近地小行星防御体系研究

吴伟仁[1,2,3]，唐玉华[1]，宋叶晴[2]，刘双良[2]，吴 克[4]，
陈 琦[2,3]，赵鑫涛[2]，王思龙[2]，张天利[2]

（1. 探月与航天工程中心，北京 100195；2. 深空探测实验室，北京 100195；3. 深空探测全国重点实验室，合肥 230000；
4. 北京空间飞行器总体设计部，北京 100094）

摘 要：近地小行星撞击是人类长期面临的重大潜在威胁。近地小行星防御已成为深空探测的新兴热点和前沿方向。从管理体系和技术体系等方面，系统调研了联合国等国际组织以及美国、欧洲、俄罗斯等在近地小行星防御领域的态势，梳理了中国防御体系现状，探讨了体系发展目标，提出了监测预警、在轨处置、灾害救援、常态化体系应对等重点方向发展建议，为中国近地小行星防御体系建设提供参考和借鉴。

关键词：近地小行星防御；体系构建；监测预警；在轨处置；灾害救援

中图分类号：P185.7 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-9287(2026)03-0197-12

DOI:10.3724/j.issn.2096-9287.2026.20260042

引用格式：吴伟仁，唐玉华，宋叶晴，等. 近地小行星防御体系研究[J]. 深空探测学报（中英文），2026，13（3）：197-208.

Reference format: WU W R，TANG Y H，SONG Y Q，et al. Research on near-Earth asteroid defense systems[J]. Journal of Deep Space Exploration，2026，13（3）：197-208.

引 言

近地小行星指的是近日点距离<1.3 AU（Astronomical Unit，天文单位，1 AU ≈ 1.496 × 108 km），距地球最小距离≤0.3 AU 的小行星[1]。近地小行星可能与地球轨道交会，存在撞击地球的风险。地球上曾多次发生过小行星撞击引起的重大灾难事件。2000—2020年，地球先后经历了俄罗斯车里雅宾斯克撞击事件、数以万计的小于地月距离的小行星飞掠地球事件、近600次的小行星进入地球大气层事件。2025年初，一颗编号2024 YR4的小行星，在距地球80万km左右处飞越，猝不及防地进入公众视野，其撞击地球概率曾高达3%，引起全球广泛关注[2]。小行星撞击是小概率、高风险事件，其潜在灾难性后果以及历史中的必然性，决定了人类必须积极应对，是国际社会共同面临的重大潜在威胁[3]。

加强小行星撞击风险应对，已成国际共识。联合国等国际组织把近地小行星撞击列为毁灭人类和文明的重大灾害之首，并积极组织、筹划汇聚全球智慧与力量，致力于监测、预警并化解近地小行星潜在的撞击危机[4-5]。近年来，联合国框架下的国际小行星防御协同机制基本建立，美国、欧洲等航天力量已在行星防御领域展开了系统性的行动部署。中国也积极行动，逐步建立小行星撞击应对处置能力，力图为共同应对全人类长期面临的威胁和挑战做出中国贡献。

然而，小行星撞击风险应对的具体操作步骤尚待进一步细化，部门间的协同分工机制仍待完善，从顶层战略设计到可执行的全链条应急响应体系之间仍存在一定差距。监测预警基础设施能力有待提升，在轨处置手段亟需丰富，特种灾害救援力量仍需增强。与此同时，国际社会对小行星防御合作的需求日益迫切，如何在借鉴美欧等先行者经验的基础上，立足国情与技术积累，构建具有中国特色、符合国际规范的行星防御体系，是当前亟需研究的重要课题。基于上述背景，本文将从国际态势和发展趋势入手，系统梳理中国小行星防御体系进展，提出后续发展构想与具体实施路径，为中国近地小行星防御体系的建设和完善提供参考。

1 近地小行星防御体系国外发展态势

联合国作为各国合作应对近地小行星撞击风险的主要平台，通过其框架下国际组织建立了全球协调机制，牵引国际小行星防御体系发展。各国相继部署行

收稿日期：2026-04-27 修回日期：2026-05-10

基金项目：空间碎片与近地小行星防御科研专项（KJSP2023020302）；近地小行星防御与利用战略研究（2026-GJ-08）

动，建立了包括组织架构、应对机制、法规制度等在内的管理体系，形成了包括监测预警、在轨处置、灾害救援的技术体系。

1.1 国际行星防御组织

联合国下设的和平利用外层空间委员会（UNCOPUOS）具体负责促进各国间的国际合作，为各国小行星防御活动提供政策协调和法律框架。主要通过近地天体行动小组以及科技小组委员会实现。继近地天体行动小组之后，特别是受到2013年2月俄罗斯车里雅宾斯克小行星撞击事件的影响，联合国大会通过决议设立国际小行星预警网（International Asteroid Warning Network，IAWN）以及空间任务规划咨询组（Space Missions Planning Advisory Group，SMPAG）[6]。IAWN负责近地天体发现、跟踪、编目、特性分析等编目和预警工作，由美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA）负责日常管理工作。SMPAG则负责近地天体防御应对的相关工作，由欧洲航天局（European Space Agency，ESA）担任主席，联合国外空事务厅（United Nations Office for Outer Space Affairs，UNOOSA）担任常设秘书处。在接到IAWN的可信撞击警告后，SMPAG将向国际社会提出减缓方案和实施计划建议。二者接替了近地天体行动小组的职责，并以非常任观察员的身份出席科技小组委员会的会议，向外空委科技小组委员会提供年度工作进展报告。

各国航天局作为国际小行星防御体系的执行主体和重要参与者，通过加入IAWN和SMPAG融入国际体系，成为国际监测数据贡献者与任务规划参与者，共同构成体系的执行末端。NASA行星防御协调办公室（Planetary Defense Coordination Office，PDCO）同时担任NASA在IAWN和SMPAG中的代表，ESA担任SMPAG主席，中国国家航天局（China National Space Administration，CNSA）于2018年正式加入IAWN，同时担任SMPAG中国政府代表。

各国政府以任务级重大项目为实施载体，开展多层级的国际合作。如2015年NASA和ESA合作启动“小行星撞击与偏转评估”（Asteroid Impact and Deflection Assessment，AIDA）[7]，汇聚各界合作力量，发展多层级的国际合作体系，发挥各国多部门的优势力量，形成具有世界影响力的大型合作项目。具体而言，NASA负责执行“双小行星重定向测试”（Double Asteroid Redirection Test，DART）[8]任务，使用动能撞击器验证行星防御技术。DART航天器携带了一颗由意大利航天局（Agenzia Spaziale Italiana，ASI）提供的“意大利小行星成像轻型立方星”，用于收集目标小行星迪莫弗斯表面DART撞击过程以及由此产生的撞击坑和喷出物羽流的图像[9]。论证实施过程中，NASA联合ESA以及其他合作伙伴持续不断地对该近地双小行星系统进行观测。后续NASA还在DART团队下专门成立了观察工作组，负责协调DART任务的联合观测活动。此外，美国约翰斯·霍普金斯大学应用物理实验室（The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory，APL）与包括英国、法国、德国、意大利、西班牙、芬兰、韩国、新西兰、墨西哥、南非在内的许多国家的航天机构、科研院校和专家进行合作，组建了庞大的项目研究团队，基于观测获得的图像、数据等信息，开展科学研究合作。

