

学人风采

“万里穿针” 铸非凡的空间交会对接 自主控制创新团队

薛英民 北京控制工程研究所

从神舟、天舟到天宫实验室，从天和、问天，到天宫空间站，中国的载人航天不断创造新的历史，而空间交会对接技术在其中是不可或缺的浓墨重彩之笔。作为载人航天活动的三大核心技术之一，它难度高、技术复杂，是载人航天、深空探测、在轨服务等领域的关键技术，因其空间距离跨度很大、控制精度要求极高，被形象地称为太空“万里穿针”。早在我国载人航天工程立项之前，一支团队便已将目光投向“未来”中国空间站的建设，率先开启了这项核心关键技术的攻关。至今，这支团队已在这条探索之路上接续奋斗了三十余载。

2025年5月，在中国自动化学会科技成就奖的领奖台上，北京控制工程研究所空间交会对接自主控制创新团队受到了全场瞩目。从基础理论

研究到关键技术攻关，再到方案设计实现和工程落地应用，这支深耕交会对接技术三十余载的团队将“万里穿针”的奇迹变为现实，为我国载人航天、月球探测、在轨服务等重大工程的实施筑牢技术根基，推动中国在空间交会对接领域实现了从跟跑到领跑的跨越，生动诠释了新时代的航天精神内涵。

筚路蓝缕启山林： 在空白与封锁中勾勒航天蓝图

20世纪80年代，当美国航天飞机频繁往返太空、俄罗斯“联盟号”飞船多次完成自动交会对接时，中国在空间交会对接领域还几乎是一片空白。1986年，国家863计划为中国载人航天工程按下了启动键，北京控制工程研究所的老一辈

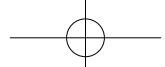


图1 神舟十六号载人飞船返回前绕飞拍摄的空间站全身像

专家敏锐捕捉到空间交会对接技术的重要战略价值，毅然踏上了这条充满未知的探索之路。

我国空间交会对接技术的概念性探索和原理性实验研究始于20世纪80年代末，杨嘉墀院士在黑板上郑重写下“空间智能自主控制”几个大字，为团队锚定了攻关方向；吴宏鑫院士带领年轻科研人员，用草纸和算盘逐行推导全系数自适应控制理论，在简陋的实验室里开启了漫长的技术攻坚。“那时没有计算机仿真，我们就用手摇计算器一点点算轨迹，一张纸正反面写满都舍不得丢弃。”

团队元老回忆道。

1999年，解永春研究员接过技术攻关的接力棒，带领团队正式向空间交会对接技术发起全面攻坚。彼时，国际航天强国对核心技术实施严密封锁，甚至在一次国际交流会上，中方技术人员因缺乏交会对接工程经验而被外方专家斥责提出的问题“幼稚”。面对技术壁垒与刺耳嘲讽，中国航天人心中却燃起更炽烈的信念：“别人能做到的，我们不仅要做到，还要做得更出色！”

2002年，在国家载人航天二期工程交会对接

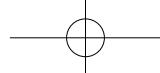


图2 团队早期主要成员合影

任务立项前夕，北京控制工程研究所成立以解永春为技术负责人的交会对接工程组，全面启动交会对接制导、导航与控制基础理论方法研究、关键技术攻关及工程实现。团队开始了“白加黑”工作模式，白天在实验室开展反复试验，夜晚围坐在一起讨论方案，经常为一个技术细节争得面红耳赤。工程研制初期，理论与工程应用的衔接成为巨大挑战。正如团队所言：“难点不是不知如何解题，而是连问题都无法精确提出。”为攻克光学敏感器测量精度难题，团队连续3个月驻守实验室，反复调试参数；在突破相对位置和姿态确定技术时，他们绘制的工程图纸堆满整间办公室，累计推导公式超万条。

在神舟八号飞船与天宫一号目标飞行器首次自动交会对接飞行任务的准备阶段，距离任务实施仅剩3天时，地面仿真试验中飞船姿态控制突发振荡现象，这一棘手难题令所有人寝食难安。关键时刻，解永春突破性地将其博士论文中的“黄金分割系数”理论应用到飞船控制参数设计中，带领团队历经72小时不间断的验证优化，最终成功化解危机，为我国首次交会对接任务的圆满成功奠定了坚实基础。

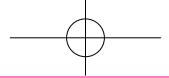
2011年11月3日凌晨1时29分，神舟八号与天宫一号在太空成功“牵手”。这一历史性时刻，不

仅标志着我国空间交会对接技术实现从“0”到“1”的重大突破，更意味着我国空间技术完成跨越式发展，成为我国载人航天事业发展历程中具有划时代意义的重要里程碑。当对接成功的喜讯传至控制大厅，现场瞬间爆发出雷鸣般的掌声，团队成员们相拥而泣。从技术空白到自主跨越，他们以坚韧不拔的毅力突破层层壁垒，以勇于创新的精神攻克道道难关，在人类航天史上镌刻下属于中国的浓墨重彩之笔。

