

30年只为一“焊”，90高龄不辍攻关

潘际銮院士研制出能自动焊接航母火箭等“大家伙”的焊接机器人，为尽快投产四处奔走

潘际銮是我国焊接领域的开拓者。上世纪50年代初，我国第一个焊接专业——哈尔滨工业大学焊接专业，由他筹建

“用机器人替代人工焊大型结构，这是一块硬骨头，我已经啃了30年。现在还要抓紧时间，和年轻人一起，真正把这块硬骨头啃下来”

本报记者尹平

工业机器人的手，早已经“伸”到了焊接领域，但面对火箭、航母、油罐等超大型工件，依然束手无策。

仅从技术层面而言，潘际銮团队研发的无轨爬行焊接机器人，事实上早在十几年前就攻克了这一难题。

在垂直或弯曲的金属板上，这些聪明的家伙自己寻找焊缝，自主计算焊缝中央位置，最后完成精确“缝合”。

然而，在这项价值上千亿元的科研成果和产业化之间，还存在另外一道“缝”。“焊”上这道缝，对于这个团队来说，是另外一种挑战。

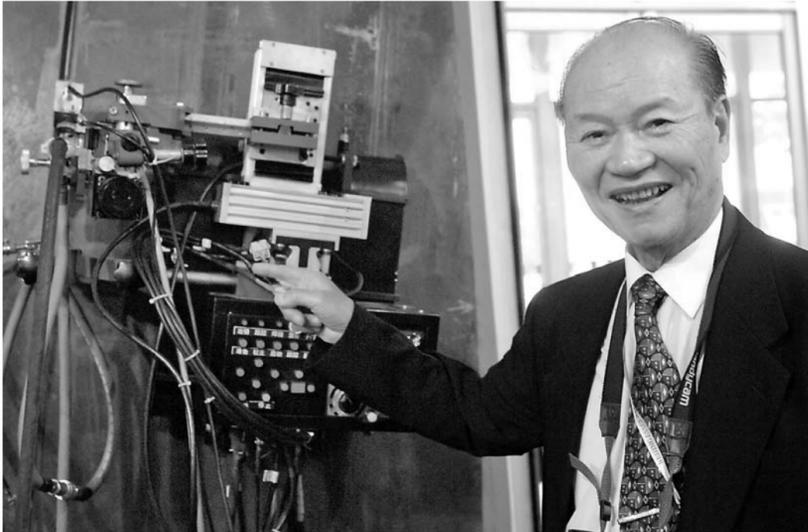
2008年，江苏一家企业和团队签订技术合作协议，却没能进一步坚持，转而去做了短期内能更快收回成本的其他产品。2016年，来自河北的房地产老板，表示有投资的兴趣。年近90岁的中国科学院院士潘际銮冒着大雨坐了5个小时的车过去洽谈，结果仍是不了了之。

“老板们对跑来跑去能说会跳的机器人更感兴趣，见效快，也赚钱。但我去做那些，就没有味道，因为它们解决不了我最关心的问题。”潘际銮说。

为解放辛苦作业的焊接工人

潘际銮是我国焊接领域的开拓者。上世纪50年代初，我国第一个焊接专业——哈尔滨工业大学焊接专业，以及清华大学的焊接专业，都由他筹建。

焊接的研究绝不仅限于实验室。从接触焊接起，他就经常跑工地，和工人师傅们共同解决技术问题。这项工作的辛苦，他再熟悉不过。



▲潘际銮与焊接机器人。图片来源网络

曾师从潘际銮的福州大学前校长吴敏生清楚地记得，1979年5月，潘老师赴成都参加全国焊接学术会议，回来后一度寝食难安，不厌其烦地向学生们描述：

一位工人使用传统的焊机，从内外双面，焊接大直径合金钢罐体。罐体管壁厚100毫米以上，为达到工艺质量要求，管件必须预热到200℃。因此工人身穿厚厚的石棉服蹲在一个小小的铁笼里，然后铁笼被吊车吊进罐内。

200℃的高温使水一下子就变成了蒸汽，但工人们硬是要在这里坚持十几分钟。灼人的高温使狭小的空间里聚集了大量有害气体，救护车必须一直在场，随时准备抢救休克的工人。

这位焊接专家对此深感内疚。从那时起，潘际銮就有想法，总有一天，要实现大型工件的焊接自动化。

一次考察期间，潘际銮看到美国一家公司研发的焊接机器人，可以像跳蚤一样沿轨道爬到工件上焊接，他由此得到启发，产生用爬行式焊接机器人解决大型结构焊接自动化的构想。

他对清华机械系焊接教研室的高力生等人说：“这是我们的研究方向，将来我们焊球罐、军舰、巨轮，也要让机器人爬上去焊，不用焊接工

人再那么辛苦，而且不要再铺轨道。”

