

夙兴夜寐铸巨箭 百炼磨砺成长五

李东

一生痴绝处，有梦到天官。
长歌九万里，再启新征程。
2022年10月31日，一位中国航天领军人物一挥而就，写下这一诗作。彼时，他正坐镇参与实施中国空间站梦天实验舱发射任务。当日15时37分，长征五号B遥四运载火箭冲天而起，托举“梦天”直上九霄。而后“梦天”与天和核心舱顺利交会对接并完成转位，标志着中国空间站“T”字基本构型在轨组装完成，中

国载人航天事业迎来历史性时刻。这一时刻距离长征五号火箭成功首飞过去了整整6年。我回首往事，百感交集，而上面这首诗最能反映我当时的心情。
我从事中国航天事业已有约30个春秋，见证并经历了中国航天波澜壮阔的发展历程。在紧张繁忙的工作间隙，我也信笔写下一首首诗，用心记录下自己作为一名中国航天人的光荣与梦想、豪迈与激情、感动与感谢。

使命光荣 重任在肩

欲考上下形，求索看航天。
星河路虽远，我有中国箭。

——《我有擎天箭》

在中国空间站建造过程中，长征运载火箭要在两年内连续进行11次发射，其中有3次由长征五号B火箭担纲，分别把空间站核心舱、问天实验舱、梦天实验舱送入预定轨道。其重要性由此可见一斑。

在我看来，这个“重”体现在三个方面。

一是载荷重。长五B火箭是我国低轨道运载能力最大的火箭，也是我国唯一一款低轨道大型运载火箭，低轨运载能力达25吨级。这为空间站建造提供了基础条件。有了它，我们可以一次发射重量超过23吨的空间站重要舱段，最终在太空组成一个70吨到80吨级的中国空间站。可以说，空间站构成的核心重量中，有很大一部分是由长五B火箭发射的。

二是责任重。在空间站建造阶段发射的所有航天器中，唯独长五B火箭发射的3个舱段没有备份，这就意味着如果发射出现意外，那么空间站建造进程将受到巨大影响，会导致不可承受的时间和经费等高昂代价。可以说，长五B火箭发射成功与否，事关空间站能否顺利建造。因此，长五B火箭（和其他火箭一样）必须持续成功，不能失败，我们没有退路。

三是担子重。长五B火箭有两大特点，一个是“大”，另一个是“新”。“大”体现在系统构成更复杂，单次火箭推进剂总加注量更多；与之相应，火箭技术更复杂，发射流程也更复杂。“新”体现在其应用了大量全新技术，从第二次发射起就开始执行发射空间站舱段这样重大任务。这意味着火箭的继承性差、考核机会少、问题暴露的机会多，说白了就是成熟度低、风险高。这要求我们的工作要更经得起考验，要通过更多地面试验、分析、仿真来发现隐患和薄弱环节。

此外，长五B火箭在空间站建造过程中的角色独特。如果我们把空间站比喻成太空中的一栋别墅，那么建造它的3种型号火箭扮演不同角色：发射货运飞船的长征七号火箭负责提供补给，发射载人飞船的长征二号F火箭负责运送航天员，而长五B火箭则负责建造“别墅”本身。建造过程中，长五B火箭的作用不可替代。

这些特点都说明长五B火箭的研制难度更大，确保成功所面临的压力和挑战更大。

长五B火箭成功研制，使中国航天进入太空能力大大提高，同时奠定了中国新一代火箭系列化模块化发展的战略格局和中国新一代运载火箭发展需要的最基本的动力结构、总体技术等一系列全新的技术基础。长



作者李东肖像画。 张武昌绘

五B火箭首飞成功后，中共中央、国务院和中央军委发来了贺电。

苦尽甜来 柳暗花明

枕戈饮胆九百天，万般磨难难言，今夜可敢片刻闲？硝烟才散，举眸广寒，何日月有圆。

——《青玉案》

从最初开展长五火箭研究，到工程立项以后担任总设计师带领这个团队，我一直对该任务的艰巨程度、过程的艰苦程度有清晰的认知。这么大型的火箭，这么多创新技术，这么大的技术跨度，我们注定会遇到很多、很大困难。

事实正是如此，研制过程中，我们遇到重重困难，但凭着坚强的毅力，都一一克服了，长五遥一火箭终于成功发射。

发射成功后，我带领研制团队对遥一火箭暴露出的问题进行进一步研究，并作出了一系列改进，大家对长五火箭的总体技术方案和各个系统之间的基本协调可以说是信心十足。然而，大大出乎意料的是，长五遥二火箭发射失利了。

