

择一事，干一生

## 大国重器自己造

本报记者 史志鹏

2020年11月27日，位于四川省德阳市的东方电气集团东方汽轮机有限公司（以下简称“东方汽轮机”）燃机整机试验室传来捷报：中国首台F级50兆瓦重型燃气轮机顺利实现满负荷稳定运行！这意味着中国科研团队成功攻克重型燃机完全自主研制的瓶颈，打破国外长期技术垄断。中国有了100%纯国产的重型燃机！

重型燃气轮机是大型装备的“心脏”。数十年来，为解决该领域技术短板带来的“心脏病”，以东方汽轮机为代表的中国企业与以西安交通大学为代表的高校科研院所联合攻坚克难，付出了不懈努力。多少人择一事，干一生，无怨无悔。他们是父母，是爱人，是儿女，更是祖国的科研人员。

## 有一份责任与使命

尽管已过去一年多的时间，站在燃机试车台一侧的监控室内，东方电气集团首席技术专家赵世全仍能清楚地记得那个激动人心的时刻。

“三、二、一，点火！”

伴随点火命令的下达，重型燃机8个燃烧筒同时点火燃烧并稳定运行，标志中国首台自主研发的F级50兆瓦重型燃气轮机整机点火试验成功。

“为了那一刻，我们拼了10年！”赵世全难掩激动，感慨万分。

重型燃气轮机是发电和驱动领域的核心设备，关乎能源安全和国防安全，是国家科技水平和综合国力的象征。由于涉及多学科、多领域、多系统且设计制造难度极高，其又被誉为装备制造业“皇冠上的明珠”。

摘取这颗明珠谈何容易！长期以来，仅有美国、日本、德国等少数国家能够自主研发重型燃机。“我们在购买时没有议价权，要价很高，但没有办法。”赵世全坦言，后续的检修维护周期长，费用高，当时有句玩笑话，买一台设备就好比给外企开一家银行，他们可以随时来提款。此外，一旦“断供”，电厂就只能“瘫痪”。

为改变被动局面，本世纪初，包括东方汽轮机在内的中国企业开始引进国外技术，虽然解决了重型燃机从无到有的问题，但一直处于组装制造阶段，其高温部件设计制造和试验验证技术仍属空白，极大阻碍了重型燃机国产化进程和产业体系发展。

这是为何呢？

“只要一谈到关键核心技术的转让，国外企业都是一口拒绝。”赵世全说。原来，国外技术的引进仅限于冷端部件，核心的热端高温部件设计制造及试验技术则被国外长期垄断封锁。

关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的，只有把关键核心技术掌握在自己手中，才能真正自立自强！

2009年，东方汽轮机开始组建科研团队，在没有设计规范、设计程序，也没有设计经验的条件下，毅然踏上了自主研发F级50兆瓦重型燃气轮机的艰辛征程，向冲破国外关键核心技术封锁发起了冲刺。

F级50兆瓦重型燃机的零部件多达数万个，从设计技术到材料机械，再到试验设施，任何一项都是十分庞大复杂的系统工程。即便再难，当时仍有许多工程师主动报名，在他们眼中，这是一份责任与使命。

“几乎是零开始，一路上摸爬滚打，常常是刚从一个坑起来又掉进另一个坑。”赵世全说，没有人能说清这其中到底经历了多少失败。如果问大家有啥想法，每位科研人员心里只憋着一股子劲儿：再苦再累，也得造出咱中国人自己的重型燃机！受制于人的滋味不好受！

## 埋头干十年磨一剑

重型燃气轮机可分为E级、F级和H级，温度越高，技术等级越高。简单来说，它能承受多大的高温，决定了它有多大的能力。F级重型燃机工作温度可达1400摄氏度左右，要保障高温部件在金属熔点以上安全稳定工作数万个小时可不容易。

