



## 海洋世纪

### 1.1 海洋——人类21世纪的希望

20 世纪海洋科学技术的蓬勃发展和取得的举世瞩目的成就，使科学家们达成共识：21 世纪将是人类全面认识海洋的世纪，是全面开发利用和保护海洋的世纪，是海洋高科技广泛发展的世纪，也是给人类提供更多需求和开创美好的生存环境，使人类可持续发展的世纪。因此，21 世纪将是海洋世纪。我们在海洋科学和海洋化学两个层次上，用“硬”的和“软”的两种性质的例子，来探讨上述预测的科学性。

从海洋科学层次来探讨，海洋之浩瀚

博大，是因为它包容万物，其丰富资源已经和必将哺育整个人类。海洋是各种资源的巨大宝库。

(1) 海洋生物种类繁多、数量巨大。目前全球海洋每年提供的鱼、虾、贝、藻类约 8 000 多万吨，是人类蛋白质的重要来源。如日本、印度尼西亚等沿海国家，海洋食物占所消耗动物食物的百分比超过 50 %。我国多年来渔业总产量、海洋生物养殖总量都是世界第一。水产品提供的蛋白质占所消耗动物蛋白质的 20 %。我国适宜发展水产养殖的浅海、滩涂、港湾面积共约 260.01 万公顷，现今养殖面积仅占可养面积的 25 %，在 21 世纪有很大发展余地。

(2) 海盐和盐化工产业：我国沿海宜于海盐生产的面积约 80 万公顷，产盐量为世界第一。但目前已开发为盐田进行生产者，尚不足半数，在 21 世纪也有很大发展余地。关于盐化工产业，后面将会介绍。这仅是海洋化学资源之一——无机化学资源中的一部分。

(3) 作为海洋化学资源之二的油气资源，则早已引起世人瞩目。现已探明，海洋中石油储量为 1 350 亿吨，与大陆上的可开采量大体相当。英国对北海油气田的开发，使之由石油输入国变成输出国。我国沿海油气资源也十分丰富，初步探明储量在 400 亿吨以

上。1997 年我国海上石油产量达 1 500 万吨，预计到 2000 年还要翻一番，正以良好的发展势头进入 21 世纪。

(4) 海洋化学资源之三是海洋金属资源，例如金属结核矿物。后面将要介绍。

(5) 海洋化学资源之四是海洋药物资源。目前已从海洋生物中发现几千种有生理活性的化合物。它们不仅可使人们健康长寿，因之产生了秦始皇派徐福东渡扶桑寻找长生不老药的神话，而且人们把解决威胁人类生命的疑难顽症（例如癌症、心脑血管病、糖尿病等）的希望寄于海洋药物。可以预计在 21 世纪，这一领域将有突破性进展。

(6) 海洋高新技术。海洋高新技术是多种现代高新科学技术与海洋相结合而形成的新的、综合性的边缘技术门类。包括：海洋遥感，以水声技术为主体的声、光、电探测技术，海底采油技术，海洋生物技术，深潜和深海实验技术，深海金属矿产勘查开发技术，大、中、小型海水淡化技术，海水化学资源综合利用技术等等。

(7) 海洋产业。海洋科学和技术的成就，推动了海洋产业的发展。除了传统的海洋渔业、海港及海上交通业和海盐工业外，近年来又开拓了许多新领域，

形成了许多新的海洋产业。例如海水养殖，海洋油气，海洋交通，滨海旅游，海洋化工等等。可以预测，21 世纪的海洋产业还将包括：海水淡化和海水化学资源综合利用，海洋农牧化，深海采矿，海洋药物，海洋可再生能源发电（包括潮汐发电、海浪发电、温差发电……），海洋新的空间利用等等。海洋经济在全球经济中将愈来愈重要。20 世纪 70 年代初，海洋经济总产值约 1 100 亿 ~ 1 200 亿美元；20 世纪 90 年代初达 7 000 亿美元；到 20 世纪末可达 15 000 亿美元；到 21 世纪前 10 年将翻一番而超过 30 000 亿美元。我国海洋经济在国民经济中所占的比重 20 世纪 70 年代末不到 1%，90 年代初达 2.0%，2000 年将达 5.0%，2010 年预测达 8% ~ 10%，海产值是 14 000 亿元，使我国进入世界海洋开发的前 5 名。因此，海洋将是 21 世纪中国的希望。

