



汪品先,海洋地质学家,中国科学院院士,同济大学海洋与地球科学学院教授。曾主持中国海首次大洋钻探、国家自然科学基金重大研究计划“南海深海过程演变”等。研究方向为气候演变和南海地质,致力于推进中国深海研究和地球系统科学的发展。

发展深海科技的前景与陷阱

汪品先

同济大学海洋地质国家重点实验室,上海 200092

摘要 近十年来,中国深海科技的高速度发展不仅在国内空前,在国际也是科技史上的奇迹。如能保持现在的发展势头,就有希望在未来的10年中进入世界深海探索的前列,对世界科学做出历史贡献。深海为地球上的生命提供了最大的栖居场所,但是其永恒的和极端的环境,使得深海开发者面临巨大的挑战。当前中国的深海研究走到了历史十字路口,需要在计划及其实施中汲取历史的教训,警惕征途上的陷阱。

关键词 深海科学;深海技术;深海资源;南海

最近10年来,中国海洋科技突飞猛进,尤其是挺进深海远洋的“三深”(深潜、深钻、深网)能力,取得了举世瞩目的发展。载人深潜器接连登场,从“蛟龙号”“深海勇士号”到全水深的“奋斗者号”探底马里亚纳海沟;2013年国际大洋钻探进入新阶段,中国晋升为全额成员,接连拿下南海3个半航次;海底观测网的大科学工程立项建设,零星的海底长期观测已经开始。特别是南海,经过大洋钻探

接连钻探深海盆,投放数百个潜标锚系探测深层水流,30余个单位通力合作,完成了空前规模的“南海深部”研究大计划,进入深部过程研究的前沿,在世界边缘海中脱颖而出^[1]。

这些耀眼的进展,是在“建设海洋强国”决策背景下取得的。近10年来,中国的海洋事业无论是深海油气、大洋矿产,还是极地探索和一带一路的海洋考察,都取得了全方位的高速发展,在国际海

收稿日期:2021-01-12;修回日期:2021-02-01

引用格式:汪品先. 发展深海科技的前景与陷阱[J]. 科技导报, 2021, 39(3): 71-79; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.03.005

洋科技史上罕见。中国海洋事业掀起了前所未有的高潮,挺进海洋的大潮方兴未艾。相信在既定国策的指引下,今后 10 年将有更大的发展。然而挺进深海事业既有灿烂的前景,又有征途上的陷阱,本文试图在浪涛声中提醒国人,在低头前进中也要抬头远望,放眼古今,在万马奔腾中保持冷静,才能持续前进。

1 深海开发的历史与前景

1.1 进入深海

海洋开发,改变着人类社会发展的轨迹。16 世纪的所谓“地理大发现”使欧洲国家崛起,依靠在平面上进入海洋,越洋跨海去掠夺非洲奴隶和美洲矿产。二次大战结束之后,历史翻开了新的一页:人类开始开发海底,不再借道海洋入侵其他大陆,而是到海洋深处去开发海洋本身,这导致了 21 世纪海洋经济的重心下移,也就是在垂向上进入海洋内部。

最早注意到的海底资源,是近岸的石油和深海的锰结核。这些资源在 19 世纪都已经发现,但是开发利用的命运却大不相同:石油成了海洋经济的“老大”,而锰结核至今没有工业开采。根据经济合作与发展组织(OECD)的统计,在 2010 年,海上油气占全球海洋经济的 34%,高居榜首,预测到 2030 年将降至 21%;如果把含义不清的“海洋与沿岸旅游”排除不计,依然是最大的海洋产业^[1]。尤其突出的是深海油气,目前占海上油气总产量的 30%,近年来全球重大油气发现有 70% 来自水深超过 1000 m 的水域,并且呈现逐年升高的趋势。

深海金属矿产的开发却没有那么顺利。1965 年,美国 J. L. Mero 发表了《海洋的矿产资源》一书,提到太平洋海底有上万亿吨的锰结核可以开采,而且增长速度比采矿还快,因此海底的锰、钴、镍、铜取之不竭、用之不尽。这幅聚宝盆式的图景,诱发了海底采矿的高潮,19 世纪 60—70 年代有上百个航次前往太平洋。但是 Mero 的描述言过其实,深海结核不但生长极慢而且开采不易,以至于至今没有工业开采^[2]。唯一的例外发生在 1974 年,美国造了 36000 t 的巨型采矿船开采锰结核,后来真相大

白,原来是中央情报局的骗局,以采矿作掩护,打捞苏联 1968 年沉没在太平洋深处的核导弹潜艇^[4]。

深海金属矿有 3 类,除了锰结核,还有海山上的富钴结壳和大洋中脊与弧后盆地的金属硫化物,后二者都比锰结核的水浅。其中最有前景的是金属硫化物,尤其在 2006 年发现巴布亚-新几内亚岸外硫化物含金,水深也只有 1600 m,大大提高了开采价值。加拿大的鸚鵡螺公司准备了种种先进技术,想成为深海采矿的世界先锋,不料开采计划的环境影响引起当地民众反对,开采计划可能要功败垂成^[4]。

