



装备科技译著出版基金

X射线脉冲星导航

Navigation in Space by
X-ray Pulsars

【美】Amir Abbas Emadzadeh Jason Lee Speyer 著
侯建文 阳光 贺亮 吴蕊 译



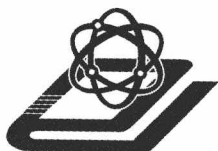
国防工业出版社
National Defense Industry Press



Springer

013044589

TN967.1
25



装备科技译著出版基金

X 射线脉冲星导航

Navigation in Space by X-ray Pulsars

[美] Amir Abbas Emadzadeh 著
Jason Lee Speyer

侯建文 阳光 贺亮 吴蕊 译
郑伟 审



TN967.1
25

国防工业出版社



北航

C1652164

082340810

著作权合同登记 图字:军—2012—064 号

图书在版编目(CIP)数据

X 射线脉冲星导航 / (美)艾玛德扎赫
(Emadzadeh, A. A.), (美)斯派尔(Speyer, J. L.) 著;
侯建文等译. —北京:国防工业出版社, 2013. 4
书名原文: Navigation in Space by X-ray pulsars
ISBN 978 - 7 - 118 - 08690 - 4

I. ①X... II. ①艾...②斯...③侯... III. ①
X 射线 - 脉冲星 - 卫星导航 IV. ①TN967. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 069372 号

Translation from English language edition: *Navigation in Space by X-ray Pulsars*
by Amir Abbas Emadzadeh and Jason Lee Speyer Copyright© 2011 Springer
Science + Business Media, LLC All Rights Reserved

本书简体中文版由 Springer Science + Business Media, LLC 授权国防工业出版社
独家出版发行。版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 插页 1 印张 7½ 字数 141 千字
2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书以 Emadzadeh 博士的博士论文为基础,从不同方面对空间飞行器 X 射线脉冲星导航应用进行了研究。本书具有两个特色:第一,基于 X 射线脉冲星测量,给出了绝对导航及相对导航问题的数学公式;第二,提出了全面的信号处理技术来解决导航问题。

本书内容丰富,可面向广大读者对象,包括在校学生、航天领域专业人员及工程技术人员。不过需要指出的是,X 射线脉冲星导航技术依然存在许多新的挑战、新的问题亟待解决。深空导航任务,尤其是超出太阳系的导航任务,近年来得到了广泛关注,毫无疑问,新空间导航技术将会在成功处理此类导航任务方面扮演着至关重要的角色。我们期望本书能鼓励更多的相关人员参与到 X 射线脉冲星导航任务的研究中来。

学习本书时,需要熟悉线性系统、概率及估计理论等基础知识。本书内容水准已涵盖到大学毕业生专业水平及研究生专业水平,学习时,若按照章节顺序来进行,就不会感到困难了。全书共 8 章,第 1 章介绍脉冲星背景基础知识;第 2 章介绍脉冲星导航概念;第 3 章提出存在的导航问题并建立 X 射线脉冲星信号模型,基于这些模型和公式来分析脉冲延迟估计问题;第 4、5、6 章提出了不同的脉冲延迟估计器;第 7 章提出递归算法来解决导航问题;第 8 章是总结和展望。

最后,在此对 A. Robert Golshan 博士为本书提出的宝贵意见表示衷心感谢。

Amir A. Emadzadeh
Jason L. Speyer
美国洛杉矶
2010 年 10 月

译者序

浩瀚的星空隐藏着无穷无尽的科学谜团等待解开,人类翱翔太空的梦想已成为现实。自 20 世纪 30 年代预言中子星存在理论出现伊始,人类对脉冲星的探索与研究表现出极大的兴趣。近年来,随着空间科学事业的迅猛发展,人类渴望对脉冲星导航有更多、更详细的认识和理解,本书深入浅出地介绍了 X 射线脉冲星导航的基础知识,并从不同方面对 X 射线脉冲星导航应用进行了研究。

本书在内容、结构和形式上具有下列特色:

(1) 内容丰富——除了介绍 X 射线脉冲星导航基本原理,本书给出许多仿真算例,可供读者参考实践。

(2) 图文并茂——本书包含了大量珍贵的实物图片及仿真算例图片,有助于理解,便于自学。

(3) 适合于对 X 射线脉冲星导航感兴趣的读者阅读,包括大学生、航天领域专业人员及工程技术人员。

(4) 章节结构清晰,突出概念并结合实例讲解。各章节对重要概念、公式、提出的方法进行小结,方便读者阅读和复习。

本译著译者均是上海市空间智能控制技术重点实验室长期从事科研工作的骨干科技人员。本书的翻译出版,得到总装备部装备科技译著出版基金的资助,得到国防工业出版社的大力支持,在此表示感谢;感谢原书作者同意将本书译成中文出版,在此对原书所有作者表示衷心感谢;感谢国防科技大学郑伟老师在本书翻译过程中给予的指导;最后,感谢上海市空间智能控制技术重点实验室全体科研人员的热心帮助、理解和支持。

由于时间紧迫和译者知识面有限,本译著中难免有不妥之处,请读者不吝赐教。

译者

2012 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 天文导航系统综述	3
2.1 概述	3
2.2 通用航天器导航系统	3
2.3 脉冲星导航	5
2.3.1 为何使用天基系统	5
2.3.2 脉冲星	6
2.3.3 为何应用 X 射线脉冲星进行导航	9
2.3.4 脉冲星导航历史	10
2.4 小结	12
第 3 章 信号模型	13
3.1 概述	13
3.2 导航系统结构	13
3.3 X 射线探测器	15
3.4 X 射线脉冲星信号	15
3.4.1 稳频模型	19
3.4.2 时变频率模型	20
3.5 讨论	20
3.6 历元折叠	21
3.7 历元折叠上的速率误差	24
3.8 生成光子到达时间	27
3.9 仿真算例	28
3.10 小结	31

第4章 脉冲延迟估计	32
4.1 概述	32
4.2 脉冲延迟估计	32
4.3 CRLB	33
4.4 讨论	40
4.5 仿真算例	40
4.6 小结	43
第5章 利用历元折叠进行脉冲延迟估计	44
5.1 概述	44
5.2 互相关算法	44
5.3 非线性最小均方差法	50
5.4 讨论	52
5.5 绝对速率误差	53
5.6 计算复杂度分析	54
5.6.1 历元折叠	54
5.6.2 互相关估计器	54
5.6.3 非线性最小均方估计器	56
5.7 仿真算例	56
5.7.1 初始相位估计器	56
5.7.2 脉冲延迟估计器	59
5.8 小结	64
第6章 直接利用 TOAs 进行脉冲延迟估计	66
6.1 概述	66
6.2 最大似然估计	66
6.3 最大似然估计数字行列式	70
6.4 最大似然计算复杂度分析	71
6.5 计算复杂度小结	71
6.6 绝对速率误差	72
6.7 仿真算例	72
6.7.1 最大似然相位估计器	72

6.7.2	脉冲延迟估计器	74
6.7.3	计算代价	75
6.8	小结	77
第7章	递归估计	78
7.1	概述	78
7.2	系统动力学	78
7.3	测量方法	82
7.4	时间离散估计过程	83
7.5	讨论	84
7.6	绝对导航	85
7.7	绝对速率估计的几何方法	85
7.8	仿真算例	87
7.9	小结	99
第8章	总结	100
参考文献		102
名词和缩写英汉对照		106

第1章 绪 论

在浩瀚深空中如何为航天器导航,已成为深空探测任务研究的重要一环。目前的深空导航广泛依赖于地面操作。为使深空导航方式更加自主,并增强现有导航方式的能力,人们将重点转移到天文导航系统的研究利用上,这类系统使用距离地球非常遥远的天体源所发出的信号。基于这些天体独特的特点,可将 X 射线脉冲星视为潜在的天文导航资源。

本书通过引入 X 射线脉冲星发射出的信号,为深空探测任务中新型导航系统的应用提供了一种简单的方法。在回顾现有用于深空探测任务的多种导航方式的基础上,人们提出一种新型深空探测方法——X 射线脉冲星导航,并对其系统结构以及用于研究和分析系统各组件的数学工具进行了介绍。此外,本书还介绍了几种不同的信号处理技术,需要指出的是,这些技术对于研究脉冲星导航方法而言,是至关重要的。

