

# 太空安全 防御技术

◇ 隋起胜 张洪太 陈小前 等著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 太空安全防御技术

隋起胜 张洪太 陈小前 等著

国防工业出版社

·北京·

## 内容简介

本书围绕太空安全防御的一些重大问题介绍相关技术和方法,从系统级或体系上去思考太空安全防御技术的发展,有益于读者更好地认识太空、理解太空和利用太空。内容包括来自太空的威胁,航天器轨道基础,空间目标态势感知技术,空间目标编目技术,天基导弹预警技术,导弹防御系统,太空资产碰撞防御技术,太空资产自身防护技术,太空安全防御中心、太空安全防御仿真与试验技术等。

本书可作为从事太空安全战略和太空安全防御技术研究的研究人员和工程技术人员参考书,也可作为高等院校相关专业研究生的辅助教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

太空安全防御技术 / 隋起胜等著. —北京:国防工业出版社,2018.6

ISBN 978-7-118-11552-9

I. ①太… II. ①隋… III. ①航天器防御系统 IV. ①TJ86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 088871 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)

天津嘉恒印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 插页 4 印张 15 字数 288 千字

2018 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 79.00 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

## 撰写人员名单

### 写作组

组 长： 隋起胜 张洪太  
副组长： 陈宏敏 陈小前 马 佳 董光亮 周志成  
成 员： 张荣之 仲小清 徐 东 唐歌实 汪 备  
张洪波 高彦平 白广周 李 强 刘春保  
杨 洋 梁新刚 梁彦刚 朱彦伟 慈元卓  
刘 磊 胡文华 孙 博 张育卫 杜新鹏  
张宝恒

### 审校组

组 长： 张士峰  
成 员： 白光明 冯 刚 高景丽 侯育卓 蒋文婷  
李 涛 李新刚 刘 也 苗春林 裴胜伟  
曲广吉 宋 博 宋克章 王鲲鹏 王秀红  
王亚琼 肖余之 张 伟

## 前 言

20 世纪 50 年代发展起来的太空技术,将人类活动拓展到离地面 100km 以上的太空,极大地改变了社会的生产方式、提高了人们的生活水平、深刻影响和改变了现代战争面貌及发展轨迹。国家的安全不再仅限于领土、领海和领空,而进一步延伸到了浩瀚的太空。所谓太空安全,是指保护国家的太空资产不受侵犯,并有效应对来自太空的威胁。由于太空系统本身固有的脆弱性,如系统复杂、容易受损,运动规律固定、费用昂贵、快速响应和维修补给能力有限等,使得太空安全问题十分复杂。进入 21 世纪以来,太空安全已成为世界各国关心的重大现实问题。

太空安全防御内容丰富、涉猎面广,本书主要围绕太空安全防御的一些重大问题介绍相关技术和方法。一是空间目标态势感知技术。空间目标态势感知网络是太空安全体系的重要组成部分,是太空安全的基础设施,是太空安全防御体系的支撑,没有及时有效的空间目标态势感知,就不可能有强大的防御能力,也就没有太空安全。因此构建太空安全防御体系的首要任务是发展空间目标态势感知网络,其主要承担空间目标的探测、识别、编目和监视。书中第 3 章、第 4 章重点阐述了天基空间目标态势感知系统的设计方法和空间目标编目技术。二是导弹预警。导弹是经过太空的最大威胁,应对这种威胁的前提和基础是必须有可信的导弹预警系统。第 5 章在借鉴国际上较成熟的导弹预警技术基础上着眼准确预警、全程跟踪、全球覆盖需求,分助推段和中段两种情况介绍天基预警系统技术。三是反导系统。反导是人们十分关心的技术领域,尤其是航天强国已突破了地基反导技术,建成了反导系统。但对天基反导,从美国 1983 年在其星球大战计划中提出这一概念以来,虽然常常有些文章支持这种观点,至今未见天基反导系统进展情况报道。第 6 章介绍了几个典型的地基反导系统,在理论上分析了天基反导的难点和问题,从技术和经济的角度认为现阶段难以实现天基反导系统。但书中提出的技术路线和星座设计方法对其他天基系统的构建很有参考价值。四是维护太空资产的安全运行和稳定工作。确保在轨航天器的安全运行和稳定工作,是大力发展并高效利用太空资源的基础,在不远的将来航天服务会遍及国民经济和社会发展的各个领域,人们对太空的依赖越来越紧密。因而,加强太空资产防御,不仅关乎太空安全,也关乎国民经济和社会发展。第 7、第 8 两章从碰撞预警规避系统和航天器自身两个方面介绍了太空资产防护技术。

