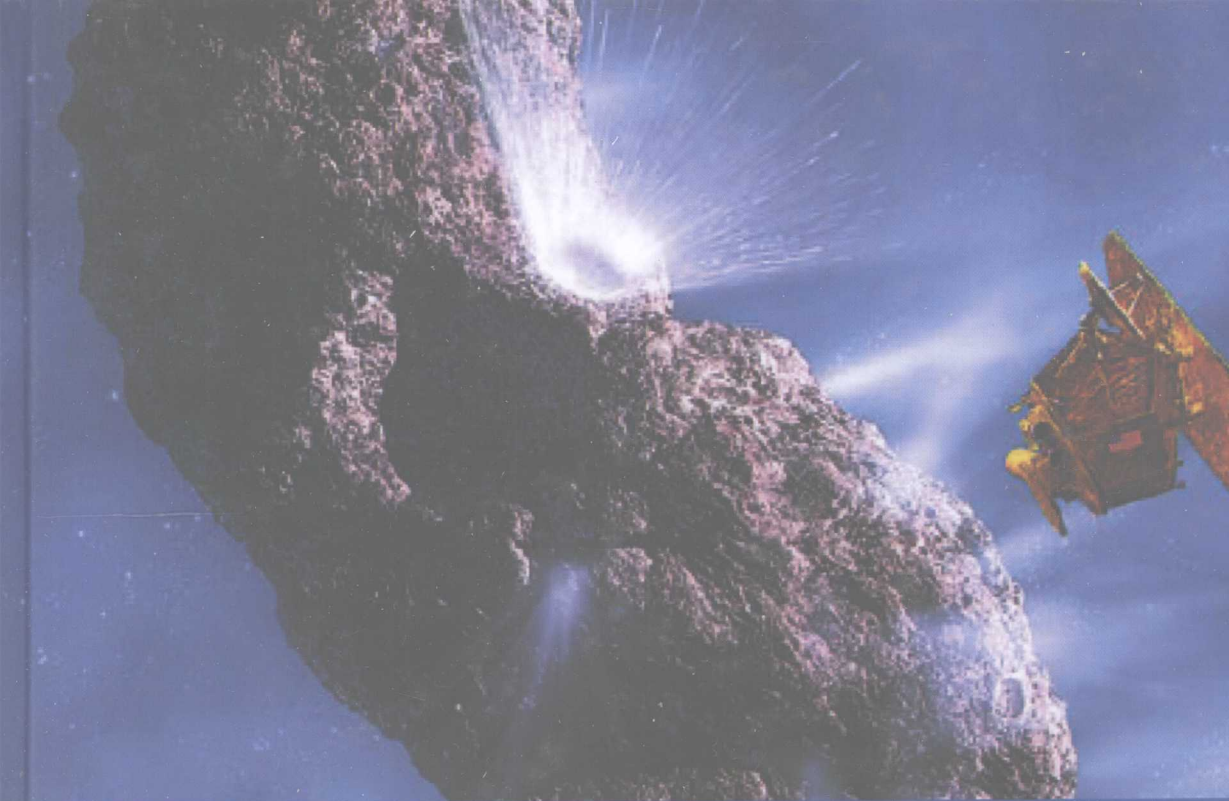




深度撞击计划 —— 解密彗星之旅

Deep Impact Mission: Looking Beneath the Surface
of a Cometary Nucleus

[美国] C·T·罗素 主编
陈小前 蔡洪 陈磊 译



国防工业出版社
National Defense Industry Press

深度撞击计划—— 解密彗星之旅

Deep Impact Mission: Looking Beneath the Surface
of a Cometary Nucleus

[美国] C·T·罗素 主编
陈小前 蔡洪 陈磊 译

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军—2007—006 号

图书在版编目(CIP)数据

深度撞击计划:解密彗星之旅/[美]C. T. 罗素主编;陈小前,蔡洪,陈磊译. —北京:国防工业出版社,2008. 10

书名原文:Deep Impact mission:Looking Beneath the Surface of a Cometary Nucleus

ISBN 978 - 7 - 118 - 05907 - 6

I. 深... II. ①罗...②陈...③蔡...④陈... III. 彗星—碰撞—研究 IV. P185

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123567 号

Translation from the English language edition:

Deep Impact Mission: Looking Beneath the Surface of a Cometary Nucleus By C. T. Russell

