

国家 863 课题

“促进中国与欧洲双方伽利略计划的合作与交流”

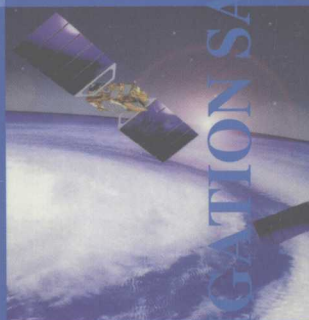
GALILEO

NAVIGATION

SATELLITE

SYSTEM

伽利略 导航卫星系统



陈秀万
方 裕
尹 军
张怀清

编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

国家 863 课题“促进中国与欧洲双方伽利略计划的合作与交流”

伽利略导航卫星系统

GALILEO NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

陈秀万 方裕 尹军 张怀清 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

伽利略导航卫星系统/陈秀万等编著. —北京: 北京大学出版社,
2005.3

ISBN 7-301-08931-7

I. 伽… II. ①陈… ②方… ③尹… III. 航空—卫星—导航系统
IV.G726.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 057748 号

书 名: 伽利略导航卫星系统

著作责任者: 陈秀万 方裕 尹军 张怀清 编著

责任编辑: 黄庆生 汉明

标准书号: ISBN 7-301-08931-7/V · 0001

出版者: 北京大学出版社

地址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印刷者: 北京飞达印刷有限责任公司

发行者: 北京大学出版社

经销者: 新华书店

890 毫米×1240 毫米 A5 6 印张 166 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 翻版必究

编辑委员会

(按姓氏拼音字母为序)

顾 问:	曹 冲 邵立勤 郑立中	过静珺 童庆禧	廖小罕 杨长风	潘厚任 张其善
主 编:	陈秀万	方 裕	尹 军	张怀清
副主编:	李加洪 张飞舟	景贵飞	杨东凯	杨凯欣
委 员:	陈 斌 韩 峰 孙 敏 吴才聪 杨东凯 尹 军 赵 静	陈军锋 景贵飞 王站立 吴 欢 杨吉龙 张飞舟 赵书河	陈秀万 柯樱海 王子煜 吴建新 杨凯欣 张怀清 郑小松	方 裕 李加洪 韦 玮 吴中忠 易永红 张雪虎 朱高龙

序

卫星导航技术的研究与应用始于 20 世纪 60 年代, 经过几十年的发展, 卫星导航技术已成为当前全球发展最快的三大信息产业(移动通信、互联网、卫星导航)之一。卫星导航技术同通信、遥感、电子等其他信息技术的集成与融合, 拓展了许多新的应用产品和服务, 并逐步走进人们的生活, 正在向更高层次和更广阔的应用领域发展。

然而, 目前的卫星导航技术及其应用仍以美国的 GPS 为核心。随着全球信息化、网络化和知识经济的迅速崛起, 空间信息技术已成为世界各国广泛关注和竞争的领域。卫星导航是新兴的高科技产业, 具有全球性、全天候、连续性和实时性提供导航、定位和定时的特点。同时也是国家重要的战略性新兴产业, 是 21 世纪国家的经济实力、国防实力和信息安全的重要基础设施与技术保障。俄罗斯、欧盟和我国都在积极建设自主的卫星导航系统。

欧洲伽利略计划的启动几经波折, 这一战略性决策对于世界政治和经济都带来了极大的震撼。该计划的实施不仅将欧洲的空间科技水平提升到一个崭新的层次, 也将改善全球卫星定位及导航领域的服务质量和范围, 在不久的将来创造巨大的社会效益和经济效益。

我国于 2000 年和 2003 年先后发射了三颗“北斗一号”卫星, 标志着我国第一代自主研发的卫星导航系统已初步建成。目前, 第二代北斗导航卫星的研制工作正在进行。与此同时, 国家计委在“十五”期间组织实施了卫星导航应用产业化专项, 以促进我国卫星应用产业的发展、带动相关产业结构调整、推动国民经济的信息化进程。其主要目标是: 到“十五”末期基本构建起卫星导航应用产品制造、系统标准规范和信息综合服务三大基础支撑体系; 自主研发具有中国特色的主导产品; 培育具有市场竞争力的骨干企业; 初步形成卫星导航应用的产业规模。