我们再从海洋化学层次上来探讨：“硬”的性质以海盐化工和海水综合利用为例，因为它已是工业化生产，故谓“硬”。如前所述，大规模海盐生产早在春秋管仲相齐时和战国时已具相当水平。海盐生产导致近代氯碱工业的建立，构成一系列重化工产品：氯气、盐酸、烧碱、纯碱、金属钠、漂白粉、氯酸盐、过氯酸盐以及氯代烃等基本化工原料，它们都从海盐

出发而达到工业规模生产。海水制盐后余下的盐田卤水，经过卤水综合利用化学工艺和生产流程，又可分离和提取得到以下系列产品：氯化镁、硫酸镁、氧化镁、金属镁、硫酸钠、硫酸钾、氯化钾以及溴和碘等。在我国，海水提溴及其后续溴精细化工产品已有 20 种左右，海盐化工已是我国化学工业的重要组成部分。

海水由海盐和水组成，接下来谈谈海水淡化。海水淡化又称海水脱盐，是除去海水中盐分以获得淡水的工艺过程。其方法有两类：（1）从海水中取出淡水，例如蒸馏法、反渗透法、水合法、溶剂萃取法、冰冻法等。（2）除去海水中盐分，例如电渗析法、离子交换法、压渗法等。以上各法各有千秋，例如在船和岛屿上多用反渗透法和电渗析法，但世界上大规模实际应用的则是多级闪急蒸馏为代表的蒸馏法。在中东已应用于工农业生产和生活用水。海水淡化的主要问题是耗能高，成本较大。今后发展方向是研究效率更高的方法，经久耐用的膜；工艺上采用多级、多效措施有效地利用能量；进一步利用太阳能、风能、地热能、海洋可再生能源，乃至与核电站、化工厂等联合，充分利用余热为动力。淡水是人类最重要的资源，水源危机遍及全球。我国的情况也十分严重，人

均淡水年占有量为 2 470 立方米，仅是世界平均人均占有量的 1/4。海水淡化是人类 21 世纪必走之路。

利用海水淡化过程中的浓缩海水提取除海盐（海水中常量元素）之外，还应提取其中的微量元素如铀、碘等。以海水提铀为例，经过几十年的努力，已经找到富集因数达  $10^5 \sim 10^6$  的高效提铀剂。例如以水合氧化钛为基础的复合吸着剂、聚偕胺肟纤维态吸着剂和高效富集铀的螯合树脂等。海水提铀现已由基础研究和应用技术研究转向开发性实用研究的阶段，已建立年产几十公斤级的中试工厂，预计 21 世纪可建成百吨或千吨级  $U_3O_8$  的海水提铀厂。但目前还存在不少科学和技术问题，致使提取  $U_3O_8$  的成本太高，约每公斤 330 ~ 660 美元，远比陆源  $U_3O_8$  的价格每公斤 66 ~ 110 美元高出数倍。我国海水提铀的基础研究曾一度居国际领先水平，随着 21 世纪我国核电站工业的发展，海水提铀在我国必将再度辉煌。著者深信，由“海盐工业——海水淡化——海水提铀等微量元素”组成的海水综合利用，必将成为中国 21 世纪化学工业的重要组成部分，成为 21 世纪化学工业的希望。

我们再从“软”的性质上来探讨。在海洋化学层次上之所以“软”因其在目前只是设想，可是前景诱

人。“人工上升流工程”可为一例。20世纪90年代人们发现太平洋的南、北和赤道海域是“高营养盐-低叶绿素(或低生产力)”(HNLC)海区。在这些海域中,浮游植物不能像在其他海域中一样有效地利用营养盐,致使初级生产力很低。其原因在这些海域的铁浓度很低,其海域初级生产力被铁所限制了,但这不是普遍现象。一般来说,现已知道的世界海洋的初级生产力很不平衡。占海洋面积90%的大洋区平均初级生产力只有50(克/米<sup>2</sup>·年)C,而占海洋面积仅0.1%的上升流区却达到300(克/米<sup>2</sup>·年)C的平均初级生产力。这是上升流区带来深层高浓度的营养盐所致。调查表明,一般说来深层水的营养盐丰富,组成搭配合理,污染物少,水质稳定,是地球上最大的可再生资源之“源地”。“人工上升流工程”就是设计一个方案,人工抽取深层富饶的高营养和高生产力海水,输到那些贫瘠的低生产力表层水中去,以提高原有海区的初级生产力,促进海洋生物生长。对科学家这个设想,美国能源部、农业部和海军已委托美国通用电气公司进行研究,他们设计一个人工小浮岛,在离水面30~50米处铺设人工种植床,将其作为海草扎根场所。在人工浮岛之下,装一直达深海的管道,利用风力、波浪和温差等海洋可再生能源,将