航天系统的显著特点是天地一体,为了技术完整性,书中也介绍了太空安全防御中心、太空不安全因素、防御系统试验和仿真以及航天器轨道等理论和技术。

本书围绕太空防御这个主题,重点阐述了防御系统及星座的构建理论和设计方法,从系统级或体系上去思考太空安全防御技术的发展。这将有益于读者更好地认识太空、利用太空、遵循太空规律、建立太空思维,在茫茫太空放飞创新思想、贡献聪明才智。

本书在撰写过程中得到了徐蓉、张淑琴、梁华、张玄、侯宇、彭胜军、寇鹏、张瑞、李云飞、魏祥泉、卫国宁、高晓升等专家学者的大力支持和帮助,在此一并致以衷心的感谢。

由于作者能力有限,书中难免有不当和错误之处,恳请读者批评指正。

作者

二〇一七年九月

# 目 录

第 1 章 太空不安全因素	1
1.1 太空与太空安全	1
1.1.1 太空	1
1.1.2 太空安全	1
1.2 空间碎片	3
1.2.1 空间碎片的含义	3
1.2.2 空间碎片的来源及演化	4
1.2.3 空间碎片的威胁	6
1.3 在轨航天器间的相互影响	8
1.3.1 在轨航天器的轨道和信号频率分布	8
1.3.2 航天器间的碰撞	9
1.3.3 航天器间的干扰	10
1.4 天基军事侦察	12
1.5 弹道导弹	13
1.5.1 飞行阶段的划分及特点	14
1.5.2 中段的运动特性	15
1.6 太空安全防御系统体系	16
参考文献	17
第 2 章 航天器轨道基础	19
2.1 航天器轨道	19
2.1.1 开普勒定律	19
2.1.2 轨道根数	19
2.1.3 轨道摄动	20
2.2 时间系统	24
2.2.1 时间尺度	24
2.2.2 时间转换	27
2.3 坐标系统	28
2.3.1 参考系和参考框架	28
2.3.2 坐标转换	30

2.4	轨道应用 .....	34
2.4.1	轨道类型 .....	34
2.4.2	卫星星座 .....	35
2.4.3	编队飞行 .....	38
2.5	轨道机动 .....	42
2.5.1	机动类型与计算 .....	42
2.5.2	轨道机动方式 .....	43
2.6	轨道确定 .....	49
2.6.1	数学模型 .....	49
2.6.2	估值方法 .....	51
	参考文献 .....	53
<b>第3章</b>	<b>空间目标态势感知技术 .....</b>	<b>56</b>
3.1	空间目标态势感知定义和内涵 .....	56
3.2	地基空间目标探测技术 .....	57
3.2.1	空间目标探测雷达 .....	57
3.2.2	空间目标观测望远镜 .....	62
3.3	天基空间目标探测系统 .....	69
3.3.1	天基探测概述 .....	69
3.3.2	空间目标的分布特性 .....	71
3.3.3	天基探测系统主要指标 .....	71
3.3.4	天基高轨目标探测 .....	73
3.3.5	天基低轨目标探测 .....	77
	参考文献 .....	83
<b>第4章</b>	<b>空间目标编目 .....</b>	<b>84</b>
4.1	概述 .....	84
4.2	空间目标轨道计算 .....	84
4.2.1	数据预处理 .....	84
4.2.2	编目轨道 .....	88
4.2.3	基于天基观测的定轨 .....	92
4.3	空间目标识别 .....	93
4.3.1	轨道识别 .....	94
4.3.2	光学特性识别 .....	96
4.3.3	雷达特性识别 .....	104
4.4	空间目标融合识别与编目管理 .....	114
4.4.1	多源信息融合识别 .....	114

