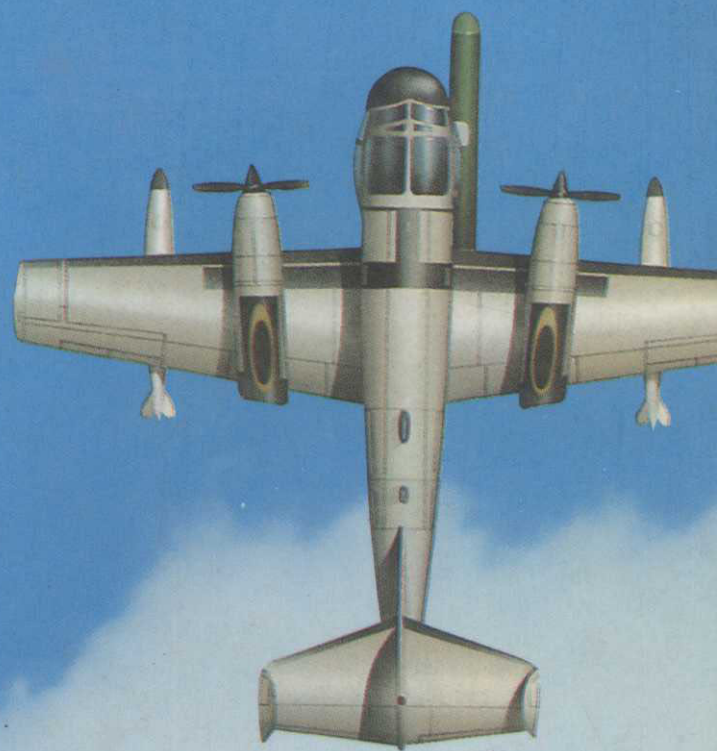


黃國興 編著

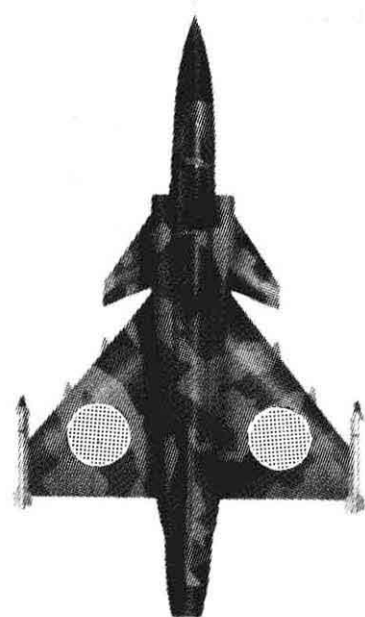
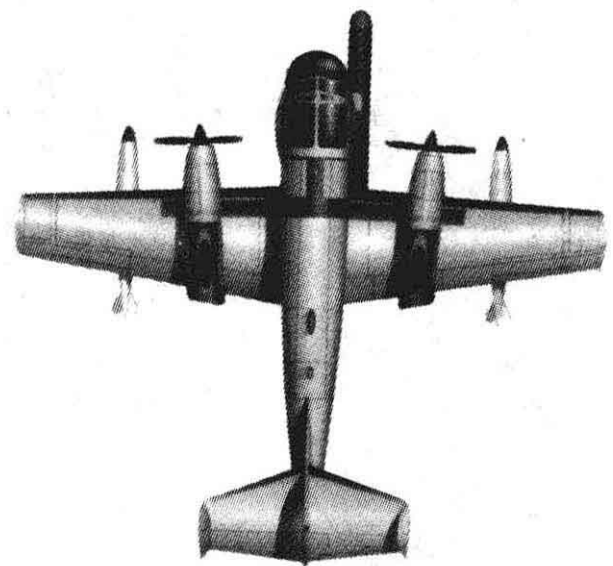
慣性導航系統原理與應用



全華科技圖書股份有限公司 印行

黃國興 編著

慣性導航系統原理與應用



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

慣性導航系統原理與應用 / 黃國興編著 . - -

初版 . - - 臺北市 : 全華 , 民 80

面 ; 公分

ISBN 957-21-0125-0 (平裝)

1. 導航 2. 感測器

447.68

80001621

法律顧問：蕭雄淋律師

慣性導航系統原理與應用

黃國興 編著

定價 新台幣 **260** 元

初版 / 80 年 6 月

圖書編號 **0212087**

版權所有・翻印必究

出版者 / 全華科技圖書股份有限公司

地址：台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836 — 1 號

發行人 / 陳 本 源

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

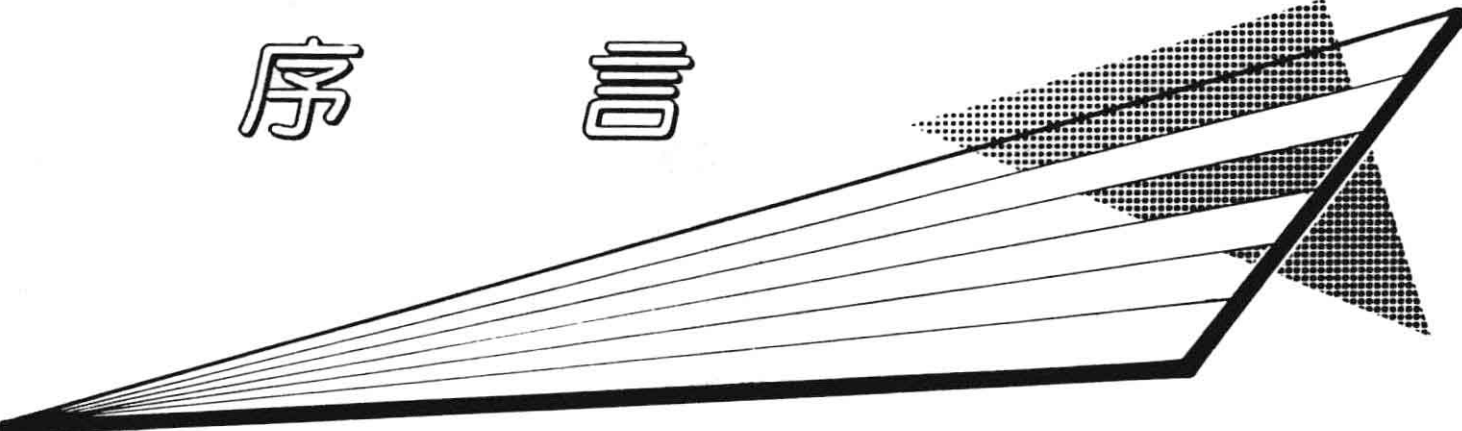
行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號 ISBN 957-21-0125-0