透平叶片正是核心高温部件之一。对赵代银来说，2011年具有特殊意义。这一年，他大学毕业来到东方汽轮机工作，同时也迎来了一次人生的重要选择。“工作不到两个月，厂里新成立的高温部件实验室招人，做高温透平叶片研发。”赵代银说，若继续做常规研究，会更轻松安稳；如果去研制叶片，道路肯定十分曲折。“但一想到我们还没有能力造，而自己能够参与进去，这是人生幸事！”

就这样，赵代银下定了决心，这一干就是9年。9年里，他基本看完了所有与精密铸造相关的文献与书籍；3000多个日夜，他一门心思扑在了透平叶片的研发上。

功夫不负有心人。以赵代银为代表的研发团队相继解决了叶片变形、疏松、热裂、断芯等难题，还设计出国内第一套基于六点定位陶瓷型芯的蜡模模具，荣获国家发明专利，填补了该项技术空白。

研发重型燃机之所以难，除了研制关键高温部件，还需要长期试验结果的积累。“仅设计出还远远不够，要对其有效性、合理性及可靠性进行反复试验验证。所以我们一边设计，一边搭建试验平台。”赵世全说。

试验平台的搭建同样在摸索中进行。“失败、改进、调试，再失败、再改进、再调试……这是试验台建设的常态。”田晓晶说。作为东方汽轮机燃烧器技术研发团队的主研，她与其他成员一起向一个个难关发起挑战。

有一天，燃烧器高压试验突然出现险情。那时，整个试验厂房弥漫着烟气，面对18个大气压、1400摄氏度的高温燃气火苗随时会喷出的险情，田晓晶没有后退，而是紧张有序地组织意外发生后的处置工作。好在只是高温燃气局部泄漏引燃了部分外部管道，经过两个多小时的现场排查，试验恢复了。

“这么多年来，有没有后悔过自己的选择？”

“当个人价值和需要国家需要紧紧联系在一起时，从未后悔！”

这是无数个赵代银、田晓晶的心声。正是有了他们的拼搏与奉献，东方汽轮机陆续完成重型燃机的压气机、燃烧器、透平叶片等核心部件及总体结构设计制造，建成压气机试验台、燃烧器试验台、透平高温叶片试验室及整机测试平台，形成了完整的设计、制造、试验体系。

接下来到了整机试验阶段。在点火试验和空载运行试验后，25%、50%、75%……负荷逐渐增加。2020年11月27日，在6位院士与专家组的见证下，F级50兆瓦重型燃气轮机顺利实现满负荷稳定运行。