第2章综述了现有常用的深空探测导航系统。从常用的深空探测导航系统入手,本章解释了选择和使用天文导航系统作为一种新型深空探测方法的原因。在众多可利用的天文资源中,为何选择 X 射线脉冲星进行深空探测导航,本章将据此原因进行介绍。此外,本章还介绍了脉冲星的简单应用以及脉冲星导航历史。

第3章介绍了 X 射线脉冲星导航的系统结构。本章首先建立了描述 X 射线脉冲星信号的数学模型,通过建立一个非均匀泊松过程的接收光子到达时间模型,得到了到达时间的概率密度函数。随后提出了一种算法,在已知密度函数的条件下,该算法可以有效仿真出任何脉冲星的到达时间。此外,本章还介绍了如何利用历元折叠与测量的到达时间重新得到光子强度函数,并对过程中存在的噪声进行了分析。最后,本章分析了航天器速率信息不准确对历元折叠产生的影响。

第4章着重推导了脉冲时延估计问题的数学模型。本章为每个探测器建立了脉冲星光子强度函数模型,并解释如何建立航天器时钟差分时间模型。借助于有效的航天器数据,人们考虑利用克拉美—罗下限(CRLB)来估计未知的参数。最后一节介绍了一些具体的数学仿真实例。

第5章首次利用历元折叠程序来重新获得脉冲星光子强度函数,并通过这些脉冲星光子强度函数估计脉冲延迟。通过历元折叠程序,提出两种不同的方法来估计脉冲延迟:第一种方法使用了经验密度函数及真实密度函数间的互相关函数;第二种方法减小了经验密度函数与真实密度函数间的差异,该方法是通过解决非线性最小均方问题实现的。本章对估计器的渐近特性、航天器速率误差产生的影响以及估计器的计算复杂度进行了分析研究。最后,通过数值模拟对分析得出的结果进行了验证。

第6章基于最大似然法和直接应用光子的时间测量信息,提出了另一种脉冲延迟估计器,对估计器的渐近特性、航天器非精确速率数据产生的影响以及估计器的计算复杂度进行了分析研究,最后通过数值模拟对分析得出的结果进行了估计。

第7章介绍了卡尔曼滤波器如何利用惯性测量单元(IMU)的动力学模型以及航天器的运动过程得到三维导航模式。同时,本章还分析了不同导航系统参数对估计精度的影响,这里主要考虑的导航系统参数包括:IMU 不定值、测量噪声变化、测量过程中用到的脉冲星数量、天图中脉冲星的几何分布以及不精确的航天器速率数据等。

第8章对本书进行了总结和展望。

第2章 天文导航系统综述

2.1 概 述

本章着重对 X 射线脉冲星导航系统进行介绍。2.2 节简要阐述了当前几种应用于空间任务的导航方式。为何将天文导航技术用于空间任务,脉冲星有哪些类型,为何使用 X 射线频段的脉冲星作为导航目的的射线源,脉冲星导航技术又有哪些历史,对于这些问题本章将逐一进行介绍。

2.2 通用航天器导航系统

截至目前,在众多的空间任务中,人们广泛依赖地面导航方式进行绝对定位^[1,2],雷达测距方法和光学跟踪方法均是被较多使用的地面导航方法^[3]。地面跟踪系统有一个显而易见的优点,那就是不必在航天器上安装主动设备,由于地面跟踪系统处于复杂的电磁干扰环境中,因此,需要进行大量的地面操作并对测量的数据进行精细分析。当航天器与地球相距越来越远时,使用雷达导航系统也将导致航天器的位置估计误差反增不减。为了实现必要的距离测定,雷达系统需要知道地面观测台的精确方位。应用雷达系统的另一个受限因素在于,雷达系统还需要知道太阳系目标的方位信息^[1]。然而,即使已知雷达站和太阳系目标的精确信息,飞行器的位置估计也仅在有限角度范围内是精确的。雷达发射波束连同反射信号一起以不确定锥形体形式传输出去,需要指出的是,这种传输方式导致飞行器的位置信息在距离函数上呈线性下降趋势。执行深空探测任务或星际飞行任务的众多航天器,可通过为航天器搭载主动式发射器来实现轨道确定的目的^[1]。航天器在接收地面观测台发出指令的同时,也会将信号发回地球。随后,接收站通过测量发送信号的多普勒频率计算径向速度。尽管这些系统的使用实现了航天器导航任务方面的许多突破,但该方法仍存在问题不容忽视,即随着距离的增加,误差问题也随之出现。在早期的试验中,Viking 航天器利用跟踪设备作为导航系统,结果表明,在火星探测任务中,航天器的位