除了获取资源,开发海洋的另一方面,是海洋巨大空间的利用,可惜往往被误用作陆地废弃物的归宿,最为严重的是向海洋倾倒放射性的核废料。1946—1982 年的 36 年间,投入海洋核废料总的放射性活度高达 63 PBq,相当于每秒钟发生 6.3 亿亿次(6.3×10^{16})核衰变的放射性^[5]。除了核废料,塑料垃圾也是二战之后出现的新问题。现在,塑料已经成为海洋垃圾的主体,海洋塑料垃圾的总量从 2010 年的 800 万 t 增加到 2015 年的 900 万 t,推测 2025 年将达 1600 万 t^[6],严重威胁海洋的生态环境。尤其是微塑料,这些看不见的颗粒会通过海雪的沉降和滤食生物的吞用,从化学角度改变海洋生物,人类食用这些“海鲜”就会影响健康。

总之,海洋开发在 20 世纪中期曾经一度出现狂热,到了后期已经在某种程度上冷却下来。通过实践逐步意识到:海洋既不是“聚宝盆”,也不是“垃圾桶”。挺进深海,并没有可以纵横驰骋的康庄大道。

1.2 认识深海

挺进深海说起来容易做起来难,毕竟人类进入深海不过半个多世纪,对深海的了解实在太少,更没有学会如何和海洋相处。地球上三分大陆七分海,海水平均 3700 m 深,所以主体就是深海,水深超过 2000 m 的深海占了地球表面的 2/5。然而,10 m 海水造成一个大气压,200 m 海水下没有光线,因而深海是个永远黑暗的高压世界。物理学里讲暗能量、暗物质,其实深海就是地球表面最大的“暗世界”,直到 19 世纪中叶,人类仍然不知道深海究竟有没有海底,认为 550 m 以下没有生物存在^[4]。

20 世纪晚期,人类开始进入深海,虽然取得了

极大的进步,但仍相当于“瞎子摸象”,还不能急于开发。决不能刚摸到个大象的脚趾头,就忙着琢磨怎么个吃法。对于深海资源的知识,往往是根据个别站位的数据外推,由此得出的结果当然会有数量级的出入。越是新发现的深海资源,数量估计的差别越大,因为调查测量太少。以热液活动来说,其在深海的分布范围很广,沿着6万km大洋中脊和1万km的弧后裂谷以及俯冲板块的海底火山都有出现。现在全大洋发现的热液口数目上千,但是面积都很小,全部加在一起也只有50 km²,相当4个舟山的普陀岛,占世界大洋面积的比例不到0.00001%^[7]。

深部生物圈是深海探索的重大发现,深海底下的沉积物甚至玄武岩里都有微生物。然而,对深部生物圈微生物数量的估计,相差极为悬殊。1990年代,根据太平洋6个站位的测量,推测全大洋海底下面有 35×10^{29} 个细胞,占据地球上活生物量的30%^[8]。之后测量点增多,尤其是经过大洋钻探的核实,估计值至少降了一个数量级,降为 2.9×10^{29} 细胞,与地球上活生物总量相比,只相当于0.6%^[9]。

天然气水合物(即可燃冰)的发现极其令人兴奋,天然气矿产居然会以结晶体的形式出现,出乎地球科学界的意料,可望成为新世纪的清洁能源,但是对其储量的估计相差悬殊。1980年,美国学界对海洋可燃冰中甲烷含量的估计,从 3.1×10^{15} ~ 7600×10^{15} m³不等,相差3个数量级。原因在于最初的储量计算是假设沉积岩孔隙里充满可燃冰,饱和度为100%。经过大洋钻探取芯分析核实之后,饱和度的估计值降低了两个量级^[10]。对海洋可燃冰总储量的估计值也从20世纪七八十年代的 10^{17} ~ 10^{18} m³降到1990年代晚期的 10^{14} ~ 10^{15} m³,下降了3个量级^[11]。数量上的退步,却是科学上的进步,因为对可燃冰的认识,从初始阶段进入了理性阶段^[12]。

总体来说,深海是地球上尚待认识的“暗世界”。经过几十亿年的演变,现在地球的表面过程已经在太阳辐射能驱动下快速进行,从水流的物质搬运到生物的新陈代谢莫不如此。但是深海不同,太阳能的产物只有极小部分到达深海底部,而溢出海底的地球内能时空分布极不均匀,绝大多数深海现象是在微少能量支持下的慢速过程。因此,深海

过程往往要比陆地上慢几个量级:锰结核百万年才长1 cm,深部生物圈的繁殖周期以千年计。生活在陆地上的人类,首先要认识深海才能开发利用,深海容不得急性子的“淘金潮”。

