



System Engineering Management
of BDS-2 Program

北斗二号卫星工程 系统工程管理

主 编 孙家栋 杨长风

副主编 李祖洪 谭述森 冉承其 郭树人 谭跃进 廖良才



國防工業出版社
National Defense Industry Press

北斗二号卫星工程 系统工程管理

主 编 孙家栋 杨长风
副主编 李祖洪 谭述森 冉承其
郭树人 谭跃进 廖良才

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍了北斗二号卫星导航系统从立项论证到工程建设,再到系统运行整个过程的管理实践活动,既是对该系统工程管理成果和管理经验的归纳总结,也是对北斗卫星导航系统工程管理理论和方法的研究创新。全书按照系统工程和项目管理相结合的思路对其工程管理涉及的管理理论方法进行了系统梳理,总结提出了北斗二号卫星导航系统工程管理体系和管理模式。全书共分17章,包括绪论、系统工程管理知识体系、战略管理、需求工程、组织管理、任务管理、进度管理、费用管理、质量与可靠性管理、风险管理、采购与合同管理、信息沟通管理、技术状态管理、试验与评价管理、产品成熟度管理、综合集成管理和科技创新管理。

本书可作为我国北斗卫星导航系统后续工程建设管理的参考书,也可作为国内其他大型复杂工程项目管理人员、科研院所从事工程管理的研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

北斗二号卫星工程系统工程管理/孙家栋,杨长风

主编. —北京:国防工业出版社,2017.5

ISBN 978-7-118-11250-4

I. ①北… II. ①孙… ②杨… III. ①卫星导航—全球定位系统—系统工程—工程管理—中国 IV. ①P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第055549号

※

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 26 $\frac{3}{4}$ 字数 500千字

2017年5月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 198.00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

《北斗二号卫星工程系统工程管理》

编 委 会

主 编 孙家栋 杨长风

副主编 李祖洪 谭述森 冉承其 郭树人 谭跃进
廖良才

委 员(按姓氏笔画排序)

马加庆	孙雅度	李长江	吴 斌	吴光辉
岑 拯	张春领	陈建宇	姜 杰	杨 军
杨 慧	周建华	赵文军	黄乔华	焦文海
谢 军	蔡兰波			

编 写	谭跃进	廖良才	郭 波	李孟军	杨克巍
	郭滕达	熊 健	杨清清	姚 锋	刘 琦
	赵青松	迟 妍	翟军武	丛 飞	潘 鑫
	刘 琳	黄 亮	李树洲	郭盛桃	汪 勃
	郭 洁	杜向光	庄文义	丁 群	陈 罡
	王 智	姜 坤	国 际		

前 言

北斗卫星导航系统是中国着眼于国家安全和经济社会发展需要,自主建设、独立运行的卫星导航系统,是为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务的国家重要空间基础设施。

20 世纪后期,中国开始探索适合国情的卫星导航系统发展道路,逐步形成了三步走发展战略:2000 年年底,建成北斗一号系统,向中国提供服务;2012 年年底,建成北斗二号系统,向亚太地区提供服务;计划 2020 年前后,建成北斗全球系统,向全球提供服务。

作为北斗系统研制建设承上启下的北斗二号卫星工程,是我国迄今为止规模最大、复杂程度最高、建设周期最长的航天系统工程,是我国航天领域实现由“以航天器为中心”到“以系统为核心,面向应用、面向服务”转型的标志性工程,在我国航天发展史上具有重要里程碑意义,也将在世界航天工程和卫星导航发展史上留下光辉一页。成功的实践离不开科学的管理,从工程管理角度对该工程建设的管理工作进行系统总结很有必要。

为此,中国卫星导航系统管理办公室组织北斗二号卫星工程各大系统和国防科学技术大学信息系统与管理学院,编著了《北斗二号卫星工程系统工程管理》一书。该书从工程建设管理的视角,对北斗二号卫星导航系统的战略管理、需求工程、项目管理、技术状态管理、试验与评价管理、产品成熟度管理、综合集成管理、科技创新管理等方面进行了系统、深入、全面的介绍。这既是对工程建设管理工作的系统总结,也是后续工程实践的管理指南,还可作为其他复杂大型工程项目管理实践的重要参考。