一套别墅换不来的关键技术

实现这个想法的关键，在于研制出一个可以摆脱轨道自主爬行的机器人。这个机器人的雏形，直到1997年才由闫炳义和他的夫人卢勤英设计出来。

闫炳义是从上世纪50年代就开始和潘际銮合作的焊接技师。1997年，闫炳义已经退休，却仍惦记着老哥儿几个的未竟事业，终于琢磨出了无轨电磁爬焊机。

这个爬焊机具备在大型结构件外立面进行喷漆、检测等多种使用前景，很快有人上门求购，张口出价二三十万，那个年代的二十万，可以在北京郊区风景秀美的地段买一套别墅。

当时的潘际銮正在南昌大学当校长，主要精力放在让南昌大学早日进入“211”。来北京开会间隙，闫炳义夫妇邀潘际銮参观他们的爬焊机。潘际銮敏锐地认定，以此为基础，制作爬行式焊接机器人，就能解决大型结构焊接自动化的问题。他再三叮嘱闫炳义谁也别卖，并把高力生等人叫来，对爬焊机进行进一步改造。

研究工作随后兵分两路：闫炳义、高力生、卢勤英及部分研究生在清华大学开展研究；当时在南昌大学机电工程学院当教授的张华带领部分研究生在南昌大学从事研究。课题组先后研制了电磁式、履带永磁式、轮式、履带式四代机器人。

“每一代机器人的‘分娩’过程都十分不易，曾经有一段时间让我们很难熬，因为不知该怎么解决机器人负重的问题。研究团队为此进行了大量的实验，克服了无数困难。”回顾这项研究时，当时的课题组成员、现任南昌大学机电工程学院院长张华不胜感慨。

如果想要摆脱轨道，只会爬还不行，爬焊机还需要一套跟踪机构。经过长达10年的研究，潘际銮团队终于研制出无轨全位置爬行焊接机器人，并申请获得了美国专利。2003年11月，国内焊接行业全部院士和数名顶尖级专家对项目进行了鉴定，一致认为“其成果的技术集成与创新处于国际领先水平”。

2006年，在有看焊接界奥运会之称的“北京·埃森焊接与切割展览会”上，这款机器人一露面便成为全场焦点。

截至2016年12月20日，最后一项“863计划”课题结题时，他们研发的无轨全位置爬行焊接机器人，所涵盖的技术已经横跨机械、物理、数学、控制、软件、焊接等多个领域，其中光数学算法就多达上百项。

“现在全世界的大型结构，火箭也好、航母也好，绝大多数都还是人工焊。即使有自动焊的，多半也需要人工参与，还没有纯交给爬焊机人的。所以为什么我90岁了，还在想搞这个东西？就是因为看到没人能解决这个问题，这是一块硬骨头。”潘际銮对《新华每日电讯》记者说。

“80”后“90”后的创业新征程

2007年9月，潘际銮和课题组成员去钢轨焊接基地——天津杨村考察。工地现场非常凌乱，工人在离地面20米的高架桥上焊接。

为了拿到第一手资料，潘际銮架着软梯子也爬到20多米高的高架桥上，看工人焊接。当时风很大，现场人员都被这个80岁老人的举动吓坏了。类似的例子，在潘际銮的科研生涯中不胜枚举。

高力生、闫炳义等人，尽管也都已经“七老八十”，但是在研发时始终走在一线，冲在前面。

在潘际銮看来，对科研成果的评价在于三方面：经济效益、技术成效以及学术价值。

其中，能不能产生经济效益、能不能产业化，这是评价科研成果的首要标准。

然而，在距离潘际銮第一次产生研发机器人替代人工在野外进行大型结构焊接接头的近30年后，在与此相关的最后一项“863计划”课题结题的2016年年底，在新疆塔里木油田凝析气轻轻松松回收工程储罐焊接现场，有着20年焊接经验的孙明志，仍然与20名同事一起，手把焊炬，对储罐进行人工焊接。