我們的宗旨：

**提供技術新知
帶動工業升級
為科技中文化再創新猷**

資訊蓬勃發展的今日，
全華本著「全是精華」的出版理念
以專業化精神
提供優良科技圖書
滿足您求知的權利
更期以精益求精的完美品質
為科技領域更奉獻一份心力！

序 言



由於國內在最近幾年來，政府對於航太工業的發展越加重視，國科會成立了人造衛星研發小組、IDF 戰機開發成功、天弓飛彈及天劍一、二型空對空飛彈相繼問世，帶動整個航太及國防工業蓬勃發展。而慣性導航系統又對以上所述用到的裝備，佔有極重要的地位，因此，本人願以多年來微薄的經驗，提供對慣性導航系統所學，貢獻給社會大眾。希望國防工業能與民間工業相互結合，如 IDF 戰機很多零組件和空電裝備，能在民間工業發展、製造，使科技生根，將慣性導航系統應用於民間工業上，這也是國人樂觀其成的一件事。慣性導航系統科技含蓋的範圍，包括機械、電機、電子、電腦、控制甚至光電等，相當廣泛，是一門很深的學問，而本人以深入淺出的方式，將這門科技介紹給讀者。

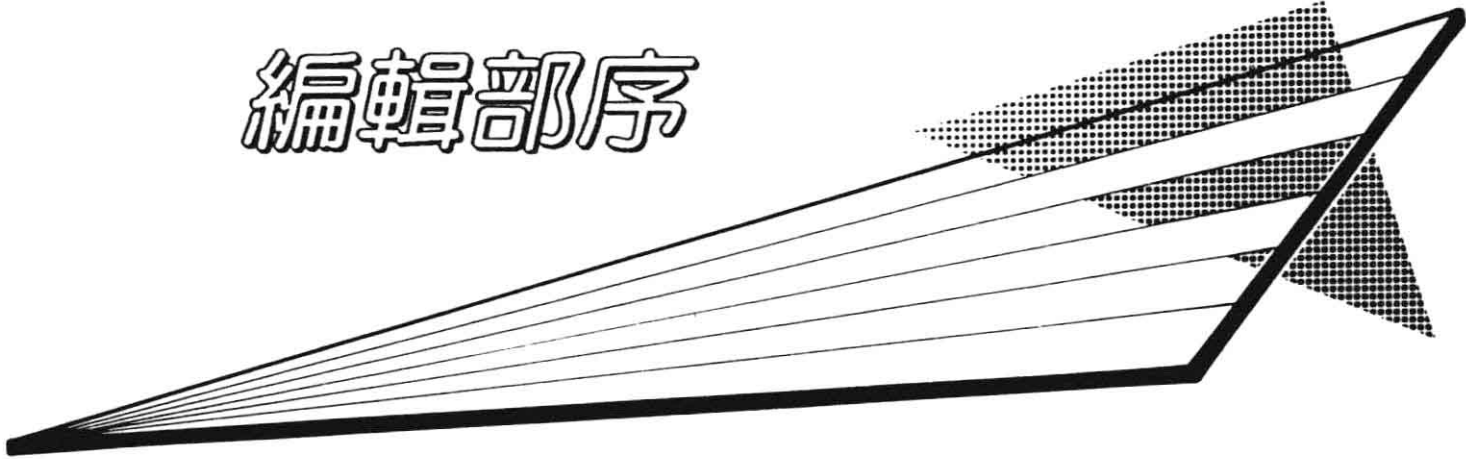
本書共分為六章，第一章描述慣性導航的由來及系統簡介；第二章則對該系統作進一步探討；第三章介紹更先進的雷射慣性導航系統，並對雷射陀螺儀的工作原理及應用加以說明；第四章說明未來的慣性導航發展趨勢及其種類；第五章是舉一實例說明慣性導航系統目前的運用；第六章為如何對慣性導航系統作地面測試及試飛驗證。而在附錄裡則提到 UTM 座標、地球磁變數、導航上名詞定義、陀螺儀、加速儀數學模式等。

本書能順利完成，得感謝許經仁主任的支持與建議，和內

人高惠珍小姐的協助，在此一併致謝。本書雖經校正再三，仍難免有錯誤之處，祈各位導航專家、先進不吝指正是幸。希望本書的問世，能引導後進學者如大學生、專科生，對航太工業多一份關心，進而產生濃厚的興趣，共同為國人航太工業的發展，注入新血輪，讓慣性導航的觀念與學理普遍為大眾所接受，而成為一本教科書是禱。