4.4.2	空间目标编目管理	115
	参考文献	116
<b>第5章</b>	<b>天基导弹预警系统</b>	<b>118</b>
5.1	概述	118
5.2	弹道导弹预警探测特点分析	120
5.3	天基导弹预警系统主要指标	121
5.4	天基助推段导弹预警	122
5.4.1	助推段探测方式	122
5.4.2	基于全球覆盖的助推段探测	123
5.4.3	基于弹道预报精度最优的助推段探测	124
5.4.4	极地区域助推段探测	126
5.5	天基中段导弹预警	127
5.5.1	中段探测方式	127
5.5.2	大气临边探测全空域覆盖设计	128
5.5.3	中段探测星座设计	129
5.6	系统设想	130
	参考文献	131
<b>第6章</b>	<b>导弹防御系统</b>	<b>133</b>
6.1	地基导弹防御	133
6.1.1	地基末段防御系统概述	133
6.1.2	地基末段导弹防御分析	139
6.2	全程导弹防御体系	143
6.2.1	全程导弹防御体系组成	143
6.2.2	全程导弹防御体系运用	144
6.3	天基导弹防御概念来源	148
6.4	天基助推段导弹防御分析	148
6.4.1	助推段防御过程分析	148
6.4.2	助推段拦截区域分析	149
6.4.3	天基平台助推段拦截能力需求	149
6.4.4	助推段防御星座规模分析	151
6.5	天基中段导弹防御分析	155
6.5.1	天基平台中段拦截能力需求	156
6.5.2	中段防御星座规模分析	157
6.6	结论	159
	参考文献	159

第7章	太空资产碰撞防御	161
7.1	碰撞防御预警系统组成	161
7.1.1	空间碰撞预警系统	162
7.1.2	新增目标应急识别系统	162
7.1.3	航天器规避系统	163
7.2	碰撞防护预警	164
7.2.1	预警策略	164
7.2.2	预警方法	164
7.2.3	预警置信度	166
7.3	碰撞预警流程	168
7.3.1	长期在轨目标预警流程	168
7.3.2	新增目标预警流程	170
7.4	航天器规避方法与效果评估	171
7.4.1	航天器规避长期驻留目标方法	172
7.4.2	航天器应急规避新增目标方法	172
7.4.3	航天器规避效果评估	175
	参考文献	176
第8章	太空资产自身防护	177
8.1	概述	177
8.2	空间环境对航天器的影响	178
8.2.1	空间辐射环境	178
8.2.2	空间热环境	181
8.3	航天器自身防护技术	182
8.3.1	抗辐射技术	182
8.3.2	电磁防护技术	184
8.3.3	光学防护技术	189
8.4	空间弹性系统	191
8.4.1	技术背景	191
8.4.2	技术途径	192
8.4.3	应用介绍	193
	参考文献	194
第9章	太空安全防御中心	195
9.1	太空态势感知中心	195
9.1.1	系统架构	196
9.1.2	工作流程	198

9.2	导弹预警系统控制中心	199
9.2.1	天基信息处理与预警信息生成	200
9.2.2	天基系统运行维护	200
9.3	反导任务规划与辅助决策中心	201
9.3.1	任务规划系统	201
9.3.2	辅助决策技术	203
9.3.3	典型运行流程	207
9.4	指挥显示系统	209
9.5	数据通信系统	209
	参考文献	210
<b>第10章</b>	<b>太空安全防御仿真与试验技术</b>	<b>211</b>
10.1	概述	211
10.2	太空安全防御系统仿真技术	211
10.2.1	仿真系统功能	212
10.2.2	目标导弹模拟分系统	213
10.2.3	导弹预警模拟分系统	214
10.2.4	空间目标模拟分系统	215
10.2.5	空间目标态势感知模拟分系统	216
10.2.6	地基导弹防御模拟分系统	217
10.2.7	仿真系统运用实例	218
10.3	太空安全防御系统试验	219
10.3.1	天基态势感知系统试验	219
10.3.2	导弹预警系统和反导系统试验	225
10.3.3	太空资产安全防护系统试验	228
	参考文献	229