时空信息是人们与生俱来的基本需求,它使我们的生活更加智能。北斗系统在十几年间,经历了从无到有、从有到优、从区域到全球拓展的跨越式发展,相关产品已广泛应用于交通运输、海洋渔业、水文监测、气象预报、测绘地理信息、森林防火、通信时统、电力调度、救灾减灾、应急搜救等领域,逐步渗透到人类社会生产和人们生活的方方面面,为经济社会的发展注入新的活力。随着北斗卫星导航系统不断发展和完善,必将为全球用户提供更加优质的服务。欢迎大家继续关心北斗,支持北斗!



2017 年 1 月

V

目 录

第1章 绪论	1
1.1 北斗卫星导航系统发展概况	1
1.1.1 北斗一号卫星导航系统	1
1.1.2 北斗二号卫星导航系统	2
1.2 北斗二号卫星导航系统和工程建设特点	7
1.2.1 系统的特点	8
1.2.2 工程建设的特点	9
1.3 国外卫星导航系统管理概况	11
1.3.1 美国 GPS	11
1.3.2 俄罗斯 GLONASS	13
1.3.3 主要管理启示	14
1.4 北斗二号卫星工程管理面临的挑战	15
1.5 北斗二号卫星工程管理措施与成果	19
1.5.1 北斗二号卫星工程管理措施	19
1.5.2 北斗二号卫星工程管理成果	21
1.6 本书目标定位和篇章结构	24
第2章 北斗卫星导航系统工程管理知识体系	27
2.1 卫星导航系统工程	27
2.1.1 卫星导航系统的概念	27
2.1.2 卫星导航系统的特点	28
2.1.3 卫星导航系统工程理论方法	30
2.2 卫星导航系统项目管理	40
2.2.1 卫星导航系统项目管理的基本概念	40
2.2.2 卫星导航系统项目管理的基本内容	43

2.3	卫星导航系统工程与项目管理	45
2.3.1	系统工程与项目管理的关系	45
2.3.2	北斗二号卫星导航系统工程+项目管理的知识体系	48
第3章	北斗卫星导航系统工程战略管理	54
3.1	战略管理概述	54
3.2	战略定位	56
3.2.1	战略环境分析	57
3.2.2	战略目标和总体思路	64
3.3	战略选择	64
3.3.1	战略选择的原则	65
3.3.2	分阶段发展战略	66
3.3.3	特色优势战略	66
3.3.4	自主创新战略	67
3.3.5	国际合作战略	67
3.3.6	应用推广与产业化战略	68
3.4	战略实施	70
3.4.1	分阶段发展战略实施	70
3.4.2	特色优势战略实施	71
3.4.3	自主创新战略实施	73
3.4.4	国际合作战略实施	75
3.4.5	应用推广与产业化发展战略实施	78
3.5	战略调整	81
第4章	北斗二号卫星导航系统需求工程	83
4.1	需求工程概述	83
4.1.1	需求与需求工程	83
4.1.2	北斗二号卫星导航系统需求与需求工程	84
4.2	需求开发	86
4.2.1	业务领域分析	86
4.2.2	系统需求分析	90
4.2.3	技术需求分析	91
4.3	需求管理	92
4.3.1	系统的需求跟踪管理	93