富含营养盐、高生产力的深层水供给海草吸收生长。中试证明有很大的经济效益。按计算，如贫瘠大洋面积是 200 万亿平方米，在有充足阳光可利用等条件下，生长海草相当的海洋生产力，最后计算得的相当的海洋生物量，足可使 200 亿人口维持中上等生活水平。从海洋工程和技术角度来看，上述设想具有可操作性。但是，如此大规模的人工上升流，会给全球海洋生物、地球化学循环带来何等后续性影响？（例如对世界大洋环流场的影响，对南北半球海水的交换和各大洋之间海水交换的影响）对影响气候的厄尔尼诺现象有何正面或负面的影响？对近海上升流和近海渔场的变化起什么作用？以及大量  $\text{CO}_2$  进入大气、温室效应和全球变化等等许多极其重要的问题，都有待在 21 世纪得到解答后才可再作进一步的计划。

## 1.2 海洋与人类的食物

海洋中的生物资源是人类重要的食物来源，“生猛海鲜”是人类重要的优质蛋白质来源。目前人类从海洋取得的食物只占人类食物的 1%，它所提供的蛋白质则占人类食用动物蛋白质的 22%，可见海洋食

品在人类不断增长的食物需求中已经发挥重要作用。据统计，世界海洋中生物种类达 16 万 ~ 20 万种。在不影响生态平衡的情况下，海洋中浮游植物通过光合作用提供的初级生产力为 150 亿吨，每年可向人类提供 30 亿吨鱼、虾、贝、藻等海洋食物，能满足 300 亿人的蛋白质需要。但目前对这些海洋食物的开发利用，从种类讲还只占极少部分。例如现在捕捞鱼类约 200 种，其中产量高于 100 万吨的仅 6 种，渔获量约为 8 000 万吨，养殖量不到 1 000 万吨。有人估计，世界海洋水产潜在产量为 1 亿吨，尚有一定潜力。目前海洋渔业主要集中在近岸大陆架水域，这个区域的捕捞已达饱和，渔业资源因捕捞过度遭受严重破坏，今后不可能有大发展。因此，今后主要发展远洋渔业和开辟新的资源。

现代海洋农牧业的发展为海洋生物资源的利用和开发开辟了一条前途广阔的新途径，被人们称为“蓝色革命”。它要把传统的“狩猎”式渔业转向新的“栽培”和“放牧”式渔业，大力发展海水养殖业，走海洋农牧化生产的道路。据世界资源研究所的报告，1989 年世界养殖产量为 600 万吨，占世界渔业总产量的 7.5 %。目前还不到 1 000 万吨，再过 20 年将超过 3 000 万吨，到 2050 年海洋农牧化将超过捕捞渔

业，成为海洋渔业的主体。

我国的海洋渔业，50年来有很大发展，海洋水产品产量由1949年的不足50万吨，目前已达700多万吨，增加十几倍。我国沿海滩涂宜养殖面积约1万多平方千米，目前实际养殖面积仅4000平方千米，约占30%，尚有较大潜力。在我国如果实现海洋农牧化生产，就可能把水产品总产量提高到2000多万吨，比目前可增3倍。

总之，海洋向人类提供营养丰富的食物，提供人类必需的优质蛋白质，再次论证了海洋是人类21世纪的希望。

## 1.3 海洋与化学资源

### 海洋油气资源

海洋石油储量约1350亿吨，天然气约140万亿立方米，分别是地球油气总储量的45%和50%。海上石油产量1995年为9.65亿吨，占世界产量的30%，到2000年可能达13亿吨，占当时石油总消耗