Reprinted from SPACE SCIENCE REVIEWS, Volume 117: Nos 1-2, 2005

Copyright © 2005 Springer, The Netherlands as a part of Springer Science + Business Media All Rights Reserved

※

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 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 351 千字

2008 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

译者序

北京时间 2005 年 7 月 4 日 13:52:24, 美国国家航空航天局 (NASA) 的“深度撞击”探测器在飞行了 173 天、4.31 亿千米之后, 其撞击器以 10.2km/s 的相对速度与 9P/坦普尔 1 号彗星成功碰撞。在西半球, 人们甚至用肉眼都能看到这次绚丽的人造天象。

“深度撞击”计划的任务主要是解答长久以来人类对于彗星本身、太阳系的形成甚至生命起源的诸多疑问。从技术角度来看, 深度撞击计划的顺利完成体现了美国在自主导航、远程通信和精确制导与控制等技术领域的强大实力, 而从军事意义上来说, 这次实验证明了美国已经具备了未来空间攻防对抗中所需要的深空目标探测及精确打击的能力, 是一次极为成功的动能武器拦截试验, 本次试验引起了国内外航天界的极大关注。“深度撞击”科学团队得到国际航天界的高度评价, 2005 年 10 月获得由国际“空间前沿联盟”(SFF) 颁发的“从梦想到现实”金质奖章。同年底, 它被我国两院院士评选为 2005 年“世界十大科技进展”之一。

“深度撞击”计划是美国“探索计划”(Discovery Program) 中的第八项计划, 也是迄今为止最为成功的宇宙探索研究计划之一。其主要的科学目标为探测彗核表面与其内部之间的不同, 从而寻找可能存在于其内部的太阳系形成之初的原始物质, 同时理解发生于其外层的物质演化过程。

北京时间 2005 年 1 月 13 日, NASA 从佛罗里达卡纳维尔角发射中心利用“德尔它-2”运载火箭成功发射“深度撞击”探测器, 经历近 6 个月的飞行之后, 于 7 月 4 日撞击坦普尔 1 号彗星, 此时为坦普尔 1 号到达近日点前一天。

“深度撞击”计划的探测器由美国喷气推进实验室 (JPL) 与鲍尔宇航技术公司合作研制, 鲍尔宇航技术公司负责设计和制造探测器, 并提供所有飞行系统的开发与测试、发射及任务方面的支持。整个探测器系统长 3.3m, 宽 1.7m, 高 2.3m, 包括飞越器和撞击器两个子航天器, 每个航天器都分别携带各自的仪器, 能够接收并传输数据。其中, 飞越器携带有高分辨率成像仪 (HRI) 和中分辨率成像仪 (MRI) 两种成像仪器, 撞击器携带有撞击瞄准传感器 (ITS)。

作为此次撞击试验目标的坦普尔 1 号彗星是 1867 年 4 月 3 日由德国人坦普尔发现的。彗核直径约 6km。其轨道周期约 5.5 年, 近日点距离为 1.5 天文单位, 轨道偏心率 0.5, 轨道介于火星轨道和木星轨道之间, 彗星自转周期为 1.71 天。

“深度撞击”计划作为人类历史上史无前例的撞击彗星的空间实验,在许多领域值得我们学习借鉴。早在 2005 年 3 月,在深度撞击计划尚未完成之前,应斯普林格出版集团荷兰分部主编的杂志《空间科学评论》之约,由参与深度撞击计划的专家撰写了一系列关于计划的论文。2005 年 9 月,在深度撞击计划取得圆满成功之后,这一系列论文由美国资深天文学家罗素(Christopher T. Russell)主编正式出版,书名为《深度撞击计划——解密彗星之旅》(Deep Impact Mission: Looking Beneath the Surface of a Cometary Nucleus)。

本书是迄今为止出版的第一部也是最权威的一部关于“深度撞击”计划的专著,全书较好地贯彻了飞行器系统工程的思想,完整地介绍了深度撞击计划的情况,内容涵盖了深度撞击计划的背景、任务设计、探测器的组成及关键技术分析、目标彗星的物理特性、撞击任务的数值分析、相关的地面任务及教育计划等。本书特色在于,各章的撰写者均为参与本项目的主要负责人或骨干,对于本计划的阐述专业、权威,代表了相关领域的世界最高水平,全书内容丰富、完备,插图、图表等较完整,不少技术细节均是首度公开,对我国相关高技术的研究与发展有较大的借鉴意义和重要的应用价值。