此外，还有很多非政府平台也发挥着重要的多边协调、信息共享和学术交流作用，特别是国际宇航科学院（International Academy of Astronautics，IAA）、国际天文学联合会（International Astronomical Union，IAU）、小行星中心（Minor Planet Center，MPC）、国际科学光学监测网（International Scientific Optical Network，ISON）、行星协会（Planetary Society）、B612基金会等[3]。其中，IAA作为国际宇航领域的权威学术组织，自2013年起每两年举办一届IAA行星防御大会（PlanetaryDefense Conference，PDC），汇聚全球顶尖专家，讨论小行星和彗星对地球的威胁以及偏转技术，并开展模拟撞击演习。MPC由国际天文学联合会主持建立，位于史密森尼天体物理天文台，是全球近地天体观测数据的汇集枢纽与权威发布者，主导更新天体测量数据交换标准、近地天体快速确认与预警、以及台站国际认证，并将数据通过网站向国际社会提供。

然而，联合国外空委框架下的IAWN和SMPAG均属于机构间协调机制，并非法律意义上的国际组织，在决策和规则制定方面权威不足。此外，现行国际空间法中缺少专门规制行星防御的规则，仅有《外空条约》《责任公约》等规则适用，但在具体实践上仍存在较大争议，尚未形成共识。

1.2 美国行星防御体系发展现状

美国的近地小行星防御体系以NASA为核心，基于国家战略引领，持续完善发展监测预警、在轨处置、灾害救援技术，形成了从探测、预警、决策到响应的完整国家机制。

1）管理体系

美国近地小行星防御的组织架构以NASA行星防御协调办公室（Planetary Defense Coordination Office，

PDCO）为核心，开展覆盖科研、军事、应急管理和国际合作的跨部门多层协作。PDCO于2016年成立，隶属于科学任务理事会（Science Mission Directorate，SMD）行星科学部，主要职责包括早期探测、轨道跟踪评估、风险通报预警，以及在威胁发生时牵头美国政府的应对规划[10]。同时，PDCO作为联合国和平利用外层空间委员会（UNCOPUOS）认可的多边组织成员，协调参与IAWN和SMPAG的工作。美国喷气推进实验室（Jet Propulsion Laboratory，JPL）下属的近地天体研究中心（CNEOS） 作为PDCO指令的重要执行者，主要负责对PDCO发现的近地天体进行高精度的轨道计算和风险评估[11]。

法规制度方面，2005年，美国颁布《2005年NASA授权法》，其中《乔治·E·布朗小行星巡天法案》要求NASA探测、跟踪并编录90%以上直径大于140 m的近地天体。该目标被纳入美国法典第51编第711章。2018年，白宫发布《国家近地天体防御战略和行动计划》，并于2023年更新，是美国行星防御的纲领性文件。

应对机制方面，美国利用遍布全球的地基光学望远镜和深空雷达开展不间断巡天观测，将发现的新天体信息汇总至MPC，由NASA的哨兵 （Sentry） 系统自动计算撞击概率和轨迹，同时PDCO将持续进行精密轨道跟踪与物理特性表征研究。一旦确认构成威胁，PDCO立即启动机构间协调机制，同步通知白宫、国会、联邦紧急事务管理局（FEMA）及国防部等。根据撞击天体的尺寸、时间等因素，启动决策流程以评估干预必要性。根据决策结果启动在轨防御任务。同时，FEMA主导指挥美国境内的地面应急响应与灾后恢复工作。

2）技术体系

监测预警方面，美国相对完整地构建了地基为主、天基补充的监测设施体系，是世界近地天体监测技术的先行者和监测数据的主要贡献者，为实现“早发现、早预警、早应对”提供了坚实基础。美国具有4套地基光学监测系统，已实现由局部覆盖向全球组网的进化。林肯近地小行星研究系统部署在美国新墨西哥州，用于发现直径1 km以上的近地小行星，是1995—2004年期间近地小行星编目的主要来源[12]。卡特琳娜巡天系统部署在美国亚利桑那州，用于提升直径大于140 m的目标编目能力[13]。泛星系统部署在美国夏威夷州，2014年建成，是继林肯和卡特琳娜系统之后最先进的巡天系统[14]。阿特拉斯系统的五台望远镜部署于美国夏威夷、智利、南非及西班牙加那利群岛，首次将监测能力延伸至南半球[15]。地基雷达方面，利用1963年建成的阿雷西博射电望远镜观测了近900颗近地小行星。金石雷达于1987年建成，是目前唯一可用于小行星观测的地基雷达，已对1 000余颗近地小行星进行观测[16]。天基红外方面，美国近地天体大视场红外巡天探测卫星（NEOWISE）于2010年开始执行任务，2024年退役，累计获得了超过3 500颗近地天体观测数据[17]。NEOWISE的继任者近地天体巡天望远镜（NEO Surveyor）计划于2027年9月发射入轨，有望在5年内发现三分之二的大于140 m的威胁小行星[18]。预警计算平台方面，CNEOS开发和维护了两套预警计算系统，Sentry系统用于长期撞击监测，自动分析未来100年内的潜在撞击威胁[19]。侦察（Scout）短临预警系统用于在新天体发现后很短时间内进行快速轨道分析和撞击风险评估[20]。

在轨处置方面，美国是首次实现小行星防御技术在轨演示验证的国家。2005 年和 2022年实施了撞击彗星任务深度撞击（Deep Impact）。 2022 年成功实施双小行星重定向测试（Double Asteroid Redirection Test，DART）任务[8]，成功对狄蒂莫斯双小行星系统的子星迪莫弗斯实施撞击，造成子星迪莫弗斯绕主星狄蒂莫斯的轨道周期改变约 33 min，充分证明了动能撞击技术防御近地小行星撞击风险的可行性，具有重大的科学与工程意义。该任务采用“NASA宏观统筹 + 科研机构主导 + 多部门协同”的组织模式，由约翰霍普金斯大学应用物理实验室（APL）负责航天器制造与任务的管理，喷气推进实验室（JPL）、戈达德太空飞行中心（GSFC）和约翰逊航天中心（JSC）提供任务支持，协调开展了全球50多台望远镜参与的联合观测，实现了从任务论证、在轨实施到效果评估的首次完整实践。此外，学者们已针对激光烧蚀、离子束推离、拖船等其它多种处置手段开展大量技术研究[21-24]。2012年，提出DE-STARLIT激光烧蚀概念任务[25-26]。2014年，提出小行星重定向任务（Asteroid Redirect Mission，ARM），计划从太空中捕获一颗巨石并将其拖拽至月球轨道，验证增强型引力牵引技术[27]。2026年，美国蓝源公司与NASA喷气推进实验室及加州理工学院合作公布“近地天体猎手”（NEO Hunter）概念任务[28]，依托“蓝环”（Blue Ring）轨道服务平台，可根据威胁情况灵活选用离子束偏转（适合松散小天体）或动能撞击（适合紧急大天体）手段。

灾害救援方面，美国建立了多套模拟小行星进入与撞击效应的超高速空气动力学和超高速碰撞动力学试验装置，系统研究了小行星进入大气层超高速

气动力/气动热、烧蚀、爆炸解体、撞击陆地成坑/撞击海洋引起的海啸等问题[29-30]，研发了可对小行星撞击地球的过程和危害进行定量评估的分析评估系统（Probabilistic Asteroid Impact Risk，PAIR）[31]，已成为美国政府、军方、学术界开展小行星撞击联合应急桌面演习的主要工具。