量的 40 %。因此，无论从储量和开发看，在 21 世纪的油气开发和能源供应中，海洋油气资源都具重大作用。

我国近海大陆架面积为 140 万平方千米，蕴藏有丰富的海底油气资源，初步估计石油的地质储量约 250 亿吨，天然气地质储量为 2 350 亿立方米。经过十几年勘探，已发现 60 多个油气构造，目前已有 17 个油田建成投产，还有一批油田正在开发。1995 年海上原油产量 841 万吨，天然气 3.75 亿立方米。估计到 2000 年，海洋石油产量为 1 000 万 ~ 1 300 万吨，天然气 40 亿立方米。海洋油气在我国石化资源中的地位将在 21 世纪有显著提高。大型海洋油气田将普及祖国渤海、黄海、东海、南海和黄河口、长江口及珠江口一带。

### 金属结核资源

多金属结核又称深海锰结核，是以锰、镍、铜、钴为主的多金属矿瘤。分布在 2 000 ~ 6 000 米深海底，已发现在太平洋 7° ~ 13° 北，138° ~ 157° 西范围内有具商业开采价值的采矿作业区约 30 万平方千米，多金属结核储量约 20 亿吨。我国政府向联合国提出

登记为国际海底开发先驱投资者的申请，已于 1991 年获准，我国因此拥有 15 万平方千米海底矿产勘探权，最终将拥有 15 万平方千米海底矿产的开采权。整个大洋底的多金属结核资源约有 3 万亿吨，对其成因、开发和综合利用还知之不多。在陆上矿产资源日益枯竭时，金属结核资源将是人类 21 世纪的另一个闪光点。

## 1.4 海洋与全球变化

### 全球变化研究

近 30 年来，联合国教科文组织成立了“政府间海洋学委员会”（IOC），国际上同时成立了“海洋研究科学委员会”（SCOR）等国际组织，先后开展了一系列的国际性合作调查和研究，创造了 7 000 多米深海钻探、12 000 米深海地形精密测绘、海洋实验卫星和遥感技术在海洋上的应用等等。依靠海洋高新技术，海洋研究同时取得了许多进展。例如，（1）“厄尔尼诺”事件的成因、机制和影响，及其与之密切相

关的“拉尼娜”事件的关系。厄尔尼诺给人类造成巨大损失。1982—1983年发生的厄尔尼诺事件，造成2 000人死亡和80亿～130亿美元的损失，使南美国家收成减少70%。1997年的厄尔尼诺强度更强，损失也更加严重。(2)发现深海洋底山脉——洋中脊，对水热流研究、海底扩张和板块构造学说及生命起源于海洋等研究都有重大价值。(3)当代物理海洋学主要研究内容是海洋环流，发现赤道潜流和赤道温跃层理论；南北半球海水的交换和各大洋海水间的交换，补充和丰富了Broecker/Gordon的热盐环流大传输带理论。(4)元素全球海洋生物地球化学过程、循环和全球变化的研究。

1986年国际科学联合会理事会(ICSU)组织了以全球变化为核心的国际地圈-生物圈计划(IGBP)。该计划包括7个核心研究计划和2个技术支撑计划。它们是：(1)全球海洋通量联合研究计划(JGOFS)；(2)国际全球大气化学计划(IGAC)；(3)过去的全球变化计划(PAGES)；(4)全球变化与陆地生态系统(GCTE)；(5)近海陆-海相互作用(LOICZ)；(6)水循环的生物学计划(BAHC)；(7)全球分析、解释与建模(GAIM)，数据信息系统(DIS)，全球变化的分析、研究及培训系统，以及最近启动的全球海洋生

态系动力学 ( GLOBEC)。可见半数的研究计划与海洋相关。例如，(1) JGOFS 计划：了解哪些过程控制海洋吸收  $\text{CO}_2$ ，它们的物质通量和储存能力；海洋对人类的与全球气候相关的扰动的反馈能力的预测。(2) IGAC 计划：观测和认识全球大气化学变化、现状和影响因素及规律，并预测 21 世纪大气化学发展趋势。(3) 全球海洋生态系动力学：全球变化对海洋生态系有何影响，以及生态系的反馈能力的预测。(4) LOICZ 了解海陆界面（陆架边缘海）因人类活动而影响的物质通量，及其对人类的反馈和影响。可见，上述诸研究不仅与海洋密切相关，而且直接影响到人类的生活乃至生存。