黃國興 識於台中

編輯部序



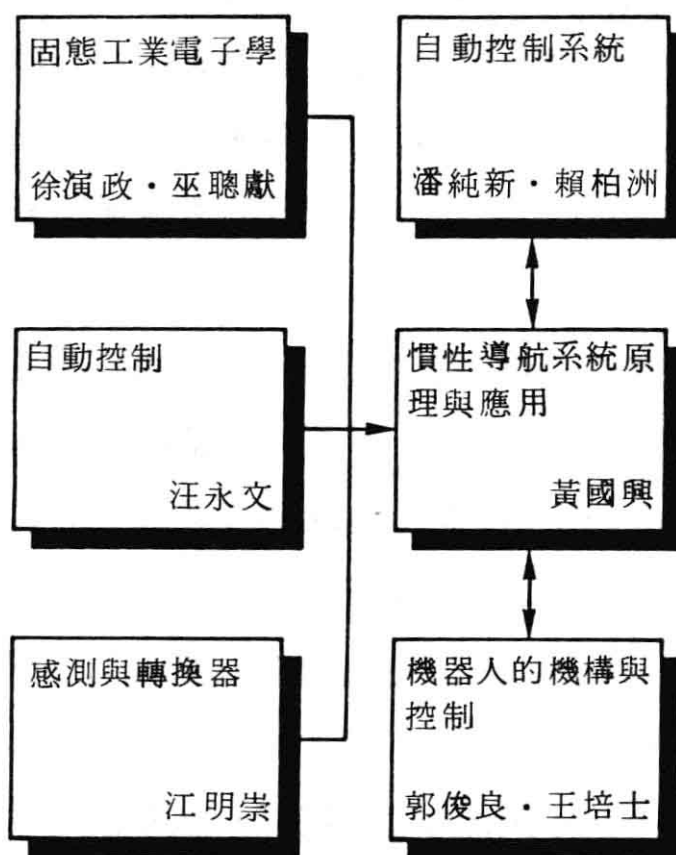
「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書作者畢業於逢甲大學自動控制研究所，曾任中科院航空研究所助理研究員，多年來對於慣性導航系統、ROBOT、無人搬運車、電機控制等有相當程度的研究。

作者鑑於目前國內尚未有一探討慣性導航的書籍，嘔心瀝血編寫成此書，希望以拋磚引玉的方式，使得國人共同來開闢這塊科技的園地。書中針對系統所用到的感測元件、陀螺儀、加速儀等，皆有詳盡的敘述，而對先進的雷射 INS 更有精彩的介紹。目前慣性導航系統應用在船艦、飛機、飛彈、甚至太空船上已很普遍，而其控制部份可應用於民間工業，如機械人控制、伺服控制、內部回授控制、程序控制等，適合對航太工業有興趣的讀者或學生做為進修的參考書。

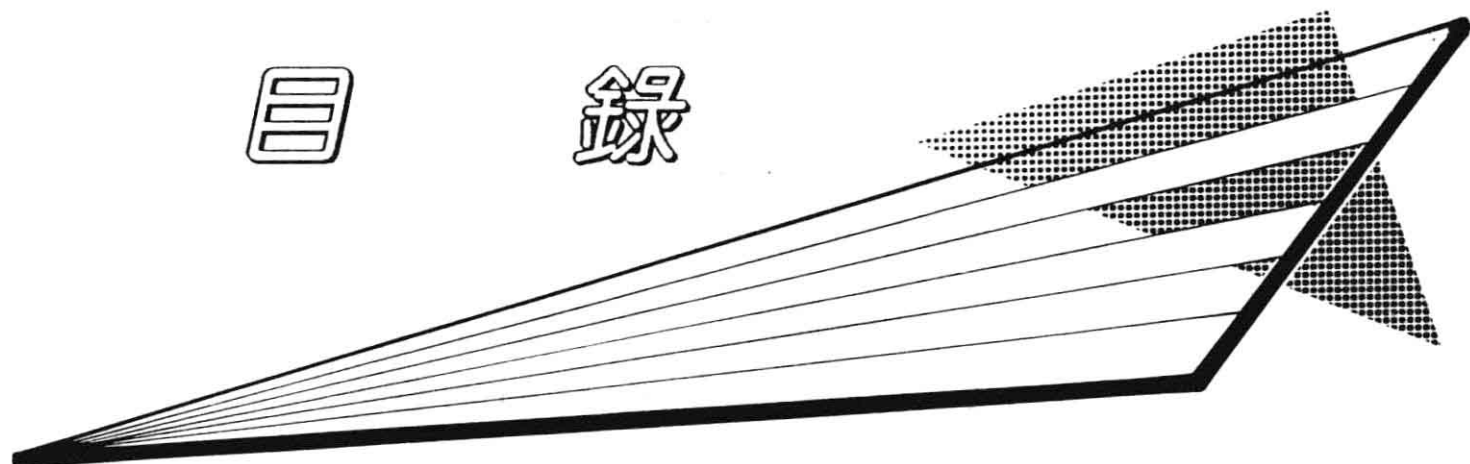
同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流程圖





目錄



第一章 慣性導航簡介	1
1-1 加速儀 (accelerometers)	5
1-2 陀螺儀 (gyros)	9
1-3 陀螺儀進動補償	12
1-4 系統校準	18
第二章 慣性導航系統基本觀念 與學理進一步探討	27
2-1 簡單化慣性導航	28
2-2 在慣性導航系統中的加速儀	31
2-2-1 物理原理	32
2-2-2 加速儀機構種類	32
2-2-3 加速儀特性	33
2-2-4 單軸加速儀	33
2-2-5 雙軸裝置：平面導航	43
2-3 在慣性導航系統中的陀螺儀	45
2-3-1 陀螺元件	45
2-3-2 陀螺之分類	49
2-4 穩定參考系統	56
2-4-1 檢測器 (檢測線圈) (pick-off coil)	57