1.3 俄罗斯行星防御体系发展现状

俄罗斯的近地小行星防御体系带有鲜明的“军转民”色彩，深度根植于其强大的导弹预警和太空监视能力。但近年来，其资金、基础设施和技术投入受到压缩。

1）管理体系

俄罗斯联邦政府下属的国家航天集团（Roscosmos）是小行星防御相关政策的顶层管理机构，负责牵头制定相关计划草案，筹措资金和技术，并推进国际合作。俄罗斯国家科学院空间委员会下属的空间威胁专家工作组是行星防御领域的核心协调机构[32]。2002年，与乌克兰合作创立非政府组织行星防御中心，为专家组提供科研和技术支撑。俄联邦安全部太空部队负责开展以国防和安全为目的的太空活动，主要包括太空态势监视和轨道控制。

持续修订的《俄罗斯联邦空间活动法》为小行星防御活动提供了原则性框架指导，内容包括开展小行星监测、偏转技术研发、部门职责分工、国际合作等，具体活动受到政府令、部门规章、战略与政策文件等规范。其中，《俄罗斯联邦太空活动战略2030》制定了行星防御领域的中长期发展目标，《2016年至2025年俄联邦太空科研规划》制定了“巡逻”近地天体监测预警计划。

2）技术体系

监测预警方面，由俄罗斯科学院主导的国际科学光学监测网（ISON）是全球最大的民间光学空间监测网络之一，由分布在全球15个国家的37个合作观测设施组成，主要从事空间碎片、小行星与彗星、以及伽马射线观测[33]，截至2026年3月，已独立发现近地小行星约180颗。

在轨处置方面，设计核动力拖船“Nuklon”等概念验证项目，计划利用约500 kW的核动力航天器附着目标小行星，利用核动力的强大推力改变目标小行星轨道[34]。

灾害救援方面，建立了可快速调度所有应急资源和力量的牵头抓总、高度融合的国家危机管理中心，构建了常态化演练机制。

1.4 欧洲行星防御体系发展现状

欧洲国家由欧盟提供政策与资金支持，以ESA主导技术与行动，开展多国协作。

1）管理体系

ESA行星防御办公室（Planetary Defense Office，PDO）及其下属的近地天体协调中心（NEOCC）是欧洲地区行星防御工作的主管部门，位于意大利，负责全球范围内近地天体的日常观测协调、数据整合与威胁评估[35]。NEOCC周期性更新风险列表，并上报IAWN。是否需要采取行动，由SMPAG负责商讨。一旦撞击不可避免，NEOCC会向欧洲各国乃至全球的应急机构发出预警，并提供专业支持，具体响应措施由各国政府主导。

2）技术体系

监测预警方面，ESA通过复眼（Flyeye）计划构建由分布在南北半球的4台望远镜组成的全球网络。通过其超广角视野，全自动化运行，实现高效进行巡天，其首台望远镜已完成首次开光调试[36]。ESA还开发獴哥（Meerkat）系统，可针对30天内的“迫近威胁”，快速锁定并计算出撞击时间与地点[37]。神盾（Aegis）系统用于对长周期、来自太阳方向的小行星（如2013年车里雅宾斯克事件）进行长期风险评估。

在轨处置方面，由德国主导的“近地天体防护盾”（NEOShield）项目主要研究动能撞击、引力牵引和核爆3种主流防御方式[38]。2013年，提出LightTouch2轻量化激光烧蚀概念任务，与ESA合作的Hera（赫拉） 任务于2024年发射，预计2026年底抵达目标，是欧洲首次在轨实施的行星防御任务，旨在研究DART任务的撞击后效，验证动能撞击防御策略[39-41]。此外，针对阿波菲斯（Apophis）小行星在2029年与地球的“擦肩而过”，计划于2028年发射“拉美西斯”（Ramses）任务，对其开展近距离探测[40]。

1.5 其他国家行星防御发展现状

除美、欧、俄以外，日本宇宙航空研究开发机构（Japan Aerospace Exploration Agency，JAXA）通过“隼鸟”[42]和“隼鸟2号”[43-44]两次任务为行星防御提供关键科学数据。韩国正在初步建立探测能力，计划于2027年部署首台专用望远镜，英国于2025年初正式加入IAWN[45-46]。整体而言，其他国家在小行星防御领域主要承担辅助观测能力补充和国际合作参与的角色，尚未形成体系能力。

2 中国行星防御能力发展现状

中国作为负责任的航天大国，正在积极筹划发展小行星防御能力，从专家层面探讨了中国小行星防御组织架构与工作机制[3]，持续推动发展监测预警、在轨

处置、灾害救援等技术。

2.1　管理体系现状

中国正在协调国内能力，逐步建立多边国际合作机制。2018年中国国家航天局代表中国政府加入IAWN和SMPAG。持续参加IAWN和SMPAG相关会议，跟踪国外相关研究进展。参加IAWN组织的联合观测活动，位于库尔勒、中卫和兴隆的3台望远镜在MPC登记注册，获得MPC正式编号。依托IAU框架下的MPC向国际社会贡献中国的观测数据，兴隆60 cm施密特望远镜、盱眙望远镜，观测数据都直接与MPC共享，并从MPC共享各国近地天体信息。基于APSCO机制发起亚太空间科学天文台项目。同时，依托学术机构，参与美国、俄罗斯开展以天体观测数据为主的双边国际合作。

2020 年，国家航天局牵头组建专家组，针对近地小行星撞击风险应对问题开展方案论证。2021年，组织实施国内首次小行星撞击风险应对推演，参加SMPAG首届国际小行星防御演习活动。中国发布的《2021中国的航天》白皮书明确提出，未来五年将“论证建设近地小天体防御系统，提升监测、编目、预警和应对处置能力”。2025年，成立国家航天局小行星监测预警研究中心，为统筹监测资源、实施业务化监测预警体系提供平台。当前，依托国内基础，初步建立国内跨部门的近地小行星撞击风险应对工作协调机制，覆盖“监测预警–在轨处置–灾害救援”过程。

2.2　技术体系现状

2000年起，中国专家陆续开展近地小行星防御相关技术研究。2018年召开以“小行星监测预警、安全防御和资源利用的前沿科学问题及关键技术”为主题的第634 次香山科学会议，2025年召开以“近地小行星防御关键科学与工程技术问题”为主题的第776次香山科学会议。2018—2020年，召开了3届全国行星防御研讨会。2021年、2023年召开第一、二届全国行星防御大会，聚焦小行星防御前沿技术与发展路线，开展技术交流。此外，持续围绕监测预警、在轨处置、灾害救援开展研究，将为近地小行星撞击风险应对提供技术基础。

1）监测预警

近地小行星监测预警主要包括发现、特性识别、跟踪，撞击概率评估、落点预报等，是近地小行星防御的先决基础。当前，中国的监测预警体系刚刚起步。中国目前仅有盱眙1.04 m近地天体望远镜作为小行星专用设备，尚未形成成套系统。冷湖2.5 m大视场巡天望远镜、兴隆2.16 m望远镜、丽江2.4/1.8 m望远镜等虽具备一定潜力，但与国外同类设备相比，性能存在差距，对监测能力提升有限。当前已部署的位于重庆的“中国复眼”深空探测雷达系统，也可用于近地小行星监测[47-48]。

