

# 让宇宙深空从“看不见”到“看得清”

## ——对话俄罗斯自然科学院院士、英国皇家学会工艺院院士、北京航天飞行控制中心特聘专家赵正旭

(上接第一版)急需计算机技术与航天工程的交叉人才,我觉得自己的专长能够为国家做点实事,就迅速回到了祖国。

### “从0到1”的突破:开创我国航天可视化测控新时代

记者:英国2003年曾发起过一个名为“猎犬二号”的火星探测项目,这是欧洲航天局火星快车任务的一部分,也是英国首次主导的火星着陆器任务。但遗憾的是,该任务发射后并未按照计划完成火星着陆,探测器被宣布失踪。您是否了解该项目的情况?这对您后来从事航天测控有什么影响?

赵正旭:猎犬二号筹备的时候,我曾作为外国人参与过相关工作。事实上,直到2015年,NASA才通过火星勘测轨道飞行器发现了猎犬二号探测器的残骸,确认了项目失败的原因是太阳能板未能完全展开,遮挡了通讯天线导致失联。

这项任务的失败给了我很大触动。探测器发射后失联的主要原因之一,就是地面控制人员无法实时掌握其状态和位置。这让我意识到,可视化测控技术在我们探测深空的过程中非常重要。也就是从那时候开始,我逐步开启了研究三维可视化技术的工作,利用业余时间开发相关软件,这为后来参与中国航天项目打下了基础。

记者:我们知道,飞船等航天器在太空中“遨游”,其距离超过了人肉眼可见的范围;但太空中又没有摄像机,地面控制人员如何在第一时间看到飞船飞行实况,又如何知道它的飞行姿态、角度?我们现在在直播中看到的飞行、交会对接等画面来自哪里?

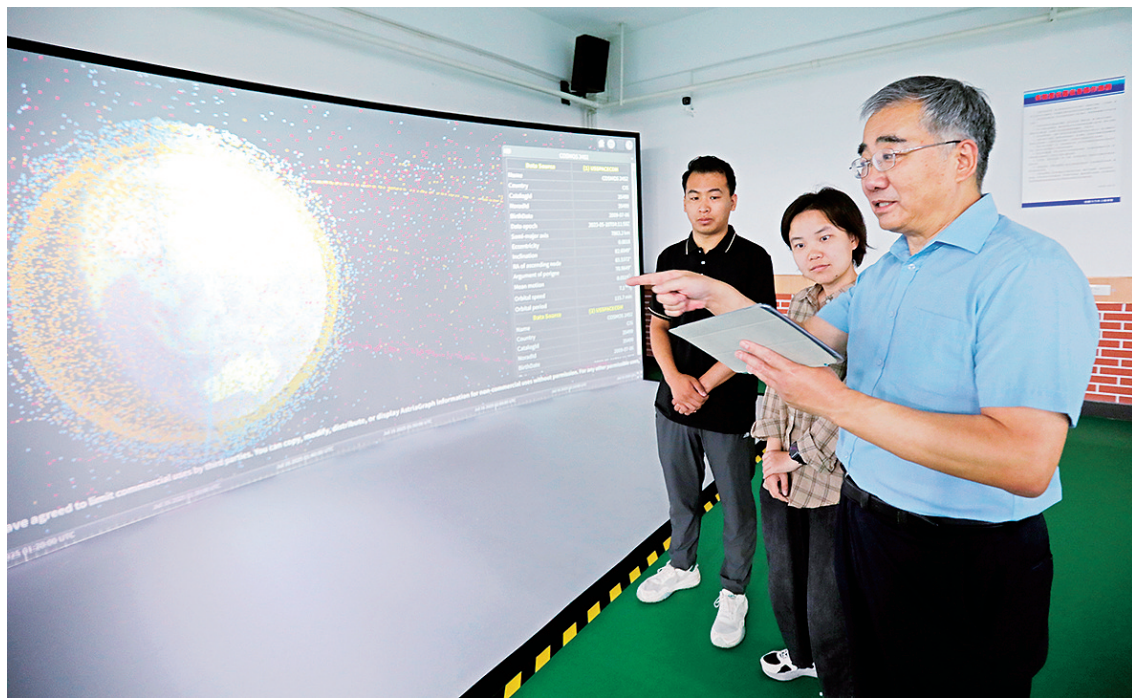
赵正旭:其实飞行器在深空运行过程中是有轨道的,但是我们通过数学算出来的理论轨道与实际运行轨道往往有误差,这就意味着飞行器在深空的状态、角度、位置可能发生偏离。打个比方,我们开车需要一个导航画面,地面控制人员也需要看到飞行器的实时画面来调整其状态。