1.3 深海前景

虽然海洋资源现在的估计并不准确,却动摇不了其开发的广阔前景。海水有13多亿km³,相当于全球河水总量的60万倍,其中溶解的锂、铀、金等众多元素虽然含量很低,但只要有高效的提取技术,就有辉煌的开发前景。海洋的风能、太阳能和波浪能,都是开发利用的候选对象,利用价值取决于技术发展的进程。最近突破性的新技术,是利用太阳能将海水分解出氢^[13]。氢燃料是不产生二氧化碳的清洁能源,而且太阳能和海水是取不尽的原料,因此大有发展前景。

海底蕴藏的能源和资源更加丰富。近年来太平洋海底稀土元素的发现,足以说明深海矿产不可估量的潜力。随着高新技术的发展,稀土元素的国际需求显著增强。现在,日本科学家先在太平洋中部及东南部发现3500~6000 m深海底淤泥中含有大量稀土资源,声称其可开采量是陆地的1000倍^[14];后又在西太平洋接近南鸟岛附近,在水深5700 m处发现含稀土元素的软泥,其储量足够全球数十年之用^[15]。

更加奥秘的是生物资源。提起生物资源,一定会想到渔业。不过,海洋生产力的重点不在深海,近海陆架和上升流区才是主要的渔业区;即便开发深远海,捕鱼的目标也在海水上层,并不是深海。然而,渔业恰恰是破坏深海底栖生态系统的元凶,关键在于海底拖网。1950年代以来流行的拖网捕鱼,能够将海底面上的生物连同沉积物全部刮光。拖网捕鱼历来主要在陆架浅海进行,但近年来正在向上陆坡和海山等深水区推进。21世纪初估计,全球被拖网捕捞的海底,40%是在陆坡以外的深水区,但是深水鱼比浅水鱼更经不起过度捕捞^[16]。

深水的底栖固着生物新陈代谢格外缓慢,因此受拖网捕鱼的破坏更加致命。例如长寿的冷水珊瑚一年只长几微米,一旦破坏,生态恢复的时间也要以千百年计算。总之,深海生物资源的开发利用,需要转换思路,另辟蹊径,最值得注意的是生物

基因资源。

基因资源是个全新的方向,不是通过渔业从深海索取动物蛋白,而是着眼于深海的生物多样性。世界大洋估计有 220 万种动物,有 10 亿个类型的微生物,尤其是深海的生物有着各种各样的“特殊功能”——有的能适应高温高压,有的能在还原缺氧环境繁盛,更有的有着惊人尺度的长寿能力。提供这些特殊功能的基因是无价之宝,可以为人类带来无可替代的福利^[17]。

现在,深海基因资源已经成功应用于制药保健;同时在化学制品等许多方面都有广阔的前景。半世纪以来发现的黑暗食物链、深部生物圈,尤其是微生物研究的进展,打开了科学家的眼界。生活在热液和冷泉口的动物群,栖息在玄武岩孔隙里的微生物,以人类完全陌生的生命活动方式度过了千千万万个春秋,一旦解开这些生命之谜,相信将会进一步指出深海对于人类社会的价值所在。

地球上的海洋比陆地大两倍,人类在陆地上开发了几千年,还没有找到可持续发展的途径;现在进入海洋才几十年,深海巨大的“黑暗世界”,决不是靠人类星星点点的探测就能看得明白的。深海是人类正在打开的另一个世界,深海资源宝藏琳琅满目,但其开发实际上还处于准备阶段,人类要有自知之明,意识到现有认识的局限性,而认识深海的关键,在于技术的发展。

2 深海技术

从进入深海,到认识深海、开发深海,依靠的是高新技术。具体说,关键在于“三深”:深潜、深钻和深网。“深潜”包括载人和不载人的深潜器;“深网”指的是用光电连接的海底观测系统以及不联网的水下观测移动装置;“深钻”是从海底向下进行科学钻探,在“三深”里难度最大。

“三深”技术的产生,是近半个世纪欧美科学家的功劳。中国发展深海科技,基本是“跟”和“追”,技术和科学分头模仿欧美。这样的对策在起步阶段不可避免,也无可厚非;但发展到一定程度就需要转型。一是将科学与技术放在一起,而不是分头来规划,这样才会产生新意,才能创新;二是要考虑

成本和效果,要引入投入和产出的比值,并不是投入越多产出就越多。中国深海科技发展,还有许多值得深思之处。

“三深”中以载人深潜的社会影响最大,也是挺进深海最直接的手段。载人深潜是深海探索的先锋,深海的奥秘是科学家亲身进入深海发现的,身历其境也是科学探索最可靠、最能产生新思想的途径。经过多年努力,逐步提高自主国产水平,中国拥有不同深度的载人深潜器——能潜入深海 4500 m 的“勇士号”、能潜入深海 6500 m 的“蛟龙号”和万米全水深的“奋斗者号”,装备的水平已进入国际前列。载人深潜进入马里亚纳海沟,在美国之后还只有中国,喜讯传来令全球华人扬眉吐气。当前面临的任务,是配套设备和效率的提升,进一步发展探索深海的实力。

