



装备科技译著出版基金

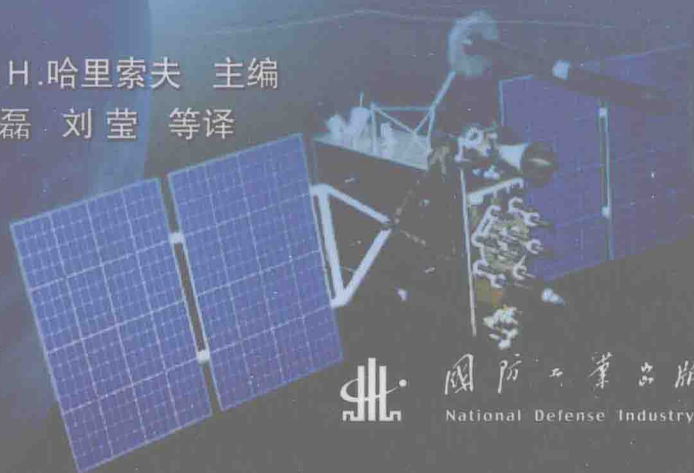


ГЛОНАСС

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
(Издание четвертое)

格洛纳斯 卫星导航系统原理 (第4版)

[俄] А.И.佩洛夫, В.Н.哈里索夫 主编
刘忆宁 焦文海 张晓磊 刘莹 等译



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

格洛纳斯卫星导航系统原理

(第4版)

ГЛОНАСС. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ (Издание четвертое)

[俄] A. И. 佩洛夫 B. H. 哈里索夫 主编

译校者	刘忆宁	焦文海	张晓磊	刘莹
	李兴华	姚爱钢	杨怀玉	孙书贵
	易棉竹	高志元	刘万军	傅 聂
	张保群	刘万义	白 鸥	杨慧莉

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2015-109 号

图书在版编目(CIP)数据

格洛纳斯卫星导航系统原理:第4版/(俄罗斯)佩洛夫,
(俄罗斯)哈里索夫主编;刘忆宁等译. —北京:国防工业出
版社,2016.7

ISBN 978-7-118-10870-5

I. ①格… II. ①佩… ②哈… ③刘… III. ①卫星导
航—全球定位系统 IV. ①P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第055680号

Translation from the Russian language edition: ГЛОНАСС. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ(Издание четвертое) by А. И. Перов, В. Н. Харисов.

© Издательство «Радиотехника», Москва, 2010.

All rights reserved.

本书简体中文版由 М.: Радиотехника 通过中华版权代理总公司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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 38¼ 字数 718 千字

2016年7月第1版第1次印刷 印数 1—1500册 定价 298.00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

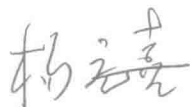
发行业务:(010)88540717

序

俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统是世界上第二个建成并投入使用的全球卫星导航系统,与美国 GPS 有很多相似之处,但也有很多独特的地方,如它的频分多址导航信号调制方式、时空基准等。国内关于格洛纳斯的书籍非常少见,仅为某些章节,全面介绍格洛纳斯卫星导航系统的著作更是空白。本著作有以下两个特点,一是由俄罗斯专家撰写,全面系统反映了格洛纳斯的组成和典型应用的基本原理,角度与现有的非俄罗斯专家的著作完全不同;二是充分体现了俄文科技著作的特色,理论严谨,数学和物理模型随时佐证,是国内同类著作所少见的。《格洛纳斯卫星导航系统原理》的主编亚历山大·伊万诺维奇·佩洛夫是俄罗斯在无线电技术、无线电导航和无线电通信领域的著名学者,出版过多部卫星导航领域的专著,在国际上有一定知名度。