置估计误差精度达到 50km;在带外行星探测任务中,航天器的位置估计误差精度达到几百千米^[2]。

人们常用的第二种地面导航方法可称作光学跟踪方法。基于光学跟踪测量的航天器导航方式与雷达跟踪测量方式类似^[4],光学跟踪测量方法主要是通过可见光反射到航天器上来确定航天器的方位。对于一些光学测量方法,首先需要采集图像,在完成图像分析并将图像与恒星背景比较后,才能够计算得出航天器的位置。也就是说,利用此系统实现实时测量是很不容易的。除此之外,光学测量方法还受到环境条件的约束。

目前众多的探测任务都是围绕行星探测开展起来的,通过采集行星的视频图像并将视频图像与已知的行星参数进行比较实现航天器导航,这些已知的行星参数主要包括该行星的直径和相对于其他天体的位置参数。如此一来,便可以得出航天器相对于行星的方位信息^[5],不过使用该方法获得航天器方位信息有个前提条件,必须保证航天器在观测星附近。

如何能够实现深空探测任务的精确绝对导航呢?一般认为地面雷达测距与机上行星成像两种方式的有机结合可以有效地解决这一问题,不过这种方法是在人机交互并对数据进行分析的基础上进行的。此外,由于雷达测距误差变化与飞行器和地球间的距离变化成正比例关系,随着飞行器距离地球越来越远,雷达测距误差也就越来越大,由于需要知道地面天线的精密指向精度,精确导航也变得更复杂了。另外,飞行器需载有用于导航的视频图像处理系统,不过机上系统的存在导致成本增加,同时飞行器与天体间的距离要足够近,图像处理过程才能展开。因此,为实现整个太阳系甚至整个银河系的精确绝对导航,对可供选择的探测方法展开研究是非常有必要的。

飞行器邻近地球飞行时,GPS 系统可以实现完全自主导航模式^[6]。GPS 系统借助于 24 颗或 32 颗中高轨道卫星组成的星座阵传输微波信号,该星座阵帮助 GPS 接收器确定自己的方位、速度、方向和时间。然而,当飞行器距离地球较远时,GPS 系统将无法为飞行器提供全面的服务。

大多数飞行器在进行深空探测任务时会选择深空网(DSN)。深空网是一个国际化的天线网络,该网络包括探测太阳系及宇宙的射电天文观测台、雷达天文观测台,能够帮助实现星际飞行探测任务^[7]。深空网还能够执行选定的近地轨道任务。深空网由三个深空通信设备组成,这三个通信设备分别以约 120°角分布在全世界的三个角落:加利福尼亚州莫哈韦沙漠的 Goldstone、西班牙马德里周边以及澳大利亚堪培拉附近。这种布局安排具有

很重大的战略意义:一方面,即使在地球旋转的情况下,这种分布也能实现航天器的持续观测;另一方面,这种分布方式的出现使 DSN 成为了世界上最大、最灵敏的通信系统。

虽然深空网能够提供精准的径向位置,但繁多的地面操作和地面观测台的协调安排依然是必不可少的。即使使用了干涉测量法,角度的不确定性情况也会随着距离的增加越来越明显。一般以 $1\text{km} \sim 10\text{km}$ 为单位来表示航天器与地球间的距离,借助于深空网的甚长基线干涉量度法(VLBI)可以得到位置精确度^[1]。甚长基线干涉量度法是天文干涉测量法在射电天文学中应用的一个实例。将多台望远镜组合成一台望远镜来观测一个天体,这台望远镜的尺寸相当于望远镜之间的最远距离。将每个天线阵列接收到的数据与时间信息匹配(通常使用的是当地原子钟),并将匹配信息储存在磁带或硬盘上以备后续的数据分析。后期,将此数据与其他天线记录的数据做互相关处理,并获取结果。利用干涉测量法,该方法的精度与观测频率及天线阵中天线的最远距离成正比例关系。相对于传统干涉测量方法而言,VLBI 技术可以大幅提升天线阵列中天线的最远距离,为了实现这个技术,必须利用同轴电缆、波导、光纤或其他无线传输介质实现天线之间的连接。