卫星导航应用产业化专项的实施无疑为我国卫星导航的发展创建了良好的环境。但是应当看到, 卫星导航产业在我国才刚刚起步, 关键的核心产品和基础性产品仍全部依靠进口; 行业内没有形成规模和品牌的支柱型企业; 无论在技术还是应用水平上与国际先进国家都存

在很大的差距。我们应当充分利用国内外资源，开展国际合作、学习和引进先进技术。

伽利略系统是欧洲自主的民用卫星导航系统，由欧洲人自己设计制造，具有比 GPS 系统更强大的功能、技术优势和服务模式。于 2003 年 10 月正式启动的中欧关于伽利略计划的全面合作有着重要的政治意义，更为我国卫星导航领域的发展注入了巨大的动力。这是一次难得的契机，它为中国企业、科研院所与欧洲同行开展技术研发和产业合作提供了一个广阔的平台。我国政府对于中欧伽利略计划的合作也给予了高度重视，我们应当尽早进入实质性的项目合作，努力学习和吸收国外的先进技术，培养高素质的专业技术人才。这对于我国卫星导航应用的整体推进、技术创新、建设具有国际先进水平的科技和产业平台都是一次实现跨越式发展的机遇。

欧盟伽利略计划的实施早已受到业界的瞩目，本书是国内第一本全面介绍欧洲伽利略卫星导航系统的著作。主要编写人员来自北京大学遥感与地理信息系统研究所和中欧卫星导航技术培训中心。作为我国最早从事 3S 技术研究的科研机构之一，北大遥感所在 20 年的发展历程中，始终走在领域发展的前沿，为我国培养了一大批优秀的高级专业人才。于 2003 年 9 月成立的中欧卫星导航中心，目前已成为中欧卫星导航领域广泛关注的技术交流和培训中心，为中欧企业界和学术界在中欧伽利略计划的合作和交流发挥了积极的作用。

卫星导航的应用在我国有着巨大的发展潜力，对于我们这一领域的科技工作者更是任重而道远。相信本书的编写和出版将有助于我国从事相关领域的人员更为系统地了解伽利略卫星导航系统，并进一步推动我国卫星导航技术和应用的普及。

祝愿我国的卫星导航技术和产业在新的世纪开拓创新、蓬勃发展！

刘继南

武汉大学校长

中国工程院院士

2004 年 5 月

前 言

伽利略 (GALILEO) 导航卫星系统是由欧共体 (欧盟) 发起, 旨在建立一个由欧盟运行、管理并控制的全球导航卫星系统。其总体设计思路有四大特点: 自成独立体系; 能与其他全球导航卫星系统 (GNSS) 兼容; 具备先进性和竞争能力; 公开进行国际合作。GALILEO 导航卫星系统与现在普遍使用的美国全球定位系统 (GPS) 相比, 其功能将更加先进、更加有效、更为可靠。欧盟已于 2002 年 3 月 26 日正式启动 “GALILEO 计划”, 这不仅使欧洲全面进入建设自主民用的 GNSS 阶段, 也将对全球的信息技术、经济和政治带来深远影响。

自美国的 GPS 投入运行以来, 在近十年间以其全球通用、定位精确、全天候、实时、多功能和使用方便等特性, 迅速在各行各业得到广泛应用, 推动了部分传统产业的升级改造并逐渐形成了新型产业。目前, GPS 在实施现代化计划; 俄罗斯的全球轨道导航卫星系统 (GLONASS) 在计划重建; 我国的 “北斗导航系统” (BD) 已经有三颗在轨卫星并将继续完善。GALILEO 系统的建设和运行无疑是现代空间信息技术及其应用的又一巨大工程, 会实现一系列技术的突破和创新。在信息服务与产业应用方面, GALILEO 将提供比 GPS 更多的服务种类, 包括公开服务 (OS)、生命安全服务 (SoLS)、商业服务 (CS)、公共特许服务 (PRS) 以及搜救 (SAR) 服务。预计至 2010 年后, 在欧洲每年将形成超过 100 亿欧元的设备和服 务产值。

