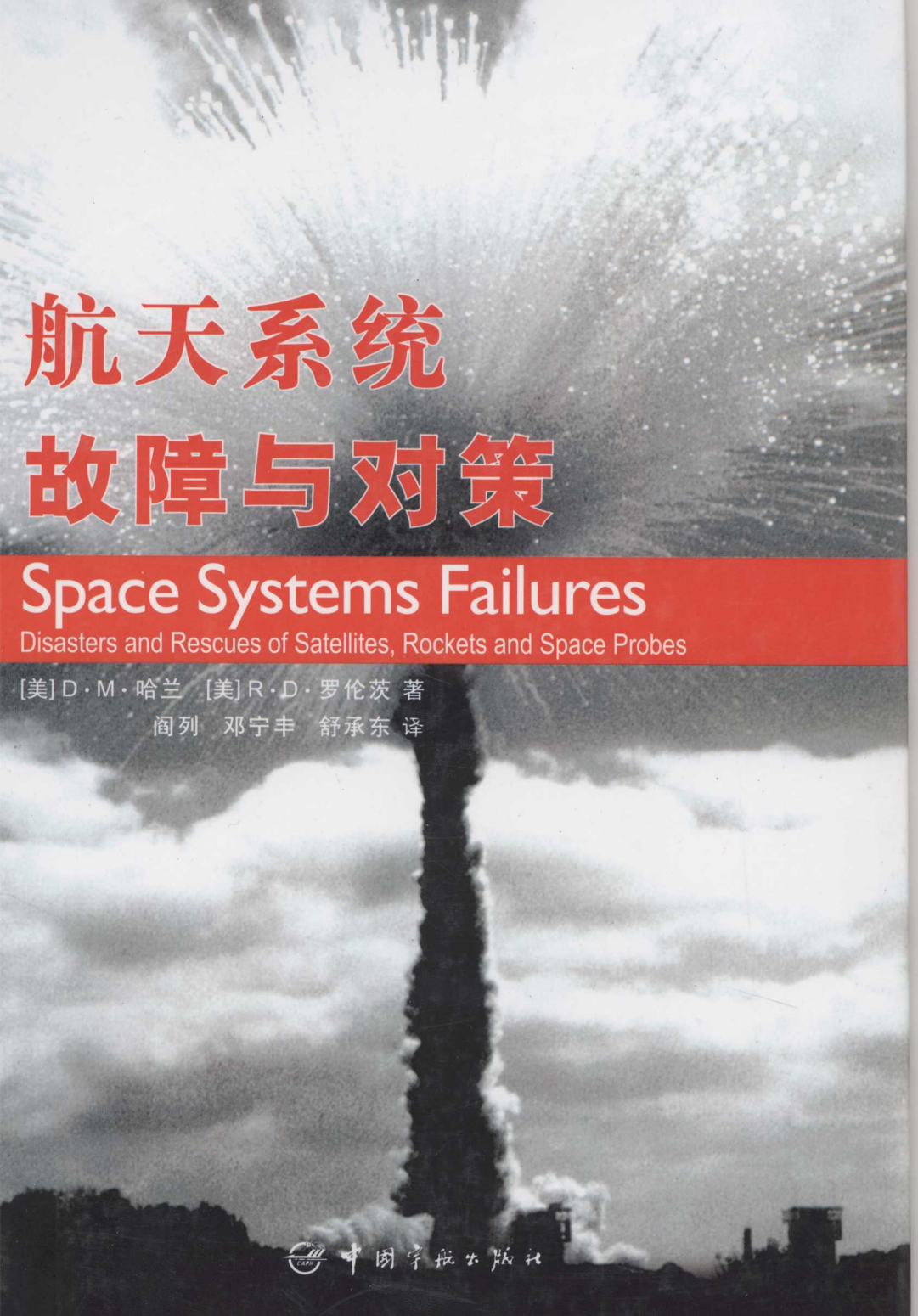




航天系统 故障与对策

Space Systems Failures

Disasters and Rescues of Satellites, Rockets and Space Probes

[美] D·M·哈兰 [美] R·D·罗伦茨 著

阎列 邓宁丰 舒承东 译



中国宇航出版社

航天系统故障与对策

[美]D·M·哈兰 [美]R·D·罗伦茨 著

阎列 邓宁丰 舒承东 译

 中国宇航出版社

·北京·

Translation from the English language edition:

Space Systems Failures by, David M. Harland and Ralph Lorenz

Copyright© 2005 Praxis Publishing Ltd.