本书的多位译者长期从事俄文翻译和卫星导航领域研究工作,具有扎实的理论功底和较强的翻译能力。他们翻译的《格洛纳斯卫星导航系统原理》著作,将填补这一领域空白。

中国科学院院士



2015 年 12 月

序

2000年以来,全球卫星导航系统已经由GPS一枝独秀,转入到GPS、GLONASS、Galileo、BDS竞相发展的新局面。作为全球第二个投入使用的卫星导航系统,俄罗斯格洛纳斯系统的发展经历了颇为曲折的过程,从1995年正式投入使用,到2001年在轨卫星仅存6颗左右,再到2011年系统复兴,恢复到24颗工作卫星正开始系统应用。俄罗斯格洛纳斯系统的建设和应用值得我们借鉴的经验教训非常多,客观上需要一本由俄罗斯专家全面介绍格洛纳斯系统的专著。

《格洛纳斯卫星导航系统原理》是一部全面介绍格洛纳斯系统的经典书籍,包括三大部分,第一部分主要介绍卫星无线电导航系统的基本原理;地球人造卫星的轨道理论;无线电导航系统的时间、坐标系统;导航解算原理;导航信号和电文信息的使用;接收机工作原理。第二部分主要讲述了关于格洛纳斯无线电导航系统及其子系统的组成和基本特征,给出了空间段、地面段和用户端的具体描述。第三部分主要介绍格洛纳斯系统应用的基本理论,如载波相位测量与相对定位,定向,接收机抗干扰设计等。应该说,国内目前尚没有如此全面介绍格洛纳斯系统的书籍。

本书的多位译者长期从事俄文翻译和卫星导航领域研究工作,具有扎实的专业素养和较强的翻译能力。由他们翻译出版的这部专著必将对我国的卫星导航事业发展起到推动作用。

中国工程院院士 魏子卿

2015年12月

致中国读者

在上千年的历史长河中,中国发明的指南针一直都是人类的主要导航工具。而 GPS 和格洛纳斯卫星导航系统创建了一个新的人工场域,犹如地球的磁场,使得人类可以在任意空间定位,同时位置测定精度能够达到人体的尺寸,时间测定的误差比人反应的最快时间还小,这种日趋普及的资源将人类活动的空间提升到了一个新的高度。

当今,中国研制的“北斗”卫星导航系统业已进入到了全球导航系统的大家族,我们盛赞这一事件。因为,这正如中国一位伟大领导人所说的“百花齐放”,同时也保障了提高导航时间测定的可靠性,这一问题也是我们目前亟需解决的。

另外,全球导航界正在考虑集成和研制多系统兼容的信号导航设备。要想将其变成可能,需要很好地掌握各系统信号制定和研发的特点。我们希望,我们的专著《格洛纳斯卫星导航系统原理》第4版的中文译作可以达到这一目标。

此外,我们也希望该书在中国的出版,能够进一步发扬光大俄中两个伟大民族的传统友谊,并有利于帮助形成新的合作项目、促进两国卫星导航领域专家的交流。

A. И. 佩洛夫教授

B. H. 哈里索夫教授

译者序

进入 21 世纪以来,随着中国北斗导航卫星和欧盟伽利略导航卫星的相继成功发射,卫星导航系统从美国的 GPS 与俄罗斯的格洛纳斯(GLONASS)系统两极竞争态势,转入四大卫星导航系统竞争与合作的新局面,多 GNSS 系统的兼容与互操作已经成为卫星导航领域的时代主题。作为全球卫星导航系统先行者之一的格洛纳斯卫星导航系统,对中国卫星导航用户来说,既熟悉又陌生。熟悉体现在二十多年前它就投入使用,但随着俄罗斯国家经济实力的衰落,格洛纳斯系统逐渐远离人们的视线。如今,正如同俄罗斯国家命运一样,随着实力的逐渐恢复,格洛纳斯系统又焕发了新的活力,以崭新的面貌重返历史舞台。陌生的是,对于格洛纳斯系统,我们真正知道的不是很多,就这一点,从卫星导航有关著作可窥见一斑。相对于汗牛充栋的 GPS 书籍,在中、英文关于卫星导航的专著中,几乎找不到一部全面、系统介绍俄罗斯格洛纳斯系统的著作。能够看到的几乎都是零星的、常被当作绿叶陪衬的部分章节,而且这些内容也大多是欧美科学家的成果,很难看到俄罗斯本土专家的系统描述。