测控过程不透明,地面的人就无法实时“看”到深空的情况,既给处理突发紧急情况带来了难题,也不便于公众了解和媒体报道。同时,地面控制人员群体庞大,环节众多,每个环节的任务之间无法实现数据共享、技术共通,大部分人只能知道自己所负责环节的情况,无法了解其他环节的情况,环节链条之间的“脱节”也是个棘手的问题。我们急需一套能让所有人都“看得见、看得懂”的测控系统。

2008年,我牵头组建了创新团队,一头扎进了航天测控可视化技术攻关中。当时,国内航天测控可视化技术刚刚起步,技术和人才基础都非常薄弱。一方面,领域内的技术不成体系,也没有标准规范指引,更别说自主知识产权,我们要将碎片化的技术进行体系化整合;另一方面,多数成员从来没有接触过可视化技术,轨道根数、姿态四元数等航天术语对他们来说就像“天书”一样。

我记得那个炎热的夏天,实验室处于扩建阶段,还在连接电缆,空调无法开放。夜晚相对凉快,工作效率也高,我们经常通宵做实验,在“桑拿天”里守着几台上千瓦的工作站夜以继日干了两个多月,“从0到1”,我国航天工程第一个三维可视化平台的原型系统就这样诞生了。

后来,团队不断完善这套系统,逐渐实现了将复杂的航天器轨道数据、姿态数据实时转化为直观的三维图像。在这个系统中,航天器上雷达、光学相机等实时传回的数



赵正旭给学生们讲解空间碎片监测预警。韩星摄

据可以在0.1秒内得到“实时翻译”,并以画面的形式进行展示。自此,我国航天工程有了实时、直观的画面展示,不仅为地面控制人员进行操控指挥提供了决策支持,也让群众对“飞天”有了更直观的感受。值得一提的是,这套系统从软件到硬件都实现了自主可控,我国由此成为全球首个实现航天任务全程实时三维可视化测控的国家。

### 深度“嵌入”:在“问天之路”上提供了50余次任务护航

记者:现在,中国正深入探索浩瀚宇宙,发展航天事业,建设航天强国。在这条“问天之路”上,这个具有完整自主知识产权的航天测控可视化系统平台已经“嵌入”到我国航天发射技术体系中,通过实时数据驱动,实现了对陆、海、空、天基海量测控数据的精确实时处理与推送,实时展现航天器状态。您能不能给我们举个印象深刻的应用案例?

赵正旭:从神舟五号到如今的神舟二十号,从嫦娥二号到嫦娥六号,以及天问一号、天问二号,我们团队均全程参与了护航保障任务。在这个过程中,我们又“升级”出中国唯一航天装备数字孪生及可视化遥操作系统。目前,我们已累计承担国家载人航天工程、探月工程及火星探测任务等50余次实时可视化飞行控制与指挥任务,保障了国家航天工程系列任务的精准实施和圆满完成,实现了历次航天任务“零失误”。

比如,2010年10月1日,中国发射第二颗绕月人造卫星——嫦娥二号,为后续探月着陆任务提供了数据支持。按原来的技术水平,嫦娥二号需要在茫茫宇宙中变轨13次才能进入目标轨道。使用这套可视化系统后,仅变轨7次就进入了目标轨道,这为航天器节省了大量燃料。更值得一提的是,发射任务完成后,我们还利用剩余燃料将探测器送到了地月拉格朗日L2点,这是亚洲国家在全球首次