随着遥控技术和人工智能的发展,许多极端环境的探索已经可以由机器人代替,深海探索也不例外。现在,不载人的潜器已经成为深潜探索的主力,通过缆线(“脐带”)连接的无人遥控潜水器(ROV),可以由科学家在船上操纵,代替自己在海底作为时更长、效率更高、能量更大的探索动作;而水下自主航行器(AUV)连缆线都不用,可以长时间在海洋内部作业,这些不同类型的“水下机器人”已经成为深海科学探索和工程服务的主力^[18]。虽然科学家亲历其境的探索有着不可替代的价值,然而从成本和效率出发,非载人深潜才是大范围推广的发展方向。

然而,即便无人的深潜器也不能总呆在海里,于是 20 世纪末开始发展海底观测网:把传感器放进海底,通过光电连接实验室,相当于将“气象站”甚至“实验室”安置在海洋深处,对海洋内部进行长期、连续的原位实时观测。2009 年,加拿大建成了第 1 个大型深海海底观测网 Neptune-Canada,缆线长 800 km;2016 年,美国建成海底观测系统 OOI,其中规模最大的是俄勒冈岸外的深海区域网;2015 年,日本建成面对太平洋的海底地震海啸观测网 S-net,缆线总长 5700 km,世界第一^[19]。

海底观测网的长期观测是揭示深海奥秘的有效途径,从连续测量深部洋流的流速流量,到台风来袭或者火山爆发时监测海洋反应,将传感器放在

海洋内部是最好的选择。由于观测目标和海洋条件的不同,海洋内部的观测装置可以极其多样,有联网也有不联网的,有固定的也有活动的,从海底爬行车到水下滑翔机,类型繁多不一而足^[19]。尤其是传感器,更是随着观测目标的不同而不断发展。中国已经立项建设东海和南海的海底观测系统,应当充分考虑不同的目标和条件,创造性地完成大科学工程的建设。

从深海海底钻探地壳,是探索深海难度最高、耗费最大的技术。自从1968年美国启动后不久,就发展为国际大洋钻探计划,由若干发达国家共同提供资金、选择最佳技术,共同合作进行,简单地讲就是全球支持一条船进行钻探。半个多世纪以来,大洋钻探船成了海洋科学的“航母”,接二连三的重大发现导致了20世纪地球科学的革命,大洋钻探本身也成了为时最久、效果最好的大型国际科学合作计划^[20]。中国在1998年加入国际大洋钻探计划,二十多年来实现了南海4个航次,钻探了17个站位,为认识南海深部做出了不可估量的贡献^[21]。

可以预计,大洋钻探在深海和地球科学中的地位还将继续攀升,因为深海地壳的厚度只有大陆地壳的1/5,从深海打钻探索地球内部,是未来地球科学发展的必然趋势。但是年逾半百的大洋钻探计划,无论在技术上还是组织上都已经难以适应新时期的科学需求。当年发起大洋钻探的“初心”在于钻穿地壳探索地幔,然而这项地球科学界梦寐以求的“莫霍钻”至今尚难实现^[22],呼唤着原创性的技术改进。例如要钻探地幔顶部,钻头就要求有耐高温高压的新型材料;钻探船也可能要将泥浆泵甚至钻机放到海底,以减少几千米穿越海水的钻具。

挺进深海是人类社会拓展空间的新方向,大量的技术创新等待着有心人。本质上讲,“三深”都只不过是探索深海的某种单项技术,在未来的科技史里只不过是挺进深海的入门过程,发展的方向必定是众多技术结合起来解决科学或者工程问题。经过50多年的钻探,仅靠钻探单一手段解决科学问题的时代正在消逝,而与深网观测、深潜探索相结合的“三深”联合技术,正在成为未来大洋钻探的新形式。欧盟在几年前提出“深海与海底科学前沿”(deep sea and sub-surface frontiers, DS³F)计划^[23],

就体现了“三深”结合的新思路,很值得我们注意。

3 国际之争

除了科学上的探索,在历史上深海探索的开始具有军事背景。19世纪完成首个环球航次探索深海的“挑战者号”,就是英国的军舰;20世纪一些深海观测技术,也是“军转民”来自美国海军。美国海军有大量的科学项目,打着科学旗号到各国海域进行海底测量,或者以勘探名义谋取军事目的。