Published by Springer-Verlag New York, Inc., in association with Praxis Publishing Ltd.

Springer is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

本书中文简体字版由著作权人授权中国宇航出版社独家出版发行, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书版权登记号: 图字: 01-2006-3939 号

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天系统故障与对策/(美)哈兰,(美)罗伦茨著; 阎列, 邓宁丰, 舒承东译. —北京: 中国宇航出版社, 2007. 5

ISBN 978-7-80218-168-2

I. 航... II. ①哈...②罗...③阎...④邓...⑤舒... III. 航天器-故障修复 IV. V467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 115289 号

策划编辑 邓宁丰

责任编辑 舒承东 封面设计 03 工舍

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com/www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

规格 880 × 1230 开本 1/32

印张 15 字数 432 千字

书号 ISBN 978-7-80218-168-2

定价 58.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部调换

作者前言

利用太空在通信、导航、遥感等方面为人类提供服务,以及在一定范围内对太空进行探索的活动,都是涉及到数十亿美元的商业活动。因此,风险是很大的,对有利可图的合同的竞争也无比激烈。航天工业界、政府部门,以及参与其中的各种经营实体,都不愿意把相关细节公布于众,更不愿透露有关航天器发生故障的真相。人们熟知的提高某一个企业公众形象的方法,就是罗列出这个企业参与过的航天项目,甚至是他们在失败的项目中曾经付出的努力。一般来讲,虽然在项目开始的时候,人们要做许多艰巨的工作来应对早期出现的各种紧急状况,但最终公众能够长久记住的,却是项目最终的成功。这也许是因为,太空与人类活动的其他领域没有什么不同之处。写作本书的时候,我们尽可能多地搜集了公开的记载航天器各种故障的文献,但读者一定要认识到,本书对航天器故障的调查,并不十分全面。虽然本书的主题是故障,但我们的目的并不是要指责航天项目的参与者。事实上,本书的意图是提倡大家应该在一定程度上忠实于事实,只有这样,才能真实地记录下故障产生的过程,以便其他人可以从中得到教训和启迪。我们必须强调,本书不是一本列举故障目录的书。航天器发生的许多故障是可以修复的,正是在努力修复的过程中,研制航天器的工程师们表现出了他们不可替代的作用。有一些例子,在航天器发生了似乎是无法挽回的故障后,过了几个星期却又重新恢复了功能,技术人员还在修复过程中得到了对航天器系统和操作技术有益的发现。说实话,如果故障不发生的话,人们还无法得到这些有益的发现。当然,也存在着一些由于人们忽视了曾经得到的教训而出现失败的悲惨事例。