那是在2017年7月2日晚，长五遥二火箭升空，飞行到第346秒时，一台芯一级发动机突然丧失了推力，在几百毫秒内，所有的参数齐刷刷地掉下来，事先毫无征兆，事后了无踪迹。

经过100余天的故障排查与定位以及180

余天的试验验证，确认失利的原因不是全箭范畴的设计失误，而是发动机单机重要组件在复杂热环境条件下的一种失效模式。

单机的固有可靠性无法通过全箭飞行试验来考核，一定要在单机研制阶段充分暴露出来，才能彻底解决。从这个意义上讲，对长五遥二火箭的“归零”故障分析，实际上是单机的研制补课。

一共长达908天的“归零”和验证，对我们团队来说，实在太痛苦、太煎熬。一方面，国家重大航天任务等着这型火箭，原计划在2017年年底进行的嫦娥五号月球采样返回任务被迫搁置，火星探测工程和空间站在轨建造进程也都受到影响。另一方面，“归零”的过程远比我们想象的艰苦得多。与以往不同，这次“归零”最大的困难就是很难在遥测参数上找到任何端倪，因为所有的参数几乎同时齐刷刷地断崖式下降。虽然问题很快聚焦定位到YF-77发动机上，但是其内部到底出现了什么问题，发现难度非常大，其故障隐患埋藏得非常深。

YF-77发动机的立项比长五火箭立项早数年，在遥二火箭发射时，这款发动机已研制超过15年，在大量地面试验中，这个埋藏很深的故障隐患和模式从没出现过，也没有任何相关参数指征，然而它偏偏在遥二火箭飞行过程中发生了。

在那908天里，很多时候，我们好不容易通过理论分析和试验，发现了某种故障模式，把它解决了，但是又发现了新问题、新隐患。不管是不是其造成的故障，我们只要发现了存在薄弱环节，就一定要彻底解决。如此往复，一波三折。有很长一段时间，我们团队感觉就像在黑夜中摸索，虽然知道天一定会亮，但是不知道还要摸索多久才能迎来曙光。

我们长五团队顶着巨大压力，没日没夜、任劳任怨、勤勤恳恳地奔忙，最终不负众望，找准了故障原因并彻底解决了问题，不仅实现了成功复飞和长征五号B火箭后续成功发射，而且使中国长征火箭特别是发动机的各方面研制能力，都往前迈进了一大步。

每当回首这段非凡历程，我都感叹长五火箭是英雄的火箭，长五团队是英雄的团队，尤其是我的老搭档长征五号总指挥王珏。作为中国氢氧发动机领域的代表性人物，王珏是团队的主心骨，即使是在“归零”阶段最困难的时候，也保持淡定和从容，表现出强大的抗压能力和坚强意志，展现出对国家、对航天事业高度的责任感和不解决问题誓不罢休的执着。他深深感染着我们，给我们以强大的信心和力量。

参与长五火箭研制，是我一生最大的荣耀；作为长五英雄团队的一员，我感到无比光荣和自豪。



李东在长征五号火箭发射前留影。

图片由作者本人提供

逐梦前行 风雨兼程

男儿千里关山度，追梦十载心如初。

夙兴夜寐铸巨箭，百炼磨砺成长五。

——《巨箭行》（节选）

1989年，我从北京航空航天大学毕业并考取了原航空航天工业部第一研究院的研究生，师从运载火箭与航天工程技术专家龙乐豪先生。

1992年，我研究生毕业，留在第一研究院总体设计部，正式开始运载火箭相关设计和研发工作生涯。那是一个在我脑海中刻下深深印记的年份。这一年，邓小平同志到武昌、深圳等地视察，发表了著名的“南方谈话”，把改革开放和现代化建设推向新阶段。这一年，党的十四大召开，《关于兴建三峡工程的决议》表决通过……

这一年，我去了酒泉卫星发射中心，这也是我生平第一次到发射场。在那里，我瞻仰了祖国航天事业奠基人聂荣臻元帅的墓，也见证了震撼人心的火箭发射场景。

彼时，中国航天还显得“稚嫩”。载人航天工程刚刚立项；月球探测工程和第二代导航工程还未见雏形；长征火箭“家族”成员还较少；捆绑式火箭的尝试刚刚完成，长征三号甲系列火箭还没有首飞，中国中型火箭系列型谱正在逐渐形成中，长征五号火箭还只是停留在纸面论证上……