除此之外,还有作为探险活动的海洋深潜,其中最有名的是潜入马里亚纳海沟。继1960年美国“Trieste”号深潜到马里亚纳海沟10916 m之后,2012年电影导演J. Cameron、2019年亿万富翁V. Vescovo先后潜入海沟探底,都是追求创记录的探险之旅^[4]。深潜的工具也可以有选择。上述的潜器,都是金属外壳留出玻璃窗口来观察深海,但如果采用玻璃外壳,就可以得到更大的视野。具体说,葡萄牙的LILLA 1000载人潜器就用玻璃外壳提供了1.4 m宽的大视域,但是只能潜入1000 m,不失为深海生物观测摄影的理想设备。玻璃壳的载人深潜器一般被作为游乐工具,下潜深度只能到达数百米。

从整体上讲,深海探索要求的大规模投入,主要是政府或者大企业的行为,而且很容易产生政治影响。世界大洋是联通的,任何一个国家的深海探索都会产生国际后果,包括海上权益之争。例如在美国、日本的无人深潜器探索马里亚纳海沟之后,2020年中国的“海斗一号”和俄罗斯的“勇士号”无人深潜器也都先后潜入马里亚纳海沟底部,“勇士号”在万米海底插了个三角旗,纪念卫国战争胜利75周年。这令人想起2007年,俄罗斯的载人深潜器“和平一号”在北冰洋破冰下潜,把一面1 m高的钛合金国旗插在4261 m深的海底,一度掀起北冰洋权益之争的国际大浪。

因此,和16世纪欧洲国家间的海上之争一样,几十年来的深海探测史也贯穿着海上的国际斗争。大洋钻探作为最大的国际合作,必然渗入政治元素。1979年,苏联出兵阿富汗,次年就被停止大洋钻探的成员资格。1997年,中国决定加入大洋钻

探,据悉受到美国国防部的阻挠,经过科学界力争,一年之后方才成功。大洋钻探作为深海探索的国际旗舰,也是国际争夺海上领导权的对象。1990年代,日本向美国叫板,在新世纪之初建造了一艘比美国钻探船大几倍的“地球号”钻探船,以期争夺国际领导权,大洋钻探国际总部也一度从华盛顿搬到了东京,可惜由于经费和技术上的困难,国际总部又返回华盛顿,仍旧由美国主持。

深海开发权益的国际较量属于外交之争。1982年,联合国通过了海洋法公约,规定除了12海里的领海之外,还有200海里的“专属经济区(EEZ)”,沿海国对于该区内的海底和上覆水域的资源开发和研究具有主权,于是只要在大洋里有一个小岛,就可以获得大片海域,使得过去无人问津的荒岛,一夜之间变成国宝。法国的陆地占世界陆地总面积0.45%,但是EEZ的面积却占全球EEZ的8%,依靠的就是海外领地。日本可以作为EEZ根据的离岛共有99座,其中多数还没有名字,但是据此就提出了450万km² EEZ的要求,面积相当其本土的12倍^[4]。近年来,一些国家之间的岛屿之争,根源都在于深海资源。

4 深海陷阱

深海探索整体上是高科技的挑战,因此技术事故属于家常便饭。就南海来说,大洋钻探1999年以来在20年钻探了17个站位,其中最深的U1503A井,水深3868 m,加上井深1710 m,总深5578 m,按深度在大洋钻探50年历史上排名第5。但是好事多磨,这口井在2014年的349航次、2017年的368航次都曾经打过,369航次还下了上千米的套管,最终还是因为井下技术事故,炸断了钻具忍痛放弃。直到2018年大洋钻探再安排了368X航次专攻该井,终于取上了南海张裂最初的大洋壳岩芯,达到了原定目标^[23]。

但是,多数的深海工程事故,并不是以喜剧告终。日本万米级无人深潜器“海沟号(Kaiko)”曾在1995年在马里亚纳海沟深潜10970 m,在世界深潜器中高居榜首,但是2003年在日本南部水深4673 m的太平洋海域作业时,因台风来袭,在回收时与

母船连接的缆绳断裂,重达5.6 t的潜器永远消失在海底。

最为严重的技术事故,应当是2010年墨西哥湾“深海地平线”钻井平台的爆炸。在完井阶段由于防喷系统失灵,油井爆炸沉没,造成11人遇难、17人受伤。但最大的灾难还不在于钻井平台,而是海底油井漏油,几个月里从1500 m深海底涌出了50万m³原油,造成墨西哥湾北部面积9900 km²的油污带,英国石油公司损失177亿美元^[4]。挺进深海的征途上,技术事故是最大的挑战;然而决策上的失误,可以造成更大程度的损失。

这是因为深海探索常常遇到巨大的投资规模和技术难度,一旦决策失误就会造成很严重的后果。以日本为例,为了预警海地地震与海啸,日本决定建造深海海底观测网,2003年打造了ARENA计划,在其东面太平洋俯冲带两侧布网;但是2006年改变主意,改为在日本南边沿“南海海槽”建设DONET网。不料,就在DONET建成的2011年,9.2级的特大地震发生在日本东边而不是南边,于是又用4年时间,在东边的太平洋俯冲带建起了5700 km长的S-net计划,规模比原来的ARENA计划大得多^[19]。