近乎密闭的储罐弧光闪烁、焊花飞溅，烟尘让人没法呼吸。焊工们戴着防毒面具和焊帽，一会儿就汗流如注。

“受限空间20人同时焊接，打磨施工，再加上罐内密密麻麻的电缆线及支撑架子，现场安全压力极大。”施工现场工作人员说。

让这款机器人尽早投入使用实际生产当中，还需针对实际场景的使用需求，进一步的研发调整，然后再进行量产。完成上述过程需要经费，课题组开始接洽感兴趣的企业，但结果都不了了之。

潘际銮的学生坐不住了。清华机械工程系机械工程专业博士冯清冰，在和潘际銮等几位老师一起上门寻找金主未果之后，他和几位老师商议：靠别人不如靠自己，干脆他出钱，投入此前工作、创业积攒的全部家产，由几位老师指导技术，师生共同组建公司，打通技术转化“最后一公里”。

2017年1月18日，肩负这一使命的北京博清科技有限公司，从北大创业孵化营中诞生。潘际銮、闫炳义、高力生等人，不再仅仅是院士、教授，还有了新的身份——高级技术顾问。

经过将近一年的努力，博清科技已与中石化下属的几家建设公司、江苏省泰州市政府及当地几家造船企业，形成了合作意向。

为了争取尽早投产，已年过九十的潘际銮，依旧像个精力旺盛的大小伙子那样，每个月出差三四次，去有合作意向的企业，协助他们对机器人的技术进行深化。90岁的他，至今仍骑着电动车带着85岁的老伴，穿梭于清华校园的林荫间。这一幕被清华学子捕捉下来发到网上，使他突然变成“网红院士”。

继而人们发现，这位背着上百亿元科研价值的老院士，依然身居斗室。

有人问他：“参与无轨全位置爬行焊接机器人的产业化，不是为了赚点钱改善生活？”潘际銮一笑置之：“根本没想过钱的问题。用机器人替代人工焊大型结构，这是一块硬骨头，我已经啃了30年。现在还要抓紧时间，和年轻人一起，真正把这块硬骨头啃下来。”

海底“植树造林”，营造“海底牧场”

海洋女科学家黄晖的“珊瑚梦”

在海底种珊瑚，好比在陆地上植树造林，但要与天斗、与海斗，不知难上多少倍！海洋女科学家黄晖近20年来，一直在追求自己的“珊瑚梦”。她带领团队，已成功在南海海底种植了十万多平方米的珊瑚

本报记者张建松

西沙老龙头，面对南海万顷碧涛。呼啸海风，卷起层层叠叠海浪，击打着岸边礁石。从空中俯瞰，墨绿色的三沙永兴岛周边，仿佛装饰了一圈圈“白色花边”。

站在老龙头，黄晖研究员无心欣赏美景。她不停向远海眺望，仔细观察着大海。这位来自中国科学院南海海洋研究所的女科学家，从广州飞到永兴岛已有多日。原计划在永兴岛上船与自己的科研团队会合，到西沙七连屿一带查看“海底苗圃”里的珊瑚生长情况。

然而，一连几天刮个不停东北风，永兴岛周围波涛汹涌，船只根本无法停靠码头，只能在岛礁中抛锚避风，黄晖此行计划不得不落空。

“这是与大海打交道常有的事。在海底种珊瑚，好比在陆地上植树造林，但要与天斗、与海斗，不知难上多少倍！”黄晖对记者说。过去近20年来，这位执着的海洋女科学家一直在追求自己的“珊瑚梦”。她带领团队，已成功在南海海底种植了十万多平方米的珊瑚。

美丽的“海底热带雨林”

与珊瑚结缘，是黄晖工作之初“一场美妙的邂逅”。

1996年，从中科院南海所海洋生物专业硕士毕业的黄晖，以优异成绩留在所里。起初，面对包罗万象的海洋生物，她并没有明确的主攻方向。一次，在工会组织的羽毛球比赛中，工会主席关心地问她：“我们所有位位邹老教授，一辈子研究珊瑚分类学，他那里正缺人手。不过，一般人都认为研究珊瑚比较枯燥，不太容易出成果。”

这位邹老教授，名叫邹仁林，是我国著名的珊瑚分类与珊瑚礁生态学家。眼看年事已高，老教授也一直想寻找年轻弟子传承衣钵，将自己的毕生所学倾囊相授。无奈，当年的珊瑚学分类研究还属



