**漫步者2**

**一个是视频看懂人类对抗天外之灾的行星防御技术【漫步者2】**

2025年2月24日，小行星2024 YR4撞击地球的概率最终下降至0.0039%，这次事件不过是虚惊一场。然而，小行星撞击地球始终是一种可能发生的严重的天灾，对其的防御也是航天领域中日益重要的一部分。

像2024 YR4的这种直径在40～90米之间的小行星，如果撞击在陆地上，其释放的能量不亚于战略核武器，足以摧毁一座规模较大的城市。这类撞击事件平均每数千年发生一次。保护地球免受天体撞击的科学叫做“行星防御”，是航天的一个技术分枝。

随着各项实验的成功进行，人类如今已经有能力阻止这种撞击。这一保卫家园的关键能力是来之不易的，许多家航天机构的共同协作才造就了一个让我们不用为天外之灾而担忧的今天。

这里是航天工程实验小组，本期视频，我们就来就此次事件，对5个较重要的行星防御机构和3次行星防御相关任务进行一一介绍，来了解一下人类对抗天外之灾的技术与它们的故事。

6600万年前的第五次生物大灭绝的惨痛教训不断提醒着我们没有行星防御能力的严重后果。那颗直径10千米左右的小行星撞击地球引发的巨大灾难让全球75%的物种荡然无存。如今，既然我们人类手握科学与技术的力量，就绝不应当让地球生命重蹈覆辙。

历史上，更小的天体造成的事件有很多次，虽然它们的大小不足以撞击地面并留下陨石坑，但是其高速移动产生的高温引发的爆炸也会造成局部的破坏。直径20米左右的小行星平均大约每几十年就会进入地球大气1次，产生的冲击波和碎片威力不可忽视。历史上有几次比较著名的此类事件。

据部分史料记载，1490年3月下旬至4月中旬之间，中国明朝陕西庆阳府，即今甘肃庆阳市庆城县，曾出现一次陨石事件，后续研究认为实际上大概率是一颗小行星进入大气后在空中爆炸，产生了大量碎片。据《万历野获编》记载，“陕西守臣奏，陕西庆阳县陨石如雨”，“击死人以万计，一城之人皆窜他所”。《明史》记载，“弘治三年三月，庆阳雨石无数”。由于记载的可靠性存疑，不确定此事件的具体情况和伤亡数字。

1908年6月30日，俄罗斯西伯利亚通古斯河附近，贝加尔湖西北方800千米处，发生了著名的通古斯大爆炸事件，这被认为是一颗小行星在空中爆炸导致的，烧毁了2150平方千米的森林，并震碎了650千米以内的建筑物的窗户。

虽然这次2024 YR4造成危机的可能性已经暂时消失了，但是防止这种灾害发生的准备不能停下。显然，时有发生的陨石空爆事件也会造成相当的损失。而且，虽然千米级的大型撞击事件在相当长的一段时间内都不太可能发生，但即使从短期内来看，以上说的那几次的级别的事件也并不很罕见，正因如此，应当尽早寻找在太空中阻止它们的方式，才能保护地面居民免受此类灾害的伤害。

要防御小行星撞击，对近地天体进行大量的观测自然是第一步。2005年，美国国会通过了一项法案，要求NASA在2020年之前记录至少90%的直径超过140米的近地天体。一台空间望远镜也在此背景下发射升空，那就是WISE，全称广域红外巡天探测器，是探险者计划的一部分。

2009年12月14日22时9分，ULA在加利福尼亚州范登堡空军基地SLC-2W发射场，使用德尔塔2号7320-10C运载火箭，执行WISE任务，将广域红外巡天探测器送入太阳同步轨道，发射任务取得圆满成功。这是当年第74次轨道级发射。WISE原本是NASA用于对小行星，褐矮星与其他恒星进行观测的红外波段望远镜，它发现了数千颗小行星，许多星团，也是第一颗Y型褐矮星与地球特洛伊小行星的发现者。