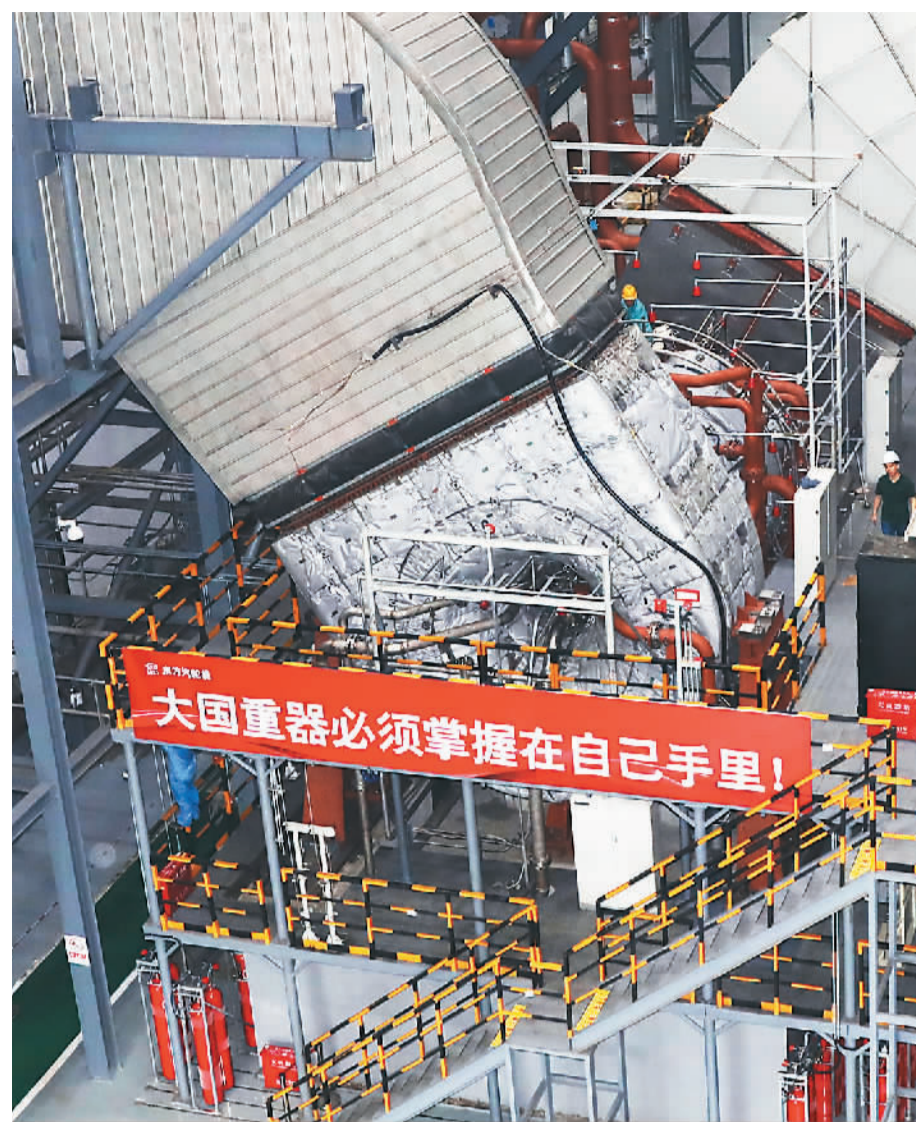
满负荷试验是重型燃机研发最关键的验证节点，也是电站长期运行前的最后一项性能试验。“十年磨一剑，我们啃下了发电装备领域的一块‘硬骨头’！”赵世全说，与同等功率进口燃机相比，整机制造成本、运行与维护价格可大幅降低，检修周期可缩短50%以上。

## 促进实现跨越发展

从历史上看，科学技术的每一次突破，重大工程的每一步跨越，都是团结协作的结果。重型燃机的自主研发同样如此。东方汽轮机在加强自身实践的同时，还与西安交通大学、上海交通大学、西北工业大学等高校的科研团队开展全方位合作，协同攻关。

由西安交通大学副校长王铁军率领的科研团队便是其中一员。“卡在哪里，就突破哪里！”抱着坚定的信念，王铁军团队在2006年联合东方汽轮机等，承担了重型燃机领域首个国家973计划项目，该项目在2012年又获国家滚动支持。

重型燃气轮机每项技术突破都必须经历“基础理论→单元技术→零部件实验→系统集成→综合验证→产品应用”的全过程。其中，基础理论是“地基”。事实证明，基础研究是科技创新的源头。中国面临的很多“卡脖子”技术问题，根子是基础理论研究跟不上，源头和



图为东方汽轮机燃机整机试验室。

东方电气集团供图

底层的東西没有搞清楚。

“一不图名，二不求利，我们就是要沉下心来，集中攻克重型燃机关键核心技术及相关的科学问题。”王铁军说。

高温叶片热障涂层是国际公认的重型燃机制造核心技术之一。与航空发动机相比，其工作时间更长，隔热面积更大，在性能要求、微结构、制备方法等方面也有不同。数十年来，王铁军团队潜心系统研究了重型燃机热障涂层强度理论、实验方法、制备技术及应用，并取得了一系列创新成果。

人们可喜地发现，基础理论和关键技术慢慢成型，越来越多的高校科研成果应用到中国首台F级50兆瓦重型燃气轮机的研发上，融入企业的生产实践中，大大缩短了基础研究到工程应用的链条，促进了中国自主重型燃机产业实现跨越发展。

