2012 年 6 月 3 日，江阴苏南国际码头。

一声绵长的汽笛在空中回荡，承载着“蛟龙”号载人潜水器的“向阳红 09”船缓缓驶离码头，96 名参试人员向岸边挥手道别。继 1000 米、3000 米和 5000 米级海试后，这条海洋调查功勋船将奔赴地球最深处马里亚纳海沟的南端，向我国首次载人深潜 7000米级海试发起挑战。

“试验将面临最大设计水深，挑战与困难都很大，因为这是我国首次载人深潜 7000 米级海试。但是我们已经作好了充分的准备。”“蛟龙”号总设计师徐芑南说。

向着深海前行

——记“蛟龙”号总设计师徐芑南的深潜人生

■吴应清

有人说，他的人生高度，几乎可以用中国深海潜水器的下潜深度来衡量。

300 米、600 米、1000 米、3000 米、5000 米、7000 米！可以说，中国载人深潜每前进一步都有他的杰出贡献，他的梦想随着潜水器的下潜不断深入到更深的海域。

世间能有多少这样厚重的人生呢？从风华正茂的少年，到鬓发染霜，从普通的舰务兵到世界级载人潜水器“蛟龙”号的总设计师，贯穿徐芑南整个生命之线的只有一条——深潜！让祖国的潜水器潜入海底，去领略那充满奥秘的海底画卷，去探寻那无穷无尽的海底宝藏。

心怀强国之梦，践行报国热情

“为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军！”当年毛主席在视察海军舰艇部队时，为海军写下了令人振奋的题词。

就在这时期，17 岁的徐芑南如愿考入了上海交通大学的“热门专业”——造船系。

在国难中成长起来的徐芑南，和他那个时代的人一样，心里都装着一个强国梦。造飞机、造坦克、造军舰，是当时很多年轻学子的理想，徐芑南也不例外。1956 年，当他有幸入选国家第一批为未来海军舰船装备研发而培养的设计人员时，他就知道，这一生将与舰船、与大海分不开了。

1958 年，徐芑南毕业分配到船舶研究所。本来他的毕业设计做的是“水面舰船”，由于工作需要，他被派去做潜艇模型的水动力试验。这一下，徐芑南的事业从水上“潜入”了水下。但是此前徐芑南从没见过真正的潜艇，他所有关于潜艇的知识都来自于书本。这时，国家要求干部下连队当兵，于是，他就主动请缨，前往青岛的潜艇基地。

在潜艇基地，徐芑南的第一个活儿是“舰务兵”，每天的工作就是管潜艇上的几个阀门和一个水泵。其余时间，他也没闲着，在征得艇长同意后，在潜艇上跑前跑后，把潜艇的各个舱段都摸了个滚瓜烂熟。一个月飞快地过去了，为了进一步学习潜艇知识，他又要求去其他的几个潜艇和潜艇的修理厂实习。

一共三个月，至今回想起来，徐芑南仍然觉得这是他人生中一段非常重要的时光：“我终于知道我干的是什么，该怎么干了，连看图纸的感觉都大不一样了。”从此，徐芑南就梦想着能够做出世界上最领先的载人潜水器，为我国海洋科考开辟更广阔的领域。

从潜艇基地回来后，一项“主持深海模拟设备及系统（简称压力筒设备）的设计和建造”的任务，落在了徐芑南的肩上。这一设备的主要用途是在实验室建立模拟深海巨大水压的环境，来检验各种水下耐压结构和设备的承压能力及其密封性，这也是潜艇耐压壳结构强度稳定性设计研究必不可少的实验设备，而当时国外对中国实行的是严密的技术封锁。

凭借论文资料上美国海军实验室的一张照片，徐芑南和课题组成员绞尽脑汁，在加工制造厂技术人员和工人师傅的支持下，只用了 3 年时间，就自行研制出了我国第一台当时国际先进结构形式卡环密封的压力筒设备。20 世纪 70 年代，他又开创性地提出了双层壳、定比压力的新结构形式，并建成了我国最大压力筒设备及系统——其压力达 25 兆帕、直径达 3.2 米、高 9 米，这系列压力筒群为我国水下舰船和潜水器结构研究奠定了试验研究基础。