WISE由1台望远镜，背部的固定式太阳能电池版和高增益天线组成。该航天器由Ball Aerospace Technologies公司制造，由在2007年3月9日发射的卫星NEXTsat卫星的RS-300航天器架构的基础上改进而来。2011年2月，由于固态氢冷却剂耗尽，它进入了休眠模式。

2013年2月15日，小行星KEF-2013进入地球大气层，当地时间9时15分，这颗直径18米，质量约9100吨的小行星在俄罗斯车里雅宾斯克距离地面30至70千米的高空爆炸，释放了50万吨TNT当量的能量，造成1491人受伤与附近大量建筑物损坏，包括一所学校，一家制锌厂与一座歌剧院，总共造成超过3300万美元的经济损失。该小行星的部分碎片落入切巴尔库尔湖。

部分受此事件的影响，WISE于2013年重新启动，改名NEOWISE，专门用于搜寻近地天体。望远镜成功重新启动后，进行了长时间的重新冷却，2013年12月19日，NASA发布了第一张新图像。

时间来到2014年，这时，NASA的一份报告指出2005年定下计划无法实现，于是进行了修改。2015年，一个重要的近地天体巡天观测系统，也就是视频开头提到的小行星陆地撞击持续报警系统，简称ATLAS的第一台望远镜投入使用。其位于夏威夷群岛哈莱阿卡拉天文台，天文台编号T05。ATLAS是一个全球性的巡天调查和预警系统，也是目前能力最强的行星防御专用天文台网络，其用于探测可能撞击地球的近地天体，由夏威夷大学天文研究所开发和运营。NASA的近地观测计划NEO为该系统的建设提供了500万美元的初始资金。ATLAS的规模在后续的几年间不断扩大，直至今日。

NASA还成立了一个新的办公室，2016年1月，行星防御协调办公室PDCO在NASA行星科学部内成立，NEO就是它的一部分，它负责为各类近地观测项目提供资金，寻找和编目近地物体，评估小行星撞击的潜在危险，并提出和研究阻止小行星撞击的方式。

这里先说一下判断小行星撞击地球的概率的方式。这通常是通过观测来估算小行星的轨道，来标记可能的小行星经过地球轨道的点。这些点的分布范围就是撞击预判范围，随着观测误差的减小，小行星的轨道会不断精确，这些点的分布范围会逐渐缩小，如果地球在交会时间的预测位置向预判范围外移动，那么撞击概率减小，反之概率增大。一旦地球的预测位置离开预判范围，撞击概率就会清零。

PDCO成立后，NASA要求其编目和跟踪直径大于30米的潜在危险近地天体，并协调相关的应对措施。后来，PDCO先后参与组织了几次近地观测，近地天体探测与行星防御任务，包括OSIRIS-Rex，NEOWISE，DART等任务在内，都与其有密切的关系。而接下来出场的，就是一次堪称传奇的潜在危险天体探测任务，欧西里斯号。

OSIRIS-REx，中文全称太阳系起源光谱解析与资源识别及安全保障小行星风化层探测器，简称欧西里斯号。这次任务计划对2个具有撞击风险的小行星进行了近距离探测，是一次新疆界级深空任务。

2016年9月9日7时5分，ULA在佛罗里达州肯尼迪航天中心LC-41发射场，使用宇宙神5号411型运载火箭，执行OSIRIS-REx任务，将欧西里斯号小行星探测器送入日心轨道，发射任务取得圆满成功。这是全球当年第56次轨道级发射。不久后，探测器成功展开太阳能电池板，并于当年12月18日执行了首次深空机动，使用354千克推进剂获得了431米每秒的速度增量。2017年1月18日，又执行了一次轨道修正，后在同年9月22日完成地球引力辅助，在2018年12月31日进入环绕贝努的轨道，开始了对其的近距离探测。

欧西里斯号由洛克希德·马丁公司承包制造，部分与JAXA合作开发，是新疆界计划的一部分，与帕克太阳探测器同级，国际卫星标识编号2016-055A，发射质量1529千克，干质量880千克，长约3米，发电功率3千瓦，携带6个主要的科研仪器。顺利进入轨道后，其第一个目标是小行星贝努。