实现这一壮举。这次任务的成功,也首次系统证实了可视化系统的可靠性。

再如,2021年5月30日5时01分,我国天舟二号货运飞船与空间站天和核心舱成功实现自主快速交会对接。空间交会对接是载人航天工程的三大基本技术之一,是实现空间站和空间运输系统的装配、回收、补给、维修、航天员交换及营救等在轨服务的先决条件,复杂度、精度、自主性和安全性要求都极高,堪称“万里穿针”。此次天舟二号与天和核心舱的交会对接是我国在轨进行的第二次快速交会对接,实现自主人轨和交会对接,全程不需要人工干预。之所以对这样的重大工程也有“放手不管”的底气,是因为在地面的控制中心,三维实时航天可视化技术分秒不停地还原着飞船在太空的实时状态,确保对接过程“尽在掌握”,实现了每秒8公里速度下5毫米精度的对接。

记者:您提到嫦娥二号成功到达地月拉格朗日L2点,这在航天领域意味着什么?能否为我们科普一下这个特殊空间位置?要到达这个点有哪些技术难点?

赵正旭:拉格朗日点是天体力学中非常特殊的空间位置,由数学家拉格朗日发现并命名,是地球和月球引力平衡的特殊位置,探测器在那里能保持相对静止。找到这个点在数学计算上不难,但工程上实现非常困难。

在地球和月球系统中,存在五个这样的点(L1—L5),其中L2点位于地球和月球连线的延长线上,距月球约6.5万公里。探测器在这里可以保持相对地月的静止状态,就像被“钉”在太空中一样,只需很少燃料就能实现长期驻留。这是部署中继卫星的理想位置,可以为我国探月月球背面提供“接力”,可以说是深空探测的一块“跳板”。

将探测器送到L2点,轨道设计复杂,控制精度要求极高且测控难度大。我们创新性地设计了“面条轨道”——就像把一根面条弯曲成特定形状,让探测器沿着这条特殊轨道稳定到达目标点,为后续嫦娥四号月球背面探测打造了“中转站”。

### “普适应用”:从航天测控到低空经济,助力青岛产业发展

记者:中国航天事业从无到有、从弱到强,一步一个脚印地走出了强国之路。面向未来,您如何看待商业航天等相关领域的发展前景?测控技术未来还能应用在哪些经济领域?

赵正旭:眼下,我们国家一方面鼓励民营资本进入商业航天领域,推动一批民营商业航天企业快速发展;另一方面,对于尖端的、短期内没有商业回报的领域,鼓励由国有企业、国有资本来推动发展。政府力量与市场机制充分结合,就会产生资源配置效益的最大化和效率的最优化。

此外,政策支持有利于构建健康、良性、富有活力的载人航天竞争发展新格局。现在国家不断加大政策牵引力度,地方政府也积极给予产业落地支持,技术、资本、人才等资源加速聚集,为中国的商业航天发展创造了良好的条件,未来商业航天必然会有更广阔的发展空间。

当前,青岛正大力发展的低空经济,也对测控技术提出了需求。比如,随着无人机的发展,对“空中出租车”的展望,未来城市低空交通管理等都需要类似的测控技术。我们正在与青岛相关部门探讨合作,希望将航天测控技术“降维”应用于低空领域,在技术上是具有相通之处的。此外,在海洋监测、应急指挥、智慧城市、智能港口打造等方面,这套技术可以探索“普适化”应用和落地。

额外补充一点,我认为青岛发展低空经济有很好的产业基础和人才优势,这需要我们进一步做好三件事:一是建立统一的技术标准,二是完善政策法规,三是加强核心技术攻关。当然,这类技术突破和转化需要政府引导和支持,单靠高校或企业很难完成。

记者:您今年已经65岁了,已经为航空航天事业奋斗了大半生。未来,在团队建设、学科建设、人才培养等方面,您是否有进一步的计划?