敢为人先攀高峰： 在竞争与极限中实现自主跨越

随着国际空间站建设和运营的深入，交会对接任务频次、可靠性、飞行时间等都面临着更高的要求。2012至2013年间，俄罗斯相继实现货运飞船、载人飞船与国际空间站的6小时快速交会对接。国外技术的迅猛发展给团队带来巨大压力，且考虑到我国未来空间站的建造需求，解永春在团队会议上掷地有声地强调：“我们不能止步于现有成果，必须再突破。”

2013年，神舟十号交会对接任务圆满完成后，团队便超前布局，开始了以全自主、快速为核心特征的交会对接新技术预先研究。依托前期技术积累，自主快速交会对接项目从研制伊始便坚持自力更生原则。团队主动作为，在原有技术基础上，针对不同任务需求，构建了多模式自主交会对接制导和任务规划方法体系。为实现远距离自主快速交会，团队基于运载火箭入轨条件，创新提出兼具高适应性与强容错能力的技术方案。在一次关键技术攻关中，团队成员连续奋战48小时，对算法进行反复迭代优化，最终突破传统技术途径，将原本依赖地面遥测遥控的复杂计算过程迁移至飞船自主执行，使远距离导引效率大幅提升。



面对空间站建设与运营阶段愈发高频的交会对接任务需求，团队全力投身于“初始全相位”技术突破上，致力于扩展方案对发射窗口的适应性。为确保技术的可靠性与稳定性，团队累计开展3000余次模拟试验，针对200余种极端工况开展深入剖析，并最终实现了飞船入轨时无论与空间站相位差几何，均能在规定时间精准完成对接，真正意义上达成全天候发射，极大提升了我国空间站任务执行的灵活性与效率。

着眼于空间站多对接口的运营需求，团队从系统工程的宏观视角出发，创新性地提出以“近程中瞄点”为代表的锚点设定和时空折叠技术。该技术并非孤立的单点突破，而是一套涵盖轨道规划、导航控制、对接策略确定等多方面的综合性解决方案，旨在实现空间站各对接口资源利用与任务执行效率的全局最优。相关技术论文一经发表，便迅速引发国内外同行的高度关注与广泛讨论，彰显了我国在空间交会对接领域的前沿探索成果与强大技术实力，为我国空间站后续拓展建设及长期稳定运营筑牢了坚实的技术根基。

2017年，天舟一号货运飞船首次在轨验证了我国6.5小时全自主快速交会对接技术；2022年，天舟五号更进一步，以2小时全自主快速交会对接刷新了世界纪录。这些突破性成就的背后，凝结着团队无数个日夜的深耕细作与执着付出。在天舟五号任务筹备期间，团队开启“超长待机”工作模式，成员平均每天工作时长高达16小时，累计攻克技术难题近百项，对核心设计进行了127轮迭代优化。这背后，



图3 团队成员在首次手动交会对接实验完成后合影



图5 交会对接任务飞控过程中



是航天人用汗水浇筑的技术跨越，更是中国在空间交会对接领域从“追赶者”向“领跑者”蜕变的生动注脚。

一约既定，星河无阻。回顾三十余载奋斗历程，团队以科技创新为笔，在太空探索的版图上勾勒出举世瞩目的中国高度。

实现从“跟跑”到“并跑”的理论突破：团队率先创建了基于特征模型的黄金分割智能控制理论和方法，创新性提出基于特征模型的相平面自适应控制方法，精准破解飞船在轨姿态震荡问题，为交会对接技术奠定智能控制理论根基。这一成果不仅突破了国际技术壁垒，更使我国在航天控制理论领域获得了与世界强国平等对话的“话语权”。

破解全维度“万里穿针”密码的技术攻坚：团队发明了多变量协调的自主快速交会对接制导方法，突破了 $0^\circ \sim 360^\circ$ 全相位交会对接关键技术，解决了在轨轻量化计算约束下的远距离高精度制导自主实施难题；提出基于锚点设定和时空折叠的交会对接飞行任务规划方法，突破了多个强约束条件下飞行任务规划的重大技术瓶颈；构建了多任务 - 多场景 - 多模式的自主安全交会对接制导导航与控制技术体系，实现自控 / 人控一体化交会对接制导导航控制、全自主快速交会对接高精度制导控制、合作 / 非合作目标特征感知与控制等关键技术突破，系统性地解决了从理论方法到高可靠工程实施的全链条难题。

呈现 38 次完美对接的世界答卷：团队累计完成 38 次在轨交会对接任务的成功实施，实现了我国交会对接技术从无到有、从“手动驾驶”到“无人驾驶”、从“地面支持”到“全自主”、从长时到短时、从“单任务”到“多模式”的跨越式发展。这些突破不仅保障了载人航天、月球探测等国家重大工程的顺利实施，更使我国交会对接技