本世纪初，长征五号预研工作拉开帷幕。2005年，我被任命为该型号火箭总设计师。2006年10月，工程正式立项，研制工作

进入崭新阶段。经过10年风雨兼程，我们团队终于品味到长征五号首飞成功的喜悦。而后，我们又接连体验发射失利的苦楚、“归零”的艰辛、成功复飞和连续成功飞天的豪迈。时光荏苒，不知不觉中，到今天，我从长征五系列火箭的研制工作约20年了。

对从事祖国航天事业的年轻人，我表示热烈的祝贺，祝贺你们作出了人生中非常重要的、正确的选择。航天不仅为我们提供了一份职业，而且是一项值得我们倾情倾力付出并能获得巨大收获的事业，它不仅事关国家和民族利益，而且事关人类命运共同体构建和全人类的福祉。有机会为此作出自己的贡献，这是我们无上的荣耀。

我还想说，选择航天事业就是选择吃苦和奉献。航天是高风险行业，要求精益求精，万无一失，因此，我们必须耐得住寂寞，经年累月、持之以恒地辛勤耕耘。航天是大型系统工程，我们必须科学分工，各负其责，各展所长，同时，我们要不计较个人得失，齐心协力、精诚合作。

（作者李东为长征五号、长征五号B运载火箭总设计师。本文由李庆勤根据作者口述整理）

科技名家笔谈

中国科协科学技术传播中心、
科学出版社与本报合作推出

他们让机器人变得更聪明

“看得见”“听得懂”“能行走”“会思考”……近年来，机器人的智能边界持续拓展，绘就了生产生活数字化新图景，这离不开一群持续探索机器人技术的工程师。

一切切割机器人正“盯着”钢板上的红色激光线，机械臂沿着线切割，火花四溅。走进芜湖行健智能机器人有限公司，车间里多个工业机器人正在工作。

怎么让机器人的作业轨迹更加精准，是机器人算法工程师张富强的工作内容。

“简单来说，我在优化机器人的‘眼脑协调’能力。对机器人通过‘眼睛’也就是视觉传感器捕捉到的信息进行处理，为机器人计算出一条误差在0.5毫米内的切割、焊接路径。”张富强说。

“就像行健公司的工业机器人能替代传统焊接、切割工一样，未来的智能制造会逐步把劳动力从高

劳动强度、高危险性岗位中解放出来。人机协同工作推动生产制造模式升级。”芜湖机器人产业发展集团有限公司运营部长吴昊说。

不仅在工业制造领域，在仓储运输、家庭服务、教育娱乐、应急救援等场景中，都能看到机器人的身影。科大讯飞股份有限公司开发的“小飞”机器人，就作为一名小“助教”出现在中小学课堂里，辅助学生学习人工智能知识。

硬件开发工程师陈志军的电脑屏幕上密布着大大小小的框架图，这些是构成“小飞”机器人的各个“器官”：控制器、传感器、处理器、存储器……每一项元器件都制定了详细的技术参数。

“我的工作是要把对‘小飞’的功能、感知技能、运动控制等构想，用最合理的电路和最优的成本实现，让它顺利运行。”陈志军介绍，这需要掌握不同元器件的工作原理和应用要点。

“十三五”以来，我国机器人产业年均复合增长率约15%，2020年机器人产业营业收入突破1000亿元。

在旺盛的需求下，机器人工程专业应运而生。与开发机器人运用了多学科技术一样，机器人工程专业复合性强，结合了机械、电子、控制、计算机、传感、人工智能等多领域知识。

“本科阶段的机器人工程专业主要目标是培养应用型人才，如培养熟悉机器人结构、理解机器人工作原理，装调、改造机器人。”合肥工业大学电气与自动化工程学院副院长孙伟说。

从业后仍在学习的陈志军掏出手机，屏幕上已预约的一节四足协作机器人运动控制研究的直播课程。“机器人越来越智能，从业者也要自我革新，不断学习新知识、新技能。”他说。

（新华社记者周畅、栾若卉）



近日，中国海军“和平方舟”号医院船在西太平洋某海域开展全要素、全流程海空立体医疗救护演练。图为医护人员搭乘舰载直升机准备前出接护“伤员”。
新华社记者 黎云摄