在大洋钻探方面,日本于1994年制定了OD21计划,投入8.5亿美元巨资建造“地球号”钻探船,2002年下水时由日本公主剪彩,2007年正式启用服务大洋钻探时,向全世界宣称要去“打穿地壳”。可惜事与愿违,因为受困于经费与技术,2013—2020年,一共才执行了4个大洋钻探航次,平均2.5年才有一个,处于半停顿状态。今天的冷清,与当年的欢腾恰成对照。当然也有立项时就夭折的,例如德国设计的破冰钻探船“北极之光”(Aurora Borealis),2007年欧盟拨出近700万美金进行设计、筹备,但是2009年因为资金链断,雄伟计划胎死腹中^[20]。

深海探索中的失误和事故决非危言耸听,也不想“吓唬”进军海洋的勇士们,它警告我们:挺进深海的征途上有陷阱,深海容不得“淘金”的狂热。原因很简单:深海太大,我们的认识太少;深海和陆地太不相同,原有的经验并不见得适用。现在,人类对深海的开发,不外乎采集和渔猎,相当于陆地上的石器时代人类利用资源的水平。但是与陆地不

同,深海过程往往比陆地慢几个量级:锰结核百万年才长 1 cm,深部生物圈的繁殖周期以千年计。在陆地上,人类经过了几千年的功夫,才发展起农牧业,从采集和渔猎进步到农耕畜牧,学会了利用陆地资源,进入深海也不可能一蹴而就。

因此,深海计划的制定和实行,要考虑到经济、政治、技术上的“陷阱”,战略考虑不周、形势发生变化,都能前功尽弃。除了自然因素之外,还有人为因素的“陷阱”,包括政治和科学两类。一类是政治原因,不少设计精细的科研航次,就是因为海域的主权声索国不予批准,出了海也只能无功而返,这在海洋界已经常见不怪。另一类是科学家有意无意的夸大,比如前述 1965 年 Mero 对太平洋矿产资源得夸大以及后来有的科学家对深海能源、资源储量的夸大,导致决策层的判断失误。将计划的制定建立在可靠信息的基础之上,防止在片面信息或者夸大数据的基础上匆忙做出决策,是深海科技成功发展的要诀。

5 对中国深海科技发展的建议

无论挺进深海的道路如何崎岖甚至惊险,大洋以其无边的体量和无穷的远景,始终鼓舞着海上勇士们勇往直前。同时,挺进深海要求了解深海,只有脚踏实地的调查研究才会取得成功。例如开发海底要求了解海底,海底的地形就需要调查。现在大洋的地形图主要依靠卫星测量,水平分辨率只有 2~5 km,真正经过多波束测深、制作了地形海底图的只有海域面积的 5%。从 2021 年开始,联合国发起的“海洋可持续发展十年(2021—2030)”科学计划,所提出的第一项任务就是测制海底地图^[24]。为了可持续发展,在这 10 年里要在全球范围内推进环境监测系统,为海洋进行“体检”^[25]。

当然,联合国一百多个国家参加的计划不可能以深海为主题,因为拥有深海高科技能力的国家不多,现在中国就是其中举足轻重的一家。在过去的 10 年里,中国在深海科技中取得了突破性进展,在未来的 10 年必将再接再厉,乘胜前进。我们不但要充满激情,也需要汲取国内外的教训,避开前进路上的陷阱。这方面可以分国际和国内两方面来讨论。

国际合作是深海科技的重要方面,中国深海科技起步晚,“三深”的三大方面都需要通过国际合作继续提高,其中最为重要的是大洋钻探。过去 10 年,中国在国际大洋钻探计划力的作用大幅度提高,计划在接下来的 10 年里也能运行钻探航次,和美、日、欧三家并列为钻探平台的提供者。国际计划的运行很容易夹入非科学因素,中国加强在大洋钻探中的地位,并非没有阻力。例如 2017 年中国倡议制定 2023—2033 年的大洋钻探国际计划,主办国际学术研讨会,受到许多国家支持,但是由美国主持匆忙制定的“2050 年科学框架”^[26],冲掉了国际学术讨论。作为应对,中国可以在联合国际力量的前提下,立足于自身的力量主动出招,制定既有新意又有可操作性的 10 年科学计划(2024—2033 年),同时动员有关的发展中国家加入大洋钻探的科学实践,推进新一轮的国际合作。欧洲几年前提出“深海与海底科学前沿”(DS³F)计划^[27],体现了“三深”结合的新思路,就值得我们在制定计划中密切注意。

在“建设海洋强国”国策的指引下,中国的深海探索已经走出毗邻海域,结合“一带一路”等国际合作,挺进三大洋和南北两极,包括最近在太平洋马里亚纳海沟探索的成功。与此同时,最大水深 5500 m 的南海,是中国岸外主要的深水海域,也是中国发展深海科学的首选。2011 年,国家自然科学基金委员会启动“南海深部过程演变”的重大研究计划,专攻深海盆的基础科学问题,在 9 年时间里将 50 多个基金重点项目和“三深”技术相结合,在海上组织了一个个有声有色的科学战役,取得了一次次的学术突破,使中国掌握了南海深海研究的科学主导权。