预警平台方面，中国开发了小行星进入与撞击效应分析评估软件（Asteroid Impact Consequence Analysis，AICA）、危地小行星撞击风险预报系统（System for Hazardous Asteroid Risk Prediction，SHARP），能够针对短临预报场景，开展轨道确定、轨道推演、陨落预报的全程分析[49]。

2）在轨处置

目前，国际上将在轨处置方式分为瞬时作用（如核爆或动能撞击）和持续作用（引力牵引、离子束偏移、激光烧蚀、推力拖船、光热效应、质量驱动等）。中国已在部分技术手段上有所探讨，开展了动能撞击机理研究、离子束推离机理分析、激光烧蚀地面试验、质量驱动方案设计等研究[50-60]。在新概念行星防御技术上，中国提出了“以石击石”加强型动能撞击行星防御任务概念和动能撞击–激光烧蚀组合防御概念，为防御大尺寸潜在威胁小行星提供了新选项[61-63]。

中国于2025年5月发射的“天问二号”探测器具备50 m级小天体附着取样能力[61]，为小行星防御高精度自主导航等技术提供了基础。

当前，中国正在实施首次近地小行星防御演示验证任务，将在2029年左右采用动能撞击方式，对直径30 m级小行星实施轨道偏转[64]。

3）灾害救援

与地震等传统灾害不同，小行星撞击的风险具有跨国界性、规模极端性、灾害链复杂等特点，对救援的跨国协调、超大范围响应和次生灾害应对都提出了前所未有的挑战。中国近地小行星撞击灾害救援体系研究仍处于理论探索和机制构建初期，正在通过学术研究和模拟演练开展初步探索[65-67]。

3　中国近地小行星防御体系构建设想

中国小行星防御相关研究正处于起步阶段，体系发展基础较薄弱，面对近年来频繁发生的小天体入侵地球造成威胁的紧迫局势，中国需加快建立并完善小行星防御体系（参见图1）。

3.1　体系发展目标

以监测预警、在轨处置和灾害救援等技术体系发展为核心，完善组织架构和工作机制，持续提升技术水平，逐步形成组织实施能力，确保中国小行星防御体系稳步推进、持续发展。

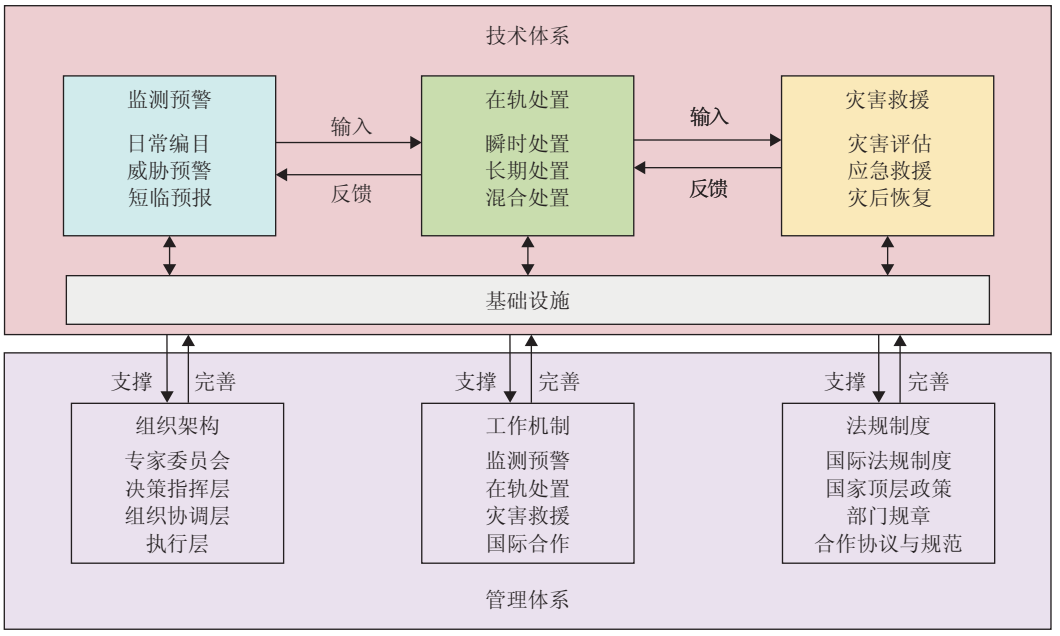


图 1 中国近地小行星防御体系构建设想

Fig. 1 Construction concept of China's Near-Earth Asteroid Defense system

监测预警能力。建设天地一体化协同监测预警网络，逐步提升140 m级、50 m级、30 m级NEA 自主发现与持续编目能力，提升中国的国际编目贡献率，建设以自主数据为基础的近地小行星数据库，满足日常编目、威胁预警和短临预报。

在轨处置能力。以动能撞击技术为主，发展多种处置手段，择机开展在轨演示验证。针对不同尺寸、不同风险等级的小行星，提前制定处置方案，建立多种技术互补的防御任务库，逐步具备30 m级、50 m级、140 m近地小行星多手段在轨处置技术能力。

灾害救援能力。建立特种灾害救援力量体系，保障灾害救援先进适用装备供给，开展常态化演习、演练，逐步形成30 m级、50 m级、140 m级近地小行星撞击灾害救援能力[68-70]。

实现常态化体系应对。健全组织架构，完善涵盖“发现−预警−处置−救援”的全流程应对机制。颁布国家级小行星防御政策法规，探索发起国际大科学计划，引导前瞻性国际规则进程，持续优化中国小行星防御体系水平。

3.2 提高监测预警水平

1）突破前沿基础技术研究

开展近地小行星编目定轨、多历元轨道关联与编目更新、多源多类监测数据融合处理、行星轨道动力学理论建模与演化特征分析等关键技术研究，解决近地小行星的精确轨道测量与确定、不确定性动态演化特征、轨道起源与历史演化路径等问题，实现小行星高精度轨道预报。一方面，研究基于长弧段定轨的高精度碰撞概率计算，实现长期高精度轨道预报。另一方面，研究动力学方程的快速求解和推演算法，突破基于短弧定轨的碰撞概率快速评估。实现撞击威胁演化与综合评估，近地小行星落点预报与危害区域预测，提升预警信息高可靠、高精度、高效率处理水平。构建小行星三维形貌模型和不规则引力场模型，研究基于实测数据的小行星引力场高精度反演方法，提高计算效率，为处置航天器的轨道设计与控制提供支持。

2）构建天地一体化协同监测网络

统筹利用存量资源，合理安排增量资源，构建天地一体化协同监测网络。充分分析现有可利用资源，根据各阶段能力目标，做好天地基监测系统的布局研究，分步建造完善时空协同，全天区、全天时覆盖的监测网络，提高近地小行星监测预警能力。

地基方面，部署大口径大视场深度巡天搜索望远镜、超大视场广域巡天搜索望远镜、光谱测量望远镜等大口径可见光谱、红外光谱测量专用望远镜，有效提升自主轨道更新数量、国际编目贡献率及近地小行星理化特性测量精度，对有潜在撞击威胁的近地小行星开展高精度观测及碰撞威胁评估。

天基方面，结合相关任务或专用探测器，开展日地L1点、地球领航/拖尾等轨道、类金星/远距逆行轨道等轨位监测效能的研究，适时部署或构建天基监测网络。利用多种在轨观测手段，弥补地基固有监测盲区。