“感谢那个时代。”徐芑南说，新中国的潜艇在一穷二白的基础上起步，从无到有，从弱到强，他参与了圆柱耐压壳结构设计研究的引进、仿造、消化的整个研制过程。从行车指挥，到设备安装，到实验测试，再到写分析报告，一路走来，他成了所里的“多面手”。人在磨练中总是能成长得很快，在实践的过程中，他打下了坚实的基础，并逐渐形成了自己的创新性想法。

开启总师生涯，创造事业辉煌

上世纪 80 年代，随着我国海洋工程的发展，对潜水器的需求越来越迫切，徐芑南先后担任了四项水下潜器的总设计师，创造性地研制了多型载人深潜器和水下机器人。工作深度由 300 米、600 米、1000 米发展到 6000 米、7000 米；其类型有载人、无人，有缆、无缆；其控制方式由载人手控、带缆遥控，发展到无缆智能控制。

80 年代初，徐芑南作为总设计师，带领中船重工集团七〇二研究所等 5 个单位的技术骨干，成功完成了我国第一台单人常压潜水器和双功能常压潜水器的研制，达到当时国际同类产品的先进水平，填补了国内空白。

80 年代末，徐芑南作为船舶总公司任命的总设计师，提出了赶超国际先进水平的具有光纤通信的缆控水下机器人设计方案及其技术途径，这是以援救为主、兼顾海洋油气开发的大功率作业型缆控无人潜水器。

90 年代初，徐芑南任我国第一台自行研制大深度无缆智能型水下机器人“探索者”号的副总设计师，以丰富的经验成功完成了该项目的总体设计和载体系统的研制。

1992 年起，徐芑南同时还担任了 6000 米自治水下机器人的总设计师，这是当今国际高新技术先进水平的反映，它可到达地球 94%的海域进行考察。

无人、载人，有缆、无缆……徐芑南说：“几乎所有种类的潜水器，我都做过了。”

而唯一让他遗憾的是，没有机会完成大深度的载人深潜器。

事实上，上世纪后期以来，随着人类对资源的消耗需求与日俱增，各国越来越多地把目光投向了辽阔无边的海洋。深海技术被认为是与航天技术、核能利用技术并列的高新领域，而载人深潜器则是海洋开发和海洋技术发展的最前沿和制高点。1992 年，徐芑南所在的中国船舶重工集团七〇二研究所向国家科委（现科技部）提出研制 6000 米级大深度载人潜水器的建议。然而，因当时条件有限，申请一直未获批准。

1996 年，带着遗憾，花甲之年的徐芑南办完了退休手续，他以为自己为之奋斗一生的梦想就此搁浅了。

然而，希望往往出现在拐角处。他从不曾想到，几年后，他便重新出发，在大时代中续写了深潜传奇，成就了事业的深度和人生的高度……

拾起昨日梦想，整装重新出发

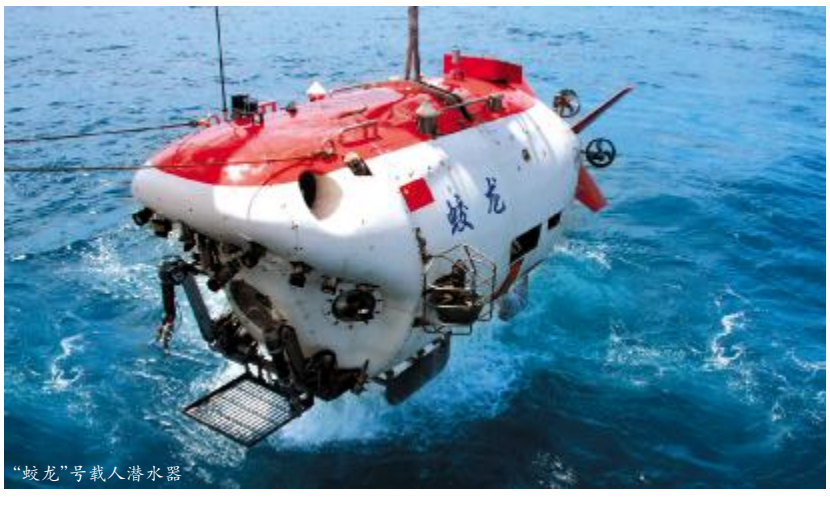
新世纪的钟声刚刚敲响，在中国大洋协会的组织下，国内科技界和海洋界的 10 位院士和 15 位教授级专家与国家发改委、财政部、科技部、外交部的有关领导进行深入探讨后，终于达成了研发载人深潜器的共识。