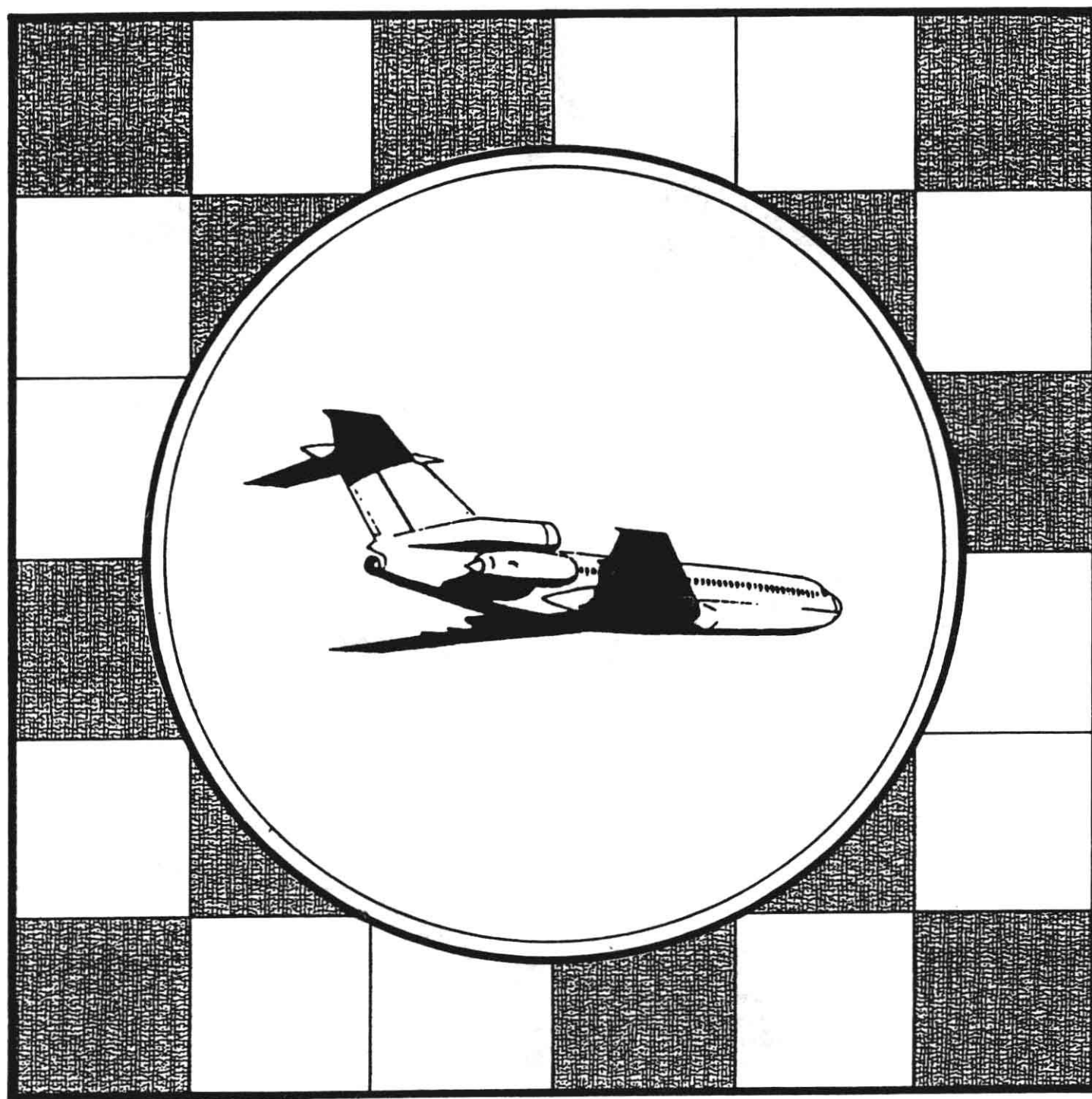
2-4-2	扭力器 (torquers)	62
2-5	平台	63
2-6	地球載具慣性平台	68
2-7	慣性平台修正	72
2-7-1	在球體表面之“方向”：向心力的修正	73
2-7-2	柯利歐力斯 (Coriolis) 修正	77
2-8	舒勒 - 調諧 (Schuler-tuned) 平台	80
2-8-1	舒勒調諧	82
2-9	校準	84
2-9-1	外界參考源修正	85
2-9-2	自行校準修正	85
2-10	慣性導航系統的種類	87
2-10-1	可分析式慣性導航系統	87
2-10-2	半可分析式慣性導航系統	89
2-10-3	幾何式慣性導航系統	90
2-10-4	固裝式慣性導航系統 (strap-down INS)	92
2-10-5	混合式慣性導航系統	93
2-11	同步器與解角器	95
2-11-1	同步器	95
2-12-2	解角器	102
第三章	雷射慣性導航系統	105
3-1	雷射陀螺儀	106
3-1-1	操作原理	107
3-1-2	誤差源	112
3-1-3	鎖入 (lock-in) 補償方式	114
3-1-4	設計方法	122