贝努，小行星编号101955，由林肯近地小行星研究小组与1999年9月11日发现，轨道类别为阿波罗型，成分类别为C型，平均直径约492米，近日点约0.897AU，远日点约1.356AU，轨道半长轴约1.126AU，轨道周期约437天，轨道离心率0.20375。其轨道倾角约6度，目前达到过与地球的最近距离为482120千米，其表面反射率为0.046，绝对星等20.9。据测算，其在2169年至2199年之间撞击地球的概率最高为0.071%，相比于现在还有相当长一段时间且概率不高，几乎不需要担心撞击。

该小行星被阿雷西博天文台和金石深空网络进行过大量观测，还有部分观测表明其似乎含有有机物，通过研究其成分，可以进一步了解太阳系的形成与演化，乃至地球上出现可以形成生命的有机化合物的可能原因。这也是其被命名为贝努，即古埃及神话中一位代表创生的神。

接下来对欧西里斯号携带的6个主要仪器分别进行介绍。每个仪器的缩写的第一个字母O是指探测器名称。首先是相机组件OCAMS，包括三台相机。第一个是PolyCam，一台口径为20厘米的望远镜，用于在接近贝努时进行拍摄。第二个是MapCam，用于寻找小行星表面脱落的尘埃和碎屑，对小行星的表面进行测绘，以及对采样点进行高分辨率成像。第三个是SamCam，用于在采样时进行连续的拍摄，能够记录着陆采用的整个过程。

激光测高仪OLA，用于扫描小行星，在整个任务期间提供高分辨率的地形信息，以此绘制贝努的全球地形图，为其他仪器，导航和重力分析研究提供数据，并对取样点进行精确的测绘。该仪器由加拿大航天局资助MDA公司制造，包括2个发射器和1个共用的接收器，一个发射器是低能量的，用于0.5～1千米范围内的测绘，另一个是高能量发射器，用于1～7.5千米范围内的测绘。发射器以固定的频率发射激光扫描贝努的表面。激光通过一组可移动的镜子被引导到接收器的视线上，能够降低太阳对测量工作的影响。

热辐射光谱仪OTES能够识别4～50微米范围内的红外线，主要用于采集贝努表面的部分光谱数据，并绘制各个候选采样点的热辐射光谱图，测量贝努的总热辐射，以及识别各种物质，通常与OVIRS配合使用。值得一提到是，该仪器的技术与火星奥德赛号上的红外线相机进行结合后，变为了如今正在奔向木星的欧罗巴快船上的热辐射成像系统THEMIS。

可见光与红外线光谱仪OVIRS，可以探测小行星表面的矿物和有机物质，能够以20米的分辨率提供整个小行星表面的光谱数据。其探测范围是蓝光至近红外，即波长400～4300纳米的电磁波，光谱分辨率为7.5～22纳米。它收集的数据通过与OTES的数据共同使用，足以确认碳酸盐，硅酸盐，硫酸盐，氧化物和各类有机化合物的存在和分布。

风化层X射线成像光谱仪REXIS，由麻省理工学院和哈佛大学合作开发，用于绘制贝努表面的X射线光谱图，以确定各个元素的丰度。该仪器是一台编码孔径X射线望远镜，可接收电磁波的能量范围是0.3~7.5KeV，能够探测贝努风化层中的物质受到太阳风影响而发出的X射线从而进行成像，角分辨率为21弧分。REXIS会存储每次X射线发射时间的数据，在探测器靠近贝努运行期间，其收集的数据足以获得分辨率10米左右的元素丰度图像。

最后，也是最重要的，采样机械臂TAGSAM，用于收集小行星风化层样本，并将样本放入返回舱中。其长3.35米，有三个关节，使用氮气来吹扫风化层，并使用接触垫捕松动的物质。在采样过程中，其他5个仪器共同配合进行控制，导航和记录。该仪器被设计为可以进行3次采样，能够采集至少60克的样本。