在立项前选总设计师时，大家不约而同地想到了徐芑南，“他是总师的最合适人选”。可当时他已经 66 岁——按国家“863”重大专项总设计师要求，总师年龄不应超过 55 岁，科技部特为他破此先例。

2002 年 6 月的一个深夜，徐芑南接到了 702 所原所长吴有生院士的电话：“7000 米载人深海潜水器立项了，我们想来想去，这个总师非你老徐来当不可！”

放下电话后徐芑南心动了。潜水器，在徐芑南的生命中，是永远割舍不下的一段缘分，尤其是 7000 米载人深海潜水器，更是他多年的心愿。但是，家里人不同意：因为他身患心脏病、高血压，一只眼睛已仅存光感。参加 6000 米自治水下机器人的海试归来时，心脏早搏一天查出一万多次——是该好好休养的时候了，怎么还能去干这么辛苦的工作？

可徐芑南说：“我一思考潜水器的问题，头就不痛，不思考就痛。还是接下这个任务，让我感觉舒坦。”最终，他年近九旬的老母亲同意了：“你去做吧！不做你会生病的。”



“蛟龙”号载人潜水器

2002 年 6 月，科技部正式把 7000 米载人深海潜水器列为“863”计划“十五”期间重大专项，我国由此打响了一场深海技术领域的攻坚战。这就是后来被命名为“蛟龙”号的 7000 米载人潜水器。

带着责任，带着希望，拾起曾经搁浅的梦想，这位 66 岁的老人整理好行装，向着深海重新出发。

运筹帷幄之中，决胜千里之外

“蛟龙”号立项之时，我国曾研制过的载人最深潜水器只有 600 米深。从 600 米到 7000 米，这是一道很难跨越的天堑。为了跨越这道天堑，徐芑南带领着国内由中船重工集团 702 所、725 所、6971 厂和中科院沈阳自动化研究所、声学所等，并会同负责水面支持系统和母船改造的中船重工集团 701 所等国内近百家科研机构精英组成的攻关团队，开始了“蛟龙”号的研制之路。

“拿任何一个任务前，我都要作足够的思想准备。能不能做好？怎么才能做好？”说到这里，徐芑南脸上浮现出一丝不易察觉的严肃，眼神也随之变得沉稳深邃。“这是一项系统工程，完成这样一项工程，在我看来最重要的是八个字：全局观点、统筹兼顾。”

这八个字说来简单，实施起来难度却非常大。徐芑南从容应对，调动起自己全部的人生智慧和积累，利用自己丰富的经验，严格遵循“设计理念、专家咨询、样机试验、实物考核”的研制程序，确保“下得去，能干活；上得来，保安全”的总体设计理念充分落实。

“‘蛟龙’号上有 12 个分系统，每个分系统都有自己的难点，每个问题都必须要解决，不能有短板。我们通过不断地仿真分析和模型实验，实现了 12 个系统在技术上的无缝对接。”徐芑南说。为统筹组织好载人潜水器 12 个分系统的工作，徐芑南根据以往的工作经验，通过与其他技术、管理人员的研究实践，进一步提高了输入、输出、约束、支撑四要素分析法，协调和固化各分系统之间的技术接口和管理接口，将每一个分系统的时间节点、约束条件、支撑性能串连起来，制成表格，按表工作，大大提高了效率和质量。