由于本书是在“深度撞击”计划的撞击试验成功之前完成的,在这里将简要介绍一下撞击试验所取得的成果。在“深度撞击”之前,科学界只能根据模型推测彗星的各种性质,大部分理论(包括本书中的内容)建立于猜测之上。“深度撞击”计划取得了大量的测量数据,仅“深度撞击”探测器(飞越器与撞击器)在撞击前后就拍摄了约 4500 张照片,成为重要的科学信息来源。其中效果最好的一张照片分辨率达到 4m,比此前彗星探测项目所得照片好 10 倍以上。这次探测获得的主要成果发表于国际太阳系研究协会的会刊《ICARUS》2007 年 3 月和 10 月出版的两个“深度撞击计划”专辑(其网络版见[www. sciencedirect. com](http://www.sciencedirect.com))。一些主要成果概括如下:

“深度撞击”的撞击器以约 25° 的交会角、10.2km/s 的速度轰击坦普尔 1 号彗星的彗核表面后,使覆盖在彗核表面的细粉状碎屑以每秒数千米的速度腾起,在彗星上空形成一片云雾。碰撞后约 70s,可见光亮度增加了约 1 倍,其亮度值在碰撞后 35min 达到了峰值,约为初始值的 10 倍。当初天文学家预测彗核表层主要是冰物质(水冰及二氧化碳冰、甲烷冰等),是一个冰封的世界,但撞击后主要的喷射物质是比面粉还要细的尘埃物质,仿佛是炮弹击中了面粉仓库,看来彗核表面是一个亘古至今的尘封世界。彗核表层物质如此细小,说明它在漫长的太空旅程中没有受到大的外界扰动,这也进一步证明彗核的内部可能含有太阳系初期的原始物质。1969 年人类登上月球时,发现月面上也有几厘米厚的尘埃,但坦普尔 1 号彗星彗核表面的尘埃比月球表面要厚得多,据估计约为 10 多米深。这也意味着,如果将来真有彗星要撞地球的话,人类发射的登陆彗核表面的爆炸装置必须选对地点,否

则“炮弹”深陷尘埃,有可能失灵。这些细粉中含有水、二氧化碳和简单有机物,其中水的成分大大少于原先的猜测。由于这些细粉构成的烟幕使得科学家无法准确观测撞击坑,据推测该撞击坑的直径约为150m~200m,深度大于50m,从彗核中逃逸出来的物质总质量约为 10^7 kg量级。这些物质在太空中绵延数千千米,直达彗发层。

这次试验对于坦普尔1号彗星的彗核进行了空前的精细探测,并有重要发现。坦普尔1号彗星的彗核形状就像一个马铃薯,长约14km,宽约4.8km。原来天文学家预测彗核表面颜色相当黑,但实际拍摄到的彗核主要呈现深灰色和灰黑色。令人感到意外的是,在彗核表面还发现不少神秘的白色斑状物,其长度从20m~500m,宽度从10m~100m,表面光滑,反光能力强。坦普尔1号的彗核尽管很小,却有多种地貌,它同样也有山脉、高原、平原、盆地。彗核表面散布着大大小小的环形山,有的直径超过1km,这表明在“深度撞击”之前,这颗彗核就已经常被太空中更小型的天体撞击。

坦普尔1号的彗核是分层的,在表面覆盖的10多米深的细粉状物质下,存在较硬的“彗核之核”。据估计,彗核的总质量约为 $(5.8 \pm 1.6) \times 10^{13}$ kg,密度约为 (450 ± 250) kg/m³,比水还轻。彗核强度的上限约为 (200 ± 100) Pa,大约相当于滑石粉的强度。在日照区,彗核的表面温度在 (272 ± 7) K~ (336 ± 7) K之间,其热惯量小于 $50\text{W} \cdot \text{s}^{1/2}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ 。彗核在飞近太阳时会喷发,特别是彗核表面朝向太阳的那部分,会经常有小规模的喷发。彗核呈多孔性,表层物质热惯性小,会被太阳很快加热,但太阳辐射的热量不会对彗核内部的物质产生影响,这表明彗核内部的物质受外界影响的可能性不大。