2.3 脉冲星导航

2.3.1 为何使用天基系统

在深空探测任务及近地应用任务中,多航天器自主编队飞行是一项非常重要的技术^[8,9]。为了实现自主编队飞行,必须了解航天器间的准确相对位置和速率。此外,航天器的绝对导航也是必不可少的。目前许多学者的研究表明,通过引入差分全球定位系统(DGPS),能够实现航空应用及低地轨道应用。DGPS 在 GPS 的基础上有了很大改进,将众多固定的地面参考站形成一个网络,DGPS 系统就是利用这些参考站来传递卫星系统测量到的位置与已知固定位置的差别信息。这些地面站可以传递测量的伪距与真实的伪距间的差别信息,与此同时,地面接收站会修正它们之间的伪距。然而,在深空探测任务或其他探测任务无法正常使用 GPS 系统的条件下,需要选择其他途径来完成探测任务。于是,地面导航系统应运而生,比如 DSN 系统。但是通过 2.2 节的介绍,可以发现地面导航系统在远距离导航任务方面性能表现不佳。另外,深空网高度依赖地面通信,以此实现数据分析。

前面章节提到了一些问题,如航天器导航的高精度要求、飞行器操作成

本的持续增长,导致航天器导航模式从地面导航向自主导航方向演进^[10,11]。自主导航操作意味着航天器可以实现全自主定位、自主导向,完全不需要人为操作、人为干涉。从这种意义上来说,人们实现了航天器的完全导航模式。通过机上传感器,自主导航系统完全可以独立计算出航天器的导航与制导信息。不需依赖地面操作控制中心,自主导航系统就可以检测到、报告并修正预定轨道偏差。如此一来,自主导航系统的存在使得深空探测任务不再过度依赖于人类的干预及地面通信。为了降低导航系统对地面操控的依赖性,同时增强系统的自主能力,人们使用天文导航系统来实现这一目标。人们致力于研究这种新方法的另一个原因在于,其他测量方法的引入可提升系统的整体性能。天基系统使用的是遥远天体资源发出的信号,在众多不同天体资源中,X 射线脉冲星可有效应用于相对导航和绝对导航系统。下面将详细介绍脉冲星的特点。

2.3.2 脉冲星

纵观天文史,尽管大多数已使用的天体资源均是具有可见辐射波段的恒星,但天体资源在导航任务中扮演着至关重要的角色。不同能量段的天体能够发射出不同强度的信号。多种不同能量天体发射出的信号,它们的信号强度覆盖了从射电段到 γ 射线段的整个电磁频谱。在众多不同能量的天体资源中,有些天体可以产生出独一无二的可识别信号,这些信号具有周期性和可预测性,人们将这种信号应用在特定的导航任务上。脉冲星具有快速旋转特性,是众多天体资源中的一种磁化中子星^[12]。当星体自转且磁极波束扫过安装在地面或航天器上的探测设备时,带电粒子顺着磁力线加速运动,导致粒子产生电磁辐射,探测设备就能接收到一个脉冲信号,犹如海上的“灯塔”(图 2.1)。脉冲周期就是中子星的自转周期。通常,在射电、可见光、X 射线及 γ 射线等电磁波频段中可以发现脉冲星^[13]。

射电脉冲星是宽带、具有恒星脉动的射电资源,中子星为其供能并使其在脉冲星周期内具有高度稳定性^[14]。目前人们发现的脉冲星数量已超过 1300 颗^[13],通过后续的研究与验证,相信将会有更多的脉冲星出现。每年人们都能从一些脉冲星上观测到旋转频率的不规律性(如短时脉冲波形干扰),举例来说,从船帆座的 10^{-6} s 变化到巨蟹座的 10^{-8} s。虽然脉冲星的辐射单个脉冲信号强度会随时间的变化而变化,但是,其平均轮廓是稳定且独特的。为了描述脉冲星的平均到达时间,人们建立了精确模型,此模型稳定性性能优越,甚至比目前最准确的人工时间基准性能还要好。在所有的脉