历史的偶然让译者们相遇。为了让更多的中国读者深度认识格洛纳斯系统,翻译有关格洛纳斯的俄文专著成为了译者的共同追求。在主译者中,中国国防科技信息中心的刘忆宁博士,有着多年对俄谈判和翻译俄文科技装备的丰富经验;中国卫星导航工程中心的焦文海博士、刘莹高工,长期从事卫星导航研究工作;中国卫星导航系统管理办公室国际合作中心的张晓磊高工,在莫斯科大学留学十年获得博士学位,具有深厚的文字和理论功底。他们同时又担任着中俄两国卫星导航领域合作的重要角色,在一线与俄罗斯专家的密切交流更增强了译者向中国读者介绍格洛纳斯系统的信心。经过精挑细选《格洛纳斯卫星导航系统原理》一书成为了译者的首选。本书的风格无疑完全继承了俄罗斯科技专著的特点,使人认识到什么是严谨,什么是理论功底。对于卫星导航领域的广大工程技术及研发人员来说,本书不失为一本难得的好书!

在本书的编译出版过程中,受到了孙家栋、魏子卿、杨元喜院士的悉心指导,得到了中国国防科技信息中心的大力支持,赵相安、耿国桐、许儒红、刘伟等给予了热情帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限,加之时间仓促,编译中难免会有疏漏和错误之处,恳请读者不吝指教。

2016 年 3 月

原书第4版前言

卫星无线电导航系统与移动通信一样,已成为人类活动不可或缺的重要组成部分。卫星定位、导航和授时(PNT)技术已被广泛应用于科技、生活、教育和经济等诸多领域。为了满足PNT的高精度需求,目前,世界上已经研发、建造和使用了格洛纳斯(俄罗斯)和GPS(美国)卫星无线电导航系统。另外,伽利略(欧盟)和“北斗”(中国)的同类系统也正在建设当中。

俄罗斯政府一直强调全球时空基准保障(PNT服务)的重要性。2005年6月9日出台了《在航天、交通以及大地测量所用工具上安装格洛纳斯或格洛纳斯/GPS卫星导航设备》的第365号政府决议;2007年5月17日颁布了《使用格洛纳斯全球卫星导航系统以促进俄罗斯联邦社会经济发展》的第638号总统令;为落实该总统令,2008年4月30日政府批准了《联邦执行权利机构扶持、开发和使用格洛纳斯权限的条例》第323号政府决议,2008年8月25日又出台了《关于在运输、技术设备和系统上加装格洛纳斯或格洛纳斯/GPS卫星导航设备》的第641号政府决议。2008年2月,俄联邦出台了《发展格洛纳斯全球卫星导航系统导航信号的构想》,确定了完善格洛纳斯系统的必要性。

综上所述,就会明白世人为什么会对卫星无线电导航系统建设的原理一直保持兴趣,且与日俱增。因此《格洛纳斯卫星导航系统原理》一书的编辑和作者决定出版本书的第四版。

本书包括引言及三篇,共19章。

引言部分包含了格洛纳斯卫星无线电导航系统的历史,讲述了卫星导航技术发展的各个历史阶段。

第一篇(第1章~第8章)内容包括卫星无线电导航系统的基本原理;地球人造卫星的轨道理论;无线电导航系统的时间、坐标系统;导航解算原理;导航信号和电文信息的使用;接收机工作原理。此外,增加了新型导航信号、接收机信号和信息处理的优化算法等章节,大幅扩展了终端设备测量噪声章节的内容。

第二篇(第9章~第13章)讲述了关于格洛纳斯无线电导航系统及其子系统组成和基本特征的具体内容,给出了空间段、地面段和用户段的具体描述。此外,扩展了导航卫星有效载荷设备的章节,增加了导航任务模块和星间测量载荷的内容。