2017年，欧西里斯号还在前往贝努的途中，此时，ATLAS的第二台望远镜投入使用，位于夏威夷群岛莫纳罗亚天文台，编号T08。在NEOWISE和ATLAS等观测平台的帮助下，直径1千米以上的小行星已经被记录了97%，直径140米以上的小行星大概被记录了40%。已经确定，千米级的小行星的毁灭性撞击在几个世纪内都不会发生，但是百米级的撞击事件是有可能的。截至2017年5月，NEOWISE完成了对26000个已知物体的640000次观测，到了2018年5月，它发现了290个新的近地小行星和彗星。不久后，该任务被确认将一直延续至2024年。

又过去了几年时间，到了2020年10月，TAGSAM的用武之日到来，欧西里斯号在贝努表面着陆进行采样。当年10月21日6时13分，欧西里斯号以10厘米每秒的速度接近贝努，在距离小行星25米处开始启动SamCam，拍下了一段精彩的视频。采样工作在接触垫接触小行星表面的一瞬间完成，随后欧西里斯号启动推进器迅速后退。由于小行星表面比预期的软很多，这次接触扬起的物质已经填满了容器，于是决定不进行第2和第3次采样。2021年5月10日，欧西里斯号脱离贝努轨道，开始将样本送回地球的旅途。

就在欧西里斯号的归途中，人类开始了第一次次真正的改变小行星轨道的实践，即著名的双小行星重定向测试任务，简称DART。DART的任务是前往近地小行星65803系统，该系统由两颗小行星组成，轨道类型为阿波罗型，轨道周期约770天。其中较大的是Didymos，其直径约765米，近日点约1.0131AU，远日点约2.2753AU，轨道半长轴约1.6642AU，轨道偏心率约0.38385，轨道倾角约3.4079度。它虽然也被归类为潜在威胁天体，但实际上没有撞击地球的可能性。

较小的是Dimorphos，绕着较大的那颗公转，相对太阳的轨道参数与其没有区别。DART将对Dimorphos进行撞击，计划将其绕Didymos公转的轨道周期改变10分钟，以验证使用动能撞击的方法改变小行星轨道的可行性。

动能撞击是最可行也最可靠的行星防御手段，简单来说，就是让航天器撞击靠近地球的小天体，给小行星一个很小的速度增量，使其轨道发生变动，从而阻止其撞击地球。小行星撞击地球实质上是在小行星穿过地球轨道时，地球也在同一时间经过此处，然而小行星和地球的相对速度很大，但地球直径只有12756千米，所以只需要很小的DV就可以让小行星错过撞击窗口。这种技术已经又过应用的先例，在2005年1月12日发射的深度撞击号彗星探测器，就使用了释放撞击器的方式对坦普尔1号彗星的彗核进行撞击以方便对其进行研究。

2021年11月24日14时21分，SpaceX在加利福尼亚州范登堡空军基地SLC-4E发射场，使用猎鹰9号Block-5运载火箭，执行DART任务，将双小行星重定向撞击器送入日心轨道，这是助推器b1063第3次重复使用，一级回收在海上回收船OCISLY，这是当年全球当年第117次轨道级发射。

DART由NASA和约翰霍普金斯大学应用物理实验室共同研制，由PDCO资助，马歇尔太空飞行中心管理，部分与ESA，意大利航天局和JAXA合作开发，成本3.3亿美元。其发射质量610千克，长2.6米，每个太阳能电池板宽8.5米，发电功率6.6千瓦。该航天器没有携带任何科学载荷，主要的子系统包括如下几个：

DART的太阳能电池板使用最早在2017年的远征52任务期间的国际空间站上进行测试的滚动式柔性太阳能电池阵列，由Redwire公司研制，总面积为22平方米，使用类似卷轴的方式展开，质量较轻，但单位面积能够提供比老式的太阳能板更大的功率。

DRAT还演示了NEXT-C网格式静电离子推进器，该发动机由格伦研究中心和洛克达因公司合作研发，以氙气作为工质，功率是老式的NSTAR离子推进器的3倍，约3.3千瓦，使用前面介绍的ROSA太阳能电池板提供电能。其比冲约4170秒，推力约237毫牛。DART携带了60千克氙作为推进剂。