公开进行国际合作是 GALILEO 计划的一大特色, 它将最大限度地降低技术和政治风险, 同时达到其利益的最大化。除了与美俄展开实质性的合作谈判外, 欧洲与中国经过近两年的筹备, 于 2003 年 5 月 16 日正式开始中欧 GALILEO 计划合作谈判, 并于 10 月 30 日在北京正式签署了《中华人民共和国和欧洲共同体及其成员国关于民用全球卫星导航系统 (伽利略计划) 合作协定》。这对于中欧高科技合作的开展以及我国卫星导航应用产业的发展将起到积极的推动作用。

鉴于目前国内还没有比较完整的有关 GALILEO 导航卫星系统的

论著, 相关的参考资料也很少, 我们在参与科技部的软课题“我国参加欧洲 GALILEO 计划的对策研究”的基础上, 较为全面地总结了 GALILEO 计划的进展与实施、系统的体系结构、工作原理、产业应用以及国际合作现状等, 编写成书, 希望能为相关部门的管理人员和技术人员, 以及从事空间信息技术研究、开发的科技工作者和大专院校师生较全面地了解和研究 GALILEO 系统提供参考。

《伽利略导航卫星系统》由 7 章组成。第 1 章主要阐述了导航卫星系统的发展、GALILEO 计划的背景和中欧在卫星导航方面的全面合作; 第 2 章介绍了 GALILEO 系统的构成, 包括卫星星座、地面监控部分、用户接收机等内容; 第 3 章介绍了 GALILEO 系统的卫星信号, 包括信号频率、信号结构等; 第 4 章介绍了欧洲广域增强系统 (EGNOS) 的构成与工作原理; 第 5 章介绍了 GALILEO 系统的应用; 第 6 章介绍了 GALILEO 系统的服务与效益分析; 第 7 章介绍了 GALILEO 计划的实施与管理。在附录内还介绍了 GPS、GLONASS、BD 等其他卫星定位系统, 也简要介绍了欧洲关于卫星导航的有关政策等相关内容。

本书的编写由北京大学遥感与地理信息系统研究所和中欧卫星导航技术培训合作中心组织。在编写过程中得到了科技部等有关部门领导和卫星导航领域的专家的亲切指导和大力支持。童庆禧院士、刘经南院士、郑立中教授、曹冲研究员、过静珺教授、潘厚任研究员、邵立勤研究员、杨长风研究员、张其善教授等专家对初稿提出了非常中肯的修改意见和建议, 在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中必然存在许多缺点和错误, 恳请各位读者批评指正, 也敬请各位专家、学者多提宝贵意见。

编 者

2004 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 卫星导航系统发展概况	1
1.2 GALILEO 计划的背景	3
1.3 中欧伽利略计划的合作	5
第 2 章 伽利略系统的构成	9
2.1 系统概述	9
2.2 卫星星座	11
2.2.1 卫星平台	12
2.2.2 导航有效载荷	14
2.2.3 搜索与救援有效载荷	18
2.2.4 卫星部署方案	20
2.3 地面段系统	22
2.3.1 总体结构设计	22
2.3.2 导航控制与星座管理	25
2.3.3 完好性数据检测和分发	28
2.4 用户设备	29
第 3 章 伽利略系统卫星信号	31
3.1 信号频率和结构的设计	31
3.1.1 信号频率和结构设计的基本要求	32
3.1.2 频率结构和信号设计	35
3.2 系统的频率和信号现状	38
3.2.1 频率和导航信号(2002 年 9 月状况)	39
3.2.2 系统的数据	40
3.2.3 信号调制	41