3-1-5	操作波長	124
3-1-6	空腔長度控制	124
3-1-7	當前 RLG 設計發展趨勢	128
3-2	運用在慣性導航系統趨勢	130
第四章	未來的慣性導航系統	135
4-1	雷射慣性導航系統	136
4-1-1	漢尼威公司的 H-423 LINS	136
4-1-2	立頓公司的 LN-93 LINS	140
4-1-3	勝家凱爾發特公司的 SKN-4030 LINS	147
4-2	光纖慣性導航系統	147
4-3	電子式半球諧振慣性導航系統	151
4-4	其他慣性導航系統	154
4-4-1	三軸雷射陀螺慣性導航系統	154
4-4-2	模壓式陀螺慣性導航系統	155
4-4-3	核磁共振陀螺慣性導航系統	155
第五章	慣性導航實際應用例子 LN-39	157
5-1	慣性導航單元——主機	158
5-1-1	功能說明	158
5-1-2	操作說明	162
5-1-3	安裝、檢視及操作測試	171
5-1-4	INU 電子電路板功能說明	174
5-2	控制顯示單元	221
5-2-1	物理外觀說明	221
5-2-2	電氣說明	223
5-2-3	方塊圖功能說明	225

5-2-4	CDU 操作方法	230
5-2-5	一級 (organizational) 維修	241
5-3	LN-39 INU 診斷測試裝備 (DTS)	243
5-3-1	功能說明	243
5-3-2	操作說明	246
5-3-3	使用 DTS 作 INU 維修	254
5-3-4	LN-39 自我測試 (BIT) 功能	257
第六章	慣性導航試飛驗證	281
6-1	地面測試	282
6-1-1	裝機測試	282
6-1-2	操作測試	283
6-2	飛行測試及資料分析	285
6-2-1	飛行測試	286
6-2-2	資料分析	288
附錄 A	UTM 座標與 UPS 座標	295
附錄 B	地球磁變數	299
附錄 C	旋轉式陀螺儀種類與數學模式	319
附錄 D	加速儀特性與數學模式	325
附錄 E	導航名詞定義	331
附錄 F	LN-39 INS 系統功能介面	339
附錄 G	LN-39 DTS 測試裝備外觀	341
附錄 H	慣性導航系統衍生問題解答	343