▲大图：黄晖团队在中科院南海所人工培育的珊瑚礁生态系统。
▲小图：海洋女科学家黄晖在三沙永兴岛海滩观察珊瑚。受访者供图

于冷门、偏门，许多年轻人都“坐不住冷板凳”。

邹老教授爱憎分明，黄晖单纯爽直，一老一少十分投缘，黄晖很快成为他的关门弟子。此后，黄晖有机会到国家自然科学基金委员会工作了半年，这让她登高望远、眼界大开，更加深刻了解到珊瑚和珊瑚礁研究的重要意义。

造礁珊瑚一代又一代日积月累，用自己生命所营造的珊瑚礁生态系统，是地球上最复杂、生物种类最丰富的物种资源宝库，被誉为海底的“热带雨林”。珊瑚礁的覆盖面积不到海底的千分之二，却为近30%的海洋鱼类提供了“生活家园”。

海底的“热带雨林”有多美？2002年，黄晖第一次在南海下潜观察珊瑚礁，平淡无奇的海面下，一个五彩缤纷世界，令她“震撼而激动”。

白色、黄色、紫色、褐色的珊瑚礁，竞相伸展着枝枝桠桠；玫瑰色的红海柳、鹿茸般的鹿角珊瑚、白玉般的石珊瑚、大块头的脑珊瑚、滨珊瑚……一簇一簇，有的像陆地山坡上茂密的灌木丛，有的像一朵朵盛开在海底的鲜花；有的像蓝色的裸露大脑，表面上沟壑纵横。

美丽的“热带雨林”中，无数盛装的小丑鱼穿梭觅食，嫩黄、靛蓝、蓝黑相间的蝴蝶鱼，好像撒满了山坡的朵朵野花；时常还可以看到黑色的海胆、蓝色的海星、举着大钳子的蟹、一纵一纵的虾……

多么绚丽奇妙的海底世界！第一眼的“惊艳”，让黄晖将科学研究的目光，从此一直锁定在美丽的珊瑚。

在海底“植树造林”

全球气候变暖、人为破坏加剧，全球珊瑚礁生态系统正遭到空前严重的灾难。尤其是1997—1998年、2016—2017年的厄尔尼诺现象，致使海水温度升高，珊瑚礁出现大规模白化现象，甚至成片死亡。

为摸清我国珊瑚礁“家底”、保护美丽的珊瑚，黄晖不畏艰辛，十多年一直坚持开展野外调查。从福建、广东到广西沿海，从海南岛到西沙群岛、东沙环礁、南沙群岛等岛礁，我国有珊瑚礁分布的海域，都留下了她的调查足迹。许多海域珊瑚礁面积大量退化，有的只剩下一片片“累累白骨”，令她触目惊心，深感忧虑。

围绕全球气候变化与环境压力对我国珊瑚礁生态系统的影响及其响应模式，黄晖带领科研团队开展了深入系统的研究，做出了具有国际影响力的工作。

作为我国珊瑚礁生态学相关研究领域的权威专家，她撰写了《全球珊瑚礁现状报告》国际

权威报告的中国部分，积极向政府职能部门提出很多切实有效的珊瑚礁保护自然方案和措施，成功推动了徐闻国家级珊瑚礁自然保护区成立。她还多次协助公安边防与海关等执法部门，对保护类珊瑚物种进行鉴定，打击非法捕捞和走私濒危物种犯罪行为。

然而，尽管做了大量工作，黄晖觉得还远远不能拯救她心目中的美丽珊瑚。面对全球范围的珊瑚礁退化，她大胆提出“封海育珊瑚、植珊瑚造礁”的宏大梦想。2009年，黄晖带领科研团队，开始探索珊瑚的繁殖生物学和珊瑚礁修复技术，进行珊瑚礁恢复机制与修复技术研究。

她的“植珊瑚造礁”计划有两种方式：一是“播种”，在珊瑚大片死亡、适宜珊瑚生长的海域，投放珊瑚虫，使其繁衍生长；二是“移栽”，在已经遭到破坏的珊瑚礁海域，将活的珊瑚移栽过去，使其恢复壮大，犹如在菜地里补缺。

无论哪种方式，都需要珊瑚虫的繁殖，就像植树造林需要种子和幼苗。珊瑚虫的繁殖，有雌雄配子结合的有性繁殖，也有自我克隆的无性繁殖。这两种繁殖方式，黄晖带领科研团队都进行了大量研究。

每年三月，陆地上春暖花开之际，也是海底的珊瑚繁殖季节。由于珊瑚在晚上排卵，黄晖和她的团队，掌握了不同海区的珊瑚排卵前后海水温度，常常一连几晚在海底蹲守，以获取珊瑚的受精卵，然后带回实验室，进行有性繁殖的人工培育。目前，他们已对20多种珊瑚开展了有性繁殖的人工培育。