人们常说,工程是一门艺术,有的人用一美元就能完成的东西,换

成一个傻子来做,就需要两美元了。书中描述的许多故障,都是由于过于紧凑的日程给技术人员带来了过大的压力,只允许他们用很少的时间来完成试验。还有一些情况下,由于财政方面的压力,迫使航天项目的决策者们,不是选用那些最合适的设计者,而是技术上并不占绝对优势的设计者。这并不是说,要提高航天器的可靠性,就一定要提高投入到项目中的资金,而是说,人们必须认识到,在一般情况下,削减项目的费用会相应地增加航天器发生故障的危险性。美国航空航天局(NASA)局长戈尔丁(Dan Goldin),在20世纪90年代初期,从实行的“快—好—省”的策略中,就已经清晰地认识到了这一点。他甚至更为极端,认为如果没有出现失败,那就说明NASA没有达到应有的努力。一些项目就是为了对更新的技术进行试验而进行的,虽然这样的项目发生故障的危险性有所增加,但这样做的目的,是为了进一步提高航天器项目的性价比。从某种程度上讲,这种说法无疑是一种托词,因为经历几次失败后,人们不再愿意失败的再次出现,于是往往又重新回到传统做法上去了。持有更加乐观、长远的观点的人们,可能会允许进行一些更富有冒险性的努力,为的是通过航天器更多的试验演示,能够得到低成本航天系统的真正的可靠性。这本书提到的一些航天系统故障的例子,其失败的直接原因都是因为采取了不同的紧缩费用的措施。1993年发生的火星观测者的故障,明显地可以归咎于在深空探测器发射任务中,使用的却是地球轨道卫星的设计。但是,(至少在这个例子中)人们在决定采取这种方案时,并没有考虑到地球轨道运行和深空运行不同的热环境和运行所持续的时间。还有一些故障要归咎于,过分地依赖了设计或操作团队,在这里不充足的时间,由于疏忽而引起的错误,专业经验不够的人员(雇佣这些人员的费用会更便宜一些)等等,都会让问题未被发现或制止。所以,航天项目管理者们的工作任务,就是在这些影响航天器成败的方方面面的因素中,寻找出一个适当的平衡点。

我们把本书分成两个部分,第一部分是有关运载火箭的,第二部分是有关卫星和空间探测器的,还为大家列举了参考文献,从这些来源中读者可以获取更多的相关信息。由于运载火箭的发展会遇到一系列特别的问题、压力和动机,因此,尽管航天器的各种系统都有出现

II

故障的可能性,但这些问题都要放在一个历史的角度来进行考量。我们在不同的工程范畴里对航天飞行器的故障进行了讨论,为的是比较即使是完全不同的航天飞行器,是如何可能发生类似的故障的。

D · M · 哈兰
R · D · 罗伦茨

2005 年 1 月

致 谢

许多来自空间科学和工程团体的同仁们,都有一些有关航天器的有趣故事,得益于同仁们的帮助,我们才能在本书中对这些故事进行描述。我们要特别感谢 Open 大学行星和空间科学研究所的安德鲁·波尔,Leiden 大学的詹姆斯·加利,喷气推进实验室的马克·雷曼,以及 Aerospace 公司的比尔·艾乐为本书提供了参考资料。我们要特别向这些机构致谢,他们为了其他人能够从他们的经历中吸取经验和教训,把他们失败的相关信息公布于众,他们是 NASA 公共经验教训在线数据库,NASA 逻辑设计办公室和戈达德航天飞行中心。我们还从克拉哥·考维特,特姆·福内斯,菲利普·克拉克和亨利·斯潘塞的新闻报道中获得了有价值的内容。获得亚利桑那太空资助项目支持的莎朗,很早就为我们在亚利桑那大学图书馆里帮助我们寻找相关资料。我们还要感谢佐茈·特托对书稿的快速反馈,当然要感谢克里夫·霍伍德在本书写作过程中对我们热情相助。

在插图方面,我们要感谢航天工业界的相关企业,尤其是波音公司,国际发射服务公司,海上发射公司,洛克希德·马丁公司,劳拉空间系统公司,萨瑞卫星技术公司,轨道科学公司以及泛美卫星公司;感谢波特·亨格斯为本书提供了封页图片;感谢乔纳森·麦克多维尔提供的一些存档图片;感谢科拜·威斯特为喷气推进实验室的火星飞行任务做的插图。

目 录

第一部分:运载工具

1	导弹	(3)
	第一台空间发射装置	(3)
	雷神	(5)
	宇宙神	(7)
	大力神	(17)
	德尔它	(21)
2	航天飞机	(30)
	商用卫星	(30)
	完成使命的德尔它	(32)
	国家空间运输系统	(34)
3	再说一次性使用的运载火箭	(58)
	大力神冲击波	(58)
	德尔它备件	(59)
	阿里安航天公司	(60)
	宇宙神的复兴	(62)
	阿里安4号	(64)
	德尔它Ⅱ号	(69)
	宇宙神Ⅱ号	(74)
	商用大力神	(74)