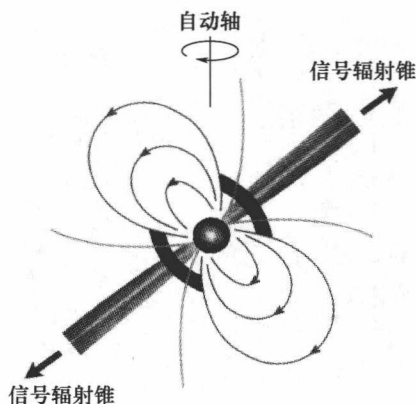


图 2.1 脉冲星“灯塔”模型

冲星中,最稳定的是毫秒脉冲星。约瑟夫·泰勒和他的团队已经验证了毫秒脉冲星的同步稳定性可以与地球原子钟相媲美^[15]。目前,人们已经在射电、X 射线及 γ 射线电磁波频段中探测到毫秒脉冲星。其中,球形簇中探测到了 130 颗毫秒脉冲星,不过,毫秒脉冲星的信噪比比长周期脉冲星的信噪比要低得多。

根据辐射能源来源,可将 X 射线脉冲星分成两类:吸积供能脉冲星和旋转供能脉冲星两类^[17]。

(1) 吸积供能脉冲星天体体现了 X 射线强度方面的严格周期变换。X 射线周期变换实现了周期从 1s 到几分钟的变换过程。X 射线脉冲星由带有标准恒星体的磁化中子星组成,是一类双星系统。中子星表面的磁场强度大概是 10^{12}Gs ^①,是地球表面磁场强度(0.6Gs)的 1 万亿倍^[18]。如果磁场和中子星的旋转轴不是重合的,就能观测到 X 射线脉动。此外,吸积脉冲星是不稳定的计时资源,它们的周期会随时间的变化而变化。目前,人们发现的周期为 $0.069\text{s} \sim 1.413\text{s}$ 的吸积供能 X 射线脉冲星,其数量已超过 30 颗^[18]。

(2) 旋转供能脉冲星是快速旋转中子星,通过正规间隔或脉冲可观测到其电磁辐射。旋转供能脉冲星与其他类型脉冲星不同,其辐射能量资源主要来源于损耗自身的旋转能。以蟹状星云脉冲星为例,作为宇宙中最亮的旋转供能脉冲星,蟹状星云脉冲星是目前唯一一颗具有 X 射线能量的脉冲星。自研究以来,人们已探测到超过 20 颗旋转供能脉冲星^[18,19]。图 2.2 所示为船帆座旋转供能脉冲星的 Chandra X 射线图像^[20]。

① $1\text{T} = 10^4\text{Gs}$ 。



图 2.2 船帆座脉冲星(见页末彩图)
(Chandra X 射线观测台观测)

脉冲星是 γ 射线天体资源的始祖。据记载,天文学家在射电段发现脉冲星之后的几年时间里,也在 γ 射线波段发现了巨蟹座和船帆座的踪迹。在磁气圈的巨大能量牵引下,脉冲星推动粒子快速运动,研究表明,这些粒子与脉冲星的 γ 射线喷射有关。船帆座每秒旋转 11 次,号称是最明亮的 γ 射线持久天体资源。 γ 射线以高能光子形式存在,非常稀少且距离遥远,即使使用费尔米大面积望远镜观测,也只能每 2min 发现一个 γ 射线光子。脉冲星的射电段波束所含的能量只占全部能量的 $1/10^6$,相比之下, γ 射线所含的能量占 10% 甚至更多。

截至 2004 年年末,人们发现的无线脉冲星已超过了 1500 颗,其中只有 7 颗脉冲星可以探测到 γ 射线。脉冲星具有大磁场并且能够快速旋转。当辐射穿过电磁波谱时,脉冲星自旋能量损耗也随之发生,同时出现的还有 γ 射线。描述脉冲星的观测台和模型都表明当脉冲星的旋转速率降低时,脉冲星最终将失去释放 γ 射线的的能力。