赵正旭:科研是没有尽头的。建平台、汇资源、育人才,我们还有很多事情要做。青岛理工大学牵头建设的山东省空间碎片监测与低轨卫星组网重点实验室,联合东方航天港陆海空间(烟台)信息技术有限公司、山东维德数据科技有限公司共同打造了一个创新平台,定位于服务国家载人航天、深空探测、空间碎片监测预警和低轨卫星组网等工程。

比如,对高速运行的航天器来说,哪怕是指甲盖大小的太空垃圾、空间碎片都有可能造成杀伤力。为了尽早发现,尽快预测、及时预警,我们实验室正在对太空10厘米以上的空间小碎片进行监测、编号。目前国外领先水平已经能够监测到10厘米以下的碎片,我们在这方面能有更大的突破。

青岛理工大学联合青岛数智孪生科技有限公司共建的高端装备数字孪生与可视化遥操作系统山东省工程研究中心,也正聚焦高端制造与新一代信息技术的融合,围绕数字孪生可视化与遥操作、装备数字孪生运维、装备智能监测与诊断等系统应用,助推智能制造技术的发展。

航天事业的发展离不开人才,尤其是青年人才。我还记得,当年参与嫦娥二号实时可视化飞行控制与指挥任务的团队、平均年龄是32岁。高校是培养人才的主战场,要不断打破传统的评价体系,给予他们充分的“试错安全感”,让他们敢于试错、敢于创新,为青年人才创造更多的成长机会。

(上接第一版)与韩国6大广域市(相当于直辖市)全部结成友城关系;在日本友城共6个,代表城市有下关市、京都市。

此外,青岛还立足国家战略部署,积极拓展新友城。如,立足国家南南合作战略部署,以构建蓝色伙伴关系为核心,开拓非洲和太平洋岛国友城网络,与基里巴斯泰奈纳诺市、瓦努阿图卢甘维尔市等结为友城,开辟资源开发、蓝色经济合作新通道。

### 深化经贸合作

1995年,时任德国曼海姆市市长的艾格促成德国莱茵化学公司在青岛市李沧区落地。奠基仪式上,他与妻子在公司种下一棵小树苗,寄托对未来的美好祝愿。

2024年,青岛代表团访问曼海姆时,向艾格送上了一个制作精美的相框——当年他们夫妻二人种下的那棵小树,已亭亭如盖。“那一刻,我几乎热泪盈眶。这棵树见证了两个城市从相识到相知的历程。”艾格说。

友城交往,从来不一纸协议,而是点滴积累的情谊。像莱茵化学公司里的小树苗逐渐长成参天大树一样,青岛的友城工作以友谊为基础,辅以充沛的阳光雨露,最终取得了卓有成效的经贸合作成果。

一方面,建成“友城合作·共创未来”对外交流品牌体系。在此品牌体系下,青岛已举办近200场系列活动,其中,青岛一下关经贸交流会、曼海姆—青岛友城经济圆桌会、青岛—拉各斯经贸交流会、青岛—撒马尔罕企业交流会等多场友城间的经贸、企业对接会,促成了一批务实合作成果落地,助力一批重点企业便捷出海、开拓国际市场。

另一方面,推动友城产业、企业间的合作越来越深。比如,依托友城资源,山东港口(西亚)有限公司埃及代表处落地;埃及·墨学院(山东港口)揭牌。在与希腊第三大城市比雷埃夫斯市的合作中,青岛港与比雷埃夫斯港成功缔结友好港关系。

德国雷根斯堡市先进制造业发达,青岛啤酒股份有限公司在该市Krones公司采购的生产线设备曾高效助力了啤酒产线的稳产增产;

在青岛与白俄罗斯明斯克市的合作中,齐鲁号中欧班列(青岛—明斯克)首班于2019年开行,搭建起两地高效的物流通道;中国—上合组织技术转移中心于2024年在白俄罗斯中白工业园揭牌,为双方技术合作搭建了新平台;