有人说他胸怀大局。的确，徐芑南说，作为总设计师，就是要把顶层设计做好。“一个潜水器有多个分系统，即使每个分系统单个都做得很先进，放在一起却未必会拼成一个性能优良的潜水器。”他说，“所有系统之间一定要相互配合，相辅相成才行。”

说这些话时，徐芑南已化身为一个运筹帷幄之中、决胜千里之外的统帅。

精诚团结奋进，夯实人才基础

一次，科技部原部长徐冠华上船视察“蛟龙”号海试，看到了深潜器团队的精诚合作后赞叹说：“当年‘两弹一星’的精神，我在你们的团队又看到了。”

的确，建立起一支精诚合作、奋力攻坚的团队，为中国的载人深潜事业夯实了人才基础，这也是徐芑南最自豪的事情。

“蛟龙”号立项初期，最大的困难是缺人。徐芑南回忆，当时七〇二所的水下工程室正处于人才青黄不接的“断档期”。“当时最缺的就是 40~50 岁年富力强、富有经验的人才。”可是，要研制“蛟龙”号，总师班子就需要好几个人：总设计师、副总设计师、总质量师……除此之外，深潜器的分系统有 12 个，每个都需要主任设计师。而且，由于国外技术封锁，“蛟龙”号从最初设计到最终海试，都得自己闯。这支研发团队怎样搭建呢？

这次，徐芑南所花费的心血，比以前所任的总师要多上几倍。“总师重要的是做好顶层设计，但更重要的是在实战中带出一支年轻的队伍。”徐芑南与第一副总设计师、七〇二所副所长崔维成商量，将几位已经退休的老研究员请了回来当顾问，又加紧培养年轻人，并让他们担当重任。他说，年轻人有干劲，但需要指点，总设计师一定要让他们预会要干什么、怎么干。

“我从没见过他发火，对我们非常耐心，还倾囊相授。”担任总体性能和总布置主任设计师，并多次驾驶“蛟龙”号潜入海底的“深海的哥”叶聪说，尽管很多时候面对徐老提出的问题，紧张得满头冒汗，却从没听他呵斥过谁一声。

徐芑南对团队的力量也赞叹不已，回想起研制“蛟龙”号的那些日子，他感慨地说：“全靠团队精神，团队中每一个人的工作都很重要。每一个人都是主角，都能找到自己在集体中的位置。”他清楚地记得 2009 年第一次 1000 米级海上试验时的情景，船刚一离开长江口就遇上超强台风，16 位年轻人中 11 位都晕船。“晕船也照样要工作！”就这样，老中青三代人齐心协力克服了海上一切困难，对自己的设备情况及时改进、完善……

克服技术难题，打造中国蛟龙

“下五洋捉鳖”是人们对海底世界的无限遐想。不过，千米以下的大洋并不像想象中的那么五彩斑斓，而是到处充斥着未知的风险。怎么保证潜航人员和“蛟龙”号的安全，能够下得去、上得来，永远是“蛟龙”号科研团队不断改关的主题。

在设计过程中，让徐芑南记忆深刻的是海试潜水器的生命支持系统。“在大洋深处，舱内必须保持氧气、二氧化碳达到一定浓度，同时也要保持舱内拥有正常的舱压、温度、湿度，还要保证不能有异味。所以，尽管载人舱容积非常有限，我们仍按相关规范的要求，在‘蛟龙’号潜水器中装配了两套正常氧气供给系统和一套应急生命维持系统，力求万无一失。”徐芑南说。