3.2.4 系统播发码	43
3.3 坐标系统与时间系统	44
3.3.1 坐标系统 (GTRF)	44
3.3.2 时间系统 (GST)	45
3.4 GALILEO 系统与 GPS 系统的兼容性和协同性	45
第 4 章 EGNOS 系统	47
4.1 系统概述	47
4.2 系统的组成	49
4.2.1 空间段	50
4.2.2 地面段	51
4.2.3 EGNOS 用户段	55
4.3 工作原理	56
4.4 试验平台	59
4.5 EGNOS 中国测试项目	64
4.5.1 静态测试	64
4.5.2 动态测试	65
4.5.3 数据处理	66
第 5 章 GALILEO 系统的应用	68
5.1 交通	68
5.1.1 航空	68
5.1.2 铁路	69
5.1.3 公路	70
5.1.4 海洋	71
5.1.5 公共交通	73
5.2 对残障人士的辅助	74
5.3 应急联动	76
5.3.1 应用及特点	76
5.3.2 在应急联动方面的优势	77
5.3.3 应用范围	77

5.4 能源	79
5.4.1 发电和配电的网络同步	80
5.4.2 基础设施测图	81
5.4.3 石油钻井定位和海洋地震探测	81
5.5 通信	82
5.5.1 位置服务	82
5.5.2 移动通信网	84
5.5.3 按址收费	85
5.6 财政与保险	85
5.6.1 电子文档的保护	85
5.6.2 数据加密	86
5.6.3 电子商务	86
5.6.4 保险	86
5.7 精准农业	87
5.7.1 卫星定位导航技术的作用	88
5.7.2 精度要求	88
5.7.3 具体应用	89
5.8 渔业	94
5.9 环境	95
5.9.1 环境监测	95
5.9.2 科学研究	96
5.9.3 海洋资源的保护	97
5.9.4 环境安全	97
5.10 休闲娱乐	98
第6章 GALILEO 系统的服务与效益分析	100
6.1 GALILEO 系统的服务	100
6.1.1 GALILEO 导航服务	102
6.1.2 GALILEO 其他服务	106
6.2 投资与效益评估	107

6.2.1 系统成本.....	107
6.2.2 系统效益.....	108
第7章 伽利略计划的实施与管理.....	113
7.1 实施进程.....	113
7.1.1 伽利略系统定义阶段.....	114
7.1.2 伽利略系统定义完善阶段.....	115
7.1.3 开发阶段.....	119
7.1.4 伽利略系统测试平台.....	119
7.1.5 伽利略系统的部署和运营阶段.....	120
7.2 组织与管理.....	121
7.2.1 管理模式.....	121
7.2.2 管理机构.....	122
7.2.3 国际合作.....	125
附录A 现有卫星导航定位系统概况.....	127
A.1 GPS 系统.....	127
A.1.1 GPS 卫星星座.....	129
A.1.2 GPS 地面监控系统.....	130
A.1.3 GPS 接收机.....	131
A.2 GLONASS 简介.....	134
A.2.1 GLONASS 产生的背景.....	134
A.2.2 GLONASS 的组成.....	134
A.2.3 GLONASS 卫星的工作频率.....	135
A.2.4 GLONASS 的导航电文和系统特征.....	136
A.2.5 GLONASS 接收机.....	140
A.3 北斗导航卫星系统.....	140
附录B “欧洲2010交通政策”白皮书(卫星导航部分).....	145
B.1 前言.....	145
B.2 欧洲交通政策概况.....	146

B.3 GALILEO 系统: 全球计划的关键要求	147
附录 C 《GALILEO's World》简介	149
附录 D 相关机构与网络资源	151
附录 E 欧盟第六框架计划简介	159
附录 F GALILEO 计划大事记	167
参考文献	173

第1章 绪论

1.1 卫星导航系统发展概况

全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 为全球性的位置与时间测定系统, 包括卫星星座、地面监控系统及用户终端设备, 可为地球表面、近地表和地球外空任意地点用户提供全天候、实时、高精度的三维位置、速度以及精密的时间信息。目前世界上有三个已经投入运行的卫星定位导航系统, 包括美国的“全球定位系统”(Global Positioning System, GPS)、俄罗斯的“全球轨道导航卫星系统”(Global Navigation Satellite System, GLONASS) 和我国的“北斗导航系统”(BD)。其中, GPS、GLONASS 是全球卫星定位导航系统, 北斗系统目前为区域定位导航系统。除此以外, 欧洲正在建设民用的全球导航卫星系统, 即“GALILEO 计划”。