## 海洋在全球变化中面临的挑战和对策

海洋在全球变化中面临着人类的一系列挑战：

(1) 温室效应和全面海平面上升，气候变暖；(2) 森林减少，沙漠化；(3) 海洋污染，赤潮，海洋生物物种锐减；(4) 近岸工程破坏生态环境、近岸养殖废水污染和城市倾废；(5) 海上溢油事件；(6) 放射性污染。这里再对其中两例作进一步介绍：(1) 赤潮灾害。自 20 世纪 80 年代以来，赤潮威胁世界许多沿海

国家和地区，而且危害日益严重，赤潮已成为一种全球性的灾害。日本濑户内海是赤潮的多发区，1967—1991年濑户内海共发生4448次赤潮，其中421次对渔业造成严重损害。我国沿海由于农业发展，大量化肥和农药入海，使得近岸处于富营养化状态并引发赤潮。20世纪70年代每年报道2~3次，赤潮生物只有几种。90年代初则上升到每年40~50次，赤潮生物涉及硅藻、甲藻乃至浮游动物等几十种，造成经济损失每年达几十亿元之多，而且逐年加剧。（2）海上溢油。1989年作者所在的青岛市，黄岛油库因遭雷击发生油罐爆炸事件，引起熊熊烈火。同时近千吨原油外泄，祸及附近海滩、礁石，美丽的金沙滩变得油渍斑斑。如果说雷击油库爆炸泄油是非常偶然的事件，那么船舶（特别是油轮）泄油则是时有发生的事。我国每年船舶泄油事件几十起，溢油达上万吨，对港湾码头、陆架浅海形成污染。石油中一些组分在海洋中分解可长达数月之久，因而除溢油直接损失外，还影响景观、水质和食物链，对海洋生物和人类健康的不良后果往往难以估价。

## 国民经济可持续发展——人类/海洋的对策

1987 年召开的第 42 届联合国大会上通过了第 169 号决议，决定将 1990—2000 年的 10 年定名为“国际减轻自然灾害十年（IDNDR）”，呼吁各国政府和科学技术团体行动起来，以期到 2000 年能使人类受灾的影响减少 30 %。在联合国系统内，制定灾害紧急援助、预防和计划、研究与发展三部分防灾计划。配合“国际减灾十年”推出的海洋减灾行动有：政府间海洋委员会和世界气象组织共同协调的全球海洋观测系统（GOOS）、全球海洋服务系统（IGOSS），政府间海洋学委员会负责协调的全球海平面观测系统（GLOSS）、国际海洋资料交换（IODE）和太平洋海啸警报系统（PTWS），国际海事组织负责协调的全球海上遇险与安全系统（GMDSS）。

为配合“国际减灾十年”，我国在 1987 年 11 月成立了“中国国际减灾十年委员会”，1989 年制定了《中国减灾科技规则》，其中包括了海洋减灾的内容。在海洋监测方面已陆续有了沿岸和岛屿观测站、海上自动观测平台、调查船、浮标站、监测飞机等海洋监测设置。初步形成了由国家海洋环境预报中心（北

京)与青岛、上海、广州等海洋预报区台和厦门、海口、北海等省级预报台站组成的预报网。目前已建立较为完整的灾害性海况数值预报模式,可以进行海洋灾害的预报,使海洋预报业务化。逐步使海上溢油扩散预报、厄尔尼诺现象预报、赤潮预测等,由不成熟成为日常业务预报。灾害预报由单项预报向多要素综合预报、单方法向多模式集成预报发展;由短期预报向短期、中期、长期和超长期相结合的预报模式发展,使我国海洋抗灾水平达到现代化、高速化和智能化的水平。

1983年底联合国38届年会成立“世界环境和发展委员会(WCED)”,1987年发表题为“我们的共同未来的报告”,首次提出“持续性发展”定义:既要满足现今当代的需要,又不会剥夺子孙后代以达到自身需求能力的各种发展。旨在寻找一条经济发展、社会改革和环境保护三者兼顾的共同道路。1992年在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会上通过了“21世纪议程”等文件。中国政府参加了大会并认真履行自己的承诺,1994年订立了《中国21世纪议程》,其海洋部分即是《中国海洋21世纪议程》。其总战略目标是:建设良性循环的海洋生态系统,形成科学合理的海洋开发系统,促进海洋经济持续发