4.3.2	系统的需求变更管理	94
4.3.3	系统的需求版本管理	95
4.3.4	系统的需求状态管理	96
4.4	需求工程实践经验总结	96
第5章	北斗二号卫星工程组织管理	98
5.1	组织管理概述	98
5.1.1	组织管理的概念	98
5.1.2	组织设计的原则和程序	99
5.1.3	北斗二号卫星工程组织管理的特点	100
5.1.4	北斗二号卫星工程组织管理的流程	101
5.2	组织结构设计	101
5.2.1	国家层次的组织结构设计	102
5.2.2	大总体层次的组织结构设计	103
5.2.3	系统层次的组织结构设计——以卫星系统为例	105
5.3	制度设计	108
5.3.1	产权制度	108
5.3.2	管理制度	110
5.3.3	组织制度	112
5.4	组织文化	113
5.4.1	组织文化的产生	113
5.4.2	组织文化的构成	114
5.4.3	组织文化的渗透	118
5.5	组织管理创新与经验总结	120
5.5.1	组织管理创新	120
5.5.2	组织管理经验	121
第6章	北斗二号卫星工程建设任务管理	123
6.1	任务管理概述	123
6.1.1	任务管理基本概念	123
6.1.2	建设任务及特点	124
6.1.3	以系统为核心的北斗二号卫星工程项目群任务管理	125
6.2	基于PWBS的北斗二号卫星工程建设任务分解	127
6.2.1	工作分解结构概述	127

6.2.2	基于项目群全寿命周期的 PWBS 分解原则及流程	129
6.2.3	北斗二号卫星工程项目群工作分解结构	130
6.3	北斗二号卫星工程任务管理实践	132
6.3.1	工程大总体建设任务管理实践	132
6.3.2	卫星系统建设任务管理实践	134
6.3.3	运载火箭系统建设任务管理实践	136
第 7 章	北斗二号卫星工程进度管理	138
7.1	进度管理概述	138
7.1.1	项目进度管理概述	138
7.1.2	北斗二号卫星工程进度管理的特点	140
7.2	进度计划体系	141
7.2.1	进度计划的分类	141
7.2.2	不同进度计划的关系	143
7.3	进度计划制定	145
7.3.1	工程大总体进度计划制定	145
7.3.2	卫星系统进度计划制定	148
7.3.3	运载火箭系统进度计划制定	151
7.4	进度控制	154
7.4.1	工程大总体进度控制	154
7.4.2	卫星系统进度计划控制	156
7.4.3	运载火箭系统进度计划控制	160
7.5	进度管理经验总结	167
第 8 章	北斗二号卫星工程费用管理	170
8.1	费用管理概述	170
8.1.1	项目费用管理的基本概念	170
8.1.2	项目费用管理的方法	170
8.1.3	北斗二号卫星工程费用的特点	172
8.1.4	北斗二号卫星工程费用管理面临的问题	172
8.2	费用管理体系设计	172
8.2.1	北斗二号卫星工程费用管理的特点及基本思路	173
8.2.2	北斗二号卫星工程费用管理体系构建	174
8.3	费用管理实施方案	178

8.3.1	北斗二号卫星工程方案阶段的费用管理	178
8.3.2	北斗二号卫星工程研制阶段的费用管理	182
8.3.3	北斗二号卫星工程费用的决算与审计	186
第9章	北斗二号卫星工程质量与可靠性管理	187
9.1	质量与可靠性管理的基本理论	187
9.1.1	质量管理基本理论	187
9.1.2	可靠性管理概述	189
9.2	工程质量管理	191
9.2.1	质量策划	191
9.2.2	质量控制	192
9.2.3	质量保证	194
9.2.4	质量改进	196
9.3	工程质量管理体系	198
9.3.1	质量管理组织体系	198
9.3.2	质量管理标准体系	200
9.4	系统可靠性管理	201
9.4.1	可靠性工程管理	201
9.4.2	PFMEA 在导航批产卫星中的应用	205
9.5	质量与可靠性管理经验总结	207
第10章	北斗二号卫星工程风险管理	210
10.1	风险管理概述	210
10.1.1	风险的概念	210
10.1.2	风险管理过程模型	211
10.1.3	风险管理组织	215
10.2	风险管理规划	215
10.2.1	风险管理的目标	216
10.2.2	风险管理规划的依据	217
10.2.3	风险管理规划的工作内容	217
10.3	风险分析与应对	218
10.3.1	风险识别方法	218
10.3.2	风险评估方法	220
10.3.3	风险等级确定方法	222