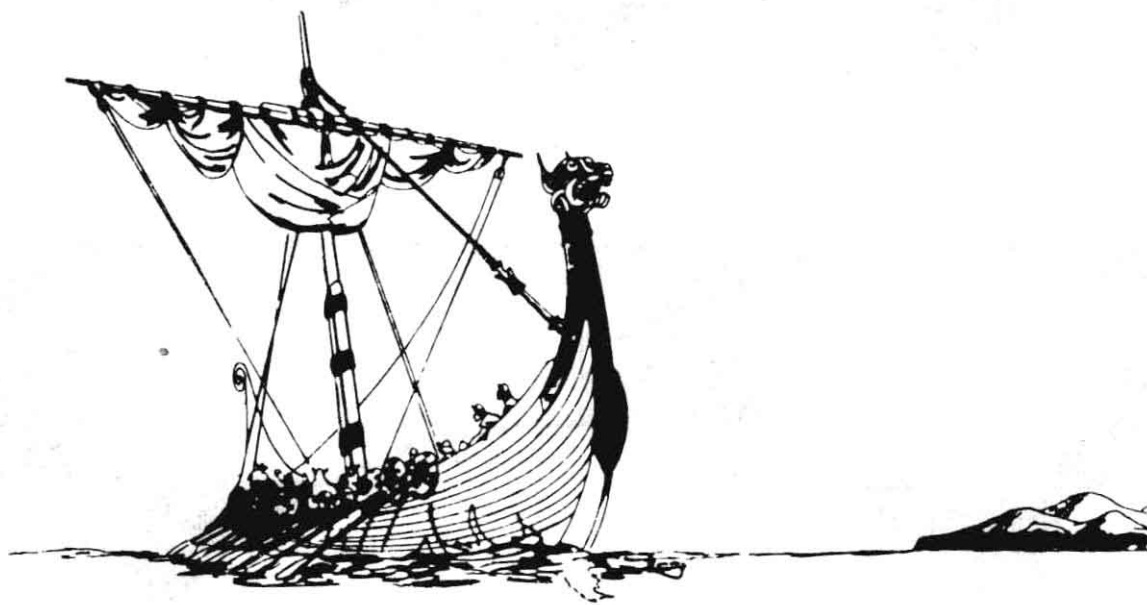
第一章

慣性導航簡介

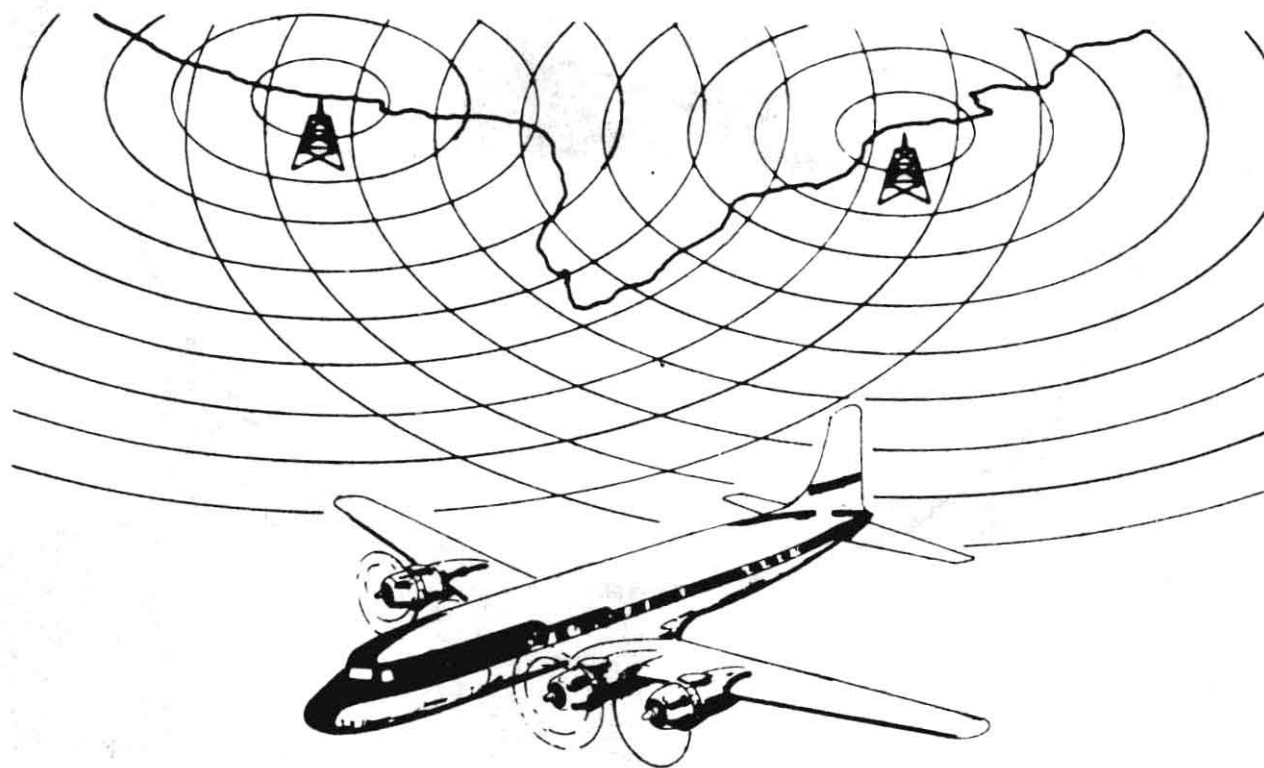


2 慣性導航系統原理與應用

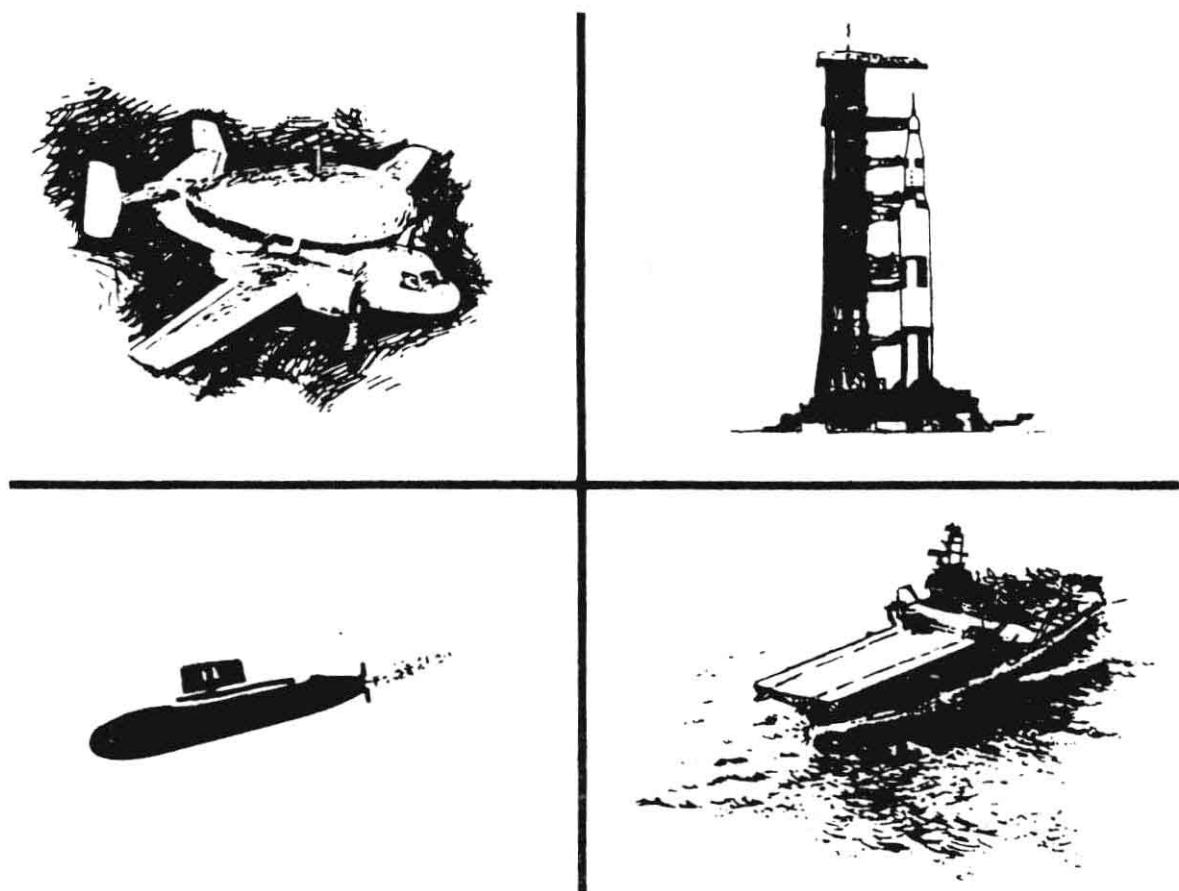
一載具由一個地方到另一個地方其間方向與距離指示的藝術，我們稱之為“導航”。這是依照古代船艦航行時首先被發展出來的名詞。利用“領航方法”來決定載具的位置及方向，這項技術當時經常使用在船艦上，觀察突出陸地時，用來引導船身駛向某處。