……

亲戚越走越亲,朋友越走越近。这些故事是友城经贸合作的一个缩影,折射出青岛以友城为媒,推动实现资源共享、

优势互补的实践探索。事实证明,用好友城平台,放大友城资源优势,友城之间的经贸交流交往合作一定能做得更有特色、更有成果。

### 促进人文交流

推动友城交往,经贸如筋骨,文化如血脉。

青年是城市发展的关键力量。“早安,青岛;晚安,长滩”,这是第二届青岛—长滩友城大学生在线笔友交流项目颁奖仪式开始时发言者的第一句话。

哪怕远隔浩瀚大洋,哪怕时差15个小时,青岛与美国长滩市的高校师生代表和各界友好人士通过一纸信笺,交流了五年。曾参与过该项目的青岛理工大学的学子说,两国同龄人在活动中倾吐了心声,拓展了视野,结下了深厚的友谊。

“青岛—蔚山青少年友城足球赛”“青岛—庆尚南道U15足球赛”活动中,青年学生们在绿茵场上共同挥洒汗水、追逐梦想,展现了青春的活力与风采,也通过足球这一世界性的语言,搭建起友城青少年间交流沟通的桥梁。

——以友城为媒,青岛为不同文明之间的交流互鉴提供了生动范例。

“非常感谢青岛市中医医院和中国传统中医学,是青岛市和青岛市中医医院的不努力和支持,为中国传统中医学和中医药诊疗作出了杰出贡献。”这是《解放之花》报总编、亚历山大希望基金会董事长玛奈尔女士送给青岛市中医医院的感谢牌上镌刻的话。她的小儿子因为患上了免疫系统疾病,卧床三年多,在青岛市中医医院专家团队的治疗下,现已基本恢复了正常生活,玛奈尔家庭获得了“重生”。

在每一次成功探索后,青岛与友城亚历山大市共同举办了“百草传丝路 共话中埃情”青岛—亚历山大中医药文化交流活动。外宾们踊跃体验正骨、脉诊、拔罐、针灸等中医特色疗法,亲身感受中医的神奇魅力。

在与俄罗斯彼尔姆市的友好交往中,两地合作编写了《青岛—彼尔姆:变革之始》城市发展画册,画册横向的城市对比、纵向的时间对比,让两座城市在百年发展历程中的变革和成就跃然纸上,让不同文化在交流中相互交融、绽放光彩。

——以友城为媒,青岛将帆船之都、海洋文化、啤酒文化等城市IP融入国际交流。

在与希腊比雷埃夫斯市、南非西开普省的友好交往中,双方多次互派运动员到对方城市参加比赛,提升了“帆船之都”城市品牌知名度。

在文旅合作方面,青岛与友城墨西哥阿卡普尔科市的地

标建筑上,曾亮起友谊之灯,点点灯光展示了友城之间真挚的传统友谊。

在教育合作方面,青岛创新搭建“青春青岛”友城青少年交流平台,已成为青岛市创建的参与人数最多的国际青少年多边交流平台。

以诚相待,以心相交,方能成其久远。青岛国际友城交流月已超越单纯的外事活动,成为友城伙伴联系沟通、交流合作的重要平台。随着交流互动日渐频繁,青岛的友城故事将更加精彩,友城共赢的新未来更加令人期待。

(上接第一版)这其中,有产业链的不断延伸,也离不开城市的赋能。

如何用好“电影之都”的资源禀赋,以“影视”为支点,讲好光影故事,赋能城市文旅产业更好更快发展,当是青岛接下来应该重点努力的方向。

进一步讲,影视产业从来不只是镜头里的故事,更是撬动文旅融合的重要支点。当然,影视元素与城市旅游的深度融合,也绝非简单的场景复刻,而是通过情感共鸣、文化赋能与体验升级,将电影叙事转化为可持续的旅游吸引力,实现“故事空间”到“消费空间”的转化。在影视IP与城市文旅融合方面,电影《罗马假日》堪称经典范本。影片中罗马的西班牙广场、真理之口、许愿池等历史地标,都成为充满故事性的旅游符号;“赫本同款”冰淇淋打卡、Vespa骑行路线、复古摄影等沉浸式体验,让游客从“旁观者”变为“故事参与者”;主题影展、联名文创等电影元素融入城市品牌长期运营等,让影片上映70年后仍为罗马带来持续大量客流。