DART携带了导航传感器和相机，包括一台太阳传感器，一台星跟踪仪，和一台口径20厘米的望远镜，叫做小行星侦查和光学导航相机，简称DRACO，质量8.66千克，其技术来源于新视野号上的远程侦察成像仪LORRI，可以支持DART自主导航以撞击目标小行星。DRACO中的光学望远镜是一台里奇-克莱蒂安望远镜，视场为0.29度，在撞击前最后拍摄的照片的分辨率可超过20厘米。

意大利航天局制造了一颗小型卫星，全名意大利小行星成像立方体卫星，简称LICLACube，配备了2台相机，在发射时搭载在DART上，将在撞击前15天分离出去，与地球独立地进行通讯，并飞掠目标小行星以从第三视角拍摄DART撞击小行星时的图像。

与此同时，ATLAS获得NASA的380万美元的资助，为了填补没有南半球观测能力的缺陷，2022年初，第3台和第4台望远镜分别在智利里奥乌尔塔多的埃尔索斯天文台和南非萨瑟兰天文台开始运行，编号是M22和W68，前者也就是发现2024 YR4的那一台。至此，该系统获得了全天球观测能力。

ATLAS的望远镜使用的是50厘米口径的赖特-施密特可见光天文望远镜，最暗能够识别视星等19的物体，每一台望远镜都配备1台110兆像素的CCD阵列相机，视场为7.4度，相当于满月所占视野宽度的15倍，相机可以对中间的5.4度的区域进行成像，每次曝光30秒，每次拍摄后需要花费10秒调整望远镜朝向。因此，每台望远镜每晚都可以扫描1/4的天空4次。

ATLAS一旦观测到近地小行星，会首先估算其直径，若发现直径45米左右的小行星，其自动系统会发出一周的警告，对直径120米左右的小行星发出3周的警告。但是如果该天体相对望远镜的所在方向与太阳过于接近，就很难被观测到，造成车里雅宾斯克事件的KEF-2013小行星的接近方向就与太阳相当接近，处于当时任何地面上可见光观测系统的盲区。目前这个问题依然没有解决，但是ATLAS的出现使得大部分可能造成撞击的物体都能提前数天被观测到。

2022年9月11日，LICLACube与DART分离，DART也到达了目标小行星附近。9月27日，到了DART执行撞击任务的日子。它要撞击的小行星Dimorphos，编号为65083I，直径约177米，质量约43万吨。撞击前4小时，DART的自主制导系统开始完全接手导航工作，最后的轨迹在撞击前90分钟，DART距离目标38000千米时被确定。撞击前5.5分钟，DRACO相机开始拍摄视频并实时传回。撞击前4分钟，最后一次轨迹修正完成。

9月27日7时14分，DART以6.6千米每秒的速度成功撞击目标小行星，直接释放的能量约为3吨TNT当量，撞击后约3分钟，LICIACube完成了对Dimorphos的最近的一次飞掠，拍摄了照片，在配合南方天体物理研究望远镜的观测，确认此次撞击造成Dimorphos喷射出来超过100万千克的物质，被哈勃望远镜观测到产生了长度约30000千米的羽流，抛出的最大碎片直径约6.7米，将其轨道周期相比于原先缩短了33分钟，远高于原先预计的10分钟。

后来的进一步观测表明该小行星被撞击后，形状和自传状态都有显著的改变。DART的撞击几乎导致其整个表面发生了重塑和形变，留下了一个直径数十米的撞击坑，使得小行星形状显著变为扁椭球形，有可能使其脱离了原本与另一颗小行星的潮汐锁定，进入了无规律翻转的状态。这种翻转状态将一直持续几十年，直到被Didymos的潮汐力恢复到潮汐锁定状态。

这些超过预期的效果大概率是由于撞击造成小行星喷射的物质提供了额外的速度增量，研究表明，DART对目标小行星施加的速度增量被小行星抛射物放大了2.2～4.9倍，加之小行星与地球的交会窗口只有几十分钟，这也说明在实际的行星防御中，只需要很小的航天器的撞击，就可以使小行星错过与地球交会的窗口。至此，人类第一次改变小行星轨道的任务宣告成功，完全证明了使用动能撞击的方式阻止这种灾难的可行性。它还有一次后续任务，那就是Hera。不过，Hera到2024年才发射，我们先把目光放回到欧西里斯号上来。