第三篇(第14章~第19章),在导航系统现代化和导航信号章节(包括码分多址),分析了格洛纳斯无线电导航系统发展的问题。此外,增加了利用卫星

无线电导航系统信号确定载体方位的章节,大幅修订了卫星和惯性组合导航、导航接收机抑制干扰的信号处理算法和天线设计,增加了窄带干扰的频率—时间抑制方法和算法章节。

书中按章对图片和公式进行了编号。对书中援引的内容标注了文献来源,并附于每章最后(原书第 14 章无参考文献——译者注)。

可以使用本书的材料出版其他书籍(高等、中等专业教育教科书,参考书,使用指南,设备技术说明书等),也可用于解决用户设备同其他移动载体设备的集成应用问题、制定国家和区域无线电导航保障方案、进行教育系统的培训和提升专家的技能。

本书面向导航和领航保障、大地测量、地球观测等交叉学科领域的专业人士、博士研究生、相关高等和中等教育的学生。

参与本书撰写的人员有 P. B. 巴基奇科、E. H. 鲍金克夫、H. T. 布拉夫斯基、B. B. 德沃尔金、B. C. 叶费明科、B. E. 科谢克、B. Я. 纳尔多夫、A. И. 佩洛夫 A. E. 别里科夫、B. B. 秋巴林、Ю. М. 乌尔里奇奇、B. H. 哈里索夫 B. И. 切博塔列夫、A. Ю. 沙基罗夫等。主编为 A. И. 佩洛夫、B. H. 哈里索夫。

参与本书组织和材料准备的单位有:茹科夫斯基科学院无线电导航和无线电通信自动化系统教研室;莫斯科能源学院(技术大学)无线电技术系统教研室;俄罗斯航天系统股份有限公司。

作者们将对读者提出的关于优化本书内容的建议和批评指正表示感谢,来信请寄至:103031,莫斯科,库日涅兹基桥,20/6 号。俄罗斯《无线电技术》出版社。电子邮箱:info@radiotec.ru(无线电技术);alexp@aha.ru(佩洛夫 A. I.);vhar@list.ru(哈里索夫 V. H.)。

目 录

引言	1
----------	---

第一篇 卫星无线电导航系统的构成及基本原理

第 1 章 卫星无线电导航系统组成	7
1.1 基本构成	7
1.2 航天器子系统	8
1.3 运控子系统	9
1.4 用户导航设备	9
1.5 中轨卫星无线电导航系统的星历信息组成特点	10
1.6 不同用户对卫星无线电导航系统的需要	10
参考文献	15
第 2 章 时间坐标	16
2.1 天体坐标和时间测量单位	17
2.2 原子时和时间单位	18
2.3 通用时间坐标和卫星无线电导航系统使用的时间坐标	18
2.4 卫星无线电导航系统中的局部时间坐标	20
2.5 基准振荡器中频率和时间的稳定性	21
2.6 卫星无线电导航系统中的时间坐标同步	24
参考文献	26
第 3 章 导航卫星的轨道运动	27
3.1 卫星无线电导航系统中所使用的坐标系统	27
3.2 惯性坐标系内导航卫星非摄动轨道运动方程	32
3.3 卫星轨道的经典根数	33
3.4 非摄动轨道卫星的运动	35
3.5 使用轨道根数情况下卫星在惯性坐标系中的非摄动运动方程	36
3.6 导航卫星摄动运动的基本特征	39
3.7 地心运动坐标系中的摄动运动近似方程	41
3.8 导航卫星的可见区域和时间	42
参考文献	45