南海近 10 年的进展,提出了“板缘张裂”“低纬驱动”等挑战流行观点的新假说,产生了一系列具有挑战性的新问题,是南海成为国际海洋科学的天然实验室,有待在新的 10 年里向南推进,联合周边国家,以更大的力度作进一步的研究。南海深海探索的意义,超越了科学本身。美国作家 R. Kaplan 认为现在中美的南海之争,相当于百年前欧美的加勒比海之争;能否在南海取得成功,将决定中国大国崛起的命运^[28]。法国的 F. Gipouloux 将南海比喻为“亚洲的地中海”,将对亚洲的经济交流与发展,起关

键性的历史作用^[29]。进一步确立中国在南海深海科学上的主导权,是国家海洋战略的重要环节。

“建设海洋强国”战略确定以来不到10年,中国在深海科技中取得了历史性的进展。展望未来,未来10年的成功将首先取决于宏观决策。当前中国的深海研究走到了历史的十字路口,格外需要以史为鉴,研究国际先行国家的经验教训,至少应当注意以下几点。

1) 转型发展。中国的科技正在从模仿、“跟跑”转型,未来将是发展中国特色的10年。真理只有一条,通向真理的道路却不止一条,不过这种道路都是靠人走出来的。海洋科学在欧洲产生、在欧美发展,带有严重的大西洋“胎记”,我们面对西太平洋,地处世界最大大洋和最大大陆之间,有责任摆脱“大西洋中心论”的束缚,从科学理论和技术手段两方面进行自己的探索。与许多“兄弟”学科相比,中国的深海科技起步更晚、落后更多,因此与国际前沿有更远的差距,转型的路程也更加艰难。

2) 科技结合。国际深海探索,是一部科学和技术携手发展的历史,而我们走的却是追赶国外论文、仿造国外设备,“科”和“技”分头发展的道路,新设备验收之后再来征求“用户”。经过多年的努力,中国的深海“科”和“技”已经具备条件,可以两者结合起来共创新路。例如,俯冲背景下的西太平洋海区,揭示其演化过程,就迫切需要发展新技术向深部推进。

3) 顶层设计。与海洋对等的是大陆,海洋科技的学科种类极其繁多。同时,深海探索又比一般学科更加要求协同作战。当前学术界分散化、小型化的作业方式,可能有利于文章数量的飙升,却不利于重大科学问题的研究,迫切需要在国家层面推进顶层设计,捏成拳头出击。刚结束的“南海深部过程演变”重大计划,是一个成功的例子,应当以更大的力度推进全国性的协作。

4) 错位发展。海洋科技在中国属于新兴领域,近年来得到沿海和内地的热烈响应,新单位如雨后春笋纷纷成立,中国海洋事业出现了空前兴旺的大好形势。与此同时,也出现了一些重复建设甚至恶性竞争的现象。其中一个原因,是对海洋本身

的了解不深,往往以模仿作为方向。海洋学科的发展只能立足于联合协作,海洋开发也远非简单的“淘金”,容不得“大跃进”式的投入。当前中国迫切需要相互协调,在全国一盘棋的前提下错位发展、各尽所长。

5) 国际联系。与许多相近的学科相比,中国的深海科技起步更晚、落后更多,因此与国际前沿有更远的差距,国际协作应当更为加强。除了与发达国家合作外,未来10年还需要与“一带一路”等政策相配合,推进与发展中国家的国际联系。深海科学不应当只是“富国俱乐部”,中国应当出手,团结发展中国家也来加入深海科研。可以将发展国际科技合作纳入外交战略,通过科技合作推进“民间外交”,在重点海域确立中国的科学领导地位,形成以我为主的国际科学群。

回顾海洋科学的历史,16世纪欧洲“地理大发现”,中国却逆向发展,开始“海禁”;19世纪产生“进化论”时,中国正遭受英法联军入侵;20世纪“活动论”发展,中国正深陷“文革”灾难,因此几百年来愧无贡献。现在,中国的海洋事业正在经历着黄金时期,国内正值科教兴国的高潮,国际恰逢世界经济发展放慢,为我们“弯道超车”提供了机遇。只要全国协力同心挺进深海,过好华夏振兴之路的“海洋关”,必将能对世界科学做出前所未有的历史贡献^[30]。

参考文献(References)