# 第 1 章 太空不安全因素

## 1.1 太空与太空安全

### 1.1.1 太空

地球被一层稠密的大气覆盖,大气层之外的领域称为外层空间。“外层空间”常简称为“空间”,也常称为“太空”“外空”。

太空的上边界可延伸至无限远,但下边界是太空定义中经常讨论的问题,因为这和一个国家的主权相关。1919 年的《巴黎航空公约》和 1944 年的《国际民用航空公约》中规定:各国对其领陆和领水上空的全部空气空间(也即通常所说的领空)具有“完全的和排他的主权”,这一规定已成为现代国际法公认的原则。如果一个国家的飞机在其他国家没有同意的情况下,进入对方的领空属于侵权行为,是违反国际原则的。但是一个国家的卫星可以在另一个国家领空之上的太空中自由飞行,也即太空不属于某个国家的主权范围。

因此,领空离地表的高度为多少至关重要。对于这一问题,国际法学界争论甚多,至今还没有定论。1960 年,“国际航空联合会”在西班牙巴塞罗那开会时规定:以 100km 的高度为大气层的上界。这一说法得到国际社会的普遍认可。

从科学技术的角度看,将划分大气层与太空的高度规定为离地表 100km 也是比较合适的。因为 100km 以上的空间已接近于真空,飞行器在这一高度以上飞行和在大气层中相比较,由于大气极为稀薄,飞行速度不会因为大气阻力的作用而显著地降低。当飞行器的速度达到第一宇宙速度后,可以在外层空间依靠惯性作长时间无动力的自由飞行,成为地球的人造卫星。实际上,考虑卫星寿命的要求,通常卫星的飞行高度在距离地球表面 300km 以上。

因此,本书将太空定义为:太空开始于大气层的上界,大约高出地球表面 100km,并向外延伸到无穷远。

### 1.1.2 太空安全

太空蕴含着巨大的战略利益,关乎着国家安全、经济安全与国家利益。太空具有疆域广阔、位置高远、环境特殊、资源宝贵等特点,对解决人类社会面临的资源与环境问题,对国家关键信息基础设施建设,对科学探索和国家新兴技术与产业的发

展都具有十分重要的作用。

太空技术的出现与发展,在改变社会的生产生活方式、提高人民的生活水平、推动世界新军事变革等方面也都产生了重大而深远的影响。在国民经济方面,导航卫星、通信卫星、气象卫星等各类卫星深刻而广泛地改变了人民的生活,成为信息社会发展和进步不可缺少的组成部分;在军事应用方面,战场情报获取、战场大容量实时通信、战场气象信息获取、远程精确打击武器等都离不开太空系统的支持,因此太空安全已经成为国家安全的重要组成部分。与领土安全、领空安全等国家安全的其他部分相比,太空系统本身存在固有的脆弱性,这加剧了太空安全问题的复杂性和严重性。进入 21 世纪以来,太空安全问题已成为世界各国关心的重大现实问题。

在本书中,将太空安全定义为保护国家的太空资产、应对来自太空的威胁,它是国家安全的重要组成部分。太空安全涉及太空系统防护、空间环境保护、空间资源分配与管理等许多问题。

在太空安全的定义中,太空资产是指某一国家在开发和利用空间的过程中形成的各类财产的统称。它既包括太空系统的在轨部分如各类在轨卫星,也包括太空系统的信息链路和太空系统的地面设施如发射场、测控系统等。从广义上讲,由太空系统而形成的衍生产业如卫星通信产业、卫星导航产业等也都属于太空资产范畴。

太空安全主要包括以下三点内容:①太空资产不受破坏。在轨的卫星、空间站、空间探测器等系统不能遭到干扰和软、硬攻击,更不能被摧毁。②进出太空的能力不受破坏。火箭等空间运输系统进出太空、返回式卫星或载人飞船在返回地球的过程中不受干扰甚至截击;地面发射场、发射设施、指控中心等航天基础设施不能受到打击和破坏。③利用太空不受干扰。国家的太空应用活动不能受到外来因素的干扰和影响,星际、星地间信息链路不受干扰和破坏,地面应用系统不受攻击。