当下,如何让影视IP释放出更大效能,很多城市正在积极探索,它们通过紧跟热点,聚焦消费者的“打卡”需求,将影视剧元素与城市旅游深度融合,打造独具特色的主题游路线。比如,《长安的荔枝》热播后,西安在街区专门布置了荔枝树景观,游客还有机会邂逅“荔枝侠”,听其讲述剧中从岭南到长安运送荔枝的故事。这样的话题敏感度和服务的精细化值得借鉴。青岛是“电影之都”,也是知名旅游城市,越来越多的剧组来到这里取景拍摄,不仅为当地带来了人气,还有效带动了文旅产业发展。不久前举办的第二十届中国电影华表奖颁奖活动,又进一步加深了人们对于青岛的记忆。

在这座城市,“影视+”可以迸发出更为绚烂的火花。近日,青岛创新推出的“影”享生活主题,正是把影视“流量”转化为城市“留量”的实际行动。比如,在“跟着电影去旅游”线路中,游客可以循着《送你一朵小红花》的足迹,从太平山索道到八大关老建筑,亲身体验电影中的治愈之旅;“跟着电影品美食”则带着影迷打卡黄渤最爱的海鲜大排档,品尝众

多电影人来青必尝“三件套”(啤酒、蛤蜊、烧烤)。这些精心设计的体验,让影视IP不再是遥不可及的画面,而成为可触摸的城市记忆。当然,影视做到的只是引流,跟文旅的融合也不是生硬的“拉郎配”,而是要让影视IP成为城市气质的自然延伸,将影视元素渗透到城市的各个环节,比如打造城市微景观、创新文旅产品与服务等,不断增加游客对城市的黏性,让其产生“来了还想再来”的动力。

当光影的魔力延伸到城市各个角落,细化为一次次惊喜体验、一件件文旅产品、一道道服务创新,青岛“电影之都”的每个切面就能更加璀璨夺目,由此引发的故事也会更加精彩。

### 推动宜居安居暖民心

(上接第一版)解决“多头无序”“零敲碎打”等顽疾,让业主委员会日常履职“不走弯路”。

物业提质能让群众从“住有所居”到“住有宜居”,而住房公积金作为保障职工住房消费的重要制度,其服务效率与覆盖范围,直接关系到群众的购房租房底气。围绕群众关切,针对住房公积金相关政策普及不到位、办理不及时、群众知晓度不高等问题,市住房公积金管理中心推动党员干部转作风,即查即改、立行立改,将学习教育成果转化为优化办理流程、破解民生难题的实际行动。

为解决住房公积金相关政策普及不到位、办理不及时等问题,市住房公积金管理中心党组优化调整一系列政策,及时出台公积金贷款借款人年龄上限调整、多项公积金贷款优惠政策叠加、公积金贷款利率下调等政策。为提升政策知晓度和宣传覆盖面,在全市开展住房公积金促消费“宣传季”活动,通过活动进大集、进商超、进景区、进社区、进银行,将政策宣讲和现场服务送到群众身边。针对服务质效问题,持续优化住房公积金贷款购房“一件事”集成服务,通过跨部门协同、数据共享、流程再造,实现贷款审批、抵押登记、税费缴纳等10个事项“一次办好”。目前,全市已落地11个贷款购房“一件事”集成服务专区,线上依托省政务服务平台实现“掌上办”,平均办理时间从20个工作日压缩至6个工作日以内,跑腿次数减少至1次,大幅提升办事效率。同时,自2025年7月1日起,贷款发放由每周两次调整为每周三次,进一步降低信贷的时间成本。

住房服务保障水平的提升,既需要物业“小服务”的温度,也需要公积金“大政策”的力度。聚焦群众需求,青岛坚持“当下改”与“长久立”相结合,完善作风建设常态化长效化制度机制,在服务中解民忧、在创新中暖民心,让人民群众看到变化、得到实惠。