在撞击前,对于彗发不断靠近的观测中,发现了3个明显的集中喷射区域,其旋转的周期为1.7天。其中,最明亮的喷射区域喷射物的速度约为12m/s,表明瞬态尘埃彗发以毫米级的尘埃颗粒为主。而在撞击后的几天内,由于撞击而形成的喷射中,可以清晰地测得两种喷射速度,190m/s和550m/s,分别对应于尘埃和气体的扩散。

通过分析所拍摄的图片,科学家们发现了彗核表面上三个小面积的水冰区域,这三个区域的亮度比周围地区高约30%。这是第一次在彗核上发现水冰,尽管这三个区域的面积总和仅占所观测面积的0.5%。此外,撞击前后飞越器发回地球的一些图像显示,有些区域的物质似乎是以液体或粉尘的方式流动。

在对坦普尔1号彗星进行观测的过程中,科学家们发现了一些以前从未在其它彗星上发现的固体化学物质,如碳酸盐(白垩)、蒙脱石(黏土)、金属硫化物(类似黄铜矿)、富含碳元素的多环芳香烃等。其中,黏土和碳酸盐的存在是比较令人惊讶的,因为这两种物质往往需要液态水才能生成,而彗星起源的深空环境中是没有发现液态水的;而结晶硅酸盐的存在同样令人惊讶,因为该物质通常仅在水星轨

道以内的高热环境中才能生成。

与“星尘号”带回的维尔德 2 号的彗星物质比较,在坦普尔 1 号彗星上发现的 14 种物质中,有 12 种是一致的,但在维尔德 2 号彗星物质中未发现碳酸盐和黏土物质。而与海尔-波普彗星相比,坦普尔 1 号彗星上发现了海尔-波普彗星上所没有的富含铁的橄榄石和晶体辉石。这说明,不同的彗星其成分可能存在差异。

彗核内部存在大量含碳和氮的有机分子,撞击之后彗核的喷出物中含有氢氰酸(HCN)、乙腈等,而彗核表面的粉状物中却没有这些物质,说明它们存在于表层下较浅的部位,在受撞击或热影响时才喷发出来。这还表明,在受彗星和小行星频繁撞击的地球早期阶段,彗星有可能把最早的有机物带到地球上。

通过将上述成果与本书的内容相比较可以发现,虽然本书中的结果并没有预测出所有的细节,但本书中给出的研究方案、观测计划、仿真试验等等基本涵盖了试验结果的各个方面,充分证明了本书巨大的学术价值。

关于本计划,最令人激动的是,这一计划并没有随着撞击试验的结束而结束。在 2005 年 7 月 4 日撞击器完成撞击以后,“深度撞击”的飞越器一直处于安全模式以保存能量。据地面遥测表明,飞越器的各项指标都很正常,为此,科学家们开始着手“深度撞击”的后续计划。经过一系列的论证,2007 年 7 月,美国航空航天局(NASA)宣布开始实施“深度撞击延伸”(EPOXI)计划和“坦普尔 1 号彗星最新探测”(NexT)计划。

EPOXI 计划由太阳系外行星观测与鉴定(EPOCH)和“深度撞击”扩展研究(DIXI)两部分组成。EPOCH 的任务是收集太阳系以外行星的相关数据,它将利用飞越器观测彗星附近的几颗明亮恒星,并观察从这些恒星前面经过然后再绕到它们背后的巨大行星。科学家将利用收集到的资料来刻画这些巨型行星的特征,以确定它们是否拥有环状物、卫星或与地球大小接近的行星同伴,其精度将大大超过现有的地面和空间天文台的数据。此外,它还将利用中等红外波长观测地球,为将来研究太阳系外行星的大气提供可进行比较的资料。DIXI 任务的重点是探测 85P/波辛彗星。波辛彗星于 1975 年被发现,是一颗小型的、短周期彗星,绕太阳公转周期约为 11 年。这项研究的目的是帮助人们弥补 2002 年由于“彗核之旅”任务失败而导致的探测空白,科学家们希望,通过探测波辛彗星以实现对多颗彗星的比较,并进一步理解彗星形成和演化过程。按计划,“深度撞击”的飞越器将于 2008 年 12 月 5 日飞越波辛彗星。