第4章 导航任务的解算方法	46
4.1 基本内容	46
4.2 测距方法	47
4.3 伪距测量方法	48
4.4 差分—测距和差分—伪距测量方法	51
4.5 径向—速度(多普勒)方法	51
4.6 伪径向—速度(伪多普勒)方法	53
4.7 差分—径向—速度方法	54
4.8 组合方法	54
4.9 通过卫星无线电导航系统确定方位	55
参考文献	56
第5章 卫星无线电导航系统中的无线电信号和导航通信	57
5.1 卫星无线电导航系统对无线电信号的要求	57
5.2 无线电信号的数学基础	58
5.3 卫星无线电导航系统的移相键控信号	60
5.3.1 二进制移相键控信号的基本性质	61
5.3.2 M序列的基本特性	64
5.3.3 Gold序列	67
5.3.4 Casami序列	68
5.4 副载波上的调制相移键控信号	69
5.5 不同调制下的信号时延估计精度比较	71
5.6 卫星无线电导航系统中的导航通信	75
5.6.1 基本内容	75
5.6.2 导航信息的抗干扰编码	76
5.7 通过导航通信调制无线电信号	79
5.7.1 相对相移键控	79
5.7.2 无线电信号的相移键控	80
5.8 接收机中卫星无线电导航系统信号同步	81
参考文献	82
第6章 用户设备的信号处理和导航解算	83
6.1 基本内容	83
6.2 搜索信号延迟和多谱勒频率	84
6.3 卫星导航设备中跟踪系统设计的基本原理	96
6.3.1 BPSK导航接收机	96
6.3.2 基于跟踪系统提取估计信息	99
6.3.3 接收机中相干和非相干信号处理	101

6.3.4	跟踪系统鉴别器合成	101
6.3.5	解调导航电文	111
6.3.6	平滑过滤器合成	112
6.4	二次处理算法(导航算法)	140
6.4.1	二次观测	140
6.4.2	伪距二次平滑算法	141
6.4.3	二次处理单步算法	147
6.4.4	二次处理的过滤算法	149
6.5	卫星无线电导航系统接收机中单步信号处理	154
6.5.1	主要内容	154
6.5.2	用于非相干工作模式的信号处理单步算法设计	155
6.5.3	用于非相干工作模式的信号处理单步算法合成	161
6.6	多路径效应条件下信号接收	167
6.6.1	多路径效应基本特征	167
6.6.2	多路径效应条件下的接收优化算法	170
6.6.3	鉴别特征	173
6.6.4	潜在的精确特征值	175
6.6.5	处理非相干算法的特征值	177
附录	鉴别器统计特征值	178
附录 6.1	相干接收机的相关器同相和正交部分的统计特征值	179
附录 6.2	非相干接收机的相关器同相和正交部分的统计特征值	181
附录 6.3	相位鉴别器统计特征值	182
附录 6.4	频率鉴别器统计特征值	184
附录 6.5	信号延迟鉴别器统计特征值	192
参考文献		197
第7章	卫星无线电导航系统中确定导航时间的误差源和精度	199
7.1	确定伪距误差的组成	199
7.2	确定伪速误差的组成	200
7.3	传播介质影响信号参数	202
7.3.1	信号传播的群速度和相速度	202
7.3.2	介质折射系数	204
7.3.3	电离层影响信号滞后	205
7.3.4	对流层影响信号滞后	206
7.4	相对论和万有引力效应的影响	207

7.5	信号多路径效应传播的影响	210
7.6	导航接收机引入的误差	211
7.7	确定伪距和伪速的降低误差方法	214
7.8	确定伪距和伪速的误差源	217
7.9	解算导航任务产生的误差	218
7.9.1	星座保障的误差	218
7.9.2	卫星无线电导航系统中的几何因素	219
	参考文献	222
第8章	用户设备的干扰稳定性	223
8.1	基本定义和方法	223
8.2	导航接收机干扰稳定性评估方法	224
8.2.1	干扰影响相关器的评估方法	224
8.2.2	相关器输出端计算干扰组成的方法	226
8.3	通过使用不同型号的码分导航信号,分析系统内的干扰	228
8.3.1	BPSK(n)调制信号系统内干扰分析	229
8.3.2	通过 BOC(m,n)调制使用信号,分析系统内的干扰	232
8.3.3	通过计算干扰和导航频率信号的失调,分析系统内的干扰	236
8.4	分析不同类型干扰对不同类型码分导航信号用户设备的影响	240
8.5	搜索和截获信号制的干扰稳定性	246
8.6	跟踪系统干扰稳定性渐近估计方法	247
8.7	跟踪信号相位自主系统的干扰稳定性	248
8.8	自主信号频率跟踪系统的干扰稳定性	249
8.9	跟踪信号延迟系统的干扰稳定性	251
8.10	考虑跟踪系统相互影响下的干扰稳定性	251
8.10.1	非相干接收机干扰稳定性	252
8.10.2	相干接收机干扰稳定性	253
8.11	综合跟踪系统干扰稳定性	254
	参考文献	255