大约又过了1年，欧西里斯号终于走完了归途，2023年9月24日18时42分，欧西里斯号在距地球101000千米处抛返回舱。返回舱进入地球大气后，减速伞未正常打开，所幸主伞在距地面2700米时张开，最终在22时52分以18千米每小时的速度安全降落在犹他州试验场。2024年1月13日，从返回舱中取出了121.6克的物质。不过，它的故事还没有结束。

在此前的2022年4月25日，NASA宣布将延长欧西里斯号的任务，延续了深空探测器超期服役的优良传统。在样本成功返回后，OSIRIS-REx改名为OSIRIS- APEX，AP代表阿波菲斯。它还有一个更著名的名字，毁神星。

毁神星，小行星编号99942，轨道类型为阿登型，成分类型未知。近日点约0.746AU，远日点约1.099AU，轨道半长轴约0.922AU，轨道离心率为0.191，轨道周期约324天，轨道倾角约3.331度，绝对星等19.7。它在2029年撞击地球的概率曾最高上升2.7，在历史上仅次于2024 YR4，以至于经掀起过一场类似的风波。后来，撞击概率降低至可以忽略不计，它最终会在2019年4月13日以5万千米左右的距离掠过地球，视星等将最高达到4.7等，肉眼可见。

该天体的直径达415米，质量估计为4600万吨，假如撞击地球，TNT当量约15.3亿吨，能够造成极其巨大的破坏，对于整个人类文明都会造成可观的负面影响。欧西斯号目前仍然在前往毁神星的途中，如果没有出现问题，它将在2029年4月8日开始对其进行近距离观测研究。

除了收集贝努样本之外，欧西里斯号进行的近距离的观测还可以帮助更精确地描述雅尔科夫斯基效应等非引力因素对小行星轨道的影响，以此更准确地估算撞击概率，对于规划应对措施至关重要。同时，本次任务也证实了人类使用探测器接触近地小行星的能力。这一枚探测器虽然以死神为名，但它的成就却为保护地球生命的行星防御技术的继续发展奠定了坚实的基础。

2024年10月7日22时52分，SpaceX在佛罗里达州卡纳维拉尔角空军基地SLC-40发射场，使用猎鹰9号Blcok-5运载火箭，执行Hera任务，将赫拉小行星探测器送入日心轨道。这是一级助推器b1061第23次重复使用，一级消耗使用。这是全球当年第182次轨道级发射。赫拉小行星探测器就是DART的后续任务，由ESA主导，携带了多个小型卫星和科研仪器，将在2026年到达Didymos系统，对DART的撞击结果进行进一步探测和分析，以为未来的行星防御任务的规划提供更精确可靠的数据。

2024年末，NEOWISE的任务接近尾声，它最终发现了365颗近地小行星，包括66颗潜在威胁天体。不过，由于太阳活动逐渐进入极大期，WISE的轨道高度开始加速降低，最终在2024年11月2日再入大气，结束了这场持续25年的巡天观测。WISE的技术和数据将用在其继任者上，即NEO Surveyor，将在2027年发射，以对近地天体进行进一步的专门观测。

接下来发生的就是2024 Y24的事情，这还要从2024年12月27日开始说起。这一天，智利里奥乌尔塔多的小行星陆地撞击持续报警系统分站观测到了一颗近地小行星。它被编号为2024 YR4，当时距离地球约83万千米，其轨道远日点4.18AU，近日点0.8515AU，轨道半长轴2.5159AU，轨道离心率0.6616，轨道倾角3.048度，自转周期约19分钟，公转周期约1458天，绝对星等约23.97。分类上，其成分类型为S或L，是一颗普通的岩质小行星，轨道类型为阿波罗型，即经过地球的近地天体。

2024 YR4被观测到后，触发了行星防御反应流程的第一步，也就是要求尽可能使用所有可用的天文望远镜收集有关该天体的数据。2025年1月，甚大望远镜VLT对2024 YR4进行了追踪。该小行星正在远离地球，由于其接近4年的轨道周期，它会在2028年再次与地球交会。