但是,在 EPOXI 计划执行的过程中,波辛彗星却奇怪地从人们的视野中消失了。科学家猜测波辛彗星可能发生了爆炸,并分裂为很小的、已无法探测到的碎片。为此,2007 年 12 月,NASA 再次宣布,飞越器将继续彗星探测之旅,飞赴下一个目标——103P/哈特利 2 号彗星。按计划,它将于 2010 年 10 月 11 日从哈特利 2 号彗星旁边飞过,飞越器与这颗彗星间的最近距离约为 1000km,属于近距离观测。

哈特利 2 号彗星和波辛彗星一样,都具有较小的活跃彗核,只不过比起波辛彗星来,飞越器飞抵哈特利 2 号彗星要多花大约两年时间。

在前往哈特利 2 号彗星的途中,飞越器将利用其上的光学相机对准附近已知的几个太阳系外的行星系统进行观测(即 EPOCh 任务)。按照新的飞行轨迹,飞越器将会 3 次从地球旁边飞过,在飞越地球的时候,飞越器将“回视”地球,并将地球与其观测的太阳系外行星进行比较。

与 EPOXI 计划同时启动的 NexT 的计划则将探测的重点放在“深度撞击”计划中的撞击目标即坦普尔 1 号彗星。这项任务将再次利用 NASA 的“星尘”号探测器重访坦普尔 1 号彗星,主要是观测 2005 年撞击所产生的凹陷处。当时,撞击产生的大量喷出物导致科学家未能成功拍摄下凹陷处图像。这也使坦普尔 1 号彗星成为首颗再度被探测器访问的彗星。

用于 NexT 任务的“星尘”号探测器属于 NASA“探索计划”中的第 4 项任务,它于 1999 年 2 月 7 日发射升空。在飞行了 20 亿英里后于 2004 年 1 月飞行至距离维尔德 2 号彗星 150 英里的范围内,并以一个形似大型网球拍的“气凝胶尘粒收集器”捕捉其微粒。2006 年 1 月,“星尘”号探测器的返回舱顺利降落在美国犹他州的沙漠中,带回了人类历史上第一份彗星物质样本。探测器的其它部分则继续留在太空,到目前为止各项指标均正常。

NexT 任务将加大对坦普尔 1 号彗星的绘图,让它成为到目前为止绘图最详尽的彗核。预计执行 NexT 任务的飞船将于 2011 年 2 月 14 日经过坦普尔 1 号彗星。

值得一提的是,“深度撞击”计划当年耗资 3.33 亿美元,“星尘”号计划是 2.12 亿美元,而 EPOXI 计划和 NexT 计划的总费用共计约 5500 万美元,比重新开始一项新任务所需费用要低廉得多。

在译者翻译本书的同时,我们也在不断关注着这两个计划的最新进展:

2007 年 12 月 31 日,“深度撞击”的飞越器完成了对地球的第一次飞越,并且利用月球成功地进行了星上探测仪器的标校;

2008 年 6 月,飞越器开始了对绕 GJ436 恒星公转的一颗接近于海王星大小的行星的远距离观测;

.....

我们相信,随着时间的推移,它们还会带给我们更多的奇迹和惊喜。

作为长期从事飞行器技术教学与研究的高校教师,译者感觉,由于各种原因,国内一直比较缺乏公开出版的系统阐述某一特定飞行器的论证、设计、制造、试验和应用全过程的参考书,而国外出版的关于某一飞行器的书往往也停留在较浅的表面。本书对于“深度撞击”计划的介绍非常深入,不少技术细节都是首度公开,有很重要的参考价值。在启动本书的翻译之前,译者曾就翻译本书的必要性咨询过国内多个飞行器设计部门的人员及部分高校的专业教员,他们都对此表示了极

大的兴趣,非常希望能早日见到本书中文版的面世,这也坚定了译者翻译本书的决心。

本书的翻译是一个漫长而艰苦的过程,由于本书内容极其丰富,除飞行器相关技术之外,书中还涉及大量天文学的内容和专业术语,译者并非天文学专业科班出身,且国内关于彗星知识的参考文献也比较少,在翻译过程中,对于书中所涉专业知识,遍询期刊网络及大方之家,务求精确,故从初译至终稿,举凡四遍,历时一年有余。但本书的翻译也是一个充实而快乐的过程,在翻译的过程中,译者系统地学习了美国针对一个特定飞行器,如何开展任务规划、平台及载荷设计、自主导航、系统仿真、遥测遥控、地基观测等关键技术的研究,如何完成一个大型科研计划的规划与管理,将其与自己所从事的教学及研究工作相联系,深思精研,遂常有茅塞顿开之感。译者也深感,美国之所以能在航天领域居于世界领先的地位,有许多做法值得借鉴。试举例而言,对于这样一个大型的科研计划,除去注重科研成果本身之外,它还非常注意其对于教育及公众普及的作用(参见本书第14章),从四年级小学生到大学生,从专业人员到业余爱好者,均有相关的推广计划,使本计划能够深入人心,大大激发了全民对于航天事业的热情,特别是为未来的科学队伍散播了种子,实在是考虑非常周全。译者殚精竭虑译出此书,实寄望于能为我国航天事业的发展尽一份绵薄之力。