10.3.4	风险应对方法	223
10.4	风险监控	224
10.4.1	风险监控依据	225
10.4.2	风险监控技术	225
10.4.3	风险监控过程	226
10.5	风险管理实践	227
10.5.1	基于风险事件工作包的风险管理规划	227
10.5.2	基于层次全息建模(HHM)的风险识别	228
10.5.3	运载火箭系统的风险预控与全过程风险管理	230
10.5.4	卫星发射“零窗口”风险管理	237
第 11 章	北斗二号卫星工程采购与合同管理	240
11.1	采购与合同管理概述	240
11.1.1	北斗二号卫星工程采购管理的特点	240
11.1.2	北斗二号卫星工程采购合同的特点	241
11.1.3	北斗二号卫星工程合同管理的特点	242
11.2	采购管理	243
11.2.1	采购管理措施	243
11.2.2	采购程序	244
11.3	建设承制单位管理	248
11.3.1	建设承制单位筛选	248
11.3.2	建设承制单位信息管理	249
11.3.3	建设承制单位选择评价	251
11.4	合同管理	253
11.4.1	建设合同管理体制	254
11.4.2	合同类型及其选择	254
11.4.3	合同设计原则	256
11.4.4	合同监管	257
11.4.5	合同管理创新	259
第 12 章	北斗二号卫星工程信息沟通管理	262
12.1	信息沟通管理概述	262
12.1.1	信息沟通含义和过程	262
12.1.2	信息沟通形式	263

12.1.3	北斗二号卫星工程信息沟通管理的流程	263
12.1.4	北斗二号卫星工程信息沟通管理的特点	264
12.2	信息沟通需求分析	265
12.3	信息沟通形式确定	267
12.4	信息沟通计划编制	273
12.5	信息沟通计划实施	276
12.5.1	信息加工与传递	276
12.5.2	信息分发	278
12.6	文档管理	279
12.6.1	文档管理组织	280
12.6.2	归档及规范要求	280
12.6.3	文档的借阅、利用和销毁	281
12.7	信息沟通管理创新与经验总结	282
12.7.1	信息沟通管理创新	282
12.7.2	信息沟通管理经验	282
第 13 章	北斗二号卫星工程技术状态管理	284
13.1	技术状态管理概述	284
13.1.1	基本概念	284
13.1.2	技术状态的类型	285
13.1.3	技术状态管理的主要活动	286
13.1.4	北斗二号卫星导航系统技术状态的层次体系	288
13.1.5	北斗二号卫星导航系统技术状态管理的特点	289
13.2	工程总体技术状态管理	290
13.2.1	工程总体技术状态管理组织机构	290
13.2.2	工程总体技术状态管理活动	290
13.3	系统技术状态管理	291
13.3.1	系统技术状态管理概述	291
13.3.2	卫星系统技术状态管理体系	291
13.4	分系统技术状态管理	293
13.4.1	分系统技术状态管理概述	293
13.4.2	运载火箭系统一、二级发动机分系统地面 试验项目技术状态管理体系	294
13.5	技术状态管理经验总结	300

第 14 章 北斗二号卫星工程试验与评价管理	302
14.1 试验与评价管理概述	302
14.1.1 试验与评价管理的相关概念	302
14.1.2 试验与评价的地位与作用	305
14.1.3 试验与评价的原则	307
14.1.4 导航系统试验与评价管理的基本内容	311
14.2 试验的分类管理	316
14.2.1 根据试验考核目标分类	317
14.2.2 根据试验考核对象分类	318
14.2.3 根据性能指标分析分类	319
14.2.4 导航系统的矩阵式试验管理	321
14.3 试验与评价流程管理	323
14.3.1 试验任务计划阶段	323
14.3.2 试验任务准备阶段	325
14.3.3 试验任务实施阶段	327
14.3.4 数据处理阶段	328
14.3.5 总结评估阶段	330
14.3.6 导航系统试验大纲的主要内容	331
14.4 试验与评价管理经验总结	334
第 15 章 北斗二号卫星工程产品成熟度管理	338
15.1 产品成熟度管理概述	338
15.1.1 产品成熟度的概念	338
15.1.2 产品成熟度进阶模型	339
15.1.3 产品成熟度评价的作用	342
15.2 产品成熟度评价的目标与原则	343
15.2.1 产品成熟度评价的目标	343
15.2.2 产品成熟度评价的原则	344
15.3 产品成熟度评价要素与准则	345
15.3.1 产品成熟度评价要素	345
15.3.2 产品成熟度评价准则矩阵	346
15.4 产品成熟度管理实践	348
15.4.1 产品成熟度分级评价的前期准备工作	348