3）构建小行星监测数据库/平台

构建小行星监测数据库/平台，支撑近地小行星监测预警业务化运行。汇集地基光学、地基雷达、天基等多源观测数据，建立统一的近地小行星数据库。对观测数据进行融合处理，确定目标小行星的高精度轨道信息。并根据望远镜获取的图像数据完成物理特性分析反演。基于多色测光、光谱数据、陨石样品等对目标进行材质成分分析。研究小尺寸小行星解体模型及演化传播模型，分析小行星主体结构和碎块的中长期潜在撞击风险，开展撞击危害效应建模、分析小行星精细特性对撞击危害效应的影响等。利用碰撞概率计算模型和危害评估模型开展风险研判，确定威胁等级，生成预警信息。

4）加快监测预警多样化合作

通过国际合作扩展我国小行星监测网络，提升中国小行星监测预警能力。考虑基于一带一路、亚太空间合作组织、金砖国家等现有机制与其他国家合作，利用国外台站或海外布站，丰富轨道编目数据库、拓展地基监测网的天区覆盖范围，共同建立全球性近地小行星监测网络，提高对小行星轨道和运动监测的准确性，满足多种任务场景需求。与其他国家开展载荷或任务级合作，提升天基监测能力。

3.3　增强在轨处置能力

1）加强关键核心技术攻关

加强多种技术手段在轨应用的深入研究，为后续工程实施奠定基础。面向动能撞击技术，研究深空超高速撞击精确末制导技术，提高深空背景下暗弱不规则小行星自主星上识别、高精度自主相对导航、轨道修正和高动态制导控制能力。深化超高速撞击动量转移与能量传递规律，数值模拟超高速撞击过程，开展超高速撞击效果分析与地面试验，精确测量反溅物动量。面向长期处置技术，继续发展超大型网捕装置，增强航天器拖曳控制能力。提高附着固定装置目标适应性，增强对松散小行星的附着能力。发展高比冲长寿命电推技术，增加可靠工作时长。优化离子推力器结构，研制适用于小行星防御场景的小束散角、高比冲、长寿命、高可靠离子发射装置。解决天基大功率供电、散热及长期工作稳定性难题，提高空间激光高精度指向聚束能力，实现脉宽、波长、重频、功率密度等激光参数的精细化控制。面向组合防御，开展分布式卫星系统构型设计，提高多星编队任务执行的安全性。

2）发展多手段处置航天器

针对不同尺寸近地小行星撞击风险的应对需求，发展瞬时作用处置航天器，采用动能撞击等技术手段，应对响应时间较短（10年以内）的撞击威胁；发展持续作用处置航天器，采用拖船牵引、离子束偏转、激光烧蚀驱动等技术手段，应对响应时间较长（10年以上）的撞击威胁；探索高能量拦截技术，应对响应时间较短、尺寸较大的撞击威胁；发展在轨评估航天器，开展特性探测、处置效果评估等。除单一处置手段以外，发挥组合防御优势，研制具备多种手段的处置航天器，形成在轨处置的快速响应能力。

3）构建处置决策支持平台

围绕在轨处置全流程任务实施，重点发展任务规划设计、处置作用分析、任务仿真推演和处置效能评估等能力，在现有航天测运控基础设施支持下，建设具备任务规划、数据处理、仿真推演、效能评估、数据应用等功能的在轨处置综合服务平台，加强与小行星监测平台协同对接，更好地支撑任务实施。

4）推进在轨处置任务级合作

积极参与SMPAG组织开展的各项活动，跟踪引导国际小行星撞击风险应对流程机制的磋商，以有效应对小行星撞击风险。积极争取与重要航天合作伙伴开展处置任务的联合研制或实施。依托各自优势，联合开展共性技术攻关、目标小行星的联合处置以及处置效果的联合观测和评估等任务级合作。

3.4　强化灾害救援保障

1）强化应急救援准备

完善灾害应急救援预案体系，编制针对火灾、爆炸、建筑倒塌、毒物泄漏、基础设施毁坏、溃坝洪水等典型灾种灾情应急处置预案。加强特种救援力量建设，针对小行星撞击地面灾害成灾规模大、灾情耦合叠加、救援环境复杂多样情况，统筹地震、水域、山岳、核生化等各类专业救援力量建设，加快补齐特种救援力量空白。依托国家综合性消防救援力量，提升水陆空全域综合救援和快速远程机动能力，依托行业领域专业力量，组建灾害监测、工程抢险、应急通信、电力抢修、医疗防疫、物流运输等技术辅助和综合保障队伍。分区域建成国家应急救援中心，建设国家和区域性应急救援队伍强化特种救援装备配置。

2）增强应急救援综合保障能力

强化应急物资准备，健全应急物资保障体系，建立跨区域跨部门应急物资保障协同联动机制，加强应急物资信息化管理，实现快速调拨、精准投送。强化应急物资装备保障建设，聚焦实战打赢、优化调整应急救援装备品类、规模和结构，补齐巨灾应急救援装备短板。加快新一代主战装备研发列装，加大先进适

用装备适配力度，推进装备配备通用化、系列化、模块化。

3）完善联合救援指挥机制

按照“国家统领、区域综合、分际协调”原则，健全各级应急指挥体系，完善统一指挥、现场指挥、专业指挥机制，强化信息会商、分级响应、联巡演练及国际救援协调，提升一体统筹、一体运行、一体联动整体合力。完善灾害事故应对处置现场指挥协调机制，加强多种应急力量参与现场引导管控，实现救援现场规范有序、行动高效顺畅。

参与引导跨国联合救援机制发展。构建防灾减灾人类命运共同体，建立灾害救援装备技术研发国际合作机制，以具备“水–陆–空”全域综合救援和快速远程机动能力为基础，参与引导国际联合救援，广泛开展灾害救援技术国际交流和演练，体现大国担当。

3.5 实现常态化体系应对

1）健全组织架构和工作机制

建立国家级在轨处置中心、灾害救援中心、国际合作中心。明确任务分工，强化部门职责，优化职能设置，完善中央统领、上下联动的分工协作机制，覆盖危害评估、处置决策、任务实施、处置效果评估、灾害评估、舆情引导、应急救援和善后恢复全流程，实现真实防御场景下“发现即有预案，风险即能应对”的完整工作闭环。积极参与现有国际多边机制和非政府组织合作，深化对俄合作，巩固拓展对欧合作，视情对美开启小行星防御领域对话，广泛拓展国际合作伙伴关系，建立双边合作机制，发展区域多边合作机制。

2）制定国家级行星防御政策法规

加快制定和发布国家级近地小行星防御政策法规，发挥国家政策先导作用，从法律层面明确中国近地小行星防御的顶层路线、总体流程、发展原则、部门管理职能等。针对纵向立法层，先行制定部门规章，结合政策理顺国内组织管理体系，积累实践经验。针对横向立法领域，规范近地小行星监测预警及相关数据处理活动，制定信息共享规范，明确在轨处置程序及相应操作标准，通过签署合作协议规避或减轻防御活动可能造成的损害赔偿责任风险。

3）发起实施国际大科学计划

围绕应对百年内撞击风险最大的近地小行星（如阿波菲斯小行星）目标，主动设计并牵头发起实施应对小行星撞击风险国际大科学计划，呼吁各国携手面对人类共同威胁，集智论证体系应对方案，拓展多样化监测预警合作，构建国际互联互通和开放共享机制，探索任务级在轨处置合作，树立大国合作典范，塑造我在国际小行星撞击风险应对体系中的引领地位。