接着不久，“自動計算並記錄”（dead-reckoning）導航方法問世，航向、速度與位置能經計算得到並以繪圖的方式記錄下來。但由於風速與潮流的影響，因此產生誤差。



由於傳輸工具的進步，人類迅速將導航的“藝術”推展到導航的“科學”的境界。“導航科學”可定義為“計算並決定一載具的位置與預先設定目的地之方向的一種應用”。較先進的無線電導航，如羅倫斯（Loran）、超高頻全向裝置（VOR）、距離量測裝置（DME）、泰康（Tacan）和都卜勒（Doppler）相繼發展出來，成功地幫助了航行者。然而，無線電系統畢竟尚有很多限制和不便之處，直到1950年，美國國防部認為有必要發展一套導航系統，不必其他外來的輔助裝備，就可提供所有的導航資料，讓航行者參考。就在當時麻省理工學院（MIT）首度開發完成第一套飛機使用的慣性導航系統，此系統不需任何其他輔助裝備之協助，完全自我包容，可以提供載具位置與方向指示，也因慣性導航系統有此優點，所以能在今天航空工業獨佔鰲頭而不墜，並不是沒有原因的。

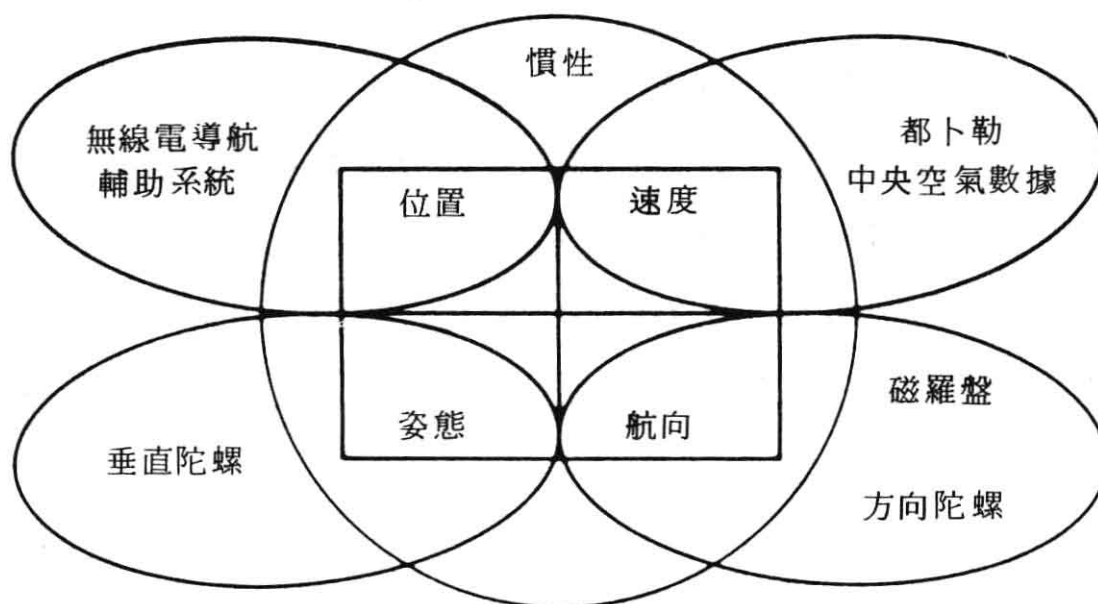


現在的慣性導航系統（INS）是唯一自我包容式、獨立源可提供所有的導航資料包括位置、對地速度、姿態與航向等給自動導航儀和飛行儀表如水平情況儀及姿態航向儀。慣性導航系統的功能、尺寸大小、重量等特性遠比其他導

4 慣性導航系統原理與應用

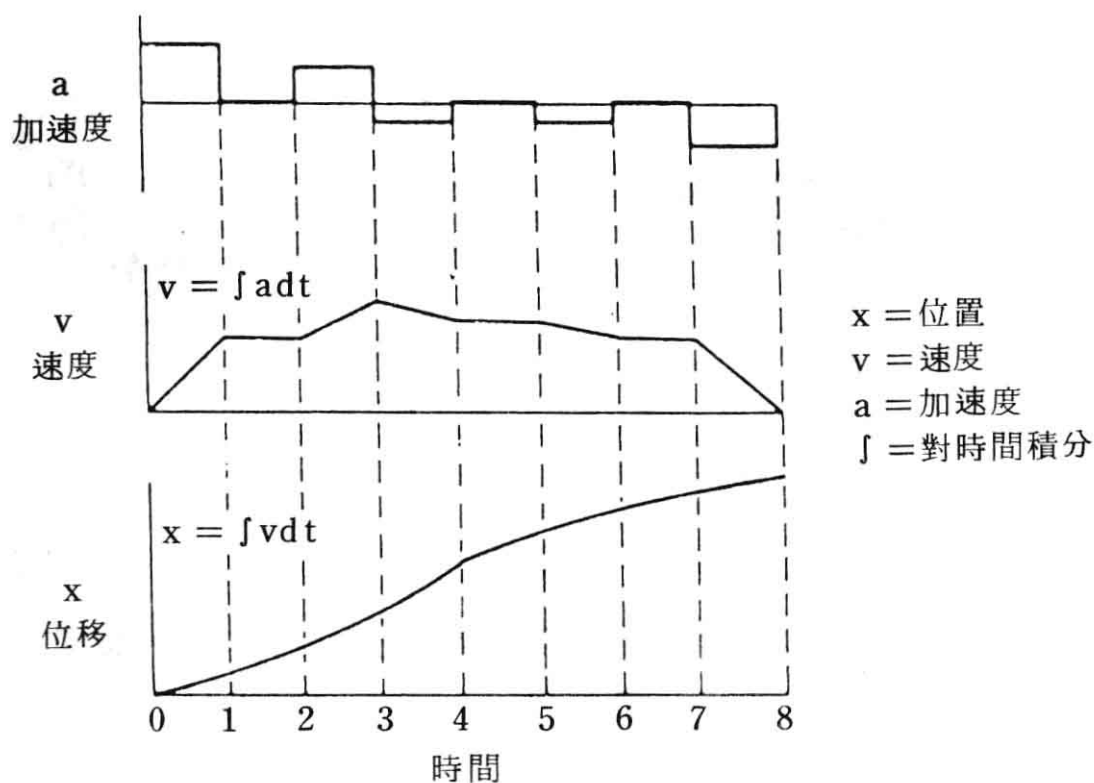
航系統要好，爲了進一步了解此系統，我們必須先知道兩項原理，一爲慣性的定義，另一爲三百年前牛頓所發現的基本運動定律