4 重型运载火箭	(88)
大力神Ⅳ号	(88)
质子号	(98)
日本的 H 系列	(108)
5 轻型运载火箭	(123)
黑箭	(123)
侦察兵	(125)
空中发射型飞马座	(128)
雅典娜号	(133)
金牛座号	(137)
用于轻型有效载荷发射的德尔它	(137)
6 兴旺与破产	(142)
兴旺的前景	(142)
破产	(157)
7 中国运载火箭商业发射中的故障	(169)
长征运载火箭	(169)
遭遇排挤	(176)
8 新近情况	(182)
阿里安 5 号	(182)
德尔它Ⅲ号	(190)
推力增强的宇宙神	(194)
美国运载火箭型谱化计划	(197)
宇宙神Ⅲ号	(202)
宇宙神Ⅴ号	(204)
德尔它Ⅳ号	(208)
淘汰大力神ⅣB	(214)

第二部分:卫星和空间探测器

9	故障类型与冗余设计	(225)
	故障类型	(225)
	冗余设计	(228)
10	推进系统故障	(231)
	试验的困难	(231)
	试验和磨难	(231)
	将就	(262)
11	姿态控制系统故障	(273)
	典型事例	(273)
	信号错误	(274)
	陀螺仪故障	(282)
	星跟踪仪故障	(287)
12	电路故障	(295)
	电源系统故障	(295)
	电池故障	(300)
	电磁干扰	(309)
	通信故障	(319)
	部件故障	(329)
	仪器故障	(337)
13	环境引发的故障	(349)
	空间环境	(349)
	辐射引发的故障	(349)
	撞击引发的故障	(358)
	太阳引发的故障	(366)

静电放电引发的故障	(369)
14 结构故障	(376)
结构故障	(376)
机械故障	(389)
热故障	(401)
15 地面故障	(416)
装配故障	(416)
危险的地面环境	(420)
试验故障	(433)
16 操作失误与软件故障	(444)
操作失误	(444)
软件故障	(455)
17 总结	(460)
适得其反的经济性	(460)
故障模式	(461)
故障预测	(464)
结语	(468)

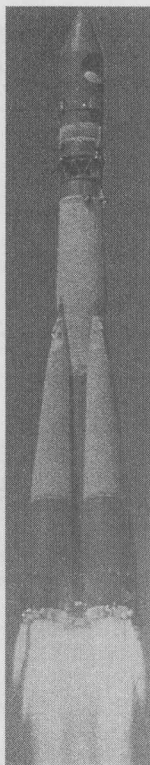
第一部分

运载工具 (Launch Vehicles)

1 导弹(The Missiles)

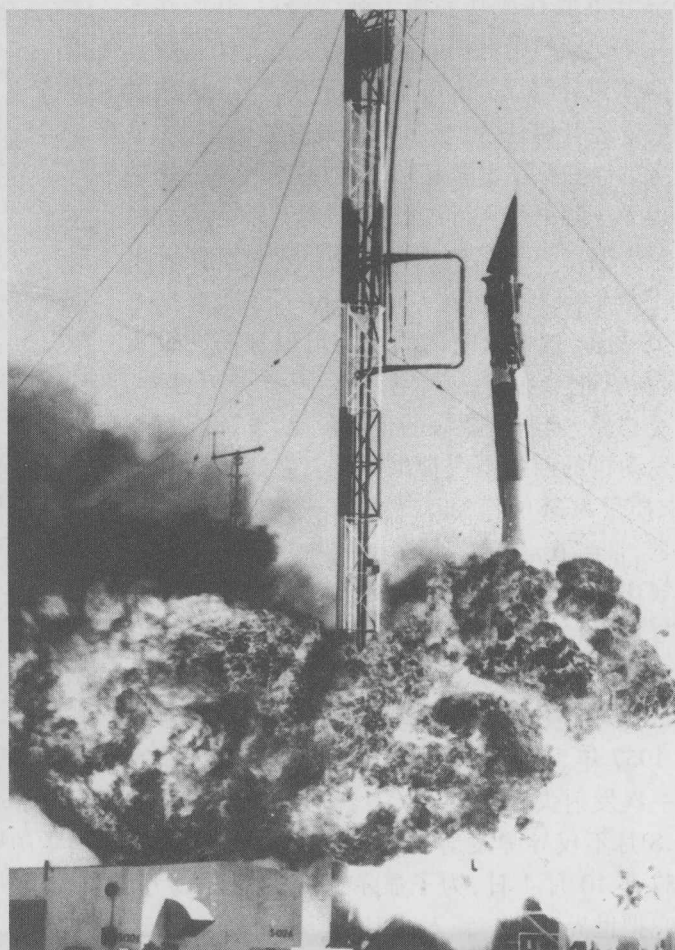
第一台空间发射装置(THE FIRST SPACE LAUNCHER)