4）引导前瞻性国际规则进程

加强国际小行星撞击风险应对领域政策法规、机制流程前瞻性研究，重点在国际决策机制和程序、防御技术手段合法性等方面主动作为，发挥引导作用。找准中国在国际小行星撞击风险应对体系中的发力点，深度融入小行星监测预警网、空间任务规划咨询小组、国际应急救援协调机构等相关国际组织，提升话语权和影响力，为共同应对全人类长期面临的威胁和挑战做出中国贡献。

4 结束语

近地小天体防御是人类保护自身生存与发展的必然选择，是构建人类命运共同体的责任担当。开展近地小天体防御研究，在攸关全球安危的重大事件面前掌握自主决策权，履行大国义务，是树立、提升中国负责任大国国际形象、争取中国在国际航天事务中的主导权和话语权的必然要求。本文系统深入探讨了近地小行星防御体系，分析了国内外现有体系构成和后续发展方向，为完善中国天地一体化近地小行星防御系统、进一步提升防御体系能力，提出如下建议：

1）近地小行星撞击风险是国际社会共同面临的重大挑战，事关人类生存与发展及文明存续，有非常迫切的现实需求和深远的战略意义。中国在近地小行星撞击风险应对问题上必须坚持大国思维，具有战略眼光。

2）尽快论证实施中国近地小行星防御重大工程，以系列任务实施有力推动我国近地小行星撞击风险应对能力顶层设计和长远谋划，着力促进中国撞击风险应对业务体系构建，加快形成中国撞击风险应对能力与创新能力。

3）亟待加大有关基础前沿科学研究和关键技术攻关支持力度，设立重大专项、重点研发计划等，提升国内有关科学技术水平。

4）高度重视近地小行星撞击风险应对领域国际合作，在国际合作中应积极主动，体现自己的能力与实力，增加中国相关领域在国际上的发言权，提出中国主导的合作议题。联合构建天地一体协同监测网，通过任务联合实施、产品联合研制、科学载荷搭载、任务数据共享等，开展更多维度、更宽领域的国际合作。

参考文献

[1] PERNA D，BARUCCI MA，FULCHIGNONI M. The near-Earth objects and their potential threat to our planet[J]. Astron Astrophys Rev

2013, 21(1):65-72.

[2] HE Y, WU Y, JIAO Y, et al. Observation Timeline for the Potential Lunar Impact of Asteroid 2024 YR4[J]. The Astrophysical Journal, 2026, 1001(1):40-49.

[3] 吴伟仁, 龚自正, 唐玉华, 等. 近地小行星撞击风险应对战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(2):140-151.
WU W R, GONG Z Z, TANG Y H, et al. Response to risk of nearEarth asteroid impact[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2):140-151.

[4] 龚自正, 李明, 陈川, 等. 小行星监测预警、安全防御和资源利用的前沿科学问题及关键技术[J]. 科学通报, 2020, 65:346-372.
GONG Z Z, LI M, CHEN C, et al. The frontier science and key technologies of asteroid monitoring and early warning, security defense and resource utilization[J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65:346-372.

[5] 龚自正, 陈川, 张品亮. 外空安全与环境治理:进展、挑战与机遇[J]. 空间科学与试验学报, 2024, 1(1):120-131.
GONG Z Z, CHEN C, ZHANG P L. Outer space security and environmental governance:progress, challenges and opportunities[J]. Journal of Space Science and Experiment, 2024, 1(1):120-131. 32.

[6] KOFLER R, DROLSHAGEN G, DRUBE L, et al. International coordination on planetary defence:the work of the IAWN and the SMPAG[J]. Acta Astronautica, 2019, 156:409-415.

[7] MOYANO-CAMBERO C E, PELLICER E, TRIGO-RODRIGUEZ J M, et al. Nanoindenting the Chelyabinsk meteorite to learn about impact deflection effects in asteroids[J]. Astrophysical Journal, 2017, 835(2):157-166.

[8] CHENG A F, AGRUSA H F, BARBEE B W, et al. Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos[J]. Nature, 2023, 616(7957):457-460.

[9] DOTTO E, DESHAPRIYA J D P, GAI I, et al. The Dimorphos ejecta plume properties revealed by LICIACube[J]. Nature, 2024, 627(8004):505-509.

[10] ANDREWS V P, DAOU D, JOHNSON L N. The United States planetary defence programme. In:legal aspects of planetary defence[M]. USA:NASA, 2021.

[11] YEOMANS D K, BAALKE R C, CHAMBERLIN A B, et al. The NEO discovery process[C]//Proceedings of International Workshop on Collaboration and Coordination among NEO Observers and Orbital Computers. Pasadena:The NASA/Jet Propulsion Laboratory, 2001.

[12] STOKES G H, EVANS J B, VIGGH HEM, et al. Lincoln near-Earth asteroid program (LINEAR)[J]. Icarus, 2000, 148(1):21-28.

[13] LARSON S, BROWNLEE J, HERGENROTHER C, et al. The Catalina sky survey for NEOs[C]//Proceedings of American Astronomical Society, DPS Meeting. USA:American Astronomical Society, 1998.

[14] KAISER N, BURGETT W, CHAMBERS K, et al. The Pan-STARRS wide-field optical/NIR imaging survey[C]//Proceedings of Ground-based and Airborne Telescopes III. San Francisco:SPIE, 2010.

[15] ATLAS. Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System[EB/OL]. (2025-11-05)[2026-05-01]. https://atlas.fallingstar.com/.

[16] SLADE M A, BENNER L A M, SILVA A. Goldstone solar system radar observatory:earth-based planetary mission support and unique science results[C]//Proceedings of IEEE. [S. l.]:IEEE, 2011:99(5):757–769.

[17] MAINZER A, BAUER J, GRAV T, et al. Preliminary results from NEOWISE:an enhancement to the wide-field infrared survey explorer for solar system science[J]. Astrophysical Journal, 2011, 731(1):53-65.

[18] SONNETT S, MAINZER A, GRAV T, et al. NEOSM survey cadence and simulation[C]//Proceedings of European Planetary Science Congress. UK: [s.n.], 2020.

[19] ROA J, FARNOCCHIA D, CHESLEY S R. A novel approach to asteroid impact monitoring and hazard assessment[J]. The Astronomical Journal, 2021, 162(6):277-287.

[20] FARNOCCHIA D, CHESLEY S , MICHELI M. Systematic ranging and late warning asteroid impacts[J]. Icarus, 2015, 258:18-27.

[21] LUBIN P, COHEN A N. Asteroid interception and disruption for terminal planetary defense[J]. Advances in Space Research, 2023, 71(3):1827-1839.

[22] SANCHEZ J P, COLOMBO C, VASILE M, et al. Multicriteria comparison among several mitigation strategies for dangerous near-earth objects[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2009, 32(1):121-142.

[23] SCHWEICART RL, LU ET, HUT P, et al. The asteroid tugboat[J]. Science American, 2003, 289(5):54-61.

[24] BOMBARDELLI C, PELÁEZ J. Ion beam shepherd for asteroid deflection[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2011, 34(4):1270-1272.

[25] LUBIN P, BRASHEARS T, HUGHES G, et al. Effective planetary defense using directed energy de-starlite[C]//Proceedings of 4th IAA Plantary Defense Conference. Italy. Paris:IAA, 2015.