本书的翻译是集体智慧的结晶,除译者之外,郑伟、张士峰、于起峰、赵伟、白显宗、柳中华、尚洋等同志也做了大力工作,在此一并表示感谢。感谢本书英文版的主编 C. T. 罗素先生所给予的帮助,感谢袁建平、侯建文、李果、孙富春、敬忠良、段广仁、谭春林、陈小武、李智等同志给予的大力支持。最后,特别感谢国防工业出版社装备科技翻译图书出版基金对本书的资助,感谢胡翠敏编辑为本书的出版所付出的大量工作。

本书可供从事飞行器设计及天文学研究的专业人员和工程设计人员参考,也可作为高等院校飞行器设计及相关专业研究生和本科高年级学生的辅助教材,还可以作为广大天文爱好者的参考读物。

由于译者的学识和水平有限,书中难免有错误和不妥之处,读者有何批评指正意见,请与译者联系(chen12302@vip.sina.com),译者将不胜感激。

译者
2008年7月

前言

“深度撞击”任务是美国国家航空航天局(NASA)在媒体对于利用各种机器人进行空间探测的报道逐渐感到厌烦时创造出的一个新的奇迹。和以往的各类任务不同,“深度撞击”任务不是简单地造访一下它的目标星球,而是直接撞击它!“深度撞击”是一次积极主动的任务、一次充满活力的任务、一次出类拔萃的任务!而由于系统复杂,这也是一次充满风险的任务。任务过程中,飞越器和撞击器这两个航天器必须共同工作,保持通信和精确导航。在这一过程中,必须确保飞越器能够看到撞击点以便更好地成像,而尽管撞击器瞄准的是彗核明亮的一面,但它也很有可能撞击到阴暗面上。此外,我们对于彗核的物理特性并不十分了解,它到底是浓密而坚固,还是充满着泡沫般浮岩的易碎品?撞击后产生的撞击坑是深是浅?彗核会崩碎吗?撞击器是否会穿核而过?彗星会不会突然变成活性的?对于这次试验会产生什么结果,在写作这本书的时候,有各种各样的模型、理论、思考甚至猜想,它们汇集在一起仍然只能说是一种科学假说,因为在此之前我们从来没有如此靠近任一彗核,对于空间探测及从事相关研究的科学家来说,这是一个全新的领域。

本书对于“深度撞击”任务进行了全方位的深入检视,其中包括探测器的系统结构、科学载荷,作为目标的“坦普尔1号”彗星的观测历史及其运动特点、彗核及彗发的预期特性;也包括对于本次任务预期结果的描述,如关于彗星表面地质状况的遥感探测,撞击坑的尺寸分析及喷出物的光谱分析。此外,还描述了在1个天文单位处所进行的天文观测的结果,该结果可作为地面观测的辅助。最后,对于“深度撞击”任务的教育和公众普及延伸计划进行了讨论。

本书的完成得力于许多为本项任务竭尽心力的专家的努力,特别值得感谢的是他们在近乎创纪录的时间内完成了这本关于整个任务的可读性、完整性较强的书。我们还要感谢编辑部的马乔里·绍麦德拉女士,正是由于她出色的工作,使我们的工作得以快捷顺利地完成。