1953 年苏联在成功完成氢弹试验后,开始在苏联边境一个受到严密保护的基地里,建造对华盛顿具有威胁的弹道导弹,以此来与美国的防空战略相抗衡。人们曾经普遍认为,多级导弹最有效的模式,是把一级级的导弹头尾串联起来,但即使是当时最先进的技术也无法解决在飞行过程中,进行火箭的关机和分离以及大型液体火箭的点火问题。于是苏联著名的火箭工程专家科罗廖夫(Sergei Korolev),选择了“并联”式火箭,这种火箭的助推器可以提高芯级发动机的动力,把导弹送入天空,随后可以分离丢弃。基于这个思路,他所需要做的仅仅就是,如何在干扰芯级发动机的前提下丢掉助推器。在试验射程为 8000km、质量为 3t 的弹头时,科罗廖夫把四个圆锥形的助推器,捆绑在芯级发动机上,每个助推器上有一个由过氧化氢蒸汽驱动的涡轮泵,通过涡轮泵将煤油和液态氧送入有四个燃烧室的发动机,由于助推器上的发动机是固定的,导弹是通过小型的游动发动机来掌舵。1955 年,在哈萨克大草原上开始了发射台的建造¹。1957 年 5 月,运载火箭在发射台上发生爆炸导致第一次发射失败。6 月、7 月经历了两次类似的失败后,8 月不仅导弹发射成功,还达到了预定的射程。1957 年 10 月 4 日,为了显示这种火箭的威力,苏联用它把世界上第一颗人造卫星(Sputnik)送入了预定的轨道。由于是第七种火箭的设计,科罗廖夫把



Semyorka 运载着东方 1 号和尤利·加加林在 1961 年 4 月 12 日升空

这种型号的导弹称之为 Semyorka,在俄语里就是“七”的意思²。在增加了一级上面级后,1961 年 4 月 12 日 Semyorka 将搭载着加加林的东方 1 号(Vostok 1)飞船送入了太空轨道。如果安装动力更加强劲的上
面级,Semyorka 可以把小型探测器送到月球、火星、金星。后来它被用于联盟(Soyuz)和进步(Progress)号宇宙飞船的发射,这两种飞船是用来向空间站运送航天员和航天物资的。至今 Semyorka 仍在为国际空间站提供服务。它是空间时代真正的“老黄牛”。



1957 年 12 月 6 日美国试图发射先锋号,火箭失掉推力栽倒在发射台上并发生爆炸

雷神 (THOR)

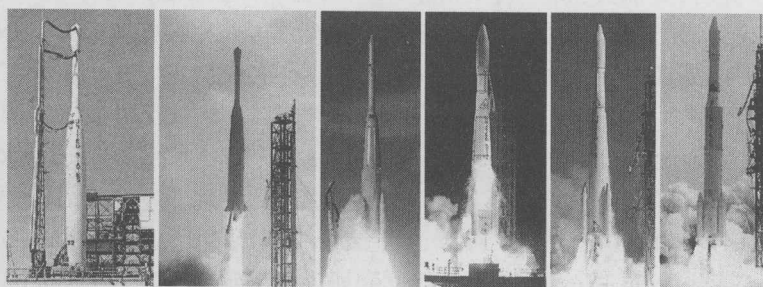
1946年,当美国军队发射从德国缴获的V-2导弹时,美国海军的实验机构就要求研制出性能更佳的火箭来取代它。这样就形成了与马丁(Glenn L. Martin)公司的合作,使用与V-2相同的以酒精和液氧为燃料的XLR-10火箭来研发Viking新型火箭。