世界上第一个导航卫星系统(海军导航卫星系统, Navy Navigation Satellite System, NNSS) 于 1964 年 9 月研制成功并用于美国海军舰队的导航与定位。该系统 1958 年 12 月由美国海军武器实验室授权, 委托美国霍普金斯大学应用物理实验室进行研制。系统由 6 颗低轨道 (1075km) 卫星组成, 其轨道通过地球南北极上空, 与地球子午线相一致, 因此也称子午卫星系统。该系统能在全球范围内全天候提供二维(经度、纬度)定位, 且不受气候条件影响, 定位精度根据观测卫星的次数在 1~500 米之间。1967 年 7 月 29 日, 美国政府宣布该系统解密提供民用。

子午卫星系统的问世, 开创了卫星定位导航技术的新时代。但是由于该系统卫星数目较少, 卫星运行的高度较低, 经常出现卫星无线电信号突然中断、观测所需等待卫星出现的时间较长(平均约 1.5 小

时)等问题,无法进行连续的三维定位导航,且获得一次导航解所需的时间较长,这些都不能满足人们的需要,尤其是高速飞行目标如飞机、导弹等实时、动态、精确定位的需要。

为满足军事和民用部门越来越高的导航需求,1973年12月17日,美国国防部批准了建立新导航卫星系统(即全球定位系统GPS)的计划,并在1978年成功发射第一颗试验卫星,到1993年12月,GPS系统建成,历时20年,投资达300亿美元,成为继阿波罗登月、航天飞机之后的第三大空间工程。该系统不仅集成了以前所有的单用途卫星系统,并且致力于更广泛的用途,实现了全球、全天候、连续、实时、高精度导航定位。

在美国开发建设GPS的过程中,前苏联、欧洲以及我国也相继开始研制和建立自己的导航卫星系统。现在俄罗斯的GLONASS由前苏联于1978年开始研制,1982年10月开始发射导航卫星。我国从20世纪70年代就开始了导航卫星的论证和研究工作,到20世纪90年代初期,开始了独立自主的区域卫星定位系统,即北斗系统的工程建设。北斗系统是全球、全天时提供卫星导航信息的区域导航系统,其3颗工作卫星编号分别为“北斗一号”、“北斗二号”和“北斗三号”,分别于2000年10月31日凌晨0时02分、2000年12月21日0时20分和2003年5月25日0时34分在四川西昌卫星发射中心发射升空,并准确进入预定轨道。北斗系统的建立标志着中国已拥有自主研发的第一代卫星定位导航系统。欧洲于20世纪90年代启动的GALILEO计划,其目标是建设欧洲自主的民用全球导航卫星系统,由欧盟交通能源司总体负责实施,技术方面由欧洲空间局负责,计划于2008年建成并投入使用。

导航卫星系统具有覆盖广、全天候、实时性等特点,按定位方式可分为被动和主动两种模式。在被动定位方式下,卫星上载有高精度时钟,用户只需要同时接收一定数量卫星的信号即可自行定位,美国的GPS、俄罗斯的GLONASS及欧盟正在建设的GALILEO系统都属于这种定位模式。我国的北斗导航系统采用的是主动定位模式,用户需要发送一个请求定位信号,通过卫星转发到地面中心站,地面中心

站通过接收的两颗卫星的转发信号计算出用户的空间位置,再由卫星转发给用户。

自 20 世纪 90 年代以来,卫星导航技术的应用已经遍及陆地、海洋、航空和航天等各类军事和民用领域。在军事上,已成为现代化战争中的重要装备技术,不但可用于各种军用车辆、船舶、飞机的高精度、快速导航定位、武器制导,还可用于数字化部队的建设以及战役、战术的指挥调度。美国的 GPS 和前苏联的 GLONASS 均是在以军事目的为背景下建立的,也都由军事部门所控制。卫星发射的信号也分为军用码和民用码,但民用码比军用码的定位精度要低,且受军事需要的控制。