唯一自我包容單一源全導航資料



- (1) 物體靜者恆靜，動者恆以直線移動，除非受外力之作用。
- (2) 物體之加速度，正比於外力的總和。 $F = Ma$
- (3) 反作用力。

由以上這三項定律，我們可設計一裝置用來偵測加速度，於是才有慣性系統的開發。



第二運動定律說明物體之加速度（即速度的變化率）直接正比於外加力量，而速度與位移則由感測加速度經過基本計算而得。加速度、速度與位移之間的關係如上圖所示。注意，只要加速度存在，速度就會改變，如果加速度為零，速度則保持定值。

1-1 加速儀 (accelerometers)

慣性導航系統之基本測量元件其中之一為速度儀，如圖 1-1 中有兩個加速儀安裝在此系統上，一個用來測量飛機南 / 北向加速度，另一個則用來測量東 / 西向加速度。

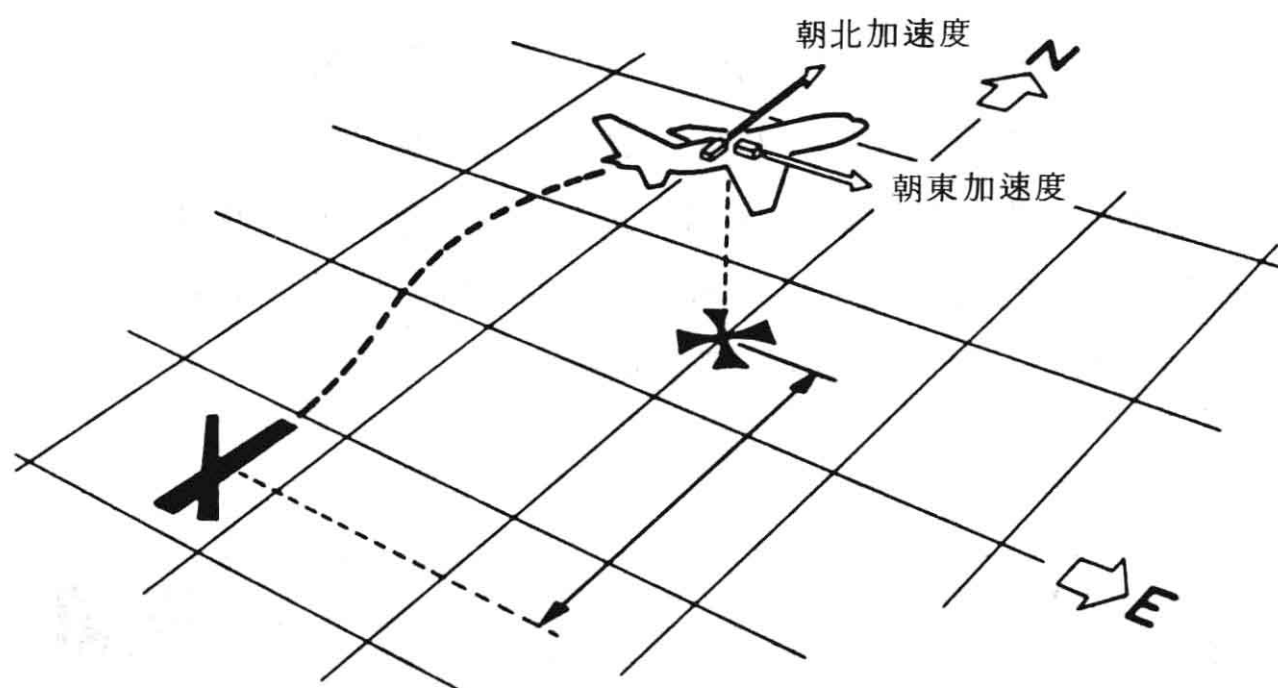


圖 1-1 加速儀

1. 加速儀與積分器

加速儀有一基本的擺錘裝置，當飛機加速時，擺錘由於慣性之故，會擺動一個角度。信號檢測裝置將提供擺錘擺動距離零點位置有多遠，此信號送到一放大器，經放大後送回扭力器裝置——位於加速儀內：產生一扭力使擺錘回復並保持在零點位置，送到扭力器的電流大小與加速度成正比。經過放大器放大