1955年8月1日美国总统艾森豪威尔下令,要求美国海军在1957年中期至1958年底的国际地球物理年期间,通过研制先锋号(Vanguard),计划把人造卫星送入太空轨道。8月7日美国海军与马丁公司签定协议,利用通用电气公司的X-405燃油发动机对Viking进行升级改进,并加装二级助推器使它具备发射装置的功能。在二级助推器中,Aerojet提供的AJ-10发动机,是以采用自燃型推进剂的Aerobee-Hi探空火箭为原型的。第三级助推器是由Ground Central Rocket公司制造的33-KS-2800固体火箭。在此期间,由于苏联于1957年10月4日首次成功地发射了人造卫星,使美国想先于苏联把卫星送入太空的目标未能实现。为了弥补由此造成的伤痛,美国决定使用新型的先锋号火箭,这种努力在12月6日遭到了重创。在发射几秒钟后,火箭失去推力,坠落下来并发生爆炸。紧接着在1958年2月25日进行第二次发射,57秒钟后飞行器失去控制,再次失败。1958年3月17日的第三次发射终于成功了³。这次成功主要是因为第二级助推器安装了飞行控制装置。在芯级发动机关机后,它可以开启氢推力器来控制滑行时的姿态,直到安装在头部的循环泵点燃第三级火箭以确保平稳飞行。1959年2月17日再次发射成功后,该火箭的第二级用AJ-10-142进行了升级,第三级火箭则使用了由Hercules Powder公司与Allegheny弹道实验室共同研发的玻璃钢X-248 Altair I固体火箭⁴。

1955年12月美国空军与道格拉斯飞机公司签订了一项协议,由道格拉斯研发使用洛克达因MB-3-1煤油/液氧发动机的雷神中程弹道导弹。1957年9月20日,在研发取得飞速发展后,导弹成功地实现了预定的射程^{5,6}。在雷神上安装了先锋号上面级助推器形成雷神

-艾布尔(Thor - Able)后,1958年8月17日,美国空军试图向月球发射探测器。在卡纳维拉尔发射基地17号发射台上,雷神平稳地升空,但在T+17秒时涡轮泵停止工作,运载火箭发生了爆炸。在10月11日的再次试验中,由于加速度计出现程序错误,第二级火箭提前关机,第三级火箭也没能弥补这个损失,先驱者1号(Pioneer 1)探测器在达到113 000km的轨道高度后就回落了。技术人员对加速度计系统进行了改进,以确保下次发射探测器能达到预定的速度。然而在12月8日的发射中,第三级火箭出现故障,没有点火。以当时的技术条件来说,这些发射活动具有很大的挑战性。

幸运的是,由于美国空军计划在雷神火箭上安装用于轨道侦察的阿金纳(Agena)上面级,使雷神系列得到了快速发展。由洛克希德飞机公司制造的阿金纳,使用的是XLR-81自燃型发动机。这种发动机是为B-58 Hustler攻击机的火箭动力吊舱研制的,计划用于投放核弹头。1959年1月为发现者系列卫星所进行的雷神-阿金纳(Thor - Agena)首次发射宣告失败,但2月28日的发射,阿金纳首次到达了低极地轨道。这是系列飞行实验中的首次飞行,目的是对将航天器拍摄的胶片送回地球的设备舱进行试验,这一技术随后被用于“KH”系列照相侦察卫星^{7,8}。



雷神-德尔它型号(由左至右):Thor - Delta - B,1963年12月21日搭载着 Tiros 8;Thor - Delta - C1,1966年5月25日搭载着探索32;Thor - Delta - D,1964年8月19日搭载着 Syncom 3;Thor - Delta - E1,1967年1月11日搭载着 Intesat 2F2; Thor - Delta - G,1966年12月14日搭载着生物卫星1;Thor - Delta - M6,1971年3月13日搭载着探索43