- [1] 汪品先. 南海深部过程的探索[J]. 科技导报, 2020, 38(10): 6-20.
- [2] OECD. The ocean economy in 2030[M]. Paris: OECD Publishing, 2016: 251.
- [3] Glasby G P. Lessons learned from deep-sea mining[J]. Science, 289(5479): 551-553.
- [4] 汪品先. 深海浅说[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2020: 222.
- [5] Calmet D P. Ocean disposal of radioactive waste: Status report[J]. IAEA Bulletin, 1989(4): 47-50.
- [6] Dauvergne P. Why is the global governance of plastic failing the oceans? [J] Global Environmental Change, 2018, 51: 22-31.
- [7] Van Dover C L. Forty years of fathoming life in the ocean depths[J]. Nature, 2019, 567: 182-184.
- [8] Whitman W B, Coleman D C, Wiebe W J. Prokaryotes:

- The unseen majority[J]. PNAS, 1989, 95(12): 6578–6583.
- [9] Kallmeyer J, Pockalny R, Adhikari R R, et al. Global distribution of microbial abundance and biomass in subsea-floor sediment[J]. PNAS, 2012, 109(40): 16213–16216.
- [10] Boswell R, Collett T S. Current perspectives on gas hydrate resources[J]. Energy & Environmental Science, 2011, 4: 1206–1215.
- [11] Milkov A. Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there?[J] Earth-Science Reviews, 2004, 66: 183–197.
- [12] 丛晓容, 吴能友, 苏明, 等. 天然气水合物资源量估算研究进展及展望[J]. 新能源进展, 2014, 2(6): 462–470.
- [13] Kuang Y, Kenney M J, Meng Y, et al. Solar-driven, highly sustained splitting of seawater into hydrogen and oxygen fuels[J]. PNAS, 2019, 116(14): 6624–6629.
- [14] Kato Y, Fujinaga K, Nakamura K, et al. Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements[J]. Nature Geoscience, 2011, 4: 535–539.
- [15] Iijima K, Yasukawa K, Fujinaga K, et al. Discovery of extremely REY-rich mud in the western North Pacific Ocean[J]. Geochemical Journal, 2016, 50: 557–573.
- [16] Roberts C M. Deep impact: The rising toll of fishing in the deep sea[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(5): 242–245.
- [17] Marlow J, Harden-Davies H, Snelgrove P, et al. The full value of Marine Genetic Resources (MGR) [J]. Deep-Ocean Stewardship Initiative, 2019: 1–4.
- [18] 封锡盛, 李一平. 海洋机器人30年[J]. 科学通报, 2013 (S2): 2–7.
- [19] 海洋地质国家重点实验室. 海底科学观测的国际进展 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2017: 263.
- [20] 中国大洋发展计划办公室, 海洋地质国家重点实验室. 大洋钻探五十年[M]. 上海: 同济大学出版社, 2018: 396.
- [21] 丁仲礼. 中国大洋钻探二十年[J]. 科学通报, 2018, 63 (36): 3866–3867.
- [22] Michibayashi K, Tominaga M, Ildelfonse B, et al. What lies beneath: The formation and evolution of oceanic lithosphere[J]. Oceanography, 2019, 32(1): 138–149.
- [23] 孙珍, 林间, 汪品先, 等. 国际大洋发现计划 IODP367/368/368X 航次推动南海国际化海洋科考成果[J]. 热带海洋学报, 2020, 39(6): 18–29.
- [24] Ryabinin V, Barbière J, Haugan P, et al. The UN decade of ocean science for sustainable development[J]. Frontiers in Marine Science, 2019, 6: 470.
- [25] Duarte C M, Poiner I, Gunn J. Perspectives on a global observing system to assess ocean health[J]. Frontiers in Marine Science, 2018, 5: 265.
- [26] Koppers A, Coggon R(Eds). Exploring earth through scientific ocean drilling: 2050 science framework[M/OL]. [2021-01-01]. <https://doi.org/10.6075/JOW66J9H>.
- [27] Kopf A, Camerlenghi A, Canals M, et al. The deep sea and sub-sea floor frontier[M]. Germany: European Commission, 2012: 57.
- [28] Kaplan R. Asia's cauldron: The South China Sea and the end of a stable Pacific[M]. New York: Random House, 2014: 232.
- [29] Gipouloux F. The Asian mediterranean: Port cities and trading networks in China, Japan and Southeast Asia, 13th–21st century[M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2011: 424.
- [30] 汪品先. 深海的机遇与中国的选择[J]. 人民论坛·学术前沿, 2017(18): 6–11.

Developing deep-sea science and technology: Perspectives and pitfalls

WANG Pinxian

State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract The past decade has witnessed an unprecedented development of deep-sea science and technology in China. If the pace will be kept for the coming decade, China will enter the global frontiers in deep-sea exploration with historical contributions to the world science. The deep sea is the largest habitat on the planet, yet its eternal darkness and hostile environment present tremendous challenges to the deep-sea developers. Since China has reached a crossroads in its deep-sea research, it is essential to learn from the history in planning and its implementation, and to avoid the pitfalls on the journey.

Keywords deep-sea science; deep-sea technology; deep-sea resources; South China Sea ●



(责任编辑 王丽娜)