15.4.2	产品成熟度评价工作流程	350
15.4.3	产品成熟度评价实施	351
15.4.4	产品成熟度持续改进	355
第16章 北斗二号卫星工程综合集成管理		356
16.1	综合集成管理概述	356
16.1.1	综合集成管理的基本概念	356
16.1.2	北斗二号卫星工程综合集成管理的特点	359
16.2	综合集成管理的内容与模式	360
16.2.1	综合集成管理的内容	360
16.2.2	工程大总体综合集成管理模式	362
16.3	基于接口控制的多系统集成管理	363
16.3.1	接口关系分析与设计	364
16.3.2	接口控制文件	364
16.3.3	接口验证	364
16.4	基于性能评估的多阶段集成管理	366
16.4.1	监测评估系统建设	367
16.4.2	工程论证、工程研制、组网运行阶段之间的衔接	367
16.4.3	研制尽快向应用推广转换	368
16.4.4	北斗一号向北斗二号的过渡	369
16.5	基于综合权衡的多要素集成管理	369
16.5.1	综合权衡决策的一般步骤	370
16.5.2	基于综合权衡的一箭双星发射流程优化决策	370
16.6	综合集成管理创新与经验总结	373
16.6.1	综合集成管理创新	373
16.6.2	综合集成管理经验	374
第17章 北斗二号卫星工程科技创新管理		377
17.1	科技创新管理概述	377
17.1.1	科技创新管理的内涵	377
17.1.2	科技创新管理的模式	378
17.1.3	科技创新管理的方法	379
17.2	科技创新战略	380
17.2.1	融合创新战略	380

17.2.2	集成创新战略	381
17.2.3	自主创新战略	382
17.2.4	二次创新战略	382
17.2.5	持续创新战略	383
17.3	科技创新人才管理	383
17.3.1	教育培训体制	384
17.3.2	人员激励制度	385
17.3.3	绩效考核制度	386
17.3.4	创新团队建设	388
17.4	科技创新文化管理	391
17.4.1	创新文化管理内涵	391
17.4.2	创新文化管理过程	392
17.4.3	北斗创新文化设计	394
17.5	科技创新知识管理	395
17.5.1	合作研发知识创新管理机理	396
17.5.2	知识创新管理的实施	397
17.6	科技创新管理机制设计和经验总结	398
17.6.1	科技创新管理组织体制设计	398
17.6.2	科技创新竞争机制设计	399
17.6.3	科技创新管理经验总结	399
附录 缩略语		401
参考文献		405
后记		409