太空安全对解决国家发展面临的问题,对提高国家科技综合实力、提高国家信息安全水平、加快社会发展的现代化转型、保障军队信息化建设都具有重要意义。在社会发展方面,只有确保国家太空安全,对太空资源的开发利用才能得到安全保障,才能保证人民安全快捷地利用太空系统提供的各项便利,为经济可持续发展提供可靠的基础,同时可以借助发展太空系统牵引国家科技实力的整体进步。在军事应用方面,只有确保国家太空安全,才能保障太空军事系统的安全运行,太空系统在战场情报收集、战场信息保障、国家领土防御等方面的优势才能得到充分发挥,维护国家信息安全才能具备有效的手段和可靠的保障,国家发展的战略空间才能得到有效的拓展。

研究太空安全首先要分析太空不安全因素,在此基础上提出相应的防御体系。

太空不安全因素包括空间碎片、在轨航天器间的相互影响、弹道导弹等方面,下面逐节进行分析。

## 1.2 空间碎片

### 1.2.1 空间碎片的含义

空间碎片(Space Debris),又称为空间垃圾。1999年联合国和平利用外层空间委员会(外空委)空间碎片技术报告中关于空间碎片的定义是:“空间碎片系指位于地球轨道或重返大气稠密层不能发挥功能而且没有理由指望其能够发挥或继续发挥其原定功能,或经核准或可能核准的任何其他功能的所有人造物体包括其碎片及部件,不论是否能够查明其拥有者。”2001年,机构间空间碎片协调委员会(IADC)《空间碎片减缓指南》中对空间碎片的定义为:“空间碎片系指轨道上的或重返大气层的无功能人造物体,包括其残块和组件。”

自1957年人类发射第一颗人造卫星起,航天发射活动逐渐增多。截止到2016年底,人类共进行了近5300余次航天器发射活动,把6900余颗航天器送入轨道。在所有发射的航天器中只有不到1000颗还在有效服役,而其他的因丧失功能而变成了空间垃圾,不少已经陨落。据统计,已发生过260余次在轨航天器或火箭载体爆炸/撞击(破碎)事件,产生了数量众多的空间垃圾,形成了唯一一个人为外层空间环境——空间碎片环境。

空间碎片的存在始于1957年开始的人类航天活动,但对空间碎片的研究起始于20世纪70年代Kessler的工作。Kessler于1978年就预言了由于空间碎片的持续增多,空间将发生碎片级联碰撞,即“Kessler效应”(Kessler Syndrome),被称为空间碎片研究之父。他促成了NASA空间碎片计划的诞生并从1979—1996年一直担任该计划的高级科学家。然而直到1986年,欧洲大推力火箭“阿里安”在GTO的上面级撞上了美国和日本的卫星使之失效,空间碎片问题才走进了公众视线。1991年,国际宇航联合会(IAA)在其年会(IAC)上组织召开了首次空间碎片专题会议。2003年IAC召开了首次空间碎片和空间交通管理(Space Traffic Management)专题会议。2006年IAC召开了首次空间碎片减缓(Space Debris Mitigation)专题会议。为了协调各航天国家的统一行动,共同解决空间碎片问题,1993年成立了机构间空间碎片协调委员会(The Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, IADC)。IADC是具有国际普遍认可的空间碎片有关问题的权威性实体,是空间碎片研究和技术导向的国际组织。截止到2016年,IADC共有13个成员国,每年举行一次IADC大会,由其成员国轮流主办,并定期向联合国和平利用外太空委员会(UNCOPUOS)汇报工作。1995年,中国国家航天局正式加入了这一国际组

织,并于2014年由中国国家航天局主办了IADC大会。

### 1.2.2 空间碎片的来源及演化

空间碎片主要来源于完成任务的火箭箭体/卫星本体、固体火箭发动机喷射物、在执行航天任务过程中的废弃物以及解体的在轨废弃物等。在轨废弃物解体的原因可分为碰撞和爆炸两种,其中碰撞是在轨废弃物解体的主要原因。