第二篇 格洛纳斯卫星无线电导航系统

第9章	格洛纳斯卫星无线电导航系统的基本内容	259
9.1	结构和基本特征	259
9.2	建设发展阶段	261
9.3	格洛纳斯卫星无线电导航系统使用的坐标系统	266

9.4 频率——时间保障(PNT) 格洛纳斯系统的时间尺度	268
参考文献	269
第10章 地面段(运控子系统)	270
10.1 运控子系统的用途和组成	270
10.1.1 主要内容	270
10.1.2 系统控制中心	272
10.1.3 控制站	272
10.1.4 量子—光学站(激光站)	273
10.1.5 相位控制系统	274
10.1.6 场控制设备	274
10.2 星座保障	275
10.2.1 格洛纳斯星历信息的特点	276
10.2.2 典型控制操作	276
10.2.3 确定卫星运动轨位的技术	278
参考文献	280
第11章 航天器子系统	281
11.1 卫星的轨道特征	281
11.2 格洛纳斯卫星无线电导航系统的无线电信号	285
11.2.1 使用信号的类型	285
11.2.2 播发的导航无线电信号特征值	286
11.3 调制序列的特征	289
11.4 格洛纳斯卫星无线电导航系统的导航通信	292
11.4.1 主要内容	292
11.4.2 格洛纳斯导航系统的星座	295
11.4.3 格洛纳斯系统历书	298
11.4.4 超帧种的储备等级	301
11.4.5 导航数据真实性控制	301
11.5 格洛纳斯卫星无线电导航系统的完好性监测	302
11.6 格洛纳斯系统的导航卫星	304
11.6.1 格洛纳斯导航卫星	304
11.6.2 格洛纳斯—M 导航卫星	307
11.6.3 格洛纳斯—K 导航卫星	309
11.6.4 Etalon 被动式卫星	311
11.6.5 导航卫星建造特点	312
11.6.6 导航卫星运行逻辑	313

11.7	卫星的星载无线电设备	315
11.7.1	导航无线电信号星载源	315
11.7.2	天线—馈线系统	320
11.7.3	星间星载测量设备	320
11.7.4	星载同步装置	328
11.7.5	星载控制设备	329
11.7.6	定向和稳定系统,其他辅助系统	330
11.7.7	卫星星载系统运行	331
	参考文献	332
第12章	格洛纳斯卫星无线电导航系统的差分体制	333
12.1	差分体制基本原理	333
12.2	差分体制的数学模型	336
12.3	差分校正的空间—时间特征	339
12.4	星历保障误差的差分校正	340
12.5	差分体制中确定伪距的误差源	342
12.6	差分系统的卫星无线电导航系统完好性监测	343
12.7	差分系统中信息传输的数据格式	344
12.8	差分系统建造示例	349
12.8.1	海洋局部差分系统	349
12.8.2	具有前景的俄罗斯差分系统	355
12.8.3	广域差分系统	364
	参考文献	367
第13章	用户设备	369
13.1	用户设备原理	369
13.2	导航接收机天线	370
13.3	无线电接收机	372
13.4	模/数转换器	373
13.5	基准振荡器和频率合成器	374
13.6	多通道相关器	375
13.7	信号处理算法	377
13.7.1	捕获和检测算法	377
13.7.2	信号相位跟踪的工作算法和流程	385
13.7.3	信号延迟跟踪的工作算法和流程	387
13.7.4	锁频环的工作算法和流程	388
13.7.5	跟踪系统环路中的数字滤波器工作算法	389