第1章 绪 论

卫星导航系统可提供高精度、全天时、全天候的定位、测速和授时服务,是国民经济和社会发展不可或缺的重要空间基础设施,在国民经济和国防建设的众多领域应用非常广泛。世界主要大国对卫星导航系统的建设和发展都非常重视,美国和俄罗斯相继建成了全球定位系统 GPS (Global Positioning System) 和全球导航卫星系统 GLONASS (Global Navigation Satellite System), 欧盟正在建设 Galileo (伽利略) 系统。此外,日本、印度等国家的区域卫星导航系统也正在建设之中。为保障国家安全,促进经济社会可持续发展,增强综合国力,实现从航天大国到航天强国的转变,我国制定了卫星导航系统“三步走”的发展战略。在 2000 年建成了北斗一号卫星导航系统,实现了第一步发展目标,成为世界上第三个拥有自主卫星导航系统的国家;2004 年,我国正式启动建设北斗二号卫星导航系统,经过 8 年努力,于 2012 年 12 月 27 日正式提供区域运行服务,实现了第二步发展目标,为建设覆盖全球的北斗卫星导航系统奠定了良好的基础;预计到 2020 年,我国将建成覆盖全球的北斗卫星导航系统,完成“三步走”发展战略目标。这是我国航天史上一项建设投资规模大、研制周期长、技术非常复杂的重大科技工程和系统工程。北斗二号卫星导航系统建设实践表明,充分认识系统建设的特点和规律,综合运用系统工程和现代项目管理的理论方法,创新管理模式,构建科学的北斗卫星导航系统工程管理体系,为工程建设顺利完成提供了重要保证。

1.1 北斗卫星导航系统发展概况

20 世纪 60 年代末,我国就开始在卫星导航系统上进行探索,20 世纪 80 年代开始进行演示验证试验。1994 年正式建设北斗一号卫星导航系统。在此基础上,2004 年正式开始建设北斗二号卫星导航系统。2012 年底,北斗二号卫星导航系统建成并正式投入运行,为我国及周边地区提供定位、测速、授时和双向短报文通信服务。

1.1.1 北斗一号卫星导航系统

北斗一号卫星导航系统是我国自主研制建设北斗卫星导航系统“三步走”发

展规划的第一步,是基于双星定位原理的卫星导航试验系统,通过利用地球同步卫星对目标实施快速定位。

我国双星定位系统的方案在 20 世纪 80 年代初期提出。北斗一号卫星工程于 1994 年正式立项建设。2000 年,我国发射了两颗北斗一号卫星,并投入运行。这标志着北斗一号卫星导航系统的正式建成,中国成为继美国、俄罗斯之后世界上第三个拥有自主卫星导航系统的国家。为提高系统运行的可靠性,2003 年,我国又发射了一颗北斗一号备份星。

北斗一号卫星导航系统的服务范围为我国及周边地区,是一种全天候、全天时、高精度的区域导航系统。系统具有如下三大主要功能:

(1) 快速定位。系统可为服务区内用户提供全天候、高精度、快速实时定位(可在 1s 之内完成)服务,水平定位精度为 100m,有标校的地区为 20m。

(2) 精密授时。系统具有单向和双向两种授时功能,单向授时精度 100ns,双向授时精度 20ns。

(3) 短报文通信。用户间、用户与中心控制系统间均可实现双向短报文通信,一次最多可传送 120 个汉字的信息。

北斗一号卫星导航系统具有卫星数量少、投资小,能实现区域的导航定位、通信等功能,初步满足了我国陆、海、空运输导航定位的使用需求,特别是在 2008 年南方冰冻灾害、汶川地震、2010 年玉树地震等抢险救灾中发挥了重要作用。北斗一号卫星导航系统是我国独立自主建立的卫星导航系统,解决了中国自主卫星导航系统的有无问题。

1.1.2 北斗二号卫星导航系统

由于受系统工作体制的限制,北斗一号卫星导航系统不具备无源定位和测速功能,且系统容量有限。为全面满足用户的需要,我国在北斗一号卫星导航系统的基础上,研制建设了北斗二号卫星导航系统。

1. 建设目标

北斗二号卫星导航系统的目标是建成能在我国及周边地区提供导航定位、测速和授时功能,满足用户导航定位需求,在服务区内与美国 GPS、俄罗斯 GLONASS 性能相当,并具有短报文通信能力的卫星导航系统。

2. 系统组成、工作过程和基本体制

1) 系统组成

北斗二号卫星导航系统由空间段、地面控制段和用户段三大部分组成。空间段是由导航卫星构成的导航星座。根据系统发展的原则与思路,综合考虑国家的经济承受能力、技术基础与科研生产能力,经过多方案的优选,北斗二号卫星导航