“大家团结协作、校企协同攻关，是我们攻克关键核心技术的法宝。”王铁军表示，未来校企将在更高层次上共谋创新、合作与发展，共建平台，共担任务，共闯难关！

在攻关中，王铁军带领团队出版了中国第一套关于燃气轮机设计制造的专著系列《先进燃气轮机设计制造基础》，还培养了一支优秀的人才队伍。

“人才的培养与建设非常重要。F级50兆瓦重型燃机投用后，我们会不断优化提升其性能，目前该领域的研发能力相较国外先进企业还有较大差距。”赵世全表示，但通过自主研发，企业和高校都建立起了专业的科研团队，只要坐得住“冷板凳”，假以时日，我们从“跟跑”到“并跑”甚至“领跑”，并非没有可能。



图为中国首台F级五十兆瓦重型燃气轮机满负荷运行见证仪式现场。东方电气集团供图。



图为王铁军（左一）与科研团队成员讨论重型燃机高温叶片热障涂层理论和技术。西安交通大学供图

## 卡在哪里，就突破哪里

谭涵文

完全自主研发的国产重型燃机的诞生，对中国能源安全和国防安全意义重大，也标志着中国在“卡脖子”问题清单的解决进度上再昂首迈进一步。它不仅驱动了大型装备，一扫多年受制于人的困境，更让中国其他领域的攻关人员坚定了信心。

“有条件要上，没有条件创造条件也要上”。多年耕耘，中国在重大核心技术上屡获突破。从长期依赖进口芳烃生产装置，到成为世界上第三个掌握高效环保芳烃成套技术的国家；电网领域从被超高压技术卡脖子，到突破超高压搞定特高压；北斗三号全球卫星导航系统开通，中国成为世界上第三个独立拥有全球卫星导航系统的国家……这些骄人成就的取得，其成功路径为我们更进一步提供了宝贵经验。

致敬创新，致敬背后艰辛付出的科

研人员。在世界知识产权组织去年底发布的全球创新指数报告中，中国多年保持稳步上升趋势，于2019年升至世界第14位，并在2020年继续保持这一位次，为前30名中唯一的中等收入经济体。中国的创新成果令世界瞩目。我们越来越清楚地认识到，只有把核心技术掌握在自己手中，才能真正掌握竞争和发展的主动权。多年磨一剑，中国科研人员义无反顾、破釜沉舟，以“板凳一坐十年冷”的坚持，使中国在多个关键领域挺直腰杆、自立自强，更激励了全社会在

各领域攻坚克难，鼓舞了身处百年未有之大变局下的每一个你我。

产学研深度融合，学界业界联手攻坚。重型燃机自主研发依靠的校企协同模式，是我们解决这类问题的绝佳路径之一。研究与实用从来不是割裂的，正如理论与实践的发展总是相伴相随。教育部于去年正式发布《关于加快新时代研究生教育改革发展的意见》，指出要建立国家重点支持的学科专业清单，以超常规方式加快培养一批紧缺人才，为国家解决“卡脖子”问题和推进科技创新

作出贡献，并宣布与国家发改委等联合打造国家产教融合研究生联合培养基地。各大高校和科研机构在此指导下要勇挑重担，充分激发创新潜力，科研教育需要更紧密结合产业革新，一线产业、重点企业更应关注前沿理论发展，立足基础规律演进，共同努力打通产学研创新链、产业链、价值链。

保持清醒与定力，再接再厉更上层楼。我们在为取得的伟大成就感到自豪的同时，也不能止步、满足于此。我们取得“零的突破”的许多成果，与迭代

多年的国外先进技术相比仍然存在一定差距。从无到有只是万里长征第一步，不仅要有，还要有自己的“独门绝技”，我们仍需要保持清醒与定力。高科技人才紧缺或断层问题依然严峻，教育评价体系与行业应用的匹配度仍需提高，产业链供应链的成熟度还要再进一步，应该认识到，高科技独立自主之路依旧道阻且长。

“关键核心技术必须牢牢掌握在自己手里。”面对新一轮科技革命和产业变革加速演变，我们有决心、有信心，也有恒心，以拓荒牛精神在关键核心技术的突破上不断乘风破浪、勇攀高峰！

品牌论