随着进一步的观测，其轨道测算越来越精确，其在2032年与地球的又一次交会中撞击地球的概率不断攀升。ESA的行星防御办公室于2025年1月30日开始对其进行密切追踪，此时撞击概率为1.2%。2月7日，撞击概率达到2.27%，2月9日，概率来到2.4%。

2月11日，撞击概率略有下降至2.1%。2月18日，撞击概率上升至2.6%。2月19日，撞击概率达到了3.1%的历史最高值。由于概率实在太高，甚至动用了韦布空间望远镜对其进行观测。假如它在2032年真的撞击地球，其可能的撞击点范围是从西非延伸到印度东部的一块带状区域。

由于重力加速度的作用，如果它撞击地球，其到达地面时的速度是17.5千米每秒，每千克质量释放的能量是每千克TNT炸药的37倍左右。由于观测数据不多，这颗小行星的质量只能依靠其亮度来进行粗略的估算，可能的质量范围很大，最小的质量估计是2.7万吨，大约相当于100万吨TNT当量，而最大质量估计超过100万吨，可能有4000万吨TNT当量，相当于战略核武器的级别。按照韦布望远镜的观测，实际的大小应该对应几百万吨TNT当量，无论如何，假如落在人口稠密地区，都会造成巨大的破坏，可能杀死数百万人。

随着观测的进一步进行，地球逐渐移出撞击判定点分布范围，撞击概率开始下降。2月20日，撞击概率骤降至1.5%。2月21日，概率变为0.28%，后又继续降低至0.16%，2月24日，撞击概率下降到0.0039%，但值得一提的是，它撞击月球的概率上升到了1.7%。3月8日，韦布空间望远镜对其进行观测，正式排除其撞击地球的概率，并确定了其直径约60米。随着它不断远离地球，它逐渐淡出人们的视野，下一次对它进行观测到机会在2028年。届时，对它的观测误差会再次减小，撞击地球的概率是否会再次出现也未可知。

地球的直径是12756千米，该小行星掠过地球的速度是13.5千米每秒，这意味着，它撞击地球的窗口是一段16分钟的时间。这种级别的撞击事件几乎每数千年就会发生一次。但我们不用担心，实际上，只需要向这种小行星施加1.6毫米每秒的速度增量就可以使它错过窗口，DART的结果向我们证明，使用动能撞击的方式来改变它的轨道是不难的，对于2024 Y24大小的小行星，只需要几十千克的航天器就可以完成这一任务。

现在，ATLAS更加完善，已经包含5台0.5米级天文望远镜。第5台安装在西班牙内里费岛泰德天文台，编号954，在今年2月投入运行。由于ATLAS的扫描速度远快于各种大型望远镜阵列，其很适合寻找近地小行星。ATLAS计划最终由8台望远镜组成，使得其观测范围在一天内的任意时间都能够覆盖整个天空。虽然现在的ATLAS的观测范围也可以副高整个天空，但是其覆盖的连续性和稳定性还需要更多的望远镜来提高。

如今，中国航天也正在规划行星防御的相关任务和岗位，不久后发射的天问二号将对震荡天星进行的首次小行星固着式采样，或许也会为行星防御乃至未来的小行星资源利用提供新的技术可能。欧西里斯号依旧在奔向毁神星的途中，Hera也即将到达Didymos系统进行进一步探测，我们将会继续见证行星防御的新篇章。

回首过去，尤卡坦半岛的伤疤依旧依稀可辨，毁神星和2024 YR4接连的擦肩而过也让我们心有余悸。从2005年到2025年，无论是NASA，JAXA，SpaceX，ESA，还是即将进军行星防御领域的中国航天，这些机构无不在用自己的智慧与勇气谱写着人类文明对抗天灾的壮丽史诗。让地球生命不再重蹈灭绝之覆辙，在宇宙中永世繁荣昌盛，或许也是我们作为这颗暗淡蓝点上唯一的智慧生命义不容辞的责任吧。