13.7.6	跟踪系统中基准信号振荡器的控制算法	392
13.7.7	导航信息提取算法	393
13.8	信息处理算法	394
13.8.1	用户坐标和速度矢量评估	394
13.8.2	基于非运算信息(天文年历)的导航卫星状态矢量 计算	395
13.8.3	基于运算信息的导航卫星状态矢量计算	397
13.8.4	大地坐标系中地球用户坐标换算	398
13.9	使用用户设备的信号处理和信息优化算法	399
	参考文献	400

第三篇 卫星导航技术的发展方向

第 14 章	格洛纳斯卫星导航系统的现代化	403
14.1	格洛纳斯卫星导航系统的现代化	403
14.2	格洛纳斯全球导航系统的信号	407
14.2.1	格洛纳斯全球导航系统的导航信号发展方案	407
14.2.2	码分信号的频率方案	411
14.2.3	L3OC 导航信号	412
14.2.4	BOC(6,4)调制的 L1OC 导航信号	412
14.3	卫星无线电导航系统的全球监测系统	414
14.3.1	建立格洛纳斯/GPS 扩展监测系统的必要性	414
14.3.2	卫星无线电导航监测系统的基本任务	414
14.3.3	卫星无线电导航系统完好性监测系统组成	416
14.3.4	向用户提供访问监测系统结果	419
14.3.5	从格洛纳斯-K 导航卫星上转发完好性信息的 通道特征	419
14.3.6	监测系统可靠性	420
第 15 章	基于相位测量确定信号传播时间	424
15.1	卫星无线电导航接收机中测量的主要导航参数	424
15.1.1	信号时间概念	424
15.1.2	卫星无线电导航系统的相位和码测量模型	430
15.1.3	卫星无线电导航系统中确定高精度信号传播时间的 无线电导航参数观测模型	431
15.1.4	卫星无线电导航系统中导航参数测量数	

学模型的精度检测方法	433
15.2 二次处理中相位测量模糊度解算方法	437
15.2.1 相位测量模糊度基本解算方法	437
15.2.2 无穷举的模糊度解算方法	439
15.3 基于载波相位测量获得信号传播时间的最优滤波方法应用	442
15.3.1 增补变量方法	442
15.3.2 单频相干无线电信号延迟估计	443
15.3.3 双频相干无线电信号延迟估计	444
15.3.4 带有观测周期函数的参数估计基本问题	446
15.3.5 存在观测周期函数的滤波方法	448
15.3.6 使用增补变量方法解算模糊度的改进滤波算法	450
15.4 基于载波相位测量的信号传播时间的测定算法	453
15.4.1 信号传播时间测量算法任务描述	453
15.4.2 二次处理阶段,卫星无线电导航系统中使用相位 测量,信号传播时间测量的算法合成基本方法	453
15.4.3 实验研究结果	454
参考文献	464
第 16 章 通过卫星无线电导航系统信号测定方位角	466
16.1 通过卫星无线电导航系统信号,估计目标方位角的优化算法	466
16.2 确定方位角的潜在精度	470
16.3 在卫星无线电导航系统中,在空间各点的双频相位差的 优化滤波	472
16.4 根据卫星无线电导航系统的信号,用于测定目标方位角装置的 优化导航接收机	482
参考文献	487
第 17 章 卫星/惯性组合导航系统	488
17.1 卫星/惯性组合导航系统的建造原理	488
17.2 卫星无线电导航系统/惯性导航系统导航用户终端的组合 算法合成	495
17.2.1 综合改进方案	495
17.2.2 卫星无线电导航系统/惯性导航系统导航用户终端 组合紧耦合算法	496
17.2.3 组合导航算法(松耦合算法)	505
17.2.4 卫星无线电导航系统导航用户终端中的惯性导航 系统修正算法合成(非耦合的算法)	508