C·T·罗素

2005年2月于洛杉矶加利福尼亚大学

目 录

第1章 “深度撞击”计划:在彗核上进行的一次大型主动实验	1
1.1 历史与简介	1
1.2 我们所未知的	3
1.2.1 质量及相关参数	3
1.2.2 结构特性	3
1.2.3 分化和演变	4
1.2.4 最终状态	5
1.3 其它的相关任务简介	5
1.4 “深度撞击”计划概述	6
1.4.1 项目的科学目标和成功标准	7
1.4.2 科学仪器与相关任务概述	8
1.4.3 需要进行的测量	11
1.5 撞击目标的选择	13
1.6 我们将了解的	15
1.6.1 质量及相关参数	15
1.6.2 结构特性	15
1.6.3 分化和演变	16
1.6.4 最终状态	16
1.6.5 其它可能的结果	16
1.7 总结	17
参考文献	17
第2章 “深度撞击”任务设计	20
2.1 任务概述	20
2.2 撞击目标:坦普尔1号彗星	22
2.3 备选目标	23
2.4 系统概述	25
2.4.1 运载火箭	25

2.4.2	探测器系统	25
2.4.3	撞击器	26
2.4.4	有效载荷	26
2.4.5	自主导航软件	27
2.5	轨道描述	27
2.5.1	行星际轨道	27
2.5.2	交会轨道	30
2.6	任务阶段和关键事件	31
2.6.1	发射阶段	31
2.6.2	试运行阶段	32
2.6.3	巡航阶段	32
2.6.4	接近阶段	33
2.6.5	撞击阶段	33
2.6.6	回传阶段	34
2.7	延伸任务	35
	参考文献	36
第3章	“深度撞击”中的探测仪器综述	37
3.1	引言	38
3.2	需求与任务目标	40
3.3	仪器设计	42
3.3.1	光学与机械设计	43
3.3.2	热设计	50
3.3.3	探测仪设计	51
3.3.4	电子设备和软件	54
3.4	数据格式和传输通道	61
3.5	集成与测试	70
3.5.1	机械集成与测试	70
3.5.2	电子元器件与软件集成测试	72
3.5.3	预期性能及测试所得的性能	72
3.5.4	操作注意事项	80
3.6	结论	81
	参考文献	81
第4章	“深度撞击”任务中的自主导航技术	82

4.1 引言	82
4.1.1 任务概述	82
4.1.2 飞越器系统	83
4.1.3 撞击器系统	85
4.1.4 撞击器瞄准策略选择	85
4.2 自主导航系统	86
4.2.1 图像处理	87
4.2.2 轨道确定	88
4.2.3 撞击器瞄准机动	89
4.3 自主导航的预期性能	93
4.3.1 彗核测试模型开发	93
4.3.2 自主导航的重要假设与误差源	95
4.3.3 撞击器瞄准机动结果	98
4.3.4 飞越器的关键结果	99
4.4 结论	103
参考文献	103

第5章 坦普尔1号彗星的观测历史及其运动特性	105
5.1 引言:9P/坦普尔1号周期彗星的轨道观测历史	105
5.2 9P/坦普尔1号彗星的非引力加速度模型	108
5.3 “深度撞击”将导致的轨道摄动	109
5.4 “深度撞击”产生的撞击坑可能造成的轨道摄动	110
5.5 “深度撞击”时的地基观测环境	111
5.6 结束语	113
参考文献	115

第6章 坦普尔1号彗核的工作特性	116
6.1 引言	117
6.2 彗核总体特性	117
6.2.1 平均密度	118
6.2.2 彗核尺寸	120
6.2.3 彗核形状	123
6.2.4 自转状态	124
6.2.5 自转轴方向	126
6.2.6 估计质量、当地引力和逃逸速度	127

6.2.7 颜色和光谱特性	128
6.3 彗核表面及内部预期特性	129
6.3.1 活跃区域	129
6.3.2 表面形态	129
6.3.3 彗核成分	131
6.3.4 物质强度	131
6.3.5 表面及内部结构	132
6.4 结论	133
参考文献	134
第7章 坦普尔1号的彗发	137
7.1 引言	137
7.2 目前对坦普尔1号彗发的认识	139
7.2.1 彗发的气体成分	139
7.2.2 彗发的尘埃成分	144
7.3 对于“深度撞击”任务的应用价值	152
7.3.1 探测器轨迹及目标捕获	152
7.3.2 任务风险最小化及尘埃影响预估	154
7.4 对撞击情况的预期	156
7.4.1 目标类型	156
7.4.2 彗发观测	157
7.4.3 撞击对彗发的长期效应	158
7.5 结论	160
参考文献	161
第8章 基于“深度撞击”任务的彗星地质遥感	164
8.1 引言	164
8.2 研究方案	164
8.3 彗星的表面形态	167
8.3.1 消蚀特性	167
8.3.2 风化层	170
8.3.3 断层、裂缝和结构	171
8.3.4 撞击坑	171
8.4 彗核组成单元	172
8.5 结论	173