利用珊瑚的无性繁殖特点，他们也探索了多种人工培育方法：或将珊瑚切成手指大小的断枝，经过培育，再附着到预定海域的人工礁体上；或在海底钉上架子，上面吊绳，再把珊瑚绑在绳上，形成珊瑚树；或拉起网做成浮床，把珊瑚种在浮床上。针对不同珊瑚礁类型恢复的技术方法，黄晖和她的团队已申请了专利20多项。

目前，黄晖带领科研团队已在南海海底成功种植了约十多万平方米的珊瑚，2016年“底播”珊瑚断枝成活率高达75%，长得最快的鹿角珊瑚一年大约能长10厘米。

海底的“珊瑚苗圃”

三沙永兴岛上，茂密葱翠的椰林，在呼啸的海风中，昼夜不息沙沙作响。高大的白色灯塔，矗立在三沙永兴岛的港口。横条状的白色海浪，前赴后继，从海水深处赶过来，翻涌到岸边，击得粉碎，浪花飞溅，发出巨大吼声。

“这片海域的海底，有一层一层的沟壑，因此水动力很强。”黄晖指着自已视线远方一片深黑色海域，对记者说：“你看，在远处岛礁避风的那艘小船，就是我们的作业船，几乎都可以看得

见。但船小浪大，就是无法靠过来接我们上船。”

永兴岛上的每一个角落，黄晖都谙熟于心，她记不清自己是第几次上岛了。“十多年前来永兴岛调查珊瑚，需要从海上乘坐渔船才能过来。印象最深的不是颠簸摇晃，而是晚上睡在船舱里，床垫上几乎有一层老鼠屎。拿起报纸扫干净，自己就躺下了，那时条件真的非常艰苦。”黄晖说，“如今从海口乘飞机到永兴岛，一个多小时就到了，太便捷了。”

在永兴岛附近的七连屿一带，黄晖带领团队开辟了好几处“海底苗圃”。将珊瑚幼苗栽种到海底苗圃，并不是一件简单的事。由于珊瑚必须附着在硬质的海底才能生长，有的苗圃海底已经沙化，必须要将海底进行硬化处理。

黄晖带领团队曾探索过用水下胶把珊瑚幼苗粘在海底，但水下胶很贵，成本高，操作也很困难。后来，她们尝试用膨胀螺丝、钢筋等在海底先打桩，然后把珊瑚幼苗固定在桩上，效果显著增强。

每一次水下作业，她们必须下潜到海底。打螺丝、绑扎带等这些在陆地上很简单的事，在海水的压力和浮力下，都变得非常不容易。有时候，碰到有毒或具有攻击性的海洋生物，还很危险；还有的时候，遇到一场大的台风，就会功亏一篑。

“海洋生物生活在大海，珊瑚生活在海底，她们的生态环境和生存状况，并不如陆地生物那样容易看得真切。绿水青山就是金山银山，这句话同样适用于海底，保护海洋生态系统同样具有重要意义，这是我们一直坚持下来的动力。”黄晖说。

营造“海底牧场”

“以往，许多人只看到珊瑚最直接的经济价值，如美丽的珊瑚工艺品、昂贵的珊瑚礁食用鱼、珊瑚入药、价值连城的红珊瑚、角珊瑚等。事实上，在大海，珊瑚的价值远远不止这些‘蝇头小利’。”黄晖说。

在海底世界，造礁珊瑚家族是功勋卓著的“建筑大师”，不同形态的造礁珊瑚分泌的钙质骨骼，创造了多层次的空间，为各种海洋生物提供了栖息、附着、庇护的场所。一座珊瑚礁，就是一座海洋生物聚集生活的“大都市”。

研究发现，几乎所有的海洋生物门类都有代表在珊瑚礁“定居”。珊瑚礁还具有“保礁护岛”的重要作用。一个岛礁周围如果没有珊瑚礁，就像一个山头没有树林，会出现水土流失，受到海水侵蚀、风暴潮、台风等影响。

迎面海风，远眺南海，这位海洋女科学家还对记者说：“我的梦想，是在我国的蓝色国土上，营造一片片五彩斑斓的海底牧场，通过恢复珊瑚礁生态系统，恢复海洋渔业资源。不仅让渔民们有鱼可捕，也让渔民参与到牧场管理，成为牧场园丁，实现我国海洋资源的可持续利用。”