空间碎片数目越来越大,给空间环境带来了极大的安全威胁和污染。截止到2016年底,美国空间监视网(SSN)给出已编目的空间物体共有42816个,其中仍在轨的有18683个。在轨目标中包括空间碎片12037个、火箭残骸2108个、载荷4499个,还有极少数无法识别的目标,大部分的空间目标和人造空间碎片都来自于美俄两国的航天器。当碎片的数量达到一定程度后,空间碎片的碰撞会发生级联效应,使空间碎片的数量急剧增加,甚至可能使近地空间无法再利用(Kessler效应)。

截止到2016年底,据估计地球周边大于10cm的空间碎片数量超过20000个,大于1cm的空间碎片超过20万个,空间碎片的总数量超过1亿。这些空间碎片主要密集分布在地球周边的三个轨道:距地距离在2000km以下的低轨区域、36000km的地球同步轨道区域和20000km的中高轨区域,其中在距地球600~1000km的位置最为密集,如图1-1所示。在800km和1400km高度上有两个峰,最大密度为 $1 \times 10^{-8}$ 个/ $\text{km}^3$ 。在18000km和地球同步轨道高度上也有较多的空间碎片,密度达到 $1 \times 10^{-10}$ 个/ $\text{km}^3$ ,地球同步轨道以外,空间碎片的密度急剧下降。

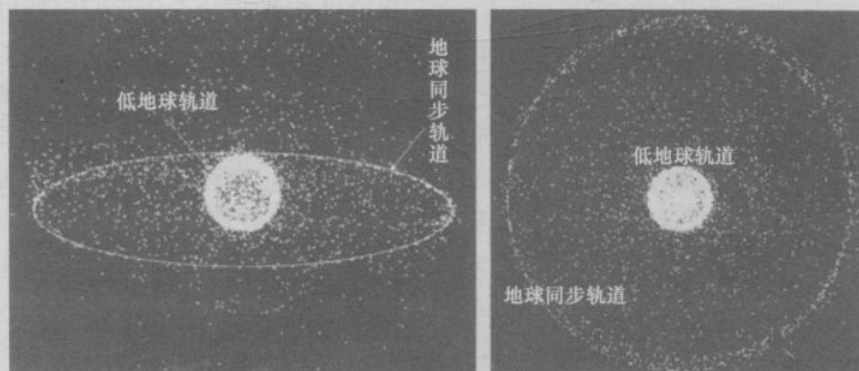


图1-1 空间碎片的轨道分布

碎片形成以后,在空间的演化遵循一定的规律,这里主要介绍碎片云的演化过程。碎片云是指集中在某一空间区域并由某单一物体破碎而形成的碎片集合。如果碎片是由两个物体破碎产生的,比如发生碰撞,那么将形成两个碎片云。

如图 1-2 所示,刚开始时,碎片云在沿着轨道运行时保持原样。但由于大气阻力和(或)太阳光压作用力的不同,碎片云将沿着轨道展开为一个超环状体。由于不同碎片间倾角的微小差异,每个碎片轨道的升交点赤经的进动速率也不同,并渐渐分散开。因此,碎片云具有沿着轨道及经线方向展开的趋势。



图 1-2 碎片云的演化过程

由于碰撞或爆炸而产生的轨道上的空间碎片云通常采用一种被称为甘伯德图的散布图来描述。如图 1-3 所示,甘伯德图以周期为横轴,绘制了碎片云中每个碎片的近地点高度及远地点高度的散布情况。轨道近地点和远地点高度的分布情况可用于推断碰撞位置及方向等信息。图中描述的是 1961 年 6 月 29 日“阿贝尔星”火箭上面级破碎形成的碎片云。这是美国空间监视网(SSN)所探测的第一次空间碎裂事件,它产生了 201 个空间碎片。事件大约发生在其三个有效载荷入轨后 77min,该火箭当时携带了 100kg 的自然推进剂以及具有安全范围的爆炸装置。