参考文献	174
第 9 章 “深度撞击”产生的撞击坑尺寸和光学特性估计	176
9.1 引言	176
9.2 撞击坑尺寸的计算方法	178
9.2.1 概述	178
9.2.2 换算关系	178
9.2.3 低密度、多孔性目标(PR 模型)	181
9.2.4 低密度、可压缩性目标(UR 模型)	182
9.3 “深度撞击”计划中撞击坑的可能尺寸	186
9.4 撞击坑以及喷出物的变化	187
9.5 撞击辐射	192
9.5.1 撞击闪光	192
9.5.2 发光亮度	192
9.6 结论	194
参考文献	197
第 10 章 “深度撞击”任务的成坑理论与模型:从任务规划到数据分析	200
10.1 “深度撞击”构想的萌芽	200
10.2 撞击坑直径的换算关系	201
10.3 成坑过程约束条件对撞击器设计的影响	205
10.4 撞击的早期阶段和羽状蒸发物的形成	207
10.5 撞击坑挖掘阶段的爆炸流体动力学建模	210
10.6 撞击喷出物的运动	210
10.6.1 引言	210
10.6.2 撞击喷射物的换算规律	211
10.6.3 羽状喷射物的轨迹模型	213
10.6.4 喷射羽状物多边形模型	217
10.6.5 成像过程仿真	219
10.7 结论	220
参考文献	221
第 11 章 “深度撞击”计划中坦普尔 1 号彗星的红外光谱预测	223
11.1 引言: $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 红外光谱的重要性	223
11.2 $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 彗星光谱综述	225

11.2.1 对替核观察的已有结果	225
11.2.2 已有的 $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 替发数据	227
11.3 “深度撞击”的预测	229
11.3.1 对替核观测的预期	229
11.3.2 对替发观测的预期	233
11.4 总结	241
参考文献	245
 第 12 章 “深度撞击”计划中的地基任务	248
12.1 引言	248
12.2 撞击前	249
12.2.1 尺寸和反照率	249
12.2.2 自转状态	251
12.2.3 相位函数	251
12.2.4 气体的生成	252
12.2.5 尘埃变化	255
12.3 目前的观测活动状态	257
12.3.1 观测活动现状	257
12.3.2 “深度撞击”数据库开发	259
12.4 撞击期间的任务协作	260
12.4.1 观测专题讨论会	262
12.4.2 地面进行的有关撞击的科学研究	263
12.4.3 全球方案讨论	264
12.5 撞击之后的观测	278
参考文献	278
 第 13 章 “深度撞击”计划:预期的飞行数据	280
13.1 引言	280
13.2 影响数据获取的约束条件	281
13.3 数据回传策略	284
13.4 计划的数据集	285
13.4.1 仪器标校	285
13.4.2 接近段的数据	286
13.4.3 撞击器的数据	287
13.4.4 撞击前的飞越器数据	288

13.4.5	撞击时的飞越器数据	293
13.4.6	撞击后的数据	295
13.4.7	防护模式和回视段数据	298
13.5	数据校准	301
13.6	数据处理流程	304
13.6.1	前言	304
13.6.2	科学数据中心描述—概述	304
13.6.3	科学数据中心描述—硬件	305
13.6.4	科学数据中心描述—软件	305
13.6.5	科学数据中心描述—界面	305
13.6.6	处理流程	306
13.6.7	标准数据格式	307
13.6.8	数据确认	307
13.6.9	数据库和编目—概述	308
13.6.10	数据库和编目—详细描述	308
13.7	数据归档	310
13.7.1	数据形式	310
13.7.2	文档结构	310
13.7.3	数据保存	311
13.7.4	文档准备	311
13.7.5	文档确认	312
13.7.6	文档的打包和传送	313
13.7.7	文档生成、确认和传送时间表	313
13.8	总结	314
	参考文献	314
第 14 章	“深度撞击”计划的教育及公众普及延伸计划	315
14.1	引言	315
14.1.1	“深度撞击”的 E/PO 计划	316
14.1.2	预期成果	316
14.2	正规教育计划	317
14.2.1	小学的教育活动	317
14.2.2	初中以及高中学生的教育活动	318
14.2.3	大学计划	320
14.3	延伸计划	322