在民用领域,卫星导航已初步形成一个跨学科、跨行业的综合性、国际性高新技术产业,成为当前国际公认的八大无线产业之一,也是世界上发展最快的包括蜂窝网和因特网在内的三大信息产业之一。卫星导航技术与通信、网络、计算机、地理信息系统等信息技术的集成,拓展了产品与服务领域,未来的发展趋势是定位导航产品与移动电话等大众消费品融为一体,逐步走进人们的生活。在我国,随着卫星定位系统日益完善和卫星定位技术的不断提高,GNSS 已应用在国民经济的多个领域,在交通、安全、测绘、农业、渔业、气象、搜索救援、环境监测等各个行业发挥着越来越重要的作用。

1.2 GALILEO 计划的背景

迄今为止,全球只有美国 GPS 和俄国 GLONASS 两大卫星导航定位系统,且均由军方资助和管理。早在 20 世纪 90 年代初,欧洲就提出了建设全球导航卫星系统的构想。1993~1994 年间,欧洲联盟(EU)各国交通部长批准了统一的卫星导航策略,该策略认为应当建立国际控制下的民用导航卫星系统,现有的 GPS 和 GLONASS 系统只能作为辅助导航手段。1996 年 7 月 23 日,欧洲议会和欧盟交通部长会议制定了有关建设欧洲联运交通网的共同纲领,首次提出了建立欧洲自主

的定位和导航系统, 这为日后伽利略计划的出台奠定了基础。

1998 年 1 月 29 日, 欧洲委员会向欧洲议会和欧盟交通部长会议提交了名为《建立一个欧洲联运定位和导航网: 欧洲全球导航卫星系统 (EGNOS) 发展战略》的报告。3 月 17 日, 欧盟交通部长会议通过此报告, 并委托欧洲委员会研究和拟定欧洲全球导航卫星系统发展计划。从 1994 年起, 历经 5 年的反复论证和分析评估, 欧盟于 1999 年 2 月 10 日在《GALILEO—欧洲参与新一代卫星导航服务》的报告中, 首次提出了比较可行的欧洲全球卫星导航定位系统计划——伽利略计划。

欧洲的 GNSS 计划分为两个阶段实施, 第一阶段是建立一个能与美国 GPS 和俄罗斯 GLONASS 兼容的第一代全球导航卫星系统 GNSS-1, 称为 EGNOS 系统, 该系统主要由三颗地球同步卫星和一个包括 34 个监测站、4 个主控制中心和 6 个陆地导航地面站的复杂网络组成, 是一个广域差分增强系统, 利用 GPS 卫星信号进行服务。目前系统已基本建成, 将于 2004 年进入试运营; 第二阶段是建立一个完全独立于 GPS 和 GLONASS 的第二代全球导航卫星系统 GNSS-2, 即“伽利略”计划。其总体战略目标是建立一个高效、经济、民用的全球卫星导航定位系统, 使其具备欧洲乃至世界交通运输业可以信赖的高度安全性, 并确保未来的系统安全由欧洲控制和管理。

“伽利略”计划一经出台就受到来自政治和经济等多方因素的困扰。欧盟各国在系统研制经费等问题上一直存在分歧, 同时还有技术上的困难及来自美国的压力, 这使得伽利略计划的启动几经波折。欧盟于 1999 年 4 月 23~24 日, 在德国 Dortmund 的交通部长理事会正式会议上审议了 2 月 10 日公布的 GALILEO 计划, 并在 1999 年 6 月 17 日的理事会上正式裁定。当时公布的 GALILEO 计划, 包括系统结构、导航业务、运营模式、国际合作、频率、安全性能、组织机构等 7 个方面的内容。该计划获得终审通过后, GALILEO 系统的定义阶段从 1999 年 7 月开始, 到 2000 年底已经完成。

2000 年 6 月, 在世界无线电通信大会上, 欧盟经过多方努力, 终于获得了伽利略系统所需的 L 频段频率资源, 为伽利略计划的顺利实