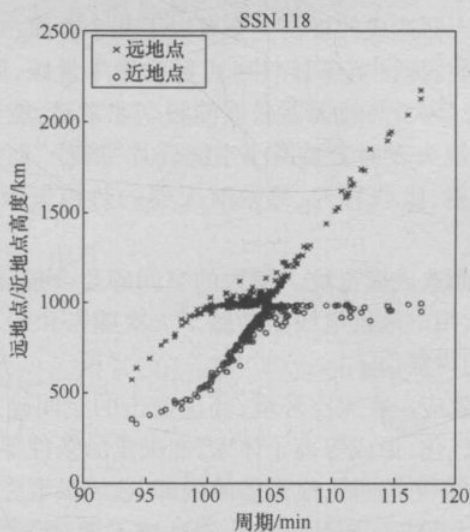


图 1-3 甘伯德图实例

### 1.2.3 空间碎片的威胁

通常按空间碎片尺寸的大小将其分为三类。

(1) 大碎片。尺寸大于 10cm, 主要包括: 废弃的卫星和运载火箭末级; 执行任务中的抛弃物品; 因碰撞、爆炸和解体产生的大碎片; 脱落的活动部件等。

(2) 危险碎片。尺寸在 1~10cm 之间, 包括: 任务相关物体, 如爆炸螺栓等; 高强度爆炸、碰撞产生的小碎片; 温控涂层表面退化脱落的大片漆片; 核反应堆泄漏的冷却剂; 其他脱落的活动部件, 如天线等。

(3) 小碎片。尺寸在 1cm 以下, 包括: 任务相关物体, 如爆炸螺栓产生的碎屑; 高强度爆炸、碰撞产生的碎屑; 固体火箭燃烧产物, 如  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒; 温控涂层表面退化脱落的微小漆片; 碎片碰撞产生的二次碎片云; 核反应堆冷却剂泄漏的产物。

不同尺寸空间碎片对航天器有不同程度的威胁, 通常, 对于小碎片, 采用被动屏蔽防护结构为航天器提供保护; 对于尺寸大碎片, 地基探测设备可以获得其轨道信息, 航天器根据预警信息进行规避机动; 对于危险碎片, 数量庞大, 并且地基探测设备不具备对其跟踪定轨的能力, 是载人航天器的重要威胁。由于空间碎片对航天器的撞击速度可高达  $15\text{km/s}$ , 一旦与航天器发生碰撞, 将损伤甚至直接摧毁在轨航天器, 具有过程短暂剧烈、后果无法挽回等特点。一块直径为 1cm 的铝质碎片的撞击能量相当于一颗手榴弹爆炸的能量, 足以粉碎一颗中等大小的卫星。而对于中等碎片和大碎片, 其动量很大, 任何航天器与其碰撞都将产生毁灭性的破坏后果, 必须加以避免。

而空间碎片对航天器造成的损伤主要有以下几个方面:

(1) 改变表面性能。微小空间碎片(直径为微米量级, 质量为微克量级), 由于其数量众多, 空间密度大, 与航天器碰撞的频率非常高, 能严重改变航天器的性能, 称为“沙蚀”, 光学镜头表面会被微小空间碎片“磨沙”而无法成像。对热控表面的撞击会改变其辐射、吸收特性, 导致航天器的热控失衡, 造成航天器温度的改变。

(2) 在航天器表面造成撞击坑。稍大的空间碎片会损坏航天器表面材料, 对表面器件造成损伤, 太阳能电池供电线路断路。二次撞击和深入航天器内部的撞击作用, 会造成航天器的内损伤。

(3) 等离子体云效应。在太空环境, 高速撞击的空间碎片本身及被撞击的航天器表面材料会发生气化, 形成等离子体云, 在失重的条件下等离子体云将依附在航天器表面四处游荡, 并可能进入航天器的内部, 造成供电失常, 形成航天器故障。

(4) 动量传递。大的空间碎片与航天器高速碰撞, 将巨大的动能传递给航天器, 使航天器的姿态改变, 甚至可能改变航天器的轨道。