NASA 的费尔米 γ 射线空间望远镜可以帮助天文学家更好地观测脉冲星。2009 年 7 月 2 日,Science Express 刊登出了两篇科研文章文章中科学家对 24 颗脉冲星释放的 γ 射线进行了分析,其中有 16 颗脉冲星是由费尔米望远镜探测到的,它是世界上首台通过独立检测脉冲星释放的 γ 射线来辨识相应脉冲星的航天器^[21],如图 2.3 所示,标识了脉冲星在银河系中的位置。通过费尔米大面积望远镜连续 5 个月时间获得的数据以及新型计算方法,人们对周期性 γ 射线波动进行了分析并发现了新的脉冲星。另外,费尔米团队对 8 颗脉冲星释放的 γ 射线进行了检测,研究结果表明这 8 颗脉冲星之前

已在射电波段中被发现。在费尔米发射之前,人们并不清楚毫秒脉冲星能否释放 γ 射线,现在研究结果表明,毫秒脉冲星能够释放 γ 射线。同样,人们也会发现,尽管普通脉冲星与毫秒脉冲星之间有差异,但它们在释放 γ 射线方面具有类似的特性。

NASA 与美国能源部门,与法国、德国、意大利、日本及瑞典等国家的学术机构合作,共同研制了 NASA 费尔米 γ 射线空间望远镜^[21]。

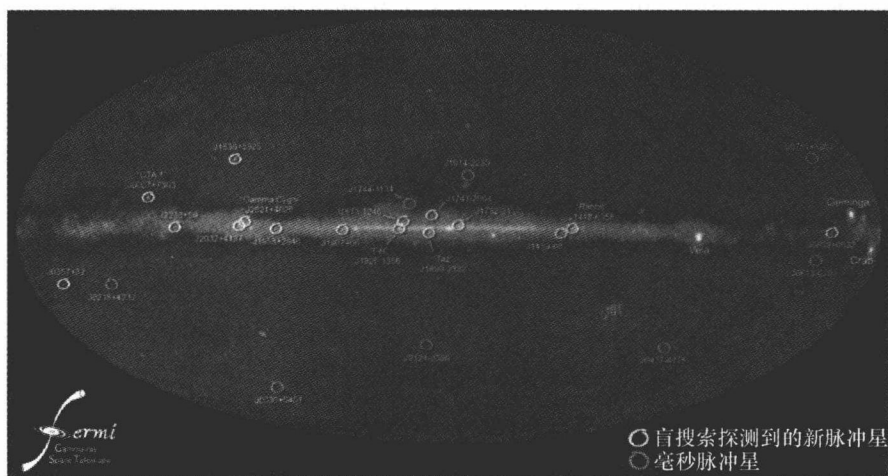


图 2.3 γ 射线在天图中的分布,标识了脉冲星在银河系中的位置(见页末彩图)

图中黄色圆圈代表 16 颗由费尔米 γ 射线空间望远镜发现的新脉冲星,

红色圆圈代表 8 颗已知的毫秒脉冲星。

2.3.3 为何应用 X 射线脉冲星进行导航

射电波段不同能量的天体发射的信号可作为潜在的资源应用于导航系统。然而,这些资源的发射频率从 100MHz 到 1GHz 变化不一,需要用 20m 直径天线甚至更大直径的天线来检测信号^[22,23]。考虑到蝶形射电望远镜在各不同波长中占据优势,这里来简单介绍蝶形天线。蝶形天线的角分辨率是蝶形天线直径的函数,其与磁场辐射的波长成比例。为了给射电望远镜提供有效的解决方法,必须要了解蝶形天线的大小。

对于大多数空间任务来说,大口径天线会对导航操作的设计及成本产生重大影响^[24]。此外,由于邻近资源亦在无线波段释放信号,加之低强度信号射电脉冲星资源的影响,因此,需要很长的积分时间来获得适用于导航的高信噪比信号。同样,可见光段不同能量的天体也存在同样的局限。目前