[26] KOSMO K, PRYOR M, LUBIN P, et al. DE-STARLITE – A directed energy planetary defense mission[J/OL]. Optics & Photonics - Optical Engineering + Applications, 2014. https://www.semanticscholar.org/paper/DE-STARLITE%3A-A-directed-energy-planetary-defense-Kosmo-Pryor/2e7c9b8b03a95a62d821d122eedf13c702213df6.

[27] MUIRHEAD B K, BROPHY J R. Asteroid Redirect Robotic Mission feasibility study[C]//Proceedings of 2014 IEEE Aerospace Conference. Piscataway:IEEE Press, 2014.

[28] Blue origin[EB/OL]. [2026-05-11]. https://x.com/blueorigin/status/2031775427417473371.

[29] LI Z W, ZENG X Y, ALFRIEND K T , et al. New meteoroid entry method with a deformable non-spherical N-body model[J]. Acta Mechanica Sinica, 2024, 40(1):523142-523149.

[30] POPOVA P O , JENNISKENS P , EMEL'YANENKO V , et al. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization[J]. Science, 2013, 342(6162):1069-1073.

[31] LANDIS R, JOHNSON L. Advances in planetary defense in the United States[J]. Acta Astronautica, 2019, 156:394-408.

[32] SHUSTOV B M. On coordinated approach to the problem of asteroid-comet impact hazard[J]. Cosmic Research, 2010, 48(5):378-91.

[33] KOROBTSEV I, TSUKKER T, MISHINA M, et al. Observations of space debris in the vicinity of orbits of global navigation satellite systems[J]. Solar-terrestrial Physics, 2020, 6(3):94–100.

[34] ROSCOSMOS. Nuclear orbital complex "Nuklon":near-Earth asteroid mission scenario[EB/OL]. [2026-05-11]. https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-24/A3/4B/85489/.

[35] Near-Earth Objects Coordination Centre.The NEOCC is ESA's centre for observing and computing asteroid orbits and assessing their impact risk[EB/OL]. [2026-05-11]. https://neo.ssa.esa.int/about-neocc.

[36] CIBIN L, CHIARINI M, BERNARDI F, et al. NEOSTEL:the

telescope detail design program for the ESA optical ground network dedicated to NEO discovery and tracking[J]. Memorie della Societa Astronomica Italiana，2016，87：197-221.

[37] FRÜHAUF M，MICHELI M，OLIVIERO D，et al. Meerkat Asteroid Guard imminent impactor warning service of the European Space Agency[C]//Proceedings of 7th IAA Planetary Defense Conference，[S. l.]：IAA，2021.

[38] PERNA D，BARUCCI M A，DRUBE L，et al. A global response roadmap to the asteroid impact threat：the NEO shield perspective[J]. Planet Space Science，2015，118：311-317.

[39] MICHEL P，KUPPERS M，BAGATIN A C，et al. The ESA Hera mission：detailed characterization of the DART impact outcome and of the binary asteroid（65803）didymos[J]. Planet Science Journal，2022，3(7)：160-168.

[40] MORELLI A C，MANNOCCHI A，GIORDANO C，et al. Initial Trajectory Assessment of a low-thrust option for the RAMSES Mission to（99942）Apophis[J]. Advances in Space Research，2024，73(8)：4241-4253.

[41] VETRISANO M，BRANCO J，SANCHEZ CUARTIELLES J P，et al. Deflecting small asteroids using laser ablation：deep space navigation and asteroid orbit control for LightTouch2：AIAA-2013-5250[R]. Reston：AIAA，2013.

[42] KAWAGUCHI J，FUJIWARA A，UESUGI T. Hayabusa—its technology and science accomplishment summary and Hayabusa-2[J]. Acta Astronautica，2008，62(10-11)：639-47.

[43] TSUDA Y，YOSHIKAWA M，ABE M，et al. System design of the Hayabusa 2—asteroid sample return mission to 1999 JU3[J]. Acta Astronautica，2013，91：356-62.

[44] KIKUCHI S，MIMASU Y，TAKEI Y，et al. Preliminary design of the Hayabusa2 extended mission to the fast-rotating asteroid 1998 KY26[J]. Acta Astronautica，2023，211：295-315.

[45] WILLIAMS I P. The UK Near Earth Object Information Centre(NEOIC)[C]//Proceedings of IAU. [S. l.]：IAU，2006，2(S236)：471–476.

[46] KIM S L，LEE C U，PARK B G，et al. KMTNET：a network of 1.6 m wide-field optical telescopes installed at three southern observatories[J]. Journal of The Korean Astronomical Society，2016，49(1)：37-44.

[47] 陈少伍，李海涛. 深空组阵行星雷达探测能力分析[J]. 空间科学与试验学报，2025，2(4)：104-113.
CHEN S W，LI H T. The capability analysis of deep space array planetary radar[J]. Journal of Space Science and Experiment，2025，2(4)：104-113.

[48] WANG T G，LIU G L，CAI Z Y，et al. Science with the 2.5-meter wide field survey telescope（WFST)[J]. Science China(Physics，Mechanics & Astronomy)，2023，66(10)：155-202.

[49] 耿淑娟，赵洁凝，王楷铎，等. 危地小行星撞击风险预报系统–短临预报场景(SHARP-IIS)设计与应用[J]. 空间科学与试验学报，2024，1(4)：20-35.
GENG S J，ZHAO J N，WANG K D，et al. Design and application of prediction and analysis system for imminent impacts[J]. Journal of Space Science and Experiment，2024，1(4)：20-35.

[50] 龚自正，宋光明，陈川，等. 我国应对近地小行星撞击风险和动能撞击偏转研究的若干进展[J]. 上海航天(中英文)，2024，41(5)：11-23.
GENG Z Z，SONG G M，CHEN C，et al. China response to risk of NEA and kinetic energy impact deflection researches：retrospect and prospect[J]. Aerospace Shanghai(Chinese & English)，2024，41(5)：11-23.

[51] 郑雨韵，黄翔宇，毛晓艳. 基于图像配准的暗弱目标小行星识别方法[J]. 深空探测学报(中英文)，2023，10(4)：397-404.
ZHENG Y Y，HUANG X Y，MAO X Y. Asteroid recognition of dim targets based on image registration[J]. Journal of Deep Space Exploration，2023，10(4)：397-404.

[52] 刘璟，朱圣英，唐玉华，等. 小行星撞击探测自主导航与制导控制方法[J]. 深空探测学报(中英文)，2023，10(4)：405-412.
LIU J，ZHU S Y，TANG Y H，et al. Research on autonomous guidance navigation and control methods for small body impact detection[J]. Journal of Deep Space Exploration，2023，10(4)：405-412.

[53] 周琪，郑建华，李明涛. 小天体动能撞击防御中动量传递因子敏感参数分析[J]. 空间科学学报，2022，42(3)：463-475.
ZHOU Q，ZHENG J H，LI M T. Analysis of sensitive parameters of momentum transfer factor in kinetic impact defending small bodies[J]. Chinese Journal of Space Science，2022，42(3)：463-475.

[54] WANG Y，LI M，GONG Z，et al. Assembled kinetic impactor for deflecting asteroids by combining the spacecraft with the launch vehicle upper stage[J/OL]. Icarus，2021，368：114596. https://xueshu.baidu.com/ndscholar/browse/detail?paperid=132v00g0697706408f3h0870q7328280&site=xueshu_se.

[55] LI M，WANG Y，WANG Y，et al. Enhanced kinetic impactor for deflecting large potentially hazardous asteroids via maneuvering space rocks[J]. Scientific Reports，2020，10(1)：1-9.

[56] WU W R，GONG Z Z，TANG Y H，et al. Response strategy on impact risk of near-Earth asteroids[J]. Strategic Study of CAE，2022，24(2)：140-151.

[57] CHENG Q ，ZHANG W . Scientific issues and critical technologies in planetary defense[J]. Chinese Journal of Aeronautics，2024，37(11)：24-65.

[58] WANG T，QUAN Q，TANG D，et al. Progress in the development of small-celestial-body anchoring robots[J]. Nature Astronomy，2023，7(4)：380-390.

[59] 彭玉明，薛璐瑶，耿志卿，等. 基于太阳能电推进的小行星动力推离方案设想及处置策略[J]. 中国科学：技术科学，2024，54：1485-1495.
PENG Y M，XUE L Y，GENG Z Q，et al. Scheme assumption and disposal strategy study of asteroid dynamic push away based on solar electric propulsion[J]. Scientia Sinica Technologica，2024，54：1485-1495.

[60] 宋光明，任思远，龚自正，等. 近地小行星材料特性对激光烧蚀驱动效率的影响试验分析[J]. 深空探测学报(中英文)，2024，11(2)：203-210.
SONG G M，REN S Y，GONG Z Z，et al. Experimental study on influence of near-Earth asteroid material characteristics on laser ablation driving efficiency[J]. Journal of Deep Space Exploration，2024，11(2)：203-210.

[61] 张荣桥，张熇，刘建军，等. 天问二号小天体探测任务[J]. 中国科学：物理学 力学 天文学，2025，55(7)：6-15.
ZHANG R Q，ZHANG H，LIU J J，et al. Tianwen-2 small bodies exploration mission（in Chinese)[J]. Scientia Sinica Technologica Physica，Mechanica & Astronomica，2025，55(7)：6-15.

[62] 吴伟仁，唐玉华，李明涛. 小行星防御在轨处置技术研究进展[J]. 深空探测学报(中英文)，2023，10(4)：345-356.

WU W R，TANG Y H，LI M T. Research progress in asteroid defense on-orbit disposal technology[J]. Journal of Deep Space Exploration，2023，10(4)：345-356.

[63] 张熇，顾征，张相宇，等. 近地小行星防御的可行性研究[J]. 中国科学：技术科学，2024，54：1435-1445.
ZHANG H，GU Z，ZHANG X Y，et al. Feasibility study on the defense of near Earth asteroids[J]. Scientia Sinica Technologica，2024，54：1435-1445.

[64] 吴伟仁，唐玉华，韩思远，等. 小行星动能撞击在轨处置验证任务分析[J/OL]. 科学通报，2026. https：//link.cnki.net/urlid/11.1784.N.20260519.0922.012.
WU W，TANG Y，HAN S，et al. Analysis of on-orbit test missions for asteroid kinetic impact (in Chinese)[J/OL]. Chin Sci Bull，2026. https：//link.cnki.net/urlid/11.1784.N.20260519.0922.012.

[65] FENG C ，ZENG X ，LI Z ，et al. Atmospheric entry and strewn fields estimation for rubble-pile meteoroids[J]. Advances in Space Research，2024，74(7)：3123-3136.

[66] HULFELD L，KÜCHLIN S，JENNY P. Three dimensional atmospheric entry simulation of a high altitude cometary dustball meteoroid[J]. Astronomy & Astrophysics，2021，650：A101-1-A101-6.

[67] 龚自正，高珂佳，宋光明，等. 超高速碰撞研究在航天领域的应用现状与展望[J]. 现代应用物理，2018，9(4)：5-16.
GONG Z Z，GAO K J，SONG G M，et al. Research progress and prospect of hypervelocity impact and its space application [J].Modern Applied Physics，2018，9(4)：5-16.

[68] DANG L N，BAI Z Y，SHI Y L，et al. Progress in assessing hazards of asteroid impact on earth[J]. Advances in Mechanics，2024，54(3)：563-605.

[69] 洪宇，陈永强，蔡铤彬，等. 近地小行星撞击事件处置规则与处置流程[J]. 空间科学学报，2024，44(2)：287-298.
HONG Y，CHEN Y Q，CAI T S，et al. Near-Earth asteroid impact event disposal rules and processes[J]. Chinese Journal of Space Science，2024，44(2)：287-298.

[70] 刘芹芹，申旭辉，周炳红，等. 近地小行星撞遇地球灾害链效应[J]. 空间碎片研究，2022，22(1)：1-17.
LIU Q Q，SHEN X H，ZHOU B H，et al. Disaster chain effects from Near-Earth Asteroids collision with Earth surface[J]. Journal of Space Science and Experiment，2022，22(1)：1-17.

作者简介：

吴伟仁(1953－)，男，中国工程院院士，研究员，博士生导师，主要研究方向：航天测控通信与深空探测总体技术。
通信地址：北京市石景山区新融中街1号院2号楼(1000041)

唐玉华(1973－)，研究员，探月工程“嫦娥七号”任务副总设计师，主要研究方向：航天工程总体技术。**本文通信作者**。
通信地址：北京市石景山区石景山路99号院(100043)
E-mail：tangyuhua2010@126.com

宋叶晴(1998－)，女，工程师，主要研究方向：深空探测任务总体设计。**本文通信作者**。
通信地址：北京市石景山区新融中街1号院2号楼(100041)
E-mail：songyeqing126@126.com

Research on Near-Earth Asteroid Defense Systems

WU Weiren[1,2,3]，TANG Yuhua[1]，SONG Yeqing[2]，LIU Shuangliang[2]，WU Ke[4]，CHEN Qi[2,3]，ZHAO Xintao[2]，WANG Silong[2]，ZHANG Tianli[2]

（1. Lunar Exploration and Space Engineering Center，Beijing 100195，China；
2. Deep Space Exploration Laboratory，Beijing 100195，China；
3. National Key Laboratory of Deep Space Exploration，Hefei 230000，China；
4. China Academy of Space Technology，Beijing 100094，China）

Abstract：Near-Earth asteroid impacts represent a significant and long-term potential threat to humanity. Defending against near-Earth asteroids has become an emerging focus and frontier in deep space exploration. The current status of international organizations such as the United Nations, as well as countries including the United States, Europe, and Russia, was systematically investigated in terms of management systems and technological frameworks for near-Earth asteroid defense. The current state of China's defense system was reviewed, future development goals were discussed, and key development directions, including monitoring and early warning, on-orbit mitigation, disaster response, and routine system preparedness, were proposed, providing reference and guidance for building China's near-Earth asteroid defense system.

Keywords：near-Earth asteroid defense；system construction；monitoring and early warning；on-orbit mitigation；disaster assistance

Highlights：

- The current near-Earth asteroid defense capabilities of international organizations, as well as those of the United States, Europe, Russia, and China are investigated.
- Key development directions are proposed, including monitoring and early warning, on-orbit mitigation, disaster response, and routine system preparedness.
- It is necessary to plan and evaluate a series of projects for near-Earth asteroid defense, accelerate the improvement of China's defense system for near-Earth asteroids.

[责任编辑：高莎，英文审校：宋利辉]