众所周知，载人潜水器要想在海洋中自由上下，按常规就必须得有足够的能量来源，但这无疑会增加潜水器的重量，而增加重量必然会影响整个潜水器的技术指标，怎么办？

徐芑南最后把宝押在了“深潜器无动力下潜上浮技术”上。“我们在潜水器两侧配备 4 块压载铁，重量可根据不同深度与要求调整。在下潜过程中，压载铁使潜水器具备负浮力，按照一定速度下潜；当潜水器到达设定深度时，可操作抛弃其中 2 块压载铁，使潜水器基本处于零浮力悬停状态，保持在这个深度上实现作业，包括航行、拍照、取样等；当任务完成，再抛弃另外 2 块压铁，使潜水器具备正浮力，按照一定的速度上浮，到达水面。”按照这样的设计，“蛟龙”号载人潜水器最快下潜上浮速度是每分钟 42 米，也就是说到达 7000 米海底大约需要 3 个小时。

根据计算，如果到达 7000 米深度，相当于在手掌大小的面积上承受 70 吨的压力，这对潜水器抗压是一种严峻的考验。“潜水器大部分结构由钛合金构成，载人舱是由 70 多毫米厚的钛合金球壳组成的，才能够抵挡住这样巨大的高压。海试前，我们把每个耐压部件都放在压力筒装置内进行相当于 7000 米深处海水压力的强度和密封性能考核。”徐芑南说。

在国家海洋局对外介绍上，“蛟龙”号是被这样定义的：我国自行设计、自主集成的第一台深海载人潜水器。从方案设计、初步设计到详细设计，全部由我国工程技术人员自主完成。总装联调和海上试验也由我国独立完成。

相比国际上现有同类作业型的大深度载人潜水器，徐芑南认为，我们这条“中国龙”除工作深度外，在技术上有三个领先优势。

首先，“蛟龙”号具有先进的近底自动航行功能和悬停定位功能，便于目标搜索和定位，可以在海底自由巡航。其次，它具有高速水声通信功能，可以将潜水器在水下的语音、图像、文字等各种信息实时传输到母船上，母船的指令也可以实时地传给潜水器，专家可以现场进行指挥。最后，相比较，“蛟龙”号上的充油银锌蓄电池容量是最大的，从而保证了在水下的作业时间。

经过 5 年多的努力，2007 年 8 月底，曾经无数次在图纸上、脑海里、梦里见到的潜水器，终于完成了总装，成型“出炉”了。它长 8.2 米，宽 3 米，高 3.4 米，在空气中重量不超过 23 吨。它的外形像一条鲨鱼，有着白色圆圆的“身体”、橙色的“头顶”，身后装有一个 X 形稳定翼，在 X 的四个方向各有一个推力器。

“他就像是我的孩子，我看着他一天天成长起来的。”徐芑南说。

总装完成后开始进行水池试验。在半年多的时间里，它经历了相当于甲板布放、水面检查、下潜、巡航、坐底作业、上浮、甲板回收的全流程调试以及水池内的应急浮标释放试验等。2008 年 3 月 2 日，载人潜水器通过国家海洋局组织的出所检测确认。从此以后，它有了一个响亮的名字——蛟龙。

徐芑南讲述“蛟龙”故事。

见证梦想实现，丈量人生深度

亲眼见证梦想的实现，无疑是最令人激动的事情。

2009 年，“蛟龙”号第一次海试，74 岁的徐芑南坚持和大家一同登上“向阳红 9 号”。他说：“严格来说，总师是必须上潜水器下潜的，大家为了照顾我身体，我已经没有尽责了。”他上船时，随身花花绿绿的药品和氧气机、血压计等必备器械装满了一个拉杆箱，“吃药就像吃饭一样”。即便如此，在两个多月的海试中，徐芑南除了因病不得不上岸休息了 10 天，剩下的时间都和年轻人一样，坚守在船上。

在长达两个月的试验现场，到处都有徐芑南的身影。他每天到后甲板查看设备、指导工作，到后舱和技术人员交流、谈心，分析和探讨潜水器的技术细节问题，回到房间静下心来对潜水器试验的每一个步骤进行反复推敲。试验前、试验后对关键操作岗位人员都要嘱咐和询问，不放过任何一个可能的隐患。每次潜器下水，他从不安稳地坐在指挥室里，而是一连几小时值守在水面控制室，不放过水声通信传回来的每一句语音——尽管接连好几个小时的海试，传回母船的语音不过十几句，但他一句也不愿错过。