术跻身世界前列，成为国际航天领域“中国智慧”的闪亮名片。

薪火相传续华章： 在传承与创新中凝聚奋进力量

三十余载岁月更迭，北京控制工程研究所空间交会对接自主控制创新团队孕育出独具特色的文化传承，老一辈航天人“敢啃硬骨头，能坐冷板凳”的精神，如同一束永不熄灭的火炬，在代际传承中照亮前行之路。团队逐步构建起“以老带新传经验、文化传承聚共识、工程牵引强根基、实践淬炼育英才”的立体化人才培养和管理体系，确保了组织队伍的健康成长和创新能力的持续提升。

从神舟八号和天宫一号的我国首次交会对接至今，解永春研究员始终担任交会对接控制团队的领军者。作为团队的核心和灵魂，她三十余载如一日坚守科研一线，每一次交会对接任务的现场、每一次技术攻坚的关键节点，都能看到她专注的身影。年轻设计师们常说：“有解老师在，我们心里就踏实，她是我们的‘定海神针’！”

在解永春研究员的带领下，团队人才辈出，人才培养成果璀璨夺目。相继培养出一位俄罗斯宇航科学院院士、一位国际宇航科学院通讯院士、一位“百千万人才工程”国家人选、五位型号副总师和两位集团公司学术带头人，十余名骨干荣获中央企业“五四”青年奖章、中国载人航天工程突出贡献者、探月工程突出贡献者等荣誉称号。这些人才在各自的岗位上发光发热，推动着中国航天事业的发展。

伴随人才的成长，一批托举未来发展的基础设施和技术也得到了长足进步，依托空间智能控制技术全国重点实验室，紧密围绕航天器智能自主控制最前沿方向，建设了世界一流的航天器交

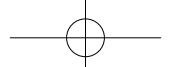


图6 解永春和团队成员在讨论交会对接方案

会对接控制方案设计、系统研制、试验验证综合实验室，构建了具有数字孪生、硬件在回路、天地一体、多层次验证能力的综合仿真验证和在轨飞行控制支持系统，为我国航天器交会对接控制的理论、方法和技术进行原创性、探索性、应用性研究提供国际一流水平的研制保障条件，逐步建立了我国交会对接测量、导航、制导、控制、地面验证、在轨飞行等理论方法体系和工程实现途径。

随着载人三期、月球采样返回、载人登月等任务立项，团队中年轻力量不断加入，团队规模也在日益壮大。他们既继承了老一辈航天人的优良传统，又充满朝气与活力。在载人登月、火星采样返回、在轨服务等与空间交会对接相关的型号论证和工程研制工作中，一批年轻设计师们勇挑重担，用青春和智慧续写着中国航天的传奇。

北京控制工程研究所空间交会对接自主控制

创新团队的成就，不仅体现在一次次成功的交会对接任务中，还体现在众多的荣誉和成果上。他们承担了30余项国家、省部级预研及工程任务项目，荣获20余项国家及省部级科技奖励，已获百余件发明专利授权，并获得世界知识产权组织最佳女性发明奖、国际发明展金奖等多项国际奖励。出版中、英文专著5部，发表论文200余篇。这些成绩的背后，是团队对航天事业的无限热爱和执着坚守。

在重大工程需求的牵引下，团队高学历成员不断扩充，研究生及以上学历占比95%以上，具有正高级专业技术及以上职称者占比60%，覆盖交会对接总体任务规划、控制系统方案设计、系统研制、试验验证、核心单机等专业，是一支基础能力扎实、年龄分布合理、技术水平过硬的专业化创新队伍。

团队成员携我国空间交会对接自主控制技术



研究成果，积极参加国内外发明展览活动。团队注重各种学术交流，借助有利的平台和机会，在国际宇航联合会、国际自动控制联合会、中国自动化学会等团体组织的学术会议上作特邀报告 10 余次，成为国内外专家关注的热点，受到广泛好评。2018 年出版《航天器交会对接制导导航控制原理和方法》和《航天器动力学与控制》，属于“十二五”“十三五”国家重点出版物规划项目，并在施普林格出版了英文版，有力推动了学科发展。2019 年获第 47 届日内瓦国际发明展金奖和第 71 届德国纽伦堡国际发明展金奖。

站在新的历史节点，北京控制工程研究所空间交会对接自主控制创新团队将继续秉承航天精神，以更加昂扬的姿态，向着载人登月、深空探测等更高目标迈进。他们深知，太空探索永无止境，唯有不断创新、接续奋斗，才能在浩瀚宇宙中书写更多属于中国航天的辉煌篇章，才能在推进高水平科技自立自强的同时，为实现中国梦、航天梦贡献更大的力量。

本文转载自 IEEE Spectrum 中文版《科技纵览》
2025 年 6 月刊。



【作者简介】薛英民，任职于中国航天科技集团，高级政工师。长期从事航天科技领域的宣传与科普工作。