徐芑南一丝不苟的工作作风和工作热情感染了每一个参试队员。他就是潜水器海上试验的灵魂，有他在，试验队员就安心、踏实。在他的带领下，所有参试人员都保持了良好的精神状态，创造了当时中国载人深潜 1109 米的纪录，圆满完成了试验任务。

其实，回想这 10 年来，与他如影随形的除了“蛟龙”号之外，还有满身的病痛。他的右眼视网膜已经脱落，左眼视力也不好，要走得特别近，才能看清来者是谁，和熟悉的人打招呼全靠辨认轮廓。他几乎每年都要犯心脏病，成了医院的常客。每次住院，医生都要求他起码住两个星期，但是病一有好转他就坐不住，经常时间不到就“逃”出医院……因为他的脑海里装着的永远是那条“蛟龙”！

2010 年，“蛟龙”号第二次海试，冲击海底 3000 米。因为年事已高，身体不适，长途远航，徐芑南未能上船，但他还是放心不下，仍然选择冒着酷暑，坚持在三亚基地一个半月，全程参与载人潜水器 3000 米级海试。

2011 年，“蛟龙”号第三次海试，冲击海底 5000 米。这一次，他多想能跟随出海，亲自为“蛟龙”的潜海值守在甲板上。但是，他那颗带病的心脏已不允许他再到大洋远航。他只能守在直播大屏幕前，每天接收船上的同事们电子邮件的信息，以自己特有的方式陪伴着自己倾尽心力的“蛟龙”号。

每一次下潜，都为“蛟龙”号带来一场技术革新。从 50 米到 1000 米，从 3000 米到 5000 米，正是这一次次海试成功，宣告了我国载人深潜水平步入了世界先进国家的行列。领先的近底自动航行、悬停定位、高速水声通信等功能，更是让这条“中国龙”乘风破浪，遨游深海。

徐芑南说，他是幸运的，“曾经以为这辈子这个梦想实现不了了，但现在却得到了这么好的结果，我无憾了！”

如今，“蛟龙”号又一次起航了，向着 7000 米深海下潜。这是“蛟龙”号的深度，也是徐芑南精神的深度、人生的深度……

学术名片

徐芑南 “蛟龙”号总设计师，我国深潜技术的开拓者和著名专家之一。1958 年毕业于上海交通大学造船系，毕业后就投身潜艇的结构研究和海洋装备事业，先后担任了四项水下潜器的总设计师。作为总设计师，徐芑南创造性地研制了多型载人深潜器和水下机器人。工作深度由 300 米、600 米、1000 米发展到 6000 米、7000 米；其类型有载人、无人，有缆、无缆；其控制方式有载人手控、带缆遥控、无缆智能控制。载人潜器有我国首台单人常压潜水器（QSZ-Ⅰ型）、双功能常压潜水器（QSZ-Ⅱ型），水下机器人有重型缆控无人潜器（8A4 水下机器人）、6000 米自治水下机器人（CR-01），还作为副总设计师完成了 1000 米无缆水下机器人（“探索者”号）的研制。2002 年，担任我国第一台自行设计、自主集成研制的 7000 米载人潜水器“蛟龙”号的总设计师。

徐芑南先后获得了国家科技进步奖一、二等奖，船舶总公司科技进步奖一、二等奖，中国科学院科技进步奖一等奖，上海市科技进步奖一等奖、光华奖一等奖、何梁何利科学技术进步奖等 18 项奖励。2006 年获得第一届全国海洋科技大会先进工作者称号，获 2009 年度全国海洋人物称号，2010 年度科学中国人年度人物。多次获得江苏省、无锡市劳动模范、先进